การศึกษาผลการเคลื่อนขาส่วนล่างต่อประสิทธิภาพของมนุษย์ในการทำงานบนคอมพิวเตอร์

นายพุทธิพงศ์ คงรอด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
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 Graduate School.

STUDY OF LOWER LEG MOVEMENT TO HUMAN WORKING EFFICIENCY ON COMPUTER TASK

Mr. Phuthipong Kongrawd

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

Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2012
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาผลการเคลื่อนขาส่วนล่างต่อประสิทธิภาพของมนุษย์ในการทำงานบนคอมพิวเตอร์
โดย	นายพุทธิพงศ์ คงรอด
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทยา วัณณสุโภประสิทธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. รัชทิน จันทร์เจริญ)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทยา วัณณสุโภประสิทธิ์)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สัณหพศ จันทรานุวัฒน์)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรชัย นิเวศน์รังสรรค์)

พุทธิพงศ์ คงรอด : การศึกษาผลการเคลื่อนขาส่วนล่างต่อประสิทธิภาพของมนุษย์ในการทำงานบนคอมพิวเตอร์ (STUDY OF LOWER LEG MOVEMENT TO HUMAN WORKING EFFICIENCY ON COMPUTER TASK) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. วิทยา วัณณสุโภประสิทธิ์, 207 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอผลกระทบของการเคลื่อนขาส่วนล่างต่อประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์ โดยมีจุดประสงค์ในการเคลื่อนขาเพื่อแก้ไขปัญหาสุขภาพจากการใช้คอมพิวเตอร์เป็นเวลานาน งานคอมพิวเตอร์ที่ทดสอบจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ งานใช้งานเมาส์ งานกราฟิก และงานพิมพ์ โดยที่งานกราฟิกจะแบ่งออกเป็นอีก 2 งานย่อยคือ งานกราฟิกเส้นตรงและวงกลม ในการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์ ใช้กฎของฟิตส์และกฎสเตียริงในการประเมินค่าประสิทธิภาพ โดยออกแบบและสร้างขึ้นเป็นโปรแกรมสำหรับทดสอบ โปรแกรมนั้นจะได้รับการทดสอบประสิทธิภาพในการวัดประสิทธิภาพการทำงานก่อน ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับความเป็นจริง จากนั้นจึงใช้โปรแกรมนี้ในการทดสอบร่วมกับการเคลื่อนขาส่วนล่างที่ความเร็วต่าง ๆ กัน โดยทดสอบเบื้องต้นก่อน เพื่อศึกษาแนวโน้มและกำหนดขอบเขตความเร็วรวมถึงแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ในการทดสอบจริงได้ โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 5 คน ทดสอบที่ความเร็วในการเคลื่อนขา 0 10 และ 30 รอบต่อนาที ผลการทดสอบพบว่า การเคลื่อนขามีผลกระทบต่อการทำงานคอมพิวเตอร์ โดยที่แต่ละประเภทงานจะมีผลกระทบที่ต่างกันออกไป แต่ส่วนใหญ่แล้วจะสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพดีขึ้น อย่างไรก็ตาม ในการทดสอบเบื้องต้นนี้ พบว่าจำนวนตัวอย่างมีน้อยเกินกว่าที่จะแทนประชากรทั้งหมดได้ จึงต้องทำการทดสอบด้วยจำนวนตัวอย่างที่สูงมากขึ้นในการทดสอบจริงต่อไปโดยใช้หลักการของสถิติ ในการทดสอบจริง ใช้ตัวอย่างจำนวน 30 คน ทดสอบที่ความเร็ว 0 10 20 30 และ 40 รอบต่อนาที ได้ผลการทดสอบคือผู้ทดสอบส่วนใหญ่สามารถทำงานได้ดีขึ้น เมื่อมีการเคลื่อนขาส่วนล่างที่ความเร็วปานกลาง คือ 10 – 20 รอบต่อนาที แต่จะมีประสิทธิภาพที่ต่ำลงเมื่อความเร็วสูงกว่านั้น ยกเว้นงานพิมพ์ ที่มีประสิทธิภาพตกลงที่ทุก ๆ ความเร็ว ฉะนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า การเคลื่อนขาสามารถนำมาใช้ร่วมกับการทำงานคอมพิวเตอร์ได้ ยกเว้นงานพิมพ์

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต ______________________

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ______________

ปีการศึกษา 2555

##5470310821: MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORDS: FITTS' LAW / STEERING LAW / EFFICIENCY / COMPUTER / EXERCISE

PHUTHIPONG KONGRAWD: STUDY OF LOWER LEG MOVEMENT TO HUMAN WORKING EFFICIENCY ON COMPUTER TASK. ADVISOR: ASST. PROF. WITAYA WANNASUPHOPRASIT, 207 pp.

This research purposes a novel idea to passively exercise lower extremity (lower legs) of human operators while they are working on computer, and study the effect of that exercise to the working efficiency. Based on human-computer interaction criteria, the computer work is classified into three tasks: Pointing Task, Typing Task, and Graphical Drawing Task; Linear and Circular. These tasks are evaluated for the efficiency based on Fitts' law and steering law. The experiments written in C++ are adapted from the real computer works and adjusted to be a standard for evaluation. The program is tested for its practicability. The test result shows that human can work with mouse better than type with keyboard, which is also better than graphical work. The result is reasonable and practical in real life that it confirms the usability. Then, we use the program to test the shift of working efficiency to study the effect of the movement. With the result from preliminary experiment, we learn that the size of sample should be big enough to represent the whole population. The real experiment is held using 30 examinees. The result has showed that with the movement, most people can maintain or even increase their working efficiency on three tasks but typing. The best speed of moving for those three tasks is 20 - 30 reps/min. For typing task, people lose their efficiency when there is a moving no matter how fast it is. So, the movement of lower legs is good for working with computer except typing.

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

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

Academic Year: 2012

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทยา วัณณสุโภประสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าของท่าน ในการให้คำแนะนำ ปรึกษา และข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการวิจัยครั้งนี้ พร้อมทั้งจัดหาทุนและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้มาโดยตลอด

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุนทุนอุดหนุนการศึกษาและค่าใช้จ่ายในระหว่างที่ทำการวิจัย วิทยานิพนธ์

นอกจากนั้น งานวิจัยนี้คงจะไม่มีทางประสบผลสำเร็จลงได้ หากขาดความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากบิดามารดาในทุก ๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นทางด้านเงินทุน ข้อคิดเห็นต่าง ๆ รวมทั้งกำลังใจและความห่วงใยที่มีให้แก่ผู้เขียนเสมอมา

และผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. รัชทิน จันทร์เจริญ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สัณหพศ จันทรานุวัฒน์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรชัย นิเวศน์รังสรรค์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ สำหรับคำแนะนำที่มีค่ายิ่ง

ขอขอบคุณอาสาสมัครทุกท่านที่ได้ร่วมกันสละเวลาอันมีค่าให้กับการทดลองนี้

และสุดท้ายนี้ ขอขอบคุณทุก ๆ ท่านที่อยู่แวดล้อมผู้เขียนไม่ว่าจะเป็นคณาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิที่เคยถ่ายทอดความรู้และให้คำแนะนำ รวมไปถึงเพื่อนนิสิต รุ่นพี่ รุ่นน้อง ในระดับปริญญาโท ที่ได้ร่วมกันให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่าง ๆ โดยเฉพาะผู้ที่อยู่เคียงข้างและให้กำลังใจที่ดีแก่กันเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ...จ

กิตติกรรมประกาศ...ฉ

สารบัญ...ช

สารบัญตาราง...ญ

สารบัญรูป..ด

บทที่ 1 บทนำ..1

1.1 ที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์...1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.. 2

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์..2

1.4 เนื้อหาโดยรวมของวิทยานิพนธ์...3

บทที่ 2 ปริทัศน์วรรณกรรม..5

2.1 ผลเสียจากการนั่งใช้คอมพิวเตอร์เป็นเวลานาน…..5

2.2 การแก้ไขและป้องกันปัญหาจากการนั่งใช้คอมพิวเตอร์..7

2.3 การออกกำลังกายเพื่อการบำบัดรักษา (THERAPEUTIC EXERCISE)….................8

2.4 การแบ่งประเภทการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์..10

บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการวัดประสิทธิภาพการทำงาน...13

3.1 มาตรฐานการประเมินประสิทธิภาพการทำงาน..13

หน้า

3.1.1 กฎฮิกค์ – ไฮย์แมน..14

3.1.2 กฎของฟิตส์...14

3.1.3 ความหลากหลายของกฎของฟิตส์ (Variations of Fitts' Law)......................18

3.1.4 ความกว้างเป้าหมายประสิทธิผล (Effective Target Width)........................20

3.1.5 กฎสเตียริง (Steering Law)..24

บทที่ 4 โปรแกรมทดสอบประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์...26

4.1 การออกแบบโปรแกรมทดสอบประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์....................26

4.1.1 ข้อมูลการออกแบบ…...26

4.1.2 ออกแบบการทดสอบ...27

4.2 การสร้างโปรแกรมการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์....................31

4.3 การทดสอบโปรแกรมการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์................34

4.4 ผลการทดสอบโปรแกรมการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์............35

4.5 ข้อเสนอแนะ...43

บทที่ 5 การทดสอบเบื้องต้น..45

5.1 รูปแบบและวัตถุประสงค์การทดสอบ...45

5.2 ตัวอย่างประชากร...45

5.3 เครื่องมือและอุปกรณ์..45

5.4 ขั้นตอนการทดสอบ...46

5.5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์...47

5.6 สรุปผลการดำเนินงานเบื้องต้น แผนการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะ...................52

บทที่ 6 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์ร่วมกับการเคลื่อนขาส่วนล่าง.............54

6.1 รูปแบบและวัตถุประสงค์การทดสอบ...54

หน้า

6.2 ตัวอย่างและประชากร.....54
6.3 เครื่องมือและอุปกรณ์.....62
6.4 ขั้นตอนการทดสอบ.....62
6.5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์.....65
6.6 สรุปผลการทดสอบ.....82

บทที่ 7 บทสรุป.....84

7.1 บทสรุป.....84

รายการอ้างอิง.....89

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก รายละเอียดของโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์...94

ภาคผนวก ข อุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่าง.....143

ภาคผนวก ค รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ.....148

ภาคผนวก ง ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ.....151

ภาคผนวก จ การพิจารณาอัตราการใช้พลังงานในการเคลื่อนขาส่วนล่าง
ด้วยอุปกรณ์.....200

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....207

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 6.1 รูปแบบการจัดลำดับความเร็วการเคลื่อนขาของแต่ละบุคคล...............................63

ตารางที่ ง-1 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 1..164

ตารางที่ ง-2 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 2..164

ตารางที่ ง-3 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 3..164

ตารางที่ ง-4 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 4..165

ตารางที่ ง-5 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 5..165

ตารางที่ ง-6 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 6..165

ตารางที่ ง-7 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 7..165

ตารางที่ ง-8 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 8..166

ตารางที่ ง-9 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 9..166

ตารางที่ ง-10 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 10..166

ตารางที่ ง-11 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 11..166

ตารางที่ ง-12 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 12..167

ตารางที่ ง-13 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 13..167

ตารางที่ ง-14 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 14..167

ตารางที่ ง-15 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 15..167

ตารางที่ ง-16 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 1...168

หน้า

ตารางที่ ง-17 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 2..168

ตารางที่ ง-18 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 3..168

ตารางที่ ง-19 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 4..169

ตารางที่ ง-20 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 5..169

ตารางที่ ง-21 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 6..169

ตารางที่ ง-22 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 7..169

ตารางที่ ง-23 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 8..170

ตารางที่ ง-24 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 9..170

ตารางที่ ง-25 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 10..170

ตารางที่ ง-26 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 11..170

ตารางที่ ง-27 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 12..171

ตารางที่ ง-28 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 13..171

ตารางที่ ง-29 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 14..171

ตารางที่ ง-30 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 15..171

ตารางที่ ง-31 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 1..173

ตารางที่ ง-32 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 2..173

ตารางที่ ง-33 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 3..173

ตารางที่ ง-34 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 4..173

หน้า

ตารางที่ ง-35 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 5..174

ตารางที่ ง-36 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 6..174

ตารางที่ ง-37 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 7..174

ตารางที่ ง-38 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 8..174

ตารางที่ ง-39 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 9..175

ตารางที่ ง-40 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 10..175

ตารางที่ ง-41 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 11..175

ตารางที่ ง-42 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 12..176

ตารางที่ ง-43 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 13..176

ตารางที่ ง-44 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 14..176

ตารางที่ ง-45 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 15..176

ตารางที่ ง-46 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 1..177

ตารางที่ ง-47 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 2..177

ตารางที่ ง-48 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 3..177

ตารางที่ ง-49 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 4..177

ตารางที่ ง-50 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 5..178

ตารางที่ ง-51 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 6..178

ตารางที่ ง-52 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 7..178

หน้า

ตารางที่ ง-53 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 8..178

ตารางที่ ง-54 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 9..179

ตารางที่ ง-55 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 10......................................179

ตารางที่ ง-56 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 11......................................179

ตารางที่ ง-57 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 12......................................180

ตารางที่ ง-58 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 13......................................180

ตารางที่ ง-59 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 14......................................180

ตารางที่ ง-60 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 15......................................180

ตารางที่ ง-61 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 1...182

ตารางที่ ง-62 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 2...182

ตารางที่ ง-63 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 3...182

ตารางที่ ง-64 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 4...182

ตารางที่ ง-65 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 5...183

ตารางที่ ง-66 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 6...183

ตารางที่ ง-67 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 7...183

ตารางที่ ง-68 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 8...183

ตารางที่ ง-69 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 9...184

ตารางที่ ง-70 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 10...184

หน้า

ตารางที่ ง-71 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 11..184

ตารางที่ ง-72 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 12..185

ตารางที่ ง-73 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 13..185

ตารางที่ ง-74 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 14..185

ตารางที่ ง-75 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 15..185

ตารางที่ ง-76 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 1..186

ตารางที่ ง-77 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 2..186

ตารางที่ ง-78 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 3..186

ตารางที่ ง-79 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 4..186

ตารางที่ ง-80 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 5..187

ตารางที่ ง-81 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 6..187

ตารางที่ ง-82 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 7..187

ตารางที่ ง-83 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 8..187

ตารางที่ ง-84 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 9..188

ตารางที่ ง-85 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 10.......................................188

ตารางที่ ง-86 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 11.......................................188

ตารางที่ ง-87 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 12.......................................189

ตารางที่ ง-88 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 13.......................................189

หน้า

ตารางที่ ง-89 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 14......................................189

ตารางที่ ง-90 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 15......................................189

ตารางที่ ง-91 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 1..191

ตารางที่ ง-92 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 2..191

ตารางที่ ง-93 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 3..191

ตารางที่ ง-94 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 4..191

ตารางที่ ง-95 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 5..192

ตารางที่ ง-96 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 6..192

ตารางที่ ง-97 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 7..192

ตารางที่ ง-98 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 8..192

ตารางที่ ง-99 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 9..193

ตารางที่ ง-100 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 10..193

ตารางที่ ง-101 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 11..193

ตารางที่ ง-102 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 12..194

ตารางที่ ง-103 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 13..194

ตารางที่ ง-104 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 14..194

ตารางที่ ง-105 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 15..194

ตารางที่ ง-106 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 1...195

หน้า

ตารางที่ ง-107 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 2..195

ตารางที่ ง-108 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 3..195

ตารางที่ ง-109 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 4..195

ตารางที่ ง-110 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 5..196

ตารางที่ ง-111 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 6..196

ตารางที่ ง-112 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 7..196

ตารางที่ ง-113 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 8..196

ตารางที่ ง-114 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 9..197

ตารางที่ ง-115 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 10..197

ตารางที่ ง-116 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 11..197

ตารางที่ ง-117 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 12..198

ตารางที่ ง-118 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 13..198

ตารางที่ ง-119 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 14..198

ตารางที่ ง-120 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 15..198

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.1 ลักษณะงานการเคลื่อนที่ที่พิตส์ใช้..15

รูปที่ 3.2 แนวคิดความกว้างเป้าหมายประสิทธิผล (W_e)...21

รูปที่ 3.3 แนวคิดความกว้างเป้าหมายประสิทธิผลในสองมิติ..22

รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์เชิงวงรีของการกระจายตัวของข้อมูลในแกน x และ y 24

รูปที่ 3.5 เส้นทางต่อเนื่องเส้นตรงตามหลักการของกฎสเตียริง..24

รูปที่ 3.6 เส้นทางต่อเนื่องตามหลักการของกฎสเตียริง...25

รูปที่ 4.1 Multidirectional Pointing Task จาก ISO 9241-9 28

รูปที่ 4.2 ความกว้างเป้าหมายประสิทธิผล...28

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการกำหนดค่าดัชนีความยากของคำ...29

รูปที่ 4.4-ก หน้าโปรแกรมการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง...30

รูปที่ 4.4-ข หน้าโปรแกรมการทดสอบงานกราฟิกวงกลม..30

รูปที่ 4.5 หน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรมการทดสอบ...31

รูปที่ 4.6 หน้าต่างของโปรแกรมการทดสอบการใช้งานเมาส์...32

รูปที่ 4.7 หน้าต่างโปรแกรมการทดสอบการทำงานพิมพ์...33

รูปที่ 4.8 หน้าต่างโปรแกรมการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง...34

รูปที่ 4.9 หน้าต่างโปรแกรมการทดสอบงานกราฟิกวงกลม..34

รูปที่ 4.10-ก กราฟตัวอย่างแสดงผลการทดสอบการใช้งานเมาส์จากผู้ทดสอบหนึ่งคน...............36

หน้า

รูปที่ 4.10-ข กราฟแสดงผลการทดสอบการใช้งานเมาส์..36

รูปที่ 4.11 ลักษณะของเป้าหมายเมื่อ A= W/2...38

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรงของผู้ทดสอบ 10 คน.........................40

รูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลมของผู้ทดสอบ 10 คน..........................41

รูปที่ 4.14 กราฟแสดงผลการทดสอบงานพิมพ์...42

รูปที่ 5.1 กราฟแสดงผลการทดสอบงานใช้งานเมาส์เมื่อมีการเคลื่อนที่ของขาส่วนล่าง..............47

รูปที่ 5.2 กราฟแสดงผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรงเมื่อมีการเคลื่อนที่ของขาส่วนล่าง.........48

รูปที่ 5.3 กราฟแสดงผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลมเมื่อมีการเคลื่อนที่ของขาส่วนล่าง..........49

รูปที่ 5.4 กราฟแสดงผลการทดสอบงานพิมพ์เมื่อมีการเคลื่อนที่ของขาส่วนล่าง........................50

รูปที่ 6.1 ฟังก์ชั่นความหนาแน่นของความน่าจะเป็น...56

รูปที่ 6.2 ช่วงความน่าจะเป็นของค่า μ_X 58

รูปที่ 6.3 การทดสอบ...64

รูปที่ 6.4 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ที่ 0 รอบต่อนาที โดยผู้ทดสอบหนึ่งคน........................65

รูปที่ 6.5 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ของผู้ทดสอบหนึ่งคน...66

รูปที่ 6.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำงานกับความเร็วการเคลื่อนขา...67

รูปที่ 6.7 ผลการทดสอบแนวโน้มประสิทธิภาพการทำงานเมาส์ของผู้ทดสอบชาย 15 คน...........68

รูปที่ 6.8 กราฟแสดงจำนวนคนที่มีประสิทธิภาพในการทำงานเมาส์

เพิ่มขึ้นและลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ...69

หน้า

รูปที่ 6.9 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบเพศชายที่มีประสิทธิภาพในการทำงานเมาส์
เพิ่มขึ้นและลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ..70
รูปที่ 6.10 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบเพศชายที่มีประสิทธิภาพในการทำงานเมาส์
เพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ...71
รูปที่ 6.11 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบเพศหญิงที่มีประสิทธิภาพในการทำงานเมาส์
เพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ...71
รูปที่ 6.12 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบที่มีประสิทธิภาพในการทำงานเมาส์
เพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ...72
รูปที่ 6.13 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบเพศชายที่มีประสิทธิภาพในการทำงานกราฟิกเส้นตรง
เพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ...74
รูปที่ 6.14 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบเพศหญิงที่มีประสิทธิภาพในการทำงานกราฟิกเส้นตรง
เพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ...75
รูปที่ 6.15 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบที่มีประสิทธิภาพในการทำงานกราฟิกเส้นตรง
เพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ...76
รูปที่ 6.16 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบเพศชายที่มีประสิทธิภาพในการทำงานกราฟิกวงกลม
เพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ...77
รูปที่ 6.17 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบเพศหญิงที่มีประสิทธิภาพในการทำงานกราฟิกวงกลม
เพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ...77

หน้า

รูปที่ 6.18 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบที่มีประสิทธิภาพในการทำงานกราฟิกวงกลม เพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ....................78

รูปที่ 6.19 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบเพศชายที่มีประสิทธิภาพในการทำงานพิมพ์ เพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ....................80

รูปที่ 6.20 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบเพศหญิงที่มีประสิทธิภาพในการทำงานพิมพ์ เพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ....................80

รูปที่ 6.21 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบที่มีประสิทธิภาพในการทำงานพิมพ์ เพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ....................81

รูปที่ 6.22 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบที่สามารถรักษาประสิทธิภาพในการทำงานแต่ละประเภทที่ความเร็วต่าง ๆ....................82

รูปที่ ข-1 แบบร่างของอุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่าง....................146

รูปที่ ข-2 อุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่างที่ใช้งาน....................147

รูปที่ ง-1 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์เบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 1....................152

รูปที่ ง-2 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์เบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 2....................152

รูปที่ ง-3 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์เบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 3....................153

รูปที่ ง-4 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์เบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 4....................153

รูปที่ ง-5 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์เบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 5....................154

รูปที่ ง-6 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรงเบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 1....................155

หน้า

รูปที่ ง-7 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรงเบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 2..............................155

รูปที่ ง-8 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรงเบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 3..............................156

รูปที่ ง-9 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรงเบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 4..............................156

รูปที่ ง-10 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรงเบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 5............................157

รูปที่ ง-11 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลมเบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 1.............................158

รูปที่ ง-12 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลมเบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 2.............................158

รูปที่ ง-13 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลมเบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 3.............................159

รูปที่ ง-14 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลมเบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 4.............................159

รูปที่ ง-15 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลมเบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 5.............................160

รูปที่ ง-16 ผลการทดสอบงานพิมพ์เบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 1...161

รูปที่ ง-17 ผลการทดสอบงานพิมพ์เบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 2...161

รูปที่ ง-18 ผลการทดสอบงานพิมพ์เบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 3...162

รูปที่ ง-19 ผลการทดสอบงานพิมพ์เบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 4...162

รูปที่ ง-20 ผลการทดสอบงานพิมพ์เบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 5...163

รูปที่ จ-1 กลไกขาในการเคลื่อนที่ตามเครื่องออกกำลัง...202

รูปที่ จ-2 ตำแหน่งที่ 1 เมื่อเท้าเลื่อนขึ้นไปยังจุดสูงสุดของทางเลื่อน.......................................202

รูปที่ จ-3 ตำแหน่งที่ 2 เมื่อเท้าเลื่อนลงไปยังจุดต่ำสุดของทางเลื่อน.......................................203

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์

คอมพิวเตอร์ได้ถูกยกความสำคัญและกลายเป็นสิ่งหนึ่งที่ขาดไม่ได้ในชีวิตมนุษย์ โดยเฉพาะในสังคมแห่งการสื่อสารและข้อมูลดังเช่นปัจจุบัน ที่ความรู้ความสามารถในการใช้งานคอมพิวเตอร์มีความจำเป็นสำหรับคนทุกเพศทุกวัย [1] คอมพิวเตอร์ได้สร้างความสะดวกสบายในการทำงาน [2, 3] ทำให้มนุษย์สามารถทำงานได้ยาวนานและต่อเนื่อง รวมถึงสามารถเปลี่ยนแปลงลักษณะงานและลดการทำงานโดยมนุษย์บางประเภทที่สามารถควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ลงได้ เช่น การควบคุมเครื่องจักรอุตสาหกรรม [4] ส่งผลให้มนุษย์สามารถทำงานทุกอย่างได้เพียงนั่งควบคุมสิ่งต่าง ๆ ด้วยคอมพิวเตอร์เท่านั้น การทำงานในปัจจุบันส่วนใหญ่จึงเป็นการนั่งทำงานหน้าคอมพิวเตอร์ต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน นอกจากการทำงานแล้ว สิ่งบันเทิงต่าง ๆ ที่สามารถเข้าถึงได้บนอินเตอร์เน็ตก็อาจส่งผลให้มนุษย์โดยเฉพาะวัยรุ่นใช้เวลาส่วนใหญ่ในการนั่งหน้าคอมพิวเตอร์นาน ๆ ติดต่อกันได้เช่นกัน [5] การนั่งใช้งานคอมพิวเตอร์เป็นเวลานานสามารถส่งผลเสียแก่ร่างกายได้ในระยะยาว ผลเสียดังกล่าวคือการเกิดความผิดปกติต่อส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น ดวงตา ไหล่ แขน ข้อมือ นิ้ว ขา เป็นต้น ทั้งนี้ล้วนเป็นผลมาจากการนั่งที่ไม่ถูกอิริยาบถรวมถึงการนั่งด้วยอิริยาบถเดิมซ้ำ ๆ นอกจากนั้น การใช้งานคอมพิวเตอร์เป็นเวลานานยังอาจมีผลต่อระบบไหลเวียนโลหิต คือทำให้การไหลเวียนโลหิตต่ำเนื่องจากการนั่งเฉย ๆ มากเกินไป ผลเสียดังที่กล่าวมานั้นมีแนวโน้มที่จะมีเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เพราะความสำคัญและค่านิยมในการใช้คอมพิวเตอร์และเครือข่ายสังคมออนไลน์ที่มีมากขึ้น ซึ่งหากเกิดแล้วขึ้น จะเป็นการยากที่จะแก้ไขหรือบรรเทาอาการเหล่านั้นให้ดีขึ้น โดยอาจต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายจำนวนมาก วิธีที่ดีกว่าจึงเป็นการป้องกันอาการเหล่านั้นไม่ให้เกิดขึ้น ซึ่งได้มีการศึกษาวิจัยถึงวิธีการป้องอาการที่เกิดขึ้นจากการทำงานดังกล่าวต่าง ๆ นานา และมีคำแนะนำเกิดขึ้นมากมาย เช่น การเปลี่ยนอิริยาบถการทำงาน การจัดสถานที่ทำงานใหม่ รวมถึงการออกแบบอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานคอมพิวเตอร์ให้ถูกตามหลักการสรีระวิทยา (Ergonomic) อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบตามหลักสรีระวิทยานั้นมีราคาสูงและค่อนข้างหาได้ยากในประเทศไทย ทางแก้ไขที่เป็นไปได้มากกว่าคือการเปลี่ยนอิริยาบถการทำงานของตัวมนุษย์เอง แต่ก็จำเป็นต้องได้รับความร่วมมือที่ดีจากบุคคลนั้น ๆ ด้วย

อย่างไรก็ตาม ในการทำงานคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน การปรับเปลี่ยนอิริยาบทควบคู่ไประหว่างการทำงานไปด้วยนั้นสามารถทำได้ค่อนข้างยาก เพราะเมื่อใดที่บุคคลมีสมาธิจดจ่อกับ

งานที่ทำแล้ว การคำนึงถึงการเปลี่ยนท่าทางการนั่งทำงานมักจะไม่เกิดขึ้น และหากเกิดขึ้น ก็มักจะมีการละสมาธิจากงานที่ทำอยู่ ซึ่งอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานนั้นลดลง

วิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอแนวคิดในการบังคับการเคลื่อนไหวส่วนของร่างกายมนุษย์ โดยในที่นี้คือร่างกายส่วนล่าง เพื่อเปลี่ยนอิริยาบถของมนุษย์โดยอาศัยเครื่องจักรในการควบคุมการเคลื่อนที่นั้น ทั้งนี้เพื่อให้ร่างกายมนุษย์สามารถเคลื่อนไหวได้ตลอดเวลาโดยที่มนุษย์ไม่จำเป็นต้องละสมาธิจากการทำงาน เป็นการเพิ่มช่วงการเคลื่อนที่ของข้อต่อและกล้ามเนื้อและเพิ่มอัตราการไหลเวียนโลหิตให้สูงขึ้น ป้องกันอาการผิดปกติของร่างกายที่อาจเกิดขึ้นดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยที่ไม่เป็นการรบกวนการทำงานคอมพิวเตอร์ของมนุษย์ให้สูญเสียประสิทธิภาพ มีกรณีศึกษา คือ เป็นไปได้หรือไม่ที่จะบังคับร่างกายส่วนล่างให้มีการเคลื่อนไหวตลอดเวลาในขณะที่มนุษย์กำลังทำงานคอมพิวเตอร์ และหากเป็นไปได้ การบังคับการเคลื่อนไหวนั้นมีขอบเขตความเร็วหรือแรงที่มากที่สุดเท่าใด ที่จะไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานคอมพิวเตอร์ของมนุษย์ลดลง

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์หลักคือ

1. ศึกษารูปแบบและจัดประเภทของการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ และศึกษาการวัดประสิทธิภาพของการทำงาน เพื่อออกแบบการทดลองโดยนำประเภทที่ได้นั้นไปสร้างการทดลองให้มีความสอดคล้องกัน
2. เขียนโปรแกรมวัดประสิทธิภาพของการทำงานให้มีความน่าเชื่อถือและมีความใกล้เคียงกับการทำงานจริง
3. นำโปรแกรมการทดลองดังกล่าวไปใช้หาขอบเขตของความเร็วในการเคลื่อนไหวที่มนุษย์ยังคงสามารถทำงานคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์สำหรับออกกำลังกายขณะทำงานคอมพิวเตอร์

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ศึกษาการทำงานคอมพิวเตอร์และจัดรูปแบบประเภทของการทำงานโดยอาศัยหลักการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ และศึกษาการวัดประสิทธิภาพการทำงาน เพื่อออกแบบโปรแกรมและการทดลองที่มีประสิทธิภาพและสามารถแทนการทำงานคอมพิวเตอร์ในชีวิตจริงตามรูปแบบที่จัดได้ นำโปรแกรมมาใช้หาผลกระทบของการเคลื่อนที่ของขาส่วนล่างต่อประสิทธิภาพการนั่งทำงานคอมพิวเตอร์ของมนุษย์ ภายใต้การควบคุมสภาพแวดล้อมให้คงที่ โดยศึกษาว่า ผลกระทบนั้นจะเป็นการเพิ่มขึ้น คงที่ หรือลดลงของประสิทธิภาพในการทำงาน

คอมพิวเตอร์อย่างไร และความยากในงานแต่ละรูปแบบมีความสัมพันธ์อย่างไรกับการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพเหล่านั้น

1.4 เนื้อหาโดยรวมของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วยเนื้อหา 7 บท และภาคผนวก 4 บท โดยมีลำดับเนื้อหาและรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความสำคัญ และที่มาของปัญหา รวมถึงวัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยาพนธ์ และเนื้อหาโดยรวม

บทที่ 2 เป็นเนื้อหาเกี่ยวกับปริทัศน์วรรณกรรม ซึ่งจะกล่าวถึงงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์นี้ โดยมีเนื้อหาเกี่ยวกับปัญหาสุขภาพจากการใช้งานคอมพิวเตอร์เป็นเวลานาน รวมถึงวิธีการแก้ไขและป้องกันปัญหาเหล่านั้น ซึ่งมีหลากหลายวิธี และวิธีที่ดีที่สุดคือการออกกำลังกาย ซึ่งจะบทนี้จะกล่าวถึงการออกกำลังกายเพื่อการบำบัดรักษา ซึ่งมีหลากหลายประเภท และประเภทที่มีความสำคัญกับวิทยานิพนธ์คือ การออกกำลังกายแบบ Passive Exercise นอกจากนั้น ในบทนี้ จะกล่าวถึงการแบ่งประเภทการทำงานคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อไปในการออกแบบการทดสอบ

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวัดประสิทธิภาพการทำงาน โดยจะกล่าวถึงมาตรฐานการประเมินประสิทธิภาพการทำงานที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย อันประกอบด้วยสองกฎหลัก ๆ คือ กฎของฟิตส์ และกฎสเตียริง นอกจากนั้น ในบทนี้ ยังจะกล่าวถึงการพิจารณาอัตราการใช้พลังงานในการเคลื่อนขาส่วนล่างอีกด้วย

บทที่ 4 เกี่ยวกับโปรแกรมทดสอบประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะกล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบ และการทดสอบโปรแกรมที่ออกแบบว่าสามารถใช้งานวัดประสิทธิภาพการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่

บทที่ 5 การทดสอบเบื้องต้น กล่าวถึงการทดสอบวัดประสิทธิภาพการทำงานที่เปลี่ยนไปเมื่อมี การเคลื่อนขาส่วนล่าง โดยจะทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาขอบเขตของการทดลอง รวมถึงศึกษาข้อผิดพลาดเพื่อพัฒนาการทดสอบจริงให้สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด

บทที่ 6 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์ร่วมกับการเคลื่อนขาส่วนล่าง ซึ่งในบทนี้จะเป็นการทดสอบจริง โดยนำข้อเสนอแนะจากการทดสอบเบื้องต้นมาใช้ออกแบบด้วย

บทที่ 7 นำเสนอบทสรุปของวิทยานิพนธ์ ประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

ส่วนสุดท้ายของวิทยานิพนธ์คือภาคผนวก โดยที่ภาคผนวก ก จะแสดงรหัสโปรแกรมการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้ ภาคผนวก ข จะแสดงรายละเอียด

ของอุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่าง ภาคผนวก ค แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบ และภาคผนวก ง แสดงผลข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบโดยผู้ทดสอบทั้งหมด

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรม

วิทยานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์จากการถูกรบกวนโดยการบังคับการเคลื่อนไหวของขาส่วนล่าง เพื่อแก้ไขปัญหาสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นจากการนั่งใช้งานคอมพิวเตอร์เป็นเวลานาน ในบทนี้ จึงจะกล่าวถึงการศึกษาวิจัยผลเสียจากการใช้คอมพิวเตอร์ และการแก้ไข รวมถึงการออกกำลังกายที่จะสามารถรักษาและพัฒนาสุขภาพได้ และนอกจากนั้น จะกล่าวถึงหลักการและเหตุผลในการแบ่งประเภทของการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นประโยชน์ในการวางแผนการออกแบบต่อไป

2.1 ผลเสียจากการนั่งใช้คอมพิวเตอร์เป็นเวลานาน

การนั่งนาน ๆ สามารถส่งผลเสียต่อร่างกายได้ เนื่องจากการนั่งด้วยอิริยาบทเดิมเป็นเวลานานนั้นจะทำให้กล้ามเนื้อชุดเดิมจำเป็นต้องออกแรงตลอดเวลาเพื่อบังคับการเคลื่อนไหวของร่างกายให้อยู่กับที่ ส่งผลให้เกิดความล้าแก่กล้ามเนื้อชุดนั้น ไม่เพียงเท่านั้น การเคลื่อนไหวร่างกายที่จำกัดทำให้ร่างกายมีความต้องการโลหิตน้อยลง ส่งผลให้การไหลเวียนโลหิตของร่างกายต่ำลง โลหิตจึงไปหล่อเลี้ยงกล้ามเนื้อไม่เพียงพอ สามารถทำให้เกิดอาการล้าได้มากขึ้น และการไหลเวียนโลหิตที่ต่ำดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดการคั่งค้างของโลหิตบริเวณร่างกายส่วนล่าง มีการสะสมของเกล็ดเลือดและโปรตีน ความดันและความหนืดของโลหิตจะเพิ่มสูงขึ้น และความดันที่หมอนรองกระดูกสันหลังจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน

โรคร้ายแรงที่อาจเกิดขึ้นได้อีกชนิดหนึ่งคือโรค Economy Class Sysdrome [6, 7, 8] ซึ่งเป็นโรคที่มักเกิดกับผู้ที่ต้องนั่งเป็นเวลานานโดยไม่มีการขยับร่างกาย โดยเฉพาะผู้ที่เดินทางโดยเครื่องบินชั้นประหยัด อันเป็นที่มาของชื่อโรคนี้ โรคนี้จะเกิดขึ้นเมื่อผู้ป่วยนั่งด้วยอิริยาบทเดิมนาน ๆ โดยมีสาเหตุหลักคือการอุดตันของเส้นเลือดดำที่บริเวณขา ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากความหนืดของเลือดที่เพิ่มขึ้นเพราะการเพิ่มขึ้นของเม็ดเลือดและเกล็ดเลือด หรืออาจเป็นไปได้จากปริมาณของโปรตีนในกระแสเลือดที่มีมากเกินไปเพราะการขาดน้ำ ส่งผลให้เลือดมีการไหลเวียนที่ช้าลง และอาจส่งผลให้เลือดแข็งตัวได้ นอกจากนั้น การไหลเวียนของเลือดที่ต่ำลงยังอาจมีสาเหตุมาจากการนั่ง ซึ่งจะทำให้เส้นเลือดที่ขาพับหรือสะโพกโดนกดทับ เลือดจึงไหลได้ไม่สะดวก ทำให้เลือดบริเวณขามีโอกาสแข็งตัวได้เช่นเดียวกัน การแข็งตัวของเลือดนี้ จะส่งผลให้เลือดไม่สามารถไหลกลับสู่หัวใจได้มากเท่าที่ควร

จากการอุดตันของเส้นเลือดดำบริเวณขา ส่งผลให้มีลิ่มเลือดเกิดขึ้นจำนวนมาก ซึ่งลิ่มเลือดเหล่านี้จะเป็นอันตรายหากไหลเข้าสู่หัวใจหรือปอด เพราะจะไปทำให้เกิดการอุดตันของกระแส

เลือด เลือดจึงไม่สามารถพาออกซิเจนไปเข้าสู่กระบวนการหายใจระดับเซลล์ได้ ส่งผลให้เกิดอาการเหนื่อยล้า อ่อนเพลีย ปวด เมื่อย เกร็งขาและน่อง หายใจติดขัด อาจทำให้เกิดอัมพฤกษ์หากลิ่มเลือดนี้ไหลเข้าไปอุดตันที่เส้นเลือดในสมอง และอาจเสียชีวิตได้หากอาการเกิดขึ้นเป็นเวลานานเพราะออกซิเจนไม่เพียงพอต่อร่างกาย

นอกจากผลเสียจากการนั่งนาน ๆ แล้ว หากการนั่งนั้น เป็นการนั่งทำงานคอมพิวเตอร์ ยังอาจจะก่อให้เกิดผลเสียอื่น ๆ ตามมาได้อีก เช่น การนั่งจ้องหน้าจอคอมพิวเตอร์เป็นเวลานาน แสงจากหน้าจอจะส่งผลให้เกิดความเมื่อยล้าแก่ดวงตาได้ และหากบุคคลนั่งทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานาน เป็นกิจวัตรเดิม ๆ ทุกวัน อาจทำให้เกิดโรคอื่น ๆ ตามมาได้อีก เช่น โรคในกลุ่ม Repetitive Strain Injury (RSI) อันได้แก่ Occupational Overuse Syndrome (OOS), Cumulative Trauma Disorder (CTD), Work Related Upper Limb Disorders (WRULD) หรือ Carpal Tunnel Syndrome (CTS) เป็นต้น [9]

กลุ่มโรค Repetitive Strain Injury [10] เป็นกลุ่มโรคที่เกิดจากการใช้งานคอมพิวเตอร์ ด้วยอิริยาบทการทำงานที่ไม่ถูกต้อง วิธีการทำงานที่ไม่ดี หรือการนั่งทำงานเป็นเวลาที่นานเกินไป ซึ่งจะก่อให้เกิดอาการปวดเมื่อย ล้า และไม่มีแรงของคอ ไหล่ หลัง แขน มือ ข้อมือ และนิ้วมือ [11, 12] และยังอาจทำให้เกิดอาการซึมเศร้า [13] โดยมีสาเหตุมาจากการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ เอ็น และระบบประสาท ซึ่งจะส่งผลในระยะยาวคือการทำงานของอวัยวะร่างกายจะทำงานผิดปกติ อาการหลัก ๆ ที่แสดงถึงการเป็นโรคนี้ เช่น

1. อาการเมื่อยล้าและเหนื่อยงาน
2. มือและแขนไม่มีแรง
3. ทำของหล่นบ่อย
4. รู้สึกมือหนัก มีอาการชา
5. ควบคุมตำแหน่งและการเคลื่อนไหวลำบาก
6. มือเย็น
7. มีการนวดตัวเองบ่อย ๆ โดยไม่รู้ตัว

เมื่อมีอาการเหล่านี้จะใช้เวลานานเป็นปีก่อนที่จะแสดงออกมา แต่เมื่อแสดงออกมาขึ้นแล้ว จะก่อให้เกิดความลำบากในการใช้ชีวิตประจำวันอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นการเขียนหนังสือ การทำอาหาร การขับรถ หรือการพิมพ์ดีด ฯลฯ ล้วนจะมีผลกระทบทั้งสิ้น และการรักษาจะเป็นไปได้ค่อนข้างลำบากและใช้เวลานานหลายปี

2.2 การแก้ไขและป้องกันปัญหาจากการนั่งใช้คอมพิวเตอร์

ปัญหาสุขภาพที่เกิดขึ้นจากการนั่งใช้คอมพิวเตอร์จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้น หากเกิดขึ้นแล้วจะเป็นการยากในการรักษาให้หายขาด ฉะนั้นวิธีที่ดีที่สุด คือการป้องกันไม่ให้อาการเหล่านั้นเกิดขึ้น ซึ่งสามารถปฏิบัติโดยตัวผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์เอง การป้องกันอาการดังกล่าวสามารถทำได้โดยการปรับอิริยาบถและท่าทางการนั่งทำงาน ให้ถูกต้องและเหมาะสมกับสรีระร่างกายของแต่ละบุคคล [12]

พนักพิงเก้าอี้ ควรปรับให้ทำมุมประมาณ 100 - 110 องศา และควรปรับให้สามารถรองรับช่วงโค้งของกระดูกสันหลังช่วงเอวได้ดี ความสูงของเก้าอี้ควรมีความสูงที่พอเหมาะที่เท้าจะสามารถสัมผัสพื้นได้พอดี และขาจะขนานหรืออยู่ต่ำกว่าสะโพกเล็กน้อย หากเท้าไม่สัมผัสพื้น ควรมีที่วางเท้าเพื่อให้ขาวางตัวดังที่กล่าวไป ที่วางแขนของเก้าอี้ควรทำให้ไหล่อยู่ที่ท่าที่ผ่อนคลาย ไม่ยกขึ้น

แป้นพิมพ์และเมาส์วางให้อยู่ในระยะที่พอดีกับช่วงแขน การวางมือบนแป้นพิมพ์ควรอยู่ต่ำกว่าข้อศอกเล็กน้อย

ขอบบนสุดของจอภาพคอมพิวเตอร์ควรอยู่พอดีกับระดับสายตา วางระยะห่างให้เหมาะสมและควรใช้แผ่นกรองแสงที่ออกมาจากจอ

การปรับอิริยาบทและท่าทางในการทำงานจะช่วยให้กล้ามเนื้อและกระดูกอยู่ในสภาวะอย่างที่ควรเป็น อย่างไรก็ตาม ถึงแม้จะนั่งด้วยท่าทางที่ถูกต้องเหมาะสม แต่หากนั่งเป็นระยะเวลานาน ก็อาจทำให้การไหลเวียนโลหิตช้าลงหรือหยุดชะงัก เกิดความเมื่อยล้าได้เช่นกัน การหยุดพักผ่อนร่างกายจึงเป็นการป้องกันที่ดีที่สุด โดยควรหยุดพักการทำงานและบริหารร่างกายประมาณ 1 – 2 นาที ทุก ๆ 20 – 30 นาที โดยลองหางานอื่นทำในช่วงที่พัก เช่น เดินไปเข้าห้องน้ำหรือลุกขึ้นยืดร่างกาย

นอกจากนั้น ควรพักสายตาประมาณ 5 นาทีหลังจากการจ้องหน้าจอคอมพิวเตอร์เป็นเวลานาน ๆ เพราะแสงและรังสีจากหน้าจอคอมพิวเตอร์จะส่งผลให้ตาเกิดอาการเมื่อยล้า และทำให้สายตาสั้นได้ โดยที่การพักสายตานั้น สามารถทำได้โดยหลับตา หรือการมองไปในทิศทางอื่นไกล ๆ แต่ไม่ควรจ้องเข้าไปในที่ที่มีแสงจ้า

ปัญหาด้านสุขภาพจากการนั่งทำงานคอมพิวเตอร์นั้น ได้รับความสนใจในงานวิจัยหลายงาน ซึ่งได้มีความเห็นว่าการปรับแก้อิริยาบทในการทำงานเป็นการแก้ไขที่ดี แต่บางครั้งก็ทำได้ยากอาจเพราะความเคยชิน หรือความไม่ใส่ใจในตัวผู้ทำงานเอง จึงเกิดงานวิจัยหลายงานที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหานี้โดยการออกแบบอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ถูกต้องตามหลักสรีระศาสตร์และช่วยกระตุ้นให้ผู้ใช้สามารถปรับท่าทางของตนเองให้ถูกต้องเหมาะสมได้ รวมถึงการออกแบบอุปกรณ์ที่สามารถช่วยผ่อนคลายผู้ใช้ได้อีกด้วย เช่น เบาะนั่งที่สามารถช่วยปรับกระดูกสันหลังให้เหมาะสม

เพื่อป้องกันอาการปวดหลัง [14] หรือเก้าอี้สำนักงานที่ได้รับการออกแบบโดยหลักสรีระศาสตร์ (Ergonomic Chair) เป็นต้น

2.3 การออกกำลังกายเพื่อการบำบัดรักษา (THERAPEUTIC EXERCISE)

การออกกำลังกายสามารถสร้างประโยชน์และมีผลต่อสรีระทางร่างกาย ทั้งระบบหัวใจและหลอดเลือด ระบบหายใจ ระบบกล้ามเนื้อ ระบบประสาท ระบบต่อมไร้ท่อ ระบบขับถ่าย และระบบทางเดินอาหาร ทั้งนี้ประโยชน์ที่เกิดขึ้นกับแต่ละระบบนั้นจะขึ้นอยู่กับเป้าหมายของการออกกำลังกายนั้น ๆ ตามที่ผู้ออกกำลังกายต้องการ โดยเป้าหมายหลักในการออกกำลังกายเพื่อการบำบัดรักษา คือ [15]

1. ออกกำลังกายเพื่อเพิ่มพิสัยข้อ (Range of motion exercise)
2. ออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและคงทน (Exercise for strength and endurance)
3. ออกกำลังเพื่อเพิ่มความสามารถในการประสานงานของกล้ามเนื้อ (coordination exercise)
4. ออกกำลังเพื่อการผ่อนคลาย (relaxation exercise)

ซึ่งส่วนใหญ่จะมีจุดประสงค์ในการพัฒนาระบบกล้ามเนื้อ ระบบหายใจ และระบบประสาทนั่นเอง

การแบ่งประเภทของการออกกำลังกายมีรูปแบบและหลักเกณฑ์ด้วยกันหลายอย่างขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการออกกำลังกาย โดยจำแนกได้ดังนี้

แบ่งตามลักษณะการใช้พลังงาน แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. Anaerobic exercise เป็นการออกกำลังกาย ซึ่งใช้พลังงานแบบที่ไม่ใช้ออกซิเจน
2. Aerobic exercise เป็นการออกกำลังกายที่ใช้พลังงานโดยอาศัยออกซิเจน

แบ่งตามลักษณะการเคลื่อนที่ของข้อและกล้ามเนื้อ แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. Isometric exercise เป็นการออกกำลังกายโดยไม่มีการเปลี่ยนความยาวของกล้ามเนื้อและไม่มีการเคลื่อนที่ของข้อ
2. Isotonic exercise เป็นการออกกำลังโดยมีการเปลี่ยนแปลงความยาวของกล้ามเนื้อและมีการเคลื่อนที่ของข้อ โดยแรงต้านทานคงที่ ซึ่งมี 2 แบบ คือ
    a. ชนิดที่กล้ามเนื้อหดตัวขณะเกร็งสู้แรงต้านทาน (concentric)
    b. ชนิดที่ที่กล้ามเนื้อมีการยืดตัวขณะเกร็งสู้แรงต้านทาน (eccentric)

3. Isokinetic exercise เป็นการออกกำลังโดยมีการเปลี่ยนแปลงความยาวของกล้ามเนื้อ และมีการเคลื่อนที่ของข้อ โดยมีความเร็วในการเคลื่อนไหวของข้อคงที่ และให้ความตึงตัวของกล้ามเนื้อสูงสุดตลอดเวลา

แบ่งตามวัตถุประสงค์ของการออกกำลังเพื่อการรักษา แบ่งได้ตามวัตถุประสงค์ดังที่ได้กล่าวไปแล้วเป็น 4 ประเภท คือ

1. ออกกำลังเพื่อเพิ่มพิสัยของข้อ (range of motion exercise)
2. ออกกำลังเพื่อเพิ่มความแข็งแรง และคงทน (exercise for strength and endurance)
3. ออกกำลังเพื่อเพิ่มความสามารถในการประสานงานของกล้ามเนื้อ (coordination exercise)
4. ออกกำลังเพื่อการผ่อนคลาย (relaxation exercise)

แบ่งตามผู้ออกแรง แบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. Active exercise คือให้ผู้ป่วยออกแรงทำเองทั้งหมด มักใช้ในกรณีที่ไม่มีการติดของข้อ
2. Passive exercise ผู้ป่วยอยู่เฉยๆ โดยจะมีผู้บำบัดหรือเครื่องมือช่วยในการเคลื่อนไหวข้อมักจะใช้การออกกำลังแบบนี้ในกรณีที่พิสัยของข้อปกติ แต่ผู้ป่วยไม่มีแรงที่จะขยับข้อได้เองหรือ ผู้ป่วยไม่รู้สึกตัว
3. Active assistive exercise ให้ผู้ป่วยทำเองให้มากที่สุด แล้วจึงใช้แรงจากภายนอกช่วยให้เคลื่อนไหวจนครบพิสัยของข้อ มักใช้ในกรณีที่ผู้ป่วยอ่อนแรง
4. Passive stretching exercise ให้ผู้ป่วยผ่อนคลายกล้ามเนื้อ แล้วใช้แรงจากภายนอกดัดข้อให้ยืดออก

ในวิทยานิพนธ์นี้ จะให้ความสนใจที่การออกกำลังกายประเภท Passive Exercise เพราะเป็นการออกกำลังกายแบบที่ผู้ป่วยไม่จำเป็นต้องควบคุมการเคลื่อนไหวเอง ฉะนั้น สมาธิของผู้ป่วยจึงไม่จำเป็นต้องจดจ่ออยู่ที่การออกกำลังกาย ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของการทดลองที่ผู้ทดลองสามารถทำงานได้โดยไม่ละสมาธิจากงานในขณะที่ออกกำลังกายโดยการช่วยเหลือจากอุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่าง การออกกำลังกายประเภทนี้มีจุดประสงค์หลักคือช่วยเพิ่มพิสัยของข้อ เพราะเมื่อร่างกายไม่มีหรือมีการเคลื่อนไหวน้อยเป็นเวลานาน ๆ เช่น การนั่งทำงานคอมพิวเตอร์ ร่างกายมักจะเกิดการติดของข้อขึ้น ซึ่งเกิดจากการหดสั้นของกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อบริเวณรอบ ๆ รวมถึงมีการสร้าง Collagen และ Reticulin ในเนื้อเยื่อนั้น ร่วมกับการหล่อลื่นของข้อที่ลดลงและการเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้อ ฉะนั้น การที่ข้อมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา จะช่วยเพิ่มพิสัยของ

ข้อ และป้องกันการติดของข้อที่จะเกิดขึ้นได้ ทำให้ข้อต่อและกล้ามเนื้อมีการใช้งาน ป้องกันการลีบของกล้ามเนื้อ

นอกจากนี้ การออกกำลังกายโดยวิธี Passive นี้จะยังช่วยในเรื่องของการไหลเวียนโลหิตในร่างกาย โดยเฉพาะในส่วนที่มีการเคลื่อนไหวตลอดเวลา เพราะการเคลื่อนที่ของร่างกายที่เกิดขึ้นจะมีส่วนช่วยป้องกันการเกิดลิ่มเลือดสะสมที่เป็นสาเหตุของเส้นเลือดอุดตันได้ จึงช่วยให้การหมุนเวียนโลหิตของร่างกายสามารถดำเนินได้อย่างเป็นปกติ เช่น การนำอุปกรณ์ออกกำลังกายขาแบบ passive ช่วยออกกำลังกายขาส่วนล่างให้แก่คนไข้ในห้องผ่าตัด ซึ่งสามารถลดการเกิดลิ่มเลือดสะสมเริ่มต้นได้ถึง 77% [16] และผลสืบเนื่องจากการรักษาการไหลเวียนโลหิตให้เป็นปกติ ความดันโลหิตจะถูกรักษาให้คงที่ได้อีกด้วย และจากการศึกษาผลจากการออกกำลังกายโดยวิธี Passive ที่มีต่อการบริหารกระดูกข้อต่อของข้อมือ พบว่าช่วงพิสัยของข้อมือมีช่วงที่เหมือนกันทั้งจากการออกกำลังกายแบบ Passive และแบบ Active โดยที่แบบ Passive สามารถให้ผลที่คงเส้นคงวามากกว่า [17] นอกจากนั้น การออกกำลังกายแบบ Passive โดยการเคลื่อนขาส่วนล่างยังสามารถเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจ [18] ช่วยให้หัวใจสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะได้ผลดีในคนที่ไม่มีอาการบาดเจ็บของร่างกายอีกด้วย Passive Exercise ยังมีอีกหลายรูปแบบรวมถึงการสั่นที่บังคับให้ร่างกายเกิดการสั่น [19] ก็สามารถช่วยให้ร่างกายมีสุขภาพที่ดีได้เช่นกัน รวมถึงยังสามารถช่วยลดน้ำหนักได้อีกด้วย [20] ฉะนั้น อาจกล่าวได้ว่า ในขณะที่มนุษย์ไม่สามารถเคลื่อนไหวร่างกายได้เอง โดยอาจเกิดจากการบาดเจ็บ หรืออาจเกิดจากการจดจ่อสมาธิอยู่กับสิ่งอื่น การออกกำลังกายแบบ Passive โดยสิ่งภายนอก สามารถทดแทนการออกกำลังกายแบบ Active โดยผู้ออกกำลังเองได้ในหลาย ๆ ทาง หากจุดประสงค์ในการออกกำลังกายนั้น คือการเพิ่มอัตราการไหลเวียนโลหิตและเพิ่มหรือรักษาพิสัยของข้อต่อ โดยไม่สนใจการเพิ่มความทนทาน ขนาด หรือความแข็งแกร่งของกล้ามเนื้อ

2.4 การแบ่งประเภทการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์

จากการศึกษาเรื่องการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ (Human-Computer Interaction) พบว่ามนุษย์และคอมพิวเตอร์มีการทำงานและส่งต่อข้อมูลร่วมกันโดยผ่านช่องทางรับส่ง (Input-Output Channel) [21]

ช่องทางของมนุษย์ (Human Channel) จะหมายถึงการรับส่งข้อมูลผ่านทางประสาทสัมผัส ซึ่งสำหรับการปฏิสัมพันธ์กับคอมพิวเตอร์แล้ว ประสาทสัมผัสที่ใช้สำหรับรับข้อมูลคือ การมองเห็น การได้ยิน และการสัมผัส เช่น การมองเห็นข้อมูลตำแหน่งของเคอร์เซอร์ (Cursor) เมาส์บนหน้าจอ เป็นต้น และจะส่งข้อมูลออกผ่านการเคลื่อนไหวที่ได้รับการประมวลผลมาแล้วของนิ้วมือ ข้อมือ

และแขน เช่น การควบคุมข้อมูลตำแหน่งของเมาส์บนโต๊ะโดยมือ เป็นต้น ซึ่งจะเห็นว่าการทำงานรับส่งข้อมูลนั้นจะเป็นการทำงานแบบเวลาจริง (Real Time) คือ การรับและการส่งข้อมูลจะเกิดขึ้นไปพร้อม ๆ กัน การประมวลผลให้สมองจึงเกิดขึ้นเร็วมาก โดยในการทำงานนั้นสามารถประเมินเวลาและประสิทธิภาพในการตอบสนองได้ด้วยกฎของฟิตส์ (Fitts' Law) ดังจะกล่าวต่อไป สำหรับช่องทางมนุษย์นั้น นอกจากจะต้องพิจารณาในเรื่องของการรับส่งข้อมูลแล้ว ยังต้องมีการพิจารณาในเรื่องของกระบวนการตัดสินใจ ด้วยทักษะกระบวนการ ความชำนาญ อารมณ์ และสัญชาตญาณอีกด้วย

ช่องทางคอมพิวเตอร์ (Computer Channel) การรับส่งข้อมูลจะเกิดขึ้นผ่านทางอุปกรณ์ (Device) ต่าง ๆ ของเครื่องคอมพิวเตอร์ สำหรับอุปกรณ์รับข้อมูลนั้นจะถูกแบ่งออกตามลักษณะหน้าที่ของอุปกรณ์ได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ อุปกรณ์ป้อนค่าข้อความ เช่น แป้นพิมพ์ (Keyboard) และอุปกรณ์เกี่ยวกับการชี้ การกำหนดตำแหน่ง และการวาดรูป เช่น เมาส์ (Mouse) ทัชแพด (Touchpad) เมาส์ปากกา (Stylus) และจอยสติ๊ก (Joystick) เป็นต้น และอุปกรณ์สำหรับส่งข้อมูลให้มนุษย์ คือ จอภาพแสดงผล (Monitor) เครื่องพิมพ์ (Printer) รวมถึงอุปกรณ์พิเศษอื่น ๆ เช่น อุปกรณ์สร้างภาพสามมิติ อุปกรณ์กำเนิดเสียง และอุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลผ่านทางระบบสัมผัสของมนุษย์ เป็นต้น

เมื่อพิจารณาการปฏิสัมพันธ์โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์แล้ว จะพบว่าการแบ่งแยกประเภทของงานคอมพิวเตอร์ที่ต้องการศึกษาในแง่ของการพิจารณาประสิทธิภาพของการโต้ตอบกันระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์นั้น สามารถทำได้โดยพิจารณาจากเกณฑ์การรับส่งข้อมูล เพราะเป็นเกณฑ์ที่แบ่งแยกได้ชัดที่สุดในประเภทของงาน โดยสามารถแบ่งได้ ดังนี้

1. การทำงานด้วยเมาส์ ซึ่งจะเป็นการทำงานโดยมีลักษณะการเข้าหาเป้าหมายโดยตรง โดยไม่สนใจเส้นทางการเคลื่อนที่ สิ่งที่สนใจในการทำงานประเภทนี้คือ การไปถึงเป้าหมายให้เร็วและแม่นยำโดยเกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด การส่งข้อมูลจะไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการตัดสินใจหรือทักษะมาก เพราะเมื่อมีการกำหนดเป้าหมายแล้ว ย่อมสามารถตอบสนองได้ทันที
2. การทำงานพิมพ์ งานประเภทนี้ จะสนในที่คุณภาพของงานที่ออกมา ว่ามีความผิดพลาดมากน้อยเพียงใด ลักษณะงานที่สนใจคือการใช้นิ้วพิมพ์ข้อความบนแป้นพิมพ์ที่มีรูปแบบตายตัว เพราะฉะนั้น ประเด็นสำคัญคือการเคลื่อนที่ของนิ้ว ที่อาจต้องอาศัยทักษะความชำนาญและสมาธิในสิ่งที่จะพิมพ์ นอกจากนั้น งานประเภทนี้อาจต้องใช้

สมาธิในการทำงานมาก เพราะลักษณะงานเป็นแบบ Multitasking คือมีการทำงานหลายอย่าง เช่น การควบคุมการเคลื่อนที่ของนิ้ว การรับรู้สัมผัสตำแหน่งของปุ่มอักษรแต่ละตัวของแป้นพิมพ์ การรับรู้ข้อมูลของสิ่งที่ต้องพิมพ์ และการตรวจสอบความถูกต้องของคำที่พิมพ์ เป็นต้น

3. งานกราฟิก ในที่นี้จะเป็นการใช้งานเมาส์ปากกา เป็นงานที่ต้องการความละเอียดและประณีต เพราะต้องลากเส้นได้อย่างแม่นยำ จะต่างจากลักษณะการใช้งานเมาส์ เนื่องจากการใช้งานเมาส์จะไม่สนใจที่เส้นทาง แต่สำหรับงานประเภทนี้จะให้ความสนใจที่เส้นทางมาก และละความสนใจในเรื่องของเวลาการทำงาน คือไม่มีความจำเป็นต้องทำงานให้เร็วที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม ก็ควรมีการกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมไว้ด้วย ไม่ใช่ทำงานโดยใช้เวลานานเกินกว่าจำเป็น กระบวนการทักษะและการควบคุมร่างกายที่ดีมีความจำเป็นมากสำหรับงานประเภทนี้

บทที่ 3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการวัดประสิทธิภาพการทำงาน

3.1 มาตรฐานการประเมินประสิทธิภาพการทำงาน

การศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของมนุษย์เป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจและได้มีการศึกษามานานแล้ว ซึ่งการศึกษาด้านนี้มีอยู่ด้วยกันกลายแง่มุม คือ

1. ด้านสมาธิ เช่น Digit Cancellation (Anderson, 1994 และ Frewer and Lader, 1991)
2. ด้านความจำ เช่น การจดจำตัวเลขสองตำแหน่ง 22 ชุด ในเวลา 1 นาที (Baraclough and Fareman, 1994/ Smith and team, 1994)
3. ด้านการเคลื่อนไหว เช่น การตัดสินใจเลือกวัตถุ (Hick, 1952) การเคลื่อนที่จะตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง (Fitts, 1954) การเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนด (Zhai, 1997)
4. ด้านอื่น ๆ เช่น Psychomotor Test Battery ซึ่งเป็นการทดสอบเวลาตอบสนองของการเลือก 5 ตัวเลือก (Hindmarch and Parrott, 1978/ Smith, 1999) การทดสอบด้วย Multi-Attribute Test Battery (MAT) ซึ่งถูกออกแบบโดยองค์การนาซ่า (Michelle and Celestine, 1996)

ในบรรดาวิธีการประเมินที่ได้กล่าวมานั้น การประเมินประสิทธิภาพการทำงานที่ได้รับความนิยมมากที่สุดและเป็นวิธีการที่เป็นมาตรฐานมากที่สุด คือ การประเมินด้านการเคลื่อนไหว โดยประเมินการเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง และการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนด

ในการประเมินทั้งสองอย่าง ลักษณะงานที่เกิดขึ้นเป็นงานที่เป็นพื้นฐานสำคัญในการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ เพราะการทำงานคอมพิวเตอร์จะอาศัยการเคลื่อนที่ระหว่างสองตำแหน่งอยู่ตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนที่มือเพื่อควบคุมเคอร์เซอร์เมาส์ให้ไปยังเป้าหมายต่าง ๆ บนหน้าจอ หรือกระทั่งการเคลื่อนนิ้วจากปุ่มหนึ่งไปสู่อีกปุ่มหนึ่งบนแป้นพิมพ์ และสำหรับงานด้านการเคลื่อนที่ตามเส้นทางนั้น จะมีความจำเป็นอย่างมากในงานด้านกราฟิกและการวาดรูปด้วยคอมพิวเตอร์

การประเมินทั้งสองอย่างจะเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างความยากและเวลา โดยความสัมพันธ์ที่ได้นั้น จะได้ออกมาเป็นค่าประสิทธิภาพของงานนั้น ๆ ซึ่งได้ถูกนำไปใช้ในงานวิจัยมากมาย เช่น การพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมการทำงานที่มีต่อผู้ทำงาน เป็นต้น ความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ถูกพัฒนามานานจนปัจจุบันได้กลายเป็นกฎของความสัมพันธ์นั้น คือ กฎของฟิตส์ (Fitts' Law) และ กฎสเตียริง (Steering Law) แต่ก่อนจะกล่าวถึงกฎทั้งสอง ยังมีอีกกฎหนึ่งที่มีความสำคัญ โดยเป็นพื้นฐานของกฎทั้งสอง คือ กฎฮิกค์ – ไฮย์แมน (Hick-Hyman Law)

3.1.1 **กฎฮิกค์ – ไฮย์แมน** [22]

กฎฮิกค์ – ไฮย์แมนเป็นกฎที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจเลือกวัตถุ มีใจความว่า เวลาที่ใช้ตัดสินใจเลือกสิ่งที่เหมือนๆ กัน เช่น เลือกปุ่มหนึ่งปุ่มจากหลาย ๆ ปุ่ม เป็นสัดส่วนลอกการิทึมฐานสองกับจำนวนสิ่งที่มีให้เลือก โดยที่ตัวเลือกจะต้องมีลักษณะที่สามารถระบุได้ทันทีว่าใช่หรือไม่ใช่ หากแต่ละตัวเลือกมีความจำเป็นต้องศึกษารายละเอียดก่อน จะไม่สามารถใช้งานกฎนี้ได้

ปัจจุบัน กฎฮิกค์ – ไฮย์แมน มีลักษณะดังนี้

$$T = b\log_2(N+1) \tag{1}$$

โดยที่ T คือ เวลาที่ใช้ในการเลือก มีหน่วยเป็นวินาที (s)
N คือ จำนวนตัวเลือกทั้งหมด
b คือ ค่าคงที่ มีหน่วยเป็นวินาที (s)

3.1.2 **กฎของฟิตส์**

กฎของฟิตส์คือรูปแบบจำลองพฤติกรรมการตอบสนองของร่างกายมนุษย์ (Human Psychomotor Behaviour) ซึ่งได้จากการพิจารณาและสร้างขึ้นโดยอาศัยทฤษฎีข่าวสารของแชนนอน (Shannon's Theorems 17, a fundamental theorem of communication system, 1949) [23]

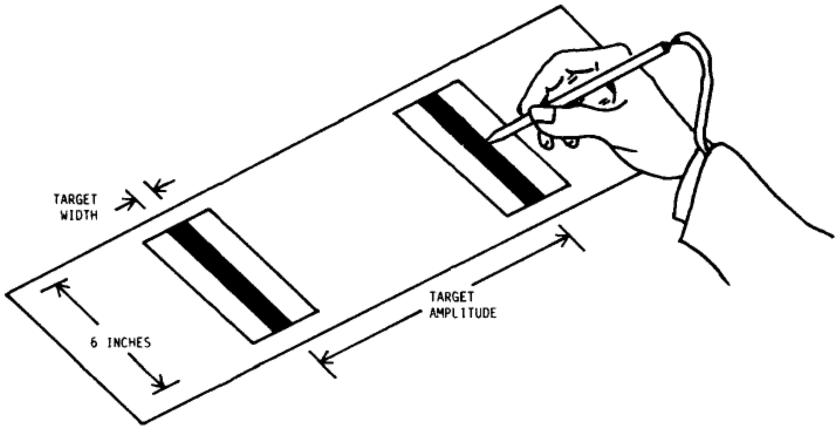
กฎของฟิตส์นี้เป็นกฎที่ใช้อธิบายการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งฟิตส์ได้เปรียบเทียบว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกับการส่งผ่านข้อมูล คือ เมื่อมีการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้าย จะเปรียบเสมือนมีการส่งข้อมูลจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้ายเช่นกัน โดยที่ตัวข้อมูลที่

ส่งเปรียบได้กับระยะทางระหว่างจุดทั้งสอง ถ้าระยะทางยาวขึ้น ก็จะเสมือนว่ามีปริมาณหรือความจุข้อมูลที่ส่งมากขึ้นนั่นเอง

ในการส่งผ่านข้อมูลนั้นจะต้องอาศัยช่องทางหรือตัวกลางในการส่ง หากลองพิจารณาการส่งผ่านข้อมูลเชิงอิเล็กทรอนิกแล้ว ช่องทางดังกล่าวสามารถยกตัวอย่างได้ เช่น ทองแดงในสายไฟ หรือ อากาศในการรับส่งคลื่นวิทยุ เป็นต้น ในการส่งข้อมูลนั้นมักมีการรบกวนจากสัญญาณรบกวนภายนอก สัญญาณรบกวนนี้อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลให้ลดลง ประสิทธิภาพดังกล่าวสามารถบอกได้เป็นค่าความจุข้อมูลแท้จริงที่ส่งได้ในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งสัญญาณรบกวนนั้นจะส่งผลให้ความจุข้อมูลมีค่าน้อยกว่าความจุข้อมูลสูงสุดที่ควรจะเป็น ทฤษฎีของแชนนอนได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความจุข้อมูลประสิทธิภาพแท้จริง (C, bits/s) ของช่องทางการสื่อสารนั้น กับความกว้างช่วงความถี่ (Bandwidth, B, 1/s หรือ Hz) ได้ดังสมการที่ 2

$$C = B\log_2 \frac{S+N}{N} \quad (2)$$

โดยที่ S คือกำลังของสัญญาณ และ N คือกำลังของสัญญาณรบกวน



รูปที่ 3.1 ลักษณะงานการเคลื่อนที่ที่ฟิตส์ใช้ รูปจากบทความ Human-Computer Interaction โดย Mackenzie [24]

หลักการของฟิตส์ถูกนิยามขึ้น ด้วยหลักการ 2 หลักการ คือ ในด้านการเคลื่อนที่ ฟิตส์ได้เปรียบว่ากำลังของสัญญาณสามารถแสดงได้เป็นค่าดัชนีความยาก (Indices of Difficulty) โดยที่ดัชนีความยากของงานแต่ละงานนั้นสามารถวัดได้ในรูปของบิตข้อมูล (Information Matric Bits)

และ ในการทำงานเคลื่อนที่หนึ่ง ๆ ให้สำเร็จข้อมูลจะต้องถูกส่งผ่านช่องทางใดช่องทางหนึ่ง เช่นเดียวกับตัวกลางในการส่งข้อมูลเชิงอิเล็กทรอนิก ซึ่งในการทำงานโดยมนุษย์นั้น ช่องทางการรับส่งข้อมูลจะเป็นช่องทางของมนุษย์ (Human Channel) ที่ออกคำสั่งให้เกิดการเคลื่อนที่ของมือเกิดเป็นข้อมูลระยะทาง ในการทำงานเคลื่อนที่หนึ่ง ๆ ให้สำเร็จมนุษย์จำเป็นต้องมีการส่งผ่านข้อมูลเป็นจำนวนหลายบิต เมื่อนำจำนวนบิตที่ได้มาหารด้วยเวลาที่ใช้ จะได้อัตราการส่งผ่านในหน่วยบิตต่อวินาที ซึ่งก็คือค่าความจุข้อมูล หรือแท้จริงแล้วก็คือค่าประสิทธิภาพในการทำงานนั้น ๆ นั่นเอง

องค์ประกอบด้านกลศาสตร์และมนุษย์เป็นสององค์ประกอบสำคัญในการพิจารณาประสิทธิภาพการทำงานของมนุษย์ผ่านทางการวิเคราะห์ด้วยกฎของฟิตส์

ในความเป็นจริง นิยามของช่องทางและความจุข้อมูลของช่องทางนั้น ไม่สามารถกำหนดได้ชัดเจนเมื่อพิจารณาในโดเมนมนุษย์ เนื่องจากเป็นการยากที่จะวัดความจุของมนุษย์โดยตรง เพราะข้อมูลหรือรหัสต่าง ๆ ของมนุษย์นั้น เข้าใจยาก ไม่เหมือนกันในแต่ละบุคคล ขึ้นกับอารมณ์ ไม่มีเหตุผล และคาดเดาไม่ได้ จึงทำให้ช่วงของผลท้ายสุดที่ต้องการมีความกว้างและไม่แน่นอน เพราะการตอบสนองของร่างกายนั้นขึ้นอยู่กับระบบประสาทและกล้ามเนื้อ และความเคยชินและทักษะในงานต่าง ๆ ดัชนีความยากในการวัดองค์ประกอบด้านระบบประสาทและสัญชาตญาณจึงถูกนำไปรวมกับการพิจารณาความจุข้อมูลของช่องทางมนุษย์

ในด้านระบบควบคุมโดยมนุษย์ เนื่องด้วยความยากในการวัดดังกล่าว ฟิตส์จึงได้กำหนดให้แทนความจุข้อมูลด้วยดัชนีประสิทธิภาพ (Index of Performance, IP) ซึ่งสามารถหาได้โดยง่ายจากการหารดัชนีความยากด้วยเวลาที่ใช้ในการทำงาน (Movement Time, MT) โดยตรง คือ

$$IP = ID / MT \qquad (3)$$

ซึ่งจะเห็นว่าสมการที่ 3 มีความคล้ายคลึงกับสมการที่ 2 โดยที่

IP คือ C

ID คือ พจน์ลอการิทึม

MT คือ 1/B

และเมื่อพิจารณาพจน์ลอการิทึมในสมการที่ 2 ฟิตส์ได้กล่าวว่า กำลังของสัญญาณ (S) นั้นเปรียบเสมือนระยะทางที่เคลื่อนที่ (Amplitude, A) และกำลังของสัญญาณรบกวน (N) คือ ความคาดเคลื่อนที่ยินยอมในการเคลื่อนที่หรือก็คือ ขอบเขตความกว้าง (Width, W) ของเป้าหมายที่จุดสิ้นสุดที่ยอมรับได้ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตรที่ได้รับการพัฒนาแล้วตามทฤษฎีของแชนนอนได้ [24, 25, 26] คือ

$$ID = \log_2\left(\frac{2A}{W}\right) \tag{4}$$

โดยพจน์ภายในลอการิทึมจะไม่มีหน่วย เพราะ A และ W ต่างก็เป็นหน่วยของระยะทั้งคู่ ID จึงถูกกำหนดให้มีหน่วยเป็น Bits เนื่องจากลักษณะของค่า ID เป็น logarithm ฐานสองนั่นเอง

จากสมการที่ 3 รูปแบบที่นิยมใช้มากที่สุด คือ กำหนดให้ ID เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable) และ MT เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable)

$$MT = {}^{ID}\!/_{IP} \tag{5}$$

ในการทดสอบ จะทดสอบการเคลื่อนที่ระหว่างสองจุดที่ห่างกันด้วยระยะ A และความกว้างเป้าหมาย W ให้เร็วและแม่นยำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งสำหรับแต่ละระดับ A และ W จะมีช่วงที่เป็นไปได้ และยอมรับได้ของ ID อยู่ คือจะไม่ยากหรือง่ายเกินไปในการทำงาน

ดัชนีประสิทธิภาพสามารถหาได้จากสมการที่ 3 หรือสามารถหาได้จากการหาการถดถอยของ MT เทียบ ID ซึ่งจะได้เป็นสมการถดถอยเชิงเส้น คือ

$$MT = a + b(ID) \tag{6}$$

โดยที่ a และ b เป็นค่าคงที่ถดถอย และส่วนกลับของความชัน (1/b) สามารถเทียบได้กับ IP ในสมการที่ 5

จากสมการที่ 6 นั้น สามารถเขียนในรูปที่นิยมทั่วไปจากความสัมพันธ์ของสมการที่ 4 ได้คือ

$$MT = a + b\left(\log_2\left(\frac{2A}{W}\right)\right) \quad (7)$$

เลข 2 ภายในลอการิทึมใส่เข้าไปเพื่อทำให้แน่ใจว่าพจน์ลอการิทึมจะเป็นบวก ซึ่งจะมีผลทำให้ ID มีค่าเพิ่มขึ้น 1 bit สำหรับแต่ละงาน (Task Condition) แต่อย่างไรก็ตาม มันจะไม่มีผลต่อความสัมพันธ์ระหว่าง MT และ ID หรือก็คือความชันนั่นเอง ฉะนั้น จึงสามารถใช้ความสัมพันธ์นี้ได้เพราะค่าดัชนีประสิทธิภาพจะไม่เปลี่ยนแปลง

จากสมการที่ 4 จะเห็นว่า เมื่อระยะทางมีค่าเพิ่มขึ้นสองเท่าหรือเมื่อความกว้างลดลงครึ่งหนึ่ง จะส่งผลให้ ID มีค่าเพิ่มขึ้น 1 bit ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ID เป็นตัวแสดงที่ดีของผลกระทบร่วมจากสองตัวแปร

3.1.3 **ความหลากหลายของกฎของฟิตส์** (Variations of Fitts' Law)

กฎของฟิตส์มีการพัฒนาและปรับเปลี่ยนให้เข้ากับความเป็นจริงไปหลายรูปแบบ และรูปแบบที่นิยมที่สุดคือของเวลล์ฟอร์ด (Welford) คือ

$$MT = a + b\left(\log_2\left(\frac{A}{W} + 0.5\right)\right) \quad (8)$$

หรือสามารถเขียนได้เป็น

$$MT = a + b\left(\log_2\left(\frac{A + 0.5W}{W}\right)\right) \quad (9)$$

นอกจากนี้ยังมีรูปแบบของกฎของฟิตส์ที่ปรับเปลี่ยนมาจากทฤษฎีของแชนนอน แต่รูปแบบนี้ต้องใช้ความระมัดระวังเพราะมีข้อจำกัด คือ อัตราส่วนสัญญาณกับสิ่งรบกวนจะต้องมีค่ามากหรือก็คือระยะทางเทียบกับความกว้างต้องมีค่ามากนั่นเอง ซึ่งรูปแบบที่ได้ คือ

$$MT = a + b\left(\log_2\left(\frac{A}{W} + 1\right)\right) \quad (10)$$

$$MT = a + b\left(\log_2\left(\frac{A+W}{W}\right)\right) \tag{11}$$

ซึ่งรูปแบบสมการที่ 10 นั้น พจน์ลอการิทึมสามารถติดลบได้ แต่จะติดลบก็ต่อเมื่อ A < W/2 ซึ่งไม่มีโอกาสเป็นไปได้ เพราะจะขัดต่อความเป็นจริง

และสำหรับดัชนีประสิทธิภาพ จะได้เป็น

$$IP = \frac{ID}{MT} = \frac{ID}{a+(b \times ID)} = \frac{1}{b} \tag{12}$$

กฎของฟิตส์นั้น ได้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลาย และพัฒนามาจนเกิดข้อแนะนำในการออกแบบการทดลองด้วยกฎของฟิตส์จำนวน 7 ข้อ คือ

1. ใช้รูปแบบดัชนีความยากของสมการแชนนอน (สมการที่ 9)
2. ออกแบบการทดลองให้ช่วง ID มีค่ากว้างเพื่อให้ครอบคลุมช่วงของการทำงาน และเพื่อความเหมาะสมในการสร้างสมการและทดลองแต่ละเงื่อนไขประมาณ 15 – 25 ครั้ง
3. วัดการกระจายของตำแหน่งสิ้นสุดการเคลื่อนที่ที่ได้จากการทดลองจริง เพื่อหาความคลาดเคลื่อนของจุดสิ้นสุด
4. พิจารณาการเคลื่อนที่จริงที่ผู้ทดลองกระทำ เพื่อให้สมการมีความแม่นยำมากขึ้น
5. สร้างสมการถดถอยเพื่อพิจารณาความสอดคล้องของข้อมูลกับกฎของฟิตส์
6. การนำผลการทดลองไปคาดการณ์การเคลื่อนที่ควรเป็นการคาดการณ์ในช่วงที่ทดลอง (Interpolation) และความคลาดเคลื่อนที่ได้ประมาณ 4%
7. หากจุดประสงค์ในการทดสอบเป็นการเปรียบเทียบระหว่างสองเงื่อนไขของการทดลองหรือมากกว่านั้น จะต้องหาค่า Throughput (TP) ของผู้ทดสอบ และหาค่าเฉลี่ยเพื่อหา Grand Throughput ดังสมการ

$$TP = \frac{1}{y}\sum_{i=1}^{y}\left(\frac{1}{x}\sum_{j=1}^{x}\frac{IDe_{ij}}{MT_{ij}}\right) \tag{13}$$

โดยที่ x แทนจำนวนเงื่อนไขของการเคลื่อนที่ และ y แทนจำนวนของผู้ทดสอบ

3.1.4 **ความกว้างเป้าหมายประสิทธิผล** (Effective Target Width)

ในการใช้งานกฎของฟิตส์ตามสมการที่ 9 นั้น ระยะระหว่างการเคลื่อนที่และขนาดของเป้าหมายสามารถถูกกำหนดได้ขึ้นเองตามความต้องการโดยคำนึงถึงเงื่อนไขบางอย่าง เช่น กำหนดให้ค่าดัชนีความยากมีค่าเท่ากัน ทุก ๆ การเปลี่ยนการระยะและขนาดของเป้าหมาย เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การกำหนดค่าทั้งสองขึ้นมาเองนั้น สามารถให้ประสิทธิภาพการทดลองที่ดีระดับหนึ่ง แต่เมื่อพิจารณาถึงความหมายทางกายภาพ ค่าทั้งสองที่ถูกกำหนดขึ้นจะเสมือนเป็นการจำกัดการทำงานของมนุษย์ และเสมือนว่ามนุษย์ถูกสั่งและคาดหวังให้ทำตามนั้น ไม่ใช่ว่ามนุษย์ทำงานนั้น ๆ เองจริง ด้วยสาเหตุดังกล่าว ทำให้การใช้งานจริงของค่าทั้งสอง โดยเฉพาะขนาดของเป้าหมาย ควรจะมีหลักเกณฑ์ที่น่าเชื่อถือ จึงได้มีการปรับให้ใช้ค่าที่เหมาะสมขึ้น เป็นค่า ความกว้างเป้าหมายประสิทธิผล [24, 27, 28] ซึ่งจะเป็นการปรับความกว้างหรือขนาดของเป้าหมายที่ใช้งานจริง คือ นำไปใช้ในการคำนวณตามสมการที่ 9 ให้ได้ตามลักษณะการทำงานจริงของมนุษย์ โดยอาศัยหลักของสถิติเข้ามาร่วมพิจารณา หรือก็คือ เมื่อมนุษย์ทำงานไปแล้ว โดยอาจให้ทำงานเป็นจำนวน 100 รอบ จะพิจารณาความถี่ของตำแหน่งที่มนุษย์ทำงานได้จริงในบริเวณเป้าหมาย โดยการแทนด้วยกราฟระฆังคว่ำ และกำหนดให้ความกว้างของช่วงที่มีความหนาแน่นของข้อมูล (กลุ่มของจุด) เป็น 96 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูลทั้งหมด เป็นค่าความกว้างเป้าหมายประสิทธิผล เพราะว่าช่วงนั้นเป็นช่วงที่มนุษย์ทำงานได้ประสิทธิภาพของงานจริง ดังรูปที่ 3.2

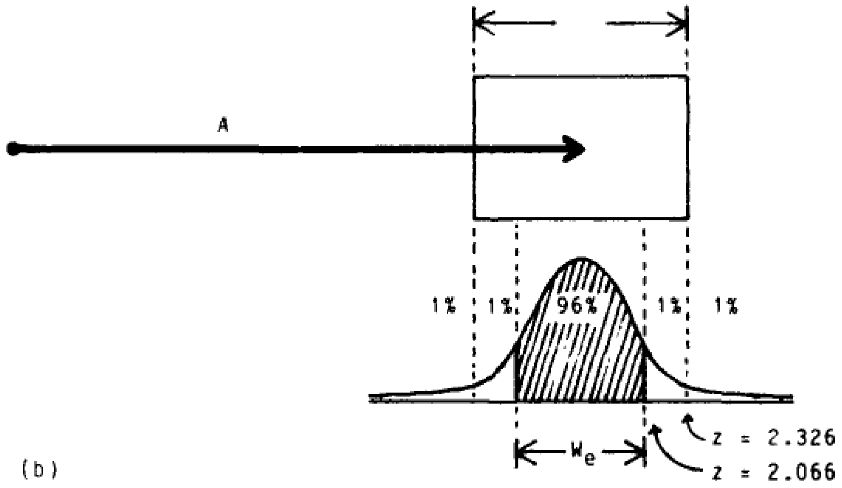
ฉะนั้น จากการวิเคราะห์เชิงสถิติ จะได้สูตรการคำนวณค่าความกว้างเป้าหมายประสิทธิผลนี้ ดังสมการที่ 14

$$W_e = 2u\left(\frac{1-A}{2}\right)SD \qquad (14)$$

โดยที่ A คือ ความน่าจะเป็นของช่วงการตอบสนอง หรือในกรณีนี้จะมีค่าเป็น 0.96

พจน์ $2u\left(\frac{1-A}{2}\right)$ เป็นค่าของ z ในเชิงสถิติ ซึ่งเมื่อกำหนดให้ A=0.96 แล้ว จะได้

$$2u\left(\frac{1-A}{2}\right) = 4.133$$



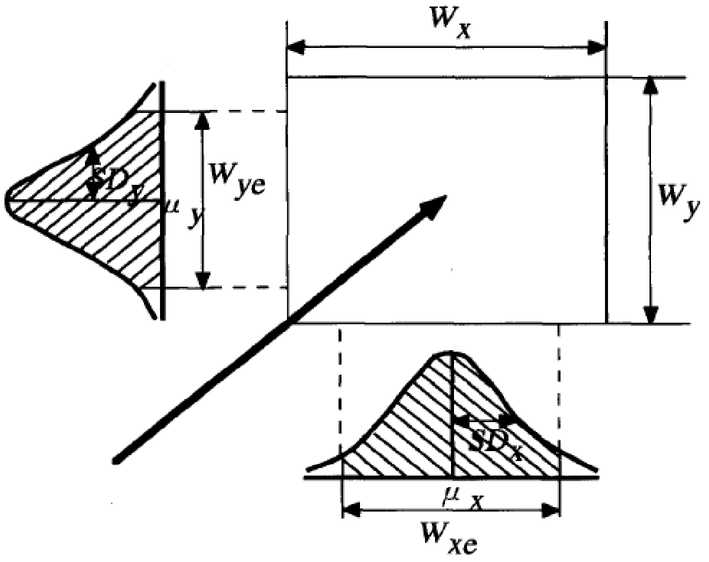
รูปที่ 3.2 แนวคิดความกว้างเป้าหมายประสิทธิผล (W_e) รูปจากบทความ Human-Computer Interaction โดย Mackenzie [24]

ฉะนั้น จากสมการที่ 14 จะได้ว่า

$$W_e = 4.133SD \quad (15)$$

สามารถกล่าวได้ว่า หากสามารถคำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จากการทดลองได้แล้ว ค่าความกว้างเป้าหมายประสิทธิผลย่อมสามารถคำนวณได้โดยง่ายด้วยสมการที่ 15 และค่าความกว้างเป้าหมายประสิทธิผลนี้เองที่จะถูกนำไปแทนในสูตรของดัชนีความยาก

นอกจากนั้น ระยะทางระหว่างจุดเริ่มต้นและเป้าหมายก็เป็นอีกตัวแปรสำคัญ รวมถึงมุมองศาในการเคลื่อนที่ด้วย เพราะมุมองศานั้นจะมีผลต่อการพิจารณาขนาดของเป้าหมาย คือ หากการเคลื่อนที่เป็นไปตามแนวราบ โดยที่มุมองศาเป็นศูนย์ การพิจารณาจะพิจารณาเฉพาะความกว้างตามแนวการเคลื่อนที่เท่านั้น แต่หากการเคลื่อนที่มีมุมองศาอื่นและมุ่งเข้าหาเป้าหมายที่มีลักษณะเดียวกัน การพิจารณานั้นจะต้องพิจารณาทั้งความกว้างและความสูงของเป้าหมาย เพราะการเคลื่อนที่จะกลายเป็นการเคลื่อนที่ในสองมิติ ความกว้างเป้าหมายประสิทธิผลก็จะเปลี่ยนไปถึงแม้ระยะทางและขนาดของเป้าหมายจะเท่าเดิมก็ตาม [27, 28] ฉะนั้น การวัดและคำนวณค่าประสิทธิภาพจึงทำได้ยากขึ้นแต่ผลที่ได้จะมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงและมีประสิทธิภาพมากขึ้นอีกด้วย



รูปที่ 3.3 แนวคิดความกว้างเป้าหมายประสิทธิผลในสองมิติ รูปจากบทความ Human-Computer Interaction โดย Mackenzie [24]

สำหรับการเคลื่อนที่ในสองมิติ ความน่าจะเป็นความหนาแน่นร่วมระหว่างแกน x และแกน y จะเป็นไปดังสมการที่ 16

$$f(x,y)=\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-r^2}}e^{\left\{-\frac{1}{2(1-r^2)}\left[\left(\frac{x-m_x}{\sigma_x}\right)^2-2r\left(\frac{x-m_x}{\sigma_x}\right)\left(\frac{y-m_y}{\sigma_y}\right)+\left(\frac{y-m_y}{\sigma_y}\right)^2\right]\right\}} \quad (16)$$

โดยที่ r คือ Correlation Coefficient

m_x และ m_y คือค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแกน x และแกน y ตามลำดับ

σ_x และ σ_y คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลในแกน x และแกน y

สังเกตได้ว่า หาก r=0 ข้อมูลในแกนทั้งสองจะเป็นอิสระต่อกัน

เมื่อต้องการให้ได้ช่วงข้อมูลด้วยอัตราส่วน A เช่นเดียวกับที่ต้องการในหนึ่งมิติ จะต้องนำสมการที่ 16 มาอินทิเกรตดังสมการที่ 17

$$\int_{-z}^{z}\int_{-z}^{z} f(x,y)dxdy = A \tag{17}$$

และเมื่อกำหนดตัวแปรใหม่ขึ้นมาเป็น

$$B = -2(1-r^2)\ln(1-A) \tag{18}$$

เราจะได้จากสมการที่ 17 และ 18 ว่า

$$\left(\frac{x-m_x}{\sigma_x}\right)^2 - 2r\left(\frac{x-m_x}{\sigma_x}\right)\left(\frac{y-m_y}{\sigma_y}\right) + \left(\frac{y-m_y}{\sigma_y}\right)^2 = B \tag{19}$$

ซึ่งสมการที่ 19 นั้น เป็นลักษณะสมการของวงรี ดังรูปที่ 4 และจะกลายเป็นวงกลมเมื่อ r=0 และความกว้างเป้าหมายประสิทธิผลในแกนทั้งสองสามารถหาได้เป็นความยาวของแกนทั้งสองของวงรีนั่นเอง หรือสามารถเขียนเป็นสูตรได้ ดังสมการที่ 20

สำหรับเมื่อ $\sigma_x < \sigma_y$

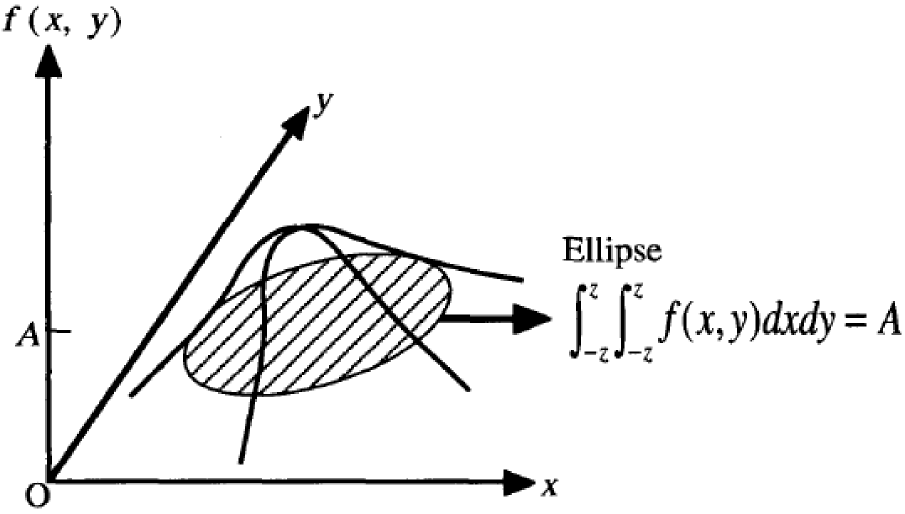
$$W_{xe} = \sqrt{\frac{2B}{1-r^2}\left\{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\sigma_x^2\sigma_y^2 r^2}\right\}} \tag{20.1}$$

$$W_{ye} = \sqrt{\frac{2B}{1-r^2}\left\{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\sigma_x^2\sigma_y^2 r^2}\right\}} \tag{20.2}$$

สำหรับเมื่อ $\sigma_x \ge \sigma_y$

$$W_{xe} = \sqrt{\frac{2B}{1-r^2}\left\{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\sigma_x^2\sigma_y^2 r^2}\right\}} \tag{20.3}$$

$$W_{ye} = \sqrt{\frac{2B}{1-r^2}\left\{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\sigma_x^2\sigma_y^2 r^2}\right\}} \tag{20.4}$$

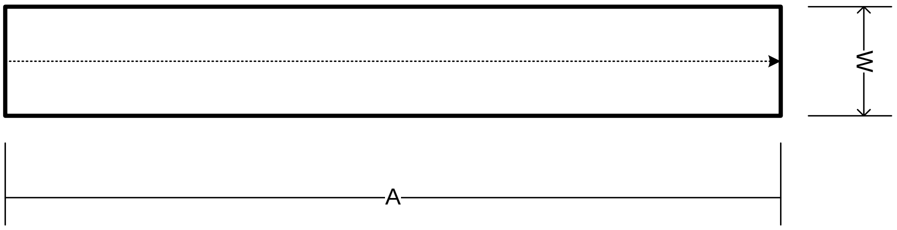


รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์เชิงวงรีของการกระจายตัวของข้อมูลในแกน x และ y รูปจากบทความ Human-Computer Interaction โดย Mackenzie [24]

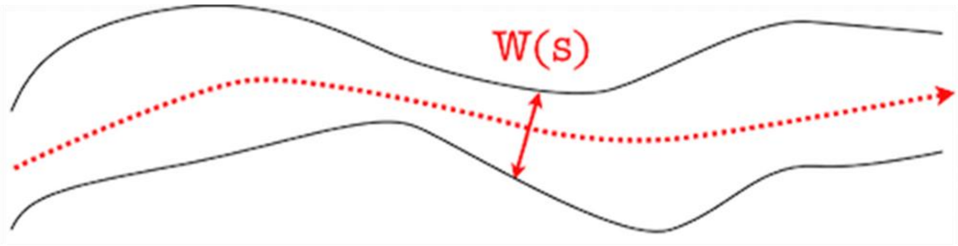
3.1.5 **กฎสเตียริง** (Steering Law)

กฎสเตียริงถูกศึกษาโดยซูมิน ไซ (Shumin Zhai) เป็นกฎที่ใช้อธิบายการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดไว้ ซึ่งไซได้ทำการทดลองขยายขอบเขตกฎของฟิตส์โดยศึกษาการเคลื่อนที่ผ่านทั้งจุดเริ่มต้นและเป้าหมายที่มีระยะตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ w และเป็นระยะทาง A ซึ่งจากการทดลอง สรุปได้ว่าสมการที่ 9 สามารถอธิบายงานประเภทนี้ได้

จากนั้น ไซจึงได้ทดลองแบ่งช่วงการเคลื่อนที่ออกเป็นช่วงย่อย และใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เปลี่ยนจากการเคลื่อนที่ผ่านขอบเขตที่ไม่ต่อเนื่องมาเป็นขอบเขตที่ต่อเนื่อง ทำให้งานมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไป เช่น สำหรับเส้นทางที่เป็นเส้นตรง ค่าดัชนีความยากจะถูกลดทอนเป็น $ID = \frac{A}{W}$ โดยที่ A คือระยะทาง และ W คือความกว้างของเส้นทาง ดังรูปที่ 3.5



รูป 3.5 เส้นทางต่อเนื่องเส้นตรงตามหลักการของกฎสเตียริง



รูปที่ 3.6 เส้นทางต่อเนื่องตามหลักการของกฎสเตียริง รูปจากบทความ Human-Computer Interaction โดย Mackenzie [24]

ไซได้นำสมการนี้ไปใช้กับเส้นทางการเคลื่อนที่แบบทั่วไป ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งความกว้างของเส้นทางอาจเปลี่ยนแปลงได้ โดยไซได้แบ่งการเคลื่อนที่เป็นช่วงเล็ก ๆ ที่แต่ละช่วงมีดัชนีความยากของงานตามที่ได้พิจารณาไปแล้ว เมื่อทำการอินทิเกรต จะได้สมการเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่เรียกว่ากฎสเตียริง

$$ID = \int_0^A \frac{ds}{W(s)} \tag{21}$$

โดยที่ ID คือ ดัชนีความยาก

ds คือ ระยะสั้น ๆ ที่ต้องเคลื่อนที่ตาม

W(s) คือความกว้างของขอบเขตที่ตั้งฉากกับ ds

สมการกฎสเตียริงสามารถเขียนให้อยู่ในรูปทั่วไปได้ โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความกว้างของเส้นทาง โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวระบุว่าความเร็วในการเคลื่อนที่จะแปรผันตามความกว้างของขอบเขตในขณะนั้น

$$v(s) = \frac{w(s)}{\tau} \tag{22}$$

โดยที่ v(s) คือความเร็วของการเคลื่อนที่ ที่ตำแหน่ง s ใด ๆ

W(s) คือความกว้างของเส้นทางที่ตำแหน่ง s เดียวกัน

τ คือค่าคงที่

บทที่ 4
โปรแกรมทดสอบประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์

วิทยานพนธ์นี้มีจุดประสงค์หลักคือ วัดการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์เมื่อมีการรบกวนจากปัจจัยภายนอก คือการเคลื่อนขาส่วนล่าง ฉะนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องสร้างอุปกรณ์สำหรับวัดประสิทธิภาพดังกล่าวที่สามารถวัดได้เที่ยงตรงและสอดคล้องกับความเป็นจริง มีความเหมาะสมและสามารถแทนการทำงานคอมพิวเตอร์ในชีวิตจริงได้มากที่สุด ในบทนี้จึงจะกล่าวถึงการสร้างโปรแกรมที่จะใช้วัดประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์นั้น

4.1 การออกแบบโปรแกรมทดสอบประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์

การออกแบบโปรแกรมทดสอบประสิทธิภาพจะอาศัยหลักการของกฎของฟิตส์และกฎสเตียริง คือจะใช้หลักการทั้งสองมาศึกษาการเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายของวัตถุหนึ่ง ๆ เช่น เคอร์เซอร์เมาส์ หรือนิ้ว เป็นต้น ซึ่งผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองและดำเนินการในส่วนนี้จะเป็นพื้นฐานและเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการทดสอบเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมในการทำงาน หรือก็คือการเพิ่มการเคลื่อนที่ให้กับร่างกายส่วนล่างต่อไป

4.1.1 ข้อมูลการออกแบบ

เนื่องจากการทดสอบที่ต้องการออกแบบ ต้องการให้สามารถแทนการทำงานคอมพิวเตอร์ในชีวิตจริงได้มากที่สุด จึงได้กำหนดหลักและเงื่อนไขในการออกแบบไว้ ดังนี้

1. การทดสอบควรมีความหลากหลาย เพื่อให้ครอบคลุมถึงการทำงานคอมพิวเตอร์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด
2. ไม่ออกแบบการทดสอบที่ไม่มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้นจริงในชีวิตการทำงาน เช่น หากทดสอบการพิมพ์งาน ข้อความที่ทดสอบต้องไม่เป็นข้อความที่ไม่มีความหมายหรือข้อความที่พิมพ์แล้วไม่เกิดประโยชน์ เป็นต้น
3. ต้องเป็นการทดสอบที่ผู้ทดสอบสามารถตอบสนองต่องานได้ทันทีเมื่อมีเป้าหมายกำหนดขึ้นมา ไม่ควรเป็นงานที่ต้องผ่านการพิจารณา ไตร่ตรองก่อนเพราะการคิดวิเคราะห์ของแต่ละบุคคลไม่เท่ากัน อาจทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของผลการทดสอบได้

4. ในการทดสอบ ตั้งสมมติฐานว่า ผู้ทดสอบต้องเป็นผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์ และมีประสบการณ์การใช้งานคอมพิวเตอร์มากพอสมควร ในระดับที่เท่า ๆ กัน หากมีผู้ทดสอบหลายคน
5. การคำนวณประสิทธิภาพการทำงาน เกิดจากการวัดค่าดัชนีความยากและเวลา ฉะนั้นต้องมีการกำหนดดัชนีความยากในแต่ละการทดสอบที่ชัดเจนและถูกต้อง และการจับเวลาต้องสามารถทำได้ละเอียดเนื่องจากในการทดสอบ การเคลื่อนที่หนึ่ง ๆ อาจใช้เวลาที่หน่วยมิลลิวินาที (Millisecond)

4.1.2 ออกแบบการทดสอบ

ออกแบบการทดสอบ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็นการทดสอบย่อยตามประเภทของงานที่ได้จำแนกไว้ และใช้งานทุกการทดสอบเพื่อให้ครอบคลุมการทำงานในชีวิตจริงมากที่สุด และจึงสร้างการทดสอบที่ออกแบบไว้เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษา C++ [29] ประกอบด้วย 4 การทดสอบย่อย 3 ประเภทงานคือ

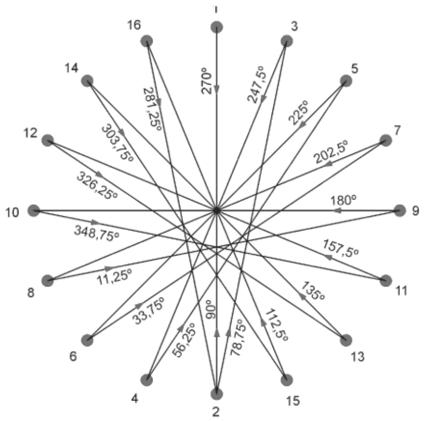
1. การทดสอบการทำงานด้วยเมาส์ (Point & click)

ลักษณะการทำงานประเภทนี้จะไม่สนใจเส้นทางการเคลื่อนที่ แต่จะสนใจที่การพุ่งเข้าหาเป้าหมายเท่านั้น คือการเลื่อนเคอร์เซอร์เมาส์ไปยังจุดที่ต้องการให้เร็วและแม่นยำที่สุด

เป้าหมายที่แสดงขึ้นมา จะแสดงขึ้นมาตามลำดับเลขบน Multidirectional Pointing Task ตามมาตรฐาน ISO 9241-9 [30, 31] ดังรูปที่ 4.1 แต่อาจมีการเปลี่ยนแปลงจุดเริ่มต้นได้ ในการทดสอบจะมีการเปลี่ยนค่ารัศมีของวงกลมทั้งหมด 3 ค่า เพื่อเป็นการเปลี่ยนค่าดัชนีความยาก โดยที่ขนาดของเป้าหมายจะคงที่เท่าเดิม ระหว่างทดสอบเมื่อผู้ทดสอบได้เลื่อนและคลิกเมาส์ในขอบเขตเป้าหมายแล้ว เป้าหมายลำดับถัดมาจะปรากฏขึ้นให้คลิกอีกครั้ง และดำเนินไปเช่นนี้มาจนครบรอบ ซึ่งที่รัศมีหนึ่งค่าจะทำการทดสอบวนไปทั้งหมด 3 รอบ ทั้งนี้ เพื่อเก็บสถิติของตำแหน่งที่คลิกในแต่ละรอบไว้สำหรับคำนวณหาค่าความกว้างเป้าหมายประสิทธิผล

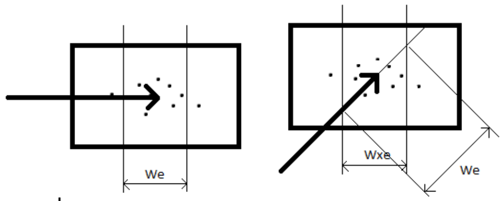
มาตรฐาน ISO 9241 เป็นมาตรฐานที่ว่าด้วยเรื่องสรีรศาสตร์ (Ergonomic) ในการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ หรือตามชื่อเรียกคือ ข้อกำหนดที่จำเป็นทางสรีรศาสตร์สำหรับการทำงานสำนักงานร่วมกับอุปกรณ์แสดงผลทางภาพ (Ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminals) ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาหลายส่วน แต่ส่วนที่มีความสำคัญในการทดสอบนี้ จะเป็นส่วนที่ 9 (ISO 9241-9) ที่ว่าด้วยเรื่อง มาตรฐานข้อกำหนดที่จำเป็นสำหรับอุปกรณ์ป้อนข้อมูลที่ไม่ใช่แป้นพิมพ์ (Requirements for Non-keyboard Input

Device) ซึ่งมีจุดประสงค์ในการกำหนดมาตรฐานการออกแบบอุปกรณ์ชี้ (Pointing Device) เช่น เมาส์ เพื่อให้สอดคล้องกับการเคลื่อนไหว โดยพิจารณาจากข้อจำกัดด้านกลศาสตร์ชีวภาพ (Biomechanics) เพื่อสร้างความสะดวกสบายในการใช้งาน ความปลอดภัย และป้องกันการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้น นอกจากนี้ มาตรฐานในส่วนนี้ยังใช้เป็นแนวทางและลำดับวิธีการในการทดสอบประสิทธิภาพ (ภาคผนวก B) ของอุปกรณ์ที่ผลิตจากแหล่งผลิตที่แตกต่างกัน โดยการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของคนด้วยอุปกรณ์นั้น ในขณะที่พิจารณาความสะดวกสบายในการทำงานเพื่อให้รู้ว่าอุปกรณ์นั้น ๆ ได้มาตรฐานที่ดีตามสรีรศาสตร์ การทดสอบตามมาตรฐาน ISO 9241-9 ประกอบด้วยหลากหลายรูปแบบ ตามลักษณะของอุปกรณ์และการใช้งาน เช่น งานชี้ (Pointing Task) โดยการใช้เมาส์ [32] จะมีมาตรฐานในการทดสอบทั้งในทิศทางเดียว และหลากลายทิศทาง ซึ่งในที่นี้ ได้นำการทดสอบหลากหลายทิศทาง (Multidirectional) มาใช้ โดยลักษณะการเคลื่อนที่ของเมาส์จะเป็นดังรูปที่ 4.1 นั่นเอง



รูปที่ 4.1 Multidirectional Pointing task จาก ISO 9241-9 ภาคผนวก B [31]

ในการทดสอบนี้จะคำนึงถึงค่าความกว้างเป้าหมายประสิทธิผลด้วยเพื่อความสมบูรณ์ของข้อมูล โดยจะหาความกว้างเป้าหมายประสิทธิผลนี้ตามหลักการที่ได้กล่าวไปแล้ว ดังรูปที่ 4.2



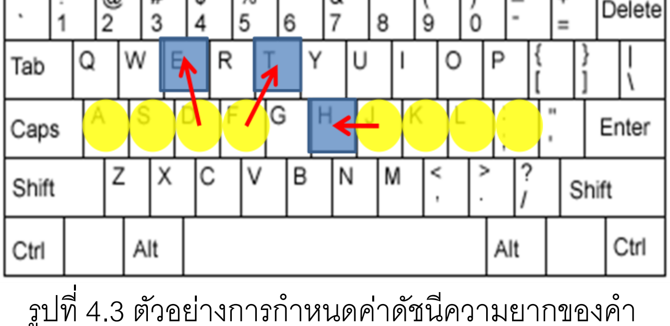
รูปที่ 4.2 ความกว้างเป้าหมายประสิทธิผล

2. การทดสอบการทำงานพิมพ์

การพิมพ์เป็นงานที่การเคลื่อนที่จะอยู่ที่นิ้วของผู้ทดสอบ การแสดงผลบนหน้าจอจะไม่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แต่อย่างใด ฉะนั้น ในการพิจารณาประสิทธิภาพ จึงต้องพิจารณาประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่นิ้วแต่ละนิ้วบนแป้นพิมพ์ ซึ่งจะต้องวางรูปแบบการพิมพ์ที่เป็นมาตรฐาน เพื่อนำมาคำนวณดัชนีความยาก และกำหนดกลุ่มข้อมูลของคำต่าง ๆ พร้อมกับดัชนีความยากของคำเหล่านั้นขึ้นมา เก็บไว้เป็นฐานข้อมูลสำหรับโปรแกรมทดสอบให้เรียกขึ้นมาแสดงให้ผู้ทดสอบพิมพ์คำเหล่านั้นเพื่อจับเวลาในการพิมพ์

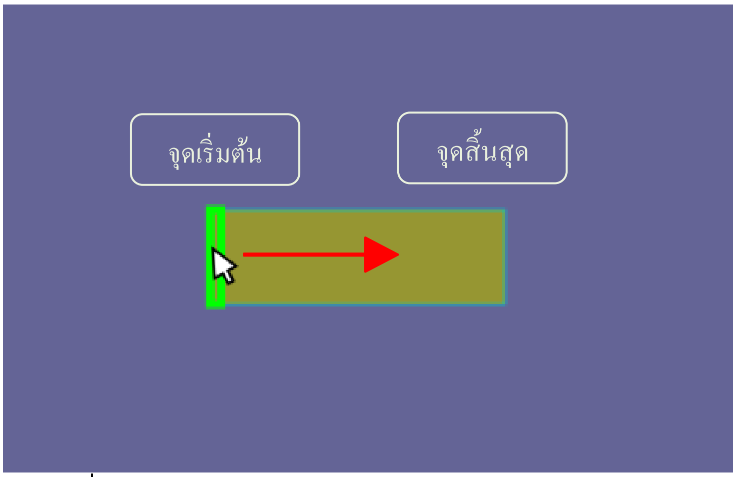
การกำหนดดัชนีความยากของคำจะกำหนดที่การเคลื่อนที่ของนิ้วบนแป้นพิมพ์ตามระยะห่างของปุ่มกด ว่านิ้วแต่ละนิ้วที่ใช้งานมีการเคลื่อนที่ด้วยระยะเท่าใดในการพิมพ์คำๆ นั้น โดยในการพิมพ์แต่ละครั้งนั้น จะกำหนดว่าผู้ทดสอบจะต้องสามารถพิมพ์สัมผัสภาษาอังกฤษด้วยแป้นพิมพ์มาตรฐานแบบ QWERTY ได้ และมีการวางมือไว้บนแป้นพิมพ์ในรูปแบบของการพิมพ์สัมผัส เพื่อให้แต่ละคำทดสอบสามารถกำหนดค่าด้วยรูปแบบเดียวกันได้ในแต่ละคน

ในคำหนึ่ง ๆ ค่าดัชนีความยากของคำนั้นจะเป็นการรวมค่าดัชนีความยากของแต่ละตัวอักษร ฉะนั้น ยิ่งคำนั้นมีความยาวมากเท่าใด ดัชนีความยากก็จะเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น สำหรับกรณีที่ต้องกด Shift ค้าง จะรวมค่าดัชนีความยากในการกด Shift เข้าไปด้วยโดยพิจารณาให้เป็นการกดปุ่ม ๆ หนึ่ง เช่น นิ้วเคลื่อนที่ไปยังปุ่มที่อยู่ติดกัน จะมีค่าดัชนีความยากเท่ากัน คือ ID = $\log_2(2/1.5 + 0.5) = 0.87447$ bits ตัวอย่างการพิมพ์คำว่า “the” ดังรูปที่ 4.3 จะเกิดจากการเคลื่อนที่ของนิ้วชี้ซ้ายจากตัว F ไปที่ตัว T ซึ่งอยู่ติดกัน จึงมีค่า ID สำหรับการเคลื่อนที่นี้เป็น 0.87447 จากนั้น เคลื่อนนิ้วชี้ขวาไปยังตัว H ได้ค่า ID = 0.87447 เช่นกัน ซึ่งเช่นเดียวกับตัว E ฉะนั้น สามารถคำนวณดัชนีความยากได้เป็น ID = 0.87447+0.87447+0.87447 = 2.62341 เป็นต้น

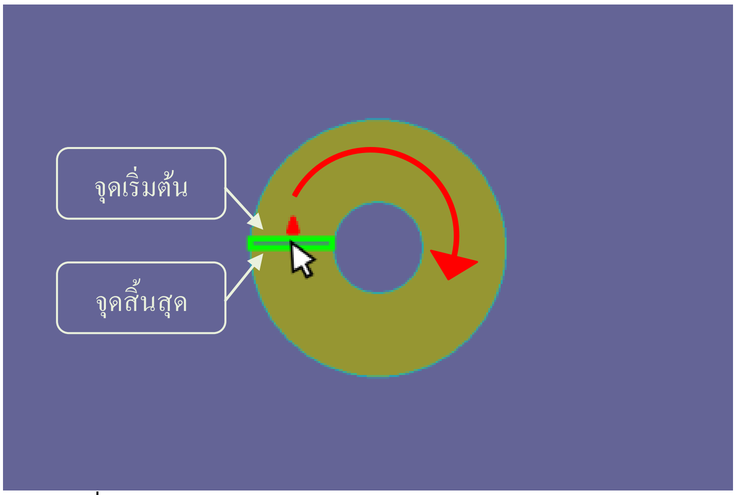


รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการกำหนดค่าดัชนีความยากของคำ

3. การทดสอบงานกราฟิก



รูปที่ 4.4-ก หน้าโปรแกรมการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง



รูปที่ 4.4-ข หน้าโปรแกรมการทดสอบงานกราฟิกวงกลม

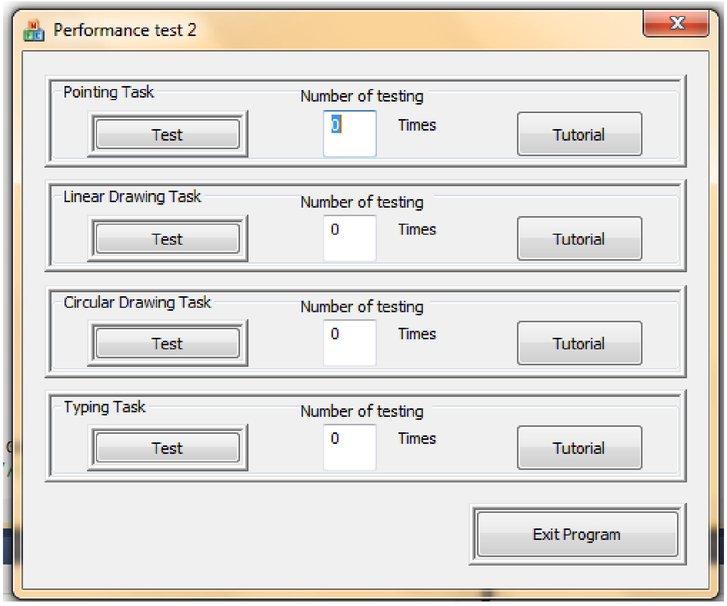
การวาดรูปจะแตกต่างจากหัวข้ออื่นที่ได้กล่าวมา เพราะการวาดรูปจะสนใจที่เส้นทางการเคลื่อนที่ ฉะนั้น การทดสอบนี้จึงต้องเป็นการทดสอบการเคลื่อนที่โดยกำหนดขอบเขตและเส้นทางที่ใช้ในการเคลื่อนที่ เป้าหมายคือการเดินทางที่อยู่ในเส้นทางและไม่คลาดเคลื่อนออกนอกเส้นทางในระยะเวลาที่กำหนด กล่าวได้ว่าการทดลองนี้จะเน้นที่การลดความคลาดเคลื่อนจากเส้นทาง ไม่เน้นที่การพยายามลดเวลาในการทำงาน แต่ก็ไม่ควรใช้เวลามากเกินความจำเป็น

การทดสอบนี้จะใช้วิธี Temporally Constrained Task ซึ่งเป็นการทดสอบที่ในการพิจารณาประสิทธิภาพจะเน้นที่ความแม่นยำในการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนด และพยายาม

ลดความคลาดเคลื่อนในการเคลื่อนที่จากเส้นทางนั้น และอาศัยหลักการของกฎสเตียริงในการคำนวณดัชนีความยากของแต่ละเส้นทางที่มีความแตกต่างกันทั้งความยาวและขนาดของเส้นทาง ในการทดสอบนี้จะแบ่งเส้นทางออกเป็นสองรูปแบบ เป็นสองการทดสอบย่อย คือ เส้นทางเป็นเส้นตรง (รูปที่ 4.4-ก) และเส้นทางเป็นวงกลม (รูปที่ 4.4-ข) ซึ่งจากกฎสเตียริง ดัชนีความยากของเส้นทางนั้นสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างระยะห่างและความกว้างของเส้นทางโดยตรง หากเป็นเส้นทางวงกลม ระยะทางในการเคลื่อนที่จะเป็นขนาดเส้นรอบวง ณ ตำแหน่งที่รัศมีเฉลี่ย และความกว้างของเส้นทางจะเป็นความต่างของรัศมีระหว่างวงนอกและวงใน

4.2 การสร้างโปรแกรมการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์

การทดสอบถูกสร้างขึ้นเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เขียนด้วยภาษา C++ โดยสร้างตามหลักการและการออกแบบข้างต้น เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมา จะแสดงหน้าหลักขึ้นมาก่อน ซึ่งจะประกอบด้วยปุ่มสำหรับกดเลือกทดสอบการทดสอบย่อย 4 การทดสอบ คือ การทดสอบการใช้งานเมาส์ การทดสอบงานวาดเส้นตรง การทดสอบงานวาดวงกลม และการทดสอบงานพิมพ์ ดังรูปที่ 4.5 โดยการเลือกทดสอบการทดสอบย่อยใดก่อนนั้น ผู้ทดสอบสามารถเลือกการทดสอบย่อยใดก่อนก็ได้

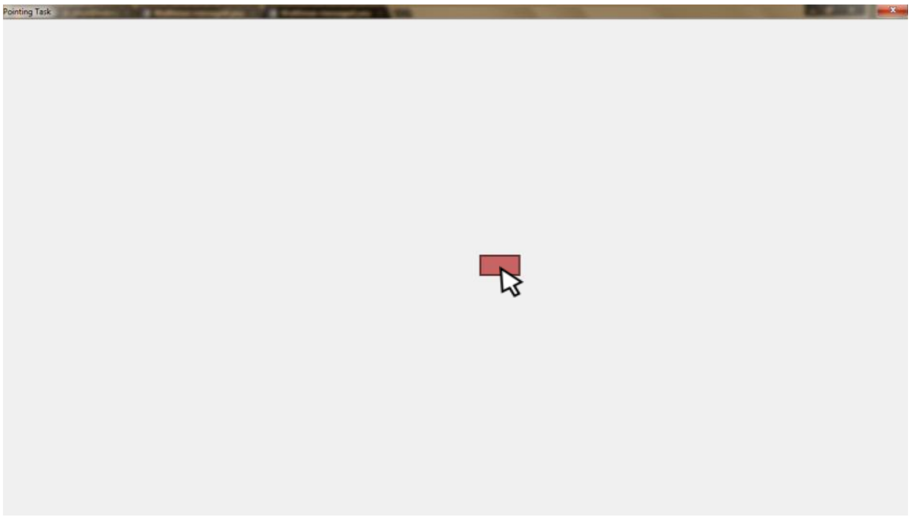


รูปที่ 4.5 หน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรมการทดสอบ

การทดสอบการใช้งานเมาส์

ใช้หลักการกฎของฟิตส์ร่วมกับมาตรฐาน ISO 9241-9 ดำเนินการทดสอบโดยหมุนวนเป้าหมายตามรูปที่ 5 ซึ่งวงกลมที่ใช้เป็นแนวของเป้าหมายนั้นจะเปลี่ยนแปลงขนาด 3 ขนาด คือ รัศมี 100, 200 และ 300 พิกเซล ในขณะที่ขนาดของเป้าหมายคงเดิมคือเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 30 พิกเซล และยาว 60 พิกเซล ดังรูปที่ 4.6

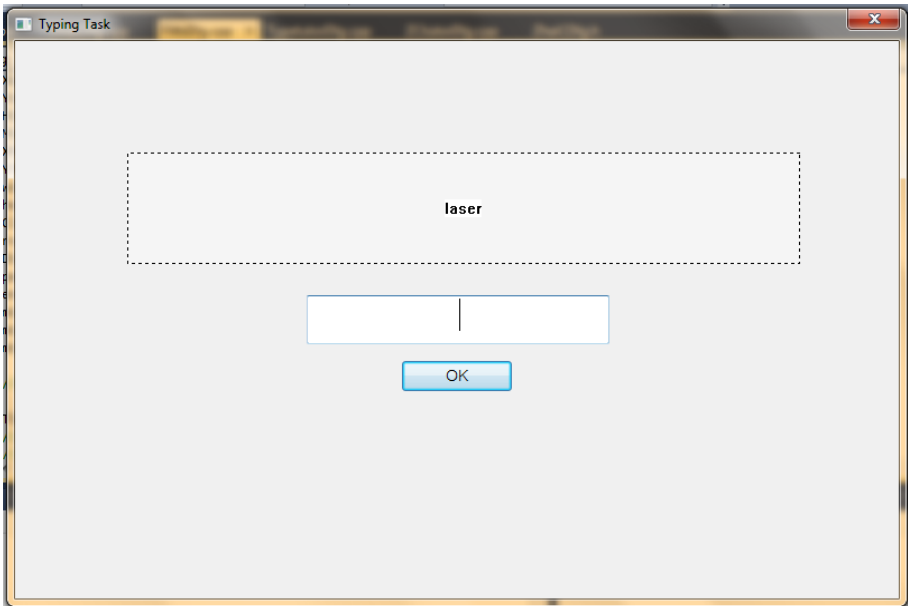
ในวงกลมแต่ละขนาด เป้าหมายจะหมุนวนไปสามรอบแล้วจึงเปลี่ยนขนาดและหมุนวนขนาดใหม่นั้นอีกสามรอบ จนจบขนาดสุดท้ายเป็นการสุดสิ้นการทดสอบการใช้งานเมาส์ โปรแกรมจะปิดหน้าต่างลงเอง



รูปที่ 4.6 หน้าต่างของโปรแกรมการทดสอบการใช้งานเมาส์

การทดสอบการทำงานพิมพ์

ใช้หลักการทดสอบดังที่ได้กล่าวไว้ในขั้นตอนการออกแบบการทดสอบ โดยบัญญัติคำขึ้นมาทั้งหมด 100 คำ ซึ่งมีค่าดัชนีความยากของแต่ละคำตั้งแต่ 0.8745 ถึง 14.38 bit ในการทดสอบโปรแกรมจะสุ่มเลือกคำจากร้อยคำนั้นทั้งหมด 20 คำให้ผู้ทดสอบพิมพ์ตาม โดยจะจับเวลาที่ผู้ทดสอบพิมพ์แต่ละคำ หากพิมพ์ผิดแล้วลบแก้พิมพ์ใหม่โดยที่ยังไม่ได้ป้อนข้อมูล โปรแกรมจะไม่ยกเลิกคำ ๆ นั้น แต่จะจับเวลาที่ใช้ทั้งหมดรวมถึงขั้นตอนในการแก้ด้วย แต่หากพิมพ์ผิดแล้วไม่รู้ตัวและผู้ทดสอบยังคงกด Enter ป้อนข้อมูลเข้าไป โปรแกรมจะเก็บข้อมูลคำนั้นว่าพิมพ์ผิด และไม่บันทึกเวลา ทั้งนี้ เพื่อเป็นการบันทึกสถิติการพิมพ์ผิดของแต่ละบุคคลที่แต่ละความเร็วด้วย ลักษณะหน้าต่างโปรแกรมเป็นดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 หน้าต่างโปรแกรมการทดสอบการทำงานพิมพ์

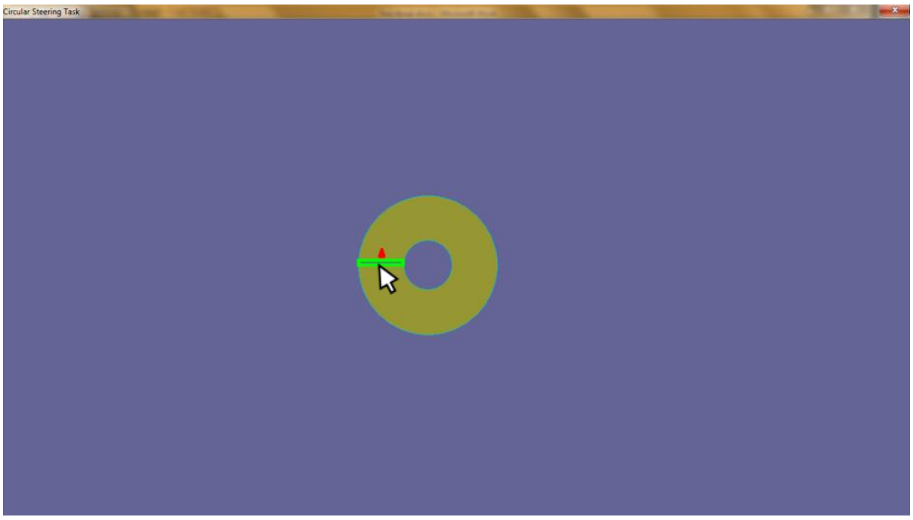
การทดสอบงานกราฟิก

การทดสอบงานกราฟิกใช้หลักการดังที่ได้กล่าวไป คือแบ่งออกเป็นสองการทดสอบย่อย ๆ คือ งานกราฟิกเส้นตรงและงานกราฟิกวงกลม

งานกราฟิกเส้นตรงประกอบด้วยสามระดับดัชนีความยาก คือที่อัตราส่วนระหว่างระยะห่างกับความกว้างของเส้นทางเป็น 3, 10 และ 17 bit โดยที่แต่ละดัชนีความยากนั้น การวาดจะมีทั้งหมดสี่ทิศทาง คือลากเส้นตรงจากซ้ายไปขวา จากล่างขึ้นบน จากขวาไปซ้าย และจากบนลงล่าง เมื่อทำครบทั้งสี่ทิศทางคือครบหนึ่งรอบ ที่ดัชนีความยากหนึ่งจะต้องทำงานสำเร็จ คือลากเส้นตรงโดยไม่ออกนอกเส้นทางและถึงเป้าหมาย ทั้งหมด 4 รอบ และจึงเปลี่ยนค่าดัชนีความยากเพิ่มขึ้นตามลำดับต่อไปจนครบ หากทำงานหนึ่งไม่สำเร็จ โปรแกรมจะบันทึกเป็นสถิติเก็บไว้และให้ทำงานนั้นซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะทำสำเร็จจึงจะดำเนินการไปยังทิศทางต่อไป หรือเปลี่ยนดัชนีความยากต่อไป

งานกราฟิกวงกลมจะมีลักษณะเช่นเดียวกับงานกราฟิกเส้นตรง คือจะประกอบด้วยสามดัชนีความยาก คือ 6.28, 18.85 และ 31.42 bit แต่สำหรับการวาดวงกลมนี้จะประกอบด้วยสองทิศทาง คือ ทิศตามเข็มนาฬิกา และทิศทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งที่แต่ละดัชนีความยาก จะให้ผู้ทดสอบวาดวงกลมในทิศทั้งสองสลับกันไปมา ทั้งหมด 5 รอบ จึงเปลี่ยนดัชนีความยากต่อไป และเช่นเดียวกับการวาดเส้นตรง หากผู้ทดสอบทำงานไม่สำเร็จ โปรแกรมจะให้ผู้ทดสอบทำงานนั้นซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะทำสำเร็จจึงจะดำเนินการทดสอบต่อไป

รูปที่ 4.8 หน้าต่างโปรแกรมการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง



รูปที่ 4.9 หน้าต่างโปรแกรมการทดสอบงานกราฟิกวงกลม

4.3 **การทดสอบโปรแกรมการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์**

ก่อนนำโปรแกรมการทดสอบประสิทธิภาพที่ได้ออกแบบไว้นี้ไปใช้ทดสอบการทำงานร่วมกับอุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่าง ควรมีการทดสอบตัวโปรแกรมเองเสียก่อน เพื่อให้มั่นใจว่าโปรแกรมที่ได้ออกแบบนั้นมีประสิทธิภาพในการวัดประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์ และมีความน่าเชื่อถือ สอดคล้องกับความเป็นจริงของการทำงานคอมพิวเตอร์

ในการทดสอบโปรแกรม มีอาสาสมัครร่วมทำการทดสอบทั้งหมด 10 คน เป็นเพศชาย 9 คน และเพศหญิง 1 คน อายุระหว่าง 20 - 22 ปี ซึ่งเป็นอายุช่วงที่มีการใช้งานคอมพิวเตอร์เป็นเวลานาน ฉะนั้น อาสาสมัครแต่ละคนจะมีความคุ้นเคยในการทำงานคอมพิวเตอร์มากพอสมควร

สภาพแวดล้อมที่ทำการทดสอบถูกควบคุมให้ใกล้เคียงกัน คือ ใช้สถานที่เดียวกันในการทำการทดสอบ ใช้อุปกรณ์ชิ้นเดียวกัน และวางตำแหน่งอุปกรณ์และสิ่งต่าง ๆ ให้อยู่ที่เดิม ไม่เปลี่ยนแปลง

ก่อนเริ่มการทดสอบ จะให้ผู้ทดสอบนั่งสบาย ๆ ไม่มีความเกร็ง และจะไม่มีการให้ผู้ทดสอบได้ลองใช้งานเมาส์ แป้นพิมพ์ หรืออุปกรณ์วาดรูปก่อน เพื่อให้ความคุ้นเคยในอุปกรณ์นั้น ๆ มีความเท่ากัน ไม่มีการได้เปรียบเสียเปรียบ เพราะอาจส่งผลให้ผลการทดสอบคลาดเคลื่อนได้

การทดสอบจะดำเนินไปจนกว่าผู้ทดสอบได้ทำการทดสอบครบทุกการทดสอบ โดยเรียงตามลำดับ คือ การทดสอบการใช้งานเมาส์ การทดสอบงานกราฟิก และการทดสอบงานพิมพ์ โดยการทดสอบหนึ่ง ๆ จะดำเนินต่อเนื่องไม่มีหยุดพัก อย่างไรก็ตาม จะมีช่วงเวลาระหว่างเปลี่ยนการทดสอบที่ให้ผู้ทดสอบได้มีโอกาสพักเป็นเวลา 1 ถึง 2 นาที เพราะหากทดสอบติดต่อกันเป็นเวลานานเกินไป ก็อาจทำให้เกิดความล้าจากการทำงานซ้ำ ๆ มาก ๆ ซึ่งอาจส่งผลให้ผลการทดสอบคลาดเคลื่อนได้เช่นกัน

เมื่อทดสอบครบทั้งสิบคน จะนำผลที่บันทึกโดยโปรแกรมมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการทำงานแต่ละประเภท โดยจะวิเคราะห์ในภาพรวม ไม่แบ่งแยกเป็นรายคน แต่จะศึกษาแนวโน้มส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจากอาสาสมัครทั้ง 10 คน

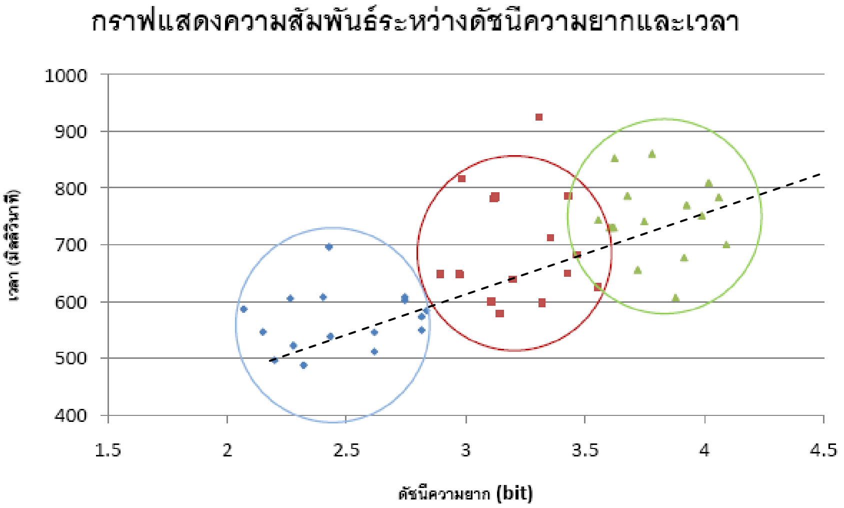
4.4 ผลการทดสอบโปรแกรมการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์

การทดสอบการใช้งานเมาส์

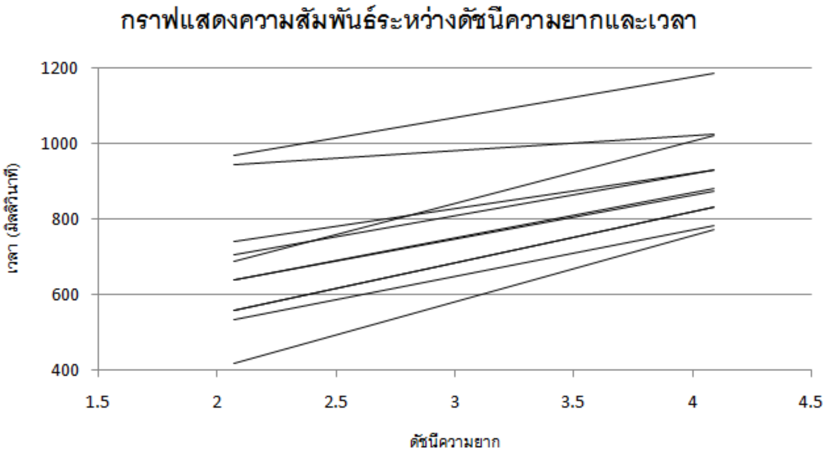
ในการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานด้วยเมาส์ของมนุษย์นั้น ผู้ทดสอบต้องเคลื่อนไหวเมาส์ในลักษณะดังรูปที่ 4.1 ซึ่งจะได้ผลการทดสอบพล็อตเทียบระหว่างค่าดัชนีความยากและเวลา ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 4.10 โดยที่แกน x เป็นค่าดัชนีความยาก และแกน y เป็นเวลา

รูปที่ 4.10-ก เป็นข้อมูลการทดสอบที่ได้จากผู้ทดสอบหนึ่งคน ดังที่กล่าวไว้ในขั้นตอนการออกแบบ ในหนึ่งการทดสอบจะทดสอบด้วยรัศมีสามค่าคือที่ 100 pixel (ข้อมูลจากการทดสอบอยู่ในวงกลมสีฟ้า), 200 pixel (ข้อมูลอยู่ในวงกลมสีแดง), และ 300 pixel (ข้อมูลอยู่ในวงกลมสีเขียว) จากกราฟจะพบว่า ที่ระยะรัศมีหนึ่ง ๆ การพิจารณาความกว้างเป้าหมายประสิทธิผลไม่มีความจำเป็น ดังจะสังเกตได้ในวงกลมของที่ระยะรัศมีหนึ่ง จุดข้อมูลนั้นวางตัวอย่างไม่มีนัยสำคัญ วางตัวเป็นกลุ่มของจุด ไม่สร้างแนวโน้มของกราฟ แสดงว่าการเปลี่ยนมุมองศาและการพิจารณาความกว้างเป้าหมายประสิทธิผลไม่มีความสำคัญและไม่มีผลต่อผลการทดสอบนี้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเป้าหมายมีความกว้างค่อนข้างน้อยอยู่แล้วเมื่อเทียบกับระยะการเคลื่อนที่ ส่งผลให้ความ

กว้างของเป้าหมายเองกับความกว้างเป้าหมายประสิทธิผลมีค่าที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย จึงสามารถละความสำคัญลงได้



รูปที่ 4.10-ก กราฟตัวอย่างแสดงผลการทดสอบการใช้งานเมาส์จากผู้ทดสอบหนึ่งคน



รูปที่ 4.10-ข กราฟแสดงผลการทดสอบการใช้งานเมาส์

อย่างไรก็ตาม เมื่อนำกลุ่มของจุดของทั้งสามระยะรัศมีมาพล็อตร่วมกัน จะทำให้เกิดเป็นแนวโน้มของเส้นตรงที่เกิดจากทั้งสามกลุ่มข้อมูล และสามารถสร้างเส้นแนวโน้มเป็นเส้นตรงได้ดังเช่นเส้นประในรูป 4.10-ก

เมื่อนำกลุ่มข้อมูลทั้งสิบกลุ่มจากผู้ทดสอบสิบคน มาพล็อตและวาดเส้นแนวโน้มรวมกัน จะได้ดังรูปที่ 4.10-ข ซึ่งจะเห็นว่าเส้นแนวโน้มของแต่ละกลุ่มข้อมูลโดยแต่ละบุคคลนั้น ส่วนใหญ่มี

ความชันที่มีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีจุดตัดและตำแหน่งของเส้นแนวโน้มที่ต่างกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากการตอบสนองของคนที่ต่างกัน เส้นแนวโน้มเส้นล่างแสดงถึงคนที่มีการตอบสนองเร็ว จึงใช้เวลาน้อยในการทำงานให้สำเร็จ ในขณะที่เส้นแนวโน้มเส้นบนแสดงการตอบสนองของคนที่ช้า จึงใช้เวลามากกว่าในการทำงานเสร็จ สิ่งที่สร้างความแตกต่างอาจเกิดจากความชำนาญของแต่ละบุคคลที่ไม่เท่ากัน หรือความไม่คุ้นเคย รวมถึงความไวในการปรับตัวให้เข้ากับอุปกรณ์ แต่อย่างไรก็ตาม สามารถเห็นได้ว่า ไม่ว่าจะเป็นการตอบสนองที่เร็วหรือช้า ลักษณะผลกระทบของความยากที่เพิ่มขึ้นที่มีต่อการทำงานจะใกล้เคียงกัน ด้วยความชันของเส้นแนวโน้มที่มีค่าพอ ๆ กันเป็นส่วนใหญ่ดังรูป

กราฟในการทดสอบดังรูปที่ 4.10 นอกจากสามารถพิจารณาประสิทธิภาพจากความชันของกราฟแล้ว จุดตัดของกราฟก็ยังเป็นอีกค่าหนึ่งที่น่าสนใจ

หากพิจารณาที่จุดตัดแกนเวลาของกราฟแล้ว จะเกิดการตัดแกนที่ดัชนีความยากของงานเป็นศูนย์ หรือก็คือ

$$ID = 0$$

$$log_2\left(\frac{2A}{W}\right) = 0$$

$$\frac{2A}{W} = 1$$

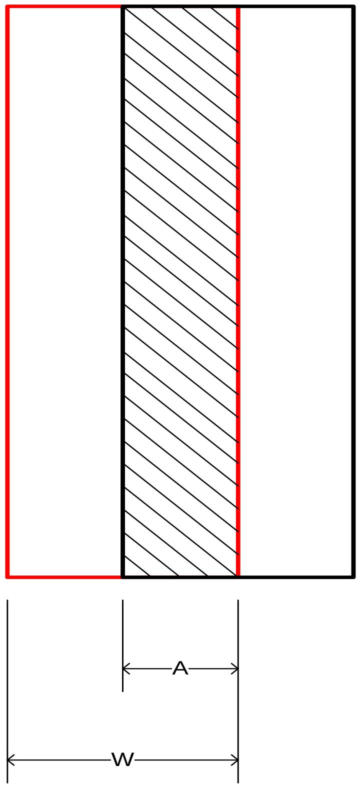
$$2A = W$$

$$A = \frac{W}{2}$$

แสดงว่าระยะเป้าหมายทั้งสองจะอยู่ใกล้กันมาก ซึ่งในความเป็นจริงแล้วจะอยู่ซ้อนกัน ดังรูปที่ 4.11

จากรูปจะเห็นว่า ในกรณีนี้เป้าหมายมีการซ้อนทับกัน โดยมีพื้นที่แรเงาเป็นพื้นที่ร่วม ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าการทำงานแบบนี้ ไม่จำเป็นต้องมีการเคลื่อนที่แต่อย่างใด เสมือนว่าได้มีการจ่ออุปกรณ์ไว้ที่เป้าหมายอยู่แล้ว เมื่อมีสัญญาณปรากฏให้ทำงาน ก็เพียงแค่กดหรือตอบสนองต่อสัญญาณเพียงเท่านั้น ฉะนั้น จุดตัดแกนของเวลาในกราฟ จึงเป็นการบ่งบอกเวลาในการ

ตอบสนองต่อสัญญาณ คือ เมื่อมีสัญญาณปรากฏขึ้น แต่ละคนจะใช้เวลาในการรับรู้และตอบสนองโดยการกดที่แตกต่างกันไป



รูปที่ 4.11 ลักษณะของเป้าหมายเมื่อ A= W/2

เวลาในการตอบสนองนี้สามารถบ่งบอกได้ว่าบุคคลที่กำลังทำงานอยู่นั้นมีสมาธิกับงานมากน้อยเพียงใด หากบุคคลนั้นสูญเสียสมาธิ เวลาที่ใช้ในการตอบสนองย่อมมากกว่า

อย่างไรก็ตาม ในการทำงานเมาส์ พบว่า เวลาในการตอบสนองนี้จะค่อนข้างแปรผันกับผลการคำนวณประสิทธิภาพของงานในลักษณะที่กลับกัน คือ ที่ความเร็วรอบ 20 และ 30 รอบต่อนาที ผลการคำนวณประสิทธิภาพชี้ว่าที่ความเร็วรอบทั้งสองนี้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีกว่าที่ความเร็วรอบอื่น ๆ แต่จากกราฟปรากฏว่าเมื่อมีการทำงานได้ประสิทธิภาพสูง นั่นหมายความว่ากราฟมีความชันน้อย จุดตัดแกนเวลาของกราฟจึงค่อนข้างสูง แสดงว่าใช้เวลาในการตอบสนองที่มากกว่า

เมื่อพิจารณากราฟที่มีความชันสูงกว่า นั่นหมายความว่ามีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่า แต่จุดตัดของกราฟก็อยู่ต่ำด้วย แสดงถึงการตอบสนองที่รวดเร็วกว่า

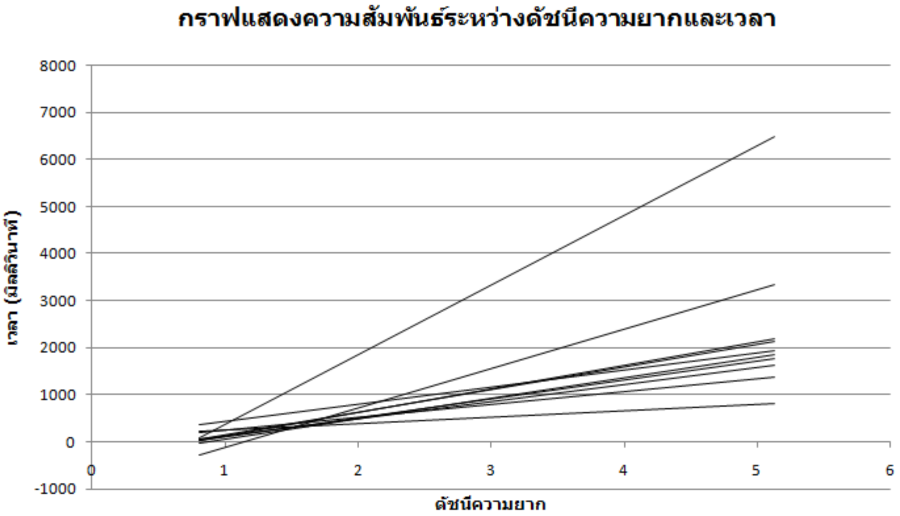
จากความขัดแย้งที่เกิดขึ้น สามารถอธิบายได้ว่า ความเร็วในการตอบสนองอาจไม่ได้เป็นการบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการทำงานคอมพิวเตอร์ได้มากนัก เนื่องจากเวลาในการตอบสนองนี้เป็นเวลาในการตอบสนองงานที่ไม่มีการเคลื่อนที่ ซึ่งในการทำงานคอมพิวเตอร์ งานลักษณะนี้เกิดขึ้นน้อยมาก และเมื่องานมีความยากเพิ่มขึ้น คือเริ่มมีระยะทางที่ต้องเคลื่อนที่ เวลาที่ใช้จึงเพิ่มขึ้น ซึ่งประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นจะเป็นการบ่งบอกว่า เมื่อความยากมีค่ามากขึ้นแล้ว เวลาที่ใช้จะยังคงทำได้ใกล้เคียงกับที่ความยากน้อย ๆ หรือไม่ หากมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่มาก ย่อมหมายความว่าบุคคลนั้นทำงานได้ประสิทธิภาพเพราะไม่ว่างานจะยากหรือง่ายต่างกันอย่างไร ก็ยังคงรักษาเวลาในการทำงานได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะต่างกับคนที่เมื่อต้องทำงานที่มีความยากสูงแล้วใช้เวลาที่มากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าประสิทธิภาพในการตอบสนองต่อความยากของงานค่อนข้างต่ำ จึงทำให้ใช้เวลาในการทำงานมากขึ้น และส่งผลให้กราฟมีความชันที่มากขึ้น จุดตัดแกนเวลาจึงต่ำนั่นเอง จุดตัดกราฟจึงไม่ใช่สิ่งสำคัญที่จะระบุประสิทธิภาพในการทำงาน หรือการรักษาสมาธิในการทำงานได้

ฉะนั้น แท้จริงแล้ว จุดตัดของกราฟไม่อาจบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการทำงานได้ แต่เป็นเพียงผลจากความชันของกราฟ ซึ่งอาจสรุปได้เพียงอย่างเดียวว่า หากเมื่อใดที่มีการทำงานได้ประสิทธิภาพที่ดี นั่นหมายความว่ากราฟจะมีความชันน้อย จุดตัดแกนจะอยู่สูงโดยที่เวลาที่แต่ละความยากจะค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่หากประสิทธิภาพที่ทำได้มีค่าน้อย กราฟมีความชันมาก จุดตัดแกนจะอยู่ต่ำ ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าที่ความยากค่าต่าง ๆ เวลาที่ใช้จะแปรผันและแตกต่างไปอย่างชัดเจน

จุดตัดของกราฟ จึงไม่อาจนำมาร่วมพิจารณาเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการทำงานคอมพิวเตอร์ได้ เพราะความหมายทางกายภาพไม่ได้สะท้อนค่าหรือประสิทธิภาพของการทำงานคอมพิวเตอร์แต่อย่างใด

กล่าวได้ว่าในการทำงานใช้งานเมาส์นั้น ประสิทธิภาพของแต่ละคนจะมีความใกล้เคียงและเป็นไปในแนวทางเดียวกัน เพียงแต่ความไวในการตอบสนองอาจต่างกันได้ เมื่อพิจารณาความชันของกราฟแต่ละกราฟ นำมาหาดัชนีประสิทธิภาพ และเฉลี่ยเพื่อเป็นค่าโดยรวม จะได้ดัชนีประสิทธิภาพการใช้งานเมาส์เป็น 9.5 bit/sec

การทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง



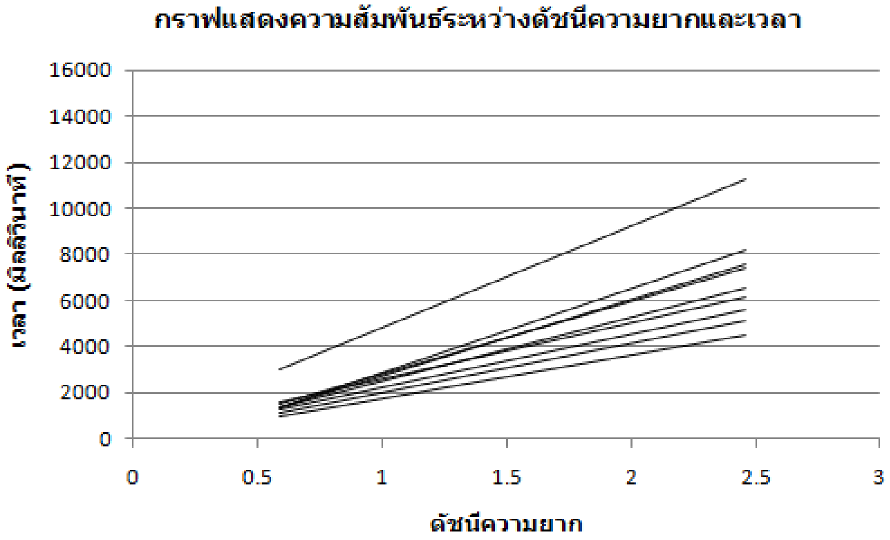
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรงของผู้ทดสอบ 10 คน

จากรูปที่ 4.12 พบว่า เส้นแนวโน้มที่ได้จากจุดข้อมูลของแต่ละผู้ทดสอบมีความชันที่แตกต่างกันออกไป โดยมีความชันต่ำสุดเท่ากับ 0.1 หรือก็คือค่าดัชนีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 10 bit/s และความชันสูงสุดเท่ากับ 1.4625 หรือค่าดัชนีประสิทธิภาพต่ำสุด 0.68376 bit/s อย่างไรก็ตามจุดตัดและตำแหน่งของเส้นแนวโน้มนั้นใกล้เคียงกัน คือที่ดัชนีความยากต่ำสุด จะใช้เวลาตอบสนองที่ประมาณ 300 มิลลิวินาทีเหมือนกัน บ่งบอกว่า ในการทำงานวาดเส้นตรงที่ไม่มีความยากมากนัก (เส้นตรงสั้น ๆ ในเส้นทางกว้าง) มนุษย์สามารถตอบสนองต่องานและทำงานด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกัน อาจเป็นเพราะการทำงานวาดรูปต้องใช้สมาธิ การทำงานจึงค่อยเป็นค่อยไป และใช้เวลาที่พอ ๆ กัน รวมถึงอาจเป็นเพราะความคุ้นเคยที่มีเท่ากันทุกคนในการขีดเขียนเส้นตรงสั้น ๆ เพราะเป็นสิ่งที่มักเกิดขึ้นเป็นเรื่องปกติในชีวิตประจำวันกับคนทุกคน เช่น การเขียนหนังสือ การขีดเส้นใต้ หรือการทำเครื่องหมายต่าง ๆ เช่น เครื่องหมายถูก ผิด เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ความชันที่ค่อนข้างแตกต่างกันนั้น บ่งชี้ว่าประสิทธิภาพของแต่ละบุคคลในการทำงานวาดเส้นตรงจริง ๆ ที่ไม่ใช่แค่การขีดเส้นสั้น ๆ จะค่อนข้างต่างกัน คือ เมื่อการวาดรูปมีความยากมากขึ้น อาจเพราะทั้งเส้นตรงที่ต้องวาดยาวขึ้น หรือเส้นทางแคบลง แต่ละคนจะมีความสามารถในการทำงานให้สำเร็จที่ไม่เท่ากัน คนที่ถนัดในด้านศิลปะ หรืออาจจะเคยทำงานด้านคอมพิวเตอร์กราฟิกมาก่อน จะมีความสามารถในการวาดรูปเส้นตรงได้ดีกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะความถนัด ทักษะ และ

ความเชี่ยวชาญในการวาดรูปที่แตกต่างกันออกไป รวมถึงความคุ้นเคยกับอุปกรณ์ที่อาจมีอยู่ในหลาย ๆ คนที่ทำอาชีพหรือมีงานอดิเรกด้านนี้

เมื่อพิจารณาความชันของกราฟแต่ละกราฟ นำมาหาดัชนีประสิทธิภาพ และเฉลี่ยเพื่อเป็นค่าโดยรวม จะได้ดัชนีประสิทธิภาพการวาดเส้นตรง ได้เป็น 2.74 bit/sec

การทดสอบงานกราฟิกวงกลม



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลมของผู้ทดสอบ 10 คน

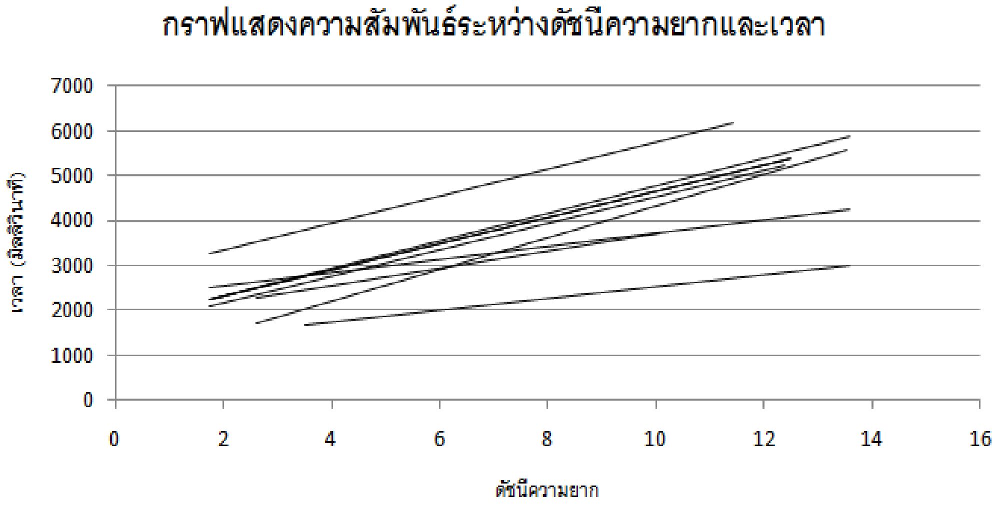
จากผลที่แสดงในรูปที่ 4.13 พบว่า เส้นแนวโน้มที่ได้จากจุดข้อมูลของแต่ละผู้ทดสอบมีความชันที่ใกล้เคียงกันมากกว่าการวาดเส้นตรง โดยมีความชันต่ำสุดเท่ากับ 1.9 หรือก็คือค่าดัชนีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 0.52632 bit/s และความชันสูงสุดเท่ากับ 4.1 หรือค่าดัชนีประสิทธิภาพต่ำสุด 0.24390 bit/s

แสดงว่าประสิทธิภาพของแต่ละบุคคลมีความใกล้เคียงกัน เนื่องจากความยากของงานที่ค่อนข้างสูง ทำให้การทำงานของแต่ละคนจะเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไป มีการใช้เวลาและสมาธิ เมื่อดัชนีความยากสูงขึ้น ผู้ทดสอบแต่ละคนจึงให้เวลาเพิ่มขึ้นพอ ๆ กัน เรียกว่าเป็นจุดที่สมาธิมีความสำคัญมากกว่าทักษะ จึงอาจเป็นงานที่ขึ้นกับสมาธิเป็นสำคัญ อย่างไรก็ตาม จะเห็นว่าจุดตัดและตำแหน่งของเส้นแนวโน้มจะค่อนข้างต่างกัน แสดงว่าการตอบสนองต่อการวาดวงกลมนั้นจะมีความแตกต่างกันมากกว่าในแต่ละบุคคล ทั้งนี้ อาจมาจากไม่มั่นใจในการวาดวงกลมที่ดู

เหมือนจะยากกว่าจะวาดเส้นตรง จึงทำให้การเริ่มตอบสนองมีความช้าเร็วที่ต่างกัน และอาจเป็นเพราะแต่ละคนใช้สมาธิในการวาดวงกลมที่มากน้อยต่างกัน ทำให้เวลาในการทำงานต่างกันด้วย

เมื่อพิจารณาความชันของกราฟแต่ละกราฟ นำมาหาดัชนีประสิทธิภาพ และเฉลี่ยเพื่อเป็นค่าโดยรวม จะได้ดัชนีประสิทธิภาพการวาดรูปวงกลม ได้เป็น 0.364 bit/sec ซึ่งเป็นที่น่าแปลกใจที่งานที่มีดัชนีความยากเฉลี่ยต่ำกว่า แต่ประสิทธิภาพในการทำงานที่ได้กลับน้อยกว่าการวาดเส้นตรง

การทดสอบงานพิมพ์



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงผลการทดสอบงานพิมพ์

จากรูปที่ 4.14 พบว่า เส้นแนวโน้มวางตัวเกาะกลุ่มกัน แสดงว่าการตอบสนองต่อการพิมพ์และความเร็วในการพิมพ์ของอาสาสมัครทดลองกลุ่มนี้มีความใกล้เคียงกัน แต่หากพิจารณาความชันของเส้นกราฟแล้ว จะเห็นว่ามีเส้นกราฟมีความชันต่างกันออกไปในแต่ละเส้น แสดงว่ามนุษย์แต่ละคนสามารถพิมพ์ได้ประสิทธิภาพที่ไม่เท่ากัน แสดงให้เห็นว่า การพิมพ์งานนั้นเป็นงานที่ต้องอาศัยความถนัดและความเคยชินของแต่ละบุคคล ซึ่งสมเหตุสมผลกับความเป็นจริง เพราะคนเรามีความสามารถ และความเร็วในการพิมพ์งานที่ต่างกัน

เมื่อพิจารณาความชันของกราฟแต่ละกราฟ นำมาหาดัชนีประสิทธิภาพ และเฉลี่ยเพื่อเป็นค่าโดยรวม จะได้ดัชนีประสิทธิภาพการพิมพ์ ได้เป็น 3.92 bit/sec

จะเห็นได้ว่า การวาดวงกลมเป็นงานที่มนุษย์สามารถทำงานได้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน แต่ประสิทธิภาพที่ได้นั้นจะค่อนข้างต่ำ คือสามารถทำงานได้ช้ากว่า เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับการวาดเส้นตรง ซึ่งพบว่า ถึงแม้ประสิทธิภาพการทำงานวาดเส้นตรงจะไม่เท่ากันในแต่ละบุคคล แต่โดยรวมแล้วจะมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าการวาดวงกลมมาก แสดงว่ามนุษย์สามารถวาดเส้นตรงได้ดีกว่าวงกลม ซึ่งสมเหตุสมผลตามความเป็นจริง แต่อย่างไรก็ตาม การทำงานโดยการพุ่งเข้าสู่เป้าหมายโดยไม่สนใจเส้นทางนั้น มนุษย์ย่อมสามารถทำได้ดีกว่า ดังจะเห็นได้จากค่าประสิทธิภาพของการทดสอบการใช้งานเมาส์ที่มีค่าสูงกว่าการทดสอบอีกสองการทดสอบมาก และประสิทธิภาพในการพิมพ์มีค่าต่ำกว่าการใช้งานเมาส์เช่นกัน แสดงให้เห็นว่า การทำงานคอมพิวเตอร์ให้ได้ประสิทธิภาพควรมีการใช้งานเมาส์เป็นส่วนใหญ่ เพราะสามารถตอบสนองตอบสิ่งต่าง ๆ บนหน้าจอได้เร็วและมีประสิทธิภาพมากกว่าการพิมพ์คำสั่ง

จากการทดสอบพบว่า โปรแกรมที่ออกแบบนั้นสามารถนำไปใช้ในการหาประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์ได้ และตอบโจทย์ความต้องการที่มีอยู่ โดยผลข้อมูลโดยรวม และค่าประสิทธิภาพที่หาออกมาได้จริง เป็นผลที่น่าเชื่อถือ สามารถวัดเปรียบเทียบได้เชิงปริมาณ และนำไปใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการวิจัยต่อไปได้

4.5 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบ พบว่าการกำหนดตำแหน่งโต๊ะ เก้าอี้ และอุปกรณ์ทุกอย่างไว้ที่ตำแหน่งเดิมสำหรับผู้ทดสอบทุกคนนั้นไม่เหมาะสม เนื่องจากสรีระและลักษณะร่างกายของผู้ทดสอบแต่ละคนไม่เหมือนกัน ทำให้การวางอุปกรณ์ต่าง ๆ ไว้อยู่กับที่จะเหมาะกับผู้ทดสอบแค่บางคน ผู้ทดสอบที่ตัวค่อนข้างสูง จะมีปัญหากับการใช้งานอุปกรณ์ ฉะนั้น ก่อนเริ่มการทดสอบ ควรให้ผู้ทดสอบได้มีโอกาสจัดตำแหน่งของเก้าอี้ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับสรีระของตนเอง โดยที่ควรกำหนดขอบเขตของตำแหน่งของอุปกรณ์ไว้แทน เพื่อไม่ให้ตำแหน่งของอุปกรณ์แตกต่างกันมากเกินไป

นอกจากนั้น การทำการทดสอบโดยไม่ให้ผู้ทดสอบทำความคุ้นเคยกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ก่อนนั้นอาจส่งผลให้ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อน เพราะคนแต่ละคนมีความคุ้นเคยและการปรับตัวกับอุปกรณ์ไม่เท่ากัน ช่วงแรก ๆ ประสิทธิภาพในการทำงานร่วมกับอุปกรณ์แต่ละอุปกรณ์ จึงไม่ได้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการทำงานเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับความเคยชินกับอุปกรณ์ ถึงแม้ว่าบางคนอาจเคยใช้อุปกรณ์มาแล้ว แต่ด้วยคุณสมบัติเฉพาะของแต่ละรุ่น แต่ละยี่ห้อ ทำให้

ไม่สามารถใช้งานอุปกรณ์นั้น ๆ ได้ทันทีอยู่ดี จำเป็นต้องทดลองใช้เพื่อปรับตัวให้สามารถใช้ได้อย่างคล่องแคล่วก่อน ประสิทธิภาพในการทำงานที่ได้จะมีประสิทธิภาพมากกว่า

บทที่ 5
การทดสอบเบื้องต้น

ก่อนจะทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานจริง ได้มีการจัดการทดสอบเบื้องต้น ร่วมกับอุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่าง เพื่อศึกษาแนวโน้มของผลกระทบที่เกิดขึ้น รวมถึงขอบเขตของความเร็วในการเคลื่อนที่ เวลาที่เหมาะสมในการทดสอบ จำนวนตัวอย่างที่เหมาะสม รวมถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้น เพื่อนำมาปรับ แก้ไข และพัฒนาในการทดสอบจริงต่อไป

5.1 รูปแบบและวัตถุประสงค์การทดสอบ

การทดสอบเบื้องต้นประกอบด้วยอาสาสมัครจำนวน 5 คน เพื่อใช้หาขอบเขตความเร็ว ตัวแปรควบคุม และขั้นตอนที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบ โดยทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมที่ได้สร้างไว้ เป็นจำนวนสามครั้ง ครั้งแรก ไม่มีการรบกวนใด ๆ ในขณะทำงาน คือทดสอบโดยที่ขาส่วนล่างไม่มีการเคลื่อนที่ ในครั้งที่สอง จะทดลองเพิ่มการเคลื่อนที่ของขาส่วนล่างเข้าไป โดยอาศัยการสร้างการเคลื่อนที่จากอุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่าง ในครั้งที่สองนี้จะกำหนดให้ความเร็วในการเคลื่อนขาเป็น 10 รอบการเคลื่อนขาต่อหนึ่งนาที และในครั้งที่สาม จะทำการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนขาขึ้นเป็น 30 รอบการเคลื่อนขาต่อหนึ่งนาที จากนั้นจึงนำผลที่ได้ในแต่ละประเภทการทดสอบมาสร้างกราฟเทียบระหว่างทั้งสามกรณี

5.2 ตัวอย่างประชากร

ในการทดสอบเบื้องต้นจะใช้ผู้ทดสอบทั้งหมด 5 คน เป็นหญิง 3 คนและชาย 2 คน ทุกคนจะทำการทดสอบเรียงกันไปตั้งแต่ความเร็วการเคลื่อนขาเป็น 0, 10 และ 30 รอบการเคลื่อนขาต่อนาที ระหว่างการทดสอบย่อยจะมีการหยุดพักเป็นเวลา 1 นาที

5.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

ในการทดสอบครั้งนี้ มีเครื่องมือและอุปกรณ์ดังนี้

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามใน ภาคผนวก ค
2. อุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่าง และมอเตอร์ ตามใน ภาคผนวก ข และ ค
3. โต๊ะและเก้าอี้

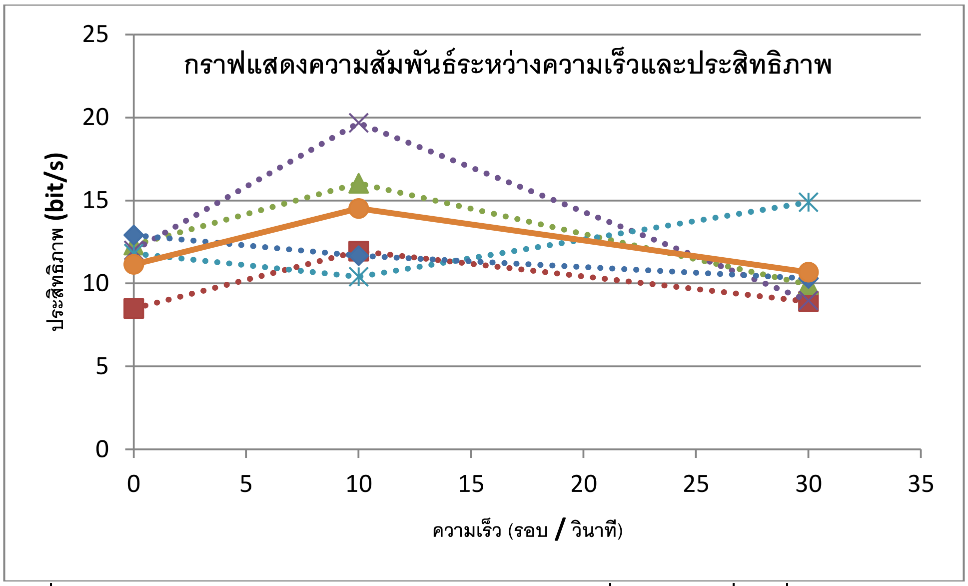
5.4 ขั้นตอนการทดสอบ

1. กำหนดให้ผู้ทดสอบนั่งในสถานที่ที่จัดไว้ โดยให้ผู้ทดสอบจัดตำแหน่งของอุปกรณ์และลักษณะการนั่งให้นั่งได้สบาย และตำแหน่งการวางเท้าบนเครื่องเคลื่อนขาส่วนล่างพอดีกับช่วงขาและสรีระของผู้ทดสอบ จัดการแป้นพิมพ์ เมาส์ และเมาส์ปากกาอยู่ในตำแหน่งที่พอดีกับช่วงแขนของผู้ทดสอบ ทดลองเปิดเครื่องเคลื่อนขาส่วนล่างช้า ๆ เพื่อดูว่าการเคลื่อนขาเป็นไปได้อย่างไม่ติดขัด เข่าไม่ติดโต๊ะ
2. เมื่อผู้ทดสอบอยู่ในท่านั่งที่ดีแล้ว จึงเริ่มการทดสอบ โดยเริ่มจากการให้ผู้ทดสอบได้ทดลองใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ ก่อน เริ่มจากการใช้งานเมาส์ โดยเปิดการทดสอบการใช้งานเมาส์ขึ้นมา และให้ผู้ทดสอบลองทำงานนั้นจริง โดยยังไม่เก็บค่า ให้ผู้ทดสอบทดลองไปจนกว่าจะเกิดความเคยชินระดับหนึ่ง จนสามารถใช้งานเมาส์นั้นได้คล่องแคล่วจึงหยุด จากนั้นให้ผู้ทดสอบทดลองใช้เมาส์ปากกา ซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้ทดสอบหลายคนไม่คุ้นเคย โดยจะให้ทดลองทำงานวาดเส้นตรงก่อน เมื่อผู้ทดสอบมีความคุ้นเคย และสามารถทำงานได้คล่องแล้ว จึงเปลี่ยนไปทดลองงานวาดวงกลมต่อไป จนคุ้นเคยอีกเช่นกัน ลำดับสุดท้าย ทดลองใช้งานแป้นพิมพ์ที่จัดเตรียมไว้ให้
3. เมื่อผู้ทดสอบมีความคุ้นเคย และสามารถใช้อุปกรณ์ได้คล่องแล้ว จึงเริ่มการทดสอบจริง โดยเริ่มจากการทดสอบการใช้งานเมาส์ ในครั้งแรก จะทดสอบโดยที่ไม่มีการเคลื่อนขาส่วนล่าง คือให้ผู้ทดสอบเปิดโปรแกรม และทำการทดสอบจนสิ้นสุดเมื่อโปรแกรมปิดตัวเอง
4. ทดสอบครั้งที่สอง เปิดอุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่างให้มีความเร็วในการเคลื่อนขา 10 รอบการเคลื่อนขาต่อนาทีโดยควบคุมการจ่ายไฟจากอุปกรณ์จ่ายไฟ ให้ผู้ทดสอบได้ปรับตัวกับการเคลื่อนที่สักครู่ แล้วจึงเปิดโปรแกรมการทดสอบเดิม และทำการทดสอบนั้นซ้ำอีกครั้งจนจบการทดสอบ
5. เปลี่ยนความเร็วในการเคลื่อนขาเป็น 30 รอบการเคลื่อนขาต่อนาที และให้ทดสอบซ้ำเช่นเดิมจนจบการทดสอบ
6. เมื่อครบสามรอบ สามความเร็วแล้ว ให้ดำเนินการต่อไปโดยเปลี่ยนการทดสอบเป็นงานกราฟิกเส้นตรง และทดสอบกับสามความเร็วนั้นเช่นเดียวกัน และดำเนินการเช่นเดียวกันกับการทดสอบกราฟิกวงกลม และการทดสอบงานพิมพ์
7. เมื่อดำเนินการครบทั้งสี่การทดสอบย่อยแล้ว ปิดอุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่างและปิดโปรแกรม และสอบถามความรู้สึกของผู้ทดสอบเมื่อมีและไม่มีอุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่าง เพื่อดูว่าทางด้านอารมณ์นั้น การมีสิ่งรบกวนนี้มีผลต่อผู้ทดสอบอย่างไรบ้าง

5.5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

ผลการทดสอบที่ได้ เป็นผลการทดสอบโดยรวมจากผู้ทดสอบทั้ง 5 คน โดยที่ในแต่ละคนจะสามารถคิดประสิทธิภาพได้จากส่วนกลับของความชันของเส้นแนวโน้มของข้อมูลทั้ง 3 กรณี และจึงนำค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพของแต่ละกรณีมาพล๊อตร่วมกัน เพื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพเมื่อมีการรบกวนจากการเคลื่อนขาส่วนล่าง ได้ผลการทดสอบดังนี้

การทดสอบการใช้งานเมาส์



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงผลการทดสอบงานใช้งานเมาส์เมื่อมีการเคลื่อนที่ของขาส่วนล่าง

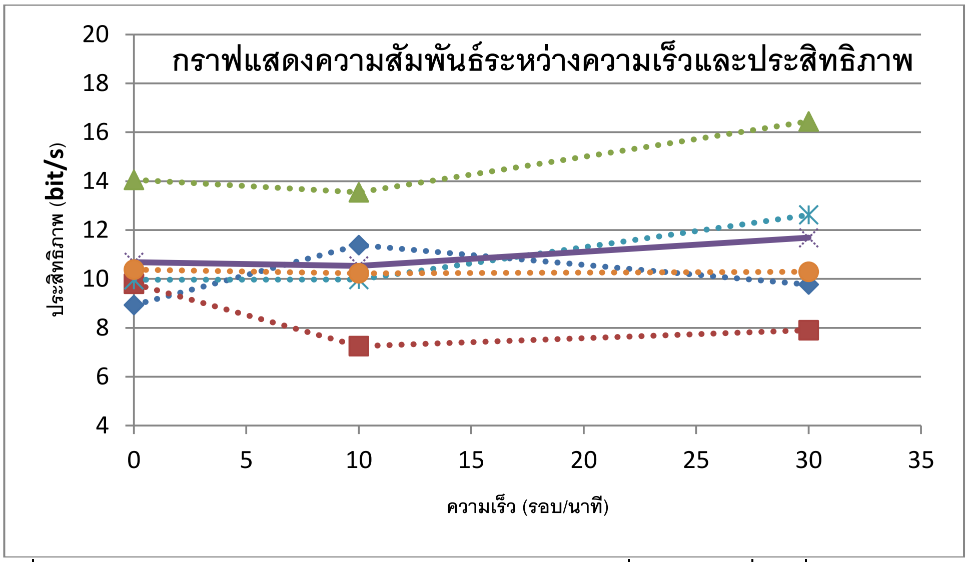
ในการทำงานด้วยเมาส์ จากรูปที่ 5.1 แสดงข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพที่ความเร็วรอบในการเคลื่อนขาส่วนล่างต่าง ๆ กัน โดยข้อมูลที่แสดงเป็นเส้นประ เป็นข้อมูลของผู้ทดสอบแต่ละคน ซึ่งจะเห็นได้ว่า สามคนจากผู้ทดสอบห้าคนมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกัน คือ ผู้ทดสอบทำงานได้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อทำงานไปพร้อมกับการเคลื่อนขาด้วยความเร็ว 10 รอบการเคลื่อนขาต่อนาที และประสิทธิภาพจะตกลงเมื่อความเร็วในการเคลื่อนขามีค่ามากขึ้น อย่างไรก็ตาม มีผู้ทดสอบอีกสองคนที่มีแนวโน้มที่ต่างออกไป คือ คนหนึ่งจะมีประสิทธิภาพที่ลดต่ำลงที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาที และสูงขึ้นที่ความเร็ว 30 รอบต่อนาที ในขณะที่อีกคนหนึ่งจะมีประสิทธิภาพที่ลดลงเรื่อย ๆ เมื่อมีการเคลื่อนขา จากผลการทดสอบที่สังเกตได้ อาจสรุปได้ว่า คนส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่จะทำงานได้ดีขึ้นเมื่อมีการเคลื่อนขาส่วนล่างด้วยความเร็ว

ต่ำ และเมื่อความเร็วสูงขึ้น ประสิทธิภาพจะตกลง อาจต่ำกว่าหรือเท่า ๆ กับประสิทธิภาพเมื่อไม่มีการเคลื่อนขา

เมื่อลองเฉลี่ยค่าประสิทธิภาพจากผู้ทดสอบทั้งห้าคน จะได้ดังกราฟเส้นทึบในรูปที่ 5.1 โดยเมื่อไม่มีการรบกวนจากภายนอก ประสิทธิภาพที่ได้คือ 11.148 bit/s เมื่อสร้างการเคลื่อนที่ให้กับขาด้วยความเร็ว 10 รอบต่อนาทีแล้ว จะพบว่า ประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้น เป็น 14.510 bit/s และเมื่อเพิ่มความเร็วของอุปกรณ์เป็น 30 รอบต่อนาที พบว่า ประสิทธิภาพมีค่าลดลง คือ 10.678 bit/s

นอกจากนั้น ในการทดสอบเบื้องต้นนี้ ยังได้มีการพิจารณาเวลาในการตอบสนองในแต่ละกรณีด้วย ซึ่งพบว่า ที่ความเร็ว 0 รอบต่อนาที ความเร็วในการตอบสนองจะช้าที่สุด ในขณะที่เมื่อมีความเร็วรอบมากขึ้นเป็น 10 รอบต่อนาที จะใช้เวลาในการตอบสนองน้อยลง เมื่อพิจารณาร่วมกับประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น จะพบแนวโน้มว่าที่ความเร็วต่ำ การทำงานประเภทนี้จะได้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบไม่มีการเคลื่อนขา ในขณะที่เมื่อความเร็วรอบมากขึ้นอีกเป็น 30 รอบต่อนาที ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพจะลดลง แต่กลับพบว่าความเร็วในการทำงานมีมากกว่าสองกรณีแรก ซึ่งอาจชดเชยกับประสิทธิภาพที่ลดลง และสรุปได้ว่าประสิทธิภาพคงข้างคงที่ได้

การทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรงเมื่อมีการเคลื่อนที่ของขาส่วนล่าง

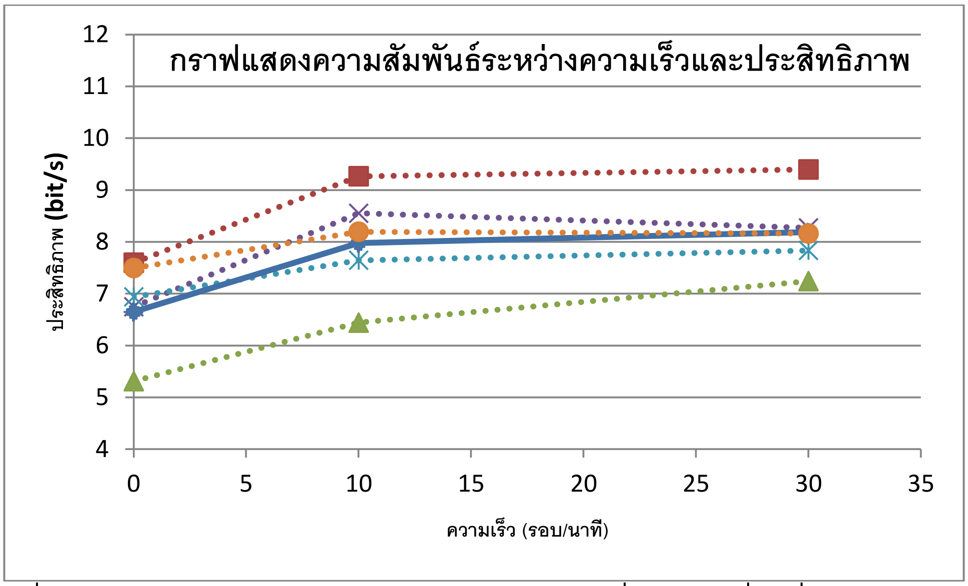
ในการทำงานกราฟิกเส้นตรง จากรูปที่ 5.2 พบว่าผู้ทดสอบแต่ละคนมีแนวโน้มของประสิทธิภาพที่ต่างกันออกไป แต่ที่มีลักษณะร่วมกันคือการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของแต่ละ

คนนั้นมีไม่มาก คือไม่ว่ากรณีใด ผู้ทดสอบจะสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพที่ไม่ต่างกัน แสดงว่าผู้ทดสอบสามารถที่จะรักษาประสิทธิภาพในการทำงานไว้ได้นั่นเอง

ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยจากแต่ละผู้ทดสอบ เมื่อไม่มีการรบกวนจากภายนอก ประสิทธิภาพที่ได้คือ 10.685 bit/s เมื่อสร้างการเคลื่อนที่ให้กับขาด้วยความเร็ว 10 รอบต่อนาทีแล้ว จะพบว่าประสิทธิภาพมีค่าลดลงเล็กน้อย คือ 10.535 bit/s ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อเพิ่มความเร็วของอุปกรณ์เป็น 30 รอบต่อนาที พบว่า ประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้น คือ 11.683 bit/s

สำหรับเวลาที่ใช้ในการตอบสนองพบว่า ที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาทีนั้น ผู้ทดสอบใช้เวลาที่แตกต่างกันออกไป ส่วนใหญ่ใช้เวลามากกว่ากรณีเมื่อไม่มีการเคลื่อนขาเล็กน้อย และมีบ้างที่ใช้เวลาน้อยกว่า ในขณะที่ที่ความเร็ว 30 รอบต่อนาที ทุกคนใช้เวลาน้อยกว่าทั้งสองกรณีมาก

การทดสอบงานกราฟิกวงกลม



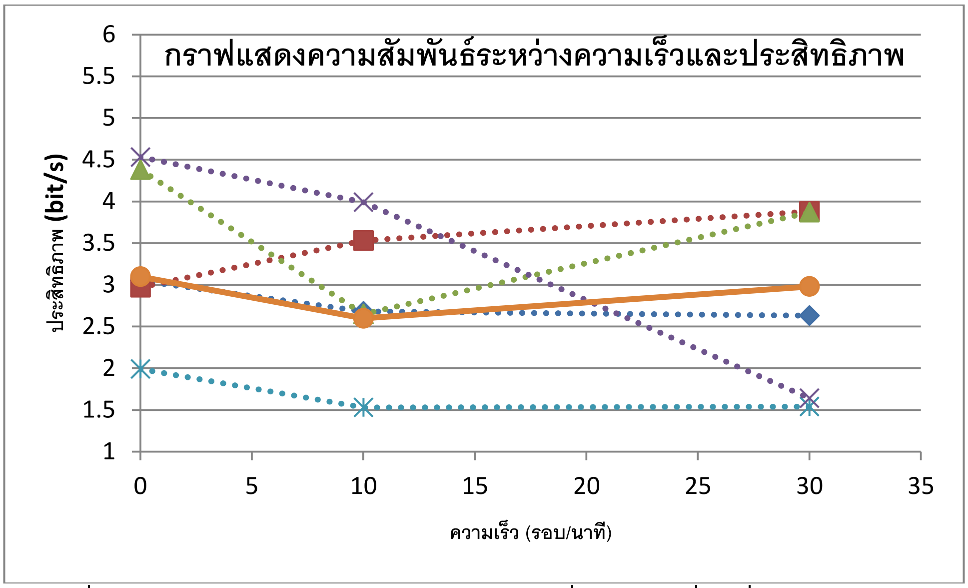
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลมเมื่อมีการเคลื่อนที่ของขาส่วนล่าง

ในการทำงานกราฟิกวงกลม จากรูปที่ 5.3 จะเห็นว่าผู้ทดสอบทุกคนมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพในทางเดียวกัน คือที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาที จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากที่ไม่มีการเคลื่อนขาส่วนล่าง รวมถึงที่ความเร็ว 30 รอบต่อนาทีก็เช่นกัน ประสิทธิภาพมีค่าใกล้เคียงกับประสิทธิภาพที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาที แสดงให้เห็นว่าสำหรับการทำงานกราฟิกวงกลมนี้ เมื่อมีการเคลื่อนขาส่วนล่างแล้ว ประสิทธิภาพในการทำงานจะดีขึ้น

ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยที่หาได้จากส่วนกลับของความชันในแต่ละกรณี เมื่อไม่มีการรบกวนจากภายนอก ประสิทธิภาพที่ได้คือ 6.6490 bit/s เมื่อสร้างการเคลื่อนที่ให้กับขาด้วยความเร็ว 10 รอบต่อนาทีแล้ว จะพบว่า ประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้น คือ 7.9756 bit/s และเมื่อเพิ่มความเร็วของอุปกรณ์เป็น 30 รอบต่อนาที พบว่า ประสิทธิภาพยิ่งมีค่าเพิ่มขึ้นอีก คือ 8.1855 bit/s

ในการทำงานนี้ มีลักษณะเช่นเดียวกันคือ ที่ความเร็วขา 30 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ในการทำงานมีค่าน้อยกว่าอีกสองกรณีมาก ในขณะที่ประสิทธิภาพในการทำงานก็มีค่าสูงกว่า ทำให้ผลเบื้องต้นนี้ชี้ชัดว่าการเคลื่อนขาที่ความเร็วสูงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานนี้คงที่หรือดีขึ้น และที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ก็ใกล้เคียงหรือน้อยกว่าเมื่อไม่มีการเคลื่อนขาส่วนล่าง จึงสรุปได้ว่า หากทำงานประเภทนี้ร่วมกับการเคลื่อนขาส่วนล่าง จะส่งผลให้ได้ประสิทธิภาพงานที่ดียิ่งขึ้น

การทดสอบงานพิมพ์



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงผลการทดสอบงานพิมพ์เมื่อมีการเคลื่อนที่ของขาส่วนล่าง

ในการทำงานพิมพ์ จากรูปที่ 5.4 จะพบว่าแนวโน้มส่วนใหญ่ของผู้ทดสอบจะมีประสิทธิภาพลดลงที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาที แต่เมื่อปรับความเร็วเป็น 30 รอบต่อนาที แนวโน้มของผู้ทดสอบแต่ละคนจะแตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพที่ 30 รอบต่อนาทีของคนส่วนใหญ่นั้น จะต่ำกว่าประสิทธิภาพเมื่อไม่มีการเคลื่อนขาส่วนล่าง

ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยที่หาได้จากส่วนกลับของความชันในแต่ละกรณี เมื่อไม่มีการรบกวนจากภายนอก ประสิทธิภาพที่ได้คือ 3.0975 bit/s เมื่อสร้างการเคลื่อนที่ให้กับขาด้วยความเร็ว 10 รอบต่อนาทีแล้ว จะพบว่า ประสิทธิภาพมีค่าลดลง คือ 2.5975 bit/s และเมื่อเพิ่มความเร็วของอุปกรณ์เป็น 30 รอบต่อนาที พบว่า ประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย คือ 2.9800 bit/s ซึ่งก็ยังคงต่ำกว่าประสิทธิภาพที่ไม่มีการรบกวน

ในทางกลับกันจากงานประเภทอื่น งานพิมพ์กลับให้ประสิทธิภาพที่ลดลงจากเดิมเมื่อมีการเคลื่อนขาส่วนล่าง และเมื่อพิจารณาเวลาในการตอบสนอง พบว่าเวลาในการตอบสนองงานในแต่ละกรณีนั้นไม่แตกต่างชัดเจน จึงกล่าวได้ว่า งานพิมพ์นั้นเป็นงานประเภทเดียวที่การเคลื่อนขาส่วนล่างส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง

จากผลการทดสอบเบื้องต้น พบว่า ประสิทธิภาพในการทำงานของผู้ทดสอบหนึ่งคน มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบโปรแกรมที่ได้ก่อนหน้านี้ คือ ผู้ทดสอบสามารถทำงานใช้งานเมาส์ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด อันดับสองคืองานกราฟิกเส้นตรง อันดับสามคืองานกราฟิกวงกลม และอันดับสี่คือ งานพิมพ์

ในการใช้งานเมาส์ เมื่อเพิ่มการเคลื่อนที่ของขาส่วนล่างเข้าไป พบว่า ประสิทธิภาพในการทำงานมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยที่ความเร็วต่ำจะมีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อความเร็วสูงขึ้น จะมีประสิทธิภาพที่ต่ำลง แต่ไม่ได้ต่ำไปกว่าประสิทธิภาพในกรณีที่ไม่มีการเคลื่อนที่ของขาส่วนล่าง

ในงานกราฟิกเส้นตรง เมื่อเพิ่มการเคลื่อนที่ของขาส่วนล่างแล้ว ประสิทธิภาพที่ได้มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย มีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง ซึ่งโดยรวมแล้ว ประสิทธิภาพในทั้งสามกรณีไม่ค่อยแตกต่างกัน สามารถกล่าวได้ว่าประสิทธิภาพในการทำงานประเภทนี้ค่อนข้างคงที่ถึงแม้จะมีการเพิ่มการเคลื่อนที่ของขาส่วนล่างก็ตาม

ในงานกราฟิกวงกลม พบว่า เมื่อเพิ่มการเคลื่อนที่เข้าไปแล้ว ประสิทธิภาพของงานมีค่าเพิ่มขึ้น แม้กระทั่งเมื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ให้มากขึ้น ประสิทธิภาพในการทำงานก็ยังคงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหรือคงที่ อาจเป็นเพราะเมื่อถึงจุด ๆ หนึ่ง ประสิทธิภาพในการทำงานประเภทนี้จะไม่ลดลงอีก แม้ว่าจะมีสิ่งรบกวนจากภายนอกก็ตาม

ในการทำงานพิมพ์ เมื่อเพิ่มการเคลื่อนที่ของขาส่วนล่าง พบว่า ประสิทธิภาพในการทำงานมีแนวโน้มที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละผู้ทดสอบ บ่งบอกถึงความสามารถที่แตกต่างกันในการพิมพ์งาน ซึ่งขึ้นกับความถนัด อย่างไรก็ตาม ผู้ทดสอบทุกคนก็ยังคงที่แนวโน้มที่จะทำงานพิมพ์ได้

ประสิทธิภาพที่ลดลงเมื่อมีการเคลื่อนขาส่วนล่าง อาจสรุปได้ว่า การเพิ่มการเคลื่อนที่ของขาส่วนล่างนี้จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการพิมพ์งานลดลง

5.6 สรุปผลการทดสอบเบื้องต้น แผนการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบเบื้องต้น พบว่ามีเมื่อสิ่งรบกวนเข้ามามีบทบาทในการทำงาน ประสิทธิภาพในการทำงานแต่ละประเภทจะมีการตอบสนองที่ไม่เหมือนกัน งานใช้เมาส์มีลักษณะการตอบสนองคล้ายกับงานทางด้านกราฟิกเส้นตรง คือประสิทธิภาพค่อนข้างคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่ งานกราฟิกวงกลม จะให้ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น และงานพิมพ์มีแนวโน้มของประสิทธิภาพที่ลดต่ำลง

อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้นี้เกิดขึ้นจากการทดสอบจากผู้ทดสอบเพียง 5 คน ซึ่งสามารถเกิดความคลาดเคลื่อนได้ทั้งจากความถนัดส่วนตัว และสิ่งรบกวนอื่น ๆ ฉะนั้น ในการทำงานขั้นต่อไป จะทำการทดสอบร่วมกับอาสาสมัครเป็นกลุ่ม จำนวนคน 20 - 30 คน เพื่อสามารถศึกษาแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพในงานแต่ละประเภทได้ดียิ่งขึ้น เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับนำไปวิเคราะห์ในงานวิจัยที่ต้องการแก้ไขปัญหาสุขภาพของผู้ที่ต้องใช้งานคอมพิวเตอร์เป็นเวลานาน โดยไม่ได้เคลื่อนไหวร่างกาย และขาดการออกกำลังกาย ซึ่งอาจส่งผลต่อกล้ามเนื้อ ข้อต่อ และระบบไหลเวียนโลหิตให้มีการไหลเวียนโลหิตต่ำ โดยการแก้ไขจะเป็นการช่วยมนุษย์ให้ขยับร่างกายหรือออกกำลังกายได้ในขณะทำงานคอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นการกระตุ้นกล้ามเนื้อระบบไหลเวียนโลหิต และทำให้การยึดตัวของข้อต่างๆ ลดน้อยลง มีประเด็นสำคัญคือสามารถเคลื่อนไหวร่างกายของมนุษย์อย่างไรเพื่อให้มนุษย์ยังคงสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในการทดสอบต่อไปนั้น จะเพิ่มความเร็วที่ใช้ทดสอบอีก คือความเร็ว 20 และ 40 รอบต่อนาที อีกทั้ง จากการทดสอบเบื้องต้น พบว่าการทดสอบแต่ละประเภท เมื่อผู้ทดสอบทำการทดสอบมากรอบขึ้นเรื่อย ๆ จะเกิดความเคยชินในการทำงานนั้น ๆ อาจทำให้ผลการทดสอบช่วงหลังเกิดการคลาดเคลื่อนจากช่วงแรก เพราะความเคยชินนั้น ฉะนั้น ในการทดสอบต่อไป จะกำหนดให้ลำดับการทดสอบของแต่ละผู้ทดสอบไม่เหมือนกัน บางคนอาจได้เริ่มที่ความเร็ว 0 รอบต่อนาที และเพิ่มขึ้นตามปกติ ในขณะที่บางคนอาจเริ่มที่ความเร็วอื่น และไล่ไปตามลำดับ เพื่อชดเชยความเคยชินที่อาจเกิดขึ้นนั่นเอง

นอกจากนั้น นอกจากค่าประสิทธิภาพที่คำนวณได้และเวลาการตอบสนองที่พิจารณาแล้ว ควรพิจารณาความผิดพลาดที่เกิดขึ้นด้วย เช่น จำนวนครั้งที่ผิดพิมพ์ หรือจำนวนครั้งที่ทำงานไม่

สำเร็จ เพราะบางครั้งผลการคำนวณของประสิทธิภาพอาจสูง แต่ค่าประสิทธิภาพที่สูงนั้นอาจผ่านการทำงานที่ผิดพลาดมาแล้วหลายครั้ง ซึ่งจะกลายเป็นการทำงานที่ไม่มีประสิทธิภาพก็เป็นได้

บทที่ 6
การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์ร่วมกับการเคลื่อนขาส่วนล่าง

6.1 รูปแบบและวัตถุประสงค์การทดสอบ

การทดสอบครั้งนี้จะกำหนดกลุ่มตัวอย่างขึ้นมาจำนวนหนึ่ง มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาแนวโน้มของคนทั่วไปจากตัวอย่างที่คัดเลือกมา ว่าเมื่อมีการรบกวนจากการเคลื่อนขาส่วนล่างแล้วมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานอย่างไร โดยใช้ข้อเสนอแนะจากการทดสอบเบื้องต้น

การทดสอบครั้งนี้ ผู้ทดสอบหนึ่งคนจะทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมที่สร้างไว้ ทั้งหมด 5 รอบ แตกต่างไปตามความเร็วของการเคลื่อนขาส่วนล่าง คือ 0, 10, 20, 30 และ 40 รอบต่อนาที เหตุเนื่องจากที่ความเร็วสูงกว่านี้ อุปกรณ์เคลื่อนขาจะมีอาการสั่นซึ่งอาจทำให้เกิดอาการล้าต่อร่างกายของมนุษย์ได้ เป็นผลให้เกิดการคลาดเคลื่อน

เมื่อทดสอบจบแล้ว จึงนำค่าดัชนีความยากและเวลาที่ใช้ในการทำงานมาพล๊อตกราฟ และศึกษาความชันและประสิทธภาพในการทำงานนั้น ๆ เปรียบกันระหว่างการทำงานร่วมกับความเร็วต่าง ๆ อีกทั้งเปรียบเทียบข้อแตกต่างของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพระหว่างเพศชายและเพศหญิง

6.2 ตัวอย่างและประชากร

ประชากรสำหรับวิทยานิพนธ์นี้คือกลุ่มคนทั่วไปที่มีอายุระหว่าง 18 – 25 ปี โดยเป็นกลุ่มคนที่มีความเกี่ยวข้องกับการใช้งานคอมพิวเตอร์เป็นประจำ และมีความจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ทุกวันเป็นเวลานาน ไม่ว่าจะเป็นการทำงาน การผ่อนคลาย หรือความบันเทิง

อย่างไรก็ตาม ประชากรดังกล่าวมีมากนับไม่ถ้วน ซึ่งไม่สามารถจะทำการทดสอบได้ทุกคน จึงจำเป็นต้องมีการเลือกตัวอย่างออกมาจากประชากรเพื่อใช้เป็นตัวแทนทดสอบ ฉะนั้น สิ่งสำคัญที่จำเป็นต้องทำก่อนคือการกำหนดจขนาดของตัวอย่างที่จะสามารถแทนประชากรทั้งหมดได้

ในการกำหนดขนาดของตัวอย่าง จำเป็นต้องอาศัยความรู้ทางสถิติ เพื่อให้สามารถกำหนดได้อย่างถูกต้องและครอบคลุม สามารถเป็นตัวแทนของประชากรทั้งหมด

ในการทดสอบกับตัวอย่างที่เลือกมานั้น ผลที่ได้จะสามารถนำมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ โดยที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานนั้นสามารถบอกความแม่นยำ (Precision) ของการทดสอบนั้น ๆ แต่ไม่อาจบอกได้ว่า ค่าเฉลี่ยที่ได้นั้นมีค่าใกล้กับค่าจริงที่ควรได้จากประชากรมากน้อยแค่ไหน (Accuracy) การจะลดความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงได้นั้น ต้องอาศัยจำนวนครั้งที่ทดสอบมากขึ้น จึงจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยจากการทดสอบ เข้าใกล้ค่าจริงได้มากขึ้น

จนกระทั่งถ้าจำนวนตัวอย่างที่ทดสอบมีขนาดเท่ากับจำนวนประชากรแล้ว ค่านั้นก็จะเป็นค่าจริง หรือก็คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (Standard Deviation of The Mean, sm) หรือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error) มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งที่จริงแล้ว ส่วนเบียงเบน มาตรฐานของค่าเฉลี่ยนั้น จะมีค่าลดลงตามรากที่สองของขนาดประชากร

ปัญหาที่เกิดขึ้นคือการกำหนดขนาดตัวอย่าง เพราะขนาดของตัวอย่างควรจะมีความ เหมาะสม คือไม่มากเกินไป แต่ก็ควรมากพอที่จะเป็นตัวแทนประชากรทั้งหมดได้ วิธีการเลือก ตัวอย่างสามารถทำได้โดยอาศัยหลักการทางสถิติ โดยพิจารณาจากฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของผล การทดสอบ

ฟังก์ชั่นการกระจายของความน่าจะเป็น (Probability Distribution Function (PDF), $F_X(x)$)

ในทฤษฎีความน่าจะเป็น การกระจายของความน่าจะเป็น (Probability Distribution) เป็น ฟังก์ชั่นที่อธิบายความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม (Random Variable) ที่จะมีค่าเฉพาะค่าใดค่าหนึ่ง

โดยปกติ ฟังก์ชั่นการกระจายนี้สามารถแบ่งออกได้เป็นสองลักษณะ คือ ตัวแปรสุ่มต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่อง สำหรับกรณีที่ตัวแปรสุ่มไม่ต่อเนื่อง ค่าความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแต่ละตัวที่ เป็นไปได้จะมีค่าที่แน่นอน เช่น ในการโยนลูกเต๋า ค่าความน่าจะเป็นของแต่ละด้านตั้งแต่ 1 ถึง 6 จะมีค่าค่าเดียวที่แน่นอน คือ 1/6 นั่นเอง

สำหรับกรณีที่ตัวแปรสุ่มต่อเนื่อง ความน่าจะเป็นจะมีความต่อเนื่องเช่นเดียวกันและไม่เป็น ศูนย์ ก็ต่อเมื่อมีการกำหนดขอบเขตให้มันตัวแปรสุ่มนั้น เช่น ในการตรวจสอบน้ำหนักของสินค้า ชนิดหนึ่ง ที่ต้องการให้น้ำหนักนั้นมีค่าเท่ากับ 500 กรัม ควรจะมีความน่าจะเป็นที่จะมีน้ำหนักได้ ตั้งแต่ 490 ถึง 510 กรัม ไม่ต่ำกว่า 98%

ฟังก์ชั่นการกระจายของความน่าจะเป็นถูกนิยามโดยสมการดังต่อไปนี้

$$F_X(x) \equiv P[X \leq x] = P[(-\infty, x]]$$

สมการด้านบน มีความหมายว่า ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่ตัวแปรสุ่ม $X \leq x$ มีค่า เท่ากับ $F_X(x)$

ฟังก์ชั่นความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function (pdf), $f_X(x)$)

ถูกนิยามโดย

$$F_X(x) = \int_{-\infty}^{x} f_X(t)dt \qquad \text{หรือ} \qquad f_X(x) = \frac{dF_X(x)}{dx}$$

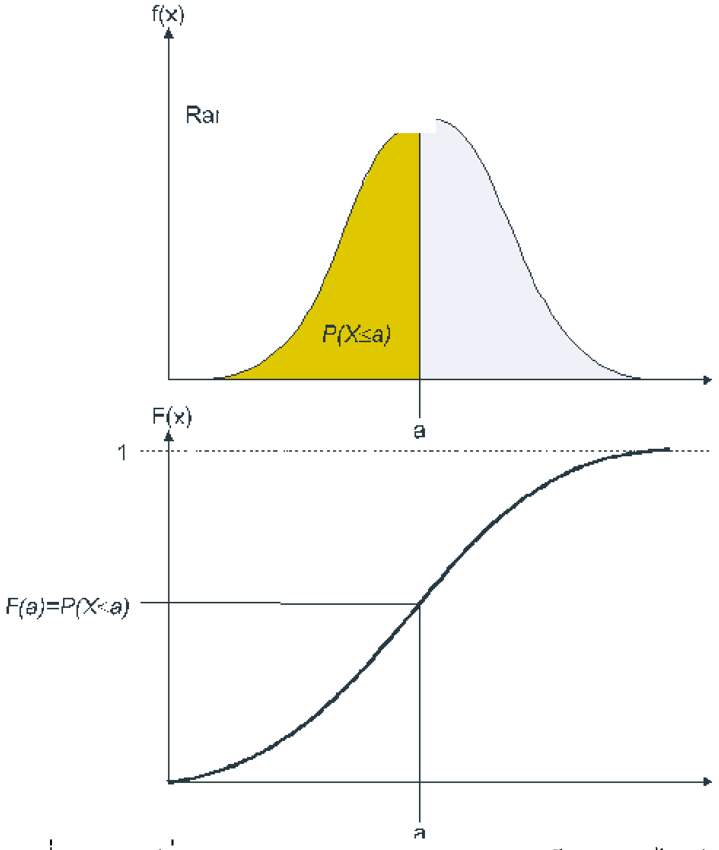
ฉะนั้น กล่าวได้ว่า

$$P[X \le x] = F_X(x) = \int_{-\infty}^{x} f_X(t)dt = Area\ under\ the\ pdf\ curve\ from - \infty\ to\ x.$$

และ

$$P[x_1 \le X \le x_2] = P[x_1 < X < x_2] = P[x_1 \le X < x_2] = P[x_1 < X \le x_2]$$
$$= F_X(x_2) - F_X(x_1) = \int_{x_1}^{x_2} f_X(t)dt$$

ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ฟังก์ชั่นความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (ออนไลน์)

พารามิเตอร์ฟังก์ชั่นความหนาแน่นของความน่าจะเป็นนั้น จะเป็นพารามิเตอร์ประชากร คือต้องเกิดจากการเก็บข้อมูลจากประชากรเท่านั้น ตามสมมติฐาน

1. ประชากรนั้นต้องมีการกระจายที่แน่นอน สามารถอธิบายได้ในรูปแบบฟังก์ชั่นคณิตศาสตร์
2. ฟังก์ชั่นที่ว่าต้องเป็นฟังก์ชั่นความหนาแน่นปกติ

ฟังก์ชั่นความหนาแน่นปกติ (Normal Density Function)

มีพารามิเตอร์ คือ μ, σ^2; $$N(x;\mu,\sigma^2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

ฟังก์ชั่นนี้มีรากฐานมากจากพังก์ชั่นเกาส์ (Gaussian Function) ฉะนั้น X ในที่นี้ จึงเป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์หรือแบบปกติ (Gaussian / Normal Random Variable) ลักษณะของฟังก์ชั่นเกาส์จะมีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ ฟังก์ชั่นนี้ แสดงความหนาแน่นและการกระจายตัวของข้อมูล โดยที่พารามิเตอร์ทั้งสองตัวจะได้จากประชากรทั้งหมด จึงเป็นการยากหากข้อมูลที่ต้องการประกอบด้วยประชากรจำนวนมาก

ฟังก์ชั่นความหนาแน่นแบบ Student's t (Student's t Density Function)

มีพารามิเตอร์ คือ υ ; $$t(x;\upsilon) = \left[\frac{\Gamma((\upsilon+1)/2)}{\sqrt{\pi\upsilon}\,\Gamma(\upsilon/2)}\right]\frac{1}{(1+\frac{x^2}{\upsilon})^{(\upsilon+1)/2}}$$

ฟังก์ชั่นนี้ แสดงความหนาแน่นและการกระจายตัวของข้อมูลในลักษณะเดียวกันกับฟังก์ชั่นปกติ แต่ที่แตกต่างกันคือในฟังก์ชั่นแบบ Student's t นี้ จะใช้ข้อมูลจากตัวอย่างแทนประชากร ฉะนั้น จะไม่สามารถทราบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจากประชากรได้

ฟังก์ชั่นความหนาแน่นแบบ Student's t จะมีรูปกราฟที่คล้ายกับฟังก์ชั่นปกติ แต่สำหรับฟังก์ชั่น Student's t แล้ว ที่หางทั้งสองด้านจะมีความหนาแน่นที่หนักกว่าฟังก์ชั่นปกติ บ่งบอกถึงแนวโน้มที่ค่าของตัวอย่างจะมีโอกาสคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยได้มากกว่า

จากประชากรปกติ อันประกอบด้วยพารามิเตอร์ μ และ σ เมื่อเลือกตัวอย่างออกมาจำนวน n ตัว และกำหนดให้กระจายของข้อมูลเป็นแบบ Student-t Distribution โดยที่ตัวแปรสุ่มคือ $T = \frac{\bar{X}-\mu_X}{S_X/\sqrt{n}}$ ด้วย n-1 degrees of freedom

จะได้ว่า

$$P\left[\left|T = \frac{\bar{X} - \mu_X}{S_X/\sqrt{n}}\right| \leq t_{\alpha/2,\nu}\right] = 1 - \alpha$$

$$P\left[|\bar{X} - \mu_X| \leq t_{\alpha/2,\nu} S_X/\sqrt{n}\right] = 1 - \alpha$$

ความน่าจะเป็นที่ระยะห่างระหว่าง μ_X และ $\bar{X}$ มีค่าน้อยกว่า $\delta X = t_{\alpha/2,\nu} S_X/\sqrt{n}$ มีค่าเท่ากับ $1 - \alpha$

หรือก็คือ

$$P[-\delta X \leq \bar{X} - \mu_X \leq \delta X] = 1 - \alpha$$

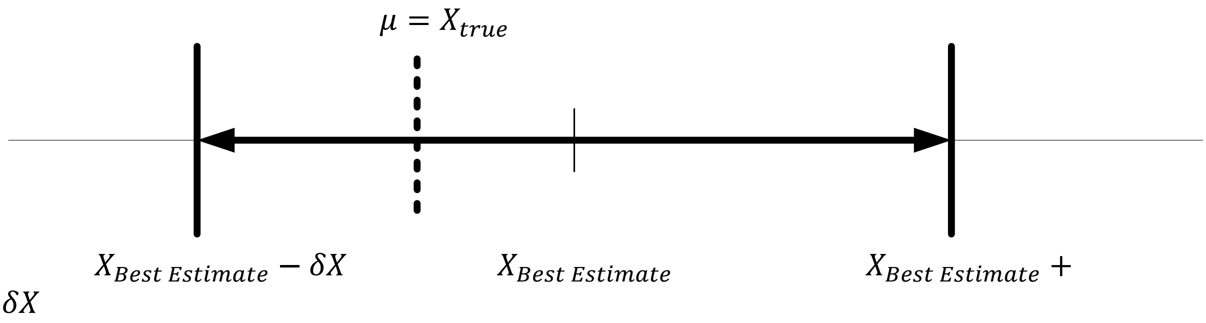
$$P[-\delta X + \bar{X} \leq \mu_X \leq \delta X + \bar{X}] = 1 - \alpha$$

ความน่าจะเป็นที่ μ_X จะอยู่ในช่วง $\bar{X} \pm \delta X$ มีค่าเท่ากับ $1 - \alpha$

อาจกล่าวได้ว่า

$$X = X_{Best\ Estimate} \pm \delta X$$

$$X = \bar{X} \pm t_{\alpha/2,\nu} S_X/\sqrt{n} @ (1 - \alpha)\% \text{ Confidence Limit}$$



รูปที่ 6.2 ช่วงความน่าจะเป็นของค่า μ_X

จาก $\delta X = t_{\alpha/2,\nu} S_X/\sqrt{n}$ จะเห็นว่า δX นั้น จะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ หากขนาดของตัวอย่างมีค่ามากขึ้น โดยจะแปรผกผันกับรากที่สองของขนาดตัวอย่าง ฉะนั้น ยิ่งขนาดตัวอย่างมีขนาดใหญ่เท่าใด ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นก็จะมีค่าน้อยลง และค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่ได้ ก็จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากขึ้น จนเมื่อขนาดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับขนาดของประชากรแล้ว ค่าเฉลี่ยนั้นจะเป็นค่าจริงในทันที

อย่างไรก็ตาม การเลือกขนาดตัวอย่างที่มากเกินไป จะเป็นสิ่งที่เกินความจำเป็น โดยเฉพาะบางครั้งที่การทดลองจะต้องใช้เวลานานและใช้ทรัพยากรมาก การกำหนดขนาดตัวอย่างจึงควรกำหนดให้เหมาะสม

จากสมการ จะเห็นว่าในการกำหนดขนาดของตัวอย่างให้สมเหตุสมผลนั้น จะใช้วิธีกำหนดค่าอื่น ๆ ขึ้นมาก่อน ให้สอดคล้องกับความต้องการของแต่ละการทดลอง คือ ความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยจริงของประชากรที่ยอมให้เกิดขึ้นได้หรือความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ระดับความมั่นใจ (Confidence Limit) และส่วนเบียงเบนมาตรฐานซึ่งจะได้จากการทดลองเบื้องต้น เมื่อกำหนดค่าเหล่านี้แล้ว จึงนำมาคำนวณหาขนาดของตัวอย่าง

โดยทั่วไปแล้ว ระดับความมั่นใจที่นิยมกำหนดจะอยู่ที่ 90 - 95% Confidence Limit เพราะหากเลือกใช้ค่าที่สูงกว่านี้ ช่วงของความมั่นใจ (Confidence Interval) จะกว้างเกินไป ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างสามารถต่างออกไปจากค่าจริงได้มาก ในทางกลับกัน หากเลือกใช้ค่าที่ต่ำ ช่วงดังกล่าวจะแคบ มีโอกาสส่งผลให้ค่าจริงถูกตัดทิ้งไป จึงเกิดความคลาดเคลื่อนได้สูงนั่นเอง สำหรับในที่นี้ จะเลือกใช้ที่ 95% Confidence Limit

สำหรับความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจะคำนวณจากสมการ

$$\delta X = t_{\alpha/2,\nu} S_X/\sqrt{n}$$

โดยที่ $t_{\alpha/2,\nu}$ คือ ค่ามาตรฐาน ในทางสถิติ มีความหมายเช่นเดียวกับค่า z เพียงแต่ถูกจำกัดด้วยขนาดของตัวอย่าง ค่า t สามารถหาได้จากตาราง t-table โดยจะขึ้นอยู่กับค่าหลัก ๆ สองค่า คือ Degree of Freedom (ν) มีค่าเท่ากับ n-1 และค่าความมั่นใจ $(1-\alpha)$% Confidence Limit ที่ต้องการ

S_X คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งหาได้จากการทดลองต้นแบบ

n คือ ขนาดของตัวอย่าง

สำหรับการทดสอบนี้จะกำหนดความเชื่อมั่นไว้ที่ 95% Confidence Limit จะได้ว่า $\alpha = 0.05$ สำหรับ one-tail หรือ $\alpha = 0.1$ สำหรับ two-tail

ในการทดสอบประกอบด้วยการทดสอบย่อย 4 การทดสอบ ซึ่งในการพิจารณาหาขนาดเนื่องจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละการทดสอบมีค่าไม่เท่ากัน จึงจำเป็นต้องพิจารณาแยกทั้งสี่การทดสอบ และหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับทั้งสี่การทดสอบ

การทดสอบการใช้งานเมาส์ ใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทั้งสามค่า สามกรณี คือ ที่ 1.78 4.18 และ 2.85 จากการทดสอบที่ความเร็วขา 0 10 และ 30 รอบต่อนาที

ทดลองเลือกให้ขนาดตัวอย่าง n = 30 จะได้ว่า Degree of Freedom = n-1 = 29

ฉะนั้นที่ ν = 29 และที่ $\alpha = 0.1$ จากตาราง t จะได้ t = 1.699 และได้

$$\delta X_{0\,rpm} = \frac{t_{\frac{\alpha}{2},\nu} S_X}{\sqrt{n}} = 1.699 \times \frac{1.78}{\sqrt{30}} = 0.55370$$

$$\delta X_{10\,rpm} = \frac{t_{\frac{\alpha}{2},\nu} S_X}{\sqrt{n}} = 1.699 \times \frac{4.18}{\sqrt{30}} = 1.2966$$

$$\delta X_{30\,rpm} = \frac{t_{\frac{\alpha}{2},\nu} S_X}{\sqrt{n}} = 1.699 \times \frac{2.85}{\sqrt{30}} = 0.88405$$

คิดเป็นความคลาดเคลื่อน 4.97% 8.94% และ 8.28% จากค่าเฉลี่ย ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงที่ยอมรับได้

สำหรับการทดสอบวาดเส้นตรง ใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.29 2.64 และ 3.72 จะได้

$$\delta X_{0\,rpm} = \frac{t_{\frac{\alpha}{2},\nu} S_X}{\sqrt{n}} = 1.699 \times \frac{2.29}{\sqrt{30}} = 0.71034$$

$$\delta X_{10\,rpm} = \frac{t_{\frac{\alpha}{2},\nu} S_X}{\sqrt{n}} = 1.699 \times \frac{2.64}{\sqrt{30}} = 0.81891$$

$$\delta X_{30\,rpm} = \frac{t_{\frac{\alpha}{2},\nu} S_X}{\sqrt{n}} = 1.699 \times \frac{3.72}{\sqrt{30}} = 1.1539$$

คิดเป็นความคลาดเคลื่อน 6.65% 7.77% และ 9.88% จากค่าเฉลี่ย ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงที่ยอมรับได้

การทดสอบวาดวงกลม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.96 1.22 และ 0.91 จะได้

$$\delta X_{0\,rpm} = \frac{t_{\frac{\alpha}{2},\nu} S_X}{\sqrt{n}} = 1.699 \times \frac{0.96}{\sqrt{30}} = 0.29779$$

$$\delta X_{10\,rpm} = \frac{t_{\frac{\alpha}{2},\nu} S_X}{\sqrt{n}} = 1.699 \times \frac{1.22}{\sqrt{30}} = 0.37844$$

$$\delta X_{30\,rpm} = \frac{t_{\frac{\alpha}{2},\nu} S_X}{\sqrt{n}} = 1.699 \times \frac{0.91}{\sqrt{30}} = 0.28228$$

คิดเป็นความคลาดเคลื่อน 4.48% 4.74% และ 3.45% จากค่าเฉลี่ย ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงที่ยอมรับได้

การทดสอบงานพิมพ์ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.98 0.82 และ 1.13 จะได้

$$\delta X_{0\,rpm} = \frac{t_{\frac{\alpha}{2},\nu} S_X}{\sqrt{n}} = 1.699 \times \frac{0.98}{\sqrt{30}} = 0.30399$$

$$\delta X_{10\,rpm} = \frac{t_{\frac{\alpha}{2},\nu} S_X}{\sqrt{n}} = 1.699 \times \frac{0.82}{\sqrt{30}} = 0.25436$$

$$\delta X_{30\,rpm} = \frac{t_{\frac{\alpha}{2},\nu} S_X}{\sqrt{n}} = 1.699 \times \frac{1.13}{\sqrt{30}} = 0.35052$$

คิดเป็นความคลาดเคลื่อน 9.81% 9.79% และ 11.76% จากค่าเฉลี่ย ตามลำดับ ซึ่งความคลาดเคลื่อนสองค่าแรกเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงที่ยอมรับได้ แต่ค่าสุดท้ายค่อนข้างสูง

อย่างไรก็ตาม ที่ขนาดตัวอย่าง n=30 นี้ ค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและยอมรับได้ จึงกล่าวได้ว่า ขนาดตัวอย่างนี้สามารถใช้แทนประชากรทั้งหมดได้โดยที่ผลที่ได้จะไม่คลาดเคลื่อนออกจากผลจริงที่จะได้จากประชากรทั้งหมดมากนัก

6.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

ในการทดสอบครั้ง มีเครื่องมือและอุปกรณ์ดังนี้

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามใน ภาคผนวก ค
2. อุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่าง และมอเตอร์ ตามใน ภาคผนวก ข และ ค
3. โต๊ะและเก้าอี้
4. โปรแกรมการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์

6.4 ขั้นตอนการทดสอบ

ในการทดสอบนี้ จะนำข้อเสนอแนะต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบเบื้องต้นมาปรับแก้ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบจะประกอบไปด้วยผู้ทดสอบทั้งสิ้น 30 คน โดยจะแบ่งเป็นชาย 15 คน และหญิง 15 คน มีอายุระหว่าง 18 ถึง 25 ปี

เมื่อผู้ทดสอบเข้าประจำที่ จะให้ผู้ทดสอบจัดการกับสถานที่ทดสอบคือตำแหน่งของเก้าอี้ อุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่าง รวมถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จำเป็น เพื่อให้สะดวกสบายและผู้ทดสอบสามารถใช้งานอุปกรณ์เหล่านั้นได้ง่ายตามสรีระของผู้ทดสอบแต่ละคน

จากนั้น จะให้ผู้ทดสอบทดลองใช้โปรแกรมการทดสอบและอุปกรณ์เพื่อใช้เคยชิน และจะอธิบายรูปแบบการทดสอบ รวมถึงการทดสอบย่อยต่าง ๆ โดยผู้ทดสอบจะทดลองทำการทดสอบต่าง ๆ ทั้งหมด แต่จะยังไม่บันทึกผลใด ๆ แต่จะให้ผู้ทดสอบมั่นใจว่าสามารถใช้งานอุปกรณ์เหล่านั้นได้อย่างคล่องแคล่ว และความไม่เคยชินจะไม่เป็นอุปสรรคหรือมีผลใด ๆ ต่อผลการทดสอบที่จะเกิดขึ้น

เมื่อผู้ทดสอบมีความเคยชินกับอุปกรณ์ทั้งหมด จึงเริ่มการทดสอบโดยผู้ทดสอบจะถูกกำหนดให้เริ่มการทดสอบด้วยความเร็วการเคลื่อนขาที่ต่างกัน เพื่อชดเชยความคลาดเคลื่อนจากความเคยชินและความล้า ดังตารางที่ 6.1 โดยที่กลุ่มชายและหญิงจะใช้รูปแบบนี้เหมือนกัน

จากตาราง จะเห็นว่า ผู้ทดสอบคนที่หนึ่ง จะเริ่มทดสอบโดยที่ไม่มีการเคลื่อนขาส่วนล่าง จากนั้นจึงเพิ่มการเคลื่อนขาเข้าไปในการทดสอบรอบที่สองที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาที และเพิ่มขึ้นในรอบที่สาม สี่ และห้าเป็น 20 30 และ 40 รอบต่อนาที ในขณะที่ผู้ทดสอบคนที่ 2 จะเริ่มการทดสอบด้วยความเร็วการเคลื่อนขา 10 รอบต่อนาที จากนั้นจึงเรียงลำดับไปเป็น 20 30 และ 40 รอบต่อนาที และจบลงด้วยการทดสอบที่ไม่มีการเคลื่อนขา ดำเนินการเช่นนี้ไปตามลำดับผู้ทดสอบ

ตารางที่ 6.1 รูปแบบการจัดลำดับความเร็วการเคลื่อนขาของแต่ละบุคคล

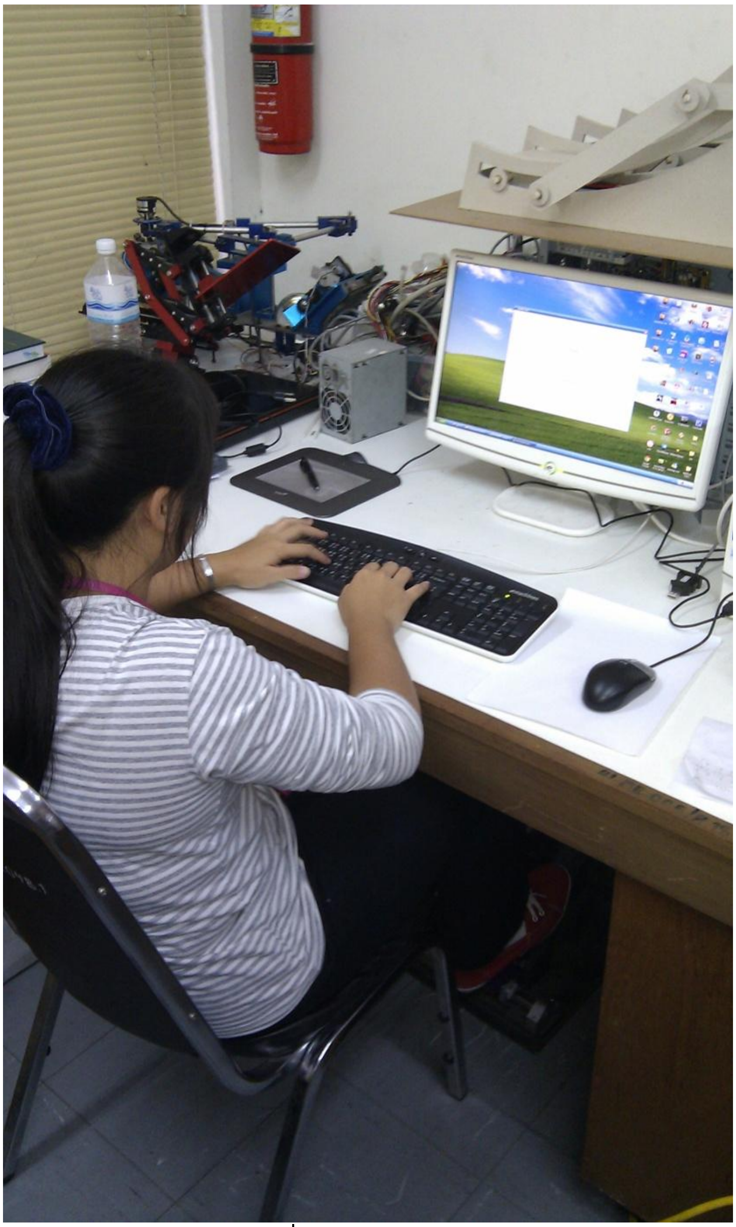
ลำดับ	ความเร็วที่ 1 (RPM)	ความเร็วที่ 2 (RPM)	ความเร็วที่ 3 (RPM)	ความเร็วที่ 4 (RPM)	ความเร็วที่ 5 (RPM)
1	0	10	20	30	40
2	10	20	30	40	0
3	20	30	40	0	10
4	30	40	0	10	20
5	40	0	10	20	30
6	0	10	20	30	40
7	10	20	30	40	0
8	20	30	40	0	10
9	30	40	0	10	20
10	40	0	10	20	30
11	0	10	20	30	40
12	10	20	30	40	0
13	20	30	40	0	10
14	30	40	0	10	20
15	40	0	10	20	30

ในการทดสอบจะทดสอบเรียงลำดับการทดสอบย่อยเป็น การทดสอบการใช้งานเมาส์ การทดสอบงานวาดเส้นตรง การทดสอบงานวาดวงกลม และการทดสอบงานพิมพ์ โดยจะทดสอบให้ครบทั้ง 4 การทดสอบย่อยก่อน จึงเปลี่ยนความเร็วรอบตามลำดับในตารางที่ 6.1 และทดสอบให้ครบการทดสอบย่อยอีกครั้ง ดำเนินการเช่นนี้คนครบทุกความเร็วรอบ จึงเป็นการสิ้นสุดการทดสอบ

เช่น สำหรับผู้ทดสอบคนแรก จะเริ่มการทดสอบการใช้งานเมาส์โดยที่ไม่มีการเคลื่อนขาส่วนล่างก่อน และเมื่อหมดรอบการทดสอบ จะเปลี่ยนไปทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง วงกลม และงานพิมพ์ จากนั้นจึงเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนขาเป็น 10 รอบต่อนาที และเริ่มการทดสอบการใช้งานเมาส์อีกรอบหนึ่งไปพร้อมกับการเคลื่อนขานั้น และดำเนินการต่อไปกับอีก 3 การทดสอบย่อย และจึงเปลี่ยนความเร็วรอบอีกครั้งตามตารางที่ 6.1 เมื่อครบทั้งห้าความเร็วจะเป็นการสิ้นสุดการ

ทดสอบ ซึ่งสำหรับผู้ทดสอบคนที่สอง จะต่างออกไป เพราะสำหรับแต่ละการทดสอบย่อย การทดสอบครั้งแรกจะเริ่มด้วยความเร็ว 10 รอบต่อนาทีก่อน แล้วจึงเรียงตามลำดับและจบลงโดยไม่มีการเคลื่อนขา

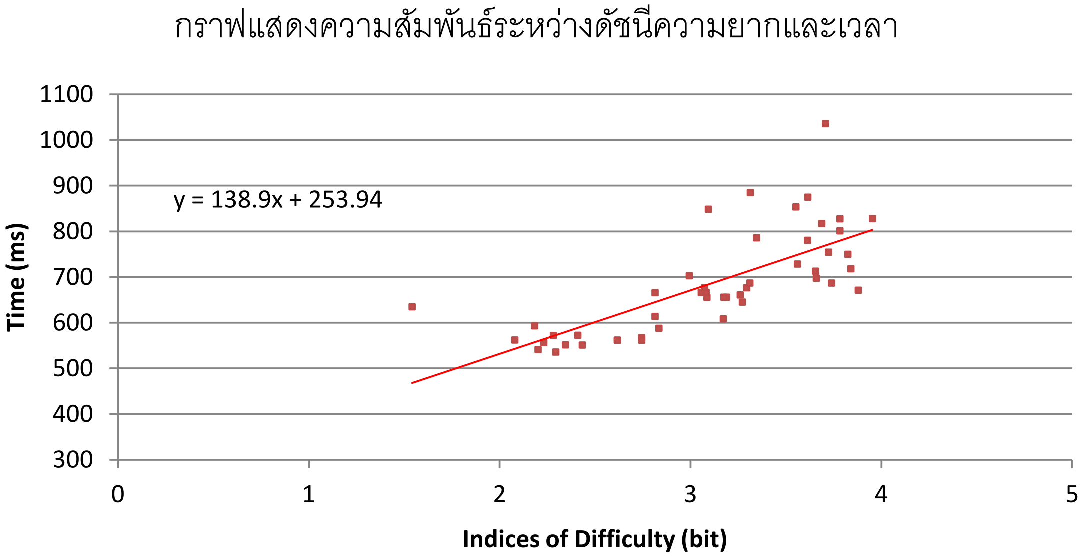
เก็บรบรวมผลจากผู้ทดสอบทั้งหมด นำมาพล๊อตกราฟความสัมพันธ์และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพที่เป็นผลมาจากการเพิ่มการเคลื่อนที่ของขาที่ความเร็วต่าง ๆ กัน



รูปที่ 6.3 การทดสอบ

6.5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

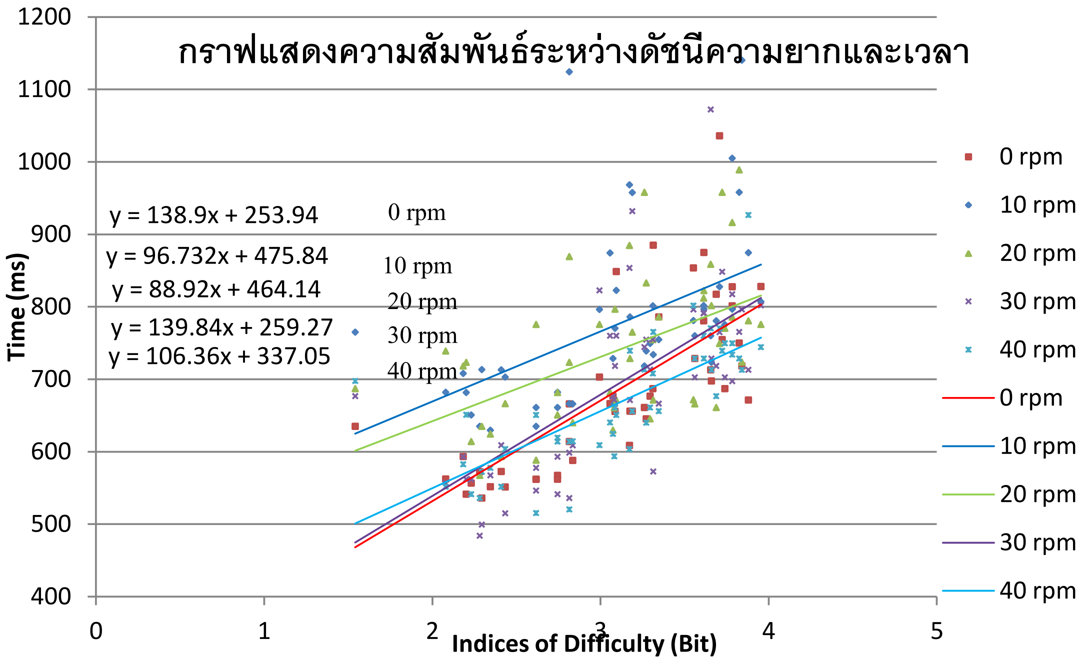
ผลการทดสอบจากผู้ทดสอบหนึ่งคน จากการทดสอบการใช้งานเมาส์ที่ความเร็ว 0 รอบต่อนาที เป็นดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ที่ 0 รอบต่อนาที โดยผู้ทดสอบหนึ่งคน

จากรูปที่ 6.4 จะได้ว่าสำหรับผู้ทดสอบคนนี้ เมื่อไม่มีการเคลื่อนขาส่วนล่าง สามารถใช้งานเมาส์ได้ประสิทธิภาพ IP = 1/138.9 = 0.0071994 bit/ms = 7.1994 bit/s

จากนั้น เมื่อวิเคราะห์ที่ความเร็วอื่น ๆ และพล๊อตกราฟร่วมกัน จะได้ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ของผู้ทดสอบหนึ่งคน

จากรูป จะได้ค่าประสิทธิภาพดังนี้

ที่ 0 รอบต่อนาที IP = 1/138.90 = 0.0071994 bit/ms = 7.1994 bit/s

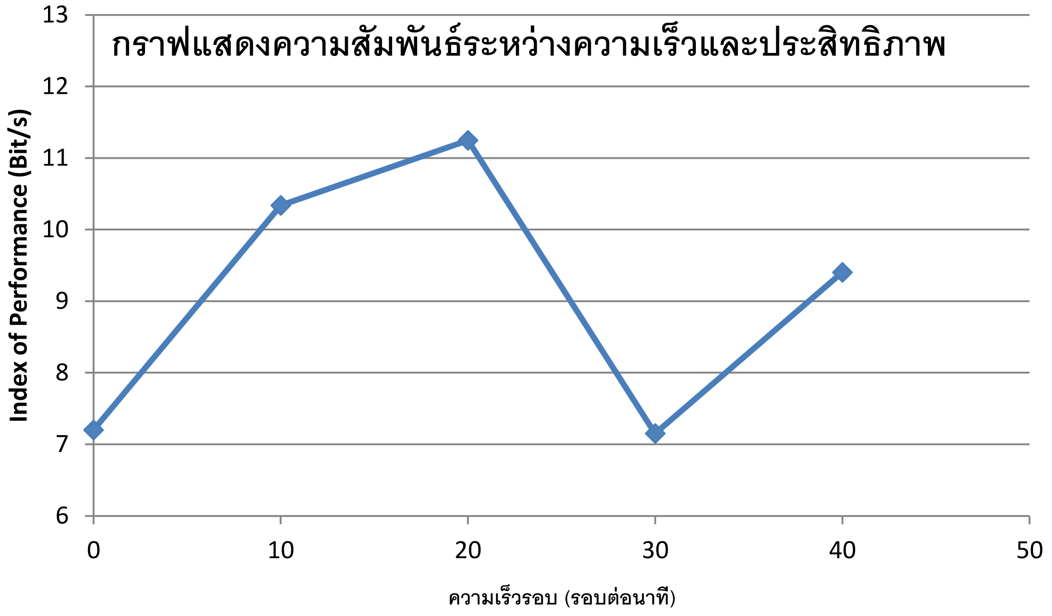
ที่ 10 รอบต่อนาที IP = 1/96.732 = 0.010338 bit/ms = 10.338 bit/s

ที่ 20 รอบต่อนาที IP = 1/88.920 = 0.011246 bit/ms = 11.246 bit/s

ที่ 30 รอบต่อนาที IP = 1/139.84 = 0.0071510 bit/ms = 7.1510 bit/s

ที่ 40 รอบต่อนาที IP = 1/106.36 = 0.0094020 bit/ms = 9.4020 bit/s

ซึ่งจะสามารถพล๊อตเพื่อศึกษาแนวโน้มของประสิทธิภาพได้ดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำงานกับความเร็วการเคลื่อนขา

จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพการทำงานด้วยเมาส์นั้น สำหรับคน ๆ นี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเคลื่อนขาส่วนล่าง โดยที่ที่ความเร็ว 30 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพจะตกลงมาอยู่ใกล้เคียงกับประสิทธิภาพเมื่อไม่มีการเคลื่อนขา ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพไม่เปลี่ยนแปลง

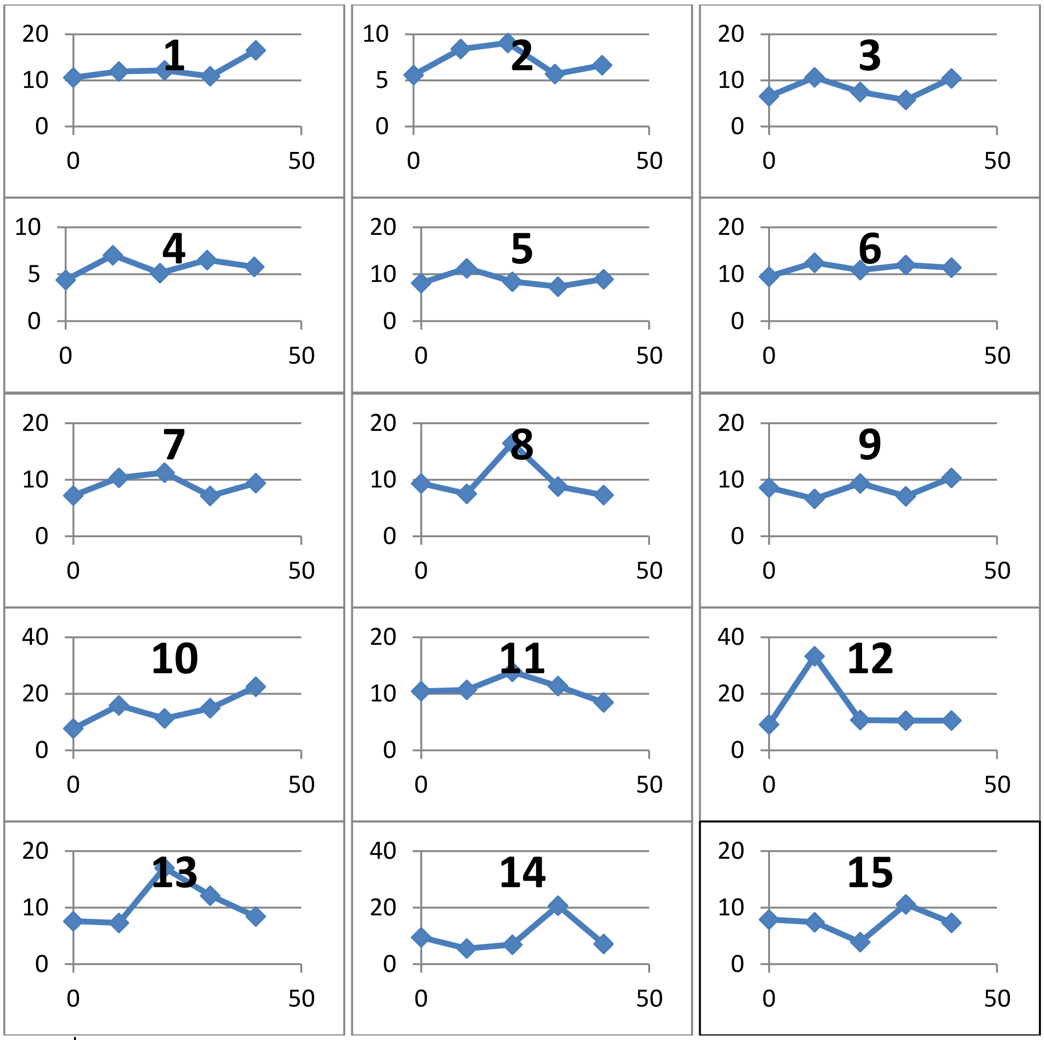
ฉะนั้น สำหรับบุคคลนี้ สามารถที่จะสรุปได้ว่า เมื่อมีการเคลื่อนขาส่วนล่างแล้ว การทำงานสามารถทำได้ประสิทธิภาพที่เท่าเดิมหรือเพิ่มขึ้น ซึ่งล้วนแต่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานทั้งสิ้น

การทดสอบการใช้งานเมาส์

จากตัวอย่างที่ได้จากผู้ทดสอบหนึ่งคน สามารถวิเคราะห์ในรูปแบบเดียวกันกับผู้ทดสอบทุก ๆ คน ดังตัวอย่างจากผู้ทดสอบชายทั้ง 15 คน ในรูปที่ 6.7

จากรูปที่ 6.7 จะเห็นว่า แนวโน้มของผู้ทดสอบแต่ละคนจะแตกต่างกันออกไป ไม่เป็นไปในแนวทางเดียวกัน โดยสามารถแบ่งออกได้เป็นสามกลุ่ม

กลุ่มแรก เช่นผลจากผู้ทดสอบคนที่ 1 2 3 และ 7 มีลักษณะแนวโน้มของประสิทธิภาพที่สูงขึ้นที่ความเร็วต่ำ ๆ แต่เมื่อที่ความเร็ว 30 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพจะลดต่ำลงมาอยู่ที่ค่าใกล้เคียงกับเมื่อไม่มีการเคลื่อนขาส่วนล่าง และจึงเพิ่มขึ้นที่ความเร็ว 40 รอบต่อนาที ซึ่งจากคนกลุ่มนี้ สามารถสรุปได้ว่าเมื่อมีการเคลื่อนขาส่วนล่าง บุคคลสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นหรือเท่าเดิมจากที่ไม่มีการเคลื่อนขา แสดงว่าการทำงานร่วมกับการเคลื่อนขานี้ได้ผลดี และไม่กระทบต่อการทำงาน



รูปที่ 6.7 ผลการทดสอบแนวโน้มประสิทธิภาพการทำงานเมาส์ของผู้ทดสอบชาย 15 คน

กลุ่มที่สอง เช่นผลจากผู้ทดสอบคนที่ 4 5 6 10 และ 12 มีลักษณะแนวโน้มของประสิทธิภาพที่สูงขึ้นที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาที และลดต่ำลงที่ความเร็ว 20 รอบต่อนาที และมีการเปลี่ยนแปลงแบบขึ้น ๆ ลง ๆ เช่นนี้กับความเร็วที่สูงขึ้น แต่ก็สามารถสังเกตได้ว่า ประสิทธิภาพที่เปลี่ยนแปลงแบบขึ้น ๆ ลง ๆ นั้นจะมีค่าที่มากกว่าหรือใกล้เคียงกับประสิทธิภาพเมื่อไม่มีการเคลื่อนขา แสดงว่า คนกลุ่มนี้ก็สามารถทำงานได้ประสิทธิภาพเช่นกัน แม้จะมีการเคลื่อนขาส่วนล่างก็ตาม

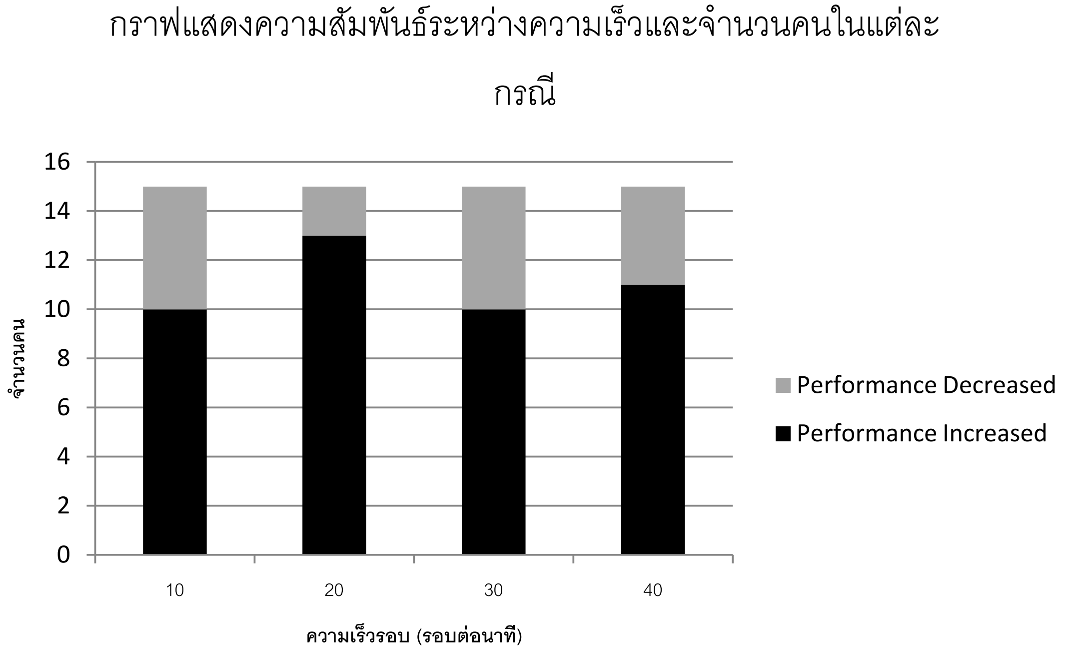
กลุ่มที่สาม ผลจากผู้ทดสอบคนอื่น ๆ ที่มีการลดลงของประสิทธิภาพเมื่อมีการเคลื่อนขาส่วนล่าง ซึ่งบางคนจะทำประสิทธิภาพได้ต่ำลงที่ความเร็วต่ำ ๆ ในขณะที่บางคนทำงานได้ประสิทธิภาพต่ำที่ความเร็วสูง ซึ่งไม่แน่นอน บางคนสามารถทำประสิทธิภาพได้สูงมากที่ความเร็ว 30 รอบต่อนาที ซึ่งขัดแย้งกับอีกหลายคนรวมถึงผู้ทดสอบในกลุ่มที่หนึ่ง สำหรับกลุ่มนี้ จึงอาจสรุป

ได้เพียงว่า การเพิ่มการเคลื่อนขาส่วนล่างที่บางความเร็วจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานเมาส์ของคนกลุ่มนี้ลดลง

จากผลการทดสอบจากทั้งสามกลุ่ม พบว่าการจะสรุปแนวโน้มของประสิทธิภาพจากคนกลุ่มนี้สามารถทำได้ยาก เนื่องจากไม่มีแนวโน้มที่ไปในแนวทางเดียวกัน แต่แบ่งออกเป็นสามกลุ่มดังที่ได้กล่าวมา ด้วยเหตุนี้ จึงไม่อาจสรุปได้ว่า แท้จริงแล้วการเคลื่อนขาส่วนล่างที่ความเร็วต่าง ๆ กัน จะมีผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของประสิทธิภาพอย่างไร

ด้วยปัญหาดังกล่าว จึงได้เกิดแนวคิดการวิเคราะห์ผลการทดสอบใหม่ คือแทนที่จะศึกษาแนวโน้มของแต่ละบุคคลและพยายามสรุปแนวโน้มที่มีร่วมกัน จะเปลี่ยนเป็นศึกษาสถิติการเพิ่ม ลด หรือไม่เปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพที่ความเร็วต่าง ๆ แทน เพื่อสามารถหาข้อสรุปได้ว่าที่ความเร็วต่าง ๆ นั้น คนส่วนใหญ่สามารถทำงานได้ประสิทธิภาพเป็นอย่างไร

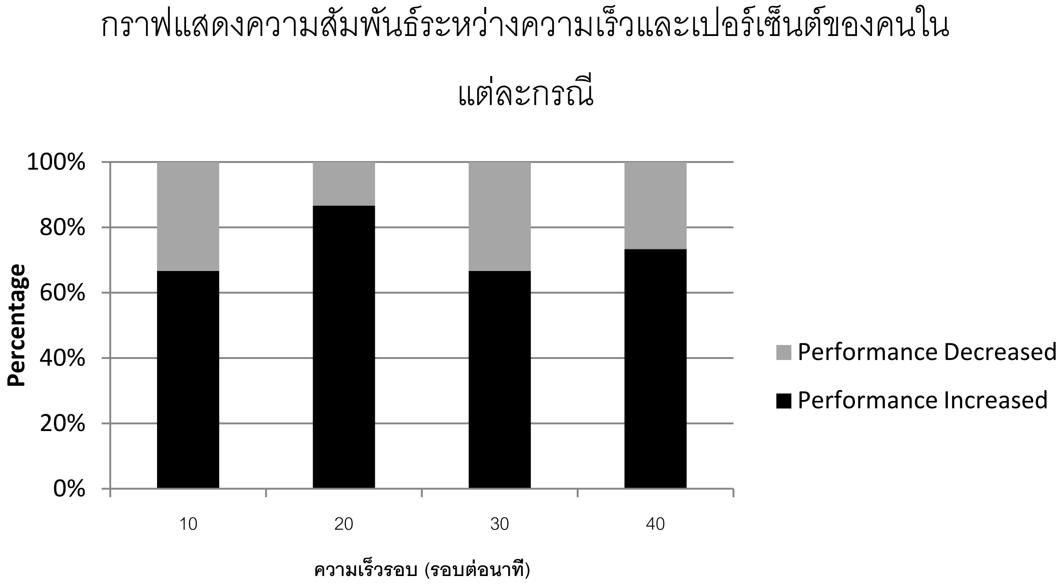
ผลการวิเคราะห์ในลักษณะดังกล่าว แสดงได้ดังรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 กราฟแสดงจำนวนคนที่มีประสิทธิภาพในการทำงานเมาส์เพิ่มขึ้นและลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ

จากรูปที่ 6.8 จะเห็นว่า ที่ทุก ๆ ความเร็ว คนส่วนใหญ่จะมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น สามารถเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังรูปที่ 6.9

จากรูปที่ 6.9 จะเห็นได้ว่า ที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาที มีคนประมาณ 65% จากตัวอย่างที่มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น และเป็นเช่นเดียวกันกับที่ความเร็ว 30 รอบต่อนาที ที่ความเร็ว 20 ต่อนาที มีคนเกือบ 90% จากตัวอย่างที่มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น และมีส่วนน้อยที่มีประสิทธิภาพลดลง เช่นเดียวกับที่ความเร็ว 40 รอบต่อนาที ที่มีคนส่วนใหญ่ (ประมาณ 70% จากตัวอย่าง) มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า สำหรับผู้ทดสอบเพศชาย การเคลื่อนขาส่วนล่างจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานด้วยเมาส์ของคนส่วนใหญ่ให้ดีขึ้น

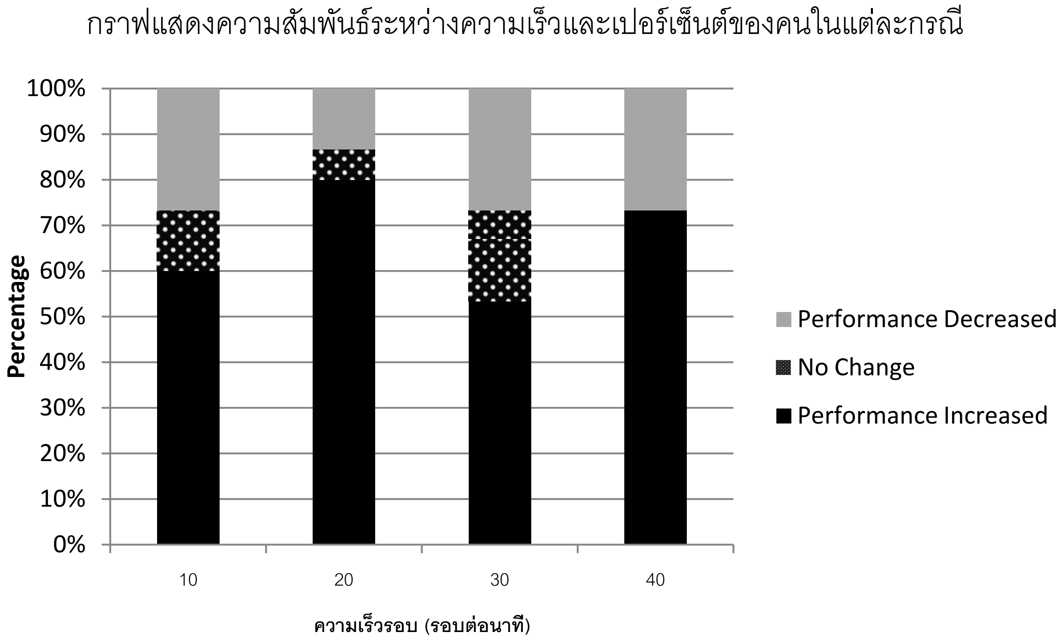


รูปที่ 6.9 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบเพศชายที่มีประสิทธิภาพในการทำงานเมาส์เพิ่มขึ้นและลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ

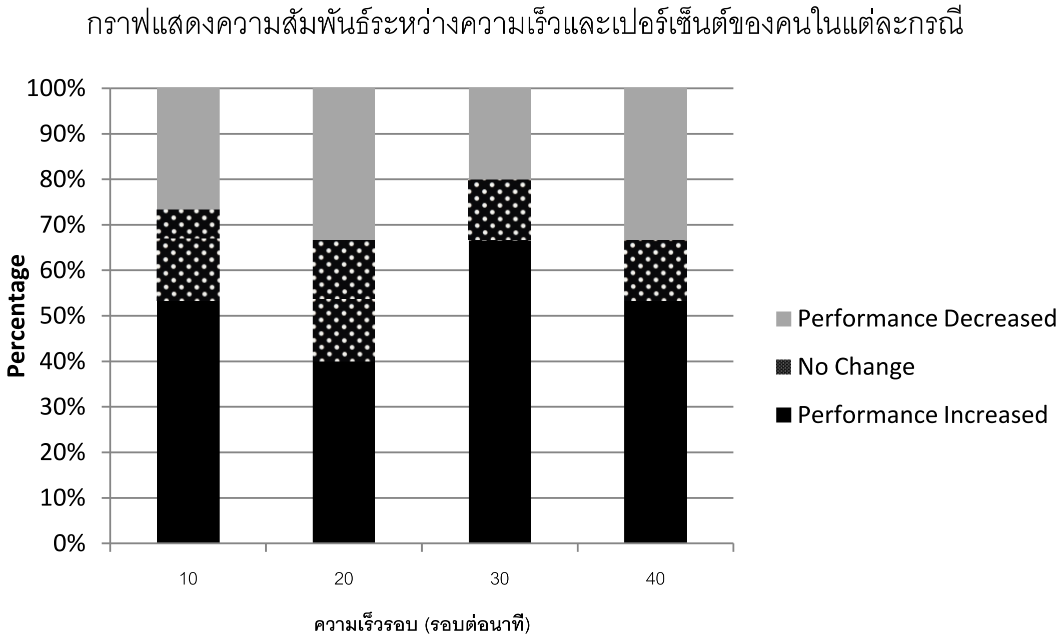
อย่างไรก็ตาม ในผลการทดสอบที่ได้ พบว่ามีบางผลที่ประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงจริง แต่เปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าประสิทธิภาพไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้น จึงได้กำหนดให้ประสิทธิภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยนั้น (ไม่เกิน 5% จากประสิทธิภาพที่ได้เมื่อไม่มีการเคลื่อนขาส่วนล่าง) เป็นประสิทธิภาพไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือก็คือผู้ทดสอบทำงานได้ประสิทธิภาพคงที่นั่นเอง จะได้ผลการทดสอบเปลี่ยนไปเป็นดังรูปที่ 6.10

จากรูปที่ 6.10 จะพบว่า เปอร์เซ็นต์ของคนที่ทำงานได้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นหรือคงที่มีค่าสูงกว่า 70% ที่ทุก ๆ ความเร็ว โดยเฉพาะที่ความเร็ว 20 รอบต่อนาที มีเปอร์เซ็นต์ของผู้ที่ทำงานได้

ประสิทธิภาพสูงขึ้นและคงที่สูงถึงประมาณ 85% ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ที่ความเร็วนี้ เพศชายส่วนใหญ่จะสามารถทำงานใช้เมาส์ได้ดี



รูปที่ 6.10 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบเพศชายที่มีประสิทธิภาพในการทำงานเมาส์เพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ

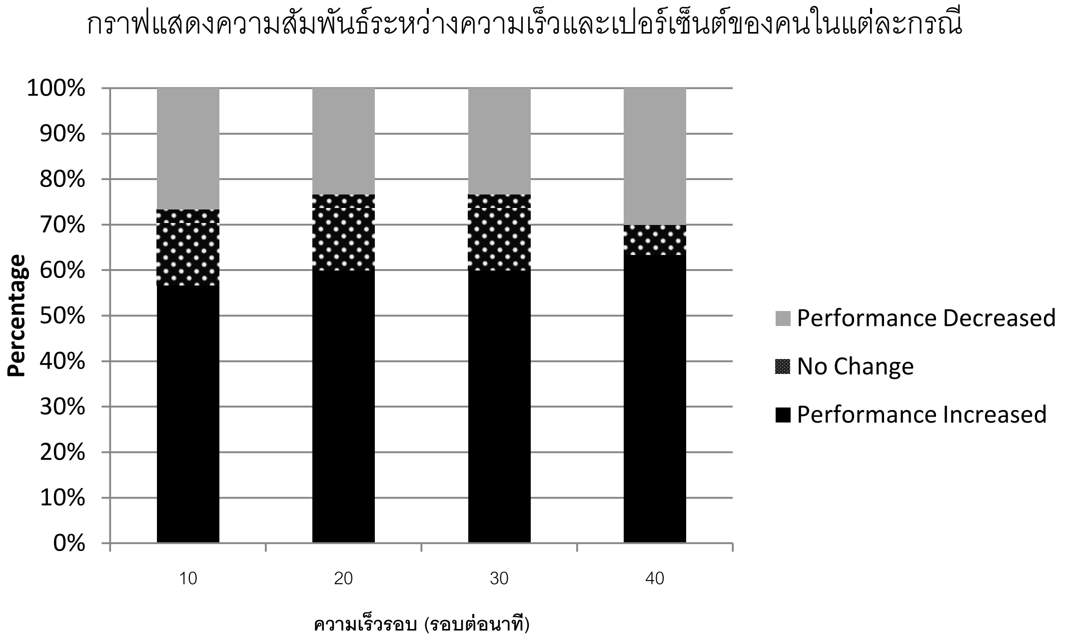


รูปที่ 6.11 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบเพศหญิงที่มีประสิทธิภาพในการทำงานเมาส์เพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ

เมื่อพิจารณาผู้ทดสอบเพศหญิง จะได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 6.11 ซึ่งจากรูป พบว่าเพศหญิงมีเปอร์เซ็นต์ของจำนวนผู้ทดสอบที่ทำงานได้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้นหรือคงที่ต่ำกว่าเพศชาย โดยขั้นต่ำจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 65% คือที่ความเร็ว 20 และ 40 รอบต่อนาที นอกจากนั้น เพศหญิงยังมีอัตราส่วนของผู้ที่ทำงานได้ประสิทธิภาพสูงขึ้นที่น้อยกว่าเพศชายอีกด้วย สำหรับ

เพศหญิงนั้น ความเร็วที่เหมาะสมในการทำงาน คือสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพที่ดี จะอยู่ที่ 30 รอบต่อนาทีซึ่งไม่ต่างจากเพศชายมาก อย่างไรก็ตาม จะเห็นว่า ในการทำงานประเภทนี้ จำนวนของเพศหญิงที่สามารถทำงานได้ประสิทธิภาพต่ำลงเมื่อมีการเคลื่อนขาส่วนล่างมีมากกว่าเพศชาย แสดงว่าการรบกวนโดยการเคลื่อนขาส่วนล่างนี้มีผลต่อเพศหญิงมากกว่าเพศชาย แต่ถึงกระนั้น เพศหญิงก็ยังสามารถที่จะทำงานโดยมีการเคลื่อนขาส่วนล่างนี้ได้อยู่ เพราะส่วนใหญ่ยังสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพเมื่อมีการรบกวนนี้

เมื่อพิจารณาร่วมกันทั้งเพศหญิงและเพศชาย จะได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 6.12



รูปที่ 6.12 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบที่มีประสิทธิภาพในการทำงานเมาส์เพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ

จากรูปที่ 6.12 พบว่าจากกลุ่มตัวอย่างทั้ง 30 คนนี้ มีประมาณ 70% ที่สามารถทำงานเมาส์ได้ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นหรือคงที่สำหรับทุก ๆ ความเร็ว บ่งบอกว่ากลุ่มตัวอย่างนี้ ส่วนใหญ่แล้ว

การรบกวนโดยการเคลื่อนขาส่วนล่างนั้นจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพให้ลดลง ในทางกลับกัน กลับสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้นได้อีกด้วย จากรูปจะเห็นว่า ความเร็วที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 20 – 30 รอบต่อนาที เนื่องจากที่ความเร็วต่ำ (10 รอบต่อนาที) ผู้ทดสอบต่างให้ความเห็นว่าทำให้ง่วงและเฉื่อยชา ในขณะที่ความเร็วสูง (40 รอบต่อนาที) จะเป็นความเร็วที่ผู้ทดสอบหลายคนทำได้ดีเพราะทำให้รู้สึกตื่นตัวตลอดเวลา แต่ก็ยังมีผลต่อผู้ทดสอบหลายคนให้ทำงานได้แย่ลงเพราะสูญเสียสมาธิไป

สำหรับการทดสอบนี้ ได้มีการบันทึกจำนวนครั้งที่ทำงานผิดพลาดเอาไว้ เพื่อดูสถิติที่แต่ละความเร็ว ว่ามีความผิดพลาดมากน้อยเพียงใด เพราะความผิดพลาดเหล่านั้นก็เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของงานได้เช่นเดียวกัน

จากการพิจารณาสถิติที่ถูกบันทึกไว้ความเร็วที่มีการผิดพลาดมากที่สุด จะเป็นความเร็วแรกที่ผู้ทดสอบแต่ละคนใช้เริ่มต้น ซึ่งสมเหตุสมผลเพราะด้วยความเคยชินทำให้ความผิดพลาดที่ความเร็วอื่น ๆ ลดลง ถึงจะมีให้ผู้ทดสอบได้ทดลองทำงานก่อนแล้วเพื่อลดผลจากความเคยชินนี้ก็ตาม อีกทั้ง ในบางผู้ทดสอบ สถิติความผิดพลาดจะลดน้อยลงเป็นลำดับเมื่อได้ทำการทดสอบมากรอบขึ้นเรื่อย ๆ กล่าวได้ว่าความผิดพลาดเหล่านี้ไม่ได้เกิดจากการรบกวน แต่เกิดจากความเคยชิน ไม่เพียงเท่านั้น สำหรับผู้ดทดสอบอีกหลาย ๆ คน เมื่อพิจารณาที่ความเร็วอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ความเร็วแรกแล้ว แต่ละคนจะทำงานผิดพลาดด้วยสถิติที่ไม่ต่างกันในแต่ละความเร็ว

ฉะนั้น หากพิจารณาประสิทธิภาพในการทำงานเมาส์โดยดูจากความผิดพลาดแล้วสามารถสรุปได้ว่าการเคลื่อนขาส่วนล่างไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในของงานในด้านนี้ เพราะไม่ว่าจะมีการเคลื่อนขาหรือไม่ ผู้ทดสอบก็สามารถทำงานด้วยอัตราการผิดพลาดที่คงเดิม

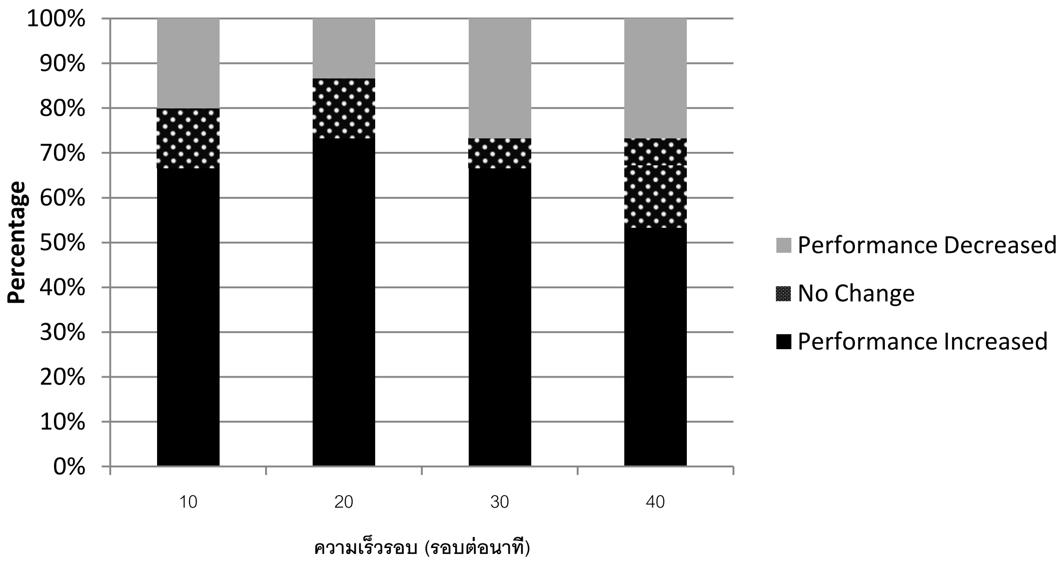
การทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง

สำหรับการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ได้ผลการทดสอบสำหรับกลุ่มตัวอย่างเพศชายดังรูปที่ 6.13

จากรูปที่ 6.13 พบว่าที่ทุกความเร็ว ผู้ทดสอบส่วนใหญ่สามารถทำงานได้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้นหรือคงที่เช่นกัน โดยความเร็วที่ดีที่สุดสำหรับงานนี้คือ 20 รอบต่อนาที ซึ่งมีผู้ทดสอบจำนวนเกือบ 90% ที่ทำงานได้ประสิทธิภาพสูงขึ้นหรือคงที่ เป็นที่น่าสังเกตว่า สำหรับงานวาดรูปที่ต้องใช้สมาธิมากกว่าการใช้งานเมาส์ การทำงานที่ความเร็วต่ำจะดีกว่า และเหมาะกว่าที่จะทำให้ผู้ทดสอบสามารถรักษาประสิทธิภาพไว้ได้ ในขณะที่ที่ความเร็วสูง แม้ว่าผู้ทดสอบส่วนใหญ่จะยังคง

ทำงานได้ประสิทธิภาพแต่ก็มีสัดส่วนที่น้อยกว่าที่ความเร็วต่ำ อาจเกี่ยวเนื่องจากการเสียสมาธิเมื่อมีการเคลื่อนขาด้วยความเร็วสูง

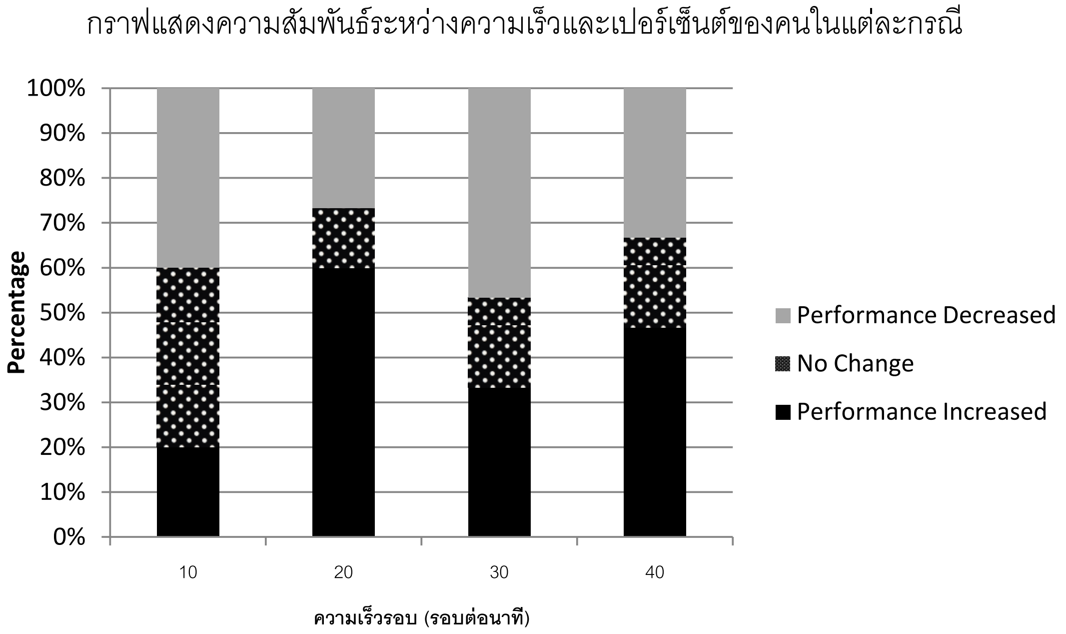
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและเปอร์เซ็นต์ของคนในแต่ละกรณี



รูปที่ 6.13 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบเพศชายที่มีประสิทธิภาพในการทำงานกราฟิกเส้นตรงเพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ

สำหรับผลการทดสอบกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง เป็นดังรูปที่ 6.14

จากรูปที่ 6.14 พบว่าเมื่อถูกรบกวน เพศหญิงจะทำงานประเภทนี้ ได้แย่กว่าเพศชาย โดยมีสัดส่วนของคนที่ทำงานได้ประสิทธิภาที่ต่ำลงสูงกว่า สังเกตได้ว่าที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาที มีผู้ที่สามารถทำงานได้ประสิทธิภาพสูงขึ้นเพียงแค่ 20% และสามารถรักษาประสิทธิภาพไว้ได้เพียง 40% ซึ่งค่อนข้างผิดไปจากเพศชายที่ที่ความเร็วนี้จะทำงานได้ดีกว่า อย่างไรก็ตาม การทำงานนี้ในเพศหญิงจะยังคงสามารถทำงานร่วมกับการเคลื่อนขาส่วนล่างได้เฉพาะที่บางความเร็ว ซึ่งความเร็วที่ดีที่สุดสำหรับเพศหญิงยังคงเป็นที่ 20 รอบต่อนาทีเช่นเดียวกับเพศชาย แต่สำหรับที่ความเร็วอื่นจะไม่แนะนำ โดยเฉพาะที่ 30 รอบต่อนาที



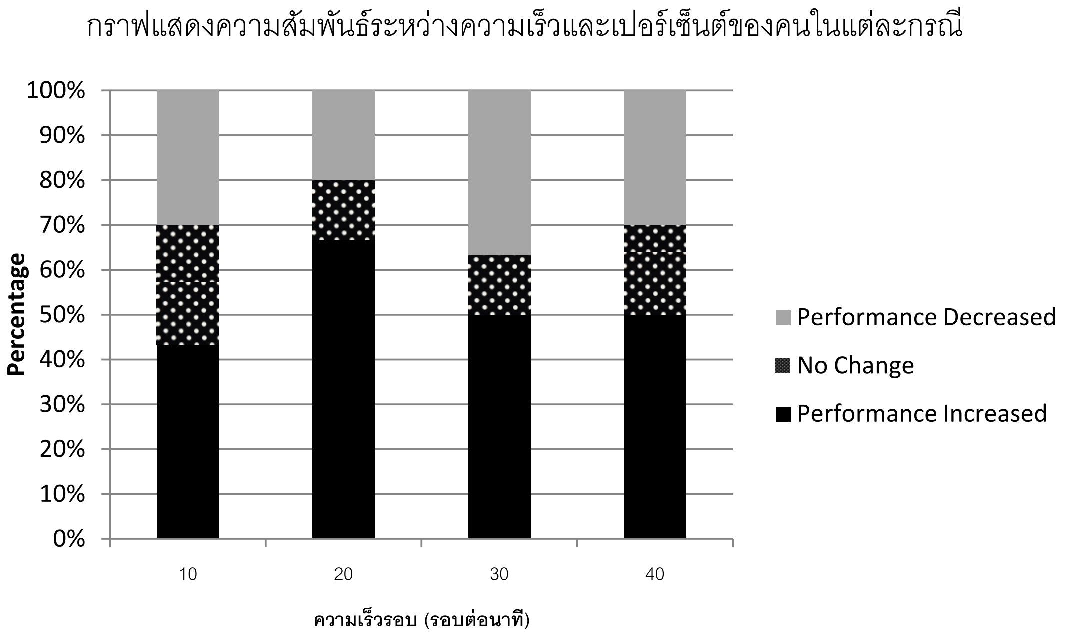
รูปที่ 6.14 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบเพศหญิงที่มีประสิทธิภาพในการทำงานกราฟิกเส้นตรงเพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ

รูปที่ 6.15 เป็นการแสดงผลการทดสอบจากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด ซึ่งจะเห็นว่าจากตัวอย่างทั้ง 30 คน ความเร็วที่ดีที่สุดสำหรับการทำงานกราฟิกเส้นตรงนี้คือ 20 รอบต่อนาที และความเร็วต่ำจะทำงานได้ดีกว่าความเร็วสูง นอกจากนั้น จากกราฟยังสามารถระบุได้ว่า สำหรับงานประเภทนี้ สามารถทำงานร่วมกับการเคลื่อนขาส่วนล่างได้ เพราะคนส่วนใหญ่ยังคงสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพที่ดีแม้มีการรบกวน

สำหรับการพิจารณาความผิดพลาดในงานประเภทนี้ พบว่าผู้ทดสอบส่วนใหญ่ทำงานเกิดความผิดพลาดมากครั้งในช่วงความเร็วสูง ตั้งแต่ 20 รอบต่อนาทีไปถึง 40 รอบต่อนาที โดยจะมีสถิติผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 30 และ 40 รอบต่อนาที รองลงมาเป็นที่ 20 รอบต่อนาที สำหรับที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาทีและไม่มีการเคลื่อนขานั้น สถิติความผิดพลาดไม่ต่างกันมาก

อาจสรุปได้ว่า หากพิจารณาในด้านความผิดพลาด ความเร็วที่ดีที่สุดที่จะทำให้เกิดความผิดพลาดไม่ต่างออกไปจากที่ไม่มีการรบกวน จะเป็นความเร็ว 10 รอบต่อนาที

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาร่วมจากทั้งค่าประสิทธิภาพที่คำนวณได้และสถิติความผิดพลาดแล้ว พบว่าความเร็วที่ดีที่สุดจะเป็นที่ 20 รอบต่อนาที เพราะที่ความเร็วนี้ ผู้ทดสอบสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพดีที่สุด ในขณะที่ความผิดพลาดถึงแม้จะสูงกว่าที่ 10 รอบต่อนาที แต่ก็ไม่สูงเกินไป

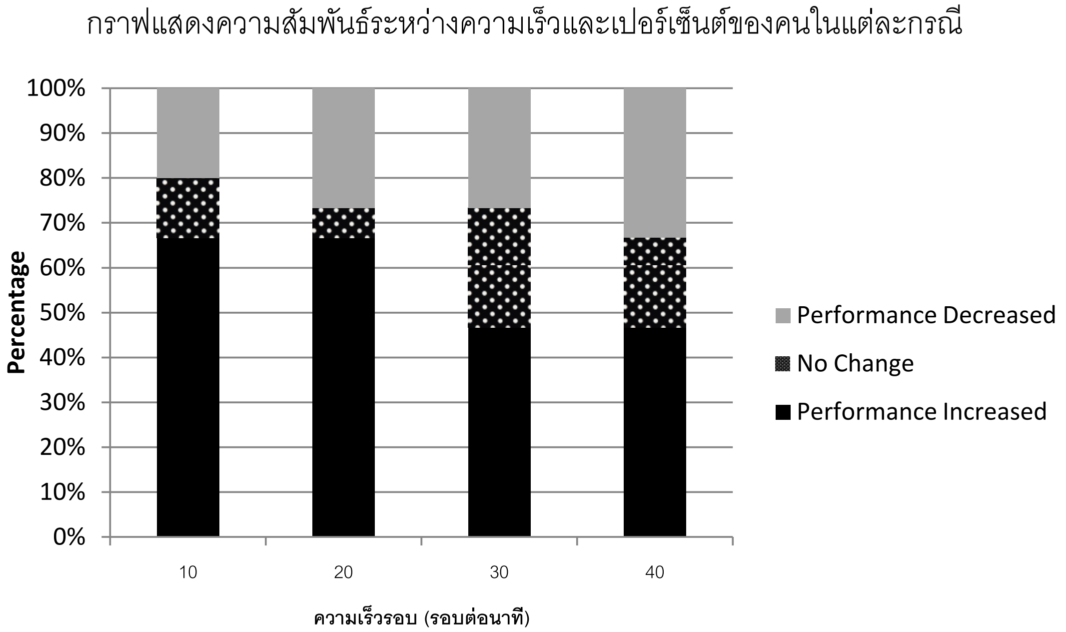


รูปที่ 6.15 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบที่มีประสิทธิภาพในการทำงานกราฟิกเส้นตรงเพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ

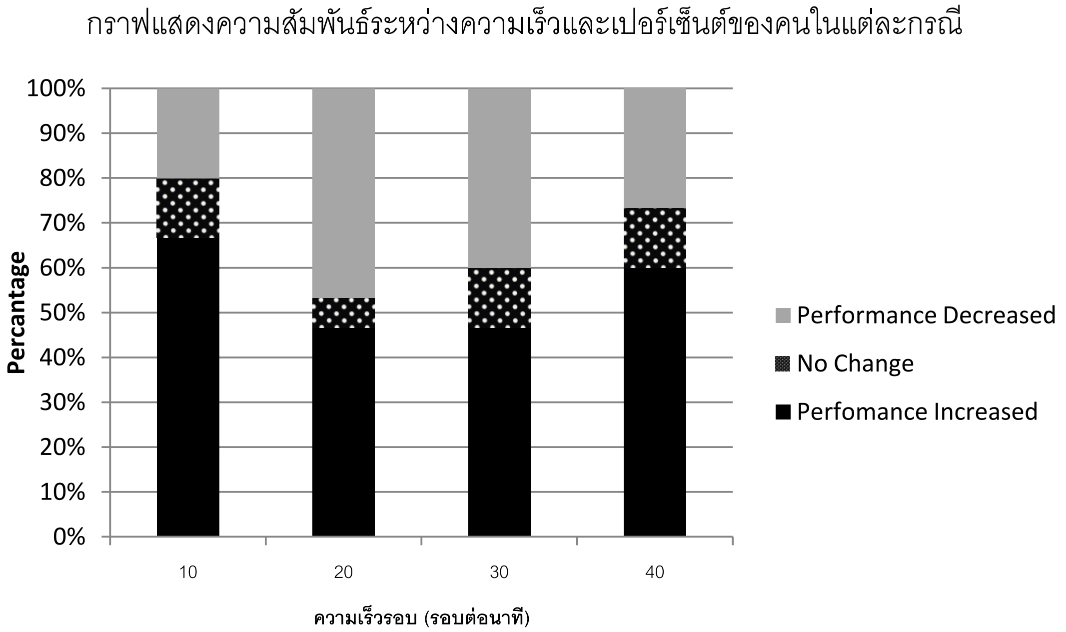
การทดสอบงานกราฟิกวงกลม

ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลมจากกลุ่มตัวอย่างเพศชาย เป็นดังรูปที่ 6.16

จากรูปที่ 6.16 พบว่า งานประเภทนี้จะมีสัดส่วนผู้ที่ทำงานได้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้นหรือคงที่มากกว่าที่ความเร็วต่ำ คือ 10 รอบต่อนาที นอกจากนั้นจะเห็นว่าที่ 10 และ 20 รอบต่อนาทีจะมีจำนวนของผู้ที่สามารถทำประสิทธิภาพได้สูงขึ้นมากกว่าที่ความเร็วสูง บ่งบอกว่าการทำงานประเภทนี้ร่วมกับการรบกวนที่มีความรุนแรงจะส่งผลต่อสมาธิในการทำงาน และทำให้งานประเภทนี้มีประสิทธิภาพลดลงได้ แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังเห็นว่า ถึงแม้สัดส่วนของผู้ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นหรือคงที่ที่ความเร็วสูงจะมีค่าต่ำกว่า แต่ก็ยังอยู่เกณฑ์ที่ยอมรับได้ว่าคนส่วนใหญ่ยังคงรักษาประสิทธิภาพไว้ได้



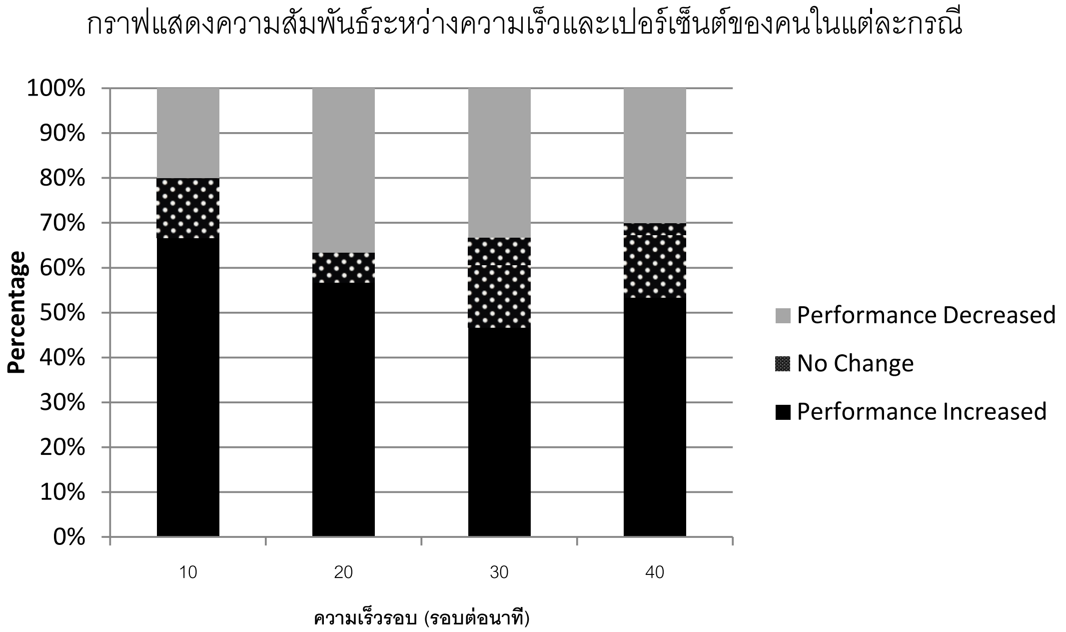
รูปที่ 6.16 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบเพศชายที่มีประสิทธิภาพในการทำงานกราฟิกวงกลมเพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ



รูปที่ 6.17 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบเพศหญิงที่มีประสิทธิภาพในการทำงานกราฟิกวงกลมเพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ

รูปที่ 6.17 เป็นการแสดงผลการทดสอบจากกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง พบว่าความเร็วที่ดีที่สุดที่คนส่วนมากจะรักษาประสิทธิภาพไว้ได้คือที่ 10 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นผลลักษณะเช่นเดียวกันกับผลจากกลุ่มตัวอย่างชาย แต่เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ปรากฏว่ามีสัดส่วนของผู้ที่ทำงานได้ประสิทธิภาพต่ำลงมากขึ้น เป็นการยืนยันว่างานประเภทนี้ต้องการสมาธิมากเป็นพิเศษ ซึ่งเมื่อมีการรบกวนมาก ๆ จากภายนอก จะทำให้ประสิทธิภาพงานในหลาย ๆ คนลดลงได้ เนื่องจากสูญเสียสมาธิในการทำงาน

รูปที่ 6.18 แสดงผลการทดสอบที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด พบว่าจากตัวอย่างทั้ง 30 คน ความเร็วที่ดีที่สุดสำหรับงานประเภทยังคงเป็นความเร็วต่ำที่ 10 รอบต่อนาที โดยมีผู้ทดสอบที่สามารถทำงานได้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นถึง 65% และมีอีกประมาณ 15% ที่มีประสิทธิภาพคงที่ แสดงให้เห็นว่างานประเภทนี้ต้องการสมาธิสูง การรบกวนจึงสามารถทำได้เล็กน้อย ไม่ควรมีความรุนแรง เพราะอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานประเภทนี้ลดต่ำลง



รูปที่ 6.18 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบที่มีประสิทธิภาพในการทำงานกราฟิกวงกลมเพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ

อย่างไรก็ตาม ที่ความเร็วอื่น ๆ ที่สูงกว่า การทำงานของผู้ทดสอบกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ยังคงทำงานได้ประสิทธิภาพที่ดี ถึงแม้จะมีสัดส่วนที่น้อยกว่าที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาที จึงอาจกล่าวได้ว่า การทำงานประเภทนี้ สามารถที่จะทำงานร่วมกับการเคลื่อนขาส่วนล่างได้ แต่

ประสิทธิภาพที่ได้อาจจะไม่ดีเท่าการทำงานปกติหากใช้ความเร็วที่สูงเกินไป การช่วยออกกำลังกายในงานประเภทนี้จึงควรเป็นการเคลื่อนไหวแบบช้า ๆ

เมื่อพิจารณาสถิติความผิดพลาด พบว่าความผิดพลาดของคนส่วนใหญ่จะอยู่ที่ความเร็วสูงเช่นเดียวกัน โดยกลุ่มที่มีแนวโน้มจะมีความผิดพลาดที่ความเร็วสูงมากกว่าจะเป็นเพศชาย มีสถิติความผิดพลาดสูงสุดที่ 30 รอบต่อนาที สำหรับเพศหญิง ความผิดพลาดเกิดขึ้นที่ช่วงความเร็วสูงเช่นกัน แต่ที่แตกต่างออกไปคือที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาที กลับมีความผิดพลาดที่สูงพอ ๆ กับที่ 30 รอบต่อนาทีอีกด้วย ความเร็วที่ดีที่สุดที่มีสถิติความผิดพลาดใกล้เคียงกับการทดสอบเมื่อไม่มีการเคลื่อนขาสำหรับเพศหญิง คือความเร็ว 20 รอบต่อนาที

โดยสรุปแล้ว ช่วงความเร็วที่ดีในการทำงานกราฟิกวงกลมที่จะทำให้เกิดความผิดพลาดน้อย จะอยู่ระหว่าง 10 ถึง 20 รอบต่อนาที หรือก็คือช่วงความเร็วต่ำนั่นเอง

ผลที่ได้จากการพิจารณาความผิดพลาดสอดคล้องกับผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพในการทำงาน คือความเร็วที่เหมาะสมจะใช้ในการเคลื่อนขาส่วนล่างร่วมกับการทำงานประเภทนี้คือความเร็วต่ำนั่นเอง

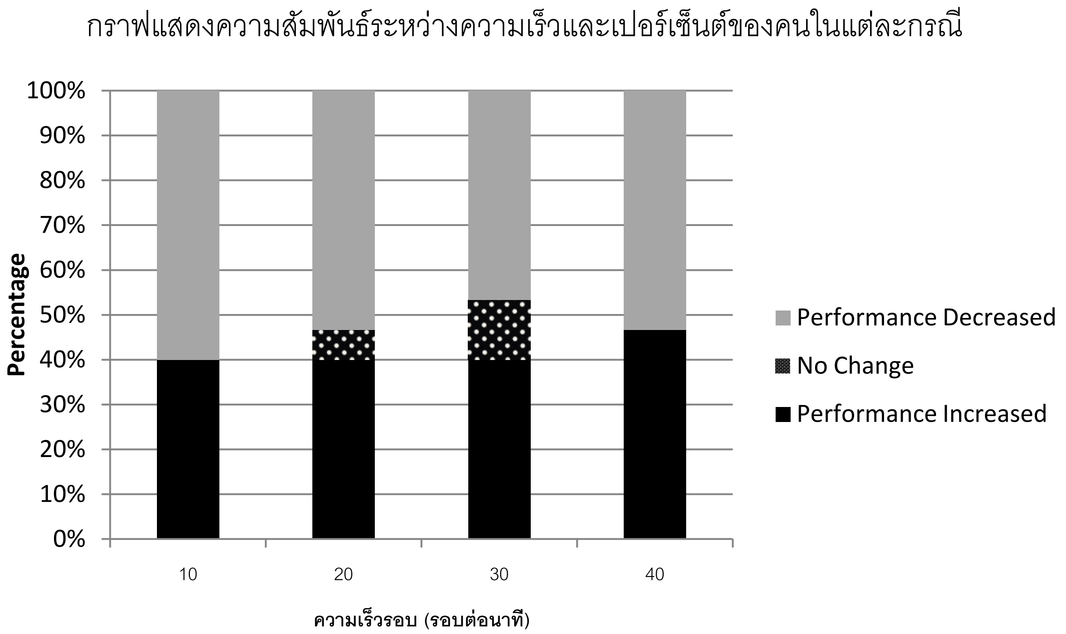
การทดสอบงานพิมพ์

ผลการทดสอบของกลุ่มตัวอย่างเพศชายเป็นดังรูปที่ 6.19

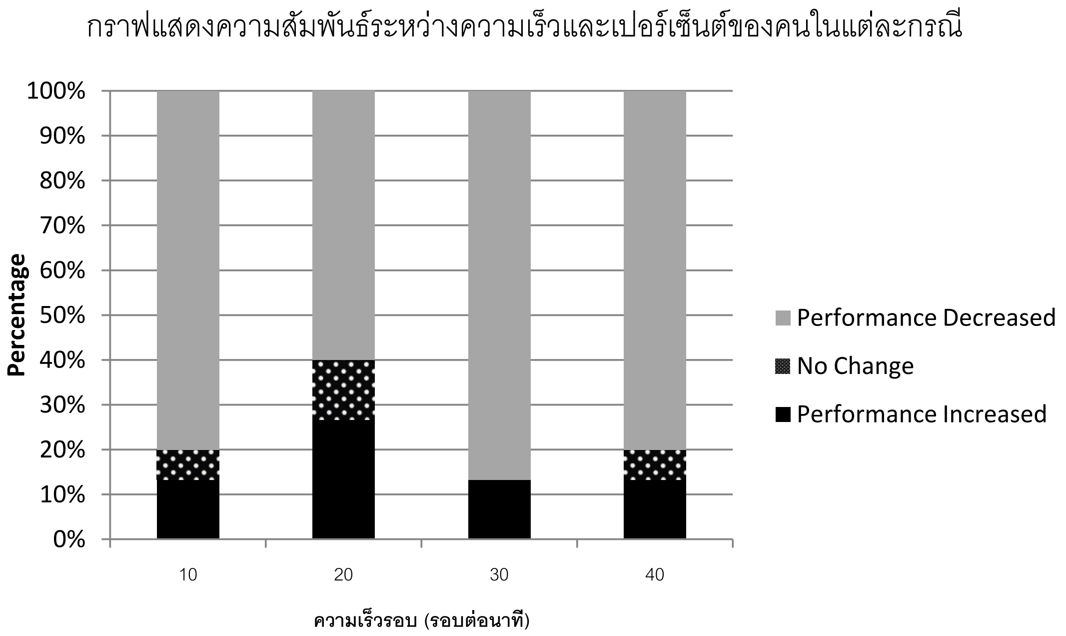
รูปที่ 6.19 แสดงผลการทดสอบการทำงานพิมพ์ของผู้ทดสอบเพศชาย ซึ่งจะพบว่าเมื่อมีการรบกวนจากการเคลื่อนขาส่วนล่างแล้ว ประสิทธิภาพของคนส่วนใหญ่จะลดลง จะมีที่ความ 30 รอบต่อนาทีเท่านั้นที่มีคนเกิน 50% ยังคงทำงานได้ประสิทธิภาพที่ดีอยู่ แต่เมื่อพิจารณาแล้ว เพียงประมาณ 50% ยังไม่เพียงพอที่จะสรุปได้ว่าการเคลื่อนขาส่วนล่างเหมาะที่จะใช้งานร่วมกับงานประเภทนี้ เพราะจะมีคนประมาณครึ่งหนึ่งที่จะทำงานประเภทนี้ไม่ได้ประสิทธิภาพ

สำหรับผลการทดสอบของกลุ่มตัวอย่างเพศหญิงถูกแสดงไว้ในรูปที่ 6.20

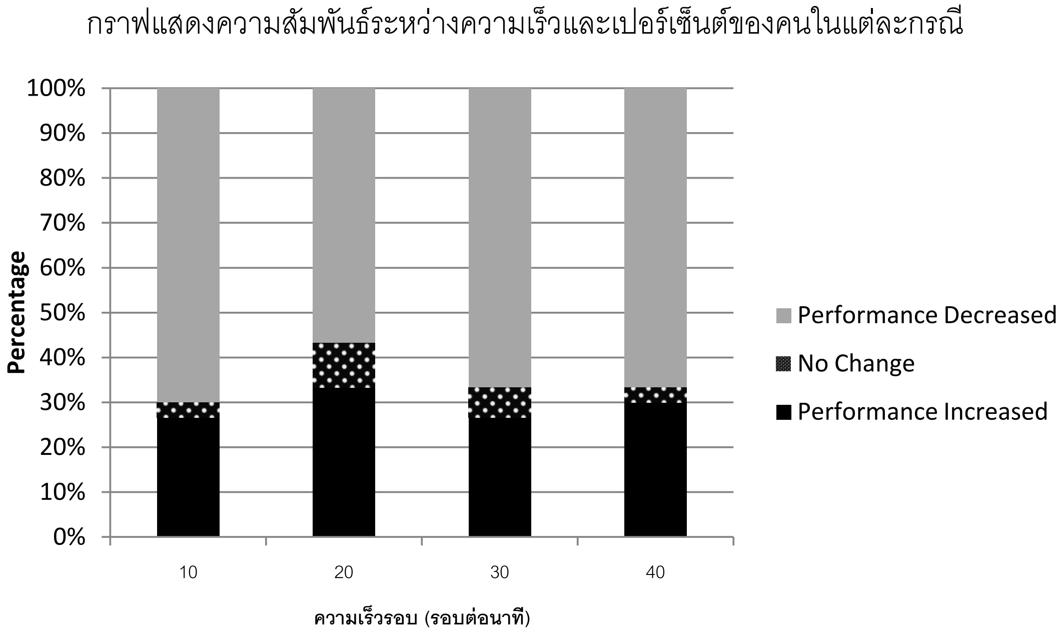
จากรูปที่ 6.20 พบว่าเพศหญิงจะได้รับผลกระทบจากการเคลื่อนขาส่วนล่างมาก โดยผู้ทดสอบส่วนใหญ่จะมีประสิทธิภาพลดลงที่ทุกความเร็ว แม้แต่ความเร็ว 20 รอบต่อนาที ที่มีจำนวนผู้ทำงานได้ประสิทธิภาพดีมากที่สุด ยังเป็นจำนวนที่ไม่ถึงครึ่งของกลุ่มตัวอย่าง (40%) เห็นได้ชัดว่างานประเภทนี้ไม่สามารถทำงานร่วมกับการเคลื่อนขาส่วนล่างได้สำหรับเพศหญิง เพราะจะทำให้คนส่วนใหญ่ทำงานได้ประสิทธิภาพที่ลดลง และเสียคุณภาพงานไป



รูปที่ 6.19 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบเพศชายที่มีประสิทธิภาพในการทำงานพิมพ์เพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ



รูปที่ 6.20 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบเพศหญิงที่มีประสิทธิภาพในการทำงานพิมพ์เพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ



รูปที่ 6.21 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบที่มีประสิทธิภาพในการทำงานพิมพ์เพิ่มขึ้น คงที่ และลดลงที่ความเร็วต่าง ๆ

เพื่อพิจารณาผลการทดสอบจากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดจะได้ดังรูปที่ 6.21 ซึ่งจะเห็นว่าจากตัวอย่างทั้งหมดที่แทนประชากร การเคลื่อนขาส่วนล่างไม่เหมาะจะใช้ร่วมกับงานประเภทนี้ เพราะที่ทุก ๆ ความเร็ว มีจำนวนคนที่ทำงานได้ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นหรือคงที่น้อยกว่า 50% เป็นการบ่งบอกว่าการทำงานพิมพ์ต้องการสมาธิมากเป็นพิเศษและการรบกวนสมาธิโดยการเคลื่อนไหวเช่นนี้จะทำให้ผู้ทดสอบเสียสมาธิอย่างมาก เหตุที่งานพิมพ์ต้องการสมาธิสูง อาจเป็นเพราะว่างานพิมพ์เป็นงานที่ต้องทำงานหลายอย่างด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นการอ่านคำ การสังเกตคำที่กำลังพิมพ์ การตรวจสอบคำที่พิมพ์ด้วยสายตา การพิมพ์สัมผัส การรับรู้แป้นพิมพ์แต่ละตัวที่ต้องการพิมพ์ ซึ่งจะเห็นว่าการพิมพ์งานจะเป็นการทำงานในรูปแบบ Multi-tasking จึงต้องใช้สมาธิมากเป็นพิเศษนั่นเอง

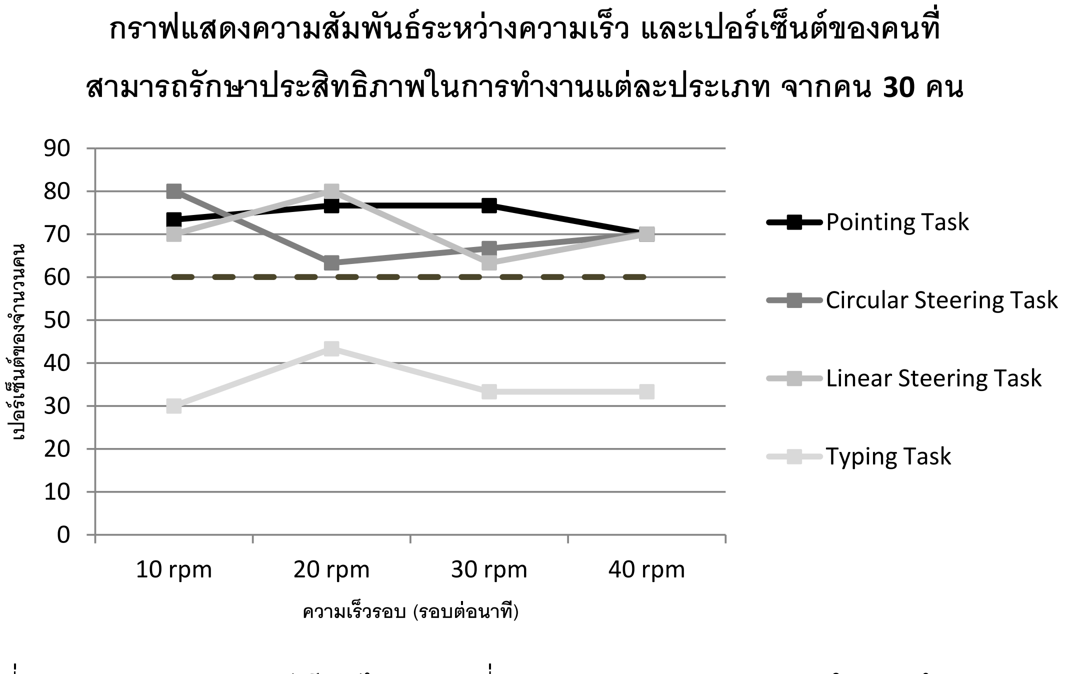
เมื่อพิจารณาความผิดพลาด พบว่าที่ความเร็วต่าง ๆ มีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ด้วยโอกาสใกล้เคียง ยกเว้นที่ความเร็ว 20 รอบต่อนาที ที่มีโอกาสเกิดความผิดพลาดมากกว่าความเร็วอื่น ๆ ฉะนั้น เมื่อพิจารณาจากกรณีนี้แล้ว การเคลื่อนขาส่วนล่างที่ความเร็วใด ๆ ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการพิมพ์ นอกจากที่ความเร็ว 20 รอบต่อนาที เท่านั้น

จากผลที่ได้ จึงอาจกล่าวสรุปได้ว่า การทำงานพิมพ์ไม่เหมาะที่จะทำงานไปพร้อมกับการเคลื่อนขาส่วนล่าง ไม่ว่าจะเป็นที่ความเร็วใดก็ตาม เพราะถึงแม้ว่าสถิติความผิดพลาดที่แต่ละ

ความเร็วจะไม่ต่างไปจากกรณีเมื่อไม่มีการเคลื่อนขาก็ตาม แต่ประสิทธิภาพที่คำนวณได้จากผลการทดสอบลดลงจากกรณีไม่มีการเคลื่อนขาอย่างเห็นได้ชัด

6.6 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบการทำงานร่วมกับการเคลื่อนขาส่วนล่าง พบว่าการทดสอบ 3 ประเภท ได้แก่ การใช้งานเมาส์ งานกราฟิกเส้นตรง และงานกราฟิกวงกลม สามารถทำงานร่วมกับการเคลื่อนขาส่วนล่างได้ โดยที่จะไม่ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลงในคนส่วนใหญ่ ดังจะสังเกตได้ในรูปที่ 6.22 ซึ่งจะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์ของคนที่สามารถรักษาประสิทธิภาพไว้ได้นั้นมีสูงกว่า 60% ทั้งสามงานที่ทุก ๆ ความเร็ว โดยความเร็วที่เหมาะสมสำหรับงานแต่ละประเภท คือ 20 – 30 รอบต่อนาทีสำหรับการใช้งานเมาส์ 20 รอบต่อนาทีสำหรับงานกราฟิกเส้นตรง และ 10 – 20 รอบต่อนาทีสำหรับงานกราฟิกวงกลม สามารถกล่าวได้ว่า ความเร็วที่เหมาะสมสำหรับงานทั้งสามประเภทนี้จะเป็นช่วงความเร็วต่ำ ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วความเร็วที่เหมาะสมสำหรับทั้งสามงานจะเป็นความเร็ว 20 รอบต่อนาที



รูปที่ 6.22 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ผู้ทดสอบที่สามารถรักษาประสิทธิภาพในการทำงานแต่ละประเภทที่ความเร็วต่าง ๆ

สำหรับงานพิมพ์ พบว่าไม่เหมาะจะทำงานร่วมกับการเคลื่อนขาส่วนล่าง เพราะจะทำให้สูญเสียสมาธิ และสูญเสียประสิทธิภาพลงไปได้ ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 6.22 ซึ่งเปอร์เซ็นต์ของคนที่สามารถรักษาประสิทธิภาพไว้ได้มีค่าต่ำกว่า 50% เสียอีก

การเคลื่อนขาส่วนล่างจึงอาจเหมาะสมกับคนที่ทำงานคอมพิวเตอร์ด้านงานกราฟิก งานออกแบบ แต่อาจไม่เหมาะสำหรับคนที่ทำงานเกี่ยวกับการพิมพ์เป็นหลัก เช่น เลขานุการ เป็นต้น

บทที่ 7
บทสรุป

7.1 บทสรุป

เนื่องจากปัญหาสุขภาพจากการใช้งานคอมพิวเตอร์เป็นเวลานานได้เกิดมากขึ้น และขยายวงกว้างในผู้คนทั่วไป สืบเนื่องมาจากการเข้ามามีบทบาทอย่างมากของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน

ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการปรับปรุงบุคลิกภาพและอิริยาบถในการนั่งทำงานคอมพิวเตอร์ให้ถูกต้องตามหลักสรีรศาสตร์ จัดลักษณะท่าทางการนั่ง และการวางมือให้เหมาะสม ซึ่งอาจเป็นเรื่องที่ยาก เพราะต้องการสติจากผู้ทำงานอยู่ตลอดเวลา และเมื่อทำงานเวลาผ่านไป ลักษณะท่าทางก็จะเปลี่ยนไป

การแก้ไขปัญหาสุขภาพสามารถแก้ไขได้อีกเช่นกัน โดยการหยุดพักการทำงานคอมพิวเตอร์ทุก ๆ หนึ่งชั่วโมง เป็นเวลา 5 นาที เพื่อปรับเปลี่ยนอิริยาบถ และผ่อนคลายร่างกาย แต่ในบางกรณีอาจต้องทำงานติดต่อกันมาก จนลืมการหยุดพักนี้ ซึ่งก็ส่งผลให้ปัญหายังคงอยู่เช่นกัน

การแก้ไขปัญหาสุขภาพจากการใช้งานคอมพิวเตอร์ที่ดีอีกทางหนึ่งคือการออกกำลังกาย เพราะจะเป็นการช่วยให้กล้ามเนื้อและข้อต่อแข็งแรง ช่วยเพิ่มพิสัยของข้อ และลดอาการล้าจากการทำงานด้วยอิริยาบถเดิม ๆ ได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องลักษณะที่ทำต่อเนื่องทั้งวัน ทำให้หลาย ๆ คนไม่มีเวลาออกกำลังกาย ซึ่งก็จะทำให้ปัญหาดังกล่าวคงไม่ได้รับการแก้ไขต่อไป

ถึงกระนั้น การแก้ไขปัญหาสุขภาพโดยการออกกำลังกาย ไม่จำเป็นต้องเป็นการออกกำลังกายโดยผู้ออกกำลังกายเป็นผู้ออกแรงเพียงอย่างเดียว ยังมีการออกกำลังกายในรูปแบบ Passive Exercise คือมีการบังคับร่างกายโดยแรงจากภายนอก ผู้ออกกำลังกายไม่จำเป็นต้องออกแรงเอง การออกกำลังกายรูปแบบนี้ไม่ช่วยเพิ่มความแข็งแรง ทนทาน หรือขนาดของกล้ามเนื้อ แต่จะช่วยรักษาสภาพของกล้ามเนื้อและพิสัยข้อไม่ให้เสื่อมลงไป ซึ่งก็เป็นการแก้ไขปัญหาสุขภาพที่ดี และเป็นไปได้สำหรับการทำงานคอมพิวเตอร์

การออกกำลังกายแบบ Passive Exercise กระทำได้โดยอาศัยบุคคลที่สองหรือเครื่องจักรมาบังคับการเคลื่อนไหวของอวัยวะ เพื่อให้กล้ามเนื้อและข้อต่อได้ทำงาน เหมาะสำหรับผู้ที่ไม่สามารถเคลื่อนไหวอวัยวะเองได้ เช่นผู้ป่วยอัมพฤต อัมพาต เป็นต้น หรือในกรณีที่จำเป็นต้องละสมาธิจากการออกกำลังกาย จึงสามารถนำมาใช้ร่วมกับการทำงานคอมพิวเตอร์ได้ คือ การอาศัยเครื่องจักรช่วยออกกำลังกายแบบ Passive Exercise ให้กับผู้ที่ต้องทำงานคอมพิวเตอร์เป็นเวลานาน โดยที่ทำการออกกำลังกายนั้นไปพร้อมกับการทำงานด้วย จึงเกิดประเด็นศึกษาว่าสามารถกระทำเช่นนั้นได้จริงหรือไม่ เพราะการเพิ่มการออกกำลังกายเข้าไปนั้น เปรียบเสมือนการ

เพิ่มสิ่งรบกวนให้กับผู้ที่ทำงาน แน่นอนว่าผู้ทำงานอาจไม่ต้องเพ่งสมาธิไปที่การออกกำลัง แต่การเคลื่อนที่นั้นก็อาจส่งผลให้เกิดการสูญเสียสมาธิในการทำงาน และประสิทธิภาพในการทำงานอาจลดลงได้

การจะศึกษาผลจากการเคลื่อนขาส่วนล่างที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานว่ามีมากน้อยเพียงใด ต้องอาศัยกระบวนการวัดประสิทธิภาพการทำงานของมนุษย์ ซึ่งมีอยู่มากมายหลายด้าน แต่สำหรับการวัดประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์นี้จะใช้การวัดประสิทธิภาพด้านการเคลื่อนไหว เพราะการทำงานคอมพิวเตอร์จะเกี่ยวเนื่องกับการเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายเสียส่วนใหญ่ ไม่ว่าจะเป็น การลากเคอร์เซอร์เมาส์ไปยังปุ่มต่าง ๆ การลากเส้นวาดเขียนงานกราฟิก หรือการเคลื่อนไหวของนิ้วบนแป้นพิมพ์ เป็นต้น

การวัดประสิทธิภาพด้านการเคลื่อนไหวมีด้วยกันหลายรูปแบบ แต่ล้วนใช้หลักการเดียวกัน คือการหาความสัมพันธ์ระหว่างความยากและเวลา โดยอาศัยกฎของฟิตส์ และกฎสเตียริง ซึ่งระบุว่า การทำงานเคลื่อนที่มีลักษณะคล้ายกับการส่งผ่านข้อมูล โดยมีระยะระหว่างเป้าหมายเป็นกำลังของสัญญาณข้อมูลและมีขนาดของเป้าหมายหรือขนาดของเส้นทางและความคลาดเคลื่อนที่ยอมได้เป็นเสมือนกำลังของสัญญาณรบกวน ค่าทั้งสองสามารถนำมาคำนวณดัชนีความยากของแต่ละงานได้ซึ่งหากเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความยาก ทำงานและจับเวลา แล้วนำไปพล๊อตเทียบกับเวลาแล้วจะได้ค่าประสิทธิภาพเป็นส่วนกลับของความชันของกราฟที่พล๊อตได้ นอกจากนั้น การประเมินประสิทธิภาพการทำงานยังสามารถประเมินได้จากความผิดพลาดในการทำงาน ว่าผู้ทำงานสามารถทำงานให้เกิดความผิดพลาดมากน้อยอย่างไร

การทดสอบแบ่งออกเป็น 4 การทดสอบย่อย คือ การทดสอบการใช้งานเมาส์ การทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง การทดสอบงานกราฟิกวงกลม และการทดสอบงานพิมพ์

สำหรับการทดสอบการใช้งานเมาส์จะใช้กฎของฟิตส์กับเป้าหมายบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่ผู้ทดสอบต้องบังคับเคอร์เซอร์เมาส์ไปคลิกที่เป้าหมายนั้นให้รวดเร็วและแม่นยำที่สุด

สำหรับงานกราฟิกทั้งสองจะเป็นการลากเคอร์เซอร์เมาส์ตามเส้นด้วยเมาส์ปากกา ซึ่งจะอาศัยกฎสเตียริงในการคำนวณดัชนีความยากของงาน และจึงนำไปพล๊อตเทียบกับเวลาเช่นเดียวกัน

สำหรับการทดสอบงานพิมพ์จะคำนวณดัชนีความยากด้วยกฎของฟิตส์บนแป้นพิมพ์ โดยดูลักษณะการเคลื่อนไหวของนิ้ว และใช้ระยะห่างและขนาดของปุ่มกดในการคำนวณ ซึ่งจะทำให้สามารถกำหนดค่าดัชนีความยากของคำแต่ละคำขึ้นมา และจับเวลาในการพิมพ์คำนั้น ๆ เพื่อพล๊อตเทียบและคำนวณค่าประสิทธิภาพออกมาได้นั่นเอง

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานถูกเขียนขึ้นเป็นโปรแกรมด้วยภาษา C++ โดยแบ่งเป็น 4 การทดสอบย่อยดังที่ได้กล่าวไป ซึ่งโปรแกรมที่เขียนขึ้นได้ถูกทดสอบความแม่นยำ และความน่าเชื่อถือของการประเมินประสิทธิภาพว่ามีความสอดคล้องกับความเป็นจริง และสามารถใช้งานได้หรือไม่

ผลการทดสอบโปรแกรมพบว่าโปรแกรมทดสอบทั้ง 4 การทดสอบย่อยสามารถใช้งานได้จริง และมีความสอดคล้องกับความเป็นจริง โดยสำหรับการทดสอบการใช้งานเมาส์พบว่าผู้ทดสอบมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ใกล้เคียงกัน แต่มีเวลาในการตอบสนองต่องานที่ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับความเร็วในการตอบสนองของแต่ละคน รวมถึงความชำนาญและความคุ้นเคย และพบว่าประสิทธิภาพเฉลี่ยคือ 9.5 bit/sec สำหรับการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง พบว่าที่ดัชนีความยากต่ำ ๆ ผู้ทดสอบใช้เวลาในการทำงานได้ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อดัชนีความยากมีค่ามากขึ้น เวลาที่ใช้ของผู้ทดสอบแต่ละคนไม่เท่ากัน ส่งผลให้กราฟของแต่ละคนมีความชันที่ต่างกัน แสดงให้เห็นว่าคนแต่ละคนสามารถทำงานประเภทนี้ได้ประสิทธิภาพไม่เท่ากัน โดยจะขึ้นอยู่กับความสามารถและความถนัดของแต่ละคน ซึ่งก็สอดคล้องกับความเป็นจริงว่าคนแต่ละคนมีความสามารถทางด้านการวาดรูปหรือทางศิลปะไม่เท่ากัน รวมถึงความคุ้นเคยในการใช้อุปกรณ์เมาส์ปากกาที่ไม่เท่ากันเช่นกัน สำหรับประสิทธิภาพเฉลี่ยของการทดสอบนี้มีค่าเท่ากับ 2.74 bit/sec ซึ่งน้อยกว่าการใช้เมาส์ งานกราฟิกวงกลมมีลักษณะเช่นเดียวกับกราฟิกเส้นตรง คือ ที่ดัชนีความยากต่ำ ๆ ผู้ทดสอบจะใช้เวลาที่ไม่ต่างกัน แต่จะแตกต่างกันเมื่อดัชนีความยากมีค่ามากขึ้น นั่นก็คือ งานประเภทนี้แต่ละคนจะทำงานได้ประสิทธิภาพต่างกัน ขึ้นอยู่กับความถนัดและความเคยชิน แต่จะมีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ต่างออกไปจากกราฟิกเส้นตรง คือเท่ากับ 0.364 bit/sec แสดงให้เห็นว่าการวาดวงกลมเป็นงานที่ยากกว่าการวาดเส้นตรง สำหรับงานพิมพ์ แต่ละคนใช้เวลาในการตอบสนองต่องานที่ไม่ต่างกันมาก แต่ทำประสิทธิภาพได้แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับความถนัดในการพิมพ์ ซึ่งสอดคล้องกับการทำงานจริง เพราะความสามารถในการพิมพ์ของแต่ละคนไม่เท่ากัน เมื่อหาค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพ จะได้เท่ากับ 3.92 bit/sec ซึ่งสูงกว่าการทำงานกราฟิก แสดงว่าในการทำงานคอมพิวเตอร์ การทำงานที่ได้ประสิทธิภาพมากที่สุดคือการใช้เมาส์ในการทำงาน รองลงมาคือจะพิมพ์คำสั่ง ส่วนงานด้านกราฟิกจะขึ้นอยู่กับความถนัดของแต่ละบุคคล

เมื่อทราบแล้วว่าโปรแกรมการทดสอบที่สร้างขึ้นสามารถใช้งานได้จริง จึงนำโปรแกรมไปใช้ทดสอบผลจากการเคลื่อนขาส่วนล่างต่อประสิทธิภาพการทำงาน โดยทำการทดสอบเบื้องต้นก่อน คือ ทดสอบกับผู้ทดสอบจำนวน 5 คน โดยทดสอบร่วมกับความเร็วของการเคลื่อนขาส่วนล่างเป็น 0 10 และ 30 รอบต่อนาที เพื่อศึกษาแนวโน้ม ขอบเขต และข้อผิดพลาดที่ควรแก้ไขเมื่อทดสอบจริง

ในการทดสอบเบื้องต้น พบว่าสำหรับการใช้งานเมาส์ กลุ่มตัวอย่างที่แนวโน้มที่จะทำประสิทธิภาพได้ดีขึ้นที่การเคลื่อนขาความเร็วต่ำ แต่ประสิทธิภาพจะตกลงที่ความเร็วสูง อย่างไรก้ตาม การตกลงเป็นการตกลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าไม่เปลี่ยนแปลง สำหรับการงานกราฟิกเส้นตรง ผู้ทดสอบทุกคนจะมีการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพที่ความเร็วต่าง ๆ ไม่มากกล่าวได้ว่าสามารถรักษาประสิทธิภาพไว้ได้ งานกราฟิกวงกลม ผู้ทดสอบสามารถทำประสิทธิภาพได้ดีขึ้น เมื่อความเร็วในการเคลื่อนขาสูงยิ่งขึ้น โดยเฉพาะที่ความเร็วสูง ประสิทธิภาพมีค่าสูงขึ้นกว่ามากจากกรณีที่ไม่มีการเคลื่อนขา สำหรับงานพิมพ์ เป็นเพียงงานเดียวที่ประสิทธิภาพมีค่าลดลงเมื่อมีการเคลื่อนขาส่วนล่าง โดยเฉพาะที่ความเร็วต่ำ สำหรับที่ความเร็วสูงยังมีแนวโน้มที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละคน

อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากการทดสอบเบื้องต้น เกิดจากกลุ่มตัวอย่างเพียง 5 คน ซึ่งน้อยเกินไปที่จะแทนประชากรทั้งหมดได้ ในการทดสอบจริงต่อไปนั้น จึงต้องมีการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ใหญ่ขึ้นและเป็นไปตามหลักสถิติศาสตร์ รวมทั้งควรเพิ่มความเร็วอีกสองกรณีเพื่อศึกษาแนวโน้มให้ชัดมากขึ้น นอกจากนั้น การทดสอบที่เมื่อทำไปนาน ๆ ผู้ทดสอบจะเกิดความเคยชินต่ออุปกรณ์และโปรแกรมทดสอบ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบ ในการทดสอบจริง ผู้ทดสอบแต่ละคนจึงควรเริ่มการทดสอบที่ความเร็วการเคลื่อนขาที่แตกต่างกันออกไปเพื่อชดเชยความเคยชินนั้น ๆ

ในการทดสอบจริง ได้ดำเนินการปรับแก้ไขการทดสอบตามข้อเสนอแนะที่ได้จากการทดสอบเบื้องต้น โดยมีขนาดกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 30 คน เป็นชาย 15 คน และหญิง 15 คน แต่ละคนจะทำการทดสอบทั้ง 4 การทดสอบที่ความเร็วการเคลื่อนขา 0 10 20 30 และ 40 รอบต่อนาที โดยจะมีการเริ่มทดสอบด้วยความเร็วที่แตกต่างกันเพื่อชดเชยความเคยชิน

ผลการทดสอบจริง พบว่าการทำงานคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้ร่วมกับการเคลื่อนขาส่วนล่างได้ มีเพียง 3 งาน คือ การใช้งานเมาส์ และงานกราฟิกทั้งสองงาน เพราะเมื่อทำงานควบคู่กับการเคลื่อนขาแล้ว พบว่าคนส่วนใหญ่สามารถที่รักษาประสิทธิภาพ รวมถึงมีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นได้ โดยเฉพาะช่วงความเร็วที่ไม่สูงมาก จะสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพที่สูงมากขึ้น

สำหรับงานพิมพ์ พบว่าไม่สามารถทำงานร่วมกับการเคลื่อนขาได้ เพราะเมื่อมีการเคลื่อนที่ของขาเข้ามาแล้ว จะส่งผลให้เกิดการเสียสมาธิและประสิทธิภาพของคนส่วนใหญ่ลดลงที่ทุก ๆ ความเร็ว

การเคลื่อนขาส่วนล่าง เพื่อพัฒนาสุขภาพของผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์จึงเหมาะกับรูปแบบงานเพียงสองงาน คือ การใช้งานเมาส์ และงานกราฟิก สำหรับผู้ใดที่ต้องทำงานเกี่ยวกับการพิมพ์

เป็นหลัก เช่น เลขานุการ จะไม่สามารถทำงานร่วมกับการเคลื่อนขาได้ เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลงอย่างเห็นได้ชัด

รายการอ้างอิง

[1] Susan Gibson, and Roberta Mckay. How Research On the Use Of Computer Technologies Can Inform the Work Of Social Studies Educators. Canada's National Social Studies Journal 35, (Winter 2001)

[2] Computer and Internet Use at Work in 2003. United States Department of Labor : Bureau of Labor Statistic, 2005

[3] Ofer Malamud, and Cristian Pop-Eleches. Home Computer Use and the Development of Human Capital. University of Chicago, Columbia University, 2010

[4] Shanika Chapman. eHowTech. How are Computers Used in Industries? [Online]. 2006. Available from : http://www.ehow.com/facts_5003259_how-computers-used-industry.html. [2010, August 21]

[5] Matthew DeBell, and Chris Chapman. Statistical Analysis Report. Computer and Internet Use by Students in 2003. U.S. Department of Education,

[6] วิเชียร มงคลศรีตระกูล. ปัจจัยเสี่ยงต่อ Economy Class Syndrome [ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา: http://mblog.manager.co.th/phakri/Economy-class-syndrome/ [5 กันยายน 2554]

[7] Economy Class Syndrome. Deep Vein Thrombosis [Online]. Available from : http://www.economyclasssyndrome.net/whatisdvt.html (2010, September 5)

[8] วีรศักดิ์ เมืองไพศาล. คุณภาพชีวิต. Economy class syndrome โรคฮิตของนักเดินทางไกล [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา: http://www.thaiday.com/QOL/ViewNews.aspx ?NewsID=9530000008576 [5 กันยายน 2554]

[9] Jonathan Bailin, Ph.D. Network Science. Ergonomics & Computer Injury: FAQs [Online]. 2010. Available from : http://www.netsci.org/Science/Special/feature01.html (Accessed: 5 September 2010)

[10] Maurits van Tulder, Antti Malmivaara, and Bart Koes. Repetitive Strain Injury. Lancet (2007): 1815 – 1822

[11] Purva Mewar. Healthoma. Health Problems Caused By Use of Computers [Online]. 2008. Available from : http://www.healthoma.com/health-problems-caused-by-use-of-computers/ [2010, September 5]

[12] แพทริก อิริคสัน. Bunpod Site. ผลเสียของการนั่งหน้าคอมนาน ๆ [Online]. 2009. Available from : http://bunpodp.friendhood.net/t28-topic [2010, September 5]

[13] Victoria Gregory. Ehow. The Problem of Using a Computer Too Much [Online]. Available from : http://www.ehow.com/facts_6932512_problems-using-computer-much.html [2010, September 5)

[14] Susan M. Feldman. United States Patent. Passive Exercise Cushion. 1988, July 26.

[15] พรระวี เต็งอำนวย. การออกกำลังกายเพื่อการบำบัดรักษา. กรุงเทพมหานครฯ : คณะแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2554

[16] S. SABRI, V. C. ROBERTS, and L. T. COTTON. Prevention of Early Postoperative Deep Vein Thrombosis by Passive Exercise of Leg during Surgery. British Medical journal 3 (July 1971) : 82 – 83.

[17] M. E. Schweitzer, P. Natale, C. S. Winalski and R. Culp. Indirect Wrist MR Arthrography: The Effects of Passive Motion Versus Active Exercise. Skeletal Radiol 29 (2000) : 10 -14.

[18] Satoshi Muraki, Yoshito Ehara and Masahiro Yamasaki. Cardiovascular Responses at The Onset of Passive Leg Cycle Exercise in Paraplegics with Spinal Cord Injury. Eur J Appl Physol 81 (2000) : 271 – 274.

[19] Colette Bouchez. WebMD. Passive Exercise : Whole Body Vibration and More [Online]. Available from : http://www.webmd.com/fitness-exercise/features/passive-exercise-whole-body-vibration [2010, September 7]

[20] Luann Voza. LiveStrong. Passive Exercise Machines for Weight Loss [Online]. 2012. Available from : http://www.livestrong.com/article/293804-passive-exercise-machines-weight-loss/ [2010, September 7]

[21] Alan Dix, Janet Finlay, Gregory D. Abowd, and Russell Beale. Human-Computer Interaction. 2005, February 13.

[22] ปภัสสร์ ฟุ้งธรรมสาร. การศึกษาเชิงการทดลองสำหรับผลของการเครื่องที่ขาด้วยอุปกรณ์ภายนอกต่ออัตราการใช้พลังงานและประสิทธิภาพในการทำงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550

[23] Claude E. Shannon, and Warren Weaver. The Mathematical Theory of Communication. The University of Illinois : Board of Trustees of the University of Illinois 10 (1964)

[24] I. Scott MacKenzie, Fitts' Law as a Research and Design Tool in Human-Computer Interaction. Human-Computer Interaction 7 (1992), pp.91-139. University of Toronto : Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

[25] R. V. L. Hartley. Transmission of Information. Lucent Technologies (1928)

[26] I. Scott Mackenzie, and Colin Ware. Lag as a Determinant of Human Performance in Interactive Systems. NTERCHI'93 (1993)

[27] Jing Kong, and Xiangshi Ren. Comparison of Effective Target Width Calculation Methods for Pointing Task. The Fifth International Conference on Computer and Information Technology (2005)

[28] Atsuo Murata, and Hirokazu Iwase. Proposal of Two-Dimensional Effective Target Width in Fitts' Law. Dept. of Computer Sciences, Hiroshima City University (1999)

[29] ยุทธนา ลีลาศวัฒนกุล. การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วย Visual C++. เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานครฯ : หจก. ไทยเจริญการพิมพ์, 2551.

[30] Sarah A. Douglas, Arthur E. Kirkpatrick, and I. Scott Mackenzie. CHI' 99. Testing Pointing Device Performance and User Assesment with the ISO9241, Part 9 Standart (1999) University of Oregon, Computer and Information Science Dept : 215-222.

[31] I. Scott Mackenzie. ISO9241 – Part 9. York University, Department of Computer Science and Engineering.

[32] Antonio De Sena, and Davide Moschini. Fitts Evaluation Framework – HCI Project. A Mouse Evaluation Framework for Fitts' Test (2006) University of Verona, Department of Computer Science.

[33] Seksan Kiatsupaibul. An Introduction to Probability and Statistics for ISE (2005) Chulalongkorn University, International School of Engineering.

[34] Hun Myoung Park. Indiana. Understanding the Statistical Power of a Test [Online]. 2003. Available from : http://www.indiana.edu/~statmath/stat/all/power/power.html [2012, December 12]

[35] Chulalak Komoltri. Sample Size Estimation. Siriraj Hospital, Faculty of Medicine

[36] มารยาท โยทองยศ และ ปราณี สวัสดิสรรพ์. การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างเพื่อการวิจัย. (2554) กรุงเทพมหานครฯ : ศูนย์บริการวิชาการ สถาบันสงเสริมการวิจัยและพัฒนานวัตกรรม

[37] จรูญ จักร์มุณี. eachem. การรายงานผลให้น่าเชื่อถือ : Confident Limit. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา :http://www.eachem.net/mcontents/marticle.php?headtitle=mcontents&id=52083&Ntype=3 [12 ธันวาคม 2555]

[38] การกำหนดขนาดของตัวอย่าง Sample Size. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://gs.utcc.ac.th/ceomba/mk/2Research&IS%2053/Docu/09SampleSize.pdf [12 ธันวาคม 2555]

[39] Alain F. Zuur, and Elena Ieno. ANOVA and Power Analysis. (2005) Highland Statistics Ltd. Statistical Consultancy, Data Analysis and Software Development.

[40] American Association of Anatomist. What percentage of total body weight is contained in the lower leg? [Online]. 2012. Available from : http://www.anatomy.org/content/what-percentage-total-body-weight-contained-lower-leg-below-knee-and-including-ankle-foot-i- [2012, December 14]

[41] WinSwim Software. Meaning of MET. [Online]. 2004. Available from : http://www.winswim.com/MET.htm [2012, December 14]

[42] มานิตย์ วัชร์ชัยนันท์. Metabolic Equivalent (MET). [ออนไลน์]. 2555. แหล่งที่มา : http://vatchainan2.blogspot.com/2012/02/metabolic-equivalent-met.html [20 ธันวาคม 2555]

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายละเอียดของโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์

ภาคผนวก ก

รายละเอียดของโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพการทำงานคอมพิวเตอร์

ภาคผนวก ก แสดงรายละเอียดและคำสั่งของโปรแกรมที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นเพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพในการทำงานคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรมจะประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก ๆ คือ

ส่วนที่ 1 หน้าแรกเริ่มต้นของโปรแกรม ซึ่งจะเป็นส่วนที่ใช้เลือกการทดสอบต่าง ๆ โดยจะมีปุ่มสำหรับกดเลือกแต่ละการทดสอบ

ส่วนที่ 2 การทดสอบการใช้งานเมาส์

ส่วนที่ 3 การทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง

ส่วนที่ 4 การทดสอบงานกราฟิกวงกลม

ส่วนที่ 5 การทดสอบงานพิมพ์

โปรแกรมถูกเขียนขึ้นด้วยภาษา C++ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Stuido 2010

ในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C++ โดยหลัก ๆ แล้วจะมีการเขียนโปรแกรมขึ้นมา 2 ส่วน คือ ส่วน Header files และส่วน Source files

Header files คือส่วนของรหัสโปรแกรมแรกเริ่มต้นของหน้าต่างต่าง ๆ ของโปรแกรม เป็นพื้นที่สำหรับประกาศตัวแปรและคำสั่งต่าง ๆ เพื่อให้โปรแกรมสามารถดึงไปใช้ได้

Source files คือส่วนของรหัสโปรแกรมของหน้าต่างต่าง ๆ ที่เป็นพื้นที่บรรจุคำสั่งทั้งหมดสำหรับหน้าต่างนั้น ๆ ทั้งการรับค่าและการแสดงผล

รายละเอียดรหัสโปรแกรม มีดังนี้

ส่วนที่ 1 หน้าแรกเริ่มต้นของโปรแกรม

มีตัวเลือกเพื่อให้เลือกการทดสอบต่าง ๆ โดยมีรูปแบบหน้าต่างดังรูปที่ 4.5

มีรายละเอียดรหัสของโปรแกรม ดังนี้

ส่วนเริ่มต้นของโปรแกรม

Header File: Performance test 2.h

```
// Performance test 2.h : main header file for the PROJECT_NAME application

#pragma once

#ifndef __AFXWIN_H__
       #error "include 'stdafx.h' before including this file for PCH"
```

```
#endif

#include "resource.h"              // main symbols


// CPerformancetest2App:
// See Performance test 2.cpp for the implementation of this class

class CPerformancetest2App : public CWinApp
{
public:
       CPerformancetest2App();

// Overrides
       public:
       virtual BOOL InitInstance();

// Implementation

       DECLARE_MESSAGE_MAP()
};

extern CPerformancetest2App theApp;
```

Source File: Performance test 2.cpp

```
// Performance test 2.cpp : Defines the class behaviors for the application.
//

#include "stdafx.h"
#include "Performance test 2.h"
#include "Performance test 2Dlg.h"

#ifdef _DEBUG
#define new DEBUG_NEW
#endif


// CPerformancetest2App

BEGIN_MESSAGE_MAP(CPerformancetest2App, CWinApp)
       ON_COMMAND(ID_HELP, &CWinApp::OnHelp)
END_MESSAGE_MAP()


// CPerformancetest2App construction

CPerformancetest2App::CPerformancetest2App()
{
       // TODO: add construction code here,
       // Place all significant initialization in InitInstance
}


// The one and only CPerformancetest2App object
```

```
CPerformancetest2App theApp;


// CPerformancetest2App initialization

BOOL CPerformancetest2App::InitInstance()
{
	// InitCommonControlsEx() is required on Windows XP if an application
	// manifest specifies use of ComCtl32.dll version 6 or later to enable
	// visual styles.  Otherwise, any window creation will fail.
	INITCOMMONCONTROLSEX InitCtrls;
	InitCtrls.dwSize = sizeof(InitCtrls);
	// Set this to include all the common control classes you want to use
	// in your application.
	InitCtrls.dwICC = ICC_WIN95_CLASSES;
	InitCommonControlsEx(&InitCtrls);

	CWinApp::InitInstance();

	AfxEnableControlContainer();

	// Standard initialization
	// If you are not using these features and wish to reduce the size
	// of your final executable, you should remove from the following
	// the specific initialization routines you do not need
	// Change the registry key under which our settings are stored
	// TODO: You should modify this string to be something appropriate
	// such as the name of your company or organization
	SetRegistryKey(_T("Local AppWizard-Generated Applications"));

	CPerformancetest2Dlg dlg;
	m_pMainWnd = &dlg;
	INT_PTR nResponse = dlg.DoModal();
	if (nResponse == IDOK)
	{
		// TODO: Place code here to handle when the dialog is
		//  dismissed with OK
	}
	else if (nResponse == IDCANCEL)
	{
		// TODO: Place code here to handle when the dialog is
		//  dismissed with Cancel
	}

	// Since the dialog has been closed, return FALSE so that we exit the
	//  application, rather than start the application's message pump.
	return FALSE;
}
```

ส่วนหน้าต่างหลักของโปรแกรม

Header File: Performance test 2Dlg.h

```
// Performance test 2Dlg.h : header file
//
```

```
//////////////////////
// MY CODE STARTS HERE
//////////////////////

#include "FittsDlg.h"
#include "ZhaiLDlg.h"
#include "ZhaiCDlg.h"
#include "FtutorDlg.h"
#include "ZLTutorDlg.h"
#include "ZCtutorDlg.h"
#include "TypeDlg.h"
#include "TypetutorDlg.h"
////////////////////
// MY CODE ENDS HERE
////////////////////
#pragma once


// CPerformancetest2Dlg dialog
class CPerformancetest2Dlg : public CDialog
{
// Construction
public:
	CPerformancetest2Dlg(CWnd* pParent = NULL);	// standard constructor
////////////////////////
// MY CODE STARTS HERE
////////////////////////
	CFittsDlg Fitts_dlg;
	CZhaiLDlg Zhail_dlg;
	CZhaiCDlg Zhaic_dlg;
	CFtutorDlg Ftutor_dlg;
	ZLTutorDlg ZLtutor_dlg;
	CZCtutorDlg ZCtutor_dlg;
	CTypeDlg Type_dlg;
	CTytutorDlg Tytutor_dlg;
//////////////////////////
// MY CODE ENDS HERE
//////////////////////////
// Dialog Data
	enum { IDD = IDD_PERFORMANCETEST2_DIALOG };

	protected:
	virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX);// DDX/DDV support


// Implementation
protected:
	HICON m_hIcon;

	// Generated message map functions
	virtual BOOL OnInitDialog();
	afx_msg void OnSysCommand(UINT nID, LPARAM lParam);
	afx_msg void OnPaint();
	afx_msg HCURSOR OnQueryDragIcon();
	DECLARE_MESSAGE_MAP()
public:
	int n_fitts;
public:
	int n_zhail;
```

```
public:
	int n_zhaic;
public:
	int n_type;
public:
	afx_msg void OnBnClickedFittsButton();
public:
	afx_msg void OnBnClickedZhailButton();
public:
	afx_msg void OnBnClickedZhaicButton();
public:
	afx_msg void OnBnClickedExitButton();
public:
	afx_msg void OnBnClickedFtuButton();
public:
	afx_msg void OnBnClickedButton5();
public:
	afx_msg void OnBnClickedButton6();
public:
	afx_msg void OnBnClickedTypeButton();
	afx_msg void OnBnClickedTtuButton();
};
```

Source File: Performance test 2Dlg.cpp

```
// Performance test 2Dlg.cpp : implementation file
//

#include "stdafx.h"
#include "Performance test 2.h"
#include "Performance test 2Dlg.h"

#ifdef _DEBUG
#define new DEBUG_NEW
#endif


// CAboutDlg dialog used for App About

class CAboutDlg : public CDialog
{
public:
	CAboutDlg();

// Dialog Data
	enum { IDD = IDD_ABOUTBOX };

	protected:
	virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX);    // DDX/DDV support

// Implementation
protected:
	DECLARE_MESSAGE_MAP()
};
```

```
CAboutDlg::CAboutDlg() : CDialog(CAboutDlg::IDD)
{
}

void CAboutDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
	CDialog::DoDataExchange(pDX);
}

BEGIN_MESSAGE_MAP(CAboutDlg, CDialog)
END_MESSAGE_MAP()


// CPerformancetest2Dlg dialog




CPerformancetest2Dlg::CPerformancetest2Dlg(CWnd* pParent /*=NULL*/)
	: CDialog(CPerformancetest2Dlg::IDD, pParent)
	, n_fitts(0)
	, n_zhail(0)
	, n_zhaic(0)
	, n_type(0)
{
	m_hIcon = AfxGetApp()->LoadIcon(IDR_MAINFRAME);
}

void CPerformancetest2Dlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
	CDialog::DoDataExchange(pDX);
	DDX_Text(pDX, IDC_FITTS_EDIT, n_fitts);
	DDX_Text(pDX, IDC_ZHAIL_EDIT, n_zhail);
	DDX_Text(pDX, IDC_ZHAIC_EDIT, n_zhaic);
	DDX_Text(pDX, IDC_TYPE_EDIT, n_type);
}

BEGIN_MESSAGE_MAP(CPerformancetest2Dlg, CDialog)
	ON_WM_SYSCOMMAND()
	ON_WM_PAINT()
	ON_WM_QUERYDRAGICON()
	//}}AFX_MSG_MAP
	ON_BN_CLICKED(IDC_FITTS_BUTTON,
&CPerformancetest2Dlg::OnBnClickedFittsButton)
	ON_BN_CLICKED(IDC_ZHAIL_BUTTON,
&CPerformancetest2Dlg::OnBnClickedZhailButton)
	ON_BN_CLICKED(IDC_ZHAIC_BUTTON,
&CPerformancetest2Dlg::OnBnClickedZhaicButton)
	ON_BN_CLICKED(IDC_EXIT_BUTTON,
&CPerformancetest2Dlg::OnBnClickedExitButton)
	ON_BN_CLICKED(IDC_FTU_BUTTON,
&CPerformancetest2Dlg::OnBnClickedFtuButton)
	ON_BN_CLICKED(IDC_BUTTON5, &CPerformancetest2Dlg::OnBnClickedButton5)
	ON_BN_CLICKED(IDC_BUTTON6, &CPerformancetest2Dlg::OnBnClickedButton6)
	ON_BN_CLICKED(IDC_TYPE_BUTTON,
&CPerformancetest2Dlg::OnBnClickedTypeButton)
	ON_BN_CLICKED(IDC_TTU_BUTTON,
&CPerformancetest2Dlg::OnBnClickedTtuButton)
END_MESSAGE_MAP()
```

```
// CPerformancetest2Dlg message handlers

BOOL CPerformancetest2Dlg::OnInitDialog()
{
	CDialog::OnInitDialog();

	// Add "About..." menu item to system menu.

	// IDM_ABOUTBOX must be in the system command range.
	ASSERT((IDM_ABOUTBOX & 0xFFF0) == IDM_ABOUTBOX);
	ASSERT(IDM_ABOUTBOX < 0xF000);

	CMenu* pSysMenu = GetSystemMenu(FALSE);
	if (pSysMenu != NULL)
	{
		CString strAboutMenu;
		strAboutMenu.LoadString(IDS_ABOUTBOX);
		if (!strAboutMenu.IsEmpty())
		{
			pSysMenu->AppendMenu(MF_SEPARATOR);
			pSysMenu->AppendMenu(MF_STRING, IDM_ABOUTBOX,
strAboutMenu);
		}
	}

	// Set the icon for this dialog.  The framework does this automatically
	//  when the application's main window is not a dialog
	SetIcon(m_hIcon, TRUE);			// Set big icon
	SetIcon(m_hIcon, FALSE);		// Set small icon

	// TODO: Add extra initialization here

		/////////////////////
	// MY CODE STARTS HERE
	/////////////////////

	n_fitts=0;
	n_zhail=0;
	n_zhaic=0;
	n_type=0;
	////////////////////
	// MY CODE ENDS HERE
	////////////////////

	return TRUE;  // return TRUE  unless you set the focus to a control
}

void CPerformancetest2Dlg::OnSysCommand(UINT nID, LPARAM lParam)
{
	if ((nID & 0xFFF0) == IDM_ABOUTBOX)
	{
		CAboutDlg dlgAbout;
		dlgAbout.DoModal();
	}
	else
	{
		CDialog::OnSysCommand(nID, lParam);
```

```
	}
}

// If you add a minimize button to your dialog, you will need the code below
//  to draw the icon.  For MFC applications using the document/view model,
//  this is automatically done for you by the framework.

void CPerformancetest2Dlg::OnPaint()
{
	if (IsIconic())
	{
		CPaintDC dc(this); // device context for painting

		SendMessage(WM_ICONERASEBKGND,
reinterpret_cast<WPARAM>(dc.GetSafeHdc()), 0);

		// Center icon in client rectangle
		int cxIcon = GetSystemMetrics(SM_CXICON);
		int cyIcon = GetSystemMetrics(SM_CYICON);
		CRect rect;
		GetClientRect(&rect);
		int x = (rect.Width() - cxIcon + 1) / 2;
		int y = (rect.Height() - cyIcon + 1) / 2;

		// Draw the icon
		dc.DrawIcon(x, y, m_hIcon);
	}
	else
	{
		CDialog::OnPaint();
	}
}

// The system calls this function to obtain the cursor to display while the
user drags
//  the minimized window.
HCURSOR CPerformancetest2Dlg::OnQueryDragIcon()
{
	return static_cast<HCURSOR>(m_hIcon);
}


void CPerformancetest2Dlg::OnBnClickedFittsButton()
{
	// TODO: Add your control notification handler code here

	//////////////////////////
	// MY CODE STARTS HERE
	///////////////////////


	n_fitts=n_fitts+1;
	Fitts_dlg.number=n_fitts;
	UpdateData(FALSE);
	Fitts_dlg.DoModal();


	/////////////////////
	// MY CODE ENDS HERE
```

```
	//////////////////////
}

void CPerformancetest2Dlg::OnBnClickedZhailButton()
{
	// TODO: Add your control notification handler code here
//////////////////////////
	// MY CODE STARTS HERE
	///////////////////////


	n_zhail=n_zhail+1;
	Zhail_dlg.number=n_zhail;
	UpdateData(FALSE);
	Zhail_dlg.DoModal();


	//////////////////////
	// MY CODE ENDS HERE
	//////////////////////

}

void CPerformancetest2Dlg::OnBnClickedZhaicButton()
{
	// TODO: Add your control notification handler code here

//////////////////////////
	// MY CODE STARTS HERE
	///////////////////////


	n_zhaic=n_zhaic+1;
	Zhaic_dlg.number=n_zhaic;
	UpdateData(FALSE);
	Zhaic_dlg.DoModal();


	//////////////////////
	// MY CODE ENDS HERE
	//////////////////////
}

void CPerformancetest2Dlg::OnBnClickedExitButton()
{
	// TODO: Add your control notification handler code here

/////////////////
	// MY CODE STARTS HERE
	//////////////////

	OnOK();
	/////////////////
	// MY CODE ENDS HERE
	//////////////////
}

void CPerformancetest2Dlg::OnBnClickedFtuButton()
{
```

```
        // TODO: Add your control notification handler code here
        ////////////////////
        // MY CODE STARTS HERE
        /////////////////////

        Ftutor_dlg.DoModal();

        ///////////////////////
        // MY CODE ENDS HERE
        //////////////////////
}

void CPerformancetest2Dlg::OnBnClickedButton5()
{
        // TODO: Add your control notification handler code here
        ////////////////////
        // MY CODE STARTS HERE
        /////////////////////

        ZLtutor_dlg.DoModal();

        ///////////////////////
        // MY CODE ENDS HERE
        //////////////////////
}

void CPerformancetest2Dlg::OnBnClickedButton6()
{
        // TODO: Add your control notification handler code here
        ZCtutor_dlg.DoModal();
}

void CPerformancetest2Dlg::OnBnClickedTypeButton()
{
        // TODO: Add your control notification handler code here
        //////////////////////////
        // MY CODE STARTS HERE
        ///////////////////////


        n_type=n_type+1;
        Type_dlg.number=n_type;
        UpdateData(FALSE);
        Type_dlg.DoModal();


        //////////////////////
        // MY CODE ENDS HERE
        //////////////////////
}

void CPerformancetest2Dlg::OnBnClickedTtuButton()
{
        // TODO: Add your control notification handler code here
        //////////////////////////
        // MY CODE STARTS HERE
        ///////////////////////
```

```
        Tytutor_dlg.DoModal();

        /////////////////////
        // MY CODE ENDS HERE
        /////////////////////
}
```

ส่วนที่ 2 การทดสอบการใช้งานเมาส์

มีรูปแบบหน้าต่างดังรูปที่ ...

มีรายละเอียดรหัสของโปรแกรม ดังนี้

Header File: FittsDlg.h

```
#pragma once

// CFittsDlg dialog

class CFittsDlg : public CDialog
{
        DECLARE_DYNAMIC(CFittsDlg)

public:
        CFittsDlg(CWnd* pParent = NULL);   // standard constructor
        virtual ~CFittsDlg();

// Dialog Data
        enum { IDD = IDD_FITTS_DIALOG };
protected:
        virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX);    // DDX/DDV support
////////////////////
// MY CODE STARTS HERE
////////////////////

protected:
        HICON m_hIcon;
        virtual BOOL OnInitDialog();

//////////////////////
// MY CODE ENDS HERE
//////////////////////

        /////////////////////////
        // MY CODE STARTS HERE
        ////////////////////////

public:
        int XPOS;
        int YPOS;
        int XCenter;
```

```
	int YCenter;
	int Xorigin;
	int Yorigin;
	int Radius;
	int Distance;
	int Hit;
	int Miss;
	int miss2;
	int Clck;
	int TimeUse;
	CFileTime TimeNow;
	CFileTime TimePrev;
	CFileTimeSpan TimeDur;
	int data[200][6];
	int XPrev;
	int YPrev;
	int ratio;
	CString FileName;
	int number;
	int i;
	CString SaveData[200];
	int width;
	int height;
	int round;
	int XStat;
	int stat[200][1];
	int angle;
	int pause;
	int end;
	int mistake100;
	int mistake200;
	int mistake300;

	//////////////////////////
	// MY CODE ENDS HERE
	/////////////////////////

	DECLARE_MESSAGE_MAP()
public:
	afx_msg void OnPaint();
public:
	afx_msg void OnLButtonDown(UINT nFlags, CPoint point);
};
```

Source File: FittsDlg.cpp

```
// FittsDlg.cpp : implementation file

#include "stdafx.h"
#include "Performance test 2.h"
#include "FittsDlg.h"
//////////////////////
// MY CODE STARTS HERE
//////////////////////
#include "math.h"
#include "string.h"
#include "afx.h"
```

```
#include <iostream>
#include <fstream>
using namespace std;

//////////////////////
// MY CODE ENDS HERE
//////////////////////

// CFittsDlg dialog

IMPLEMENT_DYNAMIC(CFittsDlg, CDialog)

CFittsDlg::CFittsDlg(CWnd* pParent /*=NULL*/)
	: CDialog(CFittsDlg::IDD, pParent)
{
}

CFittsDlg::~CFittsDlg()
{
}

void CFittsDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
	CDialog::DoDataExchange(pDX);
}

BOOL CFittsDlg::OnInitDialog()
{
	CDialog::OnInitDialog();

	// Add "About..." menu item to system menu.

	// IDM_ABOUTBOX must be in the system command range.
	ASSERT((IDM_ABOUTBOX & 0xFFF0) == IDM_ABOUTBOX);
	ASSERT(IDM_ABOUTBOX < 0xF000);

	CMenu* pSysMenu = GetSystemMenu(FALSE);
	if (pSysMenu != NULL)
	{
		CString strAboutMenu;
		strAboutMenu.LoadString(IDS_ABOUTBOX);
		if (!strAboutMenu.IsEmpty())
		{
			pSysMenu->AppendMenu(MF_SEPARATOR);
			pSysMenu->AppendMenu(MF_STRING, IDM_ABOUTBOX,
strAboutMenu);
		}
	}

	// Set the icon for this dialog.  The framework does this automatically
	//  when the application's main window is not a dialog
	SetIcon(m_hIcon, TRUE);			// Set big icon
	SetIcon(m_hIcon, FALSE);		// Set small icon

	// TODO: Add extra initialization here
	//////////////////////////
	// MY CODE STARTS HERE
	//////////////////////////
	ShowWindow(SW_MAXIMIZE);
```

```
        Xorigin=650;
        Yorigin=370;
        Hit=0;
        Miss=0;
        XPrev=0;
        YPrev=0;
        width=60;
        height=30;
        Clck=0;
        round=0;
        Distance=100;
        pause=0;
        end=0;
        mistake100=0;
        mistake200=0;
        mistake300=0;
        TimePrev = CFileTime::GetCurrentTime();

        /////////////////////////
        // MY CODE ENDS HERE
        //////////////////////////

        return TRUE;  // return TRUE  unless you set the focus to a control
}
BEGIN_MESSAGE_MAP(CFittsDlg, CDialog)
        ON_WM_PAINT()
        ON_WM_LBUTTONDOWN()
END_MESSAGE_MAP()

// CFittsDlg message handlers

void CFittsDlg::OnPaint()
{
        CPaintDC dc(this); // device context for painting
        // TODO: Add your message handler code here
        // Do not call CDialog::OnPaint() for painting messages
        ////////////////////////////
                // MY CODE STARTS HERE
                /////////////////////////////

        if(Distance<=300){
                        if(round>=3){
                                Distance+=100;
                                pause=1;

                        } //Something about round after increase the Distance
        if(Miss==0){
                        XCenter = Xorigin+Distance*cos(Clck*3.14159*2*8/17);
                        YCenter = Yorigin+Distance*sin(Clck*3.14159*2*8/17);

                        CPen MyNewPen;

                        MyNewPen.CreatePen(PS_SOLID,3,RGB(100,50,50));

                        CPen* pOriginalPen;
                        pOriginalPen = dc.SelectObject(&MyNewPen);

                        CBrush MyNewBrush;
```

```
                    MyNewBrush.CreateSolidBrush(RGB(200,100,100));
                    CBrush* pOriginalBrush;
                    pOriginalBrush =dc.SelectObject(&MyNewBrush);

                    CRect MyRectangle(XCenter-(width/2),YCenter-
(height/2),XCenter+(width/2),YCenter+(height/2));

                    dc.Rectangle(&MyRectangle);
                    dc.SelectObject(pOriginalPen);
                    }
       else if(Miss==1){
                    XCenter = Xorigin+Distance*cos((Clck-1)*3.14159*2*8/17);
                    YCenter = Yorigin+Distance*sin((Clck-1)*3.14159*2*8/17);

                    CPen MyNewPen;

                    MyNewPen.CreatePen(PS_SOLID,3,RGB(100,50,50));

                    CPen* pOriginalPen;
                    pOriginalPen = dc.SelectObject(&MyNewPen);

                    CBrush MyNewBrush;
                    MyNewBrush.CreateSolidBrush(RGB(200,100,100));
                    CBrush* pOriginalBrush;
                    pOriginalBrush =dc.SelectObject(&MyNewBrush);


                    CRect MyRectangle(XCenter-(width/2),YCenter-
(height/2),XCenter+(width/2),YCenter+(height/2));

                    dc.Rectangle(&MyRectangle);

                    dc.SelectObject(pOriginalPen);
                    }//}
       }
       else{
       CString wNumber;
                    wNumber.Format (_T("%d"),number);

                    FileName = _T("Fitts") + wNumber + _T(".txt");

                    ofstream myfile;
                    myfile.open (FileName);
                    myfile << "Time \t Distance \t Round \t Angle \t X
Position \t Time Spend \n";
                    for (i=1; i<=Clck/9; i++)
                    {
                           myfile << data[i][1];
                           myfile << "\t";
                           myfile << data[i][2];
                           myfile << "\t";
                           myfile << data[i][3];
                           myfile << "\t";
                           myfile << data[i][4];
                           myfile << "\t";
                           myfile << data[i][5];
                           myfile << "\t";
                           myfile << data[i][6];
                           myfile << "\n";
```

```
        myfile << data[i+17][1];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+17][2];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+17][3];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+17][4];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+17][5];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+17][6];
        myfile << "\n";

        myfile << data[i+34][1];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+34][2];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+34][3];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+34][4];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+34][5];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+34][6];
        myfile << "\n";
}

for (i=52; i<=68; i++)
{
        myfile << data[i][1];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i][2];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i][3];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i][4];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i][5];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i][6];
        myfile << "\n";

        myfile << data[i+17][1];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+17][2];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+17][3];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+17][4];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+17][5];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+17][6];
        myfile << "\n";

        myfile << data[i+34][1];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+34][2];
```

```
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+34][3];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+34][4];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+34][5];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+34][6];
        myfile << "\n";
}

for (i=103; i<=119; i++)
{
        myfile << data[i][1];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i][2];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i][3];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i][4];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i][5];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i][6];
        myfile << "\n";

        myfile << data[i+17][1];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+17][2];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+17][3];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+17][4];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+17][5];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+17][6];
        myfile << "\n";

        myfile << data[i+34][1];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+34][2];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+34][3];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+34][4];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+34][5];
        myfile << "\t";
        myfile << data[i+34][6];
        myfile << "\n";
}

        myfile << "\n";
        myfile << "100";
        myfile << "\t";
        myfile << "200";
        myfile << "\t";
        myfile << "300";
```

```
                        myfile << "\n";
                        myfile << mistake100;
                        myfile << "\t";
                        myfile << mistake200;
                        myfile << "\t";
                        myfile << mistake300;
                        myfile << "\n";

                myfile.close();
                OnOK();
        }       //Building File

            ////////////////////////////
            //MY CODE ENDS HERE
            ////////////////////////////
}

void CFittsDlg::OnLButtonDown(UINT nFlags, CPoint point)
{
        // TODO: Add your message handler code here and/or call default
        /////////////////////////
        // MY CODE STARTS HERE
        //////////////////////////

        if(pause==1){
                pause=0;
                round=0;

                Invalidate();
        }
                if(Miss==0){
                        XPOS=point.x;
                        YPOS=point.y;
                        XStat=XPOS-(XCenter-(width/2));
                        TimeNow = CFileTime::GetCurrentTime();
                        TimeDur = TimeNow-TimePrev;
                        // get duration in millisec
                        TimeUse = TimeDur.GetTimeSpan()/10000;
                        TimePrev=TimeNow;

                        if (abs(XPOS-XCenter)<=(width/2)&& abs(YPOS-
YCenter)<=(height/2))
                        {
                                Clck=Clck+1;
                                int RDistance2 = (XCenter-XPrev)*(XCenter-
XPrev)+(YCenter-YPrev)*(YCenter-YPrev);
                                data[Clck][1]=Clck;
                                data[Clck][2]=RDistance2;
                                data[Clck][3]=(round+1);
                                data[Clck][4]=angle;
                                data[Clck][5]=XStat;
                                data[Clck][6]=TimeUse;

                                XPrev=XCenter;
                                YPrev=YCenter;

                                if((Clck%17)==0){
                                        round++;
                                }
```

```
				Invalidate();
			}
			else
			{
				Miss=1;
				MessageBeep((WORD)-1);

				Invalidate();
			}
		}
		else if(Miss==1){
			XPrev=point.x;
			YPrev=point.y;
			TimePrev=CFileTime::GetCurrentTime();
			Miss=0;

			if(Distance<=100){
				mistake100=mistake100+1;
			}
			else if(Distance<=200){
				mistake200=mistake200+1;
			}
			else {
				mistake300=mistake300+1;
			}

			Invalidate();
		}

	///////////////////////
	// MY CODE ENDS HERE
	//////////////////////

	CDialog::OnLButtonDown(nFlags, point);
}
```

ส่วนที่ 3 การทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง

มีรูปแบบหน้าต่างดังรูปที่ ...

มีรายละเอียดรหัสของโปรแกรม ดังนี้

Hearder File: ZhaiLDlg.h

```
#pragma once

class CZhaiLDlg : public CDialog
{
	DECLARE_DYNAMIC(CZhaiLDlg)

public:
	CZhaiLDlg(CWnd* pParent = NULL);   // standard constructor
	virtual ~CZhaiLDlg();
```

```
// Dialog Data
	enum { IDD = IDD_ZHAIL_DIALOG };

protected:
	virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX);    // DDX/DDV support
protected:
	HICON m_hIcon;
	virtual BOOL OnInitDialog();

	///////////////////////////
	// MY CODE STARTS HERE
	////////////////////////////
public:
	int Length;
	int Width;
	int ratio;
	int mode;
	int XCenter;
	int YCenter;
	int Pass;
	int Miss;
	int miss2;
	int Clck;
	BOOL Status;
	int XPOS;
	int YPOS;
	BOOL intrack;
	BOOL HOLD;
	BOOL Finish;
	CFileTime TimeNow;
	CFileTime TimePrev;
	CFileTimeSpan TimeDur;
	int TimeUse;
	int i;
	CString SaveData[160];
	int number;
	int data[160][5];

	/////////////////////////////
	// MY CODE ENDS HERE
	////////////////////////////

	DECLARE_MESSAGE_MAP()
public:
	afx_msg void OnPaint();
public:
	afx_msg void OnLButtonDown(UINT nFlags, CPoint point);
public:
	afx_msg void OnMouseMove(UINT nFlags, CPoint point);
public:
	afx_msg void OnLButtonUp(UINT nFlags, CPoint point);
};
```

Source File: ZhaiLDlg.cpp

```
#include "stdafx.h"
#include "Performance test 2.h"
#include "ZhaiLDlg.h"
//////////////////////
// MY CODE STARTS HERE
///////////////////////

#include "math.h"
#include "string.h"
#include "afx.h"
#include <iostream>
#include <fstream>
using namespace std;

//////////////////////
// MY CODE ENDS HERE
//////////////////////

IMPLEMENT_DYNAMIC(CZhaiLDlg, CDialog)

CZhaiLDlg::CZhaiLDlg(CWnd* pParent /*=NULL*/)
	: CDialog(CZhaiLDlg::IDD, pParent)
{
}

CZhaiLDlg::~CZhaiLDlg()
{
}

void CZhaiLDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
	CDialog::DoDataExchange(pDX);
}


BEGIN_MESSAGE_MAP(CZhaiLDlg, CDialog)
	ON_WM_PAINT()
	ON_WM_LBUTTONDOWN()
	ON_WM_MOUSEMOVE()
	ON_WM_LBUTTONUP()
END_MESSAGE_MAP()


// CZhaiLDlg message handlers

//////////////////////
// MY CODE ENDS HERE
/////////////////////
BOOL CZhaiLDlg::OnInitDialog()
{
	CDialog::OnInitDialog();

	// Add "About..." menu item to system menu.

	// IDM_ABOUTBOX must be in the system command range.
	ASSERT((IDM_ABOUTBOX & 0xFFF0) == IDM_ABOUTBOX);
	ASSERT(IDM_ABOUTBOX < 0xF000);
```

```
        CMenu* pSysMenu = GetSystemMenu(FALSE);
        if (pSysMenu != NULL)
        {
               CString strAboutMenu;
               strAboutMenu.LoadString(IDS_ABOUTBOX);
               if (!strAboutMenu.IsEmpty())
               {
                      pSysMenu->AppendMenu(MF_SEPARATOR);
                      pSysMenu->AppendMenu(MF_STRING, IDM_ABOUTBOX,
strAboutMenu);
               }
        }

        // Set the icon for this dialog.  The framework does this automatically
        //  when the application's main window is not a dialog
        SetIcon(m_hIcon, TRUE);                   // Set big icon
        SetIcon(m_hIcon, FALSE);           // Set small icon

        // TODO: Add extra initialization here

        ///////////////////////////
        // MY CODE STARTS HERE
        //////////////////////////
        ShowWindow(SW_MAXIMIZE);

        // mode = 1 mean move right
        // mode = 2 mean move up
        // mode = 3 mean move left
        // mode = 4 mean move down

        mode=1;
        Status=FALSE;
        intrack=TRUE;
        Finish=FALSE;
        HOLD=FALSE;
        Pass=0;
        Miss=0;

        /////////////////////////
        // MY CODE ENDS HERE
        //////////////////////////


        return TRUE;  // return TRUE  unless you set the focus to a control
}
void CZhaiLDlg::OnPaint()
{
        CPaintDC dc(this); // device context for painting
        // TODO: Add your message handler code here
        // Do not call CDialog::OnPaint() for painting messages

        /////////////////////////////
        // MY CODE STARTS HERE
        //////////////////////////
               CPen MyBkPen;
               MyBkPen.CreatePen(PS_SOLID,3,RGB(100,100,150));
               CPen* pOriginalPen;
               pOriginalPen = dc.SelectObject(&MyBkPen);
```

```
CBrush MyBkBrush;
MyBkBrush.CreateSolidBrush(RGB(100,100,150));
CBrush* pOriginalBrush;
pOriginalBrush =dc.SelectObject(&MyBkBrush);
dc.Rectangle(0,0,1400,1024);


Clck=Pass+Miss;
if (mode==1 || mode==3)
{
        XCenter=500;
        YCenter=360+200*cos(Clck*3.14159/3);
}
else
{
        YCenter=360;
        XCenter=500+300*cos(Clck*3.14159/3);
}
if (Pass<16)
{
        Length=180;
        Width=60;
        ratio=3;
}
else if (Pass<32)
{
        Length=440;
        Width=44;
        ratio=10;
}
else if (Pass<48)
{
        Length=544;
        Width=32;
        ratio=17;
}
else
{
        CString wNumber;
        wNumber.Format (_T("%d"),number);

        CString FileName = _T("SteerLinear") + wNumber +
_T(".txt");

        ofstream myfile;
        myfile.open (FileName);
        myfile << "PASS \t miss \t mode \t timespend \t ratio \n";


        for (i=1;i<=Clck;i++)
        {
                myfile << data[i][1];
                myfile << "\t";
                myfile << data[i][2];
                myfile << "\t";
                myfile << data[i][3];
                myfile << "\t";
                myfile << data[i][4];
                myfile << "\t";
```

```
                        myfile << data[i][5];
                        myfile << "\n";


                }
                myfile.close();

                OnOK();
        }

        CPen MyTkPen;
        MyTkPen.CreatePen(PS_SOLID,1,RGB(0,200,200));

        CPen MyTkPen2;
        MyTkPen2.CreatePen(PS_SOLID,1,RGB(255,100,100));

        CBrush MyTkBrush;
        MyTkBrush.CreateSolidBrush(RGB(150,150,50));
        pOriginalBrush=dc.SelectObject(&MyTkBrush);

        CRect PathVer(XCenter-Width/2,YCenter-
Length/2,XCenter+Width/2,YCenter+Length/2);
        CRect PathHor(XCenter-Length/2,YCenter-
Width/2,XCenter+Length/2,YCenter+Width/2);
        if (Status)
        {
                pOriginalPen = dc.SelectObject(&MyTkPen2);
        }
        else
        {
                pOriginalPen = dc.SelectObject(&MyTkPen);
        }
        if (mode==1 || mode==3)
        {
                dc.Rectangle(&PathHor);
        }
        else
        {
                dc.Rectangle(&PathVer);
        }

        CPen MyEndPen;
        MyEndPen.CreatePen(PS_SOLID,2,RGB(255,0,0));
        pOriginalPen = dc.SelectObject(&MyEndPen);
        if (Status)
        {
                if (mode==1)
                {
                        CRect EndP(XCenter+Length/2-1,YCenter-
Width/2,XCenter+Length/2+1,YCenter+Width/2);
                        dc.Rectangle(&EndP);
                }
                else if (mode==2)
                {
                        CRect EndP(XCenter-Width/2,YCenter-Length/2-
1,XCenter+Width/2,YCenter-Length/2+1);
                        dc.Rectangle(&EndP);
                }
                else if (mode==3)
```

```
                    {
                            CRect EndP(XCenter-Length/2-1,YCenter-
Width/2,XCenter-Length/2+1,YCenter+Width/2);
                            dc.Rectangle(&EndP);
                    }
                    else
                    {
                            CRect EndP(XCenter-Width/2,YCenter+Length/2-
1,XCenter+Width/2,YCenter+Length/2+1);
                            dc.Rectangle(&EndP);
                    }
                    CPen MyArrowPen;
                    MyArrowPen.CreatePen(PS_SOLID,5,RGB(255,100,100));
                    pOriginalPen = dc.SelectObject(&MyArrowPen);
                    CPoint Arrow[3];
                    CPoint Arrow2[3];

                    if (mode==1)
                    {
                            Arrow[0].x=XCenter+Length/4+5;
                            Arrow[0].y=YCenter+Width/2+10;
                            Arrow[1].x=XCenter+Length/4;
                            Arrow[1].y=YCenter+Width/2+7;
                            Arrow[2].x=XCenter+Length/4;
                            Arrow[2].y=YCenter+Width/2+13;

                            Arrow2[0].x=XCenter+Length/4+5;
                            Arrow2[0].y=YCenter-Width/2-10;
                            Arrow2[1].x=XCenter+Length/4;
                            Arrow2[1].y=YCenter-Width/2-7;
                            Arrow2[2].x=XCenter+Length/4;
                            Arrow2[2].y=YCenter-Width/2-13;

                            CPoint Linel[2];
                            Linel[0].x=XCenter-Length/4;
                            Linel[0].y=YCenter+Width/2+10;
                            Linel[1].x=XCenter+Length/4;
                            Linel[1].y=YCenter+Width/2+10;
                            CPoint Linel2[2];
                            Linel2[0].x=XCenter-Length/4;
                            Linel2[0].y=YCenter-Width/2-10;
                            Linel2[1].x=XCenter+Length/4;
                            Linel2[1].y=YCenter-Width/2-10;

                            dc.Polyline(Linel,2);
                            dc.Polyline(Linel2,2);
                    }
                    else if (mode==2)
                    {
                            Arrow[0].x=XCenter+Width/2+10;
                            Arrow[0].y=YCenter-Length/4-5;
                            Arrow[1].x=XCenter+Width/2+7;
                            Arrow[1].y=YCenter-Length/4;
                            Arrow[2].x=XCenter+Width/2+13;
                            Arrow[2].y=YCenter-Length/4;

                            Arrow2[0].x=XCenter-Width/2-10;
                            Arrow2[0].y=YCenter-Length/4-5;
                            Arrow2[1].x=XCenter-Width/2-7;
```

```
        Arrow2[1].y=YCenter-Length/4;
        Arrow2[2].x=XCenter-Width/2-13;
        Arrow2[2].y=YCenter-Length/4;

        CPoint Linel[2];
        Linel[0].x=XCenter-Width/2-10;
        Linel[0].y=YCenter-Length/4;
        Linel[1].x=XCenter-Width/2-10;
        Linel[1].y=YCenter+Length/4;
        CPoint Linel2[2];
        Linel2[0].x=XCenter+Width/2+10;
        Linel2[0].y=YCenter-Length/4;
        Linel2[1].x=XCenter+Width/2+10;
        Linel2[1].y=YCenter+Length/4;

        dc.Polyline(Linel,2);
        dc.Polyline(Linel2,2);
}
else if (mode==3)
{
        Arrow[0].x=XCenter-Length/4-5;
        Arrow[0].y=YCenter+Width/2+10;
        Arrow[1].x=XCenter-Length/4;
        Arrow[1].y=YCenter+Width/2+7;
        Arrow[2].x=XCenter-Length/4;
        Arrow[2].y=YCenter+Width/2+13;

        Arrow2[0].x=XCenter-Length/4-5;
        Arrow2[0].y=YCenter-Width/2-10;
        Arrow2[1].x=XCenter-Length/4;
        Arrow2[1].y=YCenter-Width/2-7;
        Arrow2[2].x=XCenter-Length/4;
        Arrow2[2].y=YCenter-Width/2-13;

        CPoint Linel[2];
        Linel[0].x=XCenter-Length/4;
        Linel[0].y=YCenter+Width/2+10;
        Linel[1].x=XCenter+Length/4;
        Linel[1].y=YCenter+Width/2+10;
        CPoint Linel2[2];
        Linel2[0].x=XCenter-Length/4;
        Linel2[0].y=YCenter-Width/2-10;
        Linel2[1].x=XCenter+Length/4;
        Linel2[1].y=YCenter-Width/2-10;

        dc.Polyline(Linel,2);
        dc.Polyline(Linel2,2);
}
else
{
        Arrow[0].x=XCenter+Width/2+10;
        Arrow[0].y=YCenter+Length/4+5;
        Arrow[1].x=XCenter+Width/2+7;
        Arrow[1].y=YCenter+Length/4;
        Arrow[2].x=XCenter+Width/2+13;
        Arrow[2].y=YCenter+Length/4;

        Arrow2[0].x=XCenter-Width/2-10;
        Arrow2[0].y=YCenter+Length/4+5;
```

```
                    Arrow2[1].x=XCenter-Width/2-7;
                    Arrow2[1].y=YCenter+Length/4;
                    Arrow2[2].x=XCenter-Width/2-13;
                    Arrow2[2].y=YCenter+Length/4;

                    CPoint Linel[2];
                    Linel[0].x=XCenter-Width/2-10;
                    Linel[0].y=YCenter-Length/4;
                    Linel[1].x=XCenter-Width/2-10;
                    Linel[1].y=YCenter+Length/4;
                    CPoint Linel2[2];
                    Linel2[0].x=XCenter+Width/2+10;
                    Linel2[0].y=YCenter-Length/4;
                    Linel2[1].x=XCenter+Width/2+10;
                    Linel2[1].y=YCenter+Length/4;

                    dc.Polyline(Linel,2);
                    dc.Polyline(Linel2,2);
            }
            dc.Polygon(Arrow,3);
            dc.Polygon(Arrow2,3);

        }
        else
        {
            CPen MyStartPen;
            MyStartPen.CreatePen(PS_SOLID,5,RGB(0,255,0));
            pOriginalPen = dc.SelectObject(&MyStartPen);
            if (mode==1)
            {
                    CRect StartP(XCenter-Length/2-4,YCenter-
Width/2,XCenter-Length/2+4,YCenter+Width/2);
                    dc.Rectangle(&StartP);
            }
            else if (mode==2)
            {
                    CRect StartP(XCenter-Width/2,YCenter+Length/2-
4,XCenter+Width/2,YCenter+Length/2+4);
                    dc.Rectangle(&StartP);
            }
            else if (mode==3)
            {
                    CRect StartP(XCenter+Length/2-4,YCenter-
Width/2,XCenter+Length/2+4,YCenter+Width/2);
                    dc.Rectangle(&StartP);
            }
            else
            {
                    CRect StartP(XCenter-Width/2,YCenter-Length/2-
4,XCenter+Width/2,YCenter-Length/2+4);
                    dc.Rectangle(&StartP);
            }

        }


        UpdateData(FALSE);
```

```
              /////////////////////////
              // MY CODE ENDS HERE
              /////////////////////////
}

void CZhaiLDlg::OnLButtonDown(UINT nFlags, CPoint point)
{
       // TODO: Add your message handler code here and/or call default
       //////////////////////
       // MY CODE STARTS HERE
       //////////////////////

       XPOS=point.x;
       YPOS=point.y;
       HOLD=TRUE;
       if (mode==1)
       {
              if (XPOS>=XCenter-Length/2-4 && XPOS<=XCenter-Length/2+4 &&
YPOS>=YCenter-Width/2 && YPOS<=YCenter+Width/2)
              {
                     Status=TRUE;
              }
       }
       if (mode==2)
       {
              if (XPOS>=XCenter-Width/2 && XPOS<=XCenter+Width/2 &&
YPOS>=YCenter+Length/2-4 && YPOS<=YCenter+Length/2+4)
              {
                     Status=TRUE;
              }
       }
       if (mode==3)
       {
              if (XPOS>=XCenter+Length/2-4 && XPOS<=XCenter+Length/2+4 &&
YPOS>=YCenter-Width/2 && YPOS<=YCenter+Width/2)
              {
                     Status=TRUE;
              }
       }
       if (mode==4)
       {
              if (XPOS>=XCenter-Width/2 && XPOS<=XCenter+Width/2 &&
YPOS>=YCenter-Length/2-4 && YPOS<=YCenter-Length/2+4)
              {
                     Status=TRUE;
              }
       }
       TimePrev = CFileTime::GetCurrentTime();
       UpdateData(FALSE);

       Invalidate();

       /////////////////////
       // MY CODE ENDS HERE
       /////////////////////
       CDialog::OnLButtonDown(nFlags, point);
}

void CZhaiLDlg::OnLButtonUp(UINT nFlags, CPoint point)
```

```
{
	// TODO: Add your message handler code here and/or call default

	///////////////////
	// MY CODE STARTS HERE
	/////////////////////

	if (Status)
	{

		if (Finish && intrack)
		{
			if (mode==4)
			{
				mode=1;
			}
			else
			{
				mode=mode+1;
			}
			Pass=Pass+1;
			miss2=0;
		}
		else
		{
			Miss=Miss+1;
			miss2=1;
			MessageBeep((WORD)-1);
		}

		Clck=Pass+Miss;
		TimeDur = TimeNow-TimePrev;
		TimeUse = TimeDur.GetTimeSpan()/10000;
		data[Clck][1]=Pass;
		data[Clck][2]=miss2;
		data[Clck][3]=mode;		// 1=right 2=up 3=left 4=down
		data[Clck][4]=TimeUse;
		data[Clck][5]=ratio;

		HOLD=FALSE;
		Status=FALSE;
		Finish=FALSE;
		intrack=TRUE;
		OnPaint();
		UpdateData(FALSE);
		Invalidate();
	}

	////////////////////
	// MY CODE ENDS HERE
	/////////////////////

	CDialog::OnLButtonUp(nFlags, point);
}

void CZhaiLDlg::OnMouseMove(UINT nFlags, CPoint point)
{
	// TODO: Add your message handler code here and/or call default
```

```
        /////////////////////
        // MY CODE STARTS HERE
        //////////////////////

        if (HOLD)
        {

                XPOS=point.x;
                YPOS=point.y;
                if (mode==1 || mode==3)
                {
                        if (XPOS>=XCenter-Length/2-10 &&
XPOS<=XCenter+Length/2+10)
                        {
                                if (YPOS<=YCenter-Width/2 || YPOS>=YCenter+Width/2)
                                {
                                        intrack=FALSE;
                                }
                        }
                }
                if (mode==2 || mode==4)
                {
                        if (YPOS>=YCenter-Length/2-10 &&
YPOS<=YCenter+Length/2+10)
                        {
                                if (XPOS<=XCenter-Width/2 || XPOS>=XCenter+Width/2)
                                {
                                        intrack=FALSE;
                                }
                        }
                }
                if (mode==1)
                {
                        if (XPOS>XCenter+Length/2)
                        {
                                Finish=TRUE;
                                TimeNow = CFileTime::GetCurrentTime();
                        }
                }
                if (mode==2)
                {
                        if (YPOS<YCenter-Length/2)
                        {
                                Finish=TRUE;
                                TimeNow = CFileTime::GetCurrentTime();
                        }
                }
                if (mode==3)
                {
                        if (XPOS<XCenter-Length/2)
                        {
                                Finish=TRUE;
                                TimeNow = CFileTime::GetCurrentTime();
                        }
                }
                if (mode==4)
                {
                        if (YPOS>YCenter+Length/2)
                        {
```

```
                        Finish=TRUE;
                        TimeNow = CFileTime::GetCurrentTime();
                    }
                }

        }

        ////////////////////////
        // MY CODE ENDS HERE
        ///////////////////////

        CDialog::OnMouseMove(nFlags, point);
}
```

ส่วนที่ 4 การทดสอบงานกราฟิกวงกลม

มีรูปแบบหน้าต่างดังรูปที่ ...

มีรายละเอียดรหัสของโปรแกรม ดังนี้

Header File: ZhaiCDlg.h

```
#pragma once
///////////////////////////
// MY CODE STARTS HERE
//////////////////////////

#include "math.h"

///////////////////////
// MY CODE ENDS HERE
///////////////////////

// CZhaiCDlg dialog

class CZhaiCDlg : public CDialog
{
        DECLARE_DYNAMIC(CZhaiCDlg)

public:
        CZhaiCDlg(CWnd* pParent = NULL);   // standard constructor
        virtual ~CZhaiCDlg();

// Dialog Data
        enum { IDD = IDD_ZHAIC_DIALOG };

protected:
        virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX);    // DDX/DDV support
protected:
        HICON m_hIcon;
        virtual BOOL OnInitDialog();
        /////////////////////
        // MY CODE STARTS HERE
        /////////////////////
```

```
public:
	int XPOS;
	int YPOS;
	BOOL hold;
	BOOL next;
	CFileTime TimeNow;
	CFileTime TimePrev;
	CFileTimeSpan TimeDur;
	CFileTime CheckPointCW;
	CFileTime CheckPointCCW;
	int TimeUse;
	CFileTimeSpan TimeCheck;
	int RotateDirection;
	int XCenter;
	int YCenter;
	BOOL modeCW;
	int Angle;
	double Y;
	double X;
	int Pass;
	int Miss;
	int miss2;
	int Clck;
	int NomRadius;
	int Width;
	BOOL intrack;
	BOOL check1;
	BOOL check2;
	int kept;
	BOOL Rotate;
	BOOL Finish;
	BOOL Status;
	int mode;
	float ratio;
	int i;
	CString SaveData[160];
	int number;
	float data[160][5];


	///////////////////////
	// MY CODE ENDS HERE
	//////////////////////

	DECLARE_MESSAGE_MAP()
public:
	afx_msg void OnPaint();
public:
	afx_msg void OnLButtonDown(UINT nFlags, CPoint point);
public:
	afx_msg void OnLButtonUp(UINT nFlags, CPoint point);
public:
	afx_msg void OnMouseMove(UINT nFlags, CPoint point);

};
```

Source File: ZhaiCDlg.cpp

```
// ZhaiCDlg.cpp : implementation file

#include "stdafx.h"
#include "Performance test 2.h"
#include "ZhaiCDlg.h"
////////////////////////
// MY CODE STARTS HERE
////////////////////////

#include "string.h"
#include "afx.h"
#include <iostream>
#include <fstream>
using namespace std;

///////////////////////
// MY CODE ENDS HERE
///////////////////////

// CZhaiCDlg dialog

IMPLEMENT_DYNAMIC(CZhaiCDlg, CDialog)

CZhaiCDlg::CZhaiCDlg(CWnd* pParent /*=NULL*/)
	: CDialog(CZhaiCDlg::IDD, pParent)
{
}

CZhaiCDlg::~CZhaiCDlg()
{
}

void CZhaiCDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
	CDialog::DoDataExchange(pDX);
}


BEGIN_MESSAGE_MAP(CZhaiCDlg, CDialog)
	ON_WM_PAINT()
	ON_WM_LBUTTONDOWN()
	ON_WM_LBUTTONUP()
	ON_WM_MOUSEMOVE()

END_MESSAGE_MAP()


// CZhaiCDlg message handlers
BOOL CZhaiCDlg::OnInitDialog()
{
	CDialog::OnInitDialog();

	// Add "About..." menu item to system menu.

	// IDM_ABOUTBOX must be in the system command range.
```

```
	ASSERT((IDM_ABOUTBOX & 0xFFF0) == IDM_ABOUTBOX);
	ASSERT(IDM_ABOUTBOX < 0xF000);

	CMenu* pSysMenu = GetSystemMenu(FALSE);
	if (pSysMenu != NULL)
	{
		CString strAboutMenu;
		strAboutMenu.LoadString(IDS_ABOUTBOX);
		if (!strAboutMenu.IsEmpty())
		{
			pSysMenu->AppendMenu(MF_SEPARATOR);
			pSysMenu->AppendMenu(MF_STRING, IDM_ABOUTBOX, 
strAboutMenu);
		}
	}

	// Set the icon for this dialog.  The framework does this automatically
	//  when the application's main window is not a dialog
	SetIcon(m_hIcon, TRUE);			// Set big icon
	SetIcon(m_hIcon, FALSE);		// Set small icon

	// TODO: Add extra initialization here
	//////////////////////////
	// MY CODE STARTS HERE
	/////////////////////////
	ShowWindow(SW_MAXIMIZE);

	hold=FALSE;
	next=TRUE;
	Pass=0;
	Miss=0;
	modeCW=TRUE;
	mode=1;
	Finish=FALSE;
	Status=FALSE;

	////////////////////////
	// MY CODE ENDS HERE
	/////////////////////////


	return TRUE;  // return TRUE  unless you set the focus to a control
}

void CZhaiCDlg::OnPaint()
{
	CPaintDC dc(this); // device context for painting
	// TODO: Add your message handler code here
	// Do not call CDialog::OnPaint() for painting messages


	/////////////////////////
	// MY CODE STARTS HERE
	/////////////////////////

		CPen MyBkPen;
		MyBkPen.CreatePen(PS_SOLID,3,RGB(100,100,150));
		CPen* pOriginalPen;
		pOriginalPen = dc.SelectObject(&MyBkPen);
```

```
CBrush MyBkBrush;
MyBkBrush.CreateSolidBrush(RGB(100,100,150));
CBrush* pOriginalBrush;
pOriginalBrush =dc.SelectObject(&MyBkBrush);
dc.Rectangle(0,0,1400,1024);

Clck=Pass+Miss;
if (next)
{
        XCenter=510+130*cos(Clck*3.14159);
        YCenter=370;
        next=FALSE;
}
if (Pass<10)
{
        NomRadius=70;
        Width=70;
        ratio=1;
}
else if (Pass<20)
{
        NomRadius=180;
        Width=60;
        ratio=3;

}
else if (Pass<30)
{
        NomRadius=250;
        Width=50;
        ratio=5;

}
else
{
        CString wNumber;
        wNumber.Format (_T("%d"),number);

        CString FileName = _T("SteerCircle") + wNumber +
_T(".txt");


        ofstream myfile;
        myfile.open (FileName);
        myfile << "pass \t miss \t direction \t timespend \t ratio
\n";
        for (i=1; i<=Clck; i++)
        {
                myfile << data[i][1];
                myfile << "\t";
                myfile << data[i][2];
                myfile << "\t";
                myfile << data[i][3];
                myfile << "\t";
                myfile << data[i][4];
                myfile << "\t";
                myfile << data[i][5];
                myfile << "\n";
```

```
			}

		myfile.close();
		OnOK();
		}

		CPen MyRPen;
		MyRPen.CreatePen(PS_SOLID,1,RGB(0,200,200));
		CPen MyR2Pen;
		MyR2Pen.CreatePen(PS_SOLID,1,RGB(255,100,100));
		if (hold && Status)
		{
			pOriginalPen=dc.SelectObject(&MyR2Pen);
		}
		else
		{
			pOriginalPen=dc.SelectObject(&MyRPen);
		}

		CBrush MyRBrush;
		MyRBrush.CreateSolidBrush(RGB(150,150,50));
		pOriginalBrush=dc.SelectObject(&MyRBrush);

		dc.Ellipse(XCenter-NomRadius-Width/2,YCenter-NomRadius-
Width/2,XCenter+NomRadius+Width/2,YCenter+NomRadius+Width/2);
		CBrush MyrBrush;
		MyrBrush.CreateSolidBrush(RGB(100,100,150));
		pOriginalBrush=dc.SelectObject(&MyrBrush);
		dc.Ellipse(XCenter-NomRadius+Width/2-2,YCenter-NomRadius+Width/2-
3,XCenter+NomRadius-Width/2+2,YCenter+NomRadius-Width/2+2);

		CRect StartRect1(XCenter-NomRadius-Width/2,YCenter-8,XCenter-
NomRadius+Width/2-2,YCenter);
		CRect StartRect2(XCenter-NomRadius-Width/2,YCenter,XCenter-
NomRadius+Width/2-2,YCenter+8);
		CRect EndRect(XCenter-NomRadius-Width/2,YCenter-2,XCenter-
NomRadius+Width/2-2,YCenter+2);

		CPoint Arrow1[3];
		Arrow1[0].x = XCenter-NomRadius;
		Arrow1[0].y = YCenter-24;
		Arrow1[1].x = XCenter-NomRadius-3;
		Arrow1[1].y = YCenter-14;
		Arrow1[2].x = XCenter-NomRadius+3;
		Arrow1[2].y = YCenter-14;
		CPoint Arrow101[3];
		Arrow101[0].x=XCenter+NomRadius;
		Arrow101[0].y=YCenter+20;
		Arrow101[1].x = XCenter+NomRadius-3;
		Arrow101[1].y = YCenter+12;
		Arrow101[2].x = XCenter+NomRadius+3;
		Arrow101[2].y = YCenter+12;
		CPoint Arrow102[3];
		Arrow102[0].x=XCenter-20;
		Arrow102[0].y=YCenter+NomRadius;
		Arrow102[1].x=XCenter-12;
		Arrow102[1].y=YCenter+NomRadius-3;
```

```
Arrow102[2].x=XCenter-12;
Arrow102[2].y=YCenter+NomRadius+3;
CPoint Arrow103[3];
Arrow103[0].x=XCenter+20;
Arrow103[0].y=YCenter-NomRadius;
Arrow103[1].x=XCenter+12;
Arrow103[1].y=YCenter-NomRadius-3;
Arrow103[2].x=XCenter+12;
Arrow103[2].y=YCenter-NomRadius+3;

CPoint Arrow2[3];
Arrow2[0].x = XCenter-NomRadius;
Arrow2[0].y = YCenter+24;
Arrow2[1].x = XCenter-NomRadius-3;
Arrow2[1].y = YCenter+14;
Arrow2[2].x = XCenter-NomRadius+3;
Arrow2[2].y = YCenter+14;
CPoint Arrow201[3];
Arrow201[0].x = XCenter+NomRadius;
Arrow201[0].y = YCenter-20;
Arrow201[1].x = XCenter+NomRadius-3;
Arrow201[1].y = YCenter-12;
Arrow201[2].x = XCenter+NomRadius+3;
Arrow201[2].y = YCenter-12;
CPoint Arrow202[3];
Arrow202[0].x=XCenter+20;
Arrow202[0].y=YCenter+NomRadius;
Arrow202[1].x=XCenter+12;
Arrow202[1].y=YCenter+NomRadius-3;
Arrow202[2].x=XCenter+12;
Arrow202[2].y=YCenter+NomRadius+3;
CPoint Arrow203[3];
Arrow203[0].x=XCenter-20;
Arrow203[0].y=YCenter-NomRadius;
Arrow203[1].x=XCenter-12;
Arrow203[1].y=YCenter-NomRadius-3;
Arrow203[2].x=XCenter-12;
Arrow203[2].y=YCenter-NomRadius+3;

CPoint AArrowCW[3];
AArrowCW[0].x=XCenter+NomRadius-Width/2-16;
AArrowCW[0].y=YCenter+10;
AArrowCW[1].x=XCenter+NomRadius-Width/2-16-4;
AArrowCW[1].y=YCenter;
AArrowCW[2].x=XCenter+NomRadius-Width/2-16+4;
AArrowCW[2].y=YCenter;


CPoint AArrowCCW[3];
AArrowCCW[0].x=XCenter+NomRadius-Width/2-16;
AArrowCCW[0].y=YCenter-10;
AArrowCCW[1].x=XCenter+NomRadius-Width/2-16-4;
AArrowCCW[1].y=YCenter;
AArrowCCW[2].x=XCenter+NomRadius-Width/2-16+4;
AArrowCCW[2].y=YCenter;

CRect R2(XCenter+NomRadius-
1,YCenter+12,XCenter+NomRadius+1,YCenter-12);
```

```
		CRect R3(XCenter-
12,YCenter+NomRadius+1,XCenter+12,YCenter+NomRadius-1);
		CRect R4(XCenter-12,YCenter-NomRadius+1,XCenter+12,YCenter-
NomRadius-1);

		CRect ArcArrow(XCenter-NomRadius+Width/2+15,YCenter-
NomRadius+Width/2+15,XCenter+NomRadius-Width/2-15,YCenter+NomRadius-Width/2-
15);
		CPoint P1(XCenter+NomRadius-Width/2-15,YCenter);
		CPoint P2(XCenter-NomRadius+Width/2+15,YCenter);

		if (hold && Status)
		{
			CPen MyEndPen;
			MyEndPen.CreatePen(PS_SOLID,3,RGB(255,0,0));
			pOriginalPen = dc.SelectObject(&MyEndPen);
			dc.Rectangle(&EndRect);
			CPen MyArrowPen;
			MyArrowPen.CreatePen(PS_SOLID,5,RGB(255,100,100));
			pOriginalPen = dc.SelectObject(&MyArrowPen);
			if (modeCW)
			{
				dc.Arc(ArcArrow,P1,P2);
				dc.Polygon(AArrowCW,3);

			}
			else
			{
				dc.Arc(ArcArrow,P2,P1);
				dc.Polygon(AArrowCCW,3);
			}
		}
		else
		{
			if (modeCW)
			{
				CPen MyStartPen;
				MyStartPen.CreatePen(PS_SOLID,5,RGB(0,255,0));
				pOriginalPen = dc.SelectObject(&MyStartPen);
				dc.Rectangle(&StartRect1);
				CPen MyArrowPen;
				MyArrowPen.CreatePen(PS_SOLID,5,RGB(255,0,0));
				pOriginalPen = dc.SelectObject(&MyArrowPen);
				dc.Polygon(Arrow1,3);
			}
			else
			{
				CPen MyStartPen;
				MyStartPen.CreatePen(PS_SOLID,5,RGB(0,0,255));
				pOriginalPen = dc.SelectObject(&MyStartPen);
				dc.Rectangle(&StartRect2);
				CPen MyArrowPen;
				MyArrowPen.CreatePen(PS_SOLID,5,RGB(255,0,0));
				pOriginalPen = dc.SelectObject(&MyArrowPen);
				dc.Polygon(Arrow2,3);
			}


		}
```

```
		dc.SelectObject(pOriginalPen);

		////////////////////////
		// MY CODE ENDS HERE
		///////////////////////


}

void CZhaiCDlg::OnLButtonDown(UINT nFlags, CPoint point)
{
	// TODO: Add your message handler code here and/or call default

	///////////////////////
	// MY CODE STARTS HERE
	////////////////////////
	XPOS=point.x;
	YPOS=point.y;

	hold=TRUE;
	TimePrev = CFileTime::GetCurrentTime();

	if (modeCW)
	{
		if (XPOS>=XCenter-NomRadius-Width/2 && YPOS>=YCenter-8 &&
XPOS<=XCenter-NomRadius+Width/2-2 && YPOS<=YCenter)
		{
			Status=TRUE;
		}
	}
	else
	{
		if (XPOS>=XCenter-NomRadius-Width/2 && YPOS>=YCenter &&
XPOS<=XCenter-NomRadius+Width/2-2 && YPOS<=YCenter+8)
		{
			Status=TRUE;
		}

	}

	UpdateData(FALSE);
	Invalidate();
	///////////////////////
	// MY CODE ENDS HERE
	///////////////////////

	CDialog::OnLButtonDown(nFlags, point);
}

void CZhaiCDlg::OnLButtonUp(UINT nFlags, CPoint point)
{
	// TODO: Add your message handler code here and/or call default

	////////////////////////
	// MY CODE STARTS HERE
	/////////////////////////
```

```
	if (Status)
	{

		if (intrack && check1 && check2 && Rotate && Finish)
		{
			Pass=Pass+1;
			miss2=0;
			if (modeCW)
			{
				modeCW=FALSE;
				mode=2;
			}
			else
			{
				modeCW=TRUE;
				mode=1;
			}

		}
		else
		{
			Miss=Miss+1;
			miss2=1;
			MessageBeep((WORD)-1);
		}

		hold = FALSE;
		next = TRUE;
		Clck=Pass+Miss;
		TimeDur = TimeNow-TimePrev;
		TimeUse = TimeDur.GetTimeSpan()/10000;
		data[Clck][1]=Pass;
		data[Clck][2]=miss2;
		data[Clck][3]=mode;		// 1=CW 2=CCW
		data[Clck][4]=TimeUse;
		data[Clck][5]=ratio;


		check1=FALSE;
		check2=FALSE;
		intrack=TRUE;
		Finish=FALSE;
		Status=FALSE;
	}
	UpdateData(FALSE);
	Invalidate();


	///////////////////////
	// MY CODE ENDS HERE
	//////////////////////

	CDialog::OnLButtonUp(nFlags, point);
}

void CZhaiCDlg::OnMouseMove(UINT nFlags, CPoint point)
{
	// TODO: Add your message handler code here and/or call default
```

```
        //////////////////////
        // MY CODE STARTS HERE
        //////////////////////

        if (hold)
        {


                XPOS=point.x;
                YPOS=point.y;
                Y=YPOS-YCenter;
                X=XPOS-XCenter;
                Angle=atan2(Y,X)*10;
                if ((X*X+Y*Y>(NomRadius+Width/2)*(NomRadius+Width/2))||
(X*X+Y*Y<(NomRadius-Width/2)*(NomRadius-Width/2)))
                {
                        intrack=FALSE;
                }
                if (Angle==-15)
                {
                        CheckPointCW = CFileTime::GetCurrentTime();
                        check1=TRUE;
                }
                if (Angle==15)
                {
                        CheckPointCCW = CFileTime::GetCurrentTime();
                        check2=TRUE;
                }
                TimeCheck = CheckPointCCW-CheckPointCW;
                RotateDirection = TimeCheck.GetTimeSpan()/10000;



                if (modeCW)
                {
                        if (RotateDirection>0)
                        {

                                Rotate=TRUE;
                        }
                        else
                        {

                                Rotate=FALSE;
                        }
                }
                else
                {
                        if (RotateDirection<0)
                        {

                                Rotate=TRUE;
                        }
                        else
                        {

                                Rotate=FALSE;
                        }
```

```
		}
		if (Rotate)
		{
			if (Angle==31 || Angle==-31)
			{
				Finish=TRUE;
				TimeNow = CFileTime::GetCurrentTime();
			}
		}


		UpdateData(FALSE);

	}

	////////////////////////
	// MY CODE ENDS HERE
	/////////////////////////
	CDialog::OnMouseMove(nFlags, point);
}
```

ส่วนที่ 5 การทดสอบงานพิมพ์

มีรูปแบบหน้าต่างดังรูปที่ ...

มีรายละเอียดรหัสของโปรแกรม ดังนี้

Hearder File: TypeDlg.h

```
#pragma once
#include "math.h"
#include "string.h"
#include "afx.h"

#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string>
using namespace std;

// CTypeDlg dialog

class CTypeDlg : public CDialog
{
	DECLARE_DYNAMIC(CTypeDlg)

public:
	CTypeDlg(CWnd* pParent = NULL);   // standard constructor
	virtual ~CTypeDlg();

// Dialog Data
	enum { IDD = IDD_TYPE_DIALOG };
```

```
protected:
	virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX);	// DDX/DDV support

////////////////////
// MY CODE STARTS HERE
////////////////////

protected:
	HICON m_hIcon;
	virtual BOOL OnInitDialog();

public:
	int end;
	int success;
	CString word[100][2];
	CString *thetext;
	CString str;
	CString value;
	CString work;
	CString FileName;
	int number;
	CString dataString[200][2];
	int dataInt[200];
	int count;
	CEdit showTextValue;
	CFileTime TimeNow;
	CFileTime TimePrev;
	CFileTimeSpan TimeDur;
	int TimeUse;
	CString TimeUseString;
	CString fromEdit;
	int i;
	int right;

DECLARE_MESSAGE_MAP()
public:
	afx_msg void OnPaint();
public:
	afx_msg void OnEnChangeWork();
public:
	afx_msg void OnBnClickedOk();
};
```

Source File: TypeDlg.cpp

```
// TypeDlg.cpp : implementation file

#include "stdafx.h"
#include "Performance test 2.h"
#include "TypeDlg.h"

#include "afxwin.h"
#include "math.h"
#include "string.h"
#include "afx.h"
```

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>

ifstream inFile;

	CFile myFile;
	CFileException fileException;

// CTypeDlg dialog

IMPLEMENT_DYNAMIC(CTypeDlg, CDialog)

CTypeDlg::CTypeDlg(CWnd* pParent /*=NULL*/)
	: CDialog(CTypeDlg::IDD, pParent)
	, fromEdit(_T(""))
{
}

CTypeDlg::~CTypeDlg()
{
}

void CTypeDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
	CDialog::DoDataExchange(pDX);
	DDX_Text(pDX, IDC_WORK, fromEdit);
}

BOOL CTypeDlg::OnInitDialog()
{
	CDialog::OnInitDialog();

	// Add "About..." menu item to system menu.
	// IDM_ABOUTBOX must be in the system command range.
	ASSERT((IDM_ABOUTBOX & 0xFFF0) == IDM_ABOUTBOX);
	ASSERT(IDM_ABOUTBOX < 0xF000);

	CMenu* pSysMenu = GetSystemMenu(FALSE);
	if (pSysMenu != NULL)
	{
		CString strAboutMenu;
		strAboutMenu.LoadString(IDS_ABOUTBOX);
		if (!strAboutMenu.IsEmpty())
		{
			pSysMenu->AppendMenu(MF_SEPARATOR);
			pSysMenu->AppendMenu(MF_STRING, IDM_ABOUTBOX,
strAboutMenu);
		}
	}

	// Set the icon for this dialog.  The framework does this automatically
	//  when the application's main window is not a dialog
	SetIcon(m_hIcon, TRUE);			// Set big icon
	SetIcon(m_hIcon, FALSE);		// Set small icon

	// TODO: Add extra initialization here
	//////////////////////////
	//// MY CODE STARTS HERE
```

```
        //////////////////////////

        success=1;
        count=0;
        right=0;
        end=0;
        TimePrev = CFileTime::GetCurrentTime();  //Start timing

        ////////////////////////
        // START ADD: by Form //
        ////////////////////////

        if ( !myFile.Open( _T("Words.txt"),
               CFile::modeRead, &fileException ) )
        {
               CTypeDlg::MessageBox(_T("Can't open file Words.txt"));
               TRACE( "Can't open file %s, error = %u\n",
                      "Words.txt", fileException.m_cause );
        }

        //////////////////////
        // END ADD: by Form //
        //////////////////////

        for (int i=0; i<=99; i++){
               // allocate memory:
               char buff[27];
               myFile.Read(buff, 26);
               buff[26] = '\0';
               CString string1(buff);
               word[i][0]=string1.Mid(0,16);
               word[i][1]=string1.Mid(16);
        }

        //////////////////////
        // MY CODE ENDS HERE //
        //////////////////////

        return TRUE;  // return TRUE  unless you set the focus to a control
}

BEGIN_MESSAGE_MAP(CTypeDlg, CDialog)
        ON_WM_PAINT()
        ON_EN_CHANGE(IDC_WORK, &CTypeDlg::OnEnChangeWork)
        ON_BN_CLICKED(IDC_OK, &CTypeDlg::OnBnClickedOk)
END_MESSAGE_MAP()

// CTypeDlg message handlers

void CTypeDlg::OnPaint()
{
        CPaintDC dc(this); // device context for painting
        // TODO: Add your message handler code here
        // Do not call CDialog::OnPaint() for painting messages
        ///////////////////////////
        // MY CODE STARTS HERE
        /////////////////////////////

               long Xrect=400;
```

```
		int Yrect=150;
		int XrectWidth=600;
		int YrectWidth=100;

		CRect MyRectangle(Xrect-(XrectWidth/2),Yrect-
(YrectWidth/2),Xrect+(XrectWidth/2),Yrect+(YrectWidth/2));

		CPen MyNewPen;
		MyNewPen.CreatePen(PS_DOT,1,RGB(0,0,0));
		CPen* pOriginalPen;
		pOriginalPen = dc.SelectObject(&MyNewPen);

		CBrush MyNewBrush;
		MyNewBrush.CreateSolidBrush(RGB(245,245,245));
		CBrush* pOriginalBrush;
		pOriginalBrush =dc.SelectObject(&MyNewBrush);

		dc.Rectangle(&MyRectangle);

		dc.SelectObject(pOriginalPen);

		//Draw text from data base right after user typed the correct
word

		if(right<20){		//The experiment contains 20 word-typing
tests.

			if(success==1){	//New test shows up (draw new text) after
corrected word.

				srand((unsigned)time(0));
				int num = rand() % 100;

				str = word[num][0];
				value=word[num][1];

				dc.DrawText(str.Trim(),-
1,&MyRectangle,DT_SINGLELINE | DT_CENTER | DT_VCENTER);	//Inside must be
CString?

				end=0;
			}
			else{

				srand((unsigned)time(0));
				int num = rand() % 100;

				str = word[num][0];
				value=word[num][1];

				dc.DrawText(str.Trim(),-
1,&MyRectangle,DT_SINGLELINE | DT_CENTER | DT_VCENTER);	//Inside must be
CString?

				end=0;
			}
		}
		else{
			CString wNumber;
```

```
                        wNumber.Format (_T("%d"),number);

                        FileName = _T("Type") + wNumber + _T(".txt");

                        ofstream Result;
                        Result.open (FileName);
                        Result << "Word \t Value \t Time Spent \n";
                        for (i=0; i<count; i++)
                        {
                                Result << CT2A(dataString[i][0]); //Must send
output in Char!?!
                                Result << "\t";
                                Result << CT2A(dataString[i][1]);
                                Result << "\t";
                                Result << dataInt[i];
                                Result << "\n";
                        }

                        Result.close();
                        myFile.Close();

                        end=1;
                }

        if (end==1){OnOK();}

}

void CTypeDlg::OnEnChangeWork()   //Check letter by letter if the user was
typing correctly.
{
        // TODO:  If this is a RICHEDIT control, the control will not
        // send this notification unless you override the
CDialog::OnInitDialog()
        // function and call CRichEditCtrl().SetEventMask()
        // with the ENM_CHANGE flag ORed into the mask.

        // TODO:  Add your control notification handler code here

        ///////////////////////////
        ////MY CODE STARTS HERE////
        ///////////////////////////


        ///////////////////////////
        ////MY CODE ENDS HERE//////
        ///////////////////////////
}


void CTypeDlg::OnBnClickedOk()
{
        // TODO: Add your control notification handler code here

        GetDlgItemText(IDC_WORK, work);


        if (work.Compare(str)==0){
                TimeNow = CFileTime::GetCurrentTime();
```

```
                TimeDur = TimeNow-TimePrev;
                // get duration in millisec
                TimeUse = TimeDur.GetTimeSpan()/10000;
                TimePrev=TimeNow;

                dataString[count][0]=str;
                dataString[count][1]=value;
                dataInt[count]=TimeUse;

                count=count+1;
                right=right+1;

                success=1;

                UpdateData(false);

                Invalidate();

        } else {
                TimeNow = CFileTime::GetCurrentTime();
                TimePrev=TimeNow;

                dataString[count][0]=str;
                dataString[count][1]=value;
                dataInt[count]=0;

                count=count+1;

                success=0;

                UpdateData(false);
                Invalidate();
}
}
```

ภาคผนวก ข

อุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่าง

ภาคผนวก ข
อุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่าง

ภาคผนวก ข แสดงรายละเอียดและการออกแบบของอุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่างที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่าง ถูกออกแบบโดย นายปภัสสร์ ฟุ้งธรรมสาร จากวิทยานิพนธ์เรื่อง การศึกษาเชิงการทดลองสำหรับผลของการเคลื่อนที่ขาด้วยอุปกรณ์ภายนอกต่ออัตราการใช้พลังงานและประสิทธิภาพในการทำงาน

อุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่าง เดิมถูกพิจารณาไว้ 3 รูปแบบการเคลื่อนที่ คือ การเคลื่อนที่เป็นวงกลม การเคลื่อนที่เป็นวงรี และการเคลื่อนที่เส้นโค้งหรือเส้นตรง

การเคลื่อนที่เป็นวงกลมจะเป็นการเคลื่อนลักษณะเดียวกับการปั่นจักรยาน ซึ่งมีพื้นที่ของการเคลื่อนที่ที่ค่อนข้างกว้าง อาจส่งผลให้เข่าติดหรือชนกับโต๊ะได้ จึงมีขอบเขตการเคลื่อนที่ ที่ถูกจำกัดด้วยความสูงของโต๊ะ

การเคลื่อนที่เป็นวงรี จะให้ลักษณะการเคลื่อนที่ที่เป็นธรรมชาติตามสรีระของคนมากกว่า ซึ่งจะมีหลายกลไกที่สามารถสร้างการเคลื่อนที่ให้เป็นวงรีได้

การเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง จะให้ลักษณะการเคลื่นอที่ที่เหมือนกับการนั่งแกว่งขา โดยมีรัศมีความโค้งสำหรับการเคลื่อนที่ที่ดีที่สุดเท่ากับความยาวขาส่วนล่าง ซึ่งถ้าเป็นเช่นนั้น จะส่งผลเข่าของผูทดสอบอยู่กับที่ การเคลื่อนที่รูปแบบนี้จะส่งผลกระตุ้นผู้ทดสอบน้อยกว่าการเคลื่อนที่วงกลมหรือวงรี และเมื่อเข่ามีการยกตัวที่น้อยกว่าการเคลื่อนที่สองแบบแรก จะทำให้มีเลือดไหลมาสะสมที่สะโพกน้อยกว่า จึงเกิดความเมื่อยล้าน้อยกว่าการเคลื่อนที่แบบเป็นวงครบรอบนั่นเอง

การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง จะมีลักษณะที่คล้ายกับการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง เพียงแต่รัศมีความโค้งของการเคลื่อนที่นี้จะเป็นอนันต์ เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ เข่าจึงจะมีการเคลื่อนไหลและยกตัวสูงกว่าการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง

โดยเมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ทั้งสี่แบบแล้ว จะพบว่าการเคลื่อนที่ที่จะรบกวนการทำงานน้อยที่สุด คือการเคลื่อนที่แบบเส้นโค้ง เพราะจะไม่มีการเคลื่อนที่ที่กระทบต่อส่วนอื่น ๆ มากนัก รองลงมาคือการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง ซึ่งจะส่งผลให้มีการเคลื่อนที่ของส่วนอื่น ๆ เช่น เข่าและขาส่วนบน มากกว่า การเคลื่อนที่ที่เป็นวงทั้งวงกลมและวงรี จะส่งผลรบกวนการทำงานมาก เพราะการเคลื่อนที่จะส่งผลให้อวัยวะส่วนต่าง ๆ มีการเคลื่อนที่

ฉะนั้น จึงสรุปได้ว่า ในการออกแบบอุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่างนี้ จะใช้การเคลื่อนแบบเส้นโค้งหรือเส้นตรง แล้วแต่ความเหมาะสมที่ต้องพิจารณาอีกที

การออกแบบอุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่าง

หลักเกณฑ์ในการสร้างอุปกรณ์

- อุปกรณ์จะบังคับให้ขาของผู้ทดสอบเคลื่อนที่ไปกลับเป็นเส้นโค้งหรือเส้นตรง
- การเคลื่อนที่ของขาขวาและขาซ้ายจะสลับกัน คือ เมื่อขาขวาเคลื่อนที่ขึน (ยืดออก) ขาซ้ายจะเคลื่อนที่ลง (หดเข้า) และในทางกลับกัน เมื่อขาขวาเคลื่อนที่ลง (หดเข้า) ขาซ้ายจะเคลื่อนที่ขึ้น (ยืดออก)

หลังจากการศึกษากลไกที่รองรับการเคลื่อนที่ทั้งสองรูปแบบแล้ว พบว่ากลไกที่สามารถสร้างการเคลื่อนที่แบบไปกลับได้และใช้กันอย่างแพร่หลายมีอยู่ 3 ประเภท คือ

1. กลไก Crank Slide
2. กลไก Crank Rocker ซึ่งเป็น Four-Bar Likage
3. กลไกลูกเบี้ยว

ในการออกแบบ กลไกที่เหมาะสมจะนำมาใช้งานสำหรับอุปกรณ์เคลื่อนขานี้ คือ Crank Slide เพราะง่ายในการออกแบบและประหยัดพื้นที่ โดยผู้ออกแบบใช้ Spur Gear เป็นกลไกในการสร้างการเคลื่อนที่กลับทิศสำหรับขาซ้ายและขาขวา

และจากการวิเคราะห์กายวิภาคและการเคลื่อนไหวของมนุษย์ พบว่า ระยะที่การเคลื่อนที่ที่เหมาะสม คือ 30 เซนติเมตร และมีมุมเอียง 25 ถึง 30 องศา

โครงสร้างของอุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่าง

อุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่างประกอบด้วยกลไก Crank Slide ทำหน้าที่สร้างการเคลื่อนที่ไปกลับ และ Linear Slide 1 ชุด ใช้งานคู่กับ Rack และ Pinion เพื่อเปลี่ยนการเคลือนที่จากเชิงเส้นกลับมาเป็นเชิงมุม และใช้ Spur Gear ในการสร้างการเคลื่อนที่กลับทิศทางสำหรับขาขวาและซ้าย

ในการส่งกำลังของอุปกรณ์จะใช้ Timing Belt เพื่อป้องกันการลื่นไถล (Slip)

โครงสร้างของอุปกรณ์จำเป็นต้องมีการเสริมฐานและเสาสำหรับรองเท้า เพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับอุปกรณ์ ไม่เช่นนั้น ระบบ Belt จะไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากแรงกดของเท้า

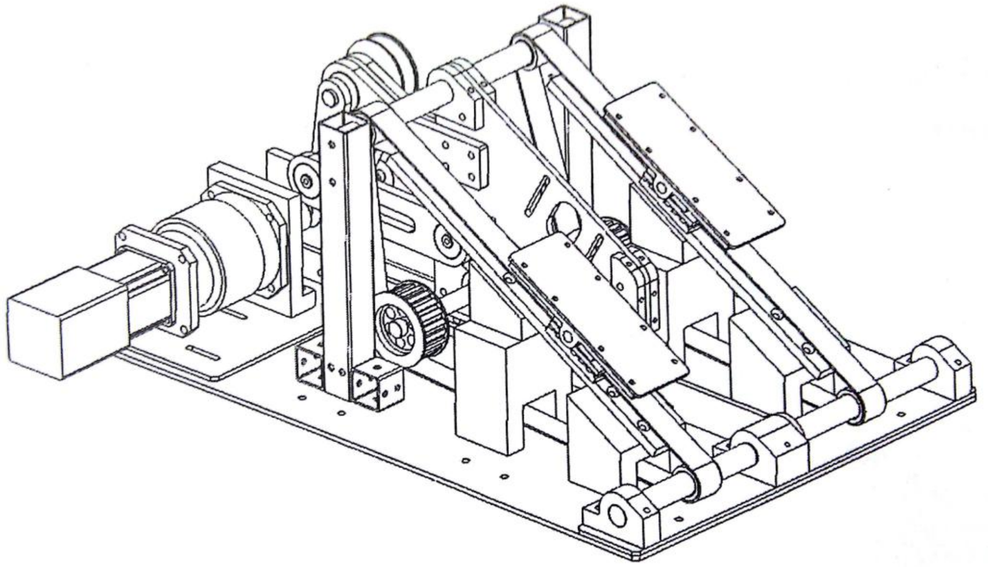
ขอบเขตสูงสุดของการทำงานของอุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่าง

อุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่างนี้ ก่อนนำมาใช้งาน ได้ถูกทดสอบการทำงานก่อน ซึ่งจากการทดสอบพบว่า อุปกรณ์มีข้อจำกัดอยู่บ้าง จากผลกระทบหลัก ๆ 3 อย่าง คือ

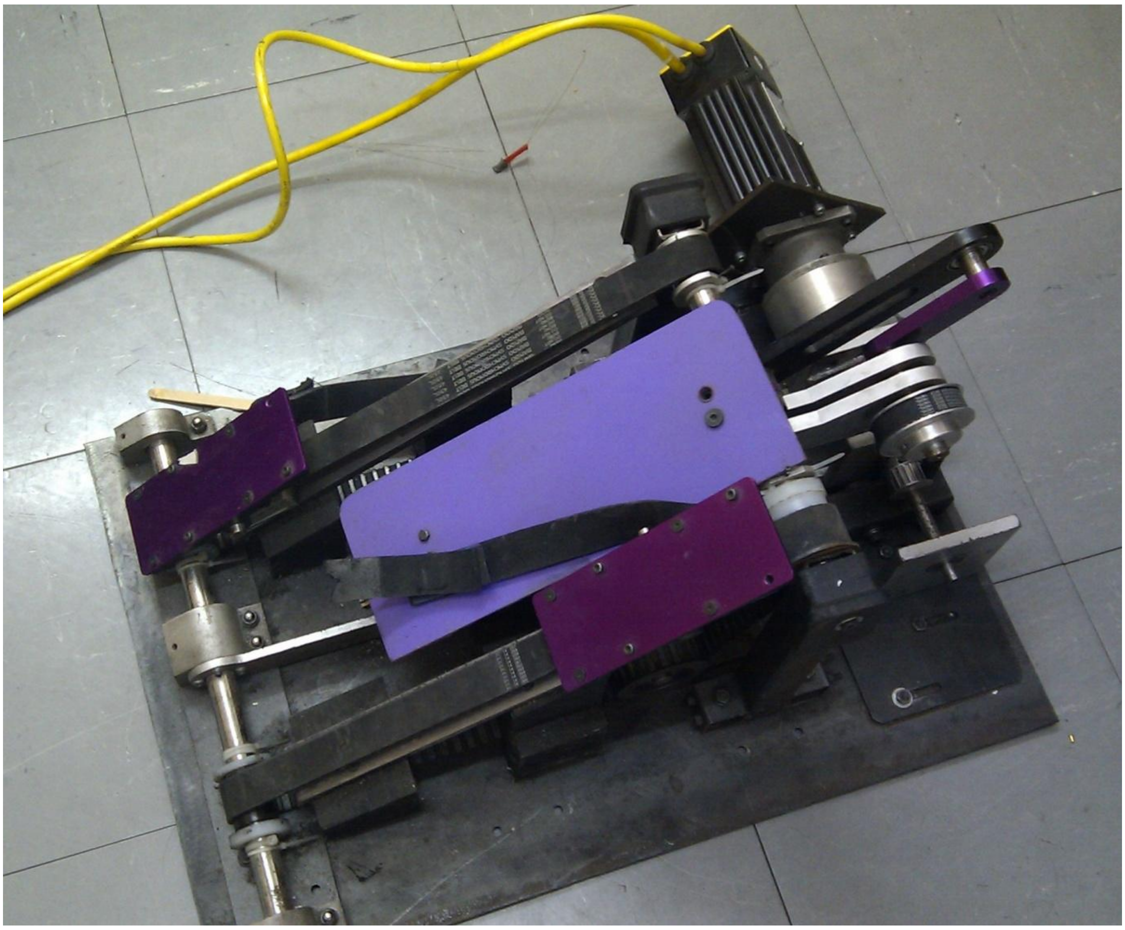
เสียง โดยเกิดขึ้นจากสองแหล่ง คือ Rack & Pinion และ Spur gear ซึ่งล้วนมีการเคลื่อนที่หมุนกลับทิศทาง ทำให้เกิด Backlash ได้ง่าย ซึ่ง Backlash นั้นสามารถที่จะทำให้เกิดเสียงดังได้ โดยจะเกิดขึ้นที่ความเร็วสูง เริ่มตั้งแต่ที่ 30 รอบต่อนาที และเมื่อความเร็วสูงขึ้นเรื่อย ๆ ก็ส่งผลให้เสียงยิ่งดังขึ้นเรื่อย ๆ นอกจากนั้น เสียงยังอาจเกิดขึ้นจากการไถลของ Belt ซึ่งถึงแม้จะมีฟันอยู่แล้ว แต่เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นเรื่อย ๆ จะทำให้มีทอร์คในการเคลื่อนที่ลดลง จนบางครั้งทอร์คอาจไม่เพียงพอ ทำให้ Belt ไถลและฟันของ Belt สะดุดจนเกิดเสียงดัง

การไถลของ Belt นอกจากจะทำให้เกิดเสียงแล้ว ยังทำให้การส่งกำลังคิดขัด ทำให้การเคลื่อนที่ไม่ต่อเนื่อง เกิดการหยุดเป็นจังหวะ ซึ่งจะส่งผลรบกวนโดยตรงต่อผู้ทดสอบ เพราะจะทำให้เสียสมาธิจากการสะดุดอยู่เป็นระยะ ความเร็วที่ส่งผลให้เกิดการไถลของ Belt จะเกิดขึ้นหลังความเร็ว 40 รอบต่อนาที เป็นต้นไป ฉะนั้น การเคลื่อนขานี้จะไม่สามารถทำได้ที่ความเร็วสูงเกินกว่านั้น

นอกจากนั้น สุดท้ายการใช้งานอุปกรณ์ที่ความเร็วสูงจะเกิดอาการสะดุดที่ตำแหน่งปลายสุดทุกรอบการทำงาน เนื่องจากกลไก Crank Slide จะเกิดความเร่งปลายแขนสูงเป็นพิเศษที่ตำแหน่งปลายสุดด้านไกล ซึ่งมีค่าสูงกว่าความเร่งของปลาย Crank ประมาณ 1.5 เท่า การสะดุดที่ปลายสุดนี้ก็ส่งผลให้เกิดการเสียสมาธิเช่นเดียวกัน



รูป ข-1 แบบร่างของอุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่าง จากวิทยานิพนธ์ การศึกษาเชิงการทดลองสำหรับผลของการเคลื่อนที่ขาด้วยอุปกรณ์ภายนอกต่ออัตราการใช้พลังงานและประสิทธิภาพในการทำงาน [22]



รูป ข-2 อุปกรณ์เคลื่อนขาส่วนล่างที่ใช้งาน

ภาคผนวก ค

รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

ภาคผนวก ค
รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

มอเตอร์

Brushless DC Motor PARKER N0343FE

มอเตอร์ไร้แปลงถ่าน ยี่ห้อ PARKER รุ่น N0343FE

ให้ทอร์คต่อเนื่อง 1.5 นิวตันเมตร

ความเร็วสูงสุด 6800 รอบต่อนาที

Servo AMP

Servo Amp ยี่ห้อ PARKER รุ่น GV6

รับสัญญาณป้อนเข้าแบบอนาลอก +10 V – 10 V

สามารถใช้งานร่วมกับมอเตอร์ไร้แปลงถ่าน ยี่ห้อ PARKER รุ่น N0343FE

มีช่องรับสัญญาณเอ็นโคดเดอร์ และส่งสัญญาณออกได้

สามารถโปรแกรมการทำงานผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้

คอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์ e machines by Acer รุ่น EL1800

โปรแกรม Window XP

เมาส์

เมาส์คอมพิวเตอร์ ยี่ห้อ HP

แป้นพิมพ์

แป้นพิมพ์ ยี่ห้อ e machines by Acer รุ่น KB-0705

ขนาดมาตรฐาน ระยะห่างระหว่างปุ่มอักษร 2 เซนติเมตร

ขนาดปุ่มอักษร 1 x 1 เซนติเมตร

เมาส์ปากกา

เมาส์ปากกา ยี่ห้อ Genius รุ่น G-Pen 4500

ขนาด 4 นิ้ว x 5.5 นิ้ว ใช้กับ USB port

Pressure Levels: 1024

Resolution: 2000 LPI

Max Report Rate: 100 points/sec

Tilt Range: 60 degree

Accuracy: $\pm$ 0.25 mm

Power Source:

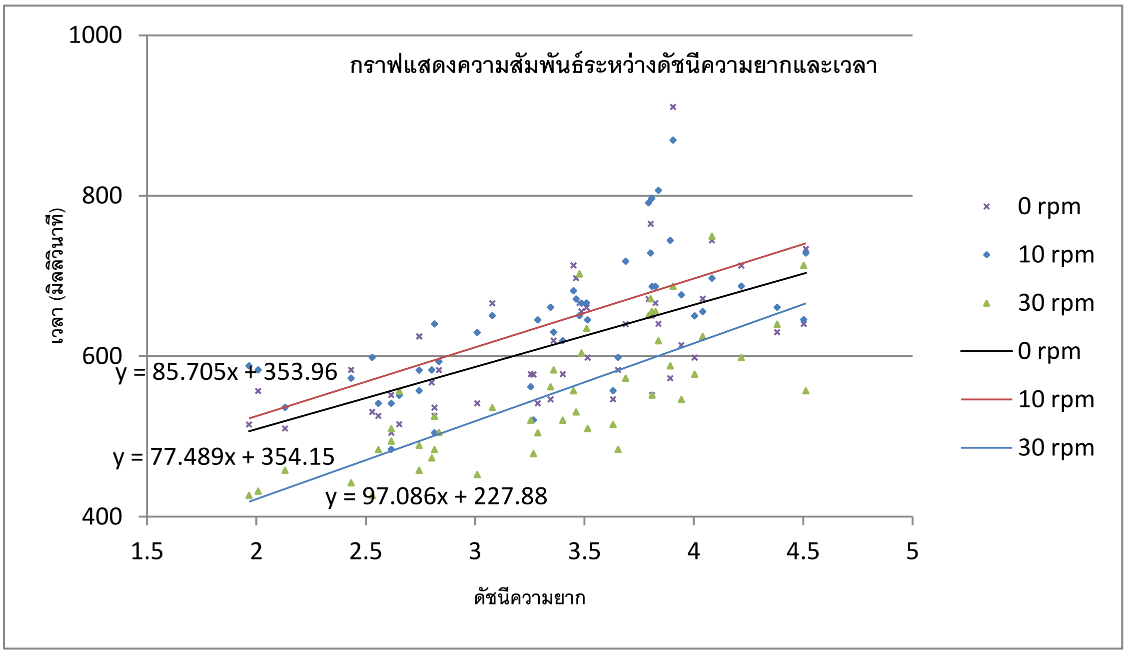
Pen / Mouse: 1.5 V AAA Battery Each

ภาคผนวก ง

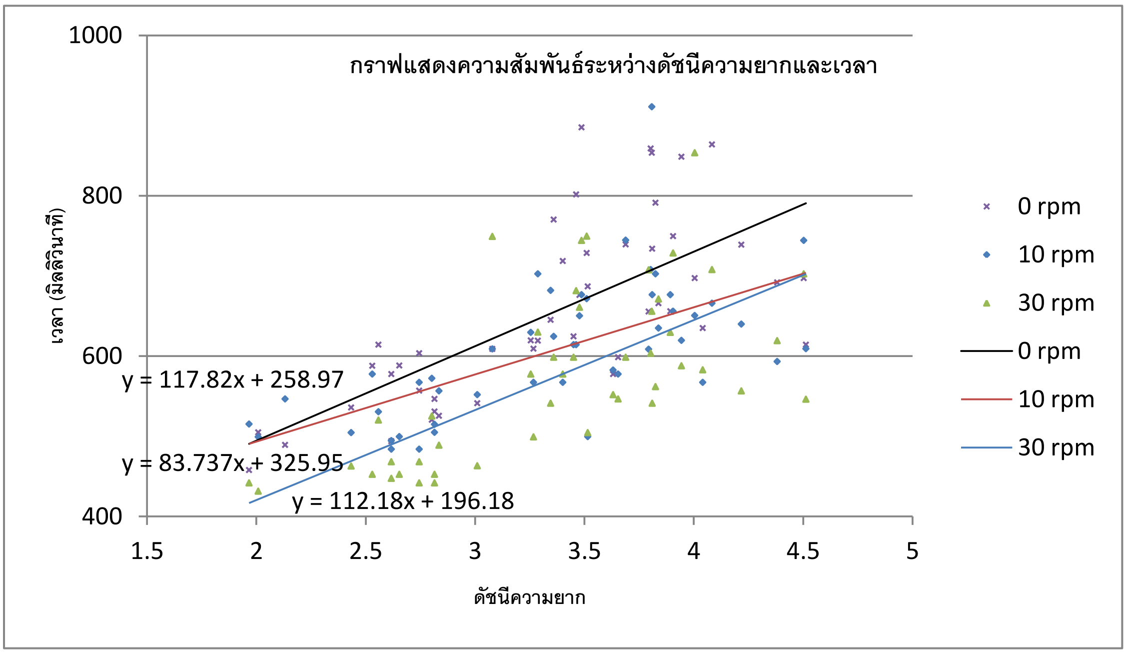
ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

ภาคผนวก ง
ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

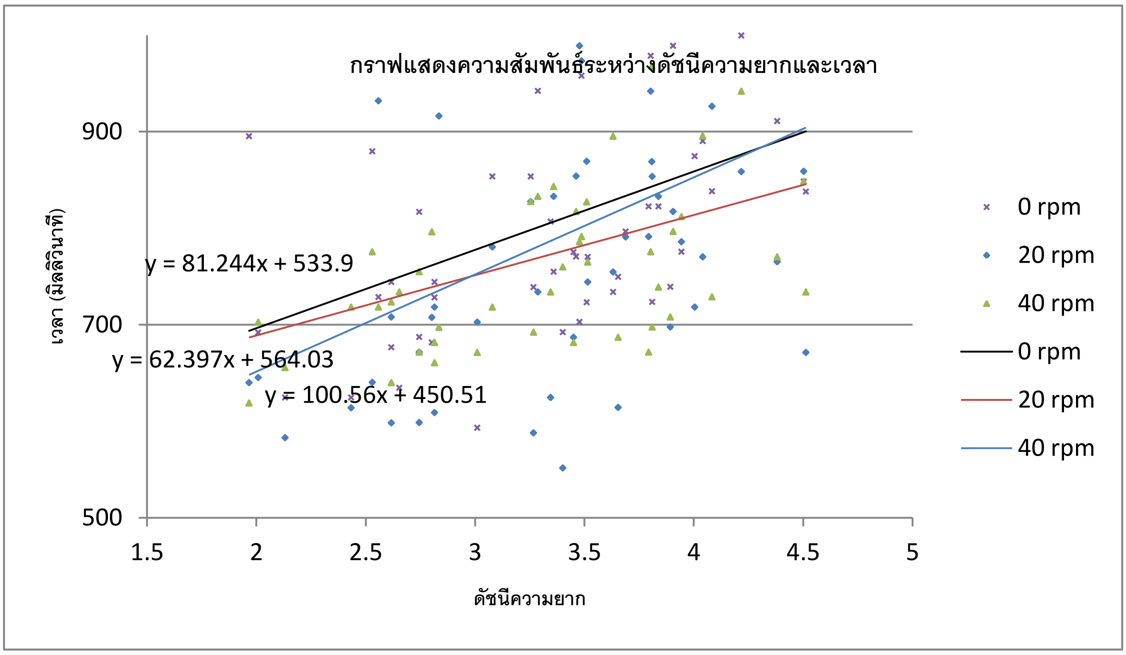
ข้อมูลผลการทดสอบเบื้องต้นผลของการเคลื่อนขาส่วนล่างต่อประสิทธิภาพการทำงานการใช้งานเมาส์



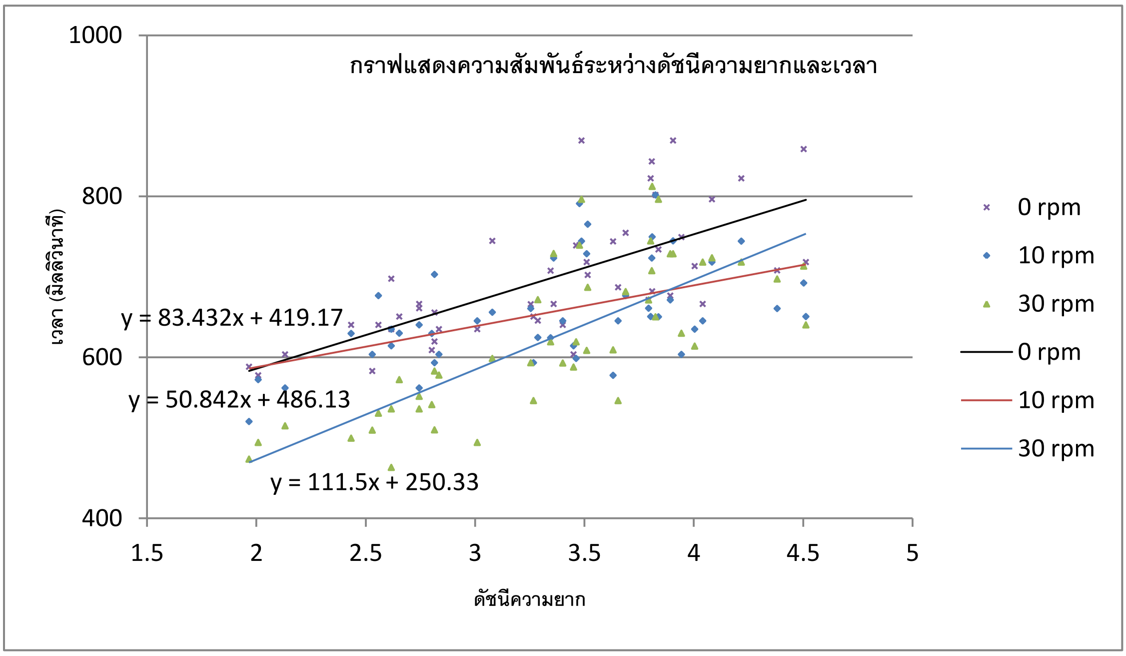
รูป ง-1 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์เบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 1



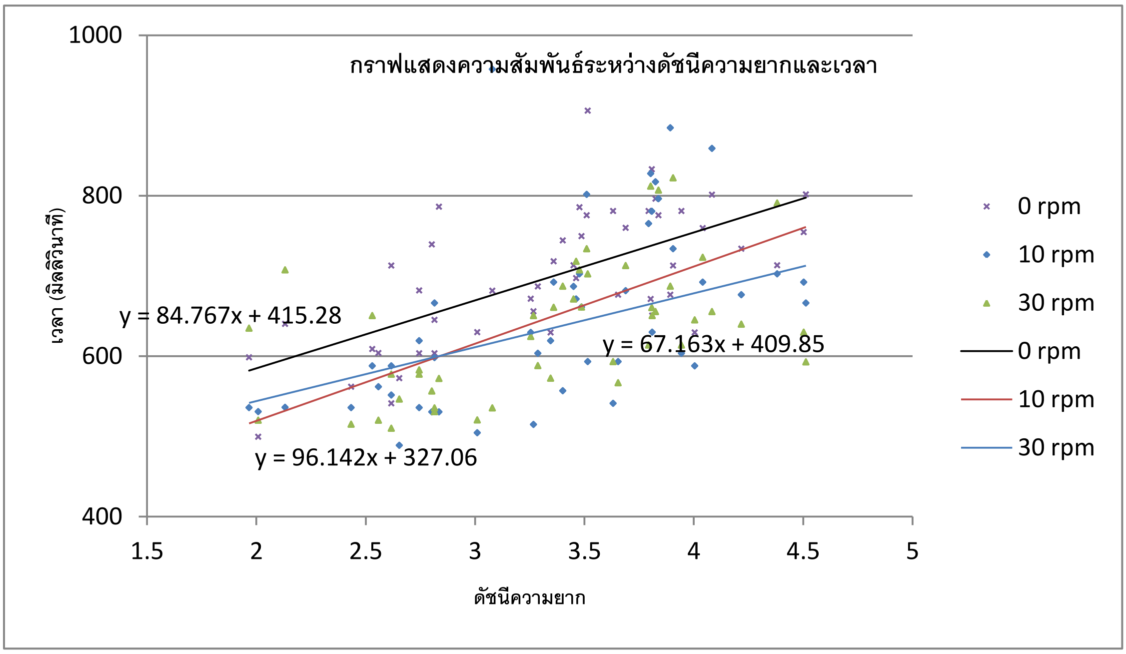
รูป ง-2 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์เบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 2



รูป ง-3 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์เบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 3

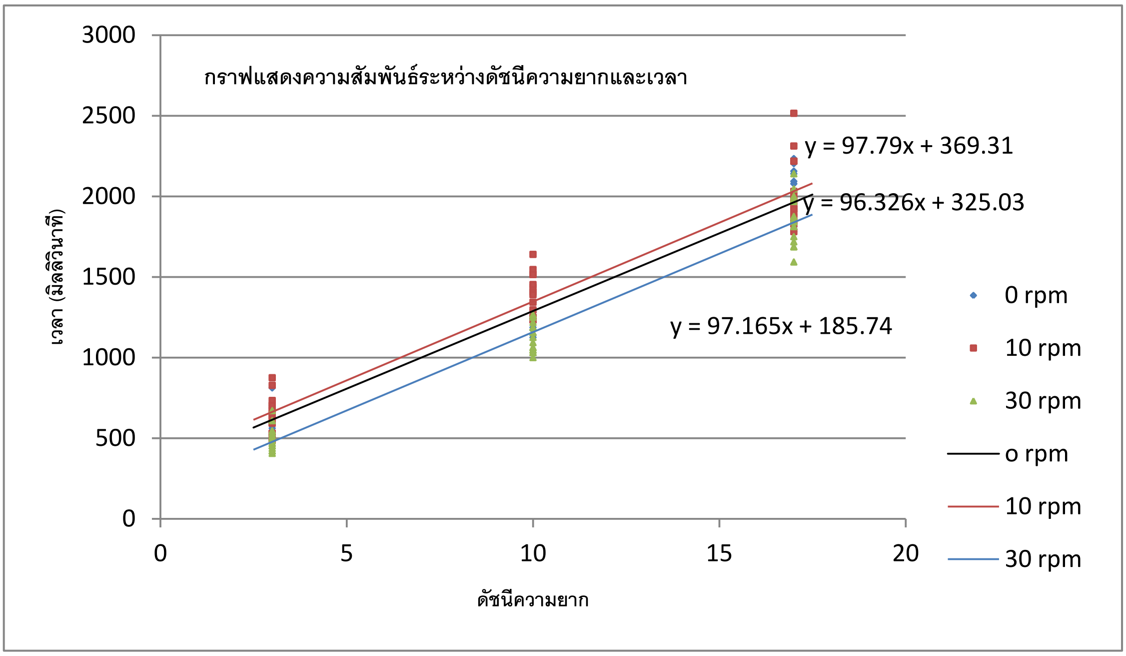


รูป ง-4 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์เบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 4

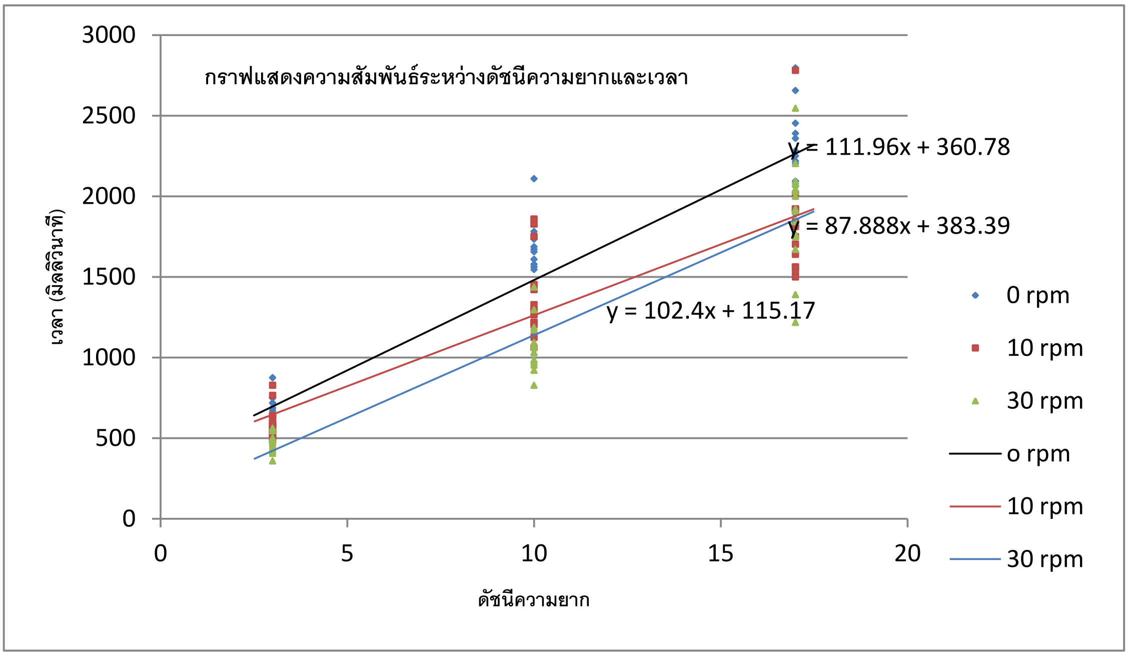


รูป ง-5 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์เบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 5

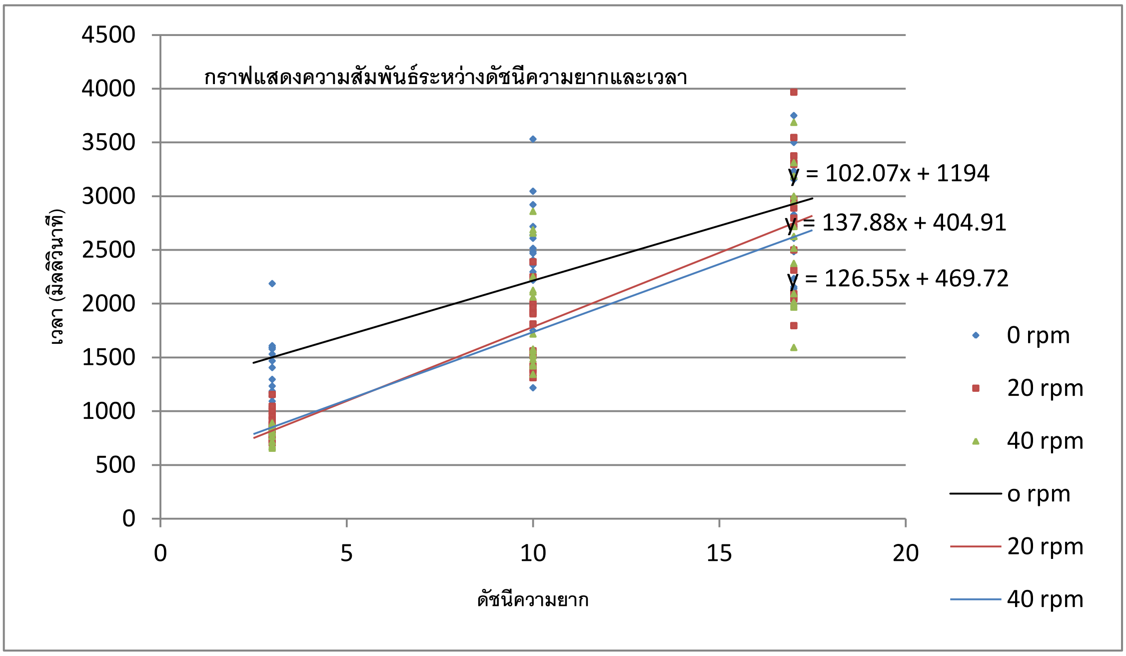
ข้อมูลผลการทดสอบเบื้องต้นผลของการเคลื่อนขาส่วนล่างต่อประสิทธิภาพ
การทำงานกราฟิกเส้นตรง



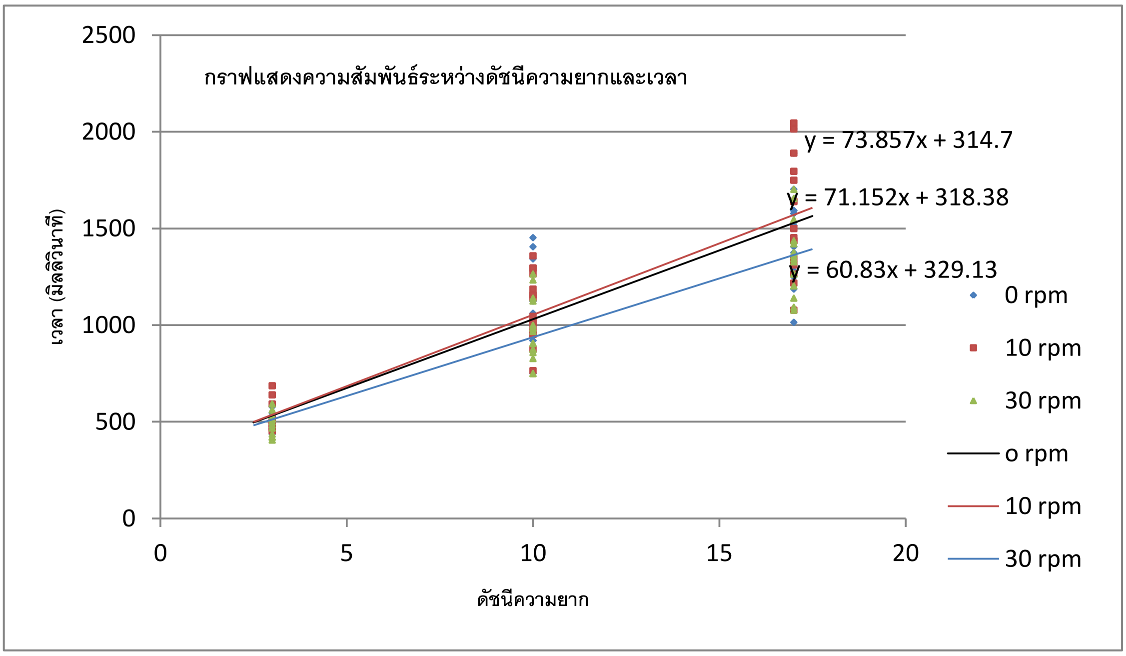
รูป ง-6 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรงเบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 1



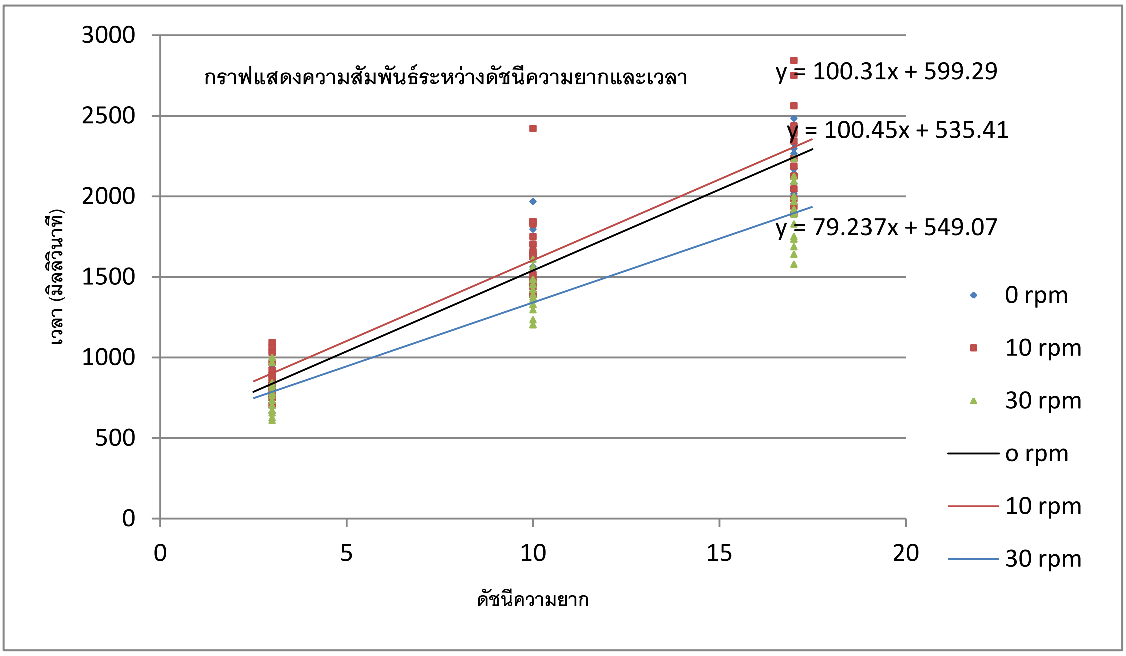
รูป ง-7 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรงเบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 2



รูป ง-8 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรงเบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 3

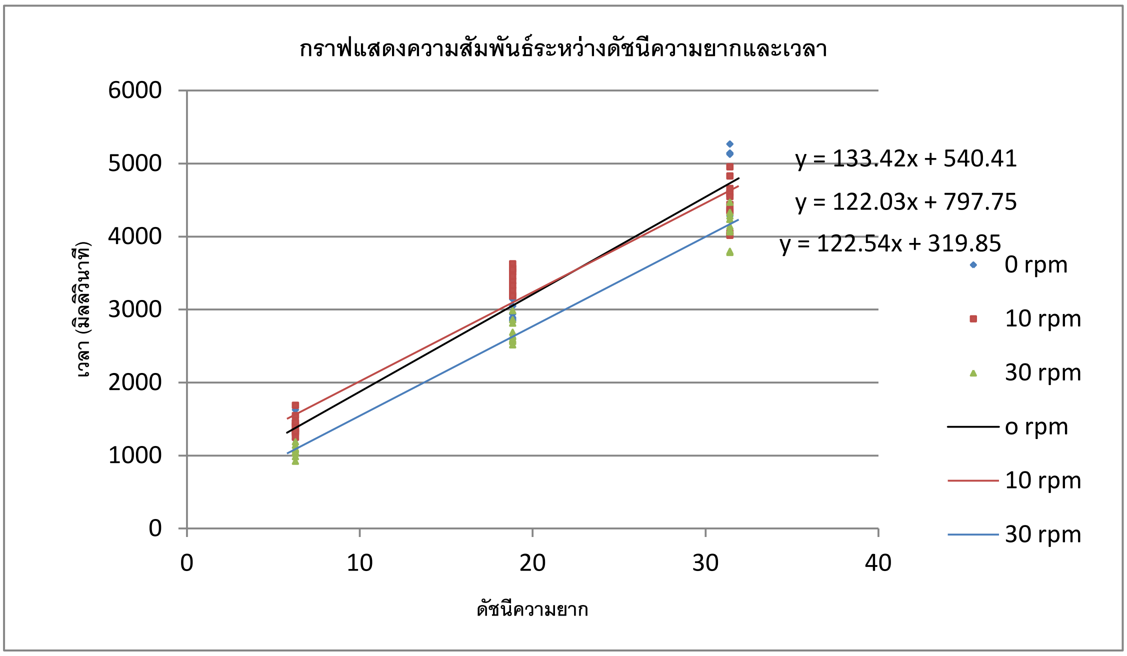


รูป ง-9 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรงเบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 4

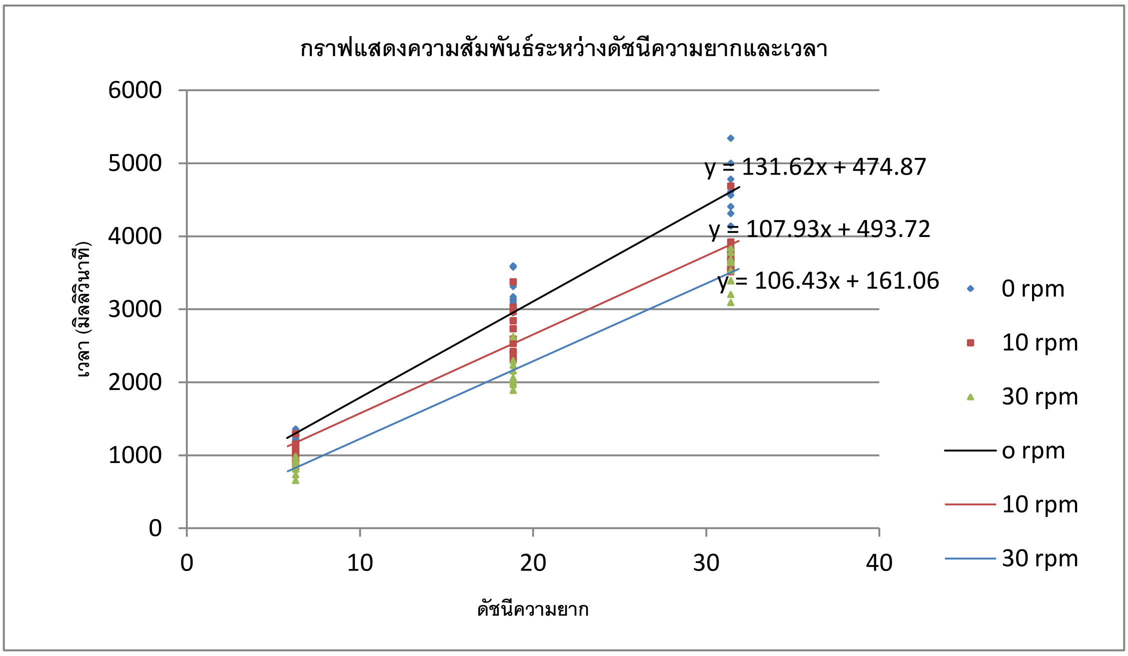


รูป ง-10 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรงเบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 5

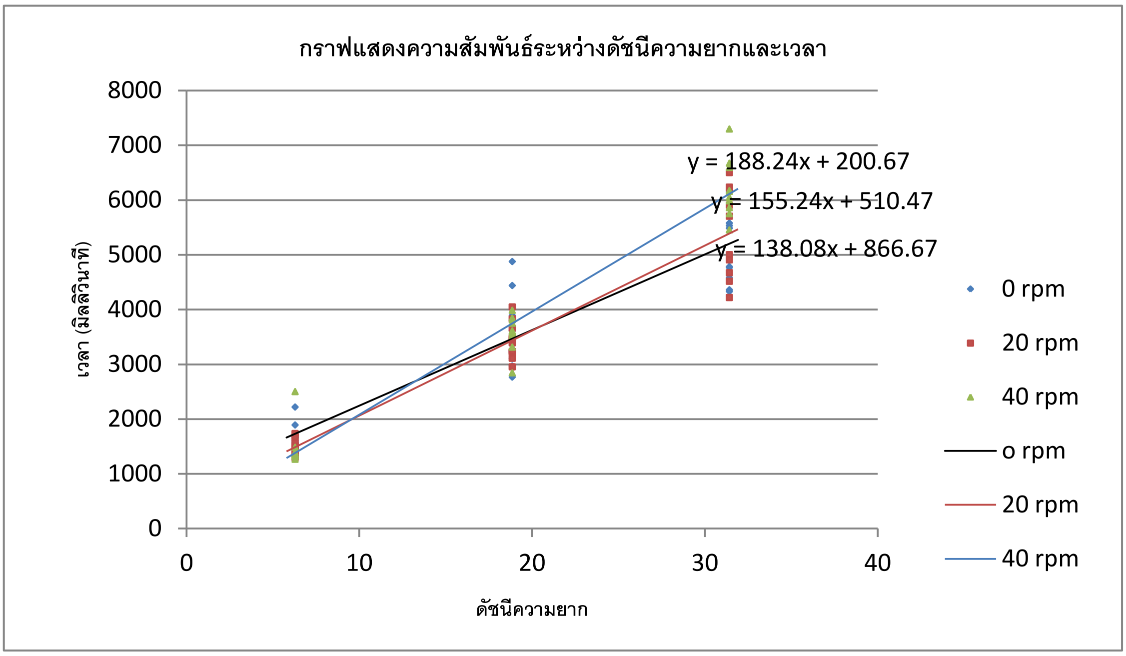
ข้อมูลผลการทดสอบเบื้องต้นผลของการเคลื่อนขาส่วนล่างต่อประสิทธิภาพ
การทำงานกราฟิกวงกลม



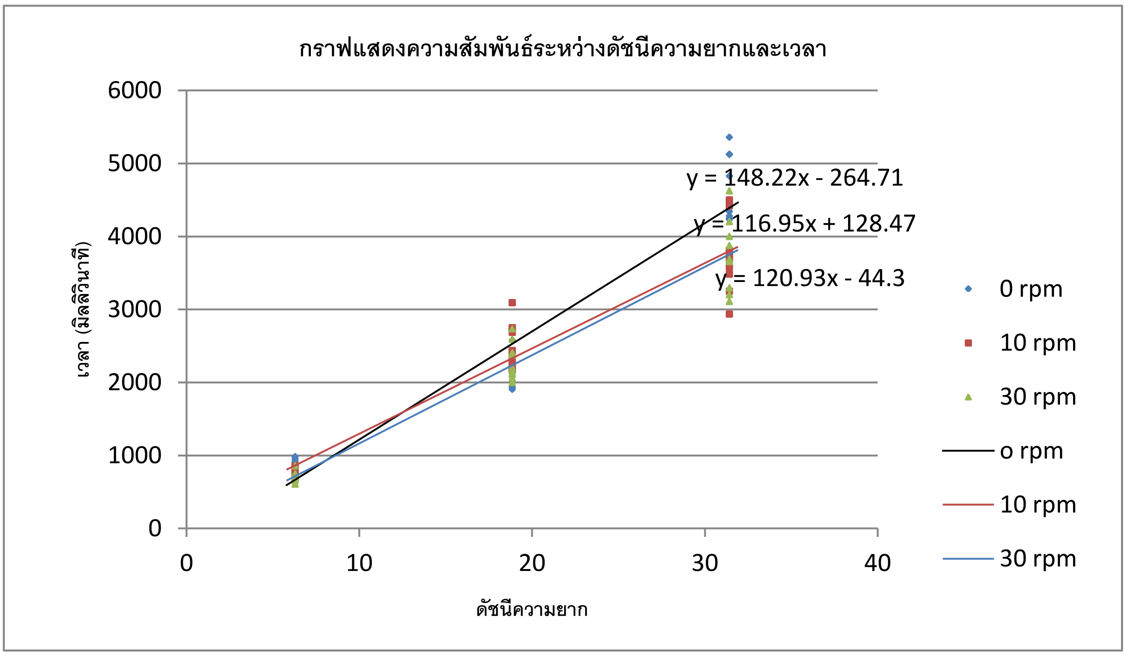
รูป ง-11 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลมเบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 1



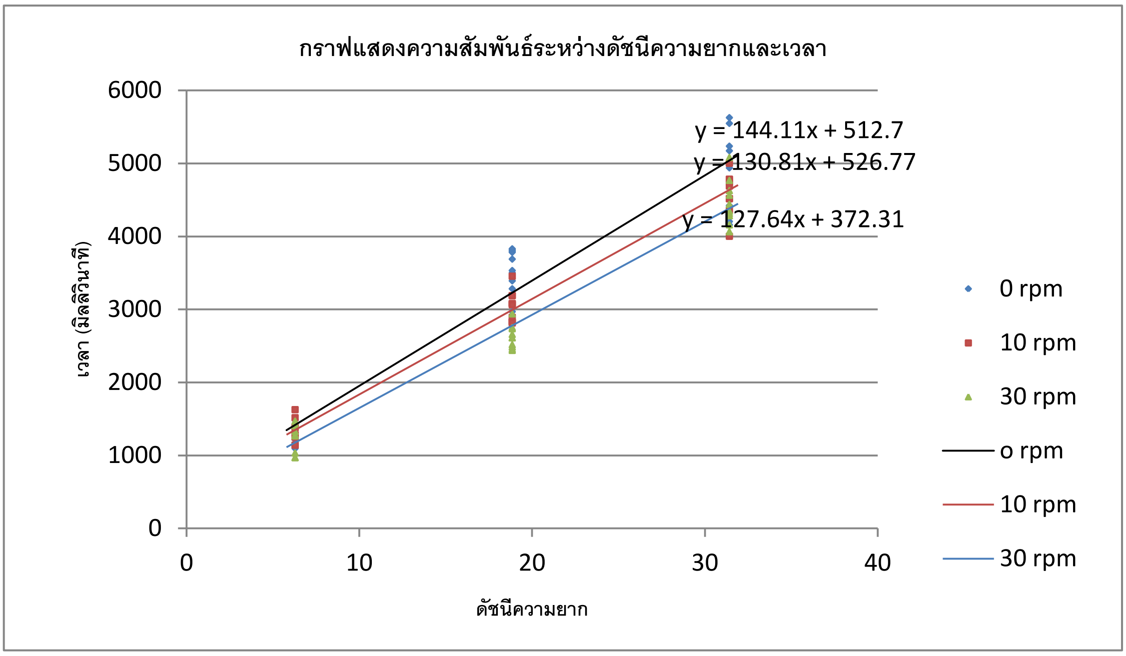
รูป ง-12 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลมตรงเบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 2



รูป ง-13 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลมเบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 3

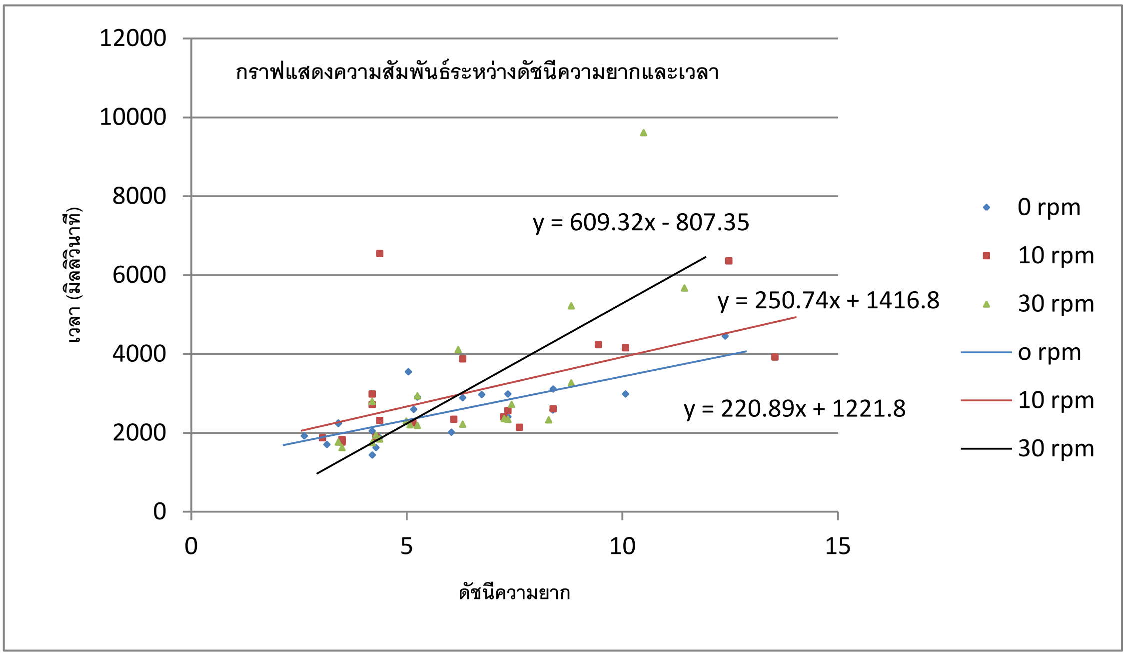


รูป ง-14 ผลการทดสอยงานกราฟิกวงกลมเบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 4

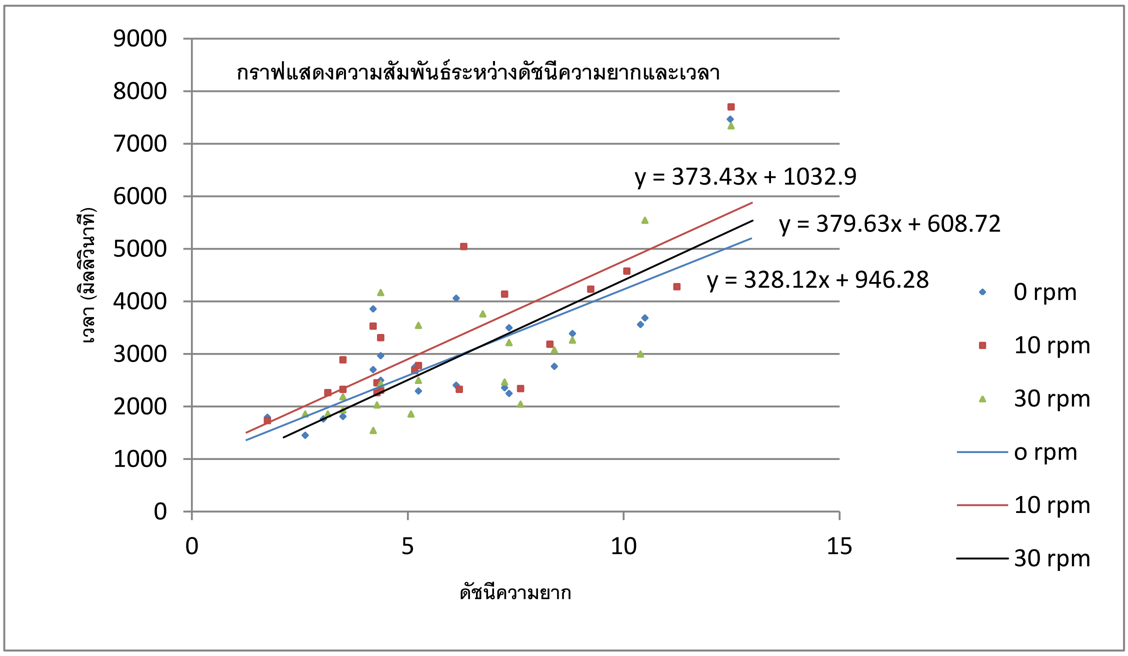


รูป ง-15 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลมเบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 5

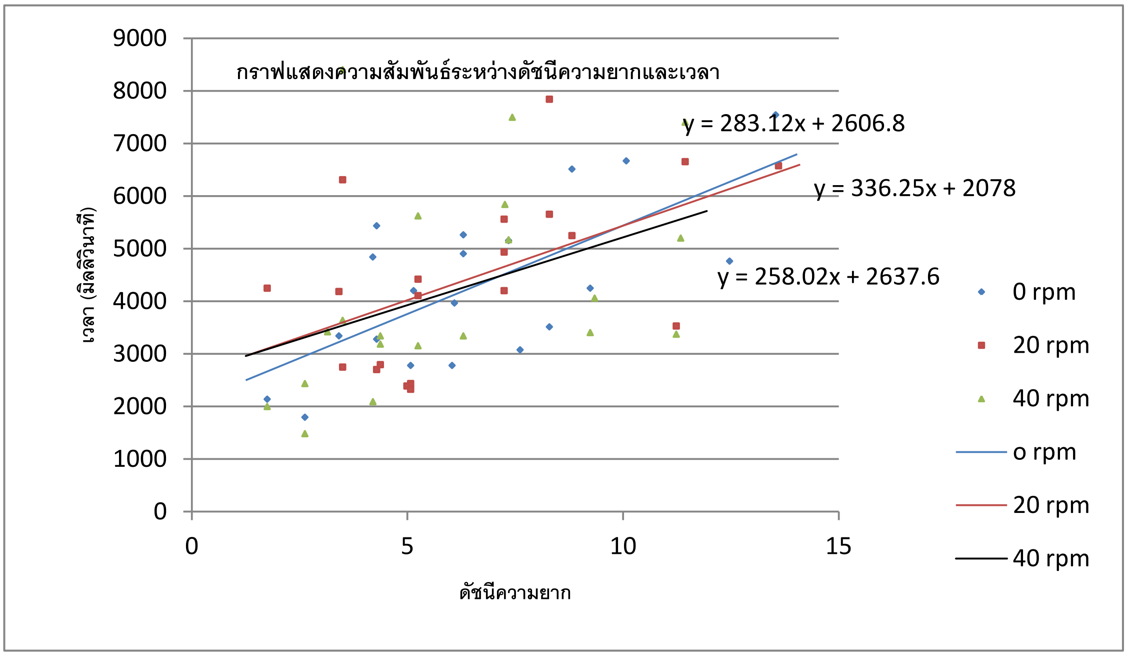
ข้อมูลผลการทดสอบเบื้องต้นผลของการเคลื่อนขาส่วนล่างต่อประสิทธิภาพการทำงานพิมพ์



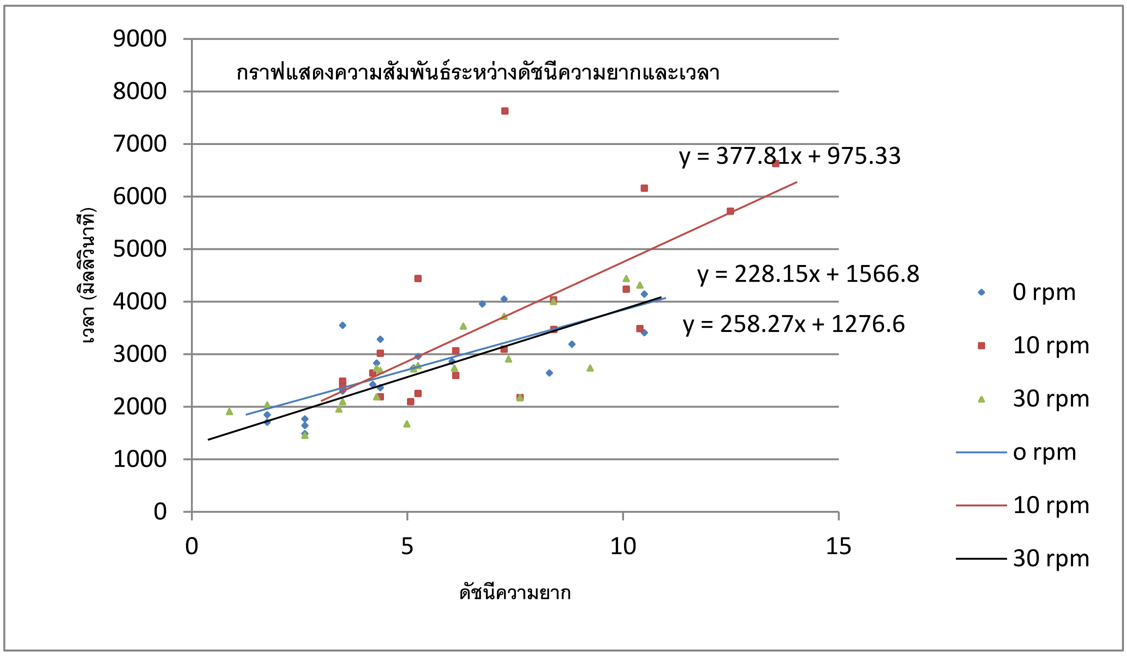
รูป ง-16 ผลการทดสอบงานพิมพ์เบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 1



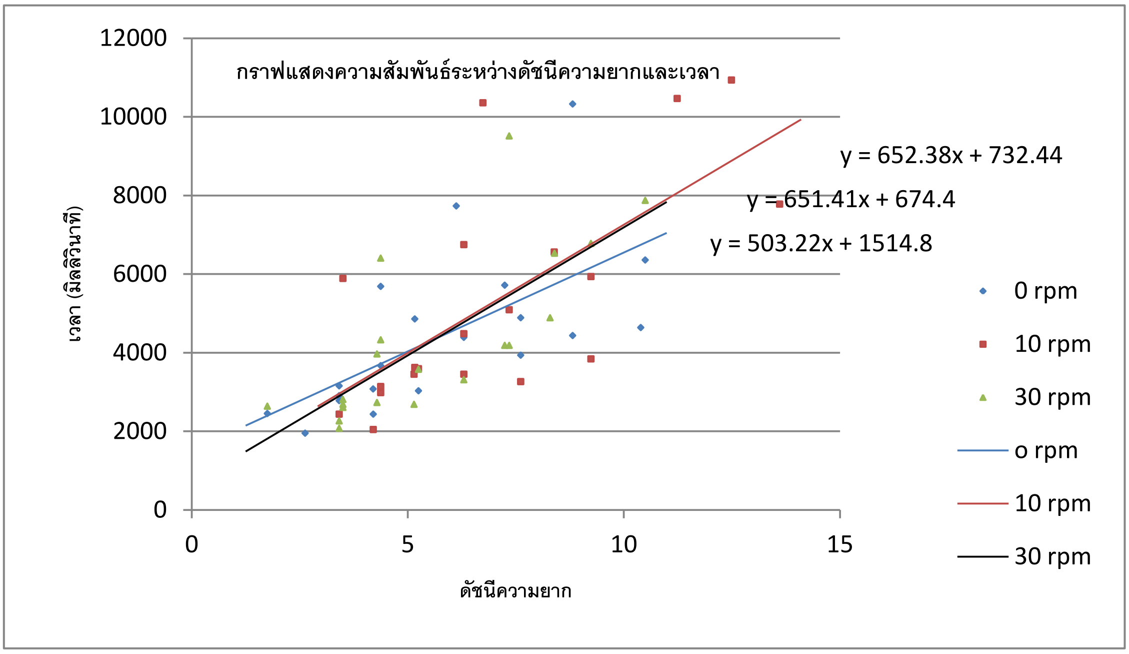
รูป ง-17 ผลการทดสอบงานพิมพ์เบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 2



รูป ง-18 ผลการทดสอบงานพิมพ์เบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 3



รูป ง-19 ผลการทดสอบงานพิมพ์เบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 4



รูป ง-20 ผลการทดสอบงานเพิมพ์เบื้องต้นจากผู้ทดสอบคนที่ 5

ข้อมูลผลการทดสอบผลของการเคลื่อนขาส่วนล่างต่อประสิทธิภาพการทำงานการใช้งานเมาส์

เนื่องจากผลการทดสอบในส่วนนี้มีข้อมูลจำนวนมาก การแสดงผลเป็นกราฟอาจไม่มีประสิทธิภาพ เพราะเส้นกราฟจะมีจำนวนมาก อาจทำให้ดูไม่รู้เรื่อง ฉะนั้น การแสดงผลในส่วนตรงนี้จึงใช้เป็นตารางระบุสมการเส้นตรงของเส้นแนวโน้ม ซึ่งจะทำให้สามารถระบุค่าประสิทธิภาพในการทำงานได้

ตารางที่ ง-1 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 1

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 7.1234x + 745.85	140.4
10	y = 16.812x + 846.63	59.48
20	y = 87.681x + 369.61	11.40
30	y = 99.199x + 261.94	10.08
40	y = 66.268x + 361.08	15.09

ตารางที่ ง-2 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 2

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 197.31x + 136.5	5.068
10	y = 127.63x + 333.83	7.835
20	y = 121.24x + 320.16	11.40
30	y = 189.5x + 104.8	5.277
40	y = 163.41x + 174.55	6.120

ตารางที่ ง-3 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 3

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 153.05x + 221.23	6.534
10	y = 94.039x + 379.61	10.63
20	y = 133.86x + 478.17	7.470
30	y = 173.81x + 200.54	5.753
40	y = 96.146x + 386.03	10.40

ตารางที่ ง-4 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 4

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 227.64x + 47.861	4.393
10	y = 142.41x + 301.97	7.022
20	y = 195.1x + 149.16	5.126
30	y = 153.59x + 232.82	6.511
40	y = 172.68x + 208.35	5.791

ตารางที่ ง-5 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 5

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 132.88x + 176.64	7.526
10	y = 96.873x + 302.83	10.32
20	y = 130.45x + 174.27	7.666
30	y = 149.51x + 133.72	6.689
40	y = 119.86x + 248.28	8.343

ตารางที่ ง-6 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 6

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 116.07x + 367.92	8.615
10	y = 82.681x + 527.13	12.09
20	y = 98.835x + 394.55	10.12
30	y = 89.378x + 415.91	11.19
40	y = 96.775x + 460.83	10.33

ตารางที่ ง-7 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 7

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 138.9x + 253.94	7.199
10	y = 96.732x + 302.83	10.34
20	y = 88.92x + 464.14	11.25
30	y = 139.84x + 259.27	7.151

40	y = 106.36x + 337.05	9.402

ตารางที่ ง-8 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 8

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 107.11x + 324.36	9.336
10	y = 133.25x + 228.09	7.505
20	y = 60.754x + 470.5	16.46
30	y = 113.8x + 349.76	8.787
40	y = 137.14x + 266.95	7.292

ตารางที่ ง-9 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 9

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 124.41x + 210.94	8.038
10	y = 161.84x + 111.54	6.179
20	y = 115.86x + 207.72	8.631
30	y = 152.79x + 266.06	6.545
40	y = 104.55x + 294.75	9.565

ตารางที่ ง-10 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 10

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 140x + 194.75	7.143
10	y = 70.505x + 357.12	14.18
20	y = 93.565x + 313.36	10.69
30	y = 69.56x + 358.83	14.38
40	y = 51.524x + 550.53	19.41

ตารางที่ ง-11 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 11

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 95.828x + 525.01	10.44
10	y = 93.634x + 351.54	10.68

20	y = 72.139x + 402.04	13.86
30	y = 88.122x + 314.58	11.35
40	y = 118.18x + 217.03	8.462

ตารางที่ ง-12 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 12

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 109.86x + 305	9.102
10	y = 30.088x + 597.1	33.24
20	y = 93.509x + 436.96	10.69
30	y = 95.53x + 385.68	10.47
40	y = 95.153x + 320.22	10.51

ตารางที่ ง-13 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 13

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 131.86x + 176.99	7.584
10	y = 137.09x + 116.19	7.294
20	y = 58.79x + 473.7	17.01
30	y = 82.553x + 425.12	12.11
40	y = 118.65x + 278.46	8.428

ตารางที่ ง-14 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 14

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 105.56x + 326.36	9.471
10	y = 181.1x + 81.28	5.522
20	y = 145.55x + 166.23	6.870
30	y = 48.332x + 628.7	20.69
40	y = 139.86x + 244.22	7.150

ตารางที่ ง-15 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของชายคนที่ 15

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)

0	y = 136.25x + 147.6	7.339
10	y = 145.78x + 126.4	6.860
20	y = 277.18x + 258.94	3.608
30	y = 102.33x + 216.44	9.772
40	y = 146.43x + 152.29	6.876

ตารางที่ ง-16 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 1

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 108.45x + 318.69	9.221
10	y = 113.09x + 229.4	8.843
20	y = 117.32x + 212.19	8.524
30	y = 164.66x + 64.535	6.073
40	y = 93.885x + 260.49	10.65

ตารางที่ ง-17 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 2

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 169.55x + 200.04	5.898
10	y = 174.29x + 183.99	5.738
20	y = 98.536x + 417.96	10.15
30	y = 29.447x + 642.92	33.96
40	y = 76.582x + 446.63	13.06

ตารางที่ ง-18 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 3

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 160.37x + 156.63	6.236
10	y = 138.41x + 213.45	7.225
20	y = 110.07x + 392.07	9.085
30	y = 137.66x + 185.2	7.264
40	y = 163.87x + 158.62	6.102

ตารางที่ ง-19 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 4

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 100.72x + 435.97	9.929
10	y = 146.25x + 296.74	6.838
20	y = 104.19x + 385.16	9.598
30	y = 59.07x + 580.13	16.93
40	y = 75.288x + 514.57	13.28

ตารางที่ ง-20 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 5

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 210.09x + 41.275	4.760
10	y = 172.12x + 213.69	5.810
20	y = 196x + 205.74	5.102
30	y = 212.39x + 30.757	4.708
40	y = 170.84x + 216.48	5.853

ตารางที่ ง-21 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 6

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 141.28x + 265.66	7.078
10	y = 159.58x + 215.69	6.266
20	y = 195.96x + 115.57	5.103
30	y = 132.34x + 287.32	7.556
40	y = 189.75x + 105.25	5.270

ตารางที่ ง-22 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 7

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 245.72x + 393.5	4.070
10	y = 187.67x + 854.07	5.329
20	y = 121.23x + 1059.8	8.249
30	y = 239.25x + 513.23	4.180

40	y = 177.73x + 668.55	5.627

ตารางที่ ง-23 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 8

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 98.525x + 306.99	10.15
10	y = 66.28x + 410.75	15.09
20	y = 80.677x + 506.86	12.40
30	y = 114.17x + 317.98	8.759
40	y = 88.302x + 366	11.32

ตารางที่ ง-24 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 9

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 186.63x + 47.686	5.358
10	y = 63.774x + 521	15.68
20	y = 179.19x + 142.38	5.581
30	y = 167.64x + 144.83	5.965
40	y = 257.45x + 78.889	3.884

ตารางที่ ง-25 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 10

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 153.97x + 260.33	6.495
10	y = 163.29x + 181.27	6.124
20	y = 130.8x + 271.03	7.645
30	y = 140.09x + 248.03	7.138
40	y = 177.79x + 165.13	5.625

ตารางที่ ง-26 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 11

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 131.47x + 377.95	7.606
10	y = 103.78x + 425.14	9.635

20	y = 185.97x + 171.29	5.378
30	y = 137.36x + 308.94	7.280
40	y = 88.966x + 466.01	11.24

ตารางที่ ง-27 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 12

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 101.96x + 191.23	9.808
10	y = 117.32x + 253.13	8.524
20	y = 126.78x + 193.49	7.888
30	y = 70.922x + 336.55	14.10
40	y = 103.97x + 205.69	9.618

ตารางที่ ง-28 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 13

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 145x + 182.41	6.897
10	y = 227.83x + 19.553	4.389
20	y = 175.29x + 130.27	5.705
30	y = 200.31x + 119.41	4.992
40	y = 191.33x + 101.08	5.227

ตารางที่ ง-29 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 14

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 151.11x + 242.9	6.618
10	y = 131.93x + 322.57	7.580
20	y = 169.67x + 180.42	5.894
30	y = 88.739x + 533.55	11.27
40	y = 177.02x + 183.22	5.649

ตารางที่ ง-30 ผลการทดสอบการใช้งานเมาส์ ของหญิงคนที่ 15

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)

0	y = 208.33x + 201.96	4.800
10	y = 138.64x + 326	7.213
20	y = 116.69x + 400.79	8.570
30	y = 170.99x + 183.57	5.848
40	y = 141.58x + 364.73	7.063

ข้อมูลผลการทดสอบผลของการเคลื่อนขาส่วนล่างต่อประสิทธิภาพการทำงานกราฟิกเส้นตรง

ตารางที่ ง-31 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 1

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 132.12x + 683.9	7.569
10	y = 91.504x + 983.89	10.93
20	y = 79.261x + 833.57	12.62
30	y = 73.056x + 668.37	13.69
40	y = 51.768x + 706.2	19.32

ตารางที่ ง-32 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 2

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 105.96x + 276.22	9.438
10	y = 79.321x + 311.45	12.61
20	y = 82.656x + 314.92	12.10
30	y = 101.9x + 151.48	9.814
40	y = 118.16x + 157.48	8.463

ตารางที่ ง-33 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 3

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 140.98x + 167.89	7.093
10	y = 155.76x + 16.783	6.420
20	y = 88.022x + 419.46	11.36
30	y = 121.04x + 195.16	8.262
40	y = 137.26x + 149.59	7.285

ตารางที่ ง-34 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 4

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 144.12x + 258.88	6.939
10	y = 103.46x + 361.43	9.666

20	y = 122.7x + 255.37	8.150
30	y = 59.903x + 290.87	16.69
40	y = 117.33x + 325.68	8.523

ตารางที่ ง-35 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 5

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 83.987x + 296.07	11.91
10	y = 85.321x + 312.79	11.72
20	y = 83.853x + 257.74	11.93
30	y = 93.192x + 205.02	10.73
40	y = 90.129x + 303.66	11.10

ตารางที่ ง-36 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 6

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 112.38x + 286.27	8.898
10	y = 97.002x + 180.62	10.31
20	y = 96.527x + 293.4	10.36
30	y = 106.65x + 168.09	9.376
40	y = 107.5x + 235.5	9.302

ตารางที่ ง-37 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 7

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 142.72x + 42.708	7.007
10	y = 223.01x + 79.723	4.484
20	y = 117.54x + 332.03	8.508
30	y = 127.84x + 167.45	7.822
40	y = 133.86x + 157.72	7.470

ตารางที่ ง-38 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 8

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)

0	y = 144.46x + 199.17	6.922
10	y = 117.25x + 352.08	8.529
20	y = 140.34x + 632.96	7.126
30	y = 119.35x + 651.41	8.379
40	y = 159.17x + 325.49	6.283

ตารางที่ ง-39 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 9

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 122.37x + 407.71	8.172
10	y = 116.91x + 240.91	8.554
20	y = 98.848x + 228.56	10.12
30	y = 113.5x + 149.82	8.811
40	y = 118.86x + 33.283	8.413

ตารางที่ ง-40 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 10

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 139.3x + 560.67	7.179
10	y = 119.77x + 429.82	8.349
20	y = 107.15x + 508.84	9.332
30	y = 95.705x + 428.95	10.45
40	y = 123.05x + 913.9	8.127

ตารางที่ ง-41 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 11

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 164.95x + 329.5	6.062
10	y = 105.88x + 568.24	9.445
20	y = 126.68x + 370.63	7.771
30	y = 123.42x + 313.64	8.102
40	y = 117.96x + 506.84	8.477

ตารางที่ ง-42 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 12

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 196.86x + 211.65	5.080
10	y = 250.76x + 608.87	3.988
20	y = 253.06x + 459.83	3.952
30	y = 215.61x + 382.09	4.638
40	y = 178.91x + 478.02	5.589

ตารางที่ ง-43 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 13

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 83.92x + 330.94	11.92
10	y = 79.879x + 125.64	12.52
20	y = 145.43x + 44.991	6.875
30	y = 107.77x + 178.38	9.279
40	y = 110.14x + 36.815	9.079

ตารางที่ ง-44 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 14

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 127.93x + 275.3	7.817
10	y = 112.28x + 351.55	8.906
20	y = 75.408x + 454.53	13.26
30	y = 159.04x + 532.85	6.288
40	y = 113.78x + 497.9	8.789

ตารางที่ ง-45 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของชายคนที่ 15

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 139.3x + 560.67	7.179
10	y = 119.77x + 429.82	8.349
20	y = 107.15x +508.84	9.333
30	y = 95.705x + 428.95	10.45

40	y = 123.05x + 913.9	8.127

ตารางที่ ง-46 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 1

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 111.76x + 345.53	8.948
10	y = 122.56x + 83.292	8.159
20	y = 65.629x + 253.12	15.24
30	y = 105.89x + 129.45	9.444
40	y = 93.339x + 210.42	10.71

ตารางที่ ง-47 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 2

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 166.36x + 594.07	6.011
10	y = 112.87x + 579.5	8.860
20	y = 138.04x + 423.22	7.244
30	y = 132.59x + 387.81	7.542
40	y = 112.02x + 513.49	8.927

ตารางที่ ง-48 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 3

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 94.933x + 170.07	10.53
10	y = 95.353x + 169.72	10.49
20	y = 71.576x + 123.97	13.97
30	y = 105.54x + 45.39	9.475
40	y = 80.317x + 276.1	12.45

ตารางที่ ง-49 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 4

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 120.75x + 497.17	8.282
10	y = 116.35x + 498.1	8.595

20	y = 90.201x + 502.91	11.09
30	y = 122x + 341.77	8.197
40	y = 82.723x + 595.89	12.09

ตารางที่ ง-50 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 5

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 133.38x + 188.48	7.497
10	y = 128.56x + 399.82	7.778
20	y = 128.86x + 422.08	7.760
30	y = 105.53x + 432.56	9.476
40	y = 108.39x + 110.31	9.226

ตารางที่ ง-51 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 6

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 223.49x + 103.34	4.474
10	y = 230.13x + 166.21	4.345
20	y = 185.9x + 70.17	5.379
30	y = 182.06x + 99.125	5.493
40	y = 161.89x + 111.15	6.177

ตารางที่ ง-52 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 7

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 149.35x + 510.31	6.696
10	y = 171.6x + 103.87	5.828
20	y = 145.02x + 603.71	6.896
30	y = 161.91x + 613.31	6.176
40	y = 144.6x + 388.51	6.916

ตารางที่ ง-53 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 8

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)

0	y = 77.844x + 555.6	12.85
10	y = 72.674x + 447.3	13.76
20	y = 150.79x + 561.89	6.632
30	y = 121.8x + 484.01	8.210
40	y = 98.634x + 546.43	10.14

ตารางที่ ง-54 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 9

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 171.79x + 105.87	5.821
10	y = 215.89x + 146.32	4.632
20	y = 92.862x + 340.47	10.77
30	y = 110.15x + 424.79	9.079
40	y = 91.735x + 429.24	10.90

ตารางที่ ง-55 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 10

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 68.705x + 691.76	14.55
10	y = 74.705x + 580.99	13.39
20	y = 76.237x + 691.24	13.12
30	y = 83.768x + 533.26	11.94
40	y = 73.17x + 624.93	13.67

ตารางที่ ง-56 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 11

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 147.29x + 566.89	6.789
10	y = 151.02x + 670.57	6.622
20	y = 128.14x + 606.24	7.804
30	y = 196.71x + 269.78	5.084
40	y = 154.65x + 540.92	6.466

ตารางที่ ง-57 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 12

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 167.27x + 184.65	5.978
10	y = 167.7x + 539.1	5.963
20	y = 193.63x + 232.87	5.164
30	y = 166.64x + 188.99	6.001
40	y = 190.92x + 86.116	5.238

ตารางที่ ง-58 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 13

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 109.03x + 545	9.172
10	y = 173.95x + 474.4	5.749
20	y = 229.21x + 69.491	4.363
30	y = 185.47x + 506.23	5.392
40	y = 154.85x + 676.95	6.458

ตารางที่ ง-59 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 14

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 188.47x + 430.96	5.306
10	y = 179x + 440.67	5.587
20	y = 147.47x + 256.67	6.781
30	y = 185.48x + 363.2	5.391
40	y = 199.91x + 423.04	5.002

ตารางที่ ง-60 ผลการทดสอบงานกราฟิกเส้นตรง ของหญิงคนที่ 15

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 84.75x + 313.92	11.80
10	y = 97.043x + 210.12	10.30
20	y = 71.906x + 288.63	13.91
30	y = 93.54x + 211.62	10.69

40	y = 87.893x + 565.63	11.38

ข้อมูลผลการทดสอบผลของการเคลื่อนขาส่วนล่างต่อประสิทธิภาพการทำงานกราฟิกวงกลม

ตารางที่ ง-61 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 1

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 1430.9x + 522.68	0.6989
10	y = 909.4x + 770.3	1.100
20	y = 780.52x + 1153.4	1.281
30	y = 674.2x + 584.3	1.483
40	y = 500.78x + 558.68	1.997

ตารางที่ ง-62 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 2

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 1332.2x + 643.83	0.7506
10	y = 787.1x + 51.833	1.270
20	y = 743.46x + 104.39	1.345
30	y = 874.63x + 79.575	1.143
40	y = 1001.1x + 132.98	0.9989

ตารางที่ ง-63 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 3

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 1107.1x + 146.48	0.9033
10	y = 1091.8x + 12.058	0.9159
20	y = 970.25x + 425.65	1.031
30	y = 1157x + 119.13	0.8643
40	y = 960.91x + 366.82	1.041

ตารางที่ ง-64 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 4

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 1752.7x + 381.02	0.5705
10	y = 1333.2x + 48.583	0.7501

20	y = 1151.3x + 484.39	0.8686
30	y = 1393.8x + 241.13	0.7175
40	y = 1191.8x + 99.142	0.8391

ตารางที่ ง-65 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 5

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 658.2x + 415.1	1.519
10	y = 750.68x + 195.83	1.332
20	y = 749.95x + 254.95	1.333
30	y = 790.46x + 181.1	1.265
40	y = 767.55x + 386.45	1.303

ตารางที่ ง-66 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 6

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 1170.4x + 66.683	0.8544
10	y = 1312.7x + 165.85	0.7618
20	y = 1080.9x + 146.08	0.9252
30	y = 1075.1x + 265.55	0.9301
40	y = 1187.7x + 98.768	0.8420

ตารางที่ ง-67 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 7

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 1251.6x + 249.51	0.7990
10	y = 1302x + 208.32	0.7680
20	y = 898.78x + 360.61	1.113
30	y = 1198.3x + 44.05	0.8345
40	y = 1322.6x + 436.54	0.7561

ตารางที่ ง-68 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 8

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)

0	y = 1074.6x + 455.9	0.9306
10	y = 969.1x + 495.9	1.032
20	y = 1173x + 384.79	0.8525
30	y = 1348.8x + 9.8091	0.7414
40	y = 1260.9x + 159.04	0.7931

ตารางที่ ง-69 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 9

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 1151.6x + 125.47	0.8684
10	y = 858.28x + 423.68	1.165
20	y = 875.4x + 94.667	1.142
30	y = 1087.1x + 115.53	0.9199
40	y = 939.48x + 235.84	1.064

ตารางที่ ง-70 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 10

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 828.1x + 912.1	1.208
10	y = 680.99x + 872.95	1.468
20	y = 696.5x + 605.9	1.436
30	y = 686.68x + 692.74	1.456
40	y = 989.4x + 709.47	1.011

ตารางที่ ง-71 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 11

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 1398x + 252.29	0.7153
10	y = 1120.7x + 34.533	0.8923
20	y = 1140.6x + 79.173	0.8767
30	y = 1373x + 179.01	0.7283
40	y = 1139.1x + 57.882	0.8779

ตารางที่ ง-72 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 12

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 1561x + 220.91	0.6405
10	y = 2691.8x + 1131.1	0.3715
20	y = 1732.9x + 176.41	0.5771
30	y = 1697.3x + 49.102	0.5892
40	y = 1610.2x + 422.06	0.6210

ตารางที่ ง-73 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 13

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 654.7x + 468.77	1.527
10	y = 621.33x + 277.55	1.609
20	y = 805.53x + 567.48	1.241
30	y = 677.33x + 596.19	1.476
40	y = 869.71x + 117.28	1.150

ตารางที่ ง-74 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 14

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 800.69x + 414.05	1.249
10	y = 714.95x + 163.25	1.399
20	y = 817.23x + 233.86	1.224
30	y = 987.45x + 77.814	1.013
40	y = 820.6x + 313.06	1.219

ตารางที่ ง-75 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของชายคนที่ 15

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 782.16x + 97.664	1.279
10	y = 651.95x + 443.15	1.534
20	y = 491x +454.74	2.037
30	y = 611.38x + 517.01	1.636

40	y = 516.4x + 838.84	1.936

ตารางที่ ง-76 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 1

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 165.31x + 196.47	6.049
10	y = 155.77x + 67.306	6.420
20	y = 133.97x + 133.15	7.464
30	y = 148.46x + 163.82	6.736
40	y = 140.9x + 80.6	7.097

ตารางที่ ง-77 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 2

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 130.87x + 1120.8	7.641
10	y = 182.34x + 72.5	5.484
20	y = 156.53x + 640.63	6.389
30	y = 164.25x + 387.95	6.088
40	y = 145.1x + 268.24	6.892

ตารางที่ ง-78 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 3

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 149.83x + 368.03	6.674
10	y = 132.79x + 260.11	7.531
20	y = 175.51x + 83.758	5.698
30	y = 150.21x + 241.07	6.657
40	y = 138.2x + 353.38	7.236

ตารางที่ ง-79 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 4

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 127.76x + 979.43	7.827
10	y = 84.245x + 1306.4	11.87

20	y = 147.65x + 491.39	6.773
30	y = 152.62x + 857.09	6.552
40	y = 143.68x + 549.7	6.960

ตารางที่ ง-80 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 5

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 206.1x + 31.817	4.852
10	y = 189.13x + 34.558	5.287
20	y = 153.66x + 386.42	6.508
30	y = 161.51x + 12.533	6.192
40	y = 123.11x + 454.7	8.123

ตารางที่ ง-81 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 6

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 309.3x + 576.39	3.233
10	y = 262.67x + 219.23	3.807
20	y = 225.31x + 39.15	4.438
30	y = 218.04x + 651.11	4.586
40	y = 203.98x + 42.183	4.902

ตารางที่ ง-82 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 7

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 224.96x + 330.92	4.445
10	y = 304.79x + 69.377	3.281
20	y = 259.25x + 256.51	3.857
30	y = 265.9x + 571.33	3.761
40	y = 221.69x + 507.12	4.511

ตารางที่ ง-83 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 8

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)

0	y = 118.68x + 448.93	8.426
10	y = 115.07x + 193.03	8.690
20	y = 180.54x + 293.79	5.539
30	y = 163.88x + 234.44	6.102
40	y = 137.86x + 21	7.254

ตารางที่ ง-84 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 9

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 216.36x + 29.092	4.622
10	y = 172.58x + 341.3	5.794
20	y = 163.13x + 25.033	6.130
30	y = 193.78x + 314.58	5.160
40	y = 183.09x + 179.23	5.462

ตารางที่ ง-85 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 10

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 124.62x + 640.37	8.024
10	y = 81.01x + 897.6	12.34
20	y = 85.976x + 833.03	11.63
30	y = 99.416x + 546.42	10.06
40	y = 84.555x + 1078.1	11.83

ตารางที่ ง-86 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 11

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 251.11x + 891.85	3.982
10	y = 226.46x + 627.55	4.416
20	y = 244.51x + 828.13	4.090
30	y = 201.51x + 586.31	4.963
40	y = 214.17x + 609.3	4.669

ตารางที่ ง-87 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 12

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 197.2x + 145.67	5.071
10	y = 211.75x + 156.57	4.723
20	y = 223.93x + 94.408	4.466
30	y = 205.64x + 203.37	4.863
40	y = 157.11x + 369.87	6.365

ตารางที่ ง-88 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 13

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 214.95x + 178.95	4.652
10	y = 201.31x + 222.11	4.967
20	y = 237.37x + 456.06	4.213
30	y = 231.77x + 240.68	4.315
40	y = 212.13x + 259.46	4.714

ตารางที่ ง-89 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 14

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 232.14x + 449.8	4.308
10	y = 201.26x + 304.01	4.969
20	y = 157.29x + 705.5	6.358
30	y = 278.77x + 31.842	3.587
40	y = 279.39x + 53.375	3.579

ตารางที่ ง-90 ผลการทดสอบงานกราฟิกวงกลม ของหญิงคนที่ 15

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 134.72x + 128.45	7.423
10	y = 131.06x + 40.75	7.630
20	y = 105.82x + 145.04	9.450
30	y = 120.01x + 111.64	8.333

40	y = 119.05x + 220.6	8.400

ข้อมูลผลการทดสอบผลของการเคลื่อนขาส่วนล่างต่อประสิทธิภาพการทำงานพิมพ์

ตารางที่ ง-91 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 1

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 311.38x + 2510.2	3.212
10	y = 492.01x + 1690.2	2.032
20	y = 372.17x + 2133.8	2.687
30	y = 320.56x + 2168.4	3.120
40	y = 283.55x + 2355	3.527

ตารางที่ ง-92 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 2

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 182.21x + 2024.6	5.488
10	y = 205.52x + 1957.2	4.866
20	y = 408.39x + 1359.1	2.449
30	y = 256.72x + 1484.4	3.895
40	y = 293.85x + 2106.9	3.403

ตารางที่ ง-93 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 3

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 375.63x + 26.618	2.662
10	y = 340.1x + 622.95	2.940
20	y = 265.75x + 904.69	3.763
30	y = 365.2x + 542.43	2.738
40	y = 357.64x + 369.87	2.796

ตารางที่ ง-94 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 4

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 139.66x + 3311.9	7.160
10	y = 252.99x + 2008.5	3.953

20	y = 341.45x + 2160.1	2.929
30	y = 615.88x + 748.08	1.624
40	y = 510.06x + 1159.5	1.961

ตารางที่ ง-95 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 5

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 170.69x + 1586.6	5.859
10	y = 219.02x + 1290.1	4.566
20	y = 225x + 980.57	4.444
30	y = 358.96x + 739.08	2.786
40	y = 191.82x + 1239	5.213

ตารางที่ ง-96 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 6

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 316x + 1384.1	3.165
10	y = 247.83x + 1575.5	4.051
20	y = 483.06x + 1063.4	2.070
30	y = 75.233x + 3050	13.29
40	y = 166.96x + 2442.4	5.989

ตารางที่ ง-97 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 7

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 222.89x + 1505.4	4.487
10	y = 146.16x + 2446.8	6.842
20	y = 87.128x + 2145.1	11.48
30	y = 257.57x + 1629.5	3.882
40	y = 110.47x + 2824.1	9.052

ตารางที่ ง-98 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 8

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)

0	y = 650.46x + 1269.1	1.537
10	y = 1006.2x + 791.84	0.9938
20	y = 672.66x + 1411.8	1.487
30	y = 487.24x + 2309.2	2.052
40	y = 739.93x + 910.63	1.351

ตารางที่ ง-99 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 9

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 210.62x + 2193.4	4.748
10	y = 278.08x + 1860.1	3.596
20	y = 458.34x + 1281.3	1.142
30	y = 328.08x + 2130.3	2.052
40	y = 190.22x + 1963.3	1.351

ตารางที่ ง-100 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 10

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 326.46x + 852.36	3.063
10	y = 182.95x + 1811.6	5.466
20	y = 368.63x + 886.58	2.713
30	y = 88.1x + 2082.9	11.35
40	y = 332.73x + 770.87	3.005

ตารางที่ ง-101 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่ 11

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 499.28x + 887.54	2.003
10	y = 171.96x + 2493.3	5.815
20	y = 419.09x + 1565.5	2.386
30	y = 186.93x + 2548.6	5.350
40	y = 532.89x + 1196.8	1.877

ตารางที่ ง-102 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่12

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 324.43x + 1192.9	3.082
10	y = 483.97x + 969.43	2.066
20	y = 480.57x + 1477.1	2.081
30	y = 190.96x + 2856.4	5.237
40	y = 254.44x + 1872.7	3.930

ตารางที่ ง-103 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่13

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 291.21x + 672.7	3.434
10	y = 323.27x + 989.78	3.093
20	y = 89.852x + 1730.4	11.13
30	y = 255.6x + 1000.8	3.912
40	y = 275.61x + 1118	3.628

ตารางที่ ง-104 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่14

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 275.94x + 2255.4	3.624
10	y = 472.65x + 1003.2	2.116
20	y = 210.77x + 2403.5	4.745
30	y = 412.73x + 1896.2	2.423
40	y = 778.31x + 454.05	1.285

ตารางที่ ง-105 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของชายคนที่15

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 279x + 1127.9	3.584
10	y = 247.84x + 1657.4	4.035
20	y = 248.4x + 1395.2	4.026
30	y = 346.4x + 1072.9	2.887

40	y = 314.76x + 1053	3.177

ตารางที่ ง-106 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่1

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 144.37x + 2092.5	6.927
10	y = 276.55x + 1192.3	3.616
20	y = 239.33x + 1680.8	4.178
30	y = 308.37x + 1355.6	3.243
40	y = 280.64x + 803.85	3.563

ตารางที่ ง-107 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 2

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 317.69x + 1994.5	3.148
10	y = 700.14x + 416.33	1.428
20	y = 340.01x + 2083.8	2.941
30	y = 5557.32x + 1281.4	1.794
40	y = 574.69x + 798.31	1.740

ตารางที่ ง-108 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 3

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 176.22x + 1840.5	5.675
10	y = 591.93x + 597.29	1.689
20	y = 206.16x + 1303.9	4.851
30	y = 428.88x + 99.359	2.332
40	y = 223.07x + 1331.6	4.483

ตารางที่ ง-109 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 4

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 163.39x + 3648.1	6.120
10	y = 126.35x + 3504.7	7.915

20	y = 260.4x + 2535.9	3.840
30	y = 190.39x + 3470.3	5.252
40	y = 189.23x + 3495.1	5.285

ตารางที่ ง-110 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 5

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 222.03x + 3202.9	4.504
10	y = 391.68x + 2348.3	2.553
20	y = 539.84x + 1676	1.852
30	y = 341.49x + 2375.9	2.928
40	y = 516.29x + 1602.7	1.937

ตารางที่ ง-111 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 6

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 280.54x + 1712	3.565
10	y = 517.47x + 751.7	1.932
20	y = 263.96x + 2010.4	3.788
30	y = 416.17x + 1212.1	2.403
40	y = 298.66x + 2009.7	3.348

ตารางที่ ง-112 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 7

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 569.26x + 2415.3	1.757
10	y = 672.57x + 1660.9	1.487
20	y = 512.92x + 2865.9	1.950
30	y = 702.96x + 1521.9	1.423
40	y = 679.21x + 1389	1.472

ตารางที่ ง-113 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 8

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)

0	y = 182.92x + 2598.7	5.467
10	y = 392.39x + 1753.6	2.548
20	y = 381.27x + 2353.7	2.623
30	y = 213.83x + 2597	4.677
40	y = 311.26x + 1960.2	3.213

ตารางที่ ง-114 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 9

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 447.3x + 988.18	2.011
10	y = 588.02x + 823.21	1.701
20	y = 294.5x + 1823.2	3.396
30	y = 440.38x + 989.12	2.271
40	y = 361.23x + 1387.7	2.768

ตารางที่ ง-115 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 10

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 427.29x + 1513.7	2.340
10	y = 336.89x + 1714.9	2.968
20	y = 193.45x + 2466.9	5.169
30	y = 519.08x + 395.61	1.926
40	y = 523.58x + 925.73	1.910

ตารางที่ ง-116 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 11

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 406.29x + 2735.2	2.461
10	y = 477.9x + 1898.3	2.092
20	y = 414.4x + 2052.7	2.413
30	y = 579.84x + 1222.8	1.725
40	y = 355.71x + 2567.1	2.811

ตารางที่ ง-117 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 12

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 254.69x + 1529.1	3.926
10	y = 354.48x + 738.47	2.821
20	y = 303.68x + 1418.9	3.293
30	y = 197.68x + 1469.5	5.059
40	y = 319.41x + 944.53	3.131

ตารางที่ ง-118 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 13

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 247.13x + 1330.9	4.046
10	y = 285.95x + 1519.4	3.497
20	y = 303.5x + 1268.7	3.295
30	y = 498.16x + 62.364	2.007
40	y = 400.82x + 2286.4	2.495

ตารางที่ ง-119 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 14

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 494.91x + 2188.3	2.021
10	y = 701.93x + 1448.4	1.425
20	y = 510.41x + 1804.8	1.959
30	y = 674.98x + 1427.4	1.482
40	y = 519.63x + 2115.9	1.924

ตารางที่ ง-120 ผลการทดสอบงานพิมพ์ ของหญิงคนที่ 15

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	สมการเส้นแนวโน้ม	ดัชนีประสิทธิภาพ (bits/sec)
0	y = 880.29x + 4580.7	1.136
10	y = 870.79x + 6886.8	1.148
20	y = 1210.5x + 3575.2	0.8261
30	y = 1074.6x + 4675.1	0.9305

40	y = 941.57x + 5214	1.062

ภาคผนวก จ

การพิจารณาอัตราการใช้พลังงานในการเคลื่อนขาส่วนล่างด้วยอุปกรณ์

ภาคผนวก จ
การพิจารณาอัตราการใช้พลังงานในการเคลื่อนขาส่วนล่างด้วยอุปกรณ์

ในส่วนนี้จะเป็นการคำนวณอัตราการใช้พลังงานในการเคลื่อนขาส่วนล่าง เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพว่าเทียบเท่าการออกกำลังกายหรือไม่ โดยคาดว่าจะใกล้เคียงกับการขี่จักรยาน เพราะมีลักษณะการเคลื่อนไหวที่คล้ายคลึงกัน

สมมติฐาน

1. ใช้ค่าเฉลี่ยความยาวและมวลของขาแต่ละช่วงที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลจาก American Association Anatomists
2. มวลของขาหนึ่งข้างมีค่าเป็น 15.7% ของมวลของร่างกายทั้งหมด

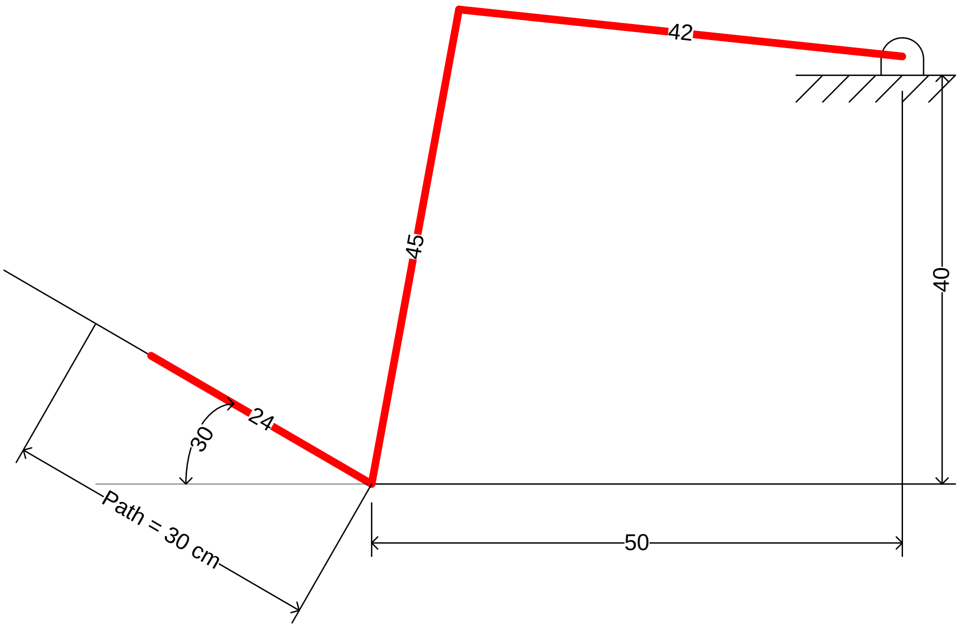
จากข้อมูล ร่างกายของมนุษย์มีมวลโดยประมาณ 70.7 กิโลกรัม

ฉะนั้น ขาหนึ่งข้างจะมีมวล = 70.7 x 15.7 / 100 = 10.605 กิโลกรัม

ส่วนต้นขา มีมวลเป็น 63% ของมวลขา ฉะนั้น ส่วนต้นขาจึงมีมวล = 10.605 x 63 / 100 = 6.6812 กิโลกรัม และมีความยาวโดยเฉลี่ย 42 เซนติเมตร

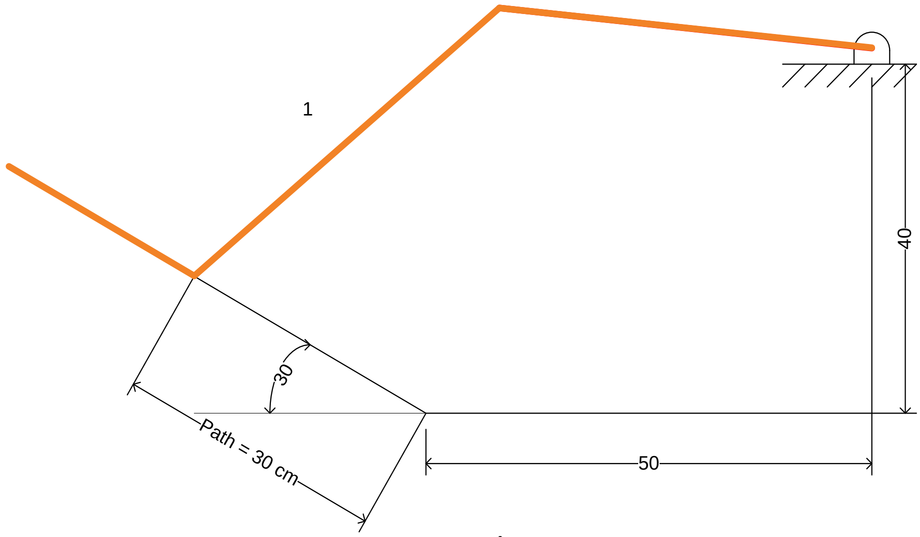
ส่วนน่อง มีมวลเป็น 27.9% ของมวลขา ฉะนั้น ส่วนน่องจึงมีมวล = 10.605 x 27.9 / 100 = 2.9588 กิโลกรัม และมีความยาวโดยเฉลี่ย 45 เซนติเมตร
เท้า มีมวลเป็น 8.93% ของมวลขา ฉะนั้น เท้าจึงมีมวล = 10.605 x 8.93 / 100 = 0.94703 กิโลกรัม และมีความยาวโดยเฉลี่ย 24 เซนติเมตร

ระบบกลไกขาจะเป็นดังรูปที่ จ-1



รูปที่ จ-1 กลไกขาในการเคลื่อนที่ตามเครื่องออกกำลัง

ตำแหน่งที่พิจารณาจะมีด้วยกัน 2 ตำแหน่ง ดังรูปที่ จ-2 และ จ-3



รูปที่ จ-2 ตำแหน่งที่ 1 เมื่อเท้าเลื่อนขึ้นไปยังจุดสูงสุดของทางเลื่อน

ในตำแหน่งที่ 1 นี้ เมื่อพิจารณาความสูงของจุดศูนย์กลางมวลของแต่ละส่วนจะได้ดังนี้

ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของต้นขา อยู่ที่ความสูง 41.1 เซนติเมตร

ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของน่อง อยู่ที่ความสูง 29.4 เซนติเมตร

และตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของเท้า อยู่ที่ความสูง 21 เซนติเมตร

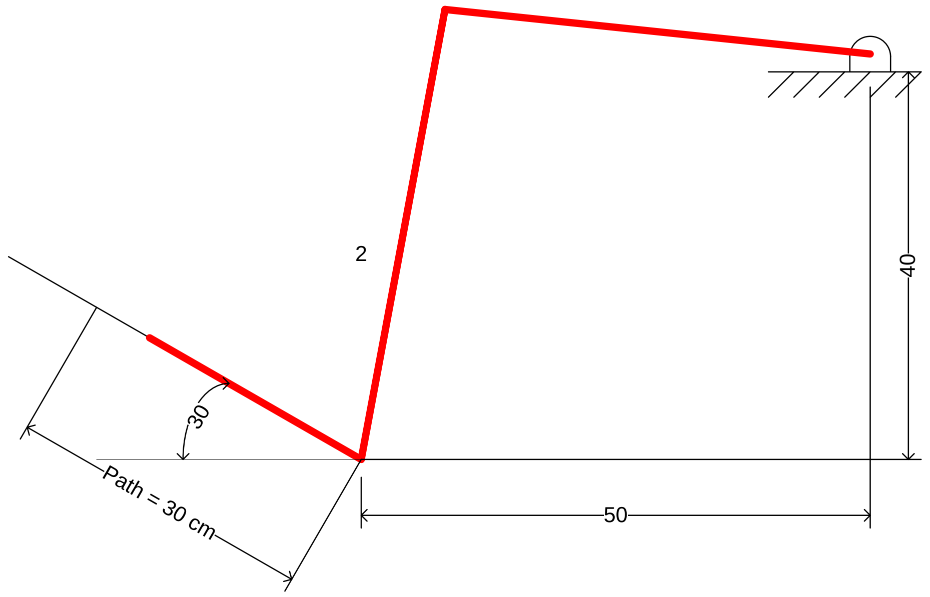
ที่ตำแหน่งนี้ อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของขาทุกส่วนจะเป็นศูนย์ พลังงานที่เกิดขึ้นจึงมีเพียงพลังงานศักย์เท่านั้น ซึ่งสามารถคิดได้จาก

$$E = \sum mgh$$

$$E = (m_{thigh}h_{cm,thigh} + m_{shank}h_{cm,shank} + m_{foot}h_{cm,foot})g$$

$$E_1 = (0.94703 \times 0.21 + 2.9588 \times 0.294 + 6.6812 \times 0.411) \times 9.8$$

$$E_1 = 37.384\,Joules$$



รูปที่ จ-3 ตำแหน่งที่ 2 เมื่อเท้าเลื่อนลงไปยังจุดต่ำสุดของทางเลื่อน

สำหรับที่ตำแหน่งที่ 2 จะมีเฉพาะพลังงานศักย์เช่นเดียวกับตำแหน่งที่ 1

ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของต้นขา อยู่ที่ความสูง 41.1 เซนติเมตร

ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของน่อง อยู่ที่ความสูง 21.9 เซนติเมตร

และตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของเท้า อยู่ที่ความสูง 6 เซนติเมตร

ที่ตำแหน่งนี้ อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของขาทุกส่วนจะเป็นศูนย์ พลังงานที่เกิดขึ้นจึงมีเพียงพลังงานศักย์เท่านั้น ซึ่งสามารถคิดได้จาก

$$E = \sum mgh$$

$$E = (m_{thigh}h_{cm,thigh} + m_{shank}h_{cm,shank} + m_{foot}h_{cm,foot})g$$

$$E_2 = (0.94703 \times 0.06 + 2.9588 \times 0.219 + 6.6812 \times 0.411) \times 9.8$$

$$E_2 = 33.818\, Joules$$

หากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงพลังงานระหว่างตำแหน่งที่ 1 และ 2 จะได้จำนวนพลังงานทั้งหมดที่ต้องใส่เข้าไปในระบบเพื่อยกขาขึ้น

พลังงานที่ต้องใช้

$$E = E_1 - E_2$$

$$E = 37.384 - 33.818$$

$$E = 3.5660\, Joules$$

ซึ่งเป็นพลังงานต่อการเคลื่อนที่ขึ้นหนึ่งครั้ง ในการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบจะมีการเคลื่อนที่ขึ้นทั้งหมด 2 ครั้ง ฉะนั้น ในการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ จึงต้องใช้พลังงาน $E = 7.1320\, Joules$

ฉะนั้น

สำหรับการเคลื่อนที่ที่ความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที จะใช้พลังงานทั้งหมด 71.320 Joules ต่อนาที หรือก็คือ 1.1887 Joules ต่อวินาที หรือ วัตต์ นั่นเอง

สำหรับการเคลื่อนที่ที่ความเร็วรอบ 20 รอบต่อนาที จะมีอัตราการใช้พลังงาน 2.3773 วัตต์

สำหรับการเคลื่อนที่ที่ความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาที จะมีอัตราการใช้พลังงาน 3.5660 วัตต์

สำหรับการเคลื่อนที่ที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที จะมีอัตราการใช้พลังงาน 4.7547 วัตต์

อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานดังกล่าวสามารถเทียบได้กับการใช้พลังงานของขาในการเคลื่อนที่รูปแบบเดียวกัน ซึ่งในการวัดพลังงานที่ใช้ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของร่างกายที่จริงแล้วได้ถูกกำหนดเป็นการเทียบเท่าอัตราการใช้ออกซิเจนของร่างกายเพื่อเปลี่ยนอาหารเป็นพลังงานใน

การทำกิจกรรมหนึ่ง ๆ โดยใช้เป็นหน่วย MET หรือ Standard Metabolic Equivalent ซึ่งจะถูกวัดเป็นค่าจำนวนที่จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อร่างกายต้องทำงาน หรือทำกิจกรรมที่หนักขึ้น

หน่วย MET นี้ เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานของร่างกายในขณะพักกับการใช้พลังงานของร่างกายในขณะทำงาน โดยที่กำหนดให้การใช้พลังงานของร่างกายในขณะพักเป็น 1 MET และเมื่อทำกิจกรรมใด ๆ ที่หนักขึ้นค่า MET ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

1 MET มีค่าเทียบเท่ากับ 1 kCal/kg/hr หรือก็คือ การเผาพลาญพลังงาน 1 กิโลแคลอรีต่อน้ำหนักตัวหน่วยเป็นกิโลกรมต่อชั่วโมง

ตัวอย่างการใช้พลังงานในกิจกรรมต่าง ๆ โดยใช้หน่วย MET เช่น

การพักผ่อน นั่งเฉย ๆ หรือนอน เผาพลาญพลังงาน 1 MET

การเดินทอดน่อง หรือการเล่นดนตรี เผาพลาญพลังงาน 2 MET

การเดินด้วยความเร็ว เต้นรำ ตีกอล์ฟ เล่นโบว์ลิง หรือตกปลา เผาพลาญพลังงาน 2.5 – 3 MET

การเดินขึ้นบันได เผาพลาญพลังงาน 4 MET

การเล่นเทนนิส เผาพลาญพลังงาน 7 MET

การวิ่ง Jogging เผาพลาญพลังงาน 8 MET

การว่ายน้ำ เผาพลาญพลังงานประมาณ 10 MET เป็นต้น

ฉะนั้น ในการเคลื่อนขาส่วนล่างด้วยอุปกรณ์เคลื่อนขานั้น พลังงานที่ใช้ก็สามารถนำมาคิดเป็นพลังงานหน่วย MET ได้เช่นกัน

จากการคำนวณพบว่า

ที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาที มีการใช้พลังงาน 71.320 Joules ต่อนาที หรือก็คือ 4279.2 Joules ต่อชั่วโมง เท่ากับ 1.023 kCal ต่อชั่วโมง ซึ่งในการคำนวณนี้ ตั้งสมมติฐานว่าน้ำหนักตัวของคนคือ 70.7 กิโลกรัม จะได้ว่า

ที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาที จะมีการใช้พลังงาน 1.023 / 70.7 kCal/kg/hr = 0.014470 kCal/kg/hr หรือก็คือ 0.014470 MET ในการเคลื่อนขาส่วนล่างนั่นเอง

อย่างไรก็ตามค่าการใช้พลังงานที่ได้เป็นเพียงพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนขาส่วนล่างเท่านั้น ในการทำงานคอมพิวเตอร์ยังมีการเผาพลาญพลังงานเพื่อทำงานอื่น ๆ อีก เช่น การนั่ง การใช้งานอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งอัตราการใช้พลังงานเหล่านั้นจำเป็นต้องนำมาคิดรวมด้วย

ฉะนั้น ในการเคลื่อนขาส่วนล่าง จะเปรียบเสมือนร่างกายได้ใช้พลังงานทั้งหมดโดยประมาณ คือ

1+0.014470 = 1.014470 MET

นอกจากนี้ยังควรรวมพลังงานในการทำงานคอมพิวเตอร์รูปแบบต่าง ๆ ซึ่งจะได้โดยประมาณ 1.1 MET นั่นเอง เหตุที่ค่า MET มีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากว่าค่าที่คำนวณออกมานั้นไม่ได้เกิดจากการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนจริง รวมถึงในการเคลื่อนขาส่วนล่างนี้ไม่ได้เกิดจากการออกแรงของตัวผู้ทดสอบเอง อัตราการใช้ออกซิเจนจึงมีค่อนข้างต่ำ เพราะไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานจากร่างกาย อย่างไรก็ตาม หากการเคลื่อนขานี้เกิดจากการออกแรงเองแล้ว ค่า MET ที่ใช้ในการทำงานจะต้องมีค่าสูงขึ้นจากการใช้ออกซิเจนมากขึ้น

สำหรับที่ความเร็วอื่น ๆ ค่า MET จะมีค่าไม่ต่างจากค่าที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาทีมากนัก เนื่องจากค่า MET เฉพาะการเคลื่อนขามีค่าต่างกันอยู่ที่ทศนิยมตำแหน่งที่ 2 ซึ่งเมื่อรวมกับค่า MET ของการนั่งและการทำงานคอมพิวเตอร์แล้ว จะสามารถสรุปได้ว่าที่ทุก ๆ ความเร็ว จะมีการใช้พลังงานประมาณ 1.1 MET ในการทำงานคอมพิวเตอร์พร้อมกับการเคลื่อนขาส่วนล่าง

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพุทธิพงศ์ คงรอด เกิดวันอาทิตย์ที่ 7 พฤษภาคม พุทธศักราช 2532 เป็นบุตรเพียงคนเดียวของนายมนัส คงรอดและนางอรวรรณ คงรอด สำเร็จการศึกษานระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียน สตรีวิทยา ๒ และระดับปริญญาบัณฑิตจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัญฑิต ที่สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตลอดระยะเวลาการศึกษาระดับอุดมศึกษา นอกจากการเรียนแล้ว นายพุทธิพงศ์ยังได้ทำงาน และกิจกรรมต่าง ๆ ของคณะวิศวกรรมศาสตร์มากมาย รวมถึงการดำรงตำแหน่งประธานชมรมวาทะและศิลปะบันเทิง ของคณะวิศวกรรมศาสตร์อีกด้วย ทั้งนี้ยังมีประสบการณ์ในการทำงาน จากการฝึกงานกับบริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด มหาชน และทำงานภาคฤดูร้อนกับบริษัท วอลท์ ดิสนีย์ จำกัด มหาชน (Walt Disney Company Limited) ที่สวนสนุกวอลท์ ดิสนีย์ เวิลด์ รีสอร์ท เมืองออร์ลันโด รัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา (Walt Disney World Resorts, Orlando, Florida, USA.)

ปัจจุบัน นายพุทธิพงศ์ คงรอดได้รับการคัดเลือกเข้าทำงานกับบริษัท การบินไทย จำกัด มหาชน ในตำแหน่งนักเรียนนักบิน และตำแหน่งนักบินผู้ช่วยในอนาคต