ผลกระทบจากมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ต่อกระดูกสันหลังของผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์

นางสาวปรารถนา นิรมล

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 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The effect of visual angle and typing speed on spine of computer users

Miss Prattana Niramol

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 2015
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบจากมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ต่อกระดูกสันหลังของผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์
โดย	นางสาวปรารถนา นิรมล
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล)

....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.อริศรา เจียมสงวนวงศ์)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สสิธร เทพตระการพร)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปรารถนา นิรมล : ผลกระทบจากมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ต่อกระดูกสันหลังของผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ (The effect of visual angle and typing speed on spine of computer users) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล, 121 หน้า.

การจัดสถานีการทำงานที่ไม่ถูกหลักการยศาสตร์นั้นเป็นสาเหตุของโรคออฟฟิศซินโดรม โดยเฉพาะขนาดของโต๊ะและเก้าอี้ของสถานีการทำงานที่ส่งผลต่ออาการเจ็บป่วยของร่างกายส่วนบน ตามมาตราฐาน ISO9241(1998) ค่ามุมการมองเห็นที่แนะนำควรอยู่ในช่วง 16-24 MOA อย่างไรก็ตามท่านั่งที่ไม่ถูกหลักการยศาสตร์ไม่ได้มีสาเหตุจากการจัดสถานีการทำงานที่ไม่เหมาะสมเพียงอย่างเดียวแต่ยังมีสาเหตุจากขนาดของตัวอักษรบนจอแสดงผล เพื่อรักษามุมการมองเห็นให้เหมาะสมเมื่อขนาดของตัวอักษรขนาดเล็กจะทำให้ต้องปรับระยะการมองให้ใกล้ขึ้นด้วยการโน้มร่างกายส่วนบนไปข้างหน้าในขณะใช้งานคอมพิวเตอร์ การโน้มร่างกายส่วนบนไปข้างหน้าด้วยระยะเวลานานอาจส่งผลต่อการปวดร่างกายส่วนบนได้แก่ คอและหลัง เป็นต้น นอกจากนั้นการควบคุมอัตราเร็วในพิมพ์ก็มีผลต่อท่านั่งเนื่องจากการโน้มร่างกายส่วนบนไปข้างหน้ามากกว่าการไม่ควบคุมอัตราเร็วในพิมพ์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลกระทบจากการมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ต่อกระดูกสันหลัง โดยมีนักศึกษาในมหาวิทยาลัยเข้าร่วมทำการทดสอบจำนวน 40 คนด้วยขนาดตัวอักษร 3 ขนาด คือ 11, 17 และ 23 MOA ภายใต้การควบคุมแสงสว่างห้อง 400 ลักซ์ จากนั้นให้ผู้เข้าร่วมการทดลองพิมพ์ตัวอักษรแบบควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์และไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์เพื่อหาผลกระทบต่อท่าทางของร่างกายส่วนบน โดยทำการพิมพ์แบบการสุ่มกลุ่มคำภาษาอังกฤษเป็นเวลา 5 นาทีผลของมุมของหลัง คอและศีรษะจะถูกบันทึกในระนาบข้างผ่านระบบ OPTITRACK และกล้องวิดีโอจำนวน 12 ตัว ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าขนาดของตัวอักษรและอัตราเร็วในการพิมพ์นั้นส่งผลอย่างเห็นได้ชัดต่อท่าทางร่างกายส่วนบน โดยมีการเปลี่ยนแปลงมุมของ หลัง คอ และศีรษะ เนื่องจากพฤติกรรมของผู้เข้าร่วมทดลองในการโน้มไปข้างหน้าเพื่อให้ได้มุมการมองเห็นที่เหมาะสมและการพิมพ์แบบควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์เกิดการเปลี่ยนแปลงมุมของ หลัง คอ และศีรษะมากกว่าแบบไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ เนื่องจากเปลี่ยนแปลงมุมหลัง คอและศีรษะจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ทำให้เกิดอาการปวดคอและหลังซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดโรคออฟฟิศซินโดรม ดังนั้นมุมการมองเห็นแนะนำคือ 17-23 MOA ในห้องที่แสงสว่าง 400 ลักซ์ มากไปกว่านั้นไม่แนะนำให้ทำงานในสภาวะควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต ....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก ....

ปีการศึกษา 2558

5770937621 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS: VISUAL ANGLE / ERGONOMIC / OFFICE SYNDROME

PRATTANA NIRAMOL: The effect of visual angle and typing speed on spine of computer users. ADVISOR: PHAIROAT LADAVICHITKUL, Ph.D., 121 pp.

Non-ergonomic workstation is a cause of office syndrome especially the improper dimension of table and chair of computer workstation causes the upper body pain. Based on ISO9241 (1998) the recommended visual angle should be set at 16-24 minute of arc (MOA). However, the non- ergonomic sitting posture is not only caused by the workstation dimension but also the character size display on computer monitor. In order to keep the proper visual angle, the smaller character size causes the closer watching distance by leaning forward the upper body while using the computer. Leaning the upper body for long period may cause the upper body pain such as neck and back. There were 40 subjects from the university students joined in this study. Three character heights on the monitor were initially set at 11, 17 and 23 MOA. The room lighting were controlled at 400 Lux. They used computer by controlled and uncontrolled typing speed to find the effects on the upper body posture. The random sets of English character for 5 minutes and then their back, neck and head angles were recorded in Sagittal plane by OptiTrack system with 12 cameras. The results showed that the character height and typing speed significantly effect on the upper body posture due to back, neck and head angle changed from subject’s behavior that lean forward in order have suitable angle visual angle. Also, work with controlled typing speed causes more change at back, neck and head angles compared to work with uncontrolled typing speed. Consequently, change from back, neck and head angles lead to moment change at neck (C7) and lower body (L5S1) which can be result in back and neck pain. Therefore, the recommended visual angle set up at 17-23 MOA. The room lighting were set at 400 Lux. Moreover, working with controlled typing is not recommended.

Department: Industrial Engineering Student's Signature ....
Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature ....
Academic Year: 2015

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จไม่ได้หากปราศจากคำชี้แนะแนวทางจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล ผู้คอยแนะนำและช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ในระหว่างการศึกษาค้นคว้า นอกจากนั้นยังได้รับคำชี้แนะเพิ่มเติมจากท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ประกอบไปด้วย ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ ดร.อริศรา เจียมสงวนวงศ์และรองศาตราจารย์ ดร.สสิธร เทพตระการพร ทั้งนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูง

ผู้จัดทำงานวิจัยขอขอบพระคุณบุคคลกรทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สำหรับการช่วยเหลือประสานงานต่าง ๆ มาโดยตลอด นอกจากนั้นขอขอบคุนที่เอื้อเฟื้อสถานที่และการสนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์เพื่อใช้ในการทำงานวิจัย นอกจากนั้นขอขอบคุณผู้เข้าร่วมงานวิจัยทุกท่านที่ได้สละเวลามาให้ความช่วยเหลือในด้านการศึกษานำร่องของวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา เพื่อนร่วมงาน หัวหน้างานและผู้ที่ส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุนทั้งเวลา แรงกายและร่วมเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปด้วยดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูป ..... ฐ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่เป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 9
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย 10
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 10
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 10
1.6 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย 10
1.7 ตารางเวลาการดำเนินงาน 11
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13
2.1 หลักการทางชีวกลศาสตร์ 13
2.2 แสงสว่าง 19
2.3 การวัดสายตาและการตรวจจอตา 21
2.4 มุมการมองเห็น 24
2.5 จอแสดงผล 26
2.6 รหัสการมอง 29
2.7 การจัดพื้นที่ในการทำงานคอมพิวเตอร์ตามหลักการยศาสตร์ 31

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.8 เครื่องมือที่ใช้วัดการเคลื่อนไหว 34
2.9 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ 35
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย 38
3.1 ผู้เข้าร่วมงานวิจัย 38
3.2 สถานที่ที่ใช้ในการทดลอง 38
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 39
3.4 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง 42
3.5 หลักการออกแบบทดลอง 44
3.6 วิธีการทดสอบที่เกี่ยวข้องและการดำเนินการ 46
3.7 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ 50
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง 53
4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองของปัจจัยต่าง ๆ 57
4.2 การตรวจสอบการแจกแจงปกติของชุดข้อมูล 58
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง 62
4.4 การวิเคราะห์โมเมนต์ที่บริเวณคอและเอว 81
4.5 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญของการทดลอง 91
4.6 การศึกษาและวิเคราะห์ผลเพิ่มเติม 96
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 100
5.1 สรุปผลการวิจัย 100
5.2 แนวทางการประยุกต์ใช้ผลการวิจัย 100
รายการอ้างอิง 102
ภาคผนวก 107
ภาคผนวก ก. หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมงานวิจัย 108

หน้า

ภาคผนวก ข. วิธีการใช้โปรแกรมสำหรับการพิมพ์ในการเก็บข้อมูล 110
ภาคผนวก ค. ขั้นตอนการเก็บข้อมูลโดยการใช้โปรแกรม Optitack 113
ภาคผนวก ง. ผลการทดลองโมเมนต์บริเวณคอ (C7) และเอว (l5S1) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 115
ภาคผนวก จ. ผลการทดลองโมเมนต์บริเวณคอ (C7) และเอว (l5S1) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น 118
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 121

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 สาเหตุของการปวดกล้ามเนื้อและกระดูก 5

ตารางที่ 1.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย 12

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานพื้นที่ทำงานของลูกจ้างโดยใช้สายตามองเฉพาะจุด 20

ตารางที่ 2.2 ขนาดความสูงของตัวอักษรที่ระดับมุมการมองเห็นต่าง ๆ ที่แนะนำ 25

ตารางที่ 2.3 ช่วงการออกแบบทีแนะนำสำหรับท่านั่งทำงานคอมพิวเตอร์ 31

ตารางที่ 2.4 ประเภทของระบบบันทึกการเคลื่อนไหว 35

ตารางที่ 3.1 รูปแบบตัวอักษรที่ใช้ป้อนในโปรแกรม 42

ตารางที่ 3.2 ตารางบันทึกข้อมูลจากระบบบันทึกการเคลื่อนไหว 49

ตารางที่ 4.1 ตารางการเก็บข้อมูลผู้เข้าร่วมงานวิจัย 54

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 65

ตารางที่ 4.3 สรุปรูปแบบผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 66

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบความแตกต่างระดับปัจจัยมุมการมองเห็นที่มีผลค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอเละศีรษะ 69

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับปัจจัยอัตราเร็วในการพิมพ์ที่มีผลค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอเละศีรษะ 70

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 71

ตารางที่ 4.7 สรุปรูปแบบผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 72

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น 75

ตารางที่ 4.9 สรุปรูปแบบผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น 75

ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบความแตกต่างระดับปัจจัยมุมการมองเห็นที่มีผลค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอเละศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น 78

ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับปัจจัยอัตราเร็วในการพิมพ์ที่มีผลค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอเละศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น 78

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น 80

ตารางที่ 4.13 สรุปรูปแบบผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 80

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างโมเมนต์ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 84

ตารางที่ 4.15 สรุปรูปแบบผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างผลต่างโมเมนต์มุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 84

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างโมเมนต์ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น 89

ตารางที่ 4.17 สรุปแบบผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างผลต่างโมเมนต์มุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น 89

ตารางที่ 4.18 ระดับของปัจจัยนำเข้าสำคัญที่เหมาะสมทั้ง 2 ปัจจัย 92

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างโมเมนต์ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 93

ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างโมเมนต์ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น 95

ตารางที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 97

ตารางที่ 4.22 สรุปรูปแบบผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 98

Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น 99

ตารางที่ 4.24 สรุปรูปแบบผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น 99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการทำงานของคอมพิวเตอร์ 1

รูปที่ 1.2 ปริมาณผู้ใช้คอมพิวเตอร์ระหว่างปี พ.ศ. 2548-2557 2

รูปที่ 1.3 การสำรวจโรคจากการทำงานของพนักงานในสำนักพิมพ์ 3

รูปที่ 1.4 แสดงจุดกดเจ็บ (Trigger Point) ในกล้ามเนื้อ 4

รูปที่ 1.5 แสดงอาการหมอนรองกระดูกกดทับเส้นประสาท 5

รูปที่ 1.6 ร้อยละของอาการของโรคกระดูกและกล้ามเนื้อ 6

รูปที่ 1.7 ตัวอย่างซอฟต์แวร์สำเร็จที่ใช้ทั่วไปในงานสำนักงาน 7

รูปที่ 1.8 ท่าทางการทำงานด้วยท่าทางที่ไม่เหมาะสม 8

รูปที่ 1.9 โมเมนต์ที่กระทำต่อลำตัวส่วนล่าง 9

รูปที่ 2.1 ระบบโครงกระดูก 14

รูปที่ 2.2 กล้ามเนื้อใบหน้าด้านหน้า 15

รูปที่ 2.3 กล้ามเนื้อคอ 15

รูปที่ 2.4 กลามเนื้อส่วนลำตัวด้านหลัง 16

รูปที่ 2.5 สัดส่วนความยาวข้อต่อกับความสูงของร่างกาย 18

รูปที่ 2.6 แผนผังภาพวัตถุอิสระ (Free body diagram) 18

รูปที่ 2.7 ความยาวของคลื่นแสง 19

รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบสำคัญของดวงตา 22

รูปที่ 2.9 แผ่นทดสอบสายตาสเนลเลน (Snellen chart) 22

รูปที่ 2.10 ตัวอักษรบนแผ่นวัดสายตาสเนลเลน (Snellen optotype) 23

รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ของความสูงของตัวอักษรกับระยะห่างของวัตถุที่ห่างจากดวงตา 24

รูปที่ 2.12 ความละเอียดของจอแสดงผล 27

รูปที่ 2.13 มุมการมองภาพ 28

รูปที่ 2.14 ระยะการมองจอแสดงผล 29

รูปที่ 2.15 สัญลักษณ์รหัสที่ใช้ในการเปรียบเทียบ 29

รูปที่ 2.16 การจัดพื้นที่ทำงานตามหลักการยศาสตร์ 31

รูปที่ 2.17 ท่าอ้างอิงในการออกแบบท่านั่ง 32

รูปที่ 2.18 แสดงขนาดของเก้าอี้ที่แนะนำในการออกแบบพื้นที่การทำงาน 33

รูปที่ 3.1 โต๊ะสำหรับวางคอมพิวเตอร์ 39

รูปที่ 3.2 จอแสดงผลสำหรับงานวิจัย 39

รูปที่ 3.3 แป้นพิมพ์สำหรับงานวิจัย 39

รูปที่ 3.4 เก้าอี้นั่งปรับระดับสำหรับงานวิจัย 40

รูปที่ 3.5 หน่วยประมวลผลข้อมูล (Center Processing Unit) 40

รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ถ่ายภาพเคลื่อนไหว 40

รูปที่ 3.7 จอภาพซัมซุง 41

รูปที่ 3.8 โปรแกรมวัดการเคลื่อนไหว 41

รูปที่ 3.9 ลูกบอลวาวแสง 41

รูปที่ 3.10 โปรแกรมทดสอบการพิมพ์ 42

รูปที่ 3.11 แสดงตำแหน่งมุมหลัง (Back Angle) 45

รูปที่ 3.12 แสดงตำแหน่งมุมคอ (Neck Angle) 45

รูปที่ 3.13 แสดงมุมศีรษะ (Head Angle) 45

รูปที่ 3.14 ท่าทางการนั่งและสถานีทำงานในการทดลอง 46

รูปที่ 3.15 ทดสอบสภาพการมองเห็นในการทดลอง 47

รูปที่ 3.16 การตั้งค่าตำแหน่งการนั่งทำงานคอมพิวเตอร์ 48

รูปที่ 3.17 การกำหนดาตำแหน่งการนั่งทำงานคอมพิวเตอร์ 48

รูปที่ 3.18 แผนผังภาพวัตถุอิสระ 51

รูปที่ 3.19 โมเมนต์ที่ตำแหน่งกระดูก 51

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3.20 โมเมนต์ที่ที่ตำแหน่งกระดูกบริเวณเอว 52

รูปที่ 4.1 แผนผังภาพวัตถุอิสระเพื่อใช้ประมาณผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอ........ 57

รูปที่ 4.2 แผนภาพฮีสโตแกรมตัวอย่างของเฟรมสะสมของมุมการมองเห็น........ 58

รูปที่ 4.3 ความน่าจะเป็นผลต่างของค่าเฉลี่ยมุมหลัง 59

รูปที่ 4.4 ความน่าจะเป็นผลต่างของเฉลี่ยมุมคอ........ 59

รูปที่ 4.5 ความน่าจะเป็นผลต่างของเฉลี่ยมุมศีรษะ 59

รูปที่ 4.6 แผนภาพ Box Plot ของผลต่างของค่าเฉลี่ยมุมหลังในระดับปัจจัยมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์........ 60

รูปที่ 4.7 แผนภาพ Box Plot ของผลต่างค่าเฉลี่ยมุมคอในระดับปัจจัยมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์........ 60

รูปที่ 4.8 แผนภาพ Box Plot ของผลต่างค่าเฉลี่ยมุมศีรษะในระดับปัจจัยมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์........ 60

รูปที่ 4.9 ช่วงความเชื่อมั่นผลต่างของค่าเฉลี่ยมุมหลังของสายตาปกติและสายตาสั้นในต่างระดับปัจจัยมุมการมองเห็นเมื่อไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์........ 61

รูปที่ 4.10 ช่วงความเชื่อมั่นผลต่างของค่าเฉลี่ยมุมคอของสายตาปกติและสายตาสั้นในต่างระดับปัจจัยมุมการมองเห็นเมื่อไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์........ 62

รูปที่ 4.11 ช่วงความเชื่อมั่นผลต่างของค่าเฉลี่ยมุมคอของสายตาปกติและสายตาสั้นในต่างระดับปัจจัยมุมการมองเห็นเมื่อไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์........ 62

รูปที่ 4.12 ความน่าจะเป็นปกติของผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลังของผู้เข้าร่วมการทดลอง........ 63

รูปที่ 4.13 ความน่าจะเป็นปกติของผลต่างค่าเฉลี่ยมุมคอ-ศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 64

รูปที่ 4.14 ผลการแปลงข้อมูลของผลต่างค่าเฉลี่ยมุมคอ-ศีรษะจาก Johnson Transformation ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 64

รูปที่ 4.15 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ........ 64

รูปที่ 4.16 อันตรกิริยาระหว่างมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ที่ค่าเฉลี่ยมุมหลังของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 66

รูปที่ 4.17 อันตรกิริยาระหว่างมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ที่ค่าเฉลี่ยมุมคอของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 67

รูปที่ 4.18 อันตรกิริยาระหว่างมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ที่ค่าเฉลี่ยมุมศีรษะผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 67

รูปที่ 4.19 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อค่าเฉลี่ยมุมหลังของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 68

รูปที่ 4.20 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อค่าเฉลี่ยมุมคอของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 68

รูปที่ 4.21แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อค่าเฉลี่ยมุมศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 68

รูปที่ 4.22 ความน่าจะเป็นปกติของมุมเฉลี่ยหลัง คอและศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น . 73

รูปที่ 4.23 ผลการแปลงข้อมูลของมุมเฉลี่ยหลัง คอและศีรษะจาก Johnson Transformation ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น 73

รูปที่ 4.24 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของมุมหลัง คอและศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น 74

รูปที่ 4.25 อันตรกิริยาระหว่างมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ที่ค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น 76

รูปที่ 4.26 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อค่าเฉลี่ยมุมหลังของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น 77

รูปที่ 4.27 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อค่าเฉลี่ยมุมคอของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น 77

รูปที่ 4.28 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อค่าเฉลี่ยมุมศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น 77

รูปที่ 4.29 แผนภาพอิสระ (Free Body Diagram) แสดงการเปลี่ยนแปลงมุมหลัง คอและศีรษะ.... 81

รูปที่ 4.30 ความน่าจะเป็นปกติของผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 82

รูปที่ 4.31 ผลการแปลงข้อมูลของผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) จาก Johnson Transformation ผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 83

รูปที่ 4.32 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองของโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.33 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อของโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) ผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 85

รูปที่ 4.34 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อของโมเมนต์ที่บริเวณเอว (L5S1) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ...... 85

รูปที่ 4.35 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ที่บริเวณคอและเอว (%) ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 86

รูปที่ 4.36 แผนภาพความน่าจะเป็นปกติของผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น...... 87

รูปที่ 4.37 ผลการแปลงข้อมูลของผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) จาก Johnson Transformationของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น...... 88

รูปที่ 4.38 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองของโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น...... 88

รูปที่ 4.39 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อของโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) ผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น...... 90

รูปที่ 4.40 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อของโมเมนต์ที่บริเวณเอว (L5S1) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น 90

รูปที่ 4.41 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ที่บริเวณคอและเอว (%) ของผู้เข้าร่วมการทดลอง 91

รูปที่ 4.42 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อและอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นของโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ 92

รูปที่ 4.43 ผลการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Response Optimization) ของผู้เข้าร่วมการทดลอง..... 93

รูปที่ 4.44 Response Optimization Plot ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้นโดยโปรแกรม Minitab 94

รูปที่ 4.45 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อและอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นของโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น...... 95

รูปที่ 4.46 ผลการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Response Optimization) ของผู้เข้าร่วมการทดลอง..... 96

รูปที่ 4.47 Response Optimization Plot ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้นโดยโปรแกรม Minitab 96

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

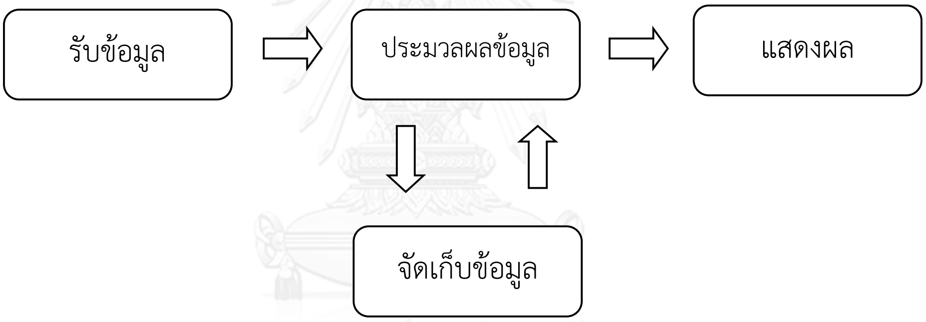
รูปที่ 5.1 ท่านั่งแนะนำสำหรับมุมการมองเห็นที่เหมาะสม 101

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่เป็นมาและความสำคัญ

คอมพิวเตอร์ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในประเทศอุตสาหกรรมทั้งในภาครัฐ ครัวเรือน การบริการและการศึกษา เป็นต้นดังนั้นคอมพิวเตอร์จึงเป็นอุปกรณ์มีบทบาทในการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ เนื่องจากความสามารถของคอมพิวเตอร์ที่หลากหลายแบบทั้งการคำนวณและประมวลผลข้อมูลโดยระบบคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานหลัก 4 ขั้นตอนได้แก่ หน่วยรับข้อมูล (Input Unit), หน่วยประมวลผลข้อมูล (Central Processing Unit), หน่วยจัดเก็บข้อมูล (Memory Unit), หน่วยแสดงผล (Output Unit) รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการทำงานของคอมพิวเตอร์ (อิทธิเชษฐ์ ศรีลานนท์, 2554)



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการทำงานของคอมพิวเตอร์
(อิทธิเชษฐ์ ศรีลานนท์, 2554)

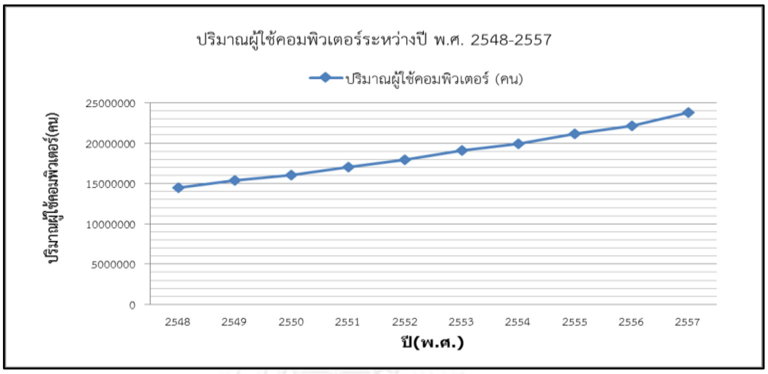
หน่วยรับข้อมูล (Input Unit) คือการรับข้อมูลหรือคำสั่งจากภายนอกไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ (Memory) เพื่อเตรียมประมวลผลข้อมูล (Center Processing) ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับข้อมูลได้แก่ เม้าส์ (Mouse) และแป้นพิมพ์ (Keyboard) เป็นต้น

หน่วยประมวลผลข้อมูล (Central Processing Unit) คือการดำเนินการคำนวณและการประมวลผลคำสั่งตามโปรแกรมที่กำหนดและส่งให้ส่วนอื่น ๆ

หน่วยจัดเก็บข้อมูล (Memory Unit) คือการเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำหลัก (Main Memory) เป็นหน่วยความจำที่มีอยู่ในตัวเครื่องคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ในการเก็บคำสั่ง ได้แก่ หน่วยความจำอ่านเพียงอย่างเดียวและหน่วยความจำเข้าถึงโดยสุ่มและหน่วยเก็บข้อมูลสำรอง เช่น แผ่นซีดี ยูเอสบี เป็นต้น

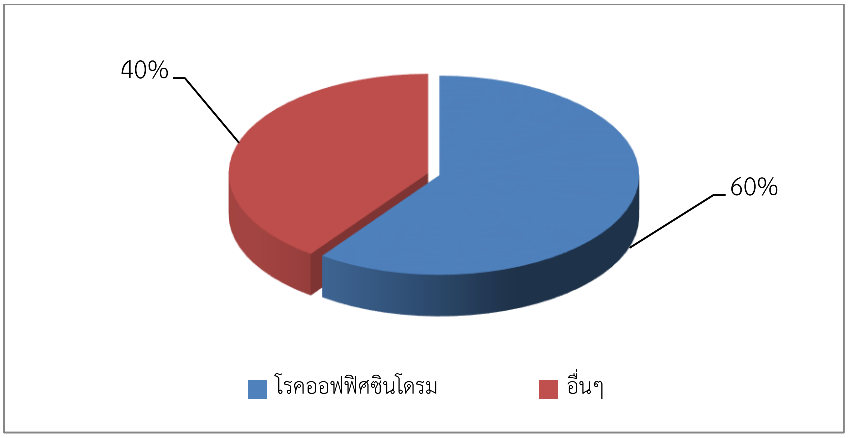
หน่วยแสดงผล (Output Unit) คือ การแสดงผลลัพธ์ภายหลังจากการประมวลผล โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการแสดงผลข้อมูลได้แก่จอภาพ เครื่องพิมพ์ เป็นต้น

จากอดีตจนถึงปัจจุบันพบว่าจำนวนผู้ใช้คอมพิวเตอร์มีจำนวนเพิ่มอย่างต่อเนื่องจากข้อมูลสถิติการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารในครัวเรือนช่วงปีพ.ศ. 2548-2557 ดังรูปที่ 1.2 แสดงถึงจำนวนผู้ใช้คอมพิวเตอร์พบว่าปริมาณการใช้คอมพิวเตอร์ในช่วงปีพ.ศ.2548-2557 มีแนวโน้มการเพิ่มของจำนวนผู้ใช้สูงมากขึ้นจาก 14,450,070 คนในระหว่างปี พ.ศ.2548 เป็น 23,771,341 คนในระหว่างปี พ.ศ.2557



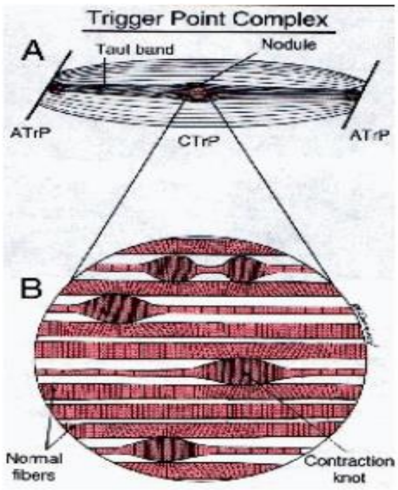
รูปที่ 1.2 ปริมาณผู้ใช้คอมพิวเตอร์ระหว่างปี พ.ศ. 2548-2557
(สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2558)

จากรูปที่ 1.3 พบว่าปริมาณผู้ใช้คอมพิวเตอร์มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยการใช้งานคอมพิวเตอร์เป็นระยะเวลามากกว่า 5 ชั่วโมงต่อวันด้วยท่าทางที่ไม่เหมาะสมเช่น การนั่งงอคอหรือไหล่ และยกแขนขณะนั่งพิมพ์งานทำให้กล้ามเนื้อที่คอและไหล่ทำงานหนักมากขึ้น เป็นต้น ดังนั้นมนุษย์จึงมีความเสี่ยงที่จะเกิดโรคจากทำงานในกลุ่มโรคกระดูกและกล้ามเนื้อ โดยมีสาเหตุมาจากการจัดสภาพแวดล้อมในการทำงานไม่เหมาะสม การทำงานด้วยท่าทางที่ไม่เหมาะสมและการทำงานที่ใช้แรงเกินขอบเขตความสามารถของร่างกาย(กระทรวงแรงงาน, 2549) จากการสำรวจพนักงานในสำนักพิมพ์แห่งหนึ่งของประเทศไทยจำนวน 400 คนพบว่าร้อยละ 60 มีภาวะโรคออฟฟิศซินโดรมและร้อยละ 40 พบกลุ่มอาการโรคอื่น ๆ



รูปที่ 1.3 การสำรวจโรคจากการทำงานของพนักงานในสำนักพิมพ์
(ผู้จัดการออนไลน์, 2557)

ภาวะโรคออฟฟิศซินโดรมมักเกิดในกลุ่มคนทำงานออฟฟิศเนื่องจากสภาวะแวดล้อมการทำงานไม่เหมาะสม โดยเฉพาะการนั่งทำงานตลอดเวลาโดยไม่เคลื่อนไหวร่างกายนั้นจะก่อให้เกิดอาการปวดกระดูกและกล้ามเนื้อเช่นไหล่ บ่า แขน ข้อมือ เป็นต้นการใช้งานคอมพิวเตอร์หลายชั่วโมงต่อวัน การอดอาหาร การพักผ่อนไม่เพียงพอกลุ่มโรคออฟฟิศสามารถแบ่งออกเป็น 10 โรคได้แก่ นิ่วในถุงน้ำดี กระเพาะปัสสาวะอักเสบ โรคเครียดนอนไม่หลับ ความดันโลหิตสูง กรดไหลย้อน โรคปวดหลังเรื้อรัง ไมเกรนปวดศีรษะเรื้อรัง ความดันโลหิตสูง มือชาเอ็นอักเสบนิ้วล็อก และต้อหินตาพร่ามัว เป็นต้นจากกลุ่มอาการของโรคที่กล่าวมาการนั่งทำงานคอมพิวเตอร์ในท่าทางที่ไม่เหมาะส่งผลให้เกิดโรคปวดกล้ามเนื้อเรื้อรัง (Myofascial pain syndrome) คือภาวะที่มีการปวดกล้ามเนื้อเฉพาะส่วน (Regional muscle pain) ใยกล้ามเนื้อหรือเยื่อพังผืดหดเกร็ง (Contraction knot) สะสมต่อเนื่องกันเกิดเป็นก้อนขนาด 2-3 มิลลิเมตรเรียกว่าจุดกดเจ็บ (Trigger point) ดังรูปที่ 1.4 แสดงจุดกดเจ็บ (Trigger point) ในกล้ามเนื้อทำให้ออกซิเจนและเลือดไปเลี้ยงกล้ามเนื้อไม่พอทำให้เกิดอาการปวดส่งต่อไปยังบริเวณใกล้เคียงจนกลายเป็นอาการปวดเรื้อรัง (Simmons & Travell, 1952) โดยเฉพาะบริเวณ คอ บ่า ไหล่ สะบัก หลังและบริเวณส่วนอื่นของร่างกาย (Fricton, Kroening, Haley, & Siegert, 1985) ดังนั้นการนั่งทำงานคอมพิวเตอร์ในท่าที่ไม่เหมาะสมเช่น นั่งหลังงอ การขาดการออกกำลังกาย เป็นต้น



รูปที่ 1.4 แสดงจุดกดเจ็บ (Trigger Point) ในกล้ามเนื้อ

(Simons, Travell, & Simons, 1999)

การทำงานคอมพิวเตอร์เป็นการออกแรงต่ำด้วยท่าทางที่คงที่เป็นระยะเวลานาน (Carter & Banister, 1994) มือและแขนจะเคลื่อนไหวแบบช้า ๆ ในระหว่างที่ทำงานแป้นพิมพ์แขน คอและไหล่ กล้ามเนื้อส่วนดังกล่าวจะถูกใช้งานแบบคงที่เพื่อรักษาจุดสมดุลศีรษะและมือ โดยทั่วไปการทำงานของคอมพิวเตอร์จะต้องอาศัยการมองระยะใกล้และต้องมีความชำนาญในการใช้งานอย่างมาก การเคลื่อนไหวของร่างกายน้อยมากการกำหนดพื้นที่การทำงานที่ไม่เหมาะสมทำของการทำงานทำให้ต้องงอคอหรือไหล่และยกแขนซึ่งจะทำให้กล้ามเนื้อที่คอและไหล่ทำงานหนักขึ้น ท่าทางของไหล่ที่ไม่เหมาะสมกับการทำงานของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระยะเวลานานอาจเป็นปัจจัยเสี่ยงสำหรับคอและไหล่ (Chaffin, 1973; Hagberg, 1981; Kadefors, Petersen, & Herberts, 1976; Viikari-Juntura, 1999) นอกจากนั้นของอาการเจ็บป่วยและความรู้สึกไม่สบายของร่างกาย พบมากในกลุ่มคนทำงาน โดยเฉพาะอาการปวดหลังส่วนล่าง (Burdorf, van Riel, & Brand, 1997) ซึ่งเกิดจากนั่งทำงานด้วยอิริยาบถที่ไม่ถูกต้องเป็นระยะเวลานาน อาจเกิดอาการบาดเจ็บที่กระดูกสันหลังส่วนบนอันก่อเกิดอาการหมอนรองกระดูกกดทับเส้นประสาทดังรูปที่ 1.5 แสดงอาการหมอนรองกระดูกกดทับเส้นประสาท (สถาบันกระดูกสันหลังบำรุงราษฎร์, 2558)

รูปที่ 1.5 แสดงอาการหมอนรองกระดูกกดทับเส้นประสาท
(สถาบันกระดูกสันหลังบำรุงราษฎร์, 2558)

โรคกระดูกและกล้ามเนื้อ(Musculoskeletal system) คือระบบอวัยวะที่รวมเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อ เส้นเอ็น และหลอดเลือดเลี้ยงเนื้อเยื่อกระดูก เยื่อหุ้มข้อกระดูก ข้อกระดูกและหมอนกระดูกสันหลัง จากการสำรวจโรคกระดูกและกล้ามเนื้อจากการประกอบอาชีพโดยการติดตามผู้ประกอบอาชีพต่าง ๆ โดยมีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อและกระดูกจากการทำงาน พบว่าร้อยละ 50.5 มีอาการปวดเมื่อยภายใน 30 วัน เพศหญิงมีอาการปวดเมื่อยมากกว่าเพศชายร้อยละ 52.3 และร้อยละ 48.8 ตามลำดับ เมื่อมีอายุสูงขึ้นพบว่ามีอาการปวดเมื่อยเพิ่มขึ้นได้แก่ บริเวณหลังส่วนล่าง ร้อยละ 6.3 หัวเข่าร้อยละ 4.8 และบริเวณไหล่ร้อยละ 3.3 โดยผู้ประกอบอาชีพคิดว่าสาเหตุเกิดจากการทำงานติดต่อกันในท่าทางเดิม ๆ มากที่สุดร้อยละ 78.1 ท่าทางการทำงานไม่เหมาะสมร้อยละ 50.3 และยกของหนักเกิน 25 กิโลกรัมร้อยละ 49.2 (กรมควบคุมโรค, 2558)

ตารางที่ 1.1 สาเหตุของการปวดกล้ามเนื้อและกระดูก

สาเหตุของการปวดกล้ามเนื้อและกระดูก	รวม (ร้อยละ)	ชาย (ร้อยละ)	หญิง(ร้อยละ)
1.ท่าทางที่ไม่เหมาะสม/ท่าทางที่ผิดธรรมชาติ	50.3	51.7	48.7
2.ทำงานติดต่อกันในท่าเดิมซ้ำ ๆนานเกิน 1-2 ชม.	78.1	77.4	78.7
3.ยกของหนักเกิน 25 กิโลกรัมด้วยตัวคนเดียว	49.2	58.2	40.4
สาเหตุของการปวดกล้ามเนื้อและกระดูก	รวม (ร้อยละ)	ชาย (ร้อยละ)	หญิง(ร้อยละ)

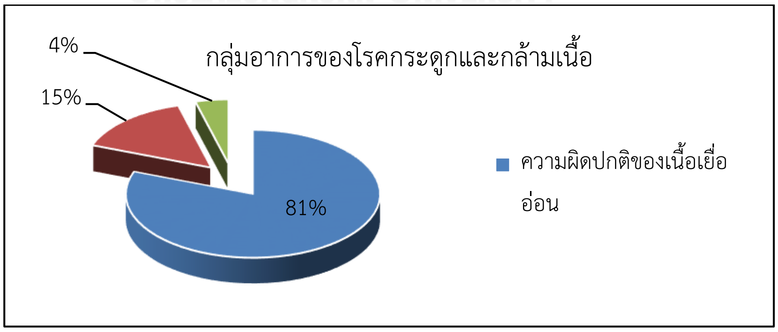
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.สภาพแวดล้อมการทำงานไม่เหมาะสม เช่น พื้นที่คับแคบ แสง เสียง อุณหภูมิไม่เหมาะสม	13.0	12.9	13.2
5.ลักษณะการทำงานไม่เหมาะสม เช่น ทำงานด้วยจังหวะที่รวดเร็วเกินกว่าตนเองควบคุมได้	19.7	20.0	19.5

ภาวะผิดปกติของกระดูกและกล้ามเนื้อมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัยเช่น ปัจจัยตัวบุคคลเช่น เพศ, อายุ, โรคประจำตัว เป็นต้น ปัจจัยจากการทำงานและสภาพแวดล้อมที่พบในการทำงาน เช่น งานยกของหนัก สภาพแวดล้อมในการทำงาน (ผู้จัดการออนไลน์, 2557) การใช้งานคอมพิวเตอร์ต่อเนื่องวันละ 8 ชั่วโมง เป็นต้น ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคกระดูกและกล้ามเนื้อได้เช่นกัน ปัจจุบันยังไม่มีมีเกณฑ์ที่แน่นอนในการแยกสาเหตุของโรคในกลุ่มนี้ว่าเกิดจากการทำงาน สำหรับประเทศไทยกระทรวงแรงงานได้ประกาศยอมรับให้โรคในกลุ่มนี้จัดอยู่ในรายการโรคจากการประกอบอาชีพตั้งแต่ปีพ.ศ. 2550 (ผู้จัดการออนไลน์, 2558)

จำนวนผู้ป่วยโรคกระดูกและกล้ามเนื้อที่เข้ามารับการรักษาร้อยละ 81 พบว่ามีอาการผิดปกติของเนื้อเยื่ออ่อน ร้อยละ15 พบว่ามีอาการผิดปกติที่บริเวณหลังและร้อยละ 5 มีความผิดปกติที่ข้อดัง รูปที่ 1.6 พบว่าโรคกระดูกและกล้ามเนื้อจะมีอาการปวดหลังและปวดคอ ทำให้เกิดอาการหดและเกร็งของกล้ามเนื้ออยู่ตลอดเวลาหากมีอาการเหล่านี้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อาจมีความเสี่ยงของการเกิดโรคกระดูกและกล้ามเนื้อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

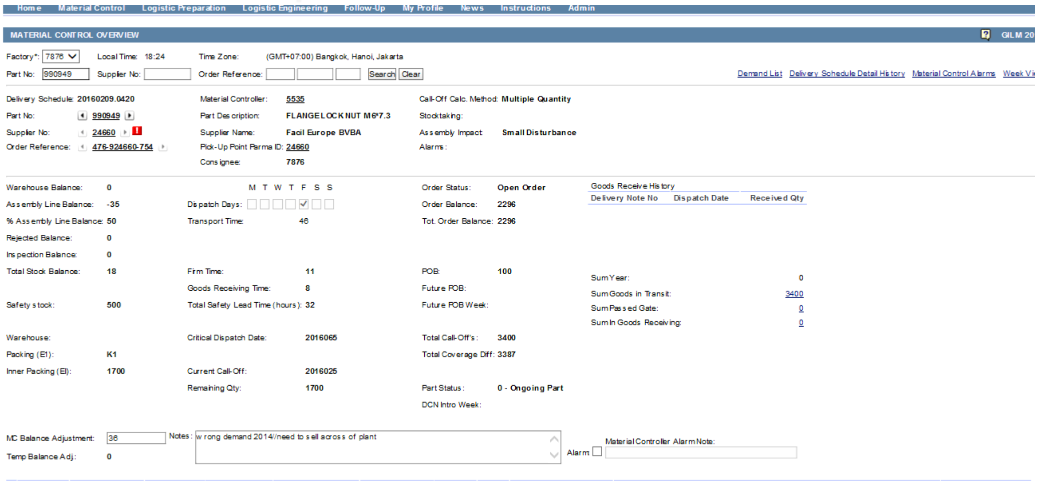


รูปที่ 1.6 ร้อยละของอาการของโรคกระดูกและกล้ามเนื้อ

(กรมควบคุมโรค, 2557)

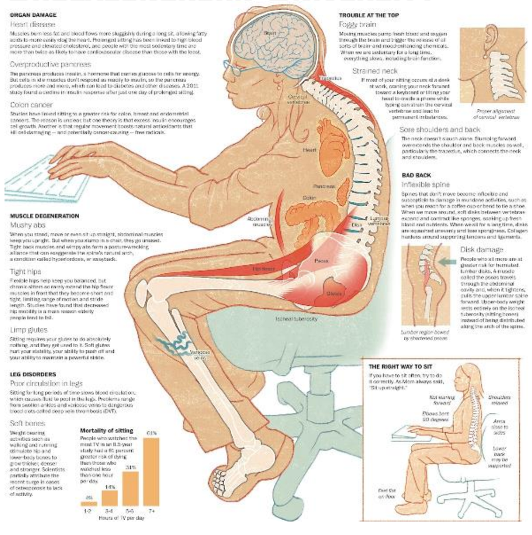
จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะมุ่งศึกษาเรื่องของการใช้แรงในการทำงานเช่นการเคลื่อนย้ายวัสดุที่มีน้ำหนักมากโดยมีผลกระทบต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง (กาญจนา หลวงโปธา, 2556) หรือการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในงานคอมพิวเตอร์ให้ถูกการยศาสตร์เช่น เก้าอี้ เม้าส์และคีย์บอร์ด เป็นต้น

นอกนั้นการจัดพื้นที่ทำงานให้ถูกหลักตามหลักการยศาสตร์เพื่อใช้ทำงานคอมพิวเตอร์จะเพิ่มสมรรถภาพการทำงานแต่ปัญหาโรคกระดูกและกล้ามเนื้อก็ยังพบในกลุ่มคนทำงานสำนักงาน งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาปัจจัยมุมการมองเห็นที่ระดับแตกต่างกัน โดยอ้างอิงขนาดความสูงของตัวอักษรจากซอฟต์แวร์สำเร็จที่ใช้ในการทำงานสำนักงาน ดังรูปที่ 1.7 ตัวอย่างซอฟต์แวร์สำเร็จ โดยสำนักงานทั่วไปมักจะใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จในการช่วยทำงานคอมพิวเตอร์ซึ่งซอฟต์แวร์ที่ถูกเลือกใช้งานมากที่สุดคือซอฟต์แวร์ที่ใช้ตัวอักษรในการพิมพ์ โดยความเหมาะสมของตัวอักษรที่แนะนำในการใช้งานบนจอคอมพิวเตอร์คือกลุ่มซานเซอรีฟ-แอเรล (Sans Serif- Arial) เนื่องจากเป็นประเภทตัวอักษรแบบลบเหลี่ยมทำให้มีความคมชัดดังนั้นผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์จะมีความถูกต้องและความเร็วในการอ่านประเด็นที่น่าสนใจคือขนาดตัวอักษรที่ใช้โดยทั่วไปจะมีขนาดตัวอักษรบนหน้าจอแสดงผลเท่ากับ 9 จุด 10 จุด และ 12 จุด (Bernard, Chaparro, Mills, & Halcomb, 2003) เป็นตัวอักษรพิมพ์เล็กและพิมพ์ใหญ่ของตัวอักษรภาษาอังกฤษ นอกจากนั้นขนาดตัวอักขระที่ใช้ในการอ่านหัวเรื่องเท่ากับ 14 จุด (Kingery & Furuta, 1997) จากงานวิจัยดังกล่าวสามารถวัดความสูงตัวอักษรได้เท่ากับ 2.1 2.6 3.2 และ 4 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งความความแตกต่างของขนาดความสูงตัวอักษรจะส่งผลต่อมุมการมองเห็น ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความสูงของวัตถุกับระยะห่างของวัตถุที่ห่างจากดวงตามีหน่วยเป็นลิปดา (Minute of Arc: MOA) โดย 1 ลิปดาเท่ากับ 1/60 องศาการใช้งานคอมพิวเตอร์ในสำนักงานทั่วไปแนะนำช่วงมุมการมองเห็นที่เหมาะสมคือ 16-24 ลิปดา (MOA) (ISO9241, 1998) อย่างไรก็ตามการทำงานคอมพิวเตอร์โดยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จ ผู้ใช้งานต้องใช้มุมการมองเห็นในระดับต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน เนื่องจากตัวอักษระที่ปรากฎบนจอแสดงผลมีขนาดความสูงตัวอักษรที่ไม่เท่ากัน



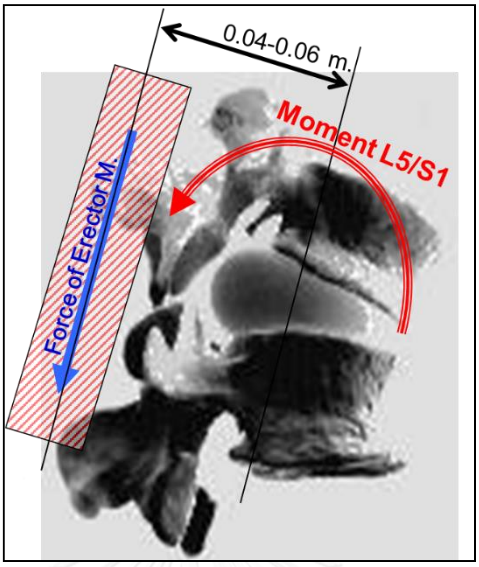
รูปที่ 1.7 ตัวอย่างซอฟต์แวร์สำเร็จที่ใช้ทั่วไปในงานสำนักงาน

ซอฟต์แวร์สำเร็จที่ใช้ทั่วไปในงานสำนักงานมีขนาดความสูงของตัวอักษรที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการทำงานตลอด 8 ชั่วโมงการทำงานผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ต้องใช้มุมการเห็นในระดับที่แตกต่างกัน ดังนั้นหากระยะการมองเท่าเดิมแต่ความสูงของตัวอักษรเพิ่มขึ้นหรือลดลง ส่งผลให้ระดับมุมการมองเห็นไม่เท่ากัน ดังนั้นท่าทางการทำงานอาจโน้มหรือเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการทำงานได้รวดเร็วข้อมูลที่ใช้ต้องมีความชัดเจน (Shannon, 1948) ในทางตรงกันข้ามความสูงของตัวอักษรเท่ากับ 2.1 2.6 3.2 และ 4 มิลลิเมตรมีความแตกต่างกัน โดยขนาดตัวอักษรที่มีค่ามากที่สุดจะมีความชัดเจนกว่าขนาดตัวอักษรที่มีความสูงน้อยที่สุด ดังนั้นการพิมพ์งานต้องงอคอหรือไหล่ทำให้กล้ามเนื้อที่คอและไหล่ทำงานหนักมากขึ้น การโน้มตัวไปข้างหน้าเพื่อให้ได้ระดับมุมการมองเห็นที่ต้องการในการทำงาน ดังรูปที่ 1.8 แสดงท่าทางการทำงานด้วยท่าทางที่ไม่เหมาะสมเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดการหดและเกร็งของกล้ามเนื้อด้วยระยะเวลาที่นานหรือมากกว่าปกติในระยะยาวจะทำให้เกิดการปวดกล้ามเนื้อเรื้อรัง นอกจากนั้นท่าทางที่เปลี่ยนไปจะทำให้โครงสร้างกระดูกสันหลังของร่างกายส่วนบนปรับเปลี่ยนตามท่าทางการนั่ง ซึ่งจะส่งผลให้เกิดภาระที่กระดูกสันหลังบริเวณคอและหลังอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ ดังรูปที่ 1.9 โมเมนต์ที่กระทำต่อลำตัวส่วนล่าง นอกจากระดับมุมการเห็นที่มีผลต่อท่างทางการนั่งพิมพ์งาน ความรีบเร่งในการการทำงานในสังคมปัจจุบันยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สนใจศึกษาเนื่องจากการทำงานที่เวลาเป็นตัวเร่งทำให้เกิดอัตราเร็วในการพิมพ์เพิ่มขึ้นภายใต้การควบคุมการทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงท่าทางและโครงสร้างกระดูกสันหลังของร่างกาย



รูปที่ 1.8 ท่าทางการทำงานด้วยท่าทางที่ไม่เหมาะสม

(Berkowitz & Clark, 2014)



รูปที่ 1.9 โมเมนต์ที่กระทำต่อลำตัวส่วนล่าง

(ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล, 2558)

จากที่กล่าวมามุมการมองเห็นคือความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความสูงของวัตถุกับระยะห่างของวัตถุที่ห่างจากดวงตา หากระยะการมองเท่าเดิมแต่ความสูงของตัวอักขระเพิ่มขึ้นหรือลดลง มีผลให้ระดับมุมการมองเห็นเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อเพื่อประเมินผลกระทบของมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการทำงานต่อกระดูกสันหลังของผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดระดับมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์เป็นตัวแปรอิสระและตัวแปรตามคือระยะของวัตถุที่ห่างจากดวงตา ภายใต้ตัวแปรควบคุมคือการออกแบบพื้นที่การทำงานตามหลักการยศาสตร์ และวัดผลจากมุมหลัง คอและศีรษะเป็นค่าการตอบสนอง (Response) นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ยังทำการศึกษาโมเมนต์ที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนคอ (C7) และกระดูกบริเวณเอว (L5S1) อันเนื่องมาจากเปลี่ยนแปลงมุมหลัง คอและศีรษะ ผลลัพธ์จากการทดลองจะนำไปสู่ข้อแนะนำในการใช้มุมการมองเห็นในการทำงานคอมพิวเตอร์

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อประเมินผลกระทบของมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในพิมพ์ต่อกระดูกสันหลัง

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

1.3.1 กระดูกสันหลังได้แก่ มุมหลัง คอและศีรษะ ที่ระดับต่าง ๆ ของปัจจัยมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในพิมพ์แตกต่างกัน

1.3.2 โมเมนต์บริเวณคอและหลัง ที่ระดับต่าง ๆ ของปัจจัยมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในพิมพ์แตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 งานวิจัยนี้ประเมินผลทางชีวกลศาสตร์โดยการวัดมุมและโมเมนต์ของกระดูกสันหลังส่วนบนโดยมุมที่ใช้ทดสอบได้แก่ มุมหลัง คอและศีรษะ

1.4.2 งานวิจัยนี้อธิบายความเสี่ยงของผลกระทบของมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในพิมพ์ที่มีผลต่อกระดูกสันหลังในผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์เท่านั้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพื่อใช้ออกแบบขนาดตัวอักษรให้สอดคล้องกับระยะห่างการพิมพ์เพื่อลดความเสี่ยงการเกิดโรคออฟฟิศซินโดรมของผู้ใช้คอมพิวเตอร์

1.5.2 เพื่ออธิบายผลกระทบของมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในพิมพ์ที่มีผลต่อความปลอดภัย (Safety) ของร่างกายส่วนบน

1.5.3 เพื่ออธิบายผลกระทบของมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในพิมพ์ที่มีผลต่อความปลอดภัย (Safety) ของร่างกายส่วนบน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.6 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

1.6.1 ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยมุมการมองเห็นต่อร่างกายส่วนบนของผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์

1.6.2 กำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย เป้าหมาย ตัวชี้วัดและระยะเวลาดำเนินงานวิจัย

1.6.3 เก็บข้อมูลและวิเคราะห์สภาพปัญหาที่เกิดขึ้น

1.6.4 ออกแบบและกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

1.6.5 ดำเนินการทดลองกับผู้เข้าร่วมการทดลองตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในเบื้องต้น

1.6.6 วิเคราะห์โดยนำข้อมูลที่ได้มาใช้เครื่องมือทางสถิติวิเคราะห์ผลและประเมินผลที่ได้จาการทดลอง

1.6.7 สรุปผลในการศึกษาและข้อเสนอแนะ โดยการสรุปผลต้องนำข้อมูลจากบทวิเคราะห์มาสรุปผล

1.6.8 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์โดยรวบรวมเนื้อหาทั้งหมดมาจัดทำเป็นรูปเล่ม

1.7 ตารางเวลาการดำเนินงาน

ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัยใช้เวลาทั้งหมด 11 เดือน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2558 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2559 มีรายละเอียด ดังตารางที่ 1.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 1.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

ลำดับ	ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปี 2558					ปี 2559					
		ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1	ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง											
2	กำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์											
3	จัดทำโครงร่างการวิจัย											
4	เสนอโครงการวิจัยเพื่อรับการพิจารณาจากบัณฑิตวิทยาลัย											
5	ดำเนินการทดลองกับผู้เข้าร่วมการทดลอง											
6	ประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ											
7	สรุปผลและนำเสนอข้อเสนอแนะ											
8	จัดทำรูปเล่มของวิทยานิพนธ์											

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้จัดทำเพื่อศึกษาผลกระทบเบื้องต้นของมุมการมองเห็นที่มีผลต่อท่าทางร่างกายส่วนบนของผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ โดยมีการรวบรวมองค์ความรู้ด้านต่างมาใช้ทำการศึกษางานวิจัย โดยมีทั้งเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. หลักการทางชีวกลศาสตร์
2. แสงสว่าง
3. การวัดระดับสายตา
4. มุมการมองเห็น
5. จอแสดงผล
6. รหัสการมอง
7. การจัดพื้นที่ในการทำงานคอมพิวเตอร์ตามหลักการยศาสตร์
8. เครื่องมือที่ใช้วัดการเคลื่อนไหว
9. การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

2.1 หลักการทางชีวกลศาสตร์

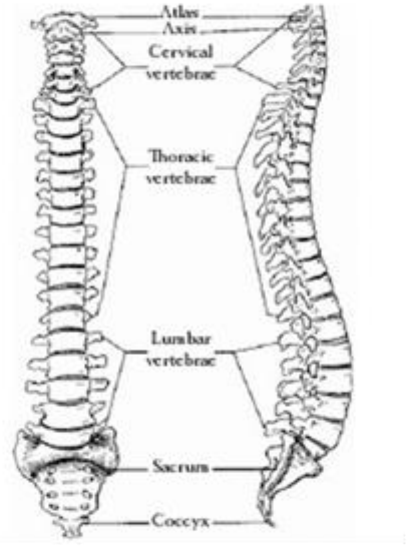
หลักการทางชีวกลศาสตร์คือคุณสมบัติทางกลของสิ่งมีชีวิต โดยนำกฎทางฟิสิกส์มาประยุกต์เข้าร่วมกับหลักการทางวิศวกรรม เพื่อใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์เรื่องของแรงเละการเคลื่อนไหวส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเพื่อลดความเสี่ยงของปัญหาการบาดเจ็บโครงกระดูกและกล้ามเนื้อ อีกทั้งการปรับปรุงทางหลักชีวกลศาสตร์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน โดยการนำหลักชีวกลศาสตร์มาใช้ในการออกแบบงานเพื่อหาภาระงานหรือแรงที่กระทำต่อร่างกายส่วนบนและควบคุมไม่ให้ร่างกายทำงานภายใต้ภาระที่สูงเกินไปและลดปัญหาการบาดเจ็บของร่างกาย เป็นต้น โดยงานวิจัยนี้จะสนใจศึกษาระบบโครงกระดูกและเนื้อเยื่อของร่างกายส่วนบนมีส่วนประกอบ 6 ส่วนสำคัญดังนี้

2.1.1 กระดูก (Bone) คืออวัยวะที่แข็งแรงเชื่อมต่อเป็นโครงสร้างค้ำจุนร่างกายงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาโครงสร้างกระดูกสันหลังส่วนบนโดยมีรายละเอียดดังนี้

- กระดูกสันหลังส่วนคอ (Cervical vertebrae) มีกระดูกจำนวนทั้งหมด 7 ชิ้น เรียงตามลำดับตั้งแต่บนลงล่าง โดยมีแผ่นกระดูกอ่อนอยู่ระหว่างกระดูกสันหลังแต่ละชิ้น หน้าที่คือรับน้ำหนักของศีรษะและปกป้องเส้นประสาทซึ่งนำข้อมูลรับความรู้สึกและสั่งการจากสมองลงไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย นอกจากนี้คอยังมีความยืดหยุ่นซึ่งทำให้สามารถหมุนและงอได้ในหลายทิศทาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- กระดูกสันหลังส่วนอก (Thoracic vertebrae) มีกระดูกจำนวนทั้งหมด 12 ชิ้นมีจุดเชื่อมต่อสำหรับกระดูกซี่โครงซึ่งเป็นโครงร่างสำคัญของช่องอก
- กระดูกสันหลังส่วนบั้นเอว (Lumber vertebrae) มีกระดูกจำนวนทั้งหมด 5 ชิ้นอยู่ในช่วงเอวและมีขนาดใหญ่ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักของร่างกายท่อนบน มีจุดเกาะของกล้ามเนื้อที่เป็นผนังทางด้านหลังของช่องท้อง
- กระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ (Sacral vertebrae) มีกระดูกจำนวนทั้งหมด 5 ชิ้นเรื่องต่อเป็นชิ้นเดียวกันและต่อกับกระดูกเชิงกราน (Pelvic bone) โดยจะมีช่องเปิด (Sacral foramina) เพื่อเป็นทางผ่านของเส้นประสาทที่ไปยังบริเวณเชิงกรานและขา
- กระดูกสันหลังส่วนก้นกบ (Coccygeal vertebrae) มีกระดูกจำนวนทั้งหมด 4 ชิ้นจะเชื่อมเป็นกระดูกชิ้นเดียวกันกลายเป็นกระดูกรูปสามเหลี่ยมที่ปลายด้านล่างสุด

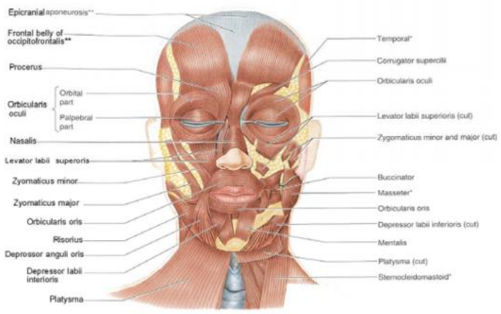


รูปที่ 2.1 ระบบโครงกระดูก

(Jenkins, 2008)

2.1.2 กล้ามเนื้อทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของร่างกายโดยมีคุณสมบัติการหดตัวของใยกล้ามเนื้อ ทำให้กระดูกและข้อต่อมีการเคลื่อนไหวสัมพันธ์กันของกระดูกและข้อต่อจะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของอวัยวะภายในร่างกายเช่น การเต้นของหัวใจ การบีบตัวของกระเพาะอาหาร ลำไส้และการทำงานของปอด เป็นต้น ประเภทของกล้ามเนื้อประกอบไปด้วย กล้ามเนื้อใบหน้าคือกล้ามเนื้อใต้ผิวหนัง (Subcutaneous tissue) ทำหน้าแสดงที่แสดงความรู้บนใบหน้าเช่น ความรู้สึกดีใจและอาการทางสีหน้า เป็นต้น โดยกล้ามเนื้อใช้แสดงความรู้สึกของใบหน้า (Muscle of facial Expression) ได้แก่กล้ามเนื้อฟรอนทาลิส (Fontalis) อยู่บริเวณหน้าผากทำหน้าที่ยกคิ้วขึ้นลง ย่น

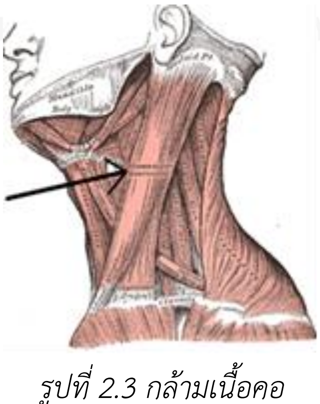
หน้าผาก กล้ามเนื้อนาซาลิส (Nasalis) ทำหน้าที่หุบปีกจมูกและดมกลิ่น กล้ามเนื้อคอร์รูเกเตอร์ซูเปอร์ซิลิไอ (Corrugator supercilii) ทำหน้าที่ในการขมวดคิ้วและครุ่นคิด เป็นต้น (Oota & Saitou, 1999)



รูปที่ 2.2 กล้ามเนื้อใบหน้าด้านหน้า

(Moore & Dalley)

กล้ามเนื้อคอคือกล้ามเนื้อที่อยู่ในส่วนนอกของลำคอเป็นกล้ามเนื้อมัดที่เกิดจากจุดเกาะทั้งสามจุดของกล้ามเนื้อได้แก่กระดูกอก กระดูกไหปลาร้าและกระดูกมาสตอยด์โพรเซส (Mastoid process) ซึ่งเป็นส่วนนูนขนาดใหญ่บนกระดูกขมับ (Temporal bone) กล้ามเนื้อกล้ามเนื้อสคาลีนัส (Scalenus muscles) เพื่อช่วยเคลื่อนไหวภายในช่องอกระหว่างการหายใจ และแนวกล้ามเนื้อจะใช้ทางกายวิภาคของลำคอเป็นสองส่วนได้แก่พื้นที่สามเหลี่ยมลำคอด้านหน้า (Anterior triangle of neck) และพื้นที่สามเหลี่ยมลำคอด้านหลัง (Posterior triangle of neck) (Drake, Vogl, & Mitchell, 2014)

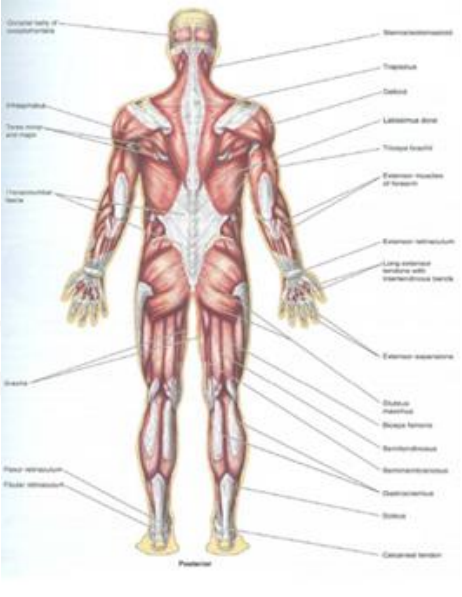


รูปที่ 2.3 กล้ามเนื้อคอ

(Drake et al., 2014)

กล้ามเนื้อสวนลำตัว (Muscle of the trunk) ประกอบไปด้วยกล้ามเนื้อแพคโทเรียล (Pectoralis minor) เป็นกล้ามเนื้อรูปสามเหลี่ยมแบนเล็กอยู่ภายใต้กล้ามเนื้อ เกาะจากผิวนอกของกระดูกซี่โครงซี่ที่ 3 ถึง 5 ไปยังโคราคอย (Coracoid process) ของกระดูกถึงสะบักทำหน้าที่ดึงหัว

ไหลไปทางด้านหน้าและลงล่าง และช่วยรับน้ำหนักตัวขณะที่ยืน กล่ามเนื้อทรวงอก (Pectoralis major) มีลักษณะมัดใหญ่รูปร่างคล้ายพัดคลุมอยู่บนอกและทับอยู่นกล่ามเนื้อทรวงอก (Pectoralis minor) ช่วยใน การหายใจเข่ารั้งแขนให่มาทางด้านหน่าทำให้ไหลคงรูปอยูกับที่กล้ามเนื้อหน้าท้อง (Rectus abdominis) มีลักษณะเป็นแถบยาว เมื่อออกแรงเกร็งมีจุดเกาะต่นจากกระดูกหัวเหนา (Pubic bone) ทอดขึ้นและกว้างขึ้นไปเกาะที่ปลายผิวหน่าของกระดูก ช่วยในการขับถ่ายและคลอดบุตร เนื้อส่วนลำตัว (Muscle of the truck) กล้ามเนื้อรูปสามเหลี่ยมแบนเล็กอยู่ภายใต้กล้ามเนื้อเกาะจากผิวนอกของกระดูกซี่โครงซี่ที่ 3 ถึง 5 ไปยังโคราคอย (Coracoid process) ของกระดูกสะบัก ทำหน้าที่ดึงหัวไหล่ไปทางด้านหน้าและด้านหลังและช่วยรับน้ำหนักตัวขณะยืน กล้ามเนื้อทรวงอก (Petoralis minor) มีลักษณะมัดใหญ่มีรูปร่างคล้ายัดคลุมอยู่บนอกและทับอยู่บนกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้อลำตัวด่านข้าง (Oblique externus) จากกระดูกลำตัวลำดับที่ 4 ถึง 12 ทอดเฉียงจากบนมาลางยึดเกาะที่กระดูกเชิงกราน ทำหนาที่เหมือนกับกล้ามเนื้อหน้าท้อง (Rectus abdominis) เป็นต้น (Drake et al., 2014)



รูปที่ 2.4 กลามเนื้อส่วนลำตัวด้านหลัง

(Moore & Dalley)

2.1.3 ข้อต่อกับลักษณะการเคลื่อนไหวของร่างกาย

ข้อต่อ (joints) หมายถึง บริเวณรอยต่อระหว่างกระดูกกับกระดูกหือระหว่างกระดูกกับกระดูกอ่อน หรือกระดูกอ่อนกับกระดูกอ่อนมาเชื่อมต่อกัน โดยมีเอ็นหรือพังผืดมาเป็นตัวช่วยยึดเหนี่ยวมีรายละเอียดดังนั้นนี้

1. การจำแนกชนิดของข้อต่อ หากจำแนกชนิดของข้อต่อตามลักษณะรูปแบบการเคลื่อนไหวของตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้

- ข้อต่อที่เคลื่อนไหวไม่ได้ (Fibrous joints) เป็นข้อต่อที่ทำหน้าเป็นรอยต่อของกระดูกยึดติดกันด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เป็นพังพืด (Fibrous connective tissue) ลักษณะดังกล่าวจะเห็นได้ชัดเจนบริเวณกะโหลกศีรษะ เช่น บริเวณรอยต่อระหว่างกระดูกหน้าผากกับกระดูกข้างศีรษะ (Coronal suture) รอยต่อระหว่างกระดูกข้างศีรษะและกระดูกท้ายทอย (Suture lombdoidal)

- ข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้เล็กน้อย (Cartilaginous or Slightly Movable Joints) ทำหน้าที่เป็นรอยต่อของกระดูกยึดติดกันด้วยกระดูกอ่อน (Cartilage) ได้แก่ ข้อต่อระหว่างชั้นของกระดูกสันหลัง (Intervertebral Discs) ข้อต่อระหว่างกระดูกหัวเหน่า (Interpubic joint)

- ข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้มากที่สุด (Synovial or freely movable joints) เป็นข้อต่อที่พบได้เกือบทุกจุดของร่างกายและเป็นข้อต่อที่ใช้ในการเคลื่อนไหว

2. รูปร่างและลักษณะของการเคลื่อนไหวข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้มาก (Synovial Joints) แบ่งได้ 6 รูปแบบ ดังนี้

- ข้อต่อรูปบานพับ (Hinge joint) คือข้อต่อที่เคลื่อนไหวคล้ายประตูบานพับ เช่น ข้อศอกและข้อเข่า

- ข้อต่อรูปอานม้า (Saddle joint) คือข้อต่อที่เกิดจากการประกบกันของส่วนเว้าของปลายกระดูกทั้งสองในแนวที่ต่างกันทำให้หมุนได้ เช่น ข้อต่อผ่ามือ

- ข้อต่อรูปบอลในเบ้า (ball and socket joint) เป็นข้อต่อที่สามารถหมุนได้รอบตัวทั้งในลักษณะการงอ (Flexion) เหยียด (Extension) และหมุนไปรอบตัวเช่น ข้อต่อสะโพก (Hip joint) ข้อต่อบริเวณหัวไหล่ (Shoulder joint)

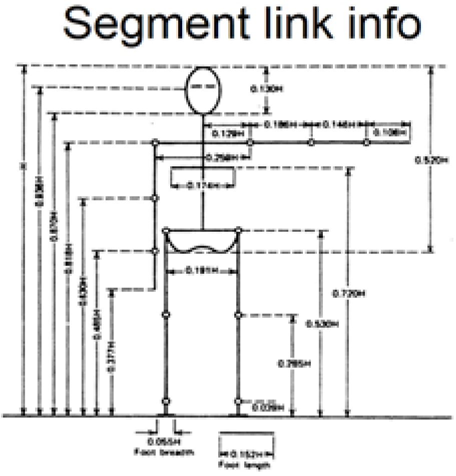
- ข้อต่อรูปไขควง (pivot joint) เป็นข้อต่อที่ปลายกระดูกชิ้นหนึ่งสอดเข้าไปในกระดูกอีกชิ้นหนึ่งที่เป็นวงทำให้สามารถหมุนได้รอบตัวข้อต่อที่มีรูปร่างและลักษณะการเคลื่อนไหว

2.1.4 การคำนวนทางชีวกลศาสตร์

การคำนวณทางชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิตนั้น โดยต้องคำนึงวิธีการวัดสัดส่วนของร่างกายมนุษย์(Anthropometry) โดยจะใช้วิธีวัดขนาดของข้อต่อถึงข้อต่อ (Segment Dimensions) ของร่างกายซึ่งจะแตกต่างกันตามโครงสร้างของร่างกาย เพศและเชื้อชาติ โดยค่าเฉลี่ยของข้อต่อถูกแสดง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

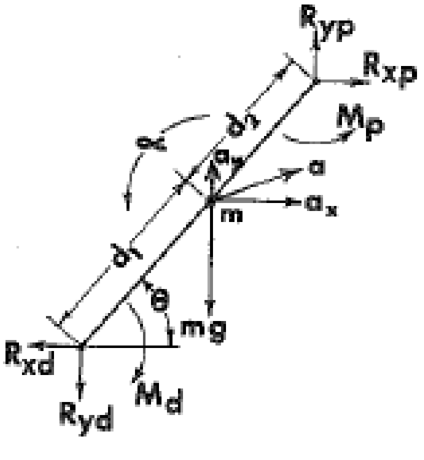
เป็นอัตราส่วนของความสูงของร่างกาย ดังรูปที่ 2.5 แสดงสัดส่วนความยาวข้อต่อกับความสูงของร่างกาย



รูปที่ 2.5 สัดส่วนความยาวข้อต่อกับความสูงของร่างกาย

(Winter, 2009)

แต่ละข้อต่อของร่างกาย (Body segment) จะทำหน้าที่อย่างอิสระภายใต้อิทธิพลของแรงปฏิกิริยาและโมเมนต์ของร่างกาย โดยงานวิจัยนี้พิจารณาการเคลื่อนไหวดังกล่าวในแนวระนาบ ซึ่งประกอบไปด้วยหลักการทางจลศาสตร์ (Kinematics) การวัดสัดส่วนร่างกาย (Anthropo-metrics) และแรงปฏิกิริยาดังรูปที่ 2.6

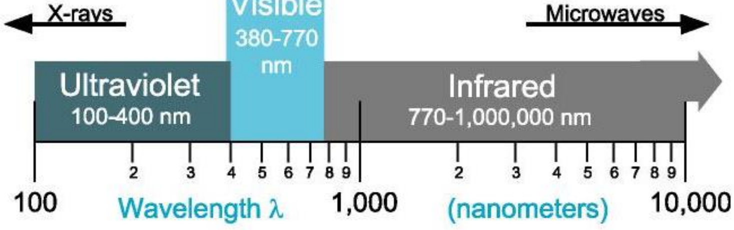


รูปที่ 2.6 แผนผังภาพวัตถุอิสระ (Free body diagram)

(Winter, 2005)

2.2 แสงสว่าง

การมองเห็นของมนุษย์เกิดจากแสงสว่างที่เป็นพลังงานที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต แหล่งกำเนิดแสงสว่างเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นประมาณ 380-780 นาโนเมตร ซึ่งเป็นระยะความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ การเปลี่ยนแปลงของความยาวคลื่นต่างทำให้มองเห็นเป็นสีโดยสีที่แตกต่างกันเกิดจากช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันเช่น ที่ความยาวคลื่นที่ 450-500 นาโนเมตร จะมองเห็นเป็นสีน้ำเงิน 500-570 นาโนเมตรจะเห็นเป็นสีเขียว เป็นต้น โดยแสงสว่างนั้นต้องมีปริมาณความเข้มข้นแสงที่เหมาะสมและมีคุณภาพสำหรับการมองเห็น งานบางประเภทที่มีขนาดเล็กมากหรือต้องการความละเอียดสูง ก็จำเป็นต้องใช้แสงสว่างที่มีความเข้มมากกว่างานบางประเภทที่มีขนาดใหญ่หรือไม่ต้องการความละเอียด และแสงสว่างนั้นต้องมีคุณภาพ ไม่เป็นการส่องสว่างที่รบกวนตาและลานสายตา ปัญหาและอันตรายที่เกิดจากแสงสว่างและผลกระทบต่อผู้ทำงานสามารถจำแนกได้ 3 ลักษณะ คือแสงสว่างที่มีความสว่างน้อยเกินไปจะทำให้เกิดผลเสียต่อสายตาและกล้ามเนื้อตาทำงานมากเกินไป โดยบังคับให้ม่านตาเปิดกว้างเพราะการมองเห็นนั้นไม่ชัดเจน ทำให้ต้องใช้เวลาในการมองรายละเอียดและเกิดการเมื่อยล้าของตาที่ต้องเพ่งจึงเกิดอาการปวดตา มึนศีรษะ ทำให้ประสิทธิภาพของการทำงานลดลง การหยิบหรือจับใช้เครื่องมือเครื่องจักรผิดพลาดเกิดอุบัติเหตุขึ้นหรือไปสัมผัสส่วนที่เป็นอันตราย แสงสว่างที่มากเกินไปจะทำให้ผู้ทำงานเกิดความไม่สบาย เมื่อยล้า ปวด แสบตา มึนศีรษะ วิงเวียน และอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นได้ และแสงจ้า แสงจ้าตาที่เกิดจากแหล่งกำเนิดโดยตรง (Direct glare) หรือแสงจ้าตาที่เกิดจากการสะท้อนแสง (Reflected glare) จากวัสดุที่อยู่ในสิ่งแวดล้อม เช่น ผนังห้อง เครื่องมือ เครื่องจักร โต๊ะทำงาน เป็นต้น จะทำให้ผู้ทำงานเกิดความไม่สบาย เมื่อยล้า ปวดตา มึนศีรษะ กล้ามเนื้อหนังตากระตุก วิงเวียน นอนไม่หลับ เป็นต้น นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดผลทางจิตใจเบื่อหน่ายในการทำงาน (สำนักความปลอดภัยแรงงาน, 2559)



รูปที่ 2.7 ความยาวของคลื่นแสง

(Ryer & Light, 1997)

ความส่องสว่างสำหรับพื้นที่การทำงานมีมาตรฐานสำหรับพื้นที่ทำงานของลูกจ้างโดยใช้สายตามองเฉพาะจุด ดังตารางที่ 2.1 จากกำหนดมาตรฐานด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัยและ

สิ่งแวดล้อมในการทำงานประกอบไปด้วยความร้อน แสงสว่าง และเสียงในการทำงาน (กระทรวงแรงงาน, 2549) การวัดปริมาณแสงสว่างในห้องทำงานจะต้องไม่ต่ำกว่ามาตรฐานซึ่งจะเป็นค่าที่ใช้อ้างอิงสำหรับการทำงานวิจัยนี้

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานพื้นที่ทำงานของลูกจ้างโดยใช้สายตามองเฉพาะจุด

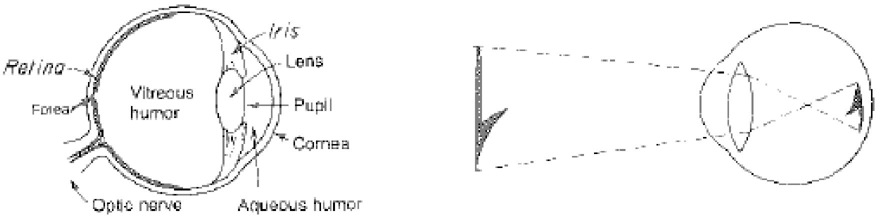
การใช้สายตาตามลักษณะงาน	ความแสงสว่าง (ลักซ์)	ตัวอย่างในการทำงาน
การทำงานที่ใช้ความละเอียดสูงมากพิเศษ	มากว่าเท่ากับ 2400	- การทำงานหรือตรวจสอบชิ้นงานขนาดเล็กหรืองานที่ต้องใช้ความละเอียดในหารตรวจสอบ เช่น การประกอบนาฬิกา เครื่องประดับหรืองานซ่อมแซมเสื้อผ้า เป็นต้น
การทำงานที่ใช้ความละเอียดสูงมาก	เท่ากับ 1600	- งานละเอียดที่ต้องทำบนโต๊ะหรือเครื่องจักร เช่น ทำเครื่องมือและแม่พิมพ์ (ขนาดเล็กกว่า 25 ไมโครเมตร)
การทำงานที่ใช้ความละเอียดสูง	เท่ากับ 1200	- การเทียบสีในงานย้อมผ้า - งานเทียบสีของชิ้นงาน
	เท่ากับ 800	-การตรวจสอบงานละเอียด เช่น การปรับสเกลของเครื่องมือที่ต้องการความถูกต้องเที่ยงตรง
การทำงานที่ใช้ความละเอียดน้อย	เท่ากับ 400	- การทำงานสำนักงานทั่วไปเช่น การพิมพ์คอมพิวเตอร์ เป็นต้น
การทำงานที่ใช้ความละเอียดน้อยมาก	เท่ากับ 200	- การใช้สายตาตรวจงานแบบหยาบโดยทั่วไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำหรับงานวิจัยนี้พิจารณาปัจจัยด้านปริมาณแสงสว่างสำหรับพื้นที่ทำงานโดยเลือกใช้ปริมาณแสงสว่างสำหรับงานละเอียดน้อยที่ 400 ลักซ์ เนื่องจากเป็นปริมาณแสงสว่างเหมาะสมในการทำงานสำนักงาน

2.3 การวัดสายตาและการตรวจจอตา

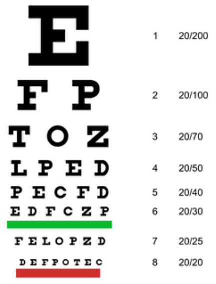
เนื่องจากการมองเห็นของมนุษย์ต้องอาศัยปัจจัยหลายอย่างได้แก่ โครงสร้างของตาในการหักเหแสงจากวัตถุให้ไปตกที่จอรับภาพ รวมถึงการทำงานของประสาทตาและสมองในการแปรผลสัญญาณรูปที่ 2.8 การมองเห็นของมนุษย์เกิดจากแสงที่ตกกระทบวัตถุและสะท้อนเข้าสู่ตาทางเลนส์ตา(Lens) ผ่านเข้ามาในลูกตาทำให้เกิดภาพบนเรตินา (Retina) ที่อยู่ด้านหลังของลูกตา กระจกตาจะมีหน้าที่รับแสงเข้าสู่ในดวงตาโดยกระจกตาจะอยู่ในผนังชั้นนอกสุดของดวงตา (Sclera) แสงที่ผ่านเข้ากระจกตาจะวิ่งผ่านไปยังเลนส์ตาและชั้นของเหลว โดยมีม่านตา (Iris) คอยปรับแสงที่จะเข้าสู่ภายในดวงตา เมื่อแสงผ่านเข้าสู่เลนส์ตามายังชั้นของเหลวภายในซึ่งทำหน้าที่รักษารูปร่างของดวงตา และนำข้อมูลของวัตถุที่มองเห็นผ่านจะถูกส่งผ่านเส้นประสาท (Optic nerve) ไปยังสมอง สมองจะทำการแปลข้อมูลเป็นนอกจากนี้ดวงตายังสามารถปรับให้มองเห็นได้แม้ตัวอักษรที่เป็นตัวพิมพ์ขนาดเล็กสามารถบอกรูปร่างที่แตกต่างกันในพื้นที่มีความเข้มของแสงแตกต่างกัน โดยการปรับของรูม่านตา (Pupil) ดวงตาเป็นอวัยวะที่มีความไวต่อแสงมาก สามารถรับรู้ได้เมื่อมีแสงสว่างเพียงเล็กน้อยเนื่องจากเรตินาจะมีเซลล์รับแสง 2 ชนิดได้แก่เซลล์รูปแท่ง (Rod cell)และเซลล์รูปกรวย (Cone cell) มีคุณสมบัติในการแยกความแตกต่างของสีและทำการแปลผลและส่งคลื่นสัญญาณเข้าสู่สมองส่วนซีรีบรัม (Cerebrum cortex) เพื่อแปลผลจากสีให้กลายเป็นภาพออกมา ดังนั้นภาวะสายตาปกติคือแสงโฟกัสผ่านกระจกตาและเลนส์แก้วตารวมแสงมายังจอประสาทตาพอดีทำให้มนุษย์มองเห็นภาพที่มีความชัด หากการรวามแสงของตาไม่มาอดีกับความยาวลูกตา จะทำให้การรวมแสงมาที่จอประสาทตาไม่พอดี เกิดภาวะสายตาผิดปกติได้แก่ สายตาสั้นเกิดจากการรวมแสงของตามากกว่าความยาวลูกตา อาจเกิดจากกระจกตาโค้งหรือความยาวลูกตามีค่ามากเกินไปทำให้มองวัตถุในระยะไกลไม่ชัดเจน สายตายาวเกิดจากการรวมแสงของตาน้อยกว่าความยาวลูกตา อาจเกิดจากกระจกตาแบนหรือขนาดลูกตาสั้นไป ทำให้สามาถมองระยะไกลได้ชัดเจน แต่เมื่อมีอายุมากขึ้นจะเกิดการเพ่งมองทำให้เกิดอาการปวดศีรษะหรือตาล้าได้ และสายตาเอียงเกิดจากการรวมแสงในแนวต่างที่ไม่เท่ากันหรือกระจกตาไม่กลมภาวะนี้อาจเกิดร่วมสายตาสั้นหรือยาว



รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบสำคัญของดวงตา

(Sanders, McCormick, E, 1987)

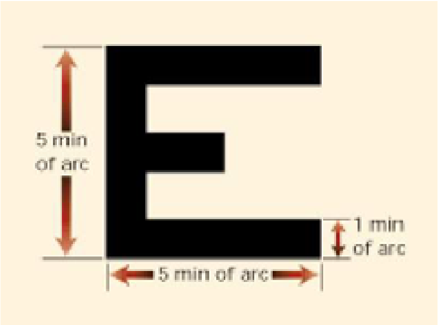
การประเมินปัญหาการมองเห็นจึงมีความสำคัญเพื่อตรวจดูลักษณะทางกายวิภาคของตาเพื่อหาสิ่งที่ผิดปกติของสายตา การทดสอบการมองเห็น (Visual function) มีหลากหลายแบบได้แก่ การวัดระดับสายตา (Visual acuity) การตรวจตาบอดสี (Color vision) และลานสายตา (Visual field) เป็นต้นโดยงานวิจัยนี้ให้ความสำคัญเพียงการวัดระดับสายตา (Visual acuity) เนื่องจากสิ่งแรกที่จำเป็นต้องตรวจหาความผิดปกติโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาชีพที่ต้องใช้สายตาเป็นพิเศษ การพิมพ์งานของผู้ใช้คอมพิวเตอร์เป็นงานที่ต้องใช้สายตาเป็นเวลานาน การวัดสายตาจึงมีความสำคัญเพื่อประเมินภาวะสายตาก่อนเริ่มทำการทดลอง ทั่วไปควรวัดสายตาที่สองระยะคือที่ระยะไกล (Distance VA) โดยผู้ป่วยจะยืนห่างจากแผ่นทดสอบสายตาสเนลเลน (Snellen chart) ในระยะ 6 เมตรภายในห้องที่สว่างและมีแสงส่องสว่างที่และที่แผ่นทดสอบสายตาและใช้ฝามือปิดตาผู้เข้าร่วมการทดลองทีละข้าง และบันทึกผลการมองเห็น หากสายตาของผู้เข้าร่วมการทดลองมีภาวะปกติจะสามารถอ่านได้ถึงแถวสุดท้ายคือ 6/6 หรือ 20/20 และระยะใกล้(near) จะมีระยะห่างในการวัดที่ระยะ 33 เซนติเมตรซึ่งเป็นระยะทำงานบนโต๊ะ (Working distance) การทดสอบสามารถทำได้หลายวิธีซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้แผ่นทดสอบที่เรียกว่าแผ่นทดสอบสายตาสเนลเลน (Snellen chart) ดังรูปที่ 2.9 แผ่นทดสอบสายตาสเนลเลน (Snellen chart) (นภาพร ตนานุวัฒน์, 2551)



รูปที่ 2.9 แผ่นทดสอบสายตาสเนลเลน (Snellen chart)

(นภาพร ตนานุวัฒน์, 2551)

ตัวเลขหรือตัวอักษร (Snellen's Optotype) บนแผ่นวัดสายตาสเนลเลนโดยแต่ละตัวจะมีมุมการมองเห็น (Visual angle) คำนวณได้จากสมการที่ 2.1.1 โดยใช้ความสูงตัวอักษรในแนว 20/20 และระยะของตัวอักษรที่ห่างจากดวงตาเท่ากับ 6 เมตรดังนั้นมุมการมองเห็น (Visual angle) จะมีขนาด 5 ลิปดา (MOA) เมื่อแบ่งขนาดของตัวอักษรเป็น 5 ส่วนรูปที่ 2.10 พบว่าแต่ละส่วนจะมีขนาด 1 MOA ซึ่งถือว่าเป็นมุมที่น้อยที่สุดของการมองเห็นในคนปกติ (Minimal angle of resolution) นั่นคือวัตถุที่มีขนาด 1 ลิปดา (MOA) จะสามารถกระตุ้นเซลล์ประสาท (Photoreceptor) ที่จอรับภาพได้ดังนั้นหากจุดสองจุดมีระยะห่างกันน้อยกว่า 1 ลิปดา (MOA) ตาของมนุษย์จะไม่สามารถแยกความแตกต่างของขนาดตัวอักษรได้



รูปที่ 2.10 ตัวอักษรบนแผ่นวัดสายตาสเนลเลน (Snellen optotype)
(Parrish et al., 2009)

ปัญหาสายตาและการมองเห็น

- สายตาสั้น (Myopia) เกิดจากลูกตามีขนาดความยาวเกินกว่าขนาดโฟกัสของเลนส์แก้วตาและกระจกตาทำให้ภาพจากวัตถุในระยะไกลจะตกก่อนถึงจอประสาทตาพบมากในประชากรเขตเมืองมากกว่าในชนบท ในประเทศที่มีขนาดเล็กประชากรหนาแน่น และมีอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ (สมเกียรติ อธิคมกุลชัย, 2548)

(Ip et al., 2008) ทำการศึกษาการทำงานระยะใกล้และใช้เวลาในการอ่านในกลุ่มประชากรตัวอย่างคือเด็กนักเรียนออสเตรเลียในโรงเรียนมัธยมแห่งหนึ่งอายุ 12 ปี พบว่าระยะเวลาในการอ่านต่อเนื่องมากกว่า 30 นาทีและการอ่านระยะใกล้มีผลทำให้ผู้เข้าร่วมการทดลองมีภาวะสายตาสั้น

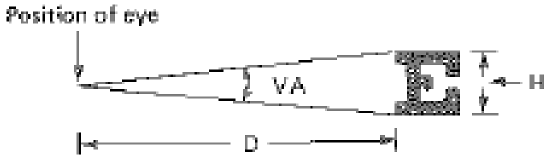
(Angle & Wissmann, 1980) ทำการศึกษาระบาดวิทยาของสายตาสั้นพบว่าการทำงานระยะใกล้จะส่งผลต่อพฤติกรรมการโฟกัสในระยะใกล้ และการทำงานในระยะใกล้

- สายตายาว (Hyperopia) เกิดจากลูกตามีขนาดความยาวสั้นเกินกว่ากำลังโฟกัสของเลนส์แก้วตาและกระจกตาที่รวมภาพให้ตกบริเวณจอประสาทตา (สมเกียรติ อธิคมกุลชัย, 2548)

- สายตาเอียง (Astigmatism) เกิดจากผิวด้านหน้าของเลนส์แก้วตาหรือกระจกตา มีขนาดความโค้งในแนวตั้งและในแนวนอนไม่เท่ากัน ทำให้ภาพจากวัตถุทั้งระยะใกล้และระยะไกล ไม่สามารถโฟกัสที่จุดเดียวกันบนจอประสาทตาได้ (สมเกียรติ อธิคมกุลชัย, 2548)

2.4 มุมการมองเห็น

2.4.1 มุมการมองเห็น (Visual angle) คือความสัมพันธ์ของขนาดความสูงของตัวอักษรกับระยะห่างของวัตถุที่ห่างจากดวงตา โดยมีหน่วยเป็นลิปดา (Minute of Arc: MOA) โดย 1 ลิปดา (MOA) เท่ากับ 1/60 องศา โดยมุมการมองเห็น (Visual angle) แสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตัวอักษรกับระยะห่างของวัตถุที่ห่างจากดวงตา (Winter, 2009)



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ของความสูงของตัวอักษรกับระยะห่างของวัตถุที่ห่างจากดวงตา
(Winter, 2009)

สำหรับการคำนวณมุมการมองจะหาได้จากสมการที่ 2.1.1

$$V = 2\arctan(H/2D) \quad \text{.... (2.1.1)}$$

เมื่อ V คือ มุมการมองเห็นหน่วยเป็น MOA
H คือ ความสูงของตัวอักษร
D คือ ระยะของตัวอักษรที่ห่างจากดวงตา

จากสมการที่ 2.1.1 พบว่ามุมการมองเห็น (Visual angle) ได้ถูกนำมากำหนดความสูงของตัวอักษรในระยะการมองที่แตกต่างกันของการใช้งานคอมพิวเตอร์ ช่วงมุมการมองเห็นที่เหมาะสมคือ 16-24 ลิปดา (MOA) ซึ่งในระดับมุมการมองเห็นเดียวกันเมื่อระยะการมองที่เพิ่มขึ้นความสูงของตัวอักษรจะเพิ่มขึ้นและเมื่อมุมการมองเห็นเพิ่มขึ้นความสูงของตัวอักษรจะเพิ่มขึ้น โดยอ้างอิงความสูงของตัวอักษรที่ระดับมุมการมองเห็นต่าง ๆ ที่แนะนำไว้ภายในมาตรฐาน ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขนาดความสูงของตัวอักษรที่ระดับมุมการมองเห็นต่าง ๆ ที่แนะนำ

มาตรฐานที่กำหนด	ระดับมุมการมองเห็นที่แนะนำบนจอแสดงผล
(Helander & Rupp, 1984)	20 MOA มุมการมองเห็นต่ำสุดสำหรับรูปร่างที่ซับซ้อน
	มุมการมองเห็น 18 MOA ขั้นต่ำของตัวพิมพ์เล็ก และ 15 MOA ขั้นต่ำของตัวพิมพ์ใหญ่ ใช้สำหรับตัวหนังสือที่ต้องการมุมการมองเห็นที่ชัดเจน
	มุมการมองเห็น 16 MOA ขั้นต่ำของตัวพิมพ์เล็กและมุมการมองเห็น 14 MOA ขั้นต่ำของตัวพิมพ์ใหญ่
	มุมการมองเห็น 12 MOA ขั้นต่ำของตัวพิมพ์เล็กและมุมการมองเห็น 10 MOA ขั้นต่ำของตัวพิมพ์ใหญ่ ใช้สำหรับตัวหนังสือที่ไม่สำคัญ
(Turville, Psihogios, Ulmer, & Mirka, 1998)	ระดับมุมการมองเห็นต่ำสุด 16-18 MOA และระดับมุมการมองเห็นที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 20-22 MOA ซึ่งระดับมุมการมองเห็นสูงสุดคือ 24 MOA
(Campbell, Carney, & Kantowitz, 1998)	มุมการมองเห็น 50 MOA สำหรับหัวเรื่อง
	สัญลักษณ์ควรมีมุมการมองเห็นอย่างน้อย 20 MOA โดยใช้เกี่ยวข้ององค์ประกอบของการแสดงผลสัญลักษณ์ที่สำคัญ
	มุมการมองเห็นไม่ควรน้อยกว่า 18 MOA สำหรับการอ่านง่าย
	ควรหลีกเลี่ยงการใช้งานมุมการมองเห็นที่มีขนาดน้อยกว่า 16 MOA
(ISO 9241, 1998)	มุมการมองเห็นช่วง 16-24 MOA เป็นช่วงที่เหมาะกับการทำงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สำหรับงานวิจัยนี้พิจารณามุมการมองเห็น (Visual angle) สำหรับพื้นที่ทำงานโดยเลือกใช้ 3 ระดับมุมการมองเห็นคือ 11 17 และ 23 MOA ในการทดสอบเนื่องจากเป็นมุมการมองเห็นที่ใช้ในการทำงานคอมพิวเตอร์ของสำนักงาน (ISO 9241, 1998)

2.5 จอแสดงผล

จอแสดงผล (Visual display terminal) ทำหน้าที่แสดงผลลัพธ์ที่ได้หลังจากการคำนวณและประมวลผลอุปกรณ์โดยแบ่งได้ 3 ประเภทคือจอแสดงผลแบบหลอดรังสีแคโทด (Cathode ray tube monitor: CRT) จอแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD) และจอแสดงผลแบบไดโอดเปล่งแสง (LED) มีรายละเอียดดังนี้

2.5.1 จอแสดงผลแบบหลอดรังสีแคโทด (Cathode ray tube monitor: CRT) ซึ่งนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางเป็นจอภาพที่ใช้กับโทรทัศน์และพัฒนามาใช้กับคอมพิวเตอร์ หลักการทำงานของจอแสดงผลแบบหลอดรังสีแคโทดจะอาศัยลำอิเล็กตรอนกระทบกับสารเรืองแสงที่ติดอยู่กับจอภาพสารเรืองแสงที่จะปล่อยแสงออกมาให้ตามองเห็น (ยืน ภู่วรวรรณ, 2559)

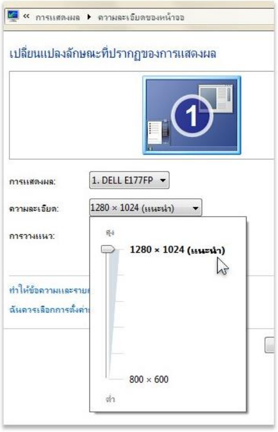
2.5.2 จอแสดงผลแบบผลึกเหลว (Liquid Crystal Display: LCD) เป็นจอแสดงผลต่อจากจอแสดงผลแบบหลอดรังสีแคโทด โดยหลักการทำงานของจอแสดงผลแบบผลึกเหลวจะใช้สารที่อยู่ระหว่างของแข็งกับของเหลว เมื่อของแข็งที่อุณหภูมิหนึ่งได้รับอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะหลอมละลายเป็นของเหลว (ยืน ภู่วรวรรณ, 2559)

จากที่กล่าวมาในเบื้องต้นข้อดีจอแสดงผลแบบจอผลึกเหลว (LCD) จะประหยัดพลังงานมากกว่าจอแบบหลอดรังสีแคโทด (CRT) แต่ข้อเสียของจอผลึกเหลวคือมุมมองสำหรับการเห็นภาพค่อนข้างแคบโดยงานวิจัยนี้ใช้จอแสดงผลแบบจอผลึกเหลวทดสอบเนื่องจากเป็นจอแสดงผลที่ใช้ในอาคารสำนักงานทั่วไปด้านการแสดงผลมีปัจจัยด้านพารามิเตอร์ซึ่งผู้ใช้งานจะต้องทำการศึกษาเพื่อปรับค่าหน้าจอแสดงผลให้มีความชัดเจนทั้งด้านความสว่างและความคมชัดที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลให้เหมาะ โดยพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการตั้งค่าจอแสดงผลมีดังนี้

- ขนาดจอแสดงผลที่เหมาะสมกับการใช้งานจอภาพโดยทั่วไปมีทั้งที่เป็นสีเดียว (Monochrome) เช่น สีเทา สีส้ม หรือสีขาวบนสีดำ และจอภาพแบบหลายสี (Color) สามารถแสดงสีได้ตั้งแต่ 16,256, 65,536 และ 16,177,216 สี ปัจจุบันนิยมใช้จอภาพสีมากกว่าจอสีเดียวโดยขนาดความกว้างของจอภาพมีหลายขนาด ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปคือ ขนาด 14 และ 15 นิ้ว แล้วถ้าใช้งานสิ่งพิมพ์หรือ ออกแบบกราฟิกจะใช้จอใหญ่มากขึ้นคือขนาด 17 หรือ 21 นิ้ว ซึ่งก็จะมีความละเอียดในการแสดงผลมากน้อยไม่เท่ากัน โดยความละเอียดของภาพจะมีหน่วยเป็นพิกเซล (Pixel) ในแนวตั้งและแนวนอน หากขนาดของพิกเซลมากขนาดของภาพจะมีความละเอียดสูงมากขึ้น ทำให้มีเนื้อที่ใช้

งานบนจอมาก โดยลักษณะของจอภาพมี 2 แบบคือจอภาพแบบ VGA (Video graphics array) มีความละเอียดของพิกเซล 640x480 จุด เหมาะสำหรับการใช้งานตามบ้านทั่วไป มีขนาดของจอภาพ 14 หรือ 15 นิ้ว และจอภาพแบบ SVGA (Super video graphics array) จะมีความละเอียดของพิกเซล 800x600 จุด เหมาะสำหรับใช้ในงานธุรกิจหรือตามสำนักงานทั่วไป ขนาดจาพที่นิยมคือ 14 หรือ 15 นิ้ว และจอที่มีความละเอียดของพิกเซล 1,280x1,024 จุด เหมาะสำหรับใช้ในงานออกแบบกราฟิก

- ความละเอียดของหน้าจอแสดงผล โดยทั่วไปจอภาพผลึกเหลว (LCD) จะทำงานได้ดีที่ความละเอียดดั้งเดิมของจอภาพจอภาพผลึกเหลว (LCD) จะมีความคมชัดสองระดับดังนี้ อัตราส่วนมาตรฐานที่ความกว้างต่อความสูงที่ 4:3 หรืออัตราส่วนแบบจอกว้างที่ 16:9 หรือ 16:10 จอภาพแบบจอกว้างจะมีขนาดที่กว้างกว่า และความละเอียดที่สูงกว่าจอภาพที่มีอัตราส่วนแบบมาตรฐาน อัตราส่วนทั่วไปสำหรับขนาดหน้าจอที่นิยมใช้กันทั่วไปข้อแนะนำในการเลือกใช้ขนาดจอและความละเอียดของหน้าจอแสดงผลที่เหมาะสมกับการใช้งานคอมพิวเตอร์ได้แก่ขนาดความกว้างของหน้าจอ 19 นิ้ว ควรเลือกใช้ความละเอียดของหน้าจอแสดงผลเท่ากับ 1280 x 1024 พิกเซล ขนาดความกว้างของหน้าจอ 20 นิ้ว ควรเลือกใช้ความละเอียดของหน้าจอแสดงผลเท่ากับ 1600 x 1200 พิกเซล ขนาดความกว้างของหน้าจอ 22 นิ้ว ควรเลือกใช้ความละเอียดของหน้าจอแสดงผลเท่ากับ 1680 x 1050 พิกเซล และขนาดความกว้างของหน้าจอ 24 นิ้วควรเลือกใช้ความละเอียดของหน้าจอแสดงผลเท่ากับ1900 x 1200 พิกเซล เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ความกว้างของหน้าจอแสดงผลเท่ากับ 19 นิ้วในการทดลองเนื่องจากเป็นหน้าจอที่ใช้ทำงานในสำนักงานทั่วไป



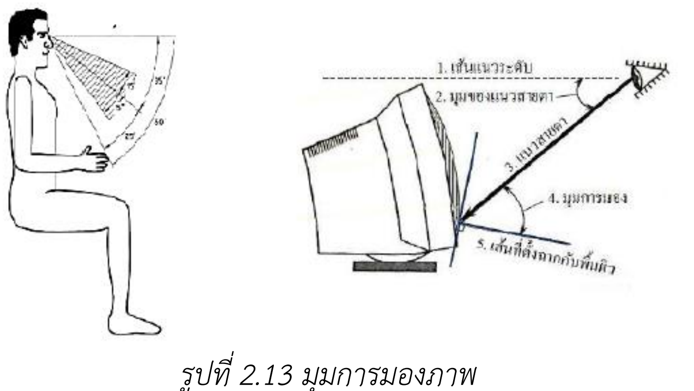
รูปที่ 2.12 ความละเอียดของจอแสดงผล

(ไมโครซอฟท์, 2558)

- ค่าระยะห่างของจุดภาพ (Dot pitch) ระยะห่างของจุดภาพ (Dot pitch) มีขนาดเล็กลงความละเอียดและความคมชัดของภาพก็มักจะมีมากขึ้นสำหรับจอภาพขนาด 15 นิ้ว นั้นส่วนใหญ่แล้วก็มักจะมีค่าระยะห่างของจุดภาพ (Dot Pitch) เท่ากับ 0.297 มิลลิเมตร สำหรับจอภาพนาด 17 นิ้วจะมีค่าจุดภาพ (Dot pitch) เท่ากับ 0.264 มิลลิเมตร โดยค่าดังกล่าวจะเป็นมาตรฐานของจอภาพแบบแบบผลึกเหลว (LCD)

- จำนวนของเม็ดสี (Bit depth) สำหรับค่าของจำนวนของเม็ดสี (Bit depth) นั้นเป็นค่าตัวเลขจะแสดงถึงจำนวนเม็ดสีบนจอภาพสามารถที่ในรูปของตัวเลขรูปแบบดิจิตอล คือ 8 บิต 16 บิต และ 24 บิต หากจำนวนของเม็ดสี (Bit depth) มีค่ามากสีที่แสดงออกมาก็จะมากขึ้นตามจำนวนของเม็ดสี ตัวอย่างเช่นจำนวนตัวเลขรูปแบบดิจิตอลมีค่า 8 บิตจำนวนสีที่ได้คือตัวเลขฐาน 2 คูณกัน 8 ครั้ง จำนวนของเม็ดสี (Bit depth) จะเท่ากับ 256 สี และถ้าหากเป็นแบบ 16 บิตสีที่ได้ก็จะมีจำนวน 65,536 สี ซึ่งเป็นค่าที่เพียงพอสำหรับการแสดงภาพถ่ายและภาพ 3 มิติทั่วไป ถ้าจะให้ดีและสีที่แสดงเพื่อได้สีที่ครบถ้วนควรที่จะใช้งานที่ระดับจำนวนของเม็ดสี (Bit depth) มากว่า 16 บิตขึ้นไป

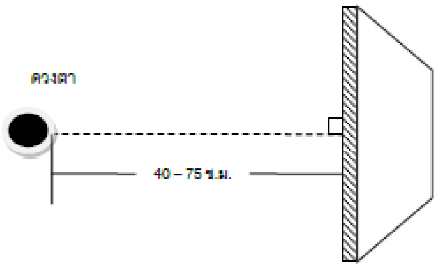
- มุมการมองภาพ (Viewing angle) คือมุมที่ใช้ในการมองหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยการจัดตำแหน่งของจอแสดงผลเพื่อให้ผู้ใช้คอมพิวเตอร์เกิดความรู้สึกสบายตาทำงาน เนื่องจากมุมของหน้าจอแสดงผลจะรับแสงไฟภายในห้อง โดยแสงจะตกกระทบจอแสดงผลและสะท้อนเข้าสู่ดวงตา ดังรูปที่ 2.13 มุมการมองภาพที่แนะนำตามหลักการยศาสตร์ควรอยู่ในช่วง 35 ± 15 องศาวัดจากแนวระดับและจากเส้นที่ตั้งฉากกับพื้นผิวจอกับแนวสายตา ค่าแนะนำอยู่ในช่วง 0-40 องศาสามารถปรับเพิ่มหรือลดลงเพื่อลดแสงสะท้อนจากหน้าจอแสดงผลให้เหมาะสมกับการใช้งาน สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกมุมของแนวสายตาเท่ากับ 20 องศาในการทดลอง



รูปที่ 2.13 มุมการมองภาพ

(ISO 9241, 1998)

ระยะตัวอักษรมายังดวงตาสามารถวัดจากความห่างระหว่างดวงตากับจอแสดงผล การวัดทำได้โดยวัดที่จุดกึ่งกลางจอแสดงมายังดวงตาดังรูปที่ 2.14 โดยมีระยะอยู่ในช่วงแนะนำคือ 45 – 75 เซนติเมตร



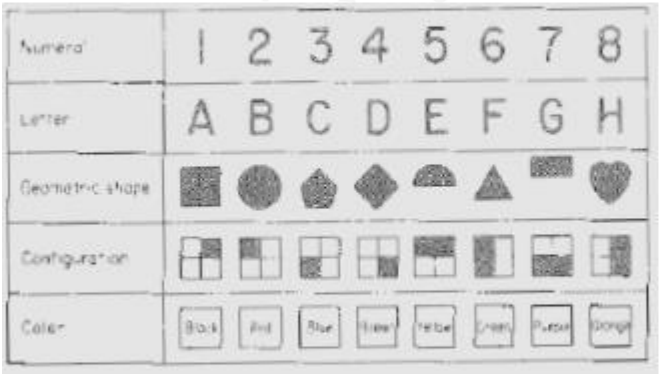
รูปที่ 2.14 ระยะการมองจอแสดงผล

(ISO 9241, 1998)

สำหรับงานวิจัยนี้ระยะห่างการมองภาพทดสอบที่มุม 20 องศาและระยะตัวอักษรมายังดวงตาสามารถที่ทำการทดสอบคือระยะ 60 เซนติเมตรซึ่งเป็นระยะการทำงานในสำนักงาน

2.6 รหัสการมอง

จากการศึกษาของ (Hitt, 1961) ผู้ซึ่งใช้ 5 รหัสการมองแสดงตามรูปที่ 2.15 แสดงสัญลักษณ์รหัสการมองที่ใช้ในการเปรียบเทียบประกอบไปด้วย ตัวเลข, ตัวอักษร, รูปทรงเรขาคณิต, รูปทรงต่าง ๆ สี ที่ใช้แสดงผลบนหน้าจอจากการศึกษาพบว่าตัวเลขและสีเป็นรหัสการมองที่ดีที่สุดในการตอบสนองและรูปทรงต่าง ๆ เป็นรหัสการมองเห็นที่แย่ที่สุด



รูปที่ 2.15 สัญลักษณ์รหัสที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

(Hitt, 1961)

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวอักษรเป็นรหัสการมองในการทดสอบเนื่องจากสนใจในเรื่องการพิมพ์งานดังนั้นต้องพิจารณาจำนวนของคำ (Number and length of words) โดยมีการกำหนดกลุ่มคำในภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ทั้งหมด เพื่อลดผลกระทบของตัวอักขระที่มีความสูงไม่เท่ากันโดย

จำนวนข้อมูลที่หน้าจอแสดงผลเท่ากับ 10 ตัวอักษร (ภาษาอังกฤษ 5 ตัวอักษรเท่ากับ 1 คำ) และระหว่างตัวอักษรจะมีการกำหนดช่องไฟระหว่างตัวอักษรจากโปรแกรมอัตโนมัติงานวิจัยยังพิจารณารูปนี้ยังพิจารณาแบบตัวอักษร (Font) อ้างอิงผลงานวิจัยการศึกษาความสามารถในการอ่านข้อความบนหน้าจอพบว่าตัวอักรแบบแอเรล (Arial) ในกลุ่มอักษรแบบซานเซอรีฟ (Sans-serif) การอ่านข้อความ 8 บิต บนหน้าจอแสดงผสมอัตราเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเป็นกลุ่มอักษรที่อ่านได้ง่าย (Sanders & McCormick, 1987)

2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรหัสการมอง (Visual Coding)

(Darroch, Goodman, Brewster, & Gray, 2005) ได้ทำการศึกษาผลของอายุและขนาดตัวอักษรในการอ่านข้อความบนคอมพิวเตอร์มือถือ พบว่าขนาดขนาดตัวอักขระน้อยกว่า 1 และ 2 มิลลิเมตรเป็นขนาดที่ไม่พึงประสงค์และขนาด 4 มิลลิเมตรเป็นขนาดตัวอักขระที่ผู้เข้าร่วมการทดลองรู้สึกสบายในการทำงานคอมพิวเตอร์

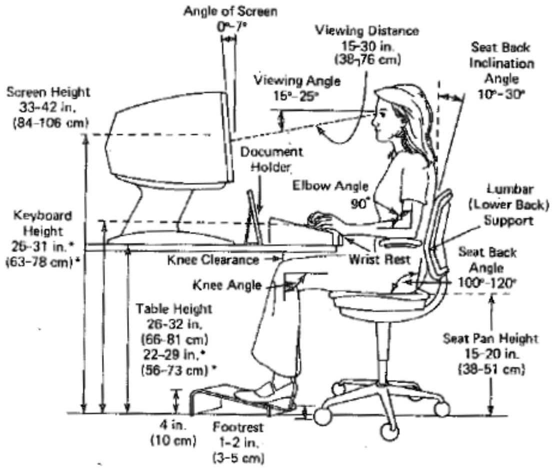
(Bernard et al., 2003) ทำการศึกษาผลกระทบของขนาดและประเภทต่อความสามารถการอ่านตัวอักษรประเภททามนิวโรมัน (Time New Roman) และ แอเรล (Arial) โดยศึกษาตัวอักษรทามนิวโรมัน (Time New Roman) และ แอเรล (Arial) ขนาด 10 และ 12 จุด (Point) ของรูปแบบจุด (Dot-matrix) และลบเหลี่ยม (Anti-aliased) ได้ถูกเปรียบเทียบง่ายในการอ่านพบว่าตัวอักษรรูปแบบลบเหลี่ยม (Anti-aliased) 10 จุด (point) จะถูกอ่านช้ากว่าประเภทและตัวอักษรรูปแบบจุด (Dot-matrix) 12 จุด มีความคมชัดอ่านง่ายถูกเลือกมากกว่าประเภท

(Kingery & Furuta, 1997) ได้ทำการศึกษาประเภทและขนาดของตัวอักษรหัวเรื่องหนังสือพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ผลของตัวอักษร ขนาด ความละเอียดหน้าจอและขนาดจอแสดงผลได้ถูกศึกษาเป็นการตั้งค่าคล้ายกับการอ่านพาดหัวข่าวในหนังสือพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ประกอบไปด้วย 4 รูปแบบอักษร Times New Roman, Book Antiqua, Century Gothic, และ Arial ที่ใช้ในการศึกษาขนาดที่ใช้จุดที่จะนำเสนอพาดหัวข่าวขนาด 14 จุดพบว่าผลที่ได้จากการตรวจสอบต่อไปในการความสัมพันธ์ของ 14 จุดบนจอภาพโดยตัวอักษรที่เหมาะสมที่สุดคือ Time News Roman และ Arial ตัวอักษรทั้งสองแบบนี้เป็น ตัวแทนของ Serif และ Non Serif ที่ใช้ในการแสดงบนจอภาพคอมพิวเตอร์

งานวิจัยนี้จะใช้ขนาดตัวอักษรบนหน้าจอแสดงผลเท่ากับ 9 จุด, 10 จุด, 12 จุดและขนาดตัวอักษรหัวเรื่องเท่ากับ 14 จุดเทียบเท่าความสูงของสูงของตัวอักษรคือ 2.1, 2.6, 3.2 และ 4 มิลลิเมตร ตามลำดับโดยการทดลองจะใช้ค่าเฉลี่ยของขนาดตัวอักษรได้แก่ 2, 3 และ 4 มิลลิเมตรซึ่งเป็นตัวอักษรที่ใช้ออกแบบซอฟต์แวร์สำเร็จที่ใช้ทำงานทั่วไป

2.7 การจัดพื้นที่ในการทำงานคอมพิวเตอร์ตามหลักการยศาสตร์

การใช้คอมพิวเตอร์ในระยะเวลาที่นานด้วยท่าทางที่ไม่เหมาะสมอาทิเช่น การจัดวางท่าทางของลำตัวต้นคอและแขน และการเคลื่อนไหวที่ผิดท่าทางภายใต้ระดับแสงสว่างที่ไม่เหมาะสม หรือแม้กระทั่งการจัดพื้นที่การทำงานไม่เหมาะสมเช่น ความกว้างของพื้นที่ไม่เพียง เป็นต้นด้วยเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมดล้วนเป็นสาเหตุทำให้เกิดอาการเมื่อยล้ามีอาการปวดกล้ามเนื้อที่คอและหลัง อาจมีผลอันเนื่องมากการจัดพื้นที่การทำงานไม่ถูกต้องตามหลักการออกแบบการยศาสตร์เช่น การปรับเก้าอี้ในการนั่งทำงานต่ำหรือสูงกว่าระดับความสูงของทำงาน การนั่งทำงานโดยไม่มีที่วางแขน ระยะการนั่งทำงานไม่เหมาะสม ไม่มีพนักพิงที่เก้าอี้ เป็นต้น ดังนั้นก่อนเริ่มการทดลองจะต้องจัดสภาพห้องทำงานให้ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์ โดยพิจารณารายละเอียดด้านระยะห่างระหว่างดวงตากับหน้าจอแสดงผล มุมของการมองภาพ (Viewing angle) และการจัดวางอุปกรณ์ต่าง ๆได้แก่ จอภาพ แป้นพิมพ์ เม้าส์ ที่ใช้สำหรับการนั่งทำงานดังรูปที่ 2.16 (Sanders and McCormick, 1987)



รูปที่ 2.16 การจัดพื้นที่ทำงานตามหลักการยศาสตร์

(Sanders and McCormick, 1987)

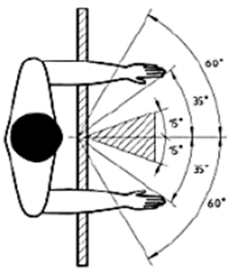
ตารางที่ 2.3 ช่วงการออกแบบทีแนะนำสำหรับท่านั่งทำงานคอมพิวเตอร์

พื้นที่การทำงาน	ช่วงที่เหมาะสม
ความสูงของจอแสดงผล	84-106 เซนติเมตร
ความสูงของแป้นพิมพ์	63-78 เซนติเมตร
ความสูงของโต๊ะทำงาน	66-81 เซนติเมตร
ความสูงเก้าอี้นั่ง	38-51 เซนติเมตร

ระดับการวางเท้า	3-5 เซนติเมตร
ระยะการมองภาพ	38-76 เซนติเมตร
มุมการนั่งบริเวณหลัง	100-120 องศา
มุมข้อศอก	90 องศา
มุมการเอียงของหลัง	10-30 องศา
มุมการมองภาพ	15-25 องศา
มุมของจอแสดงผล	0-7 องศา

2.7.1 การจัดท่าทางสำหรับการนั่งทำงานหน้าจอคอมพิวเตอร์

ท่าทางการนั่งทำงานตามมาตรฐานเพื่อจะใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงในการวัดระยะต่าง ๆ เช่น ระยะห่างการนั่งและมุมการมองภาพ เป็นต้น โดยท่าทางมาตรฐานที่แนะนำดังรูปที่ 2.17 โดยแนะนำการออกแบบท่านั่งให้สอดคล้องกับหลักกายรศาสตร์ การจัดวางตำแหน่งการวางมือและท่าทางการนั่งที่เหมาะสมลำตัวต้องตั้งฉากกับช่วงต้นขาซึ่งอยู่ในแนวระดับและขาส่วนล่างวัดจากหัวเข่าลงมาถึงข้อเท้าจะจัดวางอยู่ในแนวดิ่งเพื่อให้เกิดความสบายในการนั่งทำงาน กรณีที่เท้าของผู้เข้าร่วมการทดลองไม่ติดกับพื้นสามารถใช้แผ่นไม้รองให้ได้ระดับที่เหมาะสม



รูปที่ 2.17 ท่าอ้างอิงในการออกแบบท่านั่ง

(ISO 9241, 1998)

2.7.2 ข้อแนะนำในจัดอุปกรณ์อื่น ๆ สำหรับจัดสถานีทำงานให้เหมาะสม

การเลือกเก้าอี้ควรเลือกให้เหมาะสมกับสรีระและควรเลือกเก้าอี้ที่ปรับระดับความสูงและปรับการเอนของพนักพิงได้โดยยึดถือตามหลักการออกแบบตามหลักสากล รูปที่ 2.18 มีรายละเอียดดังนี้

1. เก้าอี้สำนักงานต้องถูกปรับให้เหมาะสมกับผู้งาน

2. เก้าอี้สำนักงานต้องรอรับท่าทางการนั่งโดยเฉพาะการโน้มของหลัง

3. พนักพิงควรปรับและล็อคความเอียงได้

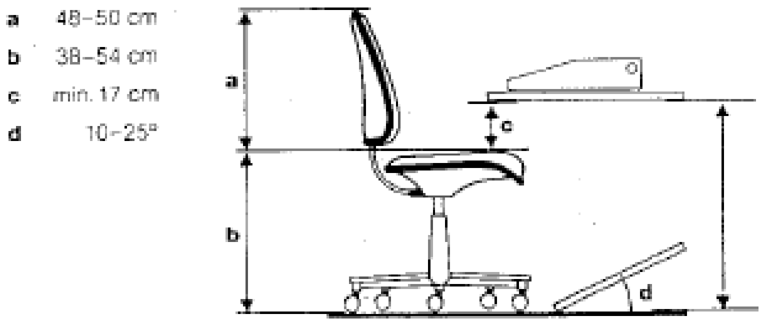
4. พนักพิงควรมีความสูง 48-52 เซนติเมตรในแนวตั้งเหนือพื้นที่นั่งและส่วนบนของพนักพิงควรเว้าเล็กน้อยที่รัศมี 40-50 เซนติเมตรมีความกว้างของพนักพิงที่แนะนำคือ 32-36 เซนติเมตร

5. พนักพิงต้องเหมาะสมกับแผ่นเอวที่จะรองรับกระดูกสันหลังระดับเอว

6. ที่นั่งควรกว้าง 40-45 เซนติเมตรและมีความยาว 38-42 เซนติเมตรจากหลังไปหน้าและความมีหลุมเล็กน้อยเพื่อป้องกันสะโพกเลื่อนไปด้านหน้า พื้นเก้าอี้ควรหน้า 2 เซนติเมตรห่อหุ้มด้วยวัสดุกันลื่นเพื่อความสบายในการนั่ง

7. ที่รองเท้านับเป็นส่วนที่สำคัญมากเพื่อให้คนที่มีความสูงไม่มากสามารถนั่งและขาไม่ห้อย

8. เก้าอี้สำนักงานต้องเติมเต็มความต้องการโดยการนั่งเก้าอี้สามารถปรับความสูง หมุนและเลื่อนไปมาได้เพื่อความสะดวกสบายในการทำงาน



รูปที่ 2.18 แสดงขนาดของเก้าอี้ที่แนะนำในการออกแบบพื้นที่การทำงาน

(Grandjean, 1987)

2.7.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมุมการมองเห็น

(Burgess-Limerick, Plooy, & Ankrum, 1998) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของการกำหนดความสูงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์จากท่าทางและมุมสายตาจากกลุ่มตัวอย่าง 12 คนโดยใช้ตัวชี้วัดคือมุมการมองภาพ มุมของตา มุมการมองภาพที่สัมพันธ์กับมุมตา มุมของศีรษะ มุมของคอและมุมของลำตัวเทียบในแนวนอน

(Kietrys, McClure, & Fitzgerald, 1998) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างท่าทางหัวและคอและความสูงของหน้าจอแสดงผล กลุ่มตัวอย่าง 27 คนโดยตัวตอบสนองคือระดับสายตา การโน้มเอียงของศีรษะ มุม cervical ช่วงบน มุม cervical ช่วงล่าง การโน้มเอียงของคอ การโน้มเอียงของหลัง

2.8 เครื่องมือที่ใช้วัดการเคลื่อนไหว

การบันทึกการเคลื่อนไหว (Motion capture, MOCAP) เป็นเครื่องมือบันทึกการเคลื่อนไหวของมนุษย์หรือวัตถุ ทำโดยการเปลี่ยนการเคลื่อนไหวจริงให้กลายเป็นการเคลื่อนไหวแบบดิจิตอล จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกไปวิเคราะห์ผล โดยทั่วไปมักใช้ในอุตสาหกรรมความบันเทิงเช่นภาพยนตร์และเกมส์ เพื่อให้การเคลื่อนไหวของตัวละครมีความสมจริง นอกจากนั้นยังนำไปใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์เช่น วิเคราะห์กลไกและโครงสร้าง ความผิดปกติในการเคลื่อนไหว ประโยชน์ในทางวิทยาศาสตร์การกีฬาเช่น วิเคราะห์ท่าทางของนักกีฬารวมถึงในทางนิติศาสตร์และการทหารอีกด้วยระบบบันทึกการเคลื่อนไหวแบ่งออกได้เป็น 3 แบบดังนี้

2.8.1 ระบบบันทึกการเคลื่อนไหวเชิงกล (Mechanical system) คือระบบที่บันทึกการเคลื่อนไหวได้เฉพาะมนุษย์ การทดลองต้องสวมชุดพิเศษที่มีลักษณะตามโครงสร้างร่างกาย ที่ตำแหน่งของข้อต่อสำคัญจะมีการติดตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ ทำให้ได้ค่ามุมการหมุนของข้อต่อในขณะที่ข้อต่อมีการเคลื่อนไหว แต่จะไม่ทราบตำแหน่งจริงของข้อต่อนั้นระบบประเภทนี้มักมีข้อจำกัดในการเคลื่อนไหว เนื่องจากชุดที่ผู้เข้าร่วมการทดลองต้องสวมใส่ทำให้เคลื่อนไหวได้ยากและไม่มีความซับซ้อนของท่าทาง (Tobon, 2010)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.8.2 ระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic system) คือระบบที่อาศัยหลักการของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจะมีแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ในบริเวณพื้นที่การเคลื่อนไหว เซ็นเซอร์ที่ติดตามข้อต่อจะวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและส่งข้อมูลไปยังวงจรวัดค่า เพื่อหาตำแหน่งการหมุนของเซ็นเซอร์ในสนามแม่เหล็ก ข้อเสียของระบบประเภทนี้คือถูกรบกวนได้ง่ายโดยโลหะและพื้นที่ถูกจำกัด (Tobon, 2010)

2.8.3 ระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยกล้อง (Optical system) คือระบบประเภทที่บันทึกการเคลื่อนไหวข้อต่อต่าง ๆของร่างกาน โดยติดบริเวณจุดบอกตำแหน่งหรือมาร์กเกอร์ (Marker) โดยมาร์กเกอร์ยังแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ มาร์กเกอร์แบบลูกบอลวาวแสง (Reflective ball or passive marker) จะปรากฏเป็นจุดแสงจากกล้องอินฟราเรดจะทำให้เห็นตำแหน่งของมาร์กเกอร์ ส่วนอีกแบบคือประเภทมาร์กเกอร์แบบหลอดแอลอีดี (LED or active marker) ซึ่งสามารถเปล่งแสง

ออกมาจากหลอดแอลอีดีและกล้องจะติดตามตำแหน่งและคำนวณเป็นพิกัดของมาร์กเกอร์ (Tobon, 2010)

ตารางที่ 2.4 ประเภทของระบบบันทึกการเคลื่อนไหว

ประเภท	เชิงกล	แม่เหล็กไฟฟ้า	กล้อง
การประมวลผลข้อมูล	ไม่ต้องมีการประมวลผล	ไม่ต้องมีการประมวลผล	ใช้เวลาประมวลผลนาน
การเปลี่ยนตำแหน่งและจำนวนของมาร์กเกอร์	ไม่สามารถเปลี่ยนได้	เปลี่ยนได้ยาก	เปลี่ยนได้ง่าย
การบดบังของมาร์กเกอร์	ไม่มี	ไม่มี	มี
ความถี่ในการบันทึก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
พื้นที่ในการบันทึก	มาก	น้อย	มาก
ค่าใช้จ่าย	ต่ำ	ปานกลาง	สูง

ระบบบันทึกการเคลื่อนไหว (Motion capture system) สามารถบันทึกการเคลื่อนไหวสิ่งที่ต้องการใน 3 มิติได้ ดังนั้นระบบบันทึกการเคลื่อนไหวได้ถูกพัฒนาเพื่ออุตสาหกรรมภาพยนต์ ดังนั้นงานวิจัยนี้เลือกใช้ระบบบันทึกการเคลื่อนไหวด้วยกล้อง (Optical System) ในระนาบ 2 มิติเพื่อบันทึกการเคลื่อนไหวของกระดูกสันหลัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.9 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบทางสถิติมีอหลากหลายแบบ อาทิเช่นการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และแผนภูมิพาเรโต้เป็นต้น เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองแบบ (Design of Experiment: DOE) เพื่อใช้การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและออกแบบการทดลองมีดังนี้

9.1 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ

กระบวนการวางแผนการทดลองจากนั้นข้อมูลที่เก็บมาได้มาทำการเคราะห์เชิงสถิติและหาข้อสรุปของปัจจัยนำเข้า (Input Variable) ต่าง ๆที่มีผลต่อตัวตอบสนอง (Output Response) โดยปัจจัยนำเข้าจะประกอบไปด้วย เครื่องจักร คน วิธีการ วัตถุดิบและทรัพยากรอื่น ๆ ผ่านเข้าไปในกระบวนการและเปลี่ยนออกมาเป็นผลลัพธ์ (Output) โดยหลักการพื้นฐานมีดังนี้

9.1.1 การทำซ้ำ (Replication) เพื่อลดความผิดพลาดในการทดลองได้ โดยความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติและเพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยระดับเดียวกันในการทดลองการทำซ้ำจะใช้ประมาณได้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้น

9.1.2 การสุ่ม (Randomization) คือการทดลองที่มีลำดับการทดลองแบบสุ่มวิธีการเชิงสถิติกำหนดข้อมูลความผิดพลาดของข้อมูลเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายเป็นแบบอิสระต่อกัน

9.1.3 การบล็อก (Blocking) คือการเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้การทดลองการเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่าง ๆภายในแต่ละบล็อกเพื่อให้การประมาณที่ได้มีค่าแม่นยำมากขึ้น

ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

1. กำหนดหัวข้อปัญหา (Problem statement) เพื่อระบุปัญหาในงานวิจัยซึ่งจะเชื่อมโยงไปยังการกำหนดวัตถุประสงค์

2. การเลือกปัจจัย (Factor) และการกำหนดระดับของปัจจัย (Treatment) จะต้องเลือกปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างแท้จริง

3. การเลือกตัวตอบสนอง (Response) การวัดได้ด้วยเครื่องมือวัดและกระบวนการวัดอื่น ๆ

4. เลือกแบบทดลอง (Experiment design) เช่น การกำหนดจำนวนตัวอย่าง การทำซ้ำ แผนการทำการทดลอง วิธีการบันทึกผลการทดลอง และการกำหนดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เป็นต้น

5. ดำเนินการทดลอง (Perform the Experiment) ให้เป็นไปตามแผนการทดลองที่ตั้งไว้

6. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) โดยเลือกใช้วิธีการทางสถิติให้เหมาะสม

7. สรุปผลการทดลองและให้คำแนะนำเพื่อเป็นแนวทางในงานวิจัยอื่นต่อไป

การเลือกแบบการทดลอง

- การออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) หรือข้อมูลแบบแจกแจงทางเดียว (One-Way Classification) คือแผนการทดลองแบบง่ายสุด จะเหมาะกับการทดลองที่ไม่สามารถแยกได้ว่าหน่วยทดลองที่นำมาใช้นั้นมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไรก่อนการทดลอง การวิเคราะห์ความแปรปรวนการทดลองสามารถแยกสาเหตุของความผันแปรของข้อมูลทั้งหมด อันเนื่องมาจากอิทธิพลของทรีทเมนต์แต่เพียงอย่างเดียว

- การออกแบบการทดลองแบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCB) ในบางการทดลองอาจประสบปัญหาเกี่ยวกับหน่วยทดลองที่ใช้ไม่มีความสม่ำเสมอ ทำให้การใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความผันแปรของข้อมูลจะไม่ใช่ผลของทรีทเมนต์เพียงอย่างเดียว แต่ยังมีความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมอยู่ด้วยซึ่ง

ความผันแปรส่วนหลังนี้จะรวมอยู่กับค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองทำให้ผลรวมของผลบวกของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงขึ้น

- การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) คือการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล เป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในกรณีที่มีปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยทุก ๆ Treatment Combination ของปัจจัยทุกตัวที่ศึกษาจะถูกพิจารณาไปพร้อมกัน ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักคือ ศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interactions)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

จากทฤษฎีและวิจัยที่เกี่ยวข้องในการศึกษาผลกระทบจากมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ต่อกระดูกสันหลังในผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ การวิจัยบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงวิธีการทดลองในแต่ละขั้นตอน เพื่อศึกษาปัจจัยของมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมุมของกระดูกสันหลังได้แก่มุมหลัง มุมคอและมุมศีรษะ การเปลี่ยนแปลงของมุมดังกล่าวจะมีผลทำให้เกิดโมเมนต์ที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนคอและบริเวณเอวไม่เท่ากัน โดยการทดลองภายใต้สภาพแวดล้อมที่ถูกหลักการยศาสตร์อีกทั้งยังควบคุมอุณหภูมิและความส่องสว่างภายในห้องทดลอง จากนั้นผู้เข้าร่วมการทดลองทำการพิมพ์อักษรที่มีระดับมุมการมองเห็น (Visual angle) ทั้ง 3 สภาวะ ได้แก่ 11 MOA 17 MOA และ 23 MOA ภายใต้การทำงานแบบควบคุมและไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ จากนั้นวัดการเปลี่ยนแปลงของมุมหลัง มุมคอและมุมศีรษะในขณะนั่งทำงาน โดยมีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

3.1 ผู้เข้าร่วมงานวิจัย

ผู้เข้าร่วมการทดลองคือนักศึกษามหาวิทยาลัยเป็นหญิงหรือชายจำนวน 40 คนมีอายุระหว่าง 21-28 ปี มีประสบการณ์การพิมพ์โดยใช้คอมพิวเตอร์ในชีวิตประจำวัน ปราศจากอาการบาดเจ็บที่มือ ร่างกายแข็งแรงและพักผ่อนเพียงพออย่างน้อย 8 ชั่วโมงก่อนเริ่มทำการทดลอง อีกทั้งไม่มีปัญหาด้านสายตาที่สองข้างซึ่งจะใช้การทดสอบตามหลักการและแผนภาพทดสอบสายตาสเนลเลน (Snellen chart) โดยใช้มาตรฐาน 20/20 ซึ่งเป็นค่าที่คนสายตาปกติสามารถมองเห็น เพื่อทดสอบความสามารถในการมองเห็น หากพบผู้ทำการทดลองมีสายตาไม่ปกติเช่นสายตาสั้นหรือยาวเกินไปต้องสวมแว่นสายตาหรือคอนแทคเลนส์ก่อนทำการทดลองและไม่มีความผิดปกติทางจิต ไม่เครียดหรือมีอาการกังวล

3.2 สถานที่ที่ใช้ในการทดลอง

การดำเนินการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการชั้น 8 อาคารเจริญวิศวกรรมคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 โต๊ะสำหรับวางคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 3.1 ประกอบไปด้วยความสูงจากพื้นโต๊ะเท่ากับ 75 เซนติเมตร ความกว้างเท่ากีบ 60 เซนติเมตร และความยาวเท่ากับ 130 เซนติเมตร

รูปที่ 3.1 โต๊ะสำหรับวางคอมพิวเตอร์

3.3.2 จอแสดงผล LCD ขนาด 19นิ้ว ยี่ห้อ HP รุ่น LE1901W มี Viewing Angle ของหน้าจอ 30 องศาดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 จอแสดงผลสำหรับงานวิจัย

3.3.3 แป้นพิมพ์มาตรฐานยี่ห้อ Acer รุ่น KU-0355ดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 แป้นพิมพ์สำหรับงานวิจัย

3.3.4 เก้าอี้นั่งปรับระดับ ยี่ห้อ Ergohuman สำหรับงานวิจัยดังรูปที่ 3.4

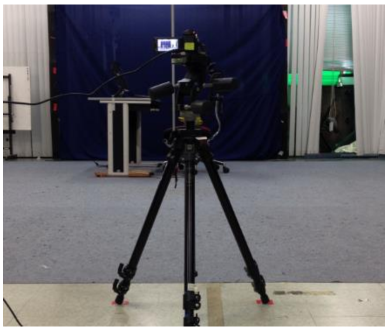
รูปที่ 3.4 เก้าอี้นั่งปรับระดับสำหรับงานวิจัย

3.3.5 หน่วยประมวลผลข้อมูล (Center Processing Unit) ยี่ห้อ HP รุ่น Compaq dc7900 Small Form Factor ดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 หน่วยประมวลผลข้อมูล (Center Processing Unit)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.3.6 ชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพเคลื่อนไหวประกอบไปด้วยกล้องวีดีโอ ขาตั้งกล้องเพื่อกำหนดตำแหน่งการนั่งในการการทดลองดังรูปที่ 3.6



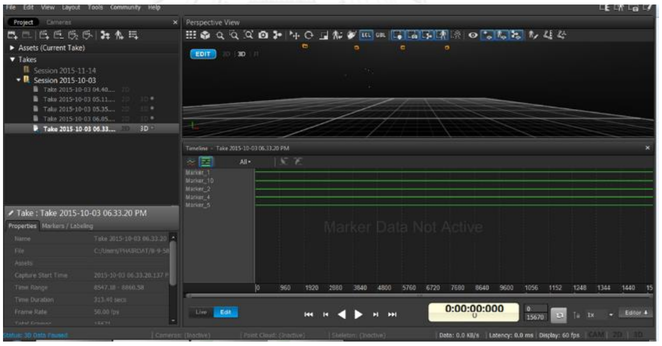
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ถ่ายภาพเคลื่อนไหว

3.3.7 จอภาพขนาดจอ 32 นิ้ว ยี่ห้อ Samsung รุ่น UA32EH4000R เพื่อใช้ในการแสดงผลภาพจากกล้องวีดีโอดังรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 จอภาพซัมซุง

3.3.8 เครื่องมือที่ใช้วัดการเคลื่อนไหว (OPTITRACK) โดยมีลูกบอลวาวแสง (Reflective ball or Passive marker) กล้องถ่ายภาพอินฟาเรด 12 กล้องครอบคลุมขนาดพื้นที่ 4.5 x 3.9 เมตร ประกอบด้วย

- กล้องอินฟราเรดมีความละเอียด 1.3 ล้านพิกเซล ทั้งหมด 12 ตัว
- คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ Motive Body ดังรูปที่ 3.8

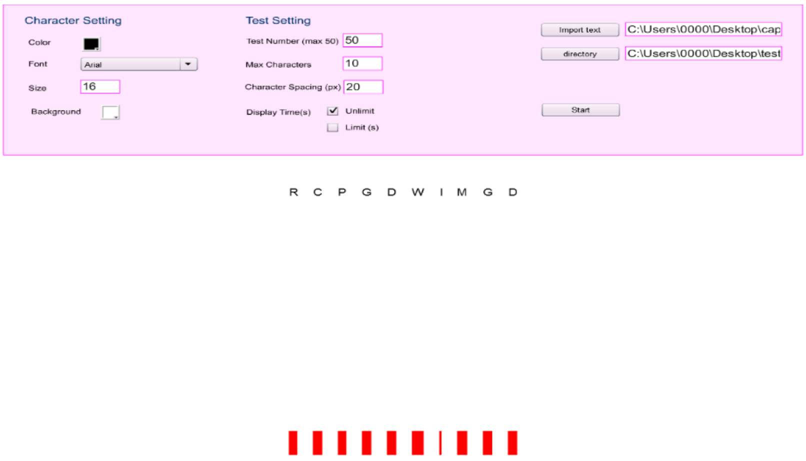


รูปที่ 3.8 โปรแกรมวัดการเคลื่อนไหว

- มาร์กเกอร์แบบลูกบอลวาวแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มิลลิเมตร 5 ลูกดังรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 ลูกบอลวาวแสง

3.3.9 โปรแกรมทดสอบการพิมพ์เออโกสกิล (ErgoEyeSkill) ดังรูปที่ 3.10 โดยการการสุ่มตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ 10 ตัวอักษรต่อครั้งการพิมพ์ตามขนาดตัวอักษรที่แตกต่างกันโดยทำการพิมพ์ตัวอักษรที่ชทั้งหมด 3 สภาวะดังตารางที่ 7 ดังนี้



รูปที่ 3.10 โปรแกรมทดสอบการพิมพ์

ตารางที่ 3.1 รูปแบบตัวอักษรที่ใช้ป้อนในโปรแกรม

Arial characters	Font	characters height (mm.)	Height for Test (mm.)
A S D F G H J K L M	14	4	4
A S D F G H J K L M	12	3.2	3
A S D F G H J K L M	10	2.6	
A S D F G H J K L M	9	2.1	2

การทดลองใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ประเภทซานเซอรีฟ (Sans Serif - Arial) โดยมีขนาดเท่ากับ 9, 10, 12 และ14 จุด (Point) โดยขนาดความสูงของตัวอักษรวัดบนจอแสดงผล HP รุ่น LE1901W ขนาด 19 นิ้วมีความกว้างและความยาวเท่ากับ 40.82 และ 25.5 เซนติเมตรที่ความละเอียดของหน้าจอเท่ากับ 1280 x 1024 พิกเซล หรือ 96 DPI นำภาพถ่ายตัวอักษรขนาด 1627 x 899 พิกเซล ทำการวัดความสูงของตัวอักษรด้วย Program Paint จะได้ความสูงตัวอักษรเท่ากับ 8 10 13 และ15 พิกเซลหรือเทียบเท่ากับ 2.1 2.6 3.2 และ 4 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 3.1

3.3.10 แผ่นวัดสายตา Snellen เพื่อทดสอบสภาพสายตาของผู้เข้าร่วมการทดลอง

3.4 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

3.4.1 ตัวแปรอิสระ (Independent Variables)

จุดประสงค์ของงานวิจัยเพื่อการศึกษาผลกระทบจากมุมการมองและอัตราเร็วในการพิมพ์เห็นต่อกระดูกสันหลังในผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ ภายใต้การออกแบบการทำงานตามหลักการยศาสตร์และวัดผลจากมุมหลัง มุมคอและมุมศีรษะเป็นค่าการตอบสนอง (response) โดยมีตัวแปรอิสระคือมุมการมองเห็น (Visual Angle) และอัตราเร็วในการพิมพ์มาใช้ในการศึกษา โดยงานวิจัยจะทดสอบมุมการมองเห็นที่ขนาดความสูงของตัวอักอักษร 3 ขนาดได้แก่ 2 3 และ 4 มิลลิเมตร ตามลำดับนำค่าขนาดความสูงของตัวอักษรไปคำนวณมุมการมองเห็น (Visual Angle) โดยระยะของวัตถุที่ห่างจากดวงตาเท่ากับ 60 เซนติเมตร จะได้ค่ามุมการมองเห็น (Visual Angle) 3 ระดับได้แก่ 11 17 และ 23 MOA ตามลำดับ ดังตารางที่ 7 โดยนำค่ามุมการมองเห็นมาเฉลี่ยก่อนนำค่าไปทดสอบ เนื่องจากมีงานวิจัยผลกระทบของระยะห่างการมองหน้าจอ แอล.อี.ดี ขนาดตัวอักษรและมุมเอียงของจอภาพที่มีต่อสมรรถนะการรับรู้ตัวอักขระบนจอ (พจนารถ พิมน้อม, 2554) ทำการศึกษาพบว่าความสูงของตัวอักษรที่ในระดับปัจจัยเดียวกันไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อเวลาในการตอบสนอง

ปัจจัยอัตราเร็วในการพิมพ์งานโดยงานวิจัยจะทดสอบที่ระดับปัจจัย 2 ระดับคือควบคุมอัตราเร็วและไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ ในระดับที่ไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ผู้เข้าร่วมการทดลองจะต้องพิมพ์ตัวอักษรที่ปรากฎบนหน้าจอแสดงผล โดยการการสุ่มตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ 10 ตัวอักษรต่อครั้งการพิมพ์ที่ความถูกต้องของการพิมพ์ 95 เปอร์เซ็นต์ผิดพลาดได้ 5 เปอร์เซ็นต์ของอัตราเร็วการพิมพ์หน่วยคือตัวอักษรต่อนาที กำหนดอัตราเร็วแบบไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์คืออัตราเร็วในการพิมพ์ และระดับปัจจัยควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์สามารถทำได้โดยนำค่าของอัตราเร็วการพิมพ์แบบไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์มาเพิ่มความเร็วเป็น 110-120 เปอร์เซ็นต์จะได้อัตราเร็วแบบควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามความสามารถในการพิมพ์ของผู้เข้าร่วมการทดลอง

3.4.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variables)

จากการทำงานวิจัยกับผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 6 ชุดการทดลองจะทำให้ได้ข้อมูลในส่วนที่เป็นตัวแปรตามซึ่งงานวิจัยนี้จะแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 2 สถานะได้แก่ สถานะเริ่มทำงาน (Initial State) และสถานะคงตัว (steady state) ซึ่งข้อมูลของตัวแปรตามได้แก่

1. ระยะของวัตถุที่ห่างจากดวงตาซึ่งเป็นค่าที่เกิดจากการโน้มเข้าหาระดับมุมการมองเห็น (Visual angle) ที่เหมาะสมกับการใช้งานคอมพิวเตอร์

2. มุมของร่างกายที่เกิดจากการโน้มเข้าหาระดับมุมการมองเห็น (Visual Angle) ที่เหมาะสมได้แก่ มุมหลัง, มุมคอและมุมศีรษะ

3. โมเมนต์ที่ตำแหน่งคอ (Cervical segment 7: C7) และตำแหน่งบริเวณเอว (L5S1)

3.4.3 ตัวแปรควบคุม (Control Variables)

1. จัดสถานีงานการทำงานให้ถูกหลักการยศาสตร์โดยกำหนดตำแหน่งคอมพิวเตอร์ โต๊ะ เก้าอี้ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้อยู่ในสภาพคงที่

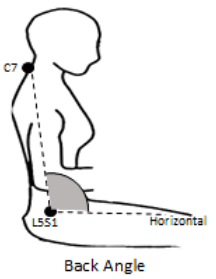
2. การวัดความส่องสว่างในห้องทดลองโดยใช้อุปกรณ์ลักซ์มิเตอร์โดยการทดลองมีการควบคุมความกำหนดความส่องสว่าง ในห้องการทดลองเท่ากับ 400 ลักซ์ เป็นค่ามาตรฐานที่ใช้ทั่วไปในสำนักงานและควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 24 องศาเซลเซียส

3. ปัจจัยของจำนวนตัวอักษรที่แสดงบนจอแสดงผล โดยมีการกำหนดความยาวกลุ่มคำในภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ทั้งหมด เพื่อลดผลกระทบของตัวอักษรที่มีความสูงไม่เท่ากันโดยจำนวนข้อมูลที่หน้าจอแสดงผลเท่ากับ 10 ตัวอักษร (ภาษาอังกฤษ 5 ตัวอักษรเท่ากับ 1 คำ) และระหว่างตัวอักษรมีการกำหนดช่องไฟระหว่างตัวอักษรจากโปรแกรมอัตโนมัติ

3.5 หลักการออกแบบทดลอง

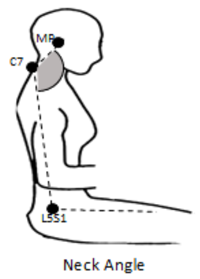
3.5.1 การกำหนดจุดบอกตำแหน่งการติดลูกบอลวาวแสง (Reflective ball or Passive marker) ตามร่างกายเพื่อใช้ในการทดลองนั้นเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญที่สุด เนื่องจากต้องนั่งทำงานคอมพิวเตอร์ภายใต้สภาวะเดียวกัน ดังนั้นตำแหน่งที่ใช้ในการทดสอบต้องเป็นจุดที่ระบุได้อย่างชัดเจนสามารถทำการทดลองซ้ำได้ในตำแหน่งเดิม งานวิจัยนี้จะทำการอ้างอิงการศึกษาของ (Burgess-Limerick, Plooy, Ankrum, 1997) เพื่อกำหนดตำแหน่งที่ใช้ในการทดลอง 5 ตำแหน่งได้แก่ตำแหน่งที่ระดับเอวหรือ L5S1 (lumbar segment 5 and sacral segment 1: L5S1) ตำแหน่งที่ 2 กระดูกบริเวณคอ (Cervical segment 7: C7) ตำแหน่งที่ 3 กระดูกหลังหูคือตำแหน่งเส้นตรงจากหางตามายังติ่งหู (The mastoid process on a line joining the tragus and the outer canthus: MP) ตำแหน่งที่ 4 บริเวณหางตา (Outer canthus of the eye: OC) และตำแหน่งที่ 5 จุดศูนย์กลางจอแสดงผล (Monitor Center) เมื่อได้ตำแหน่งในการทดสอบจะกำหนดมุมที่จะเป็นค่าการตอบสนอง (Response) โดยหลักการหามุมจากวิธีการทางชีวกลศาสตร์ (Biomechanics) วิธีการวัดข้อต่อถึงข้อต่อ (Joint-Joint) ได้แก่

1. มุมหลัง (Back angle: θ_1) เกิดจากเส้นตรงที่ลากผ่านตำแหน่งระดับเอวหรือ L5S1 (lumbar segment 5 and sacral segment 1) และตำแหน่งกระดูกคอ C7 ตัดกับเส้นตรงในแนวนอน (Horizontal) ดังรูปที่ 3.11



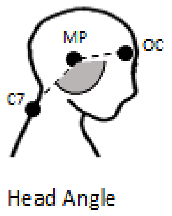
รูปที่ 3.11 แสดงตำแหน่งมุมหลัง (Back Angle)

2. มุมคอ (Neck Angle: θ2) คือเส้นตรงของที่ลากผ่านตำแหน่งกระดูก (Cervical segment 7) และตำแหน่งกระดูกหลังหูตัดกับเส้นตรงที่ลากผ่านตำแหน่งกระดูก (Cervical segment 7) และตำแหน่งระดับเอว (L5S1) รูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงตำแหน่งมุมคอ (Neck Angle)

3. มุมศีรษะ (Head Angle: θ_3) เกิดจากเส้นตรงที่ลากผ่านตำแหน่งกระดูกหลังหู (MP) และตำแหน่งบริเวณหางตา (Outer canthus of the eye: OC) ตัดกับเส้นตรงที่ลากผ่านตำแหน่งกระดูกหลังหูดังรูปที่ 3.13



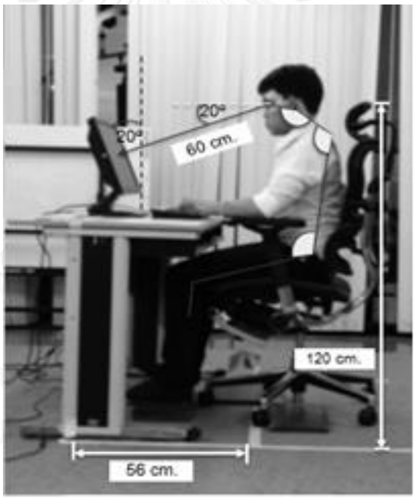
รูปที่ 3.13 แสดงมุมศีรษะ (Head Angle)

3.5.2 การจัดวางท่าทางการนั่งและสถานีทำงานให้ถูกหลักการยศาสตร์

การกำหนดท่าทางการนั่งและสถานีทำงานให้ถูกหลักการยศาสตร์เป็นตัวแปรควบคุมในการทดลอง เนื่องจากการใช้คอมพิวเตอร์ในระยะเวลาที่นานทำให้เกิดอาการเมื่อยล้าส่งผลต่ออาการปวด

ที่คอและหลัง ดังนั้นก่อนทำการทดลองจึงต้องมีการจัดสภาพแวดล้อมของสถานีงานสำหรับการปฏิบัติงานหน้าจอคอมพิวเตอร์ตามหลักการยศาสตร์ เพื่อเพิ่มสประสิทธิภาพการทำงานของควรจัดสภาพแวดล้อมและสถานีงาน จากนั้นเริ่มจัดท่าทางสำหรับการนั่งทำงานหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยคำนึงถึงรายละเอียดด้านระยะห่างระหว่างดวงตากับหน้าจอคอมพิวเตอร์ มุมของการมองภาพและการจัดวางอุปกรณ์ด้านคอมพิวเตอร์เช่น จอภาพ แป้นพิมพ์ เม้าส์ เป็นต้น รวมถึงเฟอร์นิเจอร์สำหรับการนั่งทำงานเช่น โต๊ะ เก้าอี้ เป็นต้น (Sanders and McCormick, 1987).

ในการทดลองกำหนดให้นั่งที่ระดับความสูง 120 เซนติเมตรจากพื้นมายังตำแหน่งที่ 4 คือบริเวณหางตา เนื่องความสูงของผู้เข้าร่วมการทดลองไม่เท่ากันสามารถใช้แผ่นไม้รองเท้า เพื่อปรับให้มุมหัวเข่าอยู่ในช่วง 90-120 องศาและกำหนดให้ระยะการมอง (D) คือระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่ 4 และตำแหน่งที่ 5 เท่ากับ 60 เซนติเมตร โดยใช้มุมการมองภาพเท่ากับ 20 องศาเพื่อให้ได้ตำแหน่งเดียวกันก่อนเริ่มการทดลองจะทำการตั้งค่ามุมการมองอยู่ในระดับ 20 องศาดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ท่าทางการนั่งและสถานีทำงานในการทดลอง

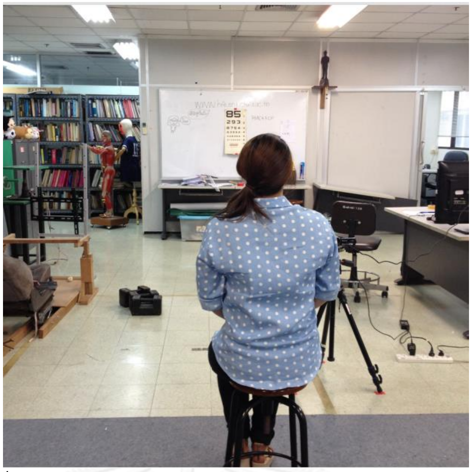
3.6 วิธีการทดสอบที่เกี่ยวข้องและการดำเนินการ

3.6.1 การดำเนินการก่อนเริ่มการทดสอบ

1. ผู้เข้าร่วมการทดลองจะได้รับการอธิบายรายละเอียดของงานวิจัย จากนั้นผู้เข้าร่วมการทดลองจะลงนามยอมรับใน “หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมงานวิจัย” ตามระเบียบของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย

2. ทดสอบสภาพการมองเห็นของผู้เข้าร่วมการทดลองด้วยแผ่นทดสอบสายตา (Snellen chart) ใน อยู่ที่ระยะ 6 เมตรห่างจากแผ่นทดสอบสเนลเลน (Snellen chart) จากนั้นเริ่มอ่านตัวทดสอบจากบนสุดลงมาทีละแถวจนถึงตัวเล็กที่สุดเท่าที่อ่านได้จนถึงแถว 20/20 เป็นค่า

มาตรฐานที่คนปกติมองเห็นกรณีที่การทดลองมีความผิดปกติทางสายตา อนุญาตให้ผู้เข้าร่วมการทดลองสวมใส่แว่นหรือคอนแทคเลนซ์ดังรูปที่ 3.15

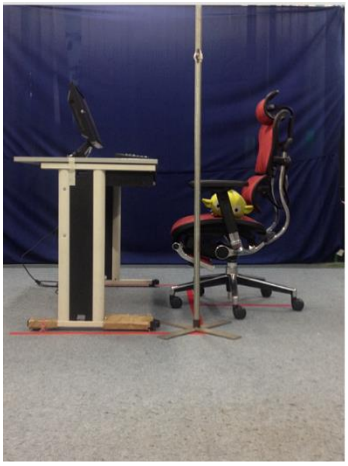


รูปที่ 3.15 ทดสอบสภาพการมองเห็นในการทดลอง

3. ตั้งค่าระบบบันทึกการเคลื่อนไหว (OPTITRACK) เท่ากับ 50 เฟรมต่อวินาที โดยใช้กล้องอินฟาเรดจำนวน 12 ตัวในการบันทึกการเคลื่อนไหว

4. จัดสถานีงานในการทดลองให้ถูกการยศาสตร์โดยจัดวางอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์อื่น ๆ ให้เป็นตัวแปรควบคุม อยู่ในสภาพเดิมตลอดการทดลอง

4.1. ตั้งค่าตำแหน่งการนั่งโดยนำเสาเหล็กมาอ้างอิงตำแหน่งแทนผู้เข้าร่วมการทดลองที่ระดับความสูง 120 เซนติเมตรทำการติดลูกบอลแววแสงหนึ่งจุดและทำการติดอีก 1 จุดที่จุดกึ่งกลางด้านข้างของจอแสดงผลที่ระดับความสูง 100 เซนติเมตรกำหนดให้ระยะห่างระหว่างลูกบอลวาวแสง 2 ลูกเท่ากับ 60 เซนติเมตรดังรูปที่ 3.16 จากนั้นทำการทดสอบตำแหน่ง โดยใช้ระบบบันทึกการเคลื่อนไหว (OPTITRACK) วัดค่าจำนวน 200 Frameในระนาบ (X, Y)



รูปที่ 3.16 การตั้งค่าตำแหน่งการนั่งทำงานคอมพิวเตอร์

4.2. กำหนดตำแหน่งการนั่งที่ได้จากการปรับตั้งค่าตามข้อ 4 บนจอภาพที่ติดฟิล์มใสผ่านกล้องวีดีโอ ทำการมาร์คตำแหน่งของลูกบอลวาวแสงทั้งสองตำแหน่งลงบนจอภาพเพื่อกำหนดให้ผู้เข้าร่วมการทดลองนั่งในตำแหน่งเดียวกัน กรณีที่ระดับความสูงของผู้เข้าร่วมการทดลองไม่เท่ากันให้ปรับระดับเก้าอี้

รูปที่ 3.17 การกำหนดาตำแหน่งการนั่งทำงานคอมพิวเตอร์

5. ติดลูกบอลวาวแสงที่บริเวณร่างกายส่วนบนได้แก่ตำแหน่ที่ระดับเอวหรือ L5S1 (lumbar segment 5 and sacral segment 1: L5S1), ตำแหน่งที่ 2 กระดูกสันหลังส่วนคอ (Cervical segment 7: C7), ตำแหน่งที่ 3 กระดูกหลังหูคือตำแหน่งเส้นตรงจากหางตามายังติ่งหู (The mastoid process on a line joining the tragus and the outer canthus: MP) และตำแหน่งที่ 4 บริเวณหางตา

เมื่อดำเนินการก่อนเริ่มการทดสอบเสร็จตามขั้นตอน งานวิจัยนี้จะเริ่มทำการทดลองจำนวน 6 ชุดการทดลองภายใต้ตัวแปรควบคุมในการทดลอง

3.6.2 เกณฑ์วิธีการทดสอบแบบไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์

1. ตั้งค่าโปรมแกรมทดสอบการพิมพ์ (ErgoEyeSkill) กำหนดความยาวกลุ่มคำในภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ทั้งหมด โดยจำนวนข้อมูลการสุ่มตัวอักษรที่หน้าจอแสดงผลเท่ากับ 10 ตัวอักษร (ภาษาอังกฤษ 5 ตัวอักษรเท่ากับ 1 คำ) และระหว่างตัวอักษรมีการกำหนดช่องไฟระหว่างตัวอักษรจากโปรแกรมอัตโนมัติ เลือกช่วงเวลาในการแสดงภาพ (Display time) แบบไม่จำกัดเวลา (Unlimited) และสร้างโฟลเดอร์เพื่อบันทึกข้อมูลการพิมพ์ ก่อนเริ่มทำการทดลองจะฝึก (Training) การใช้โปรแกรมให้เกิดความชำนาญก่อนทุกครั้ง

2. ผู้เข้าร่วมการทดลองพิมพ์ตามตัวอักขระที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลเป็นเวลา 5 นาทีต่อ 1 สภาวะจะทดลองทั้งหมด 3 สภาวะได้แก่ขนาด 16, 11 และ 6 ตามลำดับเทียบเท่ามุมการมองเห็น 23, 17 และ 11 MOA (ขนาดความสูงของตัวอักษรที่ใช้ทดสอบได้แก่ 4, 3 และ 2 มิลลิเมตร

3. หลังจากการทดลองเสร็จ 1 สภาวะให้ผู้เข้าร่วมการทดลองพัก 5 นาทีก่อนที่จะเริ่มการทดลองในสภาวะถัดไป

4. เก็บข้อมูลผ่านระบบบันทึกการเคลื่อนไหว ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นพิกัดแบบ 2 มิติ โดยที่ความสูงอยู่ในแนวแกน Y ความยาวอยู่ในแนวแกน X ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตารางบันทึกข้อมูลจากระบบบันทึกการเคลื่อนไหว

เฟรมที่	เวลา (วินาที)	ตำแหน่งมาร์กเกอร์									
		ระดับเอว		กระดูก C7		กระดูกหลังหู		หางตา		กลางจอแสดงผล	
		พิกัดแกนในแนว X	พิกัดแกนในแนว Y	พิกัดแกนในแนว X	พิกัดแกนในแนว Y	พิกัดแกนในแนว X	พิกัดแกนในแนว Y	พิกัดแกนในแนว X	พิกัดแกนในแนว Y	พิกัดแกนในแนว X	พิกัดแกนในแนว Y
1	0.00										
2	0.02										
3	0.04										
4	0.06										
5	0.08										

อย่างไรก็ตามเพื่อความแม่นยำของผลการทดลองผู้เข้าร่วมการทดลอง 40 คนจะต้องทำการทดลองซ้ำอีก 1 ครั้งรวมเป็น 2 รอบการทดลอง

3.6.3 เกณฑ์วิธีการทดสอบแบบควบคุมอัตราเร็ว

1. ตั้งค่าโปรมแกรมทดสอบการพิมพ์ (ErgoEyeSkill) กำหนดความยาวกลุ่มคำในภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ทั้งหมด โดยจำนวนข้อมูลการสุ่มตัวอักษรที่หน้าจอแสดงผลเท่ากับ 10 ตัวอักษร (ภาษาอังกฤษ 5 ตัวอักษรเท่ากับ 1 คำ) และระหว่างตัวอักษรมีการกำหนดช่องไฟระหว่างตัวอักษรจากโปรแกรมอัตโนมัติ เลือกช่วงเวลาในการแสดงภาพ (Display time) แบบจำกัดเวลา (limited) ตามเวลาที่ทำให้อัตราการพิมพ์เพิ่มขึ้น 110-120 เปอร์เซ็นต์ของจากอัตราการพิมพ์แบบไม่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ควบคุมอัตราเร็ว ก่อนเริ่มทำการทดลองจะฝึก (Training) การใช้โปรแกรมให้เกิดความชำนาญก่อนทุกครั้ง

2. ผู้เข้าร่วมการทดลองพิมพ์ตามตัวอักขระที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลเป็นเวลา 5 นาทีต่อ 1 สภาวะจะทดลองทั้งหมด 3 สภาวะได้แก่ขนาด 16, 11 และ 6 ตามลำดับเทียบเท่ามุมการมองเห็น 23, 17 และ 11 MOA (ขนาดความสูงของตัวอักษรที่ใช้ทดสอบได้แก่ 4, 3 และ 2 มิลลิเมตร

3. หลังจากการทดลองเสร็จ 1 สภาวะให้ผู้เข้าร่วมการทดลองพัก 5 นาทีก่อนที่จะเริ่มการทดลองในสภาวะถัดไป

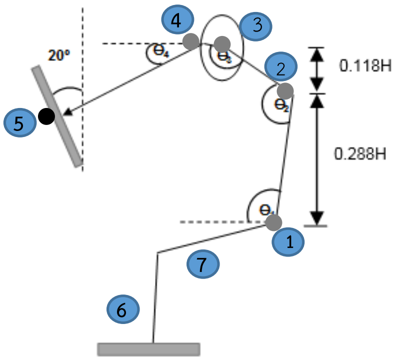
4. เก็บข้อมูลผ่านระบบบันทึกการเคลื่อนไหว ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นพิกัดแบบ 2 มิติ โดยที่ความสูงอยู่ในแนวแกน Y ความยาวอยู่ในแนวแกน X ดังแสดงในตารางที่ 3.1

อย่างไรก็ตามเพื่อความแม่นยำของผลการทดลองผู้เข้าร่วมการทดลอง 40 คนจะต้องทำการทดลองซ้ำอีก 1 ครั้งรวมเป็น 2 รอบการทดลอง

3.7 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

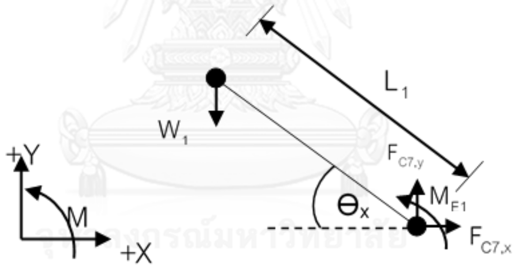
การปวดคอและหลังมักเกิดขึ้นกับผู้ทำงานคอมพิวเตอร์ การศึกษานี้จึงให้ความสนใจในการวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์ที่บริเวณตำแหน่งคอและบริเวณเอว (L5S1) เพื่อประเมินโมเมนต์ที่ตำแหน่งคอ (C7) และตำแหน่งบริเวณเอว (L5S1) ว่าได้รับผลกระทบจากมุมการมองเห็น (Visual angle) และอัตราเร็วในการพิมพ์หรือไม่ โดยศึกษาจากการเพิ่มผลิตภาพ (Productivity) ให้เร็วขึ้น 110-120 เปอร์เซ็นต์จากอัตราเร็วปกติ (อ้างอิงจากอัตราเร็วการพิมพ์แบบไม่ควบคุมเวลา) ชุดข้อมูลของมุมที่ใช้ในการทดลองจะถูกเก็บในระนาบ (X,Y) นำข้อมูลของ 5 ตำแหน่งที่ได้มาหาค่าพิกัด (X,Y) ได้แก่ ตำแหน่งที่ 1 ระดับเอวหรือ L5S1 (lumbar segment 5 and sacral segment 1: L5S1) ตำแหน่งที่ 2 กระดูกบริเวณคอ (Cervical segment 7: C7) ตำแหน่งที่ 3 กระดูกหลังหูคือตำแหน่งเส้นตรงจากหางตามายังติ่งหู (The mastoid process on a line joining the tragus and the outer canthus: MP) ตำแหน่งที่ 4 บริเวณหางตา (Outer canthus of the eye: OC) ตำแหน่งที่ 5 จุดศูนย์กลางจอแสดงผล (Monitor Center) ตำแหน่งที่ 6 คือขาท่อนล่างและตำแหน่งที่ 7 คือขาท่อนบน เพื่อนำตำแหน่งดังกล่าวมาประมาณค่ามุมที่ใช้ในการทดสอบโดยใช้แผนผังภาพวัตถุอิสระ (Free body diagram) ดังรูปที่ 3.18 ทั้ง 6 ชุดการทดลอง การวิเคราะห์ผลจะนำค่ามุมหลัง, มุมคอและมุมศีรษะที่มีจำนวนเฟรม (Frame) สะสมมาสูงสุดกำหนดให้เป็นค่าสถานะคงตัว (steady state) และเวลาเริ่มต้นเข้าสู่สถานะคงตัว (Steady state) กำหนดให้เป็นเวลาที่สถานะคงตัว (steady state) นำข้อมูลมาวิเคราะห์ตามหลักของ DOE (Design of experiment) ในรูปแบบของ General full factorial เพื่อ

วิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ที่ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงมุมหลัง คอและศีรษะ



รูปที่ 3.18 แผนผังภาพวัตถุอิสระ

งานวิจัยนี้ยังสนใจศึกษาโมเมนต์ที่ตำแหน่งกระดูก (Cervical segment 7: C7) ของงานคอมพิวเตอร์สามารถหาโมเมนต์ที่ตำแหน่งกระดูก (Cervical segment 7: C7) ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 โมเมนต์ที่ตำแหน่งกระดูก

จาก รูปที่ 3.18 และรูปที่ 3.19 สามารถคำนวณโมเมนต์ที่ตำแหน่งกระดูก (Cervical segment 7: C7) จากสมการสมดุลสถิต (Static Equilibrium) (Winter, 2005) สามารถหาค่าดังนี้

$$\Sigma M = ME_1 - (W_1 \times L_1 \cos \theta_x) = 0 \quad ..... 3.1.1$$

เมื่อ W_1 = แรงอันเนื่องมาจากน้ำหนักของศีรษะและคอ

= 0.081 x น้ำหนักร่างกาย x 9.8 $m\text{-}s^2$

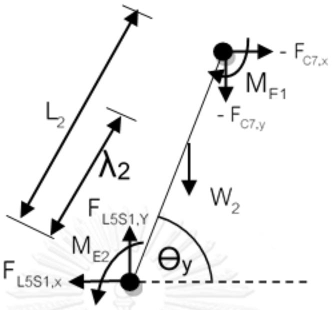
L_1 = ความยาวจากจุด MP ถึงจุด C7

θ_x = มุมของตำแหน่งกระดูก C7 วัดกับแนวราบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ME_1 = โมเมนต์ที่กระดูกคอ C7 เพื่อรักษาสมดุลสถิต

ค่าโมเมนต์ที่ตำแหน่งกระดูก (Cervical segment 7:C7) ที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติเพื่อศึกษาระดับนัยสำคัญ หากค่าดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากมุมการมองเห็น นอกสนใจศึกษาโมเมนต์ที่ตำแหน่งกระดูกบริเวณเอว (L5S1) (Winter, (2005 ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 โมเมนต์ที่ที่ตำแหน่งกระดูกบริเวณเอว

จากสมการสมดุลสถิต (Static Equilibrium) สามารถหาค่าได้ดังนี้

$$\Sigma M = ME_2 - ME_1 - (W_2 \times \lambda_2 \mathrm{Cos}\,\theta_y) - (F_{C7,y} \times L_2 \mathrm{Cos}\,\theta_y) = 0 \quad ..... \; 3.1.2$$

เมื่อ W_2 = แรงอันเนื่องมาจากน้ำหนักของลำตัว

= 0.497 x น้ำหนักร่างกาย x 9.8 $m\text{-}s^2$

λ_2 = ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลคิดเป็น % ของ L_2 จากตำแหน่ง Proximal

L_2 = ความยาวจากจุด C7 ถึงจุด L5S1

θ_y = มุมของตำแหน่งกระดูก L5S1 วัดกับแนวราบ

M_{E2} = โมเมนต์ที่กระดูก L5S1 เพื่อรักษาสมดุลสถิต

$F_{L5S1,y}$ = แรงลัพธ์ตามแนวแกน Y ที่กระดูก L5S1 เพื่อรักษาสมดุลสถิต

ผลต่างโมเมนต์ที่ตำแหน่งคอ (Cervical segment 7:C7) และตำแหน่งบริเวณเอว (L5S1) ที่สถานะคงตัว (steady state) เทียบกับ สถานะเริ่มต้น (Initial state) ที่โดยการทดสอบ 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ นำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติวิธีการ Full Factorial Design เพื่อศึกษาระดับนัยสำคัญหากค่าดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากสองปัจจัย

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองได้ทำการเก็บข้อมูลจากระบบบันทึกการเคลื่อนไหวพิกัด (X,Y) ของตำแหน่งมาร์กเกอร์ทั้ง 5 ตำแหน่งได้แก่บริเวณเอว กระดูกสันหลังส่วนคอ (Cervical 7) กระดูกหลังหูและกลางจอแสดงผลของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 40 คน และนำมาข้อมูลที่ได้มาแปลงเป็นค่ามุมของร่างได้แก่ มุมหลัง มุมคอ และมุมศีรษะของแต่ละบุคคล โดยมีปัจจัยมุมการมองเห็น (Visual Angle) และปัจจัยของอัตราเร็วในการพิมพ์งาน (Typing Speed) เป็นตัวแปรอิสระที่ใช้ในการทดสอบแต่ในการทดลองจะนำมุมที่ตำแหน่งหลังและคอ มาวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ที่กระทำบริเวณหลังและคอ ดังนั้นปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติจึงมี 2 ปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบ

ข้อมูลเกี่ยวข้องกับผู้เข้าร่วมการทดลองถูกบันทึกก่อนเข้าร่วมการทดลอง ดังตารางที่ 4.1 ตารางข้อมูลผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 40 คนประกอบไปด้วยเพศชายจำนวน 10 คนและเพศหญิงจำนวน 30 คนกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีและปริญญาโท โดยมีประสบการณ์การพิมพ์โดยใช้คอมพิวเตอร์ในชีวิตประจำวัน ปราศจากอาการบาดเจ็บที่มือ สุขภาพร่างกายแข็งแรงพักผ่อนเพียงพออย่างน้อย 8 ชั่วโมงไม่มีปัญหาด้านสายตาที่สองข้าง ทดสอบความสามารถในการมองเห็นตามหลักการและแผนภาพของสเนลเลน (Snellen) โดยใช้มาตรฐาน 20/20 เป็นค่ามาตราฐานของคนสายตาปกติในการมองเห็น หากพบผู้ทำการทดลองมีสายตาไม่ปกติเช่นสายตาสั้นหรือยาวเกินไปต้องสวมแว่นสายตาหรือคอนแทคเลนส์ก่อนทำการทดลองและไม่มีความผิดปกติทางจิต ไม่เครียดหรือมีอาการกังวลการเก็บข้อมูลผู้เข้าร่วมการทดลองโดยการใช้แบบฟอร์มยินยอมเข้าร่วมงานวิจัยที่ระบุในภาคผนวก ก. ข้อมูลจะถูกจัดเก็บเป็นรายบุคคลและสงวนสิทธิในการแสดงรายชื่อและรายละเอียดของผู้เข้าร่วมการทดลองรายระเอียดของข้อมูลมีดังนี้

- วันเดือนปีที่ทำการเก็บข้อมูล: การเก็บข้อมูลจะใช้ระยะเวลาในการเก็บทั้งหมด 7 เดือนตั้งแต่เดือนตุลาคม 2558 ถึงเดือนเมษายน 2559 เนื่องจากมีการเก็บข้อมูลเฉพาะวันเสาร์และอาทิตย์ดังนั้นจึงต้องใช้ระยะเวลานานในการเก็บข้อมูลในครบ 40 คน
- เพศ และอายุ: ข้อมูลนี้จะใช้กำหนดกลุ่มของผู้เข้าร่วมการทดลองให้อยู่ในช่วงของนักเรียนนักศึกษา
- น้ำหนักและส่วนสูง: ข้อมูลส่วนนี้เป็นข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ค่าของโมเมนต์ที่ตำแหน่งคอและระดับเอวซึ่งค่าของโมนเมนต์ของแต่ละผู้เข้าร่วมการทดลองจะแตกต่างกันตามมุมของร่างกาย น้ำหนักและส่วนสูง

- วุฒิการศึกษา: ผู้เข้าร่วมการทดลองอยู่ในระดับปริญญาตรีและปริญญาโททั้งหมด เนื่องจากเป็นกลุ่มที่ต้องใช้คอมพิวเตอร์ทำงานเป็นประจำ
- สุขภาพทางสายตา: ข้อมูลสุขภาพทางสายตาและสภาพการมองเห็นเป็นไปตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางการเก็บข้อมูลผู้เข้าร่วมงานวิจัย

ลำดับที่	ผู้เข้าร่วมงานวิจัย	เพศ	อายุ (ปี)	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ม.)	วุฒิการศึกษา	ปัญหาสายตา			การมองเห็น
1	S1	หญิง	25	57	1.68	กำลังศึกษาปริญญาโท	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ
2	S2	หญิง	26	56	1.6	กำลังศึกษาปริญญาโท	มี	สายตาสั้น	สวมคอนเทค	ปกติ
3	S3	ชาย	25	70	1.72	กำลังศึกษาปริญญาโท	มี	สายตาสั้น	สวมแว่น	ปกติ
4	S4	ชาย	25	70	1.7	ปริญญาตรี	มี	สายตาสั้น	สวมแว่น	ปกติ
5	S5	หญิง	25	46	1.56	กำลังศึกษาปริญญาโท	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ
6	S6	ชาย	28	68	1.76	ปริญญาตรี	มี	สายตาสั้น	สวมคอนเทค	ปกติ
7	S7	หญิง	21	54	1.63	กำลังศึกษาปริญญาตรี	มี	สายตาสั้น	สวมคอนเทค	ปกติ
8	S8	ชาย	20	65	1.78	กำลังศึกษาปริญญาตรี	มี	สายตาสั้น	สวมคอนเทค	ปกติ
9	S9	ชาย	27	62	1.75	ปริญญาตรี	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ
10	S10	หญิง	26	49	1.57	กำลังศึกษาปริญญาโท	มี	สายตาสั้น	สวมคอนเทค	ปกติ
11	S11	หญิง	28	78	1.78	กำลังศึกษาปริญญาโท	มี	สายตาสั้น	สวมคอนเทค	ปกติ
12	S12	ชาย	28	63	1.72	ปริญญาตรี	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ

ลำดับที่	ผู้เข้าร่วมงานวิจัย	เพศ	อายุ (ปี)	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ม.)	วุฒิการศึกษา	ปัญหาสายตา			การมองเห็น
13	S13	หญิง	27	50	1.64	กำลังศึกษาปริญญาโท	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ
14	S14	หญิง	25	52	1.62	กำลังศึกษาปริญญาโท	มี	สายตาสั้น	สวมคอนเทค	ปกติ
16	S16	ชาย	28	63	1.72	กำลังศึกษาปริญญาโท	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ
17	S17	ชาย	30	78	1.7	กำลังศึกษาปริญญาโท	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ
18	S18	หญิง	26	65	1.6	กำลังศึกษาปริญญาโท	มี	สายตาสั้น	สวมคอนเทค	ปกติ
19	S19	หญิง	28	48	1.62	กำลังศึกษาปริญญาโท	มี	สายตาสั้น	สวมคอนเทค	ปกติ
20	S20	หญิง	20	54	1.59	กำลังศึกษาปริญญาตรี	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ
21	S21	หญิง	25	56	1.7	กำลังศึกษาปริญญาโท	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ
22	S22	หญิง	25	62	1.65	กำลังศึกษาปริญญาโท	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ
23	S23	ชาย	27	92	1.82	ปริญญาตรี	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ
24	S24	หญิง	20	51	1.66	กำลังศึกษาปริญญาตรี	มี	สายตาสั้น	สวมแว่น	ปกติ
25	S25	ชาย	30	72	1.72	กำลังศึกษาปริญญาโท	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ
26	S26	หญิง	20	46	1.6	กำลังศึกษาปริญญาตรี	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ
27	S27	หญิง	25	82	1.55	กำลังศึกษาปริญญาโท	มี	สายตาสั้น	สวมคอนเทค	ปกติ
28	S28	หญิง	26	61	1.56	กำลังศึกษาปริญญาโท	มี	สายตาสั้น	สวมแว่น	ปกติ
29	S29	ชาย	21	65	1.75	กำลังศึกษาปริญญาตรี	มี	สายตาสั้น	สวมคอนเทค	ปกติ

ลำดับที่	ผู้เข้าร่วมงานวิจัย	เพศ	อายุ (ปี)	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ม.)	วุฒิการศึกษา	ปัญหาสายตา			การมองเห็น
30	S30	ชาย	21	65	1.78	ปริญญาตรี	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ
31	S31	ชาย	29	68	1.82	ปริญญาโท	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ
32	S32	ชาย	29	63	1.72	กำลังศึกษาปริญญาโท	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ
33	S33	หญิง	21	63	1.72	กำลังศึกษาปริญญาตรี	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ
34	S34	หญิง	28	48	1.59	กำลังศึกษาปริญญาโท	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ
35	S35	หญิง	21	56	1.57	กำลังศึกษาปริญญาตรี	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ
36	S36	หญิง	21	48	1.57	กำลังศึกษาปริญญาตรี	มี	สายตาสั้น	สวมคอนเทค	ปกติ
37	S37	หญิง	28	48	1.6	กำลังศึกษาปริญญาโท	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ
38	S38	หญิง	29	52	1.64	กำลังศึกษาปริญญาโท	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ
39	S39	ชาย	21	88	1.72	กำลังศึกษาปริญญาตรี	ไม่มี	สายตาปกติ	-	ปกติ
40	S40	หญิง	27	52	1.66	กำลังศึกษาปริญญาโท	มี	สายตาสั้น	สวมแว่น	ปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการทดสอบสมมติฐานที่ใช้ทดสอบทั้ง 2 ปัจจัย โดยทำการทดสอบสองด้านจากนั้นตั้งสมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบแต่ละปัจจัยได้ดังนี้

ปัจจัยมุมการมองเห็น (Visual Angle)

H_0 : ผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง มุมคอ และมุมศีรษะในการทดลองที่ระดับต่าง ๆ ของปัจจัยมุมการมองเห็นไม่แตกต่างกัน

H_1 : ผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง มุมคอ และมุมศีรษะในการทดลองที่ระดับต่าง ๆ ปัจจัยมุมการมองเห็นแตกต่างกันอย่างน้อย 2 ระดับ

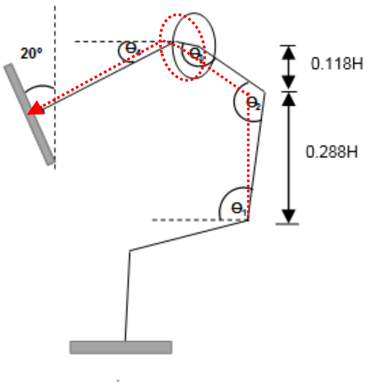
ปัจจัยอัตราเร็วในการพิมพ์งาน (Typing Speed)

H_0 : ผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง มุมคอ และมุมศีรษะในการทดลองที่ระดับต่าง ๆ ของปัจจัยอัตราเร็วในการพิมพ์ไม่แตกต่างกัน

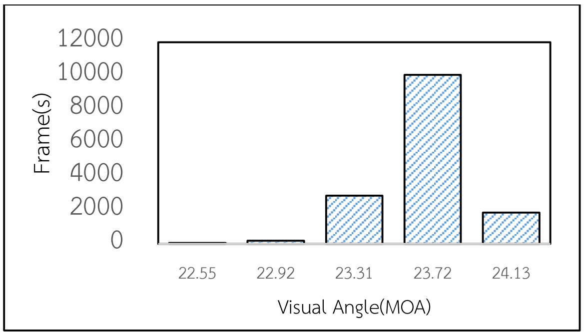
H_1 : ผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง มุมคอ และมุมศีรษะในการทดลองที่ระดับต่าง ๆ ปัจจัยอัตราเร็วในการพิมพ์แตกต่างกันอย่างน้อย 2 ระดับ

4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองของปัจจัยต่าง ๆ

การกำหนดขอบเขตของเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับผลการทดลอง โดยตัวแปรตอบสนองคือผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะ จากนั้นนำข้อมูล 5 ตำแหน่งที่ได้มาหาค่าพิกัด (X,Y) เพื่อประมาณค่ามุมที่ใช้ในการทดสอบโดยใช้แผนผังภาพวัตถุอิสระเพื่อใช้ประมาณผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลังคอดังรูปที่ 4.1 โดยเส้นสีดำคือสภาวะเริ่มทำงาน (Initial State) และเส้นสีแดงคือสภาวะนะคงตัว (Steady State) โดยผลต่างของมุมในแผนภาพวัตถุอิสระ จะนำมาประเมินผลกระทบทั้ง 2 ปัจจัยคือมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ จากนั้นนำข้อมูลของแต่ละผู้เข้าร่วมการทดลองมาทำการวิเคราะห์โดยใช้กราฟฮีสโตแกรม ดังรูปที่ 4.2 พบว่ามุมการมองเห็นในระหว่างการทดลองมีหลากหลายค่าอันเนื่องมาจากการปรับมุมการมองเห็นให้เหมาะสมกับการพิมพ์และต้องใช้ระยะเวลาจนกว่าจะได้มุมการมองเห็นที่ต้องการ ดังนั้นงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่ามุมการมองเห็นสะสมสูงสุดเนื่องจากเป็นมุมการมองเห็นที่ผู้เข้าร่วมการทดลองใช้มากที่สุดในการพิมพ์ โดยให้นิยามคือค่าสภาวะคงตัว (Steady State) จากนั้นและนำข้อมูลไปวิเคราะห์แบบจำลองทางสถิติ (Full Factorial Design) ในโปรแกรมทางสถิติ Minitab Version 1.7



รูปที่ 4.1 แผนผังภาพวัตถุอิสระเพื่อใช้ประมาณผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอ



รูปที่ 4.2 แผนภาพฮีสโตแกรมตัวอย่างของเฟรมสะสมของมุมการมองเห็น

4.2 การตรวจสอบการแจกแจงปกติของชุดข้อมูล

ก่อนการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติต้องทำการทดสอบชุดข้อมูลของมุมหลัง คอและศีรษะโดยใช้ผลต่างของมุม (Differential Angle) ของค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะ ที่สถานะเริ่มทำงาน (Initial State) และค่าที่สภาวะคงตัว (Steady State) ดังสมการที่ 4.1 และนำข้อมูลที่ได้มาทำการทดสอบการแจกแจงของข้อมูลความน่าจะเป็นปกติ (Normal Probability Plot) โดยการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมสถิติ MINITAB Version 1.7 จากรูปที่ 4.3-5 พบว่าข้อมูลค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะไม่เป็นเส้นตรง โดยส่วนปลายของข้อมูลทั้งสองด้านมีการกระจายตัวไม่เกาะแนวของเส้นตรงและมีค่า P-Value<0.05 จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ

$$_{\text{Differential Angle}} = \theta_{\text{Steady State}} - \theta_{\text{Initial State}} \quad (4.1)$$

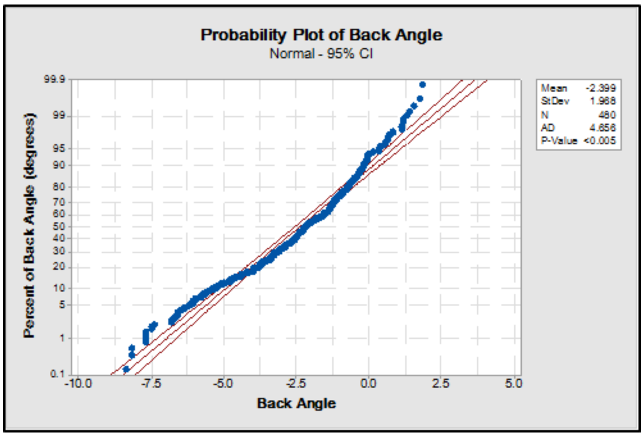
เมื่อ $\theta_{\text{Differential Angle}}$ = ผลต่างของค่าเฉลี่ยมุมระหว่างสถานะเริ่มทำงานและสถานะคงตัว

$\theta_{\text{Initial State}}$ = ค่าเฉลี่ยมุมที่สถานะเริ่มทำงาน

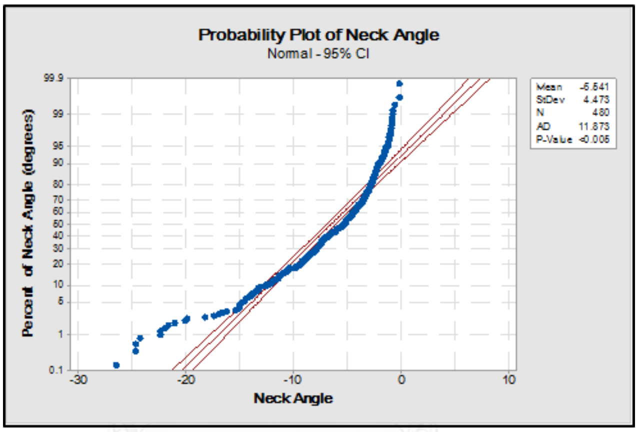
$\theta_{\text{Steady State}}$ = ค่าเฉลี่ยมุมที่สถานะคงตัว

CHULALONGKORN UNIVERSITY

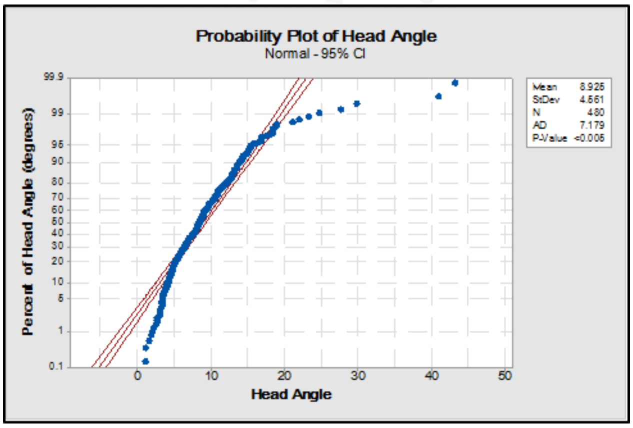
การใช้ผลต่างของมุม (Differential Angle) ของค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะเป็นค่าที่ใช้ในการทดสอบจะพบว่าตัวเลขของผลต่างของมุมของค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะจะมีค่า 2 แบบคือ แบบที่ 1 คือผลต่างของมุมมีค่าเชิงบวกหมายความว่าที่สภาวะคงตัวมีค่าเฉลี่ยมุมเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับสภาวะเริ่มทำงานแสดงว่ากระดูกสันหลังส่วนบนไม่ได้โน้มเข้าใกล้จอแสดงผล และแบบที่ 2 ผลต่างของมุมมีค่าเชิงลบหมายความว่าที่สภาวะคงตัวมีค่าเฉลี่ยมุมลดลงเมื่อเทียบกับสภาวะเริ่มทำงานแสดงว่ากระดูกสันหลังส่วนบนโน้มเข้าใกล้จอแสดงผล ซึ่งผลการทดลองเป็นไปได้ทั้ง 2 แบบขึ้นอยู่กับมุมตอบสนองที่ใช้ทดสอบ



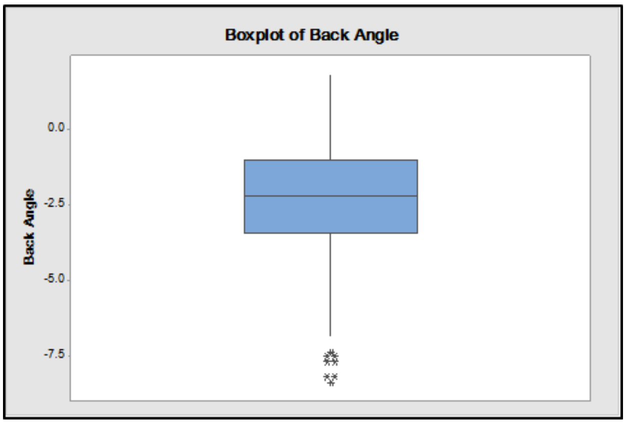
รูปที่ 4.3 ความน่าจะเป็นผลต่างของค่าเฉลี่ยมุมหลัง



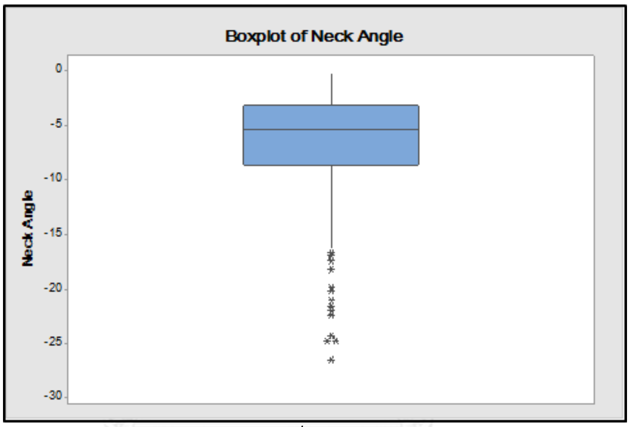
รูปที่ 4.4 ความน่าจะเป็นผลต่างของเฉลี่ยมุมคอ



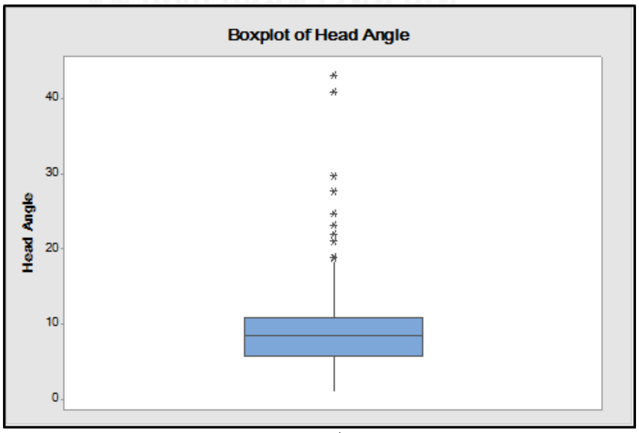
รูปที่ 4.5 ความน่าจะเป็นผลต่างของเฉลี่ยมุมศีรษะ



รูปที่ 4.6 แผนภาพ Box Plot ของผลต่างของค่าเฉลี่ยมุมหลังในระดับปัจจัยมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์

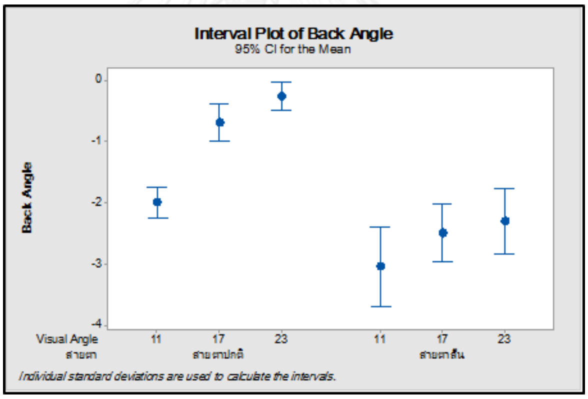


รูปที่ 4.7 แผนภาพ Box Plot ของผลต่างค่าเฉลี่ยมุมคอในระดับปัจจัยมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์

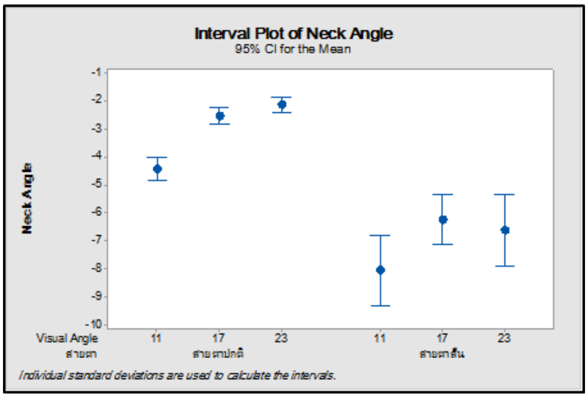


รูปที่ 4.8 แผนภาพ Box Plot ของผลต่างค่าเฉลี่ยมุมศีรษะในระดับปัจจัยมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์

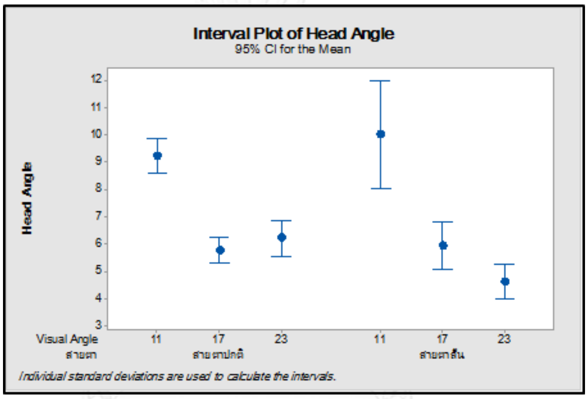
จากรูปที่ 4.6-8 แผนภาพ Box Plot ของผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะ ข้อมูลเกิด Outlier ที่เกิดจากความแตกต่างทางกายวิภาคของร่างกายและประเภทของสายตา (ปกติ/สั้น) ของผู้เข้าร่วมการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะ ดังรูปที่ 4.9-11 พบว่าช่วงความเชื่อมั่นของผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองที่มีสายปกติและสายตาสั้นมีความแตกต่างกันโดยที่ผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลังและคอของผู้เข้าร่วมการทดลองที่มีสายตาสั้นจะมีค่าติดลบมากกว่าคนสายตาปกติ และผลต่างค่าเฉลี่ยมุมศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองที่มีสายตาสั้นจะมีค่ามากกว่าคนสายตาปกติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง “Accommodation and Related Risk Factors Associated with Myopia Progression and Their Interaction with Treatment in COMET Children” กล่าวว่าคนที่มีสายตาสั้นจะมีพฤติกรรมการมองในระยะใกล้มากกว่าคนที่มีสายตาปกติ (Gwiazda et al., 2004) จึงเป็นสาเหตุให้ข้อมูลที่เก็บมีการแจกแจงไม่ปกติ เพื่อความแม่นยำในการวิเคราะห์ผลการทดลองจึงแบ่งข้อมูลของผู้เข้าการทดลองเป็น 2 ชุดได้ ชุดข้อมูลที่ 1 กลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติและชุดข้อมูลที่ 2 กลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองผู้สายตาสั้น



รูปที่ 4.9 ช่วงความเชื่อมั่นผลต่างของค่าเฉลี่ยมุมหลังของสายตาปกติและสายตาสั้นในต่างระดับปัจจัยมุมการมองเห็นเมื่อไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์



รูปที่ 4.10 ช่วงความเชื่อมั่นผลต่างของค่าเฉลี่ยมุมคอของสายตาปกติและสายตาสั้นในต่างระดับปัจจัยมุมการมองเห็นเมื่อไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์



รูปที่ 4.11 ช่วงความเชื่อมั่นผลต่างของค่าเฉลี่ยมุมคอของสายตาปกติและสายตาสั้นในต่างระดับปัจจัยมุมการมองเห็นเมื่อไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์

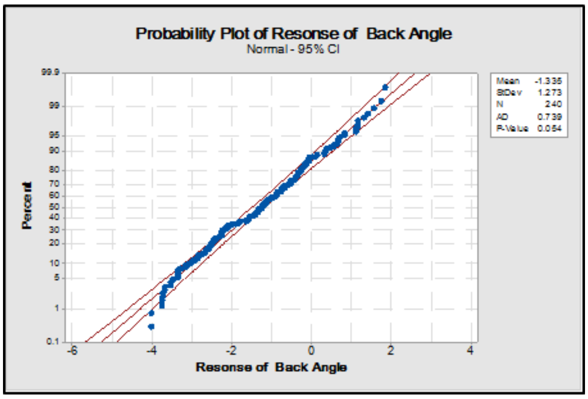
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

สำหรับงานวิจัยนี้ได้แยกชุดข้อมูลของผู้เข้าการทดลองจำนวน 40 คนออกเป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติจำนวน 20 คนและกลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้นจำนวน 20 คน ดังเหตุผลที่สนับสนุนในเบื้องต้นสามารถมาวิเคราะห์ได้ดังนี้

4.3.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองชุดข้อมูลที่ 1 กลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองที่มีสายตาปกติ

จากการทดสอบความน่าจะเป็นปกติ (Normal Probability Plot) ที่ค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะ โดยการวิเคราะห์ในโปรแกรมทางสถิติ MINITAB Version 1.7ดังรูปที่ 4.12 พบว่าผลต่างเฉลี่ยมุมหลังที่ได้จากเก็บข้อมูลมีการแจกแจงปกติ เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการกระจายตัวเป็นแนวเส้นตรงทำให้ค่า P-Value>0.05



รูปที่ 4.12 ความน่าจะเป็นปกติของผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลังของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

เนื่องจากผลต่างค่าเฉลี่ยมุมคอและศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติที่ได้จากเก็บข้อมูลไม่มีการแจกแจงปกติโดยมีข้อมูลส่วนปลายมีการกระจายไม่เกาะเป็นแนวเส้นตรงและมีค่า P-value<0.05 ดังรูปที่ 4.13 จึงทำให้ข้อมูลไม่ความน่าเชื่อถือ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกใด้เลือกใช้วิธีการแปลงข้อมูลด้วย Jonhson Transformation เพื่อนำฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์มาแปลงค่าข้อมูลให้เป็นข้อมูลใหม่ที่มีการแจกแจงแบบปกติดังรูปที่ 4.14 ทำให้ได้ข้อมูลใหม่ของมุมคอและศีรษะโดยมีค่า P-value=0.067 ,0.345 ตามลำดับ ผลจากทำข้อมูลให้มีการแจกแจงปกติจะได้สมการสำหรับวิเคราะห์ที่ปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

$$\theta_{(jtrans,\ Neck)} = -0.653054+0.882342*Ln((\theta_{Neck}+0.6578\ )/(\ -0.495304-\theta_{Neck})) \quad (4.2)$$

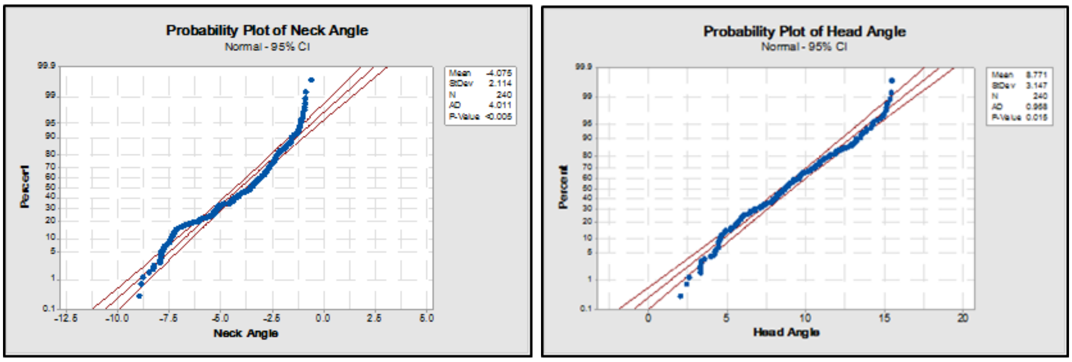
$$\theta_{(jtrans,\ Head)} = 0.292324+1.09450*Ln((\theta_{Head}-1.43429)/(17.5620-\theta_{Head})) \quad (4.3)$$

เมื่อ $\theta_{(jtrans,\ Neck)}$ คือผลต่างค่าเฉลี่ยมุมคอใหม่ที่ผ่านการการแปลงค่าจาก Johnson Transformation

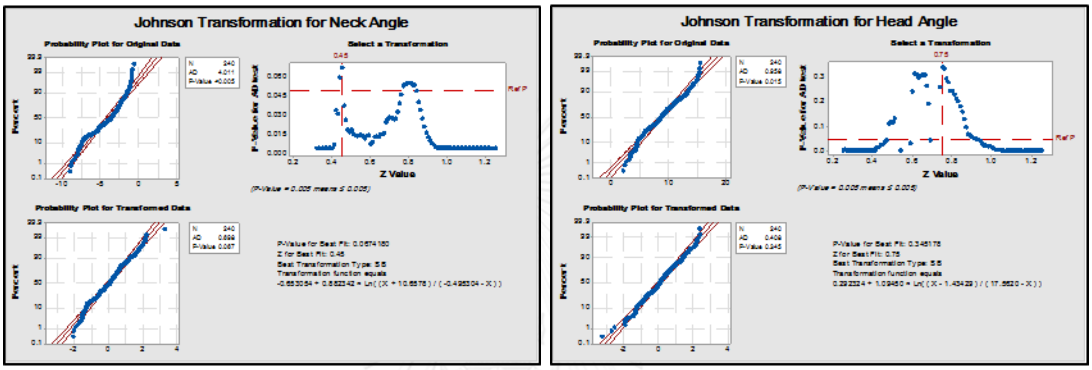
θ_{Neck} คือผลต่างค่าเฉลี่ยมุมคอในการตอบสนอง

$\theta_{(jtrans\ ,Head)}$ คือผลต่างค่าเฉลี่ยมุมศีรษะใหม่ที่ผ่านการการแปลงค่าจาก Johnson Transformation

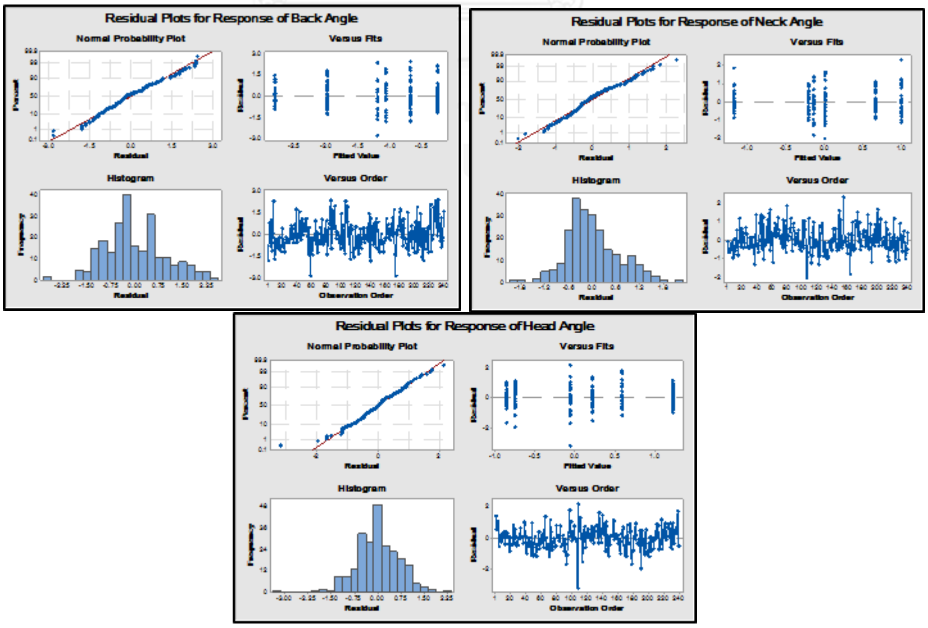
θ_{Head} คือผลต่างค่าเฉลี่ยมุมศีรษะในการตอบสนอง



รูปที่ 4.13 ความน่าจะเป็นปกติของผลต่างค่าเฉลี่ยมุมคอ-ศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ



รูปที่ 4.14 ผลการแปลงข้อมูลของผลต่างค่าเฉลี่ยมุมคอ-ศีรษะจาก Johnson Transformation ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ



รูปที่ 4.15 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

จากการแปลงข้อมูลของผลต่างค่าเฉลี่ยมุมคอและศีรษะแสดงด้วยแผนภาพความน่าเชื่อถือของแบบจำลองดังรูปที่ 4.15 พบว่าการทดสอบสมมติฐานด้านความเป็นอิสระของข้อมูลด้วยความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับการเก็บข้อมูล (Observation Order) จะพบว่าส่วนตกค้างของค่ามุมคอและศีรษะมีการกระจายตัวในรูปแบบที่ไม่แน่นอน สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และสำหรับการทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลส่วนตกค้างกับแต่ละปัจจัยโดยใช้แผนภูมิกระจายค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบกราฟไม่มีลักษณะลู่เข้าหรือลู่ออก แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลของมุมคอและศีรษะได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง โดยข้อมูลมีการแจกแจงแบบแบบปกติ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลวิเคราะห์ข้อมูลด้วยบโปรแกรมทางสถิติ Minitab Version 1.7 ในรูปแบบ General Full Factorial โดยมีปัจจัยคือมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์และผลต่างเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะเป็นตัวแปรตอบสนอง

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

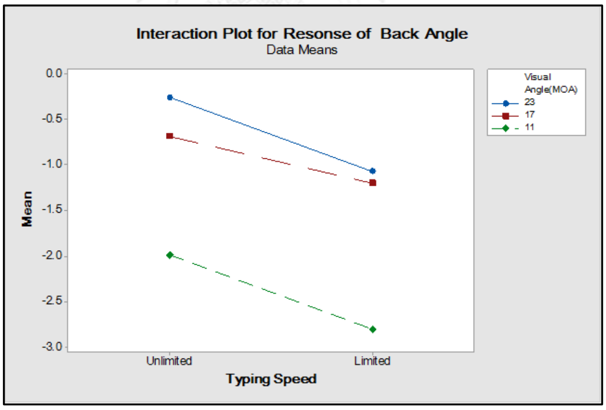
ผลต่างค่าเฉลี่ย	Source	DF	Adj	Adj MS	F-Value	P-Value
มุมหลัง	Visual Angle (MOA)	2	138.993	69.4967	75.15	0.000
	Typing Speed	1	30.795	30.7952	33.30	0.000
	Visual Angle*Typing Speed	2	1.220	0.6101	0.66	0.518
มุมคอ	Visual Angle (MOA)	2	61.791	30.8954	66.71	0.000
	Typing Speed	1	50.858	50.8580	109.81	0.000
	Visual Angle*Typing Speed	2	2.411	1.2054	2.60	0.076
มุมศีรษะ	Visual Angle (MOA)	2	55.914	27.9572	56.06	0.000
	Typing Speed	1	65.924	65.9245	132.19	0.000
	Visual Angle*Typing Speed	2	5.717	2.8583	5.73	0.004

จากตารางที่ 4.2 พบว่าการทดสอบข้อมูลทางสถิติที่ช่วงความเชื่อมั่น 0.95 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงผลต่างเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะของตัวแปรตอบสนองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ P-Value<0.05

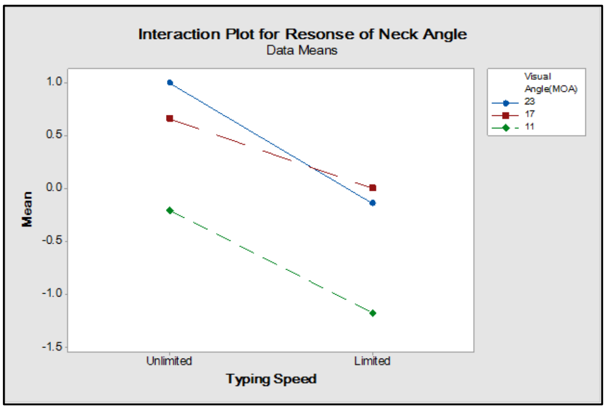
ตารางที่ 4.3 สรุปรูปแบบผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

ผลต่างค่าเฉลี่ย	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
มุมหลัง	0.961668	44.14%	42.95%	41.24%
มุมคอ	0.680558	51.49%	50.46%	48.98%
มุมศีรษะ	0.706188	52.22%	51.20%	49.74%

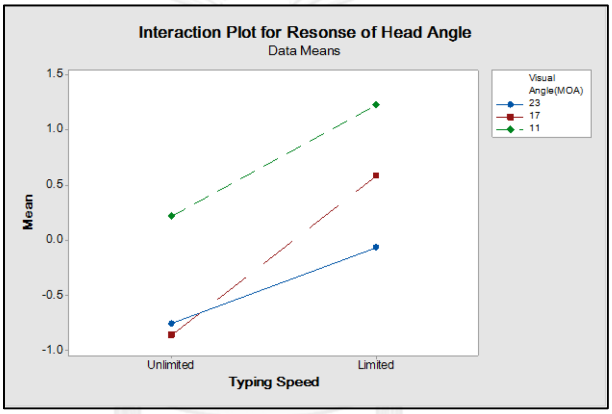
จากตารางที่ 4.3 พบว่า R-Square ที่แสดงนัยความสัมพันธ์เมื่อค่าเปอร์เซ็นต์ของผลต่างเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะสูง (44.14%, 51.49% และ51.20% ตามลำดับ) ทำให้ค่าความผิดพลาด (Error) ต่ำ แสดงให้เห็นว่ารูปแบบคณิตศาสตร์จากการวิเคราะห์ทางสถิติสามารถอธิบายความผันแปรตัวแปรตอบสนองที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 4.16 อันตรกิริยาระหว่างมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ที่ค่าเฉลี่ยมุมหลังของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ



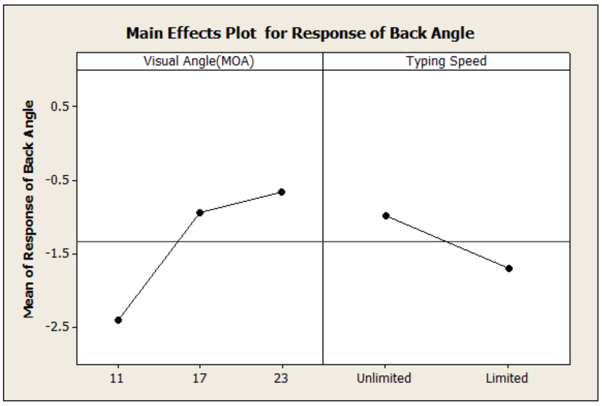
รูปที่ 4.17 อันตรกิริยาระหว่างมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ที่ค่าเฉลี่ยมุมคอของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ



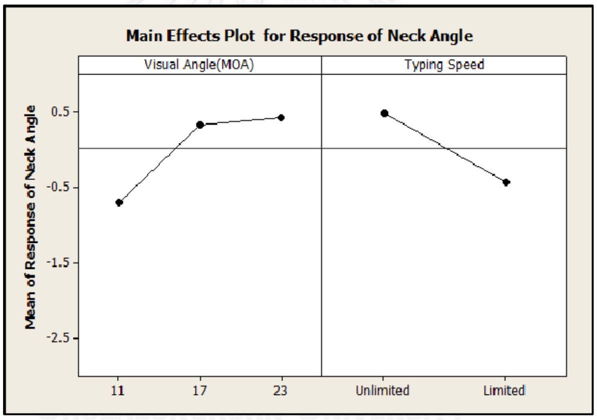
รูปที่ 4.18 อันตรกิริยาระหว่างมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ที่ค่าเฉลี่ยมุมศีรษะผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

ผลของอันตรกิริยาดังรูปที่ 4.16-18 พบว่าที่มุมหลังและมุมคอไม่พบการมีอิทธิพลร่วมกันระหว่างมุมการมองเห็น (Visual Angle) และอัตราเร็วในการพิมพ์ (Typing Speed) เมื่อ P-value>0.05 และที่มุมศีรษะพบการมีอิทธิพลร่วมกันระหว่างมุมการมองเห็น (Visual Angle) และอัตราเร็วในการพิมพ์ (Typing Speed) เมื่อ P-value<0.05 หากพิจารณาผลของมุมการมองเห็นที่มีต่อค่าเฉลี่ยมุมศีรษะที่มุมการมองเห็น 17 MOA มีการเงยมุมศีรษะมากกว่ามุมการมองเห็น 23 และ 11 MOA เพราะการพิมพ์งานในสภาวะไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์เป็นการทำงานที่มุมการมองเห็น 23 และ 17 MOA ยังไม่มีเวลาเป็นตัวเร่ง ดังนั้นทำให้เกิดความรู้สึกสบายในการทำงานจึงมีผลทำให้มุมศีรษะเงยน้อยกว่า ในขณะเดียวกันหากเป็นการพิมพ์งานในสภาวะควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ โดยมีเวลาเป็นตัวเร่งกระบวนการจะพบว่ามุมการมองเห็น 23 และ 17 MOA มีการเปลี่ยนแปลงมุมศีรษะไปในทิศทางเดียวกัน แตกต่างกับมุมการมองเห็น 11 MOA ที่มีการเงยมุมศีรษะมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด

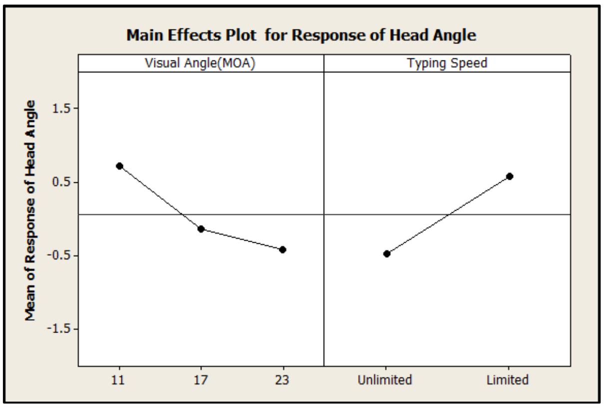
ถึงแม้อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ที่มุมคอจะมีนัยสำคัญ แต่ทิศทางของปัจจัยมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ก็มีผลต่อค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอ และศีรษะ



รูปที่ 4.19 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อค่าเฉลี่ยมุมหลังของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ



รูปที่ 4.20 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อค่าเฉลี่ยมุมคอของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ



รูปที่ 4.21แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อค่าเฉลี่ยมุมศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

จากรูปที่ 4.19-21 พบว่าเมื่อมุมการมองเห็นมีค่าลดลงจะทำให้มุมหลังและคองอมากขึ้น แต่มุมศีรษะจะปรับตำแหน่งการมองโดยการเงยเพื่อรักษามุมการมองภาพ (Viewing Angle) อยู่ในระดับ 20-25 องศาสอดคล้องกับทฤษฎีการออกแบบตามการยศาสตร์ที่ได้กล่าวในบทที่ 2 และปัจจัยอัตราเร็วในการพิมพ์พบว่าการทำงานในปัจจัยควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ส่งผลให้มุมหลังและมุมคอมีการงอมากกว่าสภาวะที่ไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ และสภาวะควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ส่งผลให้ที่มุมศีรษะมีเงยเพิ่มขึ้นมากกว่าสภาวะไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์

นอกจากการพิจารณาแนวโน้มของปัจจัยหลัก งานวิจัยนี้ยังพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างที่ระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยเดียวกันของผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอเละศีรษะ โดยใช้วิธีการของ Tukey Pairwise Comparisons ที่ช่วงความเชื่อมั่น 0.95

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบความแตกต่างระดับปัจจัยมุมการมองเห็นที่มีผลค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอเละศีรษะ

ผลต่างค่าเฉลี่ยมุม	Visual Angle	N	Mean	Grouping
มุมหลัง	23	80	-0.664	A
	17	80	-0.942	A
	11	80	-2.3990	B
มุมคอ	23	80	0.428	A
	17	80	0.3311	A
	11	80	-0.6936	B
มุมศีรษะ	23	80	0.7207	A
	17	80	0.138	A
	11	80	-0.412	B

จากตารางที่ 4.4 พบว่าระดับต่าง ๆของปัจจัยมุมการมองเห็นทมีผลค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอเละศีรษะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P-value<0.05) โดยแบ่งกลุ่มข้อมูลได้เป็น 2 กลุ่ม โดยผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอเละศีรษะที่ระดับปัจจัยมุมการมองเห็น 23 และ17 MOA มีค่าเฉลี่ยมุมเป็นกลุ่ม A ที่ระดับปัจจัยมุมการมองเห็น 11 MOA มีค่าเฉลี่ยมุมเป็นกลุ่ม B

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับปัจจัยอัตราเร็วในการพิมพ์ที่มีผลค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอเละศีรษะ

ผลต่างค่าเฉลี่ยมุม	Typing Speed	N	Mean	Grouping
มุมหลัง	Unlimited	120	-0.977	A
	Limited	120	-1.693	B
มุมคอ	Unlimited	120	0.4822	A
	Limited	120	-0.4385	B
มุมศีรษะ	Unlimited	120	0.5808	A
	Limited	120	-0.4674	B

จากตารางที่ 4.5 พบว่าระดับต่าง ๆของปัจจัยอัตราเร็วในการพิมพ์มีผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอเละศีรษะ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P-value<0.05) สามารถแบ่งกลุ่มข้อมูลได้เป็น 2 กลุ่มคือระดับปัจจัยไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ (Unlimited) เป็นกลุ่ม A และระดับปัจจัยควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ (Limited) เป็นกลุ่ม B

การเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยมุมการมองเห็นเละอัตราเร็วในการพิมพ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะ โดยใช้วิธีการ Pairwise Comparisons Turkey พบว่ามีผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) และในปัจจัยมุมการมองเห็นสามารถแบ่งระดับปัจจัยได้ 2 กลุ่มได้แก่กลุ่มที่ 1 คือผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะที่ระดับปัจจัย 23 MOA และ 17 MOA และกลุ่มที่ 2 คือผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะที่ระดับปัจจัย 11 MOA และอัตราเร็วในการพิมพ์สามารถแบ่งระดับปัจจัยได้ 2 ได้แก่กลุ่มที่ 1 คือผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะที่ระดับปัจจัยควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ และกลุ่มที่ 2 คือผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะที่ระดับปัจจัยไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ เนื่องจากผลการทดลองพบว่าภายในปัจจัยมุมการมองเห็นเละอัตราเร็วในการพิมพ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะระดับปัจจัย 23 MOA และ 17 MOA ข้อมูลเป็นกลุ่มเดียวกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้ต้องการทดสอบปัจจัยมุมการมองเห็น (Visual Angle) จาก 3 ระดับเหลือเพียง 2 ระดับคือ 23 และ 17 MOA และปัจจัยสภาวะทำงาน (State Condition) คือ สภาวะเริ่มทำงานและสภาวะคงตัว โดยบล็อค (Block) ปัจจัยอัตราเร็วในการพิมพ์แบบไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติ Minitab Version 1.7 ในรูปแบบ Factorial 2^2 แบบบล็อก (Block) ผู้เข้าร่วมการทดลองโดย

ปัจจัยคือมุมการมองเห็นและสภาวะการทำงานซึ่งแต่ปัจจัยจะมี 2 ระดับโดยมีค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะเป็นตัวแปรตาม โดยทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

ผลต่างค่าเฉลี่ย	Source	DF	Adj	Adj MS	F-Value	P-Value
มุมหลัง	Visual Angle (MOA)	1	0.119	0.1189	0.44	0.507
	State Condition	1	1.737	1.7373	6.47	0.12
	Visual Angle* State Condition	1	0.122	0.1217	0.45	0.502
มุมคอ	Visual Angle (MOA)	1	0.005	0.00539	0.04	0.851
	State Condition	1	4.374	4.37389	28.60	0.000
	Visual Angle* State Condition	1	0.028	0.2808	0.18	0.669
มุมศีรษะ	Visual Angle (MOA)	1	15.726	15.7258	35.67	0.000
	State Condition	1	4.821	4.8211	10.94	0.001
	Visual Angle* State Condition	1	0.003	0.0028	0.01	0.937

จากตารางที่ 4.6 พบว่าแสดงให้เห็นว่าปัจจัยมุมการมองเห็นไม่มีความแตกต่างกันของมุมหลังและคออย่างมีนัยสำคัญ (P-value=0.507 และ 0.851) และค่าเฉลี่ยมุมศีรษะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P-value<0.05) เนื่องจากมุมศีรษะเป็นมุมที่เกี่ยวกับมุมการมองภาพ (Viewing Angle) ต้องรักษาอยู่ในระดับ 20-25 องศาและความต้องมุมการมองภาพของแต่ละบุคคลไม่เท่ากัน ดังนั้นการลดลงของมุมหลังและมุมคออย่างไม่มีนัยสำคัญจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของมุมศีรษะ การที่ร่างกายเลือกเปลี่ยนแปลงที่ส่วนศีรษะเพราะศีรษะเป็นส่วนที่น้ำหนักเบาที่สุดของร่างกายส่วนบน การปรับมุมศีรษะจึงถูกเลือกเพื่อให้ได้มุมการมองภาพในระดับ 20-25 องศา และปัจจัยสภาวะการทำงาน (State Condition) มีความแตกต่างกันของมุมหลังคอและศีรษะอย่างมีนัยสำคัญ (P-value<0.05) แสดงว่าที่มุมการมองเห็นสูงสุด 23 MOA ค่าตอบสนองมุมหลัง คอและศีรษะที่สภาวะคงตัวมีความแตกต่างกับค่าตอบสนองมุมหลัง คอและศีรษะที่สภาวะเริ่มทำงาน

ตารางที่ 4.7 สรุปรูปแบบผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

ผลต่างค่าเฉลี่ย	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
มุมหลัง	0.518146	81.70%	75.12%	65.77%
มุมคอ	0.39106	87.15%	82.54%	75.97%
มุมศีรษะ	0.663940	68.87%	57.70%	51.79%

จากตารางที่ 4.7 พบว่า R-Square ที่บอกนัยความสัมพันธ์เมื่อค่าเปอร์เซ็นต์สูงค่าความผิดพลาด (Error) ต่ำ แสดงให้เห็นว่ารูปแบบคณิตศาสตร์จากการวิเคราะห์ทางสถิติสามารถอธิบายความผันแปรตัวแปรตอบสนองที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เป็นอย่างดี

4.3.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองชุดข้อมูลที่ 2 กลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองที่มีสายตาสั้น

เนื่องจากมุมหลัง คอและศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้นที่ได้จากเก็บข้อมูลไม่มีการแจกแจงปกติโดยมีข้อมูลส่วนปลายมีการกระจายไม่เกาะเป็นแนวเส้นตรงและมีค่า (P-value<0.05) ดังรูปที่ 4.22 จึงทำให้ข้อมูลที่ทดสอบมีความไม่ความน่าเชื่อถือ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกใด้เลือกใช้วิธีการแปลงข้อมูลด้วย Jonhson Transformation เพื่อนำฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์มาแปลงค่าข้อมูลให้เป็นข้อมูลใหม่ที่มีการแจกแจงแบบปกติดังรูปที่ 4.23 จึงได้ข้อมูลใหม่ของมุมหลัง คอและศีรษะโดยมีค่า P-value=0.332 ,0.440 และ0.325 ตามลำดับผลจากทำข้อมูลให้มีการแจกแจงปกติจะได้สมการสำหรับวิเคราะห์ที่ปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$\theta_{jtrans,\ Back} = -2.80788+2.40650\times Ln((\theta_{Back}+23.7155)/(3.00509-\theta_{back})) \quad (4.4)$$

$$\theta_{jtrans,\ Neck} = -10.5545+3.03831\times Ln((\theta_{Neck}+462.782)/(6.08090-\theta_{Neck})) \quad (4.5)$$

$$\theta_{jtrans,\ Head} = -4.81824+2.15221\times Ln(\theta_{Head}+1.39599) \quad (4.6)$$

เมื่อ $\theta_{jtrans,\ Back}$ คือมุมหลังใหม่ที่ผ่านการการแปลงค่าจาก Johnson Transformation

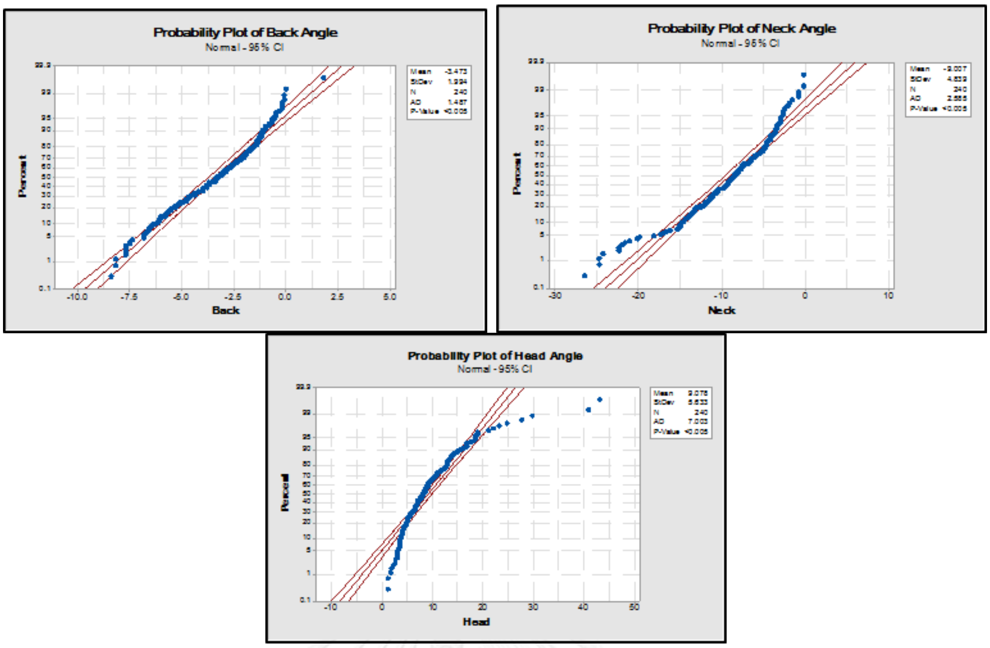
θ_{Back} คือมุมหลังในการตอบสนอง

$\theta_{jtrans,\ Neck}$ คือมุมคอใหม่ที่ผ่านการการแปลงค่าจาก Johnson Transformation

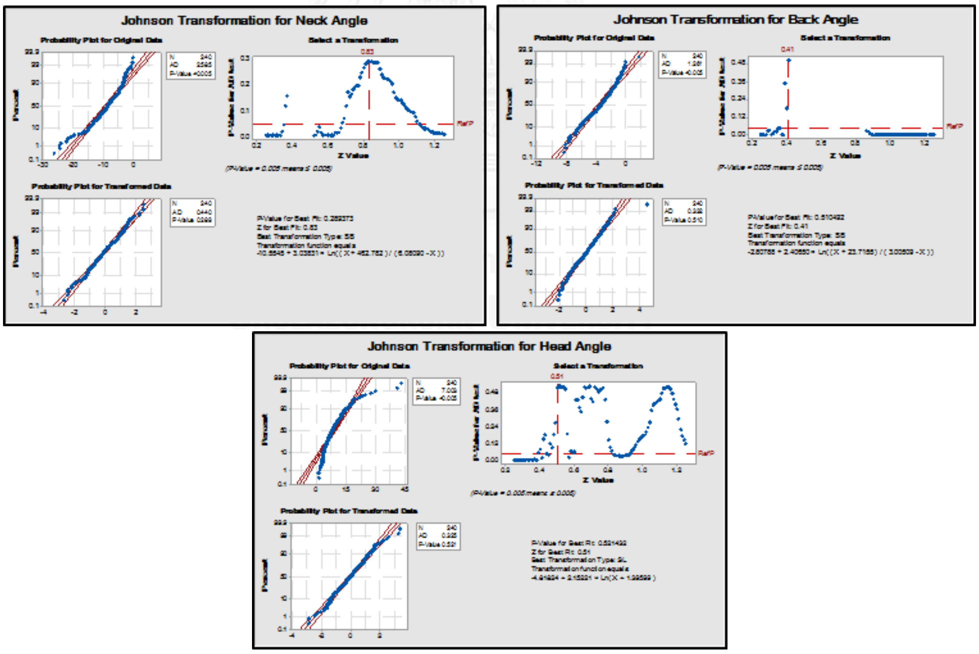
θ_{Neck} คือมุมคอในการตอบสนอง

$\theta_{jtrans,\ Head}$ คือมุมศีรษะใหม่ที่ผ่านการการแปลงค่าจาก Johnson Transformation

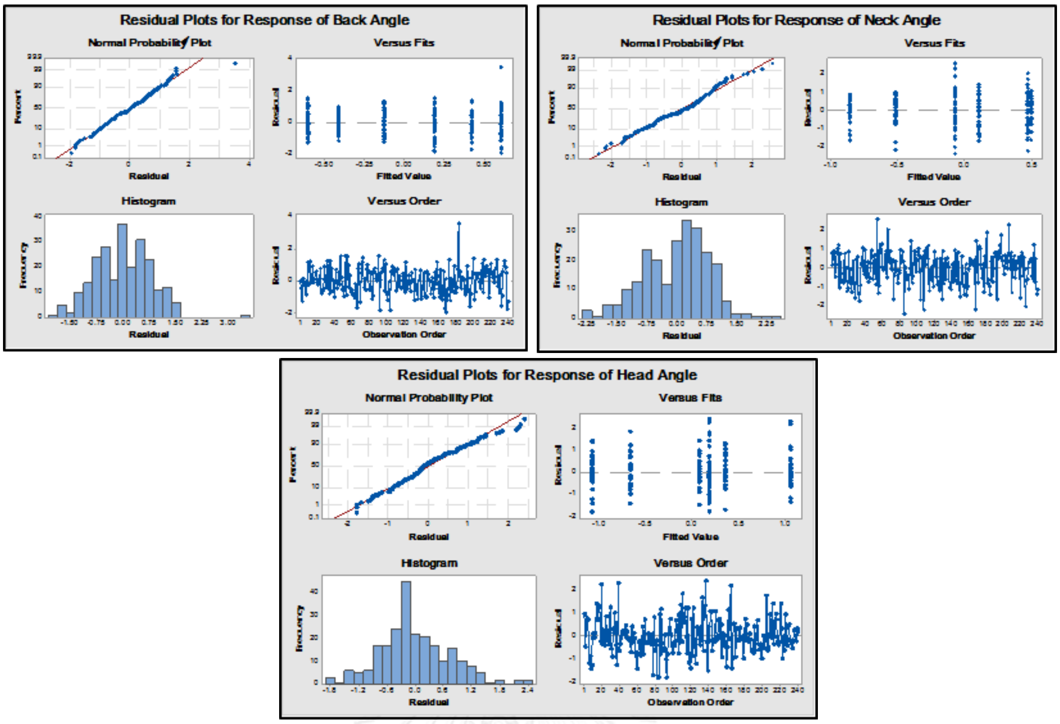
θ_{Head} คือมุมศีรษะในการตอบสนอง



รูปที่ 4.22 ความน่าจะเป็นปกติของมุมเฉลี่ยหลัง คอและศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น



รูปที่ 4.23 ผลการแปลงข้อมูลของมุมเฉลี่ยหลัง คอและศีรษะจาก Johnson Transformation ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น



รูปที่ 4.24 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของมุมหลัง คอและศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น

จากการแปลงข้อมูลของมุมคอและศีรษะแสดงด้วยแผนภาพความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ดังรูปที่ 4.24 พบว่าการทดสอบสมมติฐานด้านความเป็นอิสระของข้อมูลด้วยความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับการเก็บข้อมูล (Observation Order) จะพบว่าส่วนตกค้างของค่ามุมคอและศีรษะมีการกระจายตัวในรูปแบบที่ไม่แน่นอน สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และสำหรับการทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลส่วนตกค้างกับแต่ละปัจจัยโดยใช้แผนภูมิกระจายค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบกราฟไม่มีลักษณะลู่เข้าหรือลู่ออก แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลของมุมคอและศีรษะได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง โดยข้อมูลมีการแจกแจงแบบแบบ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติในรูปแบบ General Full Factorial ทั้งสองปัจจัยคือมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ โดยมีมุมหลัง คอและศีรษะในการตอบสนองเป็นตัวแปรตามที่ช่วงความเชื่อมั่น 0.95

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น

ผลต่างค่าเฉลี่ย	Source	DF	Adj	Adj MS	F-Value	P-Value
มุมหลัง	Visual Angle (MOA)	2	7.974	3.9872	6.17	0.02
	Typing Speed	1	37.221	37.2211	57.59	0.000
	Visual Angle*Typing Speed	2	0.108	0.0540	0.08	0.920
มุมคอ	Visual Angle (MOA)	2	13.493	6.7194	9.20	0.000
	Typing Speed	1	42.479	42.4787	58.14	0.000
	Visual Angle*Typing Speed	2	2.692	1.3462	1.84	0.161
มุมศีรษะ	Visual Angle (MOA)	2	52.117	26.058	44.35	0.000
	Typing Speed	1	61.320	61.320	104.37	0.000
	Visual Angle*Typing Speed	2	0.789	0.394	0.67	0.512

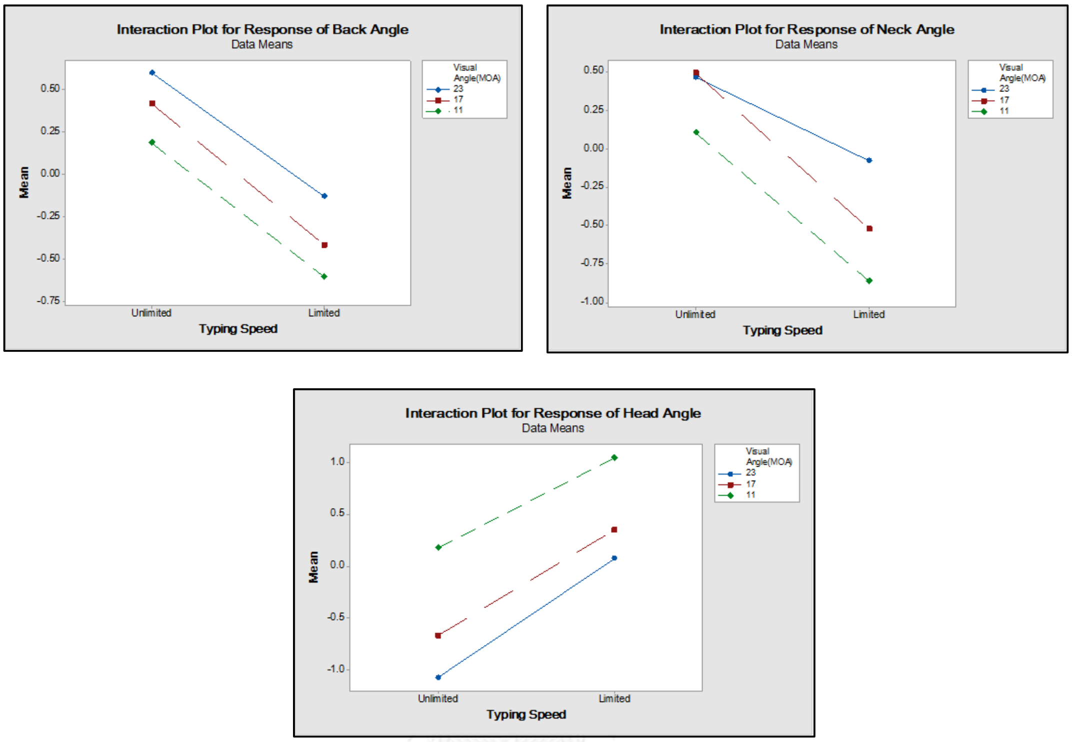
จากตารางที่ 4.8 พบว่าการทดสอบข้อมูลที่ช่วงความเชื่อมั่น 0.95 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงผลต่างเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะของตัวแปรตอบสนองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ P-Value<0.05

ตารางที่ 4.9 สรุปรูปแบบผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น

ผลต่างค่าเฉลี่ย	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
มุมหลัง	0.803911	23.05%	21.41%	19.05%
มุมคอ	0.854752	25.53%	23.94%	21.66%
มุมศีรษะ	0.766495	45.38%	44.21%	39.99%

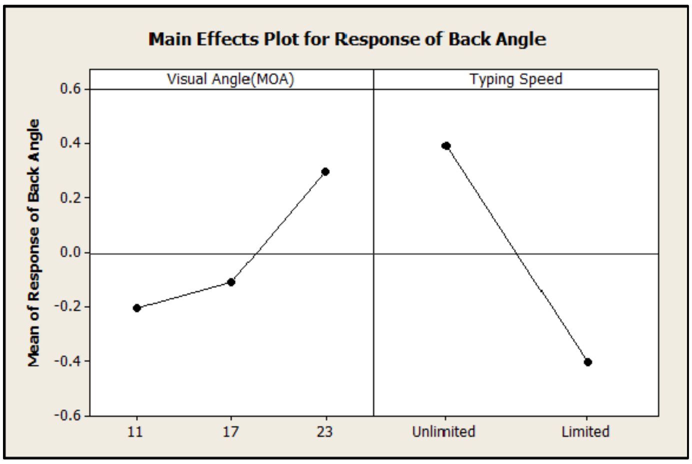
จากตารางที่ 4.9 พบว่า R-Square ที่แสดงนัยความสัมพันธ์เมื่อค่าเปอร์เซ็นต์ของผลต่างเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะต่ำ (23.05%, 25.53% และ44.21% ตามลำดับ) ทำให้เกิดค่าความผิดพลาด (Error) แสดงให้เห็นว่าตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้มาสามารถอธิบายความผันแปรตัวแปรตอบสนองที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ

ผลของอันตรกิริยาดังรูปที่ 4.25 พบว่าที่ค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะ ไม่พบการมีอิทธิพลร่วมกันระหว่างมุมการมองเห็น (Visual Angle) และอัตราเร็วในการพิมพ์ (Typing Speed) (P>0.05)

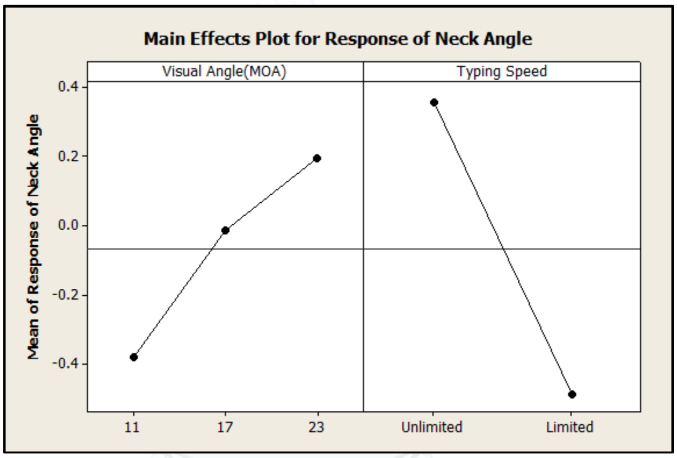


รูปที่ 4.25 อันตรกิริยาระหว่างมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ที่ค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น

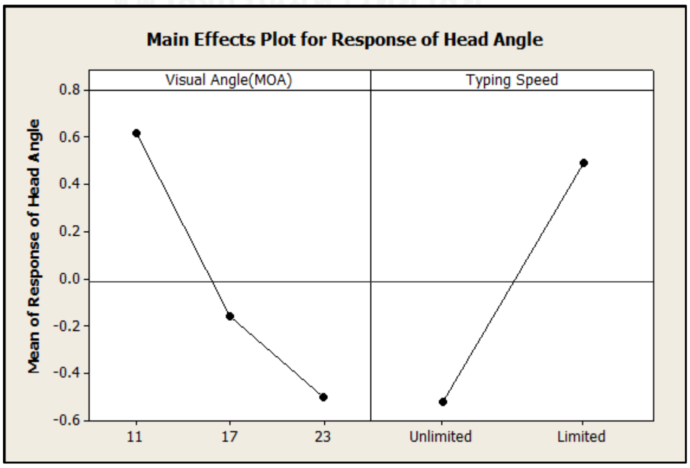
ทิศทางของปัจจัยมุมการมองเห็นมีผลต่อค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะกล่าวคือเมื่อมุมการมองเห็นมีค่าลดลงกราฟจะมีทิศทางเชิงลบมุมหลังและคอจะมีค่าลดลง แต่มุมศีรษะจะมีค่ามากขึ้นเนื่องจากจะต้องรักษามุมการมองภาพ (Viewing Angle) อยู่ในระดับ 20-25 และเมื่อเปรียบเทียบอัตราเร็วในการพิมพ์พบว่าการทำงานในสภาวะที่มีอัตราเร็วในการพิมพ์ส่งผลให้มุมหลังและมุมคอมีค่าลดลงกราฟจะมีทิศทางเชิงลบมากกว่าสภาวะที่ไม่มีอัตราเร็วในการพิมพ์ และสภาวะที่มีอัตราเร็วในการพิมพ์ส่งผลให้ที่มุมศีรษะมีค่าเพิ่มขึ้นกราฟจะมีทิศทางเชิงบวกมากกว่าสภาวะที่ไม่มีอัตราเร็วในการพิมพ์ ดังรูปที่ 4.26-28



รูปที่ 4.26 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อค่าเฉลี่ยมุมหลังของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น



รูปที่ 4.27 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อค่าเฉลี่ยมุมคอของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น



รูปที่ 4.28 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อค่าเฉลี่ยมุมศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น

นอกจากการพิจารณาแนวโน้มของปัจจัยหลัก งานวิจัยนี้ยังพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างที่ระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยเดียวกันของผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอเละศีรษะ โดยใช้วิธีการของ Tukey Pairwise Comparisons ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95

ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบความแตกต่างระดับปัจจัยมุมการมองเห็นที่มีผลค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอเละศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น

ผลต่างค่าเฉลี่ยมุม	Visual Angle	N	Mean	Grouping
มุมหลัง	23	80	0.299	A
	17	80	0.1083	A
	11	80	-0.204	B
มุมคอ	23	80	0.195	A
	17	80	-0.0135	A
	11	80	-0.378	B
มุมศีรษะ	23	80	0.237	A
	17	80	0.0021	A
	11	80	-0.209	B

จากตารางที่ 4.10 พบว่าระดับต่าง ๆของปัจจัยมุมการมองเห็นทมีผลค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอเละศีรษะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P-value<0.05) โดยแบ่งกลุ่มข้อมูลได้เป็น 2 กลุ่ม โดยผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอเละศีรษะที่ระดับปัจจัยมุมการมองเห็น 23 และ17 MOA มีค่าเฉลี่ยมุมเป็นกลุ่ม A ที่ระดับปัจจัยมุมการมองเห็น 11 MOA มีค่าเฉลี่ยมุมเป็นกลุ่ม B

ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับปัจจัยอัตราเร็วในการพิมพ์ที่มีผลค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอเละศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น

ผลต่างค่าเฉลี่ยมุม	Typing Speed	N	Mean	Grouping
มุมหลัง	Unlimited	120	0.4039	A
	Limited	120	-0.3837	B
มุมคอ	Unlimited	120	0.3553	A
	Limited	120	-0.4861	B
มุมศีรษะ	Unlimited	120	0.4039	A
	Limited	120	-0.3837	B

จากตารางที่ 4.11 พบว่าระดับของปัจจัยอัตราเร็วในการพิมพ์มีผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญค่า P-value<0.05 สามารถแบ่งกลุ่มข้อมูลได้เป็น 2 กลุ่มคือระดับปัจจัยไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ (Unlimited) เป็นกลุ่ม A และระดับปัจจัยควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ (Limited) เป็นกลุ่ม B

การเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับต่าง ๆ ภายในปัจจัยมุมการมองเห็นเละอัตราเร็วในการพิมพ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะ โดยใช้วิธีการ Pairwise Comparisons Turkey พบว่ามีผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) และในปัจจัยมุมการมองเห็นสามารถแบ่งระดับปัจจัยได้ 2 กลุ่มได้แก่กลุ่มที่ 1 คือผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะที่ระดับปัจจัย 23 MOA และ 17 MOA และกลุ่มที่ 2 คือผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะที่ระดับปัจจัย 11 MOA และอัตราเร็วในการพิมพ์สามารถแบ่งระดับปัจจัยได้ 2 ได้แก่กลุ่มที่ 1 คือผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะที่ระดับปัจจัยควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ และกลุ่มที่ 2 คือผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะที่ระดับปัจจัยไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ เนื่องจากผลการทดลองพบว่าภายในปัจจัยมุมการมองเห็นเละอัตราเร็วในการพิมพ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะระดับปัจจัย 23 MOA และ 17 MOA ข้อมูลเป็นกลุ่มเดียวกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้ต้องการทดสอบปัจจัยมุมการมองเห็น (Visual Angle) จาก 3 ระดับเหลือเพียง 2 ระดับคือ 23 และ 17 MOA และปัจจัยสภาวะทำงาน (State Condition) คือ สภาวะเริ่มทำงานและสภาวะคงตัว โดยบล็อค (Block) ปัจจัยอัตราเร็วในการพิมพ์แบบไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติ Minitab Version 1.7 ในรูปแบบ Factorial 2^2 แบบบล็อก (Block) ผู้เข้าร่วมการทดลองโดยปัจจัยคือมุมการมองเห็นและสภาวะการทำงานซึ่งแต่ปัจจัยจะมี 2 ระดับโดยมีค่าเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะเป็นตัวแปรตาม โดยทดสอบที่ช่วงความเชื่อมั่น 0.95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น

ผลต่างค่าเฉลี่ย	Source	DF	Adj	Adj MS	F-Value	P-Value
มุมหลัง	Visual Angle (MOA)	1	0.601	0.6009	2.13	0.147
	State Condition	1	21.191	21.1909	75.00	0.000
	Visual Angle* State Condition	1	0.360	0.3597	1.27	0.262
มุมคอ	Visual Angle (MOA)	1	0.017	0.0168	0.06	0.810
	State Condition	1	22.096	22.0958	76.27	0.000
	Visual Angle* State Condition	1	0.011	0.0112	0.04	0.845
มุมศีรษะ	Visual Angle (MOA)	1	0.016	0.0165	0.07	0.786
	State Condition	1	4.281	4.28050	19.79	0.000
	Visual Angle* State Condition	1	0.106	0.10616	0.49	0.485

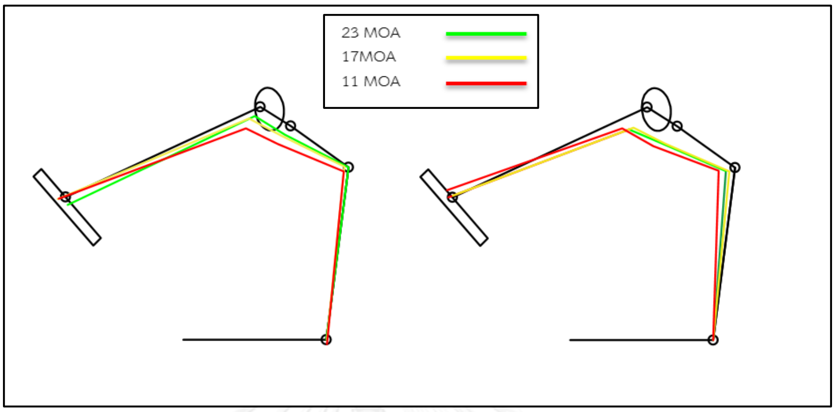
จากตารางที่ 4.12 พบว่าแสดงให้เห็นว่าปัจจัยมุมการมองเห็น (Visual Angle) ไม่มีความแตกต่างกันของมุมหลัง คอและศีรษะอย่างมีนัยสำคัญ (P-value=0.147, 0.810 และ0.786 ตามลำดับ) และปัจจัยสภาวะการทำงาน (State Condition) มีความแตกต่างกันของมุมหลังคอและศีรษะอย่างมีนัยสำคัญ (P-value<0.05) แสดงว่าที่มุมการมองเห็นสูงสุด 23 MOA ค่าตอบสนองมุมหลัง คอและศีรษะที่สภาวะคงตัวมีความแตกต่างกับค่าตอบสนองมุมหลัง คอและศีรษะที่สภาวะเริ่มทำงาน

ตารางที่ 4.13 สรุปรูปแบบผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

ผลต่างค่าเฉลี่ย	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
มุมหลัง	0.531559	80.39%	73.36%	63.34%
มุมคอ	0.538257	79.02%	71.49%	60.77%
มุมศีรษะ	0.465123	83.81%	78.00%	69.72%

จากตารางที่ 4.13 พบว่า R-Square ที่บอกนัยความสัมพันธ์เมื่อค่าเปอร์เซ็นต์สูงค่าความผิดพลาด (Error) ต่ำ แสดงให้เห็นว่ารูปแบบคณิตศาสตร์จากการวิเคราะห์ทางสถิติสามารถอธิบายความผันแปรตัวแปรตอบสนองที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เป็นอย่างดี

จากการเก็บข้อมูลผู้เข้าร่วมการทั้งหมด 40 คนสามารถจำแนกผู้เข้าร่วมการทดลองได้เป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติจำนวน 20 คนและกลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้นจำนวน 20 คน ดังรูปที่ 4.29 พบว่าที่ระดับมุมการมองเห็นเดียวกันกลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้นมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง โดยการงอมุมหลังและคอ จากนั้นจะปรับมุมการมองภาพโดยการเงยมุมศีรษะมากกว่ากลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ



รูปที่ 4.29 แผนภาพอิสระ (Free Body Diagram) แสดงการเปลี่ยนแปลงมุมหลัง คอและศีรษะ สายตาปกติ(ซ้าย) – สายตาสั้น(ขวา)

4.4 การวิเคราะห์โมเมนต์ที่บริเวณคอและเอว

สำหรับงานวิจัยนี้ได้แยกชุดข้อมูลของผู้เข้าการทดลองออกเป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติและกลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น นำข้อมูลมาวิเคราะห์โมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) จากการทดสอบสมมติฐานที่ใช้ทดสอบทั้ง 2 ปัจจัย จะทำการทดสอบสองด้านโดยตั้งสมมติฐานของแต่ละปัจจัยเพื่อใช้ในการทดสอบดังนี้

ปัจจัยมุมการมองเห็น (Visual Angle)

H_0 : ผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ในการทดลองที่ระดับต่าง ๆ ของปัจจัยมุมการมองเห็นไม่แตกต่างกัน

H_1 : ผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ในการทดลองที่ระดับต่าง ๆ ปัจจัยมุมการมองเห็นแตกต่างกันอย่างน้อย 2 ระดับ

ปัจจัยอัตราเร็วในการพิมพ์งาน (Typing Speed)

H_0 : ผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ในการทดลองที่ระดับต่าง ๆ ของปัจจัยอัตราเร็วในการพิมพ์ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ในการทดลองที่ระดับต่าง ๆ ปัจจัยอัตราเร็วในการพิมพ์แตกต่างกันอย่างน้อย 2 ระดับ

4.4.1 การวิเคราะห์โมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ชุดข้อมูลที่ 1 ของผู้เข้าร่วมการทดลองที่มีสายตาปกติ

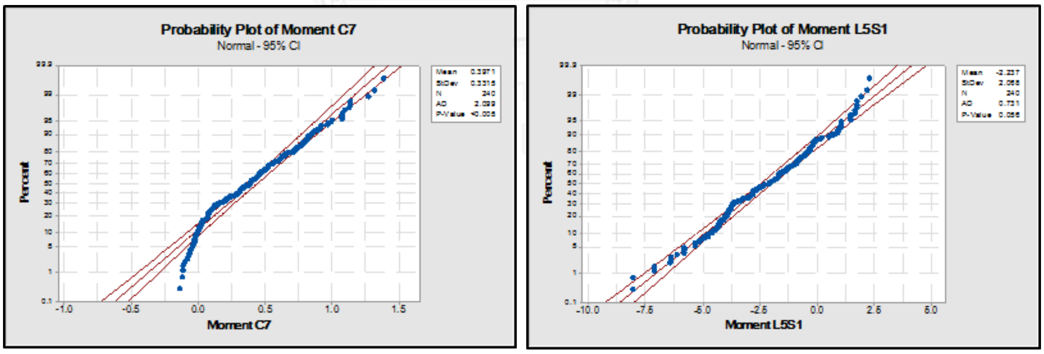
ก่อนการวิเคราะห์ข้อมูลต้องทำการทดสอบชุดข้อมูลโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ที่ได้จากผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ที่สภาวะเริ่มทำงาน (Initial State) และค่าที่สภาวะคงตัว (Steady State) ดังสมการที่ 4.7 และนำข้อมูลที่ได้มาทำการทดสอบการแจกแจงของข้อมูลจากการทดสอบความน่าจะเป็นปกติ (Normal Probability Plot) ของผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) โดยการวิเคราะห์ในโปรแกรมทางสถิติ MINITAB Version 1.7 ดังรูปที่ 4.30 พบว่าโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) โดยข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติ โดยข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่มีการกระจายตัวในแนวเส้นตรงและมีค่า P-Value<0.05

$$M_{\text{Diffential Angle}} = M_{\text{Steady State}} - M_{\text{Initial State}} \qquad (4.7)$$

เมื่อ $M_{\text{Diffential Angle}}$ = ผลต่างของค่าเฉลี่ยมุมระหว่างสถานะเริ่มทำงานและสถานะคงตัว

$M_{\text{Initial State}}$ = ค่าเฉลี่ยมุมที่สถานะเริ่มทำงาน

$M_{\text{Steady State}}$ = ค่าเฉลี่ยมุมที่สถานะคงตัว



รูปที่ 4.30 ความน่าจะเป็นปกติของผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

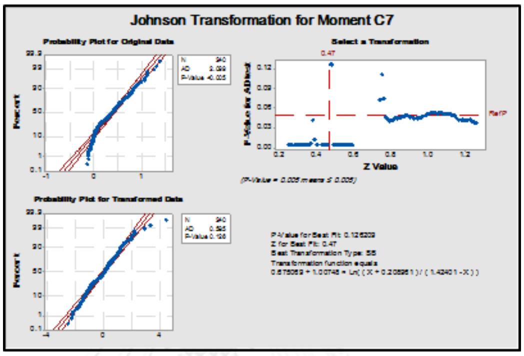
ผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณเอว (L5S1) ที่ได้จากเก็บข้อมูลมีการแจกแจงปกติโดยมีค่า P-value=0.056 และผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) ที่ได้จากเก็บข้อมูลไม่มีการแจกแจงปกติโดยมีข้อมูลส่วนปลายมีการกระจายไม่เกาะเป็นแนวเส้นตรงและมีค่า P-value<0.05 ดังรูปที่ 4.30 ทำให้ข้อมูลไม่ความน่าเชื่อถือ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกใด้เลือกใช้วิธีการแปลงข้อมูลด้วย Johnson

Transformation จึงได้ข้อมูลใหม่ที่มีการแจกแจงแบบปกติดังรูปที่ 4.31 จึงได้ข้อมูลใหม่ของผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) โดยมีค่า P-value=0.126 (P-value>0.05) ผลจากทำข้อมูลให้มีการแจกแจงปกติจะได้สมการสำหรับวิเคราะห์ที่ปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

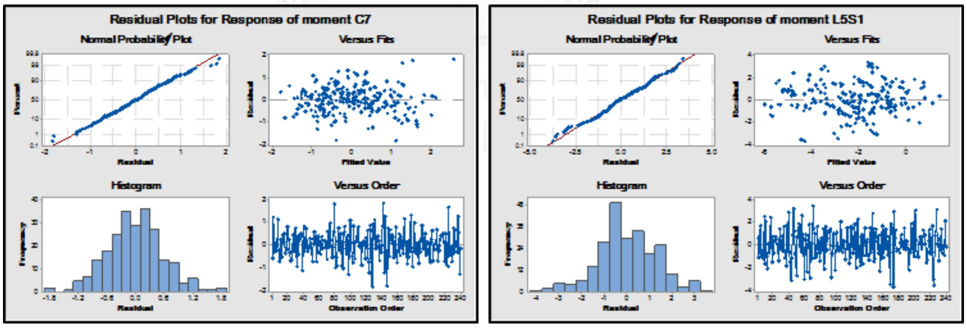
$$M_{(jtrans,\ C7)} = 0.675069+1.00748\times Ln((M_{C7}+0.208961)/(1.42401-M_{C7})) \qquad (4.8)$$

เมื่อ $M_{(jtrans,\ C7)}$ คือโมเมนต์ที่บริเวณคอใหม่ที่ผ่านการการแปลงค่าจาก Johnson Transformation

M_{C7} คือโมเมนต์ที่บริเวณคอในการตอบสนอง



รูปที่ 4.31 ผลการแปลงข้อมูลของผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) จาก Johnson Transformation ผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ



รูปที่ 4.32 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองของโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

จากการแปลงข้อมูลของผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) แสดงด้วยแบบจำลองความน่าเชื่อถือดังรูปที่ 4.32 พบว่าการทดสอบสมมติฐานด้านความเป็นอิสระต่อข้อมูลด้วยแบบจำลองมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับการเก็บข้อมูล (Observation Order) จะพบว่าส่วนตกค้างของผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) มีการกระจายตัวในรูปแบบที่ไม่แน่นอนจึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และสำหรับการ

ทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลส่วนตกค้างกับแต่ละปัจจัยโดยใช้แผนภูมิกระจายค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบกราฟไม่มีลักษณะลู่เข้าหรือลู่ออก แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลของผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองโดยมีข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยบโปรแกรมสถิติ Minitab Version 1.7 ในรูปแบบ General Full Factorial แบบบล็อก (Block) ผู้เข้าร่วมการทดลองโดยมีปัจจัยคือมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ของผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) เป็นตัวแปรตอบสนอง ซึ่งทดสอบที่ช่วงความเชื่อมั่น 0.95

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างโมเมนต์ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

ผลต่างโมเมนต์	Source	DF	Adj	Adj MS	F-Value	P-Value
บริเวณคอ (C7)	Visual Angle (MOA)	2	8.492	4.2458	9.76	0.000
	Typing Speed	1	98.697	98.6974	226.81	0.000
	Visual Angle*Typing Speed	2	0.784	0.3920	0.90	0.408
บริเวณเอว (L5S1)	Visual Angle (MOA)	2	17.236	8.6178	12.36	0.000
	Typing Speed	1	17.289	17.2895	24.80	0.000
	Visual Angle*Typing Speed	2	0.704	0.3519	0.50	0.605

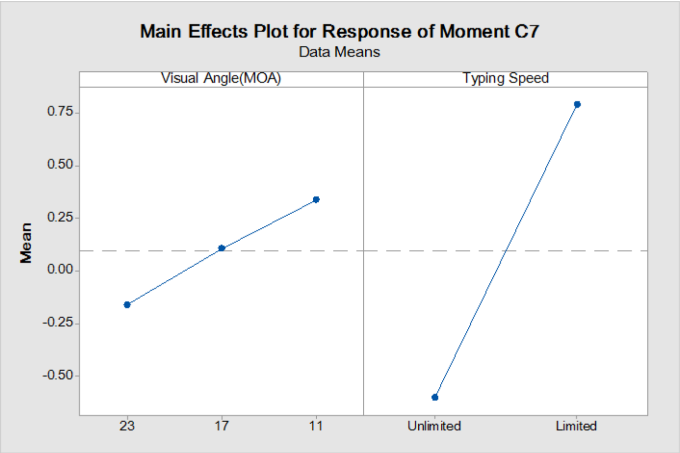
จากตารางที่ 4.14 พบว่าปัจจัยมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์มีผลต่อโมเมนต์บริเวณคอและเอวซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ P-Value<0.05

ตารางที่ 4.15 สรุปรูปแบบผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างผลต่างโมเมนต์มุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

ผลต่างค่าเฉลี่ย	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
บริเวณคอ (C7)	0.659661	67.20%	59.64%	49.85%
บริเวณเอว (L5S1)	0.835016	39.56%	25.64%	7.61%

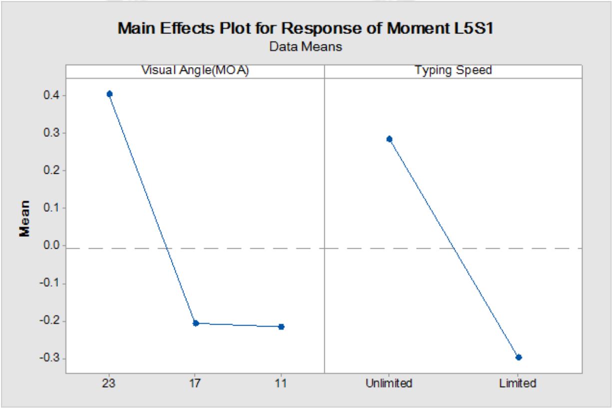
จากตารางที่ 4.15 พบว่า R-Square ที่แสดงนัยความสัมพันธ์เมื่อค่าเปอร์เซ็นต์ของผลต่างเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะสูง (67.20% และ 39.56% ตามลำดับ) ทำให้ค่าความผิดพลาด (Error) ต่ำ

แสดงให้เห็นว่ารูปแบบคณิตศาสตร์จากการวิเคราะห์ทางสถิติสามารถอธิบายความผันแปรตัวแปรตอบสนองที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เป็นอย่างดี



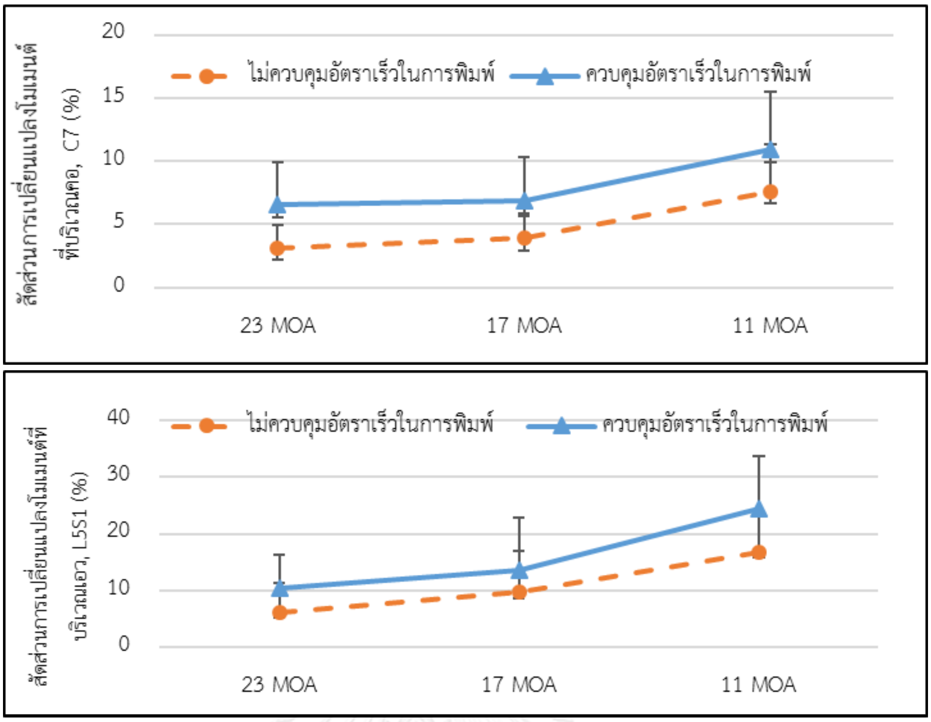
รูปที่ 4.33 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อของโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) ผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

จากรูปที่ 4.33 ทิศทางของปัจจัยมุมการมองเห็นมีผลต่อผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) เมื่อมุมการมองเห็นมีค่าลดลงโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) เพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบปัจจัยอัตราเร็วในการพิมพ์ พบว่าการทำงานในปัจจัยควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์มีผลต่อผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) เมื่อมีควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ค่าผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) มีค่ามากกว่าการทำงานที่ไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์



รูปที่ 4.34 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อของโมเมนต์ที่บริเวณเอว (L5S1) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

จากรูปที่ 4.34 ทิศทางของปัจจัยมุมการมองเห็นมีผลต่อค่าโมเมนต์ที่บริเวณคอ (L5S1) เมื่อมุมการมองเห็นมีค่าลดลงโมเมนต์ที่บริเวณคอ (L5S1) ลดลง เมื่อเปรียบเทียบปัจจัยอัตราเร็วในการพิมพ์ พบว่าการทำงานในปัจจัยควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์จะมีผลต่อค่าโมเมนต์ที่บริเวณคอ (L5S1) ต่ำกว่าการทำงานในปัจจัยที่ไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์



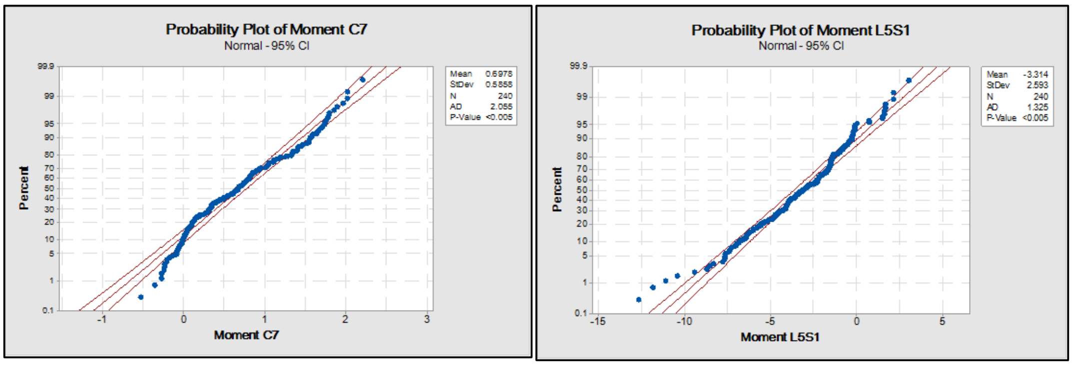
รูปที่ 4.35 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ที่บริเวณคอและเอว (%) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

จากรูป 4.35 ที่ระดับปัจจัยมุมการมองเห็นระดับต่าง ๆ โดยพบว่าปัจจัยควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์มีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ที่บริเวณคอและเอว เมื่อมุมการมองเห็นมีค่าลดลงจะส่งให้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ที่บริเวณคอและเอวมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบที่ระดับมุมการมองเห็นเดียวกันพบว่าการทำงานในสภาวะควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์จะร้อยละการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ที่บริเวณคอและเอวเพิ่มขึ้นกับการทำงานในสภาวะไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4.2 การวิเคราะห์โมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ชุดข้อมูลที่ 2 ของผู้เข้าร่วมการทดลองที่มีสายตาสั้น

นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้นจำนวน 20 คนเพื่อทำการทดสอบการแจกแจงของข้อมูลจากการทดสอบความน่าจะเป็นปกติ (Normal Probability Plot) ของผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) โดยการวิเคราะห์ในโปรแกรม MINITAB Version 1.7 ดังรูปที่ 4.36 พบว่าผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้นที่ได้จากเก็บข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่มีการกระจายตัวเป็นแนวเส้นตรงและมีค่า P-Value<0.05



รูปที่ 4.36 แผนภาพความน่าจะเป็นปกติของผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น

เนื่องจากผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้นที่ได้จากเก็บข้อมูลไม่มีการแจกแจงปกติ โดยมีข้อมูลส่วนปลายมีการกระจายไม่เป็นแนวเส้นตรงและมีค่า P-value<0.05 ดังรูปที่ 4.37 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกใด้เลือกใช้วิธีการแปลงข้อมูลด้วย Jonhson Transformation จึงข้อมูลใหม่ที่มีการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้นข้อมูลใหม่ที่มีการแจกแจงแบบปกติ ดังรูปที่ 4.38 โดยมีฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์จึงได้ข้อมูลใหม่ของผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น โดยมีค่า P-value=0.158, 0.159 (P-value>0.05) ตามลำดับ ผลจากทำข้อมูลให้มีการแจกแจงปกติจะได้สมการสำหรับวิเคราะห์ที่ปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

$$M_{(jtrans,\ C7)} = 0.528227 + 1.15508 \times \mathrm{Ln}(\ (\ M_{C7} + 0.570227\ )\ /\ (\ 2.55110 - M_{C7}\ )\ ) \qquad (4.10)$$

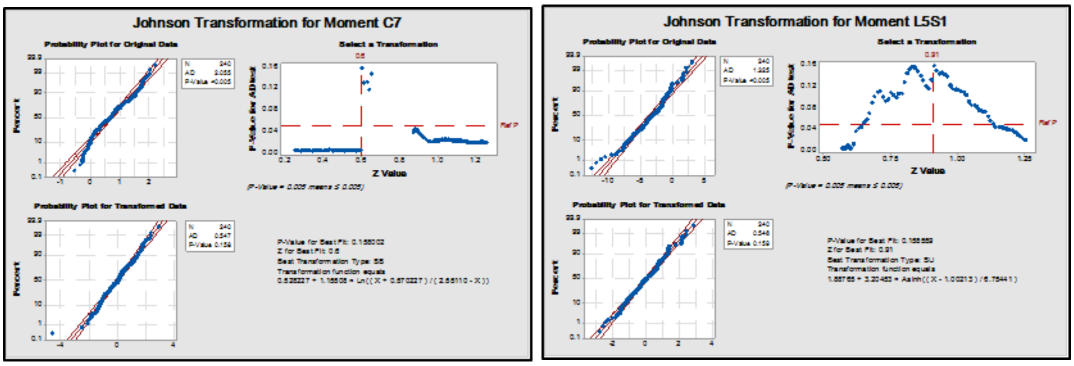
$$M_{(jtrans,\ L5S1)} = 1.88765 + 3.20453 \times \mathrm{Asinh}(\ (\ M_{L5S1} - 1.00213\ )\ /\ 6.75441\ ) \qquad (4.11)$$

เมื่อ $M_{(jtrans,\ C7)}$ คือโมเมนต์ที่บริเวณคอใหม่ที่ผ่านการการแปลงค่าจาก Johnson Transformation

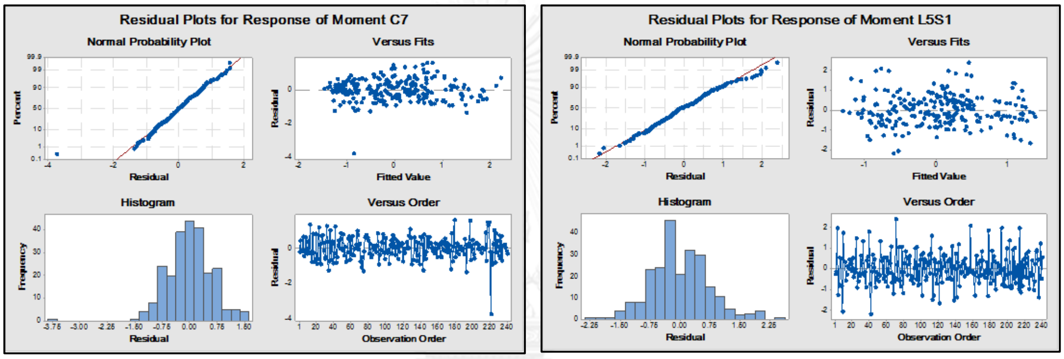
M_{C7} คือโมเมนต์ที่บริเวณคอในการตอบสนอง

$M_{(jtrans,\ L5S1)}$ คือโมเมนต์ที่บริเวณเอวใหม่ที่ผ่านการการแปลงค่าจาก Johnson Transformation

M_{L5S1} คือโมเมนต์ที่บริเวณเอวในการตอบสนอง



รูปที่ 4.37 ผลการแปลงข้อมูลของผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) จาก Johnson Transformationของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น



รูปที่ 4.38 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองของโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากการแปลงข้อมูลของผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) แสดงด้วยแผนภาพความน่าเชื่อถือของแบบจำลองดังรูปที่ 4.61 พบว่าการทดสอบสมมติฐานด้านความเป็นอิสระต่อข้อมูลด้วยแบบจำลองมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับการเก็บข้อมูล (Observation Order) จะพบว่าส่วนตกค้างของผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) มีการกระจายตัวในรูปแบบที่ไม่แน่นอนจึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และสำหรับการทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลส่วนตกค้างกับแต่ละปัจจัยโดยใช้แผนภูมิกระจายค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบกราฟไม่มีลักษณะลู่เข้าหรือลู่ออก แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลของผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ได้ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองโดยมีข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยบโปรแกรมทางสถิติ Minitab Version 1.7 ในรูปแบบ General Full Factorial แบบบล็อก (Block) ผู้เข้าร่วมการทดลองโดยมีปัจจัยคือมุมการมองเห็นและอัตราเร็ว

ในการพิมพ์ของผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) เป็นตัวแปรตอบสนอง ซึ่งทดสอบที่ช่วงความเชื่อมั่น 0.95

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างโมเมนต์ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น

ผลต่างโมเมนต์	Source	DF	Adj	Adj MS	F-Value	P-Value
บริเวณคอ (C7)	Visual Angle (MOA)	2	8.492	4.2458	9.76	0.000
	Typing Speed	1	98.697	98.6974	226.81	0.000
	Visual Angle*Typing Speed	2	0.784	0.3920	0.90	0.408
บริเวณเอว (L5S1)	Visual Angle (MOA)	2	17.236	8.6178	12.36	0.000
	Typing Speed	1	17.289	17.2895	24.80	0.000
	Visual Angle*Typing Speed	2	0.704	0.3519	0.50	0.605

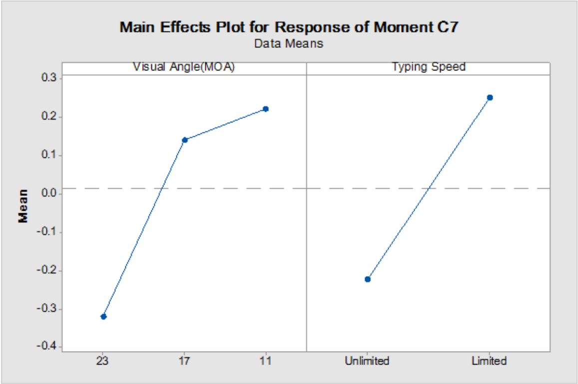
จากตารางที่ 4.16 พบว่าปัจจัยมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์มีผลต่อโมเมนต์บริเวณคอและเอวซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ P-Value<0.05

ตารางที่ 4.17 สรุปแบบผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างผลต่างโมเมนต์มุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น

ผลต่างค่าเฉลี่ย	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
บริเวณคอ (C7)	0.659661	67.20%	59.64%	49.85%
บริเวณเอว (L5S1)	0.835016	39.56%	25.64%	7.61%

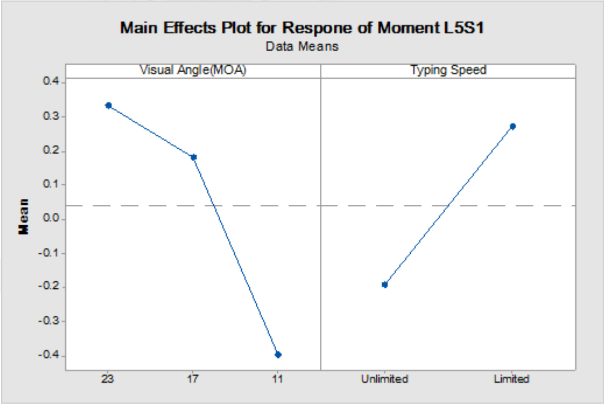
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางที่ 4.16 พบว่า R-Square ที่แสดงนัยความสัมพันธ์เมื่อค่าเปอร์เซ็นต์ของผลต่างเฉลี่ยมุมหลัง คอและศีรษะสูง (67.20% และ 39.56% ตามลำดับ) ทำให้ค่าความผิดพลาด (Error) ต่ำแสดงให้เห็นว่าตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้มาสามารถอธิบายความผันแปรตัวแปรตอบสนองที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เป็นอย่างดี



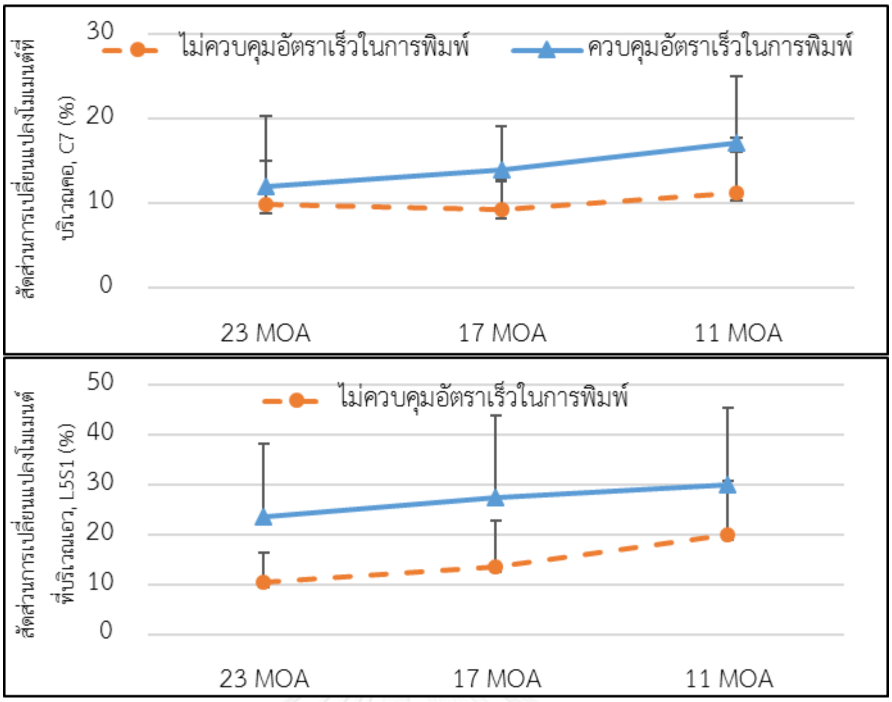
รูปที่ 4.39 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อของโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) ผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น

จากรูปที่ 4.39 ทิศทางของปัจจัยมุมการมองเห็นมีผลต่อผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) เมื่อมุมการมองเห็นมีค่าลดลงโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) เพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบปัจจัยอัตราเร็วในการพิมพ์ พบว่าการทำงานในปัจจัยควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์มีผลต่อผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) เมื่อควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ค่าผลต่างโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) จะมีค่ามากกว่าการทำงานที่ไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์



รูปที่ 4.40 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อของโมเมนต์ที่บริเวณเอว (L5S1) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น

จากรูปที่ 4.40 ทิศทางของปัจจัยมุมการมองเห็นมีผลต่อค่าโมเมนต์ที่บริเวณคอ (L5S1) เมื่อมุมการมองเห็นมีค่าลดลงโมเมนต์ที่บริเวณคอ (L5S1) เมื่อเปรียบเทียบปัจจัยอัตราเร็วในการพิมพ์ พบว่าการทำงานในปัจจัยควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์จะมีผลต่อค่าโมเมนต์ที่บริเวณคอ (L5S1) ต่ำกว่าการทำงานในปัจจัยที่ไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์



รูปที่ 4.41 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ที่บริเวณคอและเอว (%) ของผู้เข้าร่วมการทดลอง สายตาสั้น

จากรูป 4.41 ที่ระดับปัจจัยมุมการมองเห็นระดับต่าง ๆ โดยพบว่าปัจจัยควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์มีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ที่บริเวณคอและเอว เมื่อมุมการมองเห็นมีค่าลดลงจะส่งให้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ที่บริเวณคอและเอวมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบที่ระดับมุมการมองเห็นเดียวกันพบว่าการทำงานในสภาวะควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์จะร้อยละการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ที่บริเวณคอและเอวเพิ่มขึ้นกับการทำงานในสภาวะไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์

4.5 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญของการทดลอง

การหาเงื่อนปัจจัยที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญของการทดลอง ในกรณีที่ไม่มีอิทธิพลจากโค้ง (Curvature) เกิดขึ้นกับตัวแบบ สามารถสรุปปัจจัยที่มีนัยสำคัญจาก Main Effects Plot หรือ Interaction Plot ดังรูปที่ 67 โดยทำการเลือกระดับของปัจจัยที่แสดงผลของตัวแปรตอบสนองของมุมการมองเห็นที่มีค่าสูงสุดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงมุมหลัง คอและศีรษะของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้นจาก Main Effect Plot เนื่องจากต้องการค่าเหมาะสมเพื่อใช้อธิบายทั้ง 2 กลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองสาย(ปกติ/สั้น) โดยกำหนดตัวแปรของระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่เหมาะสมทั้ง 2 ปัจจัยที่ได้ค่าสูงสุดดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ระดับของปัจจัยนำเข้าสำคัญที่เหมาะสมทั้ง 2 ปัจจัย

ปัจจัย	ระดับ(Coded Units)	ระดับที่เหมาะสม	หน่วย
มุมการมองเห็น	1	23	MOA
อัตราเร็วในการพิมพ์	-1	Unlimited	-

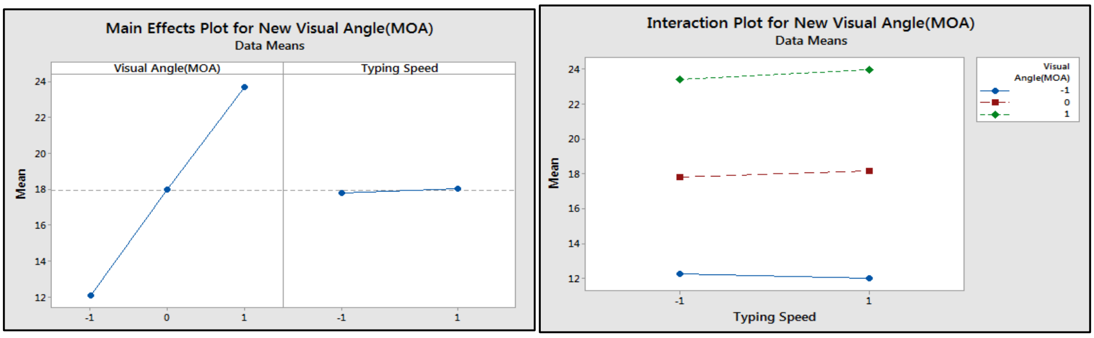
4.5.1 การวิเคราะห์ชุดข้อมูลที่ 1 กลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองที่มีสายตาปกติ

จากระดับของปัจจัยนำเข้าสำคัญที่เหมาะสมทั้ง 2 ปัจจัยสามารถหาระดับที่เหมาะสม (Response Optimization) โดยใช้โปรแกรม Minitab Version 1.7 และสมการของตัวแปรแบบถดถอย (Regression Models) เพื่อทำนาย (Predictive Value) ของตัวแปรมุมการมองเห็นที่เป็นตัวแปรตอบสนอง ซึ่งหาได้จากค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient) ของผลการออกแบบการทดลองของปัจจัยหลักละอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 4.42 ดังนั้นสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมการมองเห็นตอบสนองกับปัจจัยนำเข้า เพื่อหามุมการมองเห็นที่เหมาะสมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ และได้ค่าตัวแปรตอบสนองที่มีค่ามากที่สุดจะได้สมการถดถอยแบบค่าธรรมชาติ (Natural Units) ดังนี้

Optimized Visual Angle(MOA) = 16.0759+2.9015Visual Angle(MOA)

- 2.9690Typing Speed+0.267Visual Angle(MOA)*Visual Angle(MOA)

- 3.2398Visual Angle(MOA)*Typing Speed (4.7)



รูปที่ 4.42 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อและอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นของโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

โดยการวิเคราะห์แบบถดถอยได้ค่า R-sq เท่ากับ 98.07% ดังตารางที่ 4.19 เป็นค่าที่สามารถยอมรับได้และผลของปัจจัยมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ (P-value<0.05) และเกิดอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัยอย่างมีนัยสำคัญ (P-value<0.05)

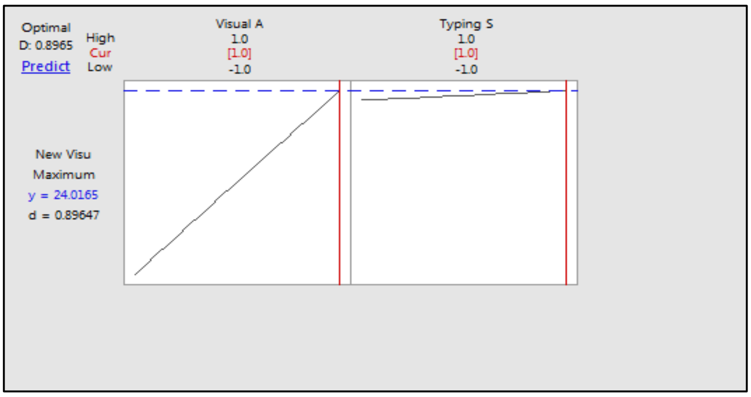
ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างโมเมนต์ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

	Source	DF	Adj	Adj MS	F-Value	P-Value
Response Surface Regression	Visual Angle (MOA)	1	5370.61	5370.61	17834.18	0.000
	Typing Speed	1	2.80	2.80	9.31	0.003
	Visual Angle* Visual Angle	1	0.21	0.21	0.69	0.407
	Visual Angle*Typing Speed	1	6.31	6.31	20.94	0.000

การหาระดับที่เหมาะสม (Response Optimization) โดยใช้โปรแกรม Minitab Version 1.7 และสมการของตัวแปรแบบถดถอย (Regression Models) ผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.43-44 ค่าทำนายของมุมการมองเห็นที่เหมาะสม (Y) ที่มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 24.0165 เป็นค่าที่ได้จากการแปลงโดยวิธี Freeman และ Tukey และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.548763

```
Response Optimization: New Visual Angle(MOA)

Parameters

Response                 Goal     Lower  Target   Upper  Weight  Importance
New Visual Angle(MOA)    Maximum  11.46  25.4667              1           1

Solution

                                  New Visual
          Visual      Typing     Angle(MOA)      Composite
Solution  Angle(MOA)  Speed            Fit    Desirability
1         1           1            24.0165        0.896469

Multiple Response Prediction

Variable           Setting
Visual Angle(MOA)  1
Typing Speed       1

Response                     Fit  SE Fit        95% CI              95% PI
New Visual Angle(MOA)   24.0165  0.0831  (23.8529, 24.1802)  (22.9231, 25.1100)
```

รูปที่ 4.43 ผลการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Response Optimization) ของผู้เข้าร่วมการทดลอง



รูปที่ 4.44 Response Optimization Plot ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้นโดยโปรแกรม Minitab

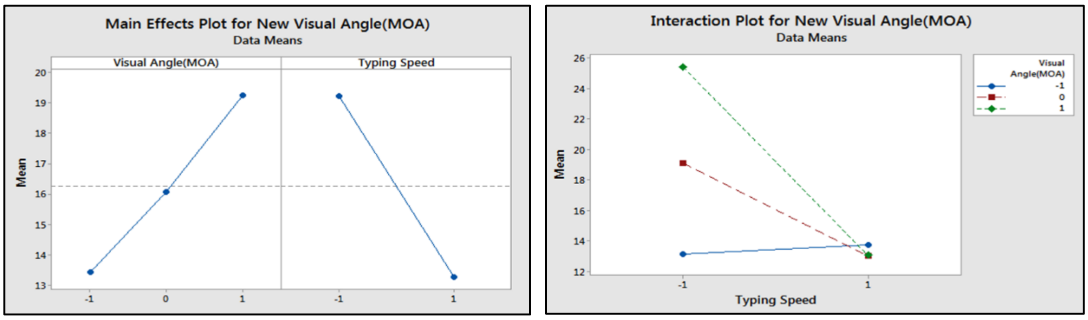
4.5.2 การวิเคราะห์ชุดข้อมูลที่ 2 กลุ่มผู้เข้าร่วมการทดลองที่มีสายตาสั้น

จากระดับของปัจจัยนำเข้าสำคัญที่เหมาะสมทั้ง 2 ปัจจัยสามารถหาระดับที่เหมาะสม (Response Optimization) โดยใช้โปรแกรม Minitab Version 1.7 และสมการของตัวแปรแบบถดถอย (Regression Models) เพื่อทำนาย (Predictive Value) ของตัวแปรมุมการมองเห็นที่เป็นตัวแปรตอบสนอง ซึ่งหาได้จากค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient) ของการออกแบบการทดลองของปัจจัยหลักละอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 4.45 ดังนั้นสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมการมองเห็นตอบสนองกับปัจจัยนำเข้า เพื่อหามุมการมองเห็นที่เหมาะสม และได้ค่าตัวแปรตอบสนองที่มีค่ามากที่สุดจะได้สมการถดถอยแบบค่าธรรมชาติ (Natural Units) ดังนี้

Optimized Visual Angle(MOA) = 16.0759+2.9015Visual Angle(MOA)

- 2.9690Typing Speed+0.267Visual Angle(MOA)*Visual Angle(MOA)

- 3.2398Visual Angle(MOA)*Typing Speed (4.8)



รูปที่ 4.45 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อและอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นของโมเมนต์ที่บริเวณคอ (C7) และเอว (L5S1) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น

โดยการวิเคราะห์แบบถดถอยได้ค่า R-sq เท่ากับ 97.06% ดังตารางที่ 4.20 เป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ ผลของปัจจัยมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ (P-value<0.05) และเกิดอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัยอย่างมีนัยสำคัญ (P-value<0.05)

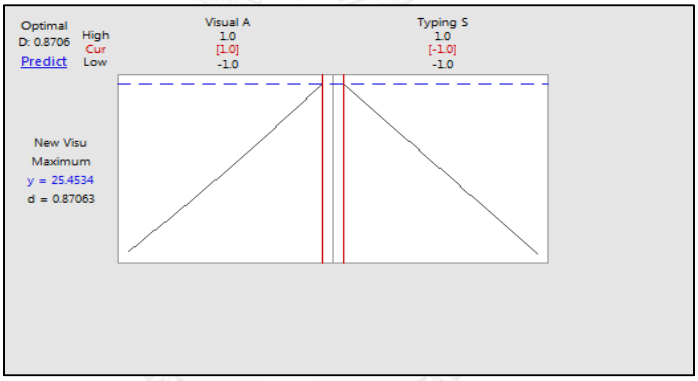
ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างโมเมนต์ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น

	Source	DF	Adj	Adj MS	F-Value	P-Value
Response Surface Regression	Visual Angle (MOA)	1	1347.03	1347.07	2031.52	0.000
	Typing Speed	1	2115.59	2115.59	3190.63	0.000
	Visual Angle* Visual Angle	1	3.81	3.81	5.74	0.017
	Visual Angle*Typing Speed	1	1679.36	1679.36	2532.73	0.000

การหาระดับที่เหมาะสม (Response Optimization) โดยใช้โปรแกรม Minitab Version 1.7 และสมการของตัวแปรแบบถดถอย (Regression Models) ผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.46-47 ค่าทำนายของมุมการมองเห็นที่เหมาะสม (Y) ที่มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 25.45 MOA เป็นค่าที่ได้จากการแปลงโดยวิธี Freeman และ Tukey และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.123

```
Response Optimization: New Visual Angle(MOA)

Parameters

Response                Goal      Lower    Target  Upper  Weight  Importance
New Visual Angle(MOA)   Maximum   11.6542  27.504              1           1


Solution

                                New Visual
          Visual      Typing   Angle(MOA)      Composite
Solution  Angle(MOA)  Speed           Fit   Desirability
1         1           -1          25.4534       0.870626

Multiple Response Prediction

Variable              Setting
Visual Angle(MOA)     1
Typing Speed          -1


Response                   Fit   SE Fit        95% CI              95% PI
New Visual Angle(MOA)   25.453    0.123   (25.211, 25.696)   (23.831, 27.076)
```

รูปที่ 4.46 ผลการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Response Optimization) ของผู้เข้าร่วมการทดลอง



รูปที่ 4.47 Response Optimization Plot ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้นโดยโปรแกรม Minitab

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการวิเคราะห์ค่าที่เหมาะสมที่สุด (Response Optimization) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติและสายตาสั้นเท่ากับ 24.3 และ 25.45 MOA การเลือกค่ามุมการเห็นที่เหมาะควรเลือกค่าที่ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น เนื่องจากเป็นค่าที่มากที่สุดเพื่อการออกแบบมุมการเห็นที่ใช้ในการพิมพ์ควบคุมสภาพสายตาปกติและสายตาสั้น

4.6 การศึกษาและวิเคราะห์ผลเพิ่มเติม

จากสภาวะเริ่มต้นและสภาวะคงตัวของมุมหลัง คอและศีรษะ มีค่าแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยการตั้งสมมติฐานเพื่อทดสอบมุมการมองเห็นที่ 2 ระดับคือที่ระดับ 25 และ 23 MOA และปัจจัยสภาวะทำงานคือ สภาะเริ่มทำงานและสภาวะคงตัว จะทำการทดสอบสองด้าน (Two-Sided Test) แบบบล็อก (Block) โดยตั้งสมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบได้ดังนี้

ปัจจัยของมุมการมองเห็น

H_0 : ค่าเฉลี่ยมุมหลัง มุมคอ และมุมศีรษะในการทดลองที่ระดับต่าง ๆ ของปัจจัยมุมการมองเห็นไม่แตกต่างกัน

H_1 : ค่าเฉลี่ยมุมหลัง มุมคอ และมุมศีรษะในการทดลองที่ระดับต่าง ๆ ของปัจจัยมุมการมองเห็นแตกต่างกันอย่างน้อย 2 ระดับ

ปัจจัยของสภาวะทำงาน

H_0 : ค่าเฉลี่ยมุมหลัง มุมคอ และมุมศีรษะในการทดลองที่ระดับต่าง ๆ ของปัจจัยสภาวะการทำงานไม่แตกต่างกัน

H_1 : ค่าเฉลี่ยมุมหลัง มุมคอ และมุมศีรษะในการทดลองที่ระดับต่าง ๆ ของปัจจัยสภาวะการทำงานแตกต่างกันอย่างน้อย 2 ระดับ

4.6.1 ผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

สุ่มเลือกผู้เข้าร่วมการทดลอง 3 คน (คนที่ 4, 6,9) จากนั้นทำการตั้งสมติฐานเพื่อทดสอบมุมการมองเห็นที่ 2 ระดับคือที่ระดับ 25 และ 23 MOA และปัจจัยสภาวะทำงานคือ สภาะเริ่มทำงานและสภาวะคงตัวและทำการทดสอบสองด้าน (Two-Sided Test) แบบบล็อก (Block) ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติในรูปแบบ Full Factorial 2^2 ทั้งสองปัจจัยคือมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ โดยมีมุมหลัง คอและศีรษะในการตอบสนองเป็นตัวแปรตามที่ช่วงความเชื่อมั่น 0.95

ตารางที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

ผลต่างค่าเฉลี่ย	Source	DF	Adj	Adj MS	F-Value	P-Value
มุมหลัง	Visual Angle (MOA)	1	2.837	2.837	0.78	0.392
	State Condition	1	1.955	1.955	0.53	0.476
	Visual Angle* State Condition	1	6.710	6.710	1.83	0.196
มุมคอ	Visual Angle (MOA)	1	35.86	35.858	3.09	0.099
	State Condition	1	136.02	136.021	11.71	0.004
	Visual Angle* State Condition	1	6.56	6.556	0.56	0.464
มุมศีรษะ	Visual Angle (MOA)	1	47.29	47.29	3.65	0.075
	State Condition	1	862.13	862.13	66.50	0.000
	Visual Angle* State Condition	1	106.92	106.92	8.25	0.065

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางที่ 4.21 พบว่าแสดงให้เห็นว่าปัจจัยมุมการมองเห็น (Visual Angle) ไม่มีความแตกต่างกันของมุมหลัง คอและศีรษะอย่างมีนัยสำคัญ (P-value=0.147, 0.810 และ0.786 ตามลำดับ) และปัจจัยสภาวะการทำงาน (State Condition) มีความแตกต่างกันของมุมหลัง คอและศีรษะอย่างมีนัยสำคัญ (P-value<0.05) ดังนั้นเมื่อมุมการมองเห็นเพิ่มมากขึ้นมุมหลัง คอและศีรษะที่สภาวะเริ่มทำงานมีค่าแตกต่างกับสถานะคงตัว

ตารางที่ 4.22 สรุปรูปแบบผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

ผลต่างค่าเฉลี่ย	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
มุมหลัง	1.91227	71.96%	57.01%	28.23%
มุมคอ	3.40766	93.17%	89.52%	82.51%
มุมศีรษะ	3.60055	96.50%	94.63%	91.04%

จากตารางที่ 4.22 พบว่า R-Square ที่บอกนัยความสัมพันธ์เมื่อค่าเปอร์เซ็นต์สูงค่าความผิดพลาด (Error) ต่ำ แสดงให้เห็นว่ารูปแบบคณิตศาสตร์จากการวิเคราะห์ทางสถิติสามารถอธิบายความผันแปรตัวแปรตอบสนองที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เป็นอย่างดี

4.6.2 ผู้เข้าร่วมการทดลองที่มีสายตาสั้น

สุ่มเลือกผู้เข้าร่วมการทดลอง 2 คน (คนที่ 10,11) โดยทำการตั้งสมติฐานเพื่อทดสอบมุมการมองเห็นที่ 2 ระดับคือที่ระดับ 25 และ 23 MOA และปัจจัยสภาวะทำงานคือ สภาะเริ่มทำงานและสภาวะคงตัวและทำการทดสอบสองด้านแบบบล็อก (Block) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติในรูปแบบ Full Factorial 2^2 ทั้งสองปัจจัยคือมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ โดยมีมุมหลัง คอและศีรษะ ในการตอบสนองเป็นตัวแปรตามที่ช่วงความเชื่อมั่น 0.95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น

ผลต่างค่าเฉลี่ย	Source	DF	Adj	Adj MS	F-Value	P-Value
มุมหลัง	Visual Angle (MOA)	1	1.618	1.6178	4.93	0.054
	State Condition	1	35.561	35.5612	108.33	0.000
	Visual Angle* State Condition	1	1.408	1.4082	4.29	0.068
มุมคอ	Visual Angle (MOA)	1	4.535	4.535	2.73	0.133
	State Condition	1	199.75	199.75	120.25	0.000
	Visual Angle* State Condition	1	0.304	0.304	0.18	0.679
มุมศีรษะ	Visual Angle (MOA)	1	18.08	18.08	5.16	0.049
	State Condition	1	74.71	74.71	21.31	0.001
	Visual Angle* State Condition	1	7.14	7.14	2.04	0.187

จากตารางที่ 4.23 พบว่าแสดงให้เห็นว่าปัจจัยมุมการมองเห็น (Visual Angle) ไม่มีความแตกต่างกันของมุมหลัง คอและศีรษะอย่างมีนัยสำคัญ (P-value=0.147, 0.810 และ0.786 ตามลำดับ) และปัจจัยสภาวะการทำงาน (State Condition) มีความแตกต่างกันของมุมหลัง คอและศีรษะอย่างมีนัยสำคัญ (P-value<0.05) ดังนั้นเมื่อมุมการมองเห็นเพิ่มมากขึ้นมุมหลัง คอและศีรษะที่สภาวะเริ่มทำงานมีค่าแตกต่างกับสถานะคงตัวเช่นเดียวกันกับผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

ตารางที่ 4.24 สรุปรูปแบบผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมุมของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น

ผลต่างค่าเฉลี่ย	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
มุมหลัง	0.572845	93.12%	88.54%	78.26%
มุมคอ	1.28882	93.53%	89.22%	79.55%
มุมศีรษะ	1.87235	99.155	98.58%	97.31%

จากตารางที่ 4.24 พบว่า R-Square ที่บอกนัยความสัมพันธ์เมื่อค่าเปอร์เซ็นต์สูงค่าความผิดพลาด (Error) ต่ำ แสดงให้เห็นว่าตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้มาสามารถอธิบายความผันแปรตัวแปรตอบสนองที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เป็นอย่างดี

Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่ามุมการมองเห็นมีผลต่อท่างทางของกระดูกสันหลังซึ่งประกอบได้ด้วยมุมหลัง คอและศีรษะ โดยเฉพาะมุมการมองเห็นมีต่ำกว่า 17 MOA เนื่องจากมุมการมองเห็นดังกล่าวจะส่งผลให้มุมหลังและมุมคองอลดลงและมุมศีรษะจะเงยมากขึ้นเพิ่มปรับมุมการมองภาพและการควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์มีผลต่อท่างทางของกระดูกสันหลังทำให้มุมหลัง คอและศีรษะเปลี่ยนแปลงมากกว่าการไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ เนื่องจากจะส่งผลให้มุมหลังและมุมคองอลดลงและมุมศีรษะจะเงยมากขึ้น ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงการพิมพ์งานที่ใช้มุมการมองเห็นต่ำกว่า 17 MOA และสภาวะที่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์ โดยงานวิจัยนำร่องภายใต้ตัวแปรควบคุมคือความส่องสว่างห้องทำงาน 400 ลักซ์และอุณหภูมิห้อง 24 องศาเซลเซียส

โมเมนต์บริเวณคอและเอวของปัจจัยมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในพิมพ์มีค่าแตกต่างกันพฤติกรรมการโน้มไปข้างหน้า โดยมุมหลังและมุมคองอลดลงและมุมศีรษะเงยมากขึ้นดังนั้นการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ที่ตำแหน่งคอ (C7) จะมีค่าเพิ่มขึ้นและทำโมเมนต์ที่ตำแหน่งเอว (L5S1) จะมีค่าลดลง และการควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์โมเมนต์บริเวณคอและเอวเพิ่มมากกว่าการไม่ควบคุมอัตราเร็วในการพิมพ์

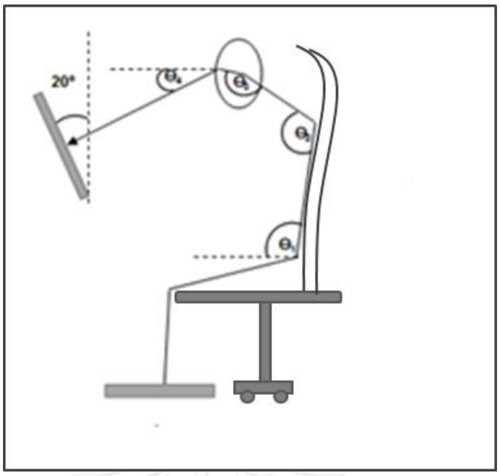
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 แนวทางการประยุกต์ใช้ผลการวิจัย

5.2.1 คำแนะนำสำหรับมุมการมองเห็นที่เหมาะสมกับการใช้งานคอมพิวเตอร์

เนื่องจากช่วงมุมการมองเห็นตามมาตราฐาน (ISO, 1998) ที่แนะนำคือ 16-24 MOA ผลการว่ามุมการมองเห็นที่ 17 และ 23 MOA ท่าทางของร่างกายส่วนบนของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตา (ปกติ/สั้น) ให้ผลการทดสอบไม่แตกต่างกัน และเมื่อหาค่ามุมการมองเห็นที่เหมาะสมสำหรับที่คนสายตาสั้นคือ 25.45 (SD=0.123) ซึ่งได้ทดสอบแล้วว่ามุมการมองเห็นที่ 23 MOAและ25 MOA ให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นก่อนเริ่มใช้งานคอมพิวเตอร์ควรปรับมุมการมองเห็นให้อยู่ในช่วง 17-23 MOA ที่ความส่องสว่างห้องทำงาน 400 ลักซ์ อุณหภูมิห้อง 24 องศาเซลเซียสและเลือกเก้าอี้ที่มีพนักพิงดังรูป 5.1 หากท่าทางนั่งพิมพ์งานโดยร่างกายส่วนบนโน้มไปด้านหลังพนักพิงจะช่วยลดโมเมนต์ที่มากขึ้นและการนั่งท่าท่างนี้จะช่วยลดโมเมนต์ที่บริเวณคอเนื่องจากมุมคอลดลง นอกจากนั้นควรหลีกเลี่ยงการพิมพ์งานที่ใช้มุมการมองเห็นต่ำกว่า 17 MOA และสภาวะที่มีอัตราเร็วในการพิมพ์ เนื่องจากจะ

เกิดการเปลี่ยนแปลงมุมหลัง คอและศีรษะส่งผลต่อการเพิ่มโมเมนต์ที่บริเวณคอทำให้เกิดความเมื่อยล้า และในระยะยาวยังมีความเสี่ยงในการเกิดโรคจากการทำงาน



รูปที่ 5.1 ท่านั่งแนะนำสำหรับมุมการมองเห็นที่เหมาะสม

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

จากข้อสรุปของงานวิจัยนี้ได้แนวทางสำหรับงานวิจัยในอนาคตเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมตรวจจับมุมการมองเห็น เพื่อคำนวนค่าโมเมนต์ที่เกิดกับกระดูกสันหลังซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงของพฤติกรรมการนั่งทำงานในท่าทางที่ไม่เหมาะและโรคออฟฟิศซินโดรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายการอ้างอิง

Angle, J., & Wissmann, D. (1980). The epidemiology of myopia. *American journal of epidemiology, 111*(2), 220-228.

Berkowitz, B., & Clark, P. (2014). The health hazards of sitting. *The Washington Post*, 154-158.

Bernard, M. L., Chaparro, B. S., Mills, M. M., & Halcomb, C. G. (2003). Comparing the effects of text size and format on the readibility of computer-displayed Times New Roman and Arial text. *International Journal of Human-Computer Studies, 59*(6), 823-835.

Burdorf, A., van Riel, M., & Brand, T. (1997). Physical load as risk factor for musculoskeletal complaints among tank terminal workers. *American Industrial Hygiene Association Journal, 58*(7), 489-497.

Burgess-Limerick, R., Plooy, A., & Ankrum, D. (1998). The effect of imposed and self-selected computer monitor height on posture and gaze angle. *Clinical Biomechanics, 13*(8), 584-592.

Campbell, J. L., Carney, C., & Kantowitz, B. H. (1998). *Human factors design guidelines for advanced traveler information systems (ATIS) and commercial vehicle operations (CVO)*. Retrieved from

Carter, J., & Banister, E. (1994). Musculoskeletal problems in VDT work: a review. *Ergonomics, 37*(10), 1623-1648.

Chaffin, D. B. (1973). Localized muscle fatigue-definition and measurement. *Journal of Occupational and Environmental Medicine, 15*(4), 346-354.

Darroch, I., Goodman, J., Brewster, S., & Gray, P. (2005). The effect of age and font size on reading text on handheld computers *Human-Computer Interaction-INTERACT 2005* (pp. 253-266): Springer.

Drake, R., Vogl, A. W., & Mitchell, A. W. (2014). *Gray's anatomy for students*: Elsevier Health Sciences.

Fricton, J. R., Kroening, R., Haley, D., & Siegert, R. (1985). Myofascial pain syndrome of the head and neck: a review of clinical characteristics of 164 patients. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, 60*(6), 615-623.

Grandjean, E. (1987). Design of VDT workstations. *Handbook of human factors*, 1359-1397.

Gwiazda, J. E., Hyman, L., Norton, T. T., Hussein, M. E., Marsh-Tootle, W., Manny, R., . . . Everett, D. (2004). Accommodation and related risk factors associated with myopia progression and their interaction with treatment in COMET children. *Investigative ophthalmology & visual science, 45*(7), 2143-2151.

Hagberg, M. (1981). Electromyographic signs of shoulder muscular fatigue in two elevated arm positions. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation, 60*(3), 111-121.

Helander, M., & Rupp, B. A. (1984). An overview of standards and guidelines for visual display terminals. *Applied Ergonomics, 15*(3), 185-195.

Hitt, W. D. (1961). An Evaluation of Five Different Abstract Coding Methods—Experiment IV1. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 3*(2), 120-130.

Ip, J. M., Saw, S.-M., Rose, K. A., Morgan, I. G., Kifley, A., Wang, J. J., & Mitchell, P. (2008). Role of near work in myopia: findings in a sample of Australian school children. *Investigative ophthalmology & visual science, 49*(7), 2903-2910.

ISO 9241. (1998). *ISO 9241-11: 1998: Ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminals (VDTs)-Part 11: Guidance on Usability*: International Organization for Standardization.

Jenkins, D. B. (2008). *Hollinshead's functional anatomy of the limbs and back*: Elsevier Health Sciences.

Kadefors, R., Petersen, I., & Herberts, P. (1976). Muscular reaction to welding work: an electromyographic investigation. *Ergonomics, 19*(5), 543-558.

Kietrys, D. M., McClure, P. W., & Fitzgerald, G. K. (1998). The relationship between head and neck posture and VDT screen height in keyboard operators. *Physical therapy, 78*(4), 395-403.

Kingery, D., & Furuta, R. (1997). Skimming electronic newspaper headlines: A study of typeface, point size, screen resolution, and monitor size. *Information Processing & Management, 33*(5), 685-696.

Moore, K., & Dalley, A. II (1999) Clinically oriented anatomy: Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.

Parrish, R. K., Feuer, W. J., Schiffman, J. C., Lichter, P. R., Musch, D. C., & Group, C. O. D. S. (2009). Five-year follow-up optic disc findings of the Collaborative Initial Glaucoma Treatment Study. *American journal of ophthalmology, 147*(4), 717-724. e711.

Ryer, A., & Light, V. (1997). Light measurement handbook.

Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1987). *Human factors in engineering and design*: McGRAW-HILL book company.

Shannon, C. (1948). BA mathematical theory of communication,[Bell System Tech: J.

Simmons, D., & Travell, J. (1952). The myofascial genesis of pain. *Postgrad Med, 11*, 425-434.

Simons, D. G., Travell, J. G., & Simons, L. S. (1999). *Travell & Simons' myofascial pain and dysfunction: upper half of body* (Vol. 1): Lippincott Williams & Wilkins.

Tobon, R. (2010). *The Mocap Book: A Practical Guide to the Art of Motion Capture*: Foris Force.

Turville, K. L., Psihogios, J. P., Ulmer, T. R., & Mirka, G. A. (1998). The effects of video display terminal height on the operator: a comparison of the 15 and 40 recommendations. *Applied Ergonomics, 29*(4), 239-246.

Viikari-Juntura, E. (1999). Occupational risk factors for shoulder disorders. *Occupational Biomechanics Handbook, CRC Press, Boca Raton*.

Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement*: John Wiley & Sons.

กรมควบคุมโรค. (2557). รายงานสถานการณ์ โรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม ปี 2556. Retrieved from http://envocc.ddc.moph.go.th/uploads/situation/situyear58/4_5_situlation56_03.pdf

กรมควบคุมโรค. (2558). รายงานประจำปี *2558*. Retrieved from http://thaincd.com/document/file/download/paper-manual/Annual-report-2015.pdf.

กระทรวงแรงงาน. (2549). กฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทางานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง. 123.

กาญจนา หลวงโปธา. (2556). วิธีการประเมินสำหรับลดแรงกดอัดของหลังส่วนล่างในงานบรรจุผลิตภัณฑ์. *For quality management, 19*(183), 29-33.

นภาพร ตนานุวัฒน์ (Producer). (2551). การวัดระดับสายตาและการตรวจจอตา (Visual Acuity and Ophthalmoscopy). [Lecture] Retrieved from http://www.medicine.cmu.ac.th/dept/eye/lecture301.pdf

ผู้จัดการออนไลน์, A. (2557). สถิติชี้วัยแรงงานป่วยโรคปวดหลังมากสุด. . Retrieved from http://www.manager.co.th/QOL/ViewNews.aspx?NewsID=

ผู้จัดการออนไลน์, A. (2558, 25 สิงหาคม 2558). ออฟฟิศแย่ทำ “สุขภาพ” แย่ เผย 3 อาการสุดฮิตวัยทำงาน แนะ 4 วิธีสร้างสถานที่ทำงานน่าอยู่. Retrieved from http://www.manager.co.th/QOL/ViewNews.aspx?NewsID=9580000096455

ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล (Producer). (2558). การออกแบบงานตามความสามารถของมนุษย์. เอกสารประกอบการเรียน การศึกษาชีวกลศาสตร์.

ไมโครซอฟท์. (2558). การเปลี่ยนความละเอียดของหน้าจอ. Retrieved from http://windows.microsoft.com/th-th/windows7/change-your-screen-resolution

ยืน ภู่วรวรรณ. (2559). จอแสดงผล. Retrieved from https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet1/hardware/tech_lcd.htm

สถาบันกระดูกสันหลังบำรุงราษฎร์. (2558). โรคหมอนรองกระดูกอักเสบ. Retrieved from https://www.bumrungrad.com/th/spine-institute-surgery-bangkok-thailand-best-jci/herniated-disc

สมเกียรติ อธิคมกุลชัย. (2548). ปัญหาสายตาพร่ามัว. Retrieved from http://myopia.doctorsomkiat.com/thmy.htm

สำนักความปลอดภัยแรงงาน. (2559). แสงสว่างในที่ทำงาน. Retrieved from http://www.oshthai.org/index.php?option=com_content&view=article&id=150:%E0%B9%92%E0%B9%95%E0%B9%95%E0%B9%97-%m-%E0%B9%92%E0%B9%95-%E0%B9%90%E0%B9%97-%M-%S&catid=12:environment&Itemid=203

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2558). การสำรวจการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารในครัวเรือน พ.ศ. *2548 - 2557*. Retrieved from http://www.nso.go.th

อิทธิเชษฐ์ ศรีลานนท์. (2554). หลักการทำงานของคอมพิวเตอร์. Retrieved from http://home.kku.ac.th/samnat/computer_system_01.html

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก.
หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมงานวิจัย

(Consent Form)

วันที่..........เดือน................พ.ศ.............

ข้าพเจ้า .... อายุ .... ปี เพศ ....

น้ำหนัก(กก.) .... ส่วนสูง(ซม.) .... อาศัยอยู่บ้านเลขที่ ....

ถนน .... แขวง/ตำบล .... เขต/อำเภอ ....

จังหวัด... รหัสไปรษณีย์ .... โทรศัพท์.....................................

ประเภทสายตา(20/20): O สายตาปกติไม่สวมใส่แว่นหรือคอนแทคเลนส์

O สายตาไม่ปกติสวมใส่แว่นหรือคอนแทคเลนส์

ขอแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมงานวิจัยเรื่อง “ผลกระทบจากมุมการมองเห็นและอัตราเร็วในการพิมพ์ต่อกระดูกสันหลังของผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์”

1. ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายรายละเอียดงานวิจัยจากผู้ทำการวิจัยรายละเอียดประกอบไปด้วยวัตถุประสงค์ของงานวิจัย วิธีการวิจัย เป็นต้น
2. ข้าพเจ้าได้ทราบถึงสิทธิ์ที่ข้าพเจ้าจะได้รับข้อมูลเพิ่มเติมทั้งทางด้านประโยชน์และโทษจากการเข้าร่วมงานวิจัย
3. ข้าพมีสิทธิ์จะถอนตัวหรืองดเข้าร่วมงานวิจัยนี้ได้ทุกเมื่อ โดยจะไม่มีผลกระทบต่อคะแนนในรายวิชาใด ๆรวมถึงการบริการและและสวัสดิการที่ข้าพเจ้าจะได้รับต่อไปในอนาคต
4. ข้าพเจ้ายินยอมให้ผู้ทำงานวิจัยใช้ข้อมูลส่วนตัวที่ได้รับจากการทำวิจัย แต่จะไม่เผยแพร่เป็นรายบุคคล โดยจะนำเสนอเป็นข้อมูลถาพรวมจากการทำวิจัยเท่านั้น
5. ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นแล้วและมีความเข้าใจดีทุกประการ และได้ลงนามในหนังสือแสดงเจตนายินยอมนี้ด้วยความเต็มใจ

ลงชื่อ..

( )

ผู้เข้าร่วมงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ข.
วิธีการใช้โปรแกรมสำหรับการพิมพ์ในการเก็บข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีการใช้โปรแกรมสำหรับการพิมพ์ในการเก็บข้อมูล

1. การใช้โปรแกรมสำหรับการพิมพ์ (ErgoEyeSkillX ดังรูป ข.1 โดยแถบสีทึบคือเมนูตั้งค่าต่าง ๆเพื่อใช้กำหนดตัวอักษรที่ปรากฏบนจอแสดงผลแบบสุ่มตัวอักษร

รูปที่ ข.1 โปรแกรม ErgoEyeSkill สำหรับตั้งค่าตัวอักษรก่อนการเก็บข้อมูล

2. การตั้งค่าตัวอักษร (Character Setting)

2.1.1 Color คือสีของตัวอักษรในงานวิจัยนี้ใช้ตัวอักษรสีดำ

2.1.2 Font คือรูปแบบของตัวอักษรในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แอเรล

2.1.3 Size คือความสูงของตัวอักษรในงานวิจัยนี้ใช้ขนาด 16, 11และ6 ตามลำดับ

2.1.4 Background คือสีของพื้นหลังในงานวิจัยนี้ใช้สีขาว

2.1.5 Test Number คือจำนวนตัวอักษรสูงสุดที่ใช้ทดสอบต่อการทดลองในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้จำนวนตัวอักษรสูงสุด 50 อักษรต่อครั้งการทดลอง

2.1.6 Max Characters คือจำนวนตัวอักษรที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผลต่อครั้งการพิมพ์ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ 10 ตัวอักษรต่อครั้งการพิมพ์

2.1.7 Display Time(s) คือเวลาที่ตัวอักษรปรากฏบนหน้าจอแสดงผลต่อครั้งการพิมพ์โดยแบ่งได้เป็น 2 แบบได้แก่แบบไม่ควบคุมเวลา (Unlimit) และแบบควบคุมเวลา (Limit) ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ทั้งสอบแบบแต่กำหนดแบบควบคุมเวลาเท่ากับ 110-120 เปอร์เซ็นต์ของแบบไม่ควบคุมเวลา

2.1.8 Import text คือการเลือกประเภทของตัวอักษรในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษชนิดพิมพ์ใหญ่

2.1.9 Directory คือสถานที่เก็บข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

2.1.20 Start เมื่อตั้งค่าการทดลองในเงื่อนไขนั้นเสร็จเมื่อตรวจสอบว่าถูกต้องจึงกดปุ่มกด Start เพื่อเริ่มเก็บข้อมูลในแต่ละเงื่อนไขที่กำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

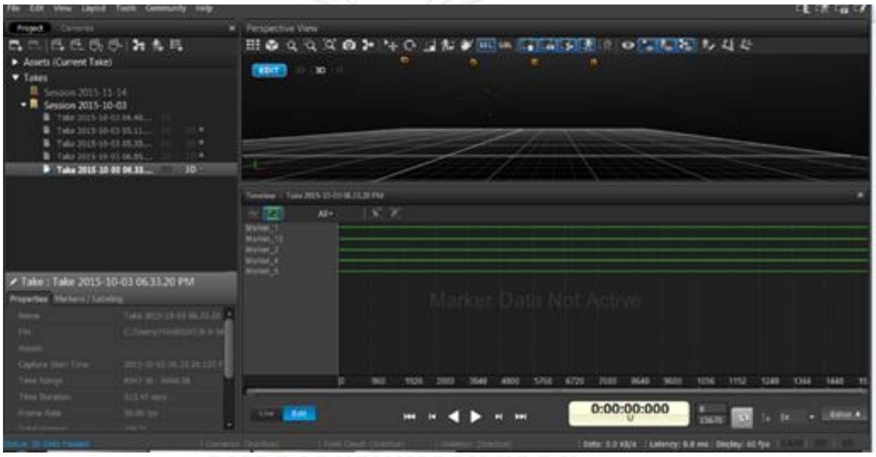
ภาคผนวก ค.

ขั้นตอนการเก็บข้อมูลโดยการใช้โปรแกรม Optitack

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนการเก็บข้อมูลโดยการใช้โปรแกรมบันทึกการเคลื่อนไหว Optitack

1. บันทึกการเคลื่อนไหว (Optitack) โดยมี 5 ตำแหน่งของร่างกายส่วนบนได้แก่ตำแหน่งที่ระดับเอวหรือ L5S1 (lumbar segment 5 and sacral segment 1: L5S1) ตำแหน่งที่ 2 กระดูกบริเวณคอ (Cervical segment 7: C7) ตำแหน่งที่ 3 กระดูกหลังหูคือตำแหน่งเส้นตรงจากหางตามายังติ่งหู (The mastoid process on a line joining the tragus and the outer canthus: MP) ตำแหน่งที่ 4 บริเวณหางตา (Outer canthus of the eye: OC) และตำแหน่งที่ 5 จุดศูนย์กลางจอแสดงผล (Monitor Center) ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นพิกัดแบบ 2 มิติ โดยที่ความสูงอยู่ในแนวแกน Y ความยาวอยู่ในแนวแกน X



รูปที่ ค.1 โปรแกรม Opitack สำหรับการเก็บข้อมูลตำแหน่งของร่างกาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. ในการวิจัยจะใช้เวลาในการเก็บข้อมูลทั้งหมด 5 นาทีเมื่อตามเวลาที่กำหนดให้กดปุ่มหยุดเวลาและทำการแปลงข้อมูลเป็น Excle เพื่อใช้วิเคราะห์มุมหลัง มุมคอและมุมศีรษะต่อไป

ภาคผนวก ง.

ผลการทดลองโมเมนต์บริเวณคอ (C7) และเอว (l5S1) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Subject	สายตา	มุมการมองเห็น	โมเมนต์บริเวณคอ (N.m)						โมเมนต์บริเวณเอว (N.m)					
			Unlimite			Limite			Unlimite			Limite		
		(MOA)	Initail	1	2	Initail	1	2	Initail	1	2	Initail	1	2
1	สายตาปกติไม่สวมแว่น	23	6.66	6.88	7.00	7.05	7.69	7.70	18.14	19.07	18.18	21.54	17.13	17.13
2	สายตาปกติไม่สวมแว่น	23	4.60	4.90	4.84	5.13	5.31	5.17	18.66	18.04	18.18	11.63	15.69	15.69
3	สายตาปกติไม่สวมแว่น	23	9.77	9.85	9.81	9.00	9.85	9.85	17.35	17.93	17.93	38.06	18.30	18.30
4	สายตาปกติไม่สวมแว่น	23	8.27	8.60	8.60	7.80	8.82	8.83	21.88	20.32	20.94	28.90	20.32	20.32
5	สายตาปกติไม่สวมแว่น	23	8.26	8.25	8.26	7.80	8.59	8.53	22.03	24.75	25.25	28.89	23.48	23.48
6	สายตาปกติไม่สวมแว่น	23	10.10	10.54	10.60	9.54	10.68	10.93	27.14	24.53	24.10	35.34	21.58	21.58
7	สายตาปกติไม่สวมแว่น	23	5.98	6.10	6.24	6.26	6.74	6.82	14.52	14.04	13.90	10.23	12.94	12.94
8	สายตาปกติไม่สวมแว่น	23	6.83	6.88	6.85	7.22	7.30	7.39	16.20	16.71	16.74	9.95	10.98	10.98
9	สายตาปกติไม่สวมแว่น	23	11.29	11.93	11.94	12.69	12.44	12.28	44.38	41.29	41.15	22.99	38.61	38.61
10	สายตาปกติไม่สวมแว่น	23	8.50	8.76	8.77	9.65	8.87	8.86	32.35	30.38	30.16	13.99	30.10	30.10
11	สายตาปกติไม่สวมแว่น	23	4.83	5.07	5.14	5.11	5.51	5.51	19.00	17.83	17.70	15.09	17.67	17.67
12	สายตาปกติไม่สวมแว่น	23	9.81	9.91	10.09	9.44	10.22	10.23	16.54	16.26	14.38	24.34	12.23	12.23
13	สายตาปกติไม่สวมแว่น	23	9.71	9.93	10.06	9.65	10.44	10.55	28.46	28.05	25.30	29.61	20.43	20.43
14	สายตาปกติไม่สวมแว่น	23	8.80	9.06	9.15	8.41	9.32	9.32	16.93	15.81	13.70	24.30	13.22	13.22
15	สายตาปกติไม่สวมแว่น	23	8.73	9.10	9.18	9.00	9.33	9.19	19.68	17.31	17.47	14.19	17.19	17.19
16	สายตาปกติไม่สวมแว่น	23	5.90	6.04	6.02	6.01	6.18	6.19	17.53	16.04	16.55	15.60	14.52	14.52
17	สายตาปกติไม่สวมแว่น	23	6.99	7.33	7.36	6.57	7.45	7.47	10.98	8.08	7.44	18.29	8.68	8.68
18	สายตาปกติไม่สวมแว่น	23	5.73	5.75	5.72	5.45	6.06	6.02	13.87	14.78	15.30	18.25	13.70	13.70
19	สายตาปกติไม่สวมแว่น	23	5.62	5.78	5.82	5.76	5.76	5.99	9.10	10.91	11.51	7.12	10.70	10.70
20	สายตาปกติไม่สวมแว่น	23	11.93	12.41	12.32	12.13	13.19	13.24	23.46	20.41	22.55	27.00	20.41	20.41
1	สายตาปกติไม่สวมแว่น	17	6.86	7.37	7.52	6.35	6.76	7.00	18.34	14.42	14.25	9.31	13.42	13.42
2	สายตาปกติไม่สวมแว่น	17	4.67	5.15	5.19	4.22	4.59	4.69	18.15	15.26	15.57	12.26	14.29	14.29
3	สายตาปกติไม่สวมแว่น	17	9.80	10.03	10.06	8.04	9.75	9.82	16.95	12.78	12.97	38.07	11.72	11.72
4	สายตาปกติไม่สวมแว่น	17	8.46	8.90	8.85	7.82	8.97	9.02	18.44	15.69	16.02	28.70	14.37	14.37
5	สายตาปกติไม่สวมแว่น	17	7.90	8.52	8.51	7.82	8.62	8.69	27.16	22.51	21.93	28.14	20.64	20.64
6	สายตาปกติไม่สวมแว่น	17	10.14	10.89	10.79	9.57	10.95	11.01	26.03	18.96	20.31	34.90	17.97	17.97
7	สายตาปกติไม่สวมแว่น	17	6.17	6.47	6.48	5.93	6.74	6.74	17.00	15.15	16.53	20.47	14.71	14.71
8	สายตาปกติไม่สวมแว่น	17	6.78	7.23	7.23	7.28	7.77	7.53	17.88	14.80	12.64	9.91	6.53	7.30
9	สายตาปกติไม่สวมแว่น	17	12.61	13.15	13.25	12.37	13.65	13.49	25.52	23.62	21.72	29.67	14.06	18.41
10	สายตาปกติไม่สวมแว่น	17	9.98	10.44	10.40	9.68	10.61	10.59	12.27	7.84	8.44	17.75	1.21	3.42
11	สายตาปกติไม่สวมแว่น	17	5.69	6.05	5.91	5.20	5.96	6.05	8.95	6.44	6.56	16.84	5.31	3.63
12	สายตาปกติไม่สวมแว่น	17	9.07	9.78	9.91	9.44	9.92	9.97	24.77	13.54	12.04	17.75	12.57	15.01
13	สายตาปกติไม่สวมแว่น	17	10.52	10.68	10.59	10.35	10.86	10.96	19.09	17.49	22.70	23.02	16.29	13.68
14	สายตาปกติไม่สวมแว่น	17	8.92	9.25	9.30	8.83	9.61	9.70	23.61	18.20	18.72	25.43	9.41	5.89
15	สายตาปกติไม่สวมแว่น	17	8.01	8.71	8.87	8.47	9.20	9.22	20.65	12.58	10.64	12.93	3.68	2.97
16	สายตาปกติไม่สวมแว่น	17	6.12	6.45	6.32	6.12	6.59	6.62	17.90	12.98	15.82	17.98	12.98	13.35
17	สายตาปกติไม่สวมแว่น	17	5.77	6.10	6.14	6.20	6.68	6.83	20.52	17.98	18.41	14.38	13.73	13.73
18	สายตาปกติไม่สวมแว่น	17	4.55	4.78	4.86	3.42	5.10	4.98	5.71	5.71	4.71	19.17	2.84	4.46
19	สายตาปกติไม่สวมแว่น	17	6.18	6.50	6.38	5.11	6.73	6.63	7.50	5.70	7.09	22.41	4.46	4.87
20	สายตาปกติไม่สวมแว่น	17	12.65	12.86	12.95	11.67	13.36	13.32	22.60	20.88	19.90	41.47	17.69	19.90
1	สายตาปกติไม่สวมแว่น	11	6.74	7.38	7.37	7.23	7.82	7.88	17.63	13.92	15.47	9.88	10.76	9.05
2	สายตาปกติไม่สวมแว่น	11	5.46	5.82	5.89	4.96	6.04	5.99	6.56	3.53	2.60	14.47	1.55	2.83
3	สายตาปกติไม่สวมแว่น	11	9.75	10.09	10.03	9.60	10.12	10.16	18.75	10.47	10.47	23.54	10.06	8.29
4	สายตาปกติไม่สวมแว่น	11	8.57	9.31	9.40	8.83	9.39	9.45	15.59	9.08	9.61	10.47	11.89	8.90

Subject	สายตา	มุมการมองเห็น (MOA)	โมเมนต์บริเวณคอ (N.m)						โมเมนต์บริเวณเอว (N.m)					
			Unlimite			Limite			Unlimite			Limite		
			Initail	1	2	Initail	1	2	Initail	1	2	Initail	1	2
5	สายตาปกติไม่สวมแว่น	11	7.53	8.23	8.30	7.69	8.62	8.64	31.33	29.61	31.15	28.94	27.37	25.82
6	สายตาปกติไม่สวมแว่น	11	10.85	11.51	11.54	9.51	11.80	11.75	12.40	8.52	8.95	35.61	5.87	6.09
7	สายตาปกติไม่สวมแว่น	11	6.69	7.21	7.25	6.05	7.47	7.44	10.64	8.97	8.27	21.00	4.78	6.32
8	สายตาปกติไม่สวมแว่น	11	6.73	7.74	7.59	7.19	7.90	7.91	17.20	11.03	11.34	9.86	8.72	7.79
9	สายตาปกติไม่สวมแว่น	11	12.36	13.12	13.18	12.60	13.39	13.69	26.79	23.81	22.73	22.85	21.30	18.31
10	สายตาปกติไม่สวมแว่น	11	10.10	10.70	10.74	9.72	10.60	11.08	12.15	6.32	4.91	19.39	5.91	0.89
11	สายตาปกติไม่สวมแว่น	11	5.57	5.89	5.84	5.28	6.08	6.26	8.33	6.90	6.18	13.00	6.66	4.39
12	สายตาปกติไม่สวมแว่น	11	9.53	9.97	10.00	0.06	2.08	2.32	22.75	22.38	21.82	21.79	10.94	10.38
13	สายตาปกติไม่สวมแว่น	11	10.05	10.57	10.64	10.35	10.99	11.04	21.39	16.57	16.17	15.10	13.96	12.76
14	สายตาปกติไม่สวมแว่น	11	8.93	9.19	9.27	8.87	9.60	9.61	15.95	15.60	14.02	17.18	13.49	12.08
15	สายตาปกติไม่สวมแว่น	11	8.20	8.78	8.68	8.26	9.18	9.20	20.65	13.98	16.27	19.57	9.41	8.88
16	สายตาปกติไม่สวมแว่น	11	6.19	6.53	6.65	6.50	6.92	6.96	21.91	18.26	16.79	15.35	11.86	12.48
17	สายตาปกติไม่สวมแว่น	11	5.11	6.29	6.25	5.62	6.38	6.30	20.51	11.74	12.31	13.97	13.59	14.58
18	สายตาปกติไม่สวมแว่น	11	5.90	6.35	6.38	4.99	6.62	6.63	6.73	3.11	4.36	20.32	1.74	1.74
19	สายตาปกติไม่สวมแว่น	11	7.99	7.95	7.95	7.99	7.89	7.87	8.29	4.55	4.41	3.34	2.47	3.02
20	สายตาปกติไม่สวมแว่น	11	12.00	12.74	12.99	11.33	13.30	13.21	28.97	22.36	16.47	40.43	13.02	20.64

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก จ.

ผลการทดลองโมเมนต์บริเวณคอ (C7) และเอว (l5S1) ของผู้เข้าร่วมการทดลองสายตาสั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Subject	สายตา	มุมการมองเห็น (MOA)	โมเมนต์บริเวณคอ (N.m)						โมเมนต์บริเวณเอว (N.m)					
			Unlimite			Limite			Unlimite			Limite		
			Initail	1	2	Initail	1	2	Initail	1	2	Initail	1	2
1	สายตาสั้นสวมคอนแทค	23	6.62	6.97	7.05	7.59	8.02	8.07	17.93	15.99	17.44	20.54	16.42	16.42
2	สายตาสั้นสวมแว่น	23	8.24	9.52	9.79	8.96	10.36	10.36	22.27	18.38	15.65	20.02	19.50	19.50
3	สายตาสั้นสวมแว่น	23	9.25	10.35	10.48	8.37	9.92	10.12	21.73	21.53	16.91	32.61	28.57	28.57
4	สายตาสั้นสวมคอนแทค	23	8.33	8.99	9.03	7.62	9.02	9.17	17.56	16.20	14.84	31.12	26.82	26.82
5	สายตาสั้นสวมคอนแทค	23	5.17	6.35	6.34	4.23	5.79	5.97	10.68	5.96	7.82	21.93	18.77	18.77
6	สายตาสั้นสวมคอนแทค	23	9.91	10.59	10.72	8.78	10.36	10.29	12.05	7.91	8.47	31.94	29.64	29.64
7	สายตาสั้นสวมคอนแทค	23	6.05	6.67	6.71	6.27	6.94	6.94	9.45	6.83	6.95	9.86	9.41	9.41
8	สายตาสั้นสวมคอนแทค	23	10.56	11.68	11.59	10.84	11.56	11.64	20.18	13.20	11.62	15.12	16.63	16.63
9	สายตาสั้นสวมคอนแทค	23	6.40	6.89	6.95	6.34	6.69	6.61	11.52	6.47	6.73	12.13	12.84	12.84
10	สายตาสั้นสวมคอนแทค	23	6.71	7.03	7.12	6.50	6.62	6.74	13.76	7.75	7.47	10.45	8.53	8.53
11	สายตาสั้นสวมแว่น	23	5.81	6.74	6.83	6.09	7.02	7.03	16.58	8.88	7.84	16.88	13.72	13.72
12	สายตาสั้นสวมคอนแทค	23	8.37	8.67	8.54	7.17	7.79	7.99	15.57	14.22	18.60	21.43	19.93	19.93
13	สายตาสั้นสวมคอนแทค	23	5.92	6.34	6.26	5.53	5.91	6.03	16.47	12.58	12.96	18.42	16.75	16.75
14	สายตาสั้นสวมคอนแทค	23	7.52	8.39	8.15	7.35	7.92	7.53	19.45	11.84	10.01	22.15	20.72	20.72
15	สายตาสั้นสวมแว่น	23	5.54	6.65	6.44	6.15	7.00	6.84	18.61	13.16	16.30	9.81	9.53	9.53
16	สายตาสั้นสวมคอนแทค	23	9.83	10.56	10.51	10.12	10.69	10.55	31.14	27.48	28.09	25.98	27.67	27.67
17	สายตาสั้นสวมแว่น	23	6.09	6.49	6.79	6.75	7.78	7.59	27.61	26.70	26.85	18.32	14.33	14.33
18	สายตาสั้นสวมคอนแทค	23	9.83	10.63	10.56	9.04	10.58	10.49	11.55	11.55	10.07	28.37	27.40	27.40
19	สายตาสั้นสวมคอนแทค	23	5.51	5.82	5.80	5.50	5.82	5.81	6.68	5.09	6.31	6.83	6.01	6.01
20	สายตาสั้นสวมแว่น	23	7.69	8.04	8.01	7.60	8.00	8.03	13.37	12.39	11.83	16.29	14.69	14.69
1	สายตาสั้นสวมคอนแทค	17	7.02	7.36	7.38	7.14	7.54	7.62	11.37	9.62	10.64	9.32	10.93	10.93
2	สายตาสั้นสวมแว่น	17	7.39	8.15	7.94	7.46	8.79	8.93	21.09	16.42	18.36	20.13	14.56	14.56
3	สายตาสั้นสวมแว่น	17	9.67	10.69	10.80	8.60	10.25	10.29	14.42	3.99	7.08	33.19	29.09	29.09
4	สายตาสั้นสวมคอนแทค	17	8.41	9.74	9.73	7.52	8.99	9.15	18.42	13.57	12.60	30.75	29.29	29.29
5	สายตาสั้นสวมคอนแทค	17	5.12	5.73	5.93	4.21	5.24	5.09	10.76	7.33	5.90	21.55	20.47	20.47
6	สายตาสั้นสวมคอนแทค	17	9.86	10.67	10.77	8.91	10.63	10.76	11.64	6.75	5.25	31.47	30.05	30.05
7	สายตาสั้นสวมคอนแทค	17	6.05	6.66	6.68	5.45	6.13	6.49	9.09	7.47	7.34	18.87	18.78	18.78
8	สายตาสั้นสวมคอนแทค	17	10.59	11.73	11.48	10.85	12.18	12.31	19.87	12.21	14.69	15.16	13.11	13.11
9	สายตาสั้นสวมคอนแทค	17	6.38	6.72	6.78	6.20	6.81	6.87	11.57	8.65	7.45	14.73	14.64	14.64
10	สายตาสั้นสวมคอนแทค	17	6.77	7.35	7.29	6.86	7.59	7.54	13.76	7.33	7.33	12.05	8.54	8.54
11	สายตาสั้นสวมแว่น	17	7.06	7.39	7.42	5.70	6.75	6.95	16.13	11.89	10.09	19.09	13.93	13.93
12	สายตาสั้นสวมคอนแทค	17	6.60	7.44	7.20	7.91	9.25	9.23	33.70	31.42	31.58	14.40	10.84	10.84
13	สายตาสั้นสวมคอนแทค	17	6.33	6.85	6.76	6.18	6.89	6.85	11.36	6.69	7.07	14.18	12.39	12.39
14	สายตาสั้นสวมคอนแทค	17	7.53	8.38	8.49	7.29	8.33	8.17	19.29	12.00	8.18	23.12	19.09	19.09
15	สายตาสั้นสวมแว่น	17	5.36	5.92	6.06	6.01	6.64	6.77	18.43	17.07	14.76	9.21	7.00	7.00
16	สายตาสั้นสวมคอนแทค	17	9.92	10.68	10.66	10.02	10.86	10.95	31.05	28.00	27.94	29.31	27.82	27.82
17	สายตาสั้นสวมแว่น	17	6.00	6.91	6.54	6.73	7.63	7.44	26.90	25.39	26.75	16.09	15.87	15.87
18	สายตาสั้นสวมคอนแทค	17	8.43	9.53	9.36	8.20	9.39	9.22	9.76	6.43	6.80	13.07	15.21	15.21
19	สายตาสั้นสวมคอนแทค	17	6.44	6.82	6.85	6.19	6.89	6.86	6.69	4.98	5.10	12.18	10.66	10.66
20	สายตาสั้นสวมแว่น	17	7.67	7.93	7.84	7.62	7.92	7.97	15.30	13.90	15.02	16.73	14.54	14.54
1	สายตาสั้นสวมคอนแทค	11	7.09	7.65	7.71	6.71	7.76	7.84	11.22	9.47	8.74	17.84	13.23	13.23
2	สายตาสั้นสวมแว่น	11	7.37	8.37	8.49	7.45	9.00	9.18	20.60	12.81	13.20	19.50	12.67	12.67
3	สายตาสั้นสวมแว่น	11	9.78	10.70	10.73	8.61	10.15	10.16	14.60	8.03	9.77	33.35	26.33	26.33
4	สายตาสั้นสวมคอนแทค	11	8.35	9.94	9.40	7.47	9.67	9.36	18.67	16.54	15.76	30.83	24.40	24.40

Subject	สายตา	มุมการมองเห็น (MOA)	โมเมนต์บริเวณคอ (N.m)						โมเมนต์บริเวณเอว (N.m)					
			Unlimite			Limite			Unlimite			Limite		
			Initail	1	2	Initail	1	2	Initail	1	2	Initail	1	2
5	สายตาสั้นสวมคอนแทค	11	5.17	6.56	6.56	4.24	5.98	6.02	10.54	6.68	6.54	21.70	16.97	16.97
6	สายตาสั้นสวมคอนแทค	11	9.92	10.70	10.73	8.94	10.71	10.72	11.83	6.38	5.06	31.65	25.43	25.43
7	สายตาสั้นสวมคอนแทค	11	6.39	6.72	6.81	5.90	6.70	6.63	9.28	7.78	7.03	18.57	15.17	15.17
8	สายตาสั้นสวมคอนแทค	11	10.37	12.34	12.35	10.94	12.96	12.96	23.09	14.76	15.66	13.22	7.22	7.22
9	สายตาสั้นสวมคอนแทค	11	6.42	6.71	6.88	6.41	7.22	7.15	11.65	10.86	10.72	11.83	7.87	7.87
10	สายตาสั้นสวมคอนแทค	11	6.78	7.13	7.12	6.85	7.66	7.60	13.63	11.72	11.31	12.24	9.74	9.74
11	สายตาสั้นสวมแว่น	11	6.29	6.63	6.73	6.15	6.99	6.93	15.36	15.10	14.72	17.76	13.21	13.21
12	สายตาสั้นสวมคอนแทค	11	7.81	9.00	9.17	7.81	9.44	9.51	17.33	13.29	12.95	17.39	13.48	13.48
13	สายตาสั้นสวมคอนแทค	11	6.33	6.52	6.65	6.35	6.88	7.00	11.36	11.11	9.98	10.87	8.03	8.03
14	สายตาสั้นสวมคอนแทค	11	8.18	8.79	8.79	8.11	8.89	8.92	19.93	13.64	15.80	21.11	18.87	18.87
15	สายตาสั้นสวมแว่น	11	5.23	6.25	6.46	6.37	7.18	7.14	22.67	18.62	16.99	6.15	2.81	2.81
16	สายตาสั้นสวมคอนแทค	11	9.64	11.03	10.99	9.62	10.99	10.96	31.90	19.22	20.04	32.22	24.58	24.58
17	สายตาสั้นสวมแว่น	11	6.25	7.36	7.09	6.78	8.18	8.12	25.21	22.33	22.18	17.66	11.87	11.87
18	สายตาสั้นสวมคอนแทค	11	8.45	9.50	9.22	7.14	8.71	8.80	9.68	4.32	6.17	28.72	23.13	23.13
19	สายตาสั้นสวมคอนแทค	11	6.43	6.71	6.78	5.97	6.64	6.80	6.69	2.16	3.26	16.12	14.48	14.48
20	สายตาสั้นสวมแว่น	11	7.64	8.09	8.09	7.60	8.09	8.09	17.32	13.55	10.19	18.53	16.22	16.22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว ปรารถนา นิรมล เกิดเมื่อวันที่ 13 ตุลาคม พุทธศักราช 2530 ภูมิลำเนาจังหวัดนนทบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเบญจมราชานุสรณ์ จังหวัดนนทบุรี และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมบัณฑิต (วศ.บ.) ภาควิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2553 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2558 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง วิศวกรโลจิสติกส์ ประจำบริษัทผลิตยานยนต์แห่งหนึ่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University