การประเมินสมรรถนะของการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลด้วยแท็บเล็ตในเด็กประถมศึกษาตาม
แนวคิดกฎของฟิตส์และกฎของสเตียริง

นางสาวภาวรรณ ผิวแดง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE EVALUATION OF PERFORMANCE OF FINGER AND DIGITAL PEN USAGE ON TABLET IN PRIMARY SCHOOL STUDENTS ACCORDING TO FITTS' LAW AND STEERING LAW

Miss Pawan Phewdang

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินสมรรถนะของการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลด้วยแท็บเล็ตในเด็กประถมศึกษาตามแนวคิดกฎของฟิตส์และกฎของสเตียริง
โดย	นางสาวภาวรรณ ผิวแดง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์อดิศักดิ์ ผลิตผลการพิมพ์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาวรรณ ผิวแดง : การประเมินสมรรถนะของการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลด้วยแท็บเล็ตในเด็กประถมศึกษาตามแนวคิดกฎของฟิตส์และกฎของสเตียริง (THE EVALUATION OF PERFORMANCE OF FINGER AND DIGITAL PEN USAGE ON TABLET IN PRIMARY SCHOOL STUDENTS ACCORDING TO FITTS' LAW AND STEERING LAW) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล, หน้า.

ปัจจุบันแท็บเล็ตเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย แม้กระทั่งในกลุ่มผู้ใช้ที่เป็นเด็ก แต่ยังไม่มีมาตรฐานการออกแบบทางอุตสาหกรรมที่คำนึงถึงความสามารถการใช้งานของผู้ใช้ โดยเฉพาะในส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface, GUI) เช่น ขนาดสัญรูป (Icon) รูปภาพบนแท็บเล็ตที่เหมาะสมสำหรับเด็ก ทั้งนี้การสร้างมาตรฐานการออกแบบที่เกี่ยวกับ GUI ควรคำนึงถึงสมรรถนะการใช้แท็บเล็ตในเด็ก งานวิจัยนี้จึงได้ใช้แนวทางมาตรฐาน ISO 9241-9 ว่าด้วยเรื่องการประเมินสมรรถนะจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ (Human Computer Interaction, HCI) โดยในงานวิจัยนี้มีผู้เข้าร่วมการทดลองเป็นเด็กอายุ 7-12 ปี จำนวน 100 คน ทดลองใช้งานแท็บเล็ตด้วยงาน 2 ลักษณะ คืองานแตะตามแนวเส้นตรง (Linear Tapping Task) ตามแนวทางกฎของฟิตส์ และงานลากตามแนววงกลม (Circular Dragging Task) ตามแนวทางกฎของสเตียริง (Steering Law) โดยใช้วิธีนำเข้าข้อมูล 2 ประเภท คือ การใช้นิ้วมือ และการใช้ปากกาดิจิตอล ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปัจจัยอุปกรณ์นำเข้าข้อมูล และเพศ ไม่มีผลต่อค่าสมรรถนะที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สำหรับงานแตะ แต่ปัจจัยด้านวิธีนำเข้าข้อมูลมีผลต่อค่าสมรรถนะสำหรับงานลากในเด็กอายุ 9-12 ปี อย่างมีนัยสำคัญ โดยการใช้ปากกาดิจิตอลให้ค่าสมรรถนะสูงกว่าการใช้นิ้วมือ นอกจากนี้ค่าสมรรถนะที่ได้สามารถนำไปเป็นค่ามาตรฐานเบื้องต้นของการใช้นิ้วมือ และปากกาดิจิตอลบนแท็บเล็ตสำหรับเด็ก โดยนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบขนาด Icon บนหน้าจอแท็บเล็ตที่คำนึงถึงความสามารถการตอบสนองของเด็ก

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2557

5570933921 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS: FITT'S LAW / STEERING LAW / INDEX OF DIFFICULTY / INDEX OF PERFORMANCE

PAWAN PHEWDANG: THE EVALUATION OF PERFORMANCE OF FINGER AND DIGITAL PEN USAGE ON TABLET IN PRIMARY SCHOOL STUDENTS ACCORDING TO FITTS' LAW AND STEERING LAW. ADVISOR: DR.PHAIROAT LADAVICHITKUL, pp.

At present, tablet devices are used widely even among the children, but there is no design standard that takes into consider the user capacity especially the design of graphical user interface (GUI) for children , The design standards relating to the GUI take into consider the performance of the tablet use in children. Refers to ISO 9241-9, the evaluation of Human Computer Interaction performance. One hundred participants, aged 7–12 years old, joined in this study by using the tablet in two types of tasks. The linear tapping task based on the Fitts' Law and circular dragging task based on the Steering Law with two types of input method (Finger and Digital Pen). Research results from full factorial statistical analyses were shown that the work performance for different input method using computer tablet of tapping task were not difference at 0.05 significant levels. But the factor of the input device affected to the work performance of dragging task for children in aged 9-12 years old at 0.05 significant levels. By operating with the digital pen using higher performance than finger using. In addition can be used the result to establish the standard performance of using fingers and a digital pen on the tablet and applies to design, Icon on screen tablet into consider the ability of children responsive.

Department: Industrial Engineering Student's Signature .....
Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะประสบความสำเร็จ ลุล่วง ไม่ได้เลยหากไม่ได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำจาก อาจารย์ ดร. ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคำชี้แนะจากคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ผู้ทรงคุณวุฒิอันประกอบไปด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. จิตรา รู้กิจการพานิช, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ และ รองศาสตราจารย์นายแพทย์ อดิศักดิ์ ผลิตผลการพิมพ์ ทั้งนี้ ผู้วิจัยขอถือโอกาสขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ รวมถึงสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือในการทำการวิจัย นอกจากนี้แล้ว ผู้วิจัยยังต้องขอขอบคุณอาสาสมัครผู้เข้าร่วมการวิจัยที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัวและเพื่อนนิสิตทุกท่าน ที่ได้สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยจนกระทั่งงานวิจัยชิ้นนี้ประสบความสำเร็จ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูปภาพ ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 5

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 5

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 5

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

2.1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กของเด็กปฐมวัย 8

2.1.1 ความหมายและความสำคัญของความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็ก 9

2.1.2 พัฒนาการของกล้ามเนื้อมัดเล็กในเด็ก 9

2.1.3 ทักษะการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กในเด็ก 11

2.1.4 การประเมินพัฒนาการการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็ก 11

2.1.5 การส่งเสริมความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็ก 11

2.2 การประเมินสมรรถนะของการทำางานโดยอาศัยแนวคิดกฎของ Fitts และ Steering 14

2.2.1 กฎของฟิตส์ 15

2.2.2 กฎของสเตียริง 17

หน้า

2.4 ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface) 20
2.5 คอมพิวเตอร์แท็บเล็ต 21
2.4.1 ระบบปฏิบัติการแท็บเล็ต 22
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย 25
3.1 การออกแบบและการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำหรับการทดสอบ 25
3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ 25
3.2 ผู้เข้าร่วมทดสอบ 26
3.2.1 ผู้เข้าร่วมทดสอบ 26
3.3 โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง 27
3.3.1 โปรแกรม Fitts' Law 27
3.3.2 โปรแกรม Steering Law 27
3.4 ออกแบบและกำหนดเงื่อนไขในการทดลอง 27
3.4.1 การทดลองโดยใช้คอมพิวเตอร์แท็บเล็ต Samsung Galaxy Note 8 28
3.5 ดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล 30
บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดลอง 34
4.1 การประเมินสมรรถนะการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลในงานแตะ (Tap) 35
4.1.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบตามแนวคิดของ Fitts' law โดยใช้นิ้วมือ 35
4.1.1.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของเวลาในการเคลื่อนที่ (Movement time) กับค่าดัชนีความยาก 35
4.1.1.2 แผนภูมิควบคุม (Control chart) แสดงค่าสมรรถนะของเด็กอาสาสมัคร สำหรับงานแตะโดยการใช้นิ้วมือ 42
4.1.1.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75และ 95 ของสมรรถนะของเด็ก อาสาสมัครสำหรับงานแตะโดยใช้นิ้วมือ 48
4.1.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบตามแนวคิดของ Fitts' law โดยใช้ปากกาดิจิตอล 49

หน้า

4.1.2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของเวลาในการเคลื่อนที่ (Movement time) กับค่าดัชนีความยาก 49

4.1.2.2 แผนภูมิควบคุม (Control chart) แสดงค่าสมรรถนะของเด็กอาสาสมัครสำหรับงานแตะโดยใช้ปากกาดิจิตอล 56

4.1.2.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะของเด็กกลุ่มสำหรับงานแตะโดยใช้ปากกาดิจิตอล 62

4.1.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะการทำงานแตะ (Tap) 63

4.2 การประเมินสมรรถนะการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลในงานลาก (Drag) 66

4.2.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบตามแนวคิดของ Steering Law โดยใช้นิ้วมือ 66

4.2.1.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของเวลาในการเคลื่อนที่ (Movement time) กับค่าดัชนีความยาก 66

4.2.1.2 แผนภูมิควบคุม (Control chart) แสดงค่าสมรรถนะของเด็กอาสาสมัครสำหรับงานลากโดยใช้นิ้วมือ 73

4.2.1.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะของเด็กอาสาสมัคร สำหรับงานลากโดยใช้นิ้วมือ 79

4.2.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบตามแนวคิดของ Steering Law โดยใช้ปากกาดิจิตอล 80

4.2.2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของเวลาในการเคลื่อนที่ (Movement time) กับค่าดัชนีความยาก 80

4.2.2.2 แผนภูมิควบคุม (Control chart) แสดงค่าสมรรถนะของเด็กปกติในแต่ละช่วงอายุ สำหรับงานลากการใช้ปากกาดิจิตอล 87

4.2.2.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะของเด็กอาสาสมัคร สำหรับงานลากโดยใช้ปากกาดิจิตอล 93

4.2.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะการทำงานลาก (Drag) 94

4.3 การนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface) 99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 101
5.1 สรุปผลการวิจัย 101
5.1.1 การประเมินสมรรถนะการนิ้วมือและปากกาดิจิตอลบนแท็บเล็ตของเด็ก 101
5.2 ปัญหาและข้อจำกัดที่พบในงานวิจัย 103
5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต 104
รายการอ้างอิง 105
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 141

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 การประเมินความสามารถด้านการเคลื่อนไหวร่างกาย การใช้สายตา และมือประสานกันทำสิ่งต่างๆ ในเด็กประถมศึกษา 10

ตารางที่ 2.2 การประเมินความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กประสานกันระหว่างมือและตา 10

ตารางที่ 3.1 กำหนดเงื่อนไขของดัชนีความยากของงาน (ID) ในการทำงานแตะ (Tap) โดยใช้นิ้วมือ 28

ตารางที่ 3.2 กำหนดเงื่อนไขของดัชนีความยากของงาน (ID) ในการทำงานแตะ (Tap) โดยใช้ปากกาดิจิตอล 28

ตารางที่ 3.3 กำหนดเงื่อนไขของดัชนีความยากของงาน (ID) ในการทดสอบสมรรถนะการทำงานลาก (Drag) โดยใช้นิ้วมือ 29

ตารางที่ 3.4 กำหนดเงื่อนไขของดัชนีความยากของงาน (ID) ในการทดสอบสมรรถนะการทำงานลาก (Drag) โดยใช้ปากกาดิจิตอล 29

ตารางที่ 4.1 จำนวนนักเรียนและข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมทดลอง 34

ตารางที่ 4.2 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของนิ้วมือในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ 36

ตารางที่ 4.3 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของนิ้วมือในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ 37

ตารางที่ 4.4 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของนิ้วมือในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ 38

ตารางที่ 4.5 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้นิ้วมือในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี 43

ตารางที่ 4.6 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้นิ้วมือในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี 44

ตารางที่ 4.7 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้นิ้วมือในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี 45

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมรรถนะของงานแตะ (Tap) โดยใช้นิ้วมือของเด็กอาสาสมัครแต่ละช่วงอายุ 47

ตารางที่ 4.9 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ 50

ตารางที่ 4.10 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ 51

ตารางที่ 4.11 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ 51

ตารางที่ 4.12 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี 57

ตารางที่ 4.13 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี 58

ตารางที่ 4.14 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 11-12ปี 59

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมรรถนะของงานแตะ (Tap) โดยใช้ปากกาดิจิตอลของเด็กอาสาสมัครแต่ละช่วงอายุ 61

ตารางที่ 4.16 ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะของการทำงานแตะ ของเด็กอาสาสมัครช่วงอายุ 7-8 ปี 64

ตารางที่ 4.17 ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะของการทำงานแตะของเด็กอาสาสมัครช่วงอายุ 9-10 ปี 64

ตารางที่ 4.18 ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะของการทำงานแตะของเด็กอาสาสมัครช่วงอายุ 11-12 ปี 65

ตารางที่ 4.19 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของการใช้นิ้วมือในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ 67

ตารางที่ 4.20 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของการใช้นิ้วมือในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ 68

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.21 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของการใช้นิ้วมือในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ 69

ตารางที่ 4.22 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้นิ้วมือในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี 74

ตารางที่ 4.23 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้นิ้วมือในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี 75

ตารางที่ 4.24 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้นิ้วมือในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี 76

ตารางที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมรรถนะของงานลาก (Drag) โดยใช้นิ้วมือในเด็กเด็กอาสาสมัครแต่ละช่วงอายุ 78

ตารางที่ 4.26 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ 81

ตารางที่ 4.27 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ 81

ตารางที่ 4.28 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ 82

ตารางที่ 4.29 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี 88

ตารางที่ 4.30 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี 89

ตารางที่ 4.31 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี 90

ตารางที่ 4.32 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมรรถนะของงานลาก (Drag) โดยใช้ปากกาดิจิตอลในเด็กอาสาสมัครแต่ละช่วงอายุ 92

ตารางที่ 4.33 ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะของการทำงานลากของเด็กอาสาสมัครช่วงอายุ 7-8 ปี 95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.34 ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะของการทำงานลากของเด็กอาสาสมัครช่วงอายุ 9-10 ปี..... 95

ตารางที่ 4.35 ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะของการทำงานลากของเด็กอาสาสมัครช่วงอายุ 11-12 ปี..... 96

ตารางที่ 4.36 สรุปความมีนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆ ต่อค่าสมรรถนะ (Index Performance)..... 98

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1.1 การใช้งานแท็บเล็ตแบบใช้นิ้วสัมผัสและปากกาดิจิตอล 1
รูปที่ 1.2 การใช้กล้ามเนื้อนิ้วมือและมือในการทำกิจกรรมของเด็ก 3
รูปที่ 2.1 ลักษณะงาน Tapping task 15
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะงาน Steering task 17
รูปที่ 2.3 Apple iPad 22
รูปที่ 2.4 Samsung Galaxy Note 8 24
รูปที่ 3.1 Samsung Galaxy Note 8 25
รูปที่ 3.2 ชุดโต๊ะและเก้าอี้สำหรับผู้ถูกทดสอบ 26
รูปที่ 3.3 แบบทดสอบแบบแตะ (Tap) บนแท็บเล็ต 29
รูปที่ 3.4 แบบทดสอบแบบลาก (Drag) บนแท็บเล็ต 30
รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของข้อมูลความเร็วในการเคลื่อนที่ของงานแตะ (Tap) โดยใช้นิ้วมือในเด็กอาสาสมัครกลุ่มที่ 1 ช่วยอายุ 7-8 ปี 39
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้นิ้วมือในงานแตะ 40
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้นิ้วมือในงานแตะ 41
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้นิ้วมือในงานแตะ 41
รูปที่ 4.5 การกระจายตัวของข้อมูลสมรรถนะของงานแตะ (Tap) โดยใช้นิ้วมือในเด็กอาสาสมัคร 46
รูปที่ 4.6 แผนภูมิควบคุมแสดงค่าสมรรถนะกับอายุของเด็กอาสาสมัครสำหรับงานแตะโดยใช้นิ้วมือ 48
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะของเด็กอาสาสมัคร โดยใช้นิ้วมือสำหรับการทดลองในงานแตะ (Tap) 49

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.8 การกระจายตัวของข้อมูลเวลาในการเคลื่อนที่ของงานแตะ (Tap) โดยใช้ปากกาดิจิตอลในเด็กอาสาสมัครกลุ่มที่ 1 ช่วงอายุ 7-8 ปี 53

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะ 54

รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะ 55

รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะ 55

รูปที่ 4.12 การกระจายตัวของข้อมูลค่าสมรรถนะของงานแตะ (Tap) โดยใช้ปากกาดิจิตอล 60

รูปที่ 4.13 แผนภูมิควบคุมแสดงค่าสมรรถนะกับอายุของเด็กอาสาสมัคร สำหรับงานแตะโดยใช้ปากกาดิจิตอล..... 62

รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะของเด็กปกติ โดยใช้ปากกาดิจิตอลสำหรับการทดลองในงานแตะ (Tap)..... 63

รูปที่ 4.15 การกระจายตัวของข้อมูลความเร็วในการเคลื่อนที่ของงานลาก (Drag) โดยใช้นิ้วมือในเด็กอาสาสมัครกลุ่มที่ 1 ช่วงอายุ 7-8 ปี 70

รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้นิ้วมือในงานลาก..... 71

รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้นิ้วมือในงานลาก..... 72

รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้นิ้วมือในงานลาก..... 72

รูปที่ 4.19 การกระจายตัวของข้อมูลสมรรถนะของงานลาก (Drag) โดยใช้นิ้วมือ 77

รูปที่ 4.20 แผนภูมิควบคุมแสดงค่าสมรรถนะกับอายุของเด็กอาสาสมัครสำหรับงานลากโดยใช้นิ้วมือ..... 78

รูปที่ 4.21 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะ ของเด็กอาสาสมัคร สำหรับการทดสอบงานลากโดยใช้นิ้วมือ 79

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.22 การกระจายตัวของข้อมูลความเร็วในการเคลื่อนที่ของงานลาก (Drag) โดยใช้ปากกาดิจิตอลในเด็กเด็กอาสาสมัครกลุ่มที่ 1 ช่วงอายุ 7-8 ปี 84

รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลาก 85

รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลาก 86

รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลาก 86

รูปที่ 4.26 การกระจายตัวของข้อมูลสมรรถนะของงานลาก (Drag) โดยใช้ปากกาดิจิตอล 91

รูปที่ 4.27 แผนภูมิควบคุมแสดงค่าสมรรถนะกับอายุของเด็กอาสาสมัครสำหรับงานลากโดยใช้ปากกาดิจิตอล 93

รูปที่ 4.28 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะ ของเด็กอาสาสมัคร โดยใช้ปากกาดิจิตอลสำหรับการทดสอบงานลาก 94

รูปที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยสมรรถนะเปรียบเทียบระหว่างการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลรูปแบบงานแบบ Drag ของเด็กอาสาสมัครกลุ่มอายุ 9-10 ปี 96

รูปที่ 4.30 ค่าเฉลี่ยสมรรถนะเปรียบเทียบระหว่างการใช้นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล รูปแบบงานแบบ Drag ของเด็กอาสาสมัครกลุ่มอายุ 11-12 ปี 97

รูปที่ 4.31 รูปแบบการเคลื่อนที่ของงานแตะ (ซ้าย) งานลาก (ขวา) 100

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอุปกรณ์คอมพิวเตอร์มีความสำคัญมากในการทำงานด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการประเมิน การออกแบบ การควบคุมงาน ด้วยวิวัฒนาการและความก้าวหน้าทางทางเทคโนโลยีทำให้มีอุปกรณ์ที่เรียกว่า แท็บเล็ต (Tablet) เกิดขึ้น ซึ่งได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในกลุ่มผู้ใช้ ไม่ว่าจะเป็นการเล่นเกมส์ การเล่นอินเตอร์เน็ต (Internet)หรือสังคมออนไลน์ (Social network) โปรแกรมให้ความบันเทิงชนิดโปรแกรมมัลติมีเดีย (Multimedia) และโปรแกรมช่วยเหลือในการใช้ชีวิตประจำวันต่างๆ แม้กระทั้งในกลุ่มผู้ใช้ที่เป็นเด็กก็มีการใช้งานแท็บเล็ตอย่างแพร่หลาย หากแต่การใช้แท็บเล็ตจะเป็นการเล่นเกมส์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งอุปกรณ์นี้มีหลากหลายรูปแบบในการป้อนข้อมูล ไม่ว่าจะเป็นการป้อนข้อมูลแบบสัมผัสโดยใช้นิ้วมือ หรือปากกาดิจิตอล (Digital pen) ซึ่งในปัจจุบันมีการเขียนหนังสือบนแท็บเล็ต โดยผู้ใช้อาจใช้มือหรือปากกาดิจิตอลขึ้นอยู่กับความถนัดของแต่ละบุคคล นอกจากนี้แท็บเล็ตยังมีลักษณะการใช้งานแบบหน้าจอสัมผัสให้ความรู้สึกเหมือนการเขียนหนังสือหรือทำงานบนกระดาษ

รูปที่ 1.1 การใช้งานแท็บเล็ตแบบใช้นิ้วสัมผัสและปากกาดิจิตอล (Siamphone, 2013 : ออนไลน์)

การออกแบบส่วนประสานกับผู้ใช้โดยใช้ภาพสัญลักษณ์หรือที่เรียกว่า Graphical User Interface (GUI) คือการออกแบบส่วนของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้มีการโต้ตอบกับผู้ใช้ โดยการใช้ Icon,รูปภาพ และสัญลักษณ์อื่นๆ เพื่อแทนลักษณะต่างๆ ของโปรแกรมแทนที่ผู้ใช้จะพิมพ์คำสั่งต่างๆ

บนแป้นพิมพ์ ช่วยทำให้ผู้ใช้งานสามารถทำงานได้ง่าย และรวดเร็วขึ้น ถือเป็นวิธีการที่ให้ความสะดวกแก่ผู้ใช้คอมพิวเตอร์ ให้ติดต่อสื่อสารกับระบบโดยผ่านทางภาพ เช่น ใช้เมาส์ (mouse) กดเลือก Icon แทนการพิมพ์คำสั่ง ผู้ใช้สามารถใช้เม้าส์เลือกคำสั่งที่ต้องการจาก Icon ที่ปรากฏในโปรแกรมและใช้งานได้เลย โดยไม่ต้องพิมพ์คำสั่งต่างๆทางแป้นพิมพ์ ช่วยทำให้เกิดความรวดเร็วในการทำงาน และไม่ต้องเสียเวลาในการเรียนรู้และจดจำคำสั่งที่ต้องการมากนัก เพียงดูจาก Icon ที่ปรากฏในโปรแกรมก็สามารถใช้งานได้ทันที [1] แต่เนื่องจากยังไม่มีมาตรฐานการออกแบบทางอุตสาหกรรมที่คำนึงถึงความสามารถการใช้งานของผู้ใช้โดยเฉพาะ GUI บนแท็บเล็ตที่เหมาะสมสำหรับเด็กในวัยต่างๆ ซึ่งการสร้างมาตรฐานการออกแบบที่เกี่ยวกับ GUI ควรคำนึงถึงสมรรถนะการใช้แท็บเล็ตในเด็ก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้แนวทางประเมินสมรรถนะที่อ้างอิงจากมาตรฐาน ISO 9241 คือ มาตรฐานจากองค์ระหว่างประเทศ International Organization for Standardization (ISO) ว่าด้วยเรื่องการกำหนดมาตรฐานทางการยศาสตร์กับการทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ ในส่วนที่ 9 ที่เกี่ยวกับข้อกำหนดสำหรับการนำเข้าข้อมูลของผู้ใช้ที่ไม่ใช่คีย์บอร์ด เช่น การคลิก (Click) การลาก (Drag) การชี้ตำแหน่ง และการเลือก เป็นต้น โดยอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ที่ใช้มือเป็นตัวดำเนินงาน เช่น ปุ่มกด เมาส์ ปากกาดิจิตอล แท็บเล็ต ซึ่งมีการทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์และมนุษย์ และสามารถวัดผลผ่านตัวชี้วัดต่างๆ[2]

จากมาตรฐาน ISO 9241-9 ในการประเมินความสามารถหรือสมรรถนะนั้นแบ่งออกเป็นเรื่องประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่ได้จากปริมาณของงาน โดยอาศัยแนวความคิดกฎของฟิตส์ (Fitts' Law) และกฎของสเตียริง (Steering Law) ซึ่งทั้งสองแนวความคิดนี้ ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยขึ้นอยู่กับระดับความยากของงาน และระดับความยากของงานมาได้จากการกำหนดเงื่อนไขของระยะห่างจากจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมาย และขนาดความกว้างของเป้าหมาย แต่แนวคิดทั้งสองนี้มีความแตกต่างกันในเรื่องประเภทการทำงาน โดยที่ Fitts' Law ใช้ประเมินงานประเภทการชี้ตำแหน่งเป็นรูปแบบของการแตะ (Tap) และ Steering Law ใช้ประเมินงานประเภทการลาก (Drag)

การได้มาซึ่งสมรรถนะของการทำงานของเด็กในแต่ละวัยจำเป็นต้องทราบถึงพัฒนาการที่แตกต่างกันของเด็กในแต่ละช่วงอายุ โดยที่พัฒนาการของเด็กนั้นมีหลายด้านไม่ว่าจะเป็น ด้านพัฒนาการสมอง ด้านร่างกายกล้ามเนื้อมัดใหญ่ เช่น ขา กล้ามเนื้อมัดเล็ก เช่นนิ้วมือ มือ และข้อต่อส่วนต่างๆของร่างกาย ซึ่งพัฒนาการของอวัยวะต่างๆ เหล่านี้มากหรือน้อยนั้นในเด็กแต่ละคนจะมีความแตกต่างกัน ความแตกต่างนี้อาจเกิดมาจากหลายสาเหตุ เช่น การเลี้ยงดู พันธุกรรม เป็นต้น และอวัยวะที่มีการใช้เพื่อฝึกด้านพัฒนาการที่สำคัญอย่างหนึ่งก็คือ อวัยวะในส่วนของ นิ้วมือ มือและแขน ซึ่งเป็นอวัยวะที่มีการใช้งานค่อนข้างมาก การใช้กล้ามเนื้อมัดเล็ก มือ นิ้วมือ ของเด็กเป็น

สมรรถนะหนึ่งของร่างกายที่มีความสำคัญอย่างมาก เนื่องด้วยมีการใช้อวัยวะดังกล่าวในการดำเนินชีวิตอยู่ตลอดเวลา เช่น การเขียนรูปวงกลมตามแบบ ลากเส้นแนวตั้งหรือแนวนอนได้การจับดินสอต้องใช้กล้ามเนื้อที่ควบคุมหัวแม่มือและนิ้วอื่นๆ การเขียนหนังสือนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมการเคลื่อนไหวของนิ้วมือ มือ รวมไปถึงการหยิบจับสิ่งของ ซึ่งต้องอาศัยความถูกต้องและความแม่นยำในกิจกรรมต่างๆ

ความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็ก หมายถึง การใช้มือในการหยิบจับสิ่งของ ซึ่งเป็นพื้นฐานของการที่เด็กจะพัฒนาการเขียน การทำงานในชีวิตประจำวัน และการช่วยเหลือตัวเอง ซึ่งถ้าหากความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กที่ไม่ดีนั้น ส่งผลต่อการเรียนรู้และการพัฒนาทักษะด้านอื่นๆ ประกอบด้วยการช่วยเหลือตนเอง ทักษะพื้นฐานงานบ้าน ทักษะภาษาและการรับรู้ ทักษะทางสังคมสมรรถนะเชิงพฤติกรรมของเด็กถูกละเลยในบางเรื่อง ทำให้พัฒนาการตามวัยไม่ผ่านเกณฑ์เป็นจำนวนมาก เช่น เด็กไม่สามารถพับกระดาษได้ เพราะไม่ได้ฝึกฝนกล้ามเนื้อมัดเล็กเป็นอุปสรรคในการดำรงชีวิตประจำวัน มีการใช้ลักษณะท่าทางของนิ้วมือ และมือที่ผิดรูปแบบอาจส่งผลให้การใช้นิ้วมือมือและข้อมือที่ไม่ถูกต้อง [3] โดยทั่วไปพัฒนาการด้านการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กจะพัฒนาช้ากว่าพัฒนาการด้านการใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่ เด็กซึ่งมีพัฒนาการการใช้กล้ามเนื้อใหญ่ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว เช่น สามารถกระโดดสลับเท้าได้ แต่พัฒนาการด้านการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กอาจยังพัฒนาการไปไม่เท่ากันได้ เด็กในชั้นประถมศึกษาปีที่1 และ 2 เป็นจำนวนไม่น้อยที่พัฒนาการด้านกล้ามเนื้อมัดเล็กยังพัฒนาไปไม่เต็มที่เช่น ความสามารถในการจับดินสอหรือปากกา เป็นต้น รวมถึงทักษะการทำงานโดยใช้ร่างกาย 2 ซีก ที่มีความสัมพันธ์กัน [4]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 1.2 การใช้กล้ามเนื้อนิ้วมือและมือในการทำกิจกรรมของเด็ก

การทดสอบความสามารถหรือสมรรถนะในการใช้นิ้ว มือและแขนของเด็ก อาจทดสอบได้หลายวิธีและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้นิ้ว มือและแขนของเด็กที่ถูกทดสอบ การทดสอบ

สมรรถนะการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กนี้ก็ขึ้นอยู่ที่ความสามารถของเด็กแต่ละคนด้วย เนื่องด้วยเด็กแต่ละคนอาจมีการใช้นิ้วมือ มือและแขนที่แตกต่างกัน เนื่องจากมีทักษะที่ต่างกัน บางคนอาจใช้เขียนหนังสือบ่อยเพราะเป็นคนชอบขีดเขียน บางคนอาจใช้ในการลากเส้นบ่อย เพราะชอบวาดรูป บางคนอาจมีความแม่นยำในการใช้นิ้วมือมากเพราะชอบเล่นเกมส์คอมพิวเตอร์ เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการเลี้ยงดูของผู้ปกครองเป็นองค์ประกอบสำคัญด้วยซึ่งเด็กแต่ละคนก็มีสมรรถนะในการใช้นิ้วมือ มือและแขนที่แตกต่างกัน [5]

การประเมินสมรรถนะกล้ามเนื้อมัดเล็กของเด็กในปัจจุบันเป็นการประเมินลักษณะเชิงคุณภาพ เป็นช่วงอายุ อาทิ เช่น เด็กที่มีอายุ 7 ปี ต้องสามารถวาดรูปคนมีรายละเอียดมากขึ้น เขียนหนังสือได้ครบแบบ [6] หรือสามารถปิดตาข้างหนึ่งแล้วเขียนหนังสือได้ [7] ซึ่งเมื่อพิจารณาจากการทดสอบดังกล่าวแล้วเด็กมีความสามารถปฏิบัติได้ก็ถือว่าเด็กในวัยนั้นผ่านเกณฑ์หรือมีความปกติเกี่ยวกับสมรรถนะการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็ก มือ และนิ้วมือ หากไม่สามารถปฏิบัติได้ก็ไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบ เป็นต้น เนื่องจากวิธีการดังกล่าวไม่สามารถบอกความแตกต่างของสมรรถนะการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กในเชิงปริมาณได้ ไม่สามารถบอกได้ว่าถ้าเด็กไม่ผ่านเกณฑ์ดังนั้นเด็กมีความสามารถอยู่ในระดับใด

สำหรับในงานวิจัยนี้ ได้มุ่งเน้นการประเมินสมรรถนะการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กซึ่งได้แก่ นิ้วมือและมือ ด้วยวิธีมาตรฐานกับผู้ถูกทดสอบทุกคน โดยออกแบบการทดสอบการวัดสมรรถนะการใช้นิ้วมือ และมือ โดยนำทฤษฎีมาตรฐานมาประยุกต์เพื่อใช้ในการออกแบบการทดลองนั่นก็คือ กฎของฟิตส์ และกฎของสเตียริง ซึ่งเป็นมาตรฐานที่เป็นสากลที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย โดยกฎของฟิตส์เป็นงาน Tapping task ซึ่งแทนการแตะสัมผัส (Tap) โดยอาศัยความแม่นยำและความถูกต้องเป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่กับระยะทางและขนาดของเป้าหมาย ซึ่งหากเป้าหมายมีขนาดเล็กลงและระยะทางมีค่ามากขึ้นส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการทำงานเพิ่มขึ้นส่วนกฎของสเตียริงเป็นลักษณะงาน Dragging task ซึ่งแทนการเขียนหนังสือหรือการลากสัมผัส (Drag) โดยเป็นการอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่กับระยะห่างและขนาดของเส้นทาง ซึ่งหากระยะทางมีค่ามากและขนาดของเส้นทางแคบลงทำให้เวลาที่ใช้ในการทำงานเพิ่มขึ้น โดยสมรรถนะที่ได้จากการประเมินนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการออกแบบ Graphical User Interface บนหน้าจอแท็บเล็ต ที่มีความเหมาะสมกับเด็กในช่วงวัยๆ นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในการประเมินเปรียบเทียบสมรรถนะของกล้ามเนื้อมัดเล็กของเด็กได้แก่ นิ้วมือและมือได้ในเชิงปริมาณ

ทั้งนี้การออกแบบการทดลองและการทดลองกับเด็กในวัยประถมศึกษานั้นต้องคำนึงถึงความยากของการทดลอง ความสามารถของเด็กนักเรียนในวัยดังกล่าว เนื่องจากเด็กในระดับชั้น

ประถมศึกษาปีที่ 1-6 ซึ่งเป็นเด็กที่มีอายุอยู่ระหว่าง 7-12 ปีเป็นช่วงอายุที่มีพัฒนาการด้านร่างกายค่อนข้างมาก และมีพัฒนาการการใช้ทักษะการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กที่แตกต่างกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อประเมินสมรรถนะการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลบนแท็บเล็ตในเด็กประถมศึกษาตามแนวคิดกฎของฟิตส์และกฎของสเตียริง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. งานวิจัยนี้ศึกษาในโรงเรียนประถมชั้นปีที่ 1-6 จำนวน 3 โรงเรียน ในจังหวัดสุพรรณบุรี โดยใช้ นักเรียนประถมชั้นปีที่ 1-6 ทั้งหมดจำนวน 100 คน

2. การทดลองนี้นำแท็บเล็ต Samsung Galaxy Note 8 เป็นอุปกรณ์ในการทดสอบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำรูปแบบการทดลองอย่างง่ายนี้ไปใช้ทดสอบสมรรถนะ การใช้นิ้วมือ มือของเด็กทั่วไปได้

2. สามารถทราบระดับสมรรถนะของเด็กประถมศึกษาเพื่อพัฒนา และปรับปรุงวิธีการสร้างพัฒนาการกล้ามเนื้อมัดเล็กให้แก่ เด็กระดับประถมศึกษาได้

3. สามารถใช้ประโยชน์เป็นแนวทางการออกแบบรูปแบบโปรแกรม ขนาดของสัญรูป บนจอคอมพิวเตอร์ หรือคอมพิวเตอร์แท็บเล็ตได้เพื่อเป็นการเสริมสร้างทักษะการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กให้แก่เด็ก

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. การศึกษาข้อมูล

ก. ศึกษาสาเหตุความแตกต่างของสมรรถนะและพัฒนาการของนิ้วมือ และมือของเด็กในวัยประถมศึกษา

ข. ศึกษาหลักการของกฎของฟิตส์และกฎของสเตียริง เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบการทดลอง

ค. ศึกษาวิธีการทางสถิติที่ใช้เพื่อนำมาออกแบบการทดลอง ในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนสุดท้าย

2. การออกแบบการทดลอง

ออกแบบการทดลองโดยการออกแบบการทดสอบอย่างง่ายสำหรับเด็กประถมโดยต้องคำนึงถึงความสามารถของเด็กในช่วงวัยนี้เป็นสำคัญ โดยสร้างโปรแกรมการทดสอบในรูปแบบอย่างง่ายลงในคอมพิวเตอร์แท็บเล็ต ซึ่งอาศัยหลักการของกฎของฟิตส์และกฎของสเตียริง ดังนี้

ก. ตามหลักการของกฎของฟิตส์ ออกแบบโปรแกรมการทดสอบสำหรับการทดลองให้เด็กใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอล แตะจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดเป้าหมาย โดยมีการเพิ่มระยะทางการเคลื่อนที่และลดขนาดของเป้าหมายลงเพื่อหาดัชนีความยากของงาน จากนั้นนำไปวิเคราะห์สมรรถนะการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลบนแท็บเล็ตของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง โดยมีการออกแบบการทดลองเพื่อหาระยะทางการเคลื่อนที่และขนาดของเป้าหมายที่เหมาะสมกับสมรรถนะของเด็กปัจจัยละ 5 ค่า

ข. ตามหลักการของกฎของสเตียริง ออกแบบโปรแกรมการทดสอบการทดลองให้เด็กนักเรียนใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลลากจากจุดเริ่มต้นการเคลื่อนที่ไปยังจุดเป้าหมาย โดยมีความกว้างของขอบเขตการเคลื่อนที่เป็นตัวกำหนด และมีการเพิ่มระยะทางการเคลื่อนที่และลดขนาดความกว้างของขอบเขตการเคลื่อนที่ลงเป็นการเพิ่มความยากของงาน เพื่อหาดัชนีความยากของงานและนำไปวิเคราะห์ถึงสมรรถนะการใช้นิ้วมือ และปากกาดิจิตอลบนแท็บเล็ต ของเด็กนักเรียนกลุ่มตัวอย่างโดยออกแบบการทดลองเพื่อหาระยะทางการเคลื่อนที่และขนาดของความกว้างของขอบเขตที่เหมาะสมกับสมรรถนะของเด็กปัจจัยละ 5 ค่าเช่นเดียวกัน

ค. คัดเลือกเด็กประถมต้นซึ่งก็คือเด็กนักเรียนในระดับชั้นประถม 1-6 ที่มีความปกติของนิ้วมือ และมือจำนวน 100 คน จากโรงเรียน 3 โรงเรียน

ง. ให้เด็กนักเรียนกลุ่มตัวอย่างลองใช้คอมพิวเตอร์แท็บเล็ต เช่นเล่นเกมส์ เขียนหนังสือ วาดรูป โดยใช้ปากกาดิจิตอลและนิ้วมือ เพื่อสร้างความคุ้นเคยระหว่างเด็กนักเรียนกับคอมพิวเตอร์แท็บเล็ต รวมถึงสอนวิธีการใช้แท็บเล็ตให้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่างสำหรับคนที่ยังไม่มีประสบการณ์การใช้คอมพิวเตอร์แท็บเล็ตมาก่อนหน้านี้

จ. เก็บข้อมูลเป็นความเร็วในการทดลองที่ความยากในแต่ละระดับของงานของการทดลอง ของแต่ละคนโดยแยกเป็นระดับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1- 6

ฉ. เมื่อได้ข้อมูลมาจากนั้นวิเคราะห์ข้อมูล หาความแตกต่างของผลที่ได้จากการทดลองที่นำวิธีมาตรฐานทั้ง 2 ดังกล่าวข้างต้น

ช. พิจารณาความแตกต่างของสมรรถนะการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลของเด็กนักเรียนตัวอย่าง โดยพิจารณาถึงทักษะการใช้นิ้วมือ และปากกาดิจิตอลของเด็กก่อนหน้านี้ด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. การทดลอง

ผู้วิจัยทดสอบโปรแกรมที่สร้างขึ้นสำหรับทดลองในคอมพิวเตอร์แท็บเล็ต เพื่อทดสอบความใช้ได้ของอุปกรณ์ และแบบทดสอบ โดยทดสอบเด็กนักเรียนระดับประถมศึกษาชั้นปีที่ 1-6 ที่ไม่มีความปกติของนิ้วมือ มือ แขน และไม่เคยได้รับการผ่าตัดอวัยวะดังกล่าวมาก่อน

ขั้นตอนในการทดลอง

ก. วิธีการทดลองให้ผู้ทดลองเข้าใจและสามารถทดลองได้อย่างถูกต้อง

ข. วัดความต้านทาน (Strength) ของกล้ามเนื้อด้วยเครื่องวัดความต้านทาน

ค. เริ่มทดลองที่ละคนโดยเริ่มจากงานในระดับง่ายก่อน

ง. ให้นักเรียนทดลองโดยใช้ปากกาดิจิตอลบนคอมพิวเตอร์แท็บเล็ต ไปเรื่อยๆจากระดับง่ายไปจนถึงระดับยากที่สุด คือมีระยะห่างของเป้าหมายที่มากขึ้นและขนาดและความกว้างของขอบเขตการเคลื่อนที่ที่เล็กลง

จ. ทดลองทั้ง 2 แบบคือกฎของฟิตส์และกฎของสเตียริง โดยทดลองซ้ำคนละ 20 ครั้งต่อระดับความยากของงานในงานของฟิตส์ และทดลองซ้ำคนละ 10 ครั้งในงานของสเตียริง ในแต่ละโปรแกรมจะได้พัก 3 นาที ทำไปจนครบทุกคน

4. วิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์ MT หรือเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในแต่ละวิธีการ แยกผลของข้อมูลเป็นข้อมูลที่ได้จากแบบทดสอบระดับง่าย ปานกลาง และระดับยาก ซึ่งแยกเป็นวิธีของกฎของฟิตส์และวิธีตามกฎของสเตียริง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ในทางสถิติ เพื่อหาความแตกต่างของสมรรถนะของผู้ทดลองแต่ละระดับ ความสามารถการใช้นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล บนคอมพิวเตอร์แท็บเล็ตของนักเรียนที่มีความแตกต่างกัน

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เด็กนักเรียนประถมวัยในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 เป็นเด็กนักเรียนในช่วงอายุที่มีพัฒนาด้านการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กได้แก่ มือ และนิ้วมือมากที่สุด ซึ่งการที่เด็กมีพัฒนาการหรือสมรรถนะในอวัยวะดังกล่าวที่มีประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยไม่ว่าจะเป็น พันธุกรรม การฝึกใช้ทักษะ และความสามารถเฉพาะตัวโดยงานวิจัยชุดนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะของกล้ามเนื้อมัดเล็กโดยประยุกต์ใช้ทฤษฎี Fitts' Law และ Steering Law และนำอุปกรณ์แท็บเล็ตมาใช้เป็นเครื่องมือในการทดลองโดยผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามลำดับดังนี้

สมรรถนะในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กหรือความสามารถในการเคลื่อนไหวกล้ามเนื้อแขน มือ และนิ้วมือ ในการทำกิจกรรมต่างๆโดยมีความสัมพันธ์กับสายตา[8] ซึ่งให้ความสำคัญกับความสามารถในการปรับตัวที่เด็กมีการปฏิบัติงานในชีวิตประจำวันได้ เช่น การช่วยเหลือตัวเอง การหยิบจับสิ่งของ และการเขียนหนังสือ [9]

ซึ่งมีหลายงานวิจัยที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะกล้ามเนื้อมัดเล็กในเด็กในวัยประถมต้นโดยเฉพาะกล้ามเนื้อบริเวณ มือ ข้อมือ และนิ้วมือ ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่ศึกษาในลักษณะการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อในบริเวณดังกล่าว โดยมีงานวิจัยจำนวนไม่น้อยที่ได้นำทฤษฎีซึ่งเป็นมาตรฐานสากลอย่างเช่น Fitts' Law และ Steering Law มาใช้ในงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กของเด็กปฐมวัย

1. ความหมายและความสำคัญของความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็ก
2. พัฒนาการของกล้ามเนื้อมัดเล็กในเด็ก
3. ทักษะการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กในเด็ก
4. การประเมินพัฒนาการการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็ก
5. การส่งเสริมความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็ก

2.1.1 ความหมายและความสำคัญของความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็ก

มีผู้ให้ความหมายและความสำคัญของความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กในเด็กไว้พอสังเขปดังต่อไปนี้

เบญจวรรณ วงศ์ศักดิ์ [10] กล่าวถึงความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กไว้ว่าเป็นการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างนิ้วมือ มือและตา เป็นพื้นฐานในการทำกิจกรรมต่างๆ ของเด็ก เช่น การหยิบจับ ซึ่งเป็นพื้นฐานของการที่เด็กมีพัฒนาการ การเขียน สัมผัส รวมไปถึงการอ่านและการเขียนหนังสือ โดยเด็กจะไม่สามารถเขียนหนังสือได้ หากไม่สามารถควบคุมการทำงานของข้อมือ มือและนิ้วมือได้ เด็กต้องมีกล้ามเนื้อบริเวณนิ้วมือ โดยเฉพาะนิ้วหัวแม่มือ และนิ้วชี้ที่แข็งแรงพอที่จะจับดินสอ แล้วลากไปตามทิศทางที่ต้องการ

สถาบันราชานุกูล กรมสุขภาพจิต กระทรวงสาธารณสุข [11] ได้ศึกษาและอธิบายการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กไว้ว่าเป็นความสามารถในการประสานความสัมพันธ์ระหว่างมือกับตา ความทรงจำ ความคิด การแยกแยะสิ่งต่างๆ การแก้ปัญหา และความพร้อมด้านวิชาการเพื่อเป็นพื้นฐานทางการศึกษา

คเณศ [12] กล่าวถึงการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กคือการหยิบจับฉวยสิ่งของล้วนต้องอาศัยการควบคุมการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อในส่วนของมือซึ่งเป็นกล้ามเนื้อมัดเล็ก ทำให้นิ้วแต่ละนิ้วเคลื่อนไหวได้อย่างคล่องแคล่ว และต้องอาศัยการฝึกฝน โดยความสามารถดังกล่าวเกี่ยวข้องกับการทำกิจวัตรประจำวัน เช่น การใช้ตะเกียบ ใช้กรรไกร ผูกเชือกรองเท้า ใส่และถอดเสื้อผ้า เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.2 พัฒนาการของกล้ามเนื้อมัดเล็กในเด็ก

กองบรรณาธิการนิตยาสาร รักลูก [13] กล่าวไว้ว่าพัฒนาการการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กในเด็กมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับพัฒนาการทางด้านสติปัญญา โดยดูได้จากความสามารถในการหยิบจับปล่อยของ เพราะการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กโดยเฉพาะมือ เป็นงานที่ละเอียดอ่อนและประณีต ต้องอาศัยการเรียนรู้ ประสบการณ์ และการฝึกฝน ซึ่งถ้าเด็กได้ผ่านการกระตุ้นในการใช้มือมาก ก็จะเป็นการเพิ่มพัฒนาการให้แก่เด็กได้

คณะอนุกรรมการเฉพาะกิจจัดทำคู่มือพัฒนาเด็ก [6] กล่าวถึงความสามารถด้านการเคลื่อนไหวร่างกาย การใช้สายตาและมือประสานกันทำสิ่งต่างๆ ในเด็กประถมศึกษา โดยแบ่งตามช่วงอายุ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การประเมินความสามารถด้านการเคลื่อนไหวร่างกาย การใช้สายตา และมือประสานกันทำสิ่งต่างๆ ในเด็กประถมศึกษา

อายุ	การใช้สายตาประสานกับการใช้มือ
6 ปี	สามารถวาดรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนได้ วาดรูปคนมีอย่างน้อย 6 ส่วน
7 ปี	วาดรูปคนมีรายละเอียดมากขึ้น เขียนหนังสือได้ครบแบบ
8 ปี	วาดรูปสิ่งที่พบเห็นเป็นสัดส่วน และมีรายละเอียดเขียนตัวหนังสือถูกต้องและเป็นระเบียบ
9 ปี	วาดรูปทรงกระบอกมีความลึกได้ เขียนตัวหนังสือตัวบรรจงได้ถูกต้อง
10-12 ปี	วาดรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ เขียน และวาดได้คล่อง สามารถใช้เครื่องมือในการทำงาน

พยอม อิงคตานุวัฒน์ [7] อธิบายถึงพัฒนาการด้านความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กประสานกันระหว่างมือ และตา แบ่งตามอายุ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การประเมินความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กประสานกันระหว่างมือและตา

อายุ	การใช้สายตาประสานกับการใช้มือ
6 ปี	การจับดินสอทำในการเขียนทำได้ดีขึ้น ชอบวาดภาพ ระบายสี แต่จะทำไม่เรียบร้อย เพราะความไม่อยู่นิ่งของเด็ก
7 ปี	สามารถปิดตาข้างหนึ่งแล้วเขียนหนังสือได้ ชอบการขีดเขียนเป็นอย่างมาก
8 ปี	ใช้มือได้คล่องแคล่ว โดยเฉพาะการเคลื่อนไหวที่ละเอียดและประณีต ในการเขียนจะเริ่มเขียนหนังสือโดยเว้นช่องไฟและเว้นวรรคได้เกือบสม่ำเสมอ
9 ปี	การประสานงานของระบบรับความรู้สึกกับระบบเคลื่อนไหว (Motor-Sensory Co-ordination) พัฒนาถึงระดับที่มือทั้ง 2 ข้างทำงาน 2 อย่างได้ ใช้ปลายนิ้วในการจับต้องของเล็กๆได้ดี
10 ปี	สามารถใช้ตาและมือพร้อมกับอวัยวะส่วนอื่นๆ ของร่างกายได้ เช่น แขน ขา เป็นต้น

2.1.3 ทักษะการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กในเด็ก

ยวมล ไกรล้อมบุญ [14] กล่าวถึงทักษะในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กในการเขียนเป็นส่วนหนึ่งของทักษะในการเรียนรู้โดยเฉพาะเด็กในระดับชั้นประถมศึกษา ความพร้อมด้านการเขียนสัมพันธ์องค์ประกอบในด้านการรับรู้ทางสายตา ทักษะการวางแผนสั่งการกล้ามเนื้อในการเคลื่อนไหว รูปแบบในการจับดินสอ

สุมน อมรวิวัฒน์, อุมา สุคนธมาน [15] อธิบายถึงการพัฒนาทักษะในการเขียนเป็นทักษะที่ค่อนข้างยากในการฝึกฝนเนื่องจากต้องใช้กระบวนการของการถ่ายทอดความรู้สึกนึกคิด และความต้องการของบุคคลออกมาเป็นสัญลักษณ์เพื่อสื่อสาร ดังนั้นในการฝึกทักษะในด้านนี้จึงต้องเริ่มตั้งแต่การเตรียมความพร้อมในการเขียน

2.1.4 การประเมินพัฒนาการการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็ก

นภเนตร ธรรมบวร [4] ได้ศึกษาการประเมินพัฒนาการทางด้านการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กของเด็ก ได้ผลว่าขนาดของอุปกรณ์ที่เด็กใช้มีผลอย่างมากต่อระดับความยาก-ง่ายในการประสานของกล้ามเนื้อมัดเล็ก ถ้าขนาดของอุปกรณ์มีขนาดเล็กมาก ระดับความยากในการประสานกันของกล้ามเนื้อมัดเล็กก็มีมากขึ้นเท่านั้น เช่น ในการร้อยลูกปัด ในขณะเดียวกันการกำหนดขอบเขตของการทำงาน ทำให้งานยากมากขึ้น เช่น การตัดตามแนวเส้นที่กำหนดให้จะยากกว่าการตัดตามใจชอบ การลากเส้นจากรูปภาพหนึ่งไปยังอีกรูปภาพหนึ่ง ยากกว่าการให้เด็กลากเส้นโดยเสรี การลากเส้นระหว่างเส้นขนานที่ห่างกันระยะหนึ่ง ความยากของงานขึ้นอยู่กับการลอดช่องระหว่างเส้นขนาน และการให้เส้นขนานมีส่วนโค้ง เป็นต้น

2.1.5 การส่งเสริมความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็ก

นิติธร ปิลวาสน์ [16] ได้กล่าวถึงการส่งเสริมพัฒนาการด้านกล้ามเนื้อมัดเล็กให้กับเด็กปฐมวัย สามารถจัดประสบการณ์หรือกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้เด็กได้รับประสบการณ์ตรงที่เป็นรูปธรรมด้วยการฝึกฝน และปฏิบัติกิจกรรมที่เด็กได้ใช้ประสาทสัมผัสโดยเฉพาะการประสานสัมพันธ์ระหว่างกล้ามเนื้อมือและตา ทำให้เด็กสามารถควบคุมความสัมพันธ์ระหว่างอวัยวะทั้งสองส่วน ซึ่งนำไปสู่ความพร้อมในการเขียนต่อไปเครื่องเล่นสัมผัสจึงเป็นเครื่องเล่นที่สามารถนำมาจัดกิจกรรมเพื่อพัฒนาเด็กปฐมวัย เพื่อส่งเสริมความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้การจัดประสบการณ์ให้กับเด็กปฐมวัยต้องมีความเหมาะสมสอดคล้องกับพัฒนาการเด็กโดยการคำนึงถึงหลักของพัฒนาการ วุฒิภาวะ ธรรมชาติและการเรียนรู้ของเด็กเป็นสำคัญซึ่งพัฒนาการทางด้านร่างกายเป็นพัฒนาด้านแรกที่มีความสำคัญ และส่งผลต่อพัฒนาการทางด้านอื่นๆ โดยเฉพาะพัฒนาการด้านกล้ามเนื้อมัดเล็ก (Fine-motor Development) เป็นความสามารถในการใช้

กล้ามเนื้อชิ้นที่เด็กใช้ในการหยิบจับ (Manipulation Abilities) สิ่งของต่างๆ เช่น การติดกระดุมการผูกเชือกรองเท้า การจับสีเทียน การจับดินสอ การใช้กรรไกรตัดกระดาษการร้อยลูกปัด เป็นต้น ความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กของเด็กเกี่ยวข้องกับอวัยวะส่วนต่างๆ เช่น กล้ามเนื้อบริเวณมือ ข้อมือ นิ้วมือการทำงานของกล้ามเนื้อส่วนต่างๆเหล่านี้ต้องมีการประสานสัมพันธ์กัน เช่นการประสานสัมพันธ์ระหว่างกล้ามเนื้อมือ ตา ข้อมือ นิ้วมือ เป็นต้น [3] พัฒนาการด้านกล้ามเนื้อมัดเล็กของเด็กปฐมวัยจะพัฒนาช้ากว่าพัฒนาการด้านกล้ามเนื้อใหญ่ เนื่องมาจากการประสานสัมพันธ์ที่ไม่ดีพอโดยเฉพาะกล้ามเนื้อตากับมือมีผลทำให้เด็กไม่สามารถใช้มือได้อย่างคล่องแคล่วเหมือนเด็กโตหรือวัยผู้ใหญ่เช่นเด็กวัยประถมศึกษาหรือวัยผู้ใหญ่สามารถตัดกระดาษได้ตามเส้นหรือตามรอยหยักได้ดีกว่าเด็กในระดับปฐมวัย เด็กโตสามารถผูกเชือกรองเท้าได้คล่องแคล่วกว่าเด็กในวัยอนุบาล เป็นต้น

ทั้งนี้เนื่องมาจากพัฒนาการในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็ก และการทำงานประสานกันของกล้ามเนื้อมัดเล็กซึ่งพัฒนาการในด้านนี้จะส่งผลต่อความสามารถในการอ่าน และการเขียนของเด็กเด็กปฐมวัยจึงต้องได้รับการพัฒนากล้ามเนื้อมัดเล็กในเรื่องของการควบคุม และการประสานสัมพันธ์ของกล้ามเนื้อได้ก่อนที่จะไปจับดินสอเพื่อเขียนหนังสือหรืออ่านหนังสือจากซ้ายไปขวาได้ จากการสังเกตพฤติกรรมของพ่อแม่หรือผู้ปกครองเกี่ยวกับความคาดหวังในการส่งลูกเข้าเรียนในระดับอนุบาล พบว่าผู้ปกครองส่วนใหญ่มุ่งเน้นให้เด็กมีความสามารถในการอ่าน คัดเขียนหรือมีความสามารถทางด้านวิชาการ โดยไม่ได้คำนึงถึงความพร้อมของเด็กว่าเด็กจะมีพัฒนาการ วุฒิภาวะ ธรรมชาติการเรียนรู้เป็นอย่างไรซึ่งในบางครั้งผู้ปกครองอาจเร่งให้เด็กหัดเขียนตอนอายุ 2 – 3 ขวบหรือตั้งแต่เข้าเรียนในระดับอนุบาลปีที่ 1 ซึ่งในช่วงอายุดังกล่าวนี้เด็กยังไม่สามารถควบคุมการทำงานระหว่างกล้ามเนื้อมือและตาได้ดีเนื่องมาจากการขาดวุฒิภาวะของเด็กที่พัฒนาการจะเริ่มจากการใช้กล้ามเนื้อใหญ่ไปสู่การใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กเด็กจะพัฒนาจากส่วนลำตัวก่อนที่พัฒนาอวัยวะส่วนย่อย เช่น เด็กจะพัฒนาความสามารถในการควบคุมการเคลื่อนไหวของส่วนลำตัว แขนก่อนที่จะควบคุมการใช้มือหรือนิ้วมือเป็นต้นดังนั้นการบังคับให้เด็กเขียนหนังสือก่อนที่เด็กยังไม่มีวุฒิภาวะหรือความพร้อมในด้านความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนบริเวณนิ้วมือก็จะไม่มีประโยชน์เด็กจะเกิดอารมณ์เครียด และมีผลต่อการพัฒนาในด้านอื่นๆด้วย ดังนั้นการที่ผู้ปกครองคอยสังเกตเด็ก และพยายามศึกษาหลักการพัฒนาเด็กในระดับปฐมวัยโดยการอาศัยความร่วมมือระหว่างครูและผู้ปกครอง จะทำให้การพัฒนาเด็กปฐมวัยเป็นไปตามทิศทางที่เหมาะสม

เครื่องเล่นสัมผัสเป็นกิจกรรมที่มุ่งให้เด็กได้พัฒนาทั้งทางด้านกล้ามเนื้อมัดเล็ก การประสานสัมพันธ์ระหว่างกล้ามเนื้อมือกับตา รวมทั้งตอบสนองต่อพัฒนาการทางด้านอารมณ์จิตใจ เนื่องจากกิจกรรมการใช้ประสาทสัมผัสทำให้เด็กผ่อนคลายและเพลิด เพลินใจ ไม่รู้สึกเบื่อเป็นการสร้างสมาธิและช่วยขยายช่วงความสนใจของเด็กได้ นอกจากนี้เด็กยังได้พัฒนาด้านสังคมจากการทำงานร่วมกัน

เป็นกลุ่ม เช่น การเล่นบล็อกเป็นกลุ่ม ทำให้เด็กมีปฏิสัมพันธ์กันและแก้ปัญหาร่วมกัน อีกทั้งยังพัฒนาด้านการคิดริเริ่มสร้างสรรค์ และการคิดอย่างมีเหตุผลให้กับเด็กได้ด้วย โดยกิจกรรมการเล่นสัมผัสเพื่อส่งเสริมพัฒนาการการส่งเสริมความสามารถการใช้กล้ามเนื้ออาจมีตัวอย่างกิจกรรมดังนี้

ภาพตัดต่อ (Jigsaw puzzle) เป็นเครื่องเล่นสัมผัสที่เกิดจากการนำภาพที่ถูกตัดออกเป็นชิ้นๆ ในรูปทรงต่างๆ เพื่อให้เด็กได้นำมาวางประกอบขึ้นใหม่ให้เป็นรูปที่สมบูรณ์ ซึ่งจุดประสงค์ของภาพตัดต่อจะมุ่งให้เด็กพัฒนากล้ามเนื้อมัดเล็กด้านการประสานกันระหว่างมือกับตาด้วยการมองหาชิ้นส่วนต่างๆของภาพตัดต่อแล้วนำมาวางให้ถูกต้อง อีกทั้งยังพัฒนาด้านการสังเกต การคิดเชิงเหตุผล และด้านอารมณ์ให้กับเด็กอีกด้วย

พลาสติกสร้างสรรค์ (Creative plastics) เป็นเครื่องเล่นสัมผัสที่จัดให้เด็กได้เล่นในช่วงกิจกรรมเสรี เพื่อให้เด็กได้ฝึกการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กด้านการประสานกันระหว่างมือกับตา ความคิดสร้างสรรค์ ตลอดจนพัฒนาการทางด้านอารมณ์ โดยให้เด็กนำพลาสติกสร้างสรรค์ที่มีสีสันต่างๆมาเล่นต่อกันตามจินตนาการ ส่วนใหญ่กิจกรรมนี้จะให้เด็กได้เล่นเป็นรายบุคคลเพื่อให้เด็กได้แสดงออกด้านความคิดสร้างสรรค์อย่างเต็มที่

บล็อกสร้างสรรค์ (Creative blocks) เป็นเครื่องเล่นสัมผัสที่ประกอบด้วยบล็อกรูปทรงต่างๆ เช่น บล็อกทรงสี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม ทรงกลม ทรงกรวย ครึ่งวงกลม บล็อกกลวง ซึ่งแต่ละรูปทรงจะมีหลากสี บล็อกสร้างสรรค์ช่วยให้เด็กได้พัฒนาทั้งกล้ามเนื้อมัดใหญ่และกล้ามเนื้อมัดเล็ก การสร้างจินตนาการและความคิดสร้างสรรค์ให้กับเด็ก ส่วนใหญ่การเล่นบล็อกสร้างสรรค์จะจัดให้เป็นกิจกรรมการเล่นเสรี เด็กจะเล่นเป็นรายบุคคลหรือเล่นเป็นกลุ่มก็ได้

หมุดสร้างสรรค์ (Creative pins) เป็นเครื่องเล่นสัมผัสที่ช่วยให้เด็กได้พัฒนากล้ามเนื้อมัดเล็กด้านการประสานสัมพันธ์ระหว่างมือกับตา โดยให้เด็กนำหมุดที่มีสีต่างๆปักลงบนแผ่นกระดานที่เจาะรูไว้ ส่วนใหญ่รูที่เจาะบนแผ่นกระดานจะมีลักษณะเรียงกันเป็นแถวและมีระยะห่างเท่ากัน ลักษณะการเล่นเป็นการให้เด็กปักหมุดลงบนแผ่นกระดานให้เป็นรูปต่างๆตามความคิดและจินตนาการของเด็ก

กิจกรรมการร้อย (Lacing Activities) กิจกรรมการร้อยเป็นกิจกรรมที่ฝึกฝนการใช้ประสาทสัมผัสและการพัฒนากล้ามเนื้อมัดเล็กให้กับเด็กปฐมวัย วัสดุที่ใช้ในกิจกรรมนี้ได้แก่ เชือกสำหรับร้อย หลอดกาแฟ ลูกปัด ใบไม้ ดอกไม้ เช่น ดอกดาวเรือง ดอกบานไม่รู้โรย ดอกเข็ม เป็นต้น

นอกจากเครื่องเล่นสัมผัสจะส่งเสริมพัฒนาการเด็กในด้านต่างๆ แล้ว พ่อแม่ ผู้ปกครองสามารถนำเครื่องเล่นสัมผัสไปจัดกิจกรรมเพื่อให้เด็กได้รับการพัฒนาขณะเด็กอยู่ร่วมกับผู้ปกครองได้ โดยจัดสภาพแวดล้อมให้มีพื้นที่ที่สงบ สบาย เด็กรู้สึกผ่อนคลาย และให้เด็กได้เล่นเครื่องเล่นสัมผัสในช่วงเวลาว่างตามความเหมาะสม เครื่องเล่นสัมผัสจะมีความเหมาะสมกับเด็กระดับปฐมวัยเพื่อเตรียม

ความพร้อมด้านกล้ามเนื้อมัดเล็กที่จะนำไปสู่พื้นฐานด้านการเขียนของเด็ก เป็นการเสริมสร้างความพร้อมด้านการอ่านเขียน ทำให้เด็กมีพัฒนาการด้านการเขียนได้เร็วขึ้น และเป็นกิจกรรมที่เด็กชอบอยู่แล้ว ทำให้ผู้ปกครองได้เรียนรู้การที่จะส่งเสริมด้านการอ่านเขียนได้อย่างถูกต้องตามหลักการศึกษาในระดับปฐมวัย นอกจากนี้ขณะที่เด็กเล่นเครื่องเล่นสัมผัส พ่อแม่หรือผู้ปกครองควรอยู่ใกล้ชิดเด็กเพื่อที่จะได้ใช้คำถามให้เด็กได้มีการคิดอย่างหลากหลาย และเป็นการสร้างสัมพันธภาพที่ดีระหว่างเด็กกับพ่อแม่ได้อีกทางหนึ่งด้วย

2.2 การประเมินสมรรถนะของการทำางานโดยอาศัยแนวคิดกฎของ Fitts และ Steering

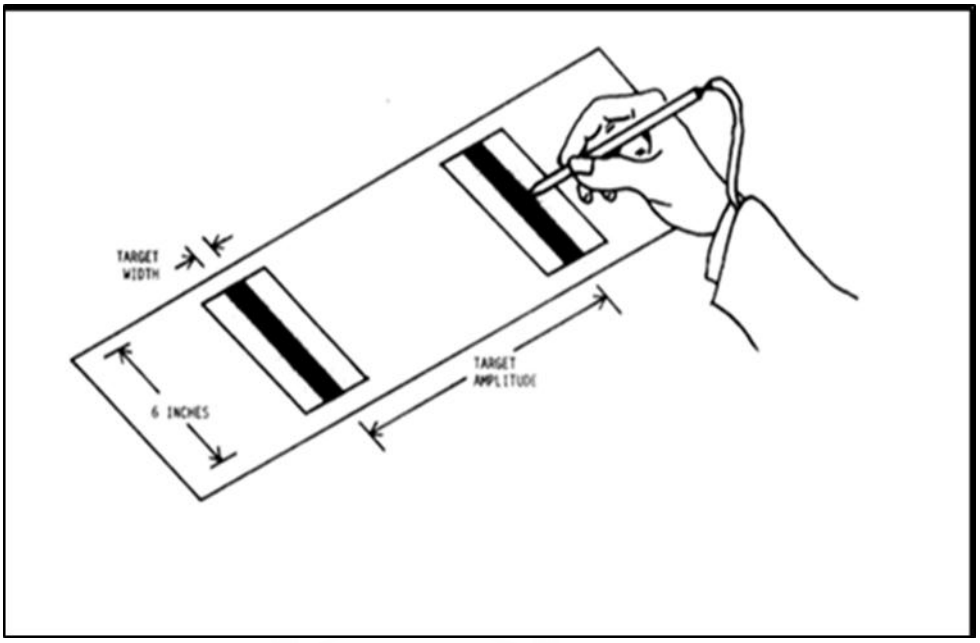
ค่าสมรรถนะ(Index of performance) คือ ความสามารถเฉพาะบุคคลที่แสดงถึงการเผชิญหน้ากับการเปลี่ยนแปลงในการดำเนินงาน เช่น แม้ดัชนีความยากจะเพิ่มขึ้นมากเพียงใด แต่เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่มีความเปลี่ยนแปลงน้อย แสดงให้เห็นว่ามีสมรรถนะที่ดีในการทำงานนั้น

มาตรฐาน ISO 9241 คือ มาตรฐานจากองค์กรระหว่างประเทศ International Organization for Standardization (ISO) ว่าด้วยเรื่องการกำหนดมาตรฐานทางการยศาสตร์กับการทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งแบ่งออกเป็นหลายส่วน ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะส่วนที่ 9 ที่เกี่ยวกับข้อกำหนดสำหรับการนำเข้าข้อมูลของผู้ใช้ที่ไม่ใช่คีย์บอร์ด เช่น การคลิก การลาก การชี้ตำแหน่ง การเลือก เป็นต้น โดยอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ใช้มือเป็นตัวดำเนินงาน เช่น ปุ่มกด เมาส์ จอยสติ๊ก แทร็กบอล ปากกาดิจิตอล แท็บเล็ต ซึ่งมีการทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณและมนุษย์ และสามารถวัดผลผ่านตัวชี้วัดต่างๆนอกจากนี้มาตรฐาน ISO ยังเป็นมาตรฐานที่ช่วยให้สามารถเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานที่มีความแตกต่างกันได้โดยใช้วิธีที่สอดคล้องกัน

จากมาตรฐาน ISO 9241-9 ในการประเมินความสามารถหรือสมรรถนะนั้นแบ่งออกเป็นเรื่องประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่ได้จากปริมาณของงาน โดยอาศัยแนวความคิดกฎของ Fitts และกฎของ Steering ซึ่งทั้งสองแนวความคิดนี้ ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยขึ้นอยู่กับระดับความยากของงาน และระดับความยากของงานมาได้จากการกำหนดเงื่อนไขของระยะห่างจากจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมาย และขนาดความกว้างของเป้าหมาย แต่แนวคิดทั้งสองนี้มีความแตกต่างกันในเรื่องประเภทการทำงานโดยที่ Fitts’ Law ใช้ประเมินงานประเภทการชี้ตาแหน่งเป็นรูปแบบของการแตะ (Tap) และ Steering Law ใช้ประเมินงานประเภทการลาก (Drag)

2.2.1 กฎของฟิตส์

กฎของฟิตส์ (Fitts'Law) คือรูปแบบการจำลองพฤติกรรมการตอบสนองของมนุษย์ (Human Psychomotor Behavior) ใช้ในการอธิบายการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งหรือจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดเป้าหมาย โดยที่ฟิตส์ได้ทดลองที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่หนึ่งมิติ ที่เรียกว่า Pointing หรือ Tapping Task ดังรูป



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.1 ลักษณะงาน Tapping task (Fitts, 1954)

งานที่ผู้ทดสอบต้องทำคือต้องเลื่อนเมาส์ , เมาส์ปากกาหรือนิ้วมือ จากตำแหน่ง ณ ปัจจุบันไปยังตำแหน่งเป้าหมายแล้วเคาะตรงจุดเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ โดยดัชนีความยากของงานหาได้จากการกำหนดเงื่อนไขของระยะห่างจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดเป้าหมายและความกว้างของเป้าหมาย ดังสมการที่ 2.1 [17]

$$ID = log_2(2A/W) \tag{2.1}$$

ID = ดัชนีความยากของงาน (Index of difficulty)

A = ระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดศูนย์กลางเป้าหมาย (Amplitude) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรหรือพิกเซล

W = ขนาดความกว้างของเป้าหมายในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ (Width) มีหน่วยมิลลิเมตรหรือพิกเซล

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่า หากต้องการจะลดเวลาในการเคลื่อนที่หรือเวลาในการทำงานสามารถทำได้โดยลดระยะห่างระหว่างเป้าหมาย หรือ/และเพิ่มขนาดของเป้าหมายงาน ในวิจัยส่วนใหญ่ที่นำกฎของฟิตส์ไปประยุกต์ใช้จะเกี่ยวข้องกับงานที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการทำงานของมนุษย์ ปัจจัยมนุษย์ และการทำงานของมนุษย์ในงานปฏิสัมพันธ์กับคอมพิวเตอร์ ประสิทธิภาพของการเคลื่อนไหวในการทำงานที่มีการกำหนดขอบเขตของงาน [17]

โดยสรุปก็คือ Fitts' law เป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่กับระยะทางและขนาดของเป้าหมาย ซึ่งหากเป้าหมายมีขนาดเล็กลง และระยะทางมีค่ามากขึ้นจะส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการทำงานเพิ่มขึ้น ส่วน Steering law เป็นการอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่กับระยะห่างและขนาดของเส้นทาง ซึ่งหากระยะทางมีค่ามาก และขนาดของเส้นทางแคบลงจะทำให้เวลาที่ใช้ในการทำงานเพิ่มขึ้น

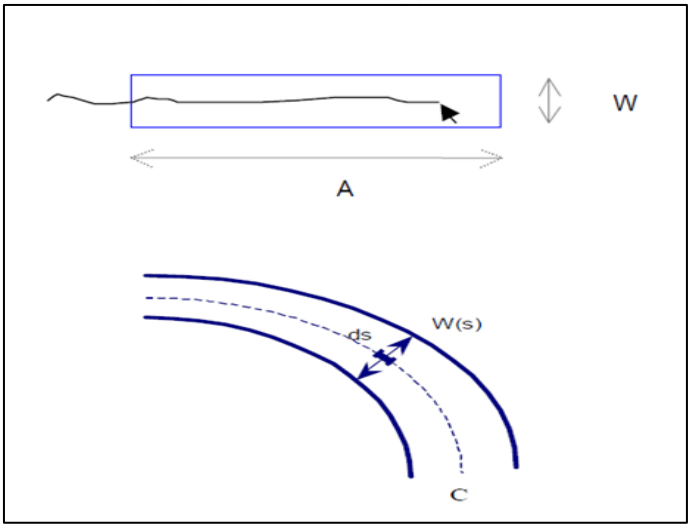
การนำทฤษฎี Fitts' Law มาใช้ในศึกษาสมรรถนะการใช้กล้ามเนื้อ มือ และนิ้วมือในงานวิจัยมีผู้ได้ศึกษากันอย่างแพร่หลาย มีหลายงานวิจัยที่ได้นำอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบผู้เข้าร่วมทดสอบไม่เพียงแต่ใช้คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะเท่านั้น ยังมีงานวิจัยที่ได้นำอุปกรณ์ที่มีลักษณะการทำงานเหมือนกับคอมพิวเตอร์แท็บเล็ต และมีบางงานวิจัยที่มุ่งเน้นไปเพื่อที่จะศึกษาสมรรถนะเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อมัดเล็กอาทิ เช่น มือและนิ้วมือ ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยชุดนี้ หลายงานวิจัยใช้วิธีทดสอบที่ค่อนข้างคล้ายคลึงกัน นั้นก็คือการใช้มือในการเคาะจุดกำหนดเริ่มต้น ไปยังจุดสิ้นสุดที่ได้กำหนดขั้นตอนของการทดลองในแต่ละงานวิจัย Jacob Wobbrock, et al. [18] ได้ศึกษาลักษณะประสิทธิภาพของการใช้มือในบุคคลทั่วไปอายุเฉลี่ย 23.7 ปี จำนวน 16 คน โดยใช้อุปกรณ์เป็นคอมพิวเตอร์มือถือ และได้นำเอากฎของฟิตส์มาใช้ในวิจัย โดยได้กำหนดค่าดัชนีความยากของงานอยู่ในช่วง 1.32 ถึง 4.64 bits โดยได้ศึกษาลักษณะการทดลองที่แตกต่างกัน 3 ลักษณะ การใช้มือเดียว สองมือ การเคลื่อนไหวบนอุปกรณ์โดยใช้นิ้วมือ การเขียนหนังสือบนอุปกรณ์ ซึ่งจากผลงานวิจัยพบว่าสมรรถนะของการทำงานอยู่ในช่วง 0.373 - 3.546 (bits/s)

ในการศึกษาเกี่ยวกับพัฒนาการของเด็กที่เกี่ยวข้องกับ Speed and accuracy trade-off ซึ่งอธิบายถึงความสามารถในการทำางานของมนุษย์นั้น โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความ

ผิดพลาดในการทำงานเกิดขึ้นพร้อมกันเสมอ นั่นคือเมื่อดัชนีความยากของงานมากจึงทำให้ต้องใช้ระยะเวลาการเคลื่อนที่มากตามไปด้วย ในขณะเดียวกันอาจเกิดความผิดพลาดมากด้วยเช่นกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยมนุษย์ที่มีไม่เท่ากันของแต่ละบุคคล ดังนั้นการศึกษาในเด็กจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงความสามารถและข้อจำกัดของเด็กที่ศึกษา ซึ่งในบางการทดลองเด็กสามารถแสดงผลการทดลองออกมาได้ดีกว่าทดลองในผู้ใหญ่ก็มีเช่น ในงานวิจัยของ Smits-Engelsman, et al. [19] พวกเขาได้ศึกษาแนวโน้มพัฒนาการของเด็กอายุ 6-10 ปี จำนวน 48 คนทั้งชายและหญิง โดยใช้หลักการ Speed and accuracy trade-off และใช้ Fitt's Law เป็นทฤษฎีอ้างอิงในการศึกษา ซึ่งเป็นการศึกษาถึงความเร็วและความถูกต้องในขณะที่มีการเคลื่อนไหวกล้ามเนื้อมือของเด็กที่ทดลอง โดยมีทั้งงานที่เป็นแบบเชื่อมโยงกันและแบบแยกจากกันโดยสิ้นเชิง ซึ่งเด็กจะสามารถทำงานในแบบที่มีเชื่อมโยงกันได้ดีกว่างานแบบแยกออกจากกัน

2.2.2 กฎของสเตียริง

กฎสเตียริง (Steering Law) เป็นกฎที่ใช้ในการอธิบายการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่ได้มีการกำหนดไว้ ซึ่งได้เกิดจากการทดลองขยายขอบเขตกฎของฟิตส์โดยการศึกษาการเคลื่อนที่ผ่านทั้งจุดเริ่มต้นและจุดเป้าหมายที่มีระยะตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ W และเป็นระยะทาง A โดยทดลองแบ่งช่วงการเคลื่อนที่ออกเป็นช่วงย่อย และใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เปลี่ยนจากการเคลื่อนที่ผ่านขอบเขตที่ไม่ต่อเนื่องมาเป็นขอบเขตที่ต่อเนื่อง ทำให้มีลักษณะของงานที่เปลี่ยนแปลงไป [20]



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะงาน Steering task (Shumin Zhai, 2003)

กล่าวโดยสรุป Steering Law เป็นแนวความคิดที่ใช้อธิบายการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นทางที่กำหนดไว้ซึ่งเกิดจากการขยายขอบเขตของ Fitts' law โดยศึกษาแบ่งเป็นช่วงย่อยๆของการเคลื่อนที่ผ่านทั้งจุดเริ่มต้นและเป้าหมายที่มีระยะตั้งฉาก แล้วจึงใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์โดยการอินทิเกรตช่วงย่อยเข้าด้วยกันและดัชนีความยากของงาน Steering แสดงดังสมการที่ 2.2

$$ID = \int_0^A \frac{ds}{W(s)} \tag{2.2}$$

โดยที่ ID คือ ค่าดัชนีความยาก

ds คือ ระยะสั้นๆ ที่ต้องเคลื่อนที่ตามขอบเขตที่กำหนด

W(s) คือ ความกว้างของขอบเขต ds ใดๆ

สำหรับงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาค่าสมรรถนะของงานลากในรูปแบบเส้นรอบวงกลม(Radial Drag) ดังนั้น A คือ เส้นรอบวงที่แสดงถึงระยะทางการเคลื่อนที่ A =2πR ซึ่ง R คือ รัศมีของวงกลม โดยจะได้ดัชนีความยากของงานตามแนวเส้นรอบวงกลม [20] แสดงดังสมการที่ 2.3

$$ID = \frac{A}{W} \tag{2.3}$$

ซึ่ง Steering law ก็คือความเร็วในการเคลื่อนที่ ณ ขณะใดๆ โดยแปรผันตามความกว้างของเส้นทางที่มีการเคลื่อนที่ไป หากแต่ว่าความเร็วนั้นไม่ใช้ความเร็วสูงสุดที่ทำได้ ทั้งนี้ Steering law ได้ถูกนำมาใช้เป็นมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบการทำงานในสภาวะที่มีความแตกต่างกัน

ในการนำ Steering Law มาใช้ในงานวิจัยศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กก็มีอย่างแพร่หลายเช่นเดียวกับ Fitts' Law ใช้ในการประเมินการเคลื่อนที่ส่วนของร่างกายจากตำแหน่งหนึ่งไปอีกตำแหน่งหนึ่งตามเส้นทางที่มีการกำหนดไว้คล้ายกับการลากเส้นตามเส้นไข่ปลา ซึ่งเรียกกว่า Steering task บางงานวิจัยศึกษาเปรียบเทียบระดับความยากของงานโดยใช้ Steering task ในการทดลองทั้งในงานแบบเส้นตรงและงานแบบเป็นเส้นโค้ง เพื่อประเมินความสามารถของมนุษย์และประโยชน์ในการออกแบบเครื่องมือสำหรับการใช้งาน [21] ในการทดลองยังออกแบบการทดลองจำลองเหมือนกับการขับรถในถนนทางโค้งเพื่อดูกระบวนการในการควบคุมเส้นทางในงานที่ใช้ Steering Law มาเป็นทฤษฎีในการอ้างอิงสำหรับการทดลองที่ใช้อุปกรณ์ประเภทแท็บเล็ตหรือคอมพิวเตอร์มือถือ (Handheld computer) มาเป็นอุปกรณ์ในการทดลองและนำเมาส์ปากกามาใช้ในการลากเส้น [22] ซึ่งงานของ Juan Pablo Hourcade และคณะ ได้ศึกษากับผู้ทดลองที่มีช่วงอายุ

แตกต่างกัน ทั้งวัยรุ่นอายุเฉลี่ย 20 ปี วัยกลางคนอายุเฉลี่ย 55 ปี และสูงอายุมีอายุเฉลี่ย 75 ปี โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าคอมพิวเตอร์มือถือในการทดลองที่ขนาดของเป้าหมายต่างๆ

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่นำทั้ง Ftits' Law และ Steering Law สองทฤษฎีมาใช้อ้างอิงเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของมนุษย์ขณะที่ร่างกายส่วนล่างของมนุษย์มีการเคลื่อนที่ด้วยอุปกรณ์จากภายนอก โดยมีการเป้าหมายเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่กับร่างกายกับประสิทธิภาพการทำงานโดยใช้อุปกรณ์เป็นคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะสำหรับการทำงาน ซึ่งผลสรุปจากการทดลอง พบว่าเมื่อเพิ่มการเคลื่อนที่ให้กับร่างกายส่วนล่างที่เร็วขึ้นในงานที่ยากจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลงเล็กน้อย การใช้อุปกรณ์ที่มีลักษณะเหมือนกับแท็บเล็ตได้มีการศึกษาในงานของ A. Cockburn, et al. [23] โดยได้ศึกษาถึงสมรรถนะในการสัมผัสกับอุปกรณ์โดยใช้ทั้งการเคาะบนเป้าหมายและการลากเส้นที่กำหนด โดยการใช้นิ้วมือ เมาส์ปากกา และเมาส์ โดยทดลองที่ระดับความยากของงานแตกต่างกัน 7 ระดับความยากคือ 2.32, 2.58, 3.09, 3.46, 4.09, 4.95, และ 5.36 โดยได้จากการกำหนดระยะทางและความกว้างของเป้าหมายที่แตกต่างกัน ซึ่งจากการทดลองได้มีการเปรียบเทียบ สมรรถนะในลักษณะ ของการเคาะ การลาก และการลากเส้นเป็นรัศมี พบว่าการเคาะโดยใช้นิ้วใช้เวลาน้อยที่สุด ส่วนการลากเส้นการใช้เมาส์ปากกาใช้เวลาน้อยที่สุด และจากงานการทดลองพบว่าในงานที่มีการลากเส้นเป็นรัศมีการนำ Steering Law มาใช้ให้ผลการทดลองที่มีประสิทธิภาพดีกว่า Fitt's Law โดยการใช้เมาส์ปากกาจะมีความเร็วสูงที่สุด และในปี 2013 นภัทร ยงบุญธนภัทร [24] ได้การเปรียบเทียบสมรรถนะของการถือและการใช้งานแท็บเล็ต โดยในแนวคิดของ Fitts' Law และ Steering Law มาให้ในการออกแบบการทดลอง โดยมีค่าดัชนีความยากสำหรับงานแตะคือ 2.58, 4.00 และ 5.06 ค่าดัชนีความยากสำหรับงานลากคือ 3.14, 4.06 และ 5.42 สำหรับเงื่อนไขในการกำหนดดัชนีความยากต่างๆ นำมาซึ่งข้อมูลเพื่อการเปรียบเทียบสมรรถนะการถือ และการใช้งานแท็บเล็ตโดยมีการเปรียบเทียบด้วยท่าทางการถือ 3 ท่าทาง คือ ท่าถือ Clipboard Grip (CG) ท่าถือ Flat Hand (FH) และท่าถือ Thumb Extended with Thenar Support (TE) โดยมีการสั่งการบนหน้าจอระบบสัมผัส (Touch Screen) บนแท็บเล็ต 2 รูปแบบคือ การแตะสัมผัสเป็นเส้นตรง (Linear Tapping) และการวาดสัมผัสตามแนวรัศมีวงกลม (Radial Dragging) โดยใช้อุปกรณ์นาเข้าข้อมูล 2 ชนิดคือนิ้วมือ และปากกาดิจิตอล โดยผลการวิจับพบว่าที่การดำเนินงานทั้งรูปแบบแตะสัมผัส และวาดสัมผัส โดยใช้ท่า FH ร่วมกับการใช้นิ้วมือสัมผัสให้สมรรถนะสูงที่สุด และสำหรับการใช้ปากกดิจิตอลเมื่อใช้ร่วมกับท่า TE ให้สมรรถนะสูงกว่าท่าอื่น

แนวความคิดทั้งสองนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเคลื่อนที่ (Movement time) จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งขึ้นอยู่กับระดับความยากของงาน เมื่อทำดำเนินการตามค่าดัชนีความยากนี้ผ่านช่องทางของมนุษย์ด้วยค่าดัชนีความยากต่างๆแล้ว จากนั้นสามารถนำค่าดัชนีความยากนั้นมาหารด้วยเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (MT) จะได้เป็นค่าสมรรถนะหรือประสิทธิภาพ (Efficiency, IP) ในการทำงานนั้นๆ [17] ดังแสดงในสมการที่ 2.4

$$IP = ID/MT \tag{2.4}$$

นอกจากนี้สามารถหาค่าสมรรถนะหรือค่า Index of Performance (IP) ของการทำงานได้จากสมการความสัมพันธ์ถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear regression) ของ MT เทียบกับ ID โดยหาจากส่วนกลับของความชัน (1/b) ที่ได้จากสมการที่ 2.5

$$MT = a + [b \times ID] \tag{2.5}$$

สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเคลื่อนที่และอัตราส่วนระหว่างระยะห่างระหว่างเป้าหมายและขนาดความกว้างของเป้าหมายแสดงในสมการที่ 2.6 สำหรับงานแตะ และ 2.7 สำหรับงานลาก

แทนค่าสมการที่ (2.1) และ (2.3) ในสมการที่ (2.5)

$$MT = a + [b \times log_2(2A/W)] \tag{2.6}$$

$$MT = a + \left[b \times \frac{A}{W}\right] \tag{2.7}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยที่ IP = ดัชนีสมรรถนะการทำงาน (Index of Performance)

MT = ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ (Movement time)

ID = ดัชนีความยากของงาน (Index of difficulty)

a และ b = Regression coefficient

2.4 ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface)

ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface, GUI อ่านว่า จียูไอ หรือ กูอี้) [1] เป็นวิธีการใช้งานคอมพิวเตอร์ผ่านทางสัญลักษณ์หรือภาพนอกเหนือจากทางตัวอักษร จียูไอมี

ส่วนประกอบต่างๆ เช่น ไอคอน หน้าต่างการใช้งาน เมนู ปุ่มเลือก และการใช้เมาส์ หรือแม้แต่ในระบบทัชสกรีน ช่วยทำให้ผู้ใช้งานสามารถทำงานได้ง่าย และรวดเร็วขึ้น ไม่จำเป็นต้องจดจำคำสั่งต่างๆ ของโปรแกรมมากนัก ถือเป็นวิธีการให้ความสะดวกแก่ผู้ใช้คอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะในบางโปรแกรมที่มีคำสั่งมากๆ เช่น โปรแกรม Autocad ที่ใช้ในการวาดแบบ ซึ่งจะมี คำสั่งต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างรูปมากมาย ผู้ใช้สามารถใช้เม้าซ์ (mouse) เลือกคำสั่งที่ต้องการจะวาดจาก Icons ที่ปรากฏในโปรแกรมและใช้งานได้เลย โดยไม่ต้องพิมพ์คำสั่งต่างๆ ทางแป้นพิมพ์ ช่วยทำให้เกิดความรวดเร็วในการทำงาน และไม่ต้องเสียเวลาในการเรียนรู้และจดจำคำสั่งที่ต้องการมากนัก เพียงดูจาก Icons ที่ปรากฏในโปรแกรมก็สามารถใช้งานได้ทันที ตัวอย่างโปรแกรมที่ช่วยออกแบบโปรแกรมที่ใช้ GUI เช่น Microsoft Visual Basic เป็นต้น

จียูไอพัฒนาขึ้นโดยนักวิจัยที่สถาบันวิจัยสแตนฟอร์ดนำโดย ดัก เอนเกลบาร์ต (Doug Engel bart) โดยการใช้งานร่วมกับไฮเปอร์ลิงก์และเมาส์ ซึ่งภายหลังได้นำมาวิจัยต่อที่ศูนย์วิจัยซีร็อกซ์พาร์ค (Xerox PARC) โดยใช้งานระบบกราฟิกแทนที่ระบบตัวอักษร โดยบางคนจะเรียกระบบนี้ว่า PARC User Interface หรือ PUI ปลายคริสต์ทศวรรษที่ 1970 แอปเปิลคอมพิวเตอร์ได้นำมาใช้ครั้งกับเครื่องแมคอินทอช ซึ่งภายหลังทางไมโครซอฟท์ได้เลียนแบบความคิดมาใช้กับระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ในปัจจุบันจียูไอเป็นที่นิยมโดยสามารถเห็นได้จากระบบปฏิบัติการ แมคอินทอช และวินโดวส์ และล่าสุดในลินุกซ์

2.5 คอมพิวเตอร์แท็บเล็ต

คอมพิวเตอร์แท็บเล็ต (Computer tablet) หรือที่เรียกกันสั้นๆว่า แท็บเล็ต นั้นก็คือคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาขนาดกลาง มีระบบการรับข้อมูลทั้งแบบนิ้วสัมผัสและแบบใช้ปากกาดิจิตอล (Stylus) ในการใช้คำสั่งหรือป้อนข้อมูลให้กับเครื่องแท็บเล็ต ซึ่งในปัจจุบันแท็บเล็ตกำลังเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน และมีแนวโน้มจะได้รับความนิยมสูงขึ้นในอนาคตด้วย

คอมพิวเตอร์แท็บเล็ต (Tablet Computer) เครื่องแรกถูกผลิตขึ้นโดย บริษัท Apple นั่นก็คือ ไอแพด (iPad) ในปี ค.ศ 2010 แสดงดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 Apple iPad (Siamphone, 2013 : ออนไลน์)

2.4.1 ระบบปฏิบัติการแท็บเล็ต

แท็บเล็ตส่วนใหญ่ใช้ระบบปฏิบัติการพิเศษที่ออกแบบมาเพื่อรองรับระบบสัมผัสให้ได้มากที่สุด [25] แท็บเล็ตจึงมักมีอินเทอร์เฟซโต้ตอบที่ใช้งานได้สนุกสนานและหลากหลาย ระบบปฏิบัติที่ดีเป็นส่วนสำคัญของคอมพิวเตอร์แท็บเล็ตที่ดี ระบบปฏิบัติการทั้งหมดนี้มีจุดเด่นและจุดด้อย ที่แตกต่างกัน โดยทั้งหมดพัฒนาขึ้นเพื่อให้แท็บเล็ตมีประสิทธิภาพมากที่สุด ระบบปฏิบัติการ (Operating System: OS) เป็นโปรแกรม (Software) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางระหว่างฮาร์ดแวร์ (Hardware) และโปรแกรมประยุกต์ (Applications Software) เครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปต้องติดตั้งระบบปฏิบัติการก่อนจึงจะสามารถใช้งานได้ เช่นเดียวกับแท็บเล็ตที่มีระบบปฏิบัติการเป็นโปรแกรมทำหน้าที่เป็นตัวกลางสำหรับติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้งาน และตัวเครื่องซึ่งในปัจจุบันมีระบบปฏิบัติการที่นิยมใช้ทั้งสิ้น 4 ระบบดังนี้

1. ไอโอเอส (iOS) หรือเดิมคือ ไอโฟนโอเอส (iPhone OS) เป็นระบบปฏิบัติการสำหรับสมาร์ทโฟนของบริษัท Apple โดยเริ่มต้นพัฒนาใช้ในโทรศัพท์IPhone ต่อมาได้พัฒนาใช้ใน IPod IPod touch และ IPadโดยมีจุดเด่นในเรื่องของประสิทธิภาพในการทำงานกับฮาร์ดแวร์ และการจัดการหน่วยความจำที่ดี แต่ยังเป็นระบบปฏิบัติการเดียวที่ไม่รองรับ Flash และต้องเชื่อมต่อผ่านซอฟท์แวร์ iTunes เท่านั้นซึ่งเป็นข้อจำกัดของระบบการ iOS

2. แอนดรอยด์ (Android) เป็นระบบปฏิบัติการจาก Google เริ่มแรกถูกพัฒนาเพื่อนำมาใช้กับสมาร์ทโฟน เช่น Samsung Galaxy Tab ต่อมามีการพัฒนาระบบใหม่ให้รองรับแท็บเล็ตที่มี

หน้าจอที่มีขนาดใหญ่กว่ามือถือสมาร์ทโฟนที่เรียกว่าHoneycomb และระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ยังเป็นระบบปฏิบัติการที่สามารถใช้ได้ฟรี จึงทำให้บริษัทผู้ผลิตแท็บเล็ตนำไปใช้กันอย่างกว้างขวาง

3. วินโดวส์ (Windows) เป็นระบบปฏิบัติการของบริษัท Microsoft ที่คนส่วนใหญ่คุ้นเคยกับ Office และเดสก์ท็อป Windows จึงง่ายต่อการใช้งาน อย่างไรก็ตาม Windows 7 ยังคงไม่ได้ออกแบบมาให้ใช้สำหรับแท็บเล็ตโดยเฉพาะ แต่ปัจจุบัน Windows 8 เปิดตัวมาเน้นสำหรับสัมผัสหน้าจอเพื่อให้รองรับทั้งแท็บเล็ต คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ และโทรศัพท์สมาร์ทโฟน มีความเป็นหนึ่งเดียวกันกับทุกอุปกรณ์ ทำให้มีมาตรฐานในการโอนถ่ายข้อมูลต่างๆร่วมกัน และยังรองรับเกมส์ ภาพยนตร์ เพลง และความบันเทิงแบบหน้าจอสัมผัสทุกประเภทอีกด้วย

4. BlackBerry Tablet OS เป็นระบบปฏิบัติการจากค่าย RIM ของสมาร์ทโฟน BB โดยระบบปฏิบัติการนี้พัฒนามาสำหรับ Play Book มีการออกแบบการใช้งานโดยวิธีการสัมผัสต่างๆ เพื่อช่วยให้ใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น จุดเด่นอีกอย่างก็คือการทำงานของ Multitasking หรือเปิดแอพพลิเคชั่นหลายตัวพร้อมกันได้ สามารถทำได้ดีกว่าระบบปฏิบัติการตัวอื่นๆ หรือเทียบเท่า Windows แต่อย่างไรก็ตามมีข้อเสียตรงที่ Play Book จำเป็นจะต้องมีมือถือ BB ถึงจะสามารถใช้งานส่วนของการเช็คอีเมล รายชื่อ ปฏิทิน BBM ได้ แต่ยังไม่รองรับภาษาไทย

และเนื่องจากระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ยังเป็นระบบปฏิบัติการที่สามารถใช้ได้ฟรี และสามารถทำงานได้หลากหลายระหว่างนี้จึงมีการใช้ Android OS ที่อยู่บนมือถือมาพัฒนาบน Tablet แบบ Multimedia Tablet หลายยี่ห้อ เช่น Samsung Galaxy Tab, Dell Streak, Toshiba Folio เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้ทดลองกับแท็บเล็ตที่เป็นแท็บเล็ตแบบใช้ปากกาดิจิตอล(Stylus) ของ Samsung Galaxy Note 8 แสดงดังรูปที่ 2.4

รูปที่ 2.4 Samsung Galaxy Note 8 (Siamphone, 2013 : ออนไลน์)

เราสามารถทำเรียกพิมพ์งาน ตลอดจนเปิดไฟล์งานได้ตามปกติแบบ Word 97-2003 ใน Computer เรียกใช้งานฟังก์ชั่นในการเขียน ก็สามารถเขียนแล้วให้เกิดเป็นตัวพิมพ์ก็ได้ แต่ต้องมีการฝึกทักษะในการเขียนที่ถูกต้องตามหลักของการเขียน ดังนั้นด้วยเหตุผลนี้จึงเป็นปัจจัยหลักในการเลือก Samsung Galaxy Note 8 มาเป็นอุปกรณ์หลักในการทดลองเนื่องจากมีลักษณะการใช้งานที่มีลักษณะเหมือนกับการเขียนหนังสือ เพื่อเป็นอุปกรณ์ในการประเมินสมรรถนะการใช้นิ้วมือ และมือของเด็กในระดับประถมศึกษา ซึ่งมีกิจกรรมการเขียนการลาก (Dragging) การแตะ (Tapping) เป็นประจำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะของกล้ามเนื้อมัดเล็ก คือนิ้วมือ มือและการใช้ปากกาดิจิตอลในเด็กประถมศึกษา จึงได้ออกแบบการทดลองที่เหมาะสมกับเด็กในวัยดังกล่าว และเป็นการทดสอบที่เด็กทุกคนสามารถทำได้ นั้นก็คือการลากเส้น และเคาะจุดตามที่ได้กำหนดไว้ตามแบบทดสอบโดยใช้อุปกรณ์ที่ใช้ทดลองในความยากของงานที่แตกต่างกัน โดยงานที่กำหนดให้ผู้ทดสอบทดลองจะอ้างอิงทฤษฎีของ Steering Law และ Fitt's Law เพื่อความเป็นมาตรฐานสากล เมื่อได้ข้อมูลมาแล้วจะวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการทางสถิติ เพื่อหาสมรรถนะหรือความสามารถเฉพาะบุคคลที่สามารถเผชิญหน้ากับสภาวะการเปลี่ยนแปลงในการดำเนินงานต่างๆ ของผู้ถูกทดสอบในแต่ละช่วงอายุ

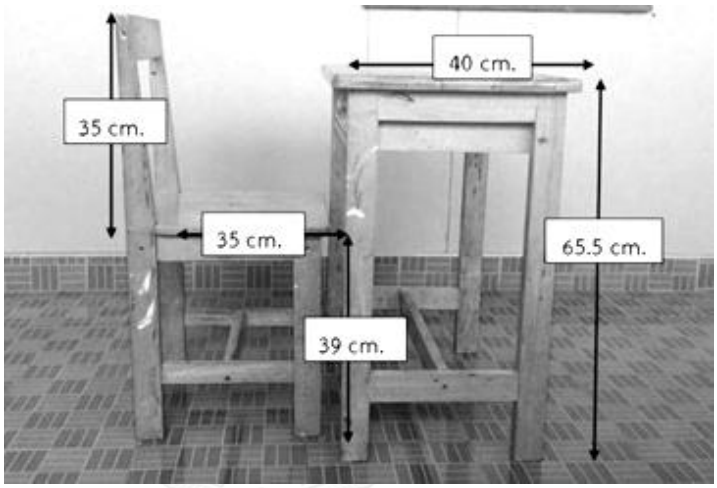
3.1 การออกแบบและการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำหรับการทดสอบ

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

1.) คอมพิวเตอร์แท็บเล็ต Samsung Galaxy Note 8 (ขนาด 210.8x135.9x8 mm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปากกาดิจิตอล 5.5 mm.) ผลิตปี ค.ศ. 2013

รูปที่ 3.1 Samsung Galaxy Note 8

2.) ชุดโต๊ะและเก้าอี้สำหรับผู้ทดสอบ



รูปที่ 3.2 ชุดโต๊ะและเก้าอี้สำหรับผู้ถูกทดสอบ

3.2 ผู้เข้าร่วมทดสอบ

3.2.1 ผู้เข้าร่วมทดสอบ

เลือกอาสาสมัครที่เป็นนักเรียนในระดับชั้นประถมต้น คือประถมปีที่ 1-6 ทั้ง ชายและหญิง ไม่มีอาการบาดเจ็บหรือเคยผ่าตัดบริเวณมือ ข้อมือและนิ้วมือมาก่อน โดยมีขั้นตอนในการทดสอบคือ

1. กำหนดและควบคุมคุณลักษณะของผู้ทดสอบ เช่น อายุและสุขภาพของผู้ถูกทดสอบ

2. อธิบายการใช้โปรแกรมสำหรับทดสอบ เพื่อให้ผู้ถูกทดสอบเข้าใจถึงวิธีการทดสอบและสามารถทดสอบได้อย่างถูกต้อง (Appropriate activities and response) และกำหนดการเคลื่อนไหว โดยกำหนดให้ผู้ถูกทดสอบเคลื่อนไหวโดยใช้นิ้วมือ มือ และแขนข้างที่ถนัดในการทดสอบทั้ง 2 โปรแกรม

3. ควบคุมสภาพแวดล้อมในห้องที่ทดสอบ ได้แก่ แสงสว่าง และอุณหภูมิ

4. กำหนดระยะเวลาพักและเวลาที่ทดสอบ ทั้งก่อน ระหว่างและหลังทดสอบเพื่อลดความล้าและความเครียดของผู้ถูกทดสอบ

3.3 โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 โปรแกรม Fitts' Law

ประยุกต์โปรแกรม Fitt's Law ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ทางภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ กลุ่มหมวดวิชาการยศาสตร์ ได้ออกแบบ In house program สำหรับใช้กับคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ (PC) หรือคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค (Notebook) มาใช้ในคอมพิวเตอร์แท็บเล็ต ที่มีระบบปฏิบัติการเป็น Android OS ซึ่งการทดสอบเป็น Tapping task งานดังกล่าวเป็นการเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง ตามค่า Index of difficulty (ID) ที่กำหนด

3.3.2 โปรแกรม Steering Law

ประยุกต์โปรแกรม Steering Law ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ทางภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ กลุ่มหมวดวิชาการยศาสตร์ ได้ออกแบบ In house program สำหรับใช้กับคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ (PC) หรือคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค (Notebook) เช่นเดียวกับโปรแกรม Fitts' Law ซึ่งการทดสอบเป็น Circular steering task งานดังกล่าวเป็นการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนด ตามค่า Index of difficulty (ID) ที่กำหนด

3.4 ออกแบบและกำหนดเงื่อนไขในการทดลอง

การออกแบบและการกำหนดดัชนีความยากของการทำงานแตะ และงานลากนั้นได้คำนึงถึงหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง เช่น ขนาดหน้าจอของอุปกรณ์แท็บเล็ต ขนาดของนิ้วมือเด็กอายุ 7-12 ปี ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของปากกาดิจิตอล และความแตกต่างของแต่ละระดับดัชนีความยากควรมีค่าที่เพิ่มขึ้นเป็นลำดับ โดยค่าดัชนีความยากของการทำงานแตะ (Tap) ได้จากสมการกฎของฟิตส์คือ ID = $\log_2$ (2A/W) และค่าดัชนีความยากของการทำงานลาก (Drag) ได้จากสมการกฎของสเตียริงคือ ID = A/W ; (A = 2πR) ในบทที่ 2 ซึ่งหมายความถึงเมื่อ A มีค่าสูงขึ้น และ W มีค่าลดลงมีผลทำให้ค่าดัชนีความยากมีค่าสูงขึ้น

จากการแนวทางในการกำหนดเงื่อนไขของค่าดัชนีความยากของงาน (ID) ในการทำงานแตะและงานลาก ทั้งการทดลองโดยใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอล สามารถกำหนดเงื่อนไขของดัชนีความยากได้ดังตางรางที่ 3.1-3.4

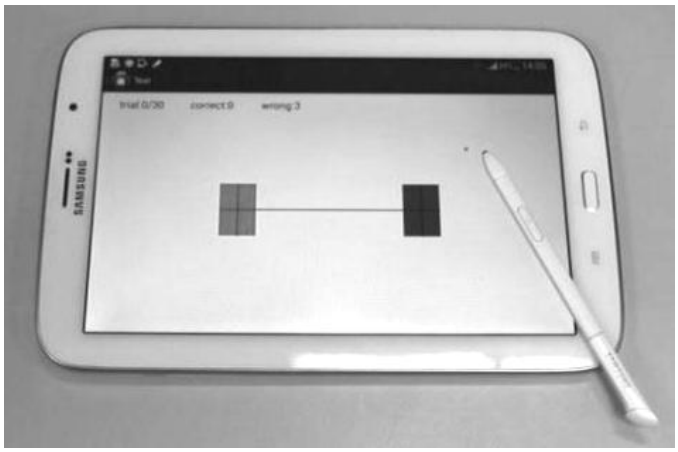
3.4.1 การทดลองโดยใช้คอมพิวเตอร์แท็บเล็ต Samsung Galaxy Note 8

ตารางที่ 3.1 กำหนดเงื่อนไขของดัชนีความยากของงาน (ID) ในการทำงานแตะ (Tap) โดยใช้นิ้วมือ

ระยะห่างระหว่างเป้าหมาย (Amplitude)		ความกว้างของเป้าหมาย (width)		ดัชนีความยากของงาน (Index of difficulty)
พิกเซล (Pixel)	มิลลิเมตร (mm.)	พิกเซล (Pixel)	มิลลิเมตร (mm.)	
400	54	100	13	3.00
600	80	100	13	3.58
500	67	50	6	4.32
800	107	50	6	5.00
1000	134	50	6	5.32

ตารางที่ 3.2 กำหนดเงื่อนไขของดัชนีความยากของงาน (ID) ในการทำงานแตะ (Tap) โดยใช้ปากกาดิจิตอล

ระยะห่างระหว่างเป้าหมาย (Amplitude)		ความกว้างของเป้าหมาย (width)		ดัชนีความยากของงาน (Index of difficulty)
พิกเซล (Pixel)	มิลลิเมตร (mm.)	พิกเซล (Pixel)	มิลลิเมตร (mm.)	
400	54	100	13	3.00
600	80	100	13	3.58
500	67	50	6	4.32
800	107	50	6	5.00
1000	134	30	3	6.06



รูปที่ 3.3 แบบทดสอบแบบแตะ (Tap) บนแท็บเล็ต

ตารางที่ 3.3 กำหนดเงื่อนไขของดัชนีความยากของงาน (ID) ในการทดสอบสมรรถนะการทำงานลาก (Drag) โดยใช้นิ้วมือ

รัศมีของวงกลม (Radius)		ความกว้าง (width)		ดัชนีความยากของงาน (Index of difficulty)
พิกเซล (Pixel)	มิลลิเมตร (mm.)	พิกเซล (Pixel)	มิลลิเมตร (mm.)	
150	20	100	13	9.42
200	25	100	13	12.56
300	40	100	13	18.84
300	40	70	10	26.91
350	47	70	10	31.40

ตารางที่ 3.4 กำหนดเงื่อนไขของดัชนีความยากของงาน (ID) ในการทดสอบสมรรถนะการทำงานลาก (Drag) โดยใช้ปากกาดิจิตอล

รัศมีของวงกลม (Radius)		ความกว้าง (width)		ดัชนีความยากของงาน (Index of difficulty)
พิกเซล (Pixel)	มิลลิเมตร (mm.)	พิกเซล (Pixel)	มิลลิเมตร (mm.)	
150	20	100	13	9.42
200	25	100	13	12.56
300	40	100	13	18.84
300	40	50	6	37.68
350	47	50	6	43.96

รูปที่ 3.4 แบบทดสอบแบบลาก (Drag) บนแท็บเล็ต

3.5 ดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล

1. การทดสอบใช้ห้องเรียนโดยมีการจัดสถานีงานคือ มีความส่องสว่างเพียงพอโต๊ะนักเรียนที่เหมาะสมกับเด็กในแต่ละระดับชั้น

2. คัดเลือกผู้ทดสอบ โดยผู้ทดสอบทั้งชายและหญิง ต้องไม่เคยได้รับการผ่าตัดบริเวณแขนมือ และข้อมือ ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6

3. การกำหนดท่าทางการทดสอบ ผู้ถูกทดสอบทดลองในท่าทางที่สบายสำหรับผู้ถูกทดสอบโดยมีลักษณะเหมือนกับการวาดภาพหรือการเขียนหนังสือ

4. ก่อนการปฏิบัติจริงผู้ถูกทดสอบรับทราบวิธีการใช้โปรแกรม เพื่อให้ผู้ถูกทดสอบเข้าใจการทำงานของโปรแกรมรวมถึงวิธีการบันทึกเวลาข้อมูล

5. วัดความต้านทาน (strength) ของกล้ามเนื้อมือ โดยเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าของความต้านทานกล้ามเนื้อกับสมรรถนะการใช้นิ้วมือปากกาดิจิตอล

6. ก่อนการทดสอบให้ผู้ทดสอบฝึกปฏิบัติ (Training) เพื่อให้เกิดความคุ้นชินกับการใช้โปรแกรม และสามารถใช้โปรแกรมการทดสอบให้เกิดความชำนาญโดยการฝึกปฏิบัตินั้นให้เด็กนักเรียนการฝึกในงาน Dragging task 20 ครั้งในทั้งการใช้นิ้วและปากกาดิจิตอล และในงาน Tapping task 30 ครั้งในทั้งการใช้นิ้วและปากกาดิจิตอล หรือจนกว่าค่าเวลาในการเคลื่อนที่ (Movement time) มีค่าที่คงที่ (Steady state)

7. เงื่อนไขการทดสอบตามระดับค่าความยากในการทำงาน (ID) ในแต่ละโปรแกรม แสดงดังตารางที่ 3.1 -3.2 ในงาน Tapping task และ 3.3 – 3.4 ในงาน Dragging task

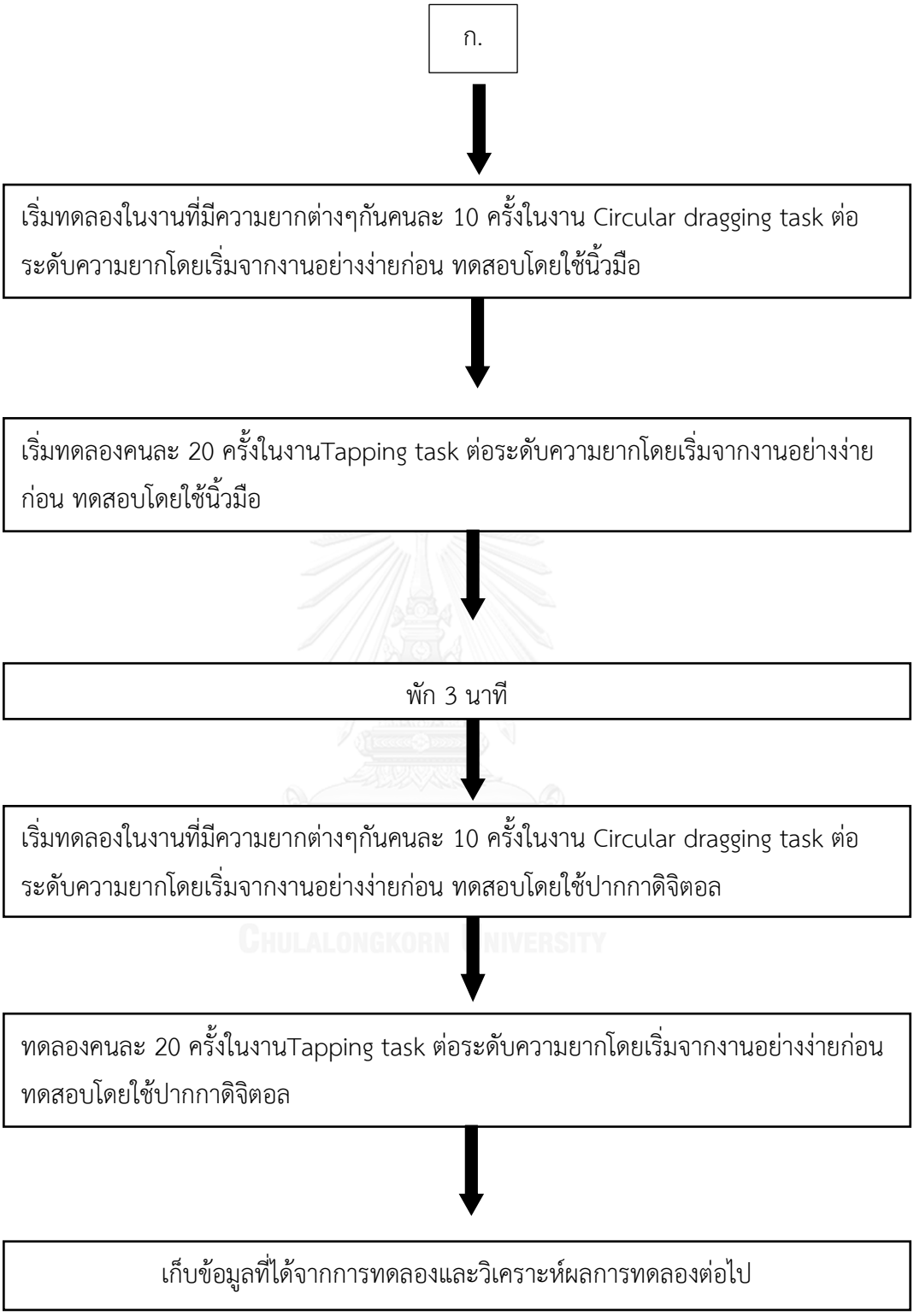
8. การเก็บผลทดสอบจริงกำหนดให้ผู้ถูกทดสอบใช้ปากกาดิจิตอล และนิ้วมือลากเส้นจากรูปทรงกลมไปตามเส้นทางโดยห้ามออกนอกขอบเขตที่กำหนด เนื่องจากงานลากเป็นงานที่ต้องใช้ทักษะในการทำงานสูงกว่างานแตะ ทำให้ต้องใช้เวลาในการทดลองสูงกว่า จึงได้กำหนดจำนวนการทดสอบ 10 รอบต่อระดับความยากในงานให้ผู้ทดสอบทำไปจนครบทั้ง 5 ระดับความยากกำหนดให้ผู้ทดสอบได้พักระหว่างการทดสอบเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นทดสอบด้วยงาน Tapping task โดยกำหนดให้ใช้ปากกาดิจิตอล และนิ้วมือเพื่อชี้ตำแหน่งบนเป้าหมายจำนวน 20 ครั้งต่อระดับความยาก ให้ผู้ทดสอบทำไปจนครบทั้ง 5 ระดับความยาก

9. ผู้ถูกทดสอบทุกคนต้องทดสอบครบทั้ง 2 โปรแกรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แผนผังขั้นตอนการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University


ก.
เริ่มทดลองในงานที่มีความยากต่างๆกันคนละ 10 ครั้งในงาน Circular dragging task ต่อระดับความยากโดยเริ่มจากงานอย่างง่ายก่อน ทดสอบโดยใช้นิ้วมือ
เริ่มทดลองคนละ 20 ครั้งในงานTapping task ต่อระดับความยากโดยเริ่มจากงานอย่างง่ายก่อน ทดสอบโดยใช้นิ้วมือ
พัก 3 นาที
เริ่มทดลองในงานที่มีความยากต่างๆกันคนละ 10 ครั้งในงาน Circular dragging task ต่อระดับความยากโดยเริ่มจากงานอย่างง่ายก่อน ทดสอบโดยใช้ปากกาดิจิตอล
ทดลองคนละ 20 ครั้งในงานTapping task ต่อระดับความยากโดยเริ่มจากงานอย่างง่ายก่อน ทดสอบโดยใช้ปากกาดิจิตอล
เก็บข้อมูลที่ได้จากการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป

บทที่ 4
วิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองในงานวิจัยนี้ต้องการที่จะประเมินสมรรถนะของการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลบนแท็บเล็ตของเด็กนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 โดยทดสอบกับเด็กนักเรียนทั้งหมด 100 คน ที่มีอายุอยู่ในช่วง 7-12 ปี โดยได้ทดสอบการใช้งานแท็บเล็ตด้วยนิ้วมือและปากกาดิจิตอลกับงาน 2 ลักษณะดังนี้

1. งานแตะ (Tap)

2. งานลาก (Drag)

ซึ่งในการทดลองแบ่งผู้เข้าร่วมทดลองตามช่วงอายุ 3 กลุ่ม ตามช่วงอายุคือกลุ่มอายุ 7-8 ปี จำนวน 34 คน กลุ่มอายุ 9-10 ปี จำนวน 34 คน และกลุ่มอายุ 11-12 ปี จำนวน 32 คน โดยเด็กนักเรียนที่เข้าร่วมทดสอบต้องไม่ได้รับบาดเจ็บหรือเคยได้รับการผ่าตัดบริเวณมือ ข้อมือและนิ้วมือมาก่อน ในการทดลองนี้กำหนดให้ผู้เข้าร่วมการทดสอบใช้มือข้างที่ถนัดในการทดสอบ โดยจำนวนนักเรียนที่เข้าร่วมทดลองในแต่ละช่วงอายุและข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จำนวนนักเรียนและข้อมูลเบื้องต้นของผู้เข้าร่วมทดลอง

กลุ่มที่	ช่วงอายุ(ปี)	เพศ		ค่าเฉลี่ยอายุ(ปี)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอายุ(ปี)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนัก(Kg)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้ำหนัก(Kg)	ค่าเฉลี่ยส่วนสูง(cm)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานส่วนสูง(cm)
		ชาย(คน)	หญิง(คน)						
1	7-8	18	16	7.91	0.71	22.48	3.90	121.97	7.27
2	9-10	18	16	9.92	0.80	33.44	8.74	135.62	7.09
3	11-12	12	20	11.65	0.61	40.48	11.98	145.11	7.60

จากตารางที่ 4.1 ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งเด็กนักเรียนเป็นช่วงอายุ โดยแต่ละกลุ่มมีจำนวนตามอายุดังนี้

- กลุ่มที่ 1 แบ่งเป็นเด็กอายุ 7 ปี 17 คน และ 8 ปี 17 คน
- กลุ่มที่ 2 แบ่งเป็นเด็กอายุ 9 ปี 17 คน และ 10 ปี 17 คน
- กลุ่มที่ 3 แบ่งเป็นเด็กอายุ 11ปี 16 คน และ 12 ปี 16 คน

สำหรับผลการทดลองในงานวิจัยนี้ได้นำมาสร้างมาตรฐานการประเมินสมรรถนะการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลบนแท็บเล็ต โดยเด็กผู้ถูกทดสอบจะใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลสัมผัสที่หน้าจอแท็บเล็ต ในขณะการทำงานแตะและงานลาก ซึ่งผลการวิเคราะห์ผลการทดลองในแต่ละงานแบ่งออกดังนี้

1. ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของเวลาในการเคลื่อนที่ (Movement time) กับค่าดัชนีความยากของงาน สำหรับงานแตะและงานลาก ทั้งการใช้นิ้วมือและการใช้ปากกาดิจิตอล

2. แผนภูมิควบคุม (Control chart) แสดงค่าสมรรถนะของเด็กปกติในแต่ละช่วงอายุ สำหรับงานแตะและงานลากทั้ งการใช้นิ้วมือและการใช้ปากกาดิจิตอล

3. ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75และ 95 ของสมรรถนะของเด็กปกติสำหรับงานแตะและงานลาก ทั้งการใช้นิ้วมือและการใช้ปากกาดิจิตอล

4.1 การประเมินสมรรถนะการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลในงานแตะ (Tap)

การทดสอบด้วยโปรแกรมตามแนวคิดของ Fitts' law ซึ่งได้ทดลองทั้งการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอล ก่อนการทดลองให้ผู้เข้าร่วมทดลองฝึกทำโปรแกรมจนชำนาญและคุ้นชินโดยจะทดลองทั้งการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอล

4.1.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบตามแนวคิดของ Fitts' law โดยใช้นิ้วมือ

4.1.1.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของเวลาในการเคลื่อนที่ (Movement time) กับค่าดัชนีความยาก

ในการทดลองเริ่มจากการทดลองในงานที่มีดัชนีความยากต่ำสุดคือ 3.00, 3.58, 4.32, 5.00 และ 5.32 โดยใช้นิ้วมือในการทดลองผลการทดลองในงานแตะ (Tap) ได้เป็นเวลาในการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดเป้าหมายในแต่ระดับความยากของงาน ซึ่งได้แสดงค่าเวลาในการเคลื่อนที่ในการทำงานแตะ (Tap) โดยใช้นิ้วมือของผู้เข้าร่วมการทดสอบแต่ละคน (จำนวน 100 คน) ในแต่ละระดับความยากของงาน ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวลาในการเคลื่อนที่ของเด็กในแต่ละช่วงอายุโดยมีหน่วยเป็นมิลลิวินาที แสดงดังตารางที่ 4.2-4.4

ตารางที่ 4.2 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของนิ้วมือในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ

ผู้ถูกทดสอบ	ค่าดัชนีความยาก (ID)					ผู้ถูกทดสอบ	ค่าดัชนีความยาก (ID)				
	3.00	3.58	4.32	5.00	5.32		3.00	3.58	4.32	5.00	5.32
1	395.84	450.56	510.59	621.36	659.55	18	438.44	419.43	477.85	562.04	673.71
2	554.39	575.11	557.56	676.25	758.03	19	380.82	392.78	504.99	625.51	647.54
3	525.34	664.18	645.92	763.36	751.38	20	303.76	425.98	469.76	638.00	604.28
4	459.84	490.65	526.34	575.10	570.22	21	384.48	429.62	478.50	569.59	588.17
5	428.74	568.48	601.60	680.18	701.95	22	351.39	411.04	559.78	606.92	610.04
6	528.66	639.63	648.99	689.74	699.25	23	394.14	403.70	492.64	636.66	637.95
7	522.49	576.72	677.06	861.45	785.08	24	450.52	439.09	575.73	668.71	698.60
8	411.16	502.27	617.76	717.23	697.83	25	358.37	407.20	494.79	552.04	600.75
9	416.22	444.45	528.00	609.04	694.76	26	405.61	464.02	495.42	536.03	624.63
10	454.23	580.66	661.17	694.28	718.48	27	401.34	470.66	513.94	616.56	633.99
11	478.67	548.22	550.15	593.79	740.13	28	363.59	429.05	596.64	606.94	642.70
12	505.52	469.30	554.21	655.51	753.78	29	373.59	454.38	484.58	609.46	519.31
13	430.29	505.78	627.95	616.81	674.08	30	392.47	444.04	491.33	510.03	543.02
14	476.86	574.30	589.00	682.27	749.38	31	393.67	464.52	467.66	554.94	554.14
15	450.19	502.12	612.37	668.99	679.48	32	389.23	418.96	511.11	596.88	618.36
16	473.49	514.85	565.63	618.36	654.31	33	402.33	441.10	525.03	557.60	607.57
17	475.35	518.12	584.62	615.96	703.12	34	336.48	430.96	498.84	607.13	685.77
						Mean	**426.69**	**484.47**	**549.93**	**629.26**	**661.22**
						SD	**59.473**	**70.1433**	**60.788**	**68.514**	**66.355**

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของเวลาในการเคลื่อนที่ของนิ้วมือในงานแตะของกลุ่มอายุ 7-8 ปี มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความยากที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 785.08 ms และต่ำสุดเท่ากับ 303.76 ms

ตารางที่ 4.3 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของนิ้วมือในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ

ผู้ถูกทดสอบ	ค่าดัชนีความยาก (ID)					ผู้ถูกทดสอบ	ค่าดัชนีความยาก (ID)				
	3.00	3.58	4.32	5.00	5.32		3.00	3.58	4.32	5.00	5.32
1	322.96	338.90	412.44	600.93	545.26	18	380.98	416.78	417.58	514.12	568.01
2	455.38	469.76	489.50	596.79	656.71	19	243.48	326.77	423.42	455.08	550.71
3	296.40	395.94	446.53	552.53	590.56	20	362.06	398.63	424.20	574.39	586.85
4	333.68	378.42	402.65	490.41	455.95	21	383.46	362.96	497.31	519.26	595.35
5	348.59	427.82	441.00	613.13	515.30	22	274.24	351.43	339.21	438.00	450.48
6	311.86	391.47	409.36	486.54	499.12	23	302.73	345.72	414.93	529.95	533.73
7	327.16	373.05	424.22	516.22	549.78	24	406.50	459.47	488.37	544.61	675.28
8	311.08	407.63	436.51	538.48	586.15	25	383.08	384.40	482.94	552.89	500.05
9	327.39	403.44	439.88	499.12	522.03	26	344.98	380.20	365.43	448.37	549.75
10	370.73	371.81	450.19	475.07	562.88	27	320.74	388.87	436.21	481.15	511.11
11	284.51	343.47	429.75	545.58	586.30	28	392.78	355.99	408.25	478.15	501.92
12	371.66	411.92	490.73	546.19	594.47	29	373.05	382.21	449.49	468.08	517.70
13	301.47	267.39	320.17	500.27	561.27	30	307.38	324.69	367.90	458.58	568.75
14	303.85	343.44	343.44	409.99	528.48	31	338.34	378.13	492.53	580.49	537.92
15	324.07	388.53	394.26	476.05	570.43	32	302.92	296.07	352.32	438.79	462.42
16	370.96	396.13	402.65	478.64	546.74	33	354.42	352.32	394.26	484.30	518.70
17	372.45	419.43	499.54	545.78	590.56	34	294.36	368.05	432.01	553.65	585.34
						Mean	**338.23**	**376.51**	**424.09**	**511.52**	**549.30**
						SD	**43.32**	**41.38**	**47.51**	**51.02**	**49.62**

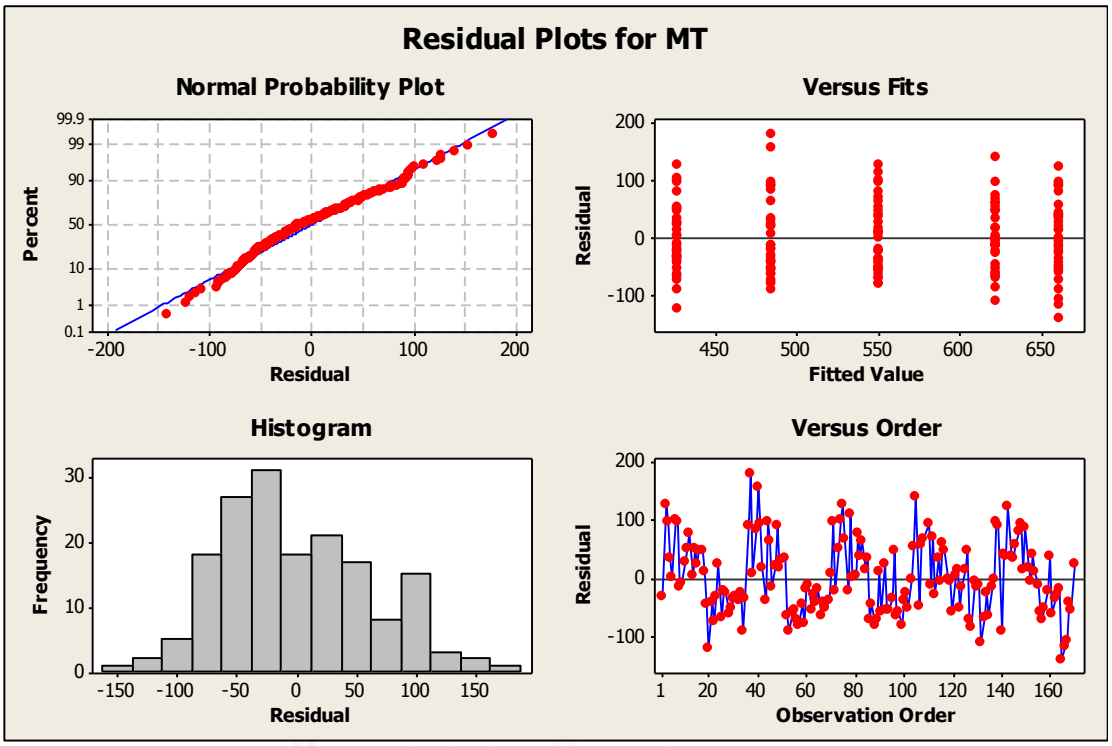
จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของเวลาในการเคลื่อนที่ของนิ้วมือในงานแตะของกลุ่มอายุ 9-10 ปี มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความยากที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 675.28 ms และต่ำสุดเท่ากับ 243.48 ms

ตารางที่ 4.4 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของนิ้วมือในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ

ผู้ถูกทดสอบ	ค่าดัชนีความยาก (ID)					ผู้ถูกทดสอบ	ค่าดัชนีความยาก (ID)				
	3.00	3.58	4.32	5.00	5.32		3.00	3.58	4.32	5.00	5.32
1	292.29	357.83	377.24	452.66	485.49	17	341.60	434.53	441.14	488.34	526.19
2	363.33	394.82	381.96	499.96	486.54	18	274.73	340.58	448.32	604.63	558.58
3	325.06	418.23	411.04	468.36	475.53	19	293.60	352.32	358.19	477.31	512.47
4	260.05	320.86	470.41	532.21	529.77	20	276.82	308.81	375.39	478.15	493.64
5	276.82	351.20	367.98	427.17	450.89	21	296.40	335.54	361.20	455.95	482.81
6	262.25	317.78	323.24	410.28	469.76	22	311.86	410.11	407.13	474.24	500.92
7	265.64	333.87	374.13	407.23	409.84	23	298.46	365.57	365.37	472.00	511.21
8	363.94	364.66	420.83	436.21	454.56	24	287.08	344.87	351.33	416.47	426.89
9	268.44	299.34	335.54	460.81	470.88	25	339.27	378.42	389.60	519.11	493.73
10	334.56	354.30	448.47	481.20	535.47	26	250.13	301.00	399.60	420.72	462.77
11	272.16	303.76	345.61	459.28	476.67	27	309.45	365.37	365.15	432.01	484.68
12	249.01	277.76	301.99	402.65	472.72	28	274.03	300.13	360.15	448.19	488.64
13	290.81	325.68	341.47	432.26	472.00	29	274.03	309.45	364.90	452.98	448.05
14	300.13	314.35	396.71	478.71	482.81	30	277.27	367.23	371.07	485.55	478.71
15	375.20	420.55	420.72	494.28	541.90	31	296.07	321.73	377.49	431.41	497.03
16	306.18	338.13	396.55	504.99	522.49	32	327.16	337.52	419.43	493.73	475.00
						Mean	**280.58**	**325.69**	**361.12**	**438.50**	**458.51**
						SD	**77.55**	**90.08**	**97.85**	**117.22**	**119.17**

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของเวลาในการเคลื่อนที่ของนิ้วมือในงานแตะของกลุ่มอายุ 11-12 ปี มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความยากที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 558.58 ms และต่ำสุดเท่ากับ 249.01 ms

ในตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองว่ามีข้อผิดพลาดหรือไม่ จากข้อมูลเวลาในการเคลื่อนที่ของการทดสอบเด็กนักเรียน ซึ่งได้มีการคัดกรองข้อมูลที่มีความผิดปกติจากโปรแกรม Minitab ด้วยวิธี Box plot จากนั้นทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองตามสมมติฐาน 3 ข้อ คือ การแจกแจงปกติความเป็นอิสระ และความเสถียรภาพของความแปรปรวน โดยการพิจารณาจาก Residual Plots ตัวอย่างการกระจายตัวของข้อมูลที่ได้จากงานแตะ (Tap) โดยใช้นิ้วมือแสดงดังรูปที่ 4.1

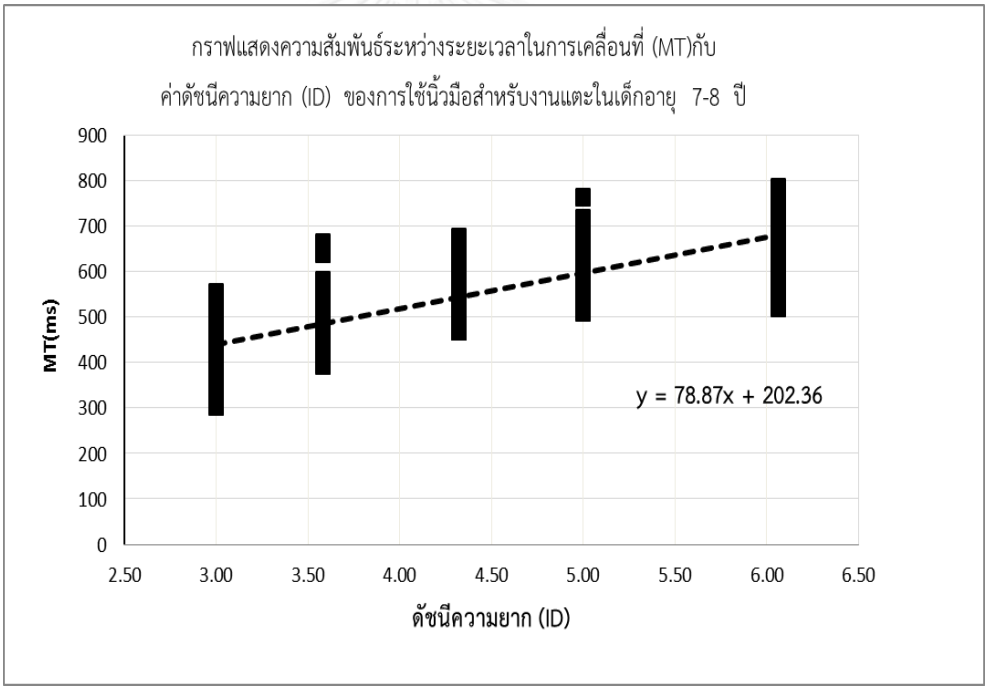


รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของข้อมูลความเร็วในการเคลื่อนที่ของงานแตะ (Tap) โดยใช้นิ้วมือในเด็กอาสาสมัครกลุ่มที่ 1 ช่วยอายุ 7-8 ปี

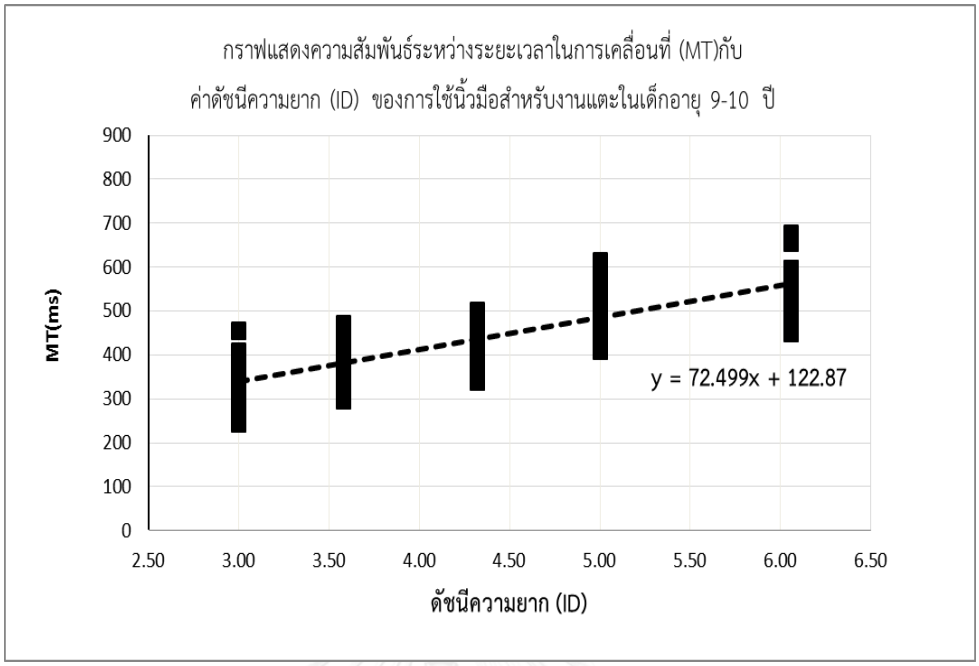
จากรูปที่ 4.1 การทดสอบเกี่ยวกับการแจกแจงปกติความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนและความเป็นอิสระซึ่งจากกราฟ Normal Probability Plot พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการพิจารณาจากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted value) ซึ่งพบว่าข้อมูลของค่าเวลาในการเคลื่อนที่ในงานแตะโดยใช้นิ้วมือไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้ม หรือเป็นรูปแบบกรวยปากเปิด จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน และการทดสอบสมมุติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง (Independence of Residual)

สามารถตรวจสอบได้โดยการพิจารณาจากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง(Residual) กับลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) เห็นได้ว่าส่วนตกค้างของระยะเวลาการเคลื่อนที่ของการทำงานแตะโดยใช้นิ้วมือมีการกระจายตัวในรูปแบบหรือแนวโน้มที่ไม่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันและจากการทดสอบสมมติฐานในนักเรียนกลุ่มอื่นสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติเช่นกันแสดงในภาคผนวก ช

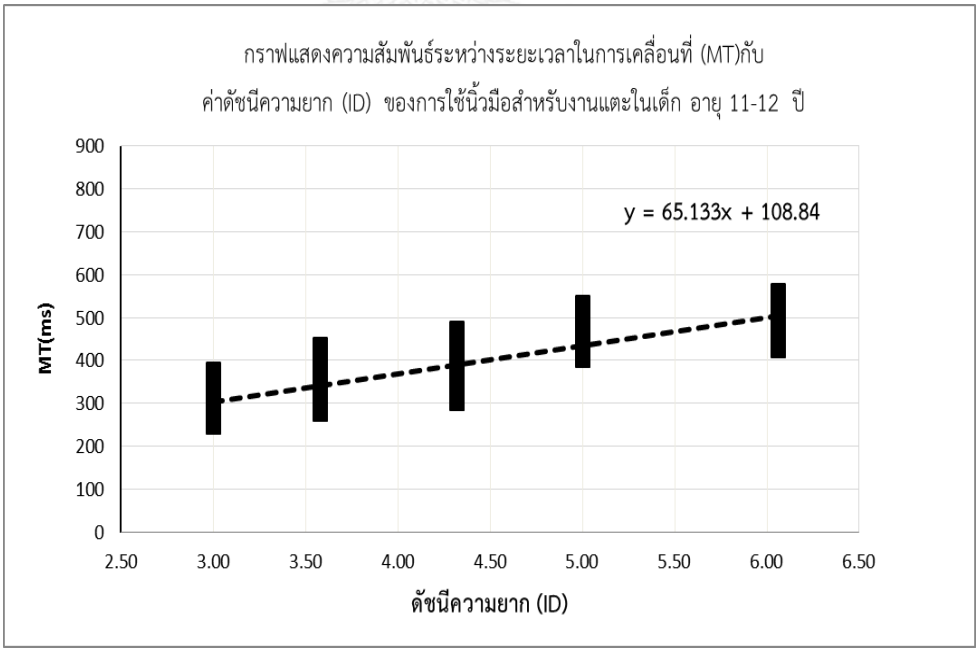
จากนั้นได้วิเคราะห์ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ (Movement time) และค่าดัชนีความยากของงาน (ID) โดยนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างระยะเวลาในการเคลื่อนที่เฉลี่ยของเด็กในแต่ละช่วงอายุกับค่าดัชนีความยากของงาน (MT= (b x ID) + a) สำหรับการใช้นิ้วมือ ได้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ของการทำงานแตะ (Tap) ของเด็กอาสาสมัครทั้ง 3 กลุ่มช่วงอายุ แสดงดังรูปที่ 4.2-4.4



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้นิ้วมือในงานแตะ



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้นิ้วมือในงานแตะ



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้นิ้วมือในงานแตะ

จากรูปที่ 4.2– 4.4 แสดงให้เห็นว่าระดับความยากของงานและเวลาในการเคลื่อนที่มีแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน เมื่อระดับความยากของงานเพิ่มขึ้นทำให้เวลาในการเคลื่อนที่มีค่ามากขึ้นด้วย โดยกลุ่มผู้ถูกทดสอบทั้ง 3 กลุ่ม มีความแตกต่างของเวลาในการเคลื่อนที่อย่างเห็นได้ชัดโดยในแต่ละกลุ่มอายุมีค่าเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) ที่ระดับความยากสูงสุดดังนี้ กลุ่มที่มีอายุ 7-8 ปี มีค่า MT ที่ความยากสูงสุดเท่ากับ 680 ms กลุ่มที่มีอายุ 9-10 ปี มีค่า MT ที่ความยากสูงสุดเท่ากับ 560 ms และกลุ่มที่มีอายุ 11-12 ปี มีค่า MT ที่ความยากสูงสุดเท่ากับ 500 ms ซึ่งในแต่ละอายุมีค่าความแตกต่างของเวลาในการเคลื่อนที่ที่ระดับความยากสูงสุดอยู่ในช่วงประมาณ 60-180 ms โดยค่า MT จะแปรผกผันกับช่วงอายุ คือ เมื่อมีช่วงอายุสูงขึ้นจะใช้เวลาในการเคลื่อนที่สำหรับการทำงานแตะโดยใช้นิ้วมือน้อยกว่ากลุ่มเด็กที่มีอายุต่ำกว่า

4.1.1.2 แผนภูมิควบคุม (Control chart) แสดงค่าสมรรถนะของเด็กอาสาสมัครสำหรับงานแตะโดยการใช้นิ้วมือ

จากรูปแบบสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่ได้นั้นสามารถนำมาหาค่าสมรรถนะ (Index of performance) ของการใช้นิ้วมือของเด็กในช่วงอายุต่างๆ โดยหาจากส่วนกลับของความชันของกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (1/b) คือ MT= (b x ID) + a ซึ่ง Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะ (มีหน่วยเป็นต่อมิลลิวินาที (ms)) ของการใช้นิ้วมือในงานแตะของเด็กนักเรียนทั้ง 100 คน แสดงดังตารางที่ 4.5-4.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.5 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้นิ้วมือในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี

ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b	ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b
1	y = 114.5x + 41.30	0.981	0.0087	18	y = 97.27x + 101.4	0.804	0.0103
2	y = 79.95x + 284.9	0.736	0.0125	19	y = 127.1x - 29.32	0.96	0.0079
3	y = 91.35x + 282.3	0.842	0.0109	20	y = 136.3x - 90.09	0.932	0.0073
4	y = 51.16x + 307.3	0.976	0.0195	21	y = 90.31x + 106.7	0.983	0.0111
5	y = 108.6x + 135.2	0.933	0.0092	22	y = 120.2x - 2.461	0.947	0.0083
6	y = 64.66x + 366.8	0.843	0.0155	23	y = 120x + 3.737	0.934	0.0083
7	y = 138.1x + 98.09	0.896	0.0072	24	y = 120.5x + 54.77	0.938	0.0083
8	y = 132.9x + 25.00	0.964	0.0075	25	y = 103.4x + 43.61	0.994	0.0097
9	y = 116.8x + 42.43	0.954	0.0086	26	y = 81.18x + 160.5	0.911	0.0123
10	y = 106.7x + 168.6	0.924	0.0094	27	y = 100.8x + 99.24	0.981	0.0099
11	y = 87.98x + 208.7	0.759	0.0114	28	y = 123.1x + 5.158	0.926	0.0081
12	y = 109.6x + 122.3	0.827	0.0091	29	y = 77.85x + 157.8	0.753	0.0128
13	y = 98.89x + 151.2	0.909	0.0101	30	y = 60.19x + 220.7	0.971	0.0166
14	y = 105.3x + 167.1	0.939	0.0095	31	y = 67.99x + 198.4	0.919	0.0147
15	y = 104.7x + 138.1	0.978	0.0114	32	y = 105.5x + 58.92	0.985	0.0095
16	y = 76.17x + 242.0	0.995	0.0131	33	y = 86.42x + 139.9	0.982	0.0116
17	y = 88.97x + 201.8	0.943	0.0112	34	y = 142.3x - 92.30	0.982	0.0070
				Mean			**0.0106**
				SD			**0.0029**

จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของการใช้นิ้วมือในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0106 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0029

ตารางที่ 4.6 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้นิ้วมือในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี

ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b	ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b
1	y = 119.6x - 63.73	0.865	0.0084	18	y = 75.44x + 139.3	0.864	0.0133
2	y = 85.02x + 172.8	0.860	0.0118	19	y = 120.5x - 111.7	0.963	0.0083
3	y = 122.3x - 62.73	0.984	0.0082	20	y = 102.8x + 32.87	0.907	0.0097
4	y = 60.58x + 155.1	0.885	0.0165	21	y= 94.78x + 69.42	0.884	0.0106
5	y = 89.64x + 88.72	0.750	0.0112	22	y = 71.74x + 66.21	0.888	0.0139
6	y = 77.37x + 91.29	0.956	0.0129	23	y = 107.5x - 30.85	0.974	0.0093
7	y = 96.51x + 28.47	0.982	0.0104	24	y = 97.94x + 99.19	0.847	0.0102
8	y = 111x - 15.12	0.966	0.0090	25	y = 70.08x + 163.2	0.816	0.0143
9	y = 79.84x + 99.49	0.979	0.0125	26	y = 74.30x + 102.4	0.739	0.0135
10	y = 78.13x + 114.5	0.884	0.0128	27	y = 77.78x + 97.49	0.986	0.0129
11	y = 132.6x - 125.1	0.991	0.0075	28	y = 55.74x + 190.8	0.782	0.0179
12	y = 95.07x + 79.51	0.992	0.0105	29	y = 61.02x + 179.1	0.941	0.0164
13	y= 121.9x - 127.2	0.799	0.0082	30	y = 104.3x - 37.50	0.862	0.0096
14	y = 80.21x + 45.42	0.766	0.0125	31	y = 102.8x + 28.82	0.916	0.0097
15	y = 91.98x + 40.26	0.873	0.0109	32	y = 75.90x + 48.35	0.911	0.0132
16	y = 68.81x + 146.9	0.841	0.0145	33	y = 75.03x + 102.3	0.895	0.0133
17	y = 92.43x + 93.26	0.993	0.0108	34	y = 126.4x - 89.74	0.987	0.0079
				Mean			**0.0120**
				SD			**0.0030**

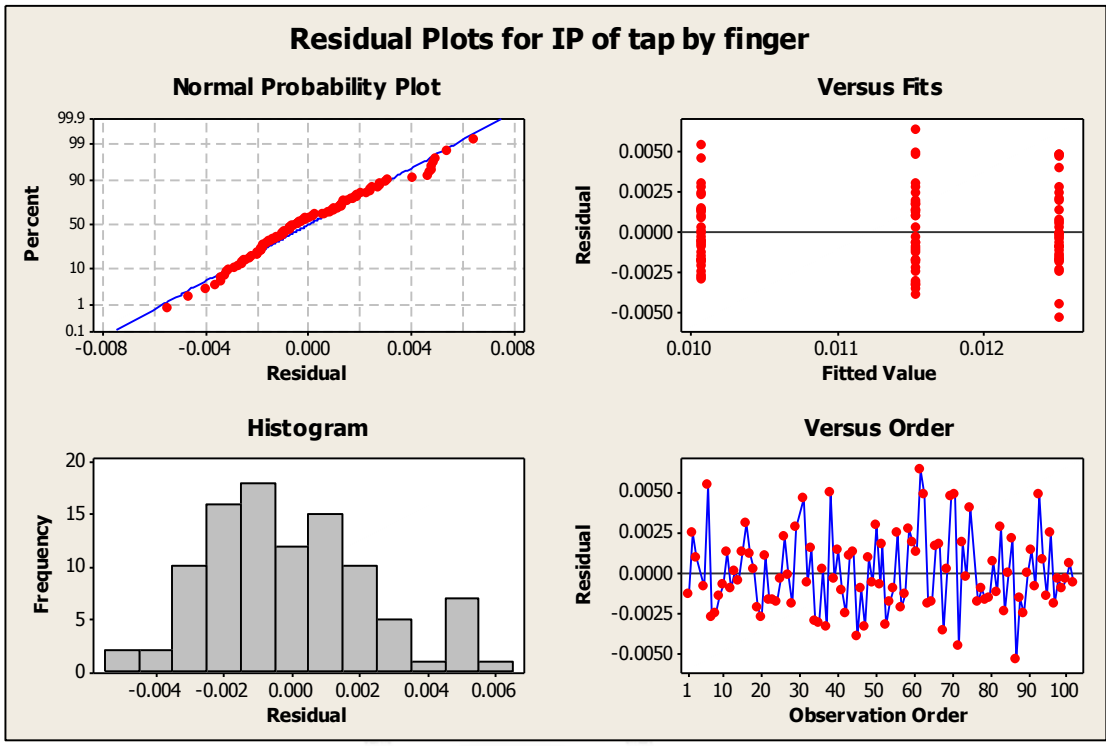
จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของการใช้นิ้วมือในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.012 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.003

ตารางที่ 4.7 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้นิ้วมือในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี

ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b	ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b
1	y = 78.43x + 60.21	0.964	0.0128	18	y = 68.59x + 155.2	0.908	0.0146
2	y = 58.10x + 178.7	0.787	0.0172	19	y = 140.8x - 152.2	0.943	0.0071
3	y= 57.71x + 174.6	0.854	0.0173	20	y = 91.39x + 10.90	0.915	0.0109
4	y = 126.6x - 114.8	0.954	0.0079	21	y = 99.83x - 37.15	0.975	0.0100
5	y = 69.42x + 80.18	0.957	0.0144	22	y = 80.43x + 25.45	0.777	0.0124
6	y = 81.36x + 11.36	0.905	0.0123	23	y = 72.02x + 115.1	0.900	0.0139
7	y = 60.46x + 101.5	0.939	0.0165	24	y = 86.11x + 37.05	0.913	0.0116
8	y = 41.89x + 230.2	0.940	0.0239	25	y = 57.67x + 120.5	0.942	0.0173
9	y = 93.41x - 29.46	0.931	0.0107	26	y = 75.19x + 104.9	0.864	0.0133
10	y = 86.63x + 63.10	0.966	0.0115	27	y = 90.06x - 15.37	0.970	0.0111
11	y = 92.95x - 22.99	0.949	0.0108	28	y = 66.68x + 108.3	0.898	0.0150
12	y = 91.79x - 48.76	0.893	0.0109	29	y = 94.48x - 26.75	0.969	0.0106
13	y = 75.89x + 50.33	0.920	0.0132	30	y = 82.16x + 21.19	0.971	0.0122
14	y = 88.48x + 19.01	0.964	0.0113	31	y = 86.37x + 29.40	0.913	0.0116
15	y = 65.19x + 173.8	0.892	0.0153	32	y = 82.63x + 34.03	0.953	0.0121
16	y = 99.02x - 6.573	0.967	0.0101	33	y = 76.58x + 85.56	0.931	0.0131
				Mean			**0.0129**
				SD			**0.0032**

จากตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของการใช้นิ้วมือในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0129 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0032

ในตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองว่ามีข้อผิดพลาดหรือไม่ จากค่าสมรรถนะของการทดสอบเด็กนักเรียน ซึ่งได้มีการคัดกรองข้อมูลที่มีความผิดปกติจากโปรแกรม Minitab ด้วยวิธี Box plot จากนั้นทดสอบเกี่ยวกับการแจกแจงปกติความเป็นอิสระและความเสถียรภาพของความแปรปรวนโดยการพิจารณาจาก Residual Plots แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การกระจายตัวของข้อมูลสมรรถนะของงานแตะ (Tap) โดยใช้นิ้วมือในเด็กอาสาสมัคร

จากรูปที่ 4.5 การทดสอบเกี่ยวกับการแจกแจงปกติความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนและความเป็นอิสระซึ่งจากกราฟ Normal Probability Plot พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน พบว่าข้อมูลของค่าสมรรถนะในงานแตะโดยใช้นิ้วมือไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้ม หรือเป็นรูปแบบกรวยปากเปิด จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน และการทดสอบสมมุติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง เห็นได้ว่าส่วนตกค้างของค่าสมรรถนะของการทำงานแตะ โดยใช้นิ้วมือมีการกระจายตัวในรูปแบบหรือแนวโน้มที่ไม่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน ในการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมรรถนะของงานแตะ (Tap) โดยใช้นิ้วมือในเด็กนักเรียนแต่ละช่วงอายุ วิเคราะห์ด้วยวิธี ANOVA ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.8 โดยมีแนวทางในการวิเคราะห์ผลจากสถิติจากการทดสอบสมมติฐาน ซึ่งข้อมูลที่ได้จาก

การศึกษาจะนำมาใช้คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่เรียกว่า p-value เพื่อใช้ตรวจสอบกับระดับนัยสำคัญทางสถิติ เพื่อการสรุปการทดสอบสมมติฐานโดยได้ตั้งสมมติฐานคือ

H_0 = ค่าสมรรถนะเฉลี่ยของการทำงานของเด็กทั้ง 3 กลุ่ม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 = ค่าสมรรถนะเฉลี่ยของการทำงานของเด็กอย่างน้อย 2 กลุ่ม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ถ้า p-value ≤ ระดับนัยสำคัญ (α) คือ (0.05)จะปฏิเสธ H_0(reject null hypothesis) ซึ่งในที่นี้หมายความถึง ค่าสมรรถนะเฉลี่ยของเด็กในแต่ละช่วงอายุอย่างน้อย 2 กลุ่ม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ถ้า p-value >ระดับนัยสำคัญ (α) คือ (0.05) จะไม่ปฏิเสธ H_0 หรือเรียกว่า “ยอมรับ H_0” (not reject null hypothesis) ซึ่งในที่นี้หมายความถึงค่าสมรรถนะเฉลี่ยของเด็กในแต่ละช่วงอายุไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

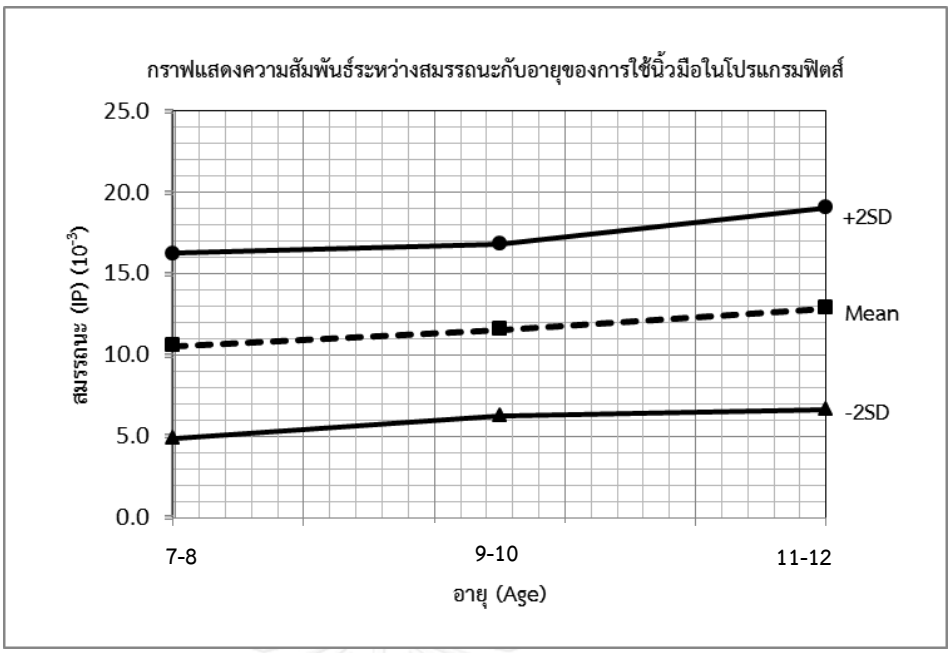
ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมรรถนะของงานแตะ (Tap) โดยใช้นิ้วมือของเด็กอาสาสมัครแต่ละช่วงอายุ

One-way ANOVA: IP versus Level

Source	DF	SS	MS	F	P
Level	2	0.0000911	0.0000456	5.51	0.005
Error	99	0.0008193	0.0000083		
Total	101	0.0009104			

S = 0.002877 R-Sq = 10.01% R-Sq(adj) = 8.19%

จากการวิเคราะห์ผลด้วยวิธี ANOVA พบว่าค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่า ค่าสมรรถนะเฉลี่ยของเด็กในการทำงานแตะโดยการใช้นิ้วมือแต่ละช่วงอายุอย่างน้อย 2 กลุ่ม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และค่าสมรรถนะที่ได้ยังสามารถนำมาสร้างแผนภูมิควบคุมซึ่งได้จากการนำค่าสมรรถนะที่ได้จากส่วนกลับความชัน (1/b) ซึ่งได้การทดสอบงานแตะโดยใช้นิ้วมือของเด็กในแต่ละกลุ่มอายุมาหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าสองเท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (±2SD) ของสมรรถนะของเด็กในแต่ละช่วง ซึ่งเป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่อยู่ในช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% แสดงดังรูปที่ 4.6

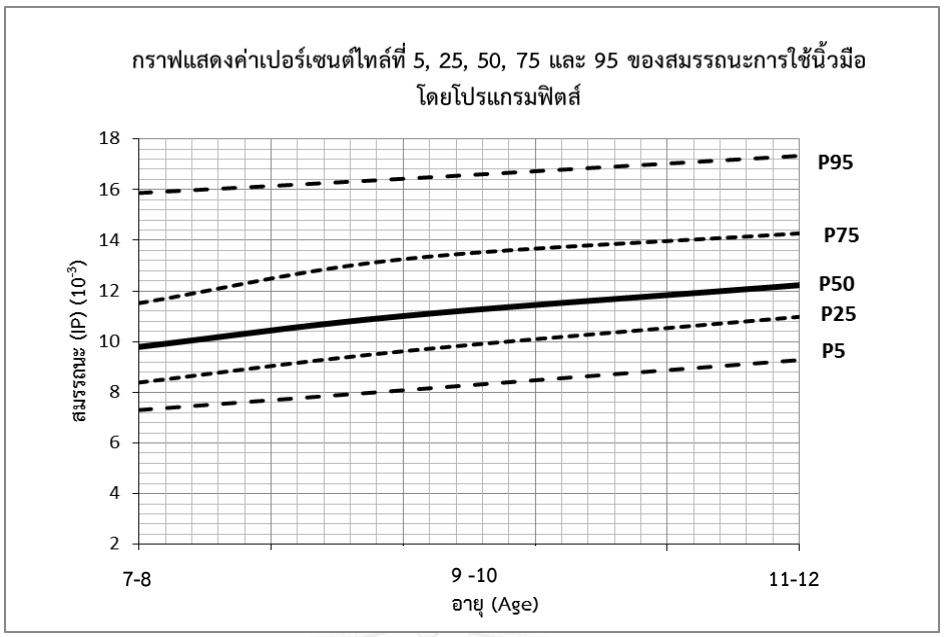


รูปที่ 4.6 แผนภูมิควบคุมแสดงค่าสมรรถนะกับอายุของเด็กอาสาสมัครสำหรับงานแตะโดยใช้นิ้วมือ

จากรูปที่ 4.6 เห็นได้ว่าค่าสมรรถนะเฉลี่ย (Mean) ของงานแตะโดยใช้นิ้วมือของเด็กมีแนวโน้มสูงขึ้นจากอายุน้อยไปอายุมาก แต่มีระดับความชันของกราฟที่ค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าสองเท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (±2SD) สูงขึ้นสำหรับค่าสมรรถนะของเด็กในช่วงอายุสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าข้อมูลสมรรถนะของเด็กที่มีอายุน้อยมีความแปรปรวนที่ต่ำกว่า เนื่องจากเด็กที่มีอายุน้อยอาจยังมีทักษะในการทำงานน้อยและมีความหลากหลายของสมรรถนะในแต่ละบุคคลต่ำกว่ากลุ่มเด็กที่มีอายุสูงกว่า

4.1.1.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75และ 95 ของสมรรถนะของเด็กอาสาสมัครสำหรับงานแตะโดยใช้นิ้วมือ

จากค่าสมรรถนะของงานแตะ (Tap) ที่ได้ยังสามารถนำมาสร้างกราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะของเด็กอาสาสมัครเปรียบเทียบกับอายุโดยนำค่าสมรรถนะจากการทำงานแตะ (Tap) โดยใช้นิ้วมือ ของเด็กในแต่ละช่วงอายุมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 จากนั้นได้สร้างกราฟแสดงค่าสมรรถนะที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ค่าต่างๆ เปรียบเทียบกับอายุของเด็กแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะของเด็กอาสาสมัคร โดยใช้นิ้วมือสำหรับการทดลองในงานแตะ (Tap)

จากรูปที่ 4.7 พิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของค่าสมรรถนะของใช้นิ้วมือในงานแตะของเด็กอาสาสมัครทั้ง 3 กลุ่มมีแนวโน้มสูงขึ้นตามช่วงอายุของเด็ก โดยกราฟมีค่าสมรรถนะสูงขึ้นในช่วงอายุ 7-8 ปี และมีความสัมพันธ์กับอายุของเด็กที่เพิ่มขึ้น หลังจากนั้นพบว่ากราฟมีความชันลงลงและคงที่ แสดงให้เห็นว่าเมื่อเด็กมีอายุสูงขึ้นถึงช่วงอายุ 9-12 ปีเริ่มมีค่าสมรรถนะของการทำงานแตะโดยใช้นิ้วมือค่อนข้างคงที่

4.1.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบตามแนวคิดของ Fitts' law โดยใช้ปากกาดิจิตอล

4.1.2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของเวลาในการเคลื่อนที่ (Movement time) กับค่าดัชนีความยาก

ในการทดสอบกำหนดค่าดัชนีความยากทั้งหมด 5 ระดับคือ 3.00, 3.58, 4.32, 5.00 และ 6.06 โดยใช้ปากกาดิจิตอลในการทดลองผลการทดลองในงานแตะ (Tap) โดยโปรแกรม Fitts ได้เป็นเวลาในการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดเป้าหมายในแต่ระดับความยากของงาน ซึ่งได้แสดงค่าเวลาในการเคลื่อนที่ในการทำงานแตะ (Tap) โดยใช้ปากกาดิจิตอล ของผู้เข้าร่วมการทดสอบแต่ละคน (จำนวน 100 คน) ในแต่ละระดับความยากของงาน ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเวลาในการเคลื่อนที่ของเด็กในแต่ละช่วงอายุโดยมีหน่วยเป็นมิลลิวินาที แสดงดังตารางที่ 4.9-4.11

ตารางที่ 4.9 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ

ผู้ถูกทดสอบ	ค่าดัชนีความยาก (ID)					ผู้ถูกทดสอบ	ค่าดัชนีความยาก (ID)				
	3.00	3.58	4.32	5.00	6.06		3.00	3.58	4.32	5.00	6.06
1	433.56	504.80	543.86	609.01	646.71	18	429.50	543.97	550.10	664.56	670.33
2	590.00	606.78	628.03	701.71	913.21	19	416.84	411.74	542.55	687.59	704.48
3	526.27	553.18	780.79	696.25	852.41	20	350.92	438.43	490.73	585.25	666.54
4	421.45	478.24	556.64	632.92	733.53	21	446.69	451.44	543.51	597.83	661.73
5	443.02	557.36	660.60	659.75	814.46	22	428.70	423.41	511.98	575.32	643.34
6	423.32	536.13	604.31	648.12	772.54	23	440.52	498.14	566.51	636.42	778.23
7	540.60	666.59	653.33	730.56	893.39	24	417.99	548.64	602.16	642.25	736.72
8	463.65	581.81	585.66	621.74	799.69	25	370.31	403.64	494.68	564.50	675.28
9	403.18	463.86	581.89	614.73	677.95	26	434.37	484.33	583.31	665.22	767.91
10	536.75	606.57	634.26	716.81	900.48	27	396.50	469.24	549.10	596.56	779.38
11	498.46	503.92	704.64	751.75	793.32	28	381.12	475.19	534.40	580.01	668.69
12	535.94	560.17	610.27	741.42	844.02	29	353.02	475.19	504.22	638.93	715.32
13	452.10	522.30	549.70	698.65	742.92	30	400.56	475.19	476.29	596.64	741.87
14	585.41	657.46	671.85	682.97	808.66	31	385.88	475.19	587.20	547.88	658.18
15	582.73	573.78	691.46	773.04	880.80	32	470.36	475.19	568.19	571.62	784.86
16	431.55	545.26	660.76	638.65	785.48	33	440.40	475.19	669.89	674.96	825.08
17	477.22	531.28	575.67	675.04	781.62	34	412.52	475.19	520.09	606.22	757.21
						Mean	**450.63**	**513.20**	**587.90**	**647.79**	**761.07**
						SD	**64.46**	**64.38**	**69.23**	**57.61**	**77.56**

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของเวลาในการเคลื่อนที่โดยใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะของกลุ่มอายุ 7-8 ปี มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความยากที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 913.21 ms และต่ำสุดเท่ากับ 350.92 ms

ตารางที่ 4.10 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ

ผู้ถูกทดสอบ	ค่าดัชนีความยาก (ID)					ผู้ถูกทดสอบ	ค่าดัชนีความยาก (ID)				
	3.00	3.58	4.32	5.00	6.06		3.00	3.58	4.32	5.00	6.06
1	336.53	414.19	515.90	556.04	690.10	18	351.08	382.26	453.73	529.23	600.83
2	402.65	489.50	494.49	570.43	671.09	19	325.38	379.78	433.97	486.36	569.73
3	370.96	416.47	503.32	544.06	640.58	20	398.46	406.98	455.98	629.53	654.87
4	364.62	423.62	433.81	496.13	594.83	21	533.73	399.11	470.38	576.22	654.34
5	395.59	448.79	489.89	530.16	597.27	22	368.82	379.52	403.31	484.76	506.64
6	341.47	392.06	423.62	498.52	592.79	23	342.24	405.23	433.89	503.32	622.57
7	381.68	409.84	459.44	483.18	622.28	24	439.56	455.08	517.30	558.89	749.64
8	342.83	360.94	437.19	496.79	655.51	25	387.74	396.13	453.45	487.14	521.62
9	319.01	351.00	445.12	487.47	600.05	26	374.87	392.28	448.79	508.07	574.24
10	332.83	364.67	499.42	554.25	646.25	27	342.95	376.99	440.72	508.74	689.96
11	319.93	400.43	448.30	493.36	643.83	28	354.09	320.97	464.37	531.71	624.11
12	357.01	428.52	519.86	543.16	706.26	29	371.89	391.00	420.55	436.21	609.85
13	352.32	440.40	472.34	567.84	702.97	30	296.22	349.74	436.85	472.81	652.02
14	340.20	384.01	413.51	499.72	608.17	31	456.13	496.61	516.95	539.83	653.11
15	383.23	407.07	489.68	539.45	660.30	32	339.08	380.58	447.39	460.81	531.28
16	384.20	412.91	473.96	583.85	708.51	33	325.68	402.65	463.47	499.12	697.02
17	346.33	355.82	566.99	608.17	756.07	34	358.24	413.14	514.10	531.71	620.76
						Mean	**365.81**	**400.83**	**466.53**	**523.44**	**636.16**
						SD	**44.58**	**37.01**	**37.14**	**42.66**	**58.77**

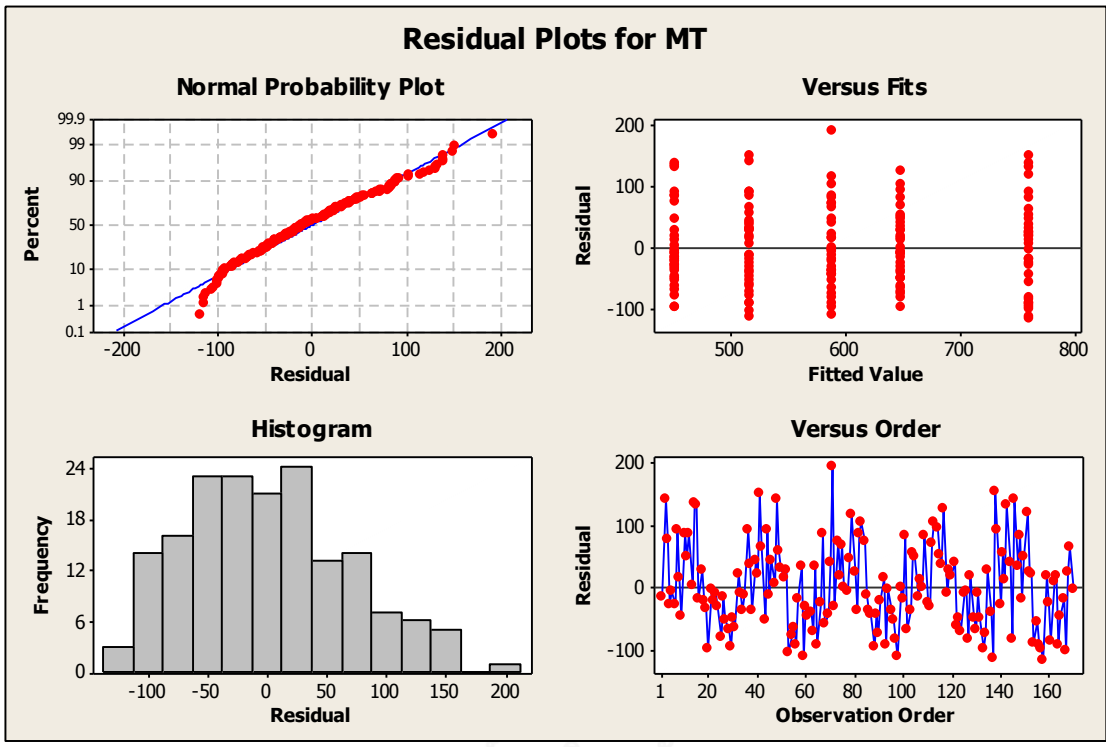
จากตารางที่ 4.10 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของเวลาในการเคลื่อนที่โดยใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะของกลุ่มอายุ 9-10 ปี มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความยากที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 756.07 ms และต่ำสุดเท่ากับ 296.22 ms

ตารางที่ 4.11 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ

ผู้ถูกทดสอบ	ค่าดัชนีความยาก (ID)					ผู้ถูกทดสอบ	ค่าดัชนีความยาก (ID)				
	3.00	3.58	4.32	5.00	6.06		3.00	3.58	4.32	5.00	6.06
1	320.34	345.66	400.43	475.57	551.55	17	320.63	376.09	397.23	490.45	536.11
2	397.06	406.60	410.52	460.67	500.80	18	332.32	436.77	405.61	558.17	568.33
3	264.49	338.17	332.05	475.35	531.53	19	283.81	312.71	379.28	477.55	577.42
4	322.71	364.16	397.26	450.59	551.13	20	254.13	298.84	413.66	472.56	583.01
5	289.93	332.92	385.23	461.90	514.93	21	341.14	378.42	428.75	439.94	562.53
6	280.55	313.83	363.94	431.41	533.00	22	390.29	420.42	426.34	545.82	697.93
7	323.24	367.16	417.75	494.93	537.71	23	339.08	398.92	426.34	467.66	629.15
8	305.72	326.63	450.70	507.51	545.26	24	293.16	321.42	400.56	462.31	632.37
9	288.01	334.66	320.86	425.95	570.43	25	351.33	369.10	370.96	518.98	643.13
10	364.07	393.74	432.34	467.18	607.34	26	299.34	331.82	406.52	449.93	558.68
11	316.90	377.93	435.28	519.11	706.62	27	315.04	391.47	427.82	478.71	589.60
12	291.39	320.53	411.60	478.64	577.62	28	287.86	322.50	428.31	499.37	603.98
13	298.46	350.46	417.57	494.93	580.01	29	287.86	378.42	457.78	489.50	616.56
14	279.03	343.44	427.26	516.37	625.69	30	329.95	402.65	438.18	543.58	621.64
15	434.11	459.28	494.37	588.32	729.16	31	328.09	392.06	367.33	457.92	587.20
16	343.93	410.55	431.41	510.31	577.42	32	319.70	349.18	399.30	445.79	620.76
						Mean	**299.99**	**343.34**	**385.62**	**457.85**	**555.31**
						SD	**38.98**	**39.50**	**34.60**	**37.60**	**53.67**

จากตารางที่ 4.11 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของเวลาในการเคลื่อนที่โดยใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะของกลุ่มอายุ 11-12 ปี มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความยากที่เพิ่ม โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 729.16 ms และต่ำสุดเท่ากับ 254.13 ms

ในตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองว่ามีข้อผิดพลาดหรือไม่ จากข้อมูลเวลาในการเคลื่อนที่ของการทดสอบเด็กอาสาสมัคร ซึ่งได้มีการคัดกรองข้อมูลที่มีความผิดปกติจากโปรแกรม Minitab ด้วยวิธี Box plot จากนั้นทดสอบเกี่ยวกับการแจกแจงปกติความเป็นอิสระและความเสถียรภาพของความแปรปรวนโดยการพิจารณาจาก Residual Plots ตัวอย่างการกระจายตัวของข้อมูลที่ได้จากงานแตะโดยใช้ปากกาดิจิตอล แสดงดังรูปที่ 4.8

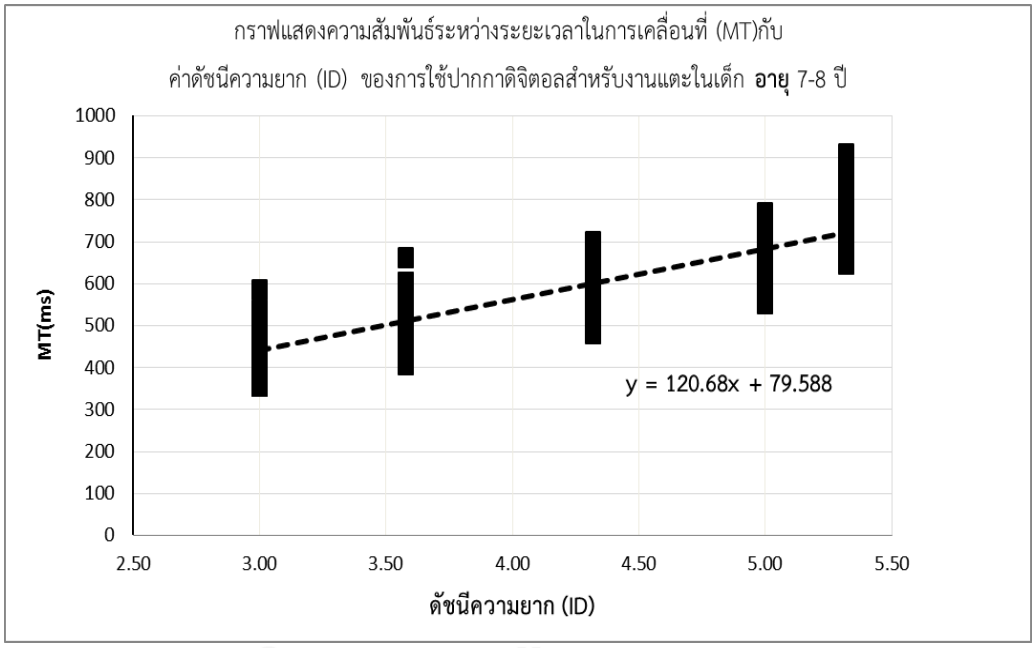


รูปที่ 4.8 การกระจายตัวของข้อมูลเวลาในการเคลื่อนที่ของงานแตะ (Tap) โดยใช้ปากกาดิจิตอลในเด็กอาสาสมัครกลุ่มที่ 1 ช่วงอายุ 7-8 ปี

จากรูปที่ 4.8 การทดสอบเกี่ยวกับการแจกแจงปกติความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนและความเป็นอิสระซึ่งจากกราฟ Normal Probability Plot พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน พบว่าข้อมูลของค่าเวลาในการเคลื่อนที่ในงานแตะโดยใช้ปากกาดิจิตอลไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้ม หรือเป็นรูปแบบกรวยปากเปิด จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน และการทดสอบสมมุติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง เห็นได้ว่าส่วนตกค้างของระยะเวลาการเคลื่อนที่ของการทำงานแตะโดยใช้ปากกาดิจิตอล มีการกระจายตัวในรูปแบบหรือแนวโน้มที่ไม่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และจากการ

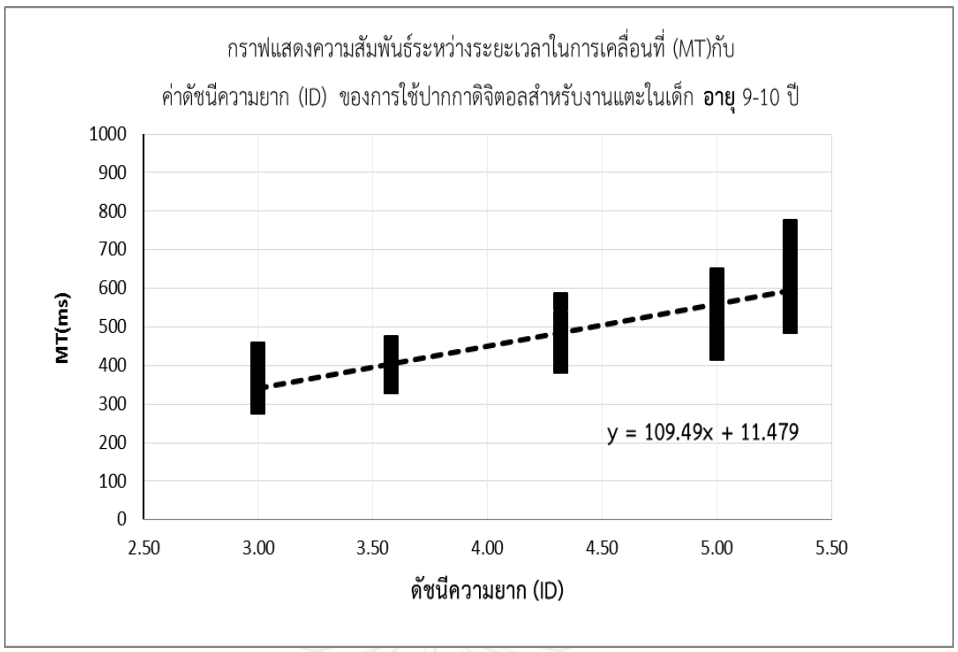
ทดสอบสมมติฐานในเด็กอาสาสมัครกลุ่มอื่น สรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติเช่นกัน แสดงในภาคผนวก ช

จากนั้นได้วิเคราะห์ระยะเวลาในการเคลื่อนที่และค่าดัชนีความยากของงาน โดยนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างระยะเวลาในการเคลื่อนที่เฉลี่ยของเด็กในแต่ละช่วงอายุ กับค่าดัชนีความยากของงานสำหรับการใช้ปากกาดิจิตอล ได้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ของการทำงานแตะ (Tap) ของเด็กอาสาสมัครทั้ง 3 กลุ่ม แสดงดังรูปที่ 4.9 – 4.11

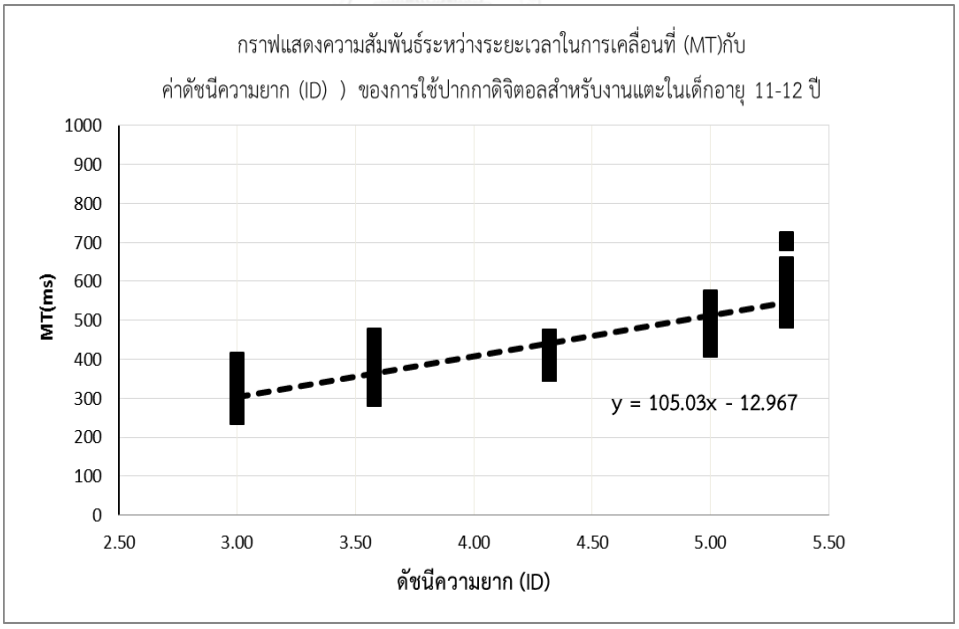


Chulalongkorn University

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะ



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะ



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะ

จากรูปที่ 4.9 - 4.11 แสดงให้เห็นว่าระดับความยากของงานและเวลาในการเคลื่อนที่มีแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน เมื่อระดับความยากของงานเพิ่มขึ้นทำให้เวลาในการเคลื่อนที่มีค่ามากขึ้นด้วย โดยกลุ่มผู้ถูกทดสอบทั้ง 3 กลุ่ม มีความแตกต่างของเวลาในการเคลื่อนที่อย่างเห็นได้ชัดโดยในแต่ละกลุ่มอายุมีค่าเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) ที่ระดับความยากสูงสุดดังนี้ กลุ่มที่มีอายุ 7-8 ปี มีค่า MT ที่ความยากสูงสุดเท่ากับ 700 ms กลุ่มที่มีอายุ 9-10 ปี มีค่า MT ที่ความยากสูงสุดเท่ากับ 600 ms และกลุ่มที่มีอายุ 11-12 ปี มีค่า MT ที่ความยากสูงสุดเท่ากับ 540 ms ซึ่งในแต่ละอายุมีค่าความแตกต่างของเวลาในการเคลื่อนที่ที่ระดับความยากสูงสุดอยู่ในช่วงประมาณ 60-160 ms โดยค่า MT จะ แปรผกผันกับช่วงอายุ คือ เมื่อมีช่วงอายุสูงขึ้นจะใช้เวลาในการเคลื่อนที่สำหรับการทำงานแตะโดยใช้ปากกาดิจิตอลน้อยกว่ากลุ่มเด็กที่มีอายุต่ำกว่า

4.1.2.2 แผนภูมิควบคุม (Control chart) แสดงค่าสมรรถนะของเด็กอาสาสมัครสำหรับงานแตะโดยใช้ปากกาดิจิตอล

จากรูปแบบสมการเส้นตรงที่ได้นั้นสามารถนำมาหาค่าสมรรถนะ (Index of Performance) ของการใช้ปากกาดิจิตอลของเด็กในช่วงอายุต่างๆ โดยหาจากส่วนกลับของความชันของกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (1/b) ซึ่ง Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะของเด็กอาสาสมัครทั้ง 100 คน แสดงดังตารางที่ 4.12-4.14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.12 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี

ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b	ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b
1	y = 68.89x + 245	0.960	0.0145	18	y = 76.98x + 233.5	0.856	0.0130
2	y = 102.6x + 237.0	0.857	0.0097	19	y = 111.1x + 64.52	0.892	0.0090
3	= 105.5x + 218.3	0.802	0.0095	20	y = 102.1x + 57.71	0.986	0.0098
4	y = 103.1x + 111.7	0.999	0.0097	21	y = 76.42x + 204.5	0.967	0.0131
5	y = 111.7x + 136.3	0.944	0.0085	22	y = 103.1x + 111.7	0.999	0.0097
6	y = 106.8x + 127.8	0.974	0.0094	23	y = 108.8x + 105.7	0.992	0.0092
7	y = 103.1x + 243.8	0.913	0.0097	24	y = 95.34x + 170.7	0.939	0.0105
8	y = 95.91x + 189.2	0.898	0.0104	25	y = 102.6x + 50.78	0.994	0.0097
9	y = 91.20x + 147.7	0.947	0.0110	26	y = 112.1x + 94.40	0.995	0.0089
10	y = 113.3x + 180.9	0.948	0.0088	27	y = 119.9x + 31.31	0.979	0.0083
11	y = 108.8x + 172.1	0.872	0.0092	28	y = 89.18x + 136.1	0.975	0.0112
12	y = 106.6x + 189.8	0.958	0.0094	29	y = 120.4x + 2.119	0.976	0.0083
13	y = 99.22x + 157.3	0.938	0.0101	30	y = 97.89x + 122.7	0.826	0.0102
14	y = 63.77x + 401.1	0.897	0.0157	31	y = 88.17x + 133.3	0.866	0.0113
15	y = 106.4x + 232.9	0.961	0.0094	32	y = 97.73x + 147.9	0.885	0.0102
16	y = 105.5x + 148.6	0.913	0.0095	33	y = 110.5x + 157.1	0.906	0.0090
17	y = 100.2x + 167.7	0.986	0.0100	34	y = 112.9x + 54.35	0.981	0.0089
				Mean			**0.01015**
				SD			**0.00167**

จากตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.01015 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.00167

ตารางที่ 4.13 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี

ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b	ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b
1	y = 112.4x + 8.517	0.989	0.0089	18	y = 85.53x + 87.74	0.990	0.0117
2	y = 82.13x + 164.8	0.957	0.0122	19	y = 78.80x + 92.92	0.998	0.0127
3	y = 88.37x + 106.9	0.993	0.0113	20	y = 96.82x + 83.91	0.880	0.0103
4	y = 71.43x + 148.8	0.961	0.0140	21	y = 59.24x + 266.5	0.528	0.0169
5	y = 63.99x + 211.2	0.994	0.0156	22	y = 50.26x + 207.8	0.916	0.0199
6	y = 81.28x + 92.69	0.985	0.0123	23	y = 88.24x + 73.87	0.977	0.0113
7	y = 75.52x + 139.5	0.940	0.0132	24	y = 99.33x + 107.8	0.915	0.0101
8	y = 103.1x + 5.523	0.962	0.0097	25	y = 47.30x + 241.4	0.968	0.0211
9	y = 93.17x + 31.30	0.990	0.0107	26	y = 68.48x + 158.8	0.987	0.0146
10	y = 107.6x + 6.591	0.974	0.0093	27	y = 112.0x - 20.4	0.957	0.0089
11	y = 99.24x + 25.26	0.973	0.0101	28	y = 100.3x + 18.37	0.924	0.0100
12	y = 108.7x + 33.19	0.976	0.0092	29	y = 72.47x + 127.6	0.836	0.0138
13	y = 110.4x + 21.91	0.980	0.0091	30	y = 112.4x - 52.51	0.972	0.0089
14	y = 87.43x + 65.10	0.972	0.0114	31	y = 59.47x + 271.3	0.926	0.0168
15	y = 92.13x + 91.31	0.985	0.0109	32	y = 61.36x + 162.3	0.976	0.0163
16	y = 109.9x + 29.85	0.974	0.0091	33	y = 113.3x - 20.39	0.954	0.0088
17	y = 142.3x - 98.49	0.950	0.0070	34	y = 84.73x + 115.4	0.968	0.0118
				Mean			**0.012**
				SD			**0.0033**

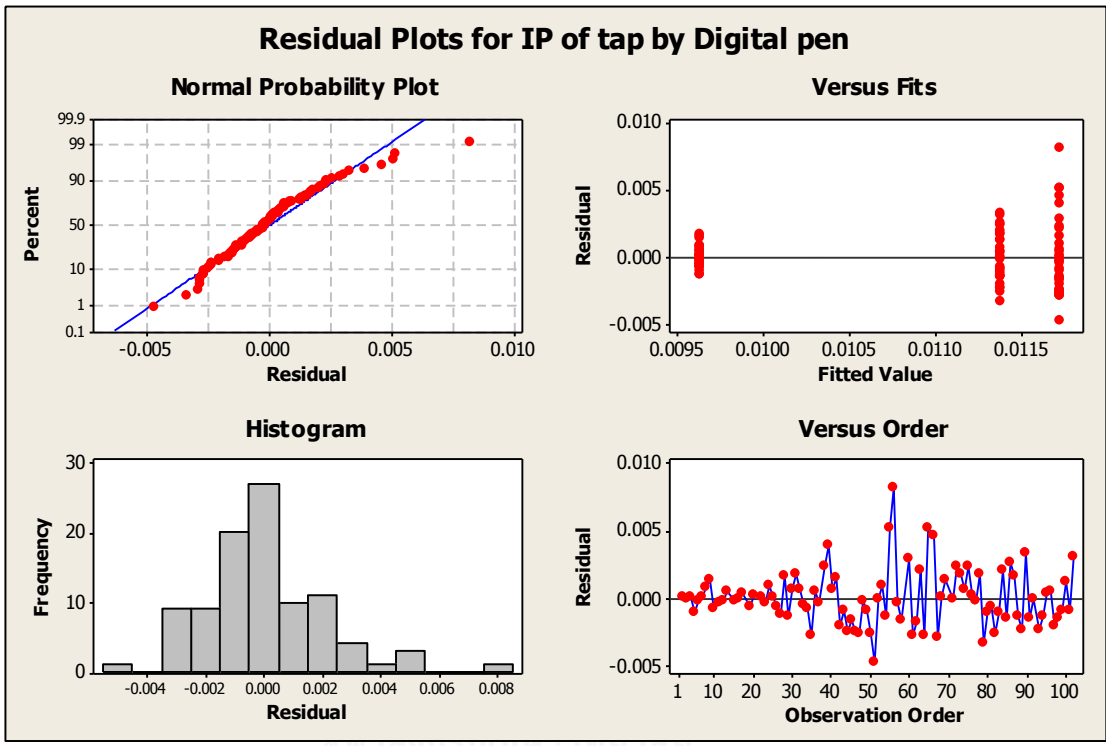
จากตารางที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.012 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0033

ตารางที่ 4.14 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 11-12ปี

ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b	ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b
1	y = 78.85x + 72.39	0.987	0.01268	17	y = 71.62x + 109.5	0.962	0.01396
2	y = 35.27x + 280.1	0.914	0.02835	18	y = 76.62x + 123.7	0.82	0.01305
3	y = 88.45x - 0.153	0.916	0.01131	19	y = 100.3x - 34.4	0.983	0.00997
4	y = 72.94x + 96.80	0.981	0.01371	20	y = 110.1x - 79.16	0.991	0.00908
5	y = 76.13x + 62.59	0.986	0.01314	21	y = 68.26x + 130.3	0.95	0.01465
6	y = 83.38x + 18.34	0.988	0.01199	22	y = 100.9x + 52.96	0.901	0.00991
7	y = 72.93x + 107.8	0.977	0.01371	23	y = 88.13x + 65.14	0.934	0.01135
8	y = 85.99x + 49.47	0.928	0.01163	24	y = 110.8x - 64.99	0.968	0.00903
9	y = 89.44x - 4.875	0.884	0.01118	25	y = 99.54x + 13.49	0.882	0.01005
10	y = 76.37x + 117.5	0.935	0.01309	26	y = 85.16x + 35.20	0.992	0.01174
11	y = 124.2x - 74.51	0.97	0.00805	27	y = 84.68x + 68.58	0.982	0.01181
12	y = 97.14x - 10.68	0.992	0.01029	28	y = 107.3x - 43.03	0.992	0.00932
13	y = 93.54x + 17.41	0.997	0.01069	29	y = 101.6x - 0.575	0.98	0.00984
14	y = 114.6x - 65.07	0.998	0.00873	30	y = 95.51x + 47.70	0.98	0.01047
15	y = 97.52x + 112.7	0.944	0.01025	31	y = 79.31x + 78.17	0.878	0.01261
16	y = 74.76x + 126.3	0.977	0.01338	32	y = 95.43x + 7.776	0.932	0.01048
				Mean			**0.01186**
				SD			**0.00346**

จากตารางที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.01186 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.00346

ในตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองว่ามีข้อผิดพลาดหรือไม่ จากค่าสมรรถนะของการทดสอบเด็กอาสาสมัคร ซึ่งได้มีการคัดกรองข้อมูลที่มีความผิดปกติจากโปรแกรม Minitab ด้วยวิธี Box plot จากนั้นทดสอบเกี่ยวกับการแจกแจงปกติความเป็นอิสระและความเสถียรภาพของความแปรปรวนโดยการพิจารณาจาก Residual Plots แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การกระจายตัวของข้อมูลค่าสมรรถนะของงานแตะ (Tap) โดยใช้ปากกาดิจิตอล

จากรูปที่ 4.12 การทดสอบเกี่ยวกับการแจกแจงปกติความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนและความเป็นอิสระซึ่งจากกราฟ Normal Probability Plot พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน พบว่าข้อมูลของค่าสมรรถนะในงานแตะโดยใช้ปากกาดิจิตอลไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้ม หรือเป็นรูปแบบกรวยปากเปิด จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน และการทดสอบสมมุติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง เห็นได้ว่าส่วนตกค้างของค่าสมรรถนะของการทำงานแตะโดยใช้ปากกาดิจิตอล มีการกระจายตัวในรูปแบบหรือแนวโน้มที่ไม่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน ในการวิเคราะห์ความแตกต่างของ

สมรรถนะของงานแตะ (Tap) โดยใช้ปากกาดิจิตอลในเด็กอาสาสมัครแต่ละช่วงอายุ ได้วิเคราะห์ด้วยวิธี ANOVA ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมรรถนะของงานแตะ (Tap) โดยใช้ปากกาดิจิตอลของเด็กอาสาสมัครแต่ละช่วงอายุ

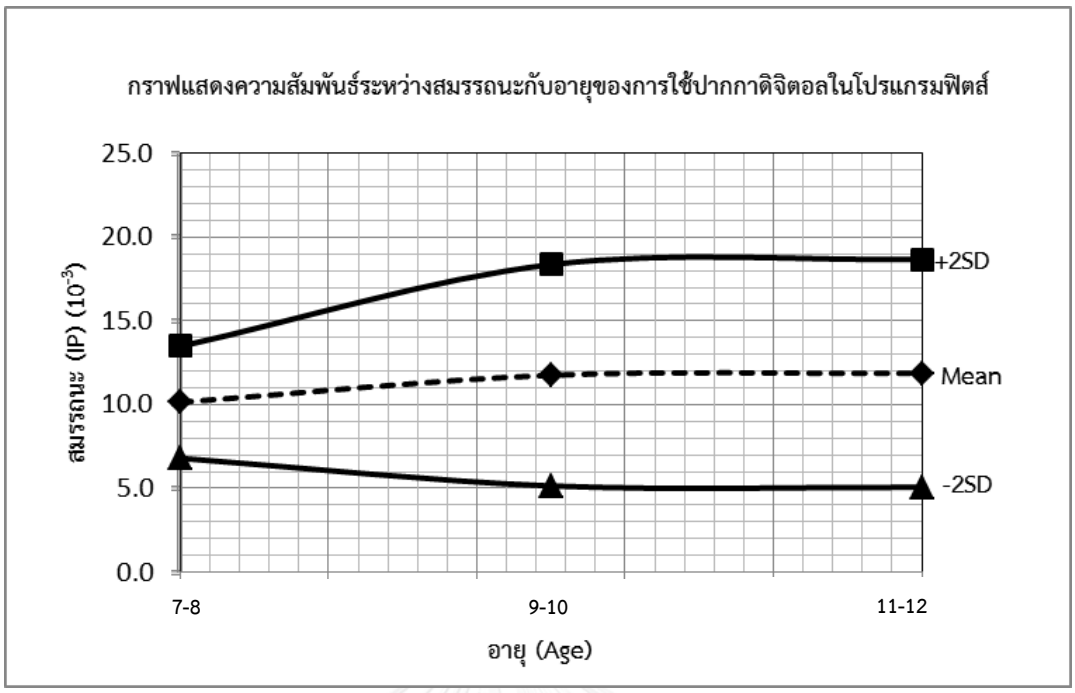
One-way ANOVA: IP versus Level

Source	DF	SS	MS	F	P
Level	2	0.0000732	0.0000366	4.34	0.016
Error	99	0.0008348	0.0000084		
Total	101	0.0009080			

S = 0.002904 R-Sq = 8.06% R-Sq(adj) = 6.20

จากตารางที่ 4.15 การวิเคราะห์ผลด้วยวิธี ANOVA พบว่าค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าค่าสมรรถนะเฉลี่ยของเด็กในการทำงานแตะโดยใช้ปากกาดิจิตอลแต่ละช่วงอายุ มีอย่างน้อย 2 กลุ่ม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และค่าสมรรถนะที่ได้ยังสามารถนำมาสร้างแผนภูมิควบคุม (Control chart) แสดงค่าสมรรถนะของเด็กปกติในแต่ละช่วงอายุที่ได้การทดสอบงานแตะโดยใช้ปากกาดิจิตอล ของเด็กในแต่ละกลุ่มอายุมาหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าสองเท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (±2SD) ของสมรรถนะของเด็กในแต่ละช่วงอายุ แสดงดังรูปที่ 4.13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

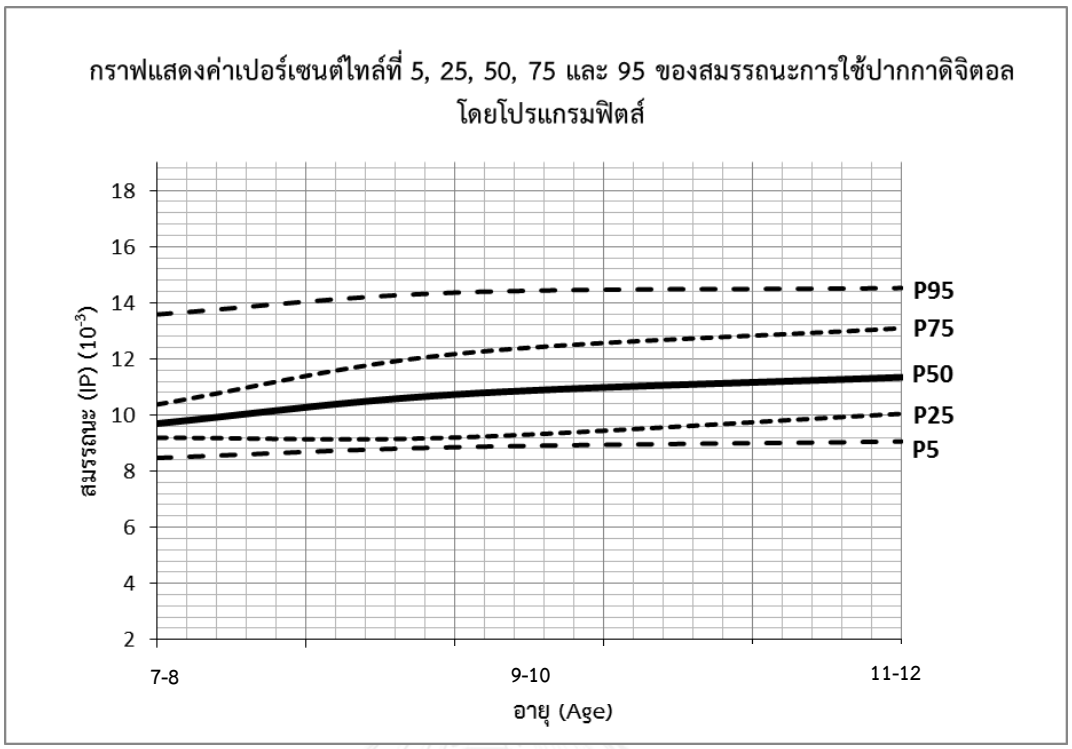


รูปที่ 4.13 แผนภูมิควบคุมแสดงค่าสมรรถนะกับอายุของเด็กอาสาสมัคร สำหรับงานแตะโดยใช้ปากกาดิจิตอล

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าค่าสมรรถนะเฉลี่ย (Mean) ของงานแตะโดยใช้ปากกาดิจิตอลในเด็กแต่ละช่วงอายุมีแนวโน้มสูงขึ้นจากอายุน้อยไปอายุมาก แต่มีระดับความชันของกราฟที่ค่อนข้างต่ำแทบจะคงที่ตั้งแต่ช่วงอายุ 9-12 ปี โดยที่สองเท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (±2SD) ของเด็กที่มีช่วงอายุน้อยมีค่าต่ำกว่าเด็กที่มีช่วงอายุสูงกว่า แสดงให้เห็นว่าข้อมูลสมรรถนะเด็กที่มีอายุน้อยมีความแปรปรวนที่ต่ำกว่า อาจเนื่องมาจากทักษะการทำงานแตะ โดยใช้ปากกาดิจิตอลของเด็กในช่วงอายุสูงขึ้นมาความแตกต่างกันในแต่ละบุคคลค่อนข้างมาก ซึ่งอาจเกิดจากการฝึกฝนหรือความถี่ในการทำงานด้านนี้ในชีวิตประจำวัน

4.1.2.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะของเด็กกลุ่ม สำหรับงานแตะโดยใช้ปากกาดิจิตอล

จากค่าสมรรถนะของงานแตะ (Tap) ที่ได้ยังสามารถนำมาสร้างกราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะของเด็กอาสาสมัครเปรียบเทียบกับอายุ โดยนำค่าสมรรถนะจากการทำงานแตะ (Tap) โดยใช้ปากกาดิจิตอลของเด็กในแต่ละช่วงอายุมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 จากนั้นได้สร้างกราฟแสดงค่าสมรรถนะที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ค่าต่างๆ เปรียบเทียบกับอายุของเด็กแสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะของเด็กปกติ โดยใช้ปากกาดิจิตอลสำหรับการทดลองในงานแตะ (Tap)

จากรูปที่ 4.14 การพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของค่าสมรรถนะของใช้ปากกาดิจิตอลในงานแตะ (Tap) ของเด็กนักเรียนทั้ง 3 กลุ่ม ในช่วงอายุ 7-8 ปี ค่าสมรรถนะมีค่าสูงขึ้นและมีความสัมพันธ์กับอายุของเด็กที่เพิ่มขึ้น โดยมีแนวโน้มสูงขึ้นตามช่วงอายุของเด็กซึ่งมีความสอดคล้องกับทฤษฎีพัฒนาการของเด็กแต่พบว่าที่ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25 สมรรถนะของเด็กลดลง จากนั้นจึงเพิ่มขึ้นในช่วงอายุ 9-10 ปี และพบว่าหลังจากอายุ 9-10 ปี ความชันของกราฟมีค่าคงที่ แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะในการทำงานแตะโดยใช้ปากกาดิจิตอลเริ่มคงที่ในช่วงอายุดังกล่าวเป็นต้นไป

4.1.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะการทำงานแตะ (Tap)

ในการทดสอบสมรรถนะการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลสำหรับงานแตะ (Tap) ได้วิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าสมรรถนะแบ่งออกเป็น2 ปัจจัย คือ วิธีการนำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล) และเพศของเด็กอาสาสมัคร (ชาย และหญิง) สำหรับสมรรถนะเด็กเด็กอาสาสมัครในแต่ละช่วงอายุ โดยแสดงรายละเอียดผลการทดลองจากโปรแกรม Minitab แสดงดังตารางที่ 4.16-4.18

ตารางที่ 4.16 ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะของการทำงานแตะ ของเด็กอาสาสมัครช่วงอายุ 7-8 ปี

General Linear Model: IP Tap versus Input Device, Sex

Factor	Type	Levels	Values
Input Device	fixed	2	นิ้วมือ, ปากกาดิจิตอล
Sex	fixed	2	ชาย, หญิง

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

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Input Device	1	0.0000042	0.0000042	0.0000042	0.73	0.396
Sex	1	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.00	0.989
Input Device*Sex	1	0.0000002	0.0000002	0.0000002	0.03	0.862
Error	60	0.0003443	0.0003443	0.0000057		
Total	63	0.0003487				

S = 0.00239559 R-Sq = 1.25% R-Sq(adj) = 0.00%

จากตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยวิธีการนำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล) และเพศ (ชาย หญิง) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักไม่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะการทำงานรูปแบบ Tap ของนักเด็กอาสาสมัครกลุ่มอายุ 7-8 ปี อย่างมีนัยสำคัญ (ค่า P-Value > 0.05)

ตารางที่ 4.17 ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะของการทำงานแตะของเด็กอาสาสมัครช่วงอายุ 9-10 ปี

General Linear Model: IP Tap versus Input Device, Sex

Factor	Type	Levels	Values
Input Device	fixed	2	นิ้วมือ, ปากกาดิจิตอล
Sex	fixed	2	ชาย, หญิง

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

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Input Device	1	0.0000041	0.0000041	0.0000041	0.45	0.506
Sex	1	0.0000147	0.0000147	0.0000147	1.62	0.209
Input Device*Sex	1	0.0000024	0.0000024	0.0000024	0.26	0.609
Error	60	0.0005475	0.0005475	0.0000091		
Total	63	0.0005687				

S = 0.00302067 R-Sq = 3.73% R-Sq(adj) = 0.00%

จากตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยวิธีการนำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล) และเพศ (ชาย หญิง) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักไม่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะการทำงานรูปแบบ Tap ของเด็กอาสาสมัครกลุ่มอายุ 9-10 ปี อย่างมีนัยสำคัญ (ค่า P-Value > 0.05)

ตารางที่ 4.18 ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะของการทำงานแตะของเด็กอาสาสมัครช่วงอายุ 11-12 ปี

General Linear Model: IP Tap versus Input Device, Sex

Factor	Type	Levels	Values
Input Device	fixed	2	นิ้วมือ, ปากกาดิจิตอล
Sex	fixed	2	ชาย, หญิง

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

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Input Device	1	0.0000130	0.0000130	0.0000130	0.91	0.344
Sex	1	0.0000007	0.0000007	0.0000007	0.05	0.826
Input Device*Sex	1	0.0000028	0.0000028	0.0000028	0.20	0.659
Error	44	0.0006259	0.0006259	0.0000142		
Total	47	0.0006424				

S = 0.00377150 R-Sq = 2.57% R-Sq(adj) = 0.00%

จากตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยวิธีการนำเข้าข้อมูล (นิ้วมือและปากกาดิจิตอล) และเพศ (ชาย หญิง) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักไม่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะการทำงานรูปแบบ Tap ของเด็กอาสาสมัครกลุ่มอายุ 11-12 ปีอย่างมีนัยสำคัญ (ค่า P-Value > 0.05)

ดังที่ได้วิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะการทำงานรูปแบบแตะของเด็กอาสาสมัครทั้ง 3 ช่วงอายุพบว่า ปัจจัยหลักทั้งสองปัจจัยคือ วิธีการนำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล) และเพศ (ชาย หญิง) ไม่มีอิทธิพลต่อค่าสมรรถนะการทำงานรูปแบบแตะอย่างมีนัยสำคัญ (ค่า P-Value > 0.05)

4.2 การประเมินสมรรถนะการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลในงานลาก (Drag)

4.2.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบตามแนวคิดของ Steering Law โดยใช้นิ้วมือ

4.2.1.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของเวลาในการเคลื่อนที่ (Movement time) กับค่าดัชนีความยาก

การทดสอบได้กำหนดค่าดัชนีความยากทั้งหมด 5 ระดับคือ 9.42, 12.56, 18.84, 26.91 และ 31.40 โดยใช้นิ้วมือในการทดลองผลการทดลองในงานลาก (Drag) โดยโปรแกรม Steering ได้เป็นเวลาในการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดเป้าหมายในแต่ระดับความยากของงาน ซึ่งได้แสดงค่าเวลาในการเคลื่อนที่ในการทำงานลาก (Drag) โดยใช้นิ้วมือของผู้เข้าร่วมการทดสอบแต่ละคน (จำนวน 100 คน) ในแต่ละระดับความยากของงาน ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาในการเคลื่อนที่ของเด็กในแต่ละช่วงอายุโดยมีหน่วยเป็นมิลลิวินาที แสดงดังตารางที่ 4.19-4.21

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.19 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของการใช้นิ้วมือในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ

ผู้ถูกทดสอบ	ค่าดัชนีความยาก (ID)				
	9.42	12.56	18.84	26.91	31.4
1	2155.10	2489.40	3378.00	4755.90	4897.60
2	3629.20	4485.90	4551.10	4539.11	5723.50
3	3902.90	3587.00	4697.56	4348.90	5353.90
4	2384.00	2360.78	3603.22	3172.80	3481.80
5	3388.30	3933.60	4581.20	4644.90	4397.78
6	3906.11	4478.56	3942.30	3863.80	3271.70
7	3669.50	4577.80	5639.10	5040.30	5214.60
8	2655.20	2988.90	3766.00	4022.70	4175.38
9	3036.10	3403.00	4623.00	4212.10	4165.00
10	2945.40	2883.70	3096.70	3534.50	3694.50
11	1677.00	2478.10	3095.40	3478.90	4001.80
12	3294.20	3453.80	4294.10	4539.40	5054.20
13	2544.80	3516.30	4834.50	5300.70	5521.80
14	3464.00	3486.70	4704.10	5353.22	5498.30
15	3734.10	4241.70	5874.50	6211.00	7939.30
16	3528.60	3624.30	4872.40	5429.60	5872.40
17	2600.50	3158.10	4212.10	4622.00	5853.50
18	2397.70	2572.80	3577.70	3655.10	4234.60
19	1955.60	1979.00	2453.70	2433.50	3101.10
20	1903.40	2684.50	2921.70	4036.90	4427.50
21	2847.70	3193.30	4564.78	4674.80	5174.30
22	2116.30	2185.90	2823.20	3038.10	3307.80
23	2603.80	2609.78	3180.10	3574.50	3356.50
24	2888.20	2198.90	3286.80	3454.22	3364.90
25	2676.80	2884.80	3816.50	3294.30	2917.20
26	2272.90	2095.20	2548.30	2925.50	3192.70
27	2429.80	2473.50	3440.50	3916.60	4250.10
28	2058.00	2063.50	2330.80	2622.90	2635.90
29	2088.30	2140.30	2994.80	3330.50	3683.70
30	1740.00	2017.70	3011.30	3240.50	3995.60
31	2334.90	2874.20	3609.11	5215.50	5526.00
32	2862.50	2883.00	3340.40	3865.50	4502.00
33	2420.90	3256.00	4290.50	5019.10	5114.80
34	3477.44	4777.30	6353.70	6530.40	7922.10
Mean	**2752.63**	**3059.92**	**3891.45**	**4173.46**	**4553.64**
SD	**649.55**	**807.61**	**980.02**	**981.35**	**1263.45**

จากตารางที่ 4.19 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของเวลาในการเคลื่อนที่โดยใช้นิ้วมือในงานลากของกลุ่มอายุ 7-8 ปี มีค่าสูงสุดเท่ากับ 7939.30 ms และต่ำสุดเท่ากับ 1677.00 ms

ตารางที่ 4.20 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของการใช้นิ้วมือในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ

ผู้ถูกทดสอบ	ค่าดัชนีความยาก (ID)				
	9.42	12.56	18.84	26.91	31.40
1	2614.80	2863.90	3763.90	5601.71	6254.00
2	1753.40	1872.20	2675.00	3144.00	3311.50
3	1979.70	2398.60	3182.78	3108.20	3461.30
4	1130.00	1485.70	1976.10	2186.30	2950.70
5	2020.70	2163.10	2867.80	2879.30	3768.50
6	1934.50	2244.60	2494.10	2549.10	2791.70
7	1709.10	1952.00	2619.20	2573.00	2910.33
8	2276.67	2274.00	2724.40	3020.30	3544.10
9	1665.80	2293.90	3488.88	3465.10	3513.70
10	1788.20	2221.80	2631.90	3326.10	3470.30
11	2065.30	2203.30	3186.10	3450.63	3478.56
12	2150.10	2561.10	3013.40	2877.56	3576.20
13	2634.30	2813.70	3792.70	4395.90	4617.90
14	1836.70	2692.90	2560.70	2679.90	3264.10
15	1976.00	2876.50	3505.50	3191.50	3414.60
16	2238.80	2636.90	3970.90	4261.70	4365.22
17	2462.10	2814.00	3603.75	5541.67	6056.29
18	1383.30	1641.80	1821.80	2207.50	2559.10
19	1010.60	1067.20	1282.10	1439.70	1556.10
20	1694.90	2086.90	2590.70	2856.60	2807.11
21	1387.78	1869.70	2087.80	2369.20	2720.20
22	1701.30	1917.80	2345.10	2387.80	2961.20
23	1570.60	2170.80	2676.70	2999.40	3488.80
24	2077.44	2289.90	3176.00	3368.40	3489.50
25	1561.20	2064.10	2644.70	2903.50	3078.10
26	1774.00	1822.50	2093.30	2424.00	2706.60
27	1171.50	1796.40	2571.60	2678.10	2916.90
28	1588.30	1927.00	2624.90	2949.30	2825.90
29	1459.40	1564.40	3108.20	3375.56	3215.50
30	1301.20	1422.10	2079.50	2388.60	2307.30
31	2984.80	3426.89	5632.10	5327.80	4979.10
32	2724.80	2798.60	3540.80	4699.20	5159.40
33	2426.50	2325.60	3137.70	3515.00	3923.20
34	2824.70	3007.80	4218.67	4423.50	4332.00
Mean	**1908.19**	**2222.58**	**2932.02**	**3251.92**	**3522.79**
SD	**501.60**	**512.88**	**810.18**	**983.78**	**990.76**

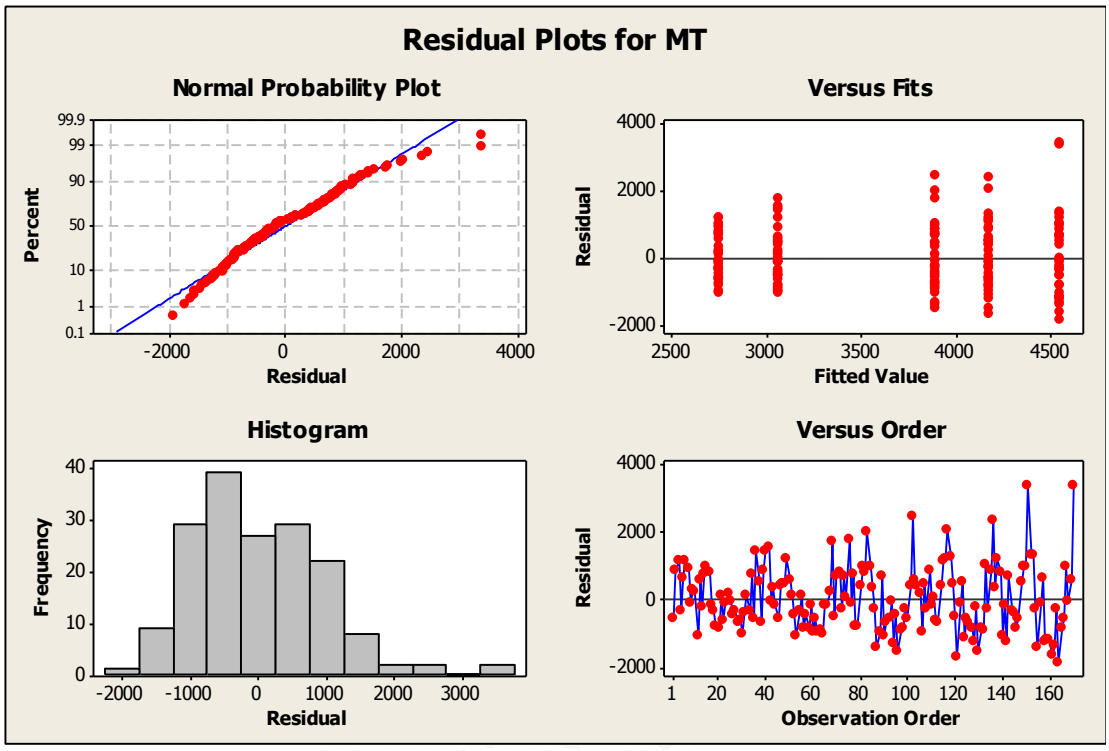
จากตารางที่ 4.20 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของเวลาในการเคลื่อนที่โดยใช้นิ้วมือในงานลากของกลุ่มอายุ 9-10 ปี มีค่าสูงสุดเท่ากับ 6254.00 ms และต่ำสุดเท่ากับ 1010.60 ms

ตารางที่ 4.21 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของการใช้นิ้วมือในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ

ผู้ถูกทดสอบ	ค่าดัชนีความยาก (ID)				
	9.42	12.56	18.84	26.91	31.4
1	1336.22	1342.10	1580.40	1953.60	2077.20
2	1703.10	1544.40	1681.40	1854.40	2258.20
3	1771.90	1815.90	2412.00	2550.40	2656.70
4	1395.50	1519.00	2004.40	2215.90	2316.60
5	1086.60	1162.78	1559.90	2022.30	2077.11
6	1198.60	1333.90	1762.80	1897.50	2302.40
7	1697.30	1869.40	2022.20	1950.90	2121.40
8	1655.30	1853.30	2422.20	2958.60	3291.60
9	1380.40	1474.10	2053.50	2520.00	2594.10
10	1715.56	1915.60	2529.00	2909.70	3117.33
11	1448.00	1687.50	2093.80	2386.50	2732.60
12	1234.20	1683.80	2234.60	2293.10	2435.60
13	1320.40	1654.80	2296.00	2437.40	2529.90
14	1231.70	1493.00	1892.80	2025.40	2259.10
15	3155.10	3308.50	4139.56	4346.80	4850.70
16	2712.90	2868.00	3874.20	4564.50	4596.50
17	1548.40	1673.80	2015.33	2389.30	2528.30
18	1348.20	1364.80	1490.60	1713.30	2126.10
19	1944.11	2285.10	2821.67	3025.00	3127.70
20	1004.10	1135.40	1667.70	1846.78	2205.44
21	1429.30	1654.40	2063.10	2206.20	2601.90
22	1390.80	1674.50	2434.60	2840.90	3426.90
23	1184.90	1844.30	2234.20	2695.20	2807.70
24	1123.30	1558.60	2069.70	2317.00	2509.20
25	1327.70	1803.70	2090.50	2693.80	2779.90
26	1229.70	1623.20	2410.50	2369.00	2599.80
27	1210.60	1531.10	1861.70	2197.50	2336.90
28	1267.40	1388.90	1784.60	1976.50	2382.70
29	1086.80	1411.70	1776.00	1805.50	2056.70
30	1299.00	1561.30	2302.90	2162.90	2407.00
31	1289.90	1502.70	1761.80	1847.70	2247.70
32	1634.00	2148.60	2467.90	2682.13	2537.80
Mean	**1480.03**	**1709.01**	**2181.61**	**2426.74**	**2653.09**
SD	**445.56**	**442.40**	**576.82**	**646.04**	**646.23**

จากตารางที่ 4.21 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของเวลาในการเคลื่อนที่โดยใช้นิ้วมือในงานลากของกลุ่มอายุ 11-12 ปี มีค่าสูงสุดเท่ากับ 4850.70 ms และต่ำสุดเท่ากับ 1004.10 ms

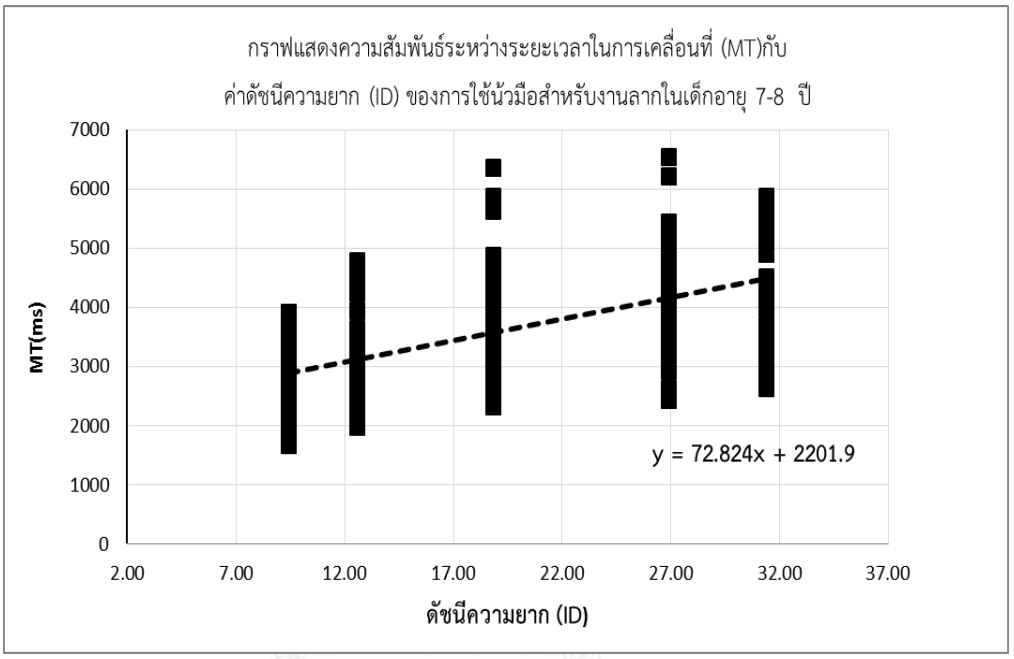
ในตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองว่ามีข้อผิดพลาดหรือไม่ จากข้อมูลเวลาในการเคลื่อนที่ของการทดสอบเด็กอาสาสมัคร ซึ่งได้มีการคัดกรองข้อมูลที่มีความผิดปกติจากโปรแกรม Minitab ด้วยวิธี Box plot จากนั้นทดสอบเกี่ยวกับการแจกแจงปกติความเป็นอิสระและความเสถียรภาพของความแปรปรวนโดยการพิจารณาจาก Residual Plots ตัวอย่างการกระจายตัวของข้อมูลที่ได้จากงานลากโดยใช้นิ้วมือ แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 การกระจายตัวของข้อมูลความเร็วในการเคลื่อนที่ของงานลาก (Drag) โดยใช้นิ้วมือในเด็กอาสาสมัครกลุ่มที่ 1 ช่วงอายุ 7-8 ปี

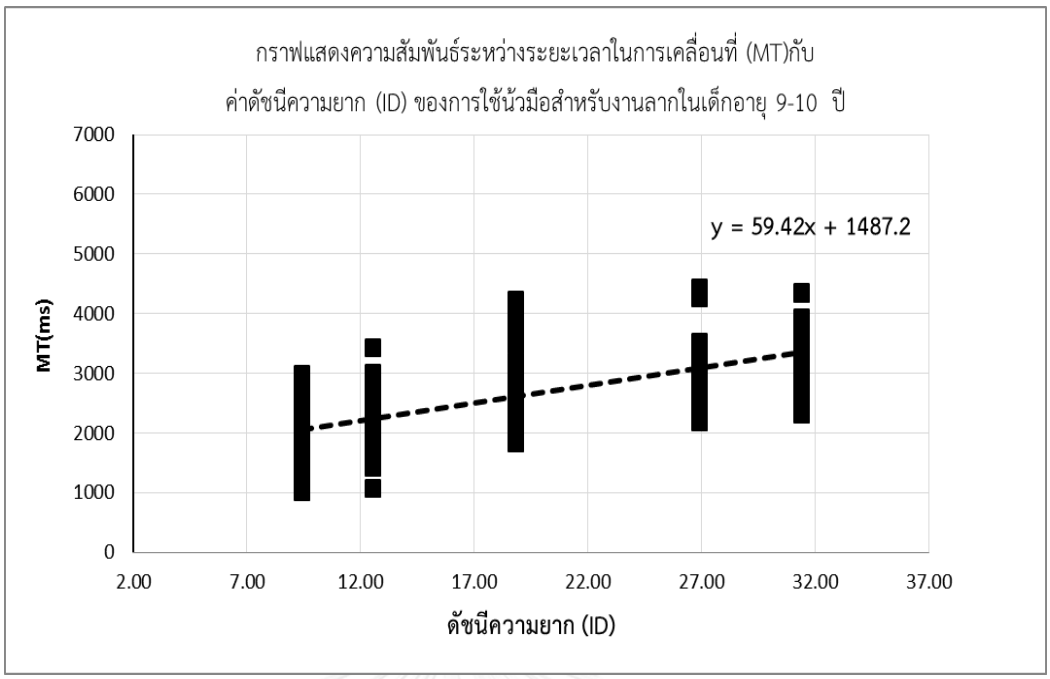
จากรูปที่ 4.15 การทดสอบเกี่ยวกับการแจกแจงปกติความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนและความเป็นอิสระซึ่งจากกราฟ Normal Probability Plot พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน พบว่า ข้อมูลของค่าเวลาในการเคลื่อนที่ในงานลากโดยใช้นิ้วมือไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้ม หรือเป็นรูปแบบกรวยปากเปิด จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน และการทดสอบสมมุติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง เห็นได้ว่าส่วนตกค้างของระยะเวลาการเคลื่อนที่ของการทำงานลากโดยใช้นิ้วมือมีการกระจายตัวในรูปแบบหรือแนวโน้มที่ไม่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันและจากการทดสอบสมมติฐานในนักเรียนกลุ่มอื่น สรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติเช่นกันแสดงในภาคผนวก ช

จากนั้นได้วิเคราะห์ระยะเวลาในการเคลื่อนที่และค่าดัชนีความยากของงาน โดยนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างระยะเวลาในการเคลื่อนที่เฉลี่ยของเด็กในแต่ละช่วงอายุ กับค่าดัชนีความยากของงาน สำหรับการใช้นิ้วมือ ได้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง สำหรับงานลาก (Drag) ของเด็กอาสาสมัครทั้ง 3 กลุ่ม แสดงดังรูปที่ 4.16 – 4.19

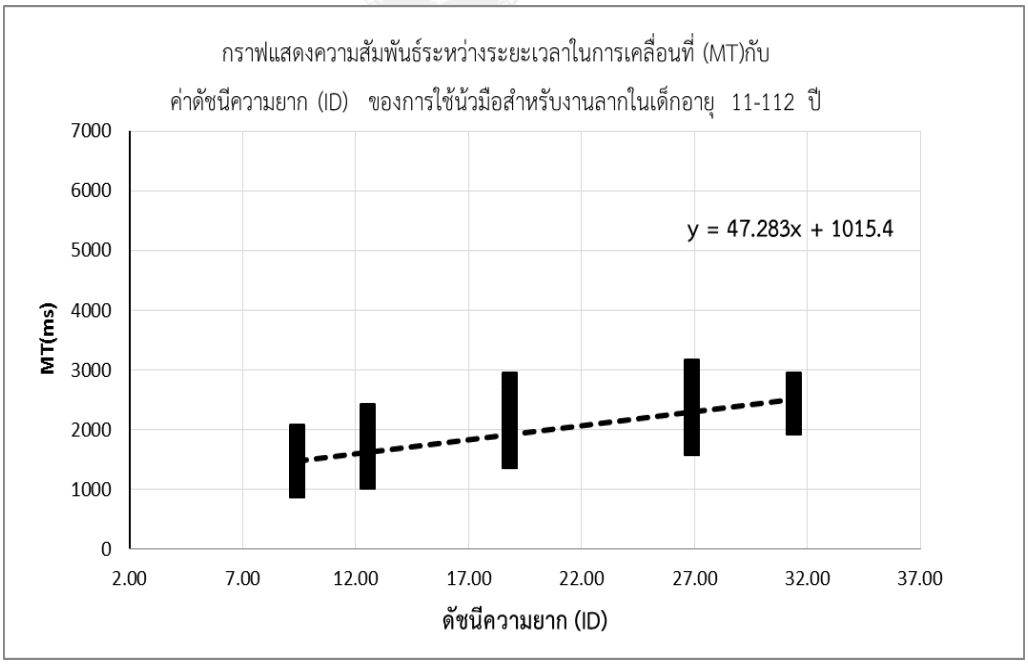


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปีกับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้นิ้วมือในงานลาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปีกับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้นิ้วมือในงานลาก



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้นิ้วมือในงานลาก

จากรูปที่ 4.16 – 4.18 แสดงให้เห็นว่าระดับความยากของงานและเวลาในการเคลื่อนที่มีแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน เมื่อระดับความยากของงานเพิ่มขึ้นทำให้เวลาในการเคลื่อนที่มีค่ามากขึ้นด้วย โดยกลุ่มผู้ถูกทดสอบทั้ง 3 กลุ่ม มีความแตกต่างของเวลาในการเคลื่อนที่อย่างเห็นได้ชัด โดยในแต่ละกลุ่มอายุมีค่าเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) ที่ระดับความยากสูงสุดดังนี้ กลุ่มที่มีอายุ 7-8 ปี มีค่า MT ที่ความยากสูงสุดเท่ากับ 4400 ms กลุ่มที่มีอายุ 9-10 ปี มีค่า MT ที่ความยากสูงสุดเท่ากับ 3200 ms และกลุ่มที่มีอายุ 11-12 ปี มีค่า MT ที่ความยากสูงสุดเท่ากับ 2500 ms ซึ่งในแต่ละอายุมีค่าความแตกต่างของเวลาในการเคลื่อนที่ที่ระดับความยากสูงสุดอยู่ในช่วงประมาณ 700-1900 ms โดยค่า MT จะแปรผกผันกับช่วงอายุคือ เมื่อมีช่วงอายุสูงขึ้นจะใช้เวลาในการเคลื่อนที่สำหรับการทำงานลากโดยใช้นิ้วมือน้อยกว่ากลุ่มเด็กที่มีอายุต่ำกว่า

4.2.1.2 แผนภูมิควบคุม (Control chart) แสดงค่าสมรรถนะของเด็กอาสาสมัคร สำหรับงานลากโดยใช้นิ้วมือ

จากรูปแบบสมการเส้นตรงที่ได้นั้นสามารถนำมาหาค่าสมรรถนะ (Index of Performance) ของการใช้นิ้วมือของเด็กในช่วงอายุต่างๆ โดยหาจากส่วนกลับของความชันของกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (1/b) จากสมการ MT = (b x ID) + a ซึ่ง Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้นิ้วมือในงานลากของเด็กอาสาสมัครทั้ง 100 คน แสดงดังตารางที่ 4.22-4.24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.22 Linear regression, ค่า R^2และค่าสมรรถนะของการใช้นิ้วมือในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี

ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b	ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b
1	y = 134.4x + 870.4	0.981	0.0074	18	y = 80.10x + 1699.	0.918	0.0125
2	y = 68.03x + 3237	0.720	0.0147	19	y = 46.16x + 1469.	0.849	0.0217
3	y = 62.00x + 3148.	0.698	0.0161	20	y = 108.7x + 1038.	0.967	0.0092
4	y = 49.85x + 2012	0.608	0.0201	21	y = 103.0x + 2048.	0.898	0.0097
5	y = 44.62x + 3304.	0.620	0.0224	22	y = 55.22x + 1599.	0.956	0.0181
6	y = -34.19x + 4570.	0.552	0.0292	23	y = 43.26x + 2207.	0.833	0.0231
7	y = 55.03x + 3737	0.464	0.0182	24	y = 40.85x + 2228.	0.540	0.0245
8	y = 68.63x + 2160.	0.920	0.0146	25	y = 13.06x + 2859	0.073	0.0142
9	y = 49.58x + 2904.	0.505	0.0202	26	y = 47.05x + 1674.	0.932	0.0213
10	y = 37.96x + 2478.	0.946	0.0263	27	y = 87.48x + 1567.	0.966	0.0114
11	y = 93.74x + 1087.	0.936	0.0107	28	y = 29.98x + 1747.	0.962	0.0334
12	y = 78.12x + 2578.	0.958	0.0128	29	y = 75.08x + 1358.	0.961	0.0133
13	y = 129.0x + 1785.	0.891	0.0078	30	y = 96.66x + 884.5	0.950	0.0103
14	y = 102.6x + 2465.	0.943	0.0097	31	y = 150.6x + 924.5	0.987	0.0066
15	y = 174.5x + 2140	0.937	0.0057	32	y = 73.54x + 2032.	0.960	0.0136
16	y = 111.4x + 2456.	0.963	0.0090	33	y = 120.3x + 1633.	0.927	0.0083
17	y = 133.8x + 1436	0.954	0.0075	34	y = 175.5x + 2330	0.905	0.0057
				Mean			**0.0150**
				SD			**0.0072**

จากตารางที่ 4.22 แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของการใช้นิ้วมือในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0150 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0072

ตารางที่ 4.23 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้นิ้วมือในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี

ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b	ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b
1	y = 174.2x + 764.2	0.985	0.0057	18	y = 49.50x + 941.3	0.979	0.0202
2	y = 75.42x + 1055	0.964	0.0133	19	y = 25.05x + 774.3	0.991	0.0399
3	y = 60.40x + 1628.	0.836	0.0166	20	y = 50.17x + 1412.	0.866	0.0199
4	y = 72.60x + 506.2	0.938	0.0138	21	y = 52.52x + 1045.	0.939	0.0190
5	y = 108.7x + 1038.	0.967	0.0092	22	y = 49.79x + 1275.	0.908	0.0201
6	y = 33.13x + 1745.	0.893	0.0302	23	y = 77.61x + 1042.	0.949	0.0129
7	y = 50.14x + 1358.	0.866	0.0199	24	y = 66.03x + 1571	0.893	0.0151
8	y = 56.37x + 1650.	0.953	0.0177	25	y = 64.53x + 1170.	0.914	0.0155
9	y = 80.22x + 1295	0.759	0.0125	26	y = 42.55x + 1320.	0.986	0.0235
10	y = 76.20x + 1176.	0.981	0.0131	27	y = 72.07x + 797.8	0.857	0.0139
11	y = 69.50x + 1498.	0.880	0.0144	28	y = 59.16x + 1210.	0.856	0.0169
12	y = 51.47x + 1815.	0.813	0.0194	29	y = 91.02x + 740.0	0.797	0.0110
13	y = 95.29x + 1761.	0.969	0.0105	30	y = 51.13x + 885.9	0.884	0.0196
14	y = 44.94x + 1715	0.672	0.0223	31	y = 97.79x + 2531.	0.587	0.0102
15	y = 49.71x + 2007.	0.560	0.0201	32	y = 117.9x + 1446.	0.986	0.0085
16	y = 99.19x + 1528	0.876	0.0101	33	y = 72.40x + 1630.	0.955	0.0138
17	y = 172.5x + 674.7	0.982	0.0058	34	y = 75.29x + 2268.	0.811	0.0133
				Mean			**0.0161**
				SD			**0.0067**

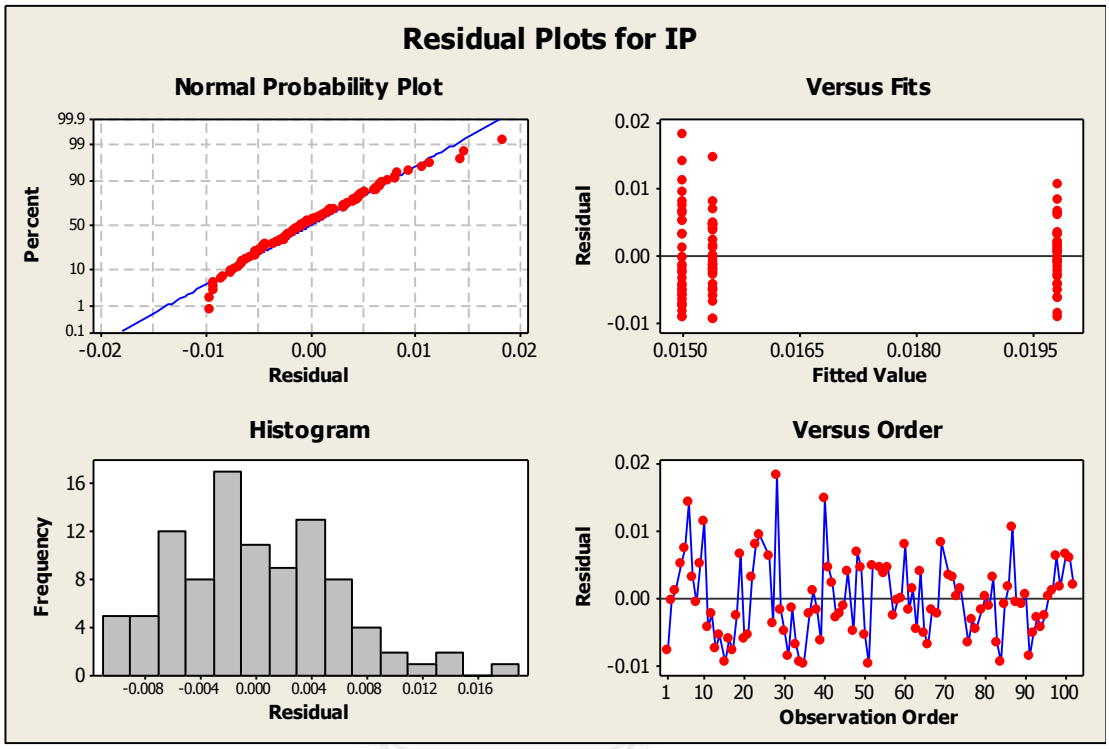
จากตารางที่ 4.23 แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของการใช้นิ้วมือในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0161 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0067

ตารางที่ 4.24 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้นิ้วมือในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี

ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b	ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b
1	y = 36.58x + 932.5	0.980	0.0281	17	y = 46.00x + 1118.	0.995	0.0217
2	y = 25.04x + 1311.	0.720	0.0399	18	y = 32.72x + 959.8	0.882	0.0306
3	y = 42.76x + 1393.	0.906	0.0234	19	y = 52.03x + 1609.	0.910	0.0192
4	y = 43.25x + 1032.	0.947	0.0231	20	y = 52.76x + 525.8	0.964	0.0190
5	y = 49.31x + 604.0	0.978	0.0203	21	y = 48.57x + 1028	0.956	0.0206
6	y = 46.75x + 772.0	0.956	0.0214	22	y = 88.81x + 592.6	0.980	0.0113
7	y = 14.83x + 1638.	0.736	0.0674	23	y = 68.33x + 798.5	0.917	0.0146
8	y = 75.03x + 948.5	0.997	0.0133	24	y = 58.92x + 747.2	0.930	0.0170
9	y = 60.01x + 814.6	0.969	0.0167	25	y = 64.34x + 863.4	0.960	0.0155
10	y = 64.78x + 1153	0.977	0.0154	26	y = 57.49x + 906.5	0.824	0.0174
11	y = 55.28x + 973.5	0.986	0.0181	27	y = 49.26x + 850.7	0.970	0.0203
12	y = 49.54x + 993.9	0.837	0.0202	28	y = 47.77x + 812.8	0.968	0.0209
13	y = 53.49x + 987.0	0.877	0.0187	29	y = 38.35x + 867	0.882	0.0261
14	y = 43.22x + 923.4	0.943	0.0231	30	y = 46.35x + 1027.	0.780	0.0216
15	y = 75.05x + 2472.	0.952	0.0133	31	y = 37.62x + 984	0.927	0.0266
16	y = 94.29x + 1853.	0.948	0.0106	32	y = 38.48x + 1531	0.735	0.0260
				Mean			**0.0219**
				SD			**0.0102**

จากตารางที่ 4.24 แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของการใช้นิ้วมือในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0219 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0102

ในตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองว่ามีข้อผิดพลาดหรือไม่ จากค่าสมรรถนะของทำงานลากโดยใช้นิ้วมือของเด็กอาสาสมัคร ซึ่งได้มีการคัดกรองข้อมูลที่มีความผิดปกติจากโปรแกรม Minitab ด้วยวิธี Box plot จากนั้นทดสอบเกี่ยวกับการแจกแจงปกติความเป็นอิสระและความเสถียรภาพของความแปรปรวนโดยการพิจารณาจาก Residual Plots แสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 การกระจายตัวของข้อมูลสมรรถนะของงานลาก (Drag) โดยใช้นิ้วมือ

จากรูปที่ 4.19 การทดสอบเกี่ยวกับการแจกแจงปกติความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนและความเป็นอิสระซึ่งจากกราฟ Normal Probability Plot พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน พบว่าข้อมูลของค่าสมรรถนะในงานลากโดยใช้นิ้วมือไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้ม หรือเป็นรูปแบบกรวยปากเปิด จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน และการทดสอบสมมุติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง เห็นได้ว่าส่วนตกค้างของค่าสมรรถนะของการทำงานลากโดยใช้นิ้วมือมีการกระจายตัวในรูปแบบหรือแนวโน้มที่ไม่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน ในการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมรรถนะของงานลาก (Drag) โดยใช้นิ้วมือในเด็กอาสาสมัครแต่ละช่วงอายุ ได้วิเคราะห์ด้วยวิธี ANOVA ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.25

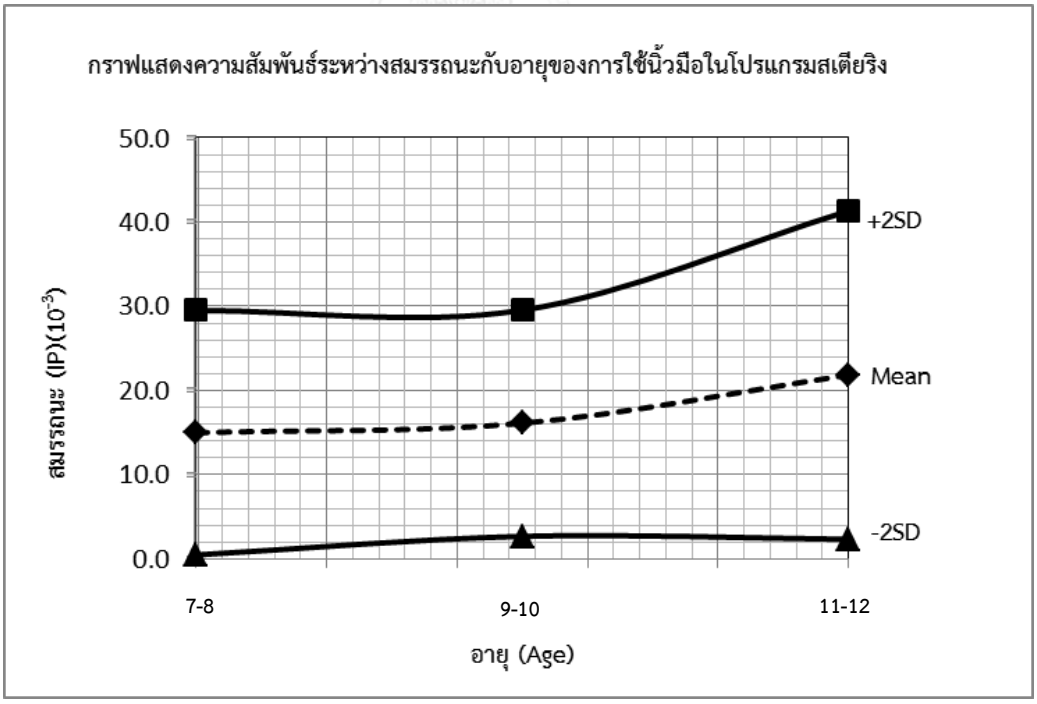
ตารางที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมรรถนะของงานลาก (Drag) โดยใช้นิ้วมือในเด็กเด็กอาสาสมัครแต่ละช่วงอายุ

One-way ANOVA: IP versus Level

Source	DF	SS	MS	F	P
Level	2	0.000661	0.000330	3.25	0.043
Error	99	0.010079	0.000102		
Total	101	0.010740			

S = 0.01009 R-Sq = 6.15% R-Sq(adj) = 4.26%

จากการวิเคราะห์ผลด้วยวิธี ANOVA พบว่าค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าค่าสมรรถนะเฉลี่ยของเด็กอาสาสมัครในการทำงานลากโดยการใช้นิ้วมือแต่ละช่วงอายุ มีอย่างน้อย 2 กลุ่ม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และค่าสมรรถนะที่ได้ยังสามารถนำมาสร้างแผนภูมิควบคุม (Control chart) แสดงค่าสมรรถนะของเด็กปกติในแต่ละช่วงอายุที่ได้การทดสอบงานลาก โดยใช้นิ้วมือจากโปรแกรมสเตียริงของเด็กในแต่ละกลุ่มอายุมาหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าสองเท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (±2SD) ของสมรรถนะของเด็กในแต่ละช่วงอายุ แสดงดังรูปที่ 4.20

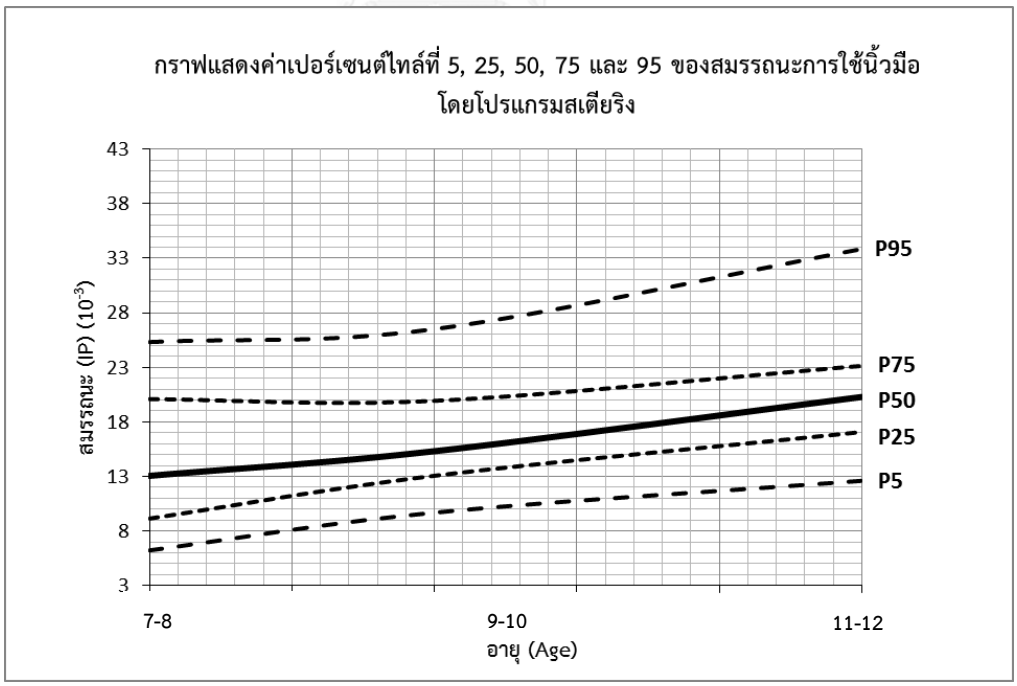


รูปที่ 4.20 แผนภูมิควบคุมแสดงค่าสมรรถนะกับอายุของเด็กอาสาสมัครสำหรับงานลากโดยใช้นิ้วมือ

จากรูปที่ 4.20 เห็นได้ว่าค่าสมรรถนะเฉลี่ย (Mean) ของงานลาก (Drag) โดยใช้นิ้วมือในเด็กแต่ละช่วงอายุมีแนวโน้มสูงขึ้นจากอายุน้อยไปอายุมาก แต่มีระดับความชันของกราฟเพิ่มขึ้นค่อนข้างต่ำ โดยค่าสองเท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (±2SD) ของเด็กที่มีช่วงอายุน้อย มีค่าต่ำกว่าเด็กที่มีช่วงอายุสูงกว่า แสดงให้เห็นว่าข้อมูลสมรรถนะเด็กที่มีอายุน้อยมีความแปรปรวนน้อยกว่าอาจเนื่องมาจากความสามารถหรือทักษะในการทำงานลากโดยใช้นิ้วมือของเด็กในช่วงอายุน้อยมีความหลากหลายของตัวบุคคลน้อยหรือความสามารถในช่วงอายุดังกล่าวไม่แตกต่างกันมาก

4.2.1.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะของเด็กอาสาสมัครสำหรับงานลากโดยใช้นิ้วมือ

ค่าสมรรถนะที่ได้จากการทำงานลาก (Drag) สามารถนำมาสร้างกราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะของเด็กในแต่ละอาสาสมัครเปรียบเทียบกับอายุโดยนำค่าสมรรถนะจากการทำงานลาก (Drag) โดยใช้นิ้วมือของเด็กในแต่ละช่วงอายุมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 จากนั้นได้สร้างกราฟแสดงค่าสมรรถนะที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ค่าต่างๆ เปรียบเทียบกับอายุของเด็กแสดงดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะ ของเด็กอาสาสมัคร สำหรับการทดสอบงานลากโดยใช้นิ้วมือ

จากรูปที่ 4.21 พิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของค่าสมรรถนะ ของการใช้นิ้วมือของเด็กนักเรียนทั้ง 3 กลุ่ม พบว่าทุกค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์มีความชันสูงขึ้นในช่วงอายุ 9-10 ปี และเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 มีความชันสูงขึ้นในช่วงอายุ 9-10 ปี อย่างเห็นได้ชัดโดยมีความสัมพันธ์กับอายุของเด็กที่เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงช่วงอาย 12 ปี ก็ยังคงมีลักษณะที่มีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งแตกต่างงานแตะที่กราฟมีลักษณะคงที่เมื่อมีอายุสูงขึ้นในระดับหนึ่ง แสดงให้เห็นว่าการทำงานลาก (Drag) ยังคงมีพัฒนาการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สำหรับเด็กกลุ่มอาย 7-12 ปี และอาจมีค่าสูงขึ้นในระดับอายุที่สูงขึ้น ซึ่งแตกต่างจากการทำงานแตะ คือเมื่อมีอายุสูงขึ้นสมรรถนะในการทำงานจะเริ่มคงที่

4.2.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบตามแนวคิดของ Steering Law โดยใช้ปากกาดิจิตอล

4.2.2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของเวลาในการเคลื่อนที่ (Movement time) กับค่าดัชนีความยาก

การทดสอบได้กำหนดค่าดัชนีความยากทั้งหมด 5 ระดับคือ 9.42, 12.56, 18.84, 37.68 และ 43.96 โดยใช้ปากกาดิจิตอลในการทดสอบงานลาก (Drag) โดยโปรแกรม Steering ได้เป็นเวลาในการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดเป้าหมายในแต่ระดับความยากของงาน ซึ่งได้แสดงค่าเวลาในการเคลื่อนที่ในการทำงานลาก (Drag) โดยใช้ปากกาดิจิตอลของผู้เข้าร่วมการทดสอบแต่ละคน (จำนวน 100 คน) ในแต่ละระดับความยากของงาน และค่าเฉลี่ยของค่าเวลาในการเคลื่อนที่ของเด็กในแต่ละช่วงอายุโดยมีหน่วยเป็นมิลลิวินาทีแสดงดังตารางที่ 4.26 - 4.28

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.26 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ

ผู้ถูกทดสอบ	ค่าดัชนีความยาก (ID)				
	9.42	12.56	18.84	37.68	43.96
1	2957.50	3612.20	4952.70	6077.90	6759.20
2	2956.40	3304.20	4220.10	5094.80	5513.40
3	2885.30	3073.00	4151.10	4568.00	4627.70
4	2547.90	2761.10	3259.30	3647.90	4042.89
5	2809.22	3469.30	4209.80	4639.50	4930.80
6	2575.20	2968.10	3712.00	4214.10	4531.10
7	3139.60	4124.80	4602.90	5284.70	5520.80
8	2735.56	2743.80	3280.50	3842.40	4375.30
9	2716.30	3158.60	4172.00	4283.30	4835.40
10	2490.20	3015.90	3785.40	4911.00	5036.50
11	2286.20	2864.00	3390.50	3975.30	4852.44
12	2791.20	3310.50	4636.90	5366.90	6268.10
13	2944.70	3039.10	3694.60	4900.70	4980.22
14	3603.89	3985.10	5048.60	6547.80	6677.78
15	4880.80	5506.80	7243.60	7868.25	7195.20
16	2985.40	3442.10	4530.40	5506.00	6330.00
17	2954.80	3667.50	5043.80	5129.90	5679.10
18	2505.70	2919.40	3579.60	4324.50	4512.80
19	1824.00	2143.40	2800.60	3142.00	3767.20
20	2065.70	2681.90	3700.40	4939.30	5014.30
21	3117.70	3712.00	4872.50	5342.44	5846.20
22	1896.00	2032.40	2699.90	3195.90	3809.90
23	2176.00	2258.89	2394.50	2798.80	3433.70
24	2509.00	2699.00	3512.20	3545.60	3746.11
25	2250.40	2603.80	4101.50	4412.50	4532.90
26	2152.90	2841.20	3550.60	3553.78	4130.50
27	2205.60	2879.80	3406.30	3990.90	4332.40
28	2101.40	2431.30	2729.50	3190.50	3259.44
29	2057.60	1921.60	2897.56	2926.40	3892.33
30	2369.50	2728.10	3541.40	4663.70	5700.50
31	2662.30	3155.70	3993.10	5531.40	6085.40
32	2557.70	3062.60	4006.20	4326.70	4621.70
33	2367.90	3172.60	3789.00	5078.10	5286.40
34	3928.80	4791.00	5276.40	5928.10	6574.67
Mean	**2676.72**	**3120.02**	**3964.28**	**4610.27**	**5020.66**
SD	**603.11**	**729.81**	**932.25**	**1098.09**	**1026.50**

จากตารางที่ 4.26 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของเวลาในการเคลื่อนที่โดยใช้ปากกาดิจิตอลในงานลากของกลุ่มอายุ 7-8 ปี มีค่าสูงสุดเท่ากับ 7195.20 ms และต่ำสุดเท่ากับ 1824.00 ms

ตารางที่ 4.27 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ

ผู้ถูกทดสอบ	ค่าดัชนีความยาก (ID)				
	9.42	12.56	18.84	37.68	43.96
1	1844.56	3257.57	4001.30	7487.30	7915.75
2	2055.50	2162.50	2780.10	3230.90	3626.60
3	2310.78	2287.67	2693.10	2944.30	3439.00
4	1570.50	1993.00	2937.70	3142.33	3695.60
5	1837.60	1967.30	2840.30	3698.30	4009.70
6	1620.10	1872.50	2194.10	2746.50	3164.70
7	1347.30	1959.90	3055.44	3329.50	3482.30
8	1812.60	2565.60	3076.80	3407.00	4011.30
9	1765.90	2026.10	2687.20	3687.70	4089.60
10	1629.10	1958.60	2789.70	4105.70	4705.70
11	1691.30	2254.10	3057.70	3575.80	3934.50
12	1716.20	1940.00	2852.70	3308.80	4385.10
13	2698.70	3025.00	3891.10	4156.56	5539.10
14	2431.40	2489.30	3378.30	3936.40	4471.80
15	2034.40	2450.40	3582.80	3325.70	3398.50
16	2416.90	2936.00	4189.40	4968.20	5167.40
17	1649.60	3188.25	4262.38	7252.50	9137.00
18	1408.90	1987.60	2400.90	2914.56	2739.30
19	1019.40	1097.00	1315.40	1547.50	1802.50
20	1586.50	2043.50	2481.30	2950.30	3660.60
21	1489.00	1518.00	1967.10	2265.00	2833.30
22	1648.30	1779.00	2079.78	2688.44	2636.56
23	1561.30	1902.40	2384.60	3336.67	3605.89
24	1849.00	2172.11	2682.40	3061.90	3193.70
25	1728.70	2194.10	2621.50	2835.90	2983.80
26	1305.60	1791.50	2158.30	2424.11	2807.80
27	1918.60	2089.70	3099.50	3412.90	3791.10
28	1488.80	1941.80	2080.22	2776.00	3051.90
29	1768.20	2208.90	2685.60	3565.60	3728.00
30	1137.50	1443.20	2310.20	2669.90	3137.70
31	3300.11	4703.30	4757.10	6206.40	5992.50
32	3625.70	3710.10	4212.70	5275.56	6533.89
33	2353.20	2898.60	3711.22	4024.60	4838.20
34	2430.80	3909.70	4460.50	4604.00	4930.11
Mean	**1883.88**	**2344.83**	**2990.54**	**3672.44**	**4130.60**
SD	**555.11**	**740.78**	**809.42**	**1291.34**	**1501.12**

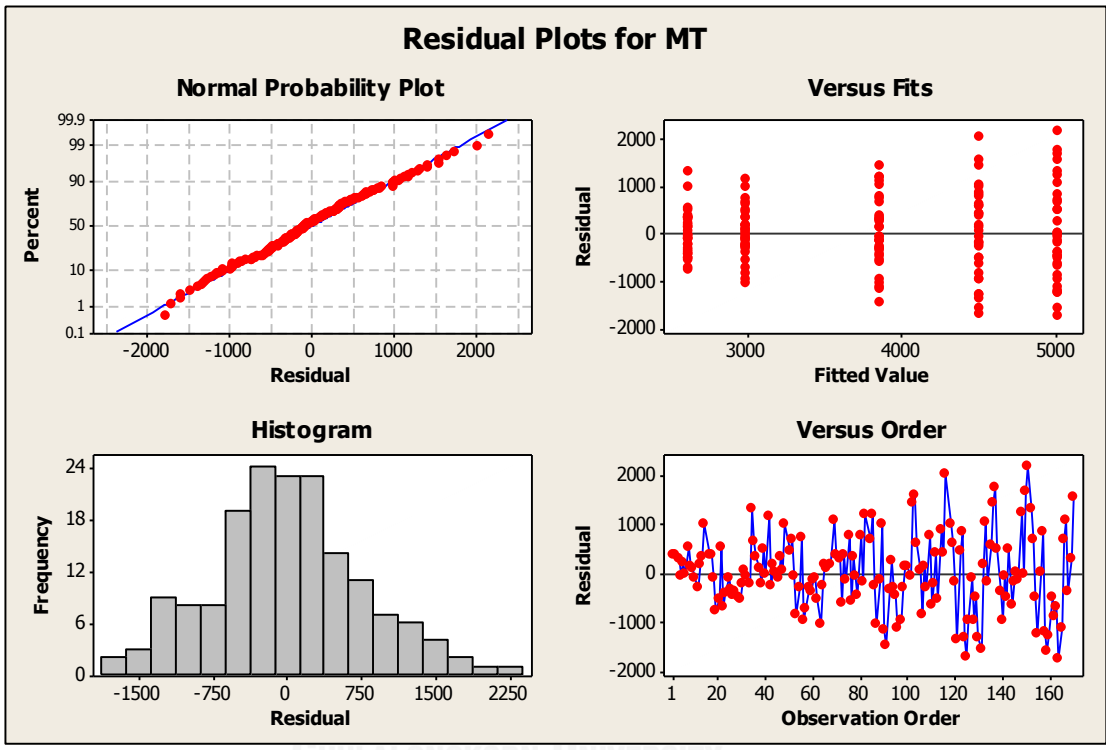
จากตารางที่ 4.27 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของเวลาในการเคลื่อนที่โดยใช้ปากกาดิจิตอลในงานลากของกลุ่มอายุ 9-10 ปี มีค่าสูงสุดเท่ากับ 9137.00 ms และต่ำสุดเท่ากับ 1019.40 ms

ตารางที่ 4.28 เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี ที่ระดับดัชนีความยากต่างๆ

ผู้ถูกทดสอบ	ค่าดัชนีความยาก (ID)				
	9.42	12.56	18.84	37.68	43.96
1	1157.20	1394.20	1799.80	2103.90	2193.30
2	1743.60	1845.50	2170.70	2287.80	2615.80
3	1647.40	2075.70	2537.60	2548.20	2909.13
4	1398.10	1587.10	2124.60	2355.20	2770.70
5	1113.40	1444.80	1826.20	2103.56	2272.60
6	1224.80	1513.80	2123.40	2375.60	2700.60
7	1364.00	1563.20	1802.40	2598.80	2663.30
8	1789.70	1931.50	2403.40	2841.80	3190.80
9	1437.50	1763.70	2171.30	2717.90	2774.10
10	2155.60	2270.90	2992.30	3903.11	3658.40
11	1426.50	1608.60	2113.30	2532.20	2609.80
12	1505.30	1487.20	2004.40	2512.33	2762.30
13	1473.30	1735.00	2063.50	2457.20	2620.10
14	1335.10	1742.50	2180.20	2342.10	2796.10
15	2929.00	3793.30	4662.50	4521.90	4481.80
16	2709.70	3264.00	4225.56	4512.40	4940.50
17	1366.30	1741.20	1730.90	2619.40	2652.10
18	1425.30	1634.80	2511.78	2625.56	2664.70
19	1787.20	2086.60	2887.67	3170.22	3196.89
20	1037.80	1398.80	1815.40	2658.30	3106.20
21	1470.00	1600.50	2005.60	2202.20	2636.40
22	1760.60	2342.67	2983.50	3173.80	3343.40
23	1264.00	1586.90	2097.80	2496.70	2950.90
24	1419.50	1569.60	2200.00	2388.90	2512.10
25	1374.00	1578.20	2220.00	2464.40	2610.80
26	1408.90	1763.40	2291.60	2765.10	2814.60
27	1421.80	1697.10	1998.00	2487.40	2766.30
28	1388.30	1545.20	2261.50	2458.10	2736.40
29	1301.50	1501.30	1865.20	2361.80	2554.00
30	1393.00	1835.50	2299.50	2606.10	2812.70
31	1347.90	1525.50	1914.00	2253.70	2641.50
32	2154.60	2163.60	3032.80	3186.60	3472.50
Mean	**1554.09**	**1831.00**	**2353.64**	**2707.26**	**2919.71**
SD	**417.80**	**512.78**	**654.55**	**596.42**	**566.02**

จากตารางที่ 4.28 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของเวลาในการเคลื่อนที่โดยใช้ปากกาดิจิตอลในงานลากของกลุ่มอายุ 11-12 ปี มีค่าสูงสุดเท่ากับ 4940.50 ms และต่ำสุดเท่ากับ 1037.80 ms

ในตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองว่ามีข้อผิดพลาดหรือไม่ จากข้อมูลเวลาในการเคลื่อนที่ของการทำงานลากโดยใช้ปากกาดิจิตอลของเด็กอาสาสมัคร ซึ่งได้มีการคัดกรองข้อมูลที่มีความผิดปกติจากโปรแกรม Minitab ด้วยวิธี Box plots จากนั้นทดสอบเกี่ยวกับการแจกแจงปกติความเป็นอิสระและความเสถียรภาพของความแปรปรวนโดยการพิจารณาจาก Residual Plot ตัวอย่างการกระจายตัวของข้อมูลที่ได้จากงานลากโดยใช้ปากกาดิจิตอล แสดงดังรูปที่ 4.22

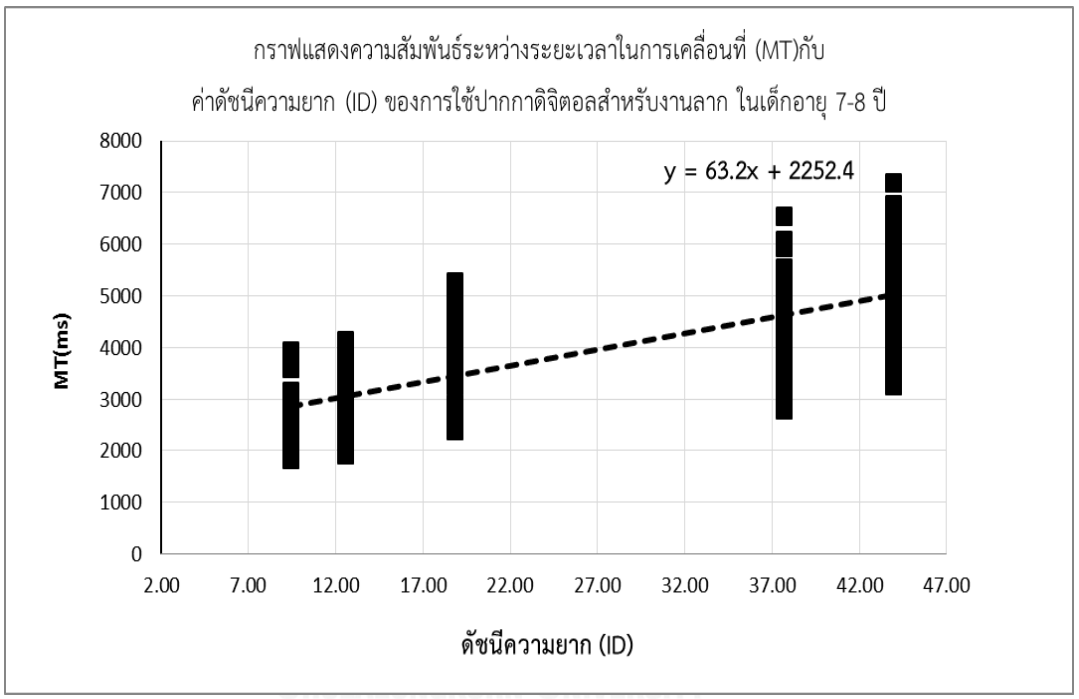


รูปที่ 4.22 การกระจายตัวของข้อมูลความเร็วในการเคลื่อนที่ของงานลาก (Drag) โดยใช้ปากกาดิจิตอลในเด็กเด็กอาสาสมัครกลุ่มที่ 1 ช่วงอายุ 7-8 ปี

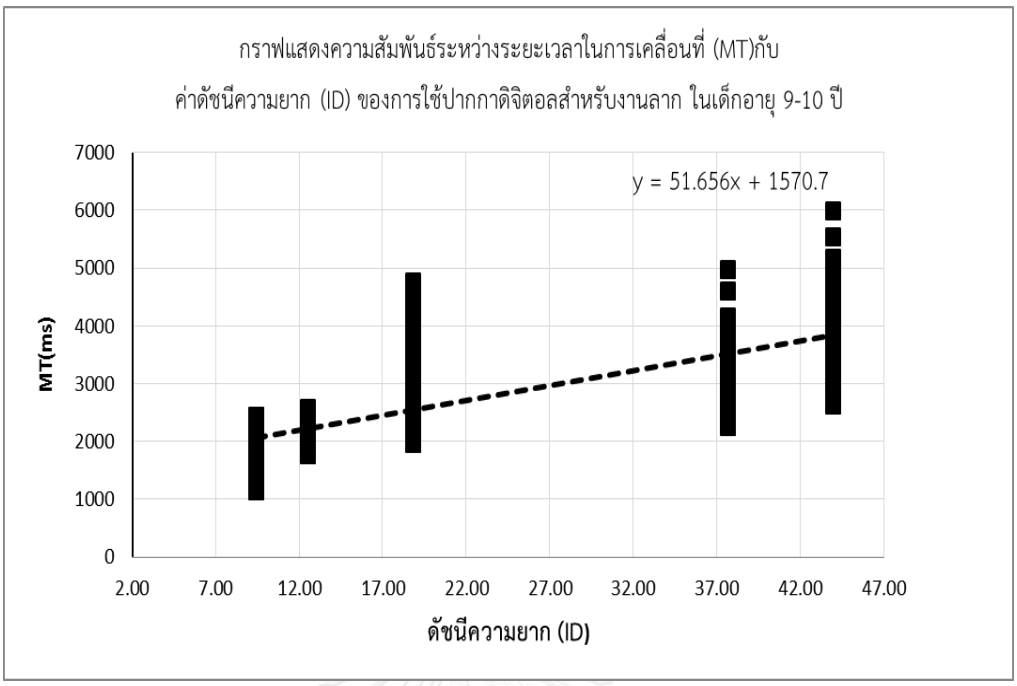
จากรูปที่ 4.22 การทดสอบเกี่ยวกับการแจกแจงปกติความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนและความเป็นอิสระซึ่งจากกราฟNormal Probability Plot พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนพบว่าข้อมูลของค่าเวลาในการเคลื่อนที่ของงานลากโดยใช้ปากกาดิจิตอลไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้ม หรือเป็นรูปแบบกรวยปากเปิด จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน และสำหรับการทดสอบสมมุติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง เห็นได้ว่าส่วนตกค้างของระยะเวลาการเคลื่อนที่ของการทำงานลากโดยใช้ปากกาดิจิตอลมีการกระจายตัวในรูปแบบหรือแนวโน้มที่ไม่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันและจากการ

ทดสอบสมมติฐานในเด็กอาสาสมัครกลุ่มอื่น สรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติเช่นกันแสดงในภาคผนวก ช

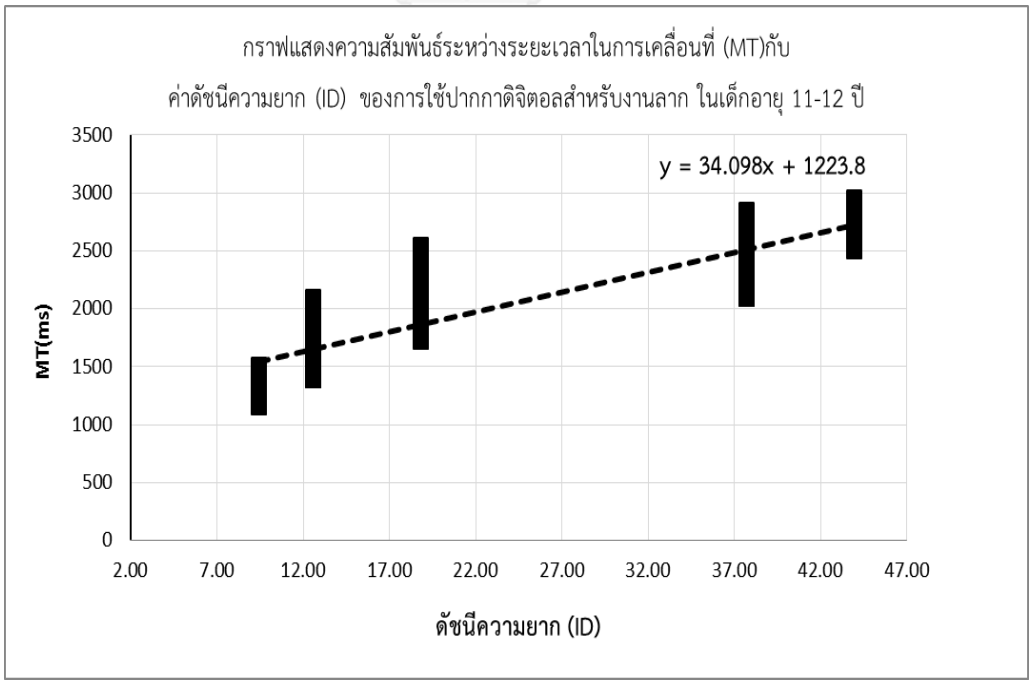
จากนั้นได้วิเคราะห์ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) และค่าดัชนีความยากของงาน(ID) โดยนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างระยะเวลาในการเคลื่อนที่เฉลี่ยของเด็กในแต่ละช่วงอายุกับค่าดัชนีความยากของงาน สำหรับการใช้ปากกาดิจิตอลได้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงสำหรับงานลาก (Drag) ของเด็กอาสาสมัครทั้ง 3 กลุ่มแสดงดังรูปที่ 4.23– 4.25



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลาก



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลาก



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เฉลี่ยของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี กับค่าดัชนีความยาก (ID) ของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลาก

จากรูปที่ 4.23 – 4.25 แสดงให้เห็นว่าระดับความยากของงานและเวลาในการเคลื่อนที่มีแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน เมื่อระดับความยากของงานเพิ่มขึ้นทำให้เวลาในการเคลื่อนที่มีค่ามากขึ้นด้วย โดยกลุ่มผู้ถูกทดสอบทั้ง 3 กลุ่ม มีความแตกต่างของเวลาในการเคลื่อนที่อย่างเห็นได้ชัดโดยในแต่ละกลุ่มอายุมีค่าเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) ที่ระดับความยากสูงสุดดังนี้ กลุ่มที่มีอายุ 7-8 ปี มีค่า MT ที่ความยากสูงสุดเท่ากับ 5000 ms กลุ่มที่มีอายุ 9-10 ปี มีค่า MT ที่ความยากสูงสุดเท่ากับ 3900 ms และกลุ่มที่มีอายุ 11-12 ปี มีค่า MT ที่ความยากสูงสุดเท่ากับ 2700 ms ซึ่งในแต่ละอายุมีค่าความแตกต่างของเวลาในการเคลื่อนที่ที่ระดับความยากสูงสุดอยู่ในช่วงประมาณ 1200-2300 ms โดยค่า MT จะ แปรผกผันกับช่วงอายุ คือ เมื่อมีช่วงอายุสูงขึ้นจะใช้เวลาในการเคลื่อนที่สำหรับการทำงานลากโดยใช้ปากกาดิจิตอลน้อยกว่ากลุ่มเด็กที่มีอายุต่ำกว่า

4.2.2.2 แผนภูมิควบคุม (Control chart) แสดงค่าสมรรถนะของเด็กปกติในแต่ละช่วงอายุสำหรับงานลากการใช้ปากกาดิจิตอล

จากรูปแบบสมการเส้นตรงที่ได้นั้นสามารถนำมาหาค่าสมรรถนะ (Index of Performance) ของการใช้ปากกาดิจิตอลของเด็กในช่วงอายุต่างๆ โดยหาจากส่วนกลับของความชันของกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (1/b) ซึ่ง Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลากของเด็กอาสาสมัครทั้ง 100 คน แสดงดังตารางที่ 4.29-4.31

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.29 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี

ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b	ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b
1	y = 100.6x + 2406.	0.941	0.0099	18	y = 54.54x + 2232.	0.941	0.0183
2	y = 69.87x + 2506.	0.956	0.0143	19	y = 48.07x + 1558	0.913	0.0208
3	y = 48.95x + 2662.	0.833	0.0204	20	y = 82.46x + 1660.	0.931	0.0121
4	y = 38.81x + 2301.	0.946	0.0258	21	y = 68.57x + 2898.	0.869	0.0146
5	y = 52.02x + 2737.	0.855	0.0192	22	y = 50.53x + 1489.	0.949	0.0198
6	y = 50.89x + 2353.	0.913	0.0197	23	y = 31.93x + 1830.	0.907	0.0313
7	y = 57.23x + 3132.	0.855	0.0175	24	y = 31.24x + 2437.	0.749	0.0320
8	y = 45.41x + 2283.	0.968	0.0220	25	y = 61.05x + 2084.	0.774	0.0164
9	y = 50.72x + 2590.	0.812	0.0197	26	y = 42.81x + 2197.	0.751	0.0234
10	y = 71.14x + 2105.	0.950	0.0141	27	y = 52.51x + 2076.	0.904	0.0190
11	y = 61.92x + 1957.	0.928	0.0162	28	y = 30.82x + 1987.	0.929	0.0324
12	y = 89.09x + 2292.	0.920	0.0112	29	y = 46.15x + 1608.	0.805	0.0217
13	y = 62.92x + 2370.	0.978	0.0159	30	y = 88.22x + 1639.	0.974	0.0113
14	y = 90.05x + 2966.	0.962	0.0111	31	y = 95.42x + 1948.	0.988	0.0105
15	y = 66.67x + 4906	0.651	0.0150	32	y = 51.65x + 2449.	0.836	0.0194
16	y = 88.19x + 2398	0.956	0.0113	33	y = 78.50x + 2016.	0.950	0.0127
17	y = 64.34x + 2919.	0.765	0.0155	34	y = 62.83x + 3760.	0.906	0.0159
				Mean			**0.017957**
				SD			**0.005942**

จากตารางที่ 4.30 แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0179 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0059

ตารางที่ 4.30 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี

ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b	ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b
1	y = 171.3x + 704.0	0.979	0.0058	18	y = 34.83x + 1437.	0.786	0.0287
2	y = 42.66x + 1726.	0.951	0.0234	19	y = 20.54x + 853.1	0.963	0.0487
3	y = 29.79x + 2005.	0.919	0.0336	20	y = 50.14x + 1316.	0.928	0.0199
4	y = 51.68x + 1401.	0.846	0.0194	21	y = 34.95x + 1158.	0.926	0.0286
5	y = 62.45x + 1340.	0.962	0.0160	22	y = 30.34x + 1423.	0.955	0.0330
6	y = 40.51x + 1327.	0.978	0.0247	23	y = 57.09x + 1159.	0.985	0.0175
7	y = 53.16x + 1332.	0.772	0.0188	24	y = 35.21x + 1729.	0.897	0.0284
8	y = 49.98x + 1750.	0.854	0.0200	25	y = 29.79x + 1743.	0.809	0.0336
9	y = 65.24x + 1253.	0.986	0.0153	26	y = 34.97x + 1240.	0.874	0.0286
10	y = 85.98x + 931.8	0.989	0.0116	27	y = 49.71x + 1644.	0.870	0.0201
11	y = 56.66x + 1514.	0.893	0.0176	28	y = 40.50x + 1275.	0.965	0.0247
12	y = 66.91x + 1201.	0.913	0.0149	29	y = 53.87x + 1471.	0.963	0.0186
13	y = 66.94x + 2222.	0.863	0.0149	30	y = 51.20x + 885.5	0.895	0.0195
14	y = 56.08x + 1967.	0.941	0.0178	31	y = 68.90x + 3304.	0.827	0.0145
15	y = 31.29x + 2191.	0.510	0.0320	32	y = 77.58x + 2771.	0.947	0.0129
16	y = 74.37x + 2114.	0.886	0.0134	33	y = 58.92x + 2122	0.879	0.0170
17	y = 195.4x + 311.2	0.980	0.0051	34	y = 50.50x + 2830.	0.625	0.0198
				Mean			**0.0211**
				SD			**0.0088**

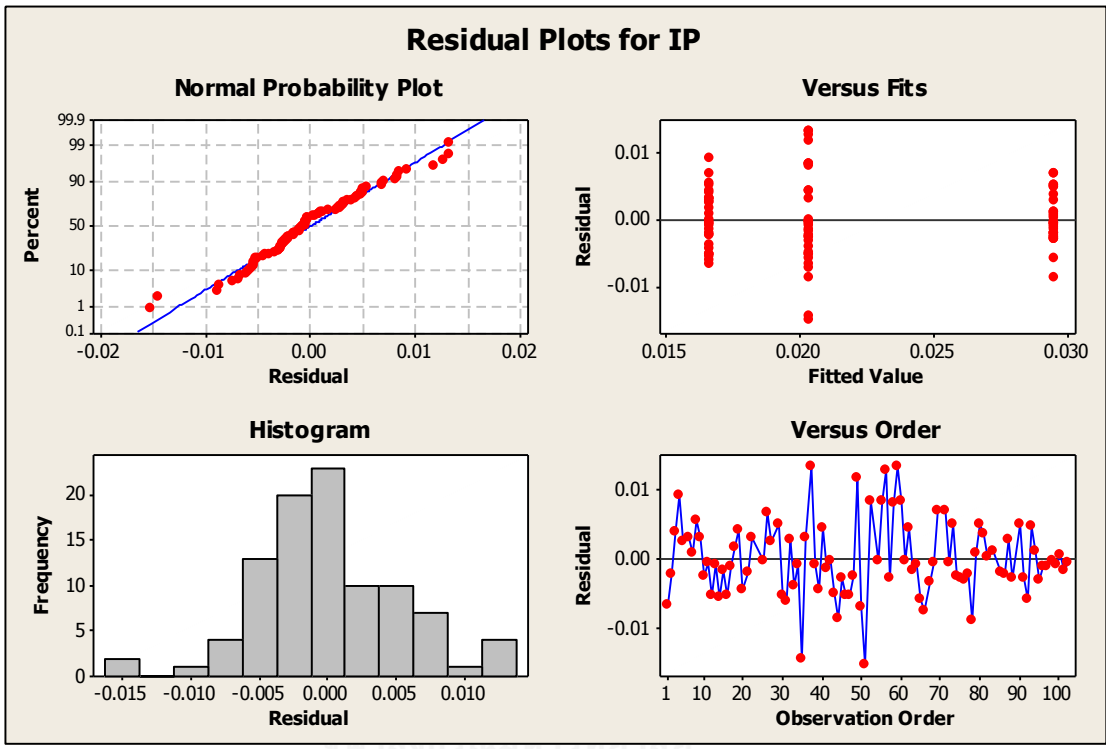
จากตารางที่ 4.30 แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 9-10 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0211 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0088

ตารางที่ 4.31 Linear regression, ค่า R^2 และค่าสมรรถนะของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี

ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b	ผู้ถูกทดสอบ	Linear Regression MT = (b x ID) + a	R^2	IP = 1/b
1	y = 27.44x + 1057.	0.898	0.0364	17	y = 36.69x + 1123.	0.953	0.0273
2	y = 21.50x + 1605.	0.895	0.0465	18	y = 32.81x + 1368.	0.728	0.0323
3	y = 27.55x + 1668.	0.758	0.0363	19	y = 37.60x + 1704.	0.801	0.0266
4	y = 34.55x + 1200.	0.906	0.0289	20	y = 55.46x + 644.8	0.985	0.0180
5	y = 28.96x + 1042.	0.887	0.0345	21	y = 29.10x + 1270.	0.913	0.0344
6	y = 37.07x + 1079.	0.884	0.0270	22	y = 37.29x + 1807.	0.768	0.0268
7	y = 38.47x + 1055.	0.986	0.0267	23	y = 42.46x + 1039.	0.934	0.0236
8	y = 37.71x + 1507.	0.964	0.0265	24	y = 29.18x + 1303.	0.834	0.0343
9	y = 36.53x + 1278.	0.932	0.0274	25	y = 32.73x + 1247.	0.855	0.0306
10	y = 48.40x + 1810.	0.896	0.0207	26	y = 37.75x + 1284	0.894	0.0265
11	y = 33.07x + 1248.	0.921	0.0302	27	y = 35.29x + 1209.	0.971	0.0283
12	y = 28.96x + 1042	0.887	0.0345	28	y = 35.14x + 1217	0.859	0.0285
13	y = 30.22x + 1329.	0.946	0.0331	29	y = 34.36x + 1075.	0.973	0.0291
14	y = 33.61x + 1255.	0.855	0.0298	30	y = 34.82x + 1336.	0.867	0.0287
15	y = 32.61x + 3278.	0.482	0.0307	31	y = 33.33x + 1120.	0.952	0.0300
16	y = 54.50x + 2595.	0.838	0.0183	32	y = 35.82x + 1924.	0.829	0.0279
				Mean			**0.0294**
				SD			**0.0054**

จากตารางที่ 4.31 แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของการใช้ปากกาดิจิตอลในงานลากของเด็กกลุ่มอายุ 11-12 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0294 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0054

ในตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองว่ามีข้อผิดพลาดหรือไม่ จากค่าสมรรถนะที่ได้จากการทดสอบเด็กอาสาสมัคร ซึ่งได้มีการคัดกรองข้อมูลที่มีความผิดปกติจากโปรแกรม Minitab ด้วยวิธี Box plot จากนั้นทดสอบเกี่ยวกับการแจกแจงปกติความเป็นอิสระ และความเสถียรภาพของความแปรปรวนโดยการพิจารณาจาก Residual Plots แสดงดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 การกระจายตัวของข้อมูลสมรรถนะของงานลาก (Drag) โดยใช้ปากกาดิจิตอล

จากรูปที่ 4.26 การทดสอบเกี่ยวกับการแจกแจงปกติความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนและความเป็นอิสระซึ่งจากกราฟ Normal Probability Plot พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน พบว่าข้อมูลของค่าสมรรถนะในงานลากโดยใช้ปากกาดิจิตอลไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้ม หรือเป็นรูปแบบกรวยปากเปิด จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน และการทดสอบสมมุติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง เห็นได้ว่าส่วนตกค้างของค่าสมรรถนะของการทำงานลากโดยใช้ปากกาดิจิตอลมีการกระจายตัวในรูปแบบหรือแนวโน้มที่ไม่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน ในการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมรรถนะของงานลาก (Drag) โดยใช้ปากกาดิจิตอลในเด็กอาสาสมัครแต่ละช่วงอายุ ได้วิเคราะห์ด้วยวิธี ANOVA ได้ผลดัง แสดงดังตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมรรถนะของงานลาก (Drag) โดยใช้ปากกาดิจิตอลในเด็กอาสาสมัครแต่ละช่วงอายุ

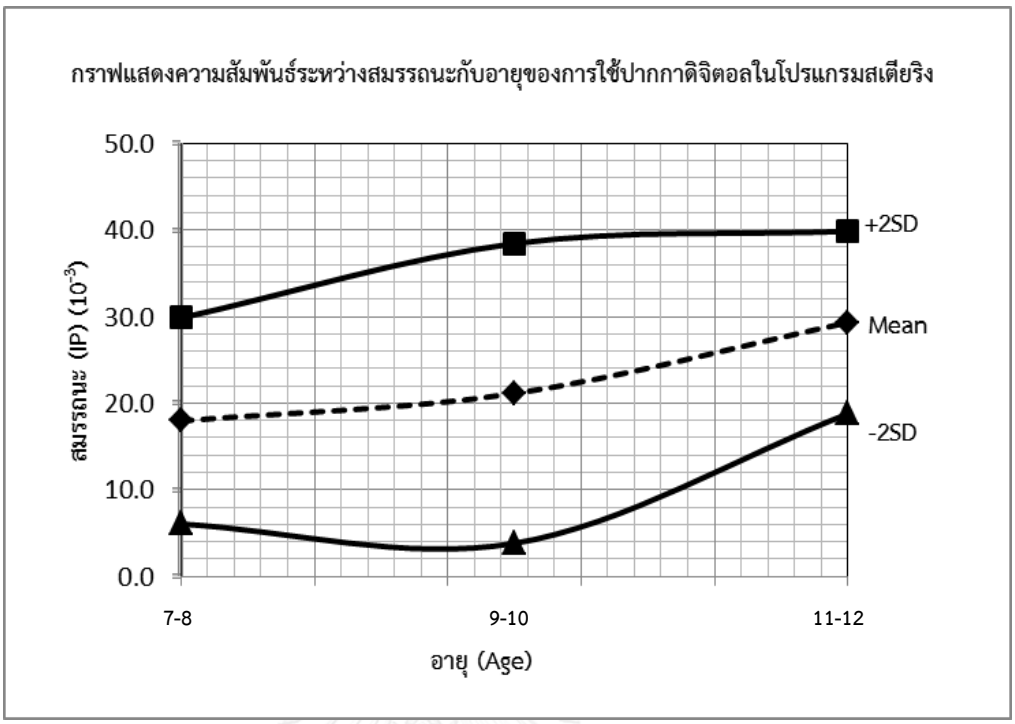
One-way ANOVA: IP versus Level

Source	DF	SS	MS	F	P
Level	2	0.0023339	0.0011669	24.85	0.000
Error	99	0.0046488	0.0000470		
Total	101	0.0069827			

S = 0.006853 R-Sq = 33.42% R-Sq(adj) = 32.08%

จากการวิเคราะห์ผลด้วยวิธี ANOVA พบว่าค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าค่าสมรรถนะเฉลี่ยของเด็กในการทำงานลากโดยใช้ปากกาดิจิตอลแต่ละช่วงอายุ มีอย่างน้อย 2 กลุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และค่าสมรรถนะที่ได้ยังสามารถนำมาสร้างแผนภูมิควบคุม(Control chart) แสดงค่าสมรรถนะของเด็กปกติในแต่ละช่วงอายุที่ได้การทดสอบงานลากโดยใช้ปากกาดิจิตอลของเด็กในแต่ละกลุ่มอายุมาหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าสองเท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (±2SD) ของสมรรถนะของเด็กในแต่ละช่วงอายุ แสดงค่าสมรรถนะของเด็กปกติในแต่ละช่วงอายุ แสดงดังรูปที่ 4.27

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

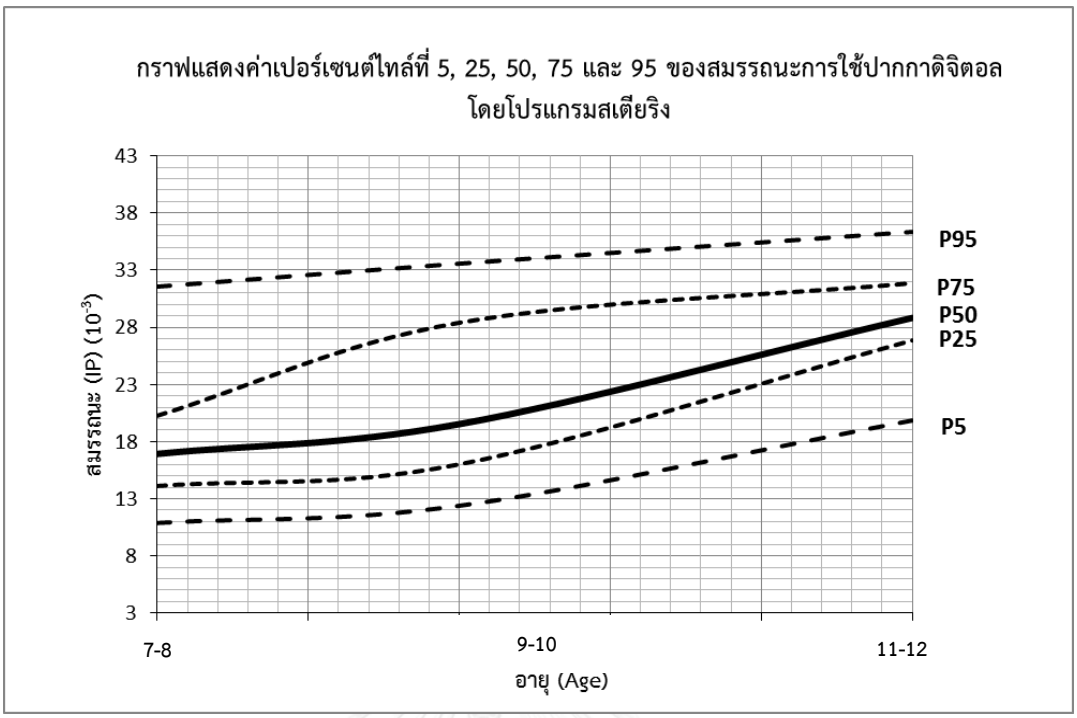


รูปที่ 4.27 แผนภูมิควบคุมแสดงค่าสมรรถนะกับอายุของเด็กอาสาสมัครสำหรับงานลากโดยใช้ปากกาดิจิตอล

จากรูปที่ 4.27 เห็นได้ว่าค่าสมรรถนะเฉลี่ย (Mean) ของงานลากโดยใช้ปากกาดิจิตอลของเด็กอาสาสมัครมีแนวโน้มสูงขึ้นจากอายุน้อยไปอายุมาก แต่มีระดับความชันของกราฟที่ค่อนข้างต่ำ โดยที่ค่าสองเท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (±2SD) ของเด็กที่มีช่วงอายุ 9-10 ปี มีค่าสูงกว่าเด็กช่วงอายุอื่น แสดงให้เห็นว่าข้อมูลสมรรถนะเด็กช่วง 9-10 มีความแปรปรวนที่สูงกว่าช่วงอายุอื่น อาจเนื่องจากความสามารถหรือทักษะในการทำงานลากโดยใช้ปากกาดิจิตอลของเด็กอาสาสมัครในช่วงอายุดังกล่าวมีความหลากหลายของตัวบุคคลสูงมากกว่าช่วงอายุอื่น

4.2.2.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะของเด็กอาสาสมัครสำหรับงานลากโดยใช้ปากกาดิจิตอล

ค่าสมรรถนะที่ได้จากการทำงานลาก (Drag) สามารถนำมาสร้างกราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะของเด็กอาสาสมัครเปรียบเทียบกับอายุ โดยนำค่าสมรรถนะจากการทำงานลาก (Drag) โดยใช้ปากกาดิจิตอลของเด็กในแต่ละช่วงอายุมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 จากนั้นได้สร้างกราฟแสดงค่าสมรรถนะที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ค่าต่างๆ เปรียบเทียบกับอายุของเด็ก ความแสดงดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะ ของเด็กอาสาสมัคร โดยใช้ปากกาดิจิตอลสำหรับการทดสอบงานลาก

จากรูปที่ 4.28 การพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของค่าสมรรถนะของใช้ปากกาดิจิตอลของเด็กนักเรียนทั้ง 3 กลุ่ม พบว่าความชันของกราฟสูงขึ้นที่ทุกช่วงอายุ โดยเฉพาะค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 มีความชันสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดจากนั้นค่อยๆคงที่ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอายุของเด็กที่เพิ่มขึ้น โดยมีแนวโน้มสูงขึ้นตามช่วงอายุของเด็กซึ่งมีความสอดคล้องกับทฤษฎีพัฒนาการของเด็กและมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงช่วงอาย 12 ปี ก็ยังคงมีลักษณะที่มีแนวโน้มสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าการทำงานลาก (Drag) ยังคงมีพัฒนาการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆสำหรับเด็กกลุ่มอาย 7-12 ปี และอาจมีค่าสูงขึ้นในระดับอายุที่สูงขึ้น ซึ่งมีความแตกต่างจากการทำงานแตะคือ เมื่อมีช่วงอายุสูงขึ้นในระดับหนึ่งสมรรถนะในการทำงานจะคงที่

4.2.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะการทำงานลาก (Drag)

ในการทดสอบสมรรถนะการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลสำหรับงานลาก (Drag) ได้วิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าสมรรถนะโดยแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัย คือ วิธีการนำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล) และเพศของเด็กอาสาสมัคร (ชาย และหญิง) สำหรับสมรรถนะเด็กอาสาสมัครในแต่ละช่วงอายุ โดยแสดงรายละเอียดผลการทดลองจากโปรแกรม Minitab ดังตารางที่ 4.33-4.35

ตารางที่ 4.33 ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะของการทำงานลากของเด็กอาสาสมัครช่วงอายุ 7-8 ปี

General Linear Model: IP Drag versus Input Device, Sex

Factor	Type	Levels	Values
Input Device	fixed	2	นิ้วมือ, ปากกาดิจิตอล
Sex	fixed	2	ชาย, หญิง

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

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Input Device	1	0.0000082	0.0000082	0.0000082	0.08	0.780
Sex	1	0.0001117	0.0001117	0.0001117	1.07	0.304
Input Device*Sex	1	0.0000214	0.0000214	0.0000214	0.21	0.652
Error	60	0.0062488	0.0062488	0.0001041		
Total	63	0.0063901				

จากตารางที่ 4.33 ผลการวิเคราะห์พบว่าวิธีการนำเข้าข้อมูล (นิ้วมือและปากกาดิจิตอล) และเพศ (ชาย หญิง) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักไม่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะการทำงานรูปแบบ Drag ของเด็กอาสาสมัครกลุ่มอายุ 7-8 ปี อย่างมีนัยสำคัญ (ค่า P-Value > 0.05)

ตารางที่ 4.34 ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะของการทำงานลากของเด็กอาสาสมัครช่วงอายุ 9-10 ปี

General Linear Model: IP Drag versus Input Device, Sex

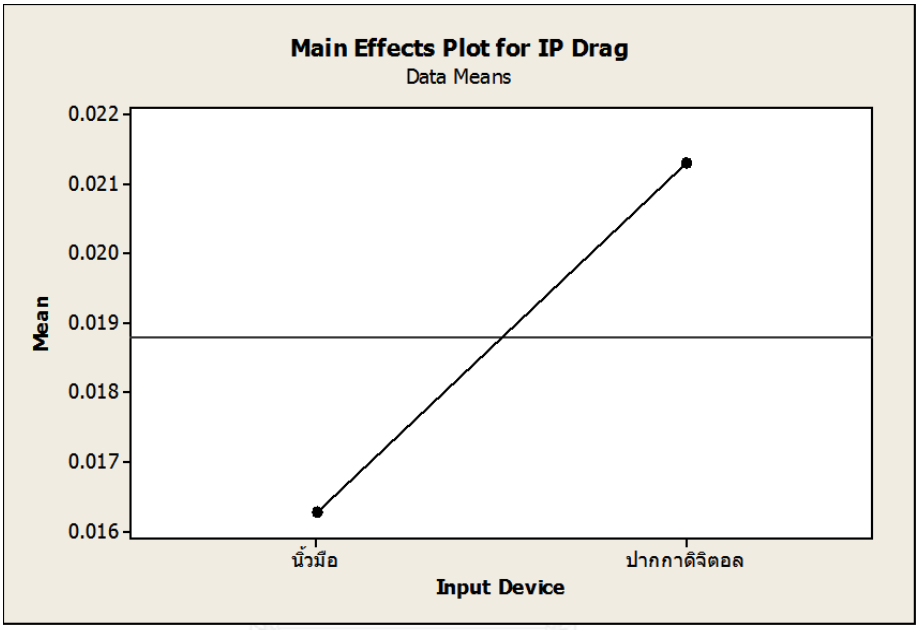
Factor	Type	Levels	Values
Input Device	fixed	2	นิ้วมือ, ปากกาดิจิตอล
Sex	fixed	2	ชาย, หญิง

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

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Input Device	1	0.0004054	0.0004054	0.0004054	6.20	0.016
Sex	1	0.0000472	0.0000472	0.0000472	0.72	0.399
Input Device*Sex	1	0.0000232	0.0000232	0.0000232	0.35	0.554
Error	60	0.0039258	0.0039258	0.0000654		
Total	63	0.0044015				

S = 0.00808888 R-Sq = 10.81% R-Sq(adj) = 6.35%

จากตารางที่ 4.34 ผลการวิเคราะห์พบว่าวิธีการนำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าสมรรถนะจากการทำงานรูปแบบ Drag อย่างมีนัยสำคัญ (ค่า P-Value < 0.05) จึงแสดง Main Effects Plot ของกลุ่มข้อมูลแบ่งตามวิธีการนำเข้าข้อมูล ดังรูปที่ 4.29 ซึ่งสามารถแปลผลได้ว่าวิธีการนำเข้าข้อมูลประเภทปากกาดิจิตอลมีผลค่าสมรรถนะมากที่สุดคือมีสมรรถนะสูงที่สุดสำหรับงานรูปแบบ Drag ของเด็กอาสาสมัครกลุ่มอายุ 9-10 ปี



รูปที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยสมรรถนะเปรียบเทียบระหว่างการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลรูปแบบงานแบบ Drag ของเด็กอาสาสมัครกลุ่มอายุ 9-10 ปี

ตารางที่ 4.35 ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะของการทำงานลากของเด็กอาสาสมัครช่วงอายุ 11-12 ปี

General Linear Model: IP Drag versus Input Device, Sex

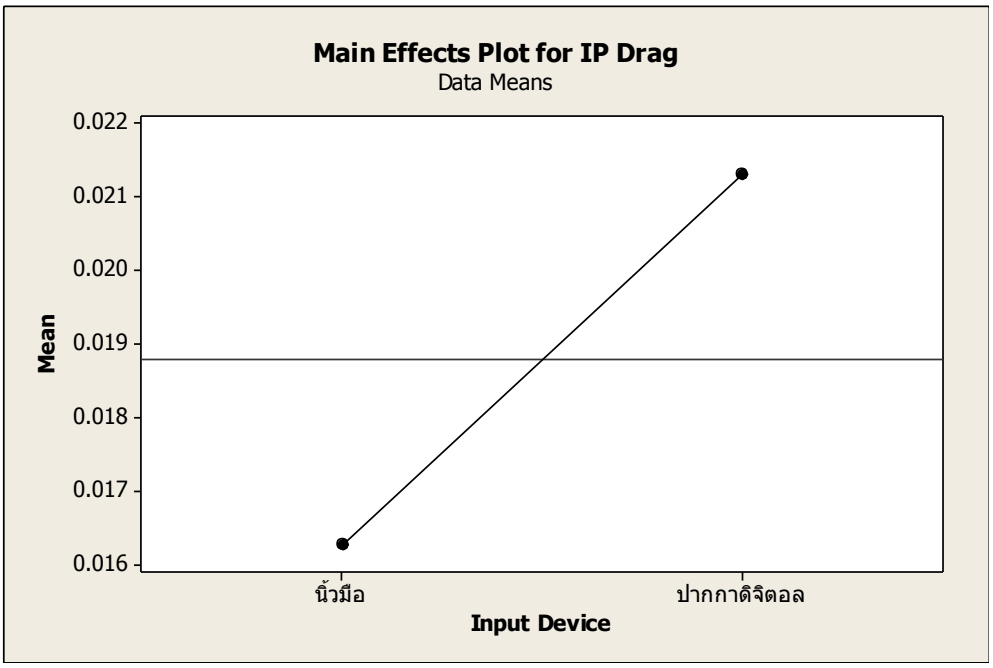
Factor	Type	Levels	Values
Input Device	fixed	2	นิ้วมือ, ปากกาดิจิตอล
Sex	fixed	2	ชาย, หญิง

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

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Input Device	1	0.0005530	0.0005530	0.0005530	6.78	0.013
Sex	1	0.0000039	0.0000039	0.0000039	0.05	0.828
Input Device*Sex	1	0.0000437	0.0000437	0.0000437	0.54	0.468
Error	44	0.0035906	0.0035906	0.0000816		
Total	47	0.0041912				

S = 0.00903354 R-Sq = 14.33% R-Sq(adj) = 8.49%

จากตารางที่ 4.35 ผลการวิเคราะห์พบว่าวิธีการนำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าสมรรถนะจากการทำงานรูปแบบ Drag อย่างมีนัยสำคัญ (ค่า P-Value < 0.05) จึงแสดง Main Effects Plot ของกลุ่มข้อมูลแบ่งตามวิธีการนำเข้าข้อมูล แสดงดังรูปที่ 4.30 ซึ่งสามารถแปลผลได้ว่าวิธีการนำเข้าข้อมูลประเภทปากกาดิจิตอลมีผลต่อค่าสมรรถนะการทำงานสูงที่สุด หรือมีสมรรถนะสูงที่สุดสำหรับงานรูปแบบ Drag ของเด็กอาสาสมัครกลุ่มอายุ 11-12 ปี



Chulalongkorn University

รูปที่ 4.30 ค่าเฉลี่ยสมรรถนะเปรียบเทียบระหว่างการใช้นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล รูปแบบงานแบบ Drag ของเด็กอาสาสมัครกลุ่มอายุ 11-12 ปี

ดังที่ได้วิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อค่าสมรรถนะการทำงานลาก (Drag) ของเด็กนักเรียนทั้ง 3 ช่วงอายุ พบว่าปัจจัยหลักทั้งสองปัจจัยคือ วิธีการนำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล) และเพศ (ชาย หญิง) ไม่มีอิทธิพลต่อค่าสมรรถนะการทำงานรูปแบบลากของเด็กอาสาสมัครกลุ่มอายุ 7-8 ปี อย่างมีนัยสำคัญ (ค่า P-Value > 0.05) แต่พบว่าวิธีการนำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าสมรรถนะการทำงานรูปแบบลากของเด็กอาสาสมัครกลุ่มอายุ 9-10 ปี และกลุ่มอายุ 11-12 ปี อย่างมีนัยสำคัญ (ค่า P-Value <0.05) โดยวิธีการนำเข้าข้อมูลประเภทปากกาดิจิตอลมีผลต่อค่าสมรรถนะการทำงานสูงที่สุด

ตารางที่ 4.36 สรุปความมีนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆ ต่อค่าสมรรถนะ (Index Performance)

ปัจจัยต้น	กลุ่มช่วงอายุ	ค่า P-value ของปัจจัยตาม(ค่าสมรรถนะ)	
		งานแตะ (Tap)	งานลาก (Drag)
Input method	7-8 ปี	NS	NS
	9-10 ปี	NS	S
	11-12 ปี	NS	S
Sex	7-8 ปี	NS	NS
	9-10 ปี	NS	NS
	11-12 ปี	NS	NS
Input method*Sex	7-8 ปี	NS	NS
	9-10 ปี	NS	NS
	11-12 ปี	NS	NS

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

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

จากการวิเคราะห์ผลของปัจจัยที่มีต่อค่าสมรรถนะของการทำงานแตะ และงานลากของเด็กนักเรียนอาสาสมัคร ได้ผลสรุปดังตารางที่ 4.36 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานคือ วิธีการนำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล) แต่มีเพียงช่วงอายุ 9-10 และ 11-12 ปี เท่านั้น ที่ปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อสมรรถนะการทำงาน ซึ่งมีผลไปในทางเดียวกันคือวิธีการนำเข้าข้อมูลประเภทปากกาดิจิตอล มีผลต่อค่าสมรรถนะการทำงานสูงที่สุด และเฉพาะในการทำงานลากเท่านั้น โดยการทำงานแตะไม่พบว่ามีปัจจัยใดที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเด็กนักเรียนอาสาสมัครทุกช่วงอายุ อาจเป็นผลมาจากเด็กในช่วงอายุ 9-12 ปี ได้รับการฝึกทักษะการทำงานด้วยปากกามากกว่าเด็กในช่วงอายุ 7- 8 ปี ซึ่งตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยมุ่งเน้นการประเมินสมรรถนะการใช้นิ้วมือ และปากกาดิจิตอลด้วยงานแตะและงานลากบนแท็บเล็ต และจากผลการทดลองได้สร้างมาตรฐานสำหรับการประเมินสมรรถนะดังกล่าว โดยเป็นมาตรฐานการประเมินสมรรถนะของกลุ่มเด็กอายุ 7-12 ปี นอกจากนี้จากมาตรฐานที่ได้จากผลการทดลอง ยังแสดงให้เห็นว่าความสามารถหรือสมรรถนะการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็ก ได้แก่ นิ้วมือ และมือมีค่าสูงขึ้นตามช่วงอายุ โดยมีความสอดคล้องกับทฤษฎีพัฒนาการของเด็ก

4.3 การนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface)

แนวทางการประยุกต์ใช้ค่าสมรรถนะ (IP) ของเด็ก สามารถนำมาใช้ในงานออกแบบที่เกี่ยวกับ GUI เช่น การออกแบบขนาด Icon บนหน้าจอแท็บเล็ต โดยอาศัยสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความยาก (ID) และเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) จากสมการ MT= (b x ID) + a เพื่อกำหนดระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดศูนย์กลางเป้าหมาย (A) และขนาดความกว้างของเป้าหมาย (W) บนหน้าจอแท็บเล็ต โดยได้ยกตัวอย่างเลือกค่าสมรรถนะของเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 มาใช้ เนื่องจากเป็นค่าสมรรถนะต่ำสุดของการทำงาน นั่นคือการออกแบบขนาด Icon นี้สามารถที่จะนำใช้งานกับเด็กอื่นๆ ในช่วงอายุดังกล่าวที่มีค่าสมรรถนะสูงกว่าได้

ยกตัวอย่างเช่น งานแตะ (Tap) โดยใช้นิ้วมือของเด็กช่วงอายุ 7-8 ปี ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 มีค่าสมรรถนะ (1/b) เท่ากับ 0.0072 (รูปที่ 4.7) จากสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นของกลุ่มอายุดังกล่าว คือ y = (1/IP)x + 202.36 (รูปที่ 4.2) เมื่อกำหนดเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เท่ากับ 785.08 ms (ตารางที่ 4.2) ซึ่งเป็นค่าเวลาในเคลื่อนที่สูงสุดในเด็กกลุ่มอายุ 7-8 ปี ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบโปรแกรม และการใช้งาน

จะได้ $785.08 = (1/0.0072)x + 202.30$

$x = (785.08 - 202.30)/(1/0.0072)$

$= 4.20$ โดยที่ ค่า x คือ ค่าดัชนีความยาก (ID)

จากสมการกฎของฟิตส์ $ID = \log_2(2A/W)$ (A, W แสดงดังรูปที่ 4.31 ซ้าย)

กำหนดค่า A = 180 mm. (อ้างอิงความยาวขนาดหน้าจอแท็บเล็ตคือ 130 mm. x 184 mm.)

จะได้ $4.20 = \log_2(2(180)/W)$

จาก $a^{log_a(M)} = M$; $2^{(4.20)} = 2^{log_2(\frac{2(180)}{W})}$

$18.38 = 360/W$

$W = 360/18.38 = 19.59$ mm.

ดังนั้น เมื่อกำหนดค่า A = 180 mm. จึงควรกำหนดค่า W = 19.59 mm. เป็นขั้นต่ำ

ในทำนองเดียวกันการประยุกต์ใช้ค่าสมรรถนะของเด็กในแต่ละช่วงอายุสำหรับงานลาก (Drag) สามารถนำมาใช้ในงานออกแบบที่เกี่ยวกับส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ดังนี้

ยกตัวอย่าง งานลาก (Drag) โดยใช้นิ้วมือในเด็กช่วงอายุ 7-8 ปี เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 มีค่าสมรรถนะเท่ากับ 0.0060 (รูปที่ 4.21) จากสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น คือ y = (1/IP)x + 2201.90 (รูปที่ 4.16) เมื่อกำหนดเวลาในการเคลื่อนที่ (MT) เท่ากับ 7939.30 ms (ตารางที่ 4.19) ซึ่งเป็นค่าเวลาในเคลื่อนที่สูงสุดของกลุ่ม และเมื่อแทนค่าในสมการ MT= bx + a

จะได้ $7939.30 = (1/0.0060)x + 2201.9$

$x = 34.42$

จากสมการของกฎสเตียริง $ID = A/W$ (A, W, R แสดงดังรูปที่ 4.31 ขวา)

โดยที่ $A = 2\pi R$ ได้กำหนด R = 47 mm. (อ้างอิงขนาดหน้าจอแท็บเล็ต)

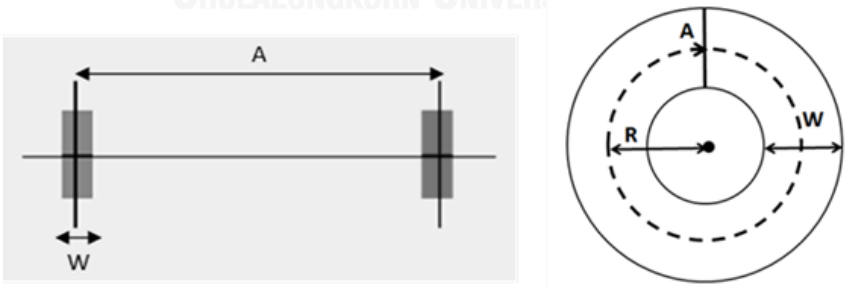
นั่นคือ A = 295.16 mm. (ระยะทางการเคลื่อนที่เป็นวงกลม)

จะได้ $34.42 = 295.16/W$

$W = 295.16/34.42 = 8.58$ mm.

ดังนั้น เมื่อกำหนดค่า A = 295.16 mm. จึงควรกำหนดค่า W = 8.58 mm. เป็นขั้นต่ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.31 รูปแบบการเคลื่อนที่ของงานแตะ (ซ้าย) งานลาก (ขวา)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การประเมินสมรรถนะการนิ้วมือและปากกาดิจิตอลบนแท็บเล็ตของเด็ก

ความสามารถหรือสมรรถนะของการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อพัฒนาการของเด็ก โดยเฉพาะการใช้กล้ามเนื้อมือหรือนิ้วมือที่เป็นอวัยวะที่สำคัญต่อพัฒนาการของเด็กเนื่องจากเป็นอวัยวะที่มีการใช้ในการทำกิจกรรมในชีวิตประจำวันบ่อยที่สุด หรือแม้แต่การนำไปประยุกต์ใช้เป็นมาตรฐานการออกแบบทางอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับ Graphical User Interface โดยคำนึงถึงสมรรถนะการตอบสนองของเด็ก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการประเมินสมรรถนะการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลบนแท็บเล็ตของเด็กนักเรียนประถมวัยที่มีช่วงอายุ 7-12 ปี จำนวน 100 คน เนื่องจากอุปกรณ์แท็บเล็ตที่ใช้เป็นอุปกรณ์ในการทดสอบสามารถรับคำสั่งโดยการสัมผัสบนหน้าจอ (Touch screen) ดังนั้นจึงได้กำหนดการนำเข้าข้อมูลด้วยนิ้วมือ และปากกาดิจิตอลเพื่อเป็นการประเมินสมรรถนะการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กของเด็กที่ต้องใช้อวัยวะดังกล่าว ซึ่งแบ่งงานเป็น 2 ลักษณะ คืองานแตะ (Tap) ตามแนวทางของกฎของฟิตส์และงานลาก (Drag) ตามแนวทางของกฎของสเตียริง โดยพิจารณาจากค่าสมรรถนะในการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลของเด็กในแต่ละช่วงอายุ โดยแบ่งตามลักษณะของงานทั้ง 2 แบบดังนี้

1. การประเมินสมรรถนะของการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลด้วยงานแตะ (Tap) บนแท็บเล็ต

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่กับดัชนีความยากของงาน พบว่ามีความสัมพันธ์ในทางบวก แสดงให้เห็นว่าผลการวิจัยเป็นไปตามแนวคิดของกฎของฟิตส์ โดยที่ในแต่ละกลุ่มอายุมีความแตกต่างของสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างชัดเจน จากสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่ได้นั้นสามารถนำมาหาค่าสมรรถนะ (Index Performance, IP) ได้จากส่วนกลับของความชัน (1/b) ของสมการ MT = (b x ID) + a โดยที่ผลการทดสอบความสามารถหรือสมรรถนะการทำงานของเด็กนักเรียนในช่วงอายุต่างๆ ได้แสดงค่าสมรรถนะเป็นแผนภูมิควบคุมและค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะ และค่าสมรรถนะของเด็กอาสาสมัครแต่ละช่วงอายุ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานออกแบบที่เกี่ยวกับส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) ซึ่งเป็นวิธีการใช้งานคอมพิวเตอร์ผ่านทางสัญลักษณ์หรือภาพ ใช้ในออกแบบรูปแบบ สัญรูป (Icon) ขนาดสัญลักษณ์ รูปภาพ บนหน้าจอแบบสัมผัส (Touch screen) หรือแม้แต่ในหนังสือแบบเรียน

และแบบทดสอบที่เหมาะสมสำหรับเด็กในแต่ละช่วงอายุได้ ซึ่งแนวทางการประยุกต์ใช้ได้อาศัยความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าดัชนีความยาก และเวลาในการเคลื่อนที่ จาก MT =(bxID) + a พบว่าที่สมการ y = (1/IP)x + 202.36 ของการทำงานแตะ หากต้องการกำหนดเวลาในการเคลื่อนที่เท่ากับ 785.08 ms จะได้ค่าดัชนีความยากได้เท่ากับ 4.20 และจากค่าดัชนีความยากนี้ หากกำหนดระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดศูนย์กลางเป้าหมาย (A) เท่ากับ 180 mm. จะสามารถกำหนดขนาดความกว้างขั้นต่ำของเป้าหมาย (W) บนหน้าจอแท็บเล็ตได้เท่ากับ 19.59 mm. และจากการวิเคราะห์ผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าสมรรถนะงานแตะ (Tap) ได้แก่ วิธีการนำเข้าข้อมูล (นิ้วมือและปากกาดิจิตอล) และเพศ พบว่าไม่มีปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อค่าสมรรถนะของการทำงานแตะ ไม่ว่าเป็นกลุ่มอายุใด (P- value > 0.05) ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าสมรรถนะในการทำงานแตะ ซึ่งเป็นงานที่ค่อนข้างง่าย ไม่จำเป็นต้องใช้ทักษะหรือความชำนาญในการทำงานมาก ทำให้ปัจจัยเรื่องเพศและวิธีการนำเข้าข้อมูลไม่มีผลต่อการทำงาน นั้นคือหากเด็กทั้งชายและหญิง มีการทำงานในรูปแบบงานแตะ (Tap) บนแท็บเล็ต ไม่ว่าจะเป็นการทำแบบฝึกหัด หรือเล่นเกมส์ จะมีความสามารถในการทำงานของการใช้นิ้วมือ และปากกาดิจิตอลไม่ต่างกัน

2. การประเมินสมรรถนะของการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลด้วยงานลาก (Drag) บนแท็บเล็ต

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างเวลาในการเคลื่อนที่กับดัชนีความยากของงานลาก พบว่ามีความสัมพันธ์ในทางบวก แสดงให้เห็นว่าผลการวิจัยเป็นไปตามแนวคิดของกฎของสเตียริงเช่นเดียวกับการประเมินสมรรถนะในงานแตะ โดยได้นำผลการทดสอบความสามารถหรือสมรรถนะการทำงานลากของเด็กนักเรียนในช่วงอายุต่างๆ มาแสดงเป็นแผนภูมิควบคุมและค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะ และจากสมรรถนะการทำงานลากสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในงานออกแบบที่เกี่ยวกับส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ โดยประยุกต์ใช้จากความสัมพันธ์เชิงเส้น พบว่าที่สมการ y = (1/IP)x + 2201.90 ของการทำงานลากโดยใช้นิ้วมือ เมื่อสมรรถนะมีค่าเท่ากับ 0.0060 และหากต้องการกำหนดเวลาในการเคลื่อนที่ 7939.30 ms จะได้ค่าดัชนีความยากได้เท่ากับ 34.42 และจากค่าดัชนีความยากนี้ หากกำหนดระยะทางการเคลื่อนที่เป็นวงกลม (A) เท่ากับ 295.16 mm. โดยรัศมีของงาน (R) เท่ากับ 47 mm. สามารถกำหนดขนาดขั้นต่ำของความกว้างของเป้าหมาย (W) ได้เท่ากับ 8.58 mm. ในการวิเคราะห์ผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าสมรรถนะสำหรับงานลาก (Drag) พบว่าปัจจัยหลัก คือ วิธีการนำเข้าข้อมูล (นิ้วมือ และปากกาดิจิตอล) มีอิทธิพลต่อค่าสมรรถนะของการทำงานลาก (Drag) ในกลุ่มเด็กอายุ 9-10 และ 11-12 ปี (P- value < 0.05) โดยสามารถทำงานโดยใช้ปากกาดิจิตอลได้ดีกว่าการใช้นิ้วมือ และเมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานแตะซึ่งเป็นงานที่ง่ายกว่า พบว่าวิธีการนำเข้าข้อมูลไม่มีผลต่อสมรรถนะ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากในการทดสอบในการทำงานแตะไม่ต้องใช้ทักษะหรือความสามารถในการ

ควบคุมการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กเท่ากับการทำงานลาก จึงอาจส่งผลให้ปัจจัยวิธีการนำเข้าข้อมูลไม่มีอิทธิพลต่อค่าสมรรถนะ ดังนั้นในการทำงานลาก (Drag) ของเด็กอายุ 9-12 ปี บนแท็บเล็ต เช่น การวาดภาพ เขียนหนังสือ หรือเล่นเกมส์ ด้วยปากกาดิจิตอลมีประสิทธิภาพกว่าการทำงานด้วยนิ้วมือ อาจเนื่องมาจากนิ้วมือ มีความฝืด และติดกับหน้าจอแท็บเล็ตเมื่อต้องทำงานในรูปแบบของงานลากมากกว่าการใช้ปากกาดิจิตอล

นอกจากนี้ยังสามารถนำไปเปรียบเทียบกับงานออกแบบหน้าจอแบบสัมผัส (Touch screen) ใหม่ในงานด้านคอมพิวเตอร์ เพื่อดูความเหมาะสมตามความสามารถในการใช้งานของเด็กในแต่ละอายุและผู้ใช้งานอื่นๆ จากขนาดของ Icon บนหน้าจอ ใช้ในเป็นข้อมูลเพื่อการออกแบบเวปไซต์บนหน้าจอให้สามารถใช้ประโยชน์ได้สูงสุดในแต่ละกลุ่มผู้ใช้งาน และยังเป็นแนวทางในการส่งเสริมเทคนิคการออกแบบสื่อทางวิชาการแบบใหม่ เช่น การออกแบบเกมส์ ออกแบบขนาดตัวอักษรหรือแผนภูมิรูปแบบต่างๆ ในการสร้างสื่อการเรียนการสอนสำหรับเด็กในแต่ละวัย เพื่อเสริมสร้างทักษะและพัฒนาการของเด็กในด้านกล้ามเนื้อมัดเล็ก เช่น มือ และนิ้วมือ

แต่อย่างไรก็ตามผลของปัจจัยข้างต้นความแตกต่างของค่าสมรรถนะของเด็กนักเรียน อาจเกิดจากกิจกรรมในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าเป็นการเล่น การเรียน การออกกำลังกาย ล้วนแล้วแต่เป็นกิจกรรมที่ต้องใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กเช่นมือและนิ้วมือทั้งนั้น ด้วยเหตุนี้การที่เด็กมีการใช้อวัยวะดังกล่าวเป็นประจำ ซึ่งเด็กแต่ละคนมีการทำกิจกรรมไม่เหมือนกันอาจทำให้ทักษะและสมรรถนะของการใช้นิ้วมือ มือแตกต่างกันไปตามความชำนาญของแต่ละคน ทั้งนี้ค่าสมรรถนะของเด็กในแต่ละรูปแบบของงานซึ่งเป็นการประเมินความสามารถหรือสมรรถนะการใช้นิ้วมือ และปากกาดิจิตอลบนแท็บเล็ตของเด็กในเชิงปริมาณ (Quantitative) สามารถบอกระดับหรือค่าความสามารถของเด็กในเชิงปริมาณได้ โดยแตกต่างจากการทดสอบในเชิงจิตวิสัย (Subjective) ที่ไม่สามารถประเมินผลในเชิงปริมาณได้ นอกจากนี้ผลการทดสอบยังถูกนำไปใช้กำหนดค่ามาตรฐานการประเมินสมรรถนะการใช้นิ้วมือ และการใช้ปากกาดิจิตอลบนแท็บเล็ต และยังนำไปใช้เปรียบเทียบกับสมรรถนะของเด็กที่มีพัฒนาการช้าหรือมีความผิดปกติทางร่างกายอีกด้วย

5.2 ปัญหาและข้อจำกัดที่พบในงานวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยมีปัญหาและอุปสรรคที่สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ระยะเวลาในการทดลองต่อเด็กอาสาสมัคร 1 คนค่อนข้างใช้เวลานานทำให้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลยาวนานขึ้นด้วย

2. เด็กอาสาสมัครบางคนไม่สามารถเข้าใจในกระบวนการทดลองได้ง่าย จึงต้องใช้เวลาในการชี้แจงเพื่อให้สามารถทดลองได้อย่างถูกต้อง
3. เนื่องจากอาสาสมัครเป็นเด็กนักเรียนอายุ 7-12 ปี ทำให้เวลาทดลองเด็กอาจมีความสนใจหรือความตั้งใจขณะทดลองค่อนข้างน้อย
4. ข้อพึงระวังขณะทดลอง ไม่ควรทำให้อาสาสมัครเกิดความเครียดซึ่งอาจส่งผลต่อผลการทดลองได้

5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

จากผลสรุปงานวิจัยข้างต้นได้นำมาสู่ข้อเสนอแนะสำหรับผู้สนใจที่ต้องการศึกษาในอนาคตนั้น นอกจากการเปรียบเทียบสมรรถนะกับเด็กในช่วงอายุต่างๆ แล้ว มาตรฐานประเมินสมรรถนะการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลบนแท็บเล็ตดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์เพื่อเปรียบเทียบและวินิจฉัยโรคในเด็กพัฒนาการช้าใช้ในประเมินผลการฝึกหรือทำกายภาพบำบัดของผู้ป่วยด้านกล้ามเนื้อมือ และนิ้วมือ และใช้เป็นฐานข้อมูลอ้างอิงในการวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้เพื่อพัฒนาวิธีการประเมินสมรรถนะกล้ามเนื้อมัดเล็กของเด็ก และการเก็บข้อมูลเพื่อสร้างมาตรฐานการประเมินสมรรถนะการทำงานการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กของเด็กควรหาค่าสภาวะคงที่เทียบกับเวลา (Steady state) สำหรับการทดสอบการทำงานของเด็กในแต่ละกลุ่มประชากร นอกจากนี้อาจจะประเมินพฤติกรรมการใช้ชีวิตประจำวัน เพื่อเปรียบเทียบความถี่หรือลักษณะการใช้กล้ามเนื้อดังกล่าวในชีวิตประจำวันของเด็ก เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ถึงสาเหตุความแตกต่างกันของสมรรถนะของเด็ก และด้วยสาเหตุที่ผู้เข้าร่วมการทดลองเป็นเด็ก ซึ่งมีความอดทนในการทดสอบค่อนข้างต่ำหากต้องใช้เวลาในการทดสอบนาน อาจลดจำนวนระดับของดัชนีความยาก และปริมาณการทำซ้ำลงเพื่อลดเวลาในการทดสอบลง และเพื่อให้การทดลองมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นจึงควรขยายช่วงอายุของเด็ก และเพิ่มจำนวนกลุ่มจำนวนประชากรให้มากขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

[1] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้. 2556 แหล่งที่มา: http://th.wikipedia.org/wiki/ (19 ธันวาคม 2557)

[3] ฝ่ายกิจกรรมชุมชน สมาคมกุมารแพทย์แห่งประเทศไทย, ดวงใจแม่ : เลี้ยงลูกรัก: สมาคมกุมารแพทย์แห่งประเทศไทย, 2530.

[4] นภเนตร ธรรมบวร, การประเมินผลพัฒนาการเด็กปฐมวัย. กรุงเทพ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

[5] แฟรงกลิน วัตตส์, การเคลื่อนไหว: ไทยวัฒนาพานิช, 2533.

[6] คณะอนุกรรมการเฉพาะกิจจัดทำคู่มือพัฒนาเด็ก, เลี้ยงลูกถูกวิธี วัยเรียนวัยประถมศึกษา: คู่มือการพัฒนาเด็กตามความต้องการพื้นฐานของเด็ก ฉบับประชาชน เล่ม 2. กรุงเทพ: บริษัท แปลน พับลิชชิ่ง จำกัด, 2535.

[7] พยอม อิงคตานุวัฒน์, จิตวิทยาพัฒนาการเด็ก. กรุงเทพ: คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล, 2524.

[8] เกศยุพี วัฒนะธนากร, ฉลอง วงศ์สุรินทร์, วรรณนภา เปรมปรีดา, เอกวิทย์ ปฏิสัมภิทากุล, และ สายจิรภัทร เปลื้องนุช, "รายงานการวิจัยเรื่องผลของเกมส์ที่ใช้มือในการแข่งขันต่อความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กของผู้บกพร่องด้านพัฒนาการและสติปัญญาอย่างรุนแรง อายุ 6-12 ปี," สถาบันราชานุกูลกรมสุขภาพจิต กระทรวงสาธารณสุข, 18-20 2552.

[9] คณะกรรมการการผลิตและบริหารชุดวิชาทักษะและประสบการณ์พื้นฐาน, แนวการศึกษาชุดวิชาทักษะและประสบการณ์พื้นฐานสำหรับเด็กประถมศึกษา: สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2537.

[10] เบญจวรรณ วงศ์ศักดิ์, "การศึกษาค้นคว้าอิสระผลการจัดกิจกรรมคำคล้องจองประกอบการเล่นนิ้วมือที่มีต่อความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อเล็กของเด็กปฐมวัยโรงเรียนวัดทางหลวงโพธิ์ทองจังหวัดนนทบุรี," สำนักบรรณสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2547.

[11] สถาบันราชานุกูล กรมสุขภาพจิต กระทรวงสาธารณสุข, คู่มือส่งเสริมพัฒนาการเด็กอายุ 4-5 ปี, 2554.

[12] คเณศ, เล่นกับลูก. บริษัท เดอะ นิวกรุ๊ป จำกัด, 2537.

[13] กองบรรณาธิการนิตยาสาร รักลูก เติบใหญ่วัยเยาว์ เล่ม *2* ตอน สู่ขวบปีที่สอง(1-2 ปี). บริษัท แปลน พับลิชชิง จำกัด, 2530.

[14] ยวมล ไกรล้อมบุญ, ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความพร้อมด้านการเขียนในเด็กชั้นประถมศึกษาปีที่ *1*: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2552.

[15] สุมน อมรวิวัฒน์ และ อ. สุคนธมาน, ประมวลสาระชุดวิชาทักษะและประสบการณ์พื้นฐานสำหรับเด็กประถมศึกษา: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2536.

[16] นิติธร ปิลวาสน์. เล่นเครื่องเล่นสัมผัส *(*Manipulation Activities). 2556.แหล่งที่มา: http://taamkru.com/th/ (24 ตุลาคม 2557)

[24] นภัทร ยงบุญธนภัทร, "การเปรียบเทียบสมรรถนะของการถือและการใช้งานแท็บเล็ต," วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556.

[25] กิตตินัท เสาแดน. ระบบปฏิบัติการใน tablet. 2556. แหล่งที่มา: http://protablet.blogspot.com/2013/04/tablet.html (20 กันยายน 2557)

[26] พิศาลบุตร, สถิตวิศวกรรม. กรุงเทพ, 2553.

[28] นฤมล เนียมหอม. การประเมินพัฒนาการและการเรียนรู้ของเด็กปฐมวัย. 2556. แหล่งที่มา: http://www.nareumon.com/index (24 ตุลาคม 2557)

ภาษาอังกฤษ

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

[17] I. Scott Mackenzie, "Fitts' Law as a Research and Design Tool in Human-Computer " *Interaction Human-Computer Interaction,* vol. 7, pp. 97-104, 1992.

[18] Jacob Wobbrock, BradA.Myers, and HtetHtet Aung, "The performance of hand postures in front and back-of-device interaction for mobile computing," *International journal of Human-Computer Studies,* vol. 66, pp. 857–875, 2008.

[19] B. C. Smits-Engelsman, D. Sugden, and J. Duysens, "Developmental trends in speed accuracy trade-off in 6-10-year-old children performing rapid reciprocal and discrete aiming movements," *Hum Mov Sci,* vol. 25, pp. 37-49, Feb 2006.

[20] Shumin Zhaia, Jing Kongb, and Xiangshi Ren, "Speed–accuracytradeoff in Fitts' law tasks—onthe equivalencyof actual and nominalpointing precision," *International journal of Human-Computer Studies,* vol. 61, pp. 823–856, 2004.

[21] Shumin Z and Rogier W, "Human Movement Performance in Relation to Path Constraint The Law of Steering in Locomotion," in *Proceedings of the IEEE Virtual Reality*, 2003.

[22] Juan Pablo Hourcade and Theresa R. Berkel, "Simple pen interaction performance of young and older adults using handheld computers," *Interacting with Computers* vol. 20, pp. 166–183, 2008.

[23] A. Cockburn, D.Ahlstrom, and C.Gutwin, "Understanding performance in touch selections: Tap, drag and radial pointing drag with finger, stylus and mouse," *International journal of Human-Computer Studies* vol. 70, pp. 218–233, 2012.

[27] A. Johnny and Z. Shumin, "Scale effects in steering law tasks," presented at the Paper presented at the Special Interest Group on Computer-Human Interaction Conference, United States of America, 2001.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

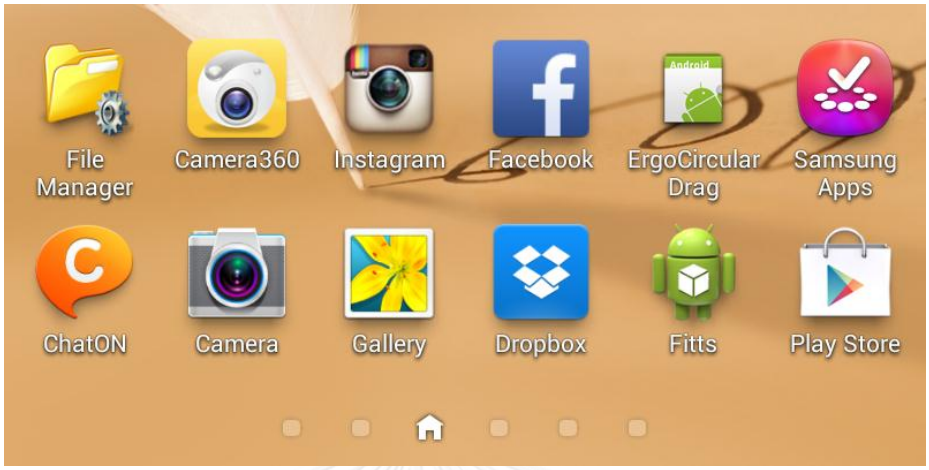
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
วิธีการใช้โปรแกรมในการทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

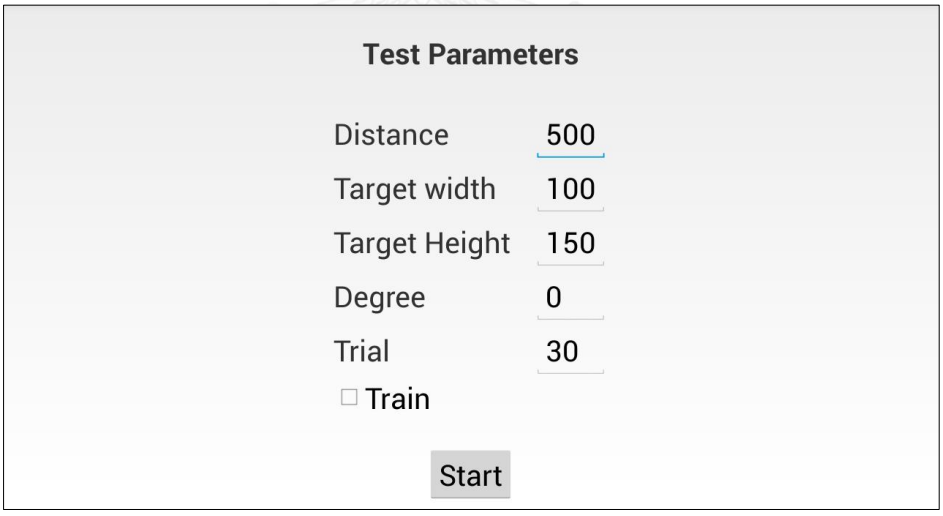
การใช้งานโปรแกรมสำหรับงานแบบแตะ (Tap)

1. เปิดแอปพลิเคชั่น บนแท็บเล็ต ชื่อ Fitts ดังรูปที่ ก.1



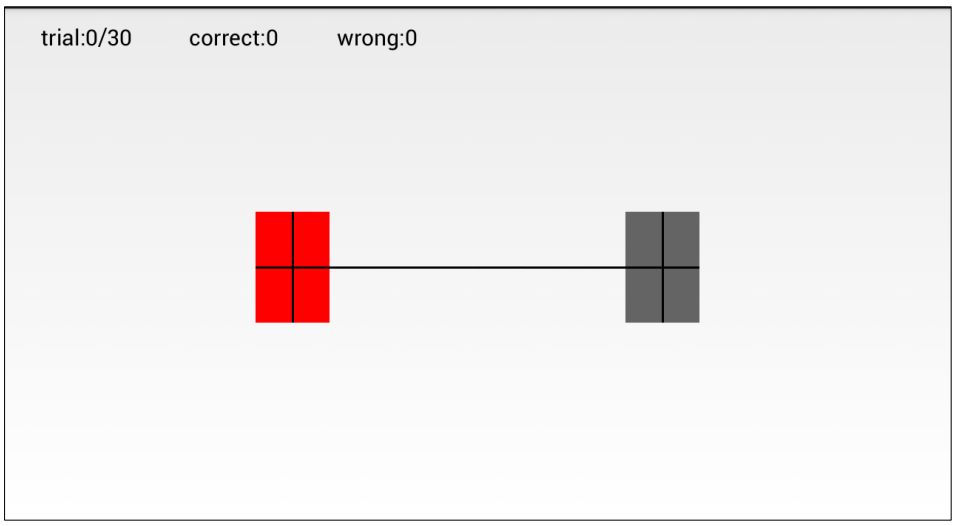
รูปที่ ก.1

2. กำหนดระยะห่างระหว่างเป้าหมายในช่อง distance กำหนดความกว้างของเป้าหมายในช่อง target width และกำหนดจำนวนชี้ตำแหน่งแบบแตะสัมผัสในช่อง Trial ดังรูป ก.2



รูปที่ ก.2

3. เมื่อกำหนดระยะต่างๆเสร็จเรียบร้อย หน้าจอแสดงดังรูปที่ ก.2 โดยที่รูปสี่เหลี่ยมสีแดงขวามือคือเป้าหมายที่ต้องชี้ตำแหน่งให้ตรงดังรูป ก.3



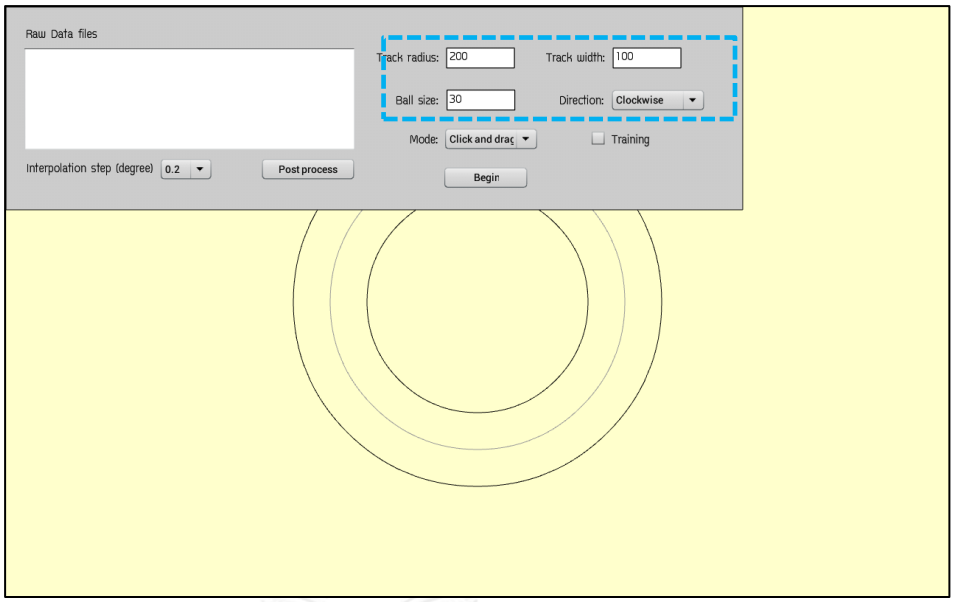
รูปที่ ก.3

4. เมื่อชี้ตำแหน่งเป้าหมายสีแดงด้านขวามือแล้วเป้าหมายจะถูกเปลี่ยนเป็นด้านซ้ายมือดังภาพที่ ก.3 ดำเนินการเคลื่อนที่วิธีการนำเข้าข้อมูล สลับไปมาซ้ายขวาเป็นเส้นตรงโดยไม่ออกนอกเป้าหมายตามจำนวนครั้งที่กำหนดไว้ให้เร็วที่สุด
5. เมื่อครบจำนวนที่กำหนดสั่งการที่ปุ่ม Homeเพื่อเสร็จสิ้นการทดลองสำหรับหนึ่งเงื่อนไข สั่งการปุ่ม save เพื่อบันทึกข้อมูลเก็บเป็นไฟลล์ CSV ซึ่งเก็บไว้ใน micro SDcard จากนั้นนำมาวิเคราะห์ต่อด้วยโปรแกรม Excel

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

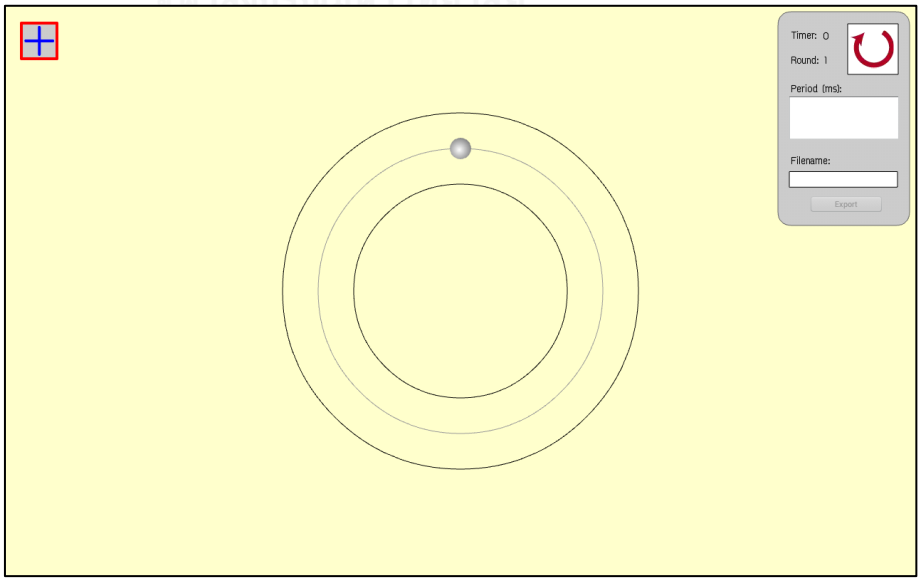
การใช้งานโปรแกรมสำหรับการชี้ตำแหน่งแบบลาก (Drag)

1. เปิดแอปพลิเคชั่น บนแท็บเล็ต ชื่อ ErgoCircular Drag ดังรูปที่ ก.1 กำหนดความกว้างรัศมีวงกลมที่แสดงระยะการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นรอบวงกลมในช่อง Track radius และกำหนดความกว้างเป้าหมายที่สามารถเคลื่อนที่ได้ในช่อง Track width ดังรูปที่ ก.4

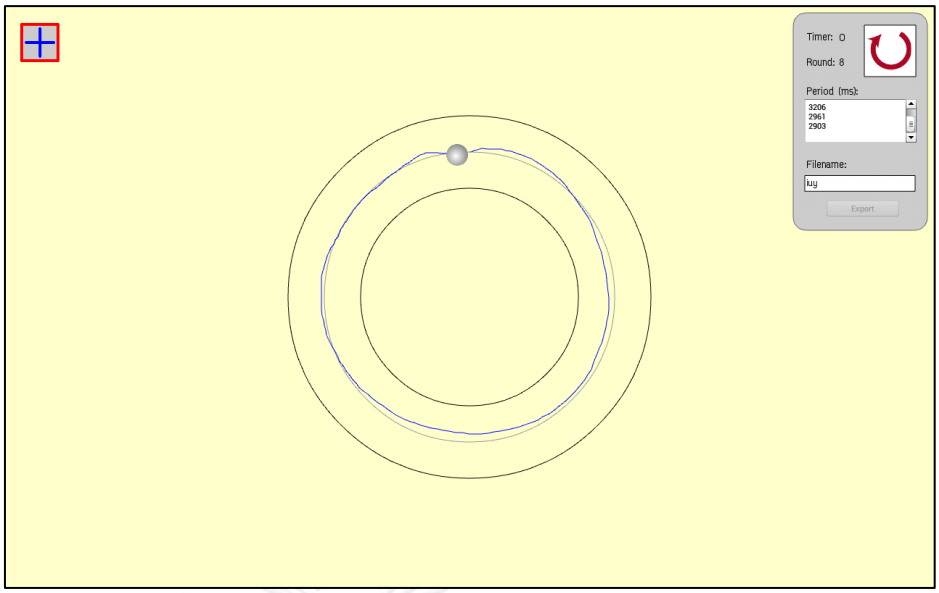


รูปที่ ก.4

2. หน้าจอโปรแกรมจะแสดงดังรูปที่ ก.5 และดำเนินการลากสัมผัสจากจุดเริ่มต้นที่รูปลูกบอลที่แสดงภายในวงกลมวาดตามแนวเส้นรอบวงกลมที่กำหนดไว้โดยไม่ออกนอกความกว้างเป้าหมายจนถึงสิ้นสุดที่จุดเดิมแสดงดังรูปที่ ก.6และใช้เวลาในการเคลื่อนที่ให้น้อยเร็วที่สุด

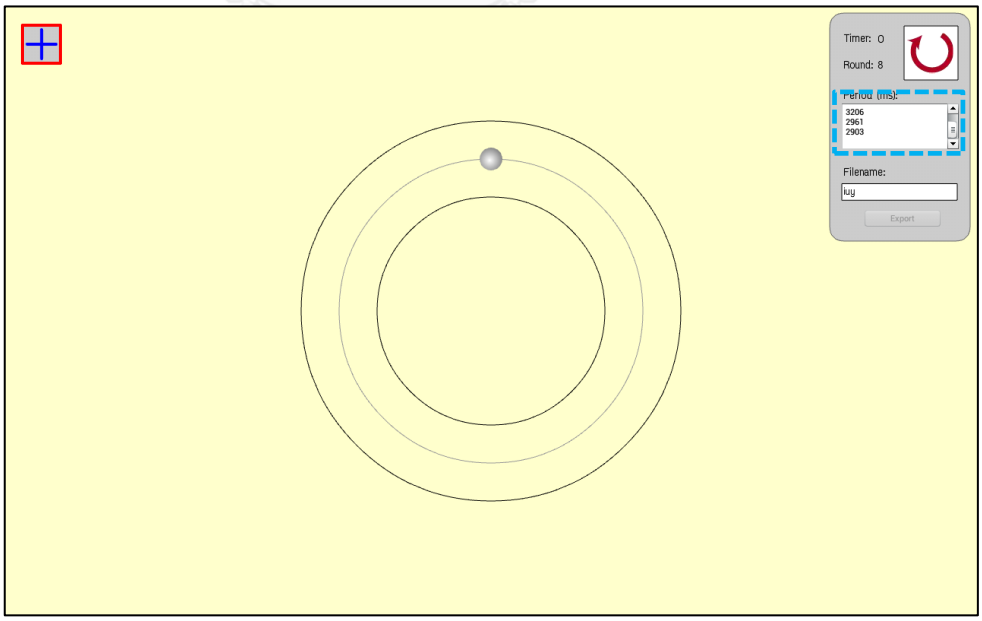


รูปที่ ก.5

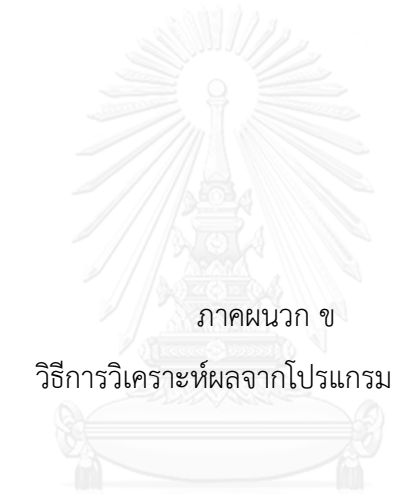


รูปที่ ก.6

3. เมื่อครบจำนวน trial ที่กำหนด คือเสร็จสิ้นการทดลองสำหรับหนึ่งเงื่อนไข ผลการทดลองแสดงระยะเวลาการเคลื่อนที่เบื้องต้นจะแสดงในกรอบสี่เหลี่ยมช่อง Period (ms)ดังรูปที่ ก.7



รูปที่ ก.7



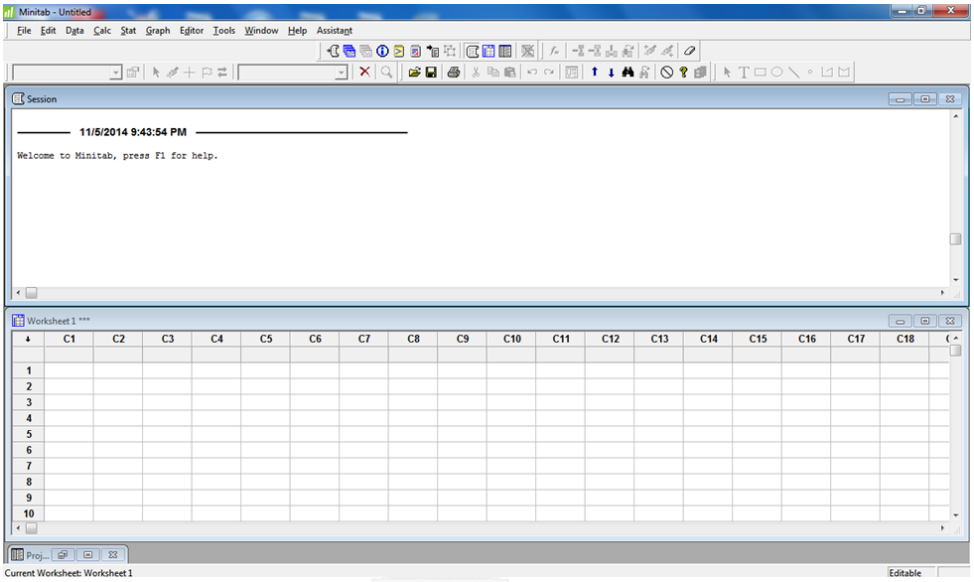
ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม Minitab

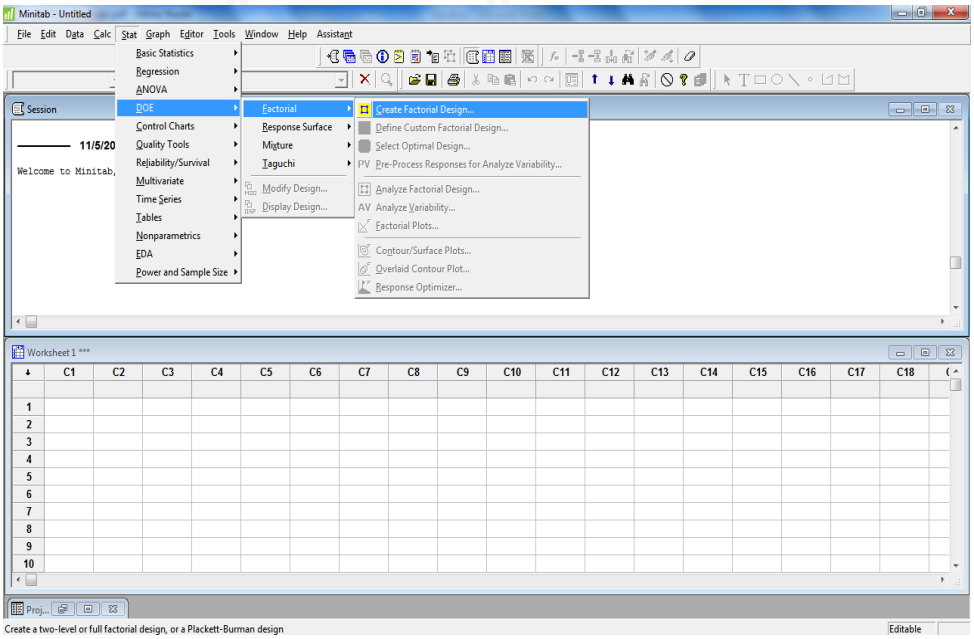
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม Minitab

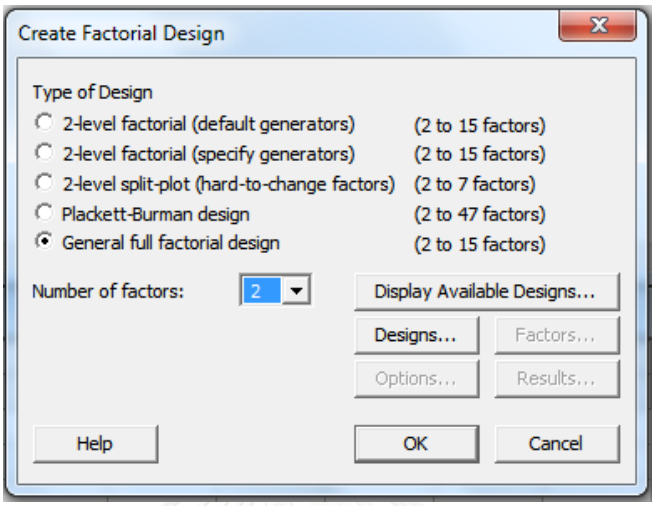
1. เปิดโปรแกรม Minitab 16 ที่ได้ติดตั้งไว้หน้าจอจะปรากฏหน้าต่าง Session และ Worksheet



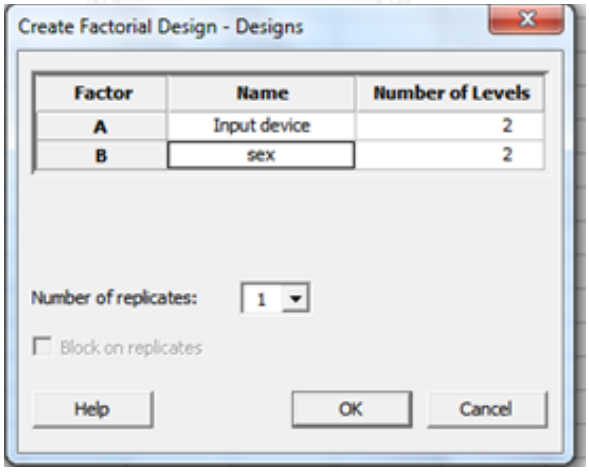
2. เลือกเมนู Stat > DOE > Factorial > Create Factorial Design



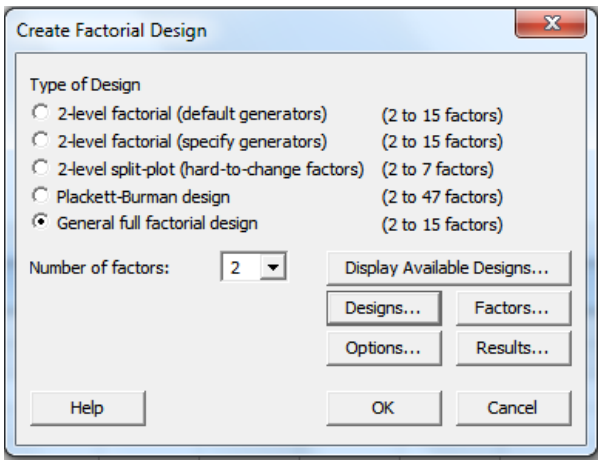
3. หน้าต่างCreate Factorial Design > General full factorial designในส่วนของ Number of factors เลือก 2 ปัจจัยจากการทดลองนี้และคลิก Designs

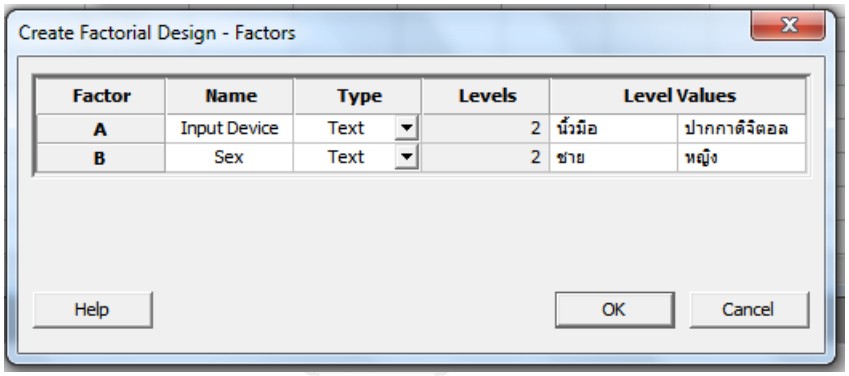


4. หน้าต่าง Create Factorial Design - Designs ปรากฏขึ้นกรอก Name และ Number of Levels คลิก OK

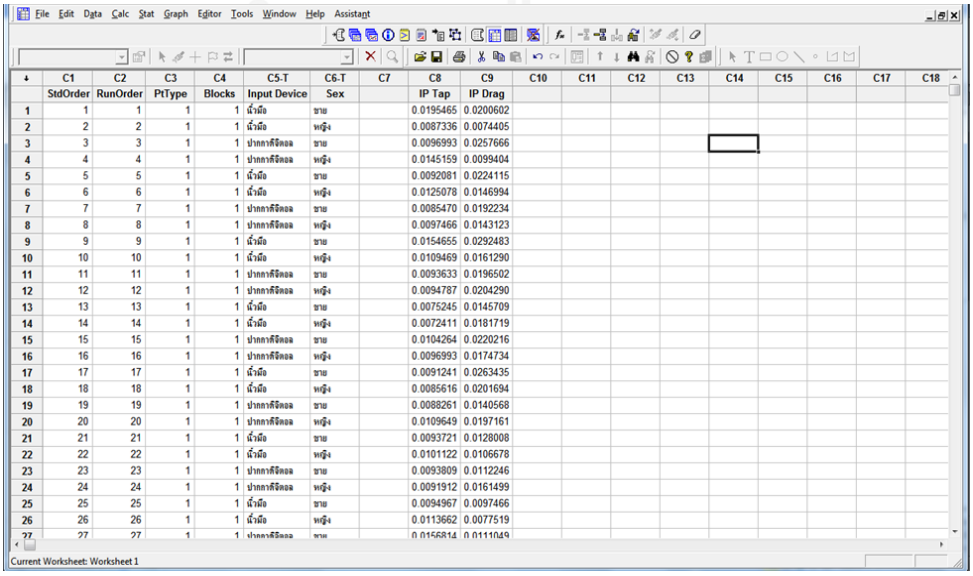


5. หน้าต่าง Create Factorial Design > Factors และ Create Factorial Design – Factors > Type เลือก Text เพื่อกรอกข้อมูล Level Values ของแต่ละปัจจัยคลิก OK





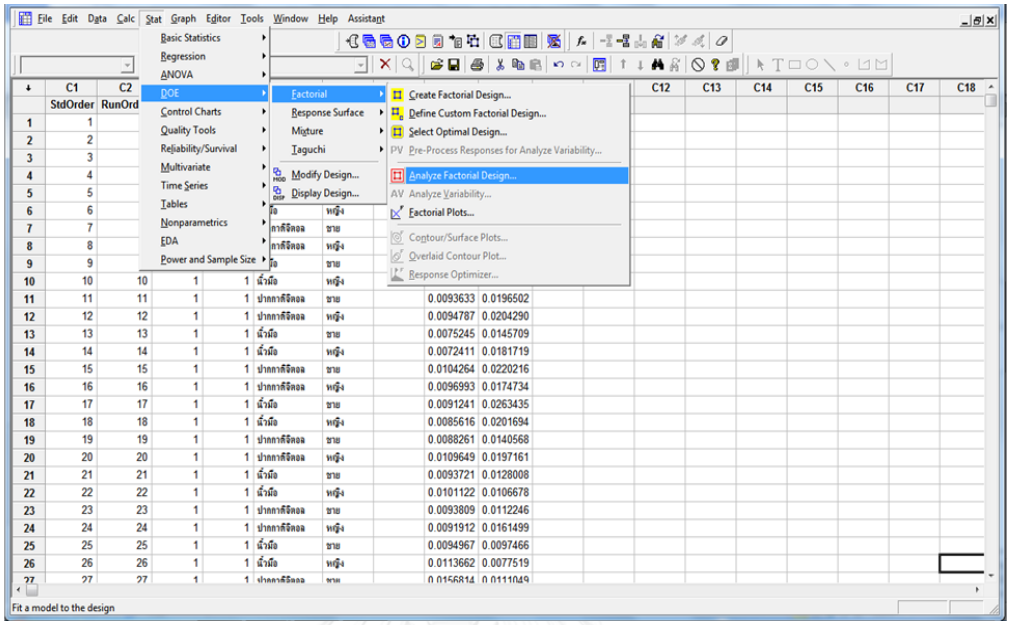
6. ป้อนข้อมูลใน worksheet ตามรูปแบบที่ถูกสร้างขึ้นมา



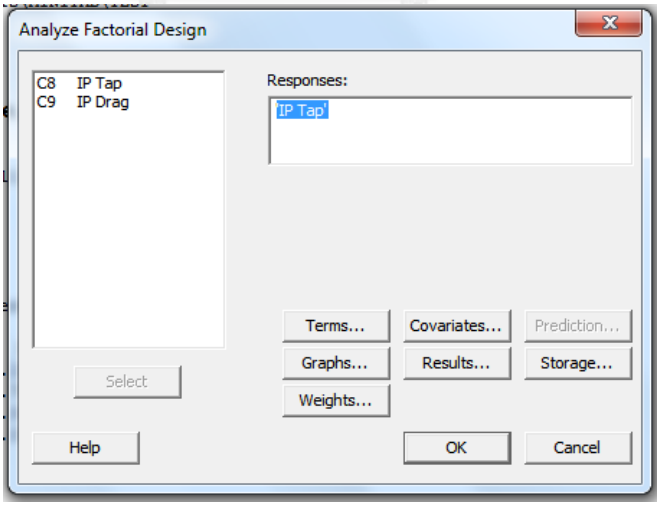
	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Input Device	Sex		IP Tap	IP Drag									
1	1	1	1	1	นิ้วมือ	ชาย		0.0195465	0.0200602									
2	2	2	1	1	นิ้วมือ	หญิง		0.0087336	0.0074405									
3	3	3	1	1	ปากกาดิจิตอล	ชาย		0.0096993	0.0257666									
4	4	4	1	1	ปากกาดิจิตอล	หญิง		0.0145159	0.0099404									
5	5	5	1	1	นิ้วมือ	ชาย		0.0092081	0.0224115									
6	6	6	1	1	นิ้วมือ	หญิง		0.0125078	0.0146994									
7	7	7	1	1	ปากกาดิจิตอล	ชาย		0.0085470	0.0192234									
8	8	8	1	1	ปากกาดิจิตอล	หญิง		0.0097466	0.0143123									
9	9	9	1	1	นิ้วมือ	ชาย		0.0154655	0.0292483									
10	10	10	1	1	นิ้วมือ	หญิง		0.0109469	0.0161290									
11	11	11	1	1	ปากกาดิจิตอล	ชาย		0.0093633	0.0196502									
12	12	12	1	1	ปากกาดิจิตอล	หญิง		0.0094787	0.0204290									
13	13	13	1	1	นิ้วมือ	ชาย		0.0075245	0.0145709									
14	14	14	1	1	นิ้วมือ	หญิง		0.0072411	0.0181719									
15	15	15	1	1	ปากกาดิจิตอล	ชาย		0.0104264	0.0220216									
16	16	16	1	1	ปากกาดิจิตอล	หญิง		0.0096993	0.0174734									
17	17	17	1	1	นิ้วมือ	ชาย		0.0091241	0.0263435									
18	18	18	1	1	นิ้วมือ	หญิง		0.0085616	0.0201694									
19	19	19	1	1	ปากกาดิจิตอล	ชาย		0.0088261	0.0140568									
20	20	20	1	1	ปากกาดิจิตอล	หญิง		0.0109649	0.0197161									
21	21	21	1	1	นิ้วมือ	ชาย		0.0093721	0.0128008									
22	22	22	1	1	นิ้วมือ	หญิง		0.0101122	0.0106678									
23	23	23	1	1	ปากกาดิจิตอล	ชาย		0.0093809	0.0112246									
24	24	24	1	1	ปากกาดิจิตอล	หญิง		0.0091912	0.0161499									
25	25	25	1	1	นิ้วมือ	ชาย		0.0094967	0.0097466									
26	26	26	1	1	นิ้วมือ	หญิง		0.0113662	0.0077519									
27	27	27	1	1	ปากกาดิจิตอล	ชาย		0.0156814	0.0111049									

Current Worksheet: Worksheet 1

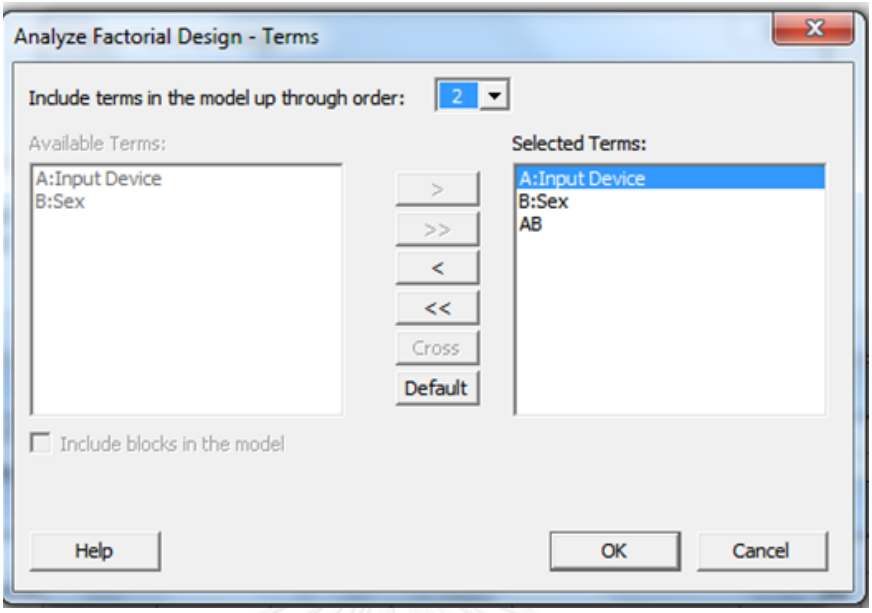
7. เลือกเมนู Stat > DOE > Factorial > Analyze Factorial Design



8. หน้าต่าง Analyze Factorial Design > Terms

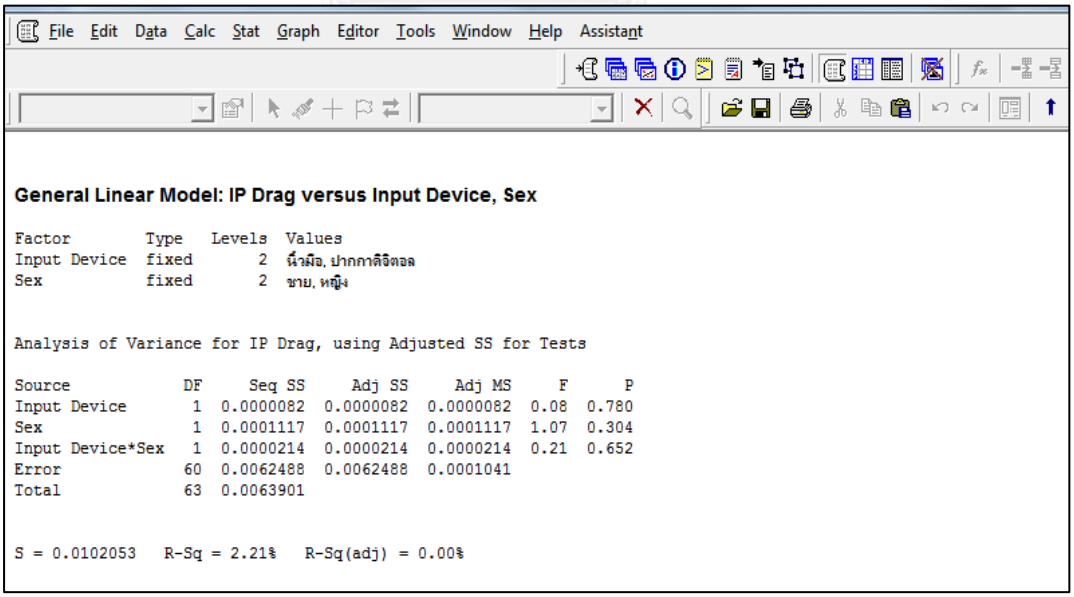


9. หน้าต่าง Analyze Factorial Design - Terms ปรากฏเลือก Include terms in the model up through order มีค่าเท่ากับ 2 คลิก OK



10. คลิก Graphs หน้าต่าง Analyze Factorial Design - Graphs จะปรากฏเลือกรูปแบบ Residual Plots ที่ต้องการให้แสดงผลคลิก OK

ผลลัพธ์ที่แสดงข้อมูลสถิติใน Sessions



File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help Assistant

General Linear Model: IP Drag versus Input Device, Sex

```
Factor        Type   Levels  Values
Input Device  fixed       2  ผ้ามือ, ปากกาดิจิตอล
Sex           fixed       2  ชาย, หญิง


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

Source            DF     Seq SS     Adj SS     Adj MS     F      P
Input Device       1  0.0000082  0.0000082  0.0000082  0.08  0.780
Sex                1  0.0001117  0.0001117  0.0001117  1.07  0.304
Input Device*Sex   1  0.0000214  0.0000214  0.0000214  0.21  0.652
Error             60  0.0062488  0.0062488  0.0001041
Total             63  0.0063901


S = 0.0102053   R-Sq = 2.21%   R-Sq(adj) = 0.00%
```

ภาคผนวก ค
การเก็บตัวอย่างข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบฟอร์มการเก็บข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลการทดลองได้ทำบันทึกข้อมูลขึ้นเพื่อใช้บันทึกผลการเก็บข้อมูลและคุณสมบัติของอาสาสมัคร ดังตารางตัวอย่างต่อไปนี้

ตารางที่ ค.1 แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเบื้องต้นของอาสาสมัคร

คนที่	ชื่อ-นามสกุล	เพศ	อายุ(ปี)	น้ำหนัก(Kg)	ส่วนสูง(cm)

ตารางที่ ค.2ตารางการเก็บผลการทดลองที่ 5 ระดับความยากของงานในแต่ละลักษณะ

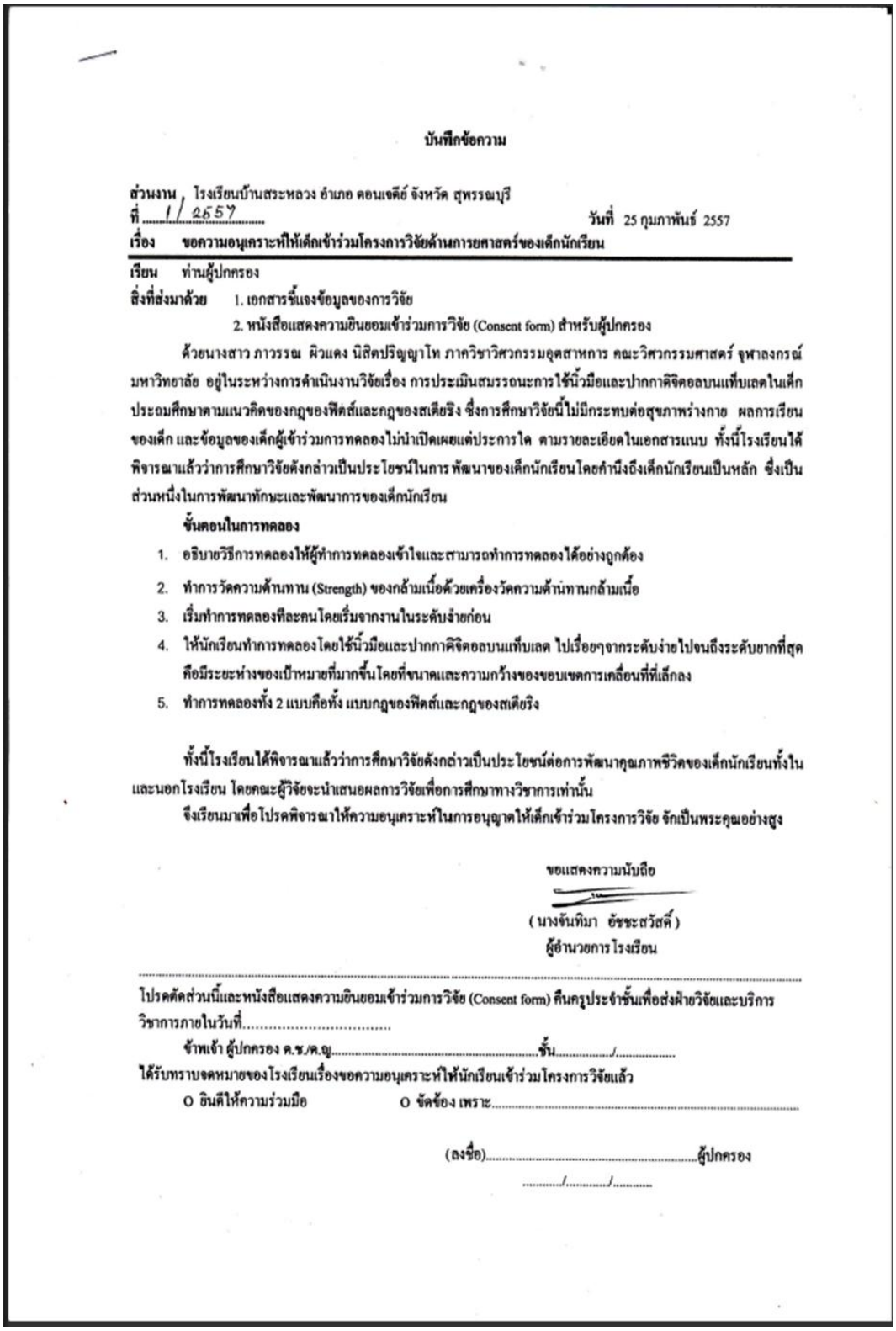
ผู้ถูกทดสอบ	**Movement time (ms) ในแต่ละค่าดัชนีความยาก (ID)**				
	DI1	DI2	ID3	ID4	ID5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ง
แบบฟอร์มขอความอนุเคราะห์ในการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบฟอร์มขอความอนุเคราะห์ผู้ปกครองของอาสาสมัคร



บันทึกข้อความ

ส่วนงาน โรงเรียนบ้านสระหลวง อำเภอ คอนเจดีย์ จังหวัด สุพรรณบุรี
ที่ 11/2557 **วันที่** 25 กุมภาพันธ์ 2557
เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ให้เด็กเข้าร่วมโครงการวิจัยด้านการยศาสตร์ของเด็กนักเรียน

เรียน ท่านผู้ปกครอง
สิ่งที่ส่งมาด้วย 1. เอกสารชี้แจงข้อมูลของการวิจัย
2. หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย (Consent form) สำหรับผู้ปกครอง

ด้วยนางสาว ภาวรรณ ผิวแดง นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อยู่ในระหว่างการดำเนินงานวิจัยเรื่อง การประเมินสมรรถนะการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลบนแท็บเลตในเด็กประถมศึกษาตามแนวคิดของกฎของฟิตส์และกฎของสเตียริง ซึ่งการศึกษาวิจัยนี้ไม่มีกระทบต่อสุขภาพร่างกาย ผลการเรียนของเด็ก และข้อมูลของเด็กผู้เข้าร่วมการทดลองไม่นำเปิดเผยแต่ประการใด ตามรายละเอียดในเอกสารแนบ ทั้งนี้โรงเรียนได้พิจารณาแล้วว่าการศึกษาวิจัยดังกล่าวเป็นประโยชน์ในการ พัฒนาของเด็กนักเรียนโดยคำนึงถึงเด็กนักเรียนเป็นหลัก ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาทักษะและพัฒนาการของเด็กนักเรียน

ขั้นตอนในการทดลอง

1. อธิบายวิธีการทดลองให้ผู้ทำการทดลองเข้าใจและสามารถทำการทดลองได้อย่างถูกต้อง
2. ทำการวัดความต้านทาน (Strength) ของกล้ามเนื้อด้วยเครื่องวัดความต้านทานกล้ามเนื้อ
3. เริ่มทำการทดลองทีละคนโดยเริ่มจากงานในระดับง่ายก่อน
4. ให้นักเรียนทำการทดลองโดยใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลบนแท็บเลต ไปเรื่อยๆจากระดับง่ายไปจนถึงระดับยากที่สุด คือมีระยะห่างของเป้าหมายที่มากขึ้นโดยที่ขนาดและความกว้างของขอบเขตการเคลื่อนที่ที่เล็กลง
5. ทำการทดลองทั้ง 2 แบบคือทั้ง แบบกฎของฟิตส์และกฎของสเตียริง

ทั้งนี้โรงเรียนได้พิจารณาแล้วว่าการศึกษาวิจัยดังกล่าวเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตของเด็กนักเรียนทั้งในและนอกโรงเรียน โดยคณะผู้วิจัยจะนำเสนอผลการวิจัยเพื่อการศึกษาทางวิชาการเท่านั้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ในการอนุญาตให้เด็กเข้าร่วมโครงการวิจัย จักเป็นพระคุณอย่างสูง

ขอแสดงความนับถือ

(นางจันทิมา อัชชะสวัสดิ์)
ผู้อำนวยการโรงเรียน

โปรดตัดส่วนนี้และหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย (Consent form) คืนครูประจำชั้นเพื่อส่งฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการภายในวันที่.....

ข้าพเจ้า ผู้ปกครอง ด.ช./ด.ญ.....ชั้น...../.....
ได้รับทราบจดหมายของโรงเรียนเรื่องขอความอนุเคราะห์ให้นักเรียนเข้าร่วมโครงการวิจัยแล้ว

O ยินดีให้ความร่วมมือ O ขัดข้อง เพราะ.....

(ลงชื่อ).....ผู้ปกครอง
...../...../.....

ภาคผนวก จ

รูประหว่างการทำการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวอย่างรูปขณะทำการทดลอง

1. รูประหว่างการทดลองด้วย (Tap) โดยใช้นิ้วมือ

รูปที่ จ.1

รูปที่ จ.2

2. รูประหว่างการทดลองด้วยงานลาก (Drag) โดยใช้ปากกาดิจิตอล

รูปที่ จ.3

รูปที่ จ.1

ภาคผนวก ฉ

การวิเคราะห์ค่าสมรรถนะการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลของเด็กที่มีความผิดปกติทางร่างกาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

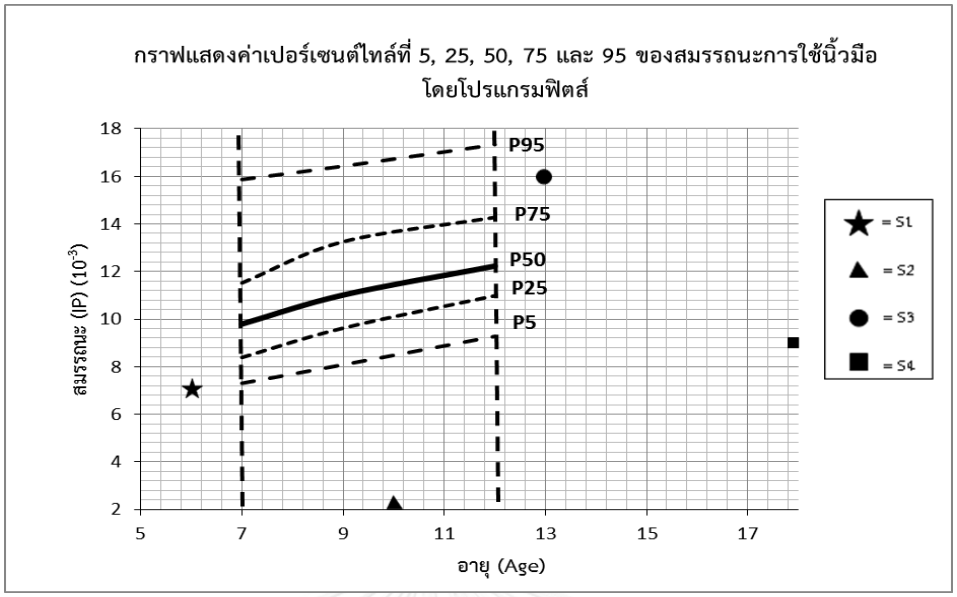
การวิเคราะห์ค่าสมรรถนะการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลของเด็กที่มีความผิดปกติทางร่างกาย

นอกจากที่ได้ทดสอบสมรรถนะหรือความสามารถในการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลบนแท็บเล็ตของเด็กปกติในแต่ละช่วงอายุและสร้างได้เป็นค่ามาตรฐานของสมรรถนะที่สามารถนำไปประเมินเปรียบเทียบกับเด็กนอกเหนือจากอาสาสมัคร และในงานวิจัยนี้ยังได้นำมาตรฐานของการประเมินสมรรถนะการใช้นิ้วมือ และปากกาดิจิตอลแบบแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ที่สร้างขึ้นไปเปรียบเทียบกับเด็กที่มีความผิดปกติทางร่างกาย และมีพัฒนาการช้าอีกด้วย โดยแสดงการเปรียบเทียบกับเด็กที่มีความผิดปกติทางร่างกาย จำนวน 4 คน ซึ่งได้รับการวินิจฉัยจาก รองศาสตราจารย์ นพ.อดิศักดิ์ ผลิตผลการพิมพ์ ว่ามีความผิดปกติทางร่างกาย โดยมีอาการตามคำวินิจฉัยของแพทย์ดังนี้

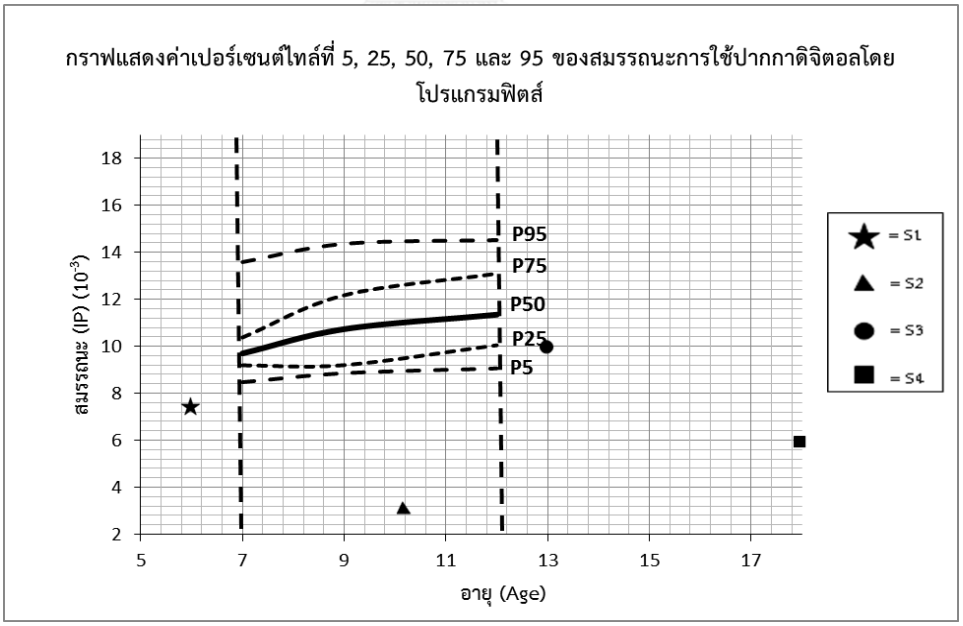
1. Subject คนที่ 1 (S1) เพศชาย อายุ 6 ปี มีอาการป่วย เป็นภูมิแพ้ เคยมีภาวะเครียด
2. Subject คนที่ 2 (S2) เพศชาย อายุ 10 ปี มีอาการ สมาธิสั้น มีความผิดปกติทางการได้ยิน และมีระดับสติปัญญาค่อนข้างต่ำ
3. Subject คนที่ 3 (S3)เพศหญิง อายุ 13 ปี มีอาการเป็นโรคป่วยเรื้อรังทำให้น้ำหนักลดลงอย่างรวดเร็วในเวลาสั้นๆ มีปัญหาโรคซึมเศร้า
4. Subject คนที่ 4 (S4) เพศหญิง อายุ 18 ปี อาการเป็นโรคหัวใจ ระดับสติปัญญาและมี IQ ช้า เคยมีอาการชักเป็นโรควิลเลี่ยม ผิดปกติตั้งแต่กำเนิด

ซึ่งได้เปรียบเทียบกับมาตรฐานค่าสมรรถนะของเด็กปกติดังแสดงในรูปที่ ฉ.1 และ ฉ.4

1.การประเมินสมรรถนะของเด็กที่มีความผิดปกติทางร่างกายในการทำงานแตะ (Tap)



รูปที่ ฉ.1 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50,75 และ 95 ของสมรรถนะของเด็กปกติ โดยใช้นิ้วมือสำหรับการทดลองในงานแตะ (Tap) เปรียบเทียบกับสมรรถนะของเด็กที่มีความผิดปกติทางร่างกาย

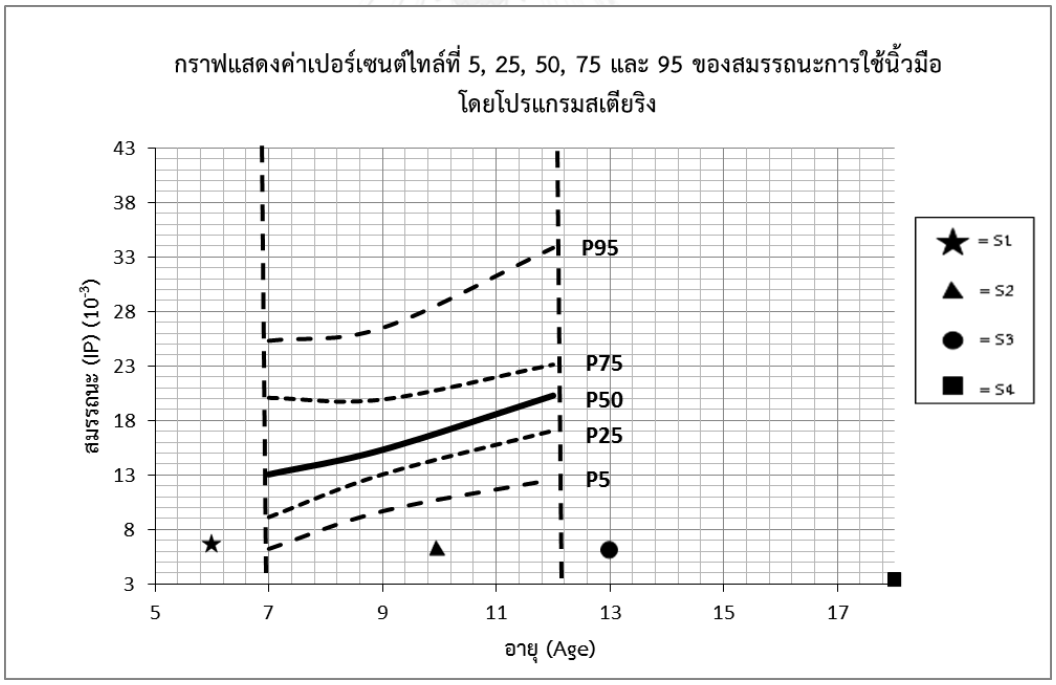


รูปที่ ฉ.2 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50,75 และ 95 ของสมรรถนะของเด็กปกติ โดยปากกาดิจิตอล สำหรับการทดลองในงานแตะ (Tap) เปรียบเทียบกับสมรรถนะของเด็กที่มีความผิดปกติทางร่างกาย

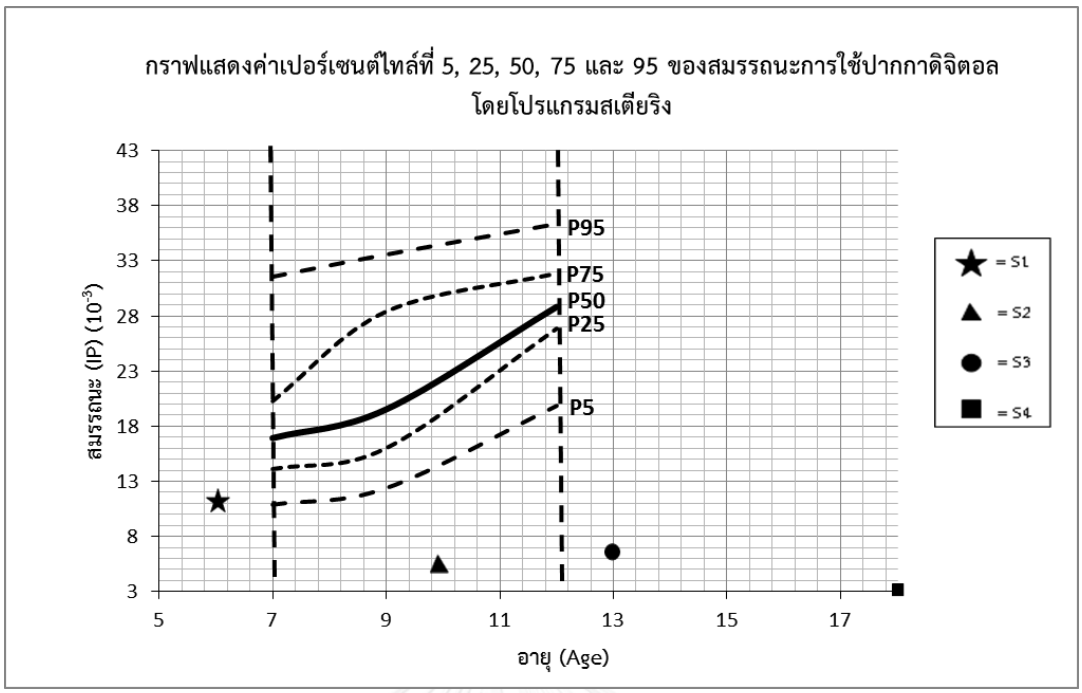
จากการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะที่ได้ทดสอบกับเด็กที่มีความผิดปกติทางร่างกายจากกราฟมาตรฐานที่แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ 5, 25, 50,75 และ 95 ของสมรรถนะของเด็กปกติในแต่ละช่วงอายุสำหรับงานแตะ (Tap) โดยใช้นิ้วมือ พบว่าสมรรถนะการทำงานของเด็กที่มีความผิดปกติทางร่างกายคนที่ 1 (S1) มีค่าสมรรถนะสูงกว่าระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 และคนที่ 3 (S3) มีค่าสมรรถนะอยู่ในระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ที 25 แต่พบว่าคนที่ 2 (S2) และคนที่ 4 (S4) มีค่าสมรรถนะต่ำกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ในระดับอายุเดียวกัน

สำหรับการทดสอบโดยใช้ปากกาดิจิตอลพบว่ามีเพียงเด็กที่มีความผิดปกติทางร่างกายคนที่ 3 เท่านั้นที่มีค่าสมรรถนะอยู่ในระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25 ส่วนคนที่ 1 คนที่ 2 และที่ 4 มีค่าสมรรถนะต่ำกว่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ในระดับอายุเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าพัฒนาการของเด็กที่มีความผิดปกติทางร่างกายที่เข้าร่วมการทดลองนี้ มีพัฒนาการการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลที่ค่อนข้างต่ำสำหรับการทำงานแตะ (Tap) กว่าเด็กในวัยเดียวกัน จำเป็นต้องฝึกฝนและพัฒนาความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กได้แก่ มือ และนิ้วมือ

2. การประเมินสมรรถนะของเด็กที่มีความผิดปกติทางร่างกายในการทำงานลาก (Drag)



รูปที่ ฉ.3 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะของเด็กปกติ โดยใช้นิ้วมือสำหรับการทดสอบงานลากเปรียบเทียบกับสมรรถนะเด็กที่มีความผิดปกติทางร่างกาย



รูปที่ ฉ.4 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะของเด็กปกติโดยใช้ปากกาดิจิตอลสำหรับการทดสอบงานลากเปรียบเทียบกับสมรรถนะของเด็กที่มีความผิดปกติทางร่างกาย

จากการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะที่ได้ทดสอบกับเด็กที่มีความผิดปกติทางร่างกายจากกราฟมาตรฐานที่แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5, 25, 50, 75 และ 95 ของสมรรถนะของเด็กปกติในแต่ละช่วงอายุสำหรับงานลาก (Drag) พบว่าสมรรถนะการทำงานของเด็กที่มีความผิดปกติทางร่างกายคนที่ 1 (S1) มีค่าสมรรถนะสูงกว่าระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 แต่พบว่าคนที่ 2 (S2) คนที่ 3 (S3) และคนที่ 4 (S4) มีค่าสมรรถนะต่ำกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ในระดับอายุเดียวกัน

สำหรับการทดสอบโดยใช้ปากกาดิจิตอลพบว่ามีเพียงเด็กที่มีความผิดปกติทางร่างกายคนที่ 1 เท่านั้นที่มีค่าสมรรถนะอยู่ในระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25 ส่วนคนที่ 2 คนที่ 3 และคนที่ 4 มีค่าสมรรถนะต่ำกว่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ในระดับอายุเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าพัฒนาการของเด็กที่มีความผิดปกติทางร่างกายที่เข้าร่วมการทดลองนี้ มีพัฒนาการการใช้นิ้วมือและปากกาดิจิตอลที่ค่อนข้างต่ำสำหรับการทำงานลาก (Drag) กว่าเด็กในวัยเดียวกัน จำเป็นต้องฝึกฝนและพัฒนาความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กได้แก่ มือ และนิ้วมือ

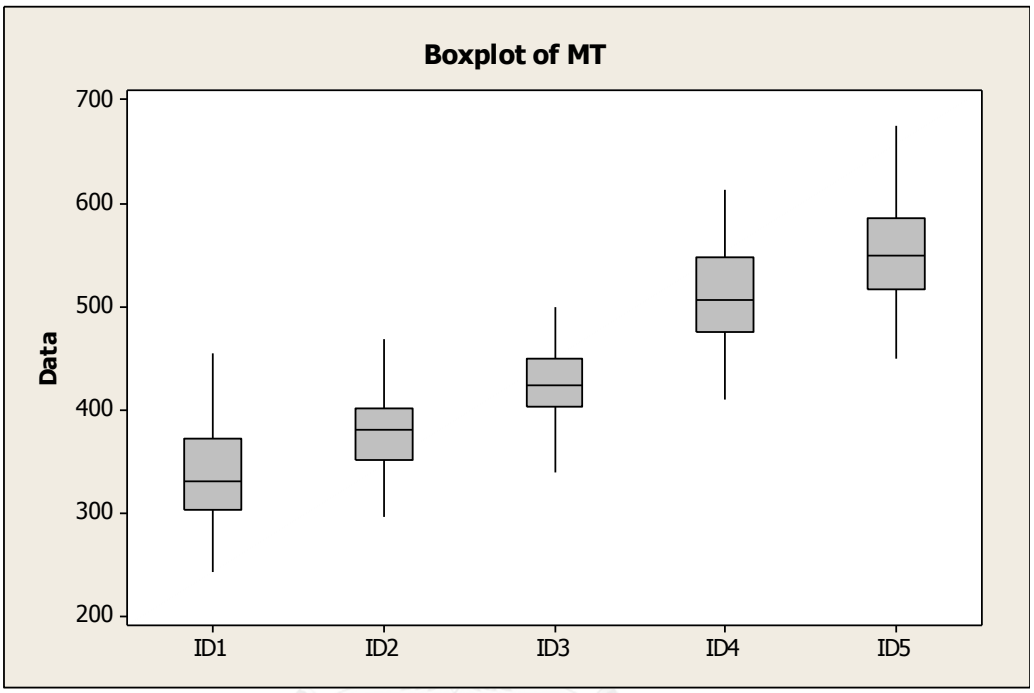
ภาคผนวก ช

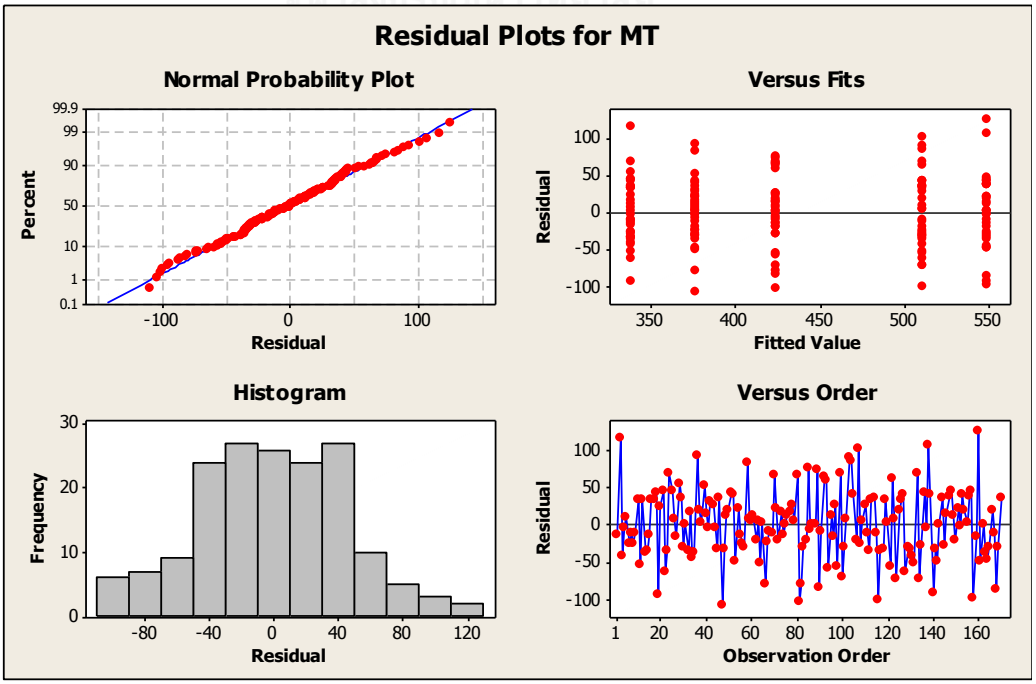
ตัวอย่างการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลเวลาในการเคลื่อนที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

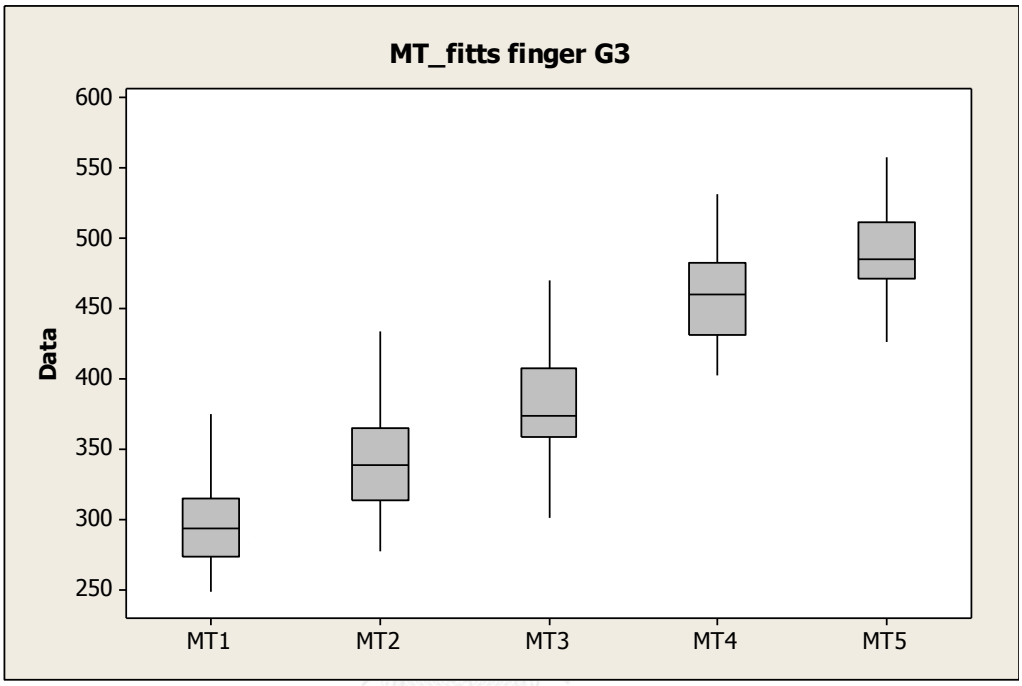
การกระจายตัวของข้อมูลเวลาในการเคลื่อนที่ในงานแตะ (Tap)

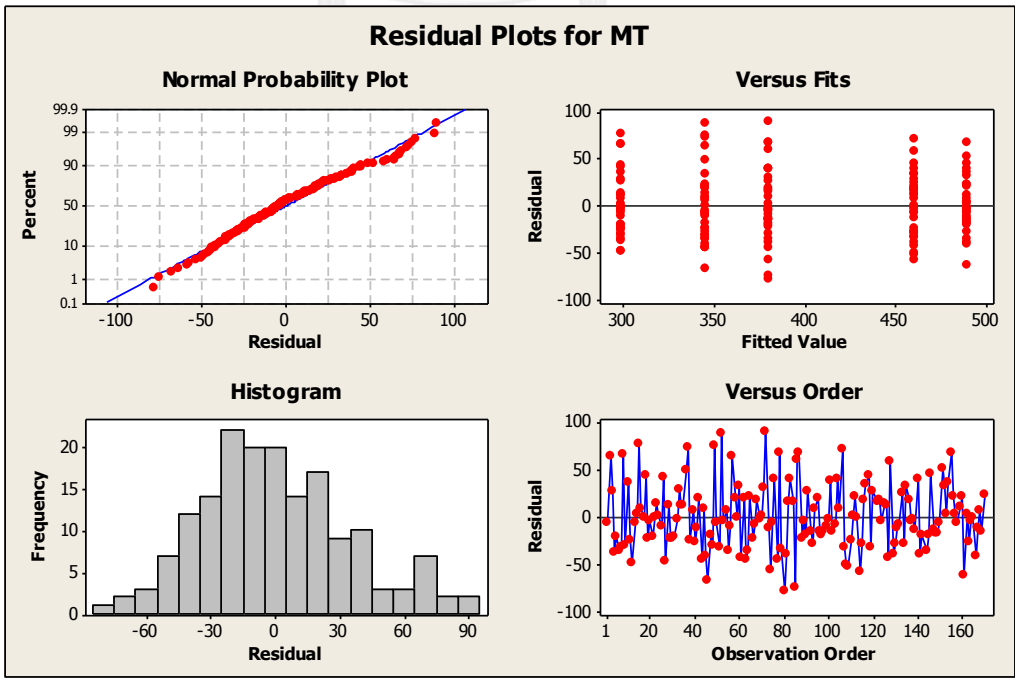
1. การคัดกรองข้อมูลที่มีความผิดปกติและการกระจายตัวของข้อมูลเวลาในการเคลื่อนที่ในงานแตะ (Tap) โดยใช้นิ้วมือของนักเรียนอายุ 9-10 ปี



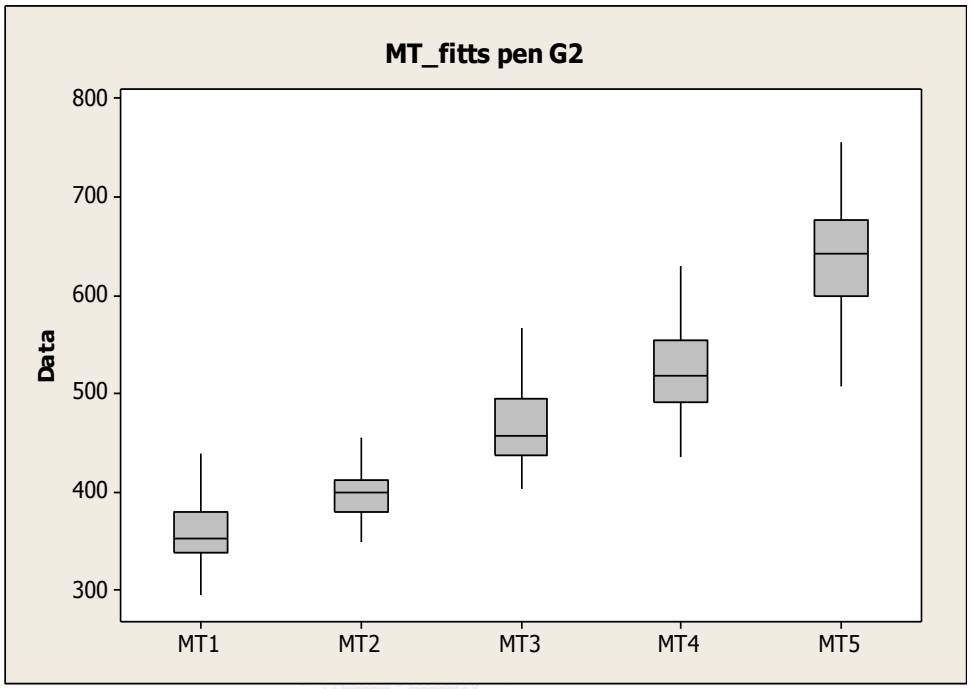


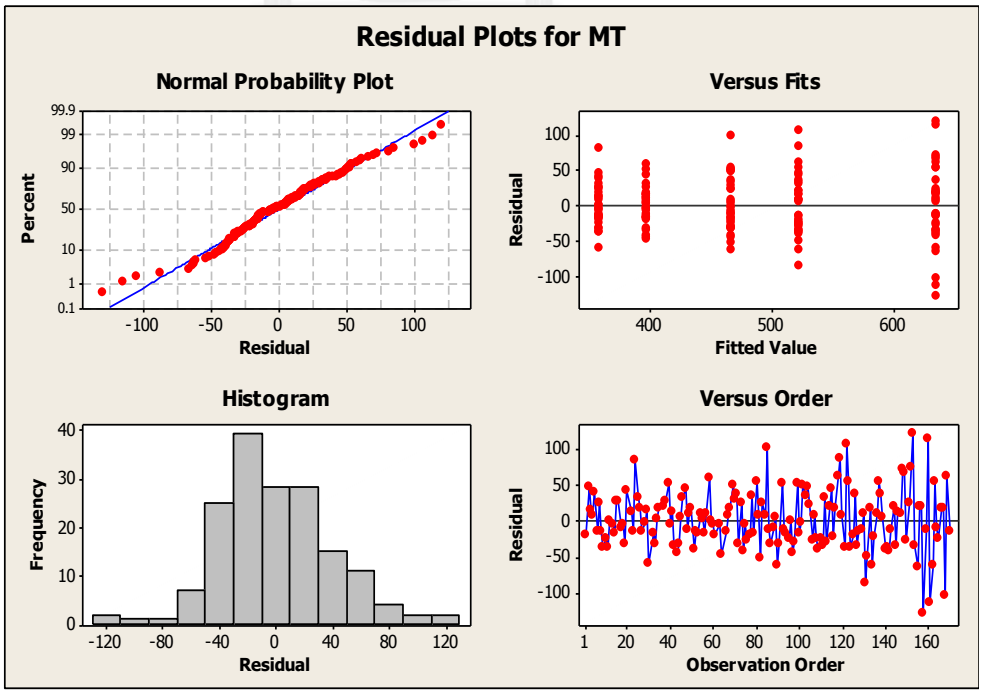
2. การคัดกรองข้อมูลที่มีความผิดปกตและการกระจายตัวของข้อมูลเวลาในการเคลื่อนที่ในงานแตะ (Tap) โดยใช้นิ้วมือของเด็กนักเรียนอายุ 11-12 ปี



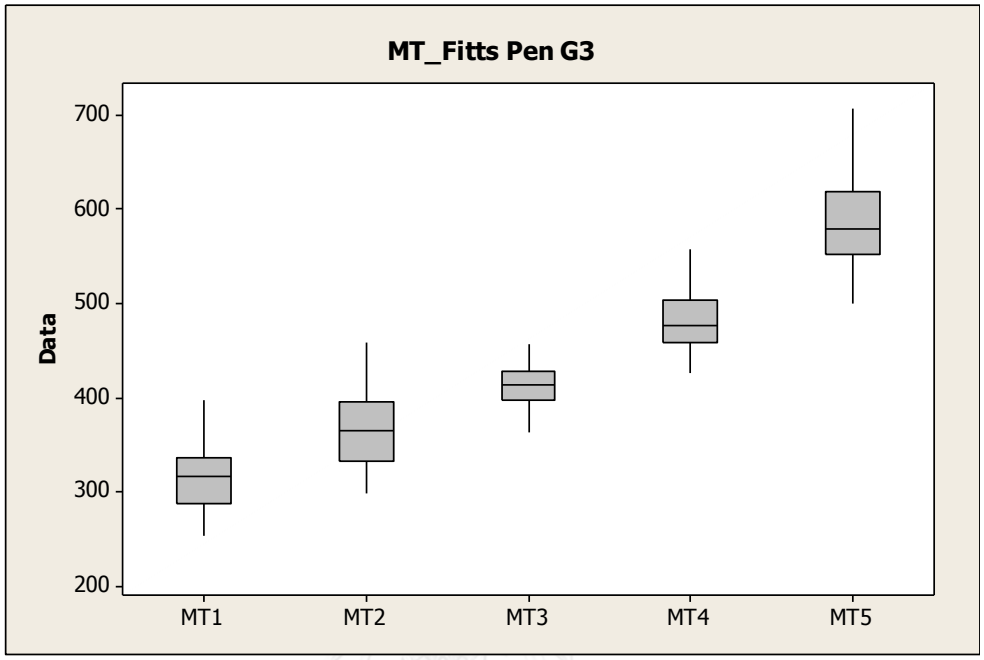


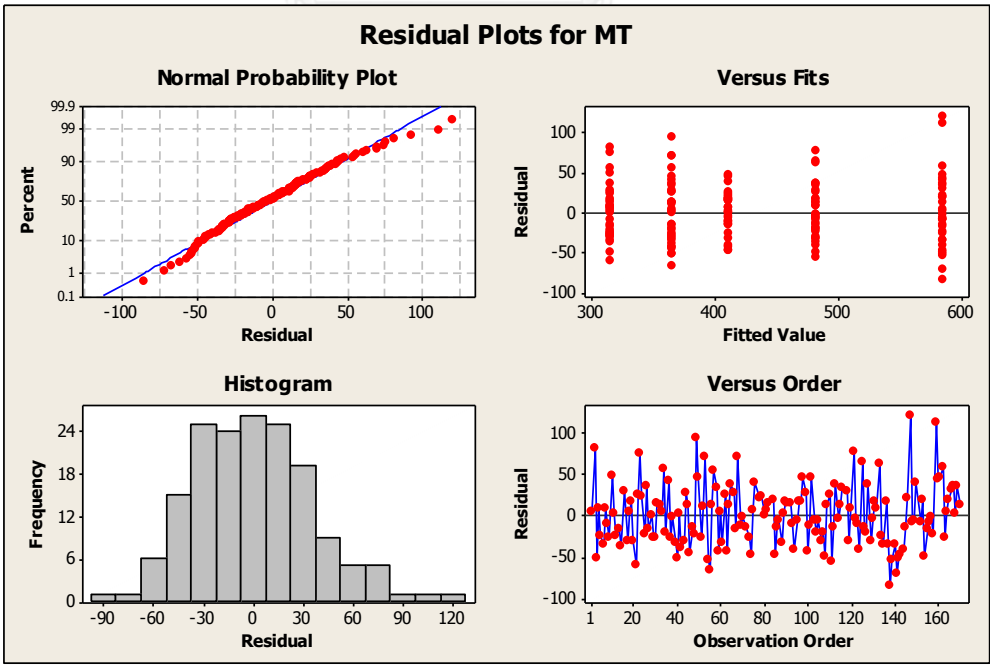
3. การคัดกรองข้อมูลที่มีความผิดปกติและการกระจายตัวของข้อมูลเวลาในการเคลื่อนที่ในงานแตะ (Tap) โดยใช้ปากกาดิจิตอลของนักเรียนอายุ 9-10 ปี





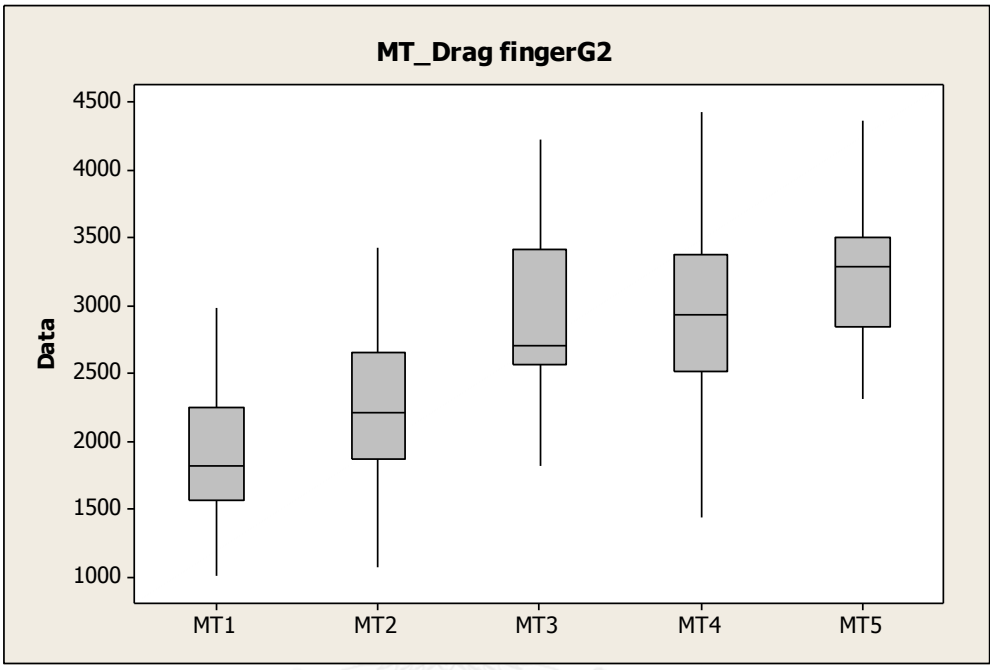
4.การคัดกรองข้อมูลที่มีความผิดปกติและการกระจายตัวของข้อมูลเวลาในการเคลื่อนที่ในงานแตะ (Tap) โดยใช้ปากกาดิจิตอลของนักเรียนอายุ 11-12 ปี

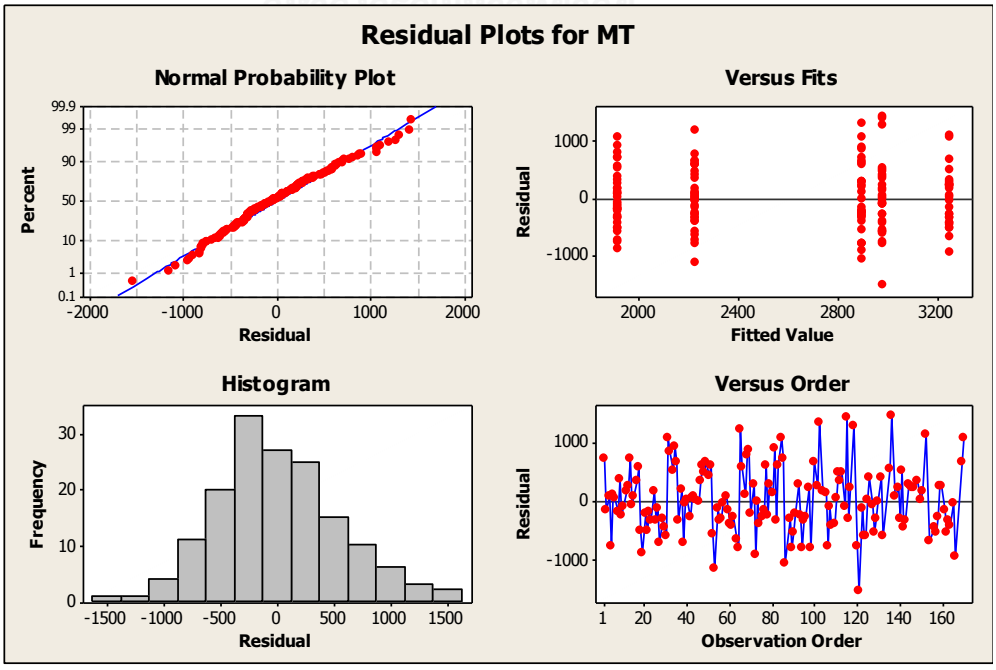




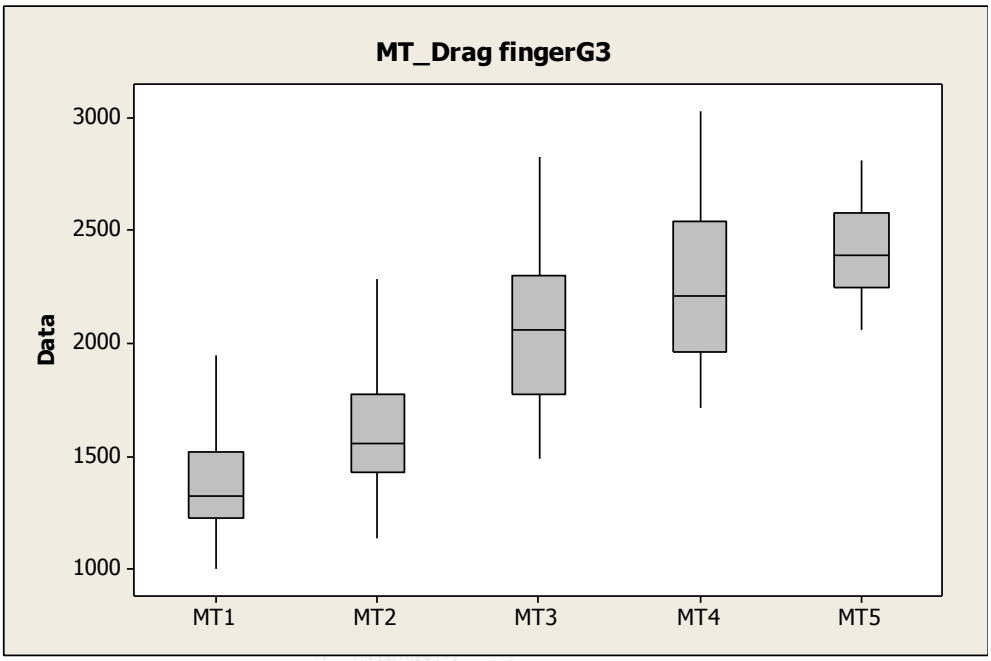
การกระจายตัวของข้อมูลเวลาในการเคลื่อนที่ในงานลาก (Drag)

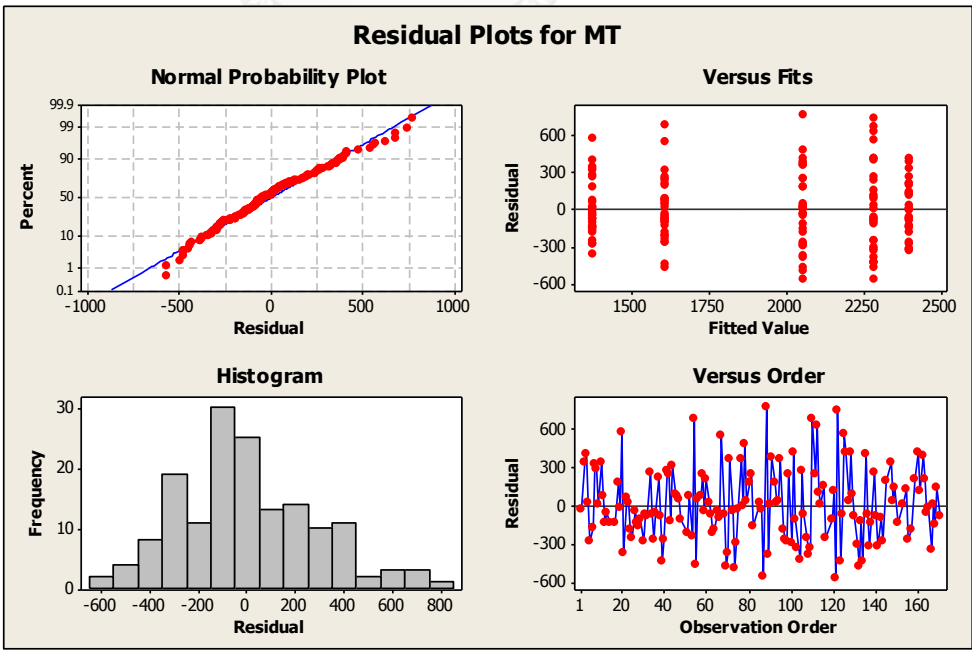
1. การคัดกรองข้อมูลที่มีความผิดปกติและการกระจายตัวของข้อมูลเวลาในการเคลื่อนที่ในงานลาก (Drag) โดยใช้นิ้วมือของนักเรียนอายุ 9-10 ปี



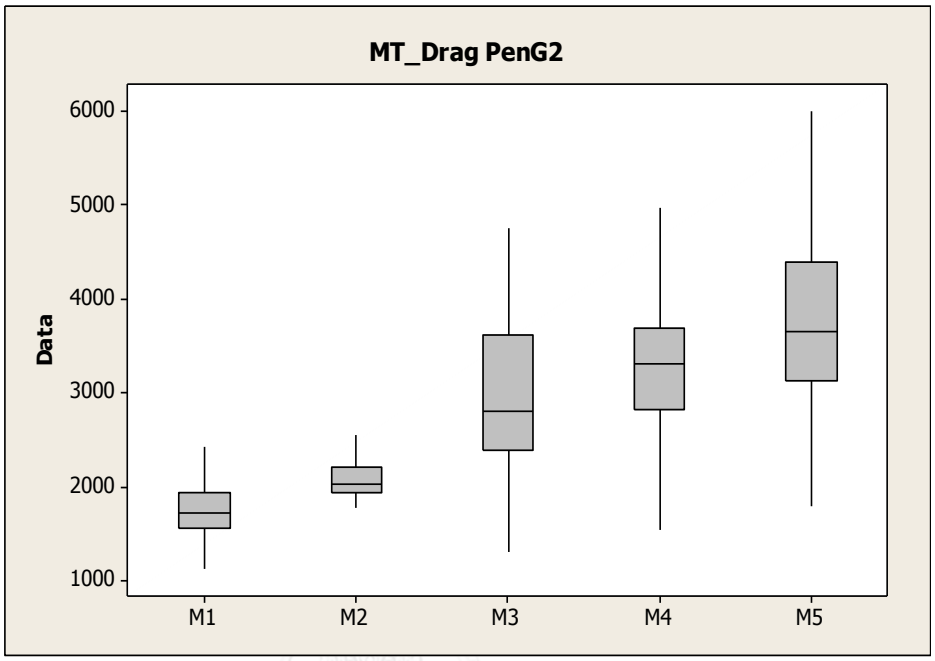


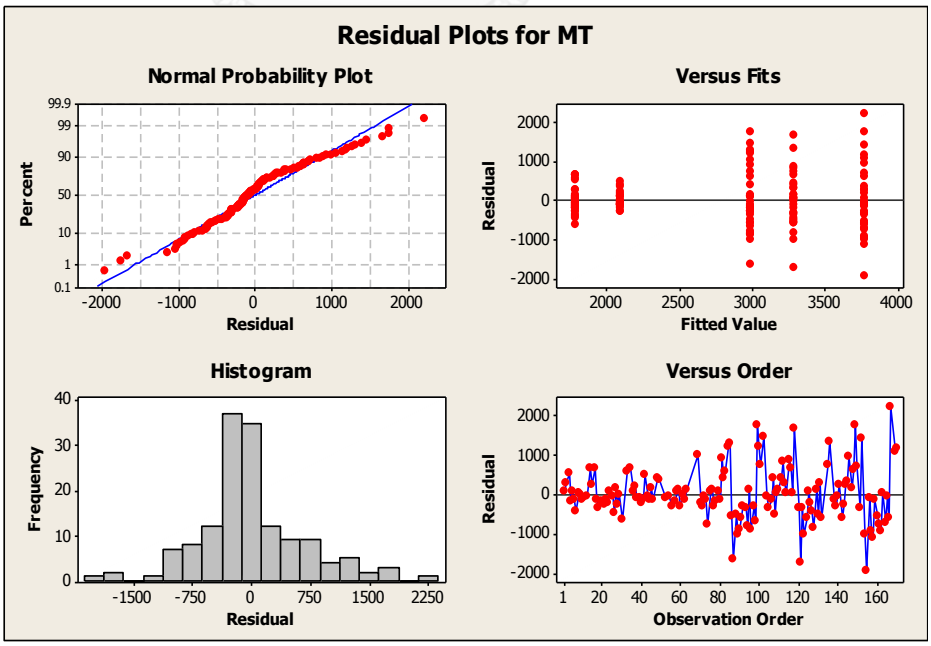
2. การคัดกรองข้อมูลที่มีความผิดปกติการกระจายตัวของข้อมูลเวลาในการเคลื่อนที่ในงานลาก (Drag) โดยใช้นิ้วมือของนักเรียนอายุ 11-12 ปี



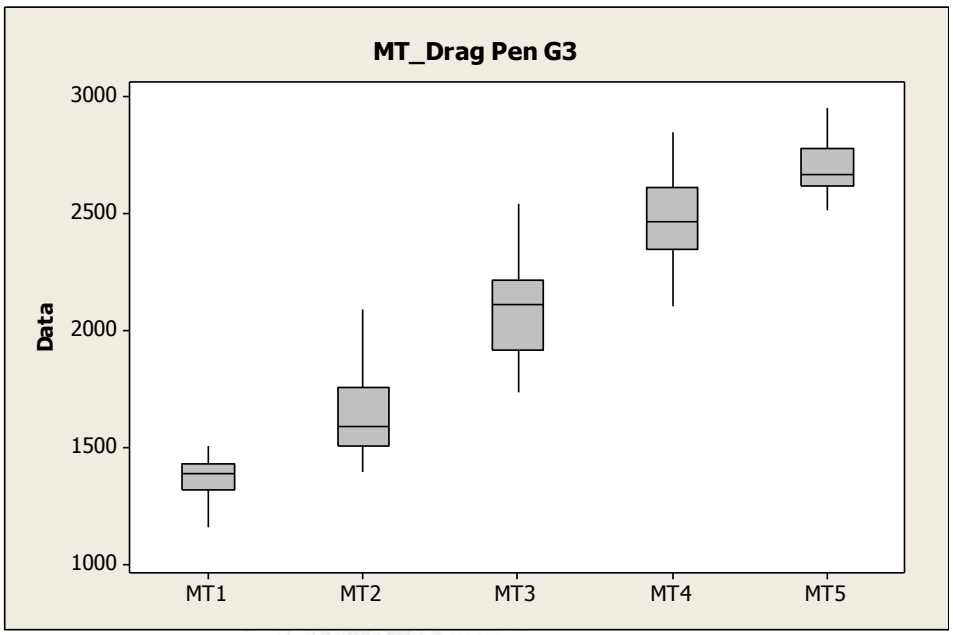


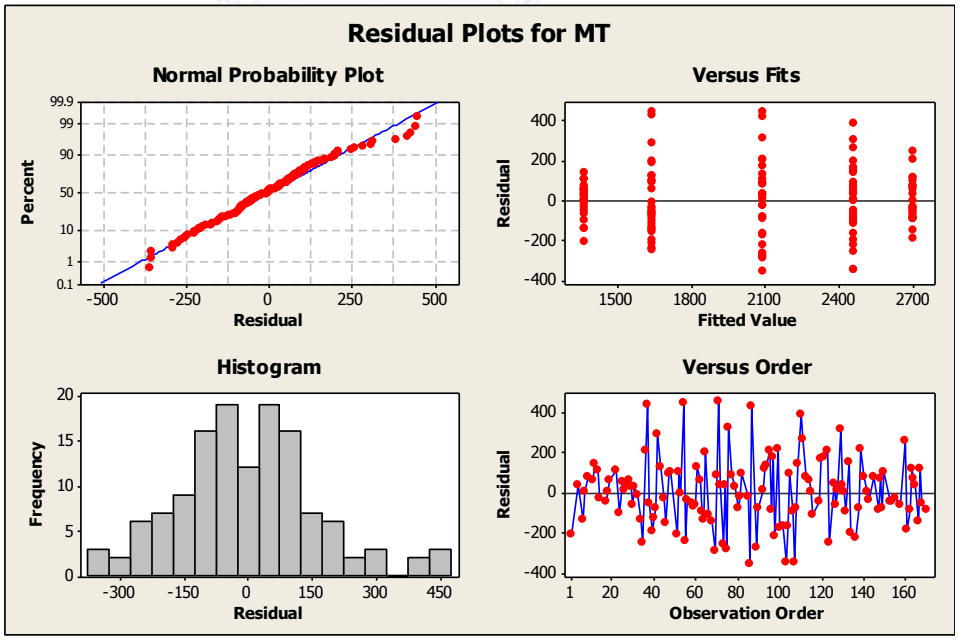
3. การคัดกรองข้อมูลที่มีความผิดปกติและการกระจายตัวของข้อมูลเวลาในการเคลื่อนที่ในงานลาก (Drag) โดยใช้ปากกาดิจิตอลของนักเรียนอายุ 9-10 ปี





4. การคัดกรองข้อมูลที่มีความผิดปกติและการกระจายตัวของข้อมูลเวลาในการเคลื่อนที่ในงานลาก (Drag) โดยใช้ปากกาดิจิตอลของนักเรียนอายุ 11-12 ปี





ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวภาวรรณ ผิวแดง เกิดเมื่อวันที่ 25 สิงหาคม พุทธศักราช 2530 เป็นคนจังหวัดสุพรรณบุรี สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสงวนหญิง สุพรรณบุรี สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรีในสาขาวิทยาศาสตร์เคมี มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาลัยเขตสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม ในปีการศึกษา 2552 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งนักเคมี บริษัทรับตรวจสินค้าโพ้นทะเลจำกัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University