

การศึกษาเชิงการทดลองสำหรับผลของการเคลื่อนที่ขาด้วยอุปกรณ์ภายนอกต่ออัตรา
การใช้พลังงานและประสิทธิภาพในการทำงาน



นาย ปภัสสร ฟุ้งธรรมสาร

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EXPERIMENTAL STUDY ON EFFECT OF LOWER LIMB MOTION
WITH EXTERNAL DEVICE TO METABOLISM AND WORK
EFFICIENCY



Mr. Papat Fungtammasan

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 2007

Copyright of Chulalongkorn University.

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาเชิงการทดลองสำหรับผลของการเคลื่อนไหวที่ช้าด้วย
อุปกรณ์ภายนอกต่ออัตราการใช้พลังงานและประสิทธิภาพ
ในการทำงาน

โดย

นาย ปภัสสร ฟุ้งธรรมสาร

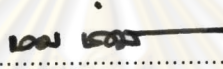
สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

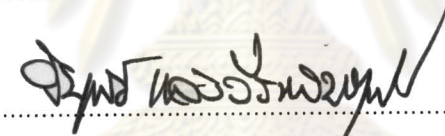
อาจารย์ที่ปรึกษา

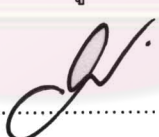
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทยา วัฒนสุโขประสิทธิ์


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

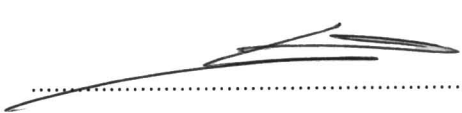

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

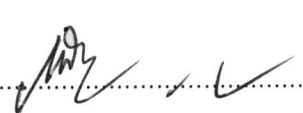
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทยา วัฒนสุโขประสิทธิ์)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภวดี จันทร์นุวัฒน์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. รัชทิน จันทร์เจริญ)


.....กรรมการ
(อาจารย์นายแพทย์ ดร. ภาสกร วัฒนธาดา)

ปัทสร์ พุ่งธรรมสาร : การศึกษาเชิงการทดลองสำหรับผลของการเคลื่อนที่ขาด้วยอุปกรณ์ภายนอกต่ออัตราการใช้พลังงานและประสิทธิภาพในการทำงาน. (EXPERIMENTAL STUDY ON EFFECT OF LOWER LIMB MOTION WITH EXTERNAL DEVICE TO METABOLISM AND WORK EFFICIENCY) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. วิทยา วัฒนสุโกประสิทธิ์, 171 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอผลการศึกษาผลกระทบของการเคลื่อนที่ร่างกายส่วนล่างของมนุษย์ต่อการทำงาน *Pointing task* และ *Steering task* บนคอมพิวเตอร์ งานที่ใช้ในการทดสอบอ้างอิงมาจากมาตรฐานการประเมินการเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์ การเคลื่อนที่ร่างกายที่ส่วนล่างกระทำโดยการสร้างอุปกรณ์พิเศษเพื่อบังคับให้เท้าของอาสาสมัครเคลื่อนที่ไปตามรูปแบบและความเร็วที่กำหนด การทดลองครั้งที่หนึ่งเป็นการทดสอบหาความเร็วสูงสุดที่มีผลกระทบต่อการทำงาน โดยมีอาสาสมัครจำนวน 5 คน การเคลื่อนที่เท้าเป็นลักษณะปั่นจักรยาน การทดสอบครั้งที่สองเป็นการทดสอบหาความเร็วต่ำสุดที่มีผลกระทบต่อการทำงาน มีอาสาสมัครจำนวน 10 คน การเคลื่อนที่เท้าเป็นลักษณะนั่งยึดคานสลักกันซ้ายขวา ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มการเคลื่อนไหวให้กับร่างกายมีผลกระทบต่อการทำงานของมนุษย์ แต่ทว่าผลกระทบดังกล่าวแตกต่างกันไปตามแต่ละงาน อย่างไรก็ตามก็ตีผลการทดสอบได้แสดงถึงช่วงการเคลื่อนที่ซึ่งมีผลกระทบต่อการทำงานเป็นพิเศษ การทดสอบครั้งที่หนึ่งพบว่า การเคลื่อนที่ขาด้วยความเร็ว 60 รอบต่อนาทีหรือสูงกว่า จะมีผลกระทบต่อการทำงานของมนุษย์อย่างชัดเจน ผู้ทดสอบจะใช้เวลาในการทำงานมากขึ้นที่ความเร็วนี้ นอกจากนี้การทดสอบครั้งที่สองพบว่า การเคลื่อนที่ขาด้วยความเร็ว 10 รอบต่อนาทีหรือต่ำกว่า จะมีผลกระทบต่อการทำงานของมนุษย์อย่างชัดเจนเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามก็ตีการเคลื่อนไหวดังกล่าวแทบไม่มีผลกระทบต่อความแม่นยำในการทำงานของมนุษย์ เมื่อเปรียบเทียบกับความแปรผันภายในตัวของมนุษย์เองด้วยวิธีการทางสถิติ สุดท้ายนี้ การปรับปรุงอุปกรณ์ การศึกษาผลต่อการทำงานประเภทอื่น และการศึกษาผลกระทบในระยะยาว เป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาต่อยอดจากงานวิจัยนี้ต่อไป

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อนิสิต.....ปัทสร์ พุ่งธรรมสาร.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

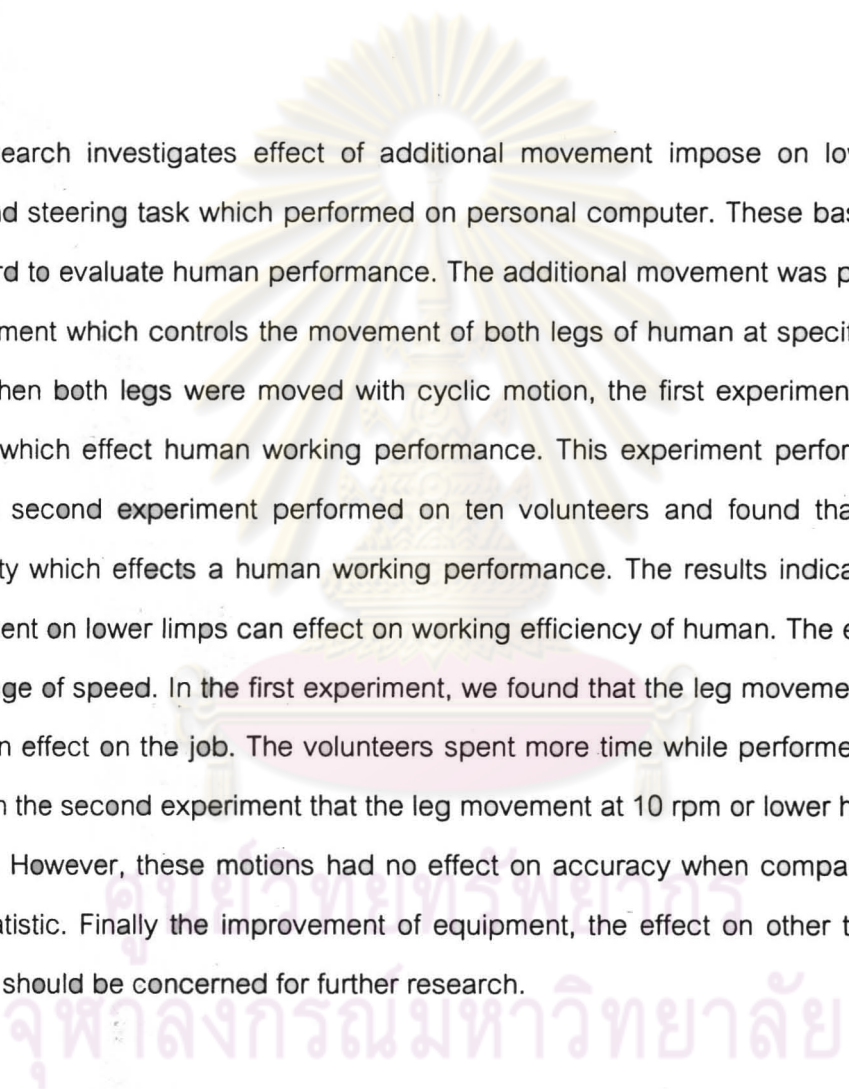
4870595421 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: PASSIVE EXERCISE / FITTS' LAW / STEERING LAW

PAPAT FUNGTAMMASAN: EXPERIMENTAL STUDY ON EFFECT OF LOWER LIMB MOTION WITH EXTERNAL DEVICE TO METABOLISM AND WORK EFFICIENCY.

THESIS ADVISOR: ASST. PROF. WITAYA WANNASUPHOPRASIT, 171 pp.

This research investigates effect of additional movement impose on lower limb on pointing task and steering task which performed on personal computer. These basic tasks are used as standard to evaluate human performance. The additional movement was performed by a special equipment which controls the movement of both legs of human at specified patterns and speeds. When both legs were moved with cyclic motion, the first experiment revealed a "upper" speed which effect human working performance. This experiment performed on five volunteers. The second experiment performed on ten volunteers and found that there is a minimum velocity which effects a human working performance. The results indicated that the addition movement on lower limbs can effect on working efficiency of human. The effect is high in a specific range of speed. In the first experiment, we found that the leg movement at 60 rpm or higher had an effect on the job. The volunteers spent more time while performed their task. We also found in the second experiment that the leg movement at 10 rpm or lower had an effect on the task too. However, these motions had no effect on accuracy when compare to human deviation by statistic. Finally the improvement of equipment, the effect on other task and the long term effect should be concerned for further research.



Department: Mechanical Engineering. Student's signature..... *ปัทมาพร พิงชานวล*.....
 Field of study: Mechanical Engineering Advisor's signature..... *[Signature]*.....
 Academic year : 2007

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผศ.ดร. วิทยา วัฒนสุโขประสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าของท่าน เพื่อให้คำแนะนำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยครั้งนี้ พร้อมทั้งจัดหาทุนและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้มาให้โดยตลอด ขอขอบคุณ ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการศึกษาและค่าใช้จ่ายส่วนตัว ในระหว่างที่ทำการวิจัย วิทยานิพนธ์ และงานวิจัยนี้คงจะไม่มีทางประสบผลสำเร็จลงได้ถ้าหากขาดความช่วยเหลือจากบิดามารดาในทุกๆด้าน ไม่ว่าจะเป็นทางด้านเงินทุน ข้อคิดเห็นต่างๆ รวมทั้ง กำลังใจและความห่วงใยที่อบอุ่นยิ่งที่มีให้แก่ผู้เขียนเสมอมา ในที่นี้ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณ อาจารย์ ภาสกร วัชชธาดา และ อาจารย์ สมพล สงวนรังศิริกุล สำหรับข้อมูลทางการแพทย์อันเป็นประโยชน์ ขอขอบคุณ รศ.ดร. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. รัชทิน จันทรเจริญ และ ผศ.ดร. ศุภวุฒิ จันทรานูวัฒน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์สำหรับคำแนะนำที่มีค่ายิ่ง ขอขอบคุณอาสาสมัครทุกท่านที่ร่วมกันสละเวลาอันมีค่าให้กับการทดลองนี้ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณทุกๆท่านที่อยู่แวดล้อมผู้เขียนไม่ว่าจะเป็นคณาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิที่เคยถ่ายทอดความรู้และให้คำแนะนำ รวมไปถึงเพื่อนนักศึกษา รุ่นพี่ รุ่นน้อง ทั้งในระดับปริญญาเอก และปริญญาโทที่ได้ร่วมกันให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่างๆ โดยเฉพาะผู้ที่อยู่เคียงข้างและให้กำลังใจที่ดีแก่กันเสมอมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
นิยามคำสำคัญ.....	ป
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การนั่งทำงานติดต่อกันเป็นเวลานานๆ.....	4
2.1.1 ผลเสียจากการนั่งติดต่อกันเป็นเวลานานๆ.....	4
2.1.2 การป้องกันและการแก้ไข.....	5
2.2 มาตรฐานการประเมินประสิทธิภาพการทำงาน.....	6
2.2.1 Hick's law	7
2.2.2 Fitts' law.....	7
2.2.3 Steering law.....	10
2.2.4 การขยายขอบเขตของ Fitts' law และ Steering law.....	13
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินประสิทธิภาพการทำงาน.....	17
2.3.1 การทดสอบผลของสภาพการทำงานที่เปลี่ยนแปลงต่อการทำงานของ มนุษย์.....	18
2.3.2 การเปรียบเทียบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ.....	19
บทที่ 3 การทดสอบเบื้องต้น.....	24
3.1 รูปแบบและวัตถุประสงค์การทดลอง.....	24

3.2 ประชากร.....	25
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	26
3.3.1 โปรแกรมทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน.....	26
3.3.1.1 การทดสอบ Pointing task.....	28
3.3.1.2 การทดสอบ Linear steering task.....	28
3.3.1.3 การทดสอบ Circular steering task.....	30
3.3.2 อุปกรณ์สร้างการเคลื่อนที่.....	32
3.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	34
3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล.....	35
3.6 ผลการวิเคราะห์ผลการทดสอบเบื้องต้น.....	37
3.6.1 ผลกระทบต่องาน Pointing task.....	37
3.6.2 ผลกระทบต่อ Linear steering task.....	44
3.6.3 ผลกระทบต่อ Circular steering task.....	50
บทที่ 4 การทดลอง.....	56
4.1 รูปแบบและวัตถุประสงค์ของการทดลอง.....	56
4.2 ประชากร.....	56
4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	56
4.3.1 โปรแกรมทดสอบประสิทธิภาพ.....	57
4.3.2 อุปกรณ์สร้างการเคลื่อนที่.....	58
4.3.2.1 การวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนที่.....	58
4.3.2.2 การออกแบบอุปกรณ์สร้างการเคลื่อนที่.....	63
4.3.2.3 โครงสร้างของอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่.....	63
4.3.2.4 ขอบเขตสูงสุดของการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่.....	66
4.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	67
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	70
5.1 Pointing task.....	70
5.1.1 ผลกระทบของการเพิ่มการเคลื่อนไหวต่อเวลาในการทำงาน.....	73
5.1.2 ผลกระทบของการเพิ่มการเคลื่อนที่ต่อความแม่นยำในการทำงาน.....	75

5.2 Linear steering task.....	77
5.2.1 ผลกระทบของการเพิ่มการเคลื่อนไหวต่อเวลาในการทำงาน.....	81
5.2.2 ผลกระทบของการเพิ่มการเคลื่อนที่ต่อความแม่นยำในการทำงาน.....	84
5.3 Circular steering task.....	85
5.3.1 ผลกระทบของการเพิ่มการเคลื่อนไหวต่อเวลาในการทำงาน.....	89
5.3.2 ผลกระทบของการเพิ่มการเคลื่อนที่ต่อความแม่นยำในการทำงาน.....	91
บทที่ 6 ข้อสรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	93
บทสรุปการวิจัย.....	93
ข้อเสนอแนะในการพัฒนาการวิจัย.....	95
รายการอ้างอิง.....	97
ภาคผนวก.....	100
ภาคผนวก ก. Ergonomics.....	101
ภาคผนวก ข. สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการทำงาน.....	107
เสียง.....	107
การสั่นสะเทือน.....	109
แสง.....	111
อุณหภูมิ.....	114
ภาคผนวก ค. ข้อมูลพื้นฐานทางการแพทย์ที่ควรทราบ.....	115
Passive exercise.....	115
เมตาโบลิซึม.....	115
การหาค่าเมตาโบลิซึม.....	116
ภาคผนวก ง. รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน.....	123
ภาคผนวก จ. ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง.....	126
การทดสอบครั้งที่ 1.....	126
การทดสอบครั้งที่ 2.....	137
ภาคผนวก ฉ. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	165
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	171

ตารางที่ 2-1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขยายขอบเขตของ Fitts' law และ Steering law.....	16
ตารางที่ 2-2 การทดลองเปรียบเทียบอุปกรณ์ควบคุมคอมพิวเตอร์โดยใช้ Fitts' law เป็นมาตรฐาน.....	21
ตารางที่ 2-3 การทดลองเปรียบเทียบอุปกรณ์ต่างๆ โดยใช้ ISO 9241-9 เป็นมาตรฐาน.....	23
ตารางที่ 3-1 ช่วง Index of difficulty ที่ใช้ในการทดสอบของแต่ละงาน.....	27
ตารางที่ 3-2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาต่อความยากของ Pointing task.....	38
ตารางที่ 3-3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาต่อความยากระหว่าง การทำงานปกติ และการใช้อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ สำหรับ Pointing task.....	39
ตารางที่ 3-4 การเปรียบเทียบเวลาต่อความยากที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ สำหรับ Pointing task.....	40
ตารางที่ 3-5 การแบ่งกลุ่ม Homogeneous subsets ตามข้อมูลจากตาราง 3-4.....	41
ตารางที่ 3-6 ร้อยละของความผิดพลาดเฉลี่ยของแต่ละเงื่อนไขการทำงาน สำหรับ Pointing task.....	42
ตารางที่ 3-7 ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำในการทำงานที่ความเร็วใน การเคลื่อนที่ต่างๆ ของ Pointing task.....	43
ตารางที่ 3-8 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาต่อความยากสำหรับ Linear steering task.....	44
ตารางที่ 3-9 การเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาต่อความยากระหว่างการทำงานปกติ และการใช้อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ สำหรับ Linear steering task.....	45
ตารางที่ 3-10 การเปรียบเทียบเวลาต่อความยากที่ความเร็วต่างๆของ Linear steering task.....	46
ตารางที่ 3-11 การแบ่งกลุ่ม Homogeneous subsets ตามข้อมูลจากตาราง 3-10.....	47
ตารางที่ 3-12 ร้อยละของความผิดพลาดเฉลี่ยของแต่ละเงื่อนไขการทำงาน Linear steering task.....	48
ตารางที่ 3-13 ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำในการทำงานที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ.....	49
ตารางที่ 3-14 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาต่อความยาก สำหรับ Circular steering task.....	51

ตารางที่ 3-15 การเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาต่อความยากระหว่างการทำงานปกติ และการใช้อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ สำหรับ circular steering task.....	51
ตารางที่ 3-16 การเปรียบเทียบเวลาต่อความยากที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ สำหรับ Circular steering task.....	52
ตารางที่ 3-17 การแบ่งกลุ่ม Homogeneous subsets ตามข้อมูลจากตาราง 3-16.....	53
ตารางที่ 3-18 ร้อยละของความผิดพลาดเฉลี่ยของแต่ละเงื่อนไขการทำงาน สำหรับ Circular steering task.....	54
ตารางที่ 3-19 ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำในการทำงานที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ.....	55
ตารางที่ 4-1 ค่า index of difficulty ที่ใช้ในการทดสอบแต่ละงาน.....	57
ตารางที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์อ้างอิงกับความเร็วในการแกว่งขา.....	68
ตารางที่ 4-3 ลำดับการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการทดสอบ.....	68
ตารางที่ 5-1 ค่าเฉลี่ยของเวลาต่อความยากสำหรับ Pointing task.....	71
ตารางที่ 5-2 ค่าเฉลี่ยของการทำงานไม่สำเร็จคิดเป็นสัดส่วน สำหรับ Pointing task.....	72
ตารางที่ 5-3 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการทำงานปกติและ การใช้อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ สำหรับ Pointing task	73
ตารางที่ 5-4 การเปรียบเทียบเวลาต่อความยากที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ ด้วยวิธีการ Scheffe สำหรับ Pointing task.....	74
ตารางที่ 5-5 Homogeneous subsets ของเวลาต่อความยากสำหรับงาน Pointing task.....	75
ตารางที่ 5-6 การเปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการทำงานไม่สำเร็จที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ ต่างๆ สำหรับ Pointing task.....	76
ตารางที่ 5-7 Homogeneous subset ของสัดส่วนการทำงานไม่สำเร็จ สำหรับ Pointing task.....	76
ตารางที่ 5-8 ค่าเฉลี่ยของเวลาต่อความยากสำหรับ Linear steering task.....	78
ตารางที่ 5-9 ค่าเฉลี่ยของการทำงานไม่สำเร็จคิดเป็นสัดส่วน สำหรับ Linear steering task.....	79
ตารางที่ 5-10 การเปรียบเทียบเวลาต่อความยากระหว่างการเคลื่อนที่ในทิศทางต่างๆ.....	81
ตารางที่ 5-11 การจัดกลุ่ม Homogeneous subsets ของเวลาต่อความยากสำหรับ การเคลื่อนที่ทิศทางต่างๆ.....	81

ตารางที่ 5-12 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการทำงานปกติและการใช้	
อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ สำหรับ Linear steering task	82
ตารางที่ 5-13 การเปรียบเทียบเวลาต่อความยากที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆด้วย	
วิธีการ Scheffe สำหรับ Linear steering task.....	83
ตารางที่ 5-14 Homogeneous subsets ของเวลาต่อความยากสำหรับ Linear steering task.....	83
ตารางที่ 5-15 การเปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการทำงานไม่สำเร็จที่ความเร็วในการเคลื่อนที่	
ต่างๆ สำหรับ Linear steering task.....	84
ตาราง ที่ 5-16 Homogeneous subset ของสัดส่วนการทำงานไม่สำเร็จ	
สำหรับ Linear steering task.....	85
ตารางที่ 5-17 ค่าเฉลี่ยของเวลาต่อความยากสำหรับ Circular steering task.....	86
ตารางที่ 5-18 ค่าเฉลี่ยของการทำงานไม่สำเร็จคิดเป็นสัดส่วน สำหรับ Circular steering task...	87
ตารางที่ 5-19 การเปรียบเทียบการใช้เวลาในการทำงานสำหรับการเคลื่อนที่	
ทวนเข็มและตามเข็มนาฬิกา.....	89
ตารางที่ 5-20 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการทำงานปกติและการใช้	
อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ สำหรับ Circular steering task	89
ตารางที่ 5-21 การเปรียบเทียบเวลาต่อความยากที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆด้วย	
วิธีการ Scheffe สำหรับ Circular steer task.....	90
ตารางที่ 5-22 Homogeneous subsets ของเวลาต่อความยากสำหรับ Circular steering task...	91
ตารางที่ 5-23 การเปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการทำงานไม่สำเร็จที่ความเร็วในการเคลื่อนที่	
ต่างๆ สำหรับ Circular steering task.....	92
ตาราง ที่ 5-24 Homogeneous subset ของสัดส่วนการทำงานไม่สำเร็จ	
สำหรับ Circular steering task.....	92
ตารางที่ ก-1 มิติขนาดต่างๆของร่างกายของทหารอเมริกัน (cm).....	104
ตารางที่ ข-1 เส้นคำแนะนำในการใช้เส้นโค้ง PNC.....	108
ตารางที่ ข-2 ค่าความเข้มของแสงที่เหมาะสมต่องานประเภทต่างๆ (แกรนด์จิ้น).....	113
ตารางที่ ค-1 ค่าพลังงานของสารอาหาร 3 ประเภท.....	117
ตารางที่ ค-2 อัตราการใช้พลังงานของกิจกรรมต่างๆมีหน่วยเป็น kcal/min.....	119
ตารางที่ ค-3 อัตราการใช้พลังงานของกิจกรรมต่างๆมีหน่วยเป็น MET	121

สารบัญภาพ

จ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2-1 ลักษณะเงื่อนไขของ Fitts' law	8
รูปที่ 2-2 การทดลองของ Fitts	8
รูปที่ 2-3 การทดลองวิ่งผ่านเป้าหมายของ Zhai	10
รูปที่ 2-4 การเคลื่อนที่ผ่านขอบเขตต่อเนื่องของ Zhai	11
รูปที่ 2-5 การทดสอบแบบ general tracking ของ S. Zhai	11
รูปที่ 2-6 ลักษณะเปรียบเทียบการ scaling โดยเมื่อ $s=4$, $W=60$ และ $A=250$ งานที่จะทำให้มีความกว้าง 5 mm และระยะทางเป็น 14.8 mm	12
รูปที่ 2-7 ลักษณะการเคลื่อนที่ tracking แบบ เส้นตรง และ เส้นโค้ง	13
รูปที่ 2-8 การทดสอบ Fitts' law ใน 2 มิติของ Mackenzie	14
รูปที่ 2-9 การ tracking ด้วยมุมมองที่ขยายด้วย fish eye ของ Guiard	15
รูปที่ 2-10 Driving simulation ของ zhai	15
รูปที่ 2-11 อุปกรณ์ทดสอบแบบ HRH ของ Reed	16
รูปที่ 2-12 งานแบบ steering + targeting ของ Dennerlein และ Kulikov	16
รูปที่ 2-13 การจำลองการส่งของด้วยอุปกรณ์ haptic ของ sallnass & zhai	18
รูปที่ 2-14 อุปกรณ์ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานใน 1 มิติของ Millman	19
รูปที่ 2-15 force feed back mouse และลักษณะ force feedback ที่เกิดขึ้นในการทดลองของ Dennerlien	19
รูปที่ 2-16 ลักษณะ multidirectional task ที่บรรยายไว้ในมาตรฐาน ISO9241-9	20
รูปที่ 3-1 ลักษณะการทดสอบในงานวิจัยนี้.....	25
รูปที่ 3-2 คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	26
รูปที่ 3-3 หน้าต่างหลักของโปรแกรมทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน.....	27
รูปที่ 3-4 หน้าต่างการทดสอบ Pointing task.....	28
รูปที่ 3-5 หน้าต่างการทดสอบการเคลื่อนที่ตามเส้นตรง.....	29
รูปที่ 3-6 Linear steering task ที่ระดับความยากต่างๆ.....	30
รูปที่ 3-7 หน้าต่างการทดสอบการเคลื่อนที่ตามเส้นโค้งรัศมีคงที่.....	31
รูปที่ 3-8 Circular steering task ที่ระดับความยากต่างๆ.....	31
รูปที่ 3-9 ขอบเขตการเคลื่อนที่ของข้อเท้าในขณะที่นั่ง ที่ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ต่างๆ.....	32
รูปที่ 3-10 การจำลองการนั่งปั่นจักรยานของคนที่มีร่างกายตามขนาดเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5.....	33

รูปที่ 3-11 อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่สำหรับการทดสอบเบื้องต้น.....	34
รูปที่ 3-12 การทดสอบเบื้องต้น.....	34
รูปที่ 3-13 การเปรียบเทียบเวลาต่อความยากในการทำงาน Pointing task ระหว่างการทำงานตามปกติ และเมื่อใช้งานเครื่องควบคุมการเคลื่อนที่	38
รูปที่ 3-14 ค่าเวลาต่อความยากที่ระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ สำหรับ Pointing task.....	39
รูปที่ 3-15 การเปรียบเทียบความแม่นยำในการทำงาน Pointing task ที่ระดับการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่หวาดต่างๆ.....	43
รูปที่ 3-16 ค่าเวลาต่อความยากที่ระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ ของ Linear steering task.....	45
รูปที่ 3-17 การเปรียบเทียบความแม่นยำในการทดลองที่ระดับการเพิ่มความเร็ว ในการเคลื่อนที่หวาดแตกต่างกัน.....	49
รูปที่ 3-18 การเปรียบเทียบเวลาต่อความยากในการทำงาน Circular steering task ระหว่างการทำงานตามปกติ และเมื่อใช้งานเครื่องควบคุมการเคลื่อนที่	50
รูปที่ 3-19 ค่าเวลาต่อความยากที่ระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ ของ Circular steering task.....	52
รูปที่ 3-20 การเปรียบเทียบความแม่นยำในการทดลองที่ระดับการเพิ่มความเร็ว ในการเคลื่อนที่หวาดแตกต่างกัน.....	55
รูปที่ 4-1 Linear steering task และ Circular steering task ที่ใช้ในการทดสอบ.....	58
รูปที่ 4-2 การเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นเป็นวงกลมเทียบกับ ระยะการเคลื่อนที่ของข้อเท้า คนที่นั่งอยู่ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5	58
รูปที่ 4-3 ความสูงของหัวเข่าที่ถูกยกขึ้นสำหรับการเคลื่อนที่แบบปั่นจักรยานเป็นวงกลม.....	59
รูปที่ 4-4 การเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นเป็นวงรีเทียบกับระยะการเคลื่อนที่ของข้อเท้า คนที่นั่งอยู่ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5	59
รูปที่ 4-5 ความสูงของหัวเข่าที่ถูกยกขึ้นสำหรับการเคลื่อนที่เท้าเป็นวงรี.....	60
รูปที่ 4-6 กลไกที่สามารถสร้างการเคลื่อนที่เป็นรูปวงรีได้	60
รูปที่ 4-7 กลไกควบคุมการเคลื่อนที่ที่อ้างอิงกลไกของบราวน์.....	60
รูปที่ 4-8 การเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นเป็นเส้นโค้งเปรียบเทียบกับระยะการเคลื่อนที่ของ	

ข้อเท้าคนที่นั่งอยู่ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5	61
รูปที่ 4-9 ความสูงของหัวเข่าที่ถูกยกขึ้นสำหรับการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง	61
รูปที่ 4-10 การเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นเป็นเส้นตรงเปรียบเทียบกับระยะเวลาเคลื่อนที่ของ ข้อเท้าคนที่นั่งอยู่ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5	62
รูปที่ 4-11 ความสูงของหัวเข่าที่ถูกยกขึ้นสำหรับการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง	62
รูปที่ 4-12 กลไกสร้างการเคลื่อนที่ไปกลับทั้ง 3 ประเภท	63
รูปที่ 4-13 กลไกการสร้างการเคลื่อนที่ไปกลับ.....	64
รูปที่ 4-14 กลไกการสร้างการเคลื่อนที่กลับทิศ.....	64
รูปที่ 4-15 ภาพรวมของกลไกของอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่.....	65
รูปที่ 4-16 อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ซึ่งผ่านการเสริมความแข็งแรงแล้ว.....	65
รูปที่ 4-17 อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ที่ได้สร้างจริง.....	66
รูปที่ 4-18 ความเร่งของกลไก crank slide ที่ใช้ในอุปกรณ์เมื่อควบคุมความเร็ว ของอุปกรณ์ที่ 60 รอบต่อนาที	67
รูปที่ 4-19 ลักษณะการทดสอบ.....	68
รูปที่ 5-1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาต่อความยากที่เงื่อนไขการทำงาน ต่างกัน สำหรับ Pointing task.....	71
รูปที่ 5-2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสัดส่วนการทำงานผิดพลาดที่เงื่อนไข การทำงานต่างกัน สำหรับ Pointing task.....	72
รูปที่ 5-3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาต่อความยากที่เงื่อนไขการทำงาน ต่างกัน สำหรับ Linear steering, task.....	78
รูปที่ 5-4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสัดส่วนการทำงานผิดพลาดที่เงื่อนไข การทำงานต่างกัน สำหรับ Linear steering task.....	79
รูปที่ 5-5 เวลาต่อความยากที่ใช้ในการเคลื่อนที่ตามทิศทางต่างๆ ที่ระดับความยากต่างๆ.....	80
รูปที่ 5-6 เวลาต่อความยากที่ใช้ในการเคลื่อนที่ตามทิศทางต่างๆ ที่ ระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ.....	80
รูปที่ 5-7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาต่อความยากที่เงื่อนไขการทำงาน ต่างกัน สำหรับ Circular steering task.....	86

รูปที่ 5-8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสัดส่วนการทำงานผิดพลาดที่เงื่อนไขการทำงานต่างกัน สำหรับ Circular steering task.....	87
รูปที่ 5-9 เวลาต่อความยากที่ใช้ในการเคลื่อนที่ตามทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกาที่ระดับความยากต่างๆ.....	88
รูปที่ 5-10 เวลาต่อความยากที่ใช้ในการเคลื่อนที่ตามทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกาที่ระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ.....	88
รูปที่ ก-1 ทำทางการยื่นมาตรฐานของกายวิภาคศาสตร์.....	101
รูปที่ ก-2 ชิดจำกัดการเคลื่อนที่ของมนุษย์ในอริยาบถต่างๆ ค่าบนเป็นค่าที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ค่ากลางเป็นค่าเฉลี่ย ค่าล่างเป็นค่าที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 หน่วยเป็น องศา....	102
รูปที่ ก-3 มิติขนาดต่างๆของร่างกายในท่ายืนและท่านั่ง.....	103
รูปที่ ก-4 พื้นที่ทำงานที่เกิดจากการกวาดมือตามแนวคิดของริชาร์ด อาร์ ฟาเลย์.....	105
รูปที่ ก-5 ตัวอย่างการออกแบบความสูงของพื้นที่ทำงานที่เหมาะสม.....	105
รูปที่ ก-6 ผลของการออกแบบความสูงของพื้นที่ทำงานไม่เหมาะสม.....	106
รูปที่ ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงพูดคุยกับระยะห่างระหว่างผู้พูดและผู้ฟังในสภาวะเสียงดังต่างๆ.....	107
รูปที่ ข-2 เส้นกราฟโค้งมาตรฐานที่ใช้ประเมินเสียงรบกวนในอาคาร (PNC).....	108
รูปที่ ข-3 การตอบสนองทางกลของมนุษย์ต่อการสั่นสะเทือนแนวตั้ง.....	109
รูปที่ ข-4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่ง ความถี่ และความรู้สึกของผู้รับการสั่นสะเทือน.....	110
รูปที่ ข-5 เวลาสูงสุดที่มนุษย์จะรับการสั่นสะเทือนได้ก่อนที่จะเกิดความล้า.....	110
รูปที่ ข-6 ประสิทธิภาพการทำงานที่ความสว่างระดับต่างๆ.....	109
รูปที่ ข-7 ผลของการเพิ่มระดับแสงสว่างต่อการเพิ่มผลผลิต และการลดการสูญเสีย.....	111
รูปที่ ข-8 ประสิทธิภาพการมองที่ระดับแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ.....	112
รูปที่ ข-9 พื้นที่ทำให้ผู้ปฏิบัติงานในสภาพแวดล้อมรู้สึกสบาย.....	114
รูปที่ ค-1 ตัวอย่างห้องทดลองเพื่อวัดอัตราการใช้พลังงานโดยวิธีตรง.....	117
รูปที่ ค-2 การวัดอัตราการ เมตาโบลิซึม โดยวัดค่า O2 consumption.....	118
รูปที่ ง-1 มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน Parker IBE232F.....	123
รูปที่ ง-2 มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน Parker N0343FE.....	124
รูปที่ ง-3 ที่ครอบหูกันเสียง.....	124

รูปที่ ง-4 Servo amp Parker GV6.....	125
รูปที่ ฉ.1 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน pointing task ของผู้ทดสอบคนที่ 1.....	126
รูปที่ ฉ.2 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน pointing task ของผู้ทดสอบคนที่ 2.....	126
รูปที่ ฉ.3 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน pointing task ของผู้ทดสอบคนที่ 3.....	127
รูปที่ ฉ.4 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน pointing task ของผู้ทดสอบคนที่ 4.....	127
รูปที่ ฉ.5 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน pointing task ของผู้ทดสอบคนที่ 5.....	127
รูปที่ ฉ.6 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน linear steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 1.....	128
รูปที่ ฉ.7 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน linear steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 2.....	128
รูปที่ ฉ.8 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน linear steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 3.....	128
รูปที่ ฉ.9 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน linear steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 4.....	129
รูปที่ ฉ.10 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน linear steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 5.....	129
รูปที่ ฉ.11 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 1.....	129
รูปที่ ฉ.12 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 2.....	130
รูปที่ ฉ.13 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 3.....	130

รูปที่ จ.84 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน
 Circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 6.....162

รูปที่ จ.85 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน
 Circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 7.....162

รูปที่ จ.86 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน
 Circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 8.....163

รูปที่ จ.87 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน
 Circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 9.....163

รูปที่ จ.88 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน
 Circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 10.....163

รูปที่ จ.89 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน
 Circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 11.....164

รูปที่ จ.90 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน
 Circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 12.....164

นิยามคำสำคัญ

- Pointing task หมายถึง งานที่ผู้ทำงานจะต้องใช้มือเคลื่อนย้ายสิ่งของหรืออุปกรณ์จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง โดยที่ตำแหน่งสุดท้ายจะห่างจากเป้าหมายไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ เช่น การเคลื่อนย้ายสิ่งของ การเลื่อนเมาส์เพื่อคลิกลงบนปุ่ม เป็นต้น
- Steering task หมายถึง งานที่ผู้ทำงานจะต้องใช้มือจับอุปกรณ์เคลื่อนไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้ โดยระหว่างการเคลื่อนที่ อุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องอยู่ในขอบเขตที่ได้กำหนดเอาไว้ เช่น การลากเส้นตามเส้นไขว้ปลา เป็นต้น
- ANOVA ย่อมาจาก Analysis of variance มีชื่อไทยว่าการวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นวิธีการทางสถิติในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยวิธีหนึ่งโดยพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มข้อมูล ใช้สำหรับเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากตัวแปรต้นที่มีจำนวนมากกว่าสองค่า เช่น การเปรียบเทียบผลผลิตที่เกิดขึ้นจากการใช้ปุ๋ยต่างชนิดกัน คือ ปุ๋ย ก, ปุ๋ย ข, ปุ๋ย ค และ ปุ๋ย ง เป็นต้น
- Sig. ย่อมาจาก significant เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงในตารางที่ได้จากการวิเคราะห์ ANOVA หรือบางครั้งเราใช้คำว่า p-value ค่า significant นี้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยค่านี้จะแสดงถึงระดับความมั่นใจ (α) ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลสองกลุ่ม โดยปกติแล้วการจะกำหนดระดับความมั่นใจ (α) ไว้อย่างน้อย 95 เปอร์เซ็นต์ ค่า significant นี้มีค่าเท่ากับ $1 - \alpha/100$ ซึ่งหมายความว่าค่าข้อมูลทั้งสองจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อ $sig \leq 0.05$

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่มนุษย์พัฒนาขึ้นได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ปัจจุบัน ความก้าวหน้าดังกล่าวสร้างความสะดวกสบาย ทำให้มนุษย์สามารถทำงานได้ยาวนาน และต่อเนื่องมากขึ้น นอกจากนี้ ยังทำให้ลักษณะการทำงานบางประเภทเปลี่ยนแปลงไปด้วย จากเดิมที่ต้องทำงานร่วมกับเครื่องจักร ปัจจุบันมนุษย์สามารถเฝ้าดูการทำงานของเครื่องจักรจากห้องควบคุมได้ การนั่งทำงานต่อเนื่อง จึงกลายเป็นสิ่งจำเป็นที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ แม้แต่ในด้านการบันเทิง ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีชักนำให้คนจำนวนมาก ใช้เวลาแสวงหาความบันเทิงอยู่หน้าจอคอมพิวเตอร์เป็นเวลานานๆ การนั่งทำงานคอมพิวเตอร์เป็นเวลานานดังกล่าวอาจก่อให้เกิดผลเสียแก่ร่างกายในระยะยาว ผลกระทบดังกล่าวสามารถก่อให้เกิดความผิดปกติกับหลายๆส่วนของร่างกายตั้งแต่ คอ ไหล่ แขน ข้อมือ นิ้ว และขา ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการนั่งทำงานในอิริยาบถที่ผิด การทำงานในอิริยาบถเดิมซ้ำๆกัน และการไหลเวียนของโลหิตที่ต่ำ เนื่องจากการเคลื่อนไหวน้อย อาการผิดปกติเหล่านี้เช่น โรค Repetitive strain injury (RSI) เป็นต้น มีงานวิจัยจำนวนมาก ที่ศึกษาถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากการทำงานในลักษณะนี้ ในประเทศไทยแม้ว่าโรคนี้จะไม่เป็นที่รู้จักกันมากนัก แต่มีแนวโน้มว่าจะมีคนเป็นโรคนี้มากขึ้น เนื่องจากลักษณะการทำงานที่เพิ่มความเสี่ยงให้กับการเกิดโรคเหล่านี้ อย่างไรก็ตาม ได้มีการศึกษาถึงวิธีการแก้ไข และบรรเทาอาการที่เกิดขึ้นจากการทำงานดังกล่าว มีการแนะนำให้บุคคลเหล่านั้นเปลี่ยนอิริยาบถการทำงาน และจัดสถานที่ในการทำงานใหม่ นอกจากนี้ยังมีการออกแบบอุปกรณ์ตามหลักการ ergonomic เพื่อให้มนุษย์สามารถนั่งทำงานได้อย่างเหมาะสมกับสรีระด้วย การเปลี่ยนอิริยาบถระหว่างการทำงานเป็นวิธีการที่ดีแต่จำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือจากผู้ทำงานด้วย ในขณะที่การใช้งานอุปกรณ์ที่ออกแบบตามหลัก ergonomic สามารถบรรเทาและชะลออาการบาดเจ็บได้ แต่อุปกรณ์เหล่านี้มีราคาสูงและหาได้ยาก โดยเฉพาะในประเทศไทย

งานวิจัยนี้เกิดจากการมีแนวคิดใหม่ในการบรรเทาปัญหาดังกล่าวข้างต้น แนวคิดดังกล่าว คือ การเพิ่มการเคลื่อนไหวให้กับร่างกายส่วนล่างของบุคคลในระหว่างที่ทำงาน การเคลื่อนไหวที่ร่างกายส่วนล่างจะทำให้บุคคลนั้นยังคงทำงานได้ตามปกติ ในขณะที่เดียวกันจะช่วยเพิ่มการไหลเวียนโลหิต และการใช้พลังงานของบุคคลนั้น งานวิจัยนี้ คาดหวังว่าจะสามารถพัฒนาอุปกรณ์เพื่อสนับสนุนแนวคิดดังกล่าวให้เป็นจริงขึ้นมาได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลกระทบของการเพิ่มการเคลื่อนไหวให้กับร่างกายที่ระดับความเร็วต่างๆต่อประสิทธิภาพการทำงานของมนุษย์
2. เพื่อศึกษามาตรฐานในการประเมินประสิทธิภาพการทำงาน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. หาผลกระทบของการเคลื่อนที่ซึ่งเพิ่มขึ้นต่อประสิทธิภาพการทำงานในการนั่งทำงานในสำนักงานบนโต๊ะ
2. พิจารณาช่วงการเคลื่อนที่ซึ่งปลอดภัยต่อร่างกายมนุษย์ขณะที่นั่งทำงาน
3. ออกแบบและสร้าง อุปกรณ์เพื่อทำการทดสอบสมรรถภาพการทำงาน และสร้างการเคลื่อนไหวให้กับร่างกายส่วนล่าง

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาวิธีการประเมินประสิทธิภาพการทำงานภายใต้เงื่อนไขต่างๆสำหรับงานในสำนักงานที่ใช้การเคลื่อนไหวร่างกาย จากงานวิจัยที่ผ่านมา
2. ศึกษาลักษณะการทำงานของมนุษย์ อิริยาบถต่างๆ ลักษณะการนั่งและการเคลื่อนไหว รวมไปถึงสภาพแวดล้อมในการทำงาน
3. ออกแบบแบบทดสอบที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการทำงาน
4. ออกแบบอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกาย
5. ทดสอบเบื้องต้นเพื่อศึกษาแบบทดสอบและอุปกรณ์ที่ออกแบบไว้
6. สร้างอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่
7. ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของมนุษย์ภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันตามที่กำหนด
8. สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนไหวของร่างกายส่วนล่างที่เพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพการทำงานที่เปลี่ยนแปลงไป
2. แสดงความเป็นไปได้ในการเพิ่มการเคลื่อนไหวให้แก่ร่างกายขณะทำงาน
3. ทำให้เกิดแนวทางในการแก้ปัญหาการนั่งทำงานเป็นเวลานาน
4. รวบรวมมาตรฐานในการประเมินประสิทธิภาพการทำงาน
5. เป็นข้อมูลพื้นฐานในการก่อให้เกิดเคลื่อนไหวขณะที่นั่งทำงาน



ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การนั่งทำงานติดต่อกันเป็นเวลานาน

ในสภาวะปัจจุบันที่เทคโนโลยีมีการพัฒนาไปมากขึ้น ทำให้รูปแบบการทำงานในหลายแห่งเปลี่ยนแปลงไป ผู้ที่ดั่งนั่งทำงานต่อเนื่องมีเพิ่มมากขึ้น จากเดิมการนั่งทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ จะเกิดขึ้นกับงานบางประเภทเช่น การทำเอกสาร การเขียนโปรแกรม แต่ในปัจจุบันแม้แต่การควบคุมเครื่องจักร ซึ่งจากเดิมจำเป็นต้องยืนและเดิน ก็สามารถที่จะนั่งอยู่กับที่และควบคุมการทำงานได้ การทำงานกับเครื่องจักรสมัยใหม่ จะเปลี่ยนจากทำงานร่วมกับเครื่องจักรมาเป็น การเฝ้าระวังการทำงานของเครื่องจักร ดังนั้นการนั่งทำงานนานๆ จึงกลายเป็นสิ่งจำเป็นและหลีกเลี่ยงไม่ได้ นอกจากกลุ่มบุคคลที่มีความจำเป็นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีบุคคลอีกกลุ่มหนึ่งที่สมัครใจจะนั่งอยู่กับที่ต่อเนื่องเป็นเวลานาน ซึ่งบุคคลกลุ่มดังกล่าวได้แก่ผู้ใช้คอมพิวเตอร์เพื่อความบันเทิง เช่น ใช้เล่นเกมคอมพิวเตอร์ คนกลุ่มนี้มีอุปนิสัยในการใช้คอมพิวเตอร์ต่อเนื่องกันอย่างน้อยสองชั่วโมงขึ้นไป จำนวนคนในกลุ่มนี้มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน บุคคลทั้งสองกลุ่มนี้มีความเสี่ยงที่จะเกิดความผิดปกติจากการนั่งทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานาน เพราะในปัจจุบันมีงานวิจัยหลายเรื่องที่ระบุว่าการทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานานจะก่อให้เกิดผลเสียหลายอย่างแก่ร่างกาย ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและสรุปส่วนหนึ่งของงานวิจัยดังกล่าวไว้ ณ.ที่นี้

2.1.1 ผลเสียจากการนั่งติดต่อกันเป็นเวลานาน

สาเหตุที่การนั่งติดต่อกันนานๆ เป็นปัญหาต่อสุขภาพเนื่องมาจากว่า การนั่งอยู่ในอิริยาบถเดิมติดต่อกันเป็นเวลานานทำให้กล้ามเนื้อซูดเดิมต้องออกแรงบังคับให้ร่างกายอยู่นิ่งกับที่ ทำให้ร่างกายเกิดอาการล้า นอกจากนั้นการเคลื่อนไหวร่างกายที่จำกัดทำให้ร่างกายต้องการโลหิตน้อยลง การเต้นของหัวใจและการไหลเวียนโลหิตจึงอยู่ในระดับที่ต่ำ ทำให้โลหิตไปหล่อเลี้ยงกล้ามเนื้อไม่เพียงพอ ปัจจัยดังกล่าวเร่งให้กล้ามเนื้อมีอาการล้ามากขึ้น ต่อมาการไหลเวียนโลหิตที่ต่ำทำให้โลหิตคั่งค้างอยู่ที่บริเวณขา มีการสะสมของเกลือแคลเซียมและโปรตีน (Kazuaki Y. และคณะ, 2005) ความดันและความหนืดของโลหิตจะเพิ่มขึ้น (Masahito H. และคณะ, 2000) เนื่องจากว่าขาจะอยู่ระดับที่ต่ำกว่าร่างกายตลอดเวลา ความดันที่หมอนรองกระดูกสันหลังเพิ่มขึ้นประมาณ 35 % (Nachemson & Morris, 1964) ยิ่งไปกว่านั้น หากการทำงานดังกล่าวเป็นการใช้งานคอมพิวเตอร์แล้ว สายตาของผู้ที่ทำงานจะจับจ้องอยู่กับแสงสว่างเป็นเวลานาน ทำให้ดวงตาเกิดอาการล้าได้ หากบุคคลที่นั่งทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานานนั้นยังมีกิจวัตรดังกล่าวต่อเนื่อง เป็นเดือน เป็นปี จะเป็นสาเหตุให้เกิดโรคต่างๆตามมา ได้แก่ Repetitive strain injury (RSI), Cumulative trauma

disorder (CTD), Carpal tunnel syndrome (CTS), muscle imbalance รวมไปถึง Computer vision syndrome (CVS) และ Sick building syndrome เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ จะกล่าวถึง รายละเอียดโดยสังเขปเฉพาะ RSI เพื่อเป็นตัวอย่างสำหรับโรคต่างๆ ที่เกิดขึ้น

Clay Scott, 2005 ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ RSI และทำการเผยแพร่ความรู้ดังกล่าว ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ Repetitive strain injury (RSI) เป็นอาการที่เกิดจากนั่งทำงานอยู่หน้าเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นเวลานานๆ โดยเป็นอาการบาดเจ็บของ กล้ามเนื้อ เส้นเอ็น และระบบประสาท ที่บริเวณ นิ้วมือ มือ แขน ไหล่ และคอ สาเหตุหลักของโรคนี้นี้มี 3 ประการคือ ท่าทางการทำงานไม่ดี วิธีการทำงานไม่ดี และ ทำงานมากเกินไป ผู้ที่มีโอกาสเป็นโรคนี้นี้จะมีอาการเจ็บที่ร่างกายส่วนบน และอาจมีอาการต่อไปนี้

- มีอาการเมื่อยล้า และเหนื่อยง่าย
- มือและแขนไม่มีแรง
- ชุ่มซำมทำของหล่น
- รู้สึกมือหนักๆ มีอาการชา
- ควบคุมตำแหน่งลำบาก
- มือเย็น
- นวดตัวเองบ่อยๆ โดยไม่รู้ตัว

หากมีอาการของโรค RSI ที่รุนแรงจะขัดขวางการดำเนินกิจวัตรประจำวัน เช่น การเปิดประตู ริดผ้า ทำอาหาร ขับรถ พิมพ์ดีด เขียนหนังสือ เป็นต้น RSI ใช้เวลาเป็นเดือนหรือเป็นปีก่อนที่จะแสดงอาการแต่ว่าการรักษาต้องใช้เวลาอย่างน้อยสองเท่า

2.1.2 การป้องกันและการแก้ไข

ถึงแม้ว่าโรคดังกล่าวข้างต้นจะเสียเวลา และค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก ในการรักษา โรคดังกล่าวมีวิธีป้องกันและบรรเทาได้ วิธีการที่จะป้องกันความเสี่ยงที่จะเกิดโรคเหล่านี้ สามารถปฏิบัติได้ด้วยตนเอง ได้แก่

- หลีกเลี่ยงการทำงานต่อเนื่องกันเป็นเวลานานๆ มีการเปลี่ยนอิริยาบถทุกๆ สองชั่วโมงโดยประมาณ
- นั่งทำงานในท่าทางที่เหมาะสม
- ออกกำลังกายสม่ำเสมอ
- ใช้คอมพิวเตอร์เท่าที่จำเป็น

วิธีการที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการสร้างลักษณะนิสัยการทำงานให้เหมาะสม ซึ่งจะช่วยป้องกันและบรรเทาอาการผิดปกติต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการทำงานได้ นอกจากนี้ ได้มีนักวิจัยหลายกลุ่มทำการศึกษาและคิดค้นอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อบรรเทาอาการผิดปกติจากการทำงาน ได้แก่ การออกแบบเก้าอี้ตามหลักการ ergonomic เพื่อให้สามารถนั่งทำงานได้อย่างเหมาะสมกับสรีระ การกระตุ้นด้วยวิธีการ หมุนเก้าอี้เป็นมุมเล็กๆ ไปกลับ ด้วยความถี่ต่ำ เพื่อลดปัญหาปวดหลังจากการนั่งนาน ๆ (Leo L. และคณะ, 1999) การออกแบบที่นั่งพิเศษที่จะช่วยเพิ่มอัตราการไหลเวียนของโลหิต และลดการสะสมของเลือดที่ขา (Shvartz E. และคณะ, 1982) เป็นต้น

2.2 มาตรฐานการประเมินประสิทธิภาพการทำงาน

การศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของมนุษย์เป็นศาสตร์ที่ได้รับการศึกษามานานหลายปีแล้ว และมีการศึกษาในหลายแง่มุม ได้แก่

- ด้านสมาธิ เช่น digit cancellation task (Anderson, 1994, Frewer และ Lader, 1991)
- ด้านความจำ เช่น การจดจำตัวเลขสองตำแหน่ง 22 ชุดในเวลา 1 นาที (Baraclough และ Fareman, 1994, Smith และคณะ, 1994)
- ด้านการเคลื่อนไหว เช่น การตัดสินใจเลือกวัตถุ (Hick, 1952) การเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง (Fitts, 1954) การเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนด (Zhai, 1997)
- ด้านอื่นๆ เช่น Psychomotor test battery ซึ่งเป็นการทดสอบเวลาตอบสนองของการเลือก 5 ตัวเลือก (Hindmarch และ Parrott, 1978, Smith, 1999) การทดสอบด้วย Multi-Attribute Test battery (MAT) ซึ่งถูกออกแบบโดยองค์การนาซ่า (Michelle และ Celestine, 1996)

ในบรรดาวิธีการประเมินประสิทธิภาพดังกล่าวข้างต้น การประเมินประสิทธิภาพการทำงานที่นิยมมาก และเป็นวิธีการที่เป็นมาตรฐานมากที่สุดวิธีการหนึ่งคือ การประเมินการเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง และการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนด การทำงานทั้งสองอย่างถือได้ว่า เป็นงานพื้นฐานสำหรับการใช้งานคอมพิวเตอร์ ที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง มาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพการทำงานดังกล่าวได้มีการศึกษา และสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความยากของงานกับระยะเวลาในการทำงาน หลังจากที่ได้มีการคิดค้นขึ้น มาตรฐานเหล่านี้ได้ถูกอ้างอิงในการวิจัยต่างๆ มากมาย ได้แก่ การเปรียบเทียบการทำงานร่วมกับมนุษย์ของอุปกรณ์ต่างๆ และการหาผลกระทบของการเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมต่อการทำงาน เป็นต้น ความสัมพันธ์ระหว่าง

ความยากง่ายของงานทั้งสอง คือ งานย้ายตำแหน่งและงานติดตามการเคลื่อนที่ได้ถูกพัฒนาจนกลายเป็นกฎของความสัมพันธ์ กฎดังกล่าวได้แก่ Fitts' law และ Steering law ก่อนที่จะกล่าวถึงกฎทั้งสองจะขอกล่าวถึงกฎความสัมพันธ์อีกกฎหนึ่งก่อนเพื่อเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจความสัมพันธ์ทั้งสองต่อไป

2.2.1 Hick's law or Hick-Hyman law (W.E.Hick ,1952, R.Hyman, 1953)

Hick's law เป็นกฎที่ใช้กับการตัดสินใจเลือกวัตถุ Hick ได้ทำการสรุปว่า เวลาที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกสิ่งๆที่เหมือนกัน เช่น ปุ่มหนึ่งปุ่มจากหลายๆปุ่ม เป็นสัดส่วนลอการิทึมฐานสองกับจำนวนสิ่งที่มีให้เลือก (โดยงานที่เข้าหลักเกณฑ์นี้ แต่ละตัวเลือกจะต้องมีลักษณะที่สามารถระบุได้ทันทีว่าใช่หรือไม่ หากแต่ละตัวเลือกจำเป็นต้องมีการอ่านในรายละเอียดก่อนที่จะตัดสินใจได้นั้น จะไม่เข้าหลักเกณฑ์นี้) หลังจากนั้น Card, Moran และ Newell (1983) ได้ทำการปรับปรุงกฎดังกล่าวจนปัจจุบัน สมการของ Hick's law มีลักษณะดังสมการ

$$T = b \log_2(N + 1) \quad (2.1)$$

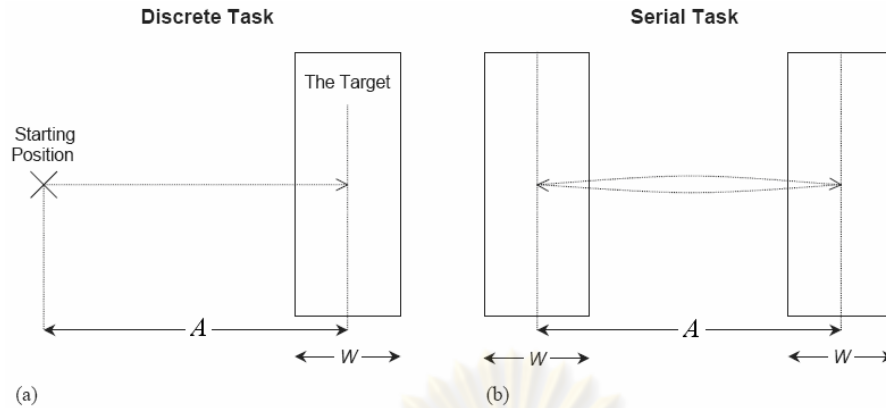
โดย T = เวลาที่ใช้ในการเลือก มีหน่วยเป็นวินาที

N = จำนวนตัวเลือกทั้งหมด

b = ค่าคงที่มีหน่วยเป็นวินาที

2.2.2 Fitts' law (P.M.Fitts, 1954)

Fitts' law เป็นกฎที่ใช้อธิบายการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง Fitts ได้ทำการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ใน 1 มิติ เรียกว่า pointing task หรือ tapping task ได้ทำการแกะแผ่นโลหะ การย้ายเข็ม และการย้ายแหวน ตามรูปที่ 2-3 ซึ่งงานดังกล่าวสามารถสรุปเป็นรูปแบบการทำงานได้ตามรูปที่ 2-2 และหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้กับ เงื่อนไขต่างๆ Fitts ใช้ทฤษฎีข่าวสารของ Shannon (1949) เป็นพื้นฐานในการหาความสัมพันธ์จนสามารถสรุปได้ว่า เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ เป็นฟังก์ชันของระยะทางและความคลาดเคลื่อน โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวมีลักษณะแบบลอการิทึมฐานสอง ดังสมการ



รูปที่ 2-1 ลักษณะเงื่อนไขของ Fitts' law (Mackenzie, 2004)

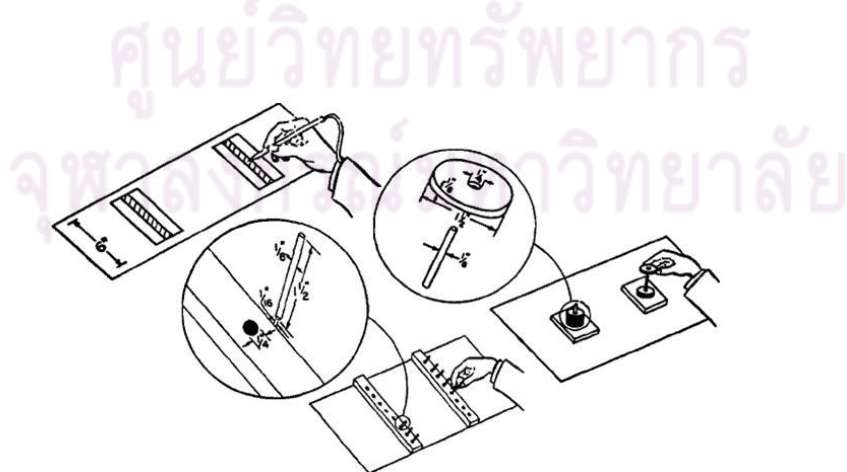
$$ID = -\log_2 \left(\frac{W}{2A} \right) \quad (2.2)$$

โดย ID = index of difficulty ดัชนีชี้วัดความยากของงาน มีหน่วยเป็น บิต
 A = ระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้นกับเป้าหมาย มีหน่วยเป็นเซนติเมตร หรือ ฟิกเซล
 W = ความกว้างของเป้าหมายในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ มีหน่วยเดียวกับ D

และ

$$IP = -\frac{1}{t} \log_2 \left(\frac{W}{2A} \right) \quad (2.3)$$

โดย IP = index of performance เป็นค่าที่ระบุประสิทธิภาพการทำงาน มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที บางงานวิจัยใช้เรียกว่า TP (throughput)
 t = เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็น millisecond



รูปที่ 2-2 การทดลองของ Fitts (1954)

หลังจากนั้นได้มีการปรับปรุงสมการของ Fitts' law เพื่อให้เข้าใจง่ายและมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ และพบว่ารูปแบบที่เหมาะสมในการเขียนสมการคือสมการเชิงเส้นในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้และดัชนีชี้วัดความยากของงานดังสมการ

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

โดยที่ MT = movement time คือเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็นวินาที

ID = index of difficulty

a , b = ค่าคงที่ที่ได้จากการทำ regression มีหน่วยเป็นวินาที

จากนั้นนักวิจัยหลายกลุ่มได้ทำการทดลอง และมีการปรับปรุงค่า index of difficulty เพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลมากขึ้น ค่า ID ที่ปรับปรุงแล้วมีลักษณะดังสมการ

$$ID = \log_2 \left(\frac{A}{W} + 0.5 \right) \quad \text{Welford (1968)} \quad (2.5)$$

$$ID = \log_2 \left(\frac{A}{W} + 1 \right) \quad \text{Mackenzie (1992)} \quad (2.6)$$

สมการ Fitts' law ที่นิยมใช้อ้างอิงมากที่สุดในปัจจุบันคือสมการที่ 2.6 ของ Mackenzie (เรียกว่า Shannon formulation of ID) ด้วยเหตุผลสามประการคือ รูปแบบนี้สามารถอธิบายข้อมูลได้ดีกว่า เป็นรูปแบบเดียวกับทฤษฎีข้อมูลของ Shannon ที่ Fitts ใช้เป็นพื้นฐานในการสร้างดัชนีวัดระดับความยาก และสมการนี้จะป้องกันไม่ให้ค่า index of difficulty มีค่าติดลบ

ดังนั้น สมการ Fitts' law ที่ใช้ในปัจจุบันคือ

$$MT = a + b \log_2 \left(\frac{A}{W} + 1 \right) \quad (2.7)$$

$$IP = \frac{ID}{MT} = \frac{ID}{a + b \times ID} \quad (2.8)$$

หลังจากที่ Fitts' law ได้ถูกคิดค้นขึ้นก็ได้มีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย และได้มีการพัฒนาจนสรุปเป็นข้อเสนอแนะ 7 ข้อในการออกแบบการทดลองด้วย Fitts' law โดย Mackenzie ในปี 2004 ซึ่งมีหลักการดังนี้

- 1) ใช้รูปแบบ index of difficulty ของ Shannon formulation (สมการที่ 2.6)

2) ออกแบบการทดลองให้ช่วงของ ID มีค่ากว้างเพื่อจะได้ครอบคลุมช่วงของการทำงาน และเพื่อความเหมาะสมในการสร้างสมการ และทดลองแต่ละเงื่อนไขประมาณ 15-25 ครั้ง

3) วัดการกระจายของตำแหน่งสิ้นสุดการเคลื่อนที่ที่ได้จากการทดลองจริง เพื่อหาความคลาดเคลื่อนของจุดสิ้นสุด

4) พิจารณาการเคลื่อนที่จริงที่ผู้ทดลองกระทำ เพื่อให้สมการมีความแม่นยำมากขึ้น

5) สร้างสมการถดถอยเพื่อพิจารณาความสอดคล้องของข้อมูลกับ Fitts' law

6) การนำผลการทดลองไปคาดการณ์การเคลื่อนที่ ควรเป็นการคาดการณ์ในช่วงที่ทดลอง (interpolation) และความคลาดเคลื่อนที่ได้ประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์

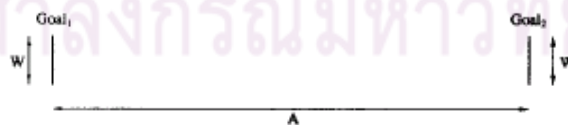
7) หากจุดประสงค์ในการทดสอบ เป็นการเปรียบเทียบระหว่าง สองเงื่อนไขของการทดลอง หรือมากกว่านั้น จะต้องหาค่า Throughput (TP) ของแต่ละผู้ทดสอบ และทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อหา grand throughput ดังสมการ

$$TP = \frac{1}{y} \sum_{i=1}^y \left(\frac{1}{x} \sum_{j=1}^x \frac{IDe_{ij}}{MT_{ij}} \right) \quad (2.9)$$

โดย x แทนจำนวนเงื่อนไขของการเคลื่อนที่ และ y แทน จำนวนของผู้ทดสอบ

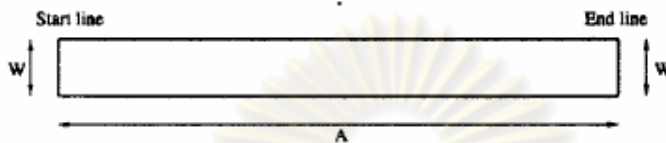
2.2.3 Steering law (S.Zhai, 1997)

Steering law เป็นกฎที่ใช้อธิบายการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งถูกศึกษาโดย Shumin Zhai ในขณะนั้น Zhai ได้ทำการขยายขอบเขตของ Fitts' law โดยนำสมการ Fitts' law ไปใช้กับการทดสอบการเคลื่อนที่ ผ่านจุดเริ่มต้น และเป้าหมายที่มีระยะตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ w และเคลื่อนที่เป็นระยะทาง A ดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 การทดลองวิ่งผ่านเป้าหมายของ Zhai (1997)

จากการทดลอง Zhai สามารถสรุปได้ว่าสมการ $ID = \log_2\left(\frac{A}{W} + 1\right)$ สามารถอธิบายงานประเภทนี้และเวลาที่ใช้ในการทดลองจะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่า ID ตามกฎของ Flitts อีกด้วย จากนั้น Zhai ได้แบ่งช่วงการเคลื่อนที่ออกเป็นช่วงย่อยๆ และใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เปลี่ยนจากการเคลื่อนที่ผ่านขอบเขตที่ไม่ต่อเนื่องมาเป็นขอบเขตที่ต่อเนื่อง ทำให้งานมีลักษณะเปลี่ยนแปลงเป็นรูปที่ 2-4 ค่าดัชนีชี้วัดความยากของงานประเภทนี้คือ $ID = \left(\frac{A}{W}\right)$

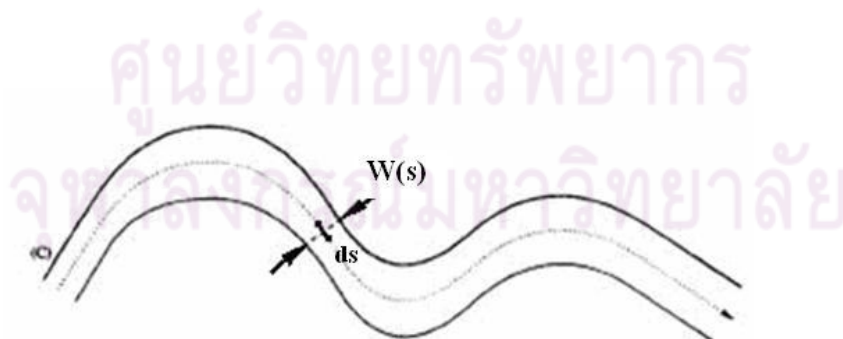


รูปที่ 2-4 การเคลื่อนที่ผ่านขอบเขตต่อเนื่องของ Zhai (1997)

จากนั้น Zhai ได้นำสมการนี้ไปใช้กับเส้นทางการเคลื่อนที่ตามเส้นทางแบบทั่วไป โดยแบ่งการเคลื่อนที่เป็นช่วงเล็กๆ ที่แต่ละช่วงมีดัชนีชี้วัดความยากของงานตามที่ได้พิจารณาไปแล้ว เมื่อทำการอินทิเกรต จะได้สมการเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ โดย Zhai เรียกสมการนี้ว่า steering law

$$ID = \int_0^A \frac{ds}{W(s)} \quad (2.10)$$

โดยที่ ID = index of difficulty
 ds = ระยะสั้นๆ ที่ต้องเคลื่อนที่ตาม
 W(s) = ความกว้างของขอบเขตที่ตั้งฉากกับ ds



รูปที่ 2-5 การทดสอบแบบ general tracking ของ Zhai (1997)

สมการ Steering law สามารถเขียนให้อยู่ในรูป Local form ได้ โดยเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความกว้างของเส้นทาง โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวระบุว่าความเร็วในการเคลื่อนที่จะแปรผันตามความกว้างของขอบเขตในขณะนั้นดังสมการที่ 2.11

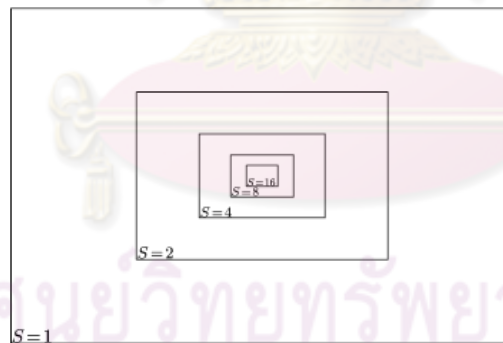
$$v(s) = \frac{W(s)}{\tau} \quad (2.11)$$

$v(s)$ = ความเร็วของการเคลื่อนที่ ที่ตำแหน่ง s ใดๆ

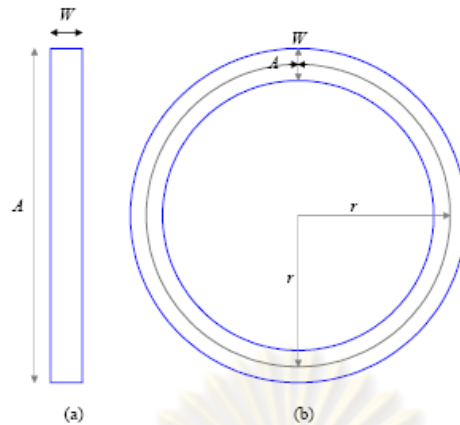
$W(s)$ = ความกว้างของเส้นทางที่ตำแหน่ง s เดียวกัน

τ = ค่าคงที่

ในทางปฏิบัติการทดสอบ tracking นั้นสามารถแบ่งเป็นงานง่ายๆได้สองแบบคือการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง และการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นมาตรฐานในการทดสอบเรื่อง steering ดังรูปที่ 2-7 นอกจากนี้การศึกษาถึงผลของ scaling (ค่า index of difficulty เดียวกัน แต่มีความกว้างและระยะทางไม่เท่ากัน) พบว่างานที่ละเอียดเกินไป หรืองานที่มีขอบเขตการเคลื่อนที่มากเกินไปจะใช้เวลาในการเคลื่อนที่นานกว่า จากรูปที่ 2-6 แสดงถึงพื้นที่ทำงาน S ซึ่งผู้ทดสอบจะใช้เวลาทำงานน้อยที่สุดเมื่อ $S = 2$ และ 4 และจะใช้เวลาทำงานมากขึ้น เมื่อพื้นที่ทำงานมีขนาดใหญ่มากขึ้น $S=1$ และเมื่อพื้นที่ทำงานมีขนาดเล็กลง $S=8$ และสุดท้ายผู้ทดสอบจะใช้เวลาในการทำงานมากที่สุดที่ $S=16$



รูปที่ 2-6 ลักษณะเปรียบเทียบการ scaling โดยเมื่อ $s=4$, $W=60$ และ $A=250$ งานที่ทำงานจะมีความกว้าง 5 mm และระยะทางเป็น 14.8 mm (Zhai, 2001)

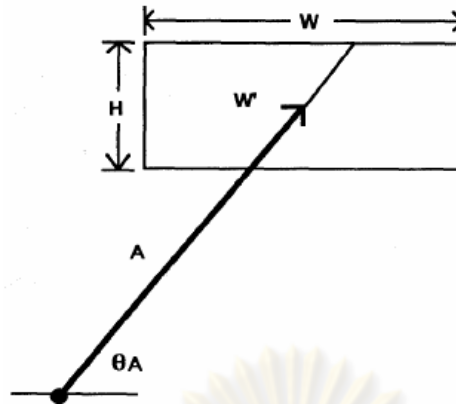


รูปที่ 2-7 ลักษณะการเคลื่อนที่ tracking แบบ เส้นตรง และ เส้นโค้ง (Zhai, 2003)

2.2.4 การขยายขอบเขตของ Fitts' law และ Steering law

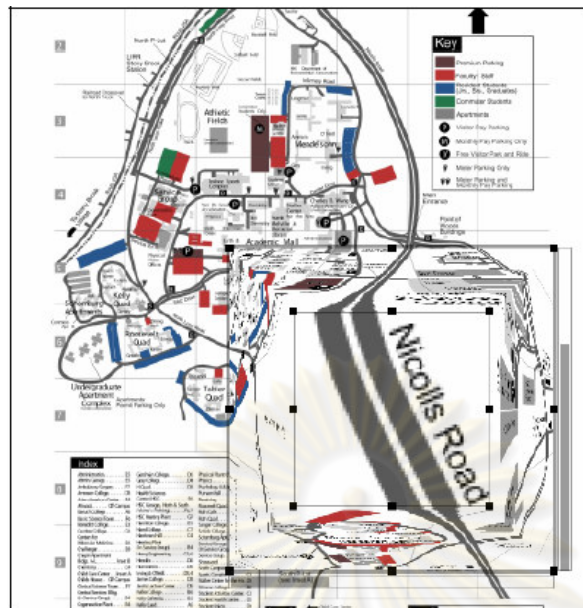
แรกเริ่มเดิมที Fitts' law และ Steering law เป็นมาตรฐานในการประเมินการทำงานภายใต้เงื่อนไขเฉพาะ เช่น Fitts' law เป็นการเคลื่อนที่ของมือใน 1 มิติ และด้วยข้อจำกัดของร่างกายมนุษย์ทำให้ค่าดัชนีชี้วัดความยากมีค่าไม่เกิน 10 บิต เนื่องจากขอบเขตของงานดังกล่าวไม่เพียงพอที่จะครอบคลุมงานหลายประเภททำให้นักวิจัยหลายกลุ่มได้ทำการทดลองต่างๆ เพื่อทำการขยายขอบเขตการทำงานของ Fitts' law และ Steering law ให้สามารถอธิบายงานที่มีความซับซ้อนมากขึ้น

ปี 1992 Mackenzie ได้ทดสอบงานประเภท targeting task (การเคลื่อนที่ cursor ไปยังเป้าหมาย) บนงานที่เกิดขึ้นใน 2 มิติ และได้ดัดแปลงดัชนีชี้วัดความยากให้เหมาะสมขึ้น โดยมีสองรูปแบบที่เหมาะสมในการอธิบายคือ smaller of model ซึ่งเป็นการเลือกด้านที่แคบกว่าระหว่าง ความกว้างและความยาวของเป้าหมาย มาแทนในค่า W ของ Shannon formula และ W' model ซึ่งเป็นการหาทิศทางเคลื่อนที่ใหม่และคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ตามทิศทางเคลื่อนที่ดังกล่าวเรียกว่า W' และแทนลงใน Shannon formula โดยที่ smaller of model จะใช้ข้อมูลในการคำนวณน้อยกว่า ในขณะที่ W' model จะมีความเหมาะสมทางด้าน ทฤษฎีมากกว่าแต่มีข้อมูลที่ต้องคำนึงถึงมากกว่าในการคำนวณ ดังรูปที่ 2-8 ถัดมา Kondraske (1994) ได้ดัดแปลง Fitts' law มาอธิบายการเคลื่อนที่ใน 1 มิติ บนการเคลื่อนที่เชิงมุม ซึ่งพบว่า Fitts' law ยังสามารถอธิบายการทำงานในพิกัดเชิงขั้วได้ (polar coordinate) หลังจากนั้น ปี 1995 Kabbash ได้ทำการทดสอบ cursor ที่เป็น area ในงาน Pointing task พบว่า Fitts' law ยังคงสามารถอธิบายการทำงานดังกล่าวได้



รูปที่ 2-8 การทดสอบ Fitts' law ใน 2 มิติของ Mackenzie (1992)

ต่อจากนั้นในปี 2000 Dennerlein et al. ได้ออกแบบการทดลองที่เป็นการผสมผสานระหว่างงานประเภท Steering และ Pointing เข้าด้วยกันดังรูป 2-12. และทำการสรุปว่า เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของงานประเภทนี้จะมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับ index of difficulty ของ steering (A/W_s) และ index of difficulty ของ targeting $\log_2\left(\frac{A}{W_t} + 1\right)$ ถัดจากนั้นปี 2001 Yang et al. ได้นำ Fitts' law ไปอธิบายการเคลื่อนที่ของแขนซึ่งมีลักษณะเป็นการเคลื่อนที่ 2 มิติในพิสัยเชิงขั้ว ในปีเดียวกันนั้นเอง Guiard et al. ได้ทำการขยาย index of difficulty ของงานแบบ targeting ให้เกินกว่า 10 บิต โดยใช้เทคนิคการ zoom in และ zoom out (เป็นลักษณะงานแบบ multiscale เป็นงานประเภทเดียวกับการใช้แผนที่ electronic ที่ทำการเคลื่อน cursor ไปยังเป้าหมายใหญ่ๆ เช่น ประเทศ ก่อนแล้วค่อยทำการขยายเพื่อชี้เป้าหมายที่เล็กกว่า เช่น เมือง สะพาน หรือ อาคารต่างๆ เป็นต้น) ซึ่งพบว่า Fitts' law ยังคงเหมาะสมที่จะอธิบายงานประเภทนี้ ต่อมา ในปี 2003 Zhai ได้ทำการทดสอบ driving simulation ดังรูปที่ 2-10 โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับความกว้างของถนน พบว่า หากผู้ทดสอบไม่ได้เหยียบคันเร่งจนรถมีความเร็วสูงสุดที่รถสามารถทำได้ การเคลื่อนที่ของรถยนต์จะเป็นไปตาม steering law ทั้งในเส้นทางตรง และทางโค้ง ในปีเดียวกันนั้น Gutwin ได้ทำการทดสอบ steering law บนงานที่มีการ zoom ซึ่งจากการทดสอบพบว่ารูปแบบการ zoom ที่เหมาะสมและสอดคล้องกับ steering law คือการ zoom แบบ fish eye zoom ดังรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 การ tracking ด้วยมุมมองที่ขยายด้วย fish eye ของ Guiard (2001)



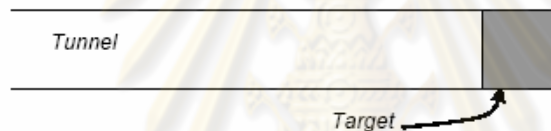
รูปที่ 2-10 Driving simulation ของ Zhai (2003)

นอกจากนี้ Zhai ยังได้ทำการทดสอบงานที่ต้องใช้คนสองคนร่วมมือกันทำ โดยทำการทดสอบการจำลองการส่งสิ่งของด้วยอุปกรณ์ haptic โดยมีแนวคิดจากการส่งถ้วยกาแฟจากคนหนึ่งไปยังอีกคนหนึ่ง ซึ่งเมื่อทำการหาความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาที่ใช้ ระยะทาง และขนาดของสิ่งของ พบว่า งานประเภทนี้ยังคงสอดคล้องกับ Fitts' law ในปีถัดมา Guiard et al. ได้ทำการทดสอบ Fitts' law ในงาน multi scale อีกครั้งโดยพบว่าส่วนกลับของ slope ของ Fitts' law เป็นสัดส่วนกับขนาดของภาพที่มองเห็น view size และในปีเดียวกันนั้น Reed et al. ได้ทำการทดสอบงานที่อาศัยความร่วมมือ โดยเป็นงานแบบ human-robot-human ในงาน targeting task พบว่า เมื่อเป้าหมายของทั้งสองคนตรงกันจะทำให้เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่เป็นไปตาม Fitts' law แม้แต่ในปัจจุบัน Kulikov (2006) ได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อให้สามารถอธิบาย

งานประเภท Steering + Targeting task โดยทำการดัดแปลงสมการของ Dennerlein ให้สมการมีความซับซ้อนลดลง ซึ่งงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมดถูกรวบรวมไว้ในตารางที่ 2-1



รูปที่ 2-11 อุปกรณ์ทดสอบแบบ HRH ของ Reed (2004)



รูปที่ 2-12 งานแบบ steering + targeting ของ Dennerlein และ Kulikov (2000)

ตารางที่ 2-1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขยายขอบเขตของ Fitts' law และ Steering law

study	year	Task description	ID	note
Mackenzie	1992	Fitts' law in 2D	$ID = \log_2 \left(\frac{A}{W} + 1 \right)$ When $W = W'$ or $\min(W, H)$	
Kondraske	1994	Fitts' law in angular movement	$ID_{\theta} = \log_2 \left(\frac{2\theta_A}{\theta_w} + 1 \right)$	
Kabbash & Buxton	1995	Prince Technique	Shannon	Use area cursors
Dennerlein, Martin & Hasser	2000	Steering-Targeting task Fitts' law + Steering law	$MT = a + bID_s + cID_T$ $ID_s = \frac{A}{W}$ $ID_T = \log_2 \left(\frac{A}{W} + 1 \right)$	ใช้ Fitt's law และ steering law อธิบายงานแบบ steering-targeting task และพิจารณาผลของ Force feedback ต่องาน

				ประเภทนี้
Yang, Jin, Zhang, Huang & Wang	2001	Fitts law in 2D in polar coordinate	$ID_\rho = \log_2 \left(\frac{2\rho_A}{\rho_W} \right)$ $ID_\theta = \log_2 \left(\frac{2\theta_A}{\theta_W} \right)$	เป็นการอธิบายการเคลื่อนที่ของ แขน
Guiard et al.	2001	Multi-Scale tasking (zooming in-out)	Shannon	ขยายขอบเขตของ ID ให้เกิน กว่า 10 bits
Zhai & Woltjer	2003	Steering law in locomotion	Steering	ใช้อธิบายการเคลื่อนที่ driving simulation
Gutwin & Skopik	2003	Steering Task Zooming with fisheye	$ID = \frac{A}{W}$	
Sallnas & Zhai	2003	Collaboration task With haptic force feedback	Shannon	นำ Fitts' law ไปอธิบายการ ทำงานที่ต้องอาศัยการร่วมมือ และทดสอบผลของ haptic force feedback ต่องาน ดังกล่าว
Guiard, Bastin, Beaudouin- Lafon, Pasveer, Zhai	2004	Multi-Scale tasking (zooming in-out)	--	นำ Fitts' law ไปประยุกต์ในการ อธิบายการ navigation ใน multiscale
Reed, Peshkin, Colgate, Patton	2004	Collaboration task (HRH type)	--	นำ Fitts' law ไปอธิบายงานที่ ต้องร่วมมือแบบ human-robot- human
Kulikov & Stuerzlinger	2006	Steering Targeting task Fitts' law + Steering law	$MT = a + b(ID_s + ID_T)$ $ID_s = \frac{A}{W}$ $ID_T = \log_2 \left(\frac{A}{W} + 1 \right)$	

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินประสิทธิภาพการทำงาน

Fitts' law และ Steering law เป็นมาตรฐานที่นิยมใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการทำงานเนื่องจากกฎทั้งคู่สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบได้ง่าย ตัวอย่างงานวิจัยที่นิยมใช้มากที่สุดคือด้าน Human Computer Interface (HCI) โดยงานวิจัยที่อ้างอิงมาตรฐานดังกล่าวสามารถแบ่ง

ได้เป็นสองกลุ่ม โดยกลุ่มแรกคือ การทดสอบผลกระทบของสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป ต่อประสิทธิภาพการทำงาน และ กลุ่มที่สองคือการเปรียบเทียบการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ

2.3.1 การทดสอบผลของสภาพการทำงานที่เปลี่ยนแปลงต่อการทำงานของมนุษย์

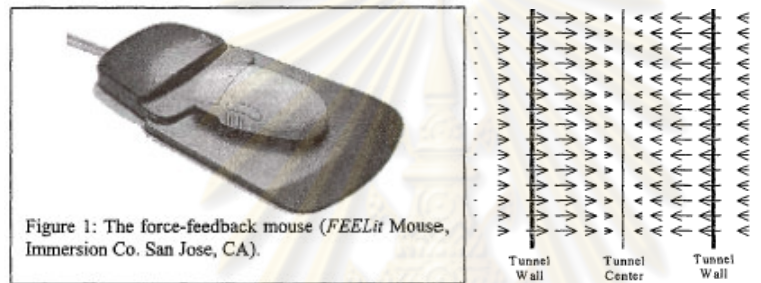
ในสภาพความเป็นจริง งานที่มนุษย์กระทำนั้นอาจได้รับผลกระทบบางอย่างจากสิ่งแวดล้อม ทำให้นักวิจัยกลุ่มหนึ่งสนใจที่จะศึกษาถึงผลกระทบนี้ นักวิจัยเหล่านั้นได้จำลองสภาพแวดล้อมนั้นขึ้น และทำการทดสอบโดยใช้ Fitts' law และ steering law เป็นพื้นฐานในการประเมินประสิทธิภาพการทำงาน ตัวอย่างของงานวิจัยเหล่านี้เริ่มตั้งแต่ปี 1993 โดย Mackenzie ได้ทดสอบผลของความล่าช้าในการส่งข้อมูลที่อาจเกิดขึ้นเมื่อต้องการควบคุมการทำงานจากระยะไกล ซึ่งจากการทดลองสรุปได้ว่า การส่งผ่านข้อมูลที่ล่าช้าไป 225 ms จะทำให้เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ เพิ่มขึ้น 64% และ ความผิดพลาดเพิ่มขึ้น 214% ต่อมาปี 1995 Millman ใช้ Fitts' law เป็นต้นแบบในการออกแบบการทดลอง ตามรูปที่ 2-14 เพื่อทดสอบความสามารถในการรับรู้ความหวังของคน พบว่าการรับรู้ของมนุษย์ขึ้นกับผลต่างระหว่างความหวังของ เป้าหมายกับความหวังของพื้นหลัง มากกว่า ขนาดความหวังของพื้นหลังเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังมีการทดลองกับงานที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ได้แก่ Dennerlien et al. ในปี 2000 ทดสอบผลของ force feedback ต่องานแบบ steering + pointing task โดยจะมีการสร้างแรงต้านขึ้นที่อุปกรณ์ควบคุม โดยแรงต้านจะมีค่ามากขึ้นเมื่อผู้ทดสอบเคลื่อนที่เข้าใกล้ขอบของเส้นทางที่กำหนดตามรูปที่ 2-15 ผลของแรงต้านนี้ทำให้ผู้ทดสอบสามารถทำงานได้รวดเร็วและแม่นยำมากยิ่งขึ้น ถัดจากนั้น ปี 2003 sallnas & zhai ทดสอบผลของ haptic force feedback บนงานจำลองการส่งของจากคนหนึ่งไปยังอีกคนหนึ่งด้วยอุปกรณ์ haptic ตามรูปที่ 2-13 พบว่า haptic force feedback ทำให้ความผิดพลาดในการทดลองลดลง



รูปที่ 2-13 การจำลองการส่งของด้วยอุปกรณ์ haptic ของ sallnass & zhai (2003)



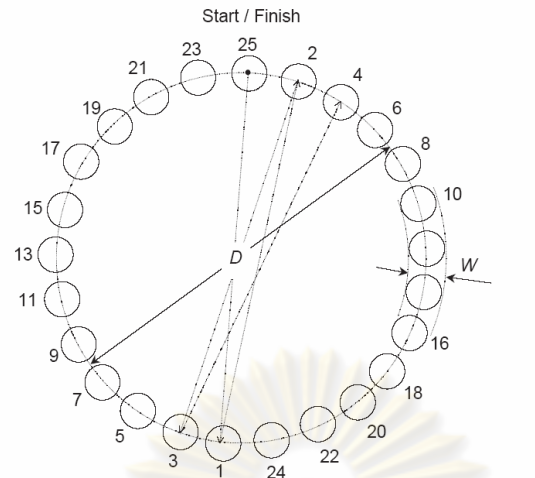
รูปที่ 2-14 อุปกรณ์ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานใน 1 มิตีของ Millman (1995)



รูปที่ 2-15 force feedback mouse และลักษณะ force feedback ที่เกิดขึ้นในการทดลองของ Dennerlien (2000)

2.3.2 การเปรียบเทียบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ

Card, English และ Burr (1978) เป็นกลุ่มแรกที่น่า Fitts' law มาใช้ในการทดสอบอุปกรณ์ โดยทดสอบอุปกรณ์ส่งข้อมูลขาเข้าของคอมพิวเตอร์ เป็นการเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ส่งข้อมูลขาเข้าแต่ละชนิดว่ามนุษย์สามารถใช้งานอุปกรณ์ชนิดใดได้ดีกว่ากัน เช่น เมาส์, joy stick, step key และ text key หลังจากนั้นก็มีนักวิจัยอีกหลายกลุ่มได้ใช้ Fitts' law เป็นมาตรฐานในการทดสอบอุปกรณ์ต่อมา ได้แก่ track ball, stylus และ touch pad เป็นต้น การทดสอบความเหมาะสมของอุปกรณ์ป้อนข้อมูลได้ Fitts' law ได้รับความนิยมนจนกระทั่ง ในปี 2002 ได้มีการสรุป Fitts' law เป็นมาตรฐานในการทดสอบ pointing device ซึ่งมาตรฐานดังกล่าวคือ ISO9241-9 โดยกำหนดลักษณะการทดสอบเป็น multidirectional tapping task ดังรูป 2-16 และมีการรวบรวมงานวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบอุปกรณ์ด้วย Fitts' law ดังตารางที่ 2-2 และ 2-3



รูปที่ 2-16 ลักษณะ multidirectional task ที่บรรยายไว้ในมาตรฐาน ISO9241-9

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2-2 การทดลองเปรียบเทียบอุปกรณ์ควบคุมคอมพิวเตอร์โดยใช้ Fitts' law เป็นมาตรฐาน
(Mackenzie, 2004)

Study	Year	ID	Methodology			ID range	TP	intercept	error	notes		
			TP	Layout	Task type						Learning	Adj Acc
Card, English & Burr	1978	Welford	Regression	Multiangl	Discrete	No	No	-0.014 - 6.03	10.4	1030	5	mouse, joystick, step keys, text keys
Epps Jones	1986	Fitts	Regression	--	Serial	No	No	0.90 - 7.94	2.55	108	--	
	1989	Fitts	Regression	--	Discrete	No	No	3.58 - 4.46	2.9	--	--	Children, viewing hands
		Fitts	Regression	--	Discrete	No	No	3.58 - 4.46	7.4	--	--	Children, not viewing hands
Gillan, Holden, Adam, Rudsill & Magee	1990	Welford	Regression	Multiangl	Discrete	No	No	-0.26 - 5.79	5.6 - 12.5	497 - 1347	5.2	Pointing
		Welford	Regression	Multiangl	Discrete	No	No	-0.26 - 5.79	2.6 - 3.0	594 - 684	3	Dragging
Han, Jorna Miller & Tan	1990	Fitts	Regression	Multiangl	Discrete	No	No	-0.26 - 5.79	5.3 - 18.5	918 - 1300	3	Point and Drag
		Fitts	Mean	Multiangl	Both	No	No	2.25 - 5.20	5.7	389	--	
Rutledge & Selker	1990	Welford	Regression	Multiangl	Discrete	No	No	0.58 - 6.69	8.3	610	5	
Boritz, Booth & Cowan	1991	Welford	Regression	Multiangl	Discrete	No	No	1.18 - 2.57	2.3	1320	5	Factors: hand, and angle
		Shannon	Regression	Horizontal	Serial	Yes	Yes	1.00 - 6.02	4.5	-107	3.5	Pointing
Mackenzie, Sellen & Buxton	1991	Shannon	Regression	Horizontal	Serial	Yes	Yes	1.00 - 6.02	4	135	10.8	Dragging
		Fitts	Regression	Multiangl	Discrete	Yes	No	2.88 - 4.32	1.3	--	--	Children, discrete
Gillan, Magee, Adam, Rudsill & Holden	1991	Fitts	Regression	Multiangl	Serial	Yes	No	2.88 - 4.32	1.7	--	--	Children, serial
		Welford	Regression	Multiangl	Discrete	Yes	No	-0.13 - 3.61	5.5 - 6.5	376 - 882	3.4 - 5.2	Pointing
Mackenzie & Buxton	1992	Welford	Regression	Multiangl	Discrete	Yes	No	-0.13 - 3.61	2.8	312	3.4	Dragging
		Shannon	Regression	Multiangl	Discrete	Yes	No	0.32 - 5.04	4.6 - 7.4	230 - 481	4.6	angle & 2D
Mackenzie & Ware	1993	Shannon	Mean	Horizontal	Discrete	Practice	Yes	1.58 - 6.02	4.3	230	3.6	Lag
		Welford	Regression	Multiangl	Both	Yes	No	0.55 - 4.98	4.1	480	--	
Douglas & Mithal	1994	Shannon	Regression	Horizontal	Discrete	No	No	1.00 - 4.08	4.3	225	6.5	
		Shannon	Regression	Multiangl	Discrete	No	No	0.32 - 5.04	5.9	117	1.8	Pointing
Mackenzie & Buxton	1994	Shannon	Regression	Multiangl	Discrete	No	No	0.32 - 5.04	5.1	345	1.8	Dragging
		Shannon	Mean	Multiangl	Serial	No	Yes	3.2	3.6	--	11.3	CRT
Mackenzie & Riddersma	1994	Shannon	Mean	Multiangl	Serial	No	Yes	3.2	2.7	--	10.8	LCD
		Shannon	Mean	Diagonal	Discrete	Yes	Yes	2.48 - 3.30	3.8	--	4	
Akamastu et al.	1995	Shannon	Mean	Horizontal	Discrete	Yes	No	-1 - -5.6	8.13	--	--	
Mithal & Douglas	1996	--	--	Horizontal	Discrete	No	No	4	5.17	--	--	Puck on tablet
Guiard et al.	1999	Shannon	Mean	Horizontal	Discrete	--	--	3.6 - 28.6	--	-174.8 - 107.7	--	mouse, stylus, touchpad,
Accot & Zhai	1999	Steering	Regression	Straight	Tracking	--	--	3.6 - 28.6	--	-377.3 - 523.1	--	trackball & joystick
		Steering	Regression	Circular	Tracking	--	--	0.58 - 4.0	7.94	-0.021	--	
Miniotas	2000	Welford	Regression	Horizontal	Discrete	Yes	No	0.58 - 4.0	7.94	-0.021	--	

Hornof	2001	Welford	Regresson	Horizontal	Discrete	No	Yes	2.8 - 4.7	2.89	-123	3.43	Children, pointing
		Welford	Regresson	Horizontal	Discrete	No	Yes	2.8 - 4.7	2.75	-244	3.97	Children, dragging
Zhai, Conversy, Beaudouin-Lafon & Guiard	2003	Shannon	Regresson	Horizontal	Discrete	Yes	No	3.17 - 7.01	8.4	315	~3.5 - ~6.3	Normal
		Shannon	Regresson	Horizontal	Discrete	Yes	No	2.32 - 6.03	11.1	392	~-1 - ~10	Expanding targets
Wherry	2003	Shannon	Mean	Vertical	Discrete	--	--	.85 - 4.73	.76 - 1.01	--	5.1 - 13.8	scroll zone, scroll ring, scroll wheel
Po, Fisher & Booth	2004	Shannon	Regresson	Horizontal	Discrete	Practice	No	0.58 - 5.0	6.31	513.29	~-9.6 - ~12	Upper field of view
		Shannon	Regresson	Horizontal	Discrete	Practice	No	0.58 - 5.0	6.01	407.29	~-7.2 - ~10.3	Lower field of view

Methodology

ID	This field indicates which of the three popular formulation for the index of difficulty were used, Fitts' $ID = \log_2(2A/W)$, Welford' $ID = \log_2(A/W + 0.5)$, Shannon' $ID = \log_2(A/W + 1)$
TP	indicates whether the throughput was calculated as the reciprocal of the regression slope ('Regression') or via the mean of means ('Mean')
Layout	indicates what physical arrangement of the targets was used, 'Multiangle' implies that different angles were used, but not the ISO circle arrangement, and 'Horizontal' is the Fitts' reciprocal tapping arrangement.
Learning	indicates the method the experimenters used to control for learning effects. 'Practice' implies that subjects received one or more practice sessions that were not used in the analysis. 'Yes' implies that a statistical test of significance was used to determine when the subjects had approached asymptotic behaviour. 'No' implies that learning effects, if there were any, were ignored.
Adj. Acc.	This field indicates whether the adjustment for accuracy was used.
Independent and dependent measures fields	
ID Range	lists the independent values of ID that were used, a tilde('~') indicates the values were estimated from figures or other values given in the text
Error	lists the dependent measure '% Errors' for the model. A tilde('~') indicates the values were estimated from figures or other values given in the text.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2-3 การทดลองเปรียบเทียบอุปกรณ์ต่างๆ โดยใช้ ISO 9241-9 เป็นมาตรฐาน
(Mackenzie, 2004)

Study	Year	ID	TP	Layout	Task type	Learning	Methodology		TP	error	notes
							Adj. Acc	ID range			
Mackenzie & Onizczak	1998	Shannon	Mean	Horizontal	Serial	Yes	Yes	1.0 - 4.1	0.99	4.07	Touchpad
							Yes	1.0 - 4.1			
Douglas, Kirkpatrick & Mackenzie	1999	Shannon	Mean	Horizontal	Serial	Yes	Yes	1.0 - 4.1	1.43	9.92	Tactile Touchpad
							Yes	1.0 - 4.1			
							Yes	2.3 - 6.3			
							Yes	2.3 - 6.3			
Mackenzie and Jusoh	2001	Shannon	Mean	Circular	Discrete	Yes	Yes	2.3 - 6.3	2.2 - 2.3	3.4	Isometric Joystick
							Yes	2.3 - 6.3			
							Yes	2.3 - 6.3			
							Yes	2.3 - 6.3			
							Yes	2.3 - 6.3			
							Yes	2.3 - 6.3			
Mackenzie, Kauppinen & Siltverberg	2001	Shannon	Mean	Circular	Discrete	Yes	Yes	1.7 - 1.9	1.8	25.6	Touchpad
							Yes	1.0 - 4.1			
							No	1.0 - 4.1			
							No	1.0 - 4.1			
							No	1.0 - 4.1			
							No	1.0 - 4.1			
Mackenzie, Kauppinen & Siltverberg	2001	Shannon	Mean	Circular	Serial	Yes	Yes	3.8	4.9	9.4	GyroPoint
							Yes	3.8			
							Yes	3.8			
							Yes	3.8			
							Yes	3.8			
							Yes	3.8			
Siltverberg et al.	2001	Shannon	Mean	Circular	Serial	Yes	Yes	2.8	1.8	9	Trackball
							Yes	2.8			
							Yes	2.8			
							Yes	2.8			
							Yes	2.8			
							Yes	2.8			
Iskoski & Raisamo	2002	Shannon	Mean	Circular	Discrete	Practice	Yes	1.6 - 5.1	1.6 - 2.55	1.8 - 9.6	Isometric Joystick
							Yes	1.58 - 8.00			
							Yes	1.58 - 8.00			
							Yes	1.58 - 8.00			
							Yes	1.58 - 8.00			
							Yes	1.58 - 8.00			
Keates, Hwang, Langdon, Clarkson & Robinson	2002	Shannon	Mean	Circular	Serial	No	Yes	--	1.77	69	Six Mice
							Yes	--			
							Yes	--			
							Yes	--			
							Yes	--			
							Yes	--			
Oh & Stuerzlinger	2002	Shannon	Mean	Circular	Serial	Yes	Yes	2.58 - 3.75	3.04	32	Laser Pointer
							Yes	2.58 - 3.75			
							Yes	2.58 - 3.75			
							Yes	2.58 - 3.75			
							Yes	2.58 - 3.75			
							Yes	2.58 - 3.75			
Poupyrev, Okabe & Maruyama	2004	Shannon	Mean	Horizontal	Serial	No	Yes	2.3 - 6.3	7.14	--	Stylus Tapping
							Yes	2.3 - 6.3			
							Yes	2.3 - 6.3			
							Yes	2.3 - 6.3			
							Yes	2.3 - 6.3			
							Yes	2.3 - 6.3			

Methodology

ID This field indicates which of the three popular formulations for the index of difficulty were used, Fitts' ID= $\log_2(2A/W)$,

Wellford' ID= $\log_2(AW + 0.5)$, Shannon' ID= $\log_2(AW + 1)$

TP indicates whether the throughput was calculated as the reciprocal of the regression slope ('Regression')

or via the mean of means ('Mean')

Layout indicates what physical arrangement of the targets was used, 'Multangle' implies that different angles were used,

but not the ISO circle arrangement, and 'Horizontal' is the Fitts' reciprocal tapping arrangement.

Learning indicates the method the experimenters used to control for learning effects, 'Practice' implies that subjects received one or more

practice sessions that were not used in the analysis, 'Yes' implies that a statistical test of significance was used to determine

when the subjects had approached asymptotic behaviour. 'No' implies that learning effects, if there were any, were ignored.

Adj. Acc. This field indicates whether the adjustment for accuracy was used.

บทที่ 3

การทดสอบเบื้องต้น

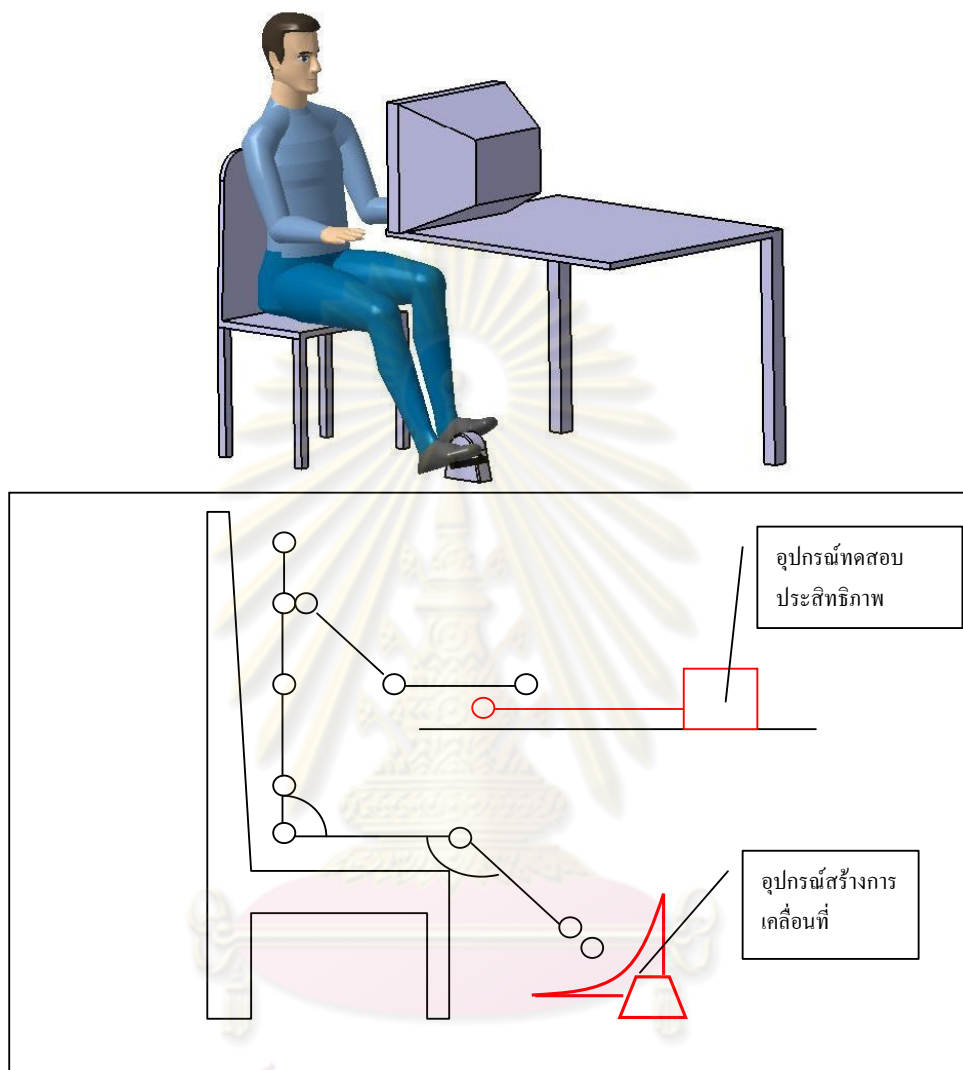
งานวิจัยนี้เป็นแนวทางใหม่ที่ไม่เคยมีการศึกษามาก่อน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบเพื่อหาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับลักษณะและวิธีการในการทดลอง เพื่อให้การทดลองจริงมีความเหมาะสมและราบรื่น งานวิจัยนี้ดำเนินการโดย ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มการเคลื่อนที่ให้กับร่างกายส่วนล่างต่อประสิทธิภาพการทำงาน ซึ่งถือได้ว่าเป็นการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อม ต่อการทำงานแบบหนึ่ง การทำงานที่เป็นเป้าหมายของการศึกษาในงานวิจัยนี้คืองานบนโต๊ะในสำนักงาน โดยเน้นที่ การใช้งานคอมพิวเตอร์เป็นหลัก เนื่องจากว่าเป็นงานที่ใช้สมาธิไม่มาก เป็นงานที่ปกคมีกรเคลื่อนไหวร่างกายน้อย และที่สำคัญที่สุด เป็นงานที่ทุกคนสามารถทำได้และทุกคนทำงานเหล่านี้เป็นประจำ งานที่กำหนดให้ผู้ทดสอบทำการทดลองจะอ้างอิง Fitts' law และ Steering law เพื่อความเป็นมาตรฐานสากล ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างของประสิทธิภาพการทำงานภายใต้รูปแบบการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน การเคลื่อนไหวร่างกายที่เลือกใช้ในการทดลองครั้งนี้จะเลือกการเคลื่อนไหวของร่างกายส่วนล่างตั้งแต่สะโพกลงไปถึงเท้าของอาสาสมัครที่ทำการทดสอบ เนื่องจากว่า การเคลื่อนไหวร่างกายส่วนดังกล่าวสามารถกระทำพร้อมกับการทำงานตามปกติได้

3.1 รูปแบบและวัตถุประสงค์ของการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการทดสอบเบื้องต้นนี้ประกอบด้วยวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ ประการแรกคือการหาขอบเขตความเร็วในการเพิ่มการเคลื่อนไหวของมนุษย์ ที่มนุษย์ยังสามารถคงประสิทธิภาพการทำงานได้ การหาขอบเขตดังกล่าวเพื่อที่จะจำกัดความเร็วในการทดสอบครั้งต่อไป นอกจากวัตถุประสงค์หลักดังกล่าวแล้ว ประการที่สองคือการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความเหมาะสมของการทดสอบ อุปกรณ์และ โปรแกรมที่ใช้ รวมไปถึงรูปแบบของการทดสอบด้วย

การทดลองนี้จะทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของคนโดยอ้างอิงหลักการของ Fitts' law และ steering law ผู้ทดสอบจะทำงานโดยใช้คอมพิวเตอร์ งานดังกล่าวเป็นการใช้งานโปรแกรมเฉพาะซึ่งถูกเขียนด้วยโปรแกรม visual C++ 2005 การใช้งานโปรแกรมดังกล่าวจะใช้เมาส์เป็นอุปกรณ์ควบคุม ในระหว่างที่ทำงานดังกล่าวผู้ทดสอบจะต้องวางเท้าลงบนอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ อุปกรณ์ดังกล่าวจะถูกวางไว้ใต้โต๊ะ เพื่อสร้างการเคลื่อนที่ให้กับร่างกายส่วนล่างของผู้ทดสอบ ผ่านทางเท้าของบุคคลนั้น ลักษณะการทดสอบเป็นไปตามรูปที่ 3-1 จะเห็นได้ว่าการ

เตรียมการวิจัยมีสองส่วนหลักที่ต้องพิจารณาคือ การทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน และการควบคุมการเคลื่อนที่ของร่างกาย



รูปที่ 3-1 ลักษณะการทดสอบในงานวิจัยนี้

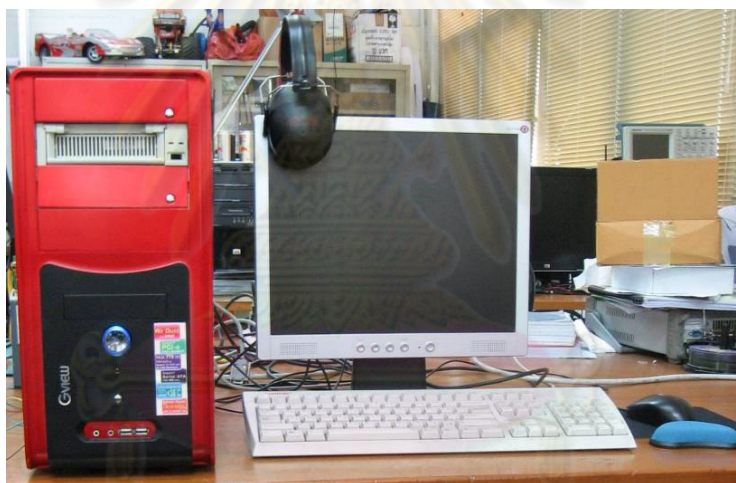
3.2 ประชากร

ผู้เข้าทดสอบเป็นเพื่อนร่วมงาน ที่ทำงานอยู่ในห้องวิจัยเดียวกัน และห้องวิจัยข้างเคียง เป็นชายจำนวน 3 คน และหญิงจำนวน 2 คน รวมทั้งหมด 5 คน ทั้งหมดมีประสบการณ์ในการใช้คอมพิวเตอร์ไม่น้อยกว่า 5 ปี และปัจจุบันยังคงใช้คอมพิวเตอร์อย่างสม่ำเสมอ ผู้เข้าทดสอบมีอายุระหว่าง 23-40 ปี

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

งานที่กำหนดให้ผู้ทดสอบปฏิบัติ เป็นการทำงาน ร่วมกับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทั่วไป ผู้ทดสอบจะต้องทำงานผ่านคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมพิเศษที่เขียนขึ้นมา อุปกรณ์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะมีรายละเอียดดังนี้

- หน่วยประมวลผล AMD Athlon (TM) XP 2600+ 1.9 GHz
- หน่วยความจำขนาด 512 MB
- Logitech optical mouse
- หน้าจอ LCD ขนาด 17" ตั้งความละเอียดไว้ที่ 1024 x 768 พิกเซล



รูปที่ 3-2 คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.1 โปรแกรมทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน

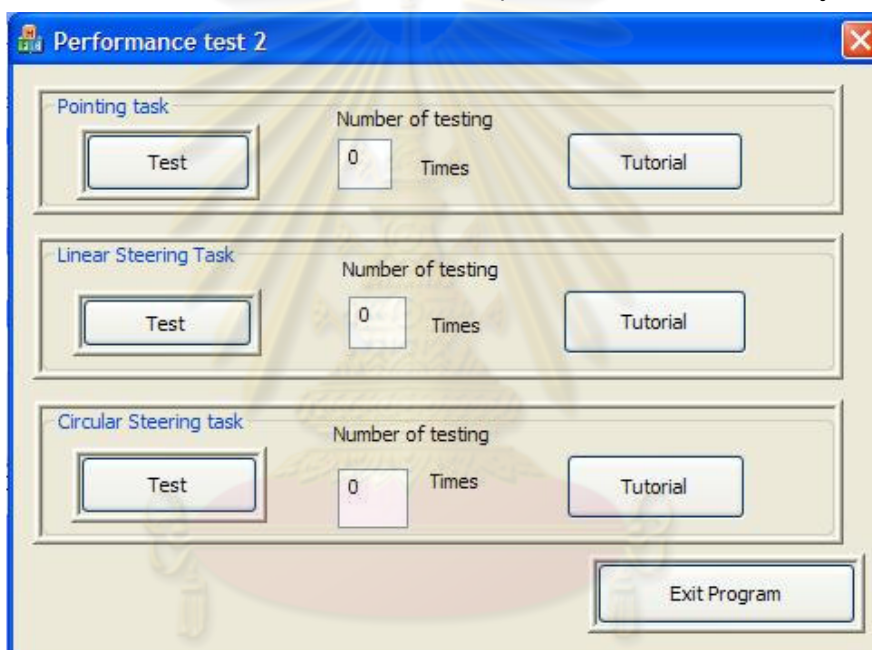
โปรแกรมทดสอบประสิทธิภาพการทำงานที่ใช้ในงานวิจัยนี้อ้างอิงมาตรฐาน

Fitts' law และ Steering law ประกอบด้วย 3 การทดสอบย่อยคือ Pointing task, Linear steering task และ Circular steering task งานดังกล่าวเป็นการทดสอบทักษะการเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปอีกตำแหน่งหนึ่งและทักษะการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนด ช่วงค่า index of difficulty ที่ออกแบบไว้ในงานวิจัยนี้เป็นไปตามตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ช่วง Index of difficulty ที่ใช้ในการทดสอบของแต่ละงาน

	Testing ID
Pointing task	2 - 5.93
Linear steering task	3 - 25
Circular steering task	7.85 – 56.55

เมื่อเปิดหน้าต่างโปรแกรมทดสอบขึ้นมา โดยโปรแกรมจะมีรูปแบบการทำงานให้เลือกทดสอบ 3 รูปแบบ ในแต่ละรูปแบบจะมีส่วนประกอบคือ ปุ่มเริ่มการทดสอบ (Test) ตัวเลขระบุจำนวนครั้งที่ทดสอบ (Number of testing) และ ปุ่มเริ่มการฝึกหัด (Tutorial) ดังรูปที่ 3-3

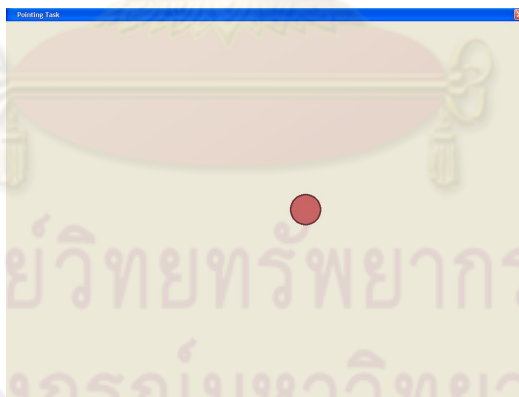


รูปที่ 3-3 หน้าต่างหลักของโปรแกรมทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน

เมื่อกดปุ่มเริ่มการฝึกหัด โปรแกรมจะแสดงคำอธิบายสำหรับการทำงานนั้นๆ และจะมีปุ่มตกลงเพื่อทำการปิดหน้าต่างกลับสู่เมนูหลัก เมื่อกดปุ่มเริ่มการทดสอบ โปรแกรมจะเปิดหน้าต่างใหม่ขึ้นมา ที่หน้าต่างนี้จะมีงานที่ผู้ทดสอบจะต้องทำอยู่แตกต่างกันไปตามประเภทของงาน ผู้ทดสอบจะต้องทำงานที่กำหนดตามคำอธิบายที่เขียนไว้ในช่วงของการฝึกหัดไปเรื่อยๆ ไปเรื่อยๆ ในระหว่างที่ทำงานโปรแกรมจะบันทึกเวลาที่ใช้ในการทำงาน เมื่อผู้ทดสอบทำงานที่กำหนดจบลง หน้าต่างทดสอบจะปิดตัวเองลง และกลับเข้าสู่โปรแกรมหลัก ตัวเลขแสดงจำนวนครั้งที่ทดสอบจะเพิ่มขึ้น

3.3.1.1 การทดสอบ Pointing task

Pointing task ที่ใช้ในการทดสอบเป็น multidirectional pointing task ที่อ้างอิง ISO 9241-9 เมื่อการทดสอบเริ่มขึ้น หน้าต่างโปรแกรมจะแสดงเป้าหมายเป็นรูปร่างกลมสีแดงดังรูปที่ 3-4 ผู้ทดสอบจะต้องใช้เมาส์ เลื่อนเคอร์เซอร์ไปยังเป้าหมายดังกล่าว และทำการคลิกเมาส์ซ้าย หลังจากนั้นเป้าหมายจะหายไป และมีเป้าหมายวงกลมใหม่ปรากฏขึ้นมา ผู้ทดสอบจะต้องเลื่อนเคอร์เซอร์ไปยังเป้าหมายใหม่ต่อไปและทำการคลิกเมาส์ซ้ายเช่นเดิม โปรแกรมจะบันทึกระยะเวลาระหว่างการชี้ไปยังเป้าหมายครั้งก่อนกับครั้งปัจจุบัน หากผู้ทดสอบสามารถคลิกเมาส์ขณะที่เคอร์เซอร์อยู่ในวงกลม โปรแกรมจะถือว่าผู้ทดสอบทำงานสำเร็จ แต่หากผู้ทดสอบทำงานไม่สำเร็จ โปรแกรมจะบันทึกจำนวนครั้งที่ผิดพลาดไว้และสร้างเป้าหมายใหม่ขึ้นมา ตำแหน่งของเป้าหมายจะเป็นไปตามลักษณะของ ISO 9241-9 เมื่อผู้ทดสอบทำงานสำเร็จได้ 25 ครั้ง โปรแกรมจะเปลี่ยนระดับความยากให้มากขึ้น คือเป้าหมายมีขนาดเล็กลง และระยะห่างระหว่างเป้าหมายจะมากขึ้น หากผู้ทดสอบทำงานไม่สำเร็จ โปรแกรมจะสร้างงานขึ้นมา จนกว่าผู้ทดสอบจะทำงานสำเร็จครบตามจำนวนที่ตั้งไว้ก่อนที่จะเพิ่มระดับความยาก เช่น ผู้ทดสอบที่ทำงานไม่ผิดพลาดเลยจะต้องทำงาน 25 ครั้งถึงจะเปลี่ยนระดับความยาก แต่ถ้าผู้ทดสอบทำงานผิดพลาด 5 ครั้ง ผู้ทดสอบคนนั้นจะต้องทำงานทั้งสิ้น 30 ครั้งถึงจะเปลี่ยนระดับความยาก ความยากในการทดสอบนี้มี 5 ระดับ กำหนดโดยค่า index of difficulty ของ Fitts' law คือ ค่า ID = 2, 3, 4, 4.95 และ 5.93 ตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบจนเสร็จสิ้นหน้าต่างโปรแกรมทดสอบจะปิดตัวเองและกลับเข้าสู่เมนูหลัก

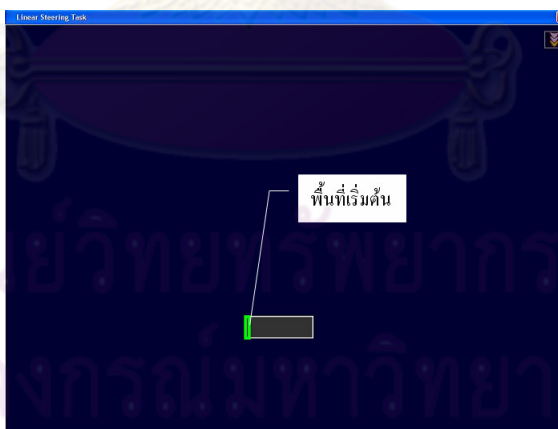


รูปที่ 3-4 หน้าต่างการทดสอบ Pointing task

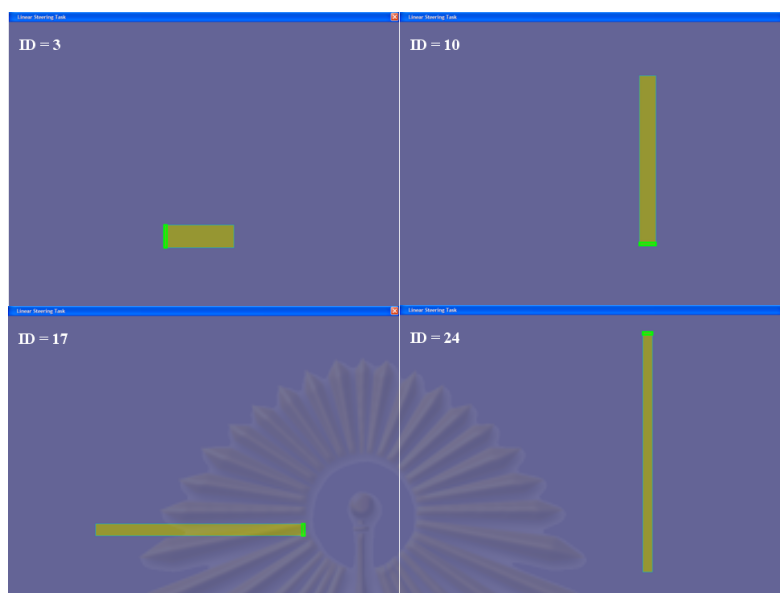
3.3.1.2 การทดสอบ Linear steering task

Linear Steering task ที่ใช้ในการทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบการเคลื่อนที่ตามเส้นตรงที่กำหนดใน 4 ทิศทาง คือ การเคลื่อนที่ขึ้นบน การเคลื่อนที่ลงล่าง การเคลื่อนที่ไปทางซ้าย และการเคลื่อนที่ไปทางขวา เมื่อเริ่มโปรแกรม หน้าต่างทดสอบจะแสดงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าพื้นสีเทา

บนพื้นหน้าต่างสีน้ำเงิน ที่ด้านกว้างด้านหนึ่งมีสีเขียวใส พื้นที่สีเขียวดังกล่าวคือพื้นที่เริ่มต้น ผู้ทดสอบจะต้องเลื่อนเคอร์เซอร์ไปที่พื้นที่เริ่มต้นและคลิกเมาส์ปุ่มซ้ายเพื่อเริ่มการทำงาน เมื่อเริ่มการทำงานแล้วพื้นที่สีเขียวดังกล่าวจะหายไปและมีเส้นสีแดงปรากฏขึ้นที่ด้านกว้างด้านตรงข้าม เส้นสีแดงนั้นคือเส้นสิ้นสุด ผู้ทดสอบจะต้องกดเมาส์ซ้ายค้างไว้และเลื่อนเคอร์เซอร์ไปยังเส้นสีแดงดังกล่าวและเลยผ่านไปจากนั้นจึงปล่อยเมาส์ปุ่มซ้าย ระหว่างที่ลากเคอร์เซอร์ไปยังเส้นสิ้นสุด เคอร์เซอร์จะต้องไม่สัมผัสถูกกับขอบด้านที่เหลือของสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังกล่าว ด้านยาวที่เหลืออยู่ของสี่เหลี่ยมผืนผ้าคือขอบเขตความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ หากผู้ทดสอบลากเส้นไปถูกเส้นขอบดังกล่าว หรือ ปล่อยเมาส์ปุ่มซ้ายก่อนที่จะผ่านเส้นสีแดง การทดสอบครั้งนั้นจะถือว่าไม่สำเร็จและโปรแกรมจะบันทึกจำนวนครั้งที่ผิดพลาดไว้ จากนั้นโปรแกรมจะให้ผู้ทดสอบทำงานในทิศทางเดิมอีกครั้ง หากผู้ทดสอบทำงานได้สำเร็จ โปรแกรมจะบันทึกเวลาที่ใช้ตั้งแต่การคลิกเมาส์ลงบนพื้นที่เริ่มต้นจนถึงเวลาที่ลากเส้นผ่านเส้นสิ้นสุด และการทดสอบครั้งต่อไปจะเริ่มขึ้น ในทิศทางใหม่ ผู้ทดสอบจะต้องทำการทดสอบทิศทางละ 4 ครั้ง จากนั้นโปรแกรมทดสอบจะเพิ่มระดับความยากของงานให้มากขึ้นคือ เพิ่มระยะทางในการเคลื่อนที่ และลดขอบเขตความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ หากผู้ทดสอบทำงานไม่สำเร็จ โปรแกรมจะสร้างงานขึ้นมา จนกว่าผู้ทดสอบจะทำงานสำเร็จครบตามจำนวนที่ตั้งไว้ก่อนที่จะเพิ่มระดับความยาก เช่นเดียวกับ Pointing task ความยากในการทดสอบนี้มี 4 ระดับกำหนดโดยค่า index of difficulty ของ steering law คือ ค่า $ID = 3, 8, 16$ และ 25 ตามลำดับ เมื่อการทดสอบทั้งหมดจบลง หน้าต่างทดสอบจะปิดตัวเองและกลับเข้าสู่โปรแกรมหลัก



รูปที่ 3-5 หน้าต่างการทดสอบการเคลื่อนที่ตามเส้นตรง

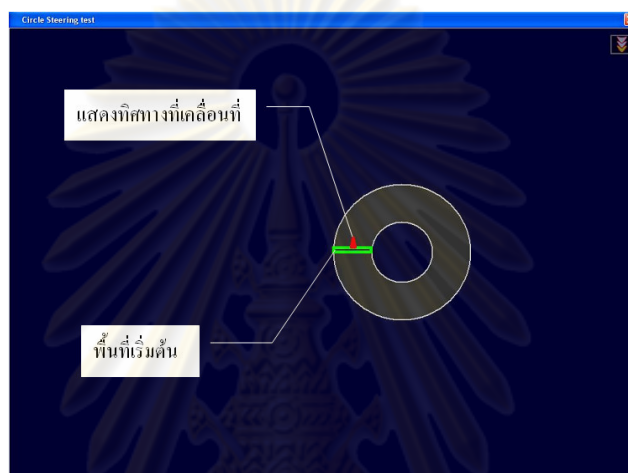


รูปที่ 3-6 Linear steering task ที่ระดับความยากต่างๆ

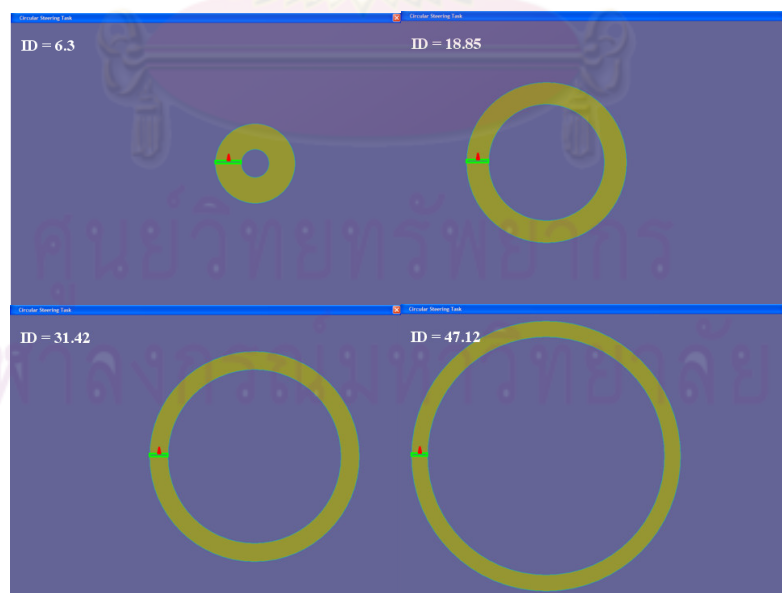
3.3.1.3 การทดสอบ Circular steering task

Circular steering task เป็นการทดสอบการเคลื่อนที่ตามเส้นโค้งที่มีรัศมีความโค้งคงที่ การทดสอบจะทดสอบ 2 ทิศทางคือ การเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกาและการเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกา เมื่อเริ่มการทดสอบ โปรแกรมจะแสดงวงแหวนวงหนึ่งพื้นที่วงแหวนมีสีเทาขณะที่พื้นหลังเป็นสีน้ำเงินขอบของวงแหวนดังกล่าวถือว่าเป็นขอบเขตการคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ภายในวงแหวนจะมีแถบสีซึ่งใช้เป็นแถบเริ่มต้น แถบดังกล่าวจะมีสองสีคือ สีเขียวใช้สำหรับการเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกา และสีน้ำเงินใช้สำหรับการเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา ที่แถบดังกล่าวมีสามเหลี่ยมสีแดงติดอยู่เพื่อบอกทิศทางในการเคลื่อนที่ ผู้ทดสอบจะต้องเลื่อนเคอร์เซอร์ไปที่พื้นที่ดังกล่าวและคลิกเมาส์ปุ่มซ้ายเพื่อเริ่มการทดสอบ ผู้ทดสอบจะต้องเลื่อนเคอร์เซอร์ไปตามทิศทางที่สามเหลี่ยมสีแดงกำหนดไว้พร้อมกับกดเมาส์ปุ่มซ้ายค้างไว้ เมื่อใช้คลิกเมาส์ลงบนพื้นที่เริ่มต้นแล้ว พื้นที่เริ่มต้นและสามเหลี่ยมบอกทิศทางจะหายไปและปรากฏเส้นสีแดงขึ้นมาแทนที่ตำแหน่งเดิม เส้นสีแดงนั้นคือเส้นสิ้นสุด ผู้ทดสอบจะต้องลากเส้นให้อยู่ภายในวงแหวนตามทิศทางที่สามเหลี่ยมสีแดงกำหนดจนกระทั่งผ่านเส้นสิ้นสุด หากผู้ทดสอบปล่อยเมาส์ปุ่มซ้ายก่อนที่จะผ่านเส้นดังกล่าว หรือว่าเลื่อนเคอร์เซอร์ไปสัมผัสกับขอบของวงแหวน การทดสอบดังกล่าวจะถูกยกเลิก โปรแกรมทดสอบจะบันทึกจำนวนครั้งที่ผิดพลาดและผู้ทดสอบจะต้องทำการทดสอบใหม่ในทิศทางเดิม หากผู้ทดสอบสามารถทำงานได้สำเร็จ โปรแกรมจะทำการบันทึกเวลาที่ใช้ตั้งแต่การคลิกลงบนพื้นที่เริ่มต้นจนถึงการลากเส้นผ่านเส้นสิ้นสุด และวงแหวนดังกล่าวจะหายไป วงแหวนใหม่จะปรากฏขึ้น ผู้ทดสอบจะต้องทดสอบการลากเส้นในทิศทางใหม่ เมื่อผู้ทดสอบทำการทดสอบการเคลื่อนที่ทิศทางละ 6 ครั้ง

โปรแกรมจะเพิ่มระดับความยากของงานกล่าวคือรัศมีวงนอกของวงแหวนจะเพิ่มขึ้น และผลต่างระหว่างรัศมีวงนอกกับวงในจะลดลง หากผู้ทดสอบทำงานไม่สำเร็จ โปรแกรมจะสร้างงานขึ้นมาจนกว่าผู้ทดสอบจะทำงานสำเร็จครบตามจำนวนที่ตั้งไว้ก่อนที่จะเพิ่มระดับความยาก เช่นเดียวกับ Pointing task และ Linear steering task ความยากในการทดสอบนี้มี 4 ระดับกำหนดโดยค่า index of difficulty ของ steering law คือ ค่า ID = 7.85, 15.71, 31.42 และ 56.55 ตามลำดับ เมื่อการทดสอบทั้งหมดจบลง หน้าต่างทดสอบจะปิดตัวเองและกลับเข้าสู่เมนูหลัก



รูปที่ 3-7 หน้าต่างการทดสอบการเคลื่อนที่ตามเส้นโค้งรัศมีคงที่



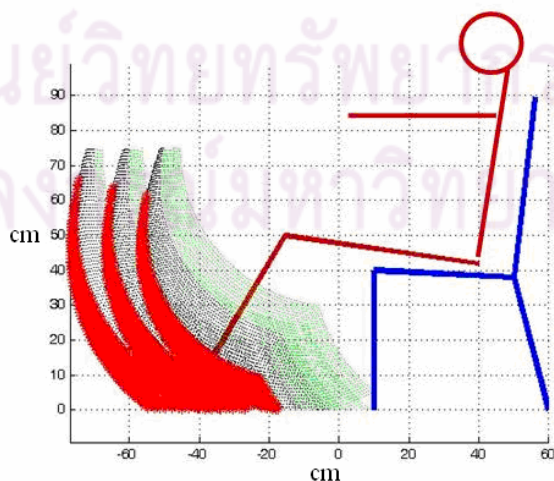
รูปที่ 3-8 Circular steering task ที่ระดับความยากต่างๆ

3.3.2 อุปกรณ์สร้างการเคลื่อนที่

ในงานวิจัยนี้ต้องการให้การเคลื่อนไหวของร่างกายที่สร้างขึ้นรบกวนการทำงานของมนุษย์น้อยที่สุด จึงเลือกที่จะควบคุมการเคลื่อนที่ของร่างกายส่วนล่างตั้งแต่สะโพกลงไป เนื่องจากว่าการเคลื่อนไหวร่างกายส่วนดังกล่าวจะรบกวนการทำงานน้อยสำหรับการทำงานในท่านั่ง การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ที่จะออกแบบให้สัมผัสกับร่างกายน้อยที่สุด เพื่อให้ผู้ทดสอบจะไม่รู้สึกถึงความผิดปกติของสภาพแวดล้อมขณะทำงานมากนัก เจื่อนใจในการออกแบบอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ที่สามารถระบุได้ดังนี้

- การเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นต้องอยู่ภายในขอบเขตการเคลื่อนที่ของร่างกายมนุษย์
- การเคลื่อนที่ที่ต้องต่อเนื่องและราบเรียบ
- การเคลื่อนที่ดังกล่าวไม่ก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บและเมื่อยล้า

เพื่อที่จะบรรลุเจื่อนใจดังกล่าวจึงต้องเลือกบริเวณที่จะควบคุมการเคลื่อนที่ให้เหมาะสม บริเวณที่อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่สัมผัสด้วยคือเท้า เนื่องจากมีความคล่องตัวในการเคลื่อนที่และการเคลื่อนไหวเท้าจะมีผลกระทบต่อการทำงานของร่างกายส่วนบนน้อย การสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ควบคุมดังกล่าวจึงอ้างอิงการเคลื่อนที่ของข้อเท้าของมนุษย์ ขึ้นแรกพิจารณาขอบเขตการเคลื่อนที่ของข้อเท้าของมนุษย์โดยอาศัยข้อมูลร่างกายมนุษย์จากภาคผนวก ก จากข้อมูลดังกล่าวจะสรุปได้ว่าขอบเขตการเคลื่อนที่ของข้อเท้าของมนุษย์ในท่านั่งที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ต่างๆจะมีลักษณะคล้ายจันทร์เสี้ยวดังรูปที่ 3-7 รูปดังกล่าวเกิดจากการสร้าง work space ของข้อเท้ามนุษย์โดยกำหนดให้ข้อเท้าเคลื่อนที่จากขอบเขตการเคลื่อนที่ของสะโพกและหัวเข่าของมนุษย์

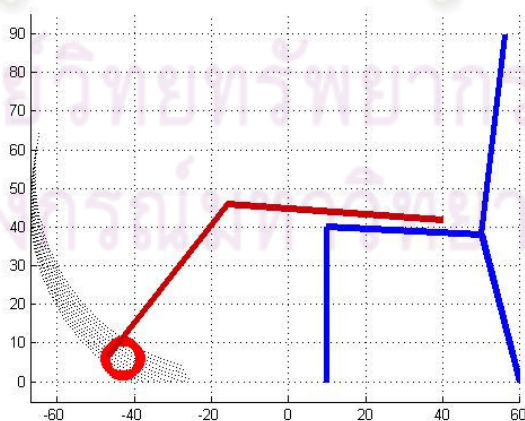


รูป 3-9 ขอบเขตการเคลื่อนที่ของข้อเท้าในขณะที่นั่ง ที่ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ต่างๆ

จากรูปที่ 3-7 สรุปได้ว่าการออกแบบอุปกรณ์ดังกล่าวควรวางตำแหน่งที่ขอบเขตการเคลื่อนที่ของข้อต่อสะโพกและข้อต่อหัวเข่าที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 เป็นหลักเพื่อให้คน 95 เปอร์เซ็นต์สามารถใช้งานได้ และอุปกรณ์ดังกล่าวควรจะย้ายตำแหน่งได้สะดวกเพื่อให้อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสามารถรองรับการใช้งานของบุคคลที่มีขายาวไม่เท่ากันได้

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ปกติของหัวเข่าแล้วพบว่า โดยปกติหัวเข่ามีการเคลื่อนที่ส่วนใหญ่คล้ายข้อต่อบานพับ ดังนั้นการเคลื่อนที่ซึ่งเหมาะสมที่จะเคลื่อนที่ในขณะที่นั่งทำงานจึงควรเป็นการเคลื่อนที่ภายในระนาบที่ตั้งฉากกับระนาบกายมนุษย์ (sagittal plane)

เนื่องจากการทดสอบนี้เป็นการทดสอบหาข้อมูลเบื้องต้นเพื่อเป็นบรรทัดฐานในการออกแบบการทดลอง กลไกการเคลื่อนที่ที่เลือกใช้จึงเป็นกลไกที่ง่าย และเมื่อพิจารณาเงื่อนไขต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น กลไกที่สอดคล้องกับเงื่อนไขดังกล่าวคือกลไกการเคลื่อนที่ของจักรยาน ซึ่งรูปแบบการเคลื่อนที่ดังกล่าวเป็นที่คุ้นเคยสำหรับคนทั่วไป เมื่อทำการเปรียบเทียบรูปแบบการเคลื่อนที่ของการถีบจักรยานกับ Workspace ของเท้าผู้ทดสอบโดยอ้างอิงข้อมูลร่างกายมนุษย์ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ภาคผนวก ก. ตามรูปที่ 3-7 จะพบว่ากลไกที่เหมาะสมที่จะควบคุมจะมีความยาวของขาถีบเท่ากับ 10 เซนติเมตร ในการทดสอบเบื้องต้นนี้จึงเลือกซื้อจักรยานสำหรับเด็กขนาดวงล้อ 11 นิ้ว มีความยาวขาถีบเท่ากับ 10 เซนติเมตร ซึ่งเป็นจักรยานขนาดเล็กที่มีขายในท้องตลาด มาทำการดัดแปลง การขับเคลื่อนอุปกรณ์ใช้ Brushless servo motor ยี่ห้อ Parker รุ่น IBE 232F ต่อกับเกียร์ทดขนาด 1:15 แหล่งพลังงานของมอเตอร์คือ DC power supply ขนาด 48 โวลต์ 2.5 แอมแปร์ ยี่ห้อ Kepco การควบคุมมอเตอร์ใช้โปรแกรม iWare ที่มากับไดรฟ์เวอร์ของมอเตอร์ส่งสัญญาณผ่านช่อง RS 232 รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ง



รูปที่ 3-10 การจำลองการนั่งปั่นจักรยานของคนที่มีร่างกายตามขนาดเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5



รูปที่ 3-11 อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่สำหรับการทดสอบเบื้องต้น



รูปที่ 3-12 การทดสอบเบื้องต้น

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

ในส่วนของขั้นตอนการทดสอบนี้จะเรียกอาสาสมัครว่าผู้ทดสอบ และเรียกผู้วิจัยว่าผู้ควบคุมการทดสอบ เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ ขั้นตอนในการทดสอบเบื้องต้นมีดังนี้

- 1 ผู้ควบคุมการทดสอบจัดเตรียมสถานที่ทดสอบ ตรวจสอบความเรียบร้อยของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบอันได้แก่ อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ คอมพิวเตอร์ แหล่งจ่ายพลังงาน เป็นต้น
- 2 ผู้ควบคุมการทดสอบอธิบายการทดสอบให้ผู้ทดสอบโดยสังเขป
- 3 ผู้ทดสอบทำการทดลองใช้โปรแกรมเพื่อความคุ้นเคย การทดลองทำงานทั้ง 3 งานคือ multidirectional pointing task, linear steering task และ circular steering task ใช้เวลาประมาณ 5 นาที
- 4 ผู้ทดสอบวางเท้าลงบนอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ ผู้ควบคุมการทดสอบสั่งให้ผู้ทดสอบบังคับให้เท้าของผู้ทดสอบเคลื่อนเป็นวงกลมด้วยความเร็วรอบที่กำหนด

5 ผู้ทดสอบเริ่มทำการทดสอบ โดยผู้ทดสอบสามารถเลือกทำงานใดก่อนก็ได้ เมื่อผู้ทดสอบทำการทดลองครบทั้ง 3 งานแล้ว ผู้ควบคุมการทดสอบจะทำการเปลี่ยนความเร็วในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สร้างการเคลื่อนที่ ผู้ทดสอบจะยังคงนั่งวางเท้าอยู่บนอุปกรณ์ดังกล่าว และนั่งพักสายตาเป็นเวลาประมาณ 3 นาที

6 ผู้ทดสอบจะเริ่มการทดสอบอีกครั้งและดำเนินการซ้ำตามขั้นตอนที่ 5 จนกระทั่งทดสอบครบตามเงื่อนไขคือ ความเร็วในการเคลื่อนที่หวนมาเป็นวงกลมที่ค่า 0, 20, 40, 60 และ 80 รอบต่อนาที

7 ผู้ควบคุมการทดสอบหยุดการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ ปิดโปรแกรมทดสอบ ตรวจสอบข้อมูลที่ได้อาจการทดลอง เป็นอันเสร็จสิ้นขั้นตอนการทดสอบเบื้องต้น ใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 120 นาทีต่ออาสาสมัคร 1 คน

3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานจะใช้โปรแกรม SPSS version 9.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมทางสถิติที่เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย โดยจะทำการวิเคราะห์ผลของความเร็วในการเพิ่มการเคลื่อนที่หวนให้ร่างกายที่ระดับความยากของงานแตกต่างกัน ต่อเวลาที่ใช้ในการทำงาน และความแม่นยำในการทำงาน ซึ่งเวลาที่ใช้ในการทำงานจะเป็นข้อมูลแบบสเกลซึ่งวัดมาจากเวลาที่ใช้ในการทำงานแต่ละครั้ง ส่วนความแม่นยำจะเป็นสัดส่วนความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการทดลองหนึ่งชุด

การบอกความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการทำงาน และความแม่นยำในการทำงาน อันเกิดจากผลของความเร็วในการเพิ่มการเคลื่อนที่หวนให้ร่างกายที่ระดับความยากของงานแตกต่างกันจะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (two-way analysis of variant, two-way ANOVA) เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของผลลัพธ์เมื่อตัวแปรต้นมีมากกว่า 2 เงื่อนไข และมีมากกว่า 1 ตัวแปรต้นที่เข้ามามีผลต่อการทดลองที่พื้นฐานและได้รับการยอมรับใช้มากที่สุด โดยที่สมมติฐานในการทดสอบของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละตัวแปรคือ ซึ่งจะสามารถบอกได้ว่ามีกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งที่หลุดจากเงื่อนไขของสมมติฐานคือมีค่าและทำการพิสูจน์ว่าในบรรดาค่าเฉลี่ยของเงื่อนไขต่างๆ มีกรณีใดบ้างที่ค่าเฉลี่ยแตกต่างจากค่าอื่น

การแปลผลของการทำงาน Pointing task จะใช้วิธีการระบุตัวที่แตกต่างจากกลุ่มโดยใช้วิธี Scheffe method ซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดการวิเคราะห์การเปรียบเทียบระบุเงื่อนไขการทดลองที่ให้ค่าแตกต่างจากกลุ่มในกรณีที่หน่วยการทดลองแต่ละเงื่อนไขไม่เท่ากัน จึง

เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงาน pointing task ซึ่งมีหน่วยตัวอย่างไม่เท่ากัน โดยมีวิธีการหาคือเปรียบเทียบระหว่างความแตกต่างจริงของค่าเฉลี่ยที่ได้จากชุดการทดลองและค่าความแตกต่างคาดการณ์ที่เกิดขึ้นจากการคำนวณซึ่งได้จากสมการ

$$\text{Different expected} = \sqrt{MSE \times \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right) \times \sqrt{(n_a - 1)F}}$$

$$MSE = \text{mean square error} = \frac{SSE}{Df_{err}}$$

$$\text{โดยที่ } SSE = \sum_i \sum_j x_{ij}^2 - \sum_j \left(\frac{T_j^2}{n_e}\right)$$

Df_{err} = degree of freedom ของ error

n_1, n_2 = จำนวนตัวอย่างกลุ่มที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

n_a = จำนวนกลุ่ม

F = การแจกแจง F (หรือ F distribution) โดยที่ $F_{a,b} \equiv \frac{\chi_a^2/a}{\chi_b^2/b}$ หรือก็คือค่า F เป็นสัดส่วน

ของค่าไคส์แควร์กำลังสองหารด้วยองศาอิสระ ที่องศาอิสระ a และ b ค่าดังกล่าวสามารถเปิดได้จากตารางตามหนังสือสถิติทั่วไป

สำหรับการทดลอง Linear steering task และ Circular steering task จะใช้การวิเคราะห์ของ Tukey Method ซึ่งเป็นวิธีการระบุกลุ่มที่แตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดแต่จะได้อีกกับกรณีที่หน่วยทดลองเท่ากันเท่านั้น จึงเข้ากับเงื่อนไขของการทดลองทั้งสองนี้เพราะมีตัวอย่างเท่ากัน โดยมีหลักการเดียวกับวิธี Scheffe แต่ค่าความแตกต่างคาดการณ์จะเท่ากับ

$$\text{Different expected} = q(\text{Treatment}, Df_{err}) \sqrt{\frac{MSE}{r}}$$

MSE = mean square error

r = จำนวนตัวอย่าง

Df_{err} = degree of freedom ของ error

Treatment = จำนวนกลุ่ม

q = การแจกแจง q (หรือ studentized range distribution) ซึ่งเป็นการแจกแจงของช่วงของข้อมูลหารด้วยค่าประมาณค่าประมาณของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ในการวิเคราะห์แบบจับกลุ่มรวมเงื่อนไขของงานทั้งสามรูปแบบในการเปรียบเทียบระหว่างเงื่อนไขที่มีการให้ความเร็วกับร่างกายและเงื่อนไขการทำงานแบบปกติ ใช้การ

วิเคราะห์โดยใช้ contrast ซึ่งจะเป็นการจัดกลุ่มข้อมูลตามสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพิ่มเติมในการวิเคราะห์แบบ ANOVA

การพิจารณาความแตกต่างของข้อมูลจะพิจารณาจากค่านัยสำคัญ (sig) หรือบางครั้งเรียกว่าค่า p ซึ่งเราสามารถพิจารณาได้ว่า ข้อมูลทั้งสองกลุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญก็ต่อเมื่อค่า sig หรือ p นั้นมีค่าต่ำกว่า 0.05 ที่ค่า sig=0.05 แสดงถึงระดับความมั่นใจที่ 95% ความหมายของ sig=0.05 คือค่าความคลาดเคลื่อนในการเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลไม่เกิน 5% ค่านี้เป็นค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ เมื่อค่า sig มีค่าลดลงแสดงว่าขอบเขตของความคลาดเคลื่อนจากการเปรียบเทียบนี้มีค่าลดลง ซึ่งจะทำให้มั่นใจได้มากขึ้นว่าข้อมูลทั้งสองกลุ่มแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามโปรแกรม SPSS ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลครั้งนี้จะแสดงค่า sig เพียงแค่ 3 ตำแหน่งซึ่งหมายความว่าค่า sig ที่มีค่าน้อยกว่า 0.0005 จะถูกแสดงด้วยค่า sig = 0.000

3.6 ผลการวิเคราะห์ผลการทดสอบเบื้องต้น

3.6.1 ผลกระทบต่องาน Pointing task

เมื่อทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการทำงานและ index of difficulty ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ค่าหนึ่ง ด้วยวิธีการสมการถดถอย พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความยากเป็นไปตาม Fitts' law อย่างมีนัยสำคัญ ($R^2 = 0.8 - 0.98$)

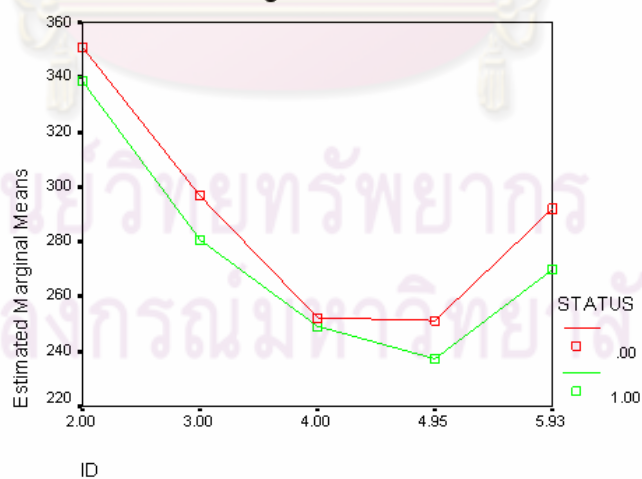
เพื่อให้การวิเคราะห์ข้อมูลที่แต่ละความยากเป็นมาตรฐานเดียวกันจึงกำหนดให้เวลาต่อความยากมีค่าเท่ากับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่หารด้วยระดับความยาก (index of difficulty) เมื่อพิจารณาค่าเวลาต่อความยากจะได้ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแยกตามค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ที่กำหนดและระดับความยากของงาน (index of difficulty) มีค่าดังตารางที่ 3-2 หลังจากนั้นทำการพิจารณาผลกระทบจากการใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่โดยทำการเปรียบเทียบเวลาต่อความยากของการทำงานระหว่างการทำงานตามปกติกับการทำงานเมื่อใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3-10 และตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาต่อความยากของ Pointing task

Dependent Variable: AVETIME

(rpm) VELOCITY	ID	(ms) Mean	Std. Deviation	N
.00	2.00	350.9375	62.0528	120
	3.00	296.5111	59.1839	120
	4.00	252.6729	62.5874	120
	4.95	251.4552	43.0960	120
	5.93	291.9733	94.6043	120
	Total	288.7100	75.5932	600
20.00	2.00	354.3792	71.8340	120
	3.00	274.6250	47.8715	120
	4.00	249.4646	48.1944	120
	4.95	232.4780	47.2222	120
	5.93	275.8047	78.1870	120
	Total	277.3503	73.1377	600
40.00	2.00	334.7333	99.4364	120
	3.00	271.7083	52.9123	120
	4.00	244.8062	49.4499	120
	4.95	237.9464	40.2344	120
	5.93	259.9817	65.3590	120
	Total	269.8352	73.2782	600
60.00	2.00	331.2500	61.5698	120
	3.00	293.8556	95.6618	120
	4.00	258.6042	48.2072	120
	4.95	248.9001	51.4736	120
	5.93	287.0259	85.0239	120
	Total	283.9271	76.4192	600
80.00	2.00	332.5625	69.0246	120
	3.00	283.7500	56.7913	120
	4.00	244.1271	55.0860	120
	4.95	231.3207	40.3760	120
	5.93	256.0151	61.8372	120
	Total	269.5551	67.5901	600

Estimated Marginal Means of AVETIME

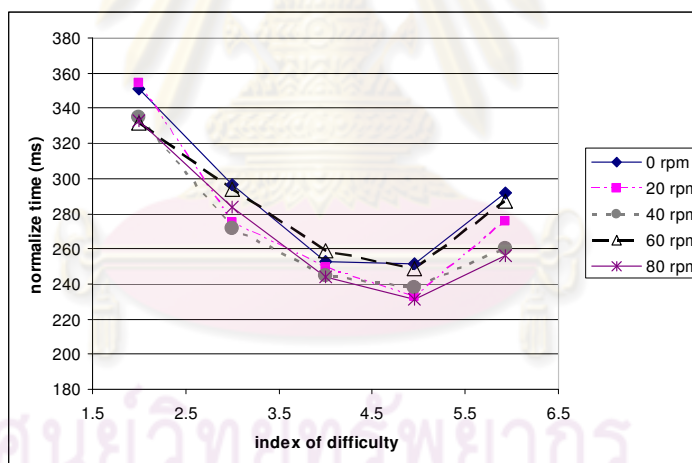


รูปที่ 3-13 การเปรียบเทียบเวลาต่อความยากในการทำงาน Pointing task ระหว่างการทำงานตามปกติ (status=0) และเมื่อใช้งานเครื่องควบคุมการเคลื่อนที่ (status=1)

ตารางที่ 3-3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาต่อความยากระหว่างการทำงานปกติ และการใช้อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ สำหรับ Pointing task

Contrast Tests							
		Contrast	Value of Contrast	Std. Error	t	df	Sig. (2-tailed)
AVETIME	Assume equal variances	1	54.1722	13.3770	4.050	2995	.000
	Does not assume equal	1	54.1722	13.6965	3.955	895.766	.000

จากรูปที่ 3-10 จะเห็นว่าเมื่อทำงานพร้อมกับใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ ผู้ทดสอบจะใช้เวลาในการทำงานน้อยกว่าการทำงานปกติ ทุกระดับความยากในการทำงาน และเมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยทั้งสองด้วยวิธีการ contrast test พบว่าค่าทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (sig < 0.05 ตามตารางที่ 3-3) จากนั้นทำการพิจารณาผลกระทบของการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนไหวให้กับร่างกายต่อประสิทธิภาพการทำงาน โดยนำข้อมูลมาพล็อตกราฟได้ผลดังรูปที่ 3-11 และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างตามตารางที่ 3-4



รูปที่ 3-14 ค่าเวลาต่อความยากที่ระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ สำหรับ Pointing task

ตารางที่ 3-4 การเปรียบเทียบเวลาต่อความยากที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ สำหรับ Pointing task

Tukey HSD

(I) VEL	(J) VEL	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
20.00	40.00	7.5151	3.6689	.170	-1.9104	16.9405
	60.00	-6.5769	3.6689	.277	-16.0023	2.8486
	80.00	7.7952	3.6689	.145	-1.6302	17.2206
40.00	20.00	-7.5151	3.6689	.170	-16.9405	1.9104
	60.00	-14.0919*	3.6689	.001	-23.5174	-4.6665
	80.00	.2801	3.6689	1.000	-9.1453	9.7056
60.00	20.00	6.5769	3.6689	.277	-2.8486	16.0023
	40.00	14.0919*	3.6689	.001	4.6665	23.5174
	80.00	14.3721*	3.6689	.001	4.9466	23.7975
80.00	20.00	-7.7952	3.6689	.145	-17.2206	1.6302
	40.00	-.2801	3.6689	1.000	-9.7056	9.1453
	60.00	-14.3721*	3.6689	.001	-23.7975	-4.9466

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

จากตารางที่ 3-4 เมื่อทำการเปรียบเทียบเวลาต่อความยากในการทำงานภายใต้ความเร็วในการควบคุมการเคลื่อนไหวกองขาที่ต่างกัน พบว่า เวลาต่อความยากที่ความเร็ว 40 รอบต่อนาทีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับเวลาต่อความยากที่ความเร็ว 60 รอบต่อนาที (sig=0.01) และเวลาต่อความยากที่ความเร็ว 80 รอบต่อนาทีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับเวลาต่อความยากที่ความเร็ว 60 รอบต่อนาที (sig=0.01) เช่นกัน อย่างไรก็ตาม ไรท์ศึกษาการพิจารณาข้อมูลจากตาราง 3-4 จะไม่เห็นถึงลักษณะความแตกต่างของข้อมูลมากนัก นักสถิติจึงมีวิธีการนำเสนอข้อมูลเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ เรียกว่าวิธีการดังกล่าวว่า Homogeneous subsets ดังแสดงในตารางที่ 3-5 Homogeneous subsets เป็นการนำเสนอข้อมูลในรูปของกลุ่ม ซึ่งค่าของสมาชิกภายในกลุ่มจะถือว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ หากข้อมูลคู่ใดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ข้อมูลทั้งสองจะถูกจัดให้อยู่คนละกลุ่ม เมื่อนำค่าเฉลี่ยของเวลาต่อความยากของแต่ละความเร็วในการเคลื่อนที่จากตารางที่ 3-2 มาเรียงลำดับจากน้อยไปมากจะได้ว่า ที่ 80 รอบต่อนาทีจะมีค่าน้อยที่สุด ตามด้วย 40, 20 รอบต่อนาที และที่ 60 รอบต่อนาที เวลาต่อความยากที่ใช้ทำงานจะมีค่ามากที่สุด และเมื่อพิจารณาข้อมูลจากตารางที่ 3-4 จะพบว่าข้อมูลที่ 80 รอบต่อนาที จะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับข้อมูลที่ 60 รอบต่อนาทีเช่นเดียวกับข้อมูลที่ 40 รอบต่อนาที ดังนั้น ข้อมูลที่ 80 รอบต่อนาทีและ 40 รอบต่อนาทีจึงอยู่กลุ่มเดียวกันใน subset ที่หนึ่ง และจะอยู่คนละกลุ่มกับข้อมูลที่ 60 รอบต่อนาที ซึ่งอยู่ subset ที่

สอง ในขณะที่ข้อมูลที่ 20 รอบต่อมาที่ไม่มีความแตกต่างกับข้อมูลใดเลย ดังนั้นข้อมูลที่ 20 รอบต่อ
มาที่จึงอยู่ทั้งสองกลุ่ม

ตารางที่ 3-5 การแบ่งกลุ่ม Homogeneous subsets ตามข้อมูลจากตาราง 3-4

Tukey HSD ^{a,b}

VEL	N	Subset	
		1	2
80.00	600	269.5551	
40.00	600	269.8352	
20.00	600	277.3503	277.3503
60.00	600		283.9271
Sig.		.145	.277

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 4038.179.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 600.000.

b. Alpha = .05.

ต่อมาเมื่อพิจารณาความแม่นยำในการทำงาน ซึ่งจะพิจารณาจากจำนวนครั้งที่ผู้
ทดสอบไม่สามารถที่จะบรรลุตามเป้าหมายที่กำหนดได้ โดยพิจารณาเป็นร้อยละ เมื่อรวบรวมข้อมูล
ที่ได้จากการทดลองแล้วจะสรุปข้อมูลได้ตามตารางที่ 3-6 ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

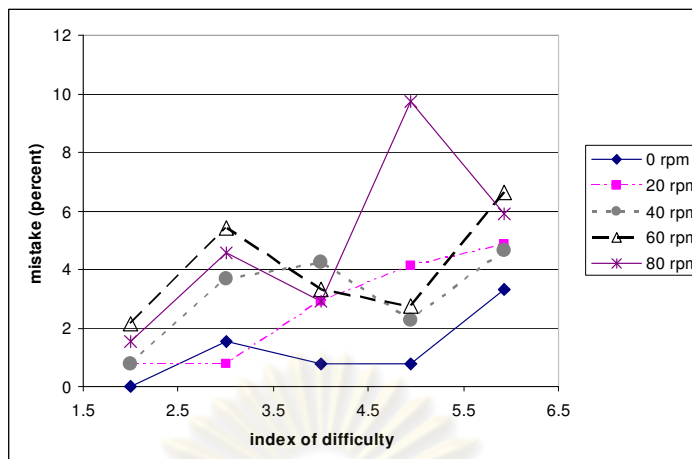
ตารางที่ 3-6 ร้อยละของความผิดพลาดเฉลี่ยของแต่ละเงื่อนไขการทำงาน สำหรับ Pointing task

Descriptive Statistics

Dependent Variable: ERROR

(rpm) VEL	ID	(%) Mean	Std. Deviation	N
.00	2.00	.0000	.0000	5
	3.00	1.5385	2.1066	5
	4.00	.7692	1.7201	5
	4.95	.7692	1.7201	5
	5.93	3.3333	7.4536	5
	Total	1.2821	3.5110	25
20.00	2.00	.7692	1.7201	5
	3.00	.7692	1.7201	5
	4.00	2.9121	4.6687	5
	4.95	4.1026	7.2183	5
	5.93	4.8485	10.8415	5
	Total	2.6803	5.9855	25
40.00	2.00	.7692	1.7201	5
	3.00	3.6813	4.3767	5
	4.00	4.2401	6.2295	5
	4.95	2.2507	3.3292	5
	5.93	4.6402	8.3926	5
	Total	3.1163	5.0850	25
60.00	2.00	2.1429	4.7916	5
	3.00	5.4094	8.0294	5
	4.00	3.3333	7.4536	5
	4.95	2.7586	6.1685	5
	5.93	6.6257	9.0647	5
	Total	4.0540	6.8445	25
80.00	2.00	1.5385	2.1066	5
	3.00	4.5584	1.5926	5
	4.00	2.9121	4.6687	5
	4.95	8.7500	11.9814	5
	5.93	5.9135	9.1277	5
	Total	4.7345	7.0058	25

จากข้อมูลในตารางที่ 3-6 นำข้อมูลดังกล่าวมาทำการสร้างกราฟ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเงื่อนไข จะได้กราฟค่าร้อยละความผิดพลาดตามรูปที่ 3-12 และผลการเปรียบเทียบตามตารางที่ 3-7 ซึ่งจากรูปที่ 3-12 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่แล้วทำให้ผู้ทดสอบทำงานผิดพลาดมากขึ้นสูงสุดประมาณ 3.5 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามเมื่อทำการพิจารณาทางสถิติแล้วพบว่าความแตกต่างดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญ (sig >0.05)



รูปที่ 3-15 การเปรียบเทียบความแม่นยำในการทำงาน Pointing task ที่ระดับการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนไหวต่างๆ

ตารางที่ 3-7 ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำในการทำงานที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ ของ Pointing task

Dependent Variable: ERROR
Tukey HSD

(I) VEL	(J) VEL	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.00	20.00	-1.3983	1.7200	.926	-6.1769	3.3804
	40.00	-1.8343	1.7200	.823	-6.6129	2.9444
	60.00	-2.7719	1.7200	.494	-7.5506	2.0067
	80.00	-3.4524	1.7200	.270	-8.2311	1.3262
20.00	.00	1.3983	1.7200	.926	-3.3804	6.1769
	40.00	-.4360	1.7200	.999	-5.2146	4.3427
	60.00	-1.3737	1.7200	.930	-6.1523	3.4050
	80.00	-2.0542	1.7200	.755	-6.8328	2.7245
40.00	.00	1.8343	1.7200	.823	-2.9444	6.6129
	20.00	.4360	1.7200	.999	-4.3427	5.2146
	60.00	-.9377	1.7200	.982	-5.7163	3.8410
	80.00	-1.6182	1.7200	.880	-6.3968	3.1605
60.00	.00	2.7719	1.7200	.494	-2.0067	7.5506
	20.00	1.3737	1.7200	.930	-3.4050	6.1523
	40.00	.9377	1.7200	.982	-3.8410	5.7163
	80.00	-.6805	1.7200	.995	-5.4591	4.0982
80.00	.00	3.4524	1.7200	.270	-1.3262	8.2311
	20.00	2.0542	1.7200	.755	-2.7245	6.8328
	40.00	1.6182	1.7200	.880	-3.1605	6.3968
	60.00	.6805	1.7200	.995	-4.0982	5.4591

Based on observed means.

สรุปได้ว่าการเพิ่มการเคลื่อนที่ให้กับร่างกายของผู้ทดสอบนั้นจะทำให้ผู้ทดสอบทำงานประเภท pointing task ได้เร็วขึ้น แม้ว่าจะยังไม่ทราบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างความเร็วที่เพิ่มขึ้นต่อประสิทธิภาพการทำงาน แต่ผู้ทดสอบใช้เวลาในการทำงานเพิ่มขึ้นที่ความเร็ว 60 รอบต่อนาที นอกจากนี้ความแม่นยำในการทำงานที่ลดลงมิได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการทำงานตามปกติและการทำงานเมื่อใช้อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่

3.6.2 ผลกระทบต่อ Linear steering task

เมื่อทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการทำงานและ Index of difficulty ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ค่าหนึ่ง ด้วยวิธีการสมการถดถอย พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความยากเป็นไปตาม steering law อย่างมีนัยสำคัญ ($R^2 = 0.95-0.99$)

เมื่อทำการพิจารณาค่าเวลาต่อความยากพบว่าค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแบ่งตามเงื่อนไขสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 3-8 จากนั้นพิจารณาผลกระทบของการใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่โดยทำการเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยของการทำงานระหว่างการทำงานตามปกติกับการทำงานเมื่อใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 3-9

ตารางที่ 3-8 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาต่อความยากสำหรับ linear steering task

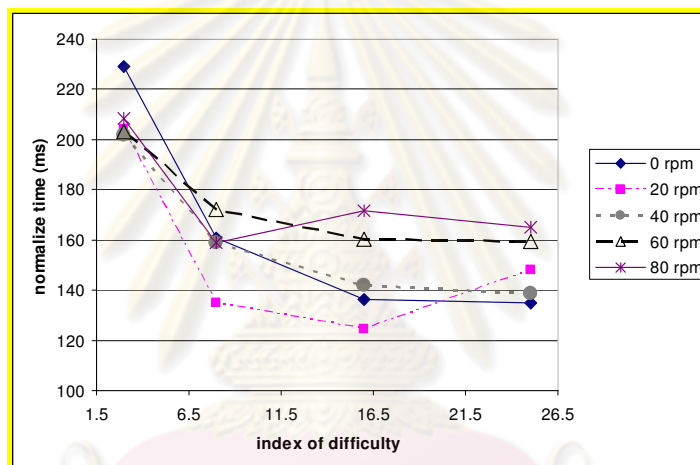
Dependent Variable: AVETIME

(rpm)		(ms)		95% Confidence Interval	
VEL	ID	Mean	Std. Error	Lower Bound	Upper Bound
.00	3.00	229.274	7.075	215.398	243.151
	8.00	160.756	7.030	146.967	174.546
	16.00	136.299	7.030	122.510	150.089
	25.00	134.772	7.075	120.895	148.648
20.00	3.00	204.271	7.030	190.481	218.060
	8.00	134.730	7.030	120.940	148.519
	16.00	124.508	7.030	110.718	138.297
	25.00	148.010	7.030	134.220	161.800
40.00	3.00	201.746	7.030	187.956	215.535
	8.00	158.923	7.030	145.134	172.713
	16.00	141.989	7.030	128.199	155.779
	25.00	138.793	7.030	125.003	152.583
60.00	3.00	203.308	7.030	189.519	217.098
	8.00	172.136	7.030	158.346	185.926
	16.00	160.112	7.030	146.322	173.901
	25.00	159.558	7.030	145.768	173.347
80.00	3.00	208.446	7.030	194.656	222.235
	8.00	158.710	7.075	144.834	172.587
	16.00	171.695	7.030	157.905	185.484
	25.00	165.034	7.075	151.158	178.911

ตารางที่ 3-9 การเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาต่อความยากระหว่างการทำงานปกติ และการใช้อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ สำหรับ Linear steering task

Contrast Tests							
		Contrast	Value of Contrast	Std. Error	t	df	Sig. (2-tailed)
AVETIME	Assume equal variances	1	-2.4007	17.1214	-.140	1591	.889
	Does not assume equal	1	-2.4007	17.9144	-.134	461.478	.893

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทั้งสองด้วยวิธีการ contrast test ซึ่งได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 3-9 พบว่าค่าทั้งสองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (sig =0.892 ตามตารางที่ 3-9) จากนั้นทำการพิจารณาผลกระทบของการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนไหวกับร่างกายต่อประสิทธิภาพการทำงาน ได้ผลดังรูปที่ 3-13 และตารางที่ 3-10



รูปที่ 3-16 ค่าเวลาต่อความยากที่ระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ ของ Linear steering task

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-10 การเปรียบเทียบเวลาต่อความยากที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ ของ Linear steering task

Tukey HSD

(I) VEL	(J) VEL	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
20.00	40.00	-7.4832	4.9918	.438	-20.3074	5.3409
	60.00	-20.8988*	4.9918	.000	-33.7229	-8.0747
	80.00	-23.1804*	4.9996	.000	-36.0247	-10.3361
40.00	20.00	7.4832	4.9918	.438	-5.3409	20.3074
	60.00	-13.4155*	4.9918	.036	-26.2397	-.5914
	80.00	-15.6971*	4.9996	.009	-28.5414	-2.8529
60.00	20.00	20.8988*	4.9918	.000	8.0747	33.7229
	40.00	13.4155*	4.9918	.036	.5914	26.2397
	80.00	-2.2816	4.9996	.968	-15.1259	10.5627
80.00	20.00	23.1804*	4.9996	.000	10.3361	36.0247
	40.00	15.6971*	4.9996	.009	2.8529	28.5414
	60.00	2.2816	4.9996	.968	-10.5627	15.1259

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

จากตารางที่ 3-10 เมื่อทำการเปรียบเทียบเวลาต่อความยากในการทำงานภายใต้การความเร็วในการควบคุมการเคลื่อนไหวก่อนหน้าที่แตกต่างกัน พบว่า เวลาต่อความยากที่ความเร็ว 20 รอบต่อนาทีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับเวลาต่อความยากที่ความเร็ว 60 และ 80 รอบต่อนาที (sig=0.000) และเวลาต่อความยากที่ความเร็ว 40 รอบต่อนาทีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับเวลาต่อความยากที่ความเร็ว 60 และ 80 รอบต่อนาที (sig=0.036 และ 0.009) เช่นกัน เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาความสัมพันธ์ดังกล่าวจึงทำการจัดข้อมูลเป็น Homogeneous subsets เช่นเดียวกับ Pointing task ซึ่งจากตารางดังกล่าวจะพบว่าการเพิ่มการเคลื่อนไหวก่อนหน้า 60 และ 80 รอบต่อนาที จะใช้เวลาต่อความยากในการทำงานมากกว่าการเพิ่มการเคลื่อนไหวก่อนหน้า 20 และ 40 รอบต่อนาที

ตารางที่ 3-11 การแบ่งกลุ่ม Homogeneous subsets ตามข้อมูลจากตาราง 3-10

Tukey HSD^{a,b,c}

VEL	N	Subset	
		1	2
20.00	320	152.8796	
40.00	320	160.3628	
60.00	320		173.7784
80.00	318		176.0600
Sig.		.439	.968

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 3986.901.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 319.498.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

จากตารางที่ 3-11 จะเห็นได้ว่าเมื่อควบคุมการเคลื่อนไหวให้กับร่างกายส่วนล่างของคนด้วยความเร็วต่ำ (20 และ 40 รอบต่อนาที) ผู้ทดสอบจะใช้เวลาต่อความยากในการทำงานน้อยกว่ากรณีที่ควบคุมให้เคลื่อนไหวด้วยความเร็วสูง (60 และ 80 รอบต่อนาที)

ต่อมาเมื่อพิจารณาความแม่นยำในการทำงาน ซึ่งยึดหลักเกณฑ์เดียวกับ Pointing task จะสามารถสรุปข้อมูลได้ตามตารางที่ 3-12 ดังนี้

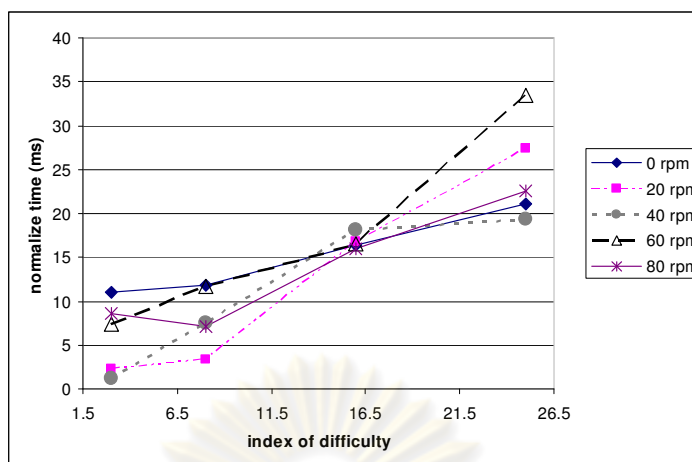
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-12 ร้อยละของความผิดพลาดเฉลี่ยของแต่ละเงื่อนไขการทำงาน Linear steering task

Dependent Variable: ERROR

(rpm) VEL	ID	(%) Mean	Std. Deviation	N
.00	3.00	10.9654	10.7368	5
	8.00	11.8266	5.4264	5
	16.00	16.3642	5.5716	5
	25.00	21.0101	16.3077	5
	Total	15.0416	10.4842	20
20.00	3.00	2.2222	4.9690	5
	8.00	3.3987	5.0076	5
	16.00	16.7730	8.8231	5
	25.00	27.3504	16.1782	5
	Total	12.4361	13.9428	20
40.00	3.00	1.1765	2.6307	5
	8.00	7.4923	7.9459	5
	16.00	18.1420	4.8475	5
	25.00	19.2791	12.7063	5
	Total	11.5225	10.6533	20
60.00	3.00	7.3987	8.4314	5
	8.00	11.7331	6.1977	5
	16.00	16.5371	13.1166	5
	25.00	33.4377	13.2874	5
	Total	17.2766	14.1096	20
80.00	3.00	8.5752	7.4999	5
	8.00	7.1579	9.9138	5
	16.00	15.9115	8.3677	5
	25.00	22.5397	11.1338	5
	Total	13.5461	10.6475	20

จากข้อมูลในตารางที่ 3-12 นำข้อมูลดังกล่าวมาทำการสร้างกราฟ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเงื่อนไข จะได้กราฟค่าร้อยละความผิดพลาดตามรูปที่ 3-14 และผลการเปรียบเทียบตามตารางที่ 3-16 ซึ่งจากรูปที่ 3-14 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่แล้วทำให้ผู้ทดสอบทำงานผิดพลาดมากขึ้นเมื่องานมีระดับความยากสูง และจะทำงานผิดพลาดน้อยลงที่ระดับความยากต่ำ อย่างไรก็ตามเมื่อทำการพิจารณาทางสถิติแล้วพบว่าความแตกต่างดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญ (sig >0.05)



รูปที่ 3-17 การเปรียบเทียบความแม่นยำในการทดลองที่ระดับการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนไหวแตกต่างกัน

ตารางที่ 3-13 ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำในการทำงานที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ

Tukey HSD

(I) VEL	(J) VEL	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.00	20.00	2.6055	3.0763	.915	-5.9803	11.1913
	40.00	3.5191	3.0763	.783	-5.0667	12.1050
	60.00	-2.2350	3.0763	.950	-10.8209	6.3508
	80.00	1.4955	3.0763	.988	-7.0903	10.0814
20.00	.00	-2.6055	3.0763	.915	-11.1913	5.9803
	40.00	.9136	3.0763	.998	-7.6722	9.4995
	60.00	-4.8405	3.0763	.519	-13.4264	3.7453
	80.00	-1.1100	3.0763	.996	-9.6958	7.4759
40.00	.00	-3.5191	3.0763	.783	-12.1050	5.0667
	20.00	-.9136	3.0763	.998	-9.4995	7.6722
	60.00	-5.7542	3.0763	.342	-14.3400	2.8317
	80.00	-2.0236	3.0763	.965	-10.6094	6.5622
60.00	.00	2.2350	3.0763	.950	-6.3508	10.8209
	20.00	4.8405	3.0763	.519	-3.7453	13.4264
	40.00	5.7542	3.0763	.342	-2.8317	14.3400
	80.00	3.7306	3.0763	.744	-4.8553	12.3164
80.00	.00	-1.4955	3.0763	.988	-10.0814	7.0903
	20.00	1.1100	3.0763	.996	-7.4759	9.6958
	40.00	2.0236	3.0763	.965	-6.5622	10.6094
	60.00	-3.7306	3.0763	.744	-12.3164	4.8553

Based on observed means.

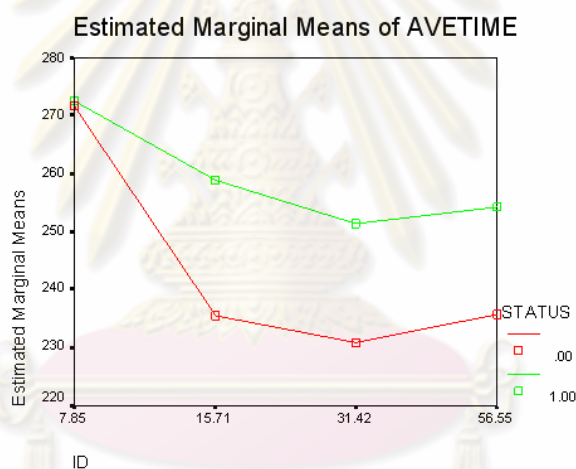
สรุปได้ว่าการเพิ่มการเคลื่อนที่ให้กับร่างกายของผู้ทดสอบนั้นไม่มีผลกระทบที่มีนัยสำคัญต่อการทำงานประเภท Linear steering task แต่หากพิจารณาเปรียบเทียบขณะที่ใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ที่พบว่าเคลื่อนที่ที่ความเร็วต่ำ (20 และ 40 รอบต่อนาที) จะทำให้

ผู้ทดสอบใช้เวลาต่อความยากในการทำงานน้อยกว่าการเคลื่อนที่ที่ความเร็วสูง (60 และ 80 รอบต่อ นาที)

3.6.3 ผลกระทบต่อ Circular steering task

เมื่อทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการทำงานและ Index of difficulty ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ค่าหนึ่ง ด้วยวิธีการสมการถดถอย พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง เวลาและความยากเป็นไปตาม steering law อย่างมีนัยสำคัญ ($R^2=0.90-0.99$)

เมื่อทำการพิจารณาค่าเวลาต่อความยากพบว่าค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แบ่งตามเงื่อนไขสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 3-14 จากนั้นพิจารณาผลกระทบของการใช้งาน อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ โดยทำการเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยของการทำงานระหว่างการทำงาน ตามปกติกับการทำงานเมื่อใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 3-15



รูปที่ 3-18 การเปรียบเทียบเวลาต่อความยากในการทำงาน Circular steering task ระหว่างการทำงานตามปกติ (status=0) และเมื่อใช้งานเครื่องควบคุมการเคลื่อนที่ (status=1)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-14 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาต่อความยากสำหรับ Circular steering task

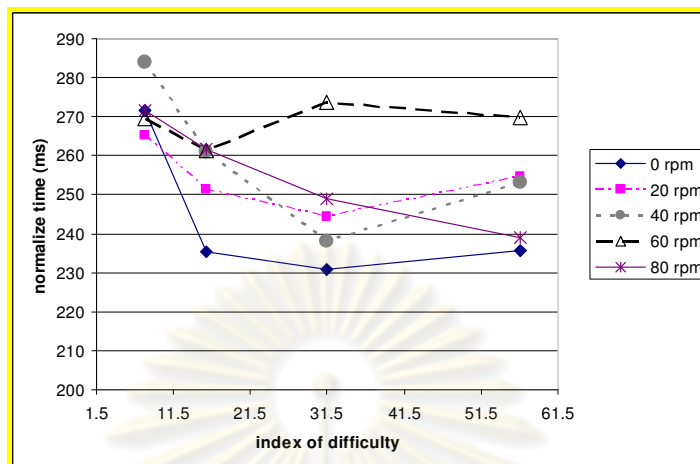
ID	(rpm) VEL	(ms) Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
7.85	.00	271.661	5.282	261.297	282.024
	20.00	265.165	5.282	254.801	275.529
	40.00	284.003	5.282	273.639	294.366
	60.00	269.575	5.282	259.211	279.938
	80.00	271.463	5.282	261.100	281.827
15.71	.00	235.366	5.282	225.002	245.730
	20.00	251.201	5.282	240.837	261.565
	40.00	261.021	5.282	250.657	271.384
	60.00	261.242	5.282	250.879	271.606
	80.00	261.712	5.282	251.349	272.076
31.42	.00	230.736	5.282	220.372	241.100
	20.00	244.285	5.282	233.921	254.649
	40.00	238.185	5.282	227.821	248.549
	60.00	273.692	5.282	263.328	284.056
	80.00	248.902	5.282	238.538	259.266
56.55	.00	235.647	5.282	225.283	246.011
	20.00	254.771	5.282	244.407	265.134
	40.00	253.049	5.282	242.685	263.413
	60.00	269.865	5.282	259.501	280.229
	80.00	239.062	5.282	228.698	249.425

ตารางที่ 3-15 ตารางแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาต่อความยากระหว่างการทำงานปกติ และการใช้อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ สำหรับ circular steering task

Contrast Tests							
		Contrast	Value of Contrast	Std. Error	t	df	Sig. (2-tailed)
AVETIME	Assume equal variances	1	-63.3887	23.5639	-2.690	1195	.007
	Does not assume equal	1	-63.3887	24.8874	-2.547	344.872	.011

จากรูปที่ 3-15 จะเห็นว่าเวลาต่อความยากในการทำงานตามปกติจะน้อยกว่าการทำงานพร้อมกับใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทั้งสองด้วยวิธีการ contrast test ซึ่งแสดงตามตารางที่ 3-15 พบว่าความแตกต่างดังกล่าวนี้มีนัยสำคัญ (sig

<0.05 ตามตารางที่ 3-19) จากนั้นทำการพิจารณาผลกระทบของการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนไหวกับร่างกายต่อประสิทธิภาพการทำงาน ได้ผลดังรูปที่ 3-16 และตารางที่ 3-16



รูปที่ 3-19 ค่าเวลาต่อความยากที่ระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ ของ Circular steering task

ตารางที่ 3-16 การเปรียบเทียบเวลาต่อความยากที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ สำหรับงาน

Circular steering task

Multiple Comparisons

Dependent Variable: AVETIME

Tukey HSD

(I) VEL	(J) VEL	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
20.00	40.00	-5.2090	3.3763	.412	-13.8830	3.4649
	60.00	-14.7382*	3.3763	.000	-23.4121	-6.0642
	80.00	-1.4295	3.3763	.975	-10.1034	7.2445
40.00	20.00	5.2090	3.3763	.412	-3.4649	13.8830
	60.00	-9.5292*	3.3763	.025	-18.2031	-8.552
	80.00	3.7795	3.3763	.678	-4.8944	12.4535
60.00	20.00	14.7382*	3.3763	.000	6.0642	23.4121
	40.00	9.5292*	3.3763	.025	.8552	18.2031
	80.00	13.3087*	3.3763	.000	4.6348	21.9827
80.00	20.00	1.4295	3.3763	.975	-7.2445	10.1034
	40.00	-3.7795	3.3763	.678	-12.4535	4.8944
	60.00	-13.3087*	3.3763	.000	-21.9827	-4.6348

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

จากตารางที่ 3-16 เมื่อทำการเปรียบเทียบเวลาต่อความยากในการทำงานภายใต้การความเร็วในการควบคุมการเคลื่อนไหวก่อนหน้าที่แตกต่างกัน พบว่า เวลาต่อความยากที่ความเร็ว 60 รอบต่อนาทีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับเวลาต่อความยากที่ความเร็ว 20, 40 และ 80 รอบต่อนาที (sig=0.000, 0.025 และ 0.000 ตามลำดับ) เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาจึงจัดข้อมูลเป็น

Homogeneous subsets เช่นเดียวกับ Pointing task และ Linear steering task ซึ่งจากตารางดังกล่าวจะพบว่า การเพิ่มการเคลื่อนไหวที่ 60 รอบต่อนาที จะใช้เวลาต่อความยากในการทำงานมากกว่าการเพิ่มการเคลื่อนไหวที่ 20, 40 และ 80 รอบต่อนาที

ตารางที่ 3-17 การแบ่งกลุ่ม Homogeneous subsets ตามข้อมูลจากตาราง 3-16

Tukey HSD ^{a,b}

VEL	N	Subset	
		1	2
20.00	240	253.8554	
80.00	240	255.2849	
40.00	240	259.0644	
60.00	240		268.5936
Sig.		.412	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1367.963.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 240.000.

b. Alpha = .05.

จากตารางที่ 3-17 จะเห็นได้ว่าเมื่อควบคุมการเคลื่อนไหวให้กับร่างกายส่วนล่างของคนด้วยความเร็วต่ำ (20 และ 40 รอบต่อนาที) ผู้ทดสอบจะใช้เวลาต่อความยากในการทำงานน้อยกว่ากรณีที่ควบคุมให้เคลื่อนไหวด้วยความเร็วสูง (60 รอบต่อนาที)

ต่อมาเมื่อพิจารณาความแม่นยำในการทำงาน ซึ่งยึดหลักเกณฑ์เดียวกับ Pointing task และ Linear steering task จะสามารถสรุปข้อมูลได้ตามตารางที่ 3-18 ดังนี้

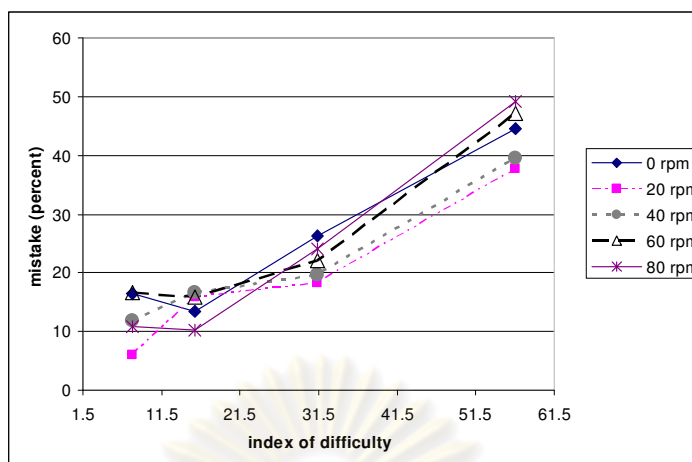
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-18 ร้อยละของความผิดพลาดเฉลี่ยของแต่ละเงื่อนไขการทำงาน สำหรับ Circular steering task

Dependent Variable: ERROR

(rpm) VEL	ID	(%) Mean	Std. Deviation	N
.00	7.85	16.4208	12.2577	5
	15.71	13.3956	9.8874	5
	31.42	26.1905	7.8517	5
	56.55	44.4616	14.3141	5
	Total	25.1171	16.2223	20
20.00	7.85	5.9341	6.0489	5
	15.71	15.8164	9.1744	5
	31.42	18.2857	15.5970	5
	56.55	37.6508	13.5876	5
	Total	19.4217	15.9557	20
40.00	7.85	11.8164	11.0605	5
	15.71	16.5714	22.7138	5
	31.42	19.6337	17.9143	5
	56.55	39.5590	16.1276	5
	Total	21.8951	19.3477	20
60.00	7.85	16.5634	16.4010	5
	15.71	15.7640	13.9470	5
	31.42	22.0728	14.6228	5
	56.55	47.1173	20.4537	5
	Total	25.3794	20.0670	20
80.00	7.85	10.9341	9.3495	5
	15.71	10.2780	12.2487	5
	31.42	24.1457	9.1421	5
	56.55	49.1113	24.2469	5
	Total	23.6173	21.2515	20
Total	7.85	12.3338	11.2754	25
	15.71	14.3651	13.3892	25
	31.42	22.0657	12.7487	25
	56.55	43.5800	17.1993	25
	Total	23.0861	18.4423	100

จากข้อมูลในตารางที่ 3-18 นำข้อมูลดังกล่าวมาทำการสร้างกราฟ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเงื่อนไข จะได้กราฟค่าร้อยละความผิดพลาดตามรูปที่ 3-17 และผลการเปรียบเทียบตามตารางที่ 3-19 ซึ่งจากรูปที่ 3-17 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่แล้วทำให้ผู้ทดสอบทำงานผิดพลาดน้อยลง อย่างไรก็ตามเมื่อทำการพิจารณาทางสถิติแล้วพบว่าความแตกต่างดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญ (sig >0.05)



รูปที่ 3-20 การเปรียบเทียบความแม่นยำในการทดลองที่ระดับการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนไหวแตกต่างกัน

ตารางที่ 3-19 ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำในการทำงานที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ

ERROR

Tukey HSD^{a, b}

VEL	N	Subset
		1
20.00	20	19.4217
40.00	20	21.8951
80.00	20	23.6173
.00	20	25.1171
60.00	20	25.3794
Sig.		.700

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 214.355.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 20.000.

b. Alpha = .05.

สรุปได้ว่าการเพิ่มการเคลื่อนที่ให้กับร่างกายของผู้ทดสอบนั้นจะทำให้ผู้ทดสอบทำงานประเภท Circular steering task ได้ช้าลง แม้ว่าจะยังไม่ทราบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างความเร็วที่เพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพการทำงาน แต่ผู้ทดสอบใช้เวลาในการทำงานมากขึ้นที่ความเร็ว 60 รอบต่อนาทีเช่นเดียวกับ Pointing task นอกจากนี้ไม่พบความแตกต่างที่ชัดเจนเกี่ยวกับความแม่นยำในการทำงานระหว่างการทำงานตามปกติและการทำงานเมื่อใช้อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่

บทที่ 4

การทดลอง

หลังจากที่การทดสอบเบื้องต้นสิ้นสุดลง ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเบื้องต้นดังกล่าวสรุปได้ว่า ผู้ทดสอบจะเริ่มใช้เวลาในการทำงานมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ที่ 60 รอบต่อนาที ผู้ทดสอบใช้เวลาในการทำงานทั้งหมดโดยเฉลี่ยประมาณสองชั่วโมงครึ่ง ผู้วิจัยได้นำข้อมูลดังกล่าวมาปรับปรุงการทดสอบในด้านต่างๆ ได้แก่ รูปแบบการเคลื่อนที่ ความเร็วที่ใช้ รวมไปถึงความยากง่ายของโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบเป็นต้น ลักษณะการทดลองจะเหมือนกับการทดสอบเบื้องต้น โดยรายละเอียดในการปรับปรุงด้านต่างๆจะกล่าวถึงต่อไปในบทนี้

4.1 รูปแบบและวัตถุประสงค์ของการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการทดลองครั้งนี้คือการหาลักษณะความสัมพันธ์ของความเร็วในการเพิ่มการเคลื่อนไหวร่างกายต่อประสิทธิภาพการทำงาน ภายใต้ช่วงความเร็วที่มนุษย์ยังสามารถคงประสิทธิภาพการทำงานได้ ซึ่งความเร็วดังกล่าวคือ 40 รอบต่อนาที

รูปแบบการทดสอบสำหรับการทดลองครั้งนี้เหมือนกับการทดสอบเบื้องต้น กล่าวคือ การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของมนุษย์โดยอ้างอิงหลัก Fitts' law และ Steering law ผู้ทดสอบจะทำงานกับคอมพิวเตอร์โดยใช้งานโปรแกรมที่ถูกเขียนขึ้น ขณะที่ทำงานดังกล่าวผู้ทดสอบจะวางเท้าลงบนอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่เช่นเดียวกับการทดสอบเบื้องต้น แต่อุปกรณ์ดังกล่าวเป็นอุปกรณ์ที่ถูกพัฒนาให้สร้างการเคลื่อนที่ซึ่งมีรูปแบบที่เหมาะสมมากขึ้น

4.2 ประชากร

ผู้เข้าร่วมทดสอบเป็นเพื่อนร่วมงานที่ทำงานอยู่ในห้องวิจัยเดียวกันและห้องวิจัยข้างเคียง จำนวน 10 คน อายุระหว่าง 22-28 ปี ประกอบด้วย ชาย 8 คน และหญิง 2 คน รวมทั้งสิ้น 10 คน ผู้เข้าร่วมทดสอบทั้งหมดมีประสบการณ์ในการใช้คอมพิวเตอร์ตั้งแต่ 10-16 ปี และใช้คอมพิวเตอร์เฉลี่ยวันละ 2-8 ชั่วโมงในช่วง 6 เดือนที่ผ่านมา

4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบนี้จะเหมือนกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเบื้องต้น แต่จะมีการปรับปรุงอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ และพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบมีคุณลักษณะเหมือนเช่นการทดสอบเบื้องต้น นอกจากนี้จะเพิ่ม

อุปกรณ์ครอบหูป้องกันเสียงให้กับอาสาสมัคร เพื่อลดผลกระทบจากเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการทดสอบ

4.3.1 โปรแกรมทดสอบประสิทธิภาพ

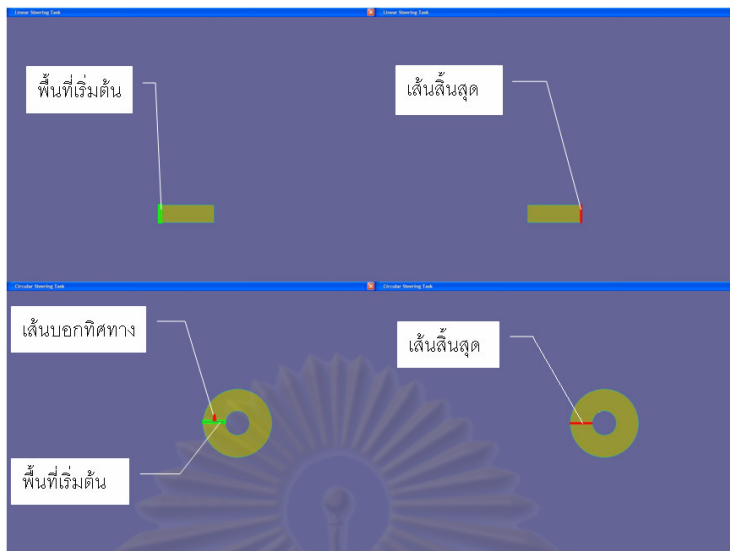
โปรแกรมที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานยังคงอ้างอิง Fitts' law และ Steering law โดยที่มีการปรับปรุงให้เหมาะสมมากขึ้นดังนี้

- ปรับค่า index of difficulty ที่ใช้ในการทดสอบเพื่อให้ความผิดพลาดเนื่องจากการทำงานไม่สำเร็จลดลง และใช้เวลาในการทดสอบน้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า index of difficulty สำหรับงาน circular steering task เพราะว่าผู้ทดสอบใช้เวลานานและมีความแม่นยำในการทำงานต่ำมาก ที่งาน Circular steering task ณ. ระดับความยาก 57 งานดังกล่าวถือว่าเป็นงานที่ต้องอาศัยทักษะค่อนข้างมาก ค่า index of difficulty ที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าดังตาราง 4-1

ตารางที่ 4-1 ค่า index of difficulty ที่ใช้ในการทดสอบแต่ละงาน

	Testing ID
Pointing task	2 , 3 , 4 , 4.95 , 5.7
Linear steering task	3 , 10 , 17 , 24
Circular steering task	6.3 , 18.85 , 31.42 , 47.12

- ปรับปรุงโปรแกรมฝึกหัด โดยเพิ่มการจำลองงานในโปรแกรมฝึกหัด ผู้ทดสอบจะได้ทดลองทำงานที่เหมือนกับการทดสอบในระหว่างที่ฝึกหัดระหว่างที่ทำการฝึกหัดจะมีคำอธิบายในการทำงานประกอบด้วย
- เปลี่ยนสีที่ใช้ใน โปรแกรม Linear steering task และ Circular steering task โดยเปลี่ยนสีพื้นหลังจากสีน้ำเงินเข้มเป็นสีม่วงอ่อน และสีของพื้นเส้นทางจากสีเทาเป็นสีกาก็อ่อน



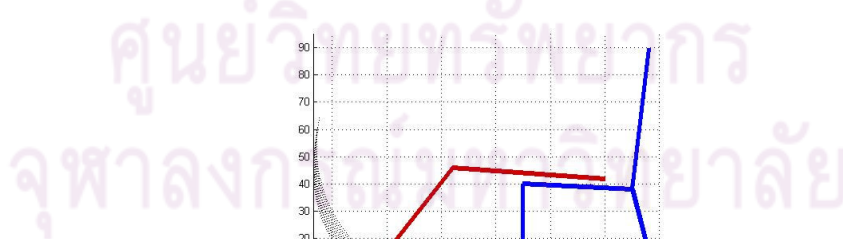
รูปที่ 4-1 Linear steering task และ Circular steering task ที่ใช้ในการทดสอบ

4.3.2 อุปกรณ์สร้างการเคลื่อนที่

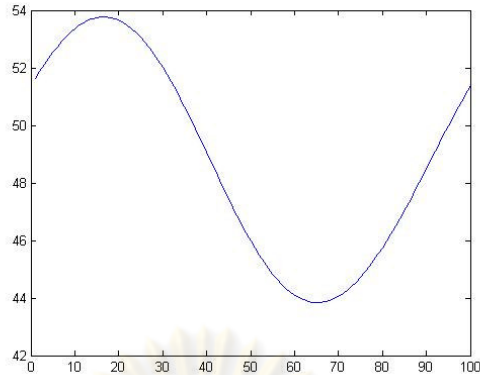
4.3.2.1 การวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนที่

จากข้อมูลที่ได้รับจากการทดสอบเบื้องต้น พบว่าอุปกรณ์ดังกล่าวควรจะสร้างความเร็วในการเคลื่อนที่ได้อย่างน้อย 40 รอบต่อนาที และจากการที่อาสาสมัครระบุว่า การเคลื่อนที่รูปแบบปั่นจักรยานจะกระตุ้นให้เกิดการตื่นตัวและสร้างความเมื่อยล้าได้ในขณะทดสอบ ผู้วิจัยจึงได้พิจารณาลักษณะการเคลื่อนที่อีกครั้ง เพื่อหารูปแบบการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมมากขึ้น ซึ่งรูปแบบการเคลื่อนที่ที่ถูกนำมาพิจารณาได้แก่ การปั่นจักรยานเป็นรูปวงรี การเคลื่อนที่สลับขาเข้าออกเป็นเส้นตรง และการเคลื่อนที่สลับขาเข้าออกเป็นเส้นโค้งเป็นต้น ผลการวิเคราะห์รูปแบบต่างๆเป็นดังนี้

การปั่นจักรยานแบบวงกลม



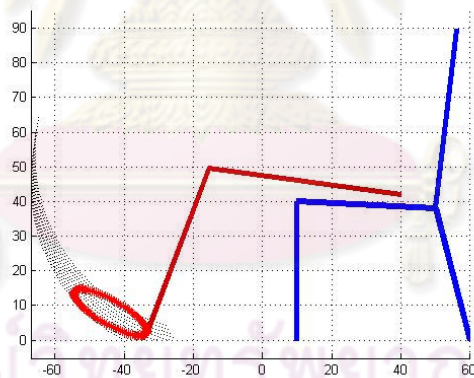
รูปที่ 4-2 การเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นเป็นวงกลมเทียบกับ ระยะการเคลื่อนที่ของข้อเท้าคนที่นั่งอยู่ที่ เเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 (หน่วยบนแกนเป็นเซนติเมตร)



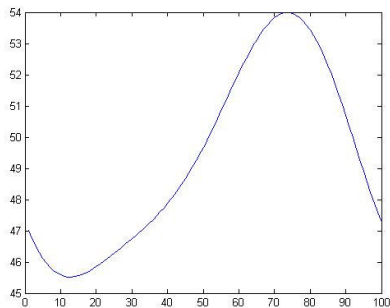
รูปที่ 4-3 ความสูงของหัวเข้าที่ถูกยกขึ้นสำหรับการเคลื่อนที่แบบปั่นจักรยานเป็นวงกลม (หน่วยแกนตั้งเป็นเซนติเมตร แกนนอนเป็นร้อยละของตำแหน่งที่เคลื่อนที่ไป)

รูปแบบการเคลื่อนที่นี้เป็นรูปแบบที่ผู้คนคุ้นเคย กลไกการสร้างการเคลื่อนที่ดังกล่าวไม่มีความสลับซับซ้อน ขอบเขตการเคลื่อนที่จะถูกจำกัดด้วยความสูงของโต๊ะ

การปั่นจักรยานแบบวงรี

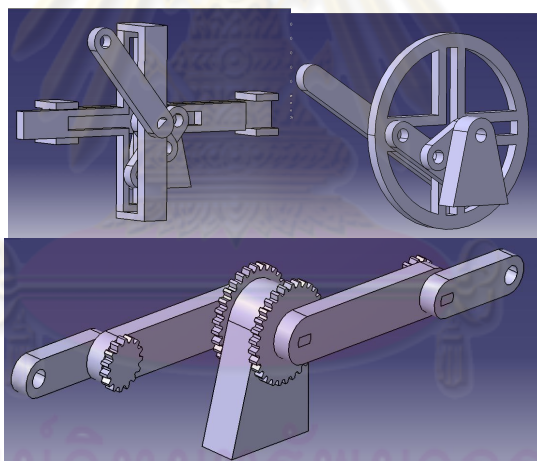


รูปที่ 4-4 การเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นเป็นวงรีเทียบกับระยะการเคลื่อนที่ของข้อเท้าคนที่นั่งอยู่ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 (หน่วยบนแกนเป็นเซนติเมตร)

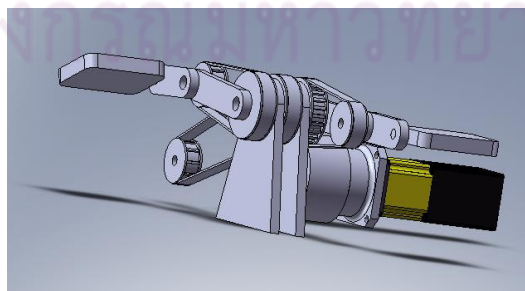


รูปที่ 4-5 ความสูงของหัวเข่าที่ถูยกขึ้นสำหรับการเคลื่อนที่เข้าเป็นวงรี (หน่วยแกนตั้งเป็น เซนติเมตร แกนนอนเป็นร้อยละของตำแหน่งที่เคลื่อนที่ไป)

รูปแบบการเคลื่อนที่เป็นรูปวงรีจะเป็นธรรมชาติสอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของขา คนมากกว่าการเคลื่อนที่เป็นรูปวงกลม จากการศึกษากลไกสร้างการเคลื่อนที่พบว่า มีหลายกลไกที่สามารถสร้างการเคลื่อนที่เป็นรูปวงรีได้ กลไกดังกล่าวเช่น กลไกของบราวน์ เป็นต้น

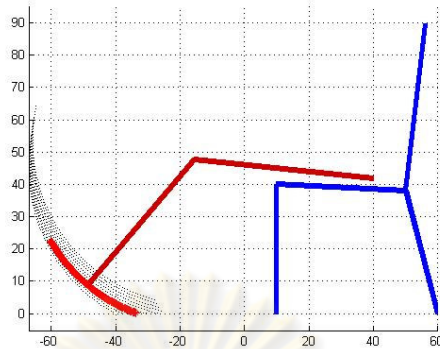


รูปที่ 4-6 กลไกที่สามารถสร้างการเคลื่อนที่เป็นรูปวงรีได้

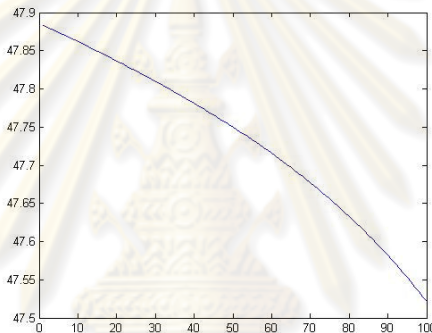


รูปที่ 4-7 กลไกควบคุมการเคลื่อนที่ที่อ้างอิงกลไกของบราวน์

การเคลื่อนที่ขาไปกลับเป็นเส้นโค้ง



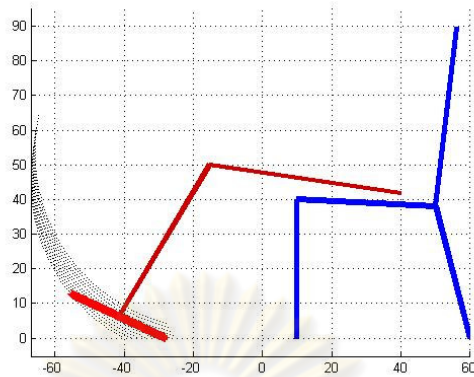
รูปที่ 4-8 การเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นเป็นเส้นโค้งเปรียบเทียบกับระยะการเคลื่อนที่ของข้อเท้าคนที่นั่งอยู่ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 (หน่วยบนแกนเป็นเซนติเมตร)



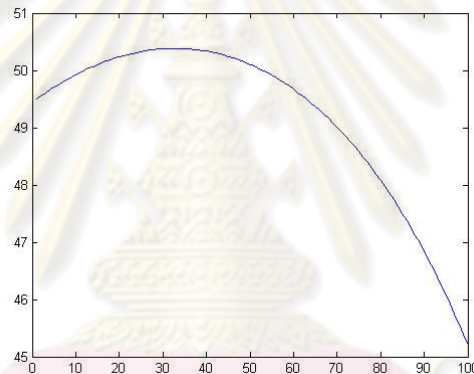
รูปที่ 4-9 ความสูงของหัวเข่าที่ถูกยกขึ้นสำหรับการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง (หน่วยแกนตั้งเป็นเซนติเมตร แกนนอนเป็นร้อยละของระยะที่เคลื่อนที่เริ่มจากใกล้ตัว)

รูปแบบการเคลื่อนที่ไปกลับเป็นเส้นโค้งจะมีลักษณะเหมือนการนั่งแกว่งขา รัศมี ความโค้งในการเคลื่อนไหวที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละบุคคลคือเส้นโค้งที่มีรัศมีความโค้งเท่ากับ ความยาวขาที่เอวของบุคคลนั้น การเคลื่อนที่ดังกล่าวจะกระตุ้นผู้ทดลองน้อยกว่าการเคลื่อนที่ที่เป็น cycle ทั้งแบบวงกลมและวงรี ผู้ทดสอบจะมีการเคลื่อนที่ร่างกายน้อยกว่าสำหรับรูปแบบการเคลื่อนที่ประเภทนี้ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของหัวเข่าของผู้ทดสอบจะสังเกตว่าหัวเข่าของผู้ทดสอบจะถูกยกน้อยกว่ากรณีเคลื่อนที่เป็น cycle ทำให้เลือดสะสมบริเวณสะโพกน้อยกว่า ทำให้มีโอกาสเมื่อยล้าต่ำกว่าการเคลื่อนที่ที่เป็นวงกลมและวงรี

การเคลื่อนที่ขาไปกลับเป็นเส้นตรง



รูปที่ 4-10 การเคลื่อนที่ที่สร้างขึ้นเป็นเส้นตรงเปรียบเทียบกับระยะการเคลื่อนที่ของข้อเท้าคนที่นั่งอยู่ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 (หน่วยเป็นเซนติเมตร)



รูปที่ 4-11 ความสูงของหัวเข่าที่ถูกยกขึ้นสำหรับการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง (หน่วยแกนตั้งเป็นเซนติเมตร แกนนอนเป็นร้อยละของระยะที่เคลื่อนที่เริ่มจากใกล้ตัว)

รูปแบบการเคลื่อนที่ขาไปกลับเป็นเส้นตรงจะเหมือนกับการแกว่งขาไปบนพื้นเอียง การเคลื่อนที่ดังกล่าวจะกระตุ้นผู้ทดลองน้อยกว่าการเคลื่อนที่ที่เป็น cycle ทั้งแบบวงกลมและวงรี เช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ขาไปกลับเป็นเส้นโค้ง เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของหัวเข่าของผู้ทดสอบจะสังเกตว่าหัวเข่าของผู้ทดสอบจะถูกยกน้อยกว่ากรณีเคลื่อนที่ที่เป็น cycle แต่มากกว่าการเคลื่อนที่กลับไปมาเป็นเส้นโค้ง

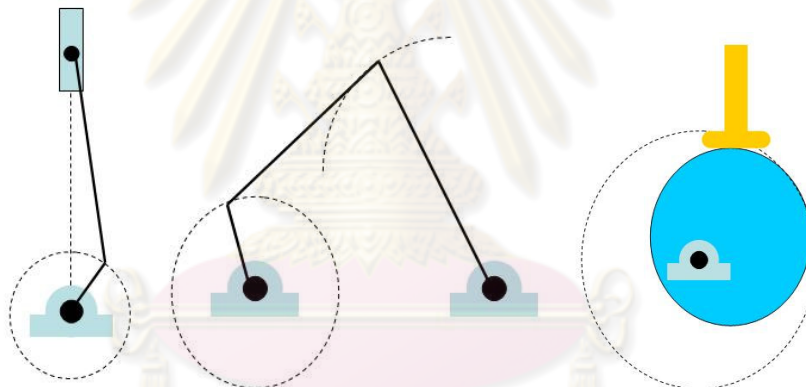
เมื่อพิจารณารูปแบบการเคลื่อนที่ดังกล่าวแล้วพบว่ารูปแบบการเคลื่อนที่ที่ระบกวานผู้ทำงานน้อยที่สุดคือการเคลื่อนที่ขาไปกลับเป็นเส้นโค้ง รองลงมาคือการเคลื่อนที่ขาไปกลับเป็นเส้นตรง การออกแบบอุปกรณ์สร้างการเคลื่อนที่จึงอ้างอิงรูปแบบการเคลื่อนที่ทั้งสองเป็นหลัก

4.3.2.2 การออกแบบอุปกรณ์สร้างการเคลื่อนที่

หลังจากที่ทำการพิจารณารูปแบบการเคลื่อนที่แล้ว จึงทำการสรุปหลักเกณฑ์ในการสร้างอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ดังนี้

- อุปกรณ์จะบังคับให้ขาของผู้ทดสอบเคลื่อนที่ไปกลับเป็นเส้นโค้งหรือเส้นตรง
- การเคลื่อนที่ของขาขวาและขาซ้ายจะสลับกัน กล่าวคือเมื่อขาขวายืดออก ขาซ้ายจะหดเข้าและในทางกลับกัน เมื่อขาขวาหดเข้า ขาซ้ายจะยืดออก

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากลไกที่จะรองรับความต้องการทั้งสอง และพบว่ากลไกที่สามารถสร้างการเคลื่อนที่แบบไปกลับได้ที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายมีอยู่ 3 ประเภทคือ 1 กลไก crank slide 2 กลไก crank rocker ซึ่งเป็น four bar linkage ประเภทหนึ่ง และ 3 กลไกลูกเบี้ยว ซึ่งแสดงในรูปที่ 4-12 ผู้วิจัยได้เลือกใช้กลไก Crank slide เป็นกลไกสร้างการเคลื่อนที่แบบไปกลับและเลือกใช้ Spur gear เป็นกลไกในการสร้างการเคลื่อนที่กลับทิศสำหรับขาซ้ายและขาขวา



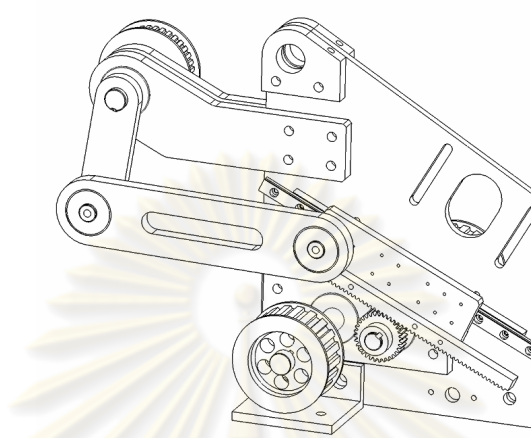
รูปที่ 4-12 กลไกสร้างการเคลื่อนที่ไปกลับทั้ง 3 ประเภท (เริ่มจาก ขาซ้าย crank slide กลาง crank rocker และ ขวา ลูกเบี้ยว ตามลำดับ)

จากการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ไหวของร่างกายมนุษย์ตามรูปที่ 4-8 และ 4-10 พบว่าระยะการเคลื่อนที่ไปกลับที่เหมาะสมคือประมาณ 30 เซนติเมตร และมีมุมเอียงประมาณ 25 ถึง 30 องศา

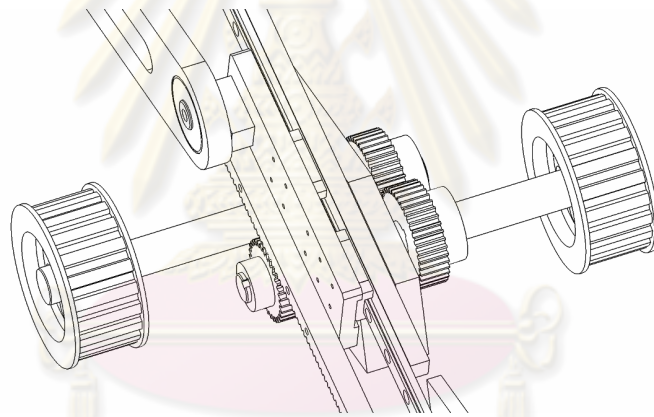
4.3.2.3 โครงสร้างของอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่

อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ประกอบด้วยกลไก crank slide ที่ทำหน้าที่สร้างการเคลื่อนที่ไปกลับและ linear slide 1 ชุด ใช้งานคู่กับ rack และ pinion เพื่อเปลี่ยนการเคลื่อนที่จาก

เชิงเส้นกลับมาเป็นเชิงมุม และใช้ spur gear ในการสร้างการเคลื่อนที่กลับทิศทางสำหรับเท้าซ้าย และเท้าขวา

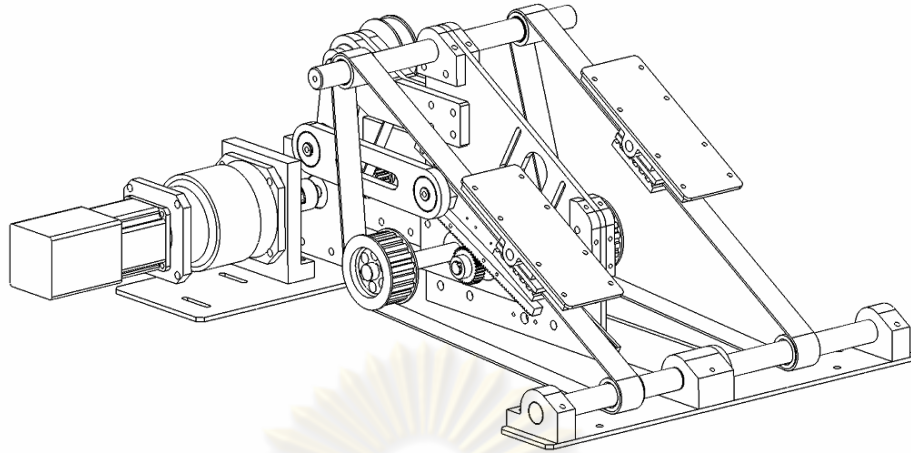


รูปที่ 4-13 กลไกการสร้างการเคลื่อนที่ไปกลับ



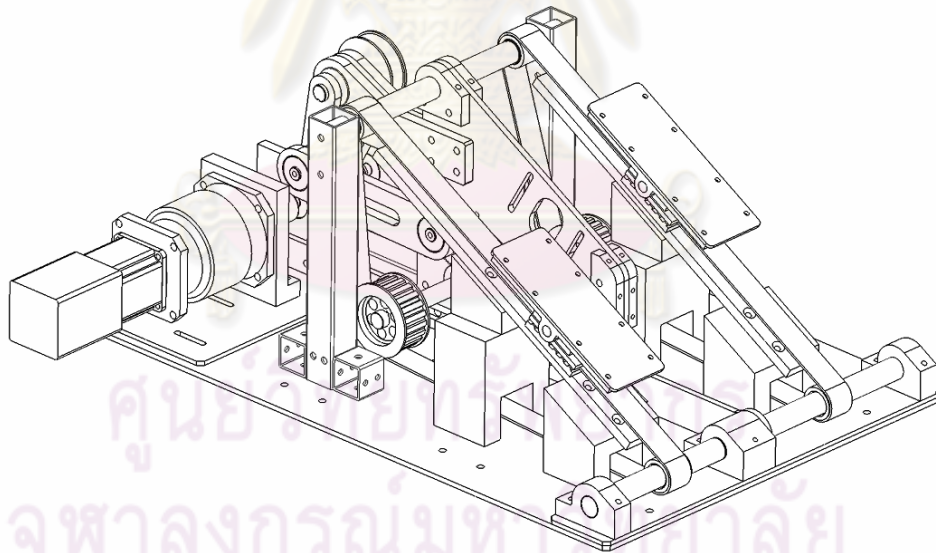
รูปที่ 4-14 กลไกการสร้างการเคลื่อนที่กลับทิศ

การส่งกำลังของอุปกรณ์จะใช้ Timing belt เพื่อป้องกันการเกิด slip และการส่งกำลังเป็นไปอย่างราบเรียบ เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกันแล้วจะได้รูปแบบกลไกโดยรวมของอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 4-15

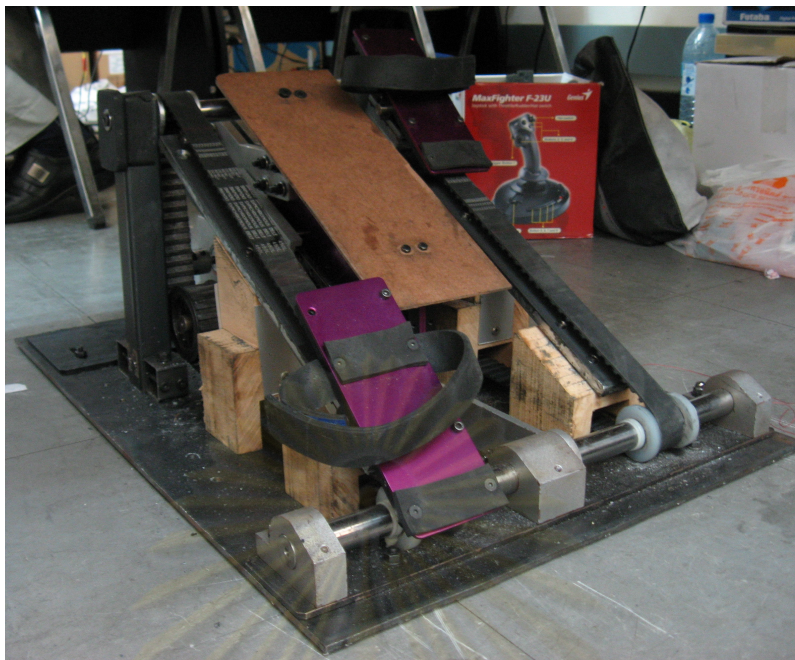


รูปที่ 4-15 ภาพรวมของกลไกของอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่

โครงสร้างของอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ดังกล่าวยังไม่สามารถรับแรงที่เกิดจากเท้าของมนุษย์ได้ จึงต้องทำการเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างดังกล่าวโดยการเพิ่มเสารับน้ำหนัก เพื่อรองรับโมเมนต์ดัดจากน้ำหนักและการเคลื่อนที่ของขามมนุษย์ นอกจากนี้ยังใช้ลูกปืนของ Linear slide 2 ชุดเพื่อรองรับ โมเมนต์ที่เกิดจากการส่งแรงไปยัง pinion



รูปที่ 4-16 อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ซึ่งผ่านการเสริมความแข็งแรงแล้ว



รูปที่ 4-17 อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ที่ได้ออกแบบจริง

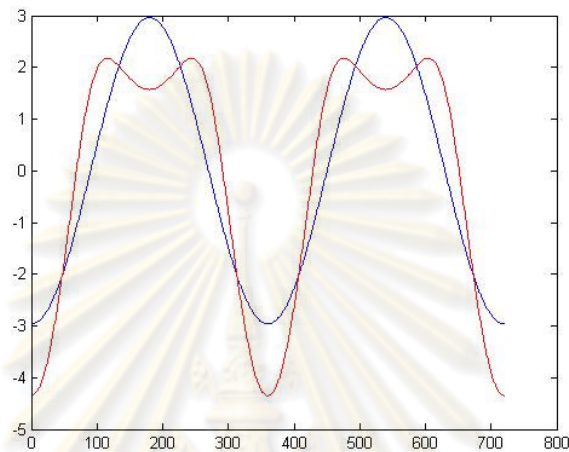
4.3.2.4 ขอบเขตสูงสุดของการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่

จากการทดสอบอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆพบว่า มีผลกระทบหลักๆ 3 เรื่องที่เกิดขึ้น ผลกระทบดังกล่าวได้แก่ เสียง ภาระการทำงานที่เข้าใกล้ขีดจำกัดของระบบส่งกำลัง และ การทำงานที่ไม่ราบเรียบที่ความเร็วสูง

เสียงที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่มีแหล่งกำเนิดหลักมาจาก 2 แหล่ง คือ Rack & pinion และ spur gear เนื่องจากว่าอุปกรณ์ทั้ง 2 ชุดต้องมีการหมุนกลับทิศทางตลอดเวลา การติดตั้งที่ไม่สมบูรณ์อาจทำให้เกิด backlash ซึ่งจะทำให้เกิดเสียงดังขณะเคลื่อนที่ เสียงดังกล่าวจะเริ่มได้ยินเมื่อทำการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30 รอบต่อนาที และดังขึ้นเรื่อยๆเมื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์

อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่รุ่นต้นแบบที่ได้ออกแบบไว้ มีการส่งกำลังจากมอเตอร์ด้วยสายพาน Timing ขนาด XL เมื่อทำการทดสอบด้วยความเร็วสูงกว่า 40 รอบต่อนาที ระบบส่งกำลังไม่สามารถส่งกำลังได้อย่างต่อเนื่อง มีการ slip ที่สายพานส่งกำลังที่มาจากมอเตอร์ ผลจากการ slip ดังกล่าวทำให้การเคลื่อนที่หยุดเป็นจังหวะ และมีเสียงดังเนื่องจากการกระทบของสายพานและพูลเลย์

สุดท้ายการใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ ณ ความเร็วสูง จะเกิดอาการสะดุดที่ตำแหน่งปลายสุดทุกรอบของการทำงาน อาการสะดุดดังกล่าวจะรุนแรงขึ้นเมื่อใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงขึ้น เมื่อทำการวิเคราะห์ความเร่งของกลไก Crank slide จึงพบว่าที่ตำแหน่งปลายสุดด้านไกล กลไกจะมีความเร่งปลายแขนสูงเป็นพิเศษ ความเร่งดังกล่าวจะสูงกว่าความเร่งของความเร่งของปลาย crank ประมาณ 1.5 เท่า



รูปที่ 4-18 ความเร่งของกลไก crank slide ที่ใช้ในอุปกรณ์เมื่อควบคุมความเร็วของอุปกรณ์ที่ 60 รอบต่อนาที (เส้นบนคือความเร่งของปลาย crank เส้นล่างคือความเร่งของปลาย slide)

4.4 ขั้นตอนการทดลอง

ในส่วนของขั้นตอนการทดสอบนี้จะเรียกอาสาสมัครว่าผู้ทดสอบ และเรียกผู้วิจัยว่าผู้ควบคุมการทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบเบื้องต้น เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ ขั้นตอนในการทดสอบมีดังนี้

1. ผู้ควบคุมการทดสอบจัดเตรียมสถานที่ทดสอบ ตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบอันได้แก่ อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ไม่อยู่ในสถานะพร้อมใช้งาน เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ แหล่งจ่ายพลังงานความต่างศักย์อ้างอิงแสดงค่าความต่างศักย์ 0 โวลต์ เป็นต้น
2. เมื่อผู้ทดสอบมาถึงสถานที่ทดสอบ ผู้ควบคุมการทดสอบจะบรรยายสรุปการทดสอบโดยสังเขป และให้ผู้ทดสอบกรอกข้อมูลส่วนตัวเบื้องต้น อันได้แก่ ชื่อ เพศ อายุ และประวัติการใช้คอมพิวเตอร์ เป็นต้น
3. ผู้ควบคุมการทดสอบจะให้ผู้ทดสอบได้ฝึกหัดใช้โปรแกรม ผู้ทดสอบจะเรียกโปรแกรมฝึกหัดของแต่ละงาน ขณะเดียวกันผู้ทดสอบจะวางเท้าลงบนอุปกรณ์สร้างการเคลื่อนที่



รูปที่ 4-19 ลักษณะการทดสอบ

4. เมื่อผู้ทดสอบได้ใช้โปรแกรมฝึกหัดเรียบร้อยแล้ว ผู้ควบคุมการทดสอบตั้งสถานะอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ให้อยู่ในสถานะพร้อมใช้งาน และทำการปรับค่าความต่างศักย์อ้างอิงให้มีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่สร้างความเร็วได้ตามที่ต้องการ ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์อ้างอิงกับความเร็วในการแกว่งขาเป็นไปตามตารางที่ 4-2 และลำดับในการตั้งค่าความเร็วทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4-3 เพื่อชดเชยผลกระทบจากการล้าและผลกระทบจากความชำนาญในการใช้โปรแกรมที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์อ้างอิงกับความเร็วในการแกว่งขา

ความต่างศักย์อ้างอิง (โวลต์)	ความเร็วมอเตอร์ (รอบต่อนาที)	ความเร็วในการแกว่งขา (รอบต่อนาที)
0.4	300	10
0.8	600	20
1.2	900	30
1.6	1200	40

ตารางที่ 4-3 ลำดับการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการทดสอบ (รอบต่อนาที)

ผู้ทดสอบคนที่	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	รอบที่ 5
1,6	0	10	20	30	40
2,7	10	20	30	40	0
3,8	20	30	40	0	10
4,9	30	40	0	10	20
5,10	40	0	10	20	30

5. ผู้ทดสอบยังคงวางเท้าบนอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่และรอประมาณ 3 นาทีแล้วจึงเริ่มทำการทดสอบ ผู้ทดสอบสามารถเลือกทำการทดสอบงานใดก่อนก็ได้ ผู้ทดสอบจะวางเท้าอยู่บนอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ตลอดเวลา เมื่อผู้ทดสอบทำการทดสอบงานครบทั้ง 3 งานแล้ว ผู้ควบคุมการทดสอบจะบอกให้ผู้ทดสอบวางเมาส์ และนั่งพักสายตาเป็นเวลา 3 นาที
6. ผู้ควบคุมการทดสอบจะทำการปรับค่าความต่างศักย์อ้างอิงอีกครั้งเพื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วไปยังค่าที่ต้องการค่าใหม่
7. ผู้ทดสอบดำเนินการซ้ำตามขั้นตอนที่ 5 และ ผู้ควบคุมการทดสอบดำเนินการซ้ำตามขั้นตอนที่ 6 จนกระทั่งทำการทดสอบครบทั้ง 5 เงื่อนไขคือ แกว่งขาด้วยความเร็ว 0, 10, 20, 30 และ 40 รอบต่อนาที ผู้ควบคุมการทดสอบจะลดความเร็วของอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ลง และปิดอุปกรณ์
8. ผู้ควบคุมการทดสอบ สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมจากผู้ทดสอบ และตรวจดูความเรียบร้อยของข้อมูล เป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการทดสอบ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดสอบครั้งที่สอง ข้อมูลที่ได้มีลักษณะเช่นเดียวกับการทดสอบครั้งที่หนึ่ง กล่าวคือ ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลจากการทำงานสามประเภทคือ Pointing task, Linear steering task และ Circular steering task ภายใต้เงื่อนไขการเคลื่อนไหวกว้างกายส่วนล่างด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ข้อมูลที่ได้ประกอบด้วย เวลาที่ใช้ในการทำงาน และจำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ ซึ่งเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติเช่นเดียวกับบทที่ 3 จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

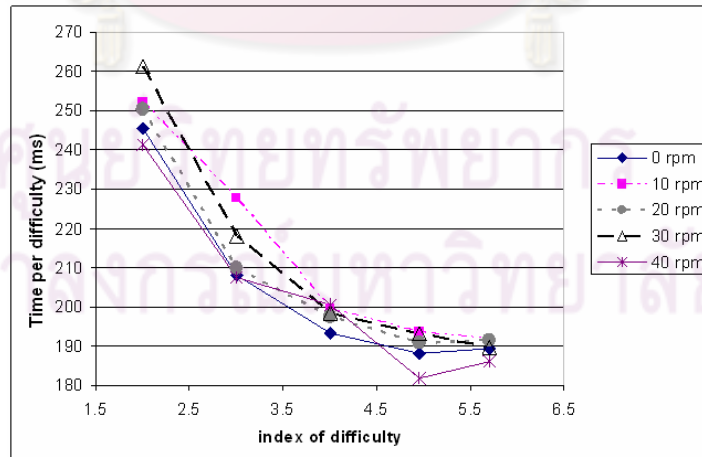
5.1 Pointing task

ผู้วิจัยได้รวบรวมผลการทดสอบการทำงาน Pointing task ไว้ในตารางที่ 5-1 และ 5-2 โดยตารางที่ 5-1 จะแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาต่อความยากที่ค่าระดับความยากและระดับความเร็วในการเคลื่อนที่แตกต่างกัน ขณะที่ตารางที่ 5-2 จะแสดงค่าเฉลี่ยของการทำงานไม่สำเร็จคิดเป็นสัดส่วนที่ระดับความยากและความเร็วในการเคลื่อนที่แตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถพล็อตกราฟเปรียบเทียบความแตกต่างที่เงื่อนไขการทำงานต่างกันได้ตามรูปที่ 5-1 และ 5-2

เมื่อพิจารณาการทำงานที่ระดับความยากต่างๆตามรูปที่ 5-1 จะพบว่าผู้ทดสอบจะใช้เวลาต่อความยากมากในงานที่มีระดับความยากต่ำ และจะใช้เวลาต่อความยากลดลงเมื่องานดังกล่าวมีความยากมากขึ้น เหตุผลที่การใช้เวลาในการทำงานมีลักษณะดังกล่าวเนื่องมาจากลักษณะการทำงานตามปกติของมนุษย์ กล่าวคือเมื่อนุษย์ได้รับสัญญาณให้ทำงาน มนุษย์จำเป็นที่จะต้องใช้เวลาในการพิจารณาว่าจะเคลื่อนไหวยังไง ไปในทิศทางใด ก่อนที่มนุษย์จะทำการเคลื่อนไหวจริง ดังนั้นเมื่อระดับความยากของงานต่ำ สัดส่วนของ เวลาที่ใช้ในการตัดสินใจก่อนที่จะเริ่มการทำงานต่อ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ จะสูงกว่าการทำงานที่ระดับการทำงานสูงขึ้น จึงทำให้เวลาต่อความยากในการทำงานที่ระดับความยากต่ำมีค่าสูงกว่าการทำงานที่ระดับความยากสูงๆ

ตารางที่ 5-1 ค่าเฉลี่ยของเวลาต่อความยากสำหรับ Pointing task

ID	(rpm) VEL	(ms) Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
2.00	.00	245.543	2.543	240.558	250.528
	10.00	262.231	2.538	257.257	267.206
	20.00	250.264	2.523	245.319	255.210
	30.00	261.158	2.528	256.203	266.113
	40.00	241.160	2.542	236.176	246.144
3.00	.00	208.167	2.506	203.255	213.080
	10.00	227.832	2.532	222.867	232.796
	20.00	209.838	2.533	204.872	214.804
	30.00	218.046	2.522	213.102	222.990
	40.00	207.415	2.515	202.484	212.346
4.00	.00	193.158	2.533	188.193	198.123
	10.00	199.538	2.532	194.574	204.501
	20.00	197.659	2.508	192.743	202.575
	30.00	198.525	2.532	193.561	203.489
	40.00	200.665	2.507	195.660	205.480
4.95	.00	188.247	2.500	183.347	193.147
	10.00	193.714	2.538	188.739	198.688
	20.00	190.929	2.513	186.003	195.856
	30.00	193.316	2.519	188.378	198.254
	40.00	181.784	2.493	176.898	186.671
5.70	.00	189.252	2.500	184.351	194.153
	10.00	191.781	2.514	186.854	196.709
	20.00	191.414	2.504	186.506	196.322
	30.00	189.657	2.529	184.699	194.615
	40.00	185.916	2.486	181.042	190.790

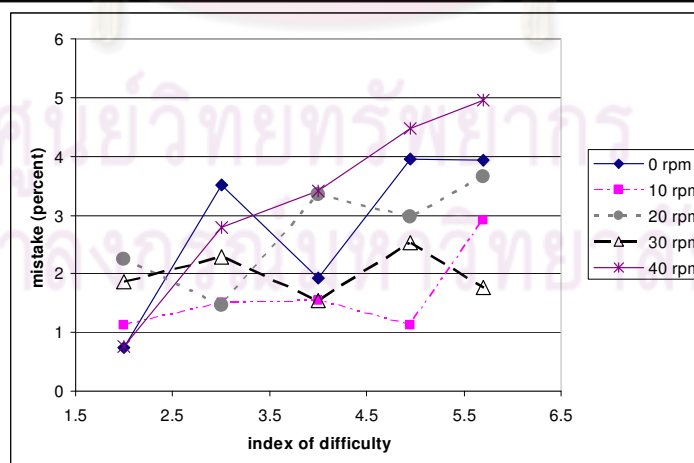


รูปที่ 5-1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาต่อความยากที่เงื่อนไขการทำงานต่างกัน สำหรับ Pointing task

ตารางที่ 5-2 ค่าเฉลี่ยของการทำงานไม่สำเร็จคิดเป็นสัดส่วน สำหรับ Pointing task

Dependent Variable: MISS

ID	(rpm) VEL	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
2.00	.00	7.407E-03	.010	-1.22E-02	2.703E-02
	10.00	1.125E-02	.010	-8.34E-03	3.084E-02
	20.00	2.251E-02	.010	3.030E-03	4.198E-02
	30.00	1.866E-02	.010	-8.54E-04	3.818E-02
	40.00	7.692E-03	.010	-1.19E-02	2.732E-02
3.00	.00	3.507E-02	.010	1.572E-02	5.442E-02
	10.00	1.510E-02	.010	-4.45E-03	3.465E-02
	20.00	1.456E-02	.010	-5.00E-03	3.412E-02
	30.00	2.279E-02	.010	3.318E-03	4.227E-02
	40.00	2.792E-02	.010	8.497E-03	4.734E-02
4.00	.00	1.923E-02	.010	-2.79E-04	3.874E-02
	10.00	1.538E-02	.010	-4.16E-03	3.493E-02
	20.00	3.351E-02	.010	1.414E-02	5.287E-02
	30.00	1.538E-02	.010	-4.16E-03	3.493E-02
	40.00	3.405E-02	.010	1.468E-02	5.341E-02
4.95	.00	3.963E-02	.010	2.032E-02	5.893E-02
	10.00	1.125E-02	.010	-8.34E-03	3.084E-02
	20.00	2.966E-02	.010	1.025E-02	4.907E-02
	30.00	2.533E-02	.010	5.883E-03	4.478E-02
	40.00	4.469E-02	.010	2.543E-02	6.394E-02
5.70	.00	3.934E-02	.010	2.003E-02	5.865E-02
	10.00	2.918E-02	.010	9.768E-03	4.859E-02
	20.00	3.659E-02	.010	1.725E-02	5.592E-02
	30.00	1.764E-02	.010	-1.89E-03	3.716E-02
	40.00	4.955E-02	.010	3.035E-02	6.876E-02



รูปที่ 5-2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสัดส่วนการทำงานผิดพลาดที่เงื่อนไขการทำงานต่างกัน สำหรับ Pointing task

5.1.1 ผลกระทบของการเพิ่มการเคลื่อนไหวต่อเวลาในการทำงาน

จากรูปที่ 5-1 จะสังเกตว่าโดยเฉลี่ยแล้วเมื่อใช้อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของร่างกายจะทำให้ผู้ทดสอบใช้เวลาในการทำงานมากขึ้นเล็กน้อย แม้ว่าจะมีความเบี่ยงเบนไปบ้างในบางความเร็ว เมื่อทำการพิจารณาข้อมูลดังกล่าวด้วยวิธีการการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ Contrast test พบว่า การใช้เวลาในการทำงานตามปกติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (sig.=0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้เวลาในการทำงานเมื่อใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ ตามตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-3 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการทำงานปกติและการใช้อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ สำหรับ Pointing task

Contrast Tests							
		Contrast	Value of Contrast	Std. Error	t	df	Sig. (2-tailed)
AVETIME	Assume equal variances	1	-20.2491	7.1798	-2.820	6167	.005
	Does not assume equal	1	-20.2491	6.1728	-3.280	2386.603	.001

จากตารางที่ 5-3 แสดงให้เห็นว่าการใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ที่มีผลต่อความเร็วในการทำงาน จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย 2-way ANOVA เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างการใช้เวลาในการทำงานระหว่างเงื่อนไขการทำงานที่ต่างกัน คือการใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลใช้วิธีการ Scheffe ตามตารางที่ 5-4 ตารางดังกล่าวจะระบุค่าเวลาต่อความยากที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญด้วยเครื่องหมายดอกจันที่กำกับอยู่ในช่อง Mean difference และเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาจึงทำการจัดข้อมูลในลักษณะ Homogeneous subsets ตามตารางที่ 5-5 วิธีการจัดข้อมูลในรูปแบบ Homogeneous subsets คือการจัดข้อมูลที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญไว้ในกลุ่มเดียวกัน และจัดให้ข้อมูลที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญไว้ต่างกลุ่ม จากข้อมูลในตารางที่ 5-5 จะเห็นว่าผู้ทดสอบใช้เวลาในการทำงานโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุด 5.3 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วในการใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ที่ 10 รอบต่อนาที เมื่อเพิ่มความเร็วในการใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าวเป็น 20 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ในการทำงานกลับไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานตามปกติ แต่ทว่าเมื่อเพิ่มความเร็วของอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ เป็น 30 รอบต่อนาที กลับใช้เวลาในการทำงานมากขึ้นเมื่อเทียบกลับการทำงานตามปกติ อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มความเร็วของอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ เป็น 40 รอบต่อนาที ผู้ทดสอบจะใช้เวลาในการทำงานอยู่ในระดับเดียวกับการทำงานปกติอีกครั้ง

จะเห็นว่าการใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่จะมีผลกระทบต่อความเร็วในการทำงาน Pointing task ทำให้ผู้ทดสอบทำงานได้ช้าลง ณ การใช้งานอุปกรณ์ที่ความเร็วบางค่า แต่ทว่าเราไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างความเร็วในการทำงานและความเร็วในการใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าว อย่างไรก็ตามก็มีความแตกต่างของเวลาในการทำงานดังกล่าวมีค่าน้อยมาก หากพิจารณาด้วยประสาทสัมผัสของมนุษย์ เมื่อพิจารณาเวลาต่อความยากที่เปลี่ยนแปลงไปมากที่สุดโดยเฉลี่ย คือ ประมาณ 10.6 ms. ที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาที จะได้ว่าผู้ทดสอบจะใช้เวลามากขึ้นโดยเฉลี่ย 60.4 ms. ที่ระดับความยาก 5.7 ซึ่งเป็นระดับความยากสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบนี้

ตารางที่ 5-4 การเปรียบเทียบเวลาต่อความยากที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆด้วยวิธีการ Scheffe สำหรับ Pointing task

		Scheffe				
(I) VEL	(J) VEL	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.00	10.00	-10.7346*	1.5940	.000	-15.6459	-5.8233
	20.00	-3.3705	1.5891	.343	-8.2668	1.5258
	30.00	-7.7687*	1.5923	.000	-12.6750	-2.8624
	40.00	1.6247	1.5862	.902	-3.2627	6.5121
10.00	.00	10.7346*	1.5940	.000	5.8233	15.6459
	20.00	7.3641*	1.5949	.000	2.4498	12.2783
	30.00	2.9659	1.5982	.486	-1.9583	7.8901
	40.00	12.3593*	1.5921	.000	7.4538	17.2647
20.00	.00	3.3705	1.5891	.343	-1.5258	8.2668
	10.00	-7.3641*	1.5949	.000	-12.2783	-2.4498
	30.00	-4.3982	1.5933	.107	-9.3074	.5111
	40.00	4.9952*	1.5872	.042	.1048	9.8856
30.00	.00	7.7687*	1.5923	.000	2.8624	12.6750
	10.00	-2.9659	1.5982	.486	-7.8901	1.9583
	20.00	4.3982	1.5933	.107	-.5111	9.3074
	40.00	9.3934*	1.5904	.000	4.4930	14.2938
40.00	.00	-1.6247	1.5862	.902	-6.5121	3.2627
	10.00	-12.3593*	1.5921	.000	-17.2647	-7.4538
	20.00	-4.9952*	1.5872	.042	-9.8856	-.1048
	30.00	-9.3934*	1.5904	.000	-14.2938	-4.4930

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-5 Homogeneous subsets ของเวลาต่อความยากสำหรับ Pointing task

Scheffe ^{a,b,c}					
VEL	N	Subset			
		1	2	3	4
40.00	1246	202.2751			
.00	1240	203.8998	203.8998		
20.00	1237		207.2703	207.2703	
30.00	1227			211.6685	211.6685
10.00	1222				214.6343
Sig.		.903	.345	.106	.482

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1563.731.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 1234.338.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

5.1.2 ผลกระทบของการเพิ่มการเคลื่อนที่ต่อความแม่นยำในการทำงาน

จากรูปที่ 5-2 จะเห็นว่าเมื่อความยากในการทำงานเพิ่มมากขึ้น ผู้ทดสอบมีแนวโน้มที่จะทำงานไม่สำเร็จสูงขึ้น แม้ว่าจะมีโอกาสเบี่ยงเบนสูงมากก็ตาม นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความผิดพลาดในการทำงานและความเร็วในการเคลื่อนที่ที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ที่ไม่ชัดเจน การเพิ่มขึ้นของอัตราการผิดพลาดกับการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เป็นไปในแนวทางเดียวกัน จึงนำข้อมูลดังกล่าวมาพิจารณาความแตกต่างด้วย 2-way ANOVA และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการ Scheffe ได้ผลการวิเคราะห์ตามตารางที่ 5-6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-6 เปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการทำงานไม่สำเร็จที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ สำหรับ

Pointing task

Multiple Comparisons

Dependent Variable: MISS

Scheffe

(I) VEL	(J) VEL	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.00	10.00	1.446E-02	6.277E-03	.257	-4.88E-03	3.380E-02
	20.00	3.009E-03	6.259E-03	.994	-1.63E-02	2.229E-02
	30.00	1.062E-02	6.271E-03	.581	-8.71E-03	2.994E-02
	40.00	-3.736E-03	6.248E-03	.986	-2.30E-02	1.552E-02
10.00	.00	-1.446E-02	6.277E-03	.257	-3.38E-02	4.878E-03
	20.00	-1.145E-02	6.282E-03	.505	-3.08E-02	7.902E-03
	30.00	-3.848E-03	6.294E-03	.985	-2.32E-02	1.555E-02
	40.00	-1.820E-02	6.271E-03	.077	-3.75E-02	1.124E-03
20.00	.00	-3.009E-03	6.259E-03	.994	-2.23E-02	1.627E-02
	10.00	1.145E-02	6.282E-03	.505	-7.90E-03	3.081E-02
	30.00	7.606E-03	6.276E-03	.832	-1.17E-02	2.694E-02
	40.00	-6.745E-03	6.253E-03	.884	-2.60E-02	1.252E-02
30.00	.00	-1.062E-02	6.271E-03	.581	-2.99E-02	8.707E-03
	10.00	3.848E-03	6.294E-03	.985	-1.55E-02	2.324E-02
	20.00	-7.606E-03	6.276E-03	.832	-2.69E-02	1.173E-02
	40.00	-1.435E-02	6.265E-03	.263	-3.37E-02	4.953E-03
40.00	.00	3.736E-03	6.248E-03	.986	-1.55E-02	2.299E-02
	10.00	1.820E-02	6.271E-03	.077	-1.12E-03	3.752E-02
	20.00	6.745E-03	6.253E-03	.884	-1.25E-02	2.601E-02
	30.00	1.435E-02	6.265E-03	.263	-4.95E-03	3.365E-02

Based on observed means.

ตาราง ที่ 5-7 Homogeneous subset ของสัดส่วนการทำงานไม่สำเร็จ สำหรับ Pointing task

Scheffe^{a,b,c}

VEL	N	Subset
10.00	1272	1.730E-02
30.00	1277	2.114E-02
20.00	1287	2.875E-02
.00	1291	3.176E-02
40.00	1296	3.549E-02
Sig.		.077

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 2.525E-02.

- Uses Harmonic Mean Sample Size = 1284.539.
- The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- Alpha = .05.

จากตารางที่ 5-6 และ 5-7 จะเห็นว่าสัดส่วนการทำงานผิดพลาดที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ ลดลงสูงสุดจาก 3.2 เปอร์เซ็นต์เป็น 1.7 เปอร์เซ็นต์ แต่ค่าความแตกต่างดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญ

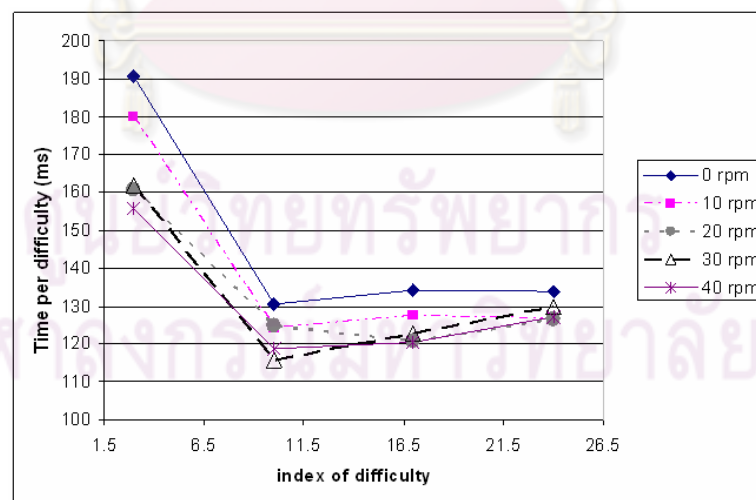
5.2 Linear steering task

ผู้วิจัยได้รวบรวมผลการทดสอบการทำงาน Linear steering task ไว้ในตารางที่ 5-8 และ 5-9 โดยตารางที่ 5-8 จะแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาต่อความยากที่ค่าระดับความยากและระดับความเร็วในการเคลื่อนที่แตกต่างกัน ขณะที่ตารางที่ 5-9 จะแสดงค่าเฉลี่ยของการทำงานไม่สำเร็จคิดเป็นสัดส่วนที่ระดับความยากและความเร็วในการเคลื่อนที่แตกต่างกัน ข้อมูลดังกล่าวสามารถสร้างกราฟเปรียบเทียบความแตกต่างที่เงื่อนไขการทำงานต่างกันได้ตามรูปที่ 5-3 และ 5-4

เมื่อพิจารณาการทำงานที่ระดับความยากต่างๆตามรูปที่ 5-3 จะพบว่าผู้ทดสอบจะใช้เวลาต่อความยากมากในงานที่มีระดับความยากต่ำ เช่นเดียวกับ Pointing task และจะใช้เวลาต่อความยากลดลงจนกระทั่งมีค่าประมาณคงที่เมื่องานดังกล่าวมีความยากมากขึ้น สาเหตุดังกล่าวเนื่องมาจากการใช้เวลาในการตัดสินใจของมนุษย์ก่อนการทำงานเช่นเดียวกับ Pointing task

ตารางที่ 5-8 ค่าเฉลี่ยของเวลาต่อความยากสำหรับ Linear steering task

(rpm)	ID	(ms) Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
.00	3.00	190.673	2.966	184.857	196.489
	10.00	130.487	2.966	124.671	136.303
	17.00	134.139	2.966	128.323	139.956
	24.00	133.865	2.966	128.048	139.681
10.00	3.00	180.033	2.966	174.217	185.850
	10.00	124.227	2.966	118.411	130.043
	17.00	127.497	2.966	121.681	133.314
	24.00	126.887	2.966	121.070	132.703
20.00	3.00	160.690	2.966	154.873	166.506
	10.00	124.771	2.966	118.955	130.588
	17.00	120.909	2.966	115.092	126.725
	24.00	126.436	2.966	120.619	132.252
30.00	3.00	161.583	2.966	155.767	167.400
	10.00	115.846	2.966	110.029	121.662
	17.00	122.711	2.966	116.895	128.528
	24.00	129.878	2.966	124.062	135.694
40.00	3.00	155.677	2.966	149.861	161.493
	10.00	118.893	2.966	113.077	124.709
	17.00	120.445	2.966	114.629	126.261
	24.00	127.304	2.966	121.488	133.121

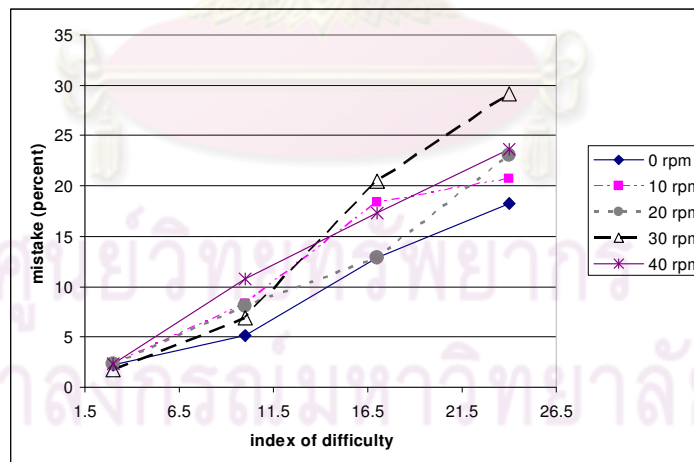


รูปที่ 5-3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาต่อความยากที่เงื่อนไขการทำงานต่างกัน สำหรับ Linear steering task

ตารางที่ 5-9 ค่าเฉลี่ยของการทำงานไม่สำเร็จคิดเป็นสัดส่วน สำหรับ Linear steering task

Dependent Variable: MISS

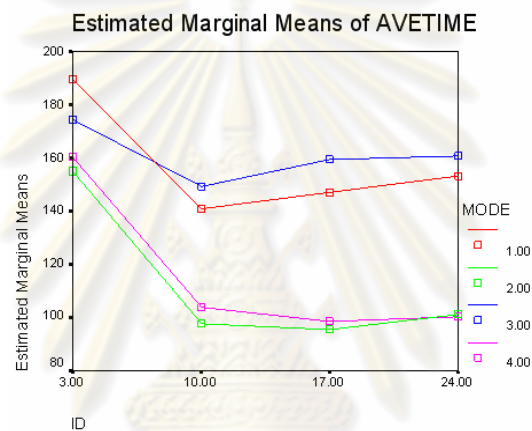
(rpm) VEL	ID	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
.00	3.00	2.167E-02	.026	-2.96E-02	7.297E-02
	10.00	5.163E-02	.026	1.123E-03	.102
	17.00	.129	.025	8.079E-02	.178
	24.00	.183	.024	.136	.229
10.00	3.00	2.288E-02	.026	-2.84E-02	7.415E-02
	10.00	8.301E-02	.025	3.334E-02	.133
	17.00	.184	.024	.138	.231
	24.00	.207	.024	.161	.253
20.00	3.00	2.353E-02	.026	-2.77E-02	7.478E-02
	10.00	8.126E-02	.025	3.154E-02	.131
	17.00	.129	.025	8.039E-02	.177
	24.00	.231	.023	.185	.276
30.00	3.00	1.765E-02	.026	-3.38E-02	6.905E-02
	10.00	6.857E-02	.026	1.852E-02	.119
	17.00	.205	.024	.158	.251
	24.00	.291	.022	.247	.334
40.00	3.00	2.353E-02	.026	-2.77E-02	7.478E-02
	10.00	.108	.025	5.938E-02	.157
	17.00	.173	.024	.126	.220
	24.00	.236	.023	.191	.282



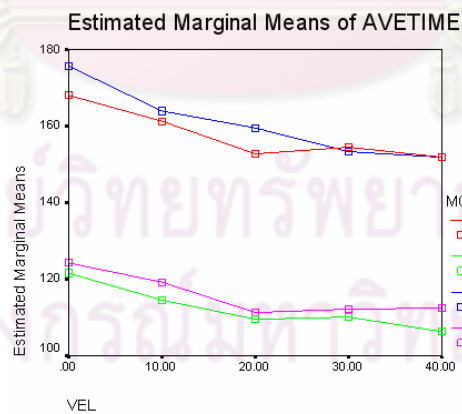
รูปที่ 5-4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสัดส่วนการทำงานผิดพลาดที่เพิ่มขึ้นในการทำงานต่างกัน สำหรับ Linear steering task

นอกจากนี้หากพิจารณาการทำงานของมนุษย์แบ่งตามทิศทางเคลื่อนที่ต่างๆ คือ การเคลื่อนที่ไปทางด้านบน ด้านล่าง ไปทางซ้าย และ ไปทางขวา เวลาต่อความยากเฉลี่ยของการ

เคลื่อนที่ในแต่ละทิศทางแสดงในรูปที่ 5-5 และ 5-6 จากรูปดังกล่าวจะสังเกตเห็นได้ว่าอาสาสมัครใช้เวลาในการเคลื่อนที่ไปทางด้านซ้ายและขวาน้อยกว่าการเคลื่อนที่ไปด้านบนและด้านล่าง เมื่อพิจารณาความแตกต่างดังกล่าวด้วย Two-way ANOVA ดังตารางที่ 5-10 และ Homogeneous subsets ดังตารางที่ 5-11 จะพบว่าการใช้เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ไปทางด้านบน และด้านล่าง (vertical) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($\text{sig}=0.337$) และการใช้เวลาในการเคลื่อนที่ไปทางด้านซ้ายและทางขวา (horizontal) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($\text{sig}=0.387$) เช่นกัน ในขณะที่การใช้เวลาในการเคลื่อนที่ในทิศทางบนล่างแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการใช้เวลาในการเคลื่อนที่ในทิศทางซ้ายขวา ($\text{sig}=0.000$) ซึ่งสรุปได้ว่ามนุษย์มีความถนัดในการบังคับให้คอเซอร์เคลื่อนที่ในแนว Horizontal มากกว่าแนว Vertical



รูปที่ 5-5 เวลาต่อความยากเฉลี่ยที่ใช้ในการเคลื่อนที่ตามทิศทางต่างๆ ที่ระดับความยากต่างๆ



รูปที่ 5-6 เวลาต่อความยากเฉลี่ยที่ใช้ในการเคลื่อนที่ตามทิศทางต่างๆ ที่ระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ

ตารางที่ 5-10 การเปรียบเทียบเวลาต่อความยากเฉลี่ยระหว่างการเคลื่อนที่ในทิศทางต่างๆ

Multiple Comparisons

Dependent Variable: AVETIME
Tukey HSD

(I) MODE	(J) MODE	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1.00	2.00	45.2518*	2.0502	.000	39.9847	50.5189
	3.00	-3.2493	2.0502	.387	-8.5164	2.0178
	4.00	41.8172*	2.0502	.000	36.5501	47.0844
2.00	1.00	-45.2518*	2.0502	.000	-50.5189	-39.9847
	3.00	-48.5011*	2.0502	.000	-53.7682	-43.2340
	4.00	-3.4345	2.0502	.337	-8.7016	1.8326
3.00	1.00	3.2493	2.0502	.387	-2.0178	8.5164
	2.00	48.5011*	2.0502	.000	43.2340	53.7682
	4.00	45.0666*	2.0502	.000	39.7995	50.3337
4.00	1.00	-41.8172*	2.0502	.000	-47.0844	-36.5501
	2.00	3.4345	2.0502	.337	-1.8326	8.7016
	3.00	-45.0666*	2.0502	.000	-50.3337	-39.7995

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางที่ 5-11 การจัดกลุ่ม Homogeneous subsets ของเวลาต่อความยากสำหรับการเคลื่อนที่ทิศทางต่างๆ (mode 1 = down, mode 2 =right, mode 3 = up, mode 4 = left)

AVETIME

Tukey HSD ^{a,b}

MODE	N	Subset	
		1	2
2.00	800	112.3507	
4.00	800	115.7852	
1.00	800		157.6025
3.00	800		160.8518
Sig.		.337	.387

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1681.375.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 800.000.

5.2.1 ผลกระทบของการเพิ่มการเคลื่อนไหวต่อเวลาในการทำงาน

จากรูปที่ 5-3 จะสังเกตว่าโดยเฉลี่ยแล้วเมื่อใช้อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของร่างกายจะทำให้ผู้ทดสอบใช้เวลาในการทำงานลดลงเล็กน้อย ความเร็วในการทำงานที่เพิ่มขึ้นแปรผันตรงกับความเร็วยที่ร่างกายเคลื่อนไหว ในช่วงความเร็วที่ทำการทดสอบ แม้ว่าจะมีความเบี่ยงเบนไปบ้างในบางความเร็ว เมื่อทำการพิจารณาข้อมูลดังกล่าวด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแตกต่างทาง

สถิติ Contrast test พบว่า ผู้ทดสอบใช้เวลาในการทำงานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (sig. <0.05) ตามตารางที่ 5-12

ตารางที่ 5-12 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการทำงานปกติและการใช้อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ สำหรับงาน Linear steering task

	Contrast	Value of Contrast	Std. Error	t	df	Sig. (2-tailed)	
AVETIME	Assume equal variances	1	53.2169	9.0405	5.887	3195	.000
	Does not assume equal	1	53.2169	9.5517	5.571	922.499	.000

จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย 2-way ANOVA เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างความเร็วในการทำงานระหว่างเงื่อนไขการทำงานที่ต่างกัน โดยใช้วิธีการ Tukey ตามตารางที่ 5-13 ตารางดังกล่าวจะระบุค่าเวลาต่อความยากที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญด้วยเครื่องหมายดอกจันที่กำกับอยู่ในช่อง Mean difference เช่นเดียวกับ Pointing task จากนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาจึงทำการจัดข้อมูลในลักษณะ Homogeneous subsets ตามตารางที่ 5-14 จากข้อมูลดังกล่าวจะสังเกตเห็นได้ว่าเวลาต่อความยากที่ใช้ในการทำงานจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาที ผู้ทดสอบได้ใช้เวลาในการทำงานโดยเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการทำงานปกติ จากนั้นเมื่อเพิ่มความเร็วในการใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าวเป็น 20 รอบต่อนาที ผู้ทดสอบได้ใช้เวลาในการทำงานลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อุปกรณ์ที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาที อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ร่างกายส่วนล่างเป็น 30 และ 40 รอบต่อนาที ผู้ทดสอบทำงานด้วยความเร็วระดับเดียวกับการใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ที่ 20 รอบต่อนาที และเวลาต่อความยากเฉลี่ยลดลงสูงสุด 11 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็ว 40 รอบต่อนาที

จะเห็นได้ว่าการใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ที่ทำให้ผู้ทดสอบใช้เวลาในการทำงานโดยเฉลี่ยลดลง โดยการใช้อุปกรณ์ที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาทีหรือเทียบเท่ากับการก้าวขาก้าวละ 3 วินาที ทำให้ผู้ทดสอบทำงานได้ช้ากว่าการใช้อุปกรณ์ที่ความเร็วอื่นที่ใช้ในการทดสอบนี้ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบเฉพาะการทำงานขณะใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ที่สรุปได้ว่าการเคลื่อนไหวย่างรวดเร็วต่ำมากจะมีผลให้ผู้ทดสอบทำงานได้ช้ากว่าการเคลื่อนไหวที่ความเร็วสูงขึ้น เนื่องมาจากการเคลื่อนที่ดังกล่าวช้ากว่าการเคลื่อนที่ตามปกติของมนุษย์ มนุษย์จึงเกิดความรู้สึกไม่เป็นธรรมชาติ

ตารางที่ 5-13 การเปรียบเทียบเวลาต่อความยากที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆด้วยวิธีการ Scheffe
สำหรับ Linear steering task

Multiple Comparisons

Dependent Variable: AVETIME
Tukey HSD

(I) VEL	(J) VEL	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.00	10.00	7.6298*	2.0975	.003	1.9082	13.3515
	20.00	14.0896*	2.0975	.000	8.3680	19.8112
	30.00	14.7864*	2.0975	.000	9.0647	20.5080
	40.00	16.7111*	2.0975	.000	10.9894	22.4327
10.00	.00	-7.6298*	2.0975	.003	-13.3515	-1.9082
	20.00	6.4598*	2.0975	.018	.7381	12.1814
	30.00	7.1565*	2.0975	.006	1.4349	12.8782
	40.00	9.0812*	2.0975	.000	3.3596	14.8029
20.00	.00	-14.0896*	2.0975	.000	-19.8112	-8.3680
	10.00	-6.4598*	2.0975	.018	-12.1814	-.7381
	30.00	.8968	2.0975	.997	-5.0249	6.4184
	40.00	2.6215	2.0975	.722	-3.1002	8.3431
30.00	.00	-14.7864*	2.0975	.000	-20.5080	-9.0647
	10.00	-7.1565*	2.0975	.006	-12.8782	-1.4349
	20.00	-.8968	2.0975	.997	-6.4184	5.0249
	40.00	1.9247	2.0975	.890	-3.7970	7.6463
40.00	.00	-16.7111*	2.0975	.000	-22.4327	-10.9894
	10.00	-9.0812*	2.0975	.000	-14.8029	-3.3596
	20.00	-2.6215	2.0975	.722	-8.3431	3.1002
	30.00	-1.9247	2.0975	.890	-7.6463	3.7970

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางที่ 5-14 Homogeneous subsets ของเวลาต่อความยากสำหรับ Linear steering task

AVETIME

Tukey HSD ^{a,b}

VEL	N	Subset		
		1	2	3
40.00	640	130.5799		
30.00	640	132.5046		
20.00	640	133.2013		
10.00	640		139.6611	
.00	640			147.2909
Sig.		.722	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1407.900.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 640.000.

b. Alpha = .05.

5.2.2 ผลกระทบของการเพิ่มการเคลื่อนที่ต่อความแม่นยำในการทำงาน

จากรูปที่ 5-4 จะเห็นว่าเมื่อระดับความยากในการทำงานเพิ่มมากขึ้น ผู้ทดสอบมีแนวโน้มที่จะทำงานไม่สำเร็จสูงขึ้นทุกเงื่อนไขการทำงาน นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าสัดส่วนความผิดพลาดในการทำงานจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่เมื่อเทียบกับการทำงานตามปกติ แต่ทว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเคลื่อนที่และความแม่นยำในการทำงานไม่ชัดเจน จึงนำข้อมูลดังกล่าวมาพิจารณาความแตกต่างด้วย 2-way ANOVA และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการ Scheffe ได้ผลการวิเคราะห์ตามตารางที่ 5-15

ตารางที่ 5-15 เปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการทำงานไม่สำเร็จที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ สำหรับงาน Linear steering task

Multiple Comparisons

Dependent Variable: MISS
Scheffe

(I) VEL	(J) VEL	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.00	10.00	-3.222E-02	1.749E-02	.494	-8.61E-02	2.168E-02
	20.00	-2.292E-02	1.753E-02	.789	-7.70E-02	3.112E-02
	30.00	-5.788E-02*	1.736E-02	.025	-.1114	-4.38E-03
	40.00	-4.356E-02	1.743E-02	.182	-9.73E-02	1.016E-02
10.00	.00	3.222E-02	1.749E-02	.494	-2.17E-02	8.611E-02
	20.00	9.300E-03	1.737E-02	.991	-4.42E-02	6.284E-02
	30.00	-2.566E-02	1.720E-02	.694	-7.87E-02	2.734E-02
	40.00	-1.135E-02	1.727E-02	.980	-6.46E-02	4.187E-02
20.00	.00	2.292E-02	1.753E-02	.789	-3.11E-02	7.696E-02
	10.00	-9.300E-03	1.737E-02	.991	-6.28E-02	4.424E-02
	30.00	-3.496E-02	1.724E-02	.391	-8.81E-02	1.818E-02
	40.00	-2.065E-02	1.732E-02	.840	-7.40E-02	3.272E-02
30.00	.00	5.788E-02*	1.736E-02	.025	4.377E-03	.1114
	10.00	2.566E-02	1.720E-02	.694	-2.73E-02	7.866E-02
	20.00	3.496E-02	1.724E-02	.391	-1.82E-02	8.810E-02
	40.00	1.431E-02	1.714E-02	.952	-3.85E-02	6.713E-02
40.00	.00	4.356E-02	1.743E-02	.182	-1.02E-02	9.728E-02
	10.00	1.135E-02	1.727E-02	.980	-4.19E-02	6.457E-02
	20.00	2.065E-02	1.732E-02	.840	-3.27E-02	7.401E-02
	30.00	-1.431E-02	1.714E-02	.952	-6.71E-02	3.851E-02

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางที่ 5-16 Homogeneous subset ของสัดส่วนการทำงานไม่สำเร็จ สำหรับ Linear steering task

MISS

Scheffe^{a,b,c}

VEL	N	Subset	
		1	2
.00	719	.1099	.1328
20.00	738	.1328	.1421
10.00	746	.1421	.1534
40.00	756	.1534	.1678
30.00	769	.1678	.397
Sig.		.177	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .112.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 745.217.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

c. Alpha = .05.

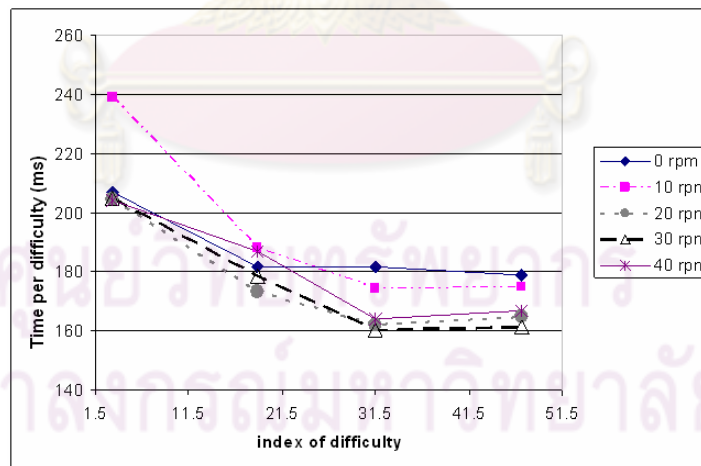
จากตารางที่ 5-15 และ 5-16 จะเห็นว่าสัดส่วนการทำงานผิดพลาดเพิ่มขึ้นสูงสุดจาก 11 เปอร์เซ็นต์เป็น 16.7 เปอร์เซ็นต์ที่ความเร็ว 30 รอบต่อนาที และค่าความผิดพลาดที่เพิ่มขึ้นนี้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับการทำงานปกติ ในขณะที่ค่าสัดส่วนความผิดพลาดในการทำงานที่ความเร็วในการเคลื่อนที่อื่นๆไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการทำงานตามปกติ

5.3 Circular steering task

ผู้วิจัยได้รวบรวมผลการทดสอบการทำงาน Circular steering task ไว้ในตารางที่ 5-17 และ 5-18 โดยตารางที่ 5-17 จะแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาต่อความยากที่ค่าระดับความยากและระดับความเร็วในการเคลื่อนที่แตกต่างกัน ขณะที่ตารางที่ 5-18 จะแสดงค่าเฉลี่ยของการทำงานไม่สำเร็จคิดเป็นสัดส่วนที่ระดับความยากและความเร็วในการเคลื่อนที่แตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถพล็อตกราฟเปรียบเทียบความแตกต่างที่เงื่อนไขการทำงานต่างกันได้ตามรูปที่ 5-7 และ 5-8

ตารางที่ 5-17 ค่าเฉลี่ยของเวลาต่อความยากสำหรับ Circular steering task

(rpm)	VEL	ID	(ms) Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.00		6.28	207.150	2.133	202.966	211.334
		18.85	181.885	2.133	177.702	186.069
		31.42	181.606	2.133	177.422	185.790
		47.12	179.010	2.133	174.827	183.194
10.00		6.28	239.309	2.133	235.125	243.492
		18.85	188.002	2.133	183.818	192.186
		31.42	174.351	2.133	170.167	178.535
		47.12	174.793	2.133	170.609	178.976
20.00		6.28	204.438	2.133	200.254	208.622
		18.85	173.355	2.133	169.171	177.539
		31.42	162.264	2.133	158.080	166.448
		47.12	164.918	2.133	160.734	169.102
30.00		6.28	204.934	2.133	200.750	209.118
		18.85	178.347	2.133	174.163	182.531
		31.42	160.384	2.133	156.200	164.568
		47.12	161.447	2.133	157.263	165.631
40.00		6.28	204.078	2.133	199.894	208.262
		18.85	178.075	2.133	173.891	182.259
		31.42	164.164	2.133	159.980	168.348
		47.12	166.933	2.133	162.750	171.117

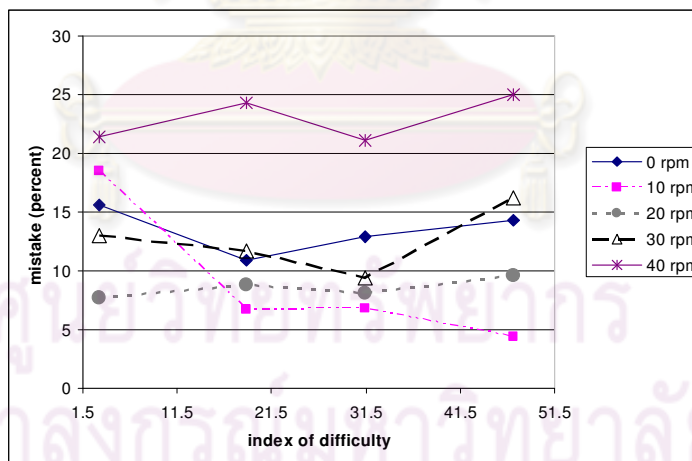


รูปที่ 5-7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาต่อความยากที่เงื่อนไขการทำงานต่างกัน สำหรับ Circular steering task

ตารางที่ 5-18 ค่าเฉลี่ยของการทำงานไม่สำเร็จคิดเป็นสัดส่วน สำหรับ Circular steering task

Dependent Variable: MISS

ID	(rpm) VEL	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
6.28	.00	.156	.032	9.297E-02	.219
	10.00	.109	.033	4.469E-02	.174
	20.00	.129	.033	6.471E-02	.193
	30.00	.143	.032	7.930E-02	.206
	40.00	.185	.032	.123	.247
18.85	.00	6.702E-02	.034	7.412E-04	.133
	10.00	6.818E-02	.034	1.948E-03	.134
	20.00	4.394E-02	.034	-2.32E-02	.111
	30.00	7.727E-02	.034	1.136E-02	.143
	40.00	8.793E-02	.033	2.240E-02	.153
31.42	.00	8.081E-02	.034	1.502E-02	.147
	10.00	9.559E-02	.033	3.034E-02	.161
	20.00	.130	.033	6.637E-02	.194
	30.00	.117	.033	5.254E-02	.181
	40.00	9.394E-02	.033	2.863E-02	.159
47.12	.00	.162	.032	9.962E-02	.225
	10.00	.214	.031	.153	.275
	20.00	.243	.030	.183	.302
	30.00	.211	.031	.150	.272
	40.00	.250	.030	.190	.309

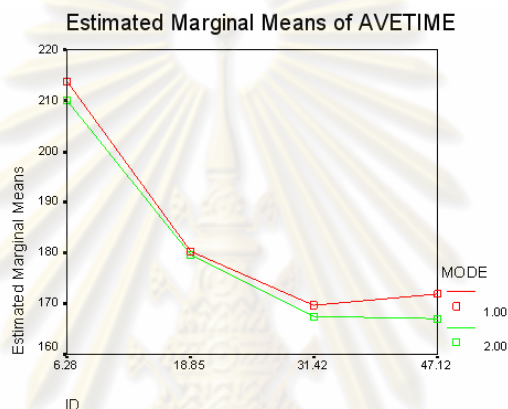


รูปที่ 5-8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสัดส่วนการทำงานผิดพลาดที่เงื่อนไขการทำงานต่างกัน สำหรับ Circular steering task

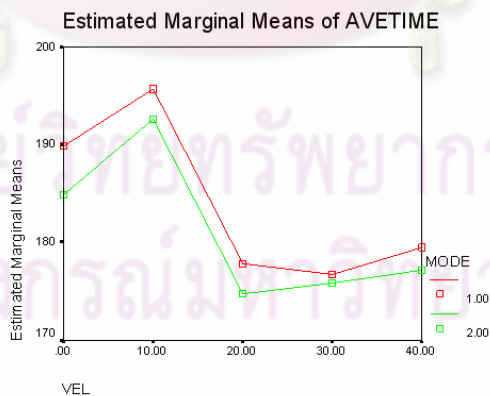
เมื่อพิจารณาการทำงานที่ระดับความยากต่างๆตามรูปที่ 5-7 จะพบว่าผู้ทดสอบจะใช้เวลาต่อความยากมากในงานที่มีระดับความยากต่ำ เช่นเดียวกับ Pointing task และ Linear steering task และจะใช้เวลาต่อความยากลดลงจนกระทั่งมีค่าประมาณคงที่เมื่องานดังกล่าวมีความ

ยากมากขึ้น สาเหตุดังกล่าวเนื่องมากจากการใช้เวลาในการตัดสินใจของมนุษย์ก่อนการทำงาน เช่นเดียวกับ Pointing task และ Linear steering task

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการทำงานของมนุษย์เปรียบเทียบระหว่างการเคลื่อนไหวตามเข็มนาฬิกาและการเคลื่อนไหวตามเข็มนาฬิกา การเปรียบเทียบเวลาต่อความยากเฉลี่ยสำหรับการเคลื่อนที่ทั้งสองทิศทางแสดงในรูปที่ 5-9 และ 5-10 จากรูปดังกล่าวแม้จะสังเกตได้ว่าการเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกาจะใช้เวลาในการทำงานน้อยกว่าเล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาความแตกต่างของเวลาในการทำงานทั้งสองด้วย contrast test แล้ว พบว่าใช้เวลาในการทำงานทั้งสองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($\text{sig.}=0.165$)



รูปที่ 5-9 เวลาต่อความยากเฉลี่ยที่ใช้ในการเคลื่อนที่ตามทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกาที่ระดับความยากต่างๆ



รูปที่ 5-10 เวลาต่อความยากเฉลี่ยที่ใช้ในการเคลื่อนที่ตามทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกาที่ระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ

ตารางที่ 5-19 การเปรียบเทียบการใช้เวลาในการทำงานสำหรับการเคลื่อนที่ทวนเข็มและตามเข็มนาฬิกา

		Contrast	Value of Contrast	Std. Error	t	df	Sig. (2-tailed)
AVETIME	Assume equal variances	1	2.8432	2.0470	1.389	1998	.165
	Does not assume equal	1	2.8432	2.0470	1.389	1995.532	.165

5.3.1 ผลกระทบของการเพิ่มการเคลื่อนไหวต่อเวลาในการทำงาน

จากรูปที่ 5-7 จะสังเกตว่าโดยเฉลี่ยแล้วเมื่อใช้อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ของร่างกายจะทำให้ผู้ทดสอบใช้เวลาในการทำงานลดลงเล็กน้อย ความเร็วในการทำงานที่เพิ่มขึ้นแปรผันตรงกับความเร็วยที่ร่างกายเคลื่อนไหว ในช่วงความเร็วที่ทำการทดสอบ แม้ว่าจะมีความเบี่ยงเบนไปบ้างในบางความเร็ว เมื่อทำการพิจารณาข้อมูลดังกล่าวด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ Contrast test พบว่า ผู้ทดสอบใช้เวลาในการทำงานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (sig. <0.05) ตามตารางที่ 5-20

ตารางที่ 5-20 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการทำงานปกติและการใช้อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ สำหรับงาน Circular steering task

		Contrast	Value of Contrast	Std. Error	t	df	Sig. (2-tailed)
AVETIME	Assume equal variances	1	24.7039	10.1224	2.441	1995	.015
	Does not assume equal	1	24.7039	9.0986	2.715	708.648	.007

จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย 2-way ANOVA เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างความเร็วในการทำงานระหว่างเงื่อนไขการทำงานที่แตกต่างกัน โดยใช้วิธีการ Tukey ตามตารางที่ 5-21 ตารางดังกล่าวจะระบุค่าเวลาต่อความยากที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญด้วยเครื่องหมายดอกจันที่กำกับอยู่ในช่อง Mean difference เช่นเดียวกับ Pointing task จากนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาจึงทำการจัดข้อมูลในลักษณะ Homogeneous subsets ตามตารางที่ 5-22 จากข้อมูลดังกล่าวจะสังเกตได้ว่าเวลาต่อความยากที่ใช้ในการทำงานจะเพิ่มขึ้น 3.5 เปอร์เซ็นต์อย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 10 รอบต่อนาที อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่เป็น 20 รอบต่อนาที ปรากฏว่าเวลาต่อความยากในการทำงานกลับลดลง

อย่างมีนัยสำคัญ และลดลงสูงสุด 6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่มความเร็วของอุปกรณ์ขึ้นเป็น 30 และ 40 รอบต่อนาที ผู้ทดสอบใช้เวลาในการทำงานอยู่ในระดับเดียวกับการใช้งานอุปกรณ์ที่ 20 รอบต่อนาที

สังเกตได้ว่าการใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่นั้นมีผลต่อเวลาในการทำงาน Circular steering task อย่างมีนัยสำคัญ แต่มีเพียงการใช้งานที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาทีเท่านั้นที่ทำให้ผู้ทดสอบทำงานได้ช้าลง ในขณะที่การใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าวที่ความเร็วอื่น ๆ ในการทดสอบนี้ทำให้ผู้ทดสอบใช้เวลาในการทำงานโดยเฉลี่ยลดลง ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการใช้งานอุปกรณ์นี้ที่ความเร็ว 10 รอบต่อนาทีเป็นความเร็วที่ไปเป็นธรรมชาติและสร้างการรบกวนให้กับผู้ทดสอบ เช่นเดียวกับ Linear steering task

ตารางที่ 5-21 การเปรียบเทียบเวลาต่อความยากที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆด้วยวิธีการ Scheffe สำหรับ Circular steer task

Multiple Comparisons

Dependent Variable: AVETIME
Tukey HSD

(I) VEL	(J) VEL	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.00	10.00	-6.7005*	1.5084	.000	-10.8151	-2.5859
	20.00	11.1691*	1.5084	.000	7.0545	15.2837
	30.00	11.1349*	1.5084	.000	7.0204	15.2495
	40.00	9.1004*	1.5084	.000	4.9858	13.2150
10.00	.00	6.7005*	1.5084	.000	2.5859	10.8151
	20.00	17.8697*	1.5084	.000	13.7551	21.9842
	30.00	17.8355*	1.5084	.000	13.7209	21.9500
	40.00	15.8009*	1.5084	.000	11.6863	19.9155
20.00	.00	-11.1691*	1.5084	.000	-15.2837	-7.0545
	10.00	-17.8697*	1.5084	.000	-21.9842	-13.7551
	30.00	-3.419E-02	1.5084	1.000	-4.1488	4.0804
	40.00	-2.0687	1.5084	.646	-6.1833	2.0459
30.00	.00	-11.1349*	1.5084	.000	-15.2495	-7.0204
	10.00	-17.8355*	1.5084	.000	-21.9500	-13.7209
	20.00	3.419E-02	1.5084	1.000	-4.0804	4.1488
	40.00	-2.0345	1.5084	.661	-6.1491	2.0800
40.00	.00	-9.1004*	1.5084	.000	-13.2150	-4.9858
	10.00	-15.8009*	1.5084	.000	-19.9155	-11.6863
	20.00	2.0687	1.5084	.646	-2.0459	6.1833
	30.00	2.0345	1.5084	.661	-2.0800	6.1491

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

ตารางที่ 5-22 Homogeneous subsets ของเวลาต่อความยากสำหรับงาน Circular steering task

AVETIME

Tukey HSD ^{a,b}

VEL	N	Subset		
		1	2	3
20.00	400	176.2439		
30.00	400	176.2781		
40.00	400	178.3126		
.00	400		187.4130	
10.00	400			194.1135
Sig.		.646	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = 455.054.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 400.000.
b. Alpha = .05.

5.3.2 ผลกระทบของการเพิ่มการเคลื่อนที่ต่อความแม่นยำในการทำงาน

จากรูปที่ 5-8 จะเห็นว่าที่ เมื่อระดับความยากในการทำงานเพิ่มขึ้นจาก 6.28 เป็น 18.85 ค่าความผิดพลาดในการทำงานของผู้ทดสอบจะลดลง แต่เมื่อระดับความยากในการทำงานเพิ่มมากขึ้นความผิดพลาดในการทำงานของผู้ทดสอบกลับเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากว่าผู้ทดสอบส่วนใหญ่พยายามเร่งทำเวลาในการทดสอบที่ง่าย แต่ทว่าไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวให้อยู่ภายในขอบเขตที่กำหนดได้ นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าสัดส่วนความผิดพลาดในการทำงานจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่เมื่อเทียบกับการทำงานตามปกติ แต่ทว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเคลื่อนที่และความแม่นยำในการทำงานยังคงไม่ชัดเจน จึงนำข้อมูลดังกล่าวมาพิจารณาความแตกต่างด้วย 2-way ANOVA และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการ Scheffe ได้ผลการวิเคราะห์ตามตารางที่ 5-23 และสามารถแบ่งกลุ่ม Homogeneous subsets ได้ตามตารางที่ 24 ซึ่งจะสังเกตได้ว่าสัดส่วนการทำงานผิดพลาดเพิ่มขึ้นสูงสุดจาก 13.8 เปอร์เซ็นต์เป็น 17.5 เปอร์เซ็นต์ แต่ค่าความแตกต่างดังกล่าวไม่มีนัยสำคัญ

ตารางที่ 5-23 เปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการทำงานไม่สำเร็จที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างๆ
สำหรับ Circular steering task

Multiple Comparisons

Dependent Variable: MISS

Scheffe

(I) VEL	(J) VEL	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.00	10.00	1.854E-03	2.296E-02	1.000	-6.89E-02	7.263E-02
	20.00	-3.034E-02	2.274E-02	.776	-.1005	3.977E-02
	30.00	-2.688E-02	2.277E-02	.845	-9.71E-02	4.330E-02
	40.00	-3.547E-02	2.271E-02	.655	-.1055	3.453E-02
10.00	.00	-1.854E-03	2.296E-02	1.000	-7.26E-02	6.892E-02
	20.00	-3.219E-02	2.276E-02	.735	-.1023	3.796E-02
	30.00	-2.874E-02	2.278E-02	.810	-9.90E-02	4.149E-02
	40.00	-3.733E-02	2.272E-02	.609	-.1074	3.272E-02
20.00	.00	3.034E-02	2.274E-02	.776	-3.98E-02	.1005
	10.00	3.219E-02	2.276E-02	.735	-3.80E-02	.1023
	30.00	3.458E-03	2.256E-02	1.000	-6.61E-02	7.301E-02
	40.00	-5.133E-03	2.250E-02	1.000	-7.45E-02	6.424E-02
30.00	.00	2.688E-02	2.277E-02	.845	-4.33E-02	9.707E-02
	10.00	2.874E-02	2.278E-02	.810	-4.15E-02	9.896E-02
	20.00	-3.458E-03	2.256E-02	1.000	-7.30E-02	6.610E-02
	40.00	-8.591E-03	2.253E-02	.997	-7.80E-02	6.086E-02
40.00	.00	3.547E-02	2.271E-02	.655	-3.45E-02	.1055
	10.00	3.733E-02	2.272E-02	.609	-3.27E-02	.1074
	20.00	5.133E-03	2.250E-02	1.000	-6.42E-02	7.451E-02
	30.00	8.591E-03	2.253E-02	.997	-6.09E-02	7.804E-02

Based on observed means.

ตารางที่ 5-24 Homogeneous subset ของสัดส่วนการทำงานไม่สำเร็จ สำหรับ Circular steering task

MISS		
Scheffe ^{a,b,c}		
VEL	N	Subset
10.00	464	.1379
.00	465	.1398
30.00	480	.1667
20.00	482	.1701
40.00	485	.1753
Sig.		.609

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = .122.

- Uses Harmonic Mean Sample Size = 475.033.
- The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
- Alpha = .05.

บทที่ 6

ข้อสรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุปการวิจัย

ผลการทดลองทั้งหมดแสดงว่าการออกกำลังกายแบบพาสซีฟในช่วงความเร็วที่จำกัดช่วงหนึ่งไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของมนุษย์ขณะนั่งทำงาน เมื่อการออกกำลังกายดังกล่าวถูกควบคุมอยู่ในช่วงหนึ่ง การทำงานที่กำหนดในงานวิจัยนี้เป็นงานที่ใช้ในการทดสอบงานแรกคือ Pointing task ซึ่งงานดังกล่าวเป็นงานที่พบเห็นได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน เช่นการหยิบสิ่งของต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Pointing task ที่ทดสอบในงานวิจัยนี้เป็นงานที่มีลักษณะเหมือนการใช้งานอินเทอร์เน็ตเพื่อสืบค้นข้อมูลต่างๆ งานที่สองและสามคืองาน Steering task ซึ่งงานดังกล่าวเป็นงานที่ต้องการสมาธิมากกว่า Pointing task งานในชีวิตประจำวันซึ่งเรียกได้ว่าเป็น Steering task ได้แก่ การเขียนหนังสือ การวาดรูป หรือการใช้งานโปรแกรมตกแต่งรูปภาพ เป็นต้น

รูปแบบการเคลื่อนที่ของร่างกายส่วนล่างที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ขอบเขตการเคลื่อนไหวร่างกายมนุษย์คือการเคลื่อนที่ไปกลับเป็นเส้นโค้ง หรือเส้นตรง การเคลื่อนที่ทั้งสองจะมีความเหมาะสมกับการนั่งทำงานมากกว่าการเคลื่อนที่เป็นวงรอบ เช่น การปั่นจักรยาน การเคลื่อนที่ดังกล่าวจะทำให้ผู้ที่นั่งทำงานเกิดอาการเมื่อยล้าช้ากว่าการปั่นจักรยาน เนื่องจากความสูงของหัวเข่าขณะทำงานต่ำกว่าเลือดจึงมีโอกาสสะสมที่โคนขาน้อยกว่า

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของมนุษย์เป็นเรื่องที่กระทำได้ยาก เนื่องจาก มนุษย์เป็นปัจจัยที่มีความผันแปรสูง ความอดทนของมนุษย์แต่ละคนก็ไม่เท่ากัน การรับรู้ของมนุษย์แต่ละคนก็ไม่เหมือนกัน ประสบการณ์ในการใช้งานคอมพิวเตอร์ที่แตกต่างกัน ทั้งลักษณะการใช้งาน และความชำนาญในการใช้งาน รวมไปถึงความสามารถในการเรียนรู้ที่ต่างกันไป เพราะฉะนั้นผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อมนุษย์แต่ละคนจึงไม่เหมือนกัน อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ได้นำเครื่องมือทางสถิติมาช่วยในการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นดังกล่าว วิธีการที่เลือกใช้คือการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ศึกษาผลจากตัวแปรต้นมากกว่า 2 ประเภท การวิเคราะห์จะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของผู้ทดสอบทั้งหมด และกำหนดระดับความมั่นใจขั้นต่ำ ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของการทำงานภายใต้เงื่อนไขที่ต่างกันได้ไว้ที่ 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดสอบสรุปได้ว่า มนุษย์สามารถคงประสิทธิภาพการทำงานได้เมื่อเพิ่มเคลื่อนที่ร่างกายส่วนล่างด้วยความเร็วที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ผลการทดสอบครั้งที่ 1 สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนไหวร่างกายมนุษย์ มีขีดจำกัดในการเพิ่มความเร็วอยู่ การเคลื่อนไหวที่เร็วเกินไปจะทำให้มนุษย์ใช้เวลาในการทำงานมากขึ้น ในการทดสอบนี้ความเร็วในการเคลื่อนที่ซึ่งทำให้ผู้ทดสอบใช้เวลาในการทำงานเพิ่มขึ้นคือ 60 รอบต่อนาทีหรือเทียบเท่ากับการปั่นจักรยาน 1 วินาทีต่อรอบ ที่ความเร็วดังกล่าว ผู้ทดสอบจะเริ่มใช้เวลาในการทำงานมากขึ้นสำหรับงานทุกประเภทที่ใช้ในการทดสอบ

ผลการทดสอบครั้งที่ 2 สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ให้กับมนุษย์จำเป็นต้องมีค่ามากระดับหนึ่ง ความเร็วในการเคลื่อนที่ที่ช้าเกินไปจะทำให้มนุษย์ทำงานได้ช้าลง ในการทดสอบนี้ความเร็วที่ทำให้ผู้ทดสอบใช้เวลาในการทำงานมากกว่าความเร็วอื่นอย่างมีนัยสำคัญคือ 10 รอบต่อนาที ที่ความเร็วดังกล่าวการเคลื่อนที่นี้จะเปรียบเสมือนการก้าวขาเดินด้วยความเร็ว 3 วินาทีต่อก้าว ที่ความเร็วนี้ผู้ทดสอบจะใช้เวลาในการทำงานมากกว่าการทำงาน การเคลื่อนไหวที่ความเร็วสูงขึ้น สำหรับงานทุกประเภท

เมื่อพิจารณาผลกระทบของการเพิ่มการเคลื่อนไหวร่างกายด้วยความเร็ว 20, 30 และ 40 รอบต่อนาที ซึ่งความเร็วดังกล่าวอยู่ระหว่างความเร็วที่มีผลต่อการทำงาน คือ 10 และ 60 รอบต่อนาที ผลกระทบของการเคลื่อนไหวที่ความเร็ว 20, 30 และ 40 รอบต่อนาทีนั้นมีผลเหมือนกันสำหรับการทำงาน Steering task ทั้งแบบเส้นตรงและวงกลม หรืออีกนัยหนึ่ง ผู้ทดสอบใช้เวลาในการทำงานที่ความเร็วเหล่านี้เท่ากัน และเวลาที่ใช้เวลาในการทำงานที่ความเร็วต่างๆเหล่านี้ต่ำกว่าการทำงานปกติที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ แต่ทว่าผู้ทดสอบใช้เวลาในการทำงาน pointing task ที่ความเร็ว 30 รอบต่อนาทีนานกว่า ที่ 40 รอบต่อนาที และนานกว่าการทำงานปกติ อย่างไรก็ตามก็มีความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้มีค่าไม่สูงมากนัก เมื่อศึกษาในรายละเอียดพบว่ามีโอกาสอย่างมากที่ความแตกต่างดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานด้วยความชำนาญมากขึ้นของผู้ทดสอบบางคน

อย่างไรก็ดีการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ให้กับร่างกายส่วนล่างแทบจะไม่มีผลกระทบต่อความแม่นยำในการทำงานในช่วงการทำงานที่เหมาะสมดังกล่าวสำหรับงานที่ใช้ในการทดสอบทุกประเภทเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติที่ความมั่นใจมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์

โดยสรุปแล้วการใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ที่มีช่วงการทำงานอยู่ที่ความเร็วค่าหนึ่ง ที่ช่วงความเร็วดังกล่าวผู้ทดสอบจะสามารถรักษาระดับการทำงานไว้ได้ หากความเร็วในการเคลื่อนไหวที่สร้างขึ้นมีค่าเกินไป ผู้ทดสอบจะใช้เวลาในการทำงานมากขึ้น เมื่อ

เพิ่มความเร็วในการเคลื่อนไหวนำให้มากขึ้นจนอยู่ในช่วงความเร็วทำงาน ผู้ทดสอบจะรักษาระดับการทำงานไว้ได้ตามปกติ และอาจใช้เวลาทำงานน้อยลงสำหรับงานบางประเภท และหากเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนไหวนำมากขึ้นจนกระทั่งถึงความเร็วค่าหนึ่ง ผลกระทบของอุปกรณ์ดังกล่าวจะทำให้ผู้ทดสอบใช้เวลาในการทำงานมากขึ้นอีกครั้ง และการใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่นี้ไม่มีผลกระทบต่อความแม่นยำในการทำงานของมนุษย์

6.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาการวิจัย

ขอบเขตการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่รุ่นต้นแบบที่ใช้ในการวิจัยนี้คือการทำงานที่ความเร็ว 40 รอบต่อนาที หรือเทียบเคียงกับการก้าวเท้าเดินก้าวละ 0.75 วินาที การใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าวที่ความเร็วสูงกว่า 40 รอบต่อนาทีจะเกิดผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ 3 ประการ ประการแรก การทำงานที่ความเร็วสูงขึ้นทำให้อุปกรณ์ต้องการกำลังมากขึ้น ความต้องการดังกล่าวจะเข้าใกล้ขีดจำกัดของการส่งกำลังของอุปกรณ์ ทำให้การส่งกำลังไม่ราบเรียบ และระบบจะมีการสั่นสะเทือนที่รุนแรงขึ้น ประการที่สอง ระบบการปรับทิศทางที่ใช้ spur gear มี backlash อยู่ภายในระบบ การทำงานที่ความเร็วสูงจะก่อให้เกิดเสียงดังรบกวนได้ เสียงดังกล่าวไม่ปรากฏในการทำงานที่ความเร็วต่ำ ประการสุดท้าย รูปแบบความเร็วและความเร่งของกลไก crank slide ซึ่งจะสร้างความเร่งที่สูงที่สุดด้านไกลของกลไกดังกล่าว ความเร่งนี้จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงขึ้น ทำให้มนุษย์รับรู้ได้ถึงการทำงานที่ไม่ราบเรียบ อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่นี้ยังคงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไป

มาตรฐาน Fitts' law และ Steering law ที่ได้เลือกใช้ในการทดลองนี้เป็นมาตรฐานการประเมินประสิทธิภาพการทำงานที่เป็นมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับในระดับโลก อย่างไรก็ตามการพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่เพื่อนำไปใช้งานจริงควรจะต้องมีการศึกษาถึงผลกระทบต่อการทำงานประเภทอื่นด้วย ซึ่งได้แก่ การรวบรวมสมาธิ ความจำ รวมไปถึงการทำงานที่อาศัยทักษะเช่นการพิมพ์ดีด หรือแม้แต่การเปลี่ยนรูปแบบการทดลองให้สอดคล้องกับการทำงานตามปกติมากขึ้น เช่น การเปลี่ยนจากการทำงานด้วยเมาส์มาเป็นการทำงานด้วย touch screen เป็นต้น

งานวิจัยนี้โดยหลักการแล้วถือได้ว่าเป็นงานวิจัยที่เป็นสหสาขาวิชา การศึกษาผลกระทบของอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ต่อสุขภาพของผู้ใช้งานเป็นเรื่องที่สำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าการศึกษาผลกระทบต่อการทำงาน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะมีผู้มีความรู้ทางด้านกายภาพ

เห็นถึงประโยชน์ของอุปกรณ์นี้และทำการศึกษาผลกระทบของการใช้งานอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ต่อร่างกายมนุษย์ต่อเนื่องไป

ท้ายที่สุดนี้การกำจัดผลกระทบอื่นต่อการทำงานของมนุษย์ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ไม่ได้ศึกษานั้นเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด ความเชี่ยวชาญในการทำงานถือเป็นหนึ่งในปัจจัยดังกล่าว การลดผลกระทบจากการเชี่ยวชาญนั้นทำได้ด้วยการสร้างงานที่ใช้เวลาในการเรียนรู้้น้อย และให้ผู้ทดสอบได้ฝึกฝนก่อนที่จะทำการทดสอบ ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตามการทดสอบต่อเนื่องทำให้เกิดข้อจำกัดในเรื่องเวลา และความล้าของผู้ทดสอบ การฝึกฝนจึงอยู่ในเงื่อนไขเวลาที่จำกัด ดังนั้นวิธีการเพิ่มความเชี่ยวชาญให้กับผู้ทดสอบควรที่จะพัฒนาเป็นการเพิ่มความชำนาญจนถึงสภาวะคงที่ ซึ่งไม่จำเป็นที่จะต้องทดสอบต่อเนื่อง โดยเพิ่มจำนวนวันที่ทำการทดสอบและลดจำนวนรอบที่ทำการทดสอบต่อวัน ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่มีความเหมาะสมมากกว่า



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1.] Johnson,A.T. 1991. Biomechanics and Exercise Physiology. New York : John willey and son.
- [2.] Brooks, G.A. 1985. Exercise Physiology: Human Bioenergetics and it's applications. New York : Macmillan.
- [3.] นต.สุทธิ ศรีบูรพา 2540. Ergonomic: Human Factors Engineering. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- [4.] Rowlett, R. 2001. How Many? A Dictionary of Units of Measurement. Chapel Hill: University of North Carolina at Chapel Hill.
- [5.] Millman, P.A., and Colgate,J.E. 1985. Effects of non-uniform environment damping on haptic perception and performance of aimed movements. Proceeding of the ASME dynamic system and control division 57-2 : 703-711.
- [6.] Wherry,E. 2003. Scroll ring performance evaluation. In proceedings of the ACM CHI extended abstracts on Human factors in computing systems : 758-759.
- [7.] Marentakis,G.N., and Brewster, S.A. 2005. Effects of reproduction equipment on interaction with a spatial audio interface. CHI'05 extended abstracts on Human factors in computing systems : 1625-1628.
- [8.] Reed,K., Peshkin,M.,Colgate,J.E., and Patton,J.. 2004. Initial studies in human-robot-human interaction: Fitts' law for two people. In proceeding of IEEE international conference on robotics and automation : 2333-2338.
- [9.] Hick, W.E. 1952. On the rate of gain of information. Quarterly Journal of experimental Psychology 4 : 11-26.
- [10.] MacKenzie, I.S. and William, I.S. and Buxton, A.S. 1992. Extending Fitts' law to two-dimensional tasks. Proceedings of ACM CHI 1992 Conference on Human Factors in Computing Systems : 219-226.
- [11.] Accot, J. and Zhai, S. 1999. Performance evaluation of input devices in trajectory-based tasks: an application of the steering law. Proceeding of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: the CHI is the limit: 466-472.
- [12.] Accot, J., and Zhai, S. 1997. Beyond Fitts' law: models for trajectory-based HCI

- tasks. Proceedings of ACM CHI 1997 conference on human factors in computing systems : 295-302.
- [13.] Sallnass, E. and Zhai,S. 2003. Collaboration meets Fitts' law: Passing virtual objects with and without haptic force feedback. In Proceedings of the IFIP conference in Human-Computer Interaction (INTERACT) : 97-104.
- [14.] MacKenzie,I.S. and Ware,C. 1993. Lag as a determinant of human performance in interactive systems. Proceedings of the INTERACT' 93 and CHI'93 conference on Human factors in computing systems : 488-493.
- [15.] Card, S.K., English, W.K., and Burr, B.J.. 1978. Evaluation of mouse, rate-controlled isometric joystick, step keys, and text selection on a CRT. Ergonomics 21 : 601-613.
- [16.] Fitts, P.M. 1954. The information capacity of the human motor system in controlling amplitude of movement. Journal of experimental psychology 47 : 381-391.
- [17.] Welford, A.T. 1968. Fundamentals of skill.... London : Methuen,
- [18.] Hyman,R. 1953. Stimulus information as a determinant of reaction time. Journal of Experimental Psychology 45 : 423-432.
- [19.] Guiard,Y., Bougeois, F., Mottet,D., and.Beaudouin-Lafon 2001. Beyond the 10-bit barrier: Fitts' law in multiscale electronic worlds. Proceeding of IHM-CHI 2001 : 573-587.
- [20.] Kondraske, G.V. 2000. Performance theory: Implication for performance measurement, task analysis and performance prediction. Proceeding of the 22nd Annual EMBS international conference : 17-20.
- [21.] Kabbash, P. and Buxton, W. 1995. The "prince" technique: Fitts' law and selection using area cursors. Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: : 273-279.
- [22.] Butwin, C., and Skopik, A.. 2003. Fisheyes are good for large steering tasks.. Proceeding of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems : 201-208.
- [23.] Zhai,S., and Woltjer, R.. 2003. Human movement performance in relation to path constraint- The law of steering in locomotion. Proceedings of the IEEE virtual reality 2003 : 149.

- [24.] Kondraske, G., and Vasta, P.J.. 2000. Neuromotor channel capacity, coordination and motion quality. IEEE Engineering in Medicine and Biology : 2259-2262.
- [25.] Fischer, C.A., and Kondraske, G.V. 2000. A new approach to motion quality measurement. Proceedings 19th international conference IEEE/EMBS: 1701-1704.
- [26.] Mackenzie, I.S. and Soukoeff R.W.. 2004. Towards a standard for pointing device evaluation, perspectives on 27 years of Fitts' law research in HCI. International Journal of Human-Computer studies 61 : 751-789.
- [27.] กิตติ อินทรานนท์. 2548. Ergonomics การยศาสตร์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
- [28.] กัลยา วานิชย์บัญชา. 2544. หลักสถิติ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
- [29.] Dennerlein, J.T., Martin, D.B., and Hasseer, C. 2000. Force-Feedback Improves Performance for Steering and Combined Steering-Targeting Tasks. Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems : 423-429.
- [30.] Accot, J., and Zhai, S.. 2001. Scale effects in steering law tasks. Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems : 1-8.
- [31.] Kondraske G.V.. 1994. An angular motion Fitts' law for human performance modeling and prediction. Annual International Conference of the IEEE engineering in medicine and biology society 16 : 307-308.
- [32.] Leo L. van D., Jaap P., John R.D., Ruud B., Jeanne R. VanE-S, Bernard J.V. Sitting and low back pain: the positive effect of rotary dynamic stiuli during prolonged setting. 1999.. Sitting and low back pain: the positive effect of rotary dynamic stiuli during prolonged setting. European Spine Journal 8: 187-193.
- [33.] Kazuaki Y., Katsuki Y., Tsuneyuki Y., Shuntaro S., Nobuko H., Masahide K., Yutaka T.. 2005. Hematological change in venous blood of the lower leg during prolonged sitting in a low humidity and hypobaric environment. Journal of physiological anthropology and applied human science 24 : 611-615.
- [34.] Masakito H. MunehiroN., and Akihiro T.. 2000. Rheologic changes in venous blood during prolonged sitting.. Thombosis research : 409-412.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

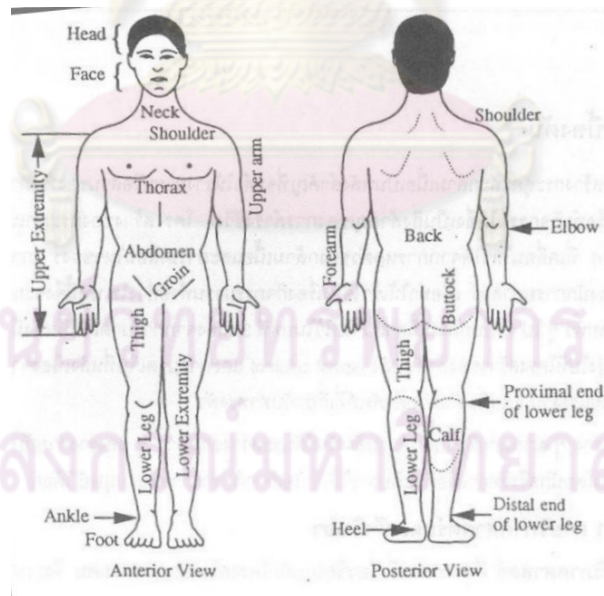
ภาคผนวก ก

Ergonomics

Ergonomics หรือการยศาสตร์เป็นแขนงการศึกษาในเรื่อง การออกแบบเพื่อการใช้ของมนุษย์หรือการปรับปรุงสภาพการทำงานและความเป็นอยู่ที่ดีของมนุษย์ โดยประกอบไปด้วยศาสตร์ต่างๆ ได้แก่

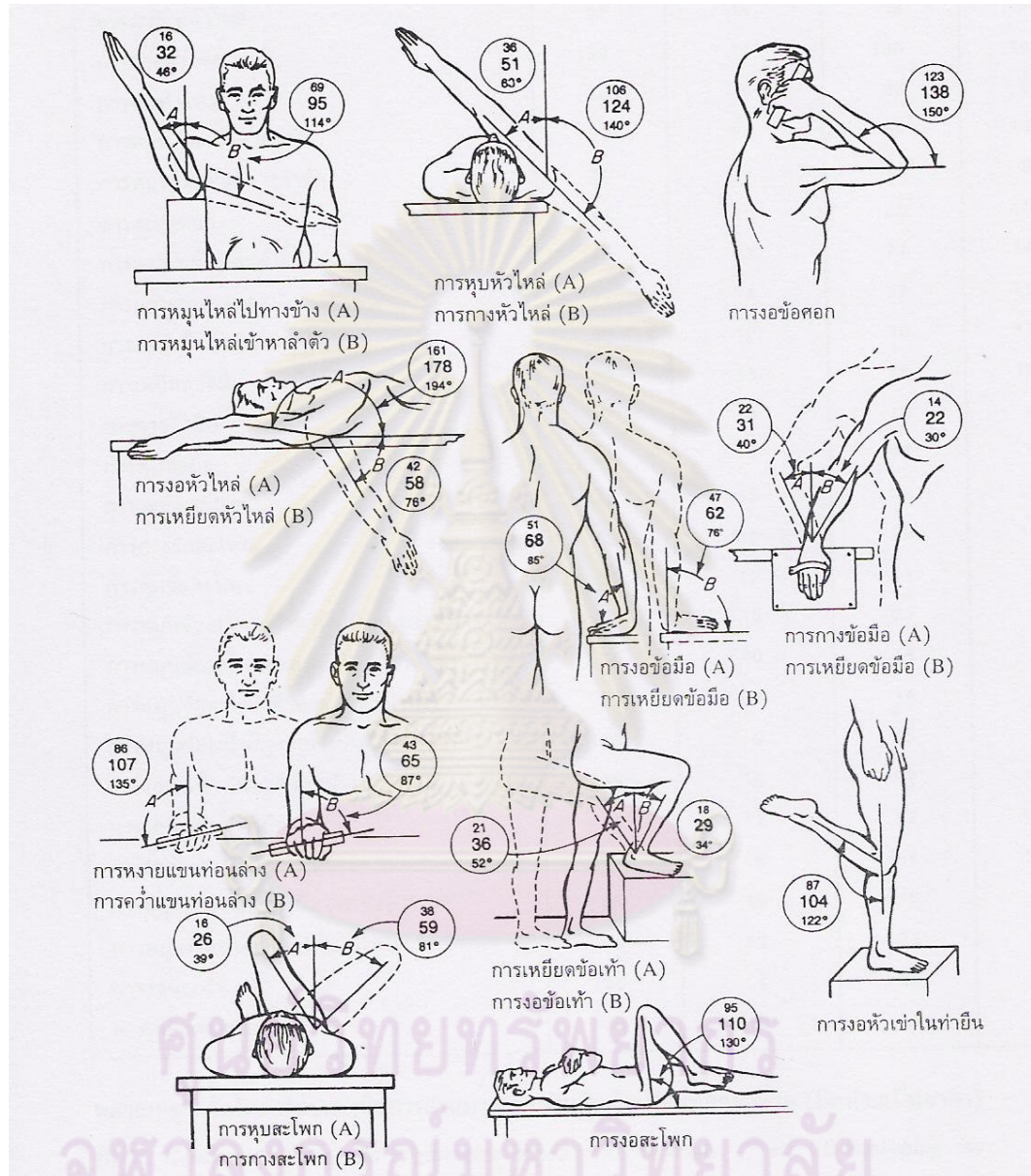
- Biomechanics เป็นการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของร่างกายในส่วนที่สัมพันธ์กับจลนศาสตร์ของระบบ man & machine
- Work physiology เป็นการศึกษาประเมินความสามารถและข้อจำกัดของผู้ปฏิบัติงาน
- Engineering Physiology เป็นการศึกษาความสามารถของมนุษย์ในการรับรู้ข้อมูล

การศึกษาด้านนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อต่อต่างๆและวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์โดยพิจารณาข้อต่อต่างๆของร่างกายมนุษย์ เป็นข้อต่ออย่างง่ายเชิงกล และทำการเก็บข้อมูลสถิติของร่างกายมนุษย์เพื่อใช้ในการออกแบบ จีคจำกัดในการเคลื่อนที่ของร่างกายในส่วนต่างๆถูกรวบรวมไว้ในรูปที่ ก-2



รูปที่ ก-1 ทำทางการยื่นมาตรฐานของกายวิภาคศาสตร์
อ้างอิงจาก การยศาสตร์ ของ ดร. กิตติ อินทรานนท์

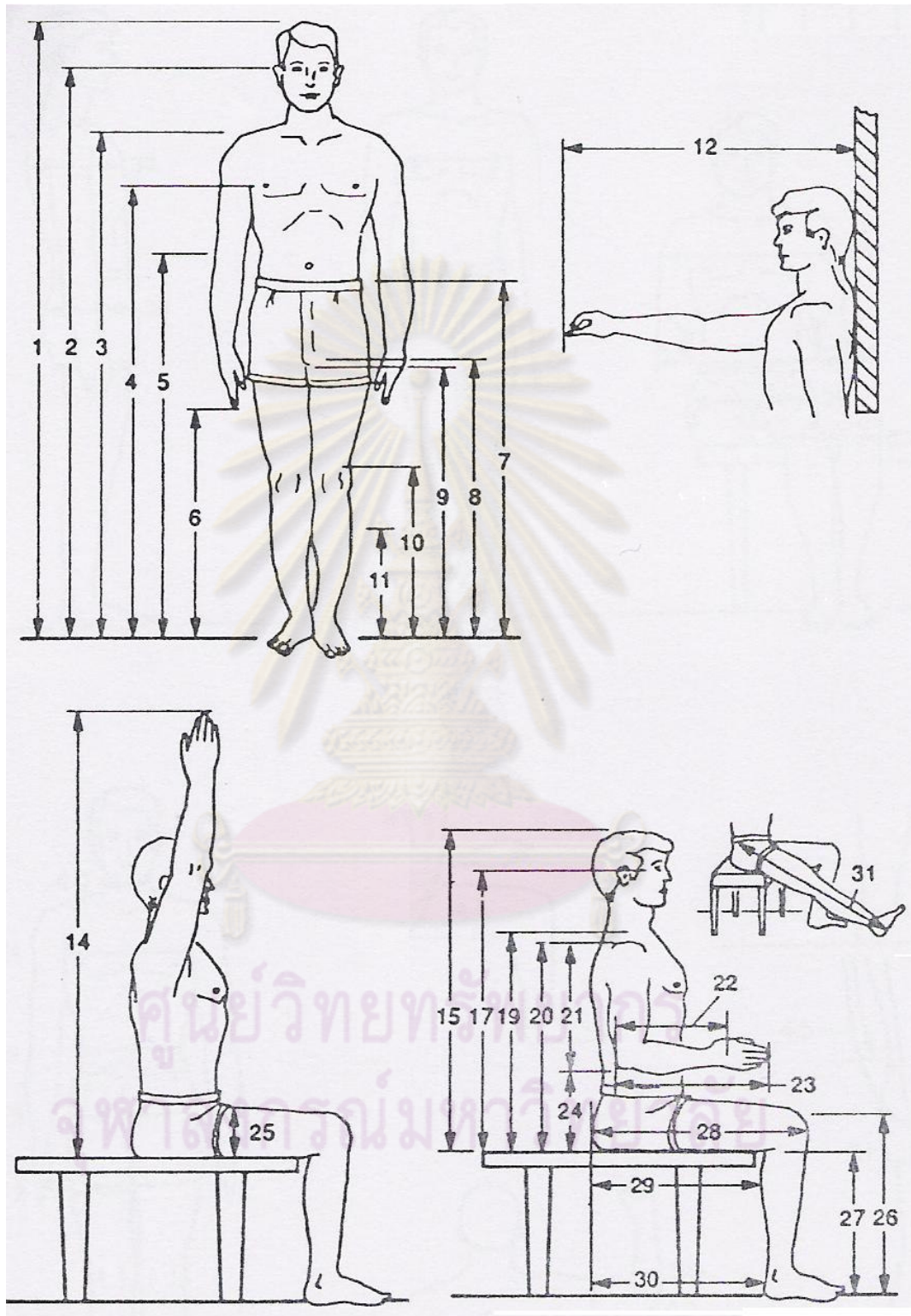
นอกจากนี้ยังมีการเก็บสถิติข้อมูลขนาดต่างๆของร่างกายหรือที่เรียกว่า ข้อมูล
ขนาดสัดส่วนดังรูป โดยรายละเอียดข้อมูลขนาดสัดส่วนอยู่ในภาคผนวก ก ในตาราง ก-1



รูปที่ ก-2 ซีดจำกัดการเคลื่อนที่ของมนุษย์ในอิริยาบถต่างๆ ค่าบนเป็นค่าที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ค่า

กลางเป็นค่าเฉลี่ย ค่าล่างเป็นค่าที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 หน่วยเป็น องศา

อ้างอิงจาก Ergonomic: Human Factors Engineering นต. สุทธิ ศรีบูรพา



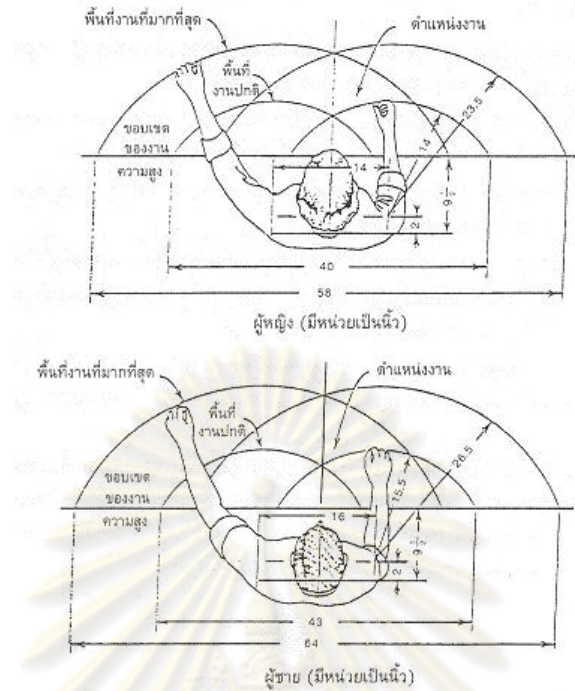
รูปที่ ก-3 รูปแสดงมิติขนาดต่างๆของร่างกายในท่ายืนและทำนั่ง
 อ้างอิงจาก Ergonomic: Human Factors Engineering นต. สุทธิ ศรีบูรพา

ตารางที่ ก-1 มิติขนาดต่างๆของร่างกายของทหารอเมริกัน (cm)

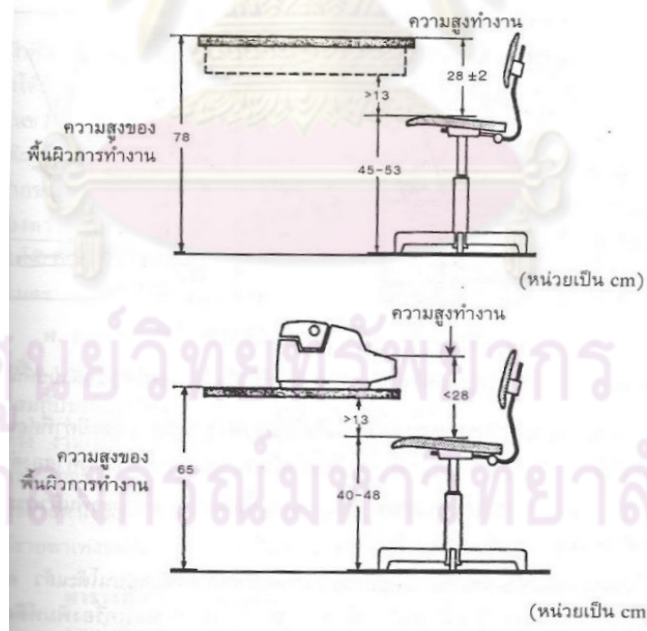
มิติขนาดร่างกายทำยีน	เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5			เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95		
	ทหาร ราบ	นักบิน	ทหาร หญิง	ทหาร ราบ	นักบิน	ทหาร หญิง
น้ำหนัก (kg)	55.5	60.4	46.4	91.6	96	74.5
1 ความสูงยืน	162.8	164.2	152.4	185.6	187.7	174.1
2 ความสูงระดับสายตา (ทำยีน)	151.1	152.1	140.9	173.3	175.2	162.2
3 ความสูงไหล่ (สะบัก)	133.6	133.3	123	154.2	154.8	143.7
4 ความสูงระดับราวนม	117.9	120.8	109.3	136.5	138.5	127.8
5 ความสูงข้อศอก	101	104.8	94.9	117.8	120	110.7
6 ความสูงระดับปลายนิ้ว		61.5			73.2	
7 ความสูงระดับเอว	96.6	97.6	93.1	115.2	115.1	110.3
8 ความสูงระดับเป่ากางเกง	76.3	74.7	68.1	91.8	92	83.9
9 ความสูงระดับกัน	73.3	74.6	66.4	87.7	88.1	81
10 ความสูงระดับหัวเข่า	47.6	46.8	43.8	58.6	57.8	52.5
11 ความสูงน่อง	31.1	30.9	29	40.6	39.3	36.6
12 ระยะเอื้อมไปข้างหน้า	72.6	73.1	64	90.9	87	80.4
13 ระยะเอื้อมไปข้างหน้า(เหยียดเต็มที่)	84.2	82.3	73.5	101.2	97.3	92.7
14 ระยะเหยียดแขนขึ้นบน(ทำนั่ง)	128.6	134	117.4	147.8	153.2	139.4
15 ความสูงนั่ง(ตัวตรง)	83.5	85.7	79	96.9	98.6	90.9
16 ความสูงนั่ง(ทำปกติ)	81.5	83.6	77.5	94.8	96.5	89.7
17 ความสูงสายตา(นั่งตัวตรง)	72	73.6	67.7	84.6	86.1	79.1
18 ความสูงสายตา(ทำนั่งปกติ)	70	71.6	66.2	82.5	84	77.9
19 ความสูงกลางไหล่	56.6	58.3	53.7	67.7	69.2	62.5
20 ความสูงหัวไหล่(ทำนั่ง)	54.2	54.6	49.9	65.4	65.9	69.3
21 ความสูงช่วงหัวไหล่ถึงข้อศอก	33.3	33.2	30.8	40.2	39.7	36.6
22 ความยาวกำปั้นถึงข้อศอก	31.7	32.6	29.6	38.3	37.9	35.4
23 ความยาวจากปลายนิ้วถึงข้อศอก	43.8	44.7	40	52	51.7	47.5
24 ความสูงข้อศอกจากเบาะรองนั่ง	17.5	18.7	16.1	28	29.5	26.9
25 ความหนาต้นแขน		12.4	10.4		18.8	17.5
26 ความสูงหัวเข่า(ทำนั่ง)	49.7	48.9	46.9	60.2	59.9	56.5
27 ความสูงจากพื้นถึงต้นขาด้านล่าง	39.7	38.4	38	50	47.7	45.7
28 ความกว้างจากสะโพกถึงหัวเข่า	54.9	55.9	53.1	65.8	65.5	63.2
29 ความกว้างจากบั้นท้ายถึงข้อพับด้านใน	45.8	44.9	43.4	54.5	54.6	52.5
30 ความกว้างจากสะโพกถึงส้นเท้า		46.7			56.4	
31 ความยาวขาเมื่อเหยียดตั้ง	110.6	103.9	0.6	127.7	120.4	118.6

ที่มา :MIL-STD-1472D

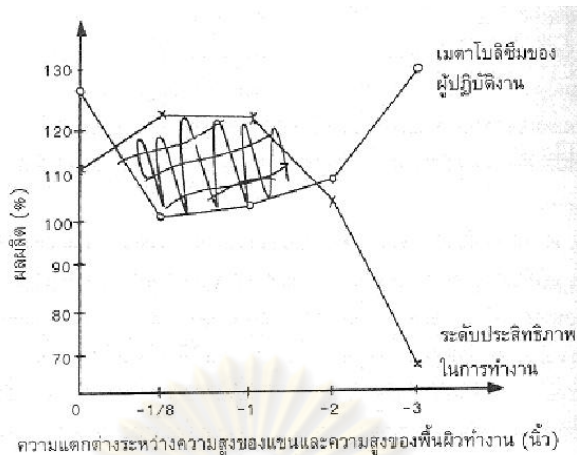
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก-4 พื้นที่ทำงานที่เกิดจากการกวาดมือตามแนวคิดของริชาร์ด อาร์ ฟาเลย์
อ้างอิงจาก Ergonomic: Human Factors Engineering นต. สุทธิ ศรีบูรพา



รูปที่ ก-5 ตัวอย่างการออกแบบความสูงของพื้นที่ทำงานที่เหมาะสม
อ้างอิงจาก Ergonomic: Human Factors Engineering นต. สุทธิ ศรีบูรพา



รูปที่ ก-6 ผลของการออกแบบความสูงของพื้นที่ทำงานไม่เหมาะสม

อ้างอิงจาก Ergonomic: Human Factors Engineering นต. สุทธิ ศรีบูรพา

หลักการออกแบบโดยใช้ข้อมูลขนาดสัดส่วน

1. หลัก P50 (ย่อมาจาก percentile 50) เป็นการใช้อัตราส่วนในตำแหน่ง percentile ที่ 50 เป็นมาตรฐานในการออกแบบ หลักการ P50 นี้เป็นการออกแบบที่ง่ายและประหยัด นิยมใช้ใน งานประเภท non-critical design เช่นสถานที่สาธารณะ เคาร์เตอร์ในธนาคาร แก้อื้อใน สวนสาธารณะ ไม่ควรใช้หลักการนี้ในการออกแบบถ้าจำเป็น
2. หลัก P5 หรือ P95 เป็นการใช้อัตราส่วนในตำแหน่ง percentile ที่ 5 หรือ percentile ที่ 95 เป็นมาตรฐานในการออกแบบ หลัก P5 หรือ P95 นี้ใช้สำหรับออกแบบเพื่อให้คนส่วน ใหญ่สามารถใช้ได้ เช่น การออกแบบประตูต้องออกแบบด้วยหลัก P95 เพื่อให้คนส่วน ใหญ่สามารถผ่านได้ หรือการออกแบบความสูงของตู้ควรใช้หลัก P5 เพื่อให้คนส่วนใหญ่ เอื้อมถึง
3. หลักการปรับค่าได้ เป็นหลักการที่ดีที่สุด เนื่องจากสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามบุคคลและ สถานการณ์ แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือมีความสิ้นเปลืองสูง

ประโยชน์จากการนำหลักการ Ergonomics มาใช้ประยุกต์ในการออกแบบ

1. เป็น outline ของการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่หรือการปรับปรุงเครื่องมือและ work layout
2. กระตุ้นการคิดหาแนวทางใหม่ที่ดีสำหรับการทำงาน
3. เป็นแบบประเมิน manpower
4. มีส่วนร่วมในการคัดเลือกพนักงาน
5. ประยุกต์ใน work safety
6. ลดความผิดปกติที่จะเกิดขึ้นกับร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน
7. เพิ่มประสิทธิภาพทั้งปริมาณและคุณภาพ

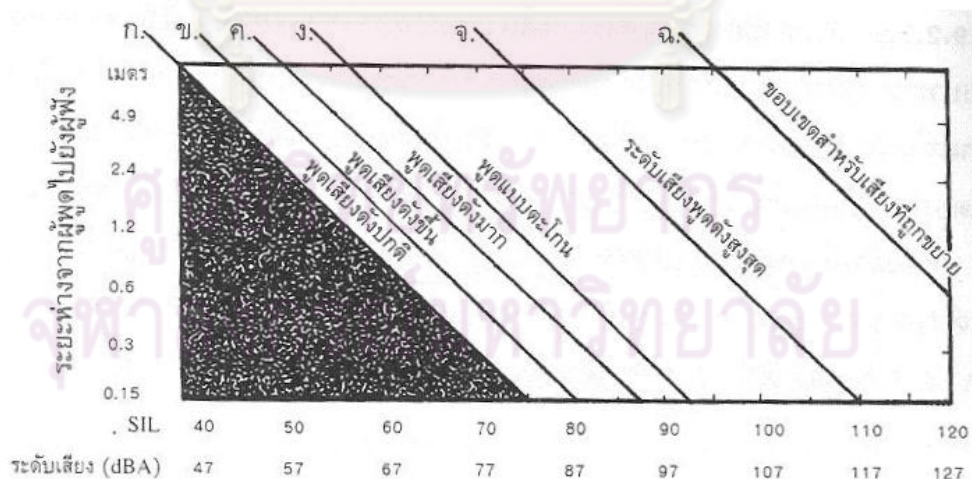
ภาคผนวก ข.

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการทำงาน

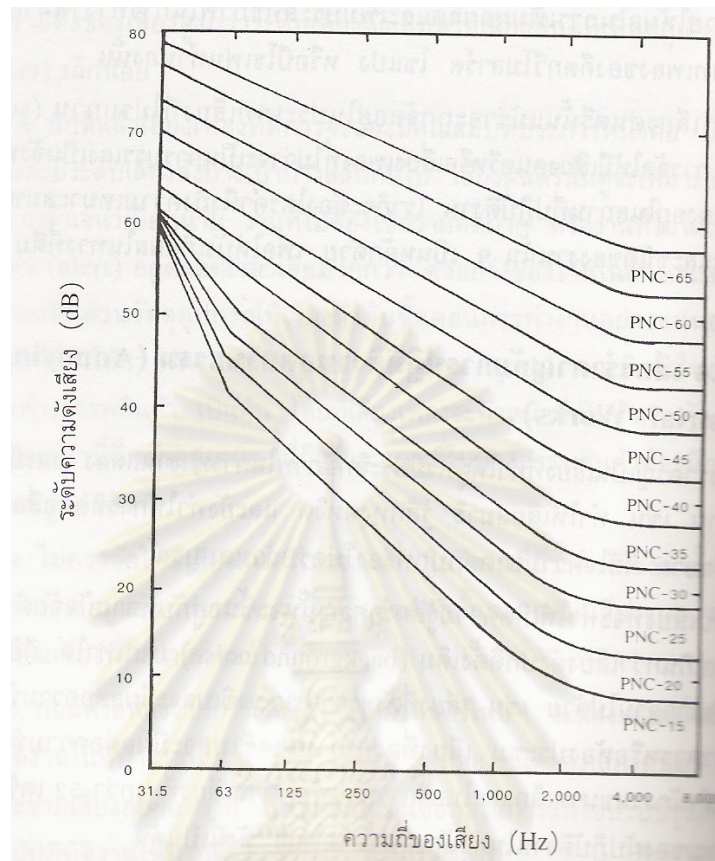
สภาพแวดล้อมเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทำงาน สภาพแวดล้อมที่ดี ควรจะทำให้ผู้ทำงานรู้สึกสบาย มีสมาธิ และสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างของสภาพแวดล้อมที่กล่าวถึงได้แก่ แสง เสียง ความสั่นสะเทือน อุณหภูมิ และความชื้น เป็นต้น ซึ่งผลของสภาวะแวดล้อมแต่ละอย่างจะมีผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ดังนี้

1 เสียง

ในการทำงานต่างๆ เสียงเป็นสภาพแวดล้อมหนึ่งที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ หูของมนุษย์สามารถได้ยินเสียงที่มีความถี่อยู่ในช่วง 20-20000 Hz ขณะที่การสนทนาของคนมีความถี่อยู่ในช่วง 500-2500 Hz โดยปกติหูจะมีความไวต่อเสียงที่มีความถี่ต่ำ และจะมีความไวมากต่อเสียงที่มีความถี่สูง การวัดความดังของเสียงจะวัดในหน่วยของ เดซิเบล (dB) เสียงที่ดังมากเกินไปจะสร้างความบาดเจ็บได้ แม้แต่เสียงที่มีความดังอยู่ในระดับที่ปลอดภัยก็อาจมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานได้ ทั้งในแง่ของการรบกวนการสนทนา ซึ่งจะมีผลตามรูป 2-30 และอาจสร้างความรำคาญให้กับผู้ที่ทำงานอยู่ในบริเวณนั้นได้ ดังแสดงในรูป 2-31 เรียกว่าเส้นโค้งมาตรฐานในการประเมินเสียงรำคาญในอาคาร (preferred noise criteria curve , PNC) การใช้งานเส้นโค้ง PNC มีคำแนะนำตามตารางที่ ข-2



รูปที่ ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงพูดคุยกับระยะห่างระหว่างผู้พูดและผู้ฟังในสภาวะเสียงดังต่างๆ



รูปที่ ข-2 เส้นกราฟโค้งมาตรฐานที่ใช้ประเมินเสียงรบกวนในอาคาร (PNC)
อ้างอิงจาก Ergonomic: Human Factors Engineering นต. สุทธิ ศรีบูรพา

ตารางที่ ข-1 เส้นคำแนะนำในการใช้เส้นโค้ง PNC

สถานที่	เส้นโค้ง PNC ที่เหมาะสม
ห้องแสดงคอนเสิร์ต	10-20
ห้องประชุมใหญ่ โรงภาพยนตร์ โบสถ์	ไม่มากกว่า 20
ห้องประชุมเล็ก	ไม่มากกว่า 35
ห้องนอน	25-40
สำนักงาน ห้องเรียน	30-40
สำนักงานขนาดใหญ่ ภัตตาคาร	35-35
ร้านค้า โรงเก็บรถยนต์ ห้องควบคุม โรงไฟฟ้า	50-60

2 การสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือนเป็นสิ่งที่มักจะเกิดขึ้นเมื่อมีอุปกรณ์ให้กำลัง มนุษย์ที่ทำงานร่วมกับอุปกรณ์เหล่านั้นจะได้รับการสั่นสะเทือนที่ส่งผ่านมา เช่น การขับรถยนต์ โดยที่ค่า magnitude ของการสั่นสะเทือนที่ส่งมาจะเป็นสัดส่วนกับ magnitude ของแหล่งกำเนิด ดังสมการ

$$d_m = d_y \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{f_s}{f_r} \right)^2} \right)$$

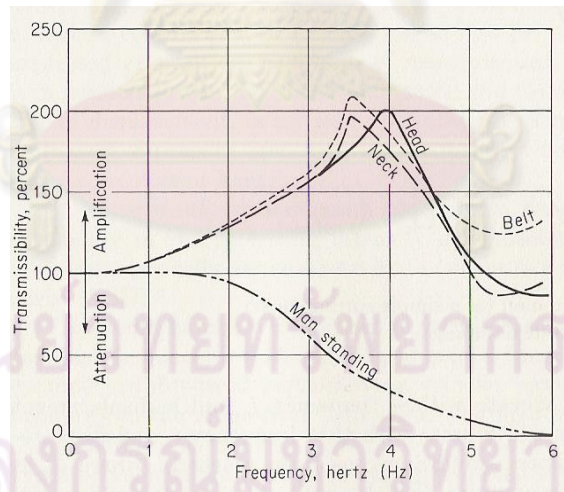
โดยที่ d_m = magnitude of human

d_y = magnitude of source

f_s = frequency of source

f_r = natural frequency of human

ซึ่งจะเห็นว่าหากค่าความถี่ของการสั่นสะเทือนเข้าใกล้ความถี่ธรรมชาติของมนุษย์แล้ว การสั่นสะเทือนจะส่งผ่านมายังมนุษย์มาก การทดสอบค่าการส่งผ่านนี้ซึ่งมีผลดังรูปที่ 2-32 ซึ่งจะสังเกตได้ว่าควรหลีกเลี่ยงการสั่นสะเทือนที่ 4 Hz

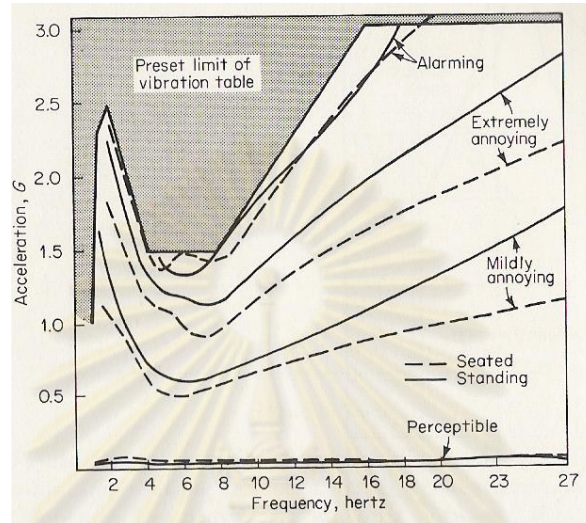


รูปที่ ข-3 การตอบสนองทางกลของมนุษย์ต่อการสั่นสะเทือนแนวตั้ง

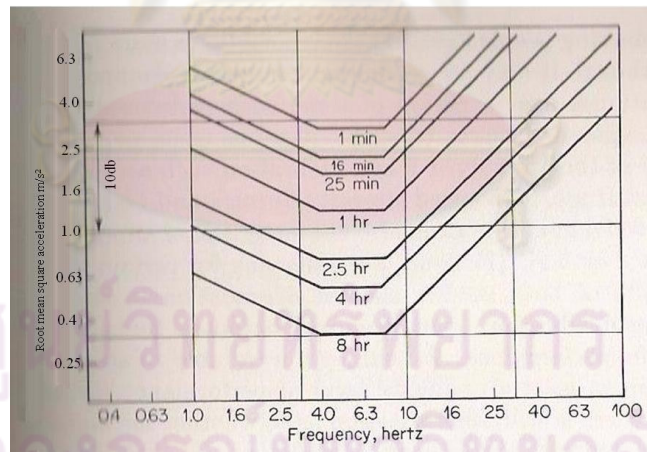
อ้างอิงจาก Human factors engineering E.J. McCormick

การรับการสั่นสะเทือนของมนุษย์สามารถแบ่งได้เป็นสองกรณี คือการรับการสั่นสะเทือนทั้งตัว หรือการรับการสั่นสะเทือนเฉพาะจุด อย่งไรก็ดี การสั่นสะเทือนเฉพาะจุดจะ

เกิดขึ้นไม่บ่อยนัก เนื่องจากการสั่นสะเทือนจะถูกส่งผ่านไปยังส่วนอื่นของร่างกาย ทำให้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายมากกว่า ผลของการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายจะมีผลต่อสมาธิ และความเมื่อยล้าของร่างกาย โดยผลที่เกิดขึ้นจะเกิดจากความเร่งและความถี่ของการสั่นสะเทือน ดังกราฟ



รูปที่ ข-4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร่ง ความถี่ และความรู้สึกของผู้รับการสั่นสะเทือน
อ้างอิงจาก Human factors engineering E.J. McCormick



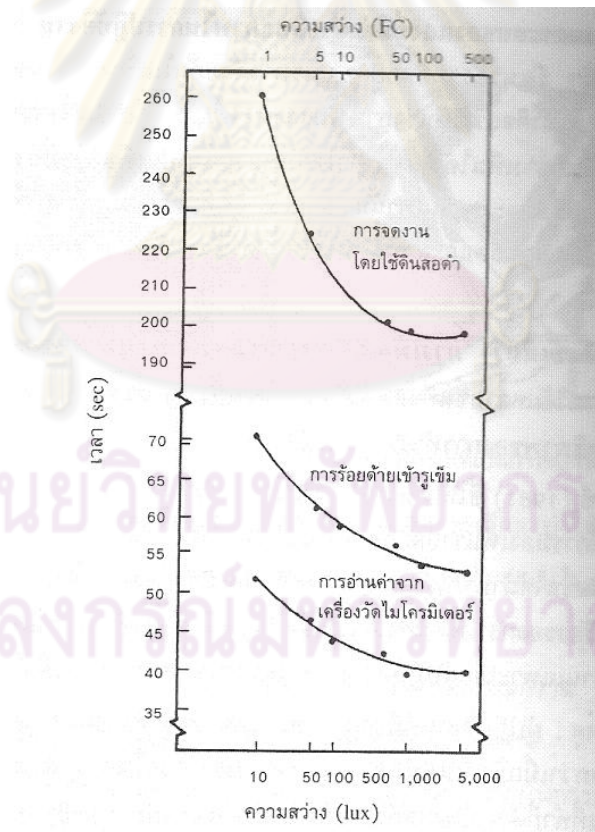
รูปที่ ข-5 เวลาสูงสุดที่มนุษย์จะรับการสั่นสะเทือนได้ก่อนที่จะเกิดความล้า
อ้างอิงจาก Human factors engineering E.J. McCormick

จะเห็นได้ว่า การออกแบบลักษณะการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ จะต้องหลีกเลี่ยงบริเวณที่ทำให้เกิดการหยุดหยุดซึ่งคือบริเวณความถี่ 4-8 hertz ซึ่งตรงกับความถี่ธรรมชาติของร่างกายมนุษย์ และ เวลาที่ใช้ในการทดสอบต้องไม่ก่อให้เกิดความเมื่อยล้า เพื่อให้มีผลกระทบของการสั่นสะเทือนต่อประสิทธิภาพการทำงานน้อยที่สุด

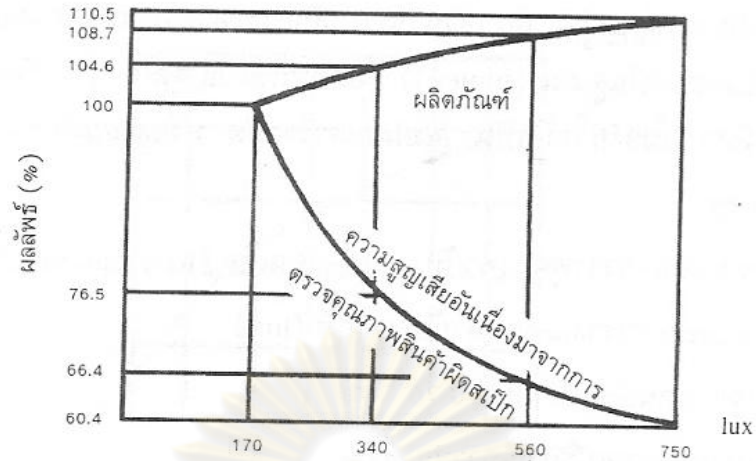
3 แสง

ตาของมนุษย์สามารถรับแสงได้ในช่วงความยาวคลื่น 380-780 นาโนเมตร มนุษย์จำเป็นต้องอาศัยแสงสว่างในการทำงานและการดำรงชีวิต โดยแสงอาจจะมาจากแหล่งธรรมชาติหรือแสงประดิษฐ์ ซึ่งแบ่งได้เป็นสองประเภทคือ แสงร้อน เช่น ดวงอาทิตย์ เปลวไฟ และแสงเย็น เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยแสงประดิษฐ์ในชนิดเย็นนี้จะมีประสิทธิภาพและอายุการใช้งานที่ดีกว่า การจัดแสงให้กับสถานที่ทำงานนั้นเป็นสิ่งที่สำคัญ การจัดแสงที่ไม่เหมาะสมจะมีผลต่อความเครียด สุขภาพและประสิทธิภาพในการทำงาน เช่น การเมื่อยล้าของดวงตา แสบตา ตาพร่า เป็นต้น การออกแบบจะคำนึงถึงสิ่งต่างๆ ดังนี้

- 1) ความเข้มแสง มีการทดสอบการทำงานต่างๆ ภายใต้สภาวะความเข้มแสงที่แตกต่างกัน พบว่า เมื่อความเข้มแสงมากขึ้น การทำงานจะรวดเร็วขึ้น จนกระทั่งความเข้มแสงมาถึง 500 ลักซ์ เวลาจะลดลงเพียงเล็กน้อยดังรูปที่ 2-35 ปัจจุบันมีการกำหนดความเข้มของแสงที่เหมาะสมสำหรับงานประเภทต่างๆ ไว้เป็นมาตรฐานดังตารางที่ 2-6 และ 2-7

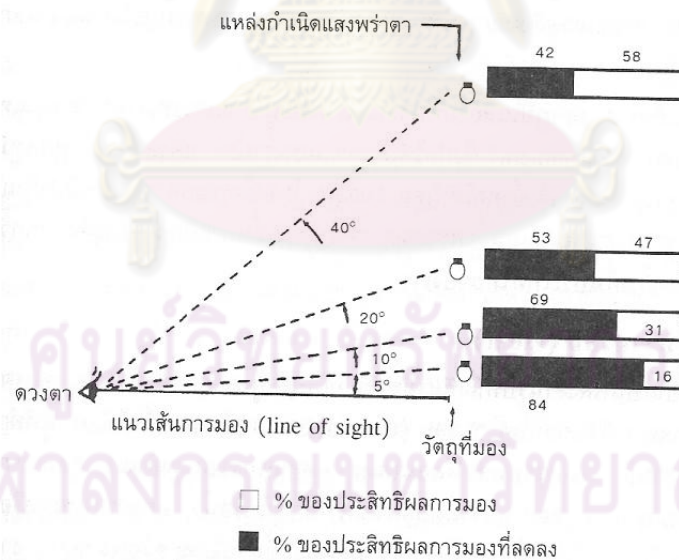


รูปที่ ข-6 ประสิทธิภาพการทำงานที่ความสว่างระดับต่างๆ



รูปที่ ข-7 ผลของการเพิ่มระดับแสงสว่างต่อการเพิ่มผลผลิต และการลดการสูญเสีย
อ้างอิงจาก Ergonomic: Human Factors Engineering นต. สุทธิ ศรีบูรพา

2) ทิศทางของแสง การจัดวางแหล่งกำเนิดแสงควรคำนึงถึงทิศทางที่แสงจะส่อง โดยจะต้องไม่เกิดเงาขึ้นบดบังการทำงาน ในระหว่างที่ผู้ปฏิบัติงานทำงานตามปกติ นอกจากนี้ระดับความสูงของแหล่งกำเนิดแสงควรจะสูงกว่าระดับสายตาอย่างน้อย 30 องศา เพื่อป้องกันไม่ให้แสงแยงตาดังรูปที่ 2-37



รูปที่ ข-8 ประสิทธิภาพการมองที่ระดับแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ
อ้างอิงจาก Ergonomic: Human Factors Engineering นต. สุทธิ ศรีบูรพา

- 3) การกระจายตัวของแสง ควรพิจารณาว่างานที่ทำเป็นลักษณะใดเพื่อจะได้เลือกใช้แสงแบบเฉพาะที่ หรือ แบบกระจายตัวทั่วบริเวณ
- 4) การสะท้อน ควรระวังการสะท้อนของแสงบนพื้นผิววัสดุต่างๆ เพราะอาจทำให้เกิดการแสบตาได้
- 5) สี แสงที่จะเลือกมาใช้ควรจะเป็นสีที่ทำให้มีสมาธิ ไม่รบกวนการทำงาน นอกจากนี้ สีของบริเวณแวดล้อมก็มีผลต่อการทำงาน สีเข้มจะทำให้รู้สึกแคบและอึดอัด ในขณะที่สีอ่อนจะช่วยทำให้สถานที่ทำงานดูกว้างมากขึ้น

ตารางที่ ข-2 ค่าความเข้มของแสงที่เหมาะสมต่องานประเภทต่างๆ (แกรนดัจเงิน)

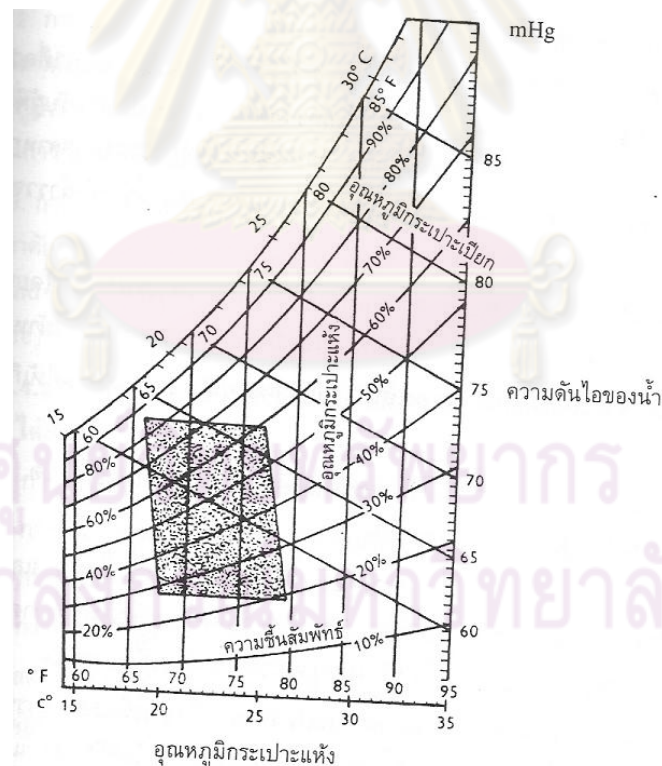
ลักษณะงาน	ตัวอย่างประเภทของงาน	ระดับความเข้มของแสงที่เหมาะสมของ แกรนดัจเงิน (lux)
งานที่ไม่ต้องการความละเอียด	<ul style="list-style-type: none"> • ห้องเก็บของทั่วไป บริเวณทางเดินบันได ระเบียง 	80 – 170
งานที่ต้องการความละเอียดเล็กน้อย	<ul style="list-style-type: none"> • งานบรรจุภัณฑ์ • งานประกอบชิ้นงานง่ายๆ งานสีข้าว งานประกอบหัตถกรรม ห้องหม้อน้ำ 	200 – 250 250 – 300
งานที่ต้องการความละเอียดปานกลาง	<ul style="list-style-type: none"> • งานประกอบชิ้นงานที่ต้องการความละเอียดปานกลาง งานกลึงหรือแต่งโลหะ หรือไม้อย่างหยาบๆ 	500 - 700
งานที่ต้องการความละเอียดปานกลาง	<ul style="list-style-type: none"> • งานเขียน อ่านหนังสือ งานกลึงหรือแต่งโลหะหรือไม้ ที่ต้องการความละเอียดปานกลาง งานตรวจพินิจหรือทดสอบที่ต้องการความละเอียดปานกลาง 	500 – 700
งานที่ต้องการความละเอียดมาก	<ul style="list-style-type: none"> • งานเขียนแบบ ตรวจความแตกต่างของสีต้น ปรับและทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า งานเจาะกลึงชิ้นงานที่ต้องการความละเอียดสูง • งานเรียงพิมพ์ ประกอบนาฬิกา 	1000 – 2000 1000 - 2000

	หรือเครื่องจักรที่มีความละเอียด สูง งานประกอบชิ้นส่วนทาง อิเล็กทรอนิกส์ งานเจียรไนเพชร พลอย	
--	--	--

อ้างอิงจาก การยศาสตร์ กิตติ อินทรานนท์ 2538

4 อุณหภูมิ

โดยปกติแล้วอุณหภูมิภายนอกร่างกายควรมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิร่างกายเพื่อให้ร่างกายสามารถระบายความร้อนออกได้ ซึ่งอาศัยการถ่ายเทความร้อนที่ผิวหนังและเหงื่อ หากอยู่ในบริเวณที่ร้อนเกินไปแล้ว อาจทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย เป็นตะคริว และอาจถึงขั้นเป็นลมแดดได้ การออกแบบอุณหภูมิสำหรับการทำงานจึงจำเป็นต้องคำนึงถึง อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม เพื่อพิจารณาถึงความสามารถในการระบายความร้อน โดยมีการทดลองและสรุปผลอุณหภูมิสบายดังรูปที่ 2-38



รูปที่ ข-9 พื้นที่ทำให้ผู้ปฏิบัติงานในสภาพแวดล้อมรู้สึกสบาย

อ้างอิงจาก Ergonomic: Human Factors Engineering นต. สุทธิ ศรีบูรพา

ภาคผนวก ก

ข้อมูลพื้นฐานทางการแพทย์ที่ควรทราบ

1 Passive exercise

Passive exercise คือการลักษณะการเคลื่อนไหวที่สร้างขึ้นให้กับผู้ทดสอบในงานวิจัยนี้ ความหมายของ passive exercise หรือการออกกำลังกายแบบทำให้ คือการเคลื่อนไหวร่างกายหรือส่วนของร่างกายเช่นแขนหรือขา โดยปราศจากความตั้งใจของผู้ออกกำลังกาย ร่างกายส่วนดังกล่าวจะถูกทำให้เคลื่อนไหวด้วยแรงจากภายนอกเช่นแรงจากคนหรืออุปกรณ์ passive exercise เหมาะสำหรับผู้ที่ไม่ชอบออกกำลังกาย ไม่มีเวลา ผู้บาดเจ็บ และผู้สูงอายุ นอกจากนี้ passive exercise ยังเหมาะสมในการ warm up ก่อนออกกำลังกาย และ cool down หลังออกกำลังกายด้วย ในปัจจุบัน Passive exercise มักถูกใช้ในงานประเภที่ฟื้นฟูสมรรถภาพผู้ป่วยหรือการกายภาพบำบัด ประโยชน์ของ passive exercise สามารถระบุได้ดังนี้

- ปรับปรุงสภาพการไหลเวียนโลหิต
- การรักษาแบบกายภาพบำบัด
- เพิ่มความยืดหยุ่น ความสามารถในการเคลื่อนไหวและขอบเขตของการเคลื่อนไหว
- ปรับปรุงสภาพกล้ามเนื้อ
- บรรเทาอาการตึงและความเจ็บปวดจากโรคข้อต่ออักเสบ
- บรรเทาอาการปวดหลัง
- ลดความเครียด ความกังวล และอาการข้างเคียง
- ช่วยลดน้ำหนัก

2 เมตาโบลิซึม

เมตาโบลิซึมคืออัตราการใช้พลังงานของร่างกายมนุษย์ ค่าเมตาโบลิซึมจะมีค่าแตกต่างกันไปตามกิจกรรมที่ทำ และแตกต่างกันในแต่ละบุคคล ปกติจะมีหน่วยเป็น kcal/min โดยมีรายละเอียดดังตาราง ก-1 ในภาคผนวก ก. เมตาโบลิซึมอาศัยพลังงานจากสารเคมีภายในร่างกายที่ชื่อว่า ATP ซึ่งได้จากการสลายอาหารภายในร่างกาย ได้แก่ กลูโคส และ ไขมัน การสลายสารอาหารนี้เป็นไปในสองรูปแบบ คือแบบใช้ออกซิเจน และแบบไม่ใช้ออกซิเจน อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานโดยใช้หน่วย kcal/min นั้นไม่สะดวก เพราะความแตกต่างของการใช้พลังงานในแต่ละบุคคล นักวิจัยกลุ่มหนึ่งจึงกำหนดหน่วยสัมพัทธ์ขึ้นมา เรียกว่าหน่วย MET

หน่วย MET นี้เป็นการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการทำกิจกรรมต่างๆของคนเทียบกับ พลังงานในขณะพักของคนๆนั้น (basal metabolism) โดยค่าพลังงานในขณะพัก (basal metabolism) คือค่าพลังงานที่มนุษย์ใช้ในการนั่งพักธรรมดาไม่มีการออกแรง และได้พักผ่อนจนไม่มีอาการเหนื่อยตลก้าง บางตำราจะใช้การนอนพักธรรมดา โดยสรุปแล้วหน่วย MET นี้ เป็นการระบุพลังงานที่ใช้เป็นจำนวนเท่าของพลังงานในขณะพัก เช่น 2 MET หมายความว่ากิจกรรมนั้นใช้พลังงานเป็น 2 เท่าของพลังงานในขณะพัก ซึ่งหน่วยนี้เป็นที่นิยมมากกว่าเพราะมีความสะดวกในการเปรียบเทียบ และสามารถเปรียบเทียบระหว่างบุคคลที่มีอัตราการใช้พลังงานโดยปกติแตกต่างกันได้ด้วย

3 การหาค่าเมตาโบลิซึม

การหาค่าเมตาโบลิซึม สำหรับขณะพัก (basal metabolism) สามารถทำการคำนวณได้ด้วยหลักการ ISO 8996 ดังสมการ

$$\text{ชาย} \quad \text{BMR} = 0.04833[66.473+13.7516*Wb+500.33*Hb-6.755*A]/BSA \quad (1)$$

$$\text{หญิง} \quad \text{BMR} = 0.04833[655.0955+9.5634*Wb+184.96*HB-4.6756*A]/BSA \quad (2)$$

BMR = การสร้างพลังงานขณะพัก มีหน่วยเป็นวัตต์/ตารางเมตรของพื้นที่ผิว โดยที่ 1 วัตต์ = 0.85985 kcal/ชั่วโมง

Wb = น้ำหนักตัวบุคคล เป็นกิโลกรัม

Hb = ส่วนสูงบุคคล เป็นเมตร

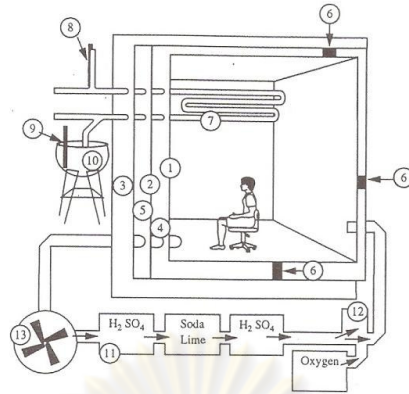
A = อายุ เป็นปี

BSA = พื้นที่ผิวของร่างกายเป็นตารางเมตร ประมาณจากสูตรของ Dubois
 $= 0.007184 \cdot \text{weight}^{0.425} \cdot \text{height}^{0.725}$ (หากนำมาใช้กับคนไทยอาจมีความคลาดเคลื่อนบ้าง)

การหาค่าอัตราการใช้พลังงานสำหรับกิจกรรมใดๆสามารถทำได้ด้วยการวัดค่าการวัดอัตราการใช้พลังงานนี้สามารถทำได้ทั้งการวัดทางตรงและทางอ้อม

3.1 การวัดค่าเมตาโบลิซึมโดยวิธีตรง

การวัดโดยวิธีตรง อาศัยหลักการที่ว่าความร้อนที่เกิดขึ้นก็คือพลังงานที่ร่างกายสร้างขึ้นมาเพื่อทำกิจกรรม เพื่อดำรงชีวิต ถ้าสามารถวัดค่าความร้อนที่ออกมาจากร่างกายได้ทั้งหมดก็จะสามารถประเมินค่าพลังงานได้ ทำโดยวัดค่าพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในห้องปิด ดังรูป ก-1



รูปที่ ค-1 ตัวอย่างห้องทดลองเพื่อวัดอัตราการใช้พลังงานโดยวิธีตรง
อ้างอิงจาก การยศาสตร์ ของ ดร. กิตติ อินทรานนท์

3.2 การวัดค่าเมตาโบลิซึมโดยวิธีอ้อม

วัดโดยวิธีอ้อม ทำโดยการวัดการใช้ O_2 ต่อหน่วยเวลา (oxygen consumption) แล้วคำนวณหาจากสารอาหารที่รับประทานเข้าไปจากตารางที่ 1 โดยปกติคนจะกินอาหารเฉลี่ยในอัตราส่วน 5/1/2 จะได้ประมาณ 4.87 กิโลแคลอรีต่อลิตร (ออกซิเจน) แต่เราสามารถหาค่าประมาณ 5 กิโลแคลอรีต่อลิตร (ออกซิเจน) ได้ ดังนั้นค่าเมตาโบลิซึมจะหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{metabolism} &\approx 4.87 \times VO_2 \\ &\approx 5 \times VO_2 \end{aligned} \quad (3)$$

Metabolism คืออัตราการใช้พลังงานมีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อนาที

VO_2 คือปริมาณการใช้ ออกซิเจนมีหน่วยเป็นลิตรต่อนาที

ตารางที่ ค-1 ค่าพลังงานของสารอาหาร 3 ประเภท

ประเภท สารอาหาร	ใช้ออกซิเจนย่อย	Respiratory ratio	พลังงานที่สร้างได้	
	ลิตร/กรัม		VCO_2/VO_2	KJ/L of O_2
Carbohydrate	3.83	1.00	21.2	5.05
Fat	2.02	0.71	19.7	4.69
Protein	0.79	0.80	18.9	4.49

อ้างอิงจาก การยศาสตร์ ของ ดร. กิตติ อินทรานนท์

การวัดปริมาณการใช้ ออกซิเจนสามารถทำได้สองวิธีคือ วิธีเปิดและวิธีปิด โดยวิธีแรกจะใช้อุปกรณ์ดังรูป 2 เก็บตัวอย่างลมหายใจเพื่อวิเคราะห์ ปริมาณออกซิเจน และ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วคำนวณตามสมการที่ 4 ส่วนวิธีที่สอง จะให้ผู้ถูกทดลองหายใจจากอากาศที่อยู่

ในถุงปิดแยกโดยสิ้นเชิง คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะถูกดูดออกผ่านน้ำปูนใส แต่วิธีนี้ไม่ได้รับความนิยมนักเนื่องจากผู้เข้าทดสอบต้องหายใจเอาอากาศจากในที่จำกัด



รูปที่ ก-2 การวัดอัตราการเมตาโบลิซึม โดยวัดค่า O_2 consumption

อ้างอิงจาก Powergrid Fitness' kiloWatt™ System Dr. Daniel Drury Fellow and President,
Mid-Atlantic Chapter American College of Sports Medicine

การคำนวณปริมาณออกซิเจน หลังจากเก็บข้อมูลจากการวัด จะใช้สมการ

$$VO_2 = VI * FIO_2 - VE * FEO_2 \text{ liter/min} \quad (4)$$

VO_2 = ปริมาตรของออกซิเจนที่ใช้ไปในการทำกิจกรรมหนึ่ง ลิตร/นาที

VI = ปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าเพื่อทำกิจกรรมหนึ่ง ลิตร/นาที

FIO_2 = ร้อยละของออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศโดยปริมาตร 20.93 %

VE = ปริมาตรของลมหายใจออกที่วัดได้จากการทำกิจกรรมหนึ่ง ลิตร/นาที

FEO_2 = ร้อยละของออกซิเจนที่มีอยู่ในลมหายใจออกโดยปริมาตร

อาจสมมุติให้ปริมาตรการหายใจเข้าและออกเท่ากัน แต่ในความจริงจะเท่ากันได้เมื่อปริมาตรของ ออกซิเจนเท่ากับคาร์บอน ($RQ=1$) หรืออาจใช้ Haldane transformation เพื่อความแม่นยำมากขึ้น ดังสมการ

$$VO_2 = V_E \left[\frac{1 - (FEO_2 + FECO_2)}{1 - (FIO_2 + FICO_2)} \right] * FIO_2 - [V_E * FEO_2] \quad (5)$$

ในกรณีที่ทดลองที่ระดับน้ำทะเล อากาศปกติมีค่า $FIO_2 = 20.93\%$, $FICO_2 = 0.04\%$

ตารางที่ ค-2 อัตราการใช้พลังงานของกิจกรรมต่างๆมีหน่วยเป็น kcal/min

activity	body weight																	
	kg	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98
climbing hills with no load with 5-kg load with 10-kg load with 20-kg load	6.1	6.4	6.8	7.1	7.5	7.9	8.2	8.6	9	9.3	9.7	10	10.4	10.8	11.1	11.5	11.9	11.9
	6.5	6.8	7.2	7.6	8	8.4	8.8	9.2	9.5	9.9	10.3	10.7	11.1	11.5	11.9	12.3	12.6	12.6
	7	7.4	7.8	8.3	8.7	9.1	9.5	9.9	10.4	10.8	11.2	11.6	12	12.5	12.9	13.3	13.7	13.7
	7.4	7.8	8.2	8.7	9.1	9.6	10	10.4	10.9	11.3	11.8	12.2	12.6	13.1	13.5	14	14.4	14.4
cycling leisure leisure, 8.85 km/h leisure, 15.13 km/h racing	5.9	6.2	6.6	6.9	7.3	7.6	8	8.3	8.7	9	9.4	9.7	10.1	10.4	10.8	11.1	11.5	11.5
	3.2	3.4	3.6	3.8	4	4.2	4.4	4.6	4.8	5	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	6.3	6.3
dancing ballroom choreographed, vigorous racing	5	5.3	5.6	5.9	6.2	6.5	6.8	7.1	7.4	7.7	8	8.3	8.6	8.9	9.2	9.5	9.8	9.8
	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16.1	16.6	16.6
dancing ballroom choreographed, vigorous racing	2.6	2.7	2.9	3	3.2	3.3	3.5	3.6	3.8	3.9	4.1	4.2	4.4	4.5	4.7	4.8	5	5
	8.4	8.9	9.4	9.9	10.4	10.9	11.4	11.9	12.4	12.9	13.4	13.9	14.4	15	15.5	16	16.5	16.5
eating (sitting) farming	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	2	2	2.1	2.2	2.3	2.3
	6.8	7.2	7.6	8	8.4	8.8	9.2	9.6	10	10.4	10.8	11.2	11.6	12	12.4	12.8	13.2	13.2
cleaning animal stalls driving harvester driving tractor feeding cattle feeding hens and dogs forking straw bales milking by hand milking by machine shoveling grain	2	2.1	2.2	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.6	3.7	3.8	3.9	3.9
	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.3	2.5	2.6	2.7	2.8	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.6
feeding hens and dogs forking straw bales milking by hand milking by machine shoveling grain	4.3	4.5	4.8	5	5.3	5.5	5.8	6	6.3	6.5	6.8	7.1	7.3	7.6	7.8	8.1	8.3	8.3
	3.3	3.4	3.6	3.8	4	4.2	4.4	4.6	4.8	5	5.2	5.4	5.6	5.8	6	6.2	6.4	6.4
forking straw bales milking by hand milking by machine shoveling grain	6.9	7.3	7.7	8.1	8.6	9	9.4	9.8	10.2	10.6	11	11.5	11.9	12.3	12.7	13.1	13.5	13.5
	2.7	2.9	3	3.2	3.3	3.5	3.7	3.8	4	4.2	4.3	4.5	4.6	4.8	5	5.1	5.3	5.3
milking by hand milking by machine shoveling grain	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	2	2	2.1	2.2	2.3	2.3
	4.3	4.5	4.8	5	5.3	5.5	5.8	6	6.3	6.5	6.8	7.1	7.3	7.6	7.8	8.1	8.3	8.3
shoveling grain fishing football gardening	3.1	3.3	3.5	3.7	3.8	4	4.2	4.4	4.6	4.8	5	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	6.1
	6.6	7	7.4	7.8	8.2	8.6	9	9.4	9.8	10.2	10.6	11	11.4	11.7	12.1	12.5	12.9	12.9
gardening digging hedging mowing raking	6.3	6.7	7.1	7.4	7.8	8.2	8.6	8.9	9.3	9.7	10.1	10.5	10.8	11.2	11.6	12	12.3	12.3
	3.9	4.1	4.3	4.5	4.8	5	5.2	5.5	5.7	5.9	6.2	6.4	6.6	6.9	7.1	7.3	7.5	7.5
digging hedging mowing raking	5.6	5.9	6.3	6.6	6.9	7.3	7.6	8	8.3	8.6	9	9.3	9.6	10	10.3	10.6	11	11
	2.7	2.9	3	3.2	3.3	3.5	3.7	3.8	4	4.2	4.3	4.5	4.6	4.8	5	5.1	5.3	5.3

ตารางที่ ค-2 อัตราการใช้พลังงานของกิจกรรมต่างๆมีหน่วยเป็น kcal/min

activity	body weight																	
	kg	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98
golf	4.3	4.5	4.8	5	5.3	5.5	5.8	6	6.3	6.5	6.8	7.1	7.3	7.6	7.8	8.1	8.3	
gymnastics	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	6.3	6.5	
lying at ease	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	1.9	2.0	2.1	2.2	
machine-tooling																		
machining	2.4	2.5	2.7	2.8	3	3.1	3.3	3.4	3.6	3.7	3.8	4	4.1	4.3	4.4	4.6	4.7	
operating lathe	2.6	2.8	2.9	3.1	3.2	3.4	3.5	3.7	3.8	4	4.2	4.3	4.5	4.6	4.8	4.9	5.1	
operating punch press	4.4	4.7	4.9	5.2	5.5	5.7	6	6.2	6.5	6.8	7	7.3	7.6	7.8	8.1	8.4	8.6	
tapping and drilling	3.3	3.4	3.6	3.8	4	4.2	4.4	4.6	4.8	5	5.2	5.4	5.6	5.8	6	6.2	6.4	
welding	2.6	2.8	2.9	3.1	3.2	3.4	3.5	3.7	3.8	4	4.2	4.3	4.5	4.6	4.8	4.9	5.1	
working sheet metal	2.4	2.5	2.7	2.8	3	3.1	3.3	3.4	3.6	3.7	3.8	4	4.1	4.3	4.4	4.6	4.7	
music playing																		
accordion (sitting)	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	3	3.1	
cello (sitting)	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.7	2.8	2.9	3	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.8	3.9	4	
conducting (standing)	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	
drums (sitting)	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	6.3	6.6	
flute (sitting)	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4	
horn (sitting)	1.5	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	
organ (sitting)	2.7	2.8	3	3.1	3.3	3.4	3.6	3.8	3.9	4.1	4.2	4.4	4.6	4.7	4.9	5	5.2	
piano (sitting)	2	2.1	2.2	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.6	3.7	3.8	3.9	
trumpet (standing)	1.6	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	3	
violin (sitting)	2.3	2.4	2.5	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2	3.3	3.5	3.6	3.7	3.9	4	4.1	4.3	4.4	
woodwind (sitting)	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	3	3.1	
running, horizontal																		
11 min, 30 s per mile	6.8	7.2	7.6	8	8.4	8.8	9.2	9.6	10	10.5	10.9	11.3	11.7	12.1	12.5	12.9	13.3	
9 min per mile	9.7	10.2	10.8	11.4	12	12.5	13.1	13.7	14.3	14.9	15.4	16	16.6	17.2	17.8	18.3	18.9	
8 min per mile	10.8	11.3	11.9	12.5	13.1	13.6	14.2	14.8	15.4	16	16.5	17.1	17.7	18.3	18.9	19.4	20	
7 min per mile	12.2	12.7	13.3	13.9	14.5	15	15.6	16.2	16.8	17.4	17.9	18.5	19.1	19.7	20.3	20.8	21.4	
6 min per mile	13.9	14.4	15	15.6	16.2	16.7	17.3	17.9	18.5	19.1	19.6	20.2	20.8	21.4	22	22.5	23.1	
5 min, 30 s per mile	14.5	15.3	16.2	17.1	17.9	18.8	19.7	20.5	21.4	22.3	23.1	24	24.9	25.7	26.6	27.5	28.3	
sitting quietly	***	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.9	1.9	2	2.1
standing quietly	1.4	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	

ตารางที่ ค-2 อัตราการใช้พลังงานของกิจกรรมต่างๆมีหน่วยเป็น kcal/min

activity	body weight																		
	kg	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98	
swimming																			
backstroke		8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16.1	16.6	
breast stroke		8.1	8.6	9.1	9.6	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.4	13.9	14.4	14.9	15.4	15.9	
crawl, fast		7.8	8.3	8.7	9.2	9.7	10.1	10.6	11.1	11.5	12	12.5	12.9	13.4	13.9	14.4	14.8	15.3	
crawl, slow		6.4	6.8	7.2	7.6	7.9	8.3	8.7	9.1	9.5	9.9	10.2	10.6	11	11.4	11.8	12.2	12.5	
side stroke		6.1	6.5	6.8	7.2	7.6	7.9	8.3	8.7	9	9.4	9.8	10.1	10.5	10.9	11.2	11.6	12	
treading, fast		8.5	9	9.5	10	10.5	11.1	11.6	12.1	12.6	13.1	13.6	14.1	14.6	15.1	15.6	16.2	16.7	
treading, normal		3.1	3.3	3.5	3.7	3.8	4	4.2	4.4	4.6	4.8	5	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	
table tennis		3.4	3.6	3.8	4	4.2	4.4	4.6	4.8	5	5.2	5.4	5.6	5.8	6.1	6.3	6.5	6.7	
tennis		5.5	5.8	6.1	6.4	6.8	7.1	7.4	7.7	8.1	8.4	8.7	9	9.4	9.7	10	10.4	10.7	
typing																			
electric		1.4	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	
manual		1.6	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.9	3	
walking, comfortable pace																			
asphalt road		4	4.2	4.5	4.7	5	5.2	5.4	5.7	5.9	6.2	6.4	6.6	6.9	7.1	7.4	7.6	7.8	
fields and hillsides		4.1	4.3	4.6	4.8	5.1	5.3	5.6	5.8	6.1	6.3	6.6	6.8	7.1	7.3	7.5	7.8	8	
grass track		4.1	4.3	4.5	4.8	5	5.3	5.5	5.8	6	6.2	6.5	6.7	7	7.2	7.5	7.7	7.9	
plowed field		3.9	4.1	4.3	4.5	4.8	5	5.2	5.5	5.7	5.9	6.2	6.4	6.6	6.9	7.1	7.3	7.5	
writing (sitting)		1.5	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8	

ที่มา

Bannister, E.W. and S.R. Brown, "The relative energy requirements of physical activity." In: Falls, H.B. (ed), Exercise Physiology, Academic Press, New York, 1968; E.T. Howley and M.E. Glover,

The caloric costs of running and walking one mile for men and women. Med. Sci. Sports 6:235-237, 1974;

R. Passmore and J.V.G.A. Durnin, "Human energy expenditure," Physiol. Rev. 35:891-840, 1955.

*** หมายถึง 1 MET

ตารางที่ ค-3 อัตราการใช้พลังงานของกิจกรรมต่างๆมีหน่วยเป็น MET (อ้างอิงจากราง ค-2)

activity	energy used	activity	energy used
climbing hills		music playing	
with no load	5.55 - 5.92	accordion (sitting)	1.45 - 1.59
with 5-kg load	5.91 - 6.33	cello (sitting)	1.88 - 2.00
with 10-kg load	6.36 - 6.92	conducting (standing)	1.79 - 1.93
with 20-kg load	6.73 - 7.25	drums (sitting)	3.00 - 3.25
cycling		flute (sitting)	1.62 - 1.75
leisure	5.36 - 5.75	horn (sitting)	1.31 - 1.43
leisure, 8.85 km/h	2.91 - 3.17	organ (sitting)	2.43 - 2.59
leisure, 15.13 km/h	4.55 - 4.92	piano (sitting)	1.82 - 2.00
racing	7.73 - 8.33	trumpet (standing)	1.42 - 1.59
dancing		violin (sitting)	2.06 - 2.25
ballroom	2.36 - 2.50	woodwind (sitting)	1.45 - 1.59
choreographed, vigorous	7.64 - 8.25	running, horizontal	
eating (sitting)	1.05 - 1.17	11 min, 30 s per mile	6.18 - 6.67
farming		9 min per mile	8.82 - 9.50
cleaning animal stalls	6.18 - 6.67	8 min per mile	9.52 - 10.42
driving harvester	1.82 - 2.00	7 min per mile	10.19 - 11.58
driving tractor	1.64 - 1.83	6 min per mile	11.00 - 13.09
feeding cattle	3.91 - 4.18	5 min, 30 s per mile	13.18 - 14.25
feeding hens and dogs	3.00 - 3.18	sitting quietly	1.00 - 1.00
forking straw bales	6.27 - 6.76	standing quietly	1.24 - 1.33
milking by hand	2.45 - 2.67	swimming	
milking by machine	1.05 - 1.17	backstroke	7.73 - 8.33
shoveling grain	3.91 - 4.18	breast stroke	7.36 - 8.00
fishing	2.82 - 3.08	crawl, fast	7.09 - 7.67
football	6.00 - 6.50	crawl, slow	5.82 - 6.33
gardening		side stroke	5.55 - 6.00
digging	5.73 - 6.18	treading, fast	7.73 - 8.33
hedging	3.55 - 3.76	treading, normal	2.82 - 3.08
mowing	5.09 - 5.50	table tennis	3.09 - 3.33
raking	2.45 - 2.67	tennis	5.00 - 5.33
golf	3.91 - 4.18	typing	
gymnastics	3.00 - 3.25	electric	1.24 - 1.33
lying at ease	1.00 - 1.53	manual	1.42 - 1.53
machine-tooling	-	walking, comfortable pace	
machining	2.18 - 2.36	asphalt road	3.64 - 3.92
operating lathe	2.36 - 2.58	fields and hillsides	3.73 - 4.00
operating punch press	4.00 - 4.33	grass track	3.73 - 4.00
tapping and drilling	3.00 - 3.18	plowed field	3.55 - 3.76
welding	2.36 - 2.58	writing (sitting)	1.31 - 1.43
working sheet metal	2.18 - 2.36		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง.
รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน

Brushless DC motor Parker IBE 232F



รูปที่ ง-1 มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน Parker IBE232F
มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน ซีรี่ส์ Parker รุ่น IBE 232F

ให้ทอร์กต่อเนื่องเท่ากับ 0.46 นิวตันเมตร

ความเร็วสูงสุดที่ 3300 รอบต่อนาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Brushless DC motor Parker N0343FE



รูปที่ ง-2 มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน Parker N0343FE

มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน ยี่ห้อ Parker รุ่น N0343FE

ให้ทอร์คต่อเนื่องเท่ากับ 1.5 นิวตันเมตร

ความเร็วสูงสุดที่ 6800 รอบต่อนาที

Ear muff

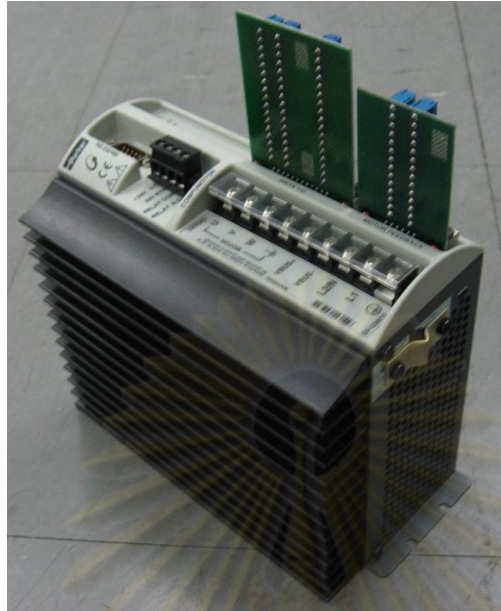


รูปที่ ง-3 ที่ครอบหูกันเสียง

ที่ครอบหูป้องกันเสียง ยี่ห้อ Stoney Point

ป้องกันเสียงได้ 28 เดซิเบล

Servo amp



รูปที่ ง-4 Servo amp Parker GV6

Servo amp ยี่ห้อ Parker รุ่น GV6

รับสัญญาณป้อนเข้าแบบอนาลอกได้ +10V -10V

สามารถใช้กับมอเตอร์ไร้แปรงถ่าน ยี่ห้อ Parker รุ่น N0343 FE

มีช่องรับสัญญาณเอ็นโคคเตอร์ และส่งออกได้

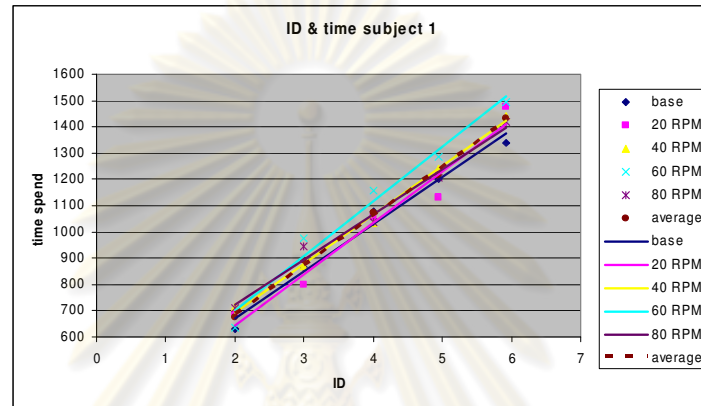
สามารถโปรแกรมการทำงานผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

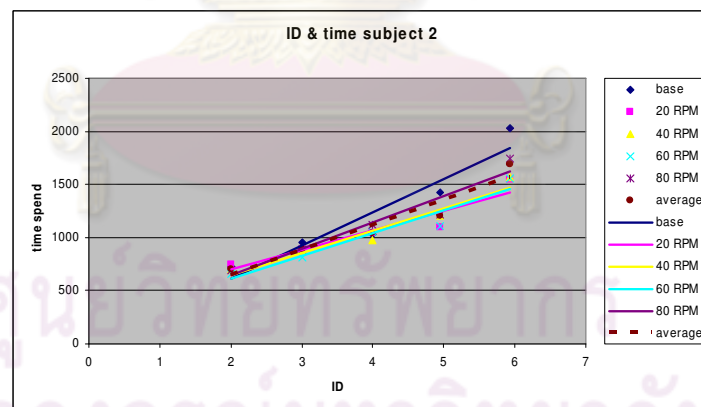
ภาคผนวก จ
ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

การทดสอบครั้งที่ 1

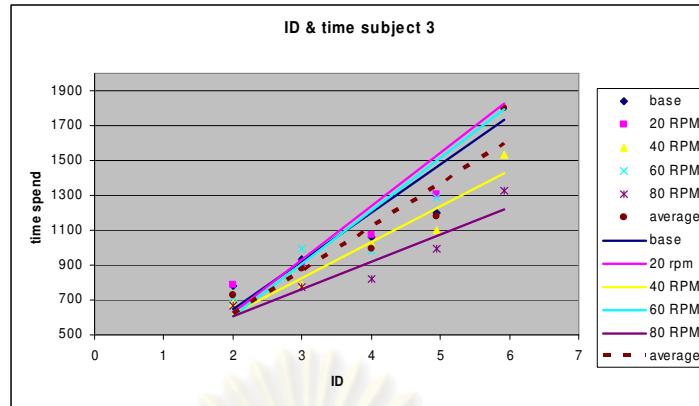
เวลาที่ใช้ในการทำงาน
Pointing task



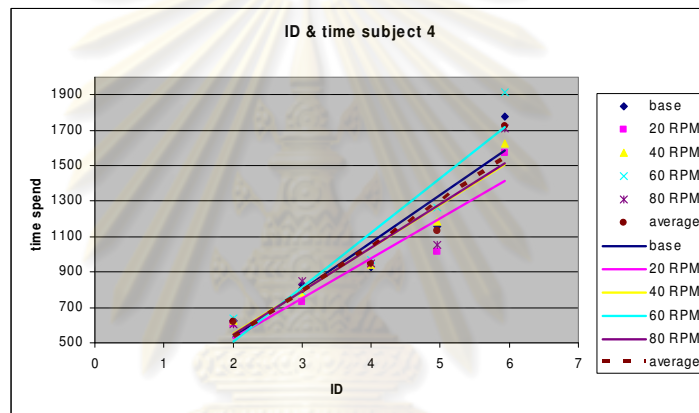
รูปที่ จ.1 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน pointing task ของผู้ทดสอบคนที่ 1



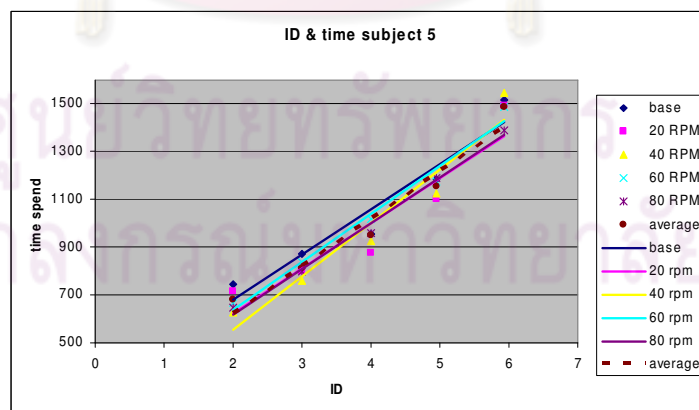
รูปที่ จ.2 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน pointing task ของผู้ทดสอบคนที่ 2



รูปที่ ๓.3 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน pointing task ของผู้ทดสอบคนที่ 3

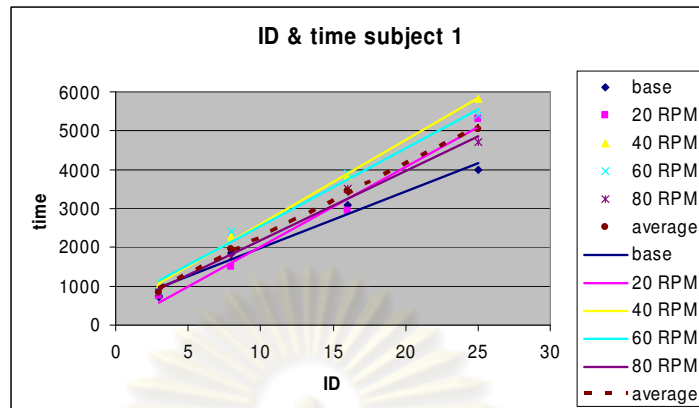


รูปที่ ๓.4 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน pointing task ของผู้ทดสอบคนที่ 4

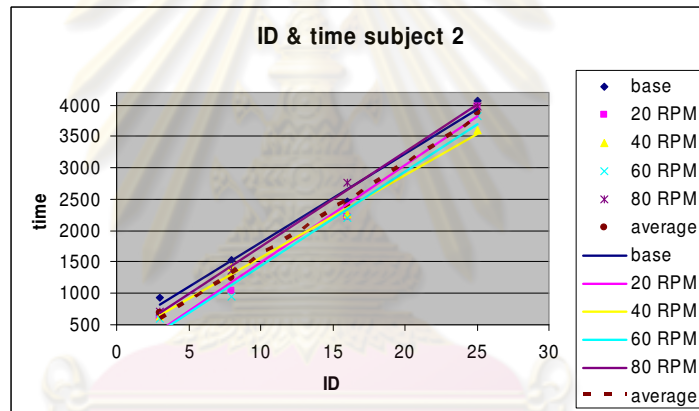


รูปที่ ๓.5 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน pointing task ของผู้ทดสอบคนที่ 5

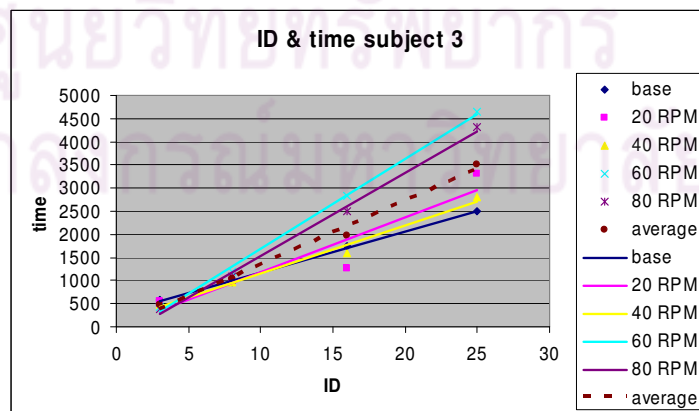
Linear steering task



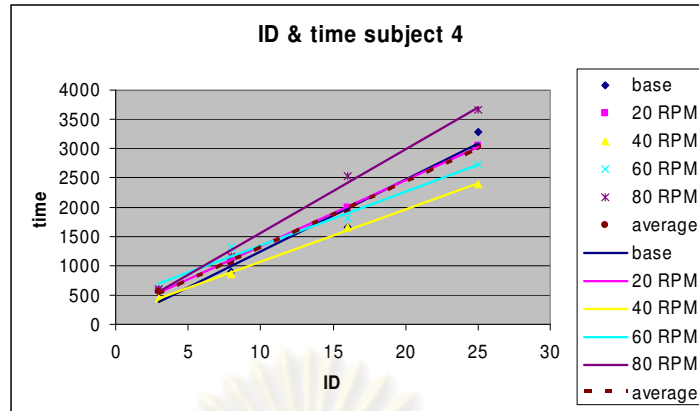
รูปที่ ๖.6 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน linear steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 1



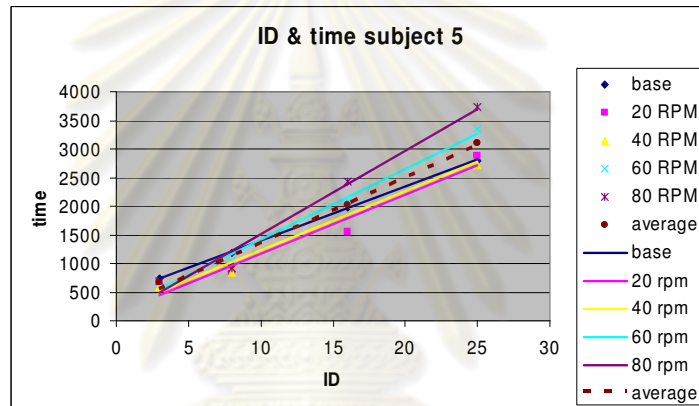
รูปที่ ๖.7 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน linear steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 2



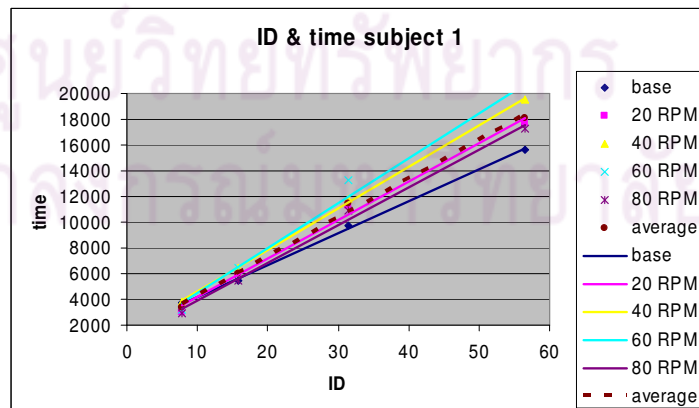
รูปที่ ๖.8 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน linear steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 3



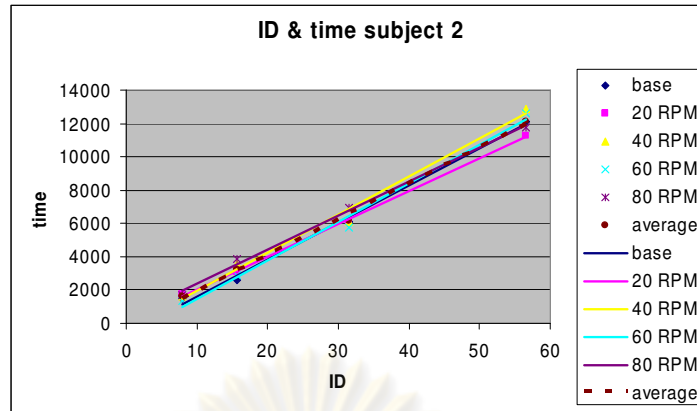
รูปที่ ๙.9 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน linear steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 4



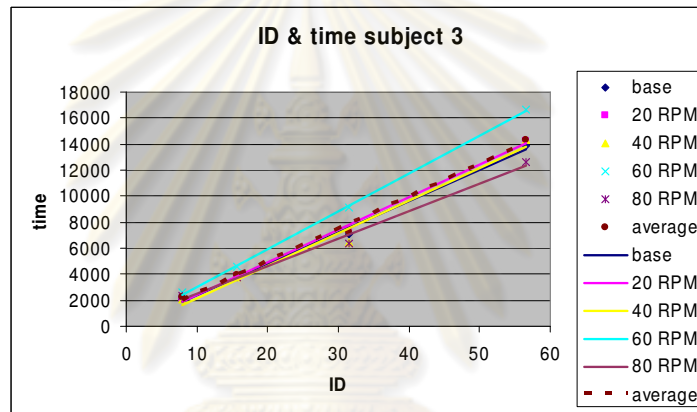
รูปที่ ๙.10 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน linear steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 5
Circular steering task



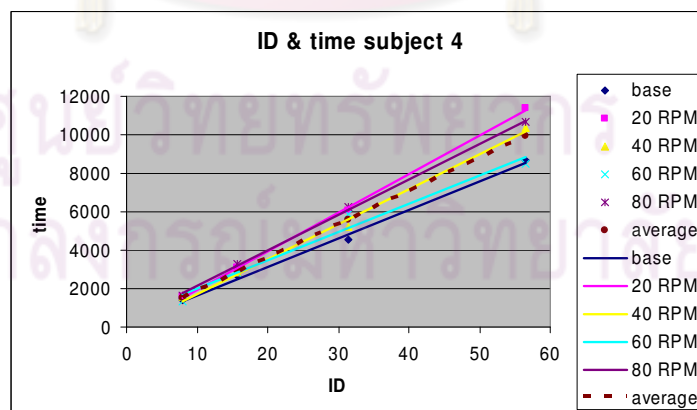
รูปที่ ๙.11 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 1



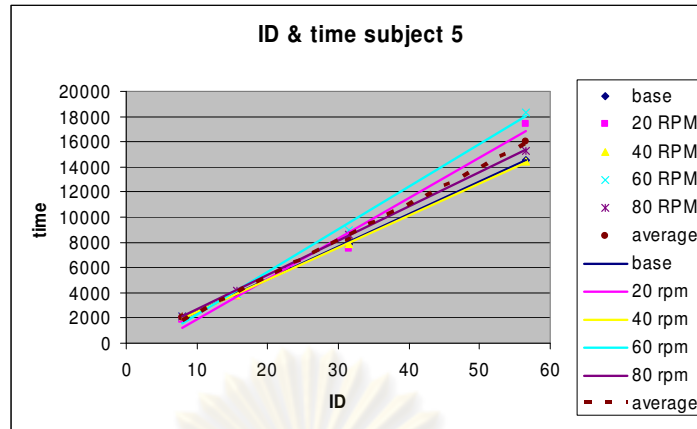
รูปที่ ๑.12 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 2



รูปที่ ๑.13 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 3

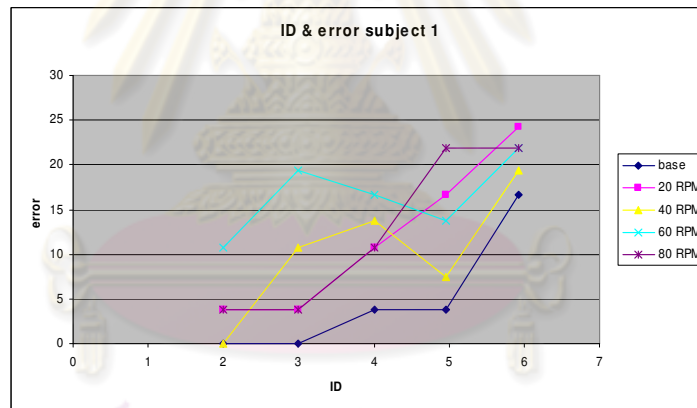


รูปที่ ๑.14 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 4

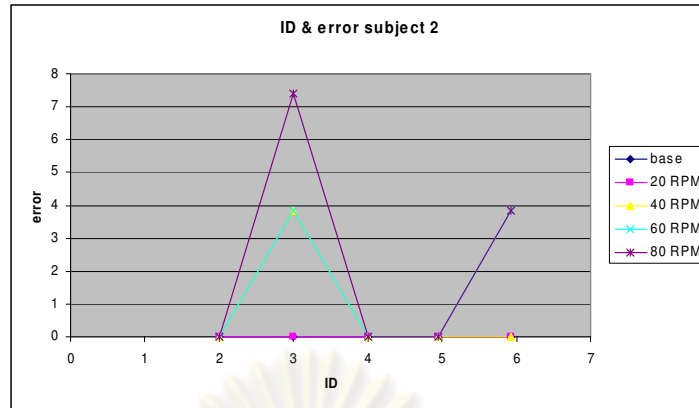


รูปที่ ๑.15 เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ms) เทียบกับระดับความยากของงาน circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 5

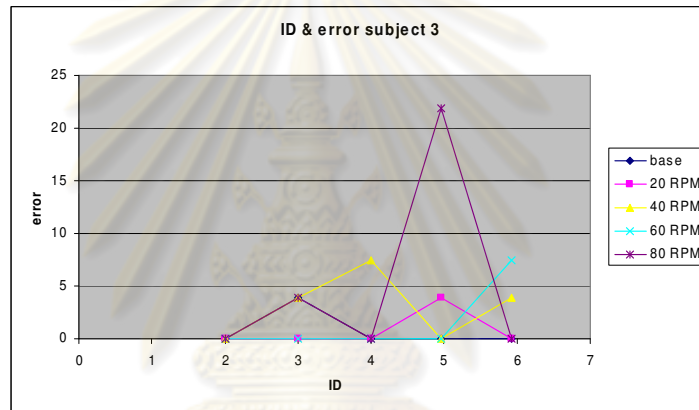
ความแม่นยำในการทำงาน
Pointing task



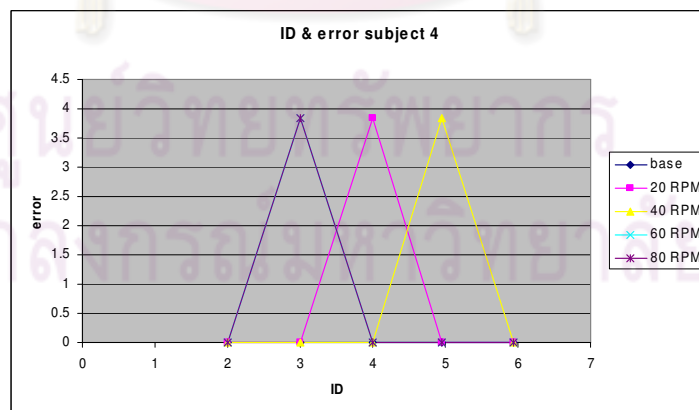
รูปที่ ๑.16 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ (คิดเป็นร้อยละ) ในการทำงานที่แต่ละระดับความยากในการทำงาน Pointing task สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 1



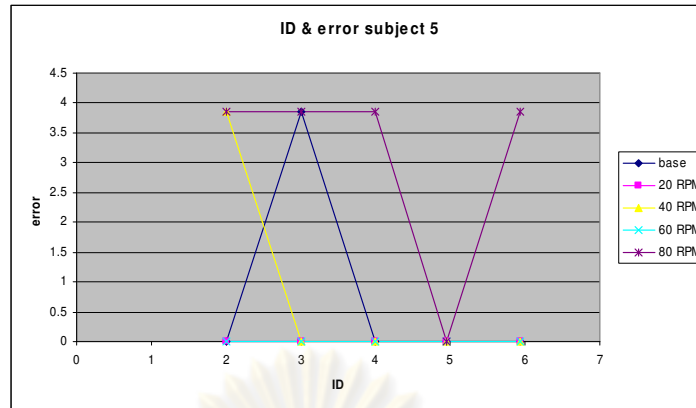
รูปที่ ๑.17 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ (คิดเป็นร้อยละ) ในการทำงานที่แต่ละระดับความยากในการทำงาน Pointing task สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 2



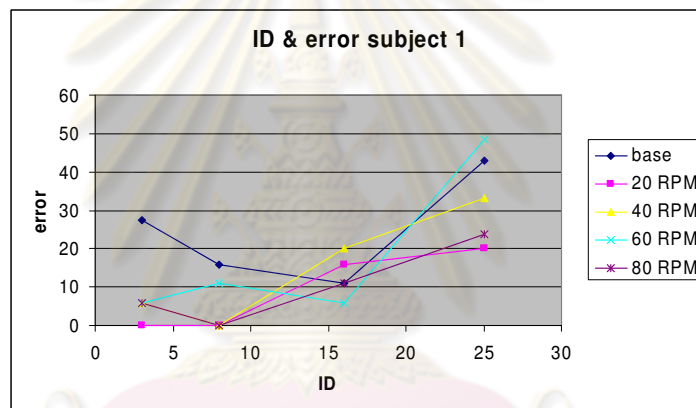
รูปที่ ๑.18 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ (คิดเป็นร้อยละ) ในการทำงานที่แต่ละระดับความยากในการทำงาน Pointing task สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 3



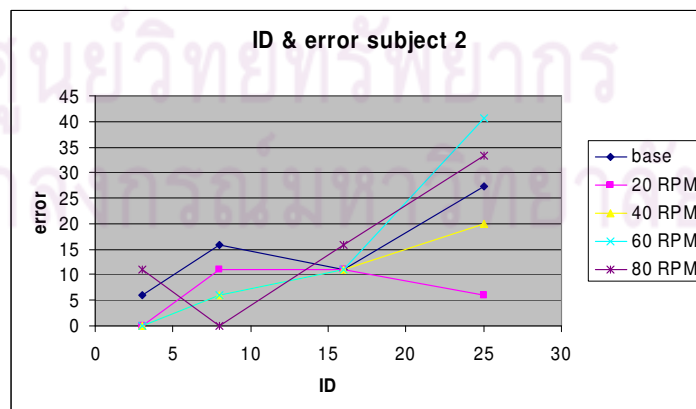
รูปที่ ๑.19 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ (คิดเป็นร้อยละ) ในการทำงานที่แต่ละระดับความยากในการทำงาน Pointing task สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 4



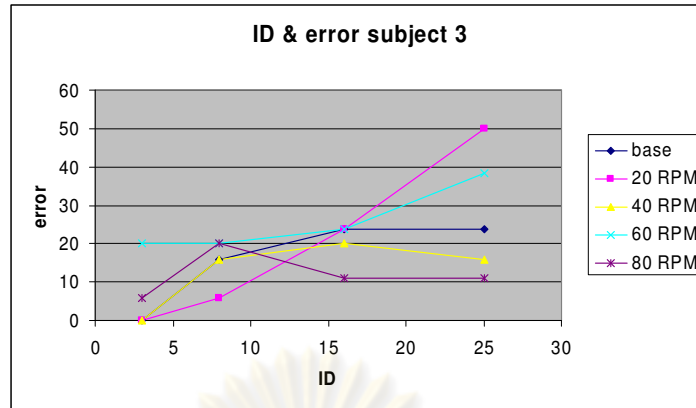
รูปที่ ๒.20 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ (คิดเป็นร้อยละ) ในการทำงานที่แต่ละระดับความยากในการทำงาน Pointing task สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 5
Linear steering task



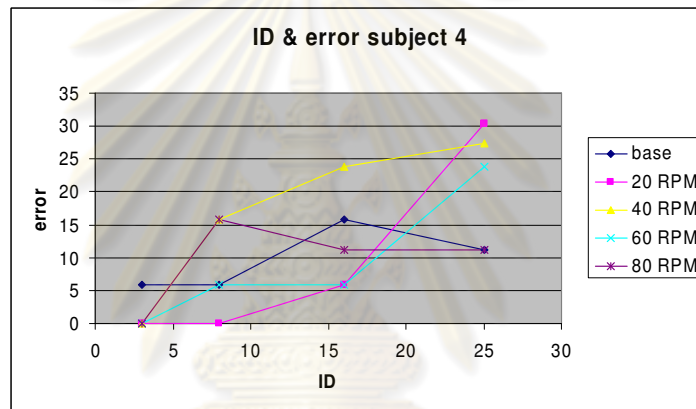
รูปที่ ๒.21 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ (คิดเป็นร้อยละ) ในการทำงานที่แต่ละระดับความยากในการทำงาน Linear steering task สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 1



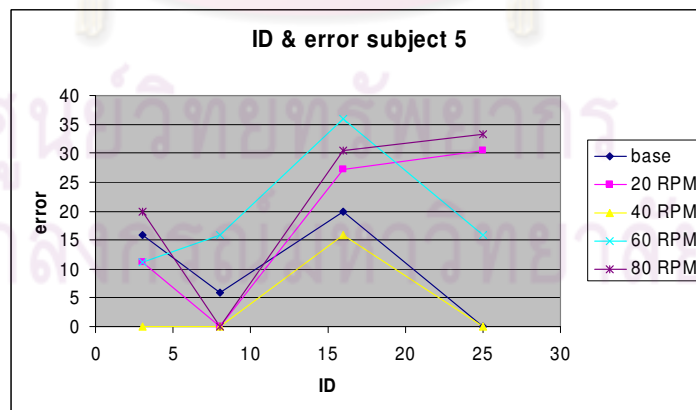
รูปที่ ๒.22 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ (คิดเป็นร้อยละ) ในการทำงานที่แต่ละระดับความยากในการทำงาน Linear steering task สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 2



รูปที่ ๒.23 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ (คิดเป็นร้อยละ) ในการทำงานที่แต่ละระดับความยากใน
การทำงาน Linear steering task สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 3

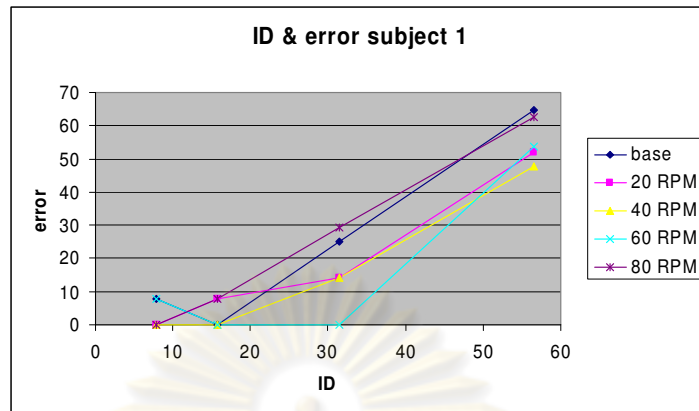


รูปที่ ๒.24 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ (คิดเป็นร้อยละ) ในการทำงานที่แต่ละระดับความยากใน
การทำงาน Linear steering task สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 4

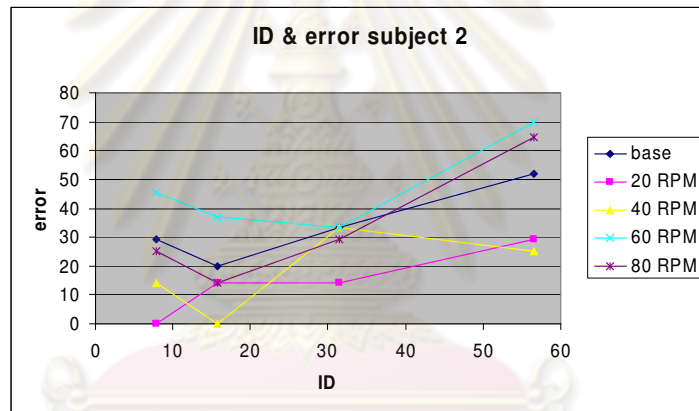


รูปที่ ๒.25 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ (คิดเป็นร้อยละ) ในการทำงานที่แต่ละระดับความยากใน
การทำงาน Linear steering task สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 5

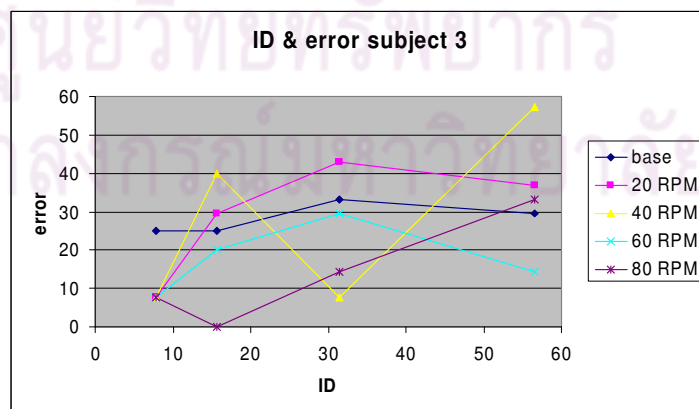
Circular steering task



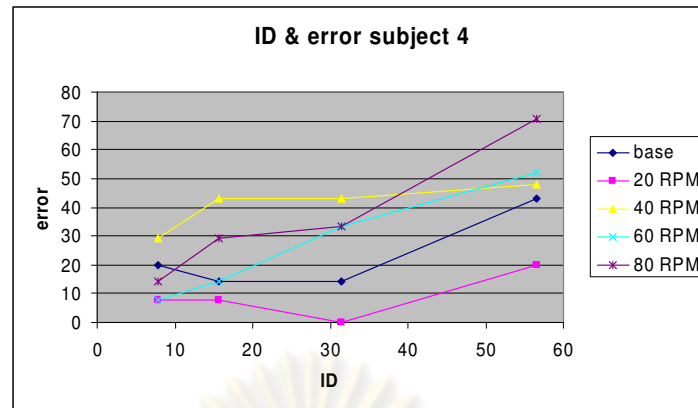
รูปที่ ๒.26 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ (คิดเป็นร้อยละ) ในการทำงานที่แต่ละระดับความยากใน
การทำงาน Circular steering task สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 1



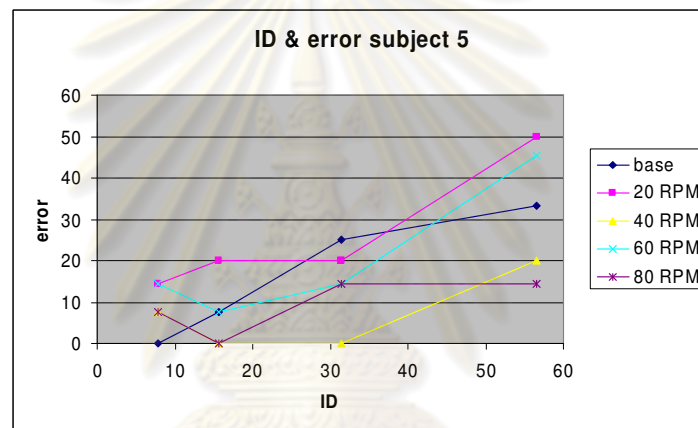
รูปที่ ๒.27 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ (คิดเป็นร้อยละ) ในการทำงานที่แต่ละระดับความยากใน
การทำงาน Circular steering task สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 2



รูปที่ ๒.28 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ (คิดเป็นร้อยละ) ในการทำงานที่แต่ละระดับความยากใน
การทำงาน Circular steering task สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 3



รูปที่ ๓.29 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ (คิดเป็นร้อยละ) ในการทำงานที่แต่ละระดับความยากใน
การทำงาน Circular steering task สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 4



รูปที่ ๓.30 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ (คิดเป็นร้อยละ) ในการทำงานที่แต่ละระดับความยากใน
การทำงาน Circular steering task สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 5

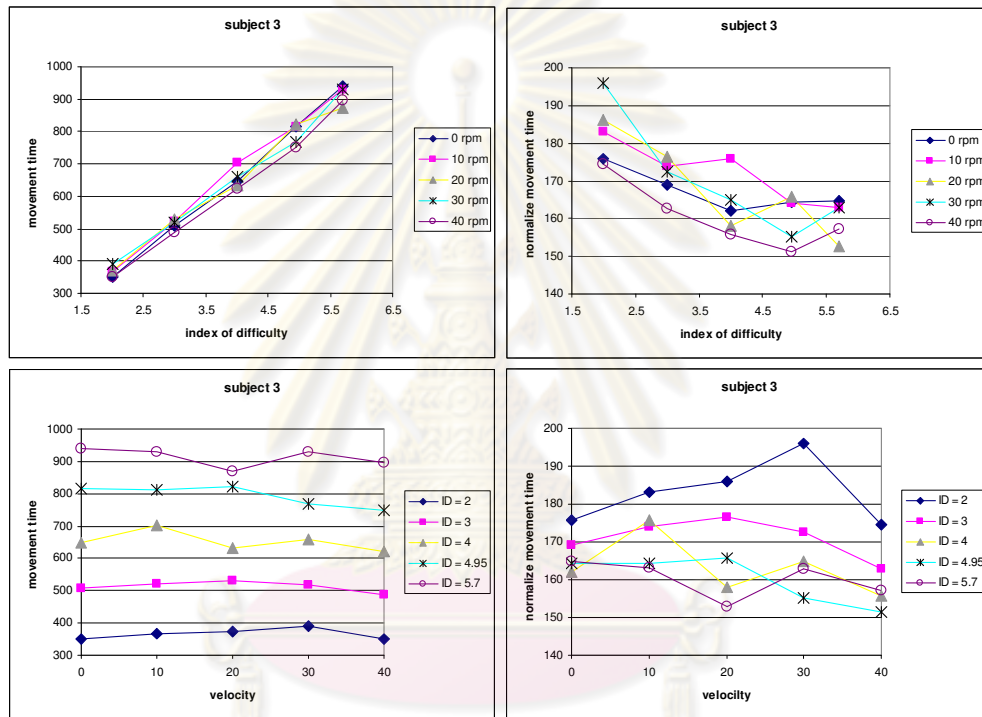
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดสอบครั้งที่ 2

หมายเหตุ ข้อมูลที่แสดงเป็นข้อมูลของผู้ทดสอบคนที่ 3-12 โดยละเว้นข้อมูลของผู้ทดสอบคนที่ 1 และ 2 เนื่องด้วยความไม่สมบูรณ์ของข้อมูล

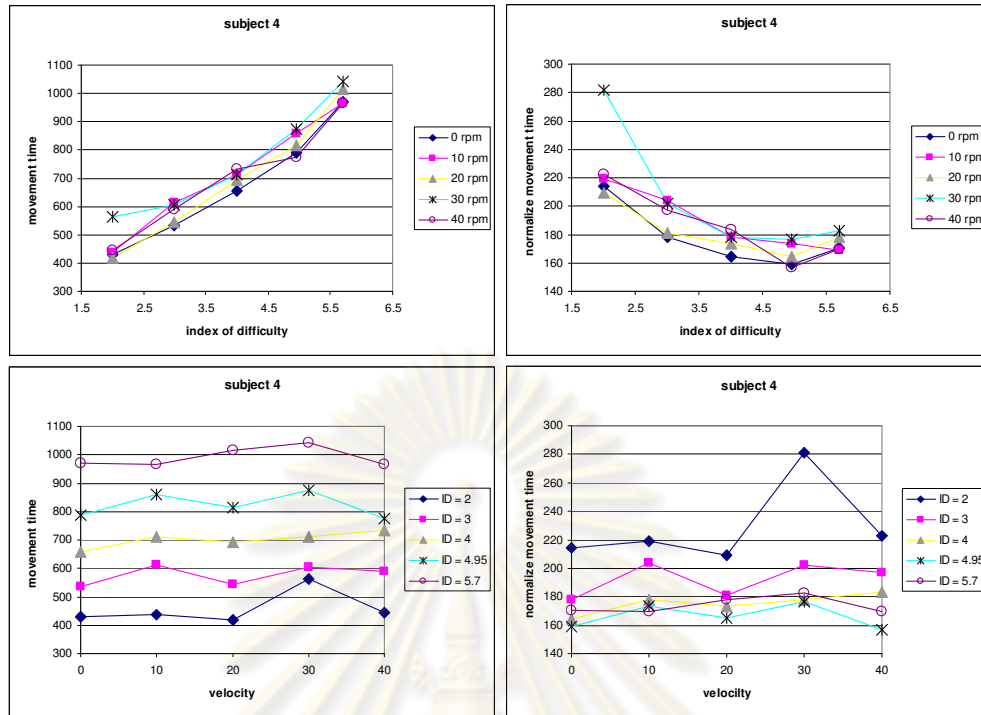
เวลาที่ใช้ในการทำงาน

Pointing task

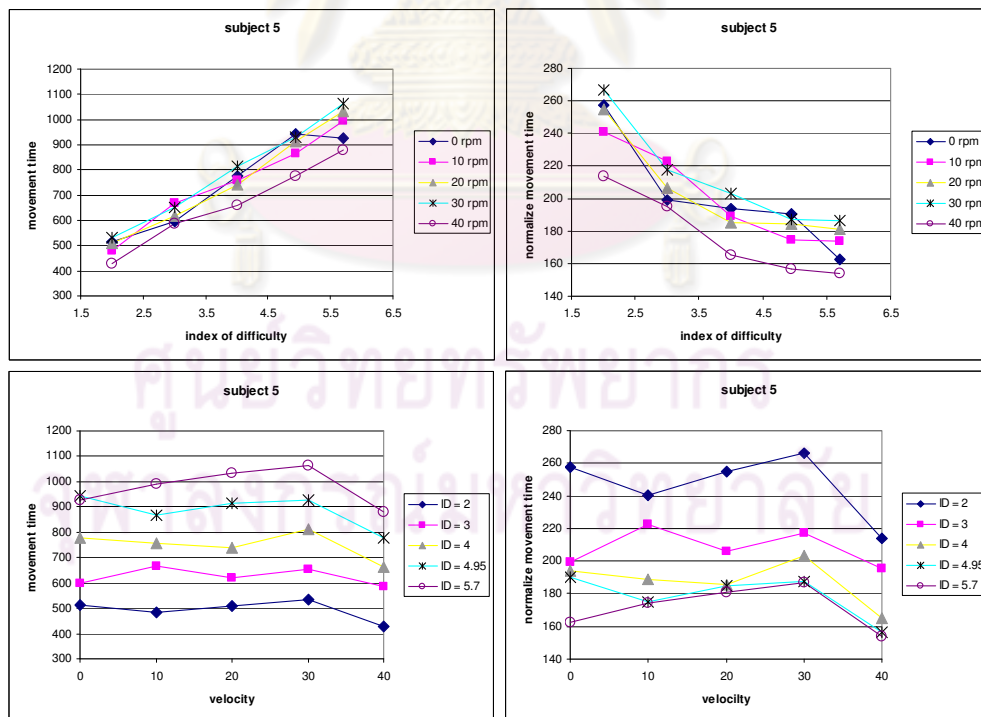


รูปที่ 3.31 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Pointing task ที่ระดับความยากต่างๆ และความเร็วในการเคลื่อนไหวต่างๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 3 (ซ้ายบน เวลา-ระดับความยาก, ขวาบน เวลามาตรฐาน-ระดับความยาก, ซ้ายล่าง เวลา-ความเร็วในการเคลื่อนไหว, ขวาล่าง เวลามาตรฐาน-ความเร็วในการเคลื่อนไหว)

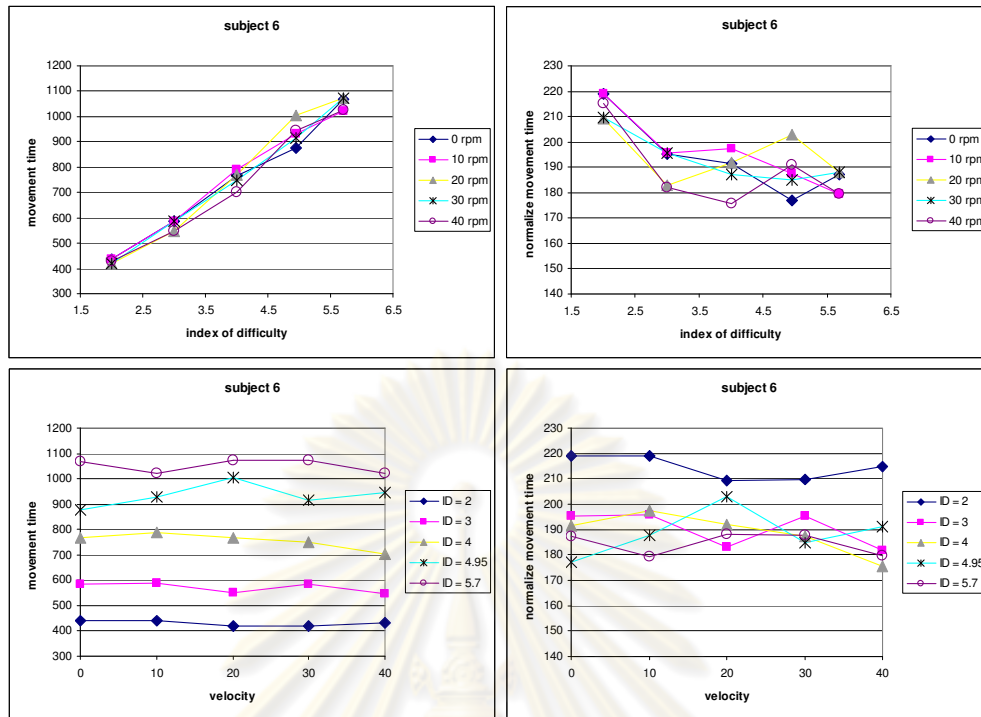
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



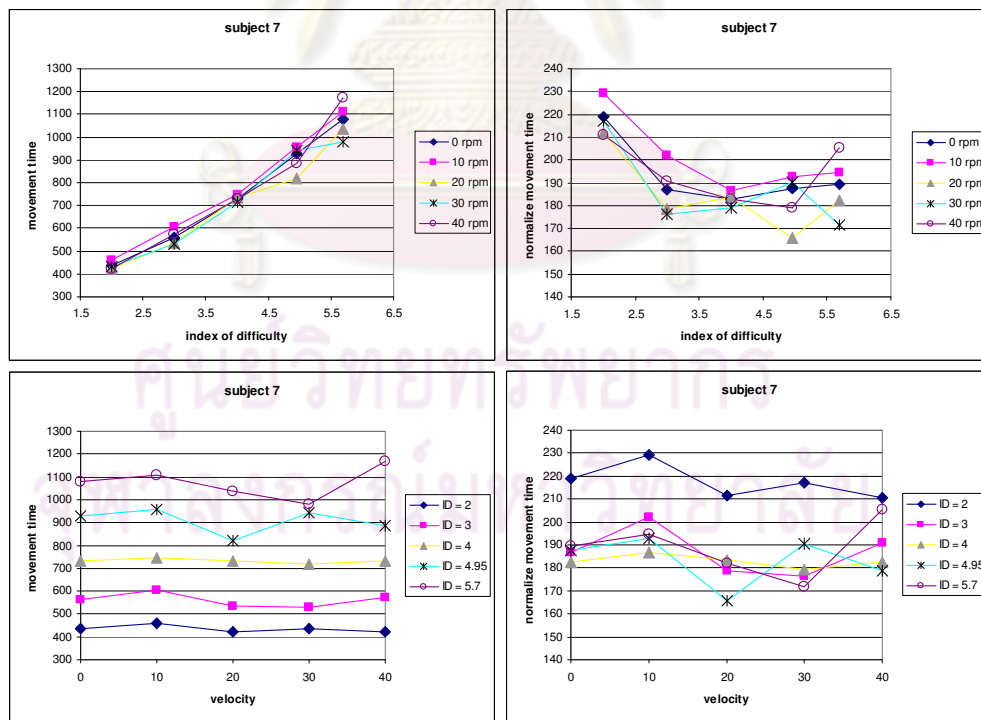
รูปที่ ๓.32 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Pointing task ที่ระดับความยากต่างๆ และความเร็วในการเคลื่อนไหวต่างๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 4



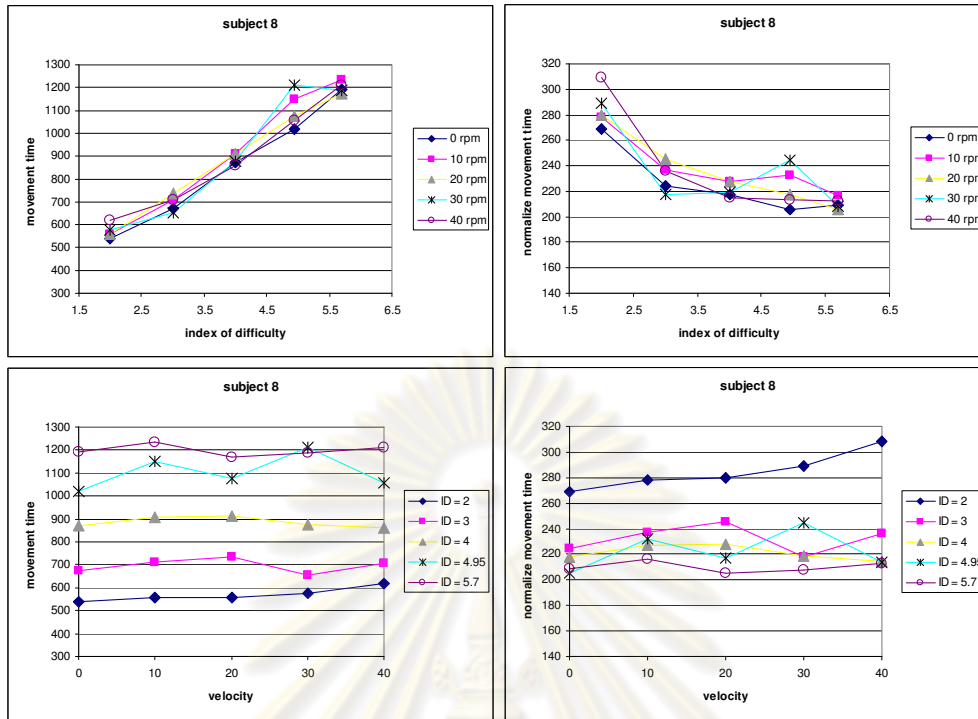
รูปที่ ๓.33 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Pointing task ที่ระดับความยากต่างๆ และความเร็วในการเคลื่อนไหวต่างๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 5



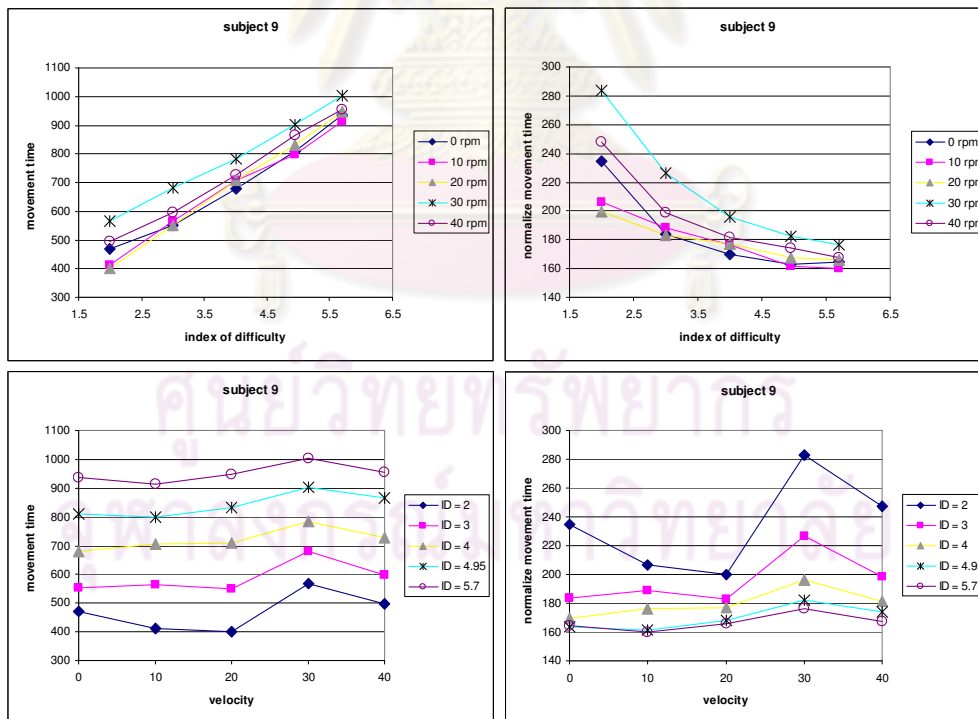
รูปที่ ๓.34 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Pointing task ที่ระดับความยากต่างๆ และความเร็วในการเคลื่อนไหวต่างๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 6



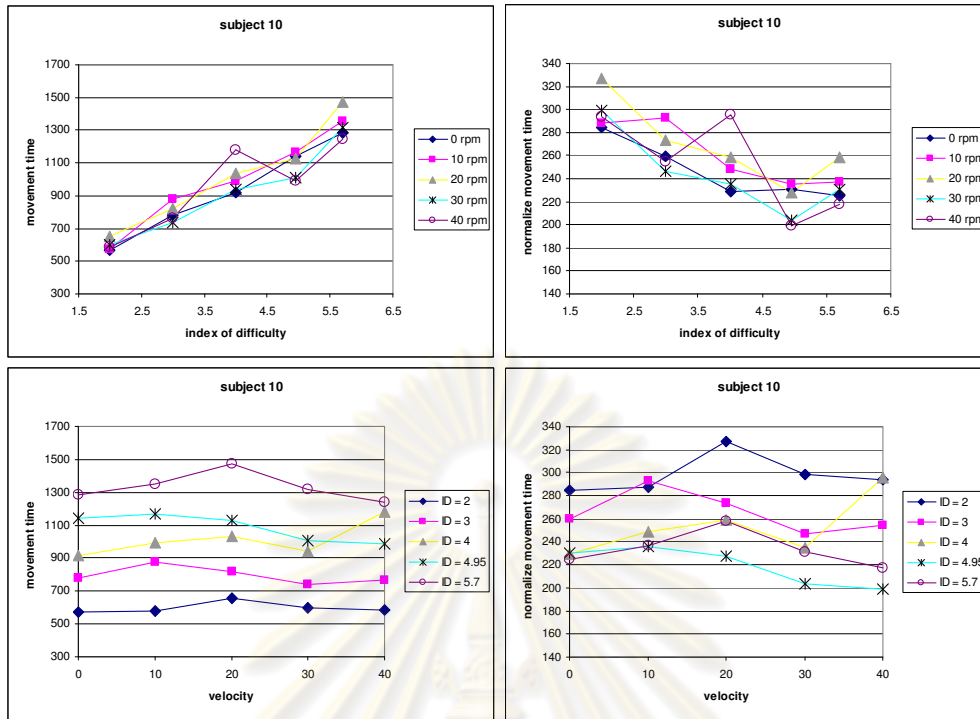
รูปที่ ๓.35 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Pointing task ที่ระดับความยากต่างๆ และความเร็วในการเคลื่อนไหวต่างๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 7



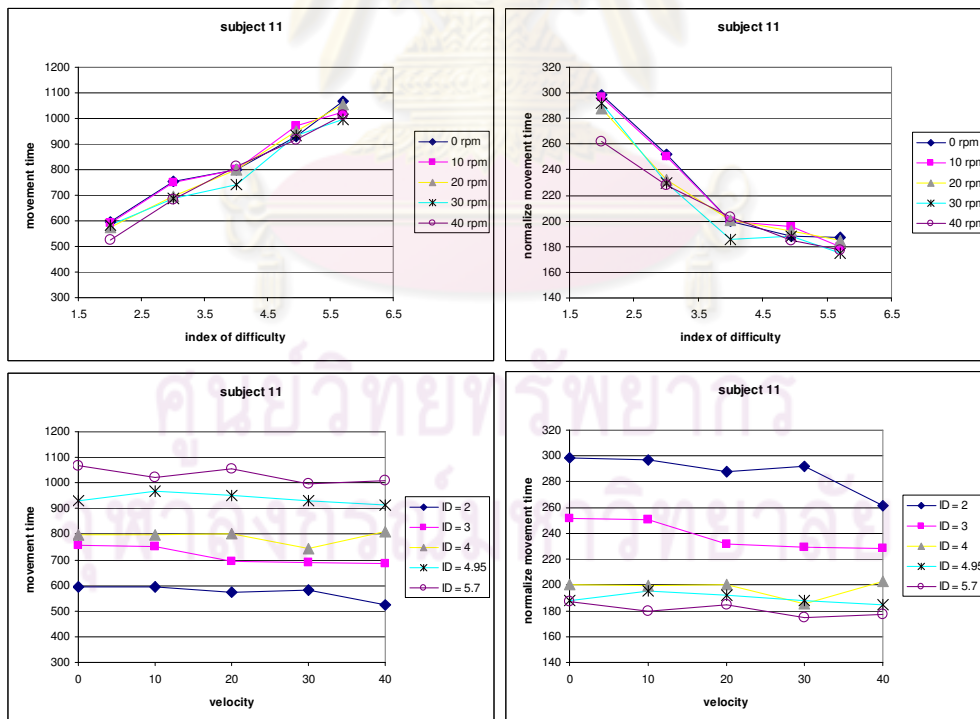
รูปที่ ๓.๓๖ เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Pointing task ที่ระดับความยากต่างๆ และความเร็วในการเคลื่อนไหวต่างๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 8



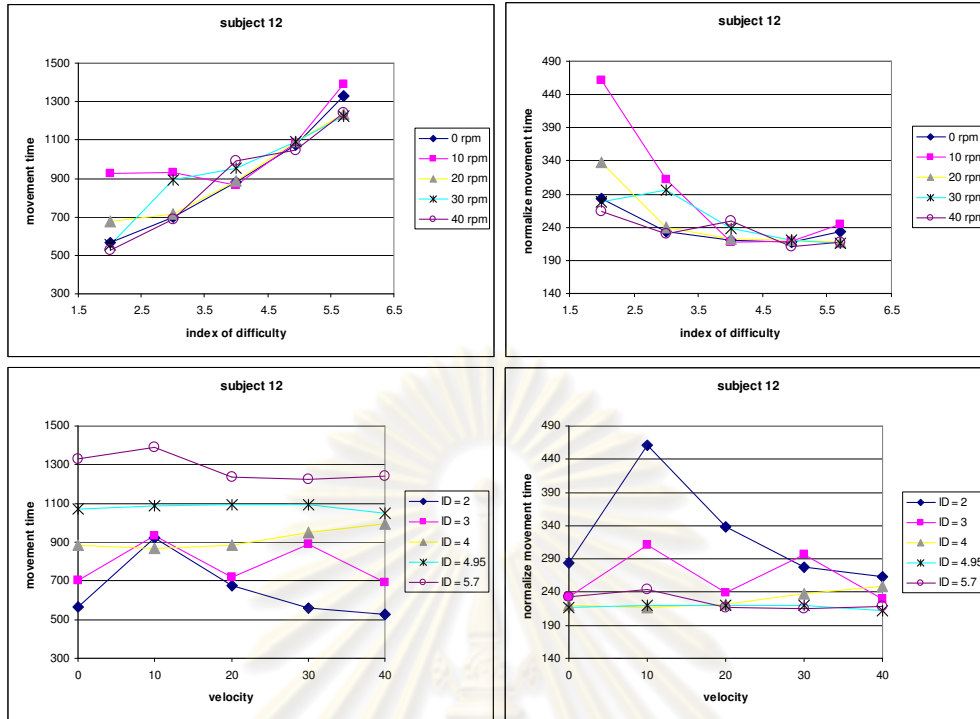
รูปที่ ๓.๓๗ เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Pointing task ที่ระดับความยากต่างๆ และความเร็วในการเคลื่อนไหวต่างๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 9



รูปที่ ๓.๓๘ เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Pointing task ที่ระดับความยากต่างๆ และความเร็วในการเคลื่อนไหวต่างๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 10

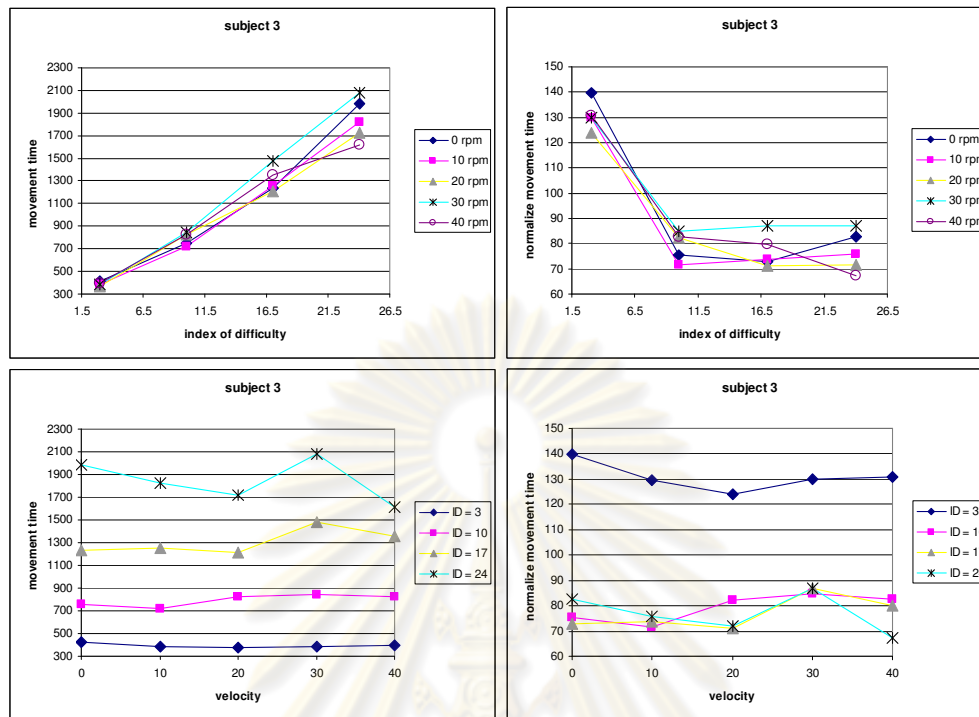


รูปที่ ๓.๓๙ เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Pointing task ที่ระดับความยากต่างๆ และความเร็วในการเคลื่อนไหวต่างๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 11



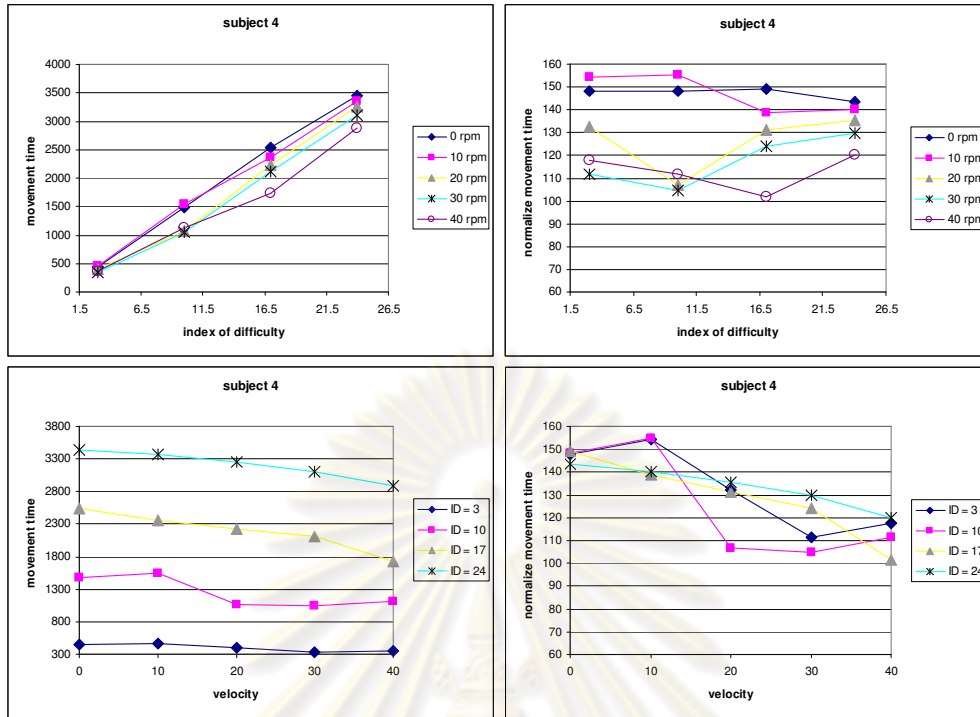
รูปที่ ๓.40 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Pointing task ที่ระดับความยากต่างๆ และความเร็วในการเคลื่อนไหวต่างๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 12

Linear steering task

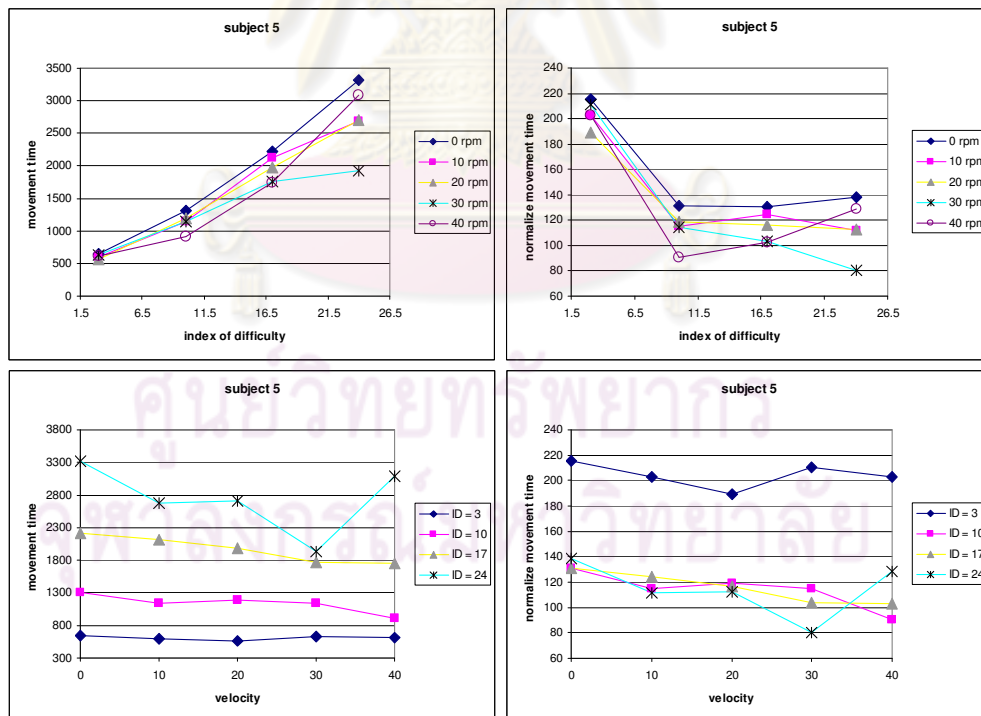


รูปที่ จ.41 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Linear steering task ที่ระดับความยากต่างๆและความเร็วในการเคลื่อนไหวกต่างๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 3 (ซ้ายบน เวลา-ระดับความยาก, ขวาบน เวลามาตรฐาน-ระดับความยาก, ซ้ายล่าง เวลา-ความเร็วในการเคลื่อนไหว, ขวาล่าง เวลามาตรฐาน-ความเร็วในการเคลื่อนไหว)

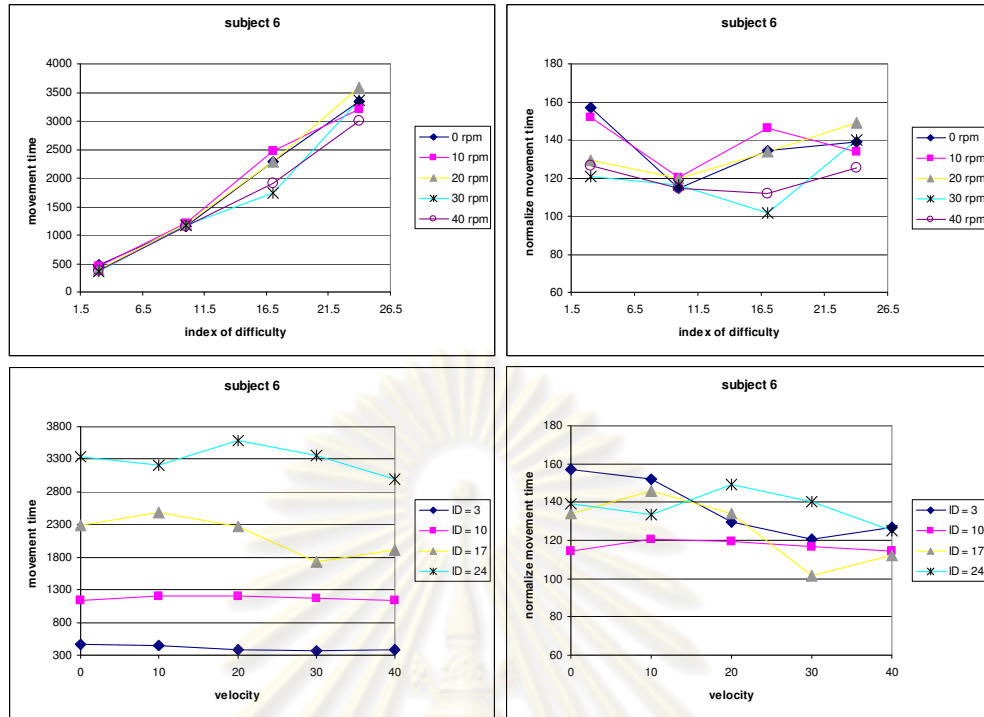
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



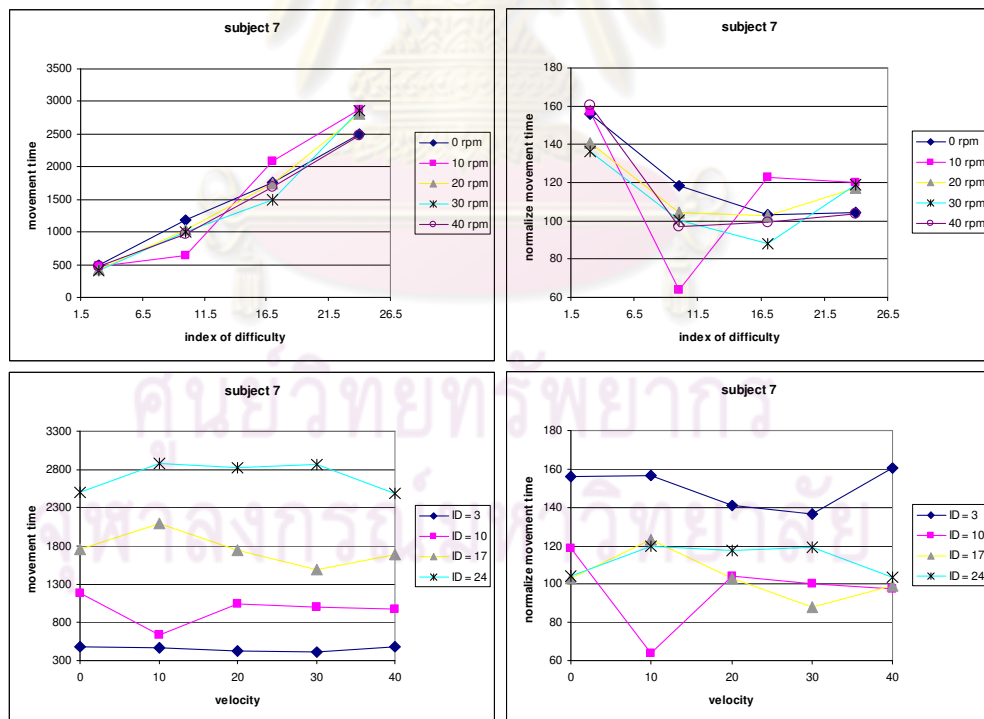
รูปที่ จ.42 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Linear steering task ที่ระดับความยากต่างๆและความเร็วในการเคลื่อนไหวดังๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 4



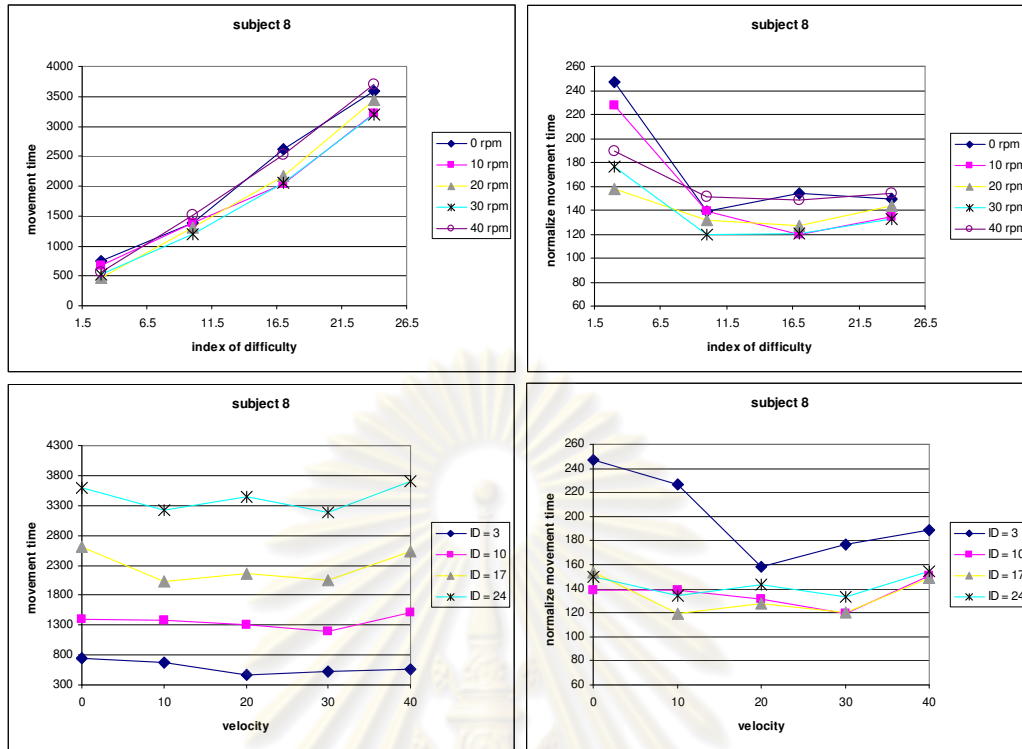
รูปที่ จ.43 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Linear steering task ที่ระดับความยากต่างๆและความเร็วในการเคลื่อนไหวดังๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 5



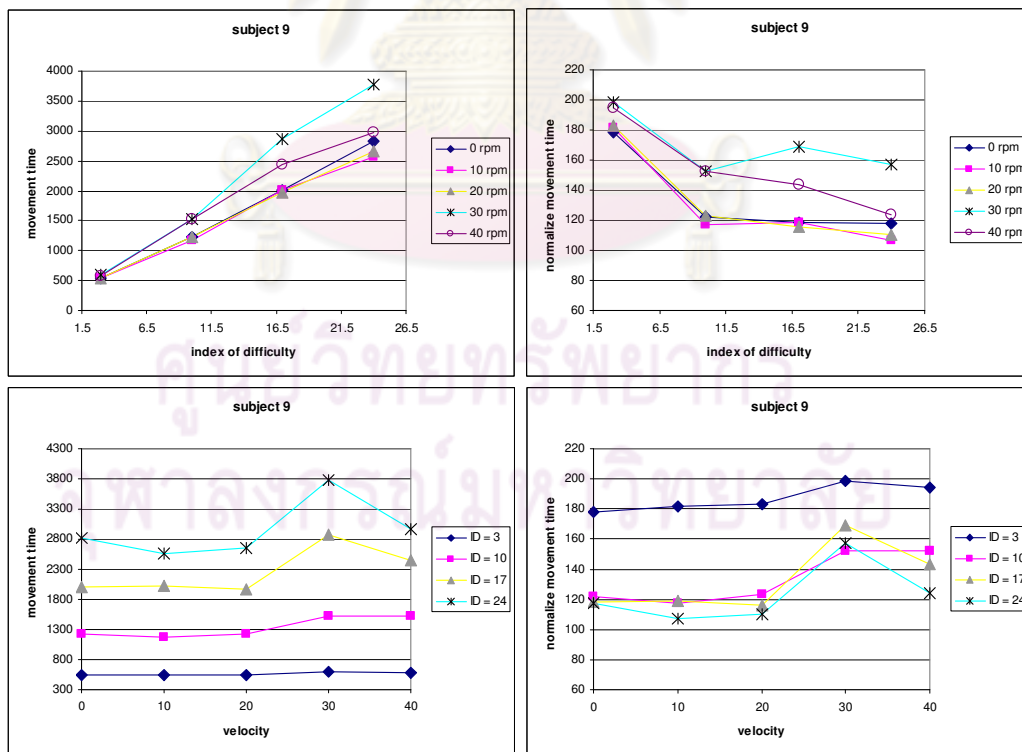
รูปที่ จ.44 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Linear steering task ที่ระดับความยากต่างๆและความเร็วในการเคลื่อนไหวดังๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 6



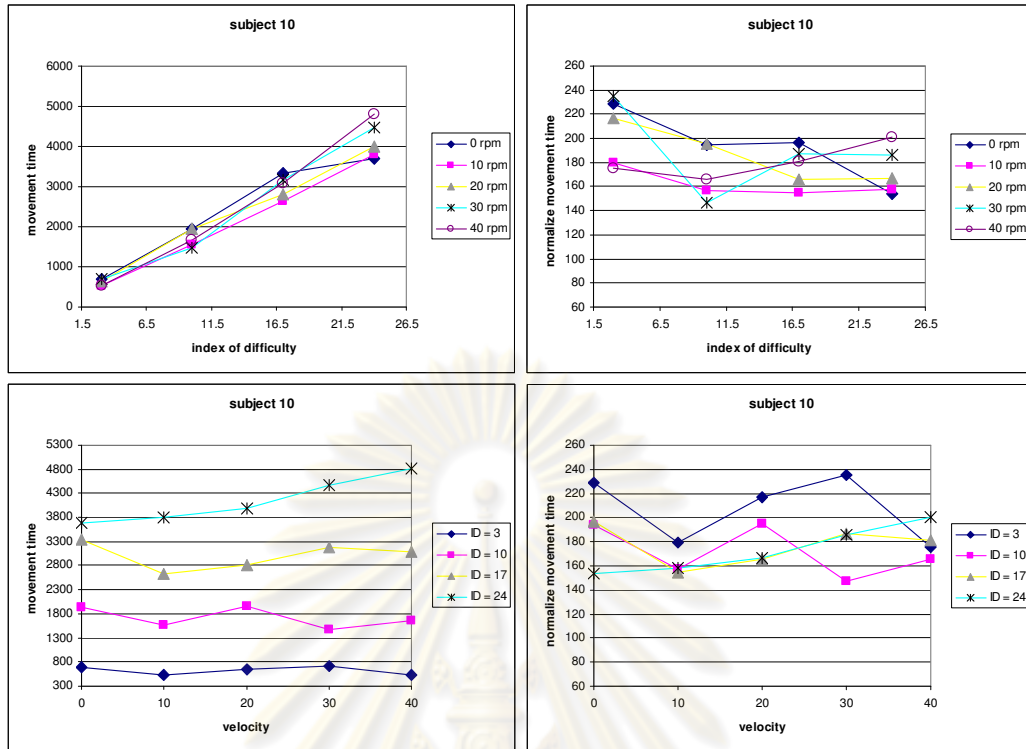
รูปที่ จ.45 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Linear steering task ที่ระดับความยากต่างๆและความเร็วในการเคลื่อนไหวดังๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 7



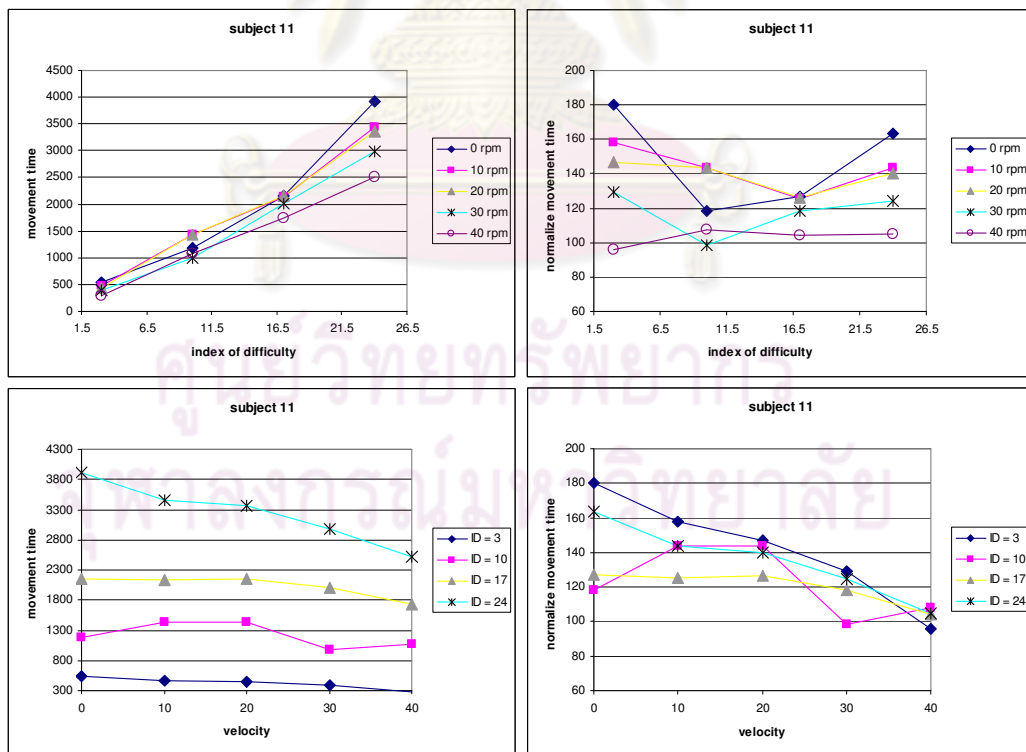
รูปที่ จ.46 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Linear steering task ที่ระดับความยากต่างๆและความเร็วในการเคลื่อนไหวดังๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 8



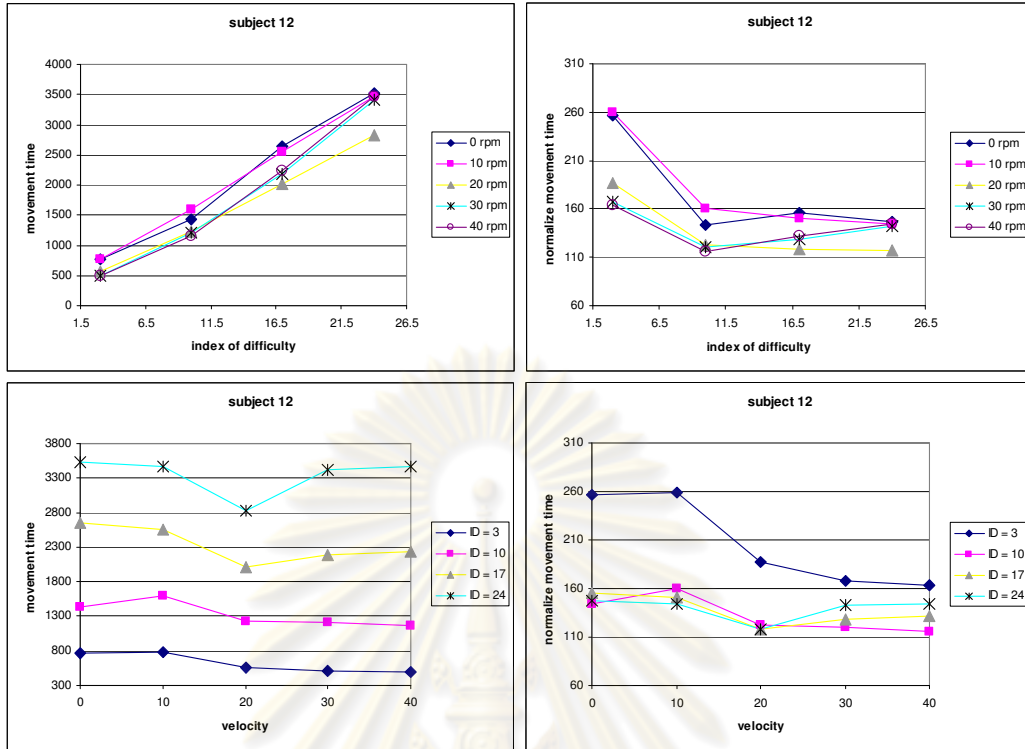
รูปที่ จ.47 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Linear steering task ที่ระดับความยากต่างๆและความเร็วในการเคลื่อนไหวดังๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 9



รูปที่ จ.48 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Linear steering task ที่ระดับความยากต่างๆและความเร็วในการเคลื่อนไหวกต่างๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 10

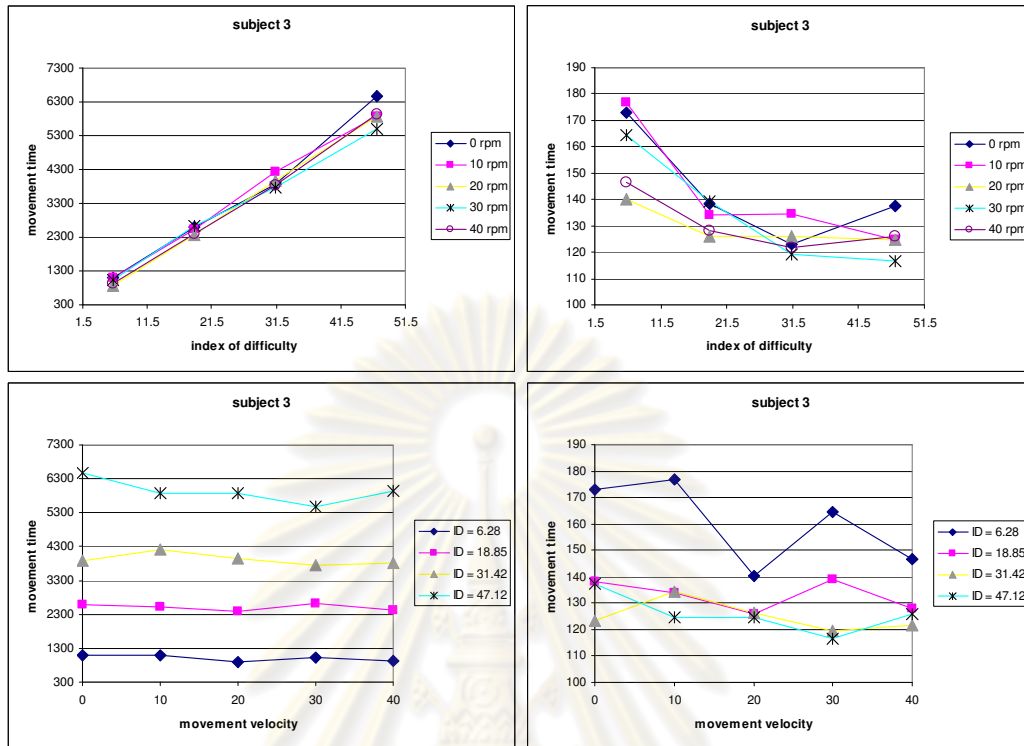


รูปที่ จ.49 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Linear steering task ที่ระดับความยากต่างๆและความเร็วในการเคลื่อนไหวกต่างๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 11

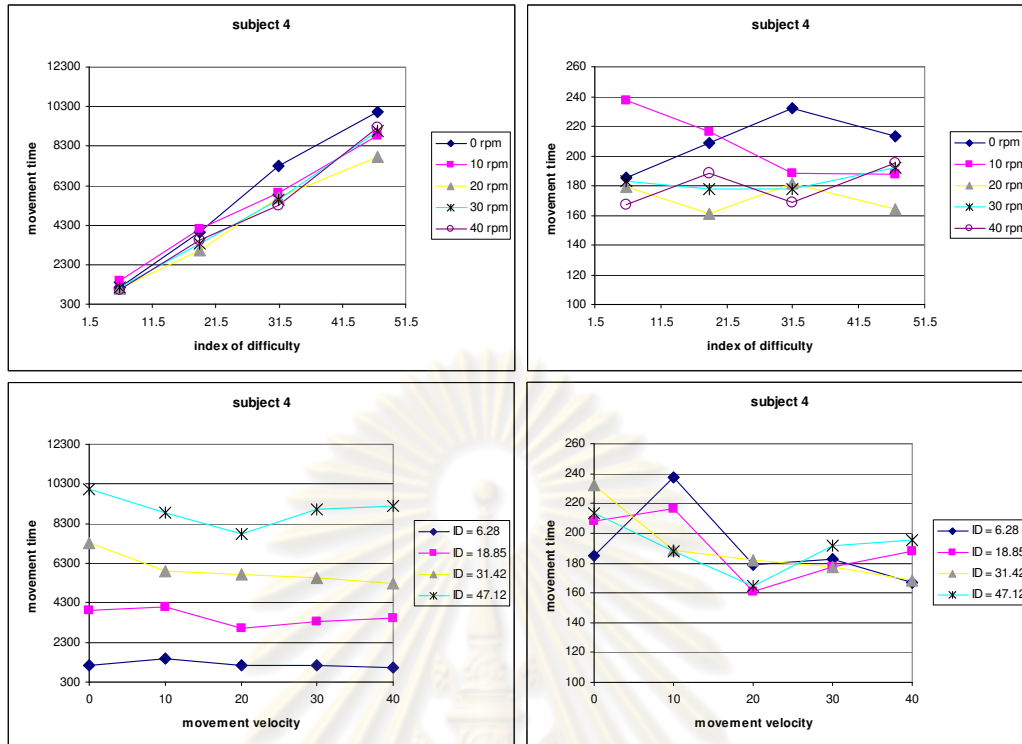


รูปที่ ๓.50 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Linear steering task ที่ระดับความยากต่างๆและความเร็วในการเคลื่อนไหวกต่างๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 12

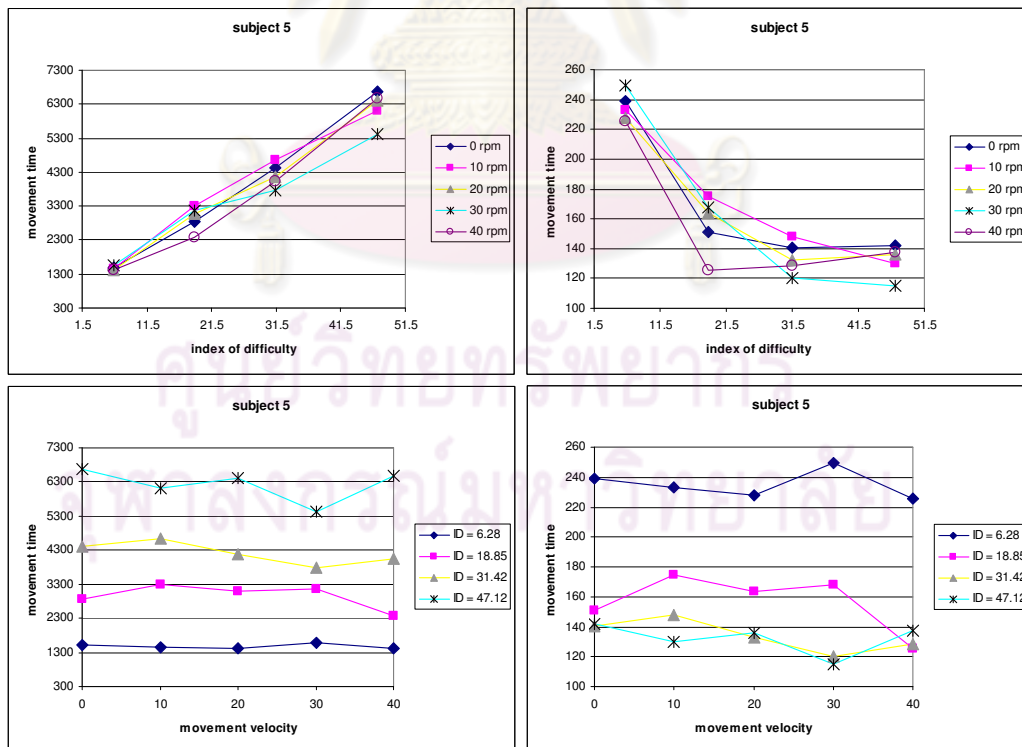
Circular steering task



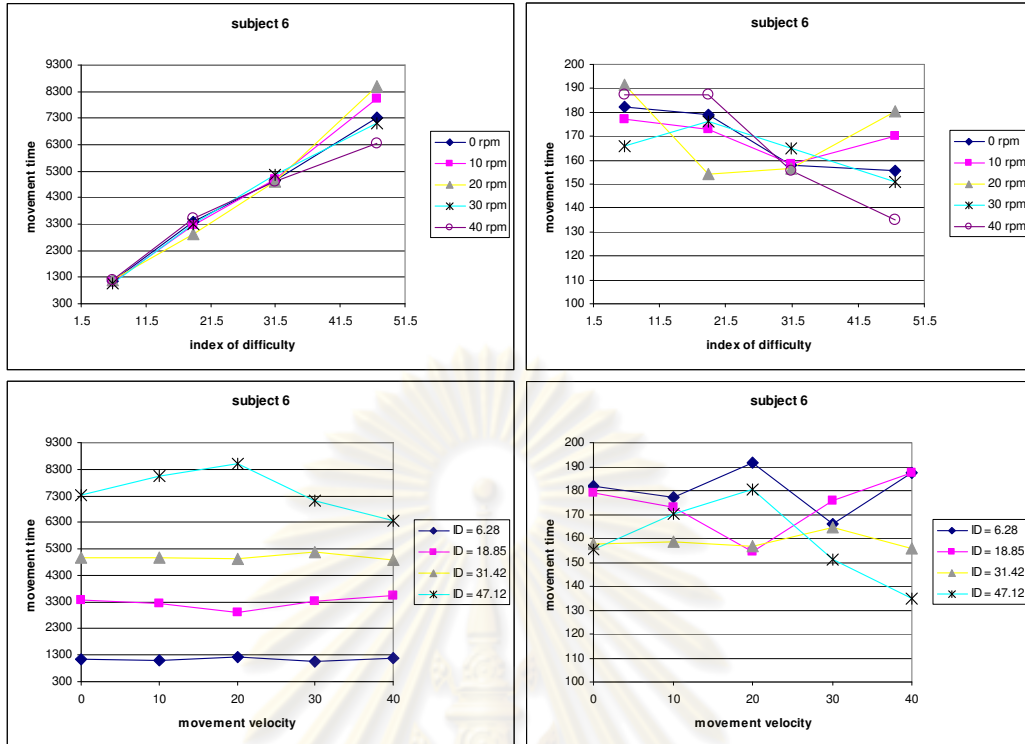
รูปที่ ๓.51 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Circular steering task ที่ระดับความยากต่างๆและความเร็วในการเคลื่อนไหวต่างๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 3 (ชายบน เวลา-ระดับความยาก, ขวาบน เวลามาตรฐาน-ระดับความยาก, ซ้ายล่าง เวลา-ความเร็วในการเคลื่อนไหว, ขวาล่าง เวลามาตรฐาน-ความเร็วในการเคลื่อนไหว)



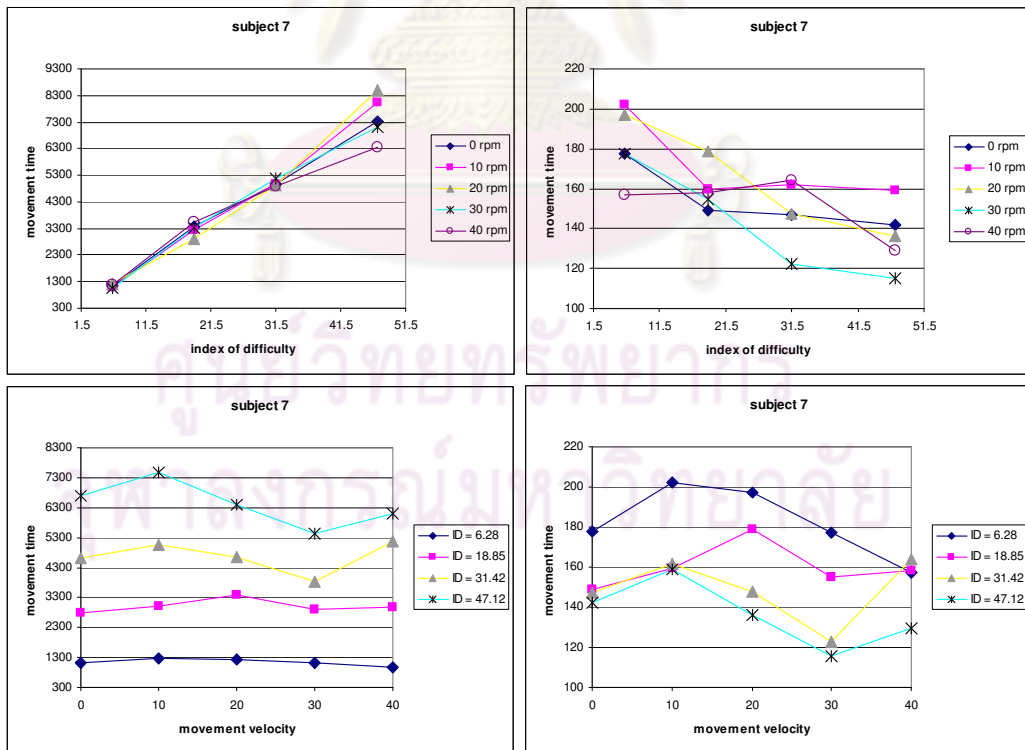
รูปที่ จ.52 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Circular steering task ที่ระดับความยากต่างๆและความเร็วในการเคลื่อนไหวดังๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 4



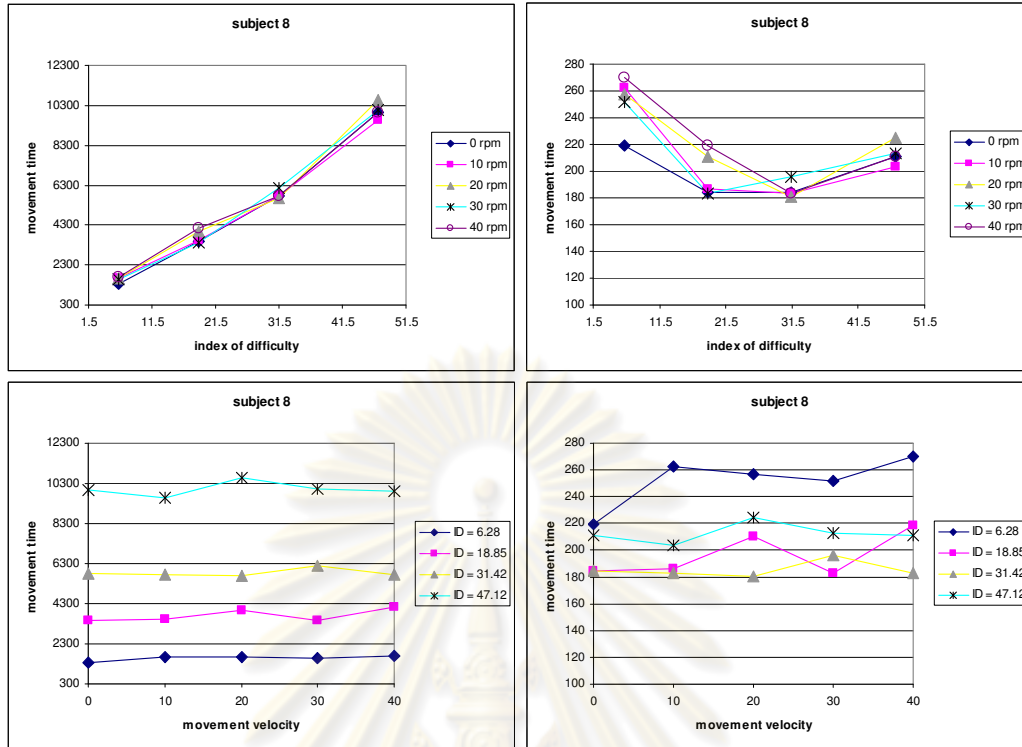
รูปที่ จ.53 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Circular steering task ที่ระดับความยากต่างๆและความเร็วในการเคลื่อนไหวดังๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 5



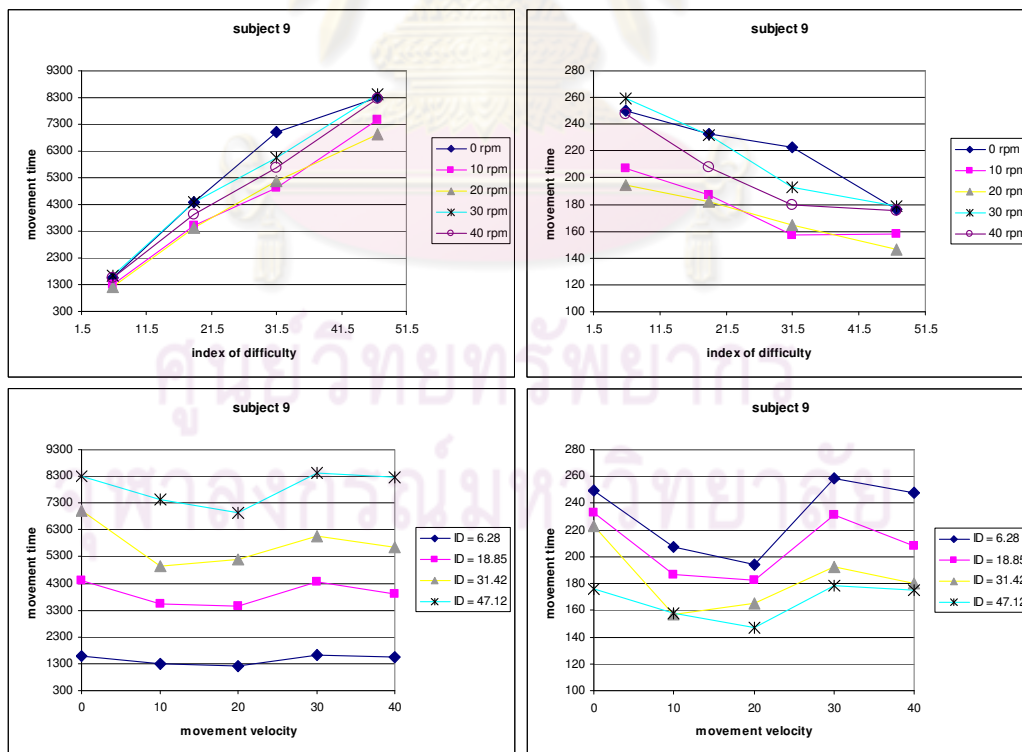
รูปที่ ๓.54 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Circular steering task ที่ระดับความยากต่างๆและความเร็วในการเคลื่อนไหวดังๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 6



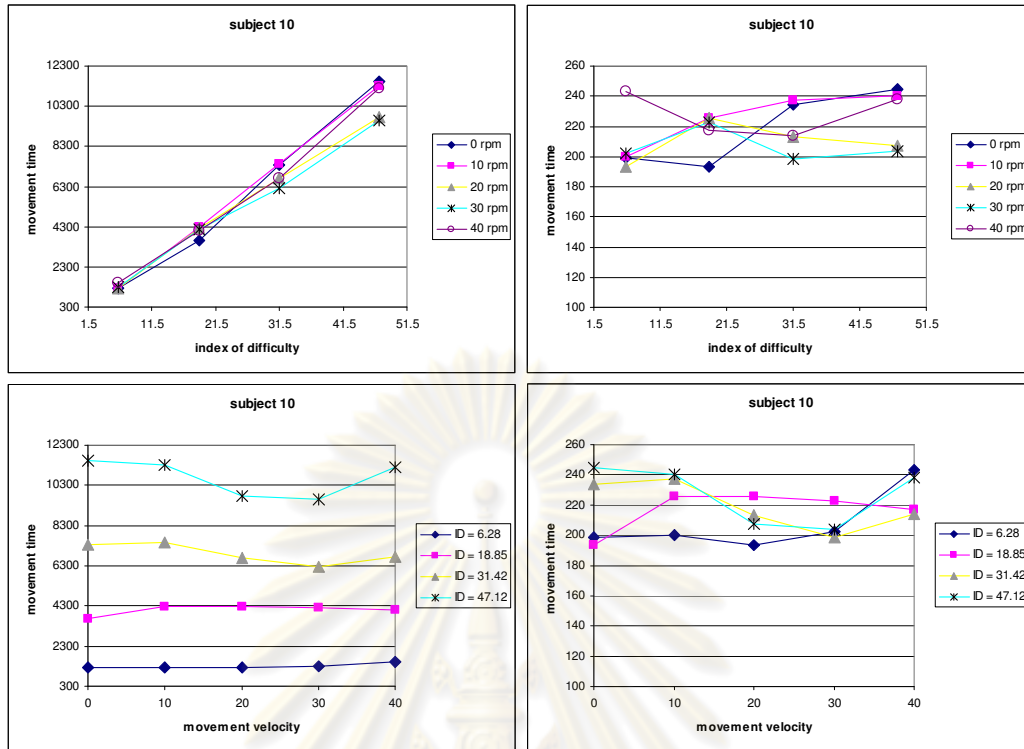
รูปที่ ๓.55 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Circular steering task ที่ระดับความยากต่างๆและความเร็วในการเคลื่อนไหวดังๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 7



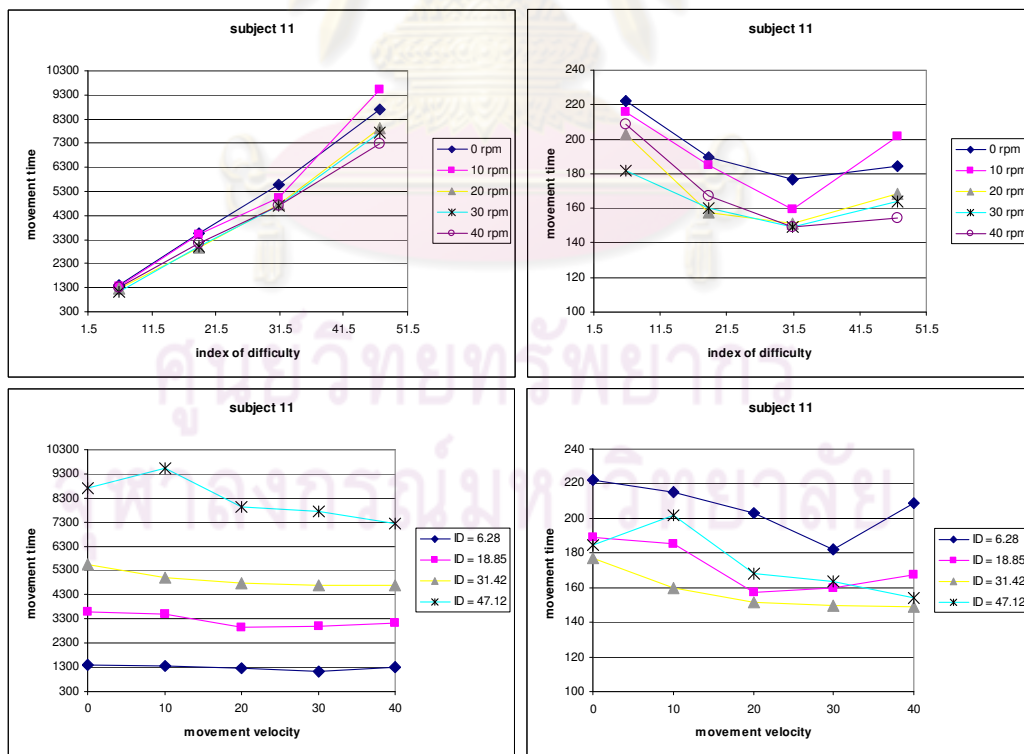
รูปที่ ๓.56 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Circular steering task ที่ระดับความยากต่างๆและความเร็วในการเคลื่อนไหวดังๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 8



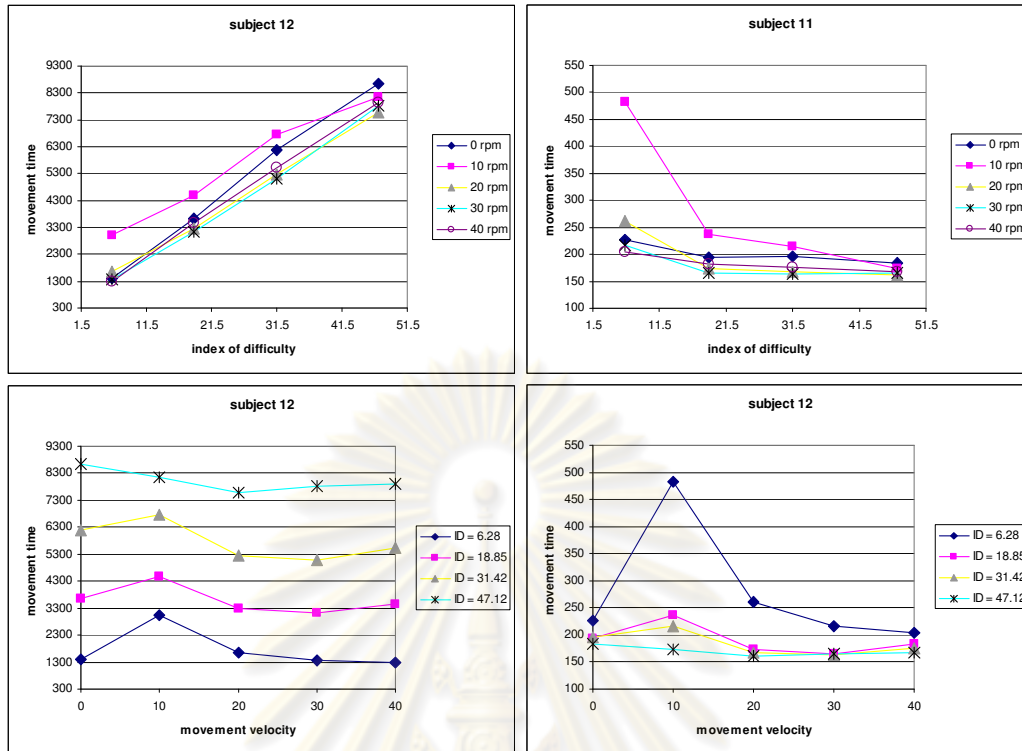
รูปที่ ๓.57 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Circular steering task ที่ระดับความยากต่างๆและความเร็วในการเคลื่อนไหวดังๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 9



รูปที่ ๓.58 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Circular steering task ที่ระดับความยากต่างๆและความเร็วในการเคลื่อนไหวกต่างๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 10



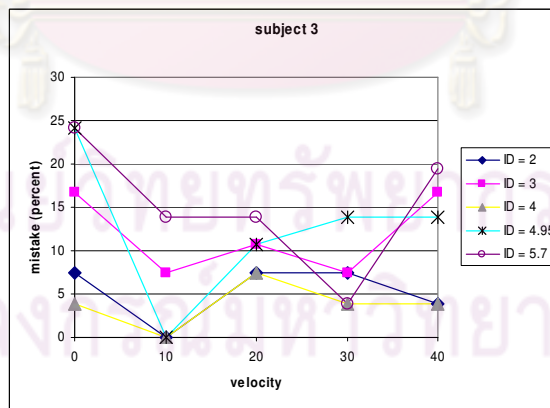
รูปที่ ๓.59 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Circular steering task ที่ระดับความยากต่างๆและความเร็วในการเคลื่อนไหวกต่างๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 11



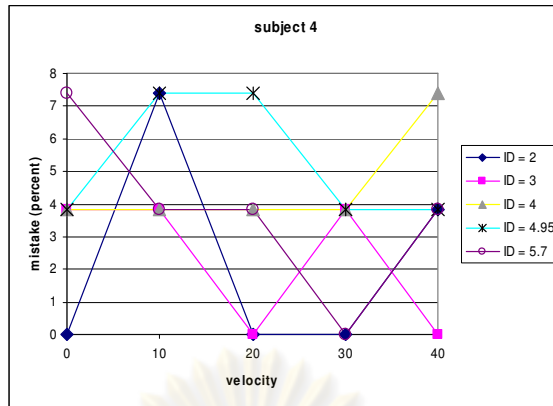
รูปที่ ๓.60 เวลาและเวลามาตรฐาน (ms) ที่ใช้ในการทำงาน Circular steering task ที่ระดับความยากต่างๆและความเร็วในการเคลื่อนไหวกต่างๆ (รอบต่อนาที) สำหรับผู้ทดสอบคนที่ 12

ความแม่นยำในการทำงาน

Pointing task

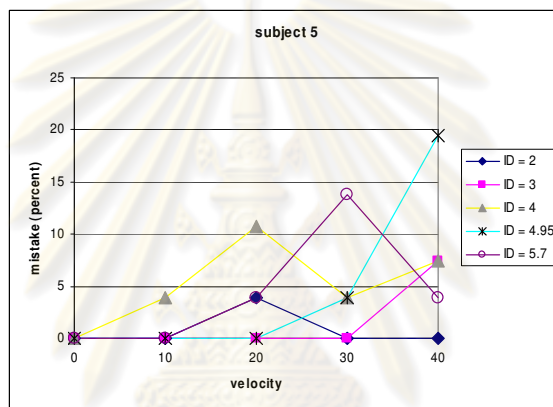


รูปที่ ๓.61 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Pointing task ของผู้ทดสอบคนที่ 3



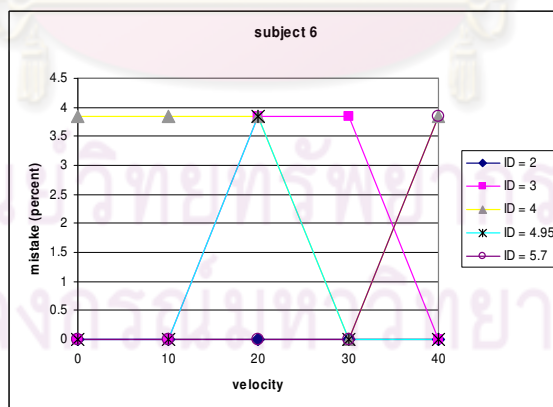
รูปที่ ๖.๖๒ จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Pointing task ของผู้ทดสอบ

คนที่ 4



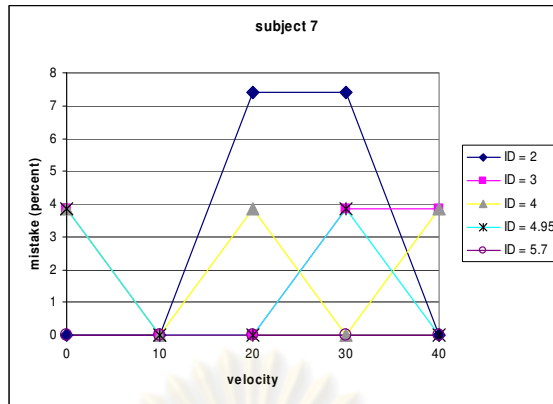
รูปที่ ๖.๖๓ จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Pointing task ของผู้ทดสอบ

คนที่ 5



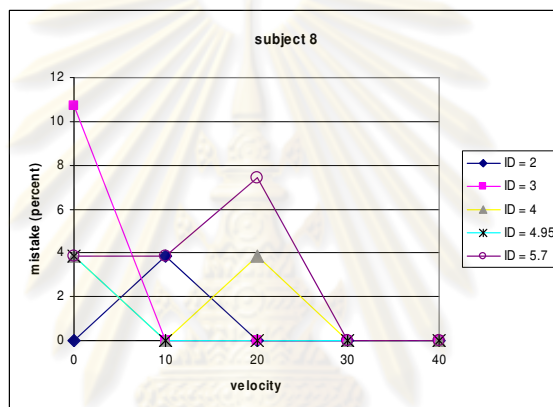
รูปที่ ๖.๖๔ จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Pointing task ของผู้ทดสอบ

คนที่ 6



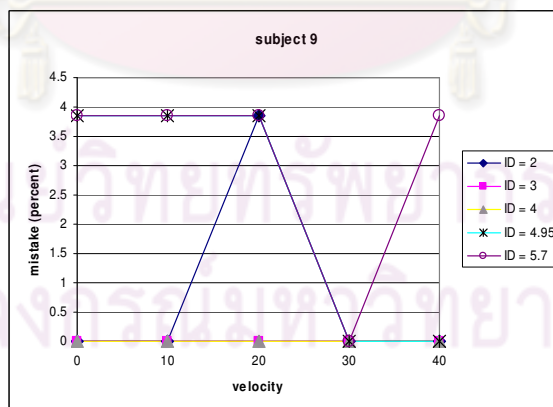
รูปที่ จ.65 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Pointing task ของผู้ทดสอบ

คนที่ 7



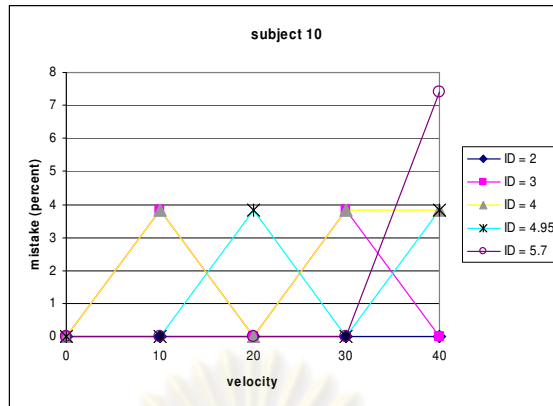
รูปที่ จ.66 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Pointing task ของผู้ทดสอบ

คนที่ 8

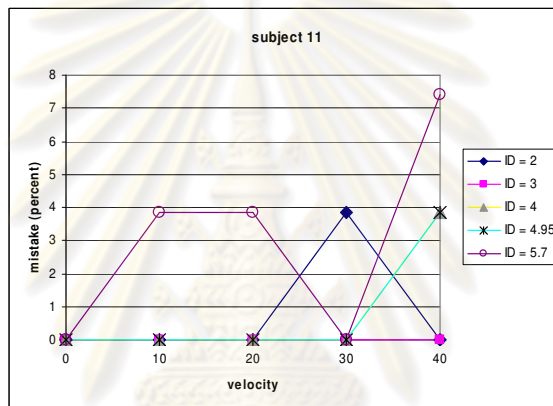


รูปที่ จ.67 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Pointing task ของผู้ทดสอบ

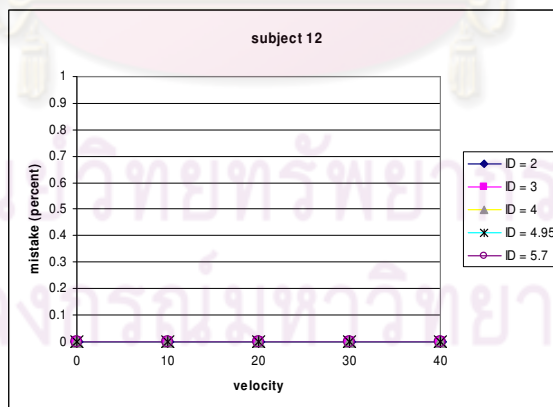
คนที่ 9



รูปที่ จ.68 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Pointing task ของผู้ทดสอบ คนที่ 10

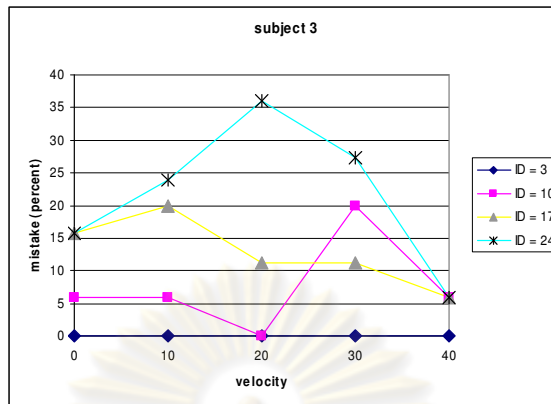


รูปที่ จ.69 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Pointing task ของผู้ทดสอบ คนที่ 11



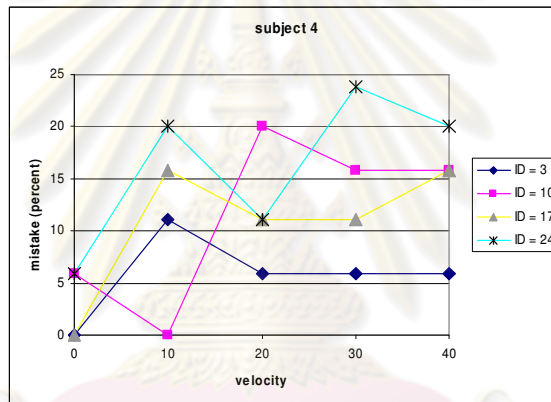
รูปที่ จ.70 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Pointing task ของผู้ทดสอบ คนที่ 12

Linear steering task



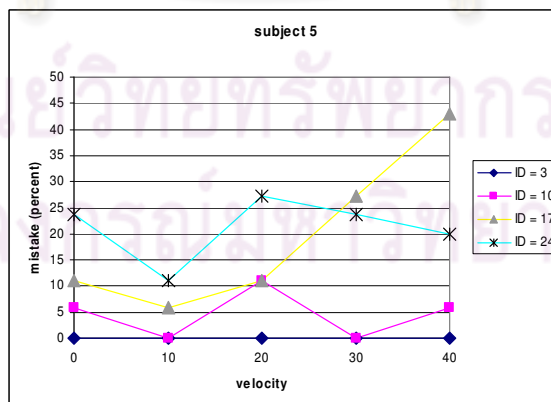
รูปที่ ๗.๗๑ จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Linear steering task ของผู้

ทดสอบคนที่ 3



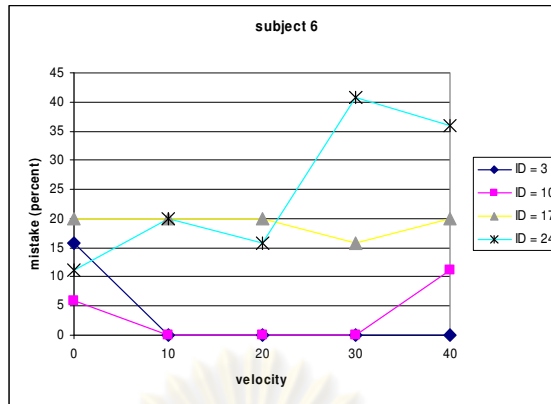
รูปที่ ๗.๗๒ จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Linear steering task ของผู้

ทดสอบคนที่ 4

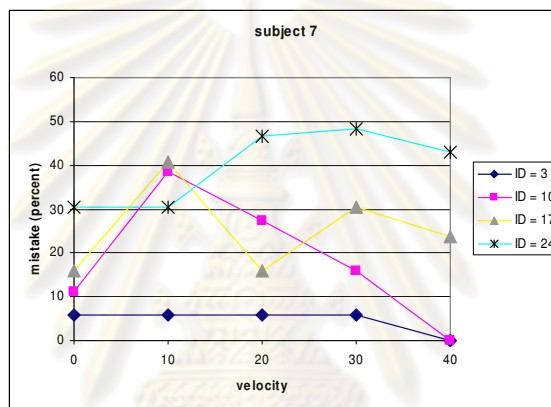


รูปที่ ๗.๗๓ จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Linear steering task ของผู้

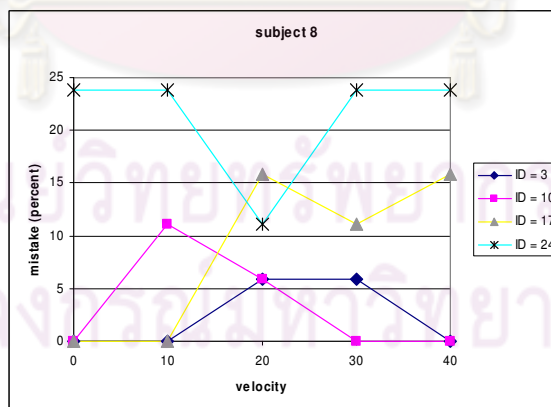
ทดสอบคนที่ 5



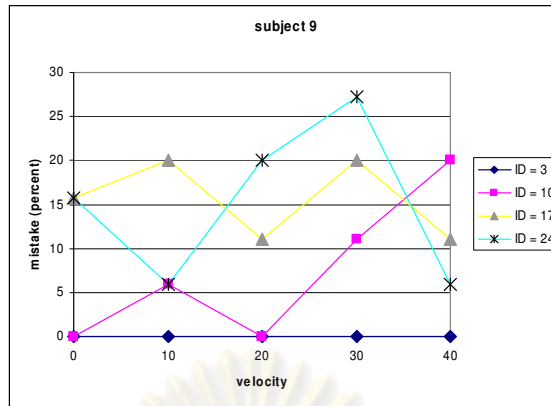
รูปที่ ๗.๗๔ จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Linear steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 6



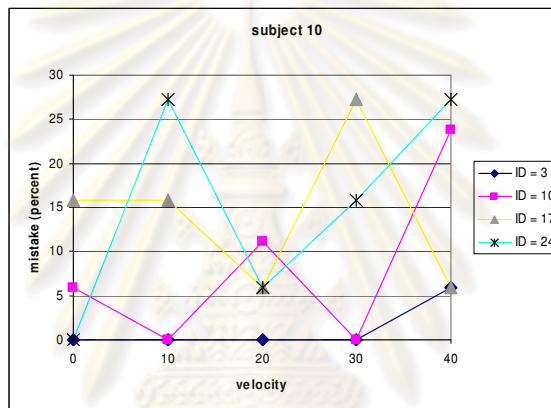
รูปที่ ๗.๗๕ จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Linear steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 7



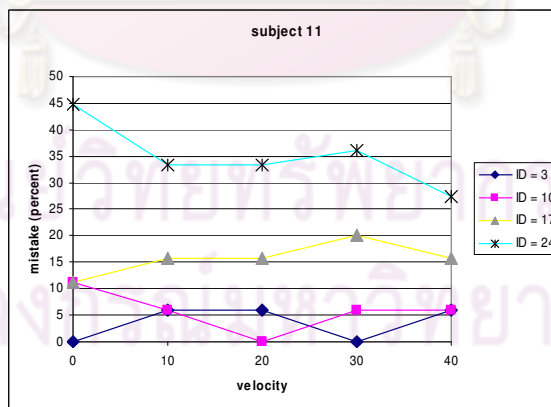
รูปที่ ๗.๗๖ จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Linear steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 8



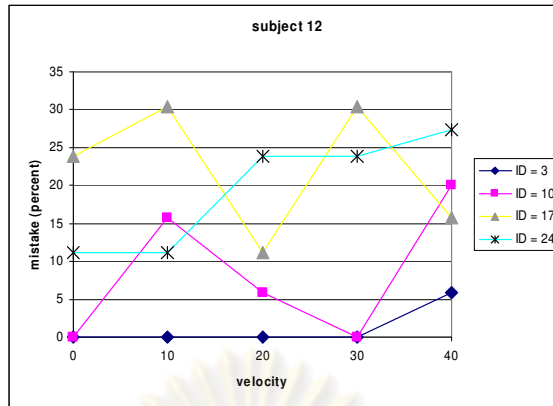
รูปที่ ๗.๗๗ จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Linear steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 9



รูปที่ ๗.๗๘ จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Linear steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 10

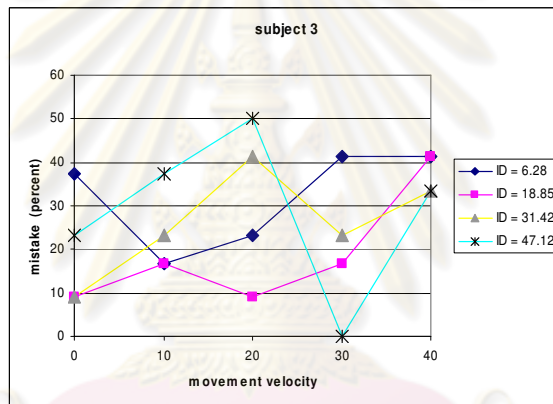


รูปที่ ๗.๗๙ จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Linear steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 11

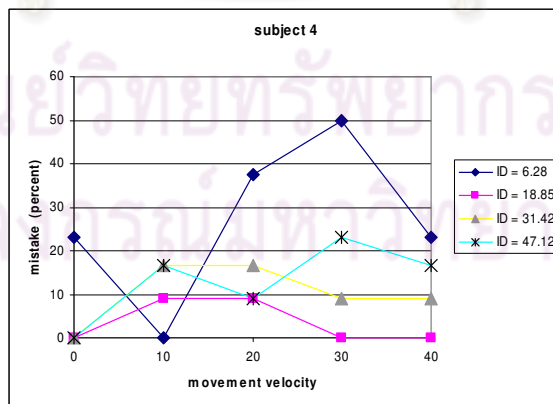


รูปที่ ๘.80 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Linear steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 12

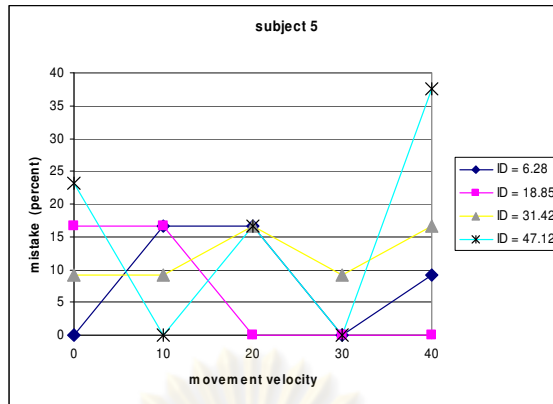
Circular steering task



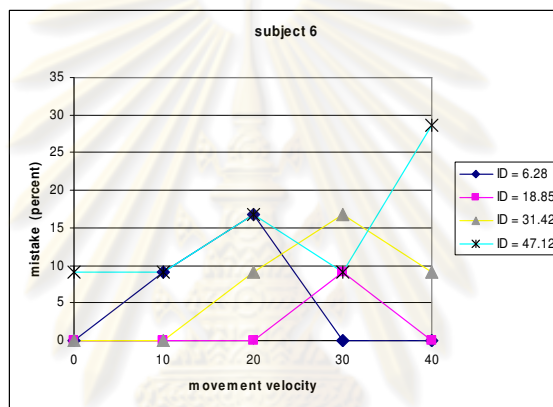
รูปที่ ๘.81 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 3



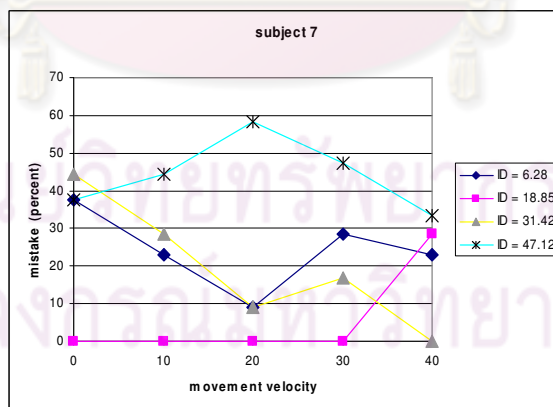
รูปที่ ๘.82 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 4



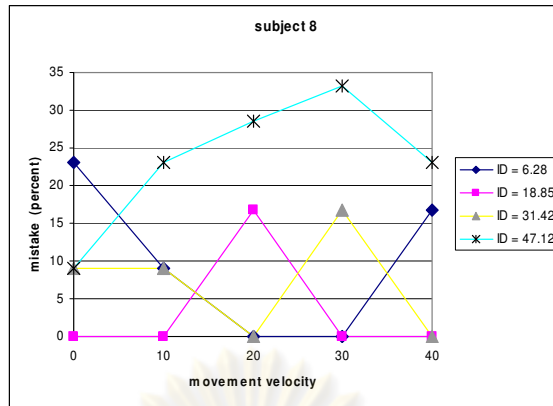
รูปที่ จ.83 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 5



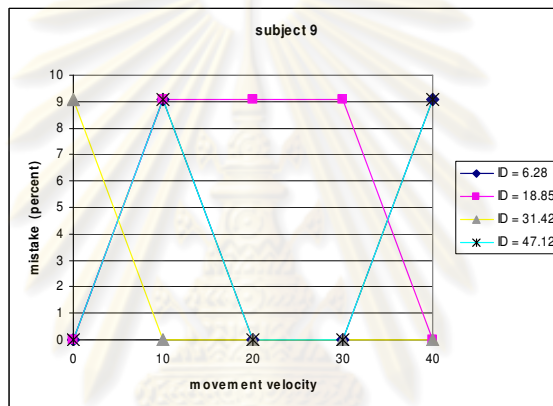
รูปที่ จ.84 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 6



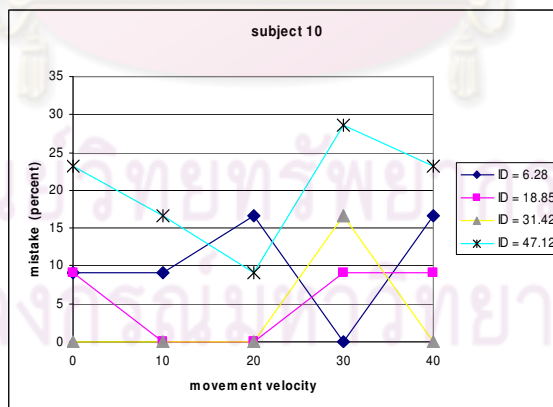
รูปที่ จ.85 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 7



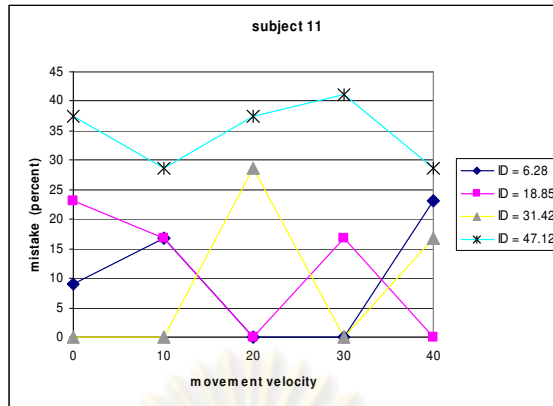
รูปที่ ๘.86 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 8



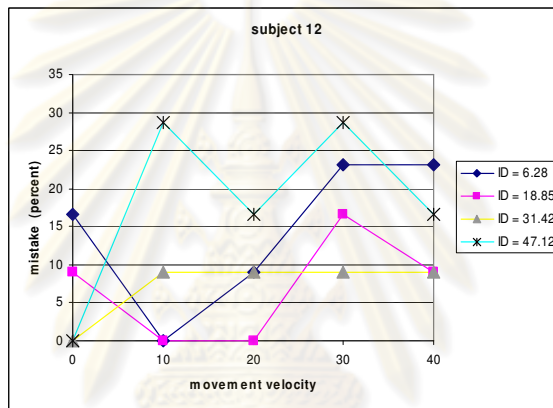
รูปที่ ๘.87 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 9



รูปที่ ๘.88 จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 10



รูปที่ ๘.๘๙ จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 11



รูปที่ ๘.๙๐ จำนวนครั้งที่ทำงานไม่สำเร็จ คิดเป็นร้อยละในการทำงาน Circular steering task ของผู้ทดสอบคนที่ 12

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การศึกษาประสิทธิภาพการทำงานเมื่อเคลื่อนที่ร่างกายส่วนล่าง

Study of working efficiency under lower extremity movement

วิทยา วัฒนสุโกประสิทธิ์ และ ปกัสสร พุ่งธรรมสาร

ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทร 0-2218-6588 โทรสาร 0-2218-6588 อีเมลล์ witaya.w@chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการทำงานของมนุษย์ขณะที่ร่างกายส่วนล่างของมนุษย์ถูกเคลื่อนที่ด้วยอุปกรณ์ภายนอก งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มการเคลื่อนไหวแก่ร่างกายกับประสิทธิภาพการทำงานและเพื่อเป็นพื้นฐานในการสร้างอุปกรณ์เพิ่มการเคลื่อนที่เพื่อประโยชน์เชิงสุขภาพในขณะที่ยังทำงานตามปกติ ส่วนหนึ่งของงานวิจัยคือการทดสอบโดยให้อาสาสมัครนั่งทำงานที่กำหนดภายใต้การเคลื่อนที่ที่ถูกควบคุมโดยอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น งานที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพในโครงการวิจัยนี้เป็นงานพื้นฐานที่อ้างอิงมาตรฐาน Fitts' law และ steering law นั่นคือ pointing task, linear steering task และ circular steering task ในแต่ละรอบของการทดสอบอุปกรณ์ดังกล่าวจะควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของร่างกายส่วนล่างให้คงที่ที่ความเร็วค่าหนึ่ง จากการทดสอบอาสาสมัครอายุระหว่าง 25-40 ปี สรุปผลจากการทดลองได้ว่า ในงานที่ง่ายและยากปานกลาง การเคลื่อนไหวร่างกายด้วยความเร็วต่ำและปานกลาง ไม่มีผลหรือมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของมนุษย์เพียงเล็กน้อย สำหรับงานที่ยาก การเพิ่มการเคลื่อนที่ขาให้กับผู้ทดสอบจะทำให้ผู้ทดสอบมีประสิทธิภาพการทำงานลดลงเล็กน้อย

Abstract

The objective of this research is to study the relation of working efficiency of human when lower parts of his/her body subjected to additional motion exerted by an external device. In this experiment, the volunteers will perform the defined tasks on a table and their lower extremities are moved by special external device. Based on standard definitions of Fitts' law and Steering law, these tasks consist of a pointing task, a linear steering task, and a circular steering task. In each experiment, the device will control velocity of lower extremity at constant speed. From the experimental results, we can conclude that, at low and medium velocities, the working efficiencies are approximately the same for pointing and linear steering tasks. In addition, at high speed, the working efficiency is slightly lower for circular steering task.

1. บทนำ

ปัจจุบันลักษณะการทำงานของบุคคลทั่วไปทั้งในบริษัทหรือในหน่วยงานต่าง ๆ มักเป็นการนั่งทำงานบนโต๊ะทำงานและโดยมากใช้เวลา นั่งทำงานนานในแต่ละวัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานมีการพัฒนาออกแบบอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่ออำนวยความสะดวกให้คนสามารถทำงานติดต่อกันได้นานขึ้น อย่างไรก็ตามการนั่งติดต่อกันเป็นเวลานานก่อให้เกิดผลเสียแก่ร่างกาย เช่น โลหิตไหลเวียนน้อย มีอาการเหน็บชา เป็นต้น ในอดีตมีการแก้ปัญหานี้ด้วยการประชาสัมพันธ์ให้บุคคลที่นั่งทำงานเป็นเวลานานมีการเปลี่ยนอิริยาบถเป็นระยะ ๆ แต่วิธีการนี้ไม่ได้ช่วยแก้ปัญหาให้ผู้ที่มีความจำเป็นต้องนั่งทำงานเป็นเวลานาน และที่สำคัญบุคคลวัยทำงานเหล่านี้ส่วนใหญ่ยังคงจะเลयरการออกกำลังกายเนื่องจากเหนื่อยล้าจากการทำงาน เดินทาง และไม่มีเวลาเพียงพอ

งานวิจัยนี้เล็งเห็นถึงแนวทางใหม่ในการแก้ปัญหานี้กล่าวคือ การเพิ่มการเคลื่อนไหวให้กับร่างกายในขณะที่มนุษย์กำลังทำงาน ซึ่งมีผลดีเชิงสุขภาพต่อร่างกายเป็นอันมาก เช่น เพิ่มความยืดหยุ่นของร่างกาย และ เพิ่มการไหลเวียนของโลหิตให้ดียิ่งขึ้น และอื่น ๆ เป็นต้น

อย่างไรก็ตามไม่พบงานวิจัยที่สรุปได้ว่า การเพิ่มการเคลื่อนไหวให้กับร่างกายมีผลกับประสิทธิภาพการทำงานมากน้อยเพียงใด ดังนั้นเป้าหมายแรกของการวิจัยนี้คือการหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำงานของมนุษย์เมื่อร่างกายส่วนล่างถูกเคลื่อนที่ไหว การหาความสัมพันธ์ดังกล่าวในงานวิจัยนี้จะใช้การทดสอบโดยให้อาสาสมัครทำงานที่กำหนดพร้อมกันกับวางเท้าลงบนอุปกรณ์สร้างการเคลื่อนที่ อุปกรณ์ดังกล่าวจะควบคุมขาให้เคลื่อนที่ระหว่างการทำงาน งานที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพการทำงานในงานวิจัยนี้ต้องเป็นงานที่เป็นมาตรฐานและเป็นงานที่คนทั่วไปสามารถทำได้

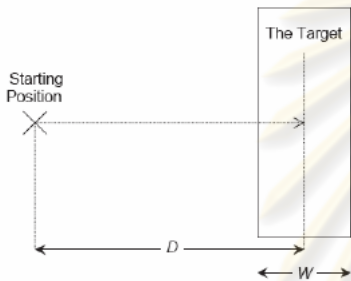
ในเบื้องต้นได้อธิบายถึงมาตรฐานการประเมินประสิทธิภาพของการทำงานของมนุษย์ประกอบด้วย Fitts' law และ Steering law ซึ่งเป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรมและการวิจัย จากนั้นจะอธิบายถึงวิธีการทดลอง และงานต่าง ๆ ที่ทำได้ทำการทดสอบ อภิปรายผลการทดลอง และ สรุปผล

2. ทฤษฎีพื้นฐาน

ประเด็นสำคัญประการหนึ่งคือการวัดประสิทธิภาพในการทำงานของมนุษย์ ในงานวิจัยนี้ได้คำนึงถึงวิธีการที่เป็นมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับในงานวิจัยในวงกว้าง

มาตรฐานที่เลือกใช้ในการประเมินการทำงานสำหรับงานวิจัยนี้คือ Fitts' law[1] และ Steering law[3] เนื่องจาก Fitts' law และ Steeringlaw เป็นมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานประเภท human computer interface (HCI) ซึ่งจะใช้กฎทั้งสองอย่างกว้างขวาง

Fitts' law ใช้ในการประเมินการเคลื่อนที่ส่วนของร่างกายจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งโดยคำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการทำงาน พิจารณารูปที่ 1 เราเรียกลักษณะงานนี้ว่า pointing task กฎนี้อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่กับความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งเป้าหมายใน 1 มิติ โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ



รูปที่ 1 รูปแสดงลักษณะงาน pointing task[8]

$$ID = \log\left(\frac{D}{W} + 1\right) \tag{1}$$

$$MT = a + bID$$

ID=index of difficulty

D=ระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้นเคลื่อนที่ไปจนถึงเป้าหมาย

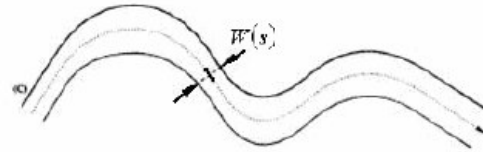
W= ขนาดความกว้างของเป้าหมายในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่

MT=เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่

a , b = regression coefficient

ปัจจุบัน Fitts' law เป็นมาตรฐานสำคัญสำหรับการเปรียบเทียบอุปกรณ์รับข้อมูลของคอมพิวเตอร์ที่ไม่ใช่คีย์บอร์ด [5, 8] นอกจากนี้ Fitts' law ยังถูกใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบการทำงานภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันอีกด้วย [2, 6, 7] จากสมการที่ 1 ID index of difficulty คือดัชนีความยากของงาน ตัวเลขยิ่งสูง(งานยากขึ้น) ยิ่งต้องใช้เวลาในการเคลื่อนที่ (MT) นานขึ้น

Steering law เป็นกฎที่พัฒนามาจาก Fitts' law ด้วยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ใช้ในการประเมินการเคลื่อนที่ส่วนของร่างกายจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งตามเส้นทางที่กำหนดคล้ายกับการลากเส้นตามจุดไขปลา ดังแสดงในรูปที่ 2 ที่เรียกว่า Steering task กฎนี้อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่กับความคลาดเคลื่อนไปจากเส้นทางที่กำหนดโดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ



รูปที่ 2 รูปแสดงลักษณะงาน steering task[3]

$$ID = \int_0^A \frac{ds}{W(s)} \tag{2}$$

$$MT = a + bID$$

ID=index of difficulty

ds=ระยะสั้นๆที่เคลื่อนที่ตามเส้นทาง

W= ขนาดความกว้างของเป้าหมายในทิศทางตั้งฉากกับ ds

MT=เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่

a, b = regression coefficient

นอกจากนี้ Steering law สามารถอธิบายในรูปของ local form กล่าวคือความเร็วในการเคลื่อนที่ ณ ขณะใด ๆแปรผันตามความกว้างของเส้นทางที่กำลังเคลื่อนที่ไป โดยมีข้อแม้ว่าความเร็วนั้นไม่ใช่ความเร็วสูงสุดที่กระทำได้ Steering law ถูกใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบการทำงานภายใต้สภาวะการทำงานที่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับ Fitts' law [4, 9] สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานนั้น ทั้ง Fitts' law และ steering law จะใช้ค่า IP : index of performance หรือ ดรรชนีประสิทธิภาพ

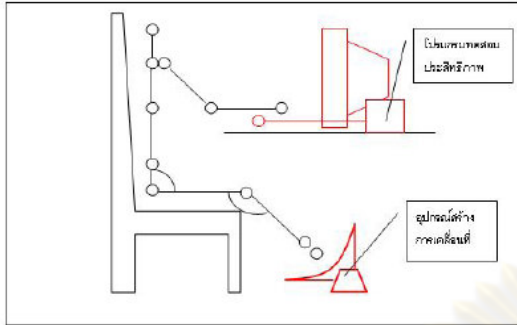
$$IP = ID/MT \tag{3}$$

กล่าวโดยสรุป Fitts' law เป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ กับ ระยะทางและขนาดของเป้าหมาย หากระยะทางมากขึ้นแล้วเป้าหมายมีขนาดเล็กเวลาที่ใช้ในการทำงานจะเพิ่มขึ้น ส่วน steering law เป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ กับ ระยะห่างและความกว้างของเส้นทาง หากระยะทางมากขึ้นและความกว้างของเส้นทางแคบลงเวลาที่ใช้ในการทำงานก็จะเพิ่มขึ้น ในกรวิจัยนี้จะใช้มาตรฐานทั้งสองเป็นหลักในการทดสอบ

3. วิธีการทดลอง

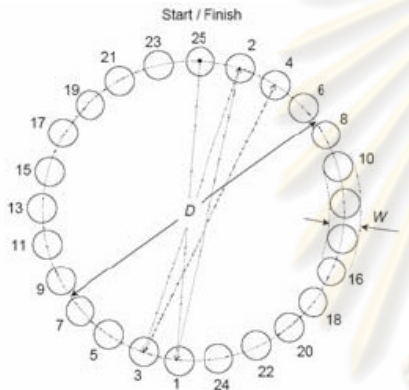
เราทำการศึกษาผลกระทบของการเคลื่อนที่ร่างกายส่วนล่างต่อประสิทธิภาพการทำงาน ในการทดสอบอาสาสมัคร 5 คน ผู้ทดสอบจะทำงานที่กำหนดบนคอมพิวเตอร์พร้อมกับวางเท้าบนอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 3 ในการทดสอบเบื้องต้นอุปกรณ์ควบคุมจะบังคับให้เท้าของผู้ทดสอบเคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี 10 เซนติเมตร ในระนาบแนวตั้งที่ตั้งฉากกับลำตัวหรือ sagittal plane การควบคุมอุปกรณ์ใช้เซอร์โวมอเตอร์ยี่ห้อ parker รุ่น IBE232 ควบคุมความเร็วให้คงที่ระหว่างการทดลองและเปลี่ยนความเร็วในแต่ละรอบของการทดลอง ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบมี 5 ค่าคือ 0, 20, 40, 60 และ 80 รอบต่อ

หน้าที่ งานที่ใช้ทดสอบในการวิจัยนี้จะอ้างอิงตามมาตรฐาน Fitts' law และ steering law คือ 1 pointing task 2 linear steering task และ 3 circular steering task



รูปที่ 3 รูปแสดงลักษณะการทำงานของผู้เข้าทดสอบ

3.1 Pointing task



รูปที่ 4 รูปแสดงลักษณะงาน multidirectional pointing task ของ ISO 9241-9

3.2 Linear steering task

Steering task เป็นงานที่ผู้ทดสอบจะต้องเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดไว้ Linear steering task ที่ใช้ในการทดสอบนี้จะมีเส้นทางที่กำหนดให้เป็นเส้นตรงในทิศทาง บน ล่าง ซ้าย ขวา ผู้ทดสอบจะต้องคลิกเมาส์ซ้ายบนพื้นที่เริ่มต้น (ดังแสดงในรูปที่ 5) แล้วกดค้างไว้ จากนั้นเลื่อนเมาส์ตามเส้นทางโดยไม่ให้สัมผัสกับขอบด้านข้าง จนกระทั่งเลื่อนเมาส์ข้ามเส้นสิ้นสุด (เส้นสีแดงที่จะปรากฏขึ้นเมื่อคลิกเมาส์บนพื้นที่เริ่มต้น) แล้วจึงปล่อยปุ่มเมาส์ซ้าย ระดับความยากของงานที่ให้ทดสอบนี้อยู่ในช่วง ID = 3-25



รูปที่ 5 รูปแสดงงาน linear steering task ที่เขียนขึ้น (ID=3)

3.3 Circular steering task

Circular steering task ที่ใช้ในการทดสอบนี้จะมีเส้นทางที่กำหนดให้เป็นเส้นโค้งรัศมีคงที่ ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา ผู้ทดสอบจะต้องคลิกเมาส์ซ้ายบนพื้นที่เริ่มต้น กดค้างไว้ แล้วเคลื่อนเมาส์ตามทิศทางลูกศรไปตามเส้นทางจนผ่านเส้นสิ้นสุด แล้วจึงปล่อยปุ่มเมาส์ ระดับความยากของงานที่ให้ทดสอบอยู่ในช่วง ID=7.8-58.5



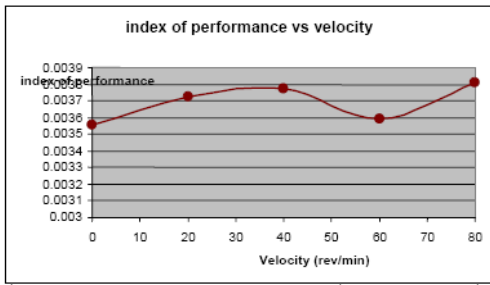
รูปที่ 5 รูปแสดงงาน circular steering task ที่เขียนขึ้น (ID=7.8)

งานทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบถูกเขียนด้วยโปรแกรม visual C++ 2005 โปรแกรมถูกแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ขนาด 17 นิ้ว ที่ความละเอียด 1024*768 พิกเซล คอมพิวเตอร์จะบันทึกเวลาที่ใช้ในการทำการทดสอบให้สำเร็จ และจำนวนครั้งที่ไม่ผ่านการทดสอบ ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วย two way ANOVA (analysis of variant)

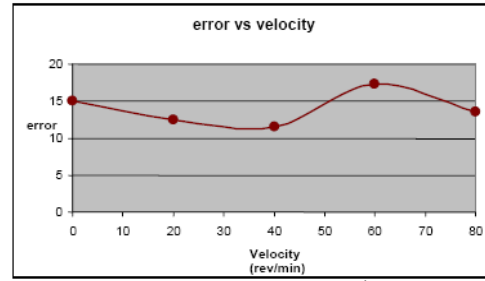
4. ผลการทดลองและอภิปราย

ในการทดลองแบบ Pointing task เวลาที่ใช้ในการทดสอบของแต่ละการทดสอบย่อยสอดคล้องกับ Fitts' law ($R^2=0.80-0.98$) การเพิ่มการเคลื่อนที่ของส่วนร่างกายส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่ออัตราการทำงาน ทั้งความเร็ว ($p=0.0001$ หมายถึงมั่นใจได้ 99.99% ว่ามีข้อมูลอย่างน้อยกลุ่มหนึ่งที่แตกต่างจากข้อมูลกลุ่มอื่น) ซึ่งพิจารณาจากค่า index of performance หากมีค่ามากแสดงว่าทำงานได้เร็วกว่า และอัตราการทำงานสำเร็จ ($p=0.0448$) การเปลี่ยนแปลงแบ่งได้เป็น 2 ระดับด้วย LSD (least square different) ดังตารางที่ 1 จากตารางจะเห็นว่าข้อมูลแบ่งเป็น 2 กลุ่มที่แตกต่างกันด้วย homogeneous

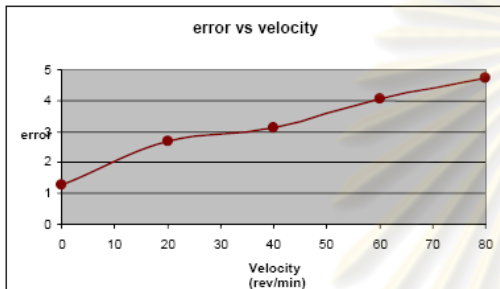
group A และ B ส่วนกลุ่มที่ระบุว่า AB หมายถึงว่าไม่สามารถระบุได้ว่า ข้อมูลกลุ่มนี้แตกต่างจากกลุ่ม A และ B



รูปที่ 7 รูปแสดงค่าประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วการเคลื่อนที่ต่างๆ สำหรับงาน Pointing task



รูปที่ 10 รูปแสดงเปอร์เซ็นต์การทำงานไม่สำเร็จที่ความเร็วการเคลื่อนที่ต่างๆ สำหรับงาน pointing task



รูปที่ 8 รูปแสดงเปอร์เซ็นต์การทำงานไม่สำเร็จที่ความเร็วการเคลื่อนที่ต่างๆ สำหรับงาน pointing task

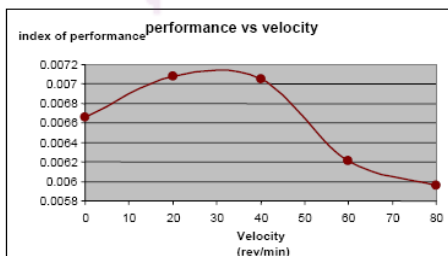
ตารางที่ 2 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบ LSD ของ linear steering task

ความเร็ว	ค่าเฉลี่ย	Homogeneous group
0	7.22E-03	B
20	7.59E-03	A
40	7.52E-03	AB
60	6.67E-03	C
80	6.28E-03	D

ตารางที่ 1 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบ LSD ของ pointing task

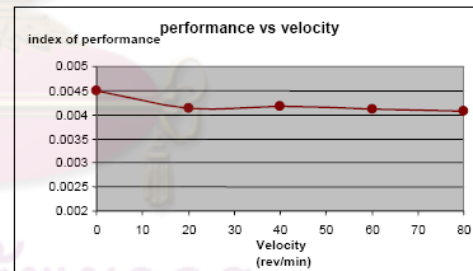
ความเร็ว	Index of performance		อัตราการทำงานสำเร็จ (%)	
	ค่าเฉลี่ย	Homogeneous group	ค่าเฉลี่ย	Homogeneous group
0	3.66E-03	B	1.2821	B
20	3.82E-03	A	2.6803	AB
40	3.90E-03	A	3.1163	AB
60	3.72E-03	B	4.0540	A
80	3.92E-03	A	4.7345	A

Linear steering task เวลาที่ใช้ในการทดสอบของแต่ละการทดสอบย่อย สอดคล้องกับ steering law ($R^2=0.95-0.99$) การเคลื่อนไหวร่างกายทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อความเร็วในการทำงาน ($p=0.0001$) แต่ไม่มีผลต่ออัตราการทำงานสำเร็จ ($p=0.8110$) การเปลี่ยนแปลงแบ่งได้เป็น 4 ระดับด้วย LSD ดังตารางที่ 2

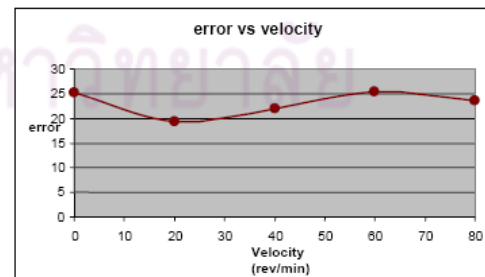


รูปที่ 9 รูปแสดงค่าประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วการเคลื่อนที่ต่างๆ สำหรับงาน linear steering task

Circular steering task เวลาที่ใช้ในการทดสอบของแต่ละการทดสอบย่อย สอดคล้องกับ steering law ($R^2=0.90-0.99$) การเคลื่อนไหวร่างกายทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อความเร็วในการทำงาน ($p=0.0001$) แต่ไม่มีผลต่ออัตราการทำงานสำเร็จ ($p=0.8191$) การเปลี่ยนแปลงแบ่งได้เป็น 2 ระดับด้วย LSD ดังตารางที่ 3



รูปที่ 11 รูปแสดงค่าประสิทธิภาพการทำงานที่ความเร็วการเคลื่อนที่ต่างๆ สำหรับงาน circular steering task



รูปที่ 12 รูปแสดงเปอร์เซ็นต์การทำงานไม่สำเร็จที่ความเร็วการเคลื่อนที่ต่างๆ สำหรับงาน pointing task

ตารางที่ 3 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบ LSD ของ circular steering

task		
ความเร็ว	ค่าเฉลี่ย	Homogeneous group
0	7.22E-03	B
20	7.59E-03	A
40	7.52E-03	AB
60	6.67E-03	C
80	6.28E-03	D

การเพิ่มการเคลื่อนที่ให้กับร่างกายจะทำให้ผู้ทดสอบมีความตื่นตัวมากขึ้น ผู้ทดสอบจะสามารถทำงานได้เร็วขึ้นในงานที่ง่าย (pointing task) โดยมีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้นสูงสุด 7 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามพบว่าอัตราการทำงานสำเร็จลดลงเป็นสัดส่วนกัน โดยอัตราการทำงานสำเร็จลดลงสูงสุดประมาณ 3.5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับงานที่ยากขึ้น (linear steering task) พบว่าที่ความเร็วต่ำและปานกลางจะช่วยให้ผู้ทดสอบทำงานมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น โดยมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในการทำงานเพิ่มขึ้น 6 เปอร์เซ็นต์และอัตราการทำงานสำเร็จอยู่ในระดับเดิม แต่การเคลื่อนไหวที่ความเร็วสูงพบว่าประสิทธิภาพในการทำงานลดลง 13 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่อัตราการทำงานสำเร็จอยู่ในระดับเดิม

สำหรับงานที่ยากมาก (circular steering task) การเพิ่มการเคลื่อนที่มีผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลงเล็กน้อย สูงสุดประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ แต่พบว่าอัตราการทำงานสำเร็จยังคงอยู่ในระดับเดิมอาจเนื่องจากการทำงานต้องการสมาธิมากอย่างไรก็ดีการทดสอบนี้เป็นเพียงการทดสอบเบื้องต้น ผลที่ได้จากการทดสอบระบุว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำให้ร่างกายเคลื่อนไหวมากขึ้นโดยเฉพาะที่ความเร็วปานกลางและความเร็วต่ำ มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานเพียงเล็กน้อย และบางกรณีไม่มีผลเลย

5. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการเพิ่มการเคลื่อนไหวให้กับร่างกายมนุษย์ในขณะที่นั่งทำงาน โดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐานงานของ Fitt's และ Steering Laws ซึ่งมีการทดลองประสิทธิภาพการทำงานทั้งหมดสามลักษณะคือ pointing task, linear steering task และ circular steering task ผลการทดลองพบว่า ในงานที่ง่าย และยากปานกลาง การเคลื่อนไหวร่างกายด้วยความเร็วต่ำและปานกลาง ไม่มีผลหรือมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของมนุษย์เพียงเล็กน้อย แนวทางการทำงานต่อไปคือการปรับปรุงอุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ ให้มีความเหมาะสมมากขึ้น รูปแบบการเคลื่อนที่ที่อุปกรณ์สร้างขึ้นเหมาะสมกับการนั่งทำงานมากขึ้นตามหลักกายศาสตร์ การทำงานของอุปกรณ์มีความราบเรียบมากขึ้น การทดสอบต่อไปจะทำการเพิ่มจำนวนผู้เข้าทดสอบเพื่อให้ผลการทดสอบที่ได้สอดคล้องกับความเป็นจริงมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย ขอขอบคุณผู้เข้าทดสอบทุกท่านที่ร่วมสละเวลา เพื่อให้การเก็บข้อมูลสำหรับการวิจัยเป็นไปด้วยดี และขอขอบคุณท่าน อ.นพ.ดร. ภาสกร วัชรธาดา และ อ.นพ.ดร. สมพล สงวนรังศิริกุล

เอกสารอ้างอิง

- [1] Fitts, P.M., 1954. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 47, pp 381-391.
- [2] Mackenzie, I.S., Ware, C., 1993. Lag as a determinant of human performance in interactive systems. *Human Factors in Computing Systems*. pp 488-493.
- [3] Accot, J., Zhai, S., 1997. Beyond Fitts' law Models for trajectory-based HCI tasks. *ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. pp 295-302.
- [4] Accot, J., Zhai, S., 1999. Performance evaluation of input devices in trajectory-based tasks: An application of the steering law. *ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. pp 466-472
- [5] Card, S.K., English, W.K., Burr, B.J., 1978. Evaluation of mouse, rate-controlled isometric joystick, step-keys, and text keys for text selection on a CRT. *Ergonomics*, Vol21, pp 301-603.
- [6] Sallnas, E., Zhai, S., Collaboration meets Fitts' law: Passing virtual objects with and without haptic force feedback. *IFIP Conference on Human Computer Interaction*. pp 97-104.
- [7] Millman, P.A., Calgate, J.E., 1995. Effect of non-uniform environment damping on haptic perception and performance of aimed movement.
- [8] Mackenzie, I.S., Soukoreff, R.W., 2004. Towards a standard for pointing device evaluation, perspectives on 27 years of Fitts' law research in HCI. *International journal of Human-Computer Studies* 2004
- [9] Dennerlein, J.T., Martin, D.B., Hasser, C., 2000. Force-Feedback Improves Performance For Steering and Combined Steering-Targeting tasks. *CHI2000*

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายปลัดสรณ์ ฟุ้งธรรมสาร เกิดเมื่อวันที่ 20 มกราคม พ.ศ. 2526 ภูมิลำเนาอยู่ที่จังหวัดนนทบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียน สวนกุหลาบวิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจาก โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2543 หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล จากภาควิชาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2547 โดยได้รับเกียรตินิยมอันดับสอง และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี พ.ศ. 2548



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย