

ผลกระทบของปริมาณแสงสว่างในห้อง ความสว่างและมุมเอียงของจอภาพ แอล.อี.ดี.ที่มีต่อสมรรถนะ  
การพิมพ์งาน



นายกษิตเดช เศรษฐาภรณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Effect of ambient illumination, LED display brightness and tilt angle on Typing  
performance

Mr. Kasidech Srestthaporn



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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลกระทบของปริมาณแสงสว่างในห้อง ความสว่างและมุม  
เอียงของจอภาพ แอล.อี.ดีที่มีต่อสมรรถนะการพิมพ์งาน  
โดย นายกษิติเดช เศรษฐาภรณ์  
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก อาจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ไชย)  
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(อาจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล)  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสวงศ์ โรจนโรวรรณ)  
.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สสิธร เทพตระการพร)



# # 5570901821 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: AMBIENT ILLUMINATION, BRIGHTNESS, TILT ANGLE, TYPING PERFORMANCE, VISUAL DISPLAY TERMINAL, 148 SETTING

KASIDECH SRESTTHAPORN: Effect of ambient illumination, LED display brightness and tilt angle on Typing performance. ADVISOR: DR.PHAIROAT LADAVICHITKUL, pp.

Nowadays, we use computers for a variety of purposes and under a wide range of ambient illumination. High illumination level usually results in glare issues. Adjusting screen brightness and tilting screen to some angles are normal quick solutions against problems with visibility due to glare. This present research aims to investigate effect of the three factors simultaneously and quantitatively on visual-related task performance. The task used in this study is simple typing task and speed of typing each character is defined as the task performance. Testing conditions were set within ranges that simulate actual working conditions for computer or any visual display terminals. Ambient illuminations were tested in range of 200 to 1600 lx. Screen brightness levels were varied to cover all range of adjustability allowed by characteristics of the display used at 0-100% ; approximately from 67 to 200  $\text{cd/m}^2$ . Tilting angle was tested from vertical position until backward tilting at 70 degree (measured from the vertical line). The subject is tested by using 4 level of ID, so this research will test 4 factors. After the ANOVA test at 0.05 significant level, the result of this study when using the average typing time per one character found the interaction between tilt angle and the three factors. In case of using the index of performance, the result of this study found the interaction between tilt angle and brightness. The result also support the standard of using ambient illumination level at 600 lx in computer using area and tilt angle between 0 - 20 degree or up to 30 degree. In case of brightness, brightness level should use more than 50% or 145  $\text{cd/m}^2$ .

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

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

Academic Year: 2014

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณอาจารย์ ดร. ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หฤทัย โลหะศิริวัฒน์ ผู้ซึ่งได้ให้ความช่วยเหลือแก่ข้าพเจ้าจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ รวมถึงคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์อันประกอบไปด้วยผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฒิไชย, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ และรองศาสตราจารย์ ดร.สสิธร เทพตระการพรที่กรุณาสละเวลาตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ และได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์สำหรับการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทั้งนี้ข้าพเจ้าขอถือโอกาสขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่านเป็นอย่างสูงที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้อันเป็นประโยชน์ต่อการทำงานในภายภาคหน้าของข้าพเจ้า เจ้าหน้าที่ของภาควิชาทุกท่านที่ได้ช่วยตอบข้อซักถามเกี่ยวกับระเบียบการของคณะ และอำนวยความสะดวกด้านสถานที่แก่ข้าพเจ้า รวมถึงอาสาสมัครที่เข้าร่วมทำวิจัยกับข้าพเจ้าทุกท่าน

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่ได้สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยจนกระทั่งงานวิจัยชิ้นนี้ประสบความสำเร็จ

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	12
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	12
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	12
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	13
1.6 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย .....	13
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย.....	14
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	15
2.1 การมองเห็นของมนุษย์.....	15
2.2 แสงสว่าง.....	19
2.3 หลอดไฟ .....	24
2.4 จอคอมพิวเตอร์.....	27
2.5 อุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ในงานวิจัย .....	35
2.6 การจัดสภาพห้องทำงานตามหลักการยศาสตร์ .....	37
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย .....	45

3.1 ผู้เข้าร่วมการทดสอบ.....	45
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ .....	45
3.3 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง.....	48
3.4 วิธีการทดลอง.....	60
3.5 เวลาที่ผู้ทดสอบอยู่ในกระบวนการเก็บข้อมูล.....	63
3.6 การวัดผลการทดสอบ.....	63
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง .....	64
4.1 ผลการทดลอง.....	65
4.2 การตรวจสอบการแจกแจงปกติของชุดข้อมูล .....	65
4.3 การทดสอบระดับความผิดพลาดจากการทดลอง.....	70
4.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติกรณีใช้เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวเป็นตัวชี้วัด .....	72
4.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติกรณีใช้ค่าสมรรถนะบุคคลเป็นตัวชี้วัด .....	88
4.6 การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน.....	93
4.7 สมการพยากรณ์สำหรับการใช้งานจริง .....	97
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	101
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	101
5.2 แนวทางการประยุกต์ใช้ผลการวิจัย .....	102
5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป .....	102
รายการอ้างอิง .....	104
ดัชนี .....	144
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	148



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 ผลการสอบถามการเกิดความล้าทางสายตาของงานแต่ละประเภท (Grandjean, 1982).....	5
ตารางที่ 2.1มาตรฐานเทียบเคียงสำหรับบริเวณที่ลูกจ้างต้องทำงานโดยใช้สายตามองเฉพาะจุดหรือต้องใช้สายตาอยู่กับที่ในการทำงาน (กระทรวงแรงงาน, 2549).....	21
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างสีที่อุณหภูมิสีต่างๆ (ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2550).....	26
ตารางที่ 3.1แสดงคุณสมบัติของหลอดไฟที่ติดตั้งเพิ่มสำหรับการทดลอง .....	47
ตารางที่ 3.2 ค่าเฉลี่ยความสว่างที่วัดได้ .....	48
ตารางที่ 3.3 การจัดแบ่งกลุ่มระดับความยากตามเวลาเฉลี่ยของรูปแบบนิ้วและแถว.....	50
ตารางที่ 3.4 การจัดแบ่งกลุ่มชุดอักษรสำหรับการทดสอบ .....	53
ตารางที่ 3.5 ค่าเฉลี่ยของการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวในแต่ละ ID ของการสุ่มแบบทดสอบ 3 ชุด .....	56
ตารางที่ 3.6 ผล Pilot study ของระดับมมเอียง 40 – 60 องศา.....	58
ตารางที่ 3.7 กลุ่มตัวแปรต้นที่ต้องการศึกษาความสัมพันธ์.....	59
ตารางที่ 3.8 การจัดการวันและเวลาสำหรับผู้ร่วมการทดลอง .....	63
ตารางที่ 4.1 ปัจจัยร่วมด้านปริมาณแสงสว่างในห้อง ความสว่างและมุมเอียงจอภาพที่จะทำการวิเคราะห์แยกในแต่ละ ID.....	78
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลของผู้ร่วมทดลองคนที่ 1 ที่ใช้เป็นตัวอย่างการคำนวณ .....	88
ตารางที่ 4.3 ตัวแปรหุ่นของค่า ID .....	94

## สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่ 1.1	ขั้นตอนการทำงานของคอมพิวเตอรื .....	1
รูปที่ 1.2	ปริมาณผู้ใ้คอมพิวเตอรืตั้งแตปี พ.ศ. 2548 – 2556 .....	2
รูปที่ 1.3	การใช้งานสำหรับการบันทึกข้อมูลในโรงงานอุตสาหกรรม .....	3
รูปที่ 1.4	ร้อยละของผู้ที่มีปัญหาด้านความไม่สบายตาที่ปริมาณแสงสว่างในห้องที่ระดับต่างๆ .....	4
รูปที่ 1.5	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างหลอด LED และ CCFL .....	7
รูปที่ 1.6	หน้าจอรระบบสัมผัสของยี่ห้อ Dell .....	8
รูปที่ 1.7	การใช้งานจอภาพสำหรับสถานบันเทิง .....	8
รูปที่ 1.8	การใช้งานจอภาพในห้องควบคุมของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ .....	9
รูปที่ 1.9	การใช้งานจอภาพแบบสัมผัสในห้องส่งข่าว .....	9
รูปที่ 1.10	การพยากรณ์ปริมาณการขนส่งคอมพิวเตอรืทั้งแบบแท็บเล็ต พกพา หรือ ตั้งโต๊ะ ที่เพิ่มมากขึ้นตั้งแตปี ค.ศ. 2010 – 2017 (หน่วย : ล้านเครื่อง) .....	10
รูปที่ 1.11	ความสว่างหน้าจอ ณ มุมเอียงที่ต่างกัน (Jonai et al.,2002).....	11
รูปที่ 2.1	ส่วนประกอบของดวงตา .....	16
รูปที่ 2.2	อัตราส่วนความสว่างสูงสุดกับวัตถุใกล้เคียง (สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, 2543).....	18
รูปที่ 2.3	ความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่างๆของดวงอาทิตย์ .....	19
รูปที่ 2.4	แสดงถึงแสง 1 ลูเมนที่ตกกระทบพื้นที่ 1 ตารางเมตร.....	20
รูปที่ 2.5	การใช้แสงสว่างจากแหล่งกำเนิดเฉพาะจุดเข้าช่วยในการประกอบนาฬิกา .....	23
รูปที่ 2.6	ความแตกต่างระหว่างความสว่างที่แตกต่างกัน .....	24
รูปที่ 2.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างและอุณหภูมิสี.....	26
รูปที่ 2.8	การบิดตัวของผลึกเหลวอย่างต้งฉากกัน (Bangor, 2000).....	28

รูปที่ 2.9 แสดงองค์ประกอบของจอภาพ LCD (Bangor, 2000).....	29
รูปที่ 2.10 แสดงระดับลูมิแนนซ์คอนทราสต์ที่แตกต่างกัน .....	31
รูปที่ 2.11 เปรียบเทียบการแสดงผลภาพของจอทั้ง 3 รุ่น .....	33
รูปที่ 2.12 ไดอะแกรมสีของ CIE (Chromaticity Diagram) .....	34
รูปที่ 2.13 ลักซ์มิเตอร์ชนิดแสดงผลด้วยตัวเลข.....	35
รูปที่ 2.14 Spyder 4Elite.....	36
รูปที่ 2.15 แผ่นพิมพ์มาตรฐาน .....	37
รูปที่ 2.16 ทำอ้างอิงสำหรับออกแบบทำนั้ง (ISO, 1998).....	38
รูปที่ 2.17 มุมต่างๆที่ใช้ในการมองจอคอมพิวเตอร์ (ISO, 1998) .....	39
รูปที่ 2.18 จอภาพยี่ห้อ viewsonic ที่ออกแบบให้รองรับการเอียงได้ถึง 70 องศา .....	39
รูปที่ 2.19 การใช้งานคอมพิวเตอร์ในรูปแบบที่มุมของการใช้งานเอียงในระดับ 70 องศา .....	40
รูปที่ 2.20 การคำนวณหามุมของแนวสายตาสำหรับการทดลอง .....	41
รูปที่ 2.21 ระยะที่เหมาะสมสำหรับการมองจอคอมพิวเตอร์ .....	41
รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของวัตถุกับระยะในการมอง .....	42
รูปที่ 3.1 สถานที่ใช้ในการทดสอบ.....	45
รูปที่ 3.2 จอภาพแอล.อี.ดี.ที่ใช้สำหรับงานวิจัย .....	46
รูปที่ 3.3 แผ่นพิมพ์มาตรฐาน .....	46
รูปที่ 3.4 Spyder 4Elite.....	46
รูปที่ 3.5 ชุดแผงไฟสำหรับปรับแสงสว่างภายในห้อง .....	47
รูปที่ 3.6 โปรแกรมที่ใช้สำหรับการทดสอบงานพิมพ์.....	48
รูปที่ 3.7 การเปรียบเทียบค่า $R^2$ ของการแบ่งกลุ่ม ID.....	51
รูปที่ 3.8 การบ่งชี้ดัชนีความยากของตัวอักษรบนแผ่นพิมพ์ .....	51

รูปที่ 3.9 แสดงฟังก์ชัน Kutools ใน MS-Excel ที่ใช้สำหรับการซูมตัวอักษร.....	52
รูปที่ 3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ถดถอยเชิงเส้นระหว่างเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวกับID ทั้ง 4 ระดับ.....	57
รูปที่ 3.11 การเปลี่ยนแปลงความชันที่ระดับมูเมอียง 30 – 70 องศา.....	58
รูปที่ 3.12 แสดงระยะห่างระหว่างดวงตาถึงจอภาพ.....	60
รูปที่ 3.13 หน้าจอการปรับค่าของโปรแกรม Spyder 4Elite.....	61
รูปที่ 3.14 หน้าจอการสำหรับวางตำแหน่งอุปกรณ์ Spyder 4Elite.....	62
รูปที่ 4.1 Residual Plot ของชุดข้อมูลเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวจากผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน.....	66
รูปที่ 4.2 Boxplot ของเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ในแต่ละระดับของปัจจัยด้านปริมาณแสงสว่างในห้อง.....	66
รูปที่ 4.3 Boxplot ของเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ในแต่ละระดับของปัจจัยด้านความสว่าง.....	67
รูปที่ 4.4 Boxplot ของเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ในแต่ละระดับของปัจจัยด้านมูเมอียงจอภาพ.....	67
รูปที่ 4.5 Boxplot ของเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ในแต่ละระดับของปัจจัยด้านมูเมอียงจอภาพ.....	68
รูปที่ 4.6 ค่า $\lambda$ ที่ได้จากการแปลงเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัว.....	69
รูปที่ 4.7 Residual Plot ของชุดข้อมูลใหม่จากผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน.....	70
รูปที่ 4.8 ความผิดพลาดที่เกิดจากการทดสอบสมมติฐาน.....	71
รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ค่า power ที่คำนวณได้จากโปรแกรม MINITAB.....	72
รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัว.....	73
รูปที่ 4.11 อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างปริมาณแสงสว่างในห้องกับมูเมอียงจอภาพ.....	73
รูปที่ 4.12 อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างค่า ID กับมูเมอียงจอภาพ.....	75
รูปที่ 4.13 อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างความสว่างและมูเมอียงจอภาพ.....	76

รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบปัจจัยด้านปริมาณแสงสว่างในห้อง 200 – 1600 ลักซ์ร่วมกับความสว่างจอภาพที่ 50 กับ 100% และมุมเอียงจอภาพที่ 0 – 30 องศาภายใต้การใช้แบบทดสอบการพิมพ์ที่ ID1 .....	79
รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบปัจจัยด้านปริมาณแสงสว่างในห้อง 200 – 1600 ลักซ์ร่วมกับความสว่างจอภาพที่ 50 กับ 100% และมุมเอียงจอภาพที่ 0 – 30 องศาภายใต้การใช้แบบทดสอบการพิมพ์ที่ ID2 .....	80
รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบปัจจัยด้านปริมาณแสงสว่างในห้อง 200 – 1600 ลักซ์ร่วมกับความสว่างจอภาพที่ 50 กับ 100% และมุมเอียงจอภาพที่ 0 – 30 องศาภายใต้การใช้แบบทดสอบการพิมพ์ที่ ID3 .....	81
รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบปัจจัยด้านปริมาณแสงสว่างในห้อง 200 – 1600 ลักซ์ร่วมกับความสว่างจอภาพที่ 50 กับ 100% และมุมเอียงจอภาพที่ 0 – 30 องศาภายใต้การใช้แบบทดสอบการพิมพ์ที่ ID4 .....	82
รูปที่ 4.18 Bonferroni Test ของปริมาณแสงสว่างในห้องทั้ง 5 ระดับ .....	83
รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ Pairwise Comparisons ของปัจจัยด้านปริมาณแสงสว่างในห้อง .....	83
รูปที่ 4.20 Bonferroni Test ของความสว่างจอภาพทั้ง 3 ระดับ .....	84
รูปที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ Pairwise Comparisons ของปัจจัยด้านความสว่างจอภาพ .....	84
รูปที่ 4.22 Bonferromi Test ของมุมเอียงทั้ง 6 ระดับ .....	85
รูปที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ Pairwise Comparisons ของปัจจัยด้านมุมเอียงจอภาพ .....	85
รูปที่ 4.24 Bonferroni Test ของ ID ทั้ง 4 ระดับ .....	86
รูปที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ Pairwise Comparisons ของปัจจัยด้านค่า ID .....	86
รูปที่ 4.26 กราฟ Multi-Vari Chart ของปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย .....	87
รูปที่ 4.27 Residual Plot ของชุดข้อมูลค่าสมรรถนะบุคคลจากผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน .....	89
รูปที่ 4.28 ค่า $\lambda$ ที่ได้จากการคำนวณ .....	89

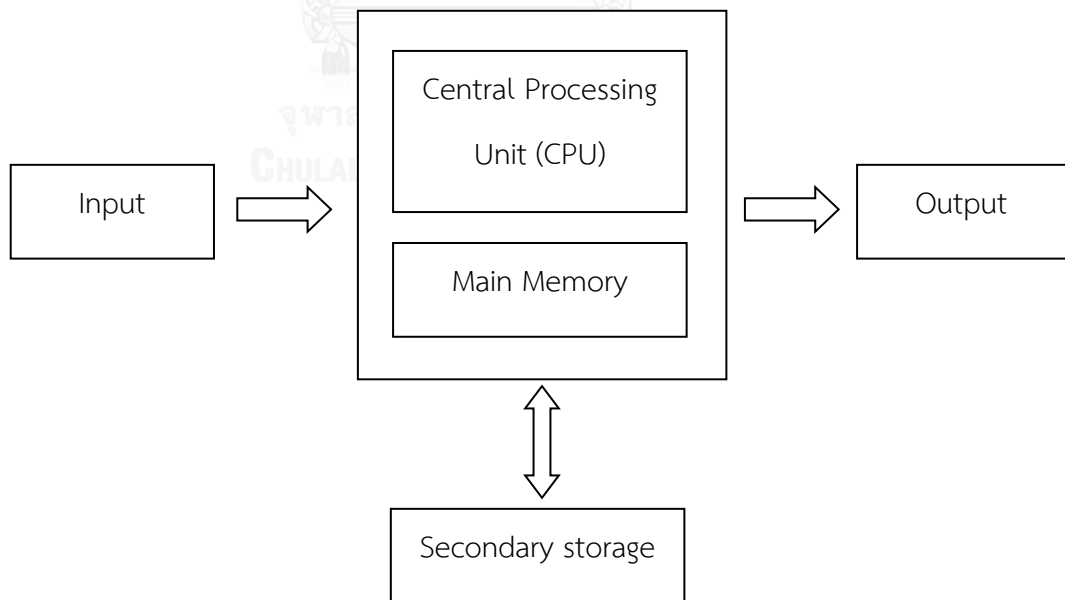
รูปที่ 4.29 Residual Plot ของชุดข้อมูลค่าสมรรถนะบุคคลใหม่จากผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน.....	90
รูปที่ 4.30 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสมรรถนะบุคคล .....	91
รูปที่ 4.31 อันตรกิริยาระหว่างความสว่างและมุมเอียงจอภาพเมื่อใช้ค่าสมรรถนะเป็นตัวชี้วัด.....	92
รูปที่ 4.32 การสร้างสมการพยากรณ์จากโปรแกรม MINITAB .....	94
รูปที่ 4.33 การสร้างสมการพยากรณ์ค่าเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวจากโปรแกรม MINITAB.....	95
รูปที่ 4.34 Residual Plot ของชุดข้อมูลค่า ln(Average typing time) จากผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน.....	96
รูปที่ 4.35 การสร้างสมการพยากรณ์ค่าสมรรถนะบุคคลจากโปรแกรม MINITAB.....	97
รูปที่ 4.36 Residual Plot ของชุดข้อมูลค่าเฉลี่ยเวลาที่ทั้ง 4 ID จากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนจากผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน .....	98
รูปที่ 4.37 การสร้างสมการพยากรณ์ค่าเฉลี่ยเวลาของผู้เข้าร่วมทดลองทั้ง 10 คน.....	98
รูปที่ 4.38 ผลการสร้างสมการใหม่จากโปรแกรม MINITAB.....	99
รูปที่ 4.39 Residual Plot ของชุดข้อมูลค่า Average time จากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน.....	99

# บทที่ 1

## บทนำ

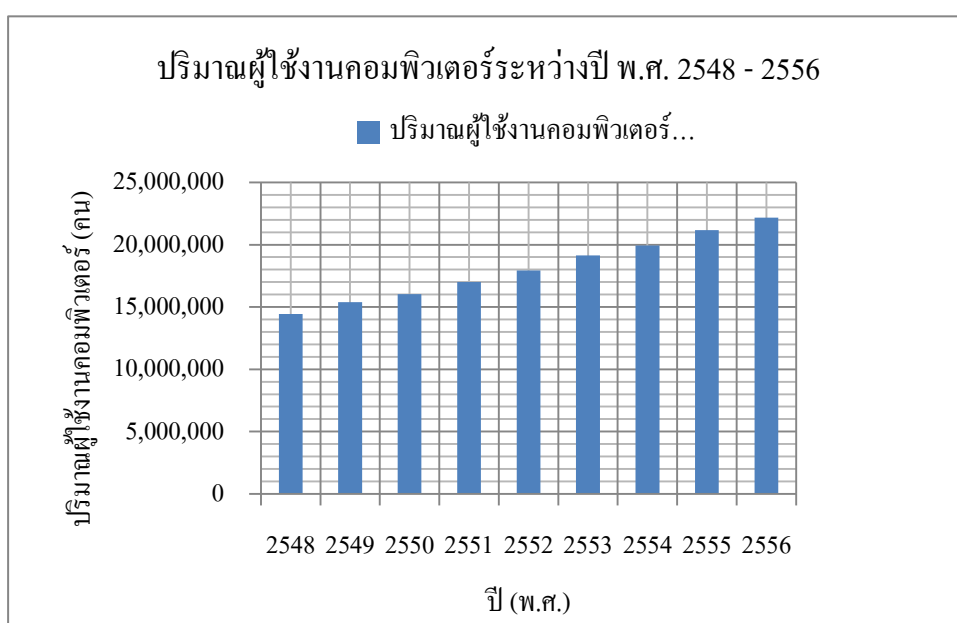
### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องคอมพิวเตอร์นั้นเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่สำหรับอำนวยความสะดวกให้กับมนุษย์ในการทำงาน เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการคำนวณและประมวลผลข้อมูล หลักการทำงานเบื้องต้นของคอมพิวเตอร์นั้นมียุคประกอบพื้นฐานหลัก คือ 1. การรับข้อมูลเข้า (Input) คือการป้อนข้อมูลต่างๆ เข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยอุปกรณ์ เช่น เมาส์ (Mouse) แป้นพิมพ์ (Keyboard) เป็นต้น 2. การประมวลผล (Process) คือการดำเนินการกับข้อมูลที่ได้รับเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ จากอุปกรณ์ประมวลผล ได้แก่ หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU) , หน่วยความจำหลัก (Main Memory) เช่น หน่วยความจำอ่านอย่างเดียว (Read-only Memory : ROM) และหน่วยความจำเข้าถึงโดยสุ่ม (Random Access Memory : RAM) , หน่วยเก็บข้อมูลสำรอง (Secondary Storage Device) 3.การแสดงผล (Output) คือ การนำผลลัพธ์มาแสดงผ่านอุปกรณ์ เช่น จอภาพ หรือ เครื่องพิมพ์ ตามรูปที่ 1.1 ซึ่งแสดงขั้นตอนการทำงานของคอมพิวเตอร์ (พรรณนา พูนพิน, 2557 : ออนไลน์ )



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการทำงานของคอมพิวเตอร์

หากนับตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน เครื่องคอมพิวเตอร์นั้นได้เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันของมนุษย์ไปแล้ว สามารถวัดได้จากจำนวนผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีการสำรวจการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารในครัวเรือน พ.ศ. 2548-2556 ของสำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารดังรูปที่ 1.2 ที่แสดงถึงปริมาณผู้ใช้คอมพิวเตอร์ พบว่าปริมาณผู้ใช้งานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 - 2556 มีแนวโน้มของผู้ใช้งานที่สูงมากขึ้นเรื่อยๆ จาก 14,450,070 คนในปี พ.ศ. 2548 เป็น 22,166,875 คนในปี พ.ศ. 2556 (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2556)



**รูปที่ 1.2** ปริมาณผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 - 2556

จากข้อมูลปริมาณผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ที่ได้ทำการสำรวจมานั้นสามารถตีความได้ว่าเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความนิยมอย่างแพร่หลายทั้งในครัวเรือนหรือในอาคารสำนักงานทั่วไป โดยมีการนำคอมพิวเตอร์ไปใช้ในด้านต่างๆ มากมาย ดังตัวอย่างเช่น

1. งานธุรกิจ : ซึ่งส่วนมากจะเป็นงานด้านบัญชี งบประมาณ สำหรับงานที่ปฏิบัติในอาคารสำนักงานทั่วไป ส่วนในโรงงานนั้นจะเป็นการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการผลิต
2. งานวิทยาศาสตร์ : โดยจะนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการวิจัย หรือเก็บข้อมูลในการทดลอง แล้วอาจจะต้องมีการคำนวณหรือประมวลผลที่ซับซ้อน



3. งานคมนาคมและสื่อสาร : จะเป็นการใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมเส้นทางการคมนาคม เช่น รถไฟฟ้า หรือ การจองบัตรโดยสารเครื่องบินผ่านทางอินเทอร์เน็ต

4. งานวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม : จะใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบโครงสร้างหรือสถาปัตยกรรมต่างๆ หรือ การคำนวณทางวิศวกรรมต่างๆ เช่น การวางระบบท่อ การออกแบบระบบไฟฟ้า เป็นต้น (วิกิพีเดีย, 2014 : ออนไลน์)

สำหรับการใช้งานคอมพิวเตอร์นั้นนอกจากจะใช้ในอาคารสำนักงานทั่วไปแล้ว ปัจจุบันได้มีการนำคอมพิวเตอร์มาใช้กันอย่างแพร่หลายในหลากหลายสภาวะงานที่มีการใช้ปริมาณแสงสว่างในห้องหรือสถานที่ทำงาน (Ambient Illumination) ที่แตกต่างกัน เช่น การใช้งานสำหรับการบันทึกข้อมูลในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ดังรูปที่ 1.3

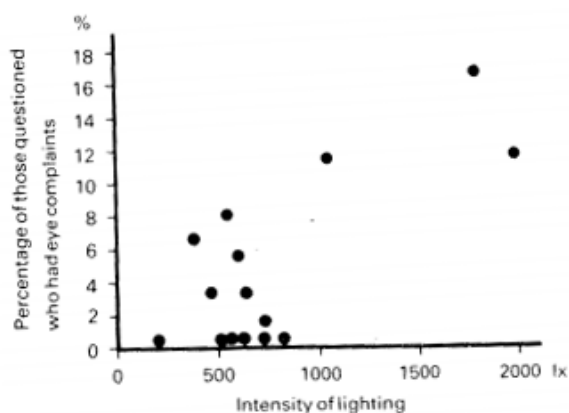


รูปที่ 1.3 การใช้งานสำหรับการบันทึกข้อมูลในโรงงานอุตสาหกรรม

ที่มา : [http://www.bls.gov/green/wind\\_energy/picture\\_2.png](http://www.bls.gov/green/wind_energy/picture_2.png)

ปริมาณแสงสว่างที่ต่างกันนั้นแน่นอนว่าย่อมส่งผลต่อการมองเห็นของมนุษย์โดยปริมาณแสงสว่างและสีของหลอดไฟที่ใช้ในสำนักงานส่งผลกระทบต่อความสามารถในการระบุตัวอักษรและกลุ่มคำที่ปรากฏขึ้น ณ ปริมาณแสงสว่างที่ใช้ในการทดลองแต่ละลักษณะงานแต่ละประเภทที่ต้องใช้ความละเอียดแตกต่างกันซึ่งมีค่า 250 , 500, 1000 และ 2000 ลักซ์ตามลำดับ (Lin และ Huang, 2013)

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Grandjean (1982) ที่ได้กล่าวถึงผลการสำรวจความเห็นเกี่ยวกับการใช้ปริมาณแสงสว่างในห้องของผู้ที่ทำงานในอาคารสำนักงานดังรูปที่ 1.4 เมื่อมีการใช้ปริมาณแสงสว่างในห้องที่มากกว่า 1000 ลักซ์จากผลสำรวจจะพบว่าร้อยละของผู้ที่มีปัญหาด้านความไม่สบายตานั้นจะมากกว่าผู้ที่มีปัญหาด้านความไม่สบายตาในช่วง 200 – 800 ลักซ์อย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 1.4 ร้อยละของผู้ที่มีปัญหาด้านความไม่สบายตาที่ปริมาณแสงสว่างในห้องที่ระดับต่างๆ

ถึงแม้ว่าในห้องทำงานของสำนักงานทั่วไปที่ต้องใช้คอมพิวเตอร์นั้นจะมีข้อกำหนดจากทางหน่วยงานที่กำหนดมาตรฐานด้านการส่องสว่างเป็นมาตรฐานสากลอย่าง International Commission on Illumination (CIE) ว่าควรจะใช้ปริมาณแสงสว่างภายในอยู่ในช่วง 300 – 750 ลักซ์ แต่การนำคอมพิวเตอร์ไปใช้งานในพื้นที่ที่นอกเหนือจากพื้นที่สำนักงานทั่วไปนั้นก็มีความเป็นไปได้ซึ่งในปัจจุบันนั้นมาตรฐานปริมาณแสงสว่างที่ใช้นั้นมีที่มาจากการวัดระดับความพึงพอใจของการใช้งานที่ระดับความเข้มแสงต่างๆ ไม่ได้วัดจากสมรรถนะการทำงานที่ทำได้ในแต่ละลักษณะงานแต่ละประเภท ทำให้การนำคอมพิวเตอร์ไปใช้ในลักษณะงานอื่นนอกเหนือจากการใช้ในสำนักงานยังคงเป็นคำถามว่าปัจจัยด้านปริมาณแสงสว่างจะมีผลต่อสมรรถนะการทำงานอย่างไรบ้าง จากตัวอย่างของการนำคอมพิวเตอร์ไปใช้งานนั้นจะเห็นได้ว่าประโยชน์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่พบเห็นได้บ่อยและชัดเจนที่สุดก็คือ การใช้ในการพิมพ์เอกสารต่างๆ เช่น พิมพ์จดหมาย รายงาน เอกสารต่างๆ ซึ่งเรียกว่างานประมวลผล (Word processing) ซึ่งต้องตระหนักถึงความรวดเร็วในการป้อนข้อมูล (Data entry) (Eklundh, Marmolin & Hedin, 1985 : 651) แต่สำหรับการนั่งทำงานที่ต้องจ้องมองจอคอมพิวเตอร์จะก่อให้เกิดปัญหาทางสายตาซึ่งคือความล้า โดยจะเกิดมากกว่างานที่ไม่ต้องจ้องมองคอมพิวเตอร์โดยได้ทำแบบสอบถามผู้ที่ทำงานในสำนักงานโดยงานที่ทำในสำนักงานจะแบ่งเป็น 6 ประเภทงานดังตารางที่ 1.1 (Grandjean, 1982)

ตารางที่ 1.1 ผลการสอบถามการเกิดความล้าทางสายตาของงานแต่ละประเภท (Grandjean, 1982)

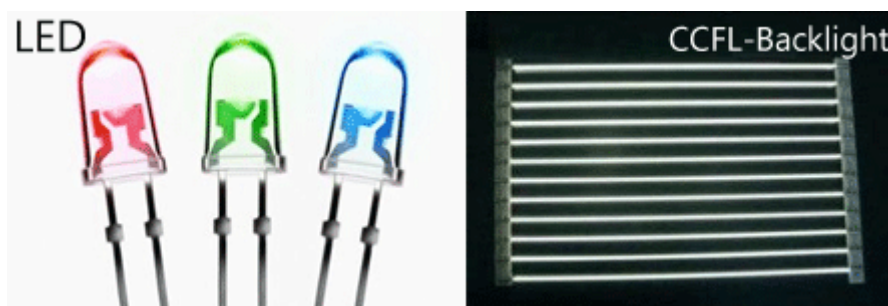
ประเภทงาน	จำนวนกลุ่ม ตัวอย่าง	การทำงานหน้าจอ คอมพิวเตอร์	ร้อยละของผู้ที่เกิด ความล้าทางสายตา
งานป้อนข้อมูล	53	ใช่	19
งานทำธุรกรรม ทางการเงินแบบใช้ คอมพิวเตอร์	109	ใช่	27
งานทำธุรกรรม ทางการเงินแบบไม่ ใช้คอมพิวเตอร์	55	ไม่ใช่	6
งานออกแบบ เชิงกล-ไฟฟ้า	69	ใช่	15
งานวาดแบบ	52	ไม่ใช่	4
งานพิมพ์แบบเต็ม เวลา	78	ใช่	18

ปัญหาด้านความล้าจากนั่งทำงานหน้าจอคอมพิวเตอร์นั้นได้กลายเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญด้านการมองเห็นซึ่งมีงานวิจัยหลากหลายฉบับที่ได้รายงานว่าปัญหาด้านการมองเห็นเป็นปัญหาหลักที่เกิดขึ้นกับผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ถึง 75 – 90 % ซึ่งสวนทางกับปัญหาความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกซึ่งเกิดขึ้นเพียงแค่ 22% ของผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์เท่านั้น โดยการนั่งทำงานผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ของมนุษย์จะมีคำศัพท์ที่เรียกว่า Visual Display Terminal (VDT) ซึ่งกิจกรรมนี้หากกระทำเป็นระยะเวลานานนั้นมีโอกาสทำให้เกิดความเมื่อยล้าทางสายตาหรืออีกนัยหนึ่งจะเรียกว่า อาการที่เกิดขึ้นจากการมองจอภาพเป็นเวลานานๆ (Computer Vision Syndrome - CVS) โดยจะมีอาการที่เกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ตัวอย่างเช่น การนั่งทำงานในที่ที่สภาพห้องมีปริมาณแสงสว่างไม่เพียงพอ จะทำให้ต้องเพ่งสายตาไปสู่สิ่งที่เราสนใจ ทำให้ม่านตาของเราเกิดการขยายตัวเพื่อรับแสงส่งผลต่อกล้ามเนื้อตาโดยรอบที่ต้องทำงานหนักมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีอาการแทรกซ้อนอื่นๆเกิด

ขึ้นมาได้อีกในกรณีที่ปริมาณแสงไฟที่ใช้ในห้องมีมากเกินไป เช่น อาการปวดตา ปวดศีรษะ การเกิดภาพเบลอ เป็นต้น (Anshel, 2005)

จากตารางที่ 1.1 จะสังเกตเห็นได้ว่าปัญหาด้านความล้าที่เกิดจากการใช้งานคอมพิวเตอร์สำหรับงานด้านต่างๆนั้นล้วนแล้วแต่จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันอย่างหนึ่ง คือ การส่งข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์นั้นจะอาศัยอุปกรณ์ส่งข้อมูลอย่างเช่น เมาส์ และแป้นพิมพ์ ส่วนการแสดงผลของข้อมูลนั้นจะแสดงให้เห็นทางหน้าจอคอมพิวเตอร์นั่นเองซึ่งหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานกันตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันนั้นจะประกอบไปด้วย จอภาพ CRT (Cathode Ray Tube) ซึ่งเป็นจอภาพที่เริ่มใช้ในยุคแรกสุดของคอมพิวเตอร์เป็นเทคโนโลยีเก่าแก่กว่า 100 ปี การเกิดภาพบนหน้าจอมีกลไกมาจากการยิงลำแสงอิเล็กตรอนผ่านหลอดสุญญากาศด้านกลไกการเกิดสีเมื่อลำแสงอิเล็กตรอนเกิดการตกกระทบยังพื้นผิวจอภาพที่ถูกเคลือบด้วยฟอสฟอรัสที่เป็นแม่สีเอาแล้วจะเกิดสีต่างๆบนจอภาพเนื่องจากความยาวคลื่นแสงที่ต่างกัน ต่อมาเมื่อการใช้คอมพิวเตอร์เริ่มมีความแพร่หลายเพิ่มมากยิ่งขึ้นจึงได้มีการนำจอภาพ LCD (Liquid Crystal Display) เข้ามาใช้แทนโดยจอภาพชนิดนี้มีลักษณะแบน ตัวจอจะประกอบด้วยผลึกเหลวซึ่งทำหน้าที่ปิดตัวเพื่อให้แสงสีขาว (Backlight) ส่องเข้ามากระทบแต่ละพิกเซลเพื่อสร้างสี แต่ละพิกเซลของภาพจะประกอบไปด้วยพิกเซลย่อย 3 สี คือ สีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน แต่ความเข้มที่แตกต่างกันของแต่ละสีนั้นจะถูกสร้างขึ้นโดยการใช้แรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกันกับผลึกของเหลว ข้อดีของจอภาพ LCD ที่ถือว่าเป็นข้อได้เปรียบจอภาพ CRT คือ ขนาดจอที่บางกว่าทำให้ประหยัดเนื้อที่ในการจัดวางบนโต๊ะ การประหยัดพลังงานก็ถือว่าเป็นจุดที่ทำให้ดีกว่าจอภาพ CRT ซึ่งจะส่งผลให้เสียค่าไฟฟ้าน้อยลงเป็นผลตามมา และอีกหนึ่งจุดเด่นที่ถือว่าหน้าจอภาพ LCD ดีกว่าจอภาพ CRT คือ เป็นจอที่เมื่อใช้งานเป็นระยะเวลาเวลานานจะช่วยถนอมสายตา เนื่องจากการที่จอภาพ CRT ใช้วิธีการยิงลำแสงอิเล็กตรอนเข้าสู่หน้าจอหลายๆจุดรวมกันทำให้เกิดการกระพริบของภาพสามารถวัดได้จากอัตรา Refresh rate ซึ่งเป็นอัตราการกระพริบหน้าจอใน 1 วินาที ยังมีค่าสูงทำให้จอภาพมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น ส่วนจอภาพ LCD นั้นการเกิดภาพจะเกิดจากหลายๆจุดรวมกันแต่ทุกจุดจะแสดงออกมาพร้อมกันไม่มีการ Refresh ทำให้การแสดงผลภาพมีความเสถียรมากกว่าจอภาพ CRT นั่นเอง สำหรับในปัจจุบันนั้นจอภาพที่ทำการผลิตออกมาได้เปลี่ยนไปใช้จอภาพ LED (Light Emitting Diode) แทนซึ่งจอภาพชนิดนี้ได้มีการเปลี่ยนจากหลอด CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp) ไปเป็นหลอด LED ดังรูปที่ 1.5 ที่ได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างทางกายภาพของหลอด LED และ CCFL โดยหลอด LED นั้นจะมีขนาดเล็กซึ่งอาศัย Liquid Crystal เป็นผลึกแข็งกึ่งเหลว 3 สีทั้งสีแดง สีน้ำเงิน และสีเขียว คอยปิดตัวเป็นองศาเพื่อให้แสงจากหลอด LED ส่องลอดผ่านออกมาเป็นสีอื่นต่างๆ ด้วยขนาดของหลอดที่เล็กทำให้จอภาพ LED จะมีความบางกว่าจอ LCD ทั่วๆไปที่ใช้หลอด CCFL ข้อดีของการเปลี่ยนมาใช้หลอดชนิดนี้ คือ การแสดงผลภาพที่แสดงรายละเอียด

ที่ดีขึ้นเนื่องจากการเพิ่มคอนทราสต์ (Contrast) ให้ภาพที่แสดงผลออกมา สังเกตได้จากฉากที่มีความมืดหรือความสว่างของวัตถุหลายระดับจะทำให้หน้าจอแสดงผลสีดำได้ลึกและดูมีมิติมากขึ้นส่งผลต่อความเป็นธรรมชาติของภาพนั่นเอง ความบางของจอภาพก็เป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งทำให้เกิดความร้อนที่ลดลงในขณะที่จอภาพทำงานอยู่จะส่งผลให้ประหยัดพลังงานมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 1.5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างหลอด LED และ CCFL  
ที่มา [http://www.lcdtvthailand.com/asp-bin/images-source/image/journal/B6000/led\\_ccfl.gif](http://www.lcdtvthailand.com/asp-bin/images-source/image/journal/B6000/led_ccfl.gif)

จากข้อดีที่ได้กล่าวมาจึงทำให้จอภาพ LED ได้ทำการผลิตออกมาใช้แทนที่จอ LCD เกือบทั้งหมดและทำให้ราคาในท้องตลาดถูกลงเนื่องจากการผลิตเป็นจำนวนมาก (Hawes, Brunye, Mahoney, Sullivan, & Aall, 2012) สังเกตได้จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งทำหน้าที่แสดงผลอย่าง เช่น จอภาพสำหรับคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ (Desktop PC) จอภาพสำหรับคอมพิวเตอร์แบบพกพา (Laptop PC) จอทีวี หรือป้ายโฆษณาแบบดิจิทัลที่ใช้กันตามท้องถนนหรือแม้กระทั่ง เครื่องคอมพิวเตอร์แบบแท็บเล็ต (Tablet PC) ที่สามารถใส่ระหว่างการเคลื่อนที่ได้ส่วนใหญ่อีกก็ผลิตจากหลอด LED ซึ่งจากที่ได้กล่าวไปในข้างต้นว่าการใช้งานคอมพิวเตอร์นั้นเป็นไปอย่างแพร่หลายและไม่ได้ใช้กันเฉพาะในสำนักงานทั่วไปยังสามารถนำไปใช้ในพื้นที่ยื่น เช่น โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆได้อีกด้วย อาจจะกล่าวได้ว่าปริมาณการใช้งานคอมพิวเตอร์จะแปรผันตรงกับปริมาณจอภาพ LED ด้วยเช่นกัน ซึ่งจอภาพ LED นี้ปัจจุบันได้มีการพัฒนาออกแบบหน้าจอที่มีการใช้เทคโนโลยีแบบสัมผัสซึ่งจะมีการเอียงทำมุมแตกต่างกันจากการใช้งานคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะที่ใช้กันอยู่ในสภาวะปกติที่ใช้มุมเอียง (Tilt Angle) อยู่ในช่วง 5 – 20 องศาวัดจากแนวดิ่ง (สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, 2543 : 16) สำหรับลักษณะการใช้งานแบบนี้สามารถแสดงให้เห็นได้เช่น การใช้งานหน้าจอแบบสัมผัสของคอมพิวเตอร์บางยี่ห้อ, การใช้งานในสถานบันเทิง, การใช้งานในห้องควบคุมของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ หรือ การใช้งานในห้องส่งข่าว ดังรูปที่ 1.6 – 1.8 เป็นต้น



รูปที่ 1.6 หน้าจอรระบบสัมผัสของยี่ห้อ Dell

ที่มา : <http://www.desktopreview.com/assets/12925.jpg>



รูปที่ 1.7 การใช้งานจอภาพสำหรับสถานบันเทิง

ที่มา <http://www.nmkelectronics.com/content/LiquidRoland.jpg>



รูปที่ 1.8 การใช้งานจอภาพในห้องควบคุมของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

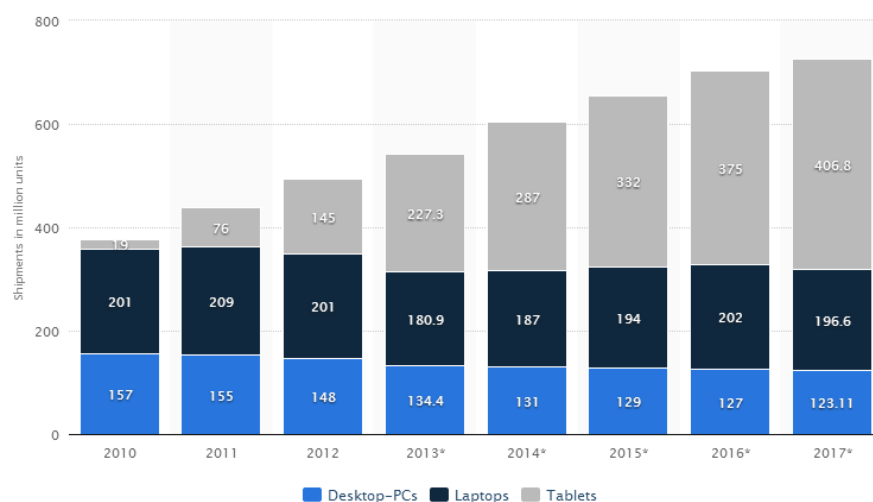
ที่มา <http://cdn.phys.org/newman/gfx/news/2013/1-virtualcontr.jpg>



รูปที่ 1.9 การใช้งานจอภาพแบบสัมผัสในห้องส่งข่าว

ที่มา : <http://www.theverge.com/2013/10/7/4812630/fox-news-shepard-smith-news-deck>

จากตัวอย่างดังกล่าวจะพบว่าจอภาพแบบสัมผัสที่นำเสนอมานั้นจะยังคงเป็นประเภทตั้งโต๊ะ ซึ่งไม่สามารถพกพาหรือเคลื่อนย้ายติดตัวผู้ใช้งานไปจุดอื่นได้ แต่นอกเหนือไปจากจอภาพแบบสัมผัสประเภทตั้งโต๊ะแล้วในปัจจุบันคอมพิวเตอร์หน้าจอแบบสัมผัสที่พกพาได้หรือ แท็บเล็ตนั้นมีความนิยมใช้ที่แพร่หลายขึ้นซึ่งอาจจะบ่งบอกได้จากการพยากรณ์ปริมาณการขนส่งคอมพิวเตอร์ทั้งแบบแท็บเล็ตพกพา หรือ ตั้งโต๊ะ ที่เพิ่มจากประมาณ 19 ล้านเครื่องตั้งแต่ปี ค.ศ. 2010 ไปเป็นประมาณ 406 ล้านเครื่องในปี ค.ศ. 2017 ดังรูปที่ 1.10

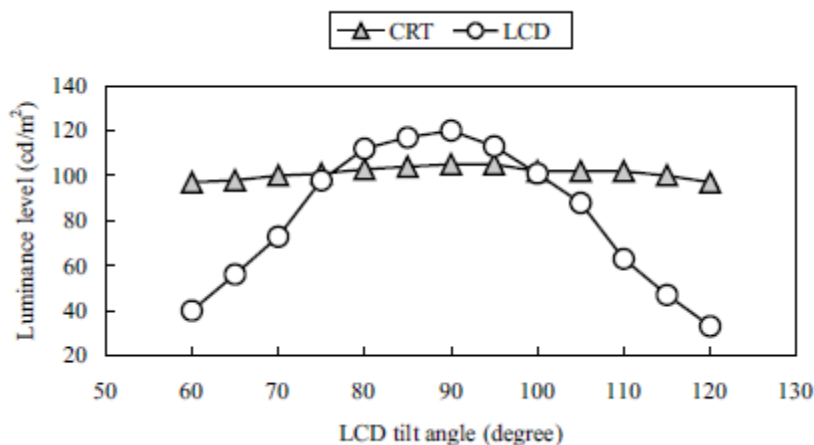


รูปที่ 1.10 การพยากรณ์ปริมาณการขนส่งคอมพิวเตอร์ทั้งแบบแท็บเล็ต พกพา หรือ ตั้งโต๊ะ ที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 2010 – 2017 (หน่วย : ล้านเครื่อง)

ที่มา <http://www.statista.com/statistics/272595/global-shipments-forecast-for-tablets-laptops-and-desktop-pcs/>

อาจจะกล่าวได้ว่าการใช้งานจอภาพในปัจจุบันนั้นได้ถูกออกแบบมาเพื่อการรองรับลักษณะการใช้งานแบบสัมผัสเพื่อเพิ่มความหลากหลายให้กับผู้บริโภคได้ใช้งานทั้งในสถานะตั้งตรงอยู่ในช่วงมุมเอียงปกติหรือจะมีการเอียงของหน้าจอเพิ่มขึ้นทั้งจอภาพแบบตั้งโต๊ะหรือจอภาพของแท็บเล็ตเองก็ตาม ดังนั้นแล้วมุมจะกลายเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะพิจารณาสำหรับงานวิจัยนี้เนื่องจากมีงานวิจัยของ Jonai, Villanueva, Takata, Sotoyama, and Saito (2012) ได้ทดสอบการเอียงจอภาพสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ชนิดพกพาซึ่งคอมพิวเตอร์ชนิดพกพานั้นได้ถูกออกแบบให้มีมุมเอียงของหน้าจอที่มากกว่าคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะทั่วไป ทำให้ปัจจัยเรื่องมุนั้นจะทำให้เกิดอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อต้นคอและก่อให้เกิดความไม่สบายจากท่าทางที่ผู้ปฏิบัติงานใช้ในการทำงาน นอกจากนี้การปรับมุมที่ต่างกันนั้นจะส่งผลกระทบต่อการมองเห็นได้ลำบากขึ้น เนื่องจากมุมเอียงของหน้าจอจะส่งผลโดยตรงกับปริมาณแสงที่วัดได้ในหน่วยแคนเดลาต่อตารางเมตร เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ตั้งอุปกรณ์วัดความสว่างไว้ข้างหน้าจอคอมพิวเตอร์ยังเอียงจอภาพออกจากแนว 90 องศา (วัดจากแนวระดับ) มากเท่าใดความสว่างจอภาพ (Brightness) ที่วัดได้จะลดลงซึ่งส่งผลกระทบต่อการมองเห็นภาพหรือตัวอักษร ทำให้ต้องขยับกล้ามเนื้อต้นคอหรือเปลี่ยนท่าทางซึ่งส่งผลต่อความปวดเมื่อยกล้ามเนื้อนั่นเอง จากรูปที่ 1.11 แสดงให้เห็นว่าหากการใช้มุมเอียงของหน้าจอที่มากหรือน้อยกว่า 90 องศาจะส่งผลให้ความสว่างของหน้าจอที่ลดลง





รูปที่ 1.11 ความสว่างหน้าจอ ณ มุมเอียงที่ต่างกัน (Jonai et al.,2002)

สำหรับความสว่างของจอภาพนั้นจากที่ได้กล่าวไปว่าจะจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อด้านการมองเห็นเนื่องจากการใช้ปริมาณแสงสว่างที่แตกต่างกันในแต่ละสถานที่ทำงาน อาจจะไปตกกระทบหน้าจอคอมพิวเตอร์แล้วสะท้อนเข้าสู่ดวงตาของผู้ใช้งานทำให้เกิดแสงบาดตาได้จึงได้มีการกำหนดขีดจำกัดความสว่างที่สะท้อนออกจากหน้าจอของจอภาพที่เกิดจากแสงสะท้อนจากคอมพิวเตอร์ได้จำแนกตามวิธีแสดงข้อความบนจอภาพ ตามมาตรฐานของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทยนั้นได้ใช้มาตรฐานของ CIE เช่นเดียวกับกับปริมาณแสงสว่างในพื้นที่ทำงาน โดยกำหนดให้จอภาพทั่วไปหากมีการแสดงคอนทราสต์แบบลบ (Negative Contrast) ซึ่งคือการแสดงข้อมูลด้วยตัวอักษรสีอ่อนบนพื้นสีเข้ม โดยแสงสะท้อนจากคอมพิวเตอร์ที่ปรากฏบนจอภาพที่มีขีดจำกัดความสว่างไม่เกิน 200 แคนเดลาต่อตารางเมตร ถือว่ามีแสงบาดตาอยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ แต่ในปัจจุบันนั้นการแสดงผลทางจอภาพที่นิยมใช้โดยทั่วไปนั้นเป็นการใช้คอนทราสต์แบบบวก (Positive Contrast) ซึ่งคือการแสดงข้อมูลด้วยตัวอักษรสีเข้มบนพื้นสีอ่อนที่ได้มีข้อเสนอแนะให้ใช้ในการทำงานมากที่สุด ตัวอย่าง คือ การใช้โปรแกรมในระบบปฏิบัติการวินโดว (Window) นั้นเองเพราะผลกระทบจากการใช้ความสว่างของจอคอนทราสต์แบบลบจะเกิดขึ้นมากกว่าการใช้คอนทราสต์แบบบวกเมื่อเกิดแสงตกกระทบที่หน้าจอเนื่องจากเมื่อแสงตกกระทบพื้นหลังที่เป็นสีดำเนื่องจากจะเป็นการลดความชัดเจนระหว่างพื้นหลังกับตัวอักษร โดยแสงสะท้อนจากคอมพิวเตอร์ที่ปรากฏบนจอภาพกำหนดให้ไม่เกิน 500 แคนเดลาต่อตารางเมตร ในส่วนของจอภาพแบบเคลือบสารลดการสะท้อนแสงนั้นจะมีขีดจำกัดความสว่างของคอนทราสต์แบบลบไม่เกิน 500 แคนเดลาต่อตารางเมตรและคอนทราสต์แบบบวกไม่เกิน 1,000 แคนเดลาต่อตารางเมตร(สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, 2543 : 15)

จากเหตุผลที่ได้กล่าวไปในข้างต้นทำให้จะพบว่าปัจจัยที่ได้กล่าวมาทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณแสงสว่างที่ใช้ในห้องที่ต่างกัน มุมเอียงของจอภาพ และ ความสว่างของจอภาพ จะมีความสัมพันธ์กันในการใช้งานแต่ละครั้งซึ่งล้วนแล้วแต่ส่งผลต่อการมองเห็นของผู้ใช้งาน นอกจากนี้แล้วจากการเลือกใช้ปัจจัยทั้ง 3 นี้ยังไม่มียานวิจัยใดๆที่ทำการทดสอบถึงสมรรถนะการใช้งานในด้านการพิมพ์ซึ่งเป็นประเภทการใช้งานที่มีมากที่สุด ดังนั้นแล้วงานวิจัยนี้จึงเล็งเห็นถึงความสำคัญของการศึกษามุมเอียงที่แตกต่างกันของจอภาพ โดยตั้งคำถามของงานวิจัยว่า หากปรับมุมเอียงของหน้าจอตามช่วงที่กำหนดซึ่งจะกล่าวต่อไปในบทที่ 2 จะมีผลต่อสมรรถนะของการใช้งานคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะใช้เวลาจากการทดสอบงานพิมพ์ได้อย่างไรโดยประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยนี้นอกจากการทราบถึงผลกระทบจากมุมเอียงของหน้าจอต่อสมรรถนะการพิมพ์งานแล้ว ประโยชน์อื่นๆที่ได้คือ สามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับมุมการใช้งาน และค่าความสว่างจอภาพให้เหมาะสมภายใต้การใช้ปริมาณแสงสว่างภายในห้องที่แตกต่างกันในแต่ละสภาวะงานเพื่อประโยชน์ในการใช้งานด้านการพิมพ์ สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการวัดเวลาเฉลี่ยในหน่วยมิลลิวินาทีสำหรับการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวของแบบทดสอบการพิมพ์ที่มีดัชนีความยาก (ID) ที่แตกต่างกันภายใต้การจัดสถานีงานตามหลักการวิทยาศาสตร์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อประเมินหาสภาวะการใช้ปริมาณแสงสว่างภายในห้อง มุมเอียงและความสว่างของจอภาพที่เหมาะสมต่อสมรรถนะการพิมพ์

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะศึกษาผู้ที่มีอายุระหว่าง 18 – 40 ปี จำนวน 10 คน ที่ปราศจากอาการบาดเจ็บที่ข้อมือ มือ และแขนทั้งสองข้าง สายตาทั้งสองข้างมีความสามารถในการมองเห็นได้ปกติ หากผู้ไม่มีสายตาไม่ปกติ คือ สั้นหรือ ยาวเกินไป จะต้องสวมใส่แว่นสายตาหรือคอนแทคเลนส์ และผู้เข้าร่วมทดสอบจะต้องมีประสบการณ์ในการใช้งานคอมพิวเตอร์โดยการศึกษาจะทำภายใต้ขอบเขตปริมาณแสงสว่างในห้อง อยู่ในช่วง 200, 400, 600, 1000, และ 1600 ลักซ์ ส่วนปริมาณความสว่างจอภาพ จะทำการทดสอบที่ช่วงระดับ 0%, 50%, และ 100% การปรับมุมเอียงของหน้าจอภายในช่วง 0, 10, 20, 30, 50, และ 70 องศา และกลุ่มของ ID ในแต่ละชุดแบบทดสอบการพิมพ์ 4 ระดับ

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ผลการศึกษานำมาพิจารณาการปรับใช้ปัจจัยต่างๆได้ดังนี้

1.4.1 การปรับใช้มุมเอียงและความสว่างของจอภาพสำหรับการใช้งานคอมพิวเตอร์ในแต่ละพื้นที่การทำงานซึ่งมีการใช้ปริมาณแสงสว่างที่แตกต่างกัน

1.4.2 การปรับใช้ความสว่างของจอภาพในสภาวะที่ปริมาณแสงสว่างในแต่ละพื้นที่การทำงานและมุมการเอียงของหน้าจอถูกควบคุมเนื่องจากการออกแบบสถานีงาน

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ผลการทดสอบด้านมุมเอียงและความสว่างของจอภาพในงานวิจัยนี้อาจจะนำไปเป็นแนวทางให้ผู้ผลิตได้ออกแบบจอภาพที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานคอมพิวเตอร์ในพื้นที่ที่มีปริมาณแสงสว่างแตกต่างกันได้

1.5.2 ผลของงานวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการทำวิจัยด้านการยศาสตร์สำหรับการใช้งานคอมพิวเตอร์หรือ ประยุกต์ใช้ในด้านแสงสว่างได้

## 1.6 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

1.6.1 ศึกษาและค้นคว้ากฎของฟิตส์ (Fitts' Law) งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับด้านผลกระทบจากความสว่างของจอภาพ LED ต่อการมองเห็นบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

1.6.2 ออกแบบการทดลองโดยกำหนดปัจจัยหลักที่ต้องการศึกษา ได้แก่ ปริมาณแสงสว่างในห้อง 5 ระดับได้แก่ 200, 400, 600, 1000, และ 1600 ลักซ์ ความสว่างจอภาพ 3 ระดับได้แก่ 0%, 50%, และ 100% และมุมเอียงของจอภาพ 6 ระดับได้แก่ 0, 10, 20, 30, 50, และ 70 องศาเป็นตัวแปรต้น โดยใช้เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวเป็นตัวชี้วัด โดยใช้ตัวแปรควบคุมเป็น อุณหภูมิสีจอภาพ ค่าคอนทราสต์ รวมถึงสภาพแวดล้อมบริเวณสถานีงานตามหัวข้อที่ 3.3

1.6.3 ทำการออกแบบชุดแบบทดสอบการพิมพ์ที่มีค่า ID 4 ระดับขึ้นมาใหม่โดยอาศัยข้อมูลอ้างอิงบางส่วนจากงานวิจัยของ พงศ์ภัทร อุไรวงศ์ (2556) ซึ่งจะทำการออกแบบชุดแบบทดสอบทั้งหมด 9 ชุด

1.6.4 สร้างสถานีงานโดยจัดโต๊ะทำงานให้มีฉากกันแสงสะท้อนสีด้าและชุดแผงไฟสำหรับปรับแสงสว่างภายในห้องซึ่งแสดงไว้ในหัวข้อที่ 3.2

1.6.5 ทำการสอบเทียบหน้าจอโดยใช้อุปกรณ์ Spyder 4Elite ซึ่งจะทำการปรับค่าแกมมาและ อุณหภูมิสีซึ่งเป็นตัวแปรควบคุม

1.6.6 ทำการทดลองการพิมพ์งานตามสภาวะการทดลองที่กำหนดไว้โดยจะให้ผู้เข้าร่วมทดลองทำการพิมพ์แบบทดสอบทั้ง 9 ชุดก่อน จากนั้นจึงทำการทดลองจริงซึ่งจะสุ่มสภาวะการทดลองและชุดแบบทดสอบขึ้นมา 1 ชุดต่อ 1 สภาวะการทดลอง และเก็บข้อมูลตามแต่ละสภาวะทดลองที่กำหนดไว้ โดยกำหนดจุดประสงค์ของงานคือให้ผู้เข้าร่วมการทดลองทำการพิมพ์ชุดแบบทดสอบให้เร็วที่สุดและไม่ให้เกิดความผิดพลาด


1.6.7 ทำการทดลองแบบเดียวกับข้อ 1.6.6 กับผู้เข้าร่วมทดลองที่เหลือนครบ 10 คน โดยจะทำการทดลองวันละ 1 คนใช้เวลาทั้งหมด 10 วัน

1.6.8 คำนวณหาค่าเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์แต่ละสภาวะของการทดลองใน ID ทั้ง 4 ระดับสำหรับผู้เข้าร่วมทดลองทุกคน

1.6.9 นำข้อมูลที่ได้จากข้อ 1.6.8 ไปทำการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาผลของปัจจัยที่ทำการศึกษา

1.6.10 นำผลของการศึกษาไปสรุปผลในแง่ของอันตรกิริยาที่เกิดขึ้น ระดับของปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวมากที่สุด และคาดการณ์สาเหตุที่เป็นไปได้ของผลการทดลองที่เกิดขึ้น

## 1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย



ขั้นตอนการดำเนินงาน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	พ.ย.	ธ.ค.
1.7.1 ศึกษาและค้นคว้างานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง											
1.7.2 ออกแบบการทดลองและกำหนดปัจจัยที่จะทำการศึกษา											
1.7.3 ทำการทดลองพิมพ์งานตามสภาวะการทดลองที่กำหนดไว้											
1.7.4 รวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาสมรรถนะในการพิมพ์งาน											
1.7.5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ											
1.7.6 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์และนำเสนอผลงานวิจัย											

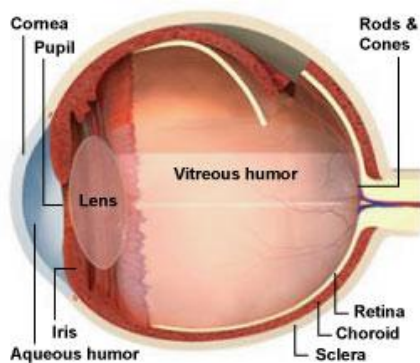
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทที่ 2 นี้ สำหรับงานวิจัยที่ศึกษาผลกระทบจากความสว่างของหน้าจอภาพ LED นี้ จะต้องทำการศึกษาทฤษฎีด้านแสงสว่างซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ใช้ในงานวิจัยนี้โดยจะต้องเข้าใจถึงพื้นฐานด้านระบบการมองเห็นของมนุษย์ว่า ปัจจัยด้านแสงสว่างที่ทำให้มนุษย์มองเห็นวัตถุนั้นส่งผลกระทบต่อดวงตาได้อย่างไร นอกจากนี้ยังต้องทำการศึกษาถึงการจัดแสงสว่างในห้องทำงานและการจัดสถานีงานที่ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์ซึ่งจะมีคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักสำหรับอาคารสำนักงานในปัจจุบัน โดยทำการศึกษาดังแต่หลักการทำงาน คุณสมบัติด้านการแสดงผลของจอภาพ LED และกฎของฟิตซ์ที่ใช้สำหรับการทดลองหาสมรรถนะการทำงานพิมพ์

#### 2.1 การมองเห็นของมนุษย์

มนุษย์จะมองเห็นวัตถุได้ก็ต่อเมื่อมีแสงจากแหล่งกำเนิดแสงใดๆก็ตามส่องลงไปตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนเข้าสู่ตา ผ่านทางกระจกตา (Cornea) และ เลนส์ตาให้ช่วยโฟกัสภาพไปตกที่เรตินา (Retina) กระจกตามีหน้าที่รับแสงเข้าสู่ในดวงตาโดยกระจกตาจะอยู่ในผนังชั้นนอกสุดของดวงตา (Sclera) แสงที่ผ่านกระจกตาเข้าไปนั้นจะวิ่งตรงผ่านเลนส์ตาและชั้นของเหลว (Aqueous humor) ซึ่งทำหน้าที่รักษาความโค้งของกระจกตาเอาไว้ โดยมีม่านตา (Iris) คอยปรับแสงที่จะเข้าสู่ภายในดวงตา เลนส์ตาจะจัดอยู่ในส่วนของผนังชั้นกลางของดวงตา (Choroid) เมื่อแสงวิ่งผ่านเลนส์ตาเข้ามายังชั้นของเหลวภายใน (Vitreous humor) ซึ่งทำหน้าที่รักษารูปร่างของดวงตาไว้ และเมื่อแสงตกกระทบเรตินาซึ่งถือเป็นผนังตาชั้นในจะมีเซลล์ประสาท 2 ชนิด ได้แก่ เซลล์รูปแท่ง (Rod Cells) ซึ่งมีความไวต่อการรับแสง และเซลล์รูปกรวย (Cone Cells) ซึ่งไวต่อการรับภาพสีทำให้มีคุณสมบัติในการแยกความแตกต่างของสีได้ เซลล์ทั้งสองนี้จะทำการแปลผลและส่งคลื่นสัญญาณเข้าสู่สมองส่วน ซีรีบรัม (Cerebrum cortex) เพื่อทำหน้าที่แปลผลให้เกิดเป็นภาพออกมาส่วนประกอบของดวงตาได้แสดงดังรูปที่ 2.1 (กระทรวงแรงงาน, 2549)



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของดวงตา

ที่มา [http://www.livescience.com/image/051128\\_eye\\_graphic\\_03.jpg](http://www.livescience.com/image/051128_eye_graphic_03.jpg)

การใช้ดวงตาในการจ้องมองวัตถุหรือการจดจ่อกิจกรรมใดกิจกรรมหนึ่งเป็นระยะเวลานานนั้นจะส่งผลให้เกิดความเมื่อยล้าทางสายตา สำหรับงานวิจัยนี้การนั่งทำงานหน้าจอคอมพิวเตอร์เป็นระยะเวลานานจะทำให้ดวงตาและอวัยวะอื่นๆที่เกี่ยวข้องได้รับผลกระทบจากความสว่างจอภาพซึ่งทำให้เกิด อาการจากการมองจอคอมพิวเตอร์ดังนี้

### 1. อาการปวดตา (Eyestrain)

เป็นความอ่อนล้าทางสายตามีชื่อเรียกทางการแพทย์ว่า Asthenopia ลักษณะผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์เป็นระยะเวลานานจะมีอาการที่เกิดขึ้น คือ รู้สึกไม่สบายตา ปวดกระบอกตา หรือระคายเคือง สาเหตุของอาการปวดตานี้มีมากมายหลายสาเหตุ ได้แก่ อาการกล้ามเนื้อกระตุก อาการตาพร่า การผิดปกติของสายตาทั้งสายตาสั้นและยาว

### 2. อาการปวดศีรษะ (Headaches)

เป็นอาการที่มักจะเกิดขึ้นบ่อยในบรรดาผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์เป็นระยะเวลานาน โดยอาการปวดศีรษะมักจะเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งของศีรษะ ไม่ว่าจะเป็นด้านหน้าหรือด้านข้าง เมื่อเกิดอาการควรจะแยกให้ออกกว่าเป็นอาการปวดศีรษะแบบไมเกรนหรือปวดเนื่องจากการใช้สายตา อาการปวดศีรษะเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัยนอกจากการนั่งทำงานหน้าคอมพิวเตอร์เป็นระยะเวลานาน เช่น การนั่งทำงานในห้องที่มีแสงสว่างไม่เพียงพอหรือการเกิดแสงสะท้อนจากหน้าจอ เป็นต้น

### 3. การเกิดภาพไม่ชัด (Blurred Vision)

เป็นอาการที่เกิดขึ้นเมื่อการโฟกัสภาพไม่ได้เกิดขึ้นที่เรตินา ความสามารถในการปรับระยะโฟกัส (Accommodation) เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดภาพเบลอ เมื่อจ้องมองที่หน้าจอเป็นระยะเวลานานจะทำให้จุดโฟกัสที่แท้จริงขยับออกจากวัตถุที่ทำการจ้องมอง ระยะที่ขยับออกจากวัตถุนั้นจะ

เรียกว่า “Lag of Accommodation” การปรับระยะโฟกัสโดยจะขึ้นอยู่กับอายุซึ่งสาเหตุของการเกิดภาพเบลอ นั้นจะมาจากความผิดปกติของสายตา (Refraction Error) ซึ่งประกอบด้วยสายตาสั้น (Myopia) สายตายาว (Hyperopia) หรือสายตาเอียง (Astigmatism) นอกจากนี้ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมไม่ว่าจะเป็นคุณภาพของจอภาพ มุมของการมองจอภาพ หรือจะเป็นแสงสะท้อนที่เกิดขึ้นก็เป็นสิ่งที่ทำให้เกิดภาวะภาพเบลอได้เช่นกัน

#### 4. อาการแห้งในดวงตา (Dry and Irritated Eyes)

โดยธรรมชาติของมนุษย์แล้วปฏิกิริยาการกระพริบตาจะเป็นปฏิกิริยารีเฟล็กซ์ที่เร็วที่สุดของร่างกาย ได้มีงานวิจัย ที่ได้ทำการทดสอบถึงอัตราการกระพริบตาของมนุษย์โดยได้ทำการทดสอบกับพนักงานออฟฟิศจำนวน 104 รายในสภาวะขณะนั่งพัก ขณะอ่านหนังสือและขณะนั่งทำงานหน้าจอคอมพิวเตอร์ หลังการทดสอบจึงพบว่าอัตราการกระพริบตาโดยเฉลี่ยต่อนาทีได้ 22 ,10 และ 7 ครั้งตามลำดับ ซึ่งจำนวนครั้งที่ของการกระพริบตาที่ลดลงนั้นยังมีจุดที่แตกต่างกันอีกด้าน ที่ได้ทำการวัดไว้ คือ ขนาดของดวงตาซึ่งวัดได้ คือ 2.2 , 1.2 และ 2.3 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ขนาดของดวงตาจะแปรผันตรงกับระยะและมุมการมอง การมองในตำแหน่งที่สูงขึ้นจะทำให้ดวงตาขยายมากขึ้น ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณน้ำที่หล่อเลี้ยงสร้างความชุ่มชื้นให้กับดวงตา ปัจจัยอื่นที่ทำให้ดวงตาแห้งได้แก่ อากาศภายในห้องทำงานที่มีความชื้นต่ำ หรือ ฝุ่นละอองโดยรอบก็เป็นสาเหตุที่ทำให้ดวงตาแห้งได้เช่นกัน

#### 5. อาการปวดคอและหลัง (Neck and Back Ache)

การนั่งทำงานหน้าจคอมพิวเตอร์เป็นระยะเวลานานจะส่งผลต่อการปวดเมื่อยคอและหลัง เนื่องจากการจัดจ้องไปที่หน้าจอเป็นระยะเวลานาน หรือ การมองไปที่เอกสารที่ต้องการจะพิมพ์พร้อมการสลับมามองที่หน้าจอก็จะส่งผลกระทบต่อเช่นกัน โดยทั่วไปแล้วการจัดวางตำแหน่งคอมพิวเตอร์มักจะจัดวางอยู่ระดับเดียวกับสายตาหรือ ถูกจัดวางให้อยู่ในตำแหน่งที่สูงกว่าระดับสายตา ดังนั้นแล้วหากเริ่มเกิดอาการปวดเมื่อยที่คอหรือหลังควรที่จะปรับเปลี่ยนอิริยาบถ โดยอาจจะทำการขยับศีรษะและปรับจอภาพให้อยู่ต่ำกว่าระดับสายตาและปรับเปลี่ยนท่านั่งเพื่อผ่อนคลายอาการปวดเมื่อยด้วยเช่นกัน

#### 6. อาการไวต่อแสงของดวงตา (Light Sensitivity)

อาการนี้จะเกิดขึ้นจากแสงบาดตา (Glare) โดย แสงบาดตาจะมี 2 ประเภท คือ แสงบาดตาชนิดที่เกิดขึ้นโดยตรง (Direct Glare) ซึ่งเกิดจากแสงที่เข้าสู่ตาโดยตรง เช่น แสงไฟที่ใช้ภายในห้องทำงานหรือแสงจากแหล่งกำเนิดทางธรรมชาติอย่างดวงอาทิตย์ หรือ แสงจากแหล่งกำเนิดที่มนุษย์สร้างขึ้นเอง เช่น แสงจากไฟรถยนต์ แสงจากตู้แสดงสินค้า ป้ายโฆษณาซึ่งมีความสว่างมากเกินไปจน

รบกวนทำให้ไม่สบายตาได้ แสงบาดตาอีกชนิดหนึ่ง คือ แสงบาดตาที่เกิดจากการสะท้อนของหน้าจอ (Reflect Glare) แสงบาดตาที่เกิดขึ้นนั้นจะมีสาเหตุมาจากการที่แสงไฟภายในห้องส่องสว่างออกมาจากโคมไฟเป็นบริเวณกว้างทำให้แสงกระทบดวงตาของผู้ที่นั่งทำงานอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากหน้าจอคอมพิวเตอร์มีความความสว่างที่แตกต่างกับสภาพแวดล้อมโดยรอบ โดยตัวอย่างอัตราส่วนความสว่างสูงสุด (Maximum Luminance Ratio) ระหว่างจอภาพและวัตถุใกล้เคียงจะถูกกำหนดให้ไม่เกินค่าที่กำหนดให้ดังต่อไปนี้ ซึ่งแสดงให้เห็นด้วยรูปที่ 2.2

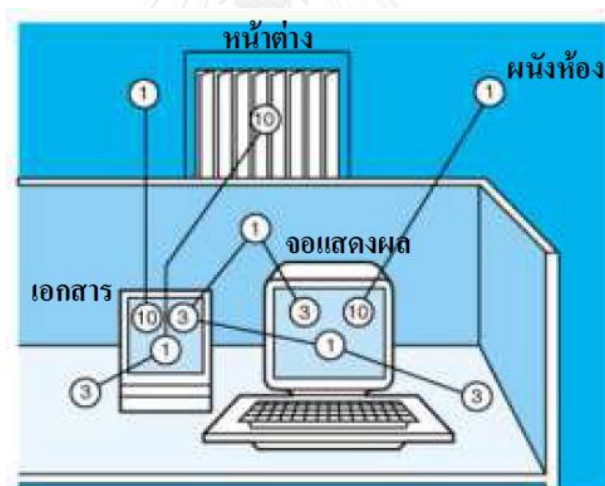
จอภาพ : กระจกหรือชั้นงาน มีค่าเท่ากับ 1 : 3

จอภาพ : ฉากกันโต๊ะ มีค่าเท่ากับ 3 : 1

จอภาพ : ผนังห้อง มีค่าเท่ากับ 10 : 1

จอภาพ : โต๊ะทำงาน มีค่าเท่ากับ 1 : 3

สำหรับในงานวิจัยนี้ปัจจัยด้านแสงบาดตาที่เกิดจากสภาพแวดล้อมโดยรอบจะถูกป้องกันเนื่องจากการทดลองนั้นจะใช้ฉากสีดำในการกั้นเพื่อลดการสะท้อนของแสง



รูปที่ 2.2 อัตราส่วนความสว่างสูงสุดกับวัตถุใกล้เคียง (สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, 2543)

## 7. การเกิดภาพซ้อน (Double Vision)

อาการเกิดภาพซ้อนนี้จะมีลักษณะที่กำลังมองภาพเพียงแต่ภาพเดียวแต่มองเห็นเป็นสองภาพ การนั่งทำงานหน้าจอคอมพิวเตอร์นานเกินไปโดยเฉพาะหากผู้ปฏิบัติงานจ้องที่จอภาพระยะใกล้เป็นระยะเวลานาน และเมื่อหากไม่สามารถทำการลือกภาพที่จ้องมองได้เนื่องจากความอ่อนล้า ก็จะทำให้ภาพที่มองเกิดความคลาดเคลื่อนออกจากจุดที่แท้จริง (Anshel, 2005)



จากอาการที่เกิดจากการนั่งทำงานหน้าจอคอมพิวเตอร์เป็นระยะเวลานาน จะเห็นได้ชัดเจนว่าสภาพแวดล้อมภายในห้องทำงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจัยแสงซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับผลกระทบที่เกิดขึ้น แสงจึงเป็นหัวข้อต่อไปที่จะทำการกล่าวถึงคำนิยามและความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

## 2.2 แสงสว่าง

แสง คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านจากวัตถุหนึ่งไปยังวัตถุหนึ่งโดยไม่ต้องใช้ตัวนำ โดยดวงอาทิตย์จะเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ใหญ่ที่สุดของมนุษย์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปล่อยออกมาสู่พื้นโลกจะอยู่ในความยาวคลื่นช่วง 290 – 1400 นาโนเมตร โดยความยาวคลื่นในช่วงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้จะอยู่ในช่วง 380 – 760 นาโนเมตร ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมดในหน่วยเฮิรตซ์ (Hz) ตั้งแต่รังสีแกมมาไปจนถึงคลื่นวิทยุ นอกจากนี้ยังได้อธิบายถึงสีของความยาวคลื่นที่มนุษย์มองเห็นซึ่งประกอบไปด้วย

สีม่วงที่ความยาวคลื่นประมาณ 380 นาโนเมตร

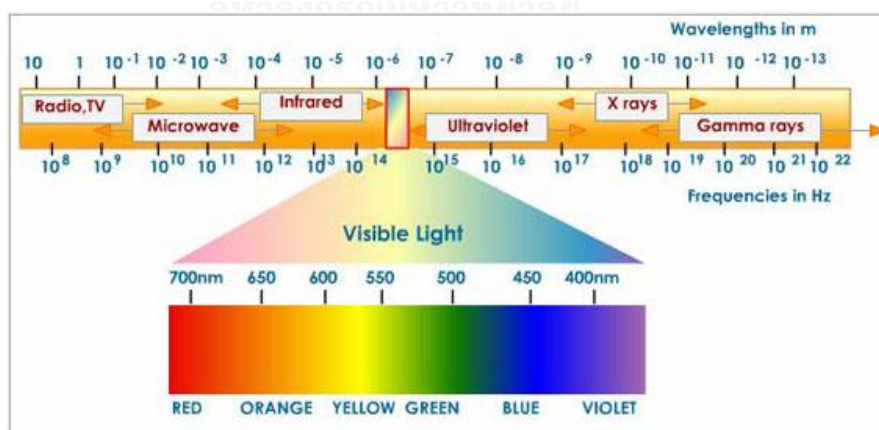
สีน้ำเงินที่ความยาวคลื่นประมาณ 460 นาโนเมตร

สีเขียวที่ความยาวคลื่นประมาณ 500 นาโนเมตร

สีเหลืองที่ความยาวคลื่นประมาณ 550 นาโนเมตร

สีส้มที่ความยาวคลื่นประมาณ 650 นาโนเมตร

สีแดงที่ความยาวคลื่นประมาณ 760 นาโนเมตร



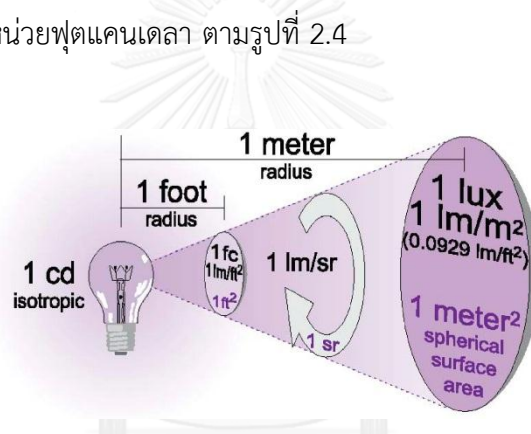
รูปที่ 2.3 ความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่างๆของดวงอาทิตย์

ที่มา

<http://images.tutorvista.com/contentimages/science/CBSEXScience/Ch523/images/img19.jpeg>

นอกจากดวงอาทิตย์ที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ใหญ่ที่สุดที่สร้างให้กับโลกแล้ว มนุษย์ยังสามารถสร้างแหล่งกำเนิดแสงสว่างขึ้นมาเองได้ เช่น หลอดไฟฟ้าชนิดต่างๆที่จะกล่าวในหัวข้อถัดไป พื้นฐานที่สำคัญก่อนที่จะไปศึกษาถึงเรื่องหลอดไฟฟ้านั้น คือ การศึกษาหน่วยการวัดแสงมาตรฐานซึ่งจะเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการทดลองนี้โดยปริมาณแสงสว่างที่เปล่งออกจากแหล่งกำเนิดจัดเป็นหน่วยวัดมาตรฐานตามระบบ SI โดย จะใช้หน่วยเป็น ลูเมน (lumen) ซึ่งนิยามของปริมาณแสง 1 ลูเมนนั้นคือ ปริมาณแสงที่ส่องลงบนพื้นที่ 1 ตารางเมตรบนผิวทรงกลมรัศมี 1 เมตร จากแหล่งกำเนิดแสง 1 แคนเดลาหรือ 1 แแรงเทียน โดยแสง 1 แคนเดลาจะทำให้เกิดแสงปริมาณ  $4\pi$  หรือประมาณ 12.57 ลูเมน

เนื่องจากแสงสว่างที่ส่องกระทบลงบนผิววัตถุมีปริมาณเท่ากับ 1 ลูเมนต่อ ตารางเมตรนั้น จะเรียกเป็นหน่วยลักซ์ (lx) ซึ่งก็คือปริมาณแสงสว่างนั่นเอง นอกจากนี้หากใช้พื้นที่เป็นหน่วยตารางฟุต จะใช้ความส่องสว่างในหน่วยฟุตแคนเดลา ตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงถึงแสง 1 ลูเมนที่ตกกระทบพื้นที่ 1 ตารางเมตร

ที่มา [http://www.intl-lighttech.com/sites/default/files/images/handbook/Light-Measurement-Geometries-Chapter-7-Light-Measurement-Handbook\\_img\\_3.jpg](http://www.intl-lighttech.com/sites/default/files/images/handbook/Light-Measurement-Geometries-Chapter-7-Light-Measurement-Handbook_img_3.jpg)

สำหรับความส่องสว่างสำหรับพื้นที่การทำงานนั้นได้มีมาตรฐานเทียบเคียงสำหรับบริเวณที่ลูกจ้างต้องทำงานโดยใช้สายตามองเฉพาะจุดหรือต้องใช้สายตาคู่กับที่ในการทำงานดังตารางที่ 2.1 ซึ่งมีที่มาจากกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียงของกฎกระทรวงพ.ศ. 2549 โดยในการวัดในสถานที่จริงปริมาณแสงสว่างจะต้องไม่ควรต่ำกว่ามาตรฐานนี้ซึ่งจะเป็นค่าที่ใช้อ้างอิงสำหรับการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ตารางที่ 2.1มาตรฐานเทียบเคียงสำหรับบริเวณที่ลูกจ้างต้องทำงานโดยใช้สายตามองเฉพาะจุดหรือต้องใช้สายตาอยู่กับที่ในการทำงาน (กระทรวงแรงงาน, 2549)

การใช้สายตาตามลักษณะงาน	ความเข้มของแสงสว่าง (ลักซ์)	ตัวอย่าง
งานละเอียดสูงมากเป็นพิเศษ	2400 หรือมากกว่า	<ul style="list-style-type: none"> <li>-การตรวจสอบชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก (เช่น เครื่องมือที่มีขนาดเล็กมาก)</li> <li>-การทำเครื่องประดับและทำนาฬิกาในกระบวนการที่มีขนาดเล็ก</li> <li>-การถักถุงเท้า เสื้อผ้าที่มีสีเข้ม รวมทั้งการซ่อมแซมสินค้าที่มีสีเข้ม</li> </ul>
งานละเอียดสูงมาก	1600	<ul style="list-style-type: none"> <li>-งานละเอียดที่ต้องทำบนโต๊ะหรือเครื่องจักร เช่น ทำเครื่องมือและแม่พิมพ์ (ขนาดเล็กกว่า 25 ไมโครเมตร) ตรวจวัด และตรวจสอบชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กและชิ้นงานที่มีส่วนประกอบขนาดเล็ก</li> <li>-การซ่อมแซมสินค้าสิ่งทอ สิ่งถักที่มีสีอ่อน</li> <li>-การตรวจสอบและตกแต่งชิ้นส่วนของสินค้า สิ่งทอ สิ่งถักที่มีสีเข้ม</li> <li>-การวัดระยะความยาวขั้นสุดท้าย</li> </ul>
	1200	<ul style="list-style-type: none"> <li>-การตรวจสอบการตัดเย็บเสื้อผ้าด้วยมือ</li> <li>-การตรวจสอบและการตกแต่งชิ้นส่วนสินค้าสิ่งทอ สิ่งถักหรือเสื้อผ้าที่มีสีอ่อนขั้นสุดท้ายด้วยมือ</li> <li>-การแบ่งเกรดและเทียบสีของหนังที่</li> </ul>

งานละเอียดสูง		มีสีเข้ม -การเทียบสีในงานย้อมผ้า
	800	-งานเทียบสีชิ้นงาน -การตรวจสอบงานละเอียด เช่น การปรับสเกล กลไกและ เครื่องมือที่ต้องการความถูกต้องเที่ยงตรง
งานละเอียดปานกลาง	600	-งานตกแต่งสีที่ละเอียด -งานพิสูจน์อักษร -งานบันทึกข้อมูลทางจอภาพ
งานละเอียดน้อย	400	-งานประจำในสำนักงาน เช่น การพิมพ์ การจัดเก็บแฟ้ม หรือ การเขียน -งานสอบถามหรือประชาสัมพันธ์ -บริเวณห้องทดสอบหรือทดลองในโรงงานผลิตยาหรือสารเคมีบริสุทธิ์
งานละเอียดน้อยมาก	200	-การตรวจงานหยาดด้วยสายตา การนับ หรือ การตรวจเช็คสิ่งของที่มีขนาดใหญ่ในห้องเก็บของ เช่น การตรวจนับการบรรจุหีบห่อ

สำหรับปัจจัยด้านปริมาณแสงสว่างสำหรับพื้นที่ทำงานที่เลือกมาใช้ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาจาก ลักษณะงานดังที่ได้กล่าวมาในตารางที่ 2.1 โดยจะเลือกใช้ปริมาณแสงสว่างในห้องทดลองจาก 5 ลักษณะงาน ได้แก่ งานละเอียดน้อยมาก 200 ลักซ์ , งานละเอียดน้อย 400 ลักซ์ , งานละเอียดปานกลาง 600 ลักซ์ งานละเอียดสูง 1000 ลักซ์ และ งานละเอียดสูงมาก 1600 ลักซ์ โดยงานที่ใช้ความละเอียดมากถึง 2400 ลักซ์นั้นจะไม่เลือกมาใช้ในงานวิจัยนี้เนื่องจากเป็นปริมาณแสงสว่างที่ชุดหลอดไฟที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงในห้องทดลองไม่สามารถให้ค่าได้สูงถึง 2400 ลักซ์ และสาเหตุที่เลือกใช้ปริมาณแสงสว่างสำหรับงานละเอียดสูงที่ 1000 ลักซ์ เนื่องจากเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างปริมาณแสงสว่างที่กำหนดตามมาตรฐาน คือ 1200 และ 800 ลักซ์ทำให้งานวิจัยนี้จึงเลือกค่า 1000 มาเป็น

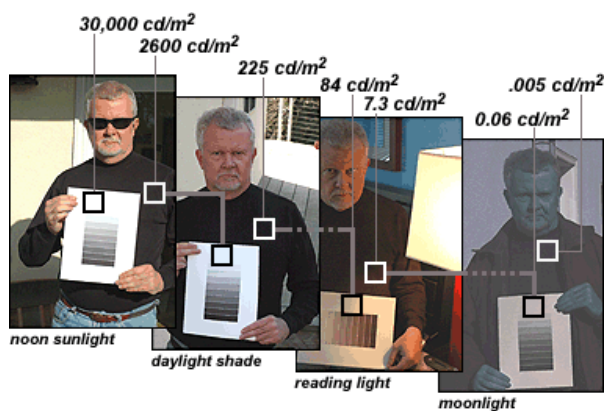
ตัวแทนสำหรับการศึกษาสมรรถนะงานพิมพ์ในช่วงลักษณะงานนี้ สำหรับปริมาณแสงสว่างระดับ 2400 ลักซ์ซึ่งใช้กับงานละเอียดสูงมากเป็นพิเศษจะไม่เลือกใช้ในการทดสอบเนื่องจากไม่ถือว่าเป็นระดับแสงสว่างในห้องที่แท้จริง แต่เป็นระดับแสงสว่างที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงเฉพาะจุด (Local light) เช่น โคมไฟตั้งโต๊ะดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การใช้แสงสว่างจากแหล่งกำเนิดเฉพาะจุดเข้าช่วยในการประกอบนาฬิกา

ที่มา <http://images.fineartamerica.com/images-medium-large/watchmaker-william-wetmore.jpg>

จากตัวแปรด้านความส่องสว่างที่ได้อธิบายไปในข้างต้นแล้ว ตัวแปรอีกชนิดหนึ่งที่มีผลต่อการมองเห็นของมนุษย์นั้นคือตัวแปรด้านความสว่าง เนื่องจากความสว่าง คือ ความสว่างที่สะท้อนออกมาจากวัตถุ กล่าวคือ เมื่อปริมาณแสงที่เท่ากันส่องกระทบลงบนวัตถุ วัตถุนั้นจะสะท้อนแสงออกมาด้วยปริมาณที่ต่างกันไป ใช้หน่วยในการวัดคือ แคนเดลา ต่อ ตารางเมตรการมองเห็นวัตถุของดวงตาจะมองได้ง่ายหรือยากขึ้นอยู่กับสภาพพื้นผิวของวัตถุ วัตถุที่มีผิวด้าน (Matt Surface) หรือ ผิวกระจายแสง (Diffusing Surface) จะเกิดแสงสะท้อนน้อยกว่าวัสดุที่มีผิวมัน สำหรับการวัดความสว่างจะใช้อุปกรณ์ที่ชื่อ ลูมิแนนซ์มิเตอร์ เป็นตัววัด (ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2550) สังเกตได้จากรูปที่ 2.6 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างความสว่างในแต่ละระดับ เช่น การวัดความสว่างของเสื้อสีดำที่กลางแดดได้ 2600 แคนเดลาต่อตารางเมตร ซึ่งหากเปลี่ยนมาวัดในห้องจะเหลือ 225 แคนเดลาต่อตารางเมตร ซึ่งผลของความสว่างนั้นจะได้รับอิทธิพลมาจากความส่องสว่างจากสภาพแวดล้อมนั่นเอง (Macevoy, 2005)



รูปที่ 2.6 ความแตกต่างระหว่างความสว่างที่แตกต่างกัน

ที่มา <http://www.handprint.com/HP/WCL/IMG/levels.gif>

จากที่ได้กล่าวไปในข้างต้นว่าแหล่งกำเนิดแสงที่ใหญ่ที่สุดของมนุษย์ คือ ดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นดาวฤกษ์ที่ใหญ่ที่สุดในระบบสุริยะ แต่ในชีวิตประจำวันของมนุษย์นั้นจะมีข้อจำกัดในด้านการใช้ประโยชน์ของ ดวงอาทิตย์แคในช่วงเวลากลางวันเท่านั้นทำให้ช่วงเวลากลางคืนนั้นมนุษย์จะไม่มีแสงสว่างที่เพียงพอต่อการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมใดๆก็ตามแต่ นอกจากนี้แหล่งที่พักอาศัยของมนุษย์ก็ยังเป็นอาคาร ตึก หรือพื้นที่ปิดที่ซึ่งแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ไม่สามารถส่องเข้าไปได้ทั่วถึงแม้จะเป็นช่วงเวลากลางวัน ทำให้มนุษย์ต้องสร้างแหล่งกำเนิดแสงขึ้นมาใช้ประโยชน์เอง ซึ่งก็คือ แสงสว่างจากหลอดไฟซึ่งจะยกไปกล่าวในหัวข้อถัดไป

## 2.3 หลอดไฟ

หลอดไฟ คือ อุปกรณ์กำเนิดแสงสว่างที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการช่วยการมองเห็นวัตถุหรือช่วยในการเพิ่มทัศนวิสัยที่ดี สำหรับหลอดไฟที่ใช้ในชีวิตประจำวันนั้นจะสามารถแบ่งประเภทออกได้ 2 ประเภทใหญ่ได้ดังนี้

### 2.3.1 หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent lamp)

คือ หลอดที่มีไส้ทำจากทังสเตนซึ่งเป็นโลหะมีความดันไอน้ำ จุดหลอมเหลวสูง หลักการทำงานของหลอดชนิดนี้คือ การให้ความร้อนกับไส้หลอดจนมีอุณหภูมิสูงและเปล่งแสงออกมา ภายในหลอดจะบรรจุก๊าซเฉื่อยเพื่อการรักษาขั้วหลอดและเป็นการป้องกันไม่ให้ไส้หลอดสัมผัสกับอากาศ อายุการใช้งานของหลอดชนิดนี้จะอยู่ในช่วง 1,000 – 3,000 ชั่วโมง ส่วนปริมาณแสงจะอยู่ช่วง 10 – 15 ลูเมนต่อวัตต์

หลอดชนิดนี้จะแบ่งประเภทย่อยลงไปได้อีก ได้แก่ หลอด GLS (General Service Lamp), หลอด เปลวเทียนและหลอดป้องกัน, หลอด PAR (Parabolic), หลอด R (Reflector), หลอดทังสแตเนียมฮาโลเจน, หลอดฮาโลเจนแรงดันต่ำ

### 2.3.2 หลอดดิสชาร์จ (Discharge lamp)

คือ หลอดไฟชนิดที่ไม่ใช้ไส้หลอด แบ่งได้เป็นชนิดใหญ่ๆคือ

1. ประเภทความดันต่ำ ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ หลอดโซเดียมความดันต่ำ
2. ประเภทความดันสูง ได้แก่ หลอดปรอทความดันสูง หลอดโซเดียมความดันสูง หลอดเมทัลฮาไลด์

จากที่ได้กล่าวมาจะเห็นได้ว่าหลอดไฟเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณความส่องสว่างภายในห้อง ดังนั้นการเลือกหลอดไฟสำหรับการใช้งานนั้นจะต้องทราบถึงพารามิเตอร์ สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการบ่งบอกคุณลักษณะของหลอดไฟมีดังนี้

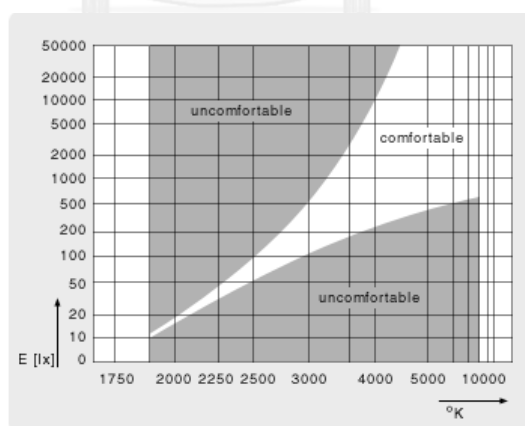
#### 1. อุณหภูมิสี (Color Temperature)

หลอดไฟที่ใช้ภายในห้องทำงานนั้นล้วนแล้วแต่มีสีของตัวหลอดที่แตกต่างกัน ดังนั้นสีของแสงมักจะเป็นตัวที่บ่งบอกด้วยอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิจะบ่งบอกถึงการเปลี่ยนสีของแสงออกมาจากการเผาวัตถุดำที่อุณหภูมินั้นๆ เช่น อุณหภูมิสีที่ 4,000 เคลวิน นั้นหมายความว่า เมื่อเผาวัตถุดำซึ่งเป็นวัตถุในอุดมคติซึ่งเป็นวัตถุที่ยากจะดูดซับความร้อนได้ทั้งหมดที่อุณหภูมิ 4,000 เคลวินนั้นจะเห็นสีที่มีความเฉพาะซึ่งตารางที่ 2.2 จะเป็นตารางที่แสดงให้เห็นถึงสีที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างสีที่อุณหภูมิสีต่างๆ (ชานาญ ห่อเกียรติ, 2550)

อุณหภูมิสี (เคลวิน)	สี	เทียบได้กับสีของหลอด
2,200	เหลืองจัด	โซเดียมความดันต่ำ
2,500	เหลืองทอง	โซเดียมความดันสูง
2,800	เหลืองอ่อน	อินแคนเดสเซนต์
3,000	เหลืองขาว	ฮาโลเจน
3,500	เหลืองแดง	ฟลูออเรสเซนต์ชนิดวอร์มไวท์ (Warm White)
4,000	ขาวเย็น	ฟลูออเรสเซนต์ชนิดคูลไวท์ (Cool White)
6,500	ขาวฟ้า	ฟลูออเรสเซนต์ชนิดเดย์ไลท์ (Day Light)

การเลือกใช้แสงสีภายในห้องนั้นมีความสัมพันธ์กับการให้แสงสว่าง หลอดไฟที่เลือกใช้นั้นควรพิจารณาได้จากความส่องสว่างที่ต้องการกับอุณหภูมิสีของหลอดไฟตามรูปที่ 2.7 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างและอุณหภูมิสี



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างและอุณหภูมิสี  
ที่มา

[http://www.osram.ec/\\_global/img/Misc/Lighting\\_Design/E40\\_Reference\\_448px/Best\\_possible\\_light/lr\\_037\\_2.gif](http://www.osram.ec/_global/img/Misc/Lighting_Design/E40_Reference_448px/Best_possible_light/lr_037_2.gif)



จากรูป 2.7 ที่แสดงให้เห็นนั้นจะแปลความได้ว่า การใช้หลอดไฟที่มีอุณหภูมิสีต่ำแต่มีความส่องสว่างสูง เช่นอุณหภูมิช่วง 2,000 – 3,000 เคลวิน ที่ความส่องสว่าง 500 ลักซ์ จะให้ความรู้สึกในการมองเห็นที่จำเกินไป หากใช้หลอดไฟที่มีอุณหภูมิสีสูงแต่ให้ความส่องสว่างต่ำเช่นอุณหภูมิช่วง 4,000 – 5,000 เคลวิน ที่ความส่องสว่าง 100 ลักซ์ ก็จะทำให้ความรู้สึกที่จำเกินไปอีก ดังนั้นข้อเสนอแนะสำหรับการเลือกหลอดไฟ คือ ควรเลือกความส่องสว่างที่เหมาะสมกับอุณหภูมิสีของหลอด คือ ความสว่างที่อยู่ช่วงตรงกลางซึ่งจะให้ความรู้สึกที่สบายตา ไม่รู้สึกจำหรือทึมเกินไปนั่นเอง

## 2. ดัชนีความถูกต้องสี (Color Rendering Index)

คือดัชนีที่ไว้ใช้พิจารณาถึงความใกล้เคียงของสีที่มองเห็นว่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด โดยดัชนีนี้จะมีค่าสูงสุดที่ 100 หลอดไฟชนิดที่มีดัชนีสูงจะยิ่งดี โดยหลอดไฟที่มีค่าดัชนีความถูกต้องต่ำกว่า 80 มักจะใช้ในงานที่ไม่ต้องการความถูกต้องของสีมากนัก เช่น งานด้านความปลอดภัย (ชำนาญ, 2550) สำหรับหลอดไฟที่จะใช้สำหรับงานวิจัยนี้หลอดไฟที่ได้ติดตั้งมาอยู่แล้วในห้องทดลอง คือหลอดฟลูออเรสเซนต์ซึ่งเป็นหลอดที่เคลือบด้วยผงฟลูออเรสเซนต์ซึ่งทำจากผงฟอสเฟออร์ ภายในตัวหลอดจะบรรจุไอปรอทความดันต่ำเอาไว้ หลักการทำงานของหลอดชนิดนี้ คือ เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ขั้วหลอดจะเปล่งแสงอัลตราไวโอเลตออกมากระทบกับผงฟอสเฟออร์ทำให้เปล่งแสงได้ หลอดชนิดนี้จะมีอุณหภูมิสีอยู่ที่ประมาณ 4000 เคลวินซึ่งอยู่ในช่วงที่ให้แสงสบายตาสำหรับการทดสอบที่ 200 – 400 ลักซ์จากการพิจารณาจากรูปที่ 2.7 โดยหลอดชนิดนี้ที่ได้ทำการติดตั้งไว้อยู่แล้วในห้องทดลอง เนื่องจากเป็นห้องที่มีลักษณะเดียวกับห้องในอาคารสำนักงาน ส่วนหลอดที่ใช้ประกอบการทดสอบอีกชนิดคือหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ซึ่งเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดเล็กที่ผลิตขึ้นมาเพื่อจุดประสงค์ในการประหยัดพลังงานและใช้ทดแทนหลอดอินแคนเดสเซนต์ นอกจากนี้หลอดไฟชนิดนี้ยังมีอายุการใช้งานที่ยาวนานและให้ปริมาณแสงที่สูงกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ โดยอายุของหลอดชนิดนี้จะอยู่ในช่วง 5,000 – 8,000 ชั่วโมง ส่วนปริมาณแสงจะอยู่ช่วง 50 – 80 ลูเมนต่อวัตต์ ที่มีอุณหภูมิสี 6400 เคลวินซึ่งอยู่ในช่วงที่ให้แสงสบายตาสำหรับการทดสอบในระดับที่ 500 ลักซ์เป็นต้นไป โดยจะทำการติดตั้งเพิ่มสำหรับการปรับแสงให้เพิ่มหรือลดตามต้องการด้วยสวิตช์แบบดิมเมอร์

เมื่อทราบในส่วนของหลอดไฟซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดซึ่งเป็นปัจจัยหลักสำหรับการมองเห็นแล้ว อีกหนึ่งอุปกรณ์ที่จะส่งผลต่อสมรรถนะการทำงานซึ่งก็คือ จอคอมพิวเตอร์ โดยจอคอมพิวเตอร์จะสามารถปรับแต่งปริมาณแสงรวมถึงปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นได้โดยจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

## 2.4 จอคอมพิวเตอร์

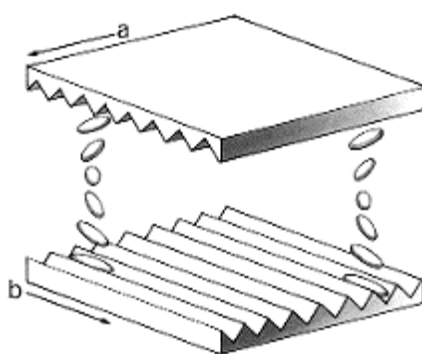
จอภาพนั้นเป็นอุปกรณ์แสดงผลที่สำคัญของคอมพิวเตอร์ เนื่องจากจากจอภาพนั้นจะเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสายตาตามที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น เพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงสาเหตุการเลือกใช้

จอภาพชนิด LED เป็นจอภาพสำหรับการทดลองนั้น จึงต้องทำการอธิบายถึงจอภาพชนิดต่างๆที่เคยใช้กันมาก่อนตั้งแต่ยุคที่เริ่มใช้คอมพิวเตอร์ โดยจอคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันนั้นจะประกอบไปด้วย จอภาพ CRT, LCD และ LED สำหรับในงานวิจัยนี้จะใช้หน้าจอภาพ LED เนื่องจากความนิยมใช้ในปัจจุบัน โดยจอภาพ LED นั้นจะเป็นจอที่พัฒนามาจากจอภาพ LCD ดังนั้นจึงจะต้องทำการศึกษาถึงรายละเอียดและหลักการทำงานของจอภาพ LCD ก่อนตามด้วยจอภาพ LED ดังนี้

#### 2.4.1 จอภาพประเภท LCD

จอภาพประเภทนี้เป็นจอภาพที่ถูกใช้งานมากที่สุดในบรรดาจอภาพที่มีขนาดแบน จอภาพ LCD ถูกใช้งานครั้งแรกกับคอมพิวเตอร์อยู่ 2 แบบ คือ คอมพิวเตอร์แบบ Passive Matrix และ Active Matrix

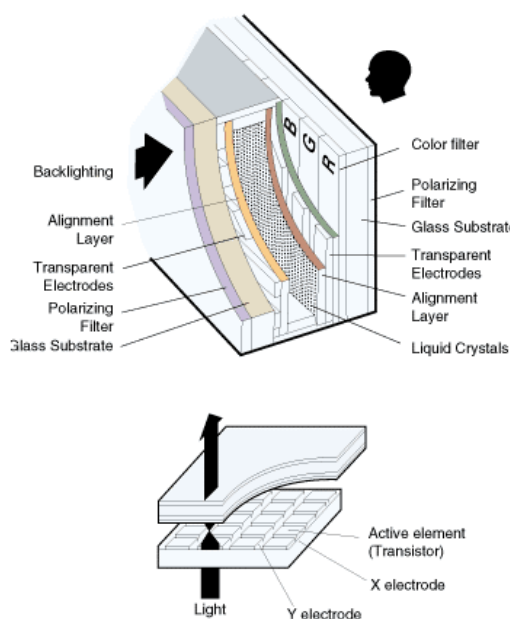
จอภาพทั้ง 2 แบบนั้น ตัวจอจะถูกสร้างรอบแหล่งกำเนิดของชั้นที่เต็มไปด้วยผลึกเหลว ซึ่งผลึกเหลวนั้นจะมีลักษณะโปร่งใสและมีคุณสมบัติทั้งของแข็งและของเหลว ซึ่งโมเลกุลที่ยาวของมันจะจัดตำแหน่งตัวเองให้ขนานไปซึ่งกันและกันเมื่อมีแสงผ่านเข้ามา ด้วยการจัดเรียงโมเลกุลอย่างสมบูรณ์แบบนี้เอง ผลึกเหลวสามารถวางตามพื้นผิวร่องประณีต เช่นแผ่นแกะสลักจากแก้วในจอ LCD แผ่นระนาบที่ทำการประกบกัน จะได้ร่องวิ่งไปในทิศทางที่ตั้งฉาก ร่องงานหนึ่งที่ถูกตัดเหนือได้และอื่น ๆ ไปทางทิศตะวันออกตะวันตก นี่เป็นสาเหตุที่ปลายด้านหนึ่งของโมเลกุลผลึกเหลวที่จะปรับเหนือได้และปลายอีกด้านหนึ่งเข้าแถวตะวันออกตะวันตกบังคับให้โมเลกุลที่จะบิด  $90^\circ$  ตามรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การบิดตัวของผลึกเหลวอย่างตั้งฉากกัน (Bangor, 2000)

กลไกการเกิดภาพเกิดโดยการใส่แรงดันไฟฟ้าทั่วผลึกเหลว การจัดเรียงตัวของโมเลกุลสามารถยืดตรงซึ่งจะทำให้แสงเลี้ยวผ่านผลึกนี้ไปได้เพื่อให้ได้แสงที่จะเคลื่อนผ่านตามโมเลกุล อันดับแรกแสงจะต้องมีการโพลาไรซ์ แสงโพลาไรซ์ประกอบด้วยคลื่นแสงทั้งหมดในระนาบเดียวกัน ที่

สามารถเห็นได้ในส่วนด้านบนของรูปที่ 2.8 แสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดหลอดฟลูออเรสเซนต์จะเข้าสู่แผ่นโพลาริซซ์ตัวแรกก่อนจะหักเห  $90^\circ$  โดยผลึกเหลวและจึงค่อยผ่านแผ่นโพลาริซซ์ตัวที่สองซึ่งจะทำให้เกิดภาพที่สามารถมองเห็นได้ ผลึกโมเลกุลที่ตรงและไม่บิดแสงเป็นสาเหตุที่ทำให้มันถูกบล็อกโดยแผ่นโพลาริซซ์ตัวที่สอง ซึ่งหมายความว่าเมื่อไม่ใส่แรงดันไฟฟ้าเข้าไป แสงจะผ่านไปและจะเกิดจุดมืด



รูปที่ 2.9 แสดงองค์ประกอบของจอภาพ LCD (Bangor, 2000)

ในการแสดงผลเป็นภาพสี จะมีสามเซลล์สำหรับแต่ละพิกเซลได้แก่ สีแดง ,สีเขียวและสีน้ำเงิน เพื่อผลิตสีที่หลากหลายมากขึ้น แต่ความเข้มที่แตกต่างกันของสีแดง, สีเขียว,และสีฟ้าจะถูกสร้างขึ้นโดยการใช้แรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกันกับผลึกของเหลว

จอภาพ LCD ที่ใช้ในปัจจุบันั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

#### 1. Dual-Scan Twisted Nematic (DSTN)

จะเป็นจอภาพ LCD แบบ Passive Matrix ซึ่งจะมีลักษณะที่ประกอบไปด้วยเลเยอร์จำนวนหลายชั้น เริ่มต้นจากชั้นแรกจะประกอบด้วยแผ่นแก้วเคลือบเมทัลออกไซด์ ซึ่งคุณสมบัติของมันจะมีลักษณะที่โปร่งแสงเพื่อที่คุณภาพของภาพที่ดี ด้านบนจะใช้โพลีเมอร์เคลือบพื้นผิวให้เป็นร่องบากเพื่อที่จะได้จัดเรียงโมเลกุลของผลึกเหลวให้ได้ตามทิศทางที่ต้องการ จะเรียกชั้นนี้ว่า Alignment Layer โดย CCFL จะเป็นแหล่งกำเนิดแสงให้หน้าจอภาพ จุดต่อของจอภาพ LCD ประเภทนี้คือ ความคมชัดของภาพต่ำและเวลาตอบสนองที่ช้าทำให้เกิดปัญหาเมื่อเราดูภาพที่เคลื่อนไหวเร็วๆส่งผลให้อาจเกิดภาพเบลอได้

## 2. Thin Film Transistor (TFT)

จอประเภทนี้ถูกประยุกต์มาจากจอภาพแบบ DSTN โดยการใช้ทรานซิสเตอร์เพิ่มเข้าไปเพื่อช่วยในการหักเหของแสงอย่างมีทิศทางและยังคอยควบคุมความเข้มแสงทั้งสีแดง เขียว และน้ำเงินในแต่ละพิกเซล โดยปกติแล้วจะใช้ทรานซิสเตอร์ 1 ตัวต่อ 1 พิกเซล โดยแต่ละตัวจะถูกเชื่อมโยงเข้าด้วยกัน มีตัวส่งสัญญาณคอยควบคุมอยู่สำหรับทุกๆ ช่องพิกเซล ส่งผลต่อการตอบสนองของภาพที่รวดเร็วยิ่งขึ้น

แต่ทั้งนี้แล้วจอภาพ LCD ก็ยังมีข้อจำกัดในด้านของการมองเห็นเมื่อทำการมองภาพในตำแหน่งที่ทำมุมประมาณ 45 องศาขึ้นไปจะไม่สามารถมองเห็นได้เนื่องจากตำแหน่งเซลล์ที่ถูกติดตั้งไว้อย่างถาวรไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ และแสงเมื่อเกิดการวิ่งผ่านแผ่นโพลารไรซ์ การกระจายแสงจะลดลงจึงเกิดความสว่างเมื่อมองภาพตรงเท่านั้น (Bangor, 2000)

### 2.4.2 จอภาพประเภท LED

คือ จอภาพประเภท LCD ที่ทำการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี โดยการใช้หลอด LED ซึ่งเป็นหลอดไดโอดซึ่งเปล่งแสงได้แม้ได้รับกระแสไฟที่เล็กน้อย โดยแสงที่เปล่งออกมาจะประกอบไปด้วยคลื่นความถี่เดียวและเฟสต่อเนื่องกัน มาแทนหลอด CCFL ของ Backlit จอภาพ LCD เนื่องจากจอภาพ LCD ต้องยิงแสง Backlit เพื่อการกำเนิดแสงนั่นเอง โดยหลอด LED จะประกอบด้วยแม่สีหลัก 3 สี คือ แดง เขียว และ น้ำเงิน (RGB) บิดตัวให้เกิดเป็นภาพต่างๆ ความเล็กของขนาดของจอภาพ LED จะส่งผลให้จอภาพมีความบางขึ้นจากจอภาพ LCD นอกจากนี้จอภาพ LED ยังเป็นจอภาพที่ให้คุณภาพของภาพที่คมชัดกว่าจอภาพ LCD สังเกตได้จากฉากที่มีภาพมืดปรากฏอยู่หรือฉากที่ต้องแสดงถึงระดับความสว่างของวัตถุหลายระดับ เนื่องจากมีค่าคอนทราสต์ ที่เพิ่มขึ้น สรุปแล้วประโยชน์ของจอภาพ LED ที่เห็นได้ชัดเจนจะเป็นด้านความร้อนที่ลดลงทำให้ประหยัดพลังงานมากขึ้นเนื่องจากเหตุผลด้านปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าที่กล่าวไปในข้างต้นจึงทำให้จอภาพ LED จึงเป็นที่นิยมในปัจจุบันนั่นเอง (Hawes et al., 2012 : 122)

ในด้านการแสดงผลของจอคอมพิวเตอร์แต่ละประเภทไม่ว่าจะเป็นผู้ผลิตยี่ห้อใดก็ตาม จะมีปัจจัยด้านพารามิเตอร์ซึ่งผู้ใช้งานจะต้องทำการศึกษาเพื่อที่จะได้ทำการปรับค่าหน้าจอบริเวณความชัดแจ้งทั้งด้านความสว่าง ความคมชัดหรือสีที่แสดงออกทางหน้าจอให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมภายในห้องทำงาน

โดยพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการตั้งค่าจอคอมพิวเตอร์มีดังนี้

#### 1. ค่าความสว่างหน้าจอ

คือ ค่าความสว่างหรือแสงที่ทำให้เห็นวัตถุมีหน่วยเป็นแคนเดลาต่อตารางเมตรซึ่งเป็นตัวแปรเดียวกันกับความสว่างที่ได้กล่าวไปในข้างต้น ซึ่งผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบค่าความสูงสุดของหน้าจอได้จากทางคู่มือของบริษัทผู้ผลิตหน้าจอได้

สำหรับการใช้งานจอภาพนั้นสามารถปรับได้โดย สเกลที่ใช้ปรับทางหน้าจอจะเป็น 0 – 100 หากผู้ใช้งานต้องการทราบถึงความสว่างสูงสุดของหน้าจอในหน่วยแคนเดลาต่อตารางเมตรสามารถตรวจสอบได้จากข้อมูลของผู้ผลิต และในงานวิจัยนี้ค่าความสว่างจะเป็นปัจจัยที่เลือกใช้สำหรับการทดสอบสมรรถนะการพิมพ์โดยจะเลือกปรับตามสเกลของหน้าจอโดยจะทำการเลือกค่า 0 กับ 100 ซึ่งเป็นค่าความสว่างต่ำสุดและสูงสุดของหน้าจอที่ปรับได้ และค่าความสว่างที่ 50 ซึ่งเป็นค่ากลางมาใช้ในการทดสอบ

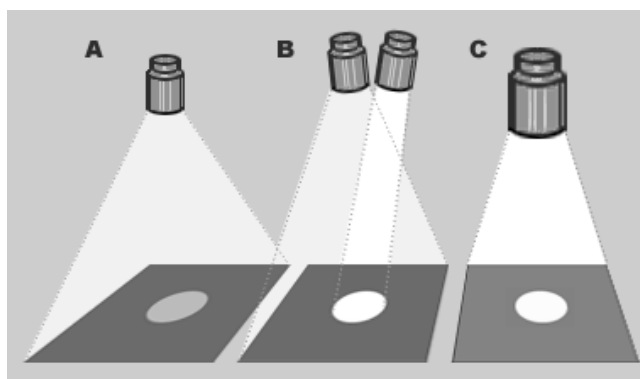
## 2. ค่าคอนทราสต์

คือ ความสว่างของวัตถุที่ต้องการมองเทียบกับความสว่างของสภาพแวดล้อมโดยรอบ มีความแตกต่างกันเล็กน้อยเพียงใด ค่าคอนทราสต์ที่มีค่าสูงยิ่งทำให้มองเห็นวัตถุได้ง่ายขึ้น แต่ต้องระวังในกรณีที่คอนทราสต์มีค่าสูงมากเกินไป นั่นอาจหมายความว่าวัตถุที่ทำการจ้องมองนั้นมีค่าความสว่างสูงกว่าวัตถุรอบข้าง ซึ่งก่อให้เกิดผลเสียต่อสายตาในด้านความล้าได้ ตัวอย่าง เช่น การจ้องมองคอมพิวเตอร์ หรือ ดูโทรทัศน์ในที่มีมืดนานๆ ค่าคอนทราสต์สามารถหาได้จากอัตราส่วน ของความแตกต่างของความสว่างระหว่างวัตถุกับสภาพแวดล้อม ดังสมการที่ 2.4.1

$$\text{คอนทราสต์} = ((L_2 - L_1)/L_1)*100 \quad \dots(2.4.1)$$

กำหนดให้  $L_1$  คือ ความสว่างของสภาพแวดล้อม

$L_2$  คือ ความสว่างของจอภาพ



รูปที่ 2.10 แสดงระดับลูมิแนนซ์คอนทราสต์ที่แตกต่างกัน

ที่มา <http://www.handprint.com/HP/WCL/IMG/lumcontrast.gif>

จากรูปที่ 2.10 นั้นจะสามารถอธิบายถึงความแตกต่างระหว่างของลูมิแนนซ์คอนทราสต์ได้ดี โดยพื้นที่ A จะแสดงให้เห็นถึง ความสว่างในพื้นที่ที่ใกล้เคียงกับความสว่างของวัตถุที่อยู่ตรงกลาง พื้นที่ B จะเป็นการเพิ่มความสว่างของพื้นที่โดยรอบขึ้นพร้อมกับการเพิ่มความสว่างของวัตถุที่อยู่ตรงกลางเพื่อให้เกิดลูมิแนนซ์คอนทราสต์สูงสุดนั่นเอง ซึ่งพื้นที่ B นี้จะเหมาะสำหรับงานแสดงหรือนิทรรศการที่ต้องให้วัตถุเป็นจุดเด่นมากที่สุด สำหรับพื้นที่ C นั้นจะใช้ความสว่างที่ใกล้เคียงกันทั้งวัตถุและสภาพแวดล้อมโดยรอบ (Macevoy, 2005) สำหรับการใช้อลูมิแนนซ์คอนทราสต์สำหรับการทำงานของจอคอมพิวเตอร์นั้นได้มีงานวิจัยของ Lin (2003) ทำการทดลองวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนความสว่างระหว่างพื้นหลังและสีของตัวอักษรที่ใช้จะมีผลต่อสมรรถนะการมองเห็นได้อย่างไร สำหรับงานวิจัยนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองย่อย โดยการทดลองแรกจะใช้ปัจจัยด้านค่าความสว่างเป็น 90 และ 45 แคนเดลาต่อตารางเมตร สำหรับพื้นหลัง ส่วนตัวอักษรใช้ 15 แคนเดลาต่อตารางเมตร ส่วนสีตัวอักษรที่ใช้จะมี 7 สีได้แก่ แดง, เขียว, น้ำเงิน, เหลือง, ฟ้ามอเขียว, ม่วง, และเทา วิธีการทดลองที่ใช้จะเป็นการให้เขียนตัวอักษรที่ปรากฏขึ้นบนหน้าจอและพิจารณาถึงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของตัวอักษรที่เขียนใส่กระดาษ ผลการทดสอบสรุปว่า ค่า อัตราส่วนความสว่างจะมีผลต่อสมรรถนะการมองเห็นโดยการใช้พื้นหลังความสว่าง 90 แคนเดลาต่อตารางเมตร จะให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องโดยเฉลี่ยที่ 67.5 ซึ่งมากกว่าการใช้พื้นหลังที่ 45 แคนเดลาต่อตารางเมตรที่มีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง โดยเฉลี่ยที่ 64.7 ส่วนการทดลองที่ 2 จะทดสอบเหมือนการทดลองแรกโดยใช้พื้นหลังมีอัตราส่วนความสว่างที่ 90 และ 45 แคนเดลาต่อตารางเมตร ตัวอักษรใช้ 15 และ 30 แคนเดลาต่อตารางเมตร ส่วนสีตัวอักษรจะใช้เหมือนการทดลองแรกเพียงแต่ตัดสีน้ำเงินออกไป ผลการทดสอบสรุปว่าค่าอัตราส่วนความสว่างของพื้นหลังกับตัวอักษรจะมีผลต่อสมรรถนะการมองเห็น แต่สีตัวอักษรนั้นไม่มีผล โดยการใช้ค่าอัตราส่วนความสว่างของพื้นหลัง 90 แคนเดลาต่อตารางเมตรกับตัวอักษรที่ 15 แคนเดลาต่อตารางเมตรจะให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง สำหรับการทดลองสุดท้ายจะทดสอบเหมือนกับสองการทดลองข้างต้นโดยใช้พื้นหลังมีอัตราส่วนความสว่างที่ 90 และ 45 แคนเดลาต่อตารางเมตร ตัวอักษรใช้ 15, 30 และ 45 แคนเดลาต่อตารางเมตร ส่วนสีจะใช้เพียงแค่สามสีคือ สีเหลือง ม่วงและ น้ำเงินอมเขียว ผลการทดสอบสรุปว่า ค่าอัตราส่วนความสว่างสูงสุดของพื้นหลังกับตัวอักษรที่ 90/15, 90/30, 45/15 จะมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องสูงสุดที่ 67.2, 65.1 และ 64.9 ตามลำดับ และสีตัวอักษรทั้ง 7 สีที่ใช้จะไม่มีผลต่อสมรรถนะการมองเห็นจากการทดสอบทางสถิติ แต่สำหรับค่าอัตราส่วนความสว่างสูงสุดของพื้นหลังกับตัวอักษรที่ 90/45, 45/30, 45/45 โดยสีม่วง สีฟ้ามอเขียว และสีเหลืองจะให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องจากมากไปน้อยตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าค่าอัตราส่วนความสว่างของพื้นหลังกับตัวอักษรมีผลต่อสมรรถนะการมองเห็น ส่วนสีตัวอักษรนั้นจะมีผลก็ต่อเมื่อใช้ค่าอัตราส่วนความสว่างสูงสุดของพื้นหลังกับตัวอักษรที่ 90/45, 45/30, 45/45 โดยการใช้

ค่าอัตราส่วนความสว่างของพื้นหลังกับตัวอักษรยิ่งใช้สูงมากจะยิ่งทำให้สมรรถนะการมองเห็นเพิ่มขึ้นตามซึ่งก็คือการใช้ลูมิแนนซ์คอนทราสต์ที่สูงสุดนั่นเอง

จากตัวอย่างงานวิจัยที่ได้กล่าวมาทำให้ปัจจัยด้านค่าลูมิแนนซ์คอนทราสต์ของจอภาพที่จะใช้ในงานวิจัยจะถูกควบคุมให้คงที่ตลอดการทดลองโดยจะเลือกใช้ค่าที่สูงสุดซึ่งก็คือการปรับสเกลของลูมิแนนซ์คอนทราสต์ที่หน้าจอให้อยู่ในระดับ 100 นั่นเอง

### 3. อัตราส่วนคอนทราสต์

คือ อัตราส่วน "สีดำที่ดำที่สุดและสีขาวที่ขาวที่สุด" เช่น อัตราส่วน 1000:1 หมายความว่า ค่าความสว่างของสีขาวที่ขาวสุด : ค่าความสว่างของสีดำที่ดำสุด โดยอาจจะวัดค่าความสว่างของสีขาวได้ 100 fL : ค่าความสว่างของสีดำได้ 0.1 fL ดังนั้นผลออกมาจึงเท่ากับ  $100\text{fL} : 0.1\text{fL} \Rightarrow 1000:1$  (fL = Foot-Lambert หมายถึง หน่วยวัดความสว่าง) จากรูปที่ 2.10 นั้นจะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างกันระหว่างค่าอัตราส่วนคอนทราสต์ของจอภาพทั้ง 3 จอ ยิ่งจอภาพชนิดใดมีค่าอัตราส่วนนี้สูงก็จะยิ่งทำให้ภาพที่มีสีดำนั้นแสดงออกมาได้คมชัดขึ้นนั่นเอง ดังจะเห็นได้จากจอภาพด้านมุมขวาล่างซึ่งเป็นจอที่มีค่าอัตราส่วนคอนทราสต์สูงสุด นั่นเอง (Lcdthailand, 2014 : ออนไลน์)



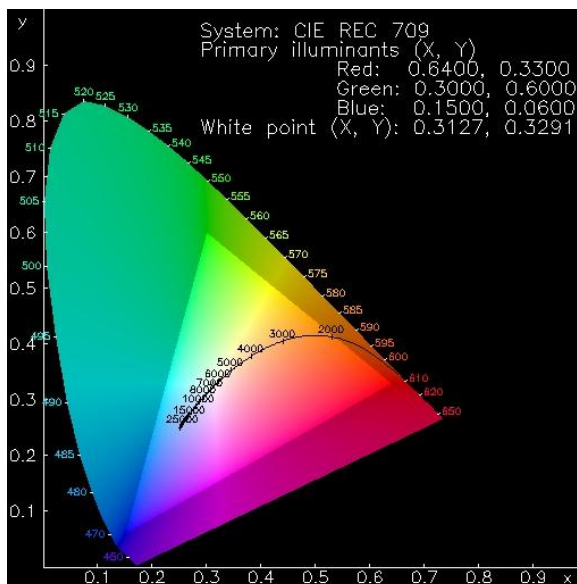
รูปที่ 2.11 เปรียบเทียบการแสดงผลของจอทั้ง 3 รุ่น

ที่มา [http://www.lcdtvthailand.com/article/detail.asp?param\\_id=1](http://www.lcdtvthailand.com/article/detail.asp?param_id=1)

### 4. ระบบสีของ CIE (Colorimetry)

การพิจารณาในเรื่องสีของหลอดหรือสีของวัตถุที่มองเห็นเป็นเรื่องสำคัญในเรื่องของแสง ระบบการบอกสีของ CIE จึงได้นำมาใช้สำหรับการบอกสี เนื่องจากไม่สามารถบอกสีตามความรู้สึกที่เห็นเช่น สี

เขียวอ่อน สีแดงเข้ม ระบบการบอกสีแบบ CIE จึงใช้การบอกสีในรูปของ XYZ โดยจะพิจารณาจาก Chromaticity Diagram ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ไดอะแกรมสีของ CIE (Chromaticity Diagram)

ที่มา <http://www.everredtronics.com/images/CIE%20REC%20709.jpg>

จากไดอะแกรมที่เห็นจะแสดงถึงรูปสามเหลี่ยมที่มีมุมทั้งสามเป็นสีม่วง เขียว และ แดง โดยเรียงสีตั้งแต่ 380 – 780 นาโนเมตร สีที่ผสมกันตรงกลางจะได้ออกมาเป็นสีขาว จากรูปที่ 2.12 นี้หากพิจารณาจากจุด X และ Y สีขาวจะอยู่ที่จุด (0.3127, 0.3291) โดยจะมีเส้นบอกสีด้วยค่าอุณหภูมิสี (Color Temperature) ตั้งแต่ 2000 – 25000 เคลวิน เส้นตรงกลางจะเรียกว่า เส้นโลกัส (Locus) ซึ่งเส้นนี้จะหมายถึง อุณหภูมิสีที่เกิดจากการเผาวัตถุดำ เช่น สีที่อุณหภูมิ 6000 หมายถึง สีที่จะมองเห็นเมื่อทำการเผาวัตถุดำที่อุณหภูมิ 6000 เคลวิน สีของแสงจะแปรผันตามอุณหภูมิสีที่เปลี่ยนแปลง โดยปกติแล้วค่ามาตรฐานของอุณหภูมิสีที่ใช้กันที่ 6500 เคลวินซึ่งเป็นค่าที่ทำให้ได้แสงขาวซึ่งเหมาะกับการแสดงผลกับระบบสี sRGB ที่ใช้กันเป็นมาตรฐานสำหรับการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ทั่วไป โดยในงานวิจัยนี้ก็จะเลือกใช้ค่าอุณหภูมิสีของหน้าจออยู่ที่ 6500 เคลวินด้วยเช่นเดียวกัน (ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2550)

## 5. ค่าแกมมา

คือ ค่าที่บ่งบอกถึงอัตราส่วนระหว่างความสว่างของภาพที่ปรากฏบนหน้าจอคอมพิวเตอร์กับภาพที่ปรากฏขึ้นจริง ค่าแกมมานี้จะถูกตั้งขึ้นมาให้เป็นตัวปรับแก้เพื่อให้ภาพที่ปรากฏบนหน้าจอมีความสมจริงมากยิ่งขึ้นเหมาะสำหรับผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ที่ทำงานเกี่ยวกับการแต่งภาพหรืองานที่ต้องทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของสี สำหรับค่าแกมมาที่มีค่าน้อยกว่า 1 จะเรียกว่า Encoding



gamma ซึ่งค่าแกมมาชนิดนี้จะเป็นการชดเชยให้กับการรับแสงสีของดวงตามนุษย์ สำหรับค่าแกมมาที่มากกว่า 1 นั้นจะเรียกว่า Decoding gamma โดยแกมมาสองค่านี้จะเป็นส่วนกลับซึ่งกันและกัน การปรับค่าแกมมาให้น้อยกว่า 1 จะทำให้ภาพที่ปรากฏออกไปในโทนสว่างมากขึ้น สำหรับระบบปฏิบัติการวินโดวส์นั้นจะมีการแนะนำให้ใช้ค่าแกมมาที่ 2.2 สำหรับหน้าจอภาพ LCD เนื่องมาจากระบบวัสดุที่ใช้จะเป็นแบบ sRGB ซึ่งจะใช้ค่า Decoding gamma ซึ่งมีค่าใกล้เคียงหรือประมาณได้เท่ากับ 2.2 ซึ่งจะเป็นปัจจัยควบคุมที่งานวิจัยนี้เลือกใช้ เนื่องมาจากเป็นการทดสอบสมรรถนะการพิมพ์งานซึ่งไม่มีอิทธิพลของการรับแสงสีของภาพเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ต้องควบคุมปัจจัยนี้ให้คงที่ตลอดการทดลองทุกสภาวะนั่นเอง (Olson, 1995)

## 2.5 อุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ในงานวิจัย

### 2.5.1 ลักซ์มิเตอร์ (Lux meter)

คือ เครื่องวัดความส่องสว่าง โดยจะวัดในรูปของความเข้มของการส่องสว่าง หรือ กำลังส่องสว่างของแสงที่ตกกระทบพื้นที่หนึ่ง มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อตารางเมตร หรือ ลักซ์ เครื่องวัดแสงแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ 1. ชนิดแสดงผลด้วยเข็มชี้ 2. ชนิดแสดงผลด้วยตัวเลข สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้ลักซ์มิเตอร์ชนิดแสดงผลด้วยตัวเลขซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ลักซ์มิเตอร์ชนิดแสดงผลด้วยตัวเลข

### หลักการทํางาน

เมื่อแสงส่องลงมากระทบส่วนรับแสงหรือโฟโตเซลล์ซึ่งมีองค์ประกอบด้วยธาตุที่ไวต่อแสงสูง เช่น โซเดียม โปแทสเซียม หรือ ซีเซียม จะเกิดแรงดันไฟฟ้าขนาดต่ำที่เรียกว่า โฟโตอิมิตชันจ่าย อิเล็กตรอนออกไป กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับโฟโตเซลล์และไหลผ่านขดลวด เคลื่อนที่ของไมโครแอมมิเตอร์ (รุ่งโรจน์ หนูชลี, 2557 : ออนไลน์)

#### 2.5.2 เครื่องปรับสีหน้าจอ (Colorimeter) ยี่ห้อ Spyder 4Elite

เป็นเครื่องมือสำหรับการสอบเทียบ (Calibrate) หน้าจอคอมพิวเตอร์ ให้มีความใกล้เคียงกับ ไฟล์ต้นฉบับ เพื่อที่เวลาพิมพ์ภาพออกมาจะได้ใกล้เคียงภาพที่เห็นในหน้าจอดังรูปที่ 2.14



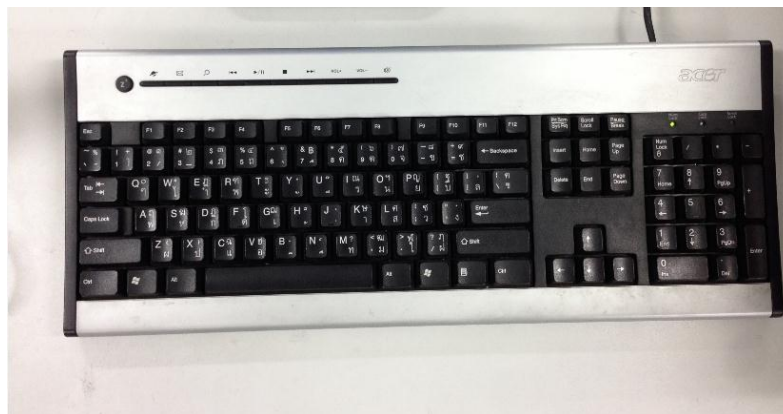
รูปที่ 2.14 Spyder 4Elite

เครื่องมือชนิดนี้สามารถปรับตั้งค่าตัวแปรที่มีผลต่อการมองเห็นบนจอภาพได้ 3 ชนิด คือ ค่า แกรมมา, อุณหภูมิสี, ความสว่างจอภาพ

#### 2.5.3 แป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์

แป้นพิมพ์คอมพิวเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะทั่วไปเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีหน้าที่ในการรับ ข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์โดยการส่งข้อมูลจากแป้นพิมพ์ เมื่อกดแป้นพิมพ์ เครื่องคอมพิวเตอร์จะมี ระบบประมวลผลโดยการรับข้อมูลจากแป้นพิมพ์แล้วทำการเปลี่ยนเป็นรหัส 7 หรือ 8 บิตเข้าสู่ คอมพิวเตอร์ผ่านทางขั้วต่อของแป้นพิมพ์ทั้งแบบ 6-pin IBM PS/2 mini-DIN connector ซึ่งเป็น ขั้วต่อขนาดเล็กหรือจะเป็น 4-pin USB connector ซึ่งเป็นชนิดที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน นอกจากนี้ ยังมีแบบ internal connector ซึ่งเป็นขั้วต่อแบบภายในซึ่งพบได้ในคอมพิวเตอร์แบบพกพาโดยจะใช้ ไมโครโปรเซสเซอร์จะควบคุมการทำงานของแป้นพิมพ์ สำหรับตำแหน่งของอักขระภาษาไทยนั้นจะมีการใช้แป้นยกแคร่ (shift) สำหรับช่วยกดอักขระที่อีกตัวหนึ่งที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากภาษาไทย นั้นมีอยู่จำนวนมาก ส่วนอักขระภาษาอังกฤษนั้นแป้นยกแคร่ใช้สำหรับช่วยในการพิมพ์อักขระตัวใหญ่

เท่านั้น สำหรับแป้นพิมพ์ที่จะใช้สำหรับการทดสอบนั้นจะใช้แป้นพิมพ์แบบมาตรฐานดังรูปที่ 2.15 (พงศภัทร อุไรวงศ์, 2556)



รูปที่ 2.15 แป้นพิมพ์มาตรฐาน

## 2.6 การจัดสภาพห้องทำงานตามหลักการยศาสตร์

เนื่องมาจากการนั่งทำงานหน้าจอคอมพิวเตอร์เป็นระยะเวลานานก่อให้เกิดอาการเมื่อยล้า แล้วทำให้ร่างกายบาดเจ็บแก่หลัง แขน ไหล่และต้นคอได้ โดยมีสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บ ดังนี้

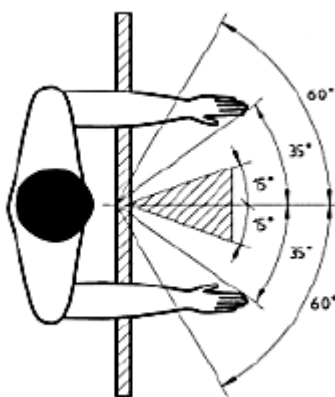
1. การจัดวางท่าทางของลำตัว ต้นคอและแขน
2. การเคลื่อนไหวที่ผิดท่าทาง
3. การใช้ระดับแสงสว่างที่ไม่เหมาะสม รวมถึงปริมาณแสงที่จ้าเกิน
4. ตำแหน่งการจัดวางแป้นพิมพ์ไม่เหมาะสม
5. พื้นที่การทำงานที่ไม่เพียงพอ
6. ที่สำหรับวางขาและเท้าไม่เพียงพอ
7. ปัญหาที่เกิดจากการใช้ที่วางแขนไม่เหมาะสม
8. ปัญหาที่เกิดจากเก้าอี้ที่มีพนักพิง การปรับระดับความสูงไม่เหมาะสม

จากสาเหตุเหล่านี้จึงต้องมีการจัดสภาพแวดล้อมและสถานีนงานสำหรับการปฏิบัติงานหน้าจคอมพิวเตอร์ตามหลักการยศาสตร์เพื่อเพิ่มสมรรถภาพการทำงานของผู้ปฏิบัติงานหน้าจคอมพิวเตอร์ให้สามารถทำงานได้ยาวนานมากขึ้นภายใต้ความปลอดภัย สำหรับข้อแนะนำในการจัดสภาพแวดล้อมและสถานีนงานจะกล่าวถึงโดยเริ่มจากการจัดท่าทางสำหรับการนั่งทำงานหน้าจคอมพิวเตอร์รายละเอียดด้านระยะห่างระหว่างดวงตากับหน้าจคอมพิวเตอร์ มุมของการมอง

ตัวอักษรที่ใช้ และการจัดวางอุปกรณ์ด้านคอมพิวเตอร์ต่างๆ เช่น จอภาพ แป้นพิมพ์ เมาส์ รวมถึงเฟอร์นิเจอร์สำหรับการนั่งทำงาน เช่น โต๊ะ เก้าอี้ สุกท้ายจะเป็น (Smith, Carayon, และ Cohen, 2009)

### 2.6.1 การจัดทำทางสำหรับการนั่งทำงานหน้าจอคอมพิวเตอร์

การจัดวางท่าทางเพื่อการเตรียมพร้อมในการทำงานจะต้องจัดให้อยู่ในท่ามาตรฐานเพื่อเป็นจุดอ้างอิงในการวัดระยะต่างๆ เช่น ระยะห่างระหว่างดวงตากับหน้าจอคอมพิวเตอร์ เป็นต้น โดยท่ามาตรฐานที่ควรปฏิบัติตามจะอ้างอิงจากรูปที่ 2.16 ดังนี้

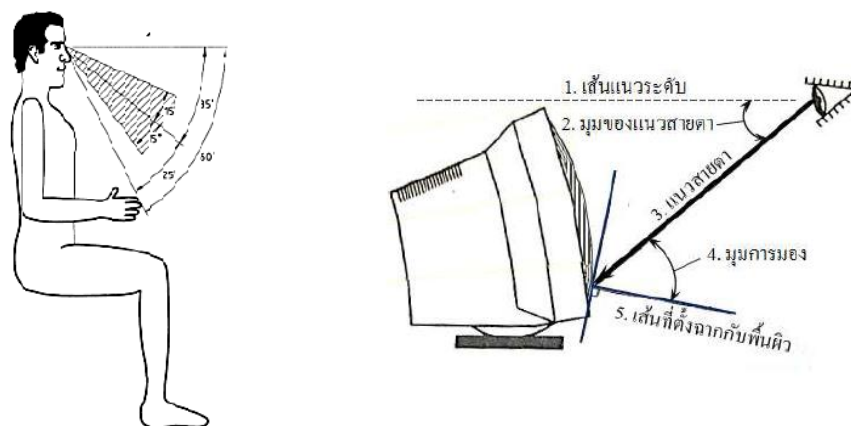


รูปที่ 2.16 ท่าอ้างอิงสำหรับออกแบบท่านั่ง (ISO, 1998)

ท่าที่นั่งที่ถูกต้องนั้นลำตัวจะต้องตั้งฉากกับช่วงต้นขาซึ่งอยู่ในแนวระดับ ขาสั้นส่วนล่างวัดจากหัวเข่าลงมาถึงข้อเท้าจะจัดวางอยู่ในแนวตั้ง แขนส่วนบนจะจัดวางอยู่ในแนวตั้ง ส่วนแขนส่วนล่างจะจัดวางอยู่ในแนวระดับ

### 2.6.2 มุมและระยะในการมอง

มุมสำหรับการมองหน้าจคอมพิวเตอร์นั้นเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญสำหรับการจัดตำแหน่งของจอคอมพิวเตอร์ เนื่องจากมุมของหน้าจอนั้นจะรับผลกระทบโดยตรงจากแสงไฟภายในห้องที่ส่องลงมากระทบต่อดวงตาของผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ จากรูปที่ 2.16 มุมของแนวสายตา (Line of sight angle) ที่ใช้ตามหลักการยศาสตร์ที่แนะนำควรอยู่ในช่วง  $35 \pm 15$  องศาวัดจากแนวระดับ ส่วนมุมการมอง (Angle of view) ซึ่งวัดจากเส้นที่ตั้งฉากกับพื้นผิวจอกับแนวสายตาจะมีค่าประมาณที่เหมาะสมอยู่ที่ 0-40 องศา สามารถปรับเพื่อลดแสงสะท้อนจากหน้าจอได้ตามความเหมาะสม



รูปที่ 2.17 มุมต่างๆที่ใช้ในการมองจอคอมพิวเตอร์ (ISO, 1998)

หากเป็นการใช้คอมพิวเตอร์ในสภาวะปกติที่ตั้งจอในแนวตั้งลักษณะดังรูปที่ 2.17 นี้ จะต้องพิจารณาถึงมุมเอียงของหน้าจอโดยช่วงที่เหมาะสมควรสำหรับการทำงานทั่วไปให้ปรับอยู่ระหว่าง 5 – 20 องศาจากแนวตั้งโดยเอียงไปด้านหลังเพื่อหลีกเลี่ยงแสงตกกระทบที่เกิดจากดวงไฟภายในห้องทำงาน แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้จะทดสอบหาผลกระทบเพิ่มเติมซึ่งมาจากการใช้คอมพิวเตอร์ที่มีมุมเอียงของหน้าจอเกินช่วงที่กำหนดว่าหากมีการใช้งานนอกจากสภาวะที่ใช้กันอยู่ตามปกติแล้วจะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะในการพิมพ์อย่างไร ดังนั้นมุมที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ทั้งหมดได้แก่ มุม 0 องศา โดยจะเป็นมุมที่หน้าจออยู่ในแนวตั้ง มุม 10 และ 20 องศา ซึ่งเป็นช่วงปกติของการใช้งานในอาคารสำนักงานทั่วไป สำหรับมุมที่จะทำการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อที่จะได้เป็นแนวทางสำหรับผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ได้พิจารณาเลือกใช้ คือ มุม 30 ,50 และ 70 ซึ่งปัจจุบันได้มีการออกแบบจอภาพที่สามารถรองรับมุมการเอียงได้ถึง 70 องศา เช่น จอภาพยี่ห้อ Viewsonic จากประเทศสหรัฐอเมริกา ดังรูปที่ 2.18 สำหรับการใช้งานมุมการเอียงที่มากถึงขนาดนั้นนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะงานบางประเภท เช่น งานแคชเชียร์ในร้านอาหารดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.18 จอภาพยี่ห้อ viewsonic ที่ออกแบบให้รองรับการเอียงได้ถึง 70 องศา

ที่มา <http://www.viewsonic.com/us/td2740.html>

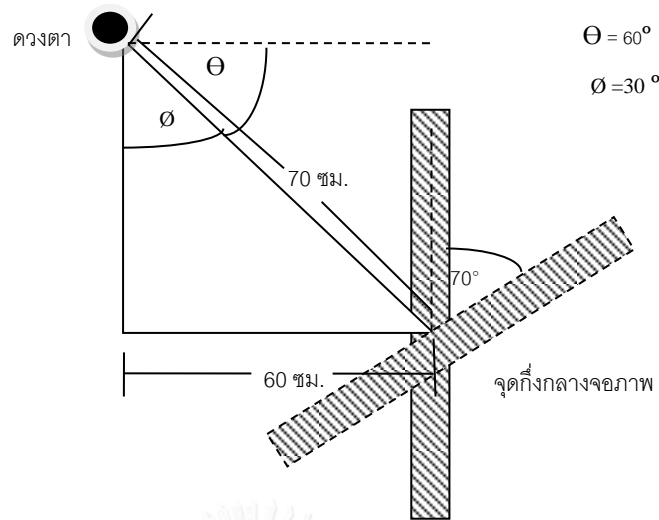


รูปที่ 2.19 การใช้งานคอมพิวเตอร์ในรูปแบบที่มุมของการทำงานเอียงในระดับ 70 องศา

ที่มา [http://2.bp.blogspot.com/-](http://2.bp.blogspot.com/-RnoG7dHRdjY/UASnGzPFkSI/AAAAAAAAADA/8zPAI5x2Cm0/s1600/cashier.jpg)

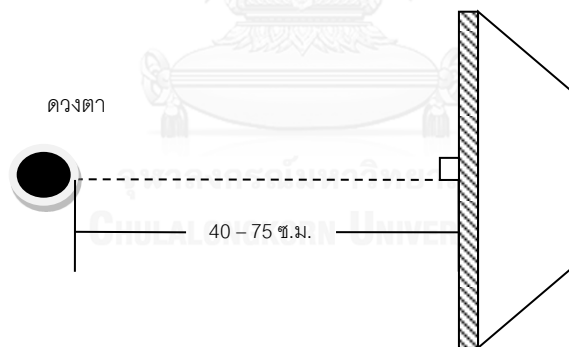
[RnoG7dHRdjY/UASnGzPFkSI/AAAAAAAAADA/8zPAI5x2Cm0/s1600/cashier.jpg](http://2.bp.blogspot.com/-RnoG7dHRdjY/UASnGzPFkSI/AAAAAAAAADA/8zPAI5x2Cm0/s1600/cashier.jpg)

สำหรับการเลือกทดสอบมุมเอียง 70 องศา นั้น จะพิจารณาจากมุมที่เอียงออกจากแนวตั้งซึ่งอยู่ในช่วงที่ผู้ทดสอบยังมองเห็นอยู่มากที่สุดซึ่งก็คือ 70 องศาโดยจะคำนวณจากหลักการตรีโกณมิติ ดังรูปที่ 2.20 โดยวัดระยะจากจุดกึ่งกลางจอภาพมาถึงดวงตาได้ประมาณ 70 เซนติเมตร และวัดระยะจากลำตัวของผู้ทดสอบไปยังจุดกึ่งกลางจอภาพได้ประมาณ 60 เซนติเมตรโดยจะทำการควบคุมความสูงจากระดับแนวสายตาไปสู่พื้นประมาณ 120 เซนติเมตรกับผู้เข้าทดสอบทุกคน จากนั้นจึงทำการคำนวณหามุม  $\theta$  ได้ประมาณ 60 องศา ทำให้มุม  $\theta$  ที่คำนวณได้นั้นมีค่าประมาณ 30 องศา ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับรูปที่ 2.14 มุม  $\theta$  นี้จะเป็นมุมของแนวสายตาที่ถูกกำหนดให้อยู่ในช่วงของค่าประมาณ  $35 \pm 15$  องศาพอดี ส่วนมุมที่มีค่ามากกว่า 70 องศาขึ้นไปจะทำให้ผู้ทดสอบไม่สามารถมองเห็นตัวอักษรที่จอภาพได้งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้มุม 70 องศาเป็นขอบเขตบนของการทดสอบสำหรับมุม 30 และ 50 นั้นงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ระยะห่างจากมุมขอบเขตบน 20 องศา จึงทำให้ได้มุมที่จะทดสอบที่อยู่นอกช่วงการใช้งานปกติคือ มุม 30, 50, และ 70 องศา



**รูปที่ 2.20** การคำนวณหามุมของแนวสายตาสำหรับการทดลอง

ในส่วนของระยะในการมองซึ่งจะวัดจากความห่างระหว่างดวงตากับจอคอมพิวเตอร์ จะวัดจากจุดกึ่งกลางจอมาถึงดวงตาดังรูปที่ 2.21 ซึ่งมีระยะอยู่ในช่วงประมาณ  $600 \pm 150$  มิลลิเมตร และไม่ควรมีน้อยไปกว่า 400 มิลลิเมตร หรือจะสรุปเป็นช่วงได้ระหว่าง 40 – 75 เซนติเมตร

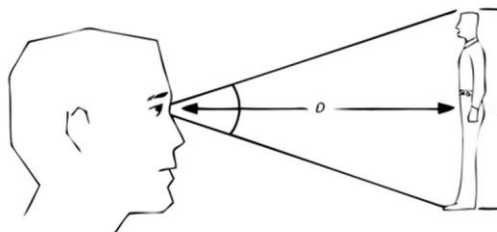


**รูปที่ 2.21** ระยะที่เหมาะสมสำหรับการมองจอคอมพิวเตอร์

สำหรับงานวิจัยนี้ระยะห่างการมองในการเอียงจอภาพที่มุม 70 องศาจะอยู่ประมาณ 70 เซนติเมตรวัดจากดวงตาไปสู่จุดศูนย์กลางจอภาพแต่เมื่อเอียงจอภาพออกไปอีกทำให้ระยะห่างระหว่างดวงตาถึงจอภาพเกิน 75 เซนติเมตรซึ่งเป็นระยะที่มากกว่าข้อแนะนำจึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่เลือกใช้มุม 70 องศาเป็นขอบเขตบนของการทดลอง

นอกจากระยะห่างระหว่างดวงตากับจอคอมพิวเตอร์ที่ต้องพิจารณาแล้วปัจจัยอีกอย่างที่เขาเกี่ยวข้องกับการใช้งานคอมพิวเตอร์นั่นก็คือ ปัจจัยด้านขนาดของตัวอักษร โดยขนาดของตัว

อักขระจะมีความสัมพันธ์กับมุมในการมองเห็นตามรูปที่ 2.22 ซึ่งความสูงของตัวอักขระที่เหมาะสมจะอยู่ในมุมการมอง (visual angle) 20 – 22 ลิปดา หรือจะใช้หน่วย minutes of arc เป็นตัวแทนได้ สำหรับสูตรในการคำนวณมุมการมองจะหาได้จากสมการที่ 2.6.1



**รูปที่ 2.22** ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของวัตถุกับระยะในการมอง  
ที่มา : <http://www.dsource.in/course/display-design/module-3/perceptual/images/800/01.jpg>

$$\theta_{\min} = [(57.3)(60)(H)]/D = [(3483)(H)]/D \quad \dots(2.6.1)$$

การหาค่ามุมในการมองนั้นนอกจากการใช้สูตรคำนวณทางตรีโกณมิติแล้ว ยังสามารถใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตัวอักขระกับระยะห่างการมอง ได้อีกด้วย ตัวอย่างเช่นระยะการมองที่ 500 มิลลิเมตร ความสูงของอักขระที่แสดงผลควรเป็นขนาด 2.75 - 3.20 มิลลิเมตร แต่ไม่ควรจะน้อยกว่า 2.30 มิลลิเมตรโดยความสูงของอักขระนั้นสามารถวัดได้จากจอภาพเลย สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ขนาดตัวอักขรขนาด 4.2 มิลลิเมตร ซึ่งเทียบเท่ากับขนาดตัวอักขร 12 จุด (1 จุด = 0.3528 มิลลิเมตร) (ISO, 1998)

### 2.6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการจัดอุปกรณ์อื่นๆในสถานงาน

#### เก้าอี้ทำงาน

ควรเลือกใช้เก้าอี้ที่ช่วยทำให้การนั่งทำงานรู้สึกสะดวกสบายและช่วยให้ร่างกายสามารถเคลื่อนไหวได้ดีขึ้นเพื่อความสะดวกในการเปลี่ยนท่าทาง ปัจจัยสำหรับการเลือกเก้าอี้เพิ่มเติมมีดังนี้

- 1) ความสูงของที่นั่ง : ควรจะปรับได้ให้รองรับผู้ใช้งานที่มีความยาวของช่วงขาที่แตกต่างกัน โดยความสูงจะวัดจากท้องขาบวกกับความหนาของรองเท้า
- 2) ความลึกของที่นั่ง : ควรจะออกแบบให้สั้นกว่าความยาวจากช่วงก้นส่วนนอกสุดของผู้ใช้งานไปยังใต้ท้องขา ความลึกของที่นั่งจะมีผลให้การนั่งของผู้ใช้งานโดยทำให้หลังไม่ชิดกับพนักพิงได้หากช่วงเบาะมีความยาวมากเกินไป หากที่นั่งไม่สามารถปรับเบาะรองได้อาจพิจารณาใช้หมอนหนุนหลังแทน



- 3) ความกว้างของที่นั่ง : ควรพิจารณาเลือกเก้าอี้ที่มีความกว้างมากกว่าความกว้างของสะโพกผู้ใช้งาน เก้าอี้ควรจะมีที่พักแขนด้วย
- 4) พนักพิงหลัง : ควรจะรองรับส่วนหลังได้อย่างเพียงพอ ส่วนที่นูนที่สุดของสะโพกจะเป็นระดับต่ำสุดของพนักพิงหลัง นอกจากนี้พนักพิงหลังอาจจะมีการออกแบบให้ปรับระดับเพื่อให้รองรับกับขนาดร่างกายของผู้ใช้งานได้
- 5) ที่พักแขน : ควรเลือกเก้าอี้ที่ใช้ที่พักแขนแบบถอดเก็บได้ในกรณีที่เกิดขบวนการทำงานหรือจำกัดท่าทางของผู้ใช้งาน (ISO, 1998)

#### โต๊ะ

หากเป็นไปได้ควรเลือกโต๊ะที่ปรับระดับความสูงได้ ในกรณีที่ใช้โต๊ะที่ไม่สามารถปรับระดับความสูงได้ ความสูงโต๊ะที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ  $73 \pm 2.5$  เซนติเมตร ความลึกควรอยู่ที่ประมาณ 76 เซนติเมตร เป็นอย่างต่ำเพื่อการจัดวางแขนพิงพื้และจอภาพจะได้อยู่ในหน้าผู้ปฏิบัติงานพอดี หากความลึกโต๊ะไม่เพียงพอต่อการจัดวาง อาจเลือกใช้จอภาพแบบแบนแทนได้ นอกจากนี้ควรที่จะมีพื้นที่สำหรับวางขาได้เพียงพอโดยมีความกว้างขั้นต่ำ 50 เซนติเมตรขึ้นไป

#### แป้นพิมพ์

การวางตำแหน่งของแขนส่วนบนควรจัดวางอย่างธรรมชาติ ข้อศอกและแขนส่วนบนวางตั้งฉากกัน ข้อมือและท่อนแขนก็ต้องวางบนแป้นพิมพ์เป็นธรรมชาติเพื่อให้เกิดความเค้นที่กล้ามเนื้อและข้อต่อน้อยที่สุด ในกรณีที่พื้นผิวโต๊ะอยู่สูงมากจะก่อให้เกิดความล้ากับท่อนแขนและไหล่ แต่ถ้าพื้นผิวโต๊ะที่อยู่ต่ำเกินไปก็จะก่อให้เกิดอาการล้าที่กล้ามเนื้อที่หลังและต้นแขนได้เช่นกัน สำหรับกรณีที่เกิดอาการบาดเจ็บจากระบบกล้ามเนื้อและกระดูกสามารถนำแป้นพิมพ์การยศาสตร์มาใช้แทนแป้นพิมพ์ชนิดปกติที่ใช้งานได้

#### เมาส์และอุปกรณ์นำเข้าข้อมูลอื่นๆ

อุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่ เมาส์ แท็บเล็ต เป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะที่หลากหลายในแง่ของรุ่นและการออกแบบ เมาส์บางประเภทถูกออกแบบสำหรับผู้ใช้งานมือซ้าย ดังนั้นผู้ใช้งานจึงต้องระมัดระวังด้านการจัดตำแหน่งของอุปกรณ์เหล่านี้ การจับอุปกรณ์อย่างเมาส์ค้างไว้เป็นระยะเวลานานก่อให้เกิดอาการเมื่อยล้าและมีความเสี่ยงที่ทำให้ไหล่และข้อมือที่ต้องงอบาดเจ็บได้ การจัดวางมือ เมาส์หรือแท็บเล็ตควรวางไว้ที่ตำแหน่งเดียวกับระนาบข้อมือ (หรือระนาบเดียวกับแป้นพิมพ์) เพื่อลดความเครียดทางกายภาพ ผู้ใช้งานควรจับเมาส์หรือแท็บเล็ตอย่างผ่อนคลาย ไม่บีบมากจนเกินไปและ

ยังต้องสามารถเคลื่อนที่ได้โดยที่ไม่ติดขัดการกีดขวางของอุปกรณ์อื่นบนโต๊ะคอมพิวเตอร์สังเกตได้จาก การเคลื่อนเมาส์โดยใช้ทั้งท่อนแขนไม่ใช่เคลื่อนด้วยข้อมือเพียงอย่างเดียว (Workplace Ergonomics Reference Guide 2nd)



### บทที่ 3

#### การดำเนินงานวิจัย

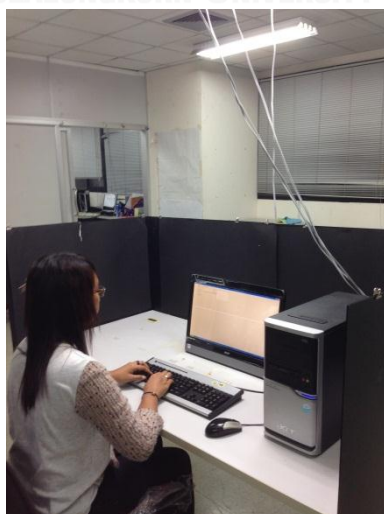
การดำเนินงานวิจัยในบทนี้ จะเป็นการกล่าวถึงวิธีการทดลองในแต่ละขั้นตอน เพื่อศึกษาผลกระทบของปริมาณแสงสว่างในห้อง ความสว่างและมุมเอียงของจอภาพ LED ว่ามีผลต่อสมรรถนะการพิมพ์งานโดยวัดจากความเร็วในการพิมพ์งานอย่างไร โดยการทดลองจะดำเนินการภายใต้สภาพแวดล้อมที่ถูกหลักการวิทยาศาสตร์โดยจะให้ผู้เข้าทดสอบทำการพิมพ์อักษรตามตัวอย่างที่มีการกำหนดค่า ID ผ่านโปรแกรมที่มีการตรวจจับเวลาและความผิดพลาดในการพิมพ์

#### 3.1 ผู้เข้าร่วมการทดสอบ

ผู้เข้าร่วมทำการทดสอบจะคัดเลือกจากเพศชายและหญิงที่ปราศจากอาการบาดเจ็บที่ข้อมือมือ และแขนทั้งสองข้าง สายตาทั้งสองข้างมีความสามารถในการมองเห็นได้ปกติ หากผู้ใดมีสายตาไม่ปกติ คือ สั้นหรือ ยาวเกินไป จะต้องสวมใส่แว่นสายตาหรือคอนแทคเลนส์ และผู้เข้าร่วมทดสอบจะต้องมีประสบการณ์ในการใช้งานคอมพิวเตอร์ โดยจะใช้ผู้ทดสอบทั้งหมด 10 คน

#### 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้

3.2.1 ชุดโต๊ะสำหรับวางคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งโต๊ะที่ใช้จะมีความสูงจากพื้นโต๊ะ 74 เซนติเมตร กว้าง 80 เซนติเมตร และมีความยาว 160 เซนติเมตร โดยจะทำการติดตั้งฉากกันสีด้าสูง 45 เซนติเมตรรอบโต๊ะเพื่อป้องกันการสะท้อนของแสงเนื่องจากสีด้าจะดูดกลืนแสงได้ดีที่สุด



รูปที่ 3.1 สถานที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.2 จอภาพ LED ขนาด 19.5 นิ้ว ยี่ห้อ ACER รุ่น FT200HQLbmj มี Viewing Angle ของหน้าจออยู่ที่ 170 องศา ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 จอภาพแอล.อี.ดี.ที่ใช้สำหรับงานวิจัย

3.2.3 แป้นพิมพ์มาตรฐาน ดังรูปที่ 3.3



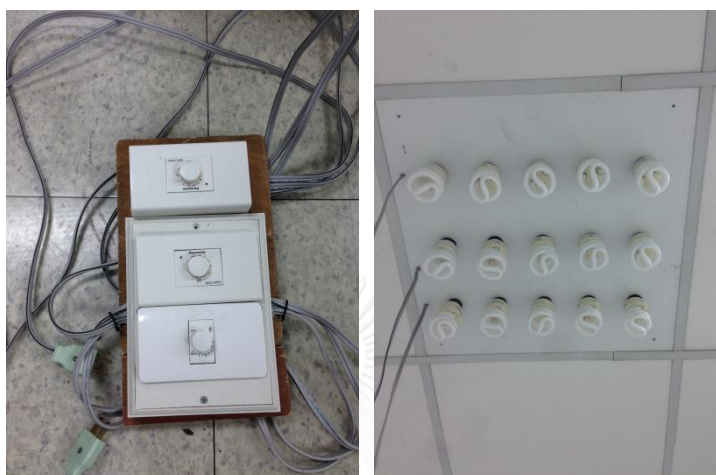
รูปที่ 3.3 แป้นพิมพ์มาตรฐาน

3.2.4 Spyder 4Elite หรือ อุปกรณ์วัดค่าความสว่างหน้าจอ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 Spyder 4Elite

3.2.5 แผงไฟสำหรับปรับแสงสว่างภายในห้อง ขนาด 3 แฉว แต่ละแฉวประกอบด้วย หลอดไฟ จำนวน 5 ดวงตามรูปที่ 3.5 และสามารถปรับระดับได้ด้วยสวิตช์แบบปรับระดับ (Dimmer able Switch) คุณสมบัติของหลอดไฟจะเป็นดังตารางที่ 3.1 นี้

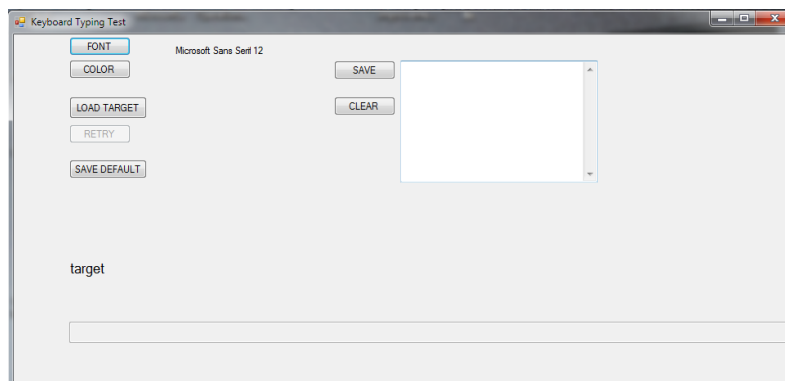


รูปที่ 3.5 ชุดแผงไฟสำหรับปรับแสงสว่างภายในห้อง

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของหลอดไฟที่ติดตั้งเพิ่มสำหรับการทดลอง

Type	Compact Fluorescent Lamp (Dimmerable)
Power	20 W
Luminous flux	1100 lumen
Color Temperature	6400 K (Daylight)
Life	10000 hrs.

3.2.6 โปรแกรมที่ใช้สำหรับการทดสอบการพิมพ์พิมพ์ โดยมีหลักการทำงาน คือ เมื่อกดปุ่ม Load Target แล้วเลือกไฟล์ที่เป็นค่า ID ที่ระดับ จากนั้นตัวอักษรจะถูกป้อนเข้าสู่ตัวโปรแกรมทีละชุดให้ผู้เข้าร่วมทดลองทำการพิมพ์ตามตัวอักษรที่ปรากฏ รวมทั้งหมด 5 ชุดจึงเป็นอันเสร็จสิ้นการทดลองที่ดัชนีความยากนั้น ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 โปรแกรมที่ใช้สำหรับการทดสอบงานพิมพ์

### 3.3 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

#### ตัวแปรต้น

1. ปริมาณแสงสว่างภายในห้อง 5 ระดับ คือ 200, 400, 600, 1000 และ 1600 ลักซ์ ซึ่งปริมาณแสงสว่างที่เลือกใช้นี้เพื่อที่จะได้เห็นความแตกต่างของพื้นที่ทำงานหลากหลายประเภท
2. ความสว่างของจอภาพ ซึ่งจะปรับ manual ที่จอภาพ 3 ระดับ คือ 0%, 50% และ 100% ซึ่งจากการวัดค่าเฉลี่ยในหน่วยแคนเดลาต่อตารางเมตรจะมีค่าเท่ากับ 67, 145 และ 200 ตามลำดับดังตารางที่ 3.2

#### ตารางที่ 3.2 ค่าเฉลี่ยความสว่างที่วัดได้

ความสว่าง( %)	ความสว่างที่วัดได้ครั้งที่ 1	ความสว่างที่วัดได้ครั้งที่ 2	ความสว่างที่วัดได้ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ยความสว่าง
0	64.1	68.2	67.8	67
50	144.8	145.2	143.8	145
100	204.9	198	197.8	200

3. กลุ่ม ID ชุดตัวอักษร 4 ระดับซึ่งจัดเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative Data) หรือข้อมูลจำแนกประเภท (Categorical Data) โดยการจัดระดับความยากของชุดอักษรจะทำการปรับจากงานวิจัยของ พงศ์ภัทร อุไรวงศ์ (2556) ซึ่งได้ทดสอบการจัดแบ่งกลุ่มระดับความยากของการพิมพ์อักษรตามเวลาที่ใช้โดยมีปัจจัยด้านนิ้วมือและแถวของแป้นพิมพ์มาเกี่ยวข้องโดยใช้กฎของฟิตส์ (Fitts' Law) ซึ่งได้กล่าวอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสมรรถนะการทำงาน (Index of Performance : IP) กับลักษณะงานที่แตกต่างกันหรือจะกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเป็นดัชนีความยากของงาน (ID) ยิ่งดัชนีความยากของงานเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการทำงาน (MT) จะลดลงแสดงได้ดังสมการที่ 3.1

$$IP = ID/MT \quad \dots(3.1)$$

ซึ่งมีความสัมพันธ์กันเป็นลักษณะสมการเส้นตรงและสามารถจัดรูปได้ใหม่เป็นสมการถดถอยเชิงเส้นดังสมการที่ 3.2

$$MT = ID*b+a \quad \dots(3.2)$$

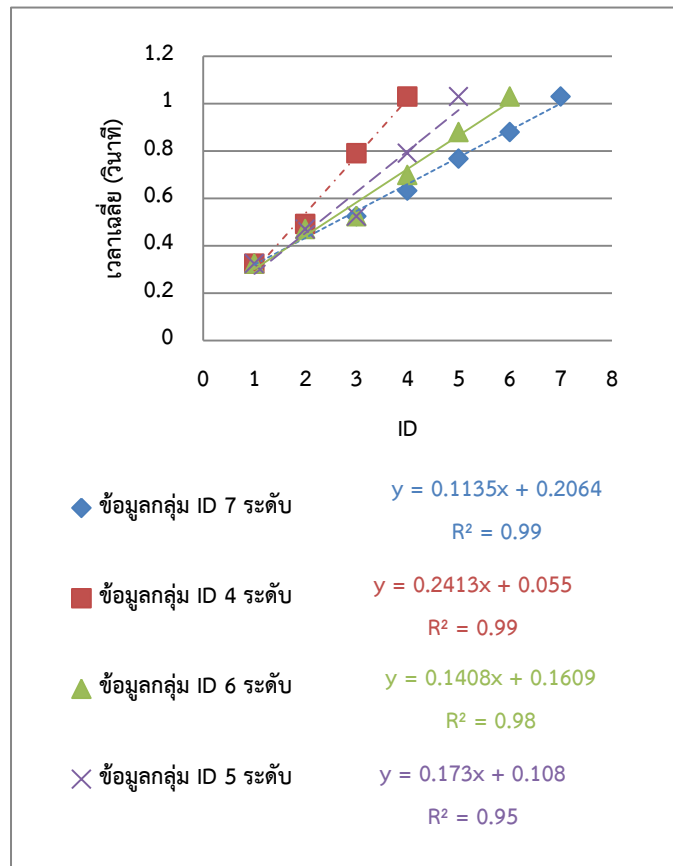
โดย  $IP=1/b$  ส่วน  $b$  และ  $a$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ

จากตารางที่ 3.3 การจัดกลุ่มของ ID นั้น จะทำการจัดกลุ่มโดยการแบ่งกลุ่มตัวอักษรให้มี ID ที่หลากหลายระดับและทำการพลอตข้อมูลระหว่าง ID ในแนวแกน X กับเวลาเฉลี่ยของกลุ่ม ID นั้น ในแนวแกน Y เพื่อหาค่า  $R^2$  ที่สูงที่สุดจากการแบ่งกลุ่ม ID ซึ่งผลที่ได้คือการแบ่งกลุ่ม ID ออกเป็น 7 ระดับจะให้ค่า  $R^2$  ที่สูงกว่าระดับ 5 และ 6 โดยมีค่า 0.99 แต่เนื่องจากการแบ่งกลุ่ม ID ออกเป็น 7 กลุ่มนั้นจะทำให้มีบางระดับของ ID นั้นมีจำนวนตัวอักษรเหลือเพียงแค่ 4, 3, และ 2 ตัวใน ID 3, 4, และ 5 ตามลำดับ ด้วยปริมาณตัวอักษรที่น้อยอาจมีโอกาสที่ผู้เข้าทดลองจะเกิดการจำชุดตัวอักษรได้ และก่อให้เกิดความเคยชินจากแบบทดสอบซึ่งอาจจะส่งผลต่อเวลาในการพิมพ์ที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้ ดังนั้นจึงต้องทำการแบ่งกลุ่ม ID ใหม่โดยอาศัยข้อมูลอ้างอิงจากงานวิจัยเดิมที่ได้กล่าวไป สำหรับการแบ่งกลุ่ม ID ใหม่ นั้น จะทำการแบ่งเป็น 4 ระดับดังแสดงในตารางที่ 3.5 เปรียบเทียบด้วยค่า  $R^2$  จากการพลอตข้อมูลระหว่าง ID ที่ทำการแบ่งกลุ่มใหม่ในแนวแกน X กับเวลาเฉลี่ยของกลุ่ม ID ชุดใหม่นั้นในแนวแกน Y ค่า  $R^2$  จากการแบ่ง ID เป็น 4 ระดับเท่ากับ 0.99 ในขณะที่การแบ่งระดับเป็น 5 และ 6 ระดับจะได้ค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.95 และ 0.98 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  การแบ่งกลุ่มความยากแบบ 4, 5, 6, และ 7 ระดับ

ตารางที่ 3.3 การจัดแบ่งกลุ่มระดับความยากตามเวลาเฉลี่ยของรูปแบบนิ้วและแถว

นิ้ว/แถว	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	ตัวอักษร	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	7กลุ่ม	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	6 กลุ่ม	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	5 กลุ่ม	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	การจัดกลุ่ม (ใหม่) - 4 กลุ่ม
นาง/2	0.288	wo	0.324	ID1	0.324	ID1	0.324	ID1	0.324	ID1
นาง/3	0.315	s l								
กลาง/2	0.332	e i								
ชี้/4	0.364	v b n m								
กลาง/3	0.425	d k	0.469	ID2	0.469	ID2	0.469	ID2	0.491	ID2
ชี้/2	0.473	r t y u								
ชี้/3	0.509	f g h j								
นาง/4	0.511	x.	0.524	ID3	0.524	ID3	0.524	ID3		
กลาง/4	0.536	c ,								
ก้อย/3	0.631	a ; ' ,	0.631	ID4	0.698	ID4	0.698	ID4	0.789	ID3
กลาง/1	0.766	3 8	0.766	ID5	0.766					
ก้อย/4	0.852	z /	0.879	ID6	0.879	ID5	0.789	ID4		
ก้อย/1	0.906	1 0 - =								
ชี้/1	0.965	4 5 6 7	1.029	ID7	1.029	ID6	1.029	ID5	1.029	ID4
ก้อย/2	1.028	q p [ ] \								
นาง/1	1.094	2 9								





รูปที่ 3.7 การเปรียบเทียบค่า R<sup>2</sup> ของการแบ่งกลุ่ม ID

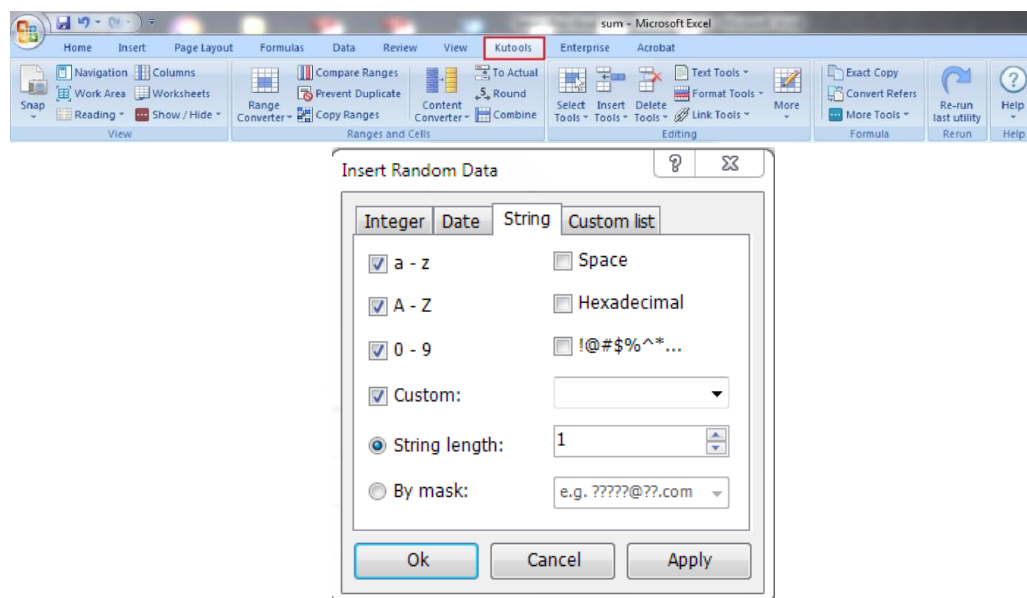
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 3.3 นั้นการจัดแบ่งกลุ่ม ID จึงแบ่งกลุ่มออกเป็น 4 กลุ่มย่อยเรียงจากความง่ายสุด (ID 1) ไปสู่ระดับความยากสุด (ID 4) สำหรับในแต่ละระดับจะมีชุดอักขรอย่างละ 10 , 14 , 11 และ 11 ตัวตามลำดับทั้งหมด ID ละ 10 ชุด ซึ่งแต่ละ ID จะประกอบไปด้วยตัวอักษรดังรูปที่ 3.8

~	!	@	#	\$	%	^	&	*	(	)	-	+	←	
	1 <sub>ID3</sub>	2 <sub>ID4</sub>	3 <sub>ID3</sub>	4 <sub>ID4</sub>	5 <sub>ID4</sub>	6 <sub>ID4</sub>	7 <sub>ID4</sub>	8 <sub>ID3</sub>	9 <sub>ID4</sub>	0 <sub>ID3</sub>	- <sub>ID3</sub>	= <sub>ID3</sub>	Backspace	
Tab	↔	Q	W	E	R	T	Y	U	I	O	P	{	}	
		ID4	ID1	ID1	ID2	ID2	ID2	ID2	ID1	ID1	ID4	[	]	\
		ID4	ID4	ID4	ID4	ID4	ID4	ID4	ID4	ID4	ID4	ID4	ID4	ID4
Caps Lock	⏏	A	S	D	F	G	H	J	K	L	:	"	Enter	
		ID3	ID1	ID2	ID2	ID2	ID2	ID2	ID2	ID1	; <sub>ID3</sub>	' <sub>ID3</sub>	↵	
		ID3	ID2	ID2	ID1	ID1	ID1	ID1	ID1	ID1	; <sub>ID3</sub>	' <sub>ID3</sub>	↵	
Shift	⏏	Z	X	C	V	B	N	M	<	>	?	Shift		
		ID3	ID2	ID2	ID1	ID1	ID1	ID1	, <sub>ID2</sub>	. <sub>ID2</sub>	/ <sub>ID3</sub>	⏏		
		ID3	ID2	ID2	ID1	ID1	ID1	ID1	, <sub>ID2</sub>	. <sub>ID2</sub>	/ <sub>ID3</sub>	⏏		
Ctrl	Win Key	Alt									Alt	Win Key	Menu	Ctrl

รูปที่ 3.8 การแบ่งชุดขึ้นความยากของตัวอักษรบนแป้นพิมพ์

จากอักษรที่จะนำไปใช้ในแต่ละดัชนีความยากนั้นสามารถใช้ฟังก์ชัน Kutools ใน MS – Excel ตามรูปที่ 3.19 เพื่อที่จะทำการสุ่มการจัดเรียงชุดอักษรดังตารางที่ 3.4 โดยจะทำการสุ่มชุดอักษรออกมาทั้งหมด 9 ชุด



รูปที่ 3.9 แสดงฟังก์ชัน Kutools ใน MS-Excel ที่ใช้สำหรับการสุ่มตัวอักษร

ตารางที่ 3.4 การจัดแบ่งกลุ่มชุดอักษรสำหรับการทดสอบ

ชุด ตัวอักษร/ID	1	2	3	4
1	wmnbvielso owmnbviels sowmnbviel bnmvleiwos mloeisbwwn	dkrtyufghjx.c, ,c.xjhgfuytrkd fghjrtyukd.xc, uytrdkfjhgx,c duyrtkxfjhg.,c	a;'38z/10-= z38/'1-0=a; 3018-=az';/ ;/'za=-8103 8-1z0a';/3=	4567qp[]\29 92\[pq7654 q[p]247659\ 4\]2[q76p59 [5q29p647\]
2	bisomnewwl osnwimlbe ivlwombsen bwoieslvnm minwevsbol	d,fukcgyrxj.dt dkrtyufghjx.c, x.dkuytrjhghfc, c.,xghjfkdrtyu c.,ghjfxktryud	;/'za=-8103 a;'38z/10-= z38/'1-0=a; 8-1z0a';/3= 3018-=az';/	[5q29p647\ 92\[pq7654 q[p]247659\ 4567qp[]\29 4\]2[q76p59
3	vimenlwbos beinmolwsv wblmnemwww mbnovweisl webmonslin	f.rgdkyujxh,ct gcthryuk,.dcfj dkrtyufghjx.c, u.,xghjfkdrtyc fghjrtyukd.x,c	z38/'1-0=a; =-1z0a';/38 /018-=az';3 a;'38z/10-= ;/'za=-3108	q[9]7\4265p 4\]2[q76p59 [5q29p647\ 92\[p74956 4567qp[]\29

ชุด ตัวอักษร/ID	1	2	3	4
4	lbiwnebine miisnoevis swmbbnwss ovmlwlolmv bmlovnwoee	krytufgfj,jj d,chkrydfh,,kk tyc..ykduꞑcgix g,hrfxjhgf..hr ycutrtudcxxudx	--=a;8;z='a ;a;38/'01;' 0-083z/-/z' 0-10'1=3z31 -8aa=18z3z1	9642p9q6475 ]]q557959q\ 4pq[7\6\7q 7[p[7]\242p p46952[2][
5	slmwoowmms booiwwnen vibmlinsen snvllbvoe wivlisbeme	hujftrkkukj.jc ryjud.ghx,yfff dutcky,tydgh.r .,gxydkrc,ucug .fxcgrdtfhthxx	=/-83/3/1=- z80!-/011a= --aza;';z= 88a/'0a08zz 0=;131;33';	5[45qq4\9\ 7q6p]2]p777 226[\969\9[ [94567p[p2p 9]5254q64]\
6	lmiwneneo snwibmlmn bwnosevos nbiwiwove lemibossbl	,chgfuytrkrufg rufghjx.c,cjhc yugjx.,tkktdd tuh.c,xjxyddy ,xhgydkrrkf..f	z38/'-0=a/8 a=-1/830'0' 1=-;az1=;z; 8z3'1'-0=a; 3/z810-;a3/	5q6p7]\]292 4q64p[9]\2q \[\q7654q4 6[92p76575q [p7924\5][p

ชุด ตัวอักษร/ID	1	2	3	4
7	msbswmwiob nlwweossv nnllebsilo eimbwvnoi neemolvmib	ujdrhftykg,jfr x.xfgcutykgxhk ...,xjhguyrkdr ycduthdryuc,jf c.c,t,tdkfgjhjx	o;=a3800-8z -0a8-'/=1'- za;a0=z/8=3 /3;=-11a1/z 1/8z33';"	2[979p2pq\ 264754]\9p2 7p675\595\6 q][49]4[[qq 6]7[p]2645q
8	wsnwsbelii mslnvmvbel bomonlvvoi mlmwnoesos vwbvblene	c.xjhgfuyrkdjf ,c.jhguyrkd.h. drfr,dutyfy,uf txkc.,ukdgc,c thjrtykhxtfxg	=00z03a3;31 z1-a;a1;/ a=8z8/-8-0- -za88'10;3; 13'=/z'='	9[9q[q47\4\ pp5965256[] 9627\[7]2]] q\46756q\2p q4p5[4]29p7
9	ommsvllinw lelmwseioe onesovobmm nwwnnwbib sbsilvewbi	txdxktxrghgfj .xjgfytrd,gydd tkjh,c.fuyrdcf ty.kc.,uruyu.c jhfguk,kch,hj.	z=-1='=-3a 8-/-az8z30 0/1'//3a1a' ;01/83z;08; z=1038';a;	44p57q[]p\ 796q4p6[7[2 4]\969695p2 [q]7]575\9q p24\562\2]2

จากตารางที่ 3.4 หลังจากการแบ่งกลุ่ม ID แล้วจะต้องทำการทดสอบความน่าเชื่อถือของชุดแบบทดสอบโดยการทดสอบพิมพ์ตัวอักษรเรียงลำดับจาก ID 1 ไปถึง ID 4 ครั้งละ 5 ชุดตัวอักษรโดยจะสุ่มแบบทดสอบการพิมพ์ขึ้นมาทั้งหมด 3 ชุดซึ่งแต่ละชุดจะมีจำนวนตัวอักษรรวมทั้งสิ้น 230 ตัว

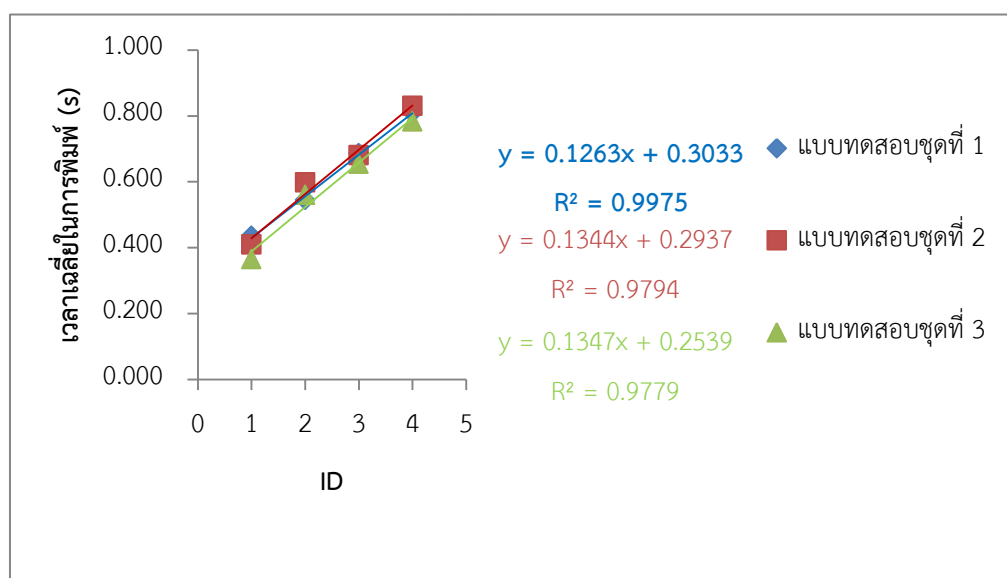
**ตารางที่ 3.5** ค่าเฉลี่ยของการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวในแต่ละ ID ของการสุ่มแบบทดสอบ 3 ชุด

แบบทดสอบชุดที่ 1				
ครั้งที่	ID 1	ID 2	ID 3	ID 4
1	0.477	0.459	0.542	0.785
2	0.539	0.572	0.694	0.700
3	0.378	0.499	0.677	0.739
4	0.389	0.664	0.720	0.896
5	0.396	0.526	0.802	0.927
Mean (วินาที)	0.436	0.544	0.687	0.809
SD	0.070	0.079	0.094	0.099

แบบทดสอบชุดที่ 2				
ครั้งที่	ID 1	ID 2	ID 3	ID 4
1	0.391	0.606	0.673	0.755
2	0.431	0.501	0.602	0.728
3	0.368	0.653	0.672	0.854
4	0.495	0.595	0.733	0.930
5	0.363	0.636	0.724	0.885
Mean (วินาที)	0.410	0.598	0.681	0.830
SD	0.055	0.059	0.052	0.086

แบบทดสอบชุดที่ 3				
ครั้งที่	ID 1	ID 2	ID 3	ID 4
1	0.308	0.595	0.719	0.715
2	0.399	0.559	0.738	0.766
3	0.354	0.529	0.577	0.926
4	0.479	0.650	0.541	0.698
5	0.285	0.470	0.696	0.808
Mean (วินาที)	0.365	0.560	0.654	0.783
SD	0.077	0.068	0.089	0.091

จากตารางที่ 3.5 เมื่อทำการทดสอบหาค่า  $R^2$  ของชุดแบบทดสอบ และจากการทดสอบหาค่า  $R^2$  จากการพลอตกราฟดังรูปที่ 3.10 ระหว่าง ID ทั้ง 4 ระดับซึ่งถูกแทนค่าด้วยตัวแปร X กับเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวซึ่งแทนค่าด้วยตัวแปร y พบว่า ค่า  $R^2$  ของแบบทดสอบชุด 1-3 มีค่าเท่ากับ 0.997, 0.979 และ 0.977 ตามลำดับซึ่งถือว่ามีค่าที่สูงซึ่งแสดงถึงความน่าเชื่อถือของแบบทดสอบทั้ง 3 ชุดที่ทำการสุ่มขึ้นมา นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นถึงอัตราการเพิ่มขึ้นที่ใกล้เคียงกันของเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์เมื่อทำการเปลี่ยนไปใช้ ID ที่ยากขึ้น



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ถดถอยเชิงเส้นระหว่างเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวกับ ID ทั้ง 4 ระดับ

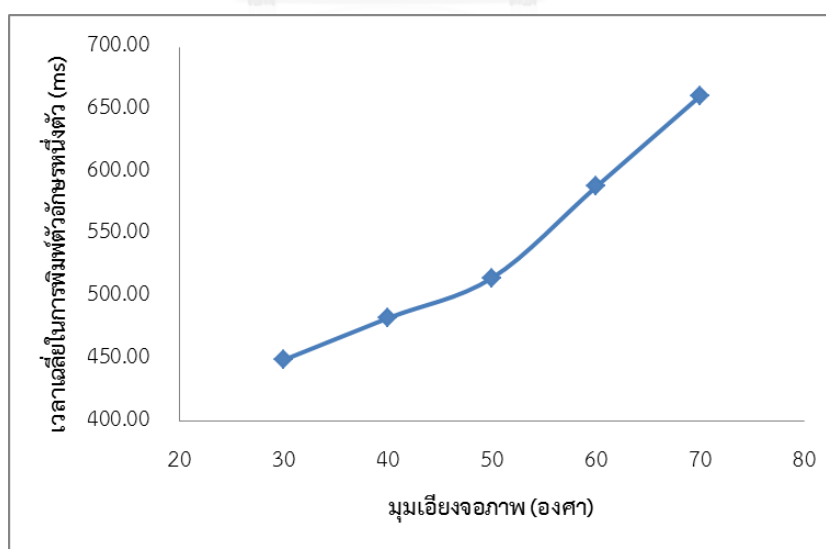
4. มุมเอียงของจอภาพที่วัดจากแนวตั้ง 6 ระดับ คือ 0, 10, 20 (สำหรับสภาวะการทำงานปกติในสำนักงาน) 30, 50 และ 70 องศา (สำหรับการทดสอบนอกช่วงการใช้งานปกติ) ซึ่งการแบ่งระดับจากการทดสอบนอกช่วงปกตินั้นจะอาศัยผล Pilot study จากการทดลองพิมพ์งานเพื่อหาเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวที่มีมุมเอียงระดับ 30 – 70 องศาจากตารางที่ 3.6 ว่าความชันของกราฟเปรียบเทียบระหว่างมุมเอียงระดับที่ 30 กับ 40 องศา และ 40 กับ 50 องศา ซึ่งพบว่ามีค่าความชันใกล้เคียงกันคือ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับและความชันของมุมเอียงที่ระดับ 30 ถึง 50 องศาที่คำนวณได้ คือ 3.3 เมื่อพิจารณาถึงความชันที่คำนวณได้นั้นมีความใกล้เคียงกันตลอดช่วงระดับของมุมเอียงที่

30 ถึง 50 องศา จึงทำให้เลือกมุมเอียงระดับที่ 30 และ 50 องศาเป็นตัวแทนของระดับมุมเอียงที่ใช้ในการทดลอง โดยตัดมุมเอียงที่ระดับ 40 องศาออกไป

ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างมุมเอียงระดับที่ 50 กับ 60 องศา และ 60 กับ 70 องศาพบว่ามีความชันใกล้เคียงกันทั้ง 2 คู่นี้ คือ 7.3 และ 7.28 ตามลำดับและความชันของมุมเอียงที่ระดับ 50 ถึง 70 องศาที่คำนวณได้ คือ 7.3 เมื่อพิจารณาถึงความชันที่คำนวณได้นั้นมีความใกล้เคียงกันตลอดช่วงระดับของมุมเอียงที่ 50 ถึง 70 องศา จึงทำให้เลือกมุมเอียงระดับที่ 50 และ 70 องศาเป็นตัวแทนของระดับมุมเอียงที่ใช้ในการทดลอง โดยตัดมุมเอียงที่ระดับ 60 องศาออกไป ซึ่งกราฟแสดงผลการเพิ่มขึ้นของความชันจะแสดงไว้ดังรูปที่ 3.11

ตารางที่ 3.6 ผล Pilot study ของระดับมุมเอียง 40 – 60 องศา

มุมเอียง(องศา)	ID1	ID2	ID3	ID4	ค่าเฉลี่ย (ms)
30	15690	25030	25880	27800	449.52
40	14765	25878	28880	31900	482.97
50	14870	26600	30910	35830	515.29
60	16920	28540	32000	46120	588.48
70	18910	31610	34770	53590	661.33



รูปที่ 3.11 การเปลี่ยนแปลงความชันที่ระดับมุมเอียง 30 – 70 องศา



สำหรับกลุ่มตัวแปรต้นที่ทำการศึกษาศึกษาสามารถสรุปรวมได้จากตารางที่ 3.7 ดังนี้

ตารางที่ 3.7 กลุ่มตัวแปรต้นที่ต้องการศึกษาความสัมพันธ์

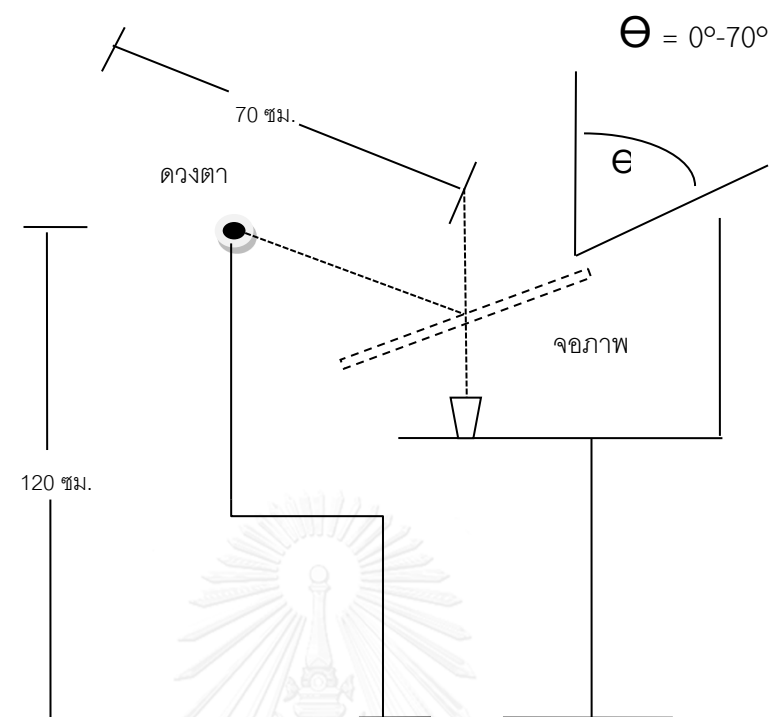
ปริมาณแสงสว่าง ภายในห้อง (ลักซ์)	ความสว่างของจอภาพ (%, แคนเดลาต่อตาราง เมตร)	มุมเอียงของจอภาพ (องศา)	ID
A <sub>1</sub> : 200	B <sub>1</sub> : 0%,67 แคนเดลา ต่อตารางเมตร	T <sub>1</sub> : 0	ID1
A <sub>2</sub> : 400		T <sub>2</sub> : 10	ID2
A <sub>3</sub> : 600	B <sub>2</sub> : 50%,145 แคนเดลา ต่อตารางเมตร	T <sub>3</sub> : 20	ID3
A <sub>4</sub> : 1000		T <sub>4</sub> : 30	ID4
A <sub>5</sub> : 1600	B <sub>3</sub> : 100%,200 แคน เดลาต่อตารางเมตร	T <sub>5</sub> : 50	
		T <sub>6</sub> : 70	

จากตารางที่ 3.7 จะพบว่าสามารถคำนวณจำนวนสภาวะการทดลองทั้งหมดได้จาก (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>, A<sub>5</sub>) × (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>) × (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>) × (ID1, ID2, ID3, ID4) รวมทั้งหมดเป็น 360 สภาวะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### ตัวแปรควบคุม

- อุณหภูมิสีหน้าจอ (Color Temperature) 6500 เคลวิน
- ค่าคอนทราสต์ (Contrast) ปรับให้อยู่ในระดับที่สูงที่สุดคือ 100%
- ระยะห่างระหว่างดวงตาถึงจอภาพเลือกใช้ 70 เซนติเมตร ความสูงจากพื้นถึงระดับสายตา ประมาณ 120 ซม. และมุมของแนวสายตาประมาณ 30 องศาตั้งแสดงให้เห็นได้จากรูปที่ 3.12 ซึ่งการคำนวณนั้นจะมาจากหัวข้อที่ 2.6.2



รูปที่ 3.12 แสดงระยะห่างระหว่างดวงตาถึงจอภาพ

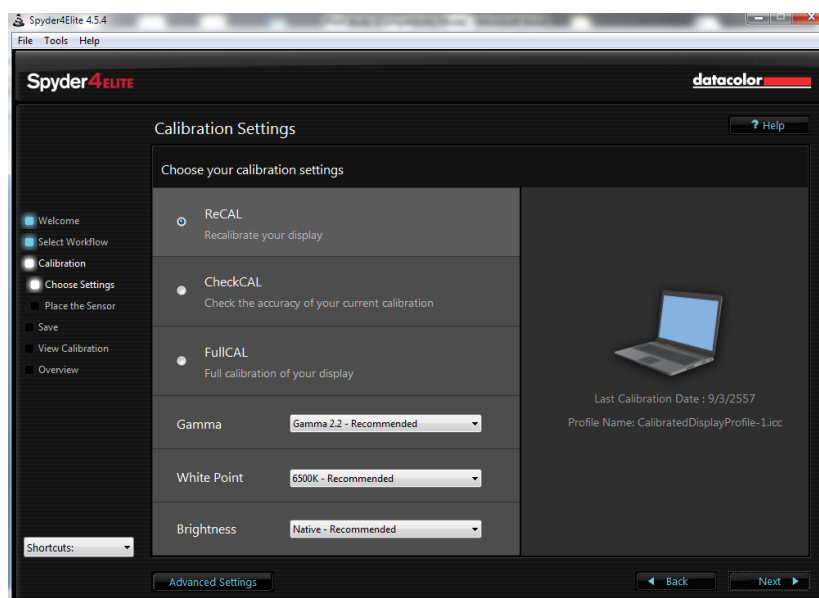
4. ความสูงของตัวอักษรที่เลือกใช้ในช่วงมุมการมองตัวอักษร (Min of arc) 20 – 22 ลิปดา หรือ 4.2 มิลลิเมตรที่ระยะห่างระหว่างดวงตาถึงจอภาพ 70 ซม. (ISO, 1998)
5. ชุดแบบทดสอบที่ใช้ในการพิมพ์จำนวน 9 ชุดโดยแต่ละชุดจะประกอบไปด้วย ID 4 ระดับ

### 3.4 วิธีการทดลอง

1. จัดสถานีงานสำหรับการใช้คอมพิวเตอร์ให้ถูกหลักการยศาสตร์ โดยการจัดวางเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่างๆถูกกำหนดไว้ให้อยู่ในสภาพคงที่ ถือเป็นตัวแปรควบคุม
2. วัดค่าความสว่างในห้องทดลองโดยใช้ลักซ์มิเตอร์เป็นตัววัดและจะใช้โคมไฟหรือเป็นตัวช่วยในการเพิ่มหรือลดปริมาณความส่องสว่างจากสภาพห้องปกติให้เพิ่มขึ้นถึง 1600 ลักซ์ ซึ่งความส่องสว่างภายในห้องทำงานที่ได้กำหนดไว้เป็นปัจจัยสำหรับการทดลองนั้นจะแบ่งย่อยออกเป็น 5 ค่า ได้แก่ 200, 400, 600, 1000 และ 1600 ลักซ์
3. การทดลองจะทำการปรับ หน้าจอโดยใช้อุปกรณ์ปรับสีที่มีชื่อเรียกว่า Spyder 4Elite โดยจะเริ่มทดลองที่ความสว่างภายในตั้งแต่ 200 ไปจนถึง 1600 ลักซ์ โดยการใช้งานโปรแกรมจะปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้

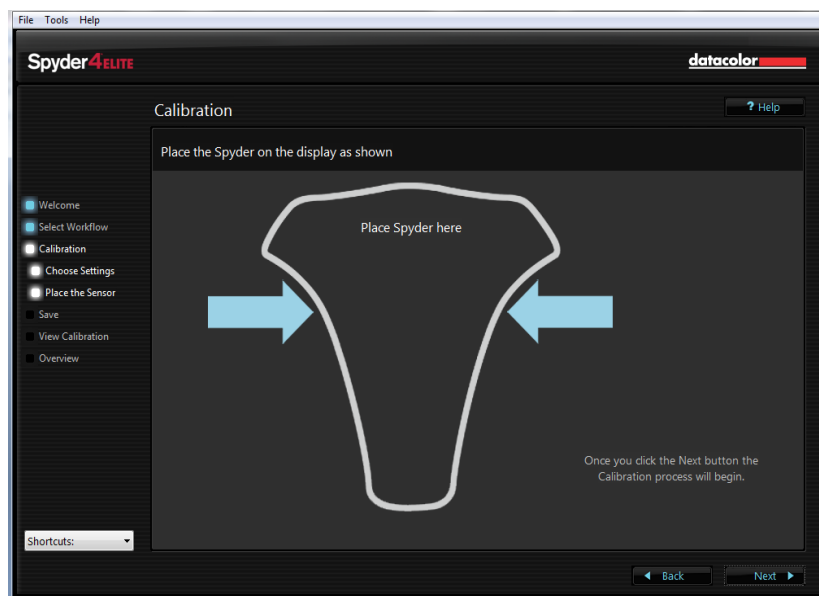
3.1 เมื่อทำการเปิดโปรแกรมสำหรับการปรับหน้าจอขึ้นมาจะพบกับหน้าจอที่มี Checklist ต่างๆดังนี้ ซึ่งเราจะต้องปรับค่าพารามิเตอร์ของจอภาพให้อยู่ในค่าเริ่มต้นที่ได้กำหนดเอาไว้ให้แล้ว (สำหรับการทดลองนี้จะปรับให้ค่าคอนทราสต์ ให้อยู่ระดับ 100/100 ทุกสภาวะ)

3.2 หลังจากปรับค่าปริมาณแสงสว่างภายในห้องได้ตามค่าที่กำหนดไว้แล้ว จากนั้นทำการสอบเทียบหน้าจอโดยการตั้งค่าเกมมา, อุณหภูมิสี(ในโปรแกรมจะแสดง White Point) และความสว่างจอภาพที่ 2.2 , 6500 เคลวิน และ Native ซึ่งหมายถึงการวัดหน้าจอ ณ สภาพขณะนั้นตามลำดับ โดยค่าเกมมา และอุณหภูมิสีจะกำหนดเป็นตัวแปรควบคุมสำหรับค่าความสว่างจอภาพซึ่งปรับค่าได้ในโปรแกรมนี้จะกำหนดให้เป็นตัวแปรต้นสำหรับการปรับหน้าจอ ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 หน้าจอการปรับค่าของโปรแกรม Spyder 4Elite

3.3 นำเครื่อง Spyder มาทาบที่หน้าจอและหลังจากนั้นเครื่องจะทำการวัดค่าความสว่างตามที่เราได้ปรับเอาไว้ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 หน้าจอการสำหรับวางตำแหน่งอุปกรณ์ Spyder 4Elite

3.4 หลังจากนั้นโปรแกรมจะให้บันทึกค่าเป็น Profile สำหรับการเลือกใช้งานในครั้งต่อไป โดย Profile ที่ทำการเตรียมไว้ให้ผู้ทดสอบสมรรถนะการพิมพ์ในห้องทำงานที่มีปริมาณแสงสว่างที่ต่างกัน 5 ค่า โดยจะมีทั้งหมด 3 Profile ได้แก่ Profile ที่มีการปรับค่าอุณหภูมิสีเป็น 6500 เคลวิน และจะปรับค่า ความสว่างที่หน้าจอเป็น 0,50 และ 100

4. เมื่อทำการตั้งค่าหน้าจอเสร็จขั้นตอนต่อไปจะเข้าสู่กระบวนการทดสอบโดยให้ผู้ทดสอบโดยจะให้ผู้ทดสอบได้ทำการทดลองพิมพ์แบบทดสอบทั้ง 3 ชุดก่อนเริ่มการทดสอบจริง

5. เมื่อผู้เข้าทดสอบได้ทดลองพิมพ์แบบทดสอบทั้ง 3 ชุดแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเข้าสู่การทดสอบจริง โดยจะให้ผู้ทดสอบทำการสุ่มจับสลากสภาวะการทดลองจากทั้งหมด 90 สภาวะให้เลือกมา 1 สภาวะ และทำการสุ่มเลือกแบบทดสอบมา 1 ชุดจากทั้งหมด 3 ชุด โดยผู้เข้าสอบแต่ละคนจะถูกจัดให้ทำการทดลองคนละ 1 ครั้งสำหรับ 1 สภาวะ

6. หลังจากการดำเนินการทดสอบ 1 สภาวะเสร็จจะให้พัก 1 นาทีเพื่อให้ผู้วิจัยได้ทำการเปลี่ยนสภาวะการทดลอง จากนั้นย้อนกลับไปทำขั้นตอนที่ 5 ต่อจนครบทั้ง 90 สภาวะ

### 3.5 เวลาที่ผู้ทดสอบอยู่ในกระบวนการเก็บข้อมูล

การจัดตารางการทดลองสำหรับ 1 วัน จะทำการทดสอบในช่วงเวลา 9.00 - 16.30 ต่อผู้เข้าทดสอบ 1 คน โดยจะจัดการทดลองในวันเสาร์และอาทิตย์ ผู้ทดสอบ 1 คนจะทำการทดสอบ 6 ชั่วโมง เนื่องจากเวลาเฉลี่ยต่อ 1 สภาวะการทดลองอยู่ที่ 3 นาที เมื่อทำการทดสอบทั้งหมด 90 สภาวะจะใช้เวลาทั้งสิ้น 270 นาที หรือ 4 ชั่วโมง 30 นาที รวมกับเวลาพักหลังจากการทดลองเสร็จแต่ละสภาวะอีก 1 นาทีเพื่อป้องกันผู้เข้าทดสอบเกิดความล้า รวมเวลาที่ใช้ทั้งหมดเป็น 6 ชั่วโมง ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลจากผู้ทดสอบรวมทั้งสิ้น 5 สัปดาห์ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 การจัดการวันและเวลาสำหรับผู้ร่วมการทดสอบ

สัปดาห์ที่	วันเสาร์	วันอาทิตย์
	9:00 – 16:30 น.	9:00 – 16:30 น.
1	คนที่ 1	คนที่ 2
2	คนที่ 3	คนที่ 4
3	คนที่ 5	คนที่ 6
4	คนที่ 7	คนที่ 8
5	คนที่ 9	คนที่ 10

### 3.6 การวัดผลการทดสอบ

สำหรับการวัดผลการทดสอบนั้น หลังจากการทดสอบเสร็จ 1 สภาวะจะทำการบันทึกเวลาที่ใช้ในการพิมพ์อักษรแต่ละชุดในแต่ละดัชนีความยาก จากนั้นจึงทำการรวมเวลาที่พิมพ์อักษรทั้งหมดในแต่ละดัชนีความยากเพื่อหาค่าเฉลี่ยในการพิมพ์หนึ่งตัวอักษรในหน่วยมิลลิวินาที (ms) โดยในแต่ละดัชนีความยากจะมีตัวอักษรอยู่ 230 ชุด สำหรับตัวแปรตามที่สอง จะใช้ค่าสมรรถนะบุคคลในการพิมพ์งาน หมายความว่า แทนที่จะใช้ค่าเวลาเฉลี่ยเป็นตัวแปรตามโดยตรง แต่จะทำการพิจารณาอัตราการเพิ่มขึ้นของเวลาที่ใช้ในการพิมพ์งานเมื่อมีการพิมพ์งานที่ ID ในลำดับที่ยากขึ้น และใช้ค่าอัตรานี้เป็นตัวแปรตามที่สองเพื่อแสดงสมรรถนะของการพิมพ์งาน

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

หลังจากผลการทดลองที่ได้ทำการวัดเวลาการพิมพ์งานโดยใช้ชุดแบบทดสอบการพิมพ์ที่มีกลุ่ม ID 4 ระดับของผู้ร่วมการทดลองทั้ง 10 คน ณ ปัจจัยด้านปริมาณแสงสว่างในห้อง ความสว่างและมุมเอียงของจอภาพที่แตกต่างกันจึงได้นำค่าเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวในแต่ละ ID และค่าสมรรถนะของแต่ละบุคคลมาเป็นตัวชี้วัดและทำการวิเคราะห์ผล ซึ่งการวิเคราะห์ผลการทดลองจะใช้การทดสอบสมมติฐานของความแตกต่างในแต่ละระดับของทั้ง 3 ปัจจัยที่ทำการทดสอบ ได้แก่ ปัจจัยด้านปริมาณแสงสว่างในห้อง ความสว่างและมุมเอียงของจอภาพ แต่ในการทดลองจริงนั้นค่า ID ของชุดแบบทดสอบการพิมพ์นั้นก็ถือเป็นตัวแปรต้นตัวหนึ่งเนื่องจากในการทดลองผู้เข้าร่วมทดลองจะต้องพิมพ์ชุดแบบทดสอบทั้ง 4 ระดับของค่า ID นี้ ดังนั้นปัจจัยที่ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติจึงมีทั้งหมด 4 ปัจจัย

จากการทดสอบสมมติฐานที่จะใช้ในการทดสอบปัจจัยทั้ง 4 นั้น จะเป็นการทดสอบแบบสองด้าน (Two-Sided Test) ทำให้ตั้งสมมติฐานสำหรับการทดสอบในแต่ละปัจจัยได้ดังนี้

#### ปัจจัยด้านปริมาณแสงสว่างในห้อง

$H_0$  : เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวในการทดลองที่ระดับต่างๆของปัจจัยด้านปริมาณแสงสว่างในห้องไม่แตกต่างกัน

$H_1$  : เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวในการทดลองที่ระดับต่างๆของปัจจัยด้านปริมาณแสงสว่างในห้องแตกต่างกันอย่างน้อย 2 ระดับ

#### ปัจจัยด้านความสว่างจอภาพ

$H_0$  : เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวในการทดลองที่ระดับต่างๆของปัจจัยด้านความสว่างจอภาพไม่แตกต่างกัน

$H_1$  : เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวในการทดลองที่ระดับต่างๆของปัจจัยด้านความสว่างจอภาพแตกต่างกันอย่างน้อย 2 ระดับ

#### ปัจจัยด้านมุมเอียงจอภาพ

$H_0$  : เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวในการทดลองที่ระดับต่างๆของปัจจัยด้านมุมเอียงจอภาพไม่แตกต่างกัน

$H_1$  : เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวในการทดลองที่ระดับต่างๆของปัจจัยด้านมุมเอียง  
จอกภาพแตกต่างกันอย่างน้อย 2 ระดับ

#### ปัจจัยด้านค่า ID

$H_0$  : เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวในการทดลองที่ระดับต่างๆของปัจจัยด้านค่า ID  
ไม่แตกต่างกัน

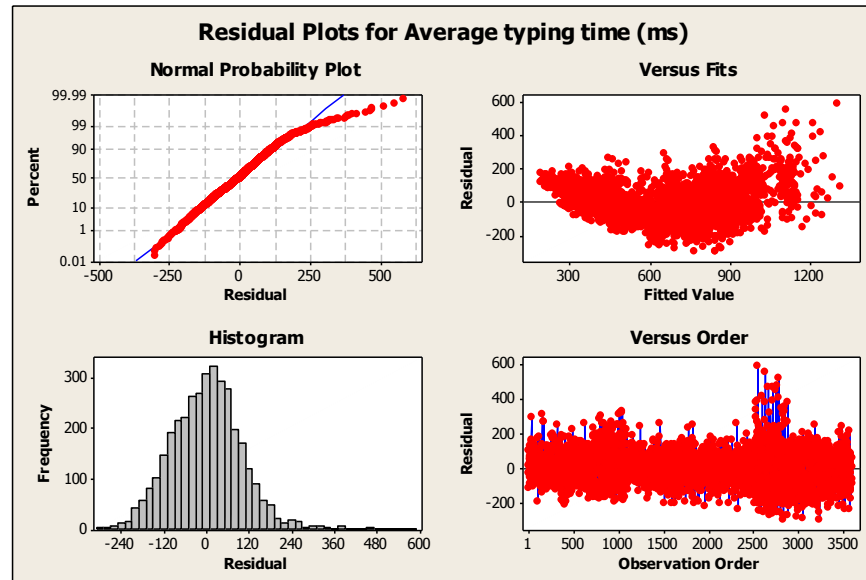
$H_1$  : เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวในการทดลองที่ระดับต่างๆของปัจจัยด้านค่า ID  
แตกต่างกันอย่างน้อย 2 ระดับ

#### 4.1 ผลการทดลอง

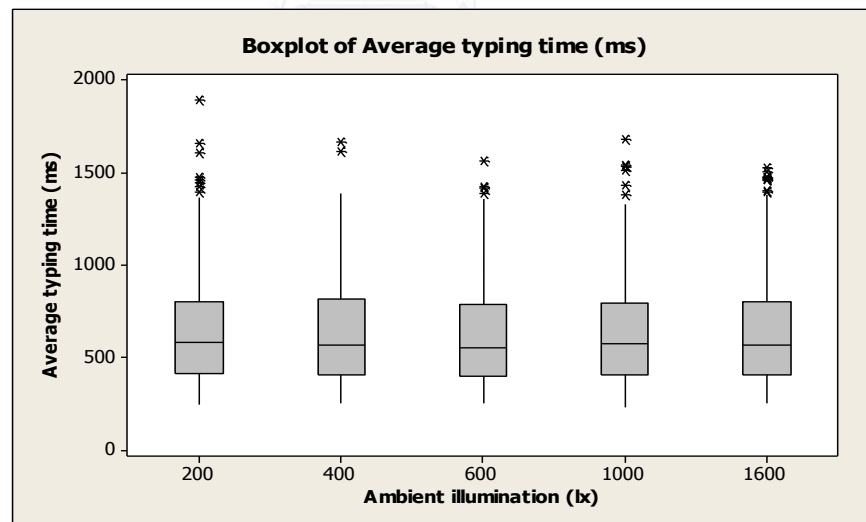
หลังจากการทดลองพิมพ์ตัวอักษรตามชุดแบบทดสอบที่สุ่มได้ครบทั้ง 90 สภาวะการทดลอง  
ของผู้เข้าร่วมทดลองทั้งหมด 10 คนจึงได้นำเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวของแต่ละ ID  
มาหาค่าเฉลี่ยเวลาของทั้ง 4 ระดับเพื่อใช้เป็นตัวแทนหรือตัวชี้วัดของงานวิจัย โดยผลการทดลอง  
จะมีข้อมูลที่จะใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดสอบทางสถิติจำนวนทั้งสิ้น 3600 ข้อมูล ซึ่งเกิดจาก  
การทดลองที่ปริมาณแสงสว่างในห้อง 5 ระดับ ความสว่างจอกภาพ 3 ระดับ มุมเอียง 6 ระดับและ ID  
4 ระดับ โดยการทดสอบจะใช้ General Full Factorial Design ในโปรแกรม MINITAB สำหรับ  
ตัวอย่างของการแสดงผลจะแสดงไว้ดังตารางที่ ค1 ในภาคผนวก

#### 4.2 การตรวจสอบการแจกแจงปกติของชุดข้อมูล

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นอันดับแรกจะต้องทำการทดสอบว่าชุด  
ข้อมูลเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวที่ได้มีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่โดยสังเกตจาก  
Residual Plot ของชุดข้อมูลดังรูปที่ 4.1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ในโปรแกรม MINITAB สำหรับ  
Normal Probability Plot ของชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นจะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของ  
กลุ่มข้อมูลเบนออกจากเส้นตรงซึ่งส่งผลให้ Histogram เกิดการเบ้ขวาขึ้น นอกจากนี้ Versus Fits ยัง  
มีกลุ่มข้อมูลบางกลุ่มที่หลุดออกจากช่วง 1200 ของ Fitted Value ในแกน y เช่นเดียวกับค่า  
Residual ของ Versus Order ในแกน y ที่กลุ่มของ Residual ที่กระจายออกนอกช่วง 200 ซึ่งสรุป  
ได้ว่าชุดข้อมูลที่ได้นั้นมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ

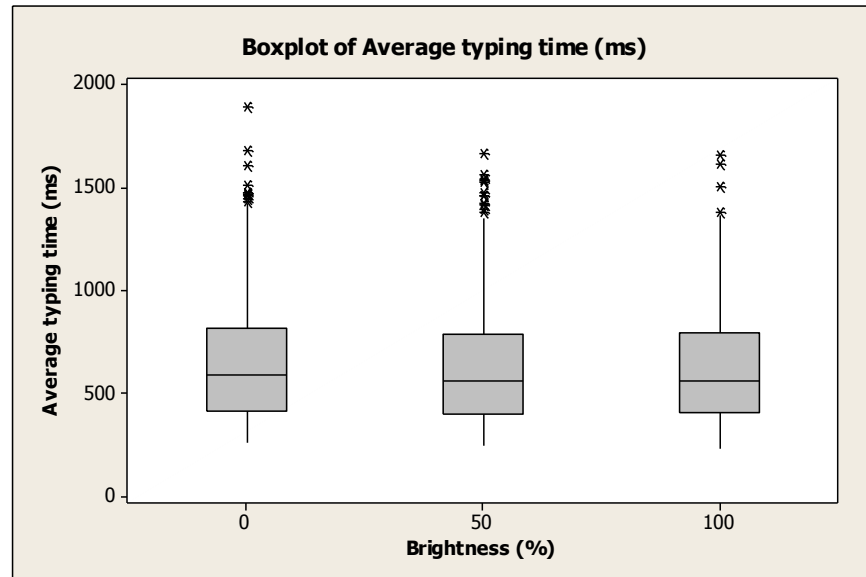


รูปที่ 4.1 Residual Plot ของชุดข้อมูลเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวจากผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน

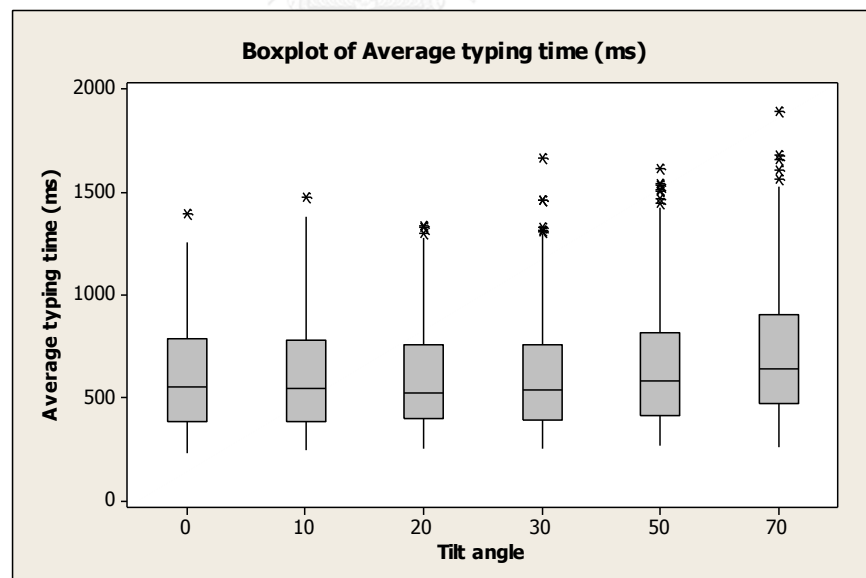


รูปที่ 4.2 Boxplot ของเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ในแต่ละระดับของปัจจัยด้านปริมาณแสงสว่างในห้อง

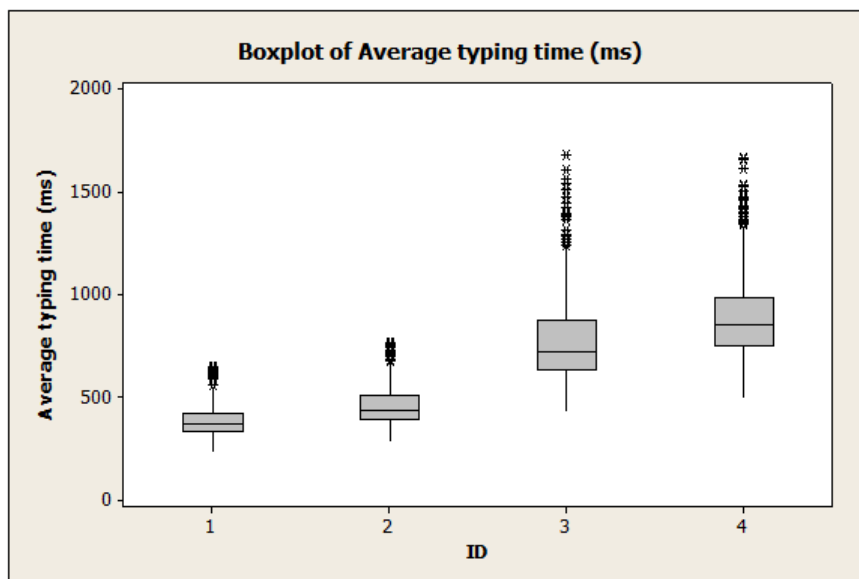




รูปที่ 4.3 Boxplot ของเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ในแต่ละระดับของด้านปัจจัยความสว่าง  
จอภาพ



รูปที่ 4.4 Boxplot ของเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ในแต่ละระดับของปัจจัยด้านมุมเอียงจอภาพ



รูปที่ 4.5 Boxplot ของเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ในแต่ละระดับของปัจจัยด้านมุมมองจอภาพ

จากรูปที่ 4.2 – 4.5 นั้นเมื่อทำการวิเคราะห์ถึง Outlier ที่เกิดขึ้นนั้นจะพบว่า Outlier ที่เกิดขึ้นมาจากผู้เข้าร่วมทดลองคนที่ 8 แต่เนื่องจากเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ของผู้เข้าทดลองคนที่ 8 ที่มากเกินไปกว่าผู้เข้าร่วมทดลองคนอื่นนั้นไม่ได้ขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดในการพิมพ์หรือปัญหาทางด้านการมองเห็นเพราะเงื่อนไขการคัดเลือกผู้เข้าร่วมทดลองนั้นจะเลือกผู้ที่มีความสามารถในการมองเห็นเป็นปกติและสามารถพิมพ์สัมผัสได้ แต่เป็นเพราะว่าผู้เข้าร่วมทดลองคนนี้มีความสามารถในการพิมพ์สัมผัสที่ช้ากว่าผู้เข้าร่วมทดลองคนอื่นจึงไม่พิจารณาที่จะตัดผู้เข้าร่วมทดลองคนนี้ออกจากการทดลอง สำหรับสภาวะการทดลองที่ถูกพิจารณาเป็น Outlier ที่เกิดขึ้นนั้นจะแสดงในตารางที่ ค1 ในภาคผนวก

สำหรับข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์นั้นเนื่องจากการแจกแจงที่ไม่ปกติ ดังนั้นจึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลให้ชุดข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์นั้นมีการแจกแจงแบบปกติ งานวิจัยนี้จึงใช้วิธีการแปลงข้อมูลของ Box และ Cox (1964) ซึ่งจะจัดข้อมูลให้อยู่ในรูปของการยกกำลัง  $Y$  หรือ  $Y^\lambda$  โดยงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม MINITAB เพื่อช่วยในการคำนวณหาค่า  $\lambda$  ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการกำหนดรูปแบบการแปลงดังนี้

$$\lambda = -1.0 \text{ คือ } Y' = 1/Y$$

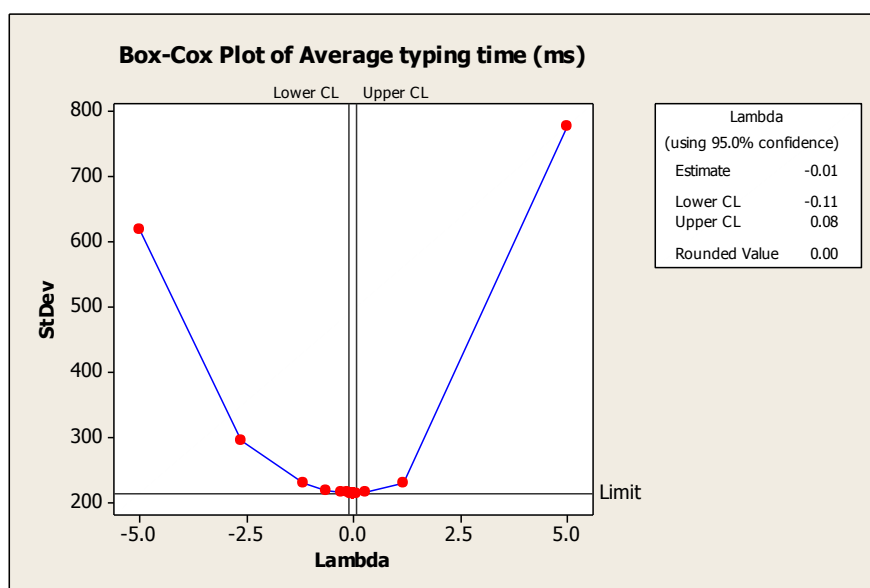
$$\lambda = -0.5 \text{ คือ } Y' = 1/\sqrt{Y}$$

$$\lambda = 0.0 \text{ คือ } Y' = \ln(Y)$$

$$\lambda = 0.5 \text{ คือ } Y' = \sqrt{Y}$$

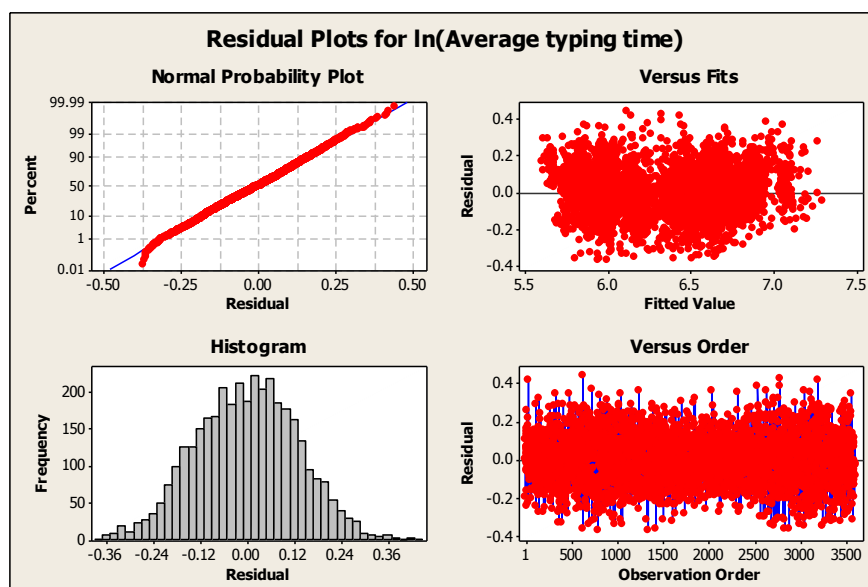
$$\lambda = 1.0 \text{ คือ } Y' = Y$$

$$\lambda = 2.0 \text{ คือ } Y' = Y^2$$



รูปที่ 4.6 ค่า  $\lambda$  ที่ได้จากการแปลงเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัว

หลังจากการคำนวณหาค่า  $\lambda$  ดังรูปที่ 4.6 จากโปรแกรม MINITAB แล้ว ทำให้ได้ค่า  $\lambda$  คือ 0 ซึ่งหมายความว่าค่า  $\lambda$  ที่ได้จะอยู่ในรูปของฟังก์ชัน  $\ln$  หรือกล่าวได้ว่าข้อมูลใหม่ที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลนั้นคือ  $\ln(\text{เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัว})$



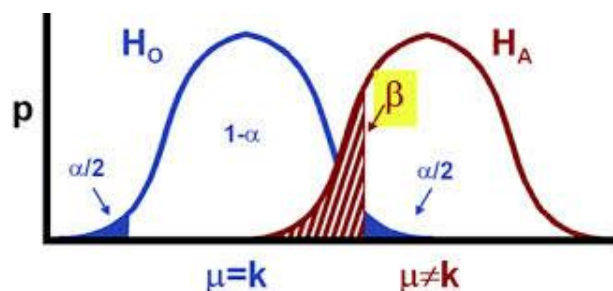
รูปที่ 4.7 Residual Plot ของชุดข้อมูลใหม่จากผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน

จากรูปที่ 4.7 พบว่า Normal Probability Plot ของชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นจะเห็นได้ว่ามีข้อมูลเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่กระจายตัวออกจากเส้นตรง Histogram ที่แสดงผลนั้นจึงอยู่ในรูปของการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ เช่นเดียวกับการพิจารณา Versus Fits ที่แสดงให้เห็นว่าชุดข้อมูลที่เหลือเกิดการกระจายตัวใน Fitted Value อย่างเป็นอิสระรวมถึง Versus Order ที่ค่า Residual ส่วนใหญ่ในแกน y จะกระจายอยู่ในช่วง  $-0.2$  ถึง  $0.2$  จึงสรุปได้ว่าข้อมูลชุดใหม่ที่ทำกรแปลงให้เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวอยู่ในรูปของฟังก์ชัน  $\ln$  มีการกระจายตัวแบบปกติ

#### 4.3 การทดสอบระดับความผิดพลาดจากการทดลอง

เนื่องจากการออกแบบการทดลองแบบ General Full Factorial Design เพื่อเก็บข้อมูลเวลาที่ผู้เข้าร่วมทดลองแต่ละคนนั้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลของปัจจัยนั้นจะต้องทำการทดลองโดยพิจารณาจำนวนผู้เข้าร่วมการทดลองซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้ผู้เข้าร่วมทั้งหมด 10 คน ดังนั้นจำนวนผู้เข้าร่วมทดลองจะเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากการใช้จำนวนผู้เข้าร่วมทดลองน้อยเกินไปอาจก่อให้เกิดระดับความผิดพลาดจากการทดสอบสมมติฐาน 2 ประเภทซึ่งประกอบไปด้วย

1. การปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  เมื่อ  $H_0$  เป็นจริง จะเรียกความผิดพลาดนี้ว่า ระดับนัยสำคัญใช้  $\alpha$  เป็นสัญลักษณ์
2. การยอมรับสมมติฐาน  $H_0$  เมื่อ  $H_0$  ไม่เป็นจริง จะใช้  $\beta$  เป็นสัญลักษณ์ ซึ่งลักษณะความผิดพลาดทั้งสองจะแสดงให้เห็นได้จากรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ความผิดพลาดที่เกิดจากการทดสอบสมมติฐาน

ที่มา <http://withfriendship.com/images/c/13871/type-ii-error-of-false.jpg>

โดยการคำนวณจะต้องกำหนดค่าตัวแปรต่างๆที่โปรแกรม MINITAB กำหนดดังนี้

1. Number of levels for each factor in the model (ระดับของปัจจัยต่างๆในการทดลอง) = 5, 3, 6, 4
2.  $\alpha = 0.05$
3. Replicate (การทดลองซ้ำ สำหรับงานวิจัยนี้ คือ จำนวนประชากร) = 10
4. Maximum Differences = 0.83 คำนวณได้จากผลต่างของค่า Main Effect Means คู่ที่มากที่สุดจากการทดลองนี้ผลต่างของค่า Main Effect Means ที่ใช้จะเป็นคู่ของ ID ระดับที่ 1 กับ 4 ซึ่งมีค่า 5.933 และ 6.763 ตามลำดับ
5. Standard deviation = 0.405 คำนวณได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทั้งหมด

## Power and Sample Size

General Full Factorial Design

Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.405

Factors: 4 Number of levels: 5, 3, 6, 4

Include terms in the model up through order: 4

Include blocks in model.

Maximum Difference	Reps	Total Runs	Power
0.83	10	3600	1

รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ค่า power ที่คำนวณได้จากโปรแกรม MINITAB

จากรูปที่ 4.9 เมื่อทำการคำนวณค่า  $\beta$  นี้โปรแกรม MINITAB จะคำนวณหาค่า power ออกมาได้ 1 ซึ่งเมื่อเปลี่ยนค่า power จากสูตร  $\text{power} = 1 - \beta$  จะได้ค่า  $\beta$  เข้าใกล้ 0 ซึ่งหมายความว่าจำนวนผู้เข้าร่วมการทดลองที่ 10 คนนั้นเพียงพอต่อการทดลองและลดโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดจากการทดสอบสมมติฐานแบบที่ 2

#### 4.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติกรณีใช้เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวเป็นตัวชี้วัด

หลังจากการตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลแล้ว เมื่อพบว่าการกระจายตัวของข้อมูลเป็นการกระจายตัวแบบปกติจึงทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ปริมาณแสงสว่างในห้อง, ความสว่างจอภาพ, มุมเอียงจอภาพ, และ ID จากโปรแกรม MINITAB

General Linear Model: ln(Average t versus Blocks, Ambient illu, ...				
Factor	Type	Levels	Values	
Blocks	fixed	10	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	
Ambient illumination (lx)	fixed	5	200, 400, 600, 1000, 1600	
Brightness (%)	fixed	3	0, 50, 100	
Tilt angle	fixed	6	0, 10, 20, 30, 50, 70	
ID	fixed	4	1, 2, 3, 4	

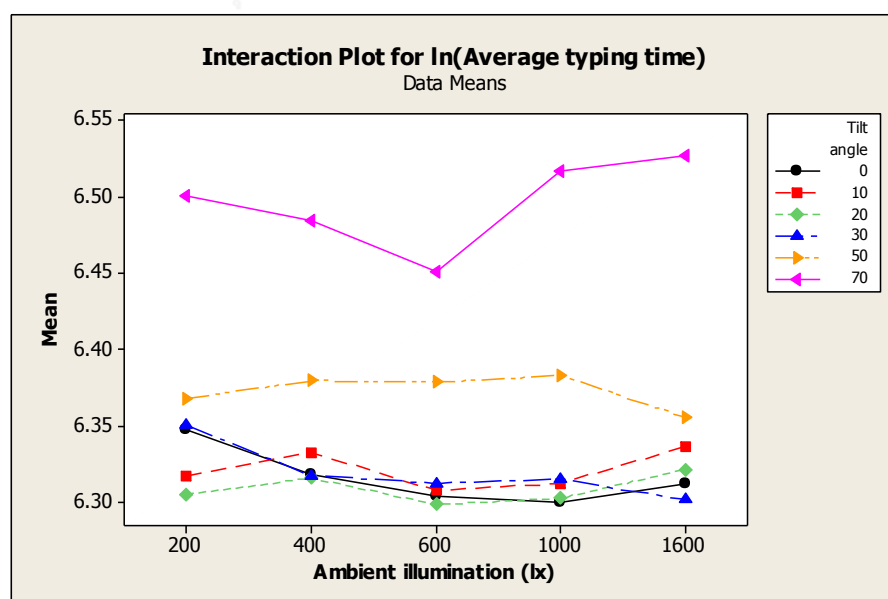
  

Analysis of Variance for ln(Average typing time), using Adjusted SS for Tests							
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
Blocks	9	83.1679	83.1679	9.2409	535.88	0.000	
Ambient illumination (lx)	4	0.2096	0.2096	0.0524	3.04	0.016	
Brightness (%)	2	0.7936	0.7936	0.3968	23.01	0.000	
Tilt angle	5	15.8125	15.8125	3.1625	183.39	0.000	
ID	3	427.4757	427.4757	142.4919	8263.10	0.000	
Ambient illumination (lx)* Brightness (%)	8	0.1371	0.1371	0.0171	0.99	0.439	
Ambient illumination (lx)*Tilt angle	20	0.7398	0.7398	0.0370	2.15	0.002	
Ambient illumination (lx)*ID	12	0.0969	0.0969	0.0081	0.47	0.934	
Brightness (%)*Tilt angle	10	0.6188	0.6188	0.0619	3.59	0.000	
Brightness (%)*ID	6	0.0642	0.0642	0.0107	0.62	0.714	
Tilt angle*ID	15	0.9053	0.9053	0.0604	3.50	0.000	
Error	3505	60.4415	60.4415	0.0172			
Total	3599	590.4628					

S = 0.131318    R-Sq = 89.76%    R-Sq(adj) = 89.49%

#### รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัว

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติจากรูปที่ 4.10 พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีอันตรกิริยาร่วมระหว่างเกิดขึ้น 3 คู่ได้แก่ ปริมาณแสงสว่างในห้องกับมุมเอียงจอภาพ (p-value < 0.05) ค่า ID กับมุมเอียงจอภาพ (p-value < 0.05) และ ความสว่างกับมุมเอียงของจอภาพ (p-value < 0.05) โดยผลของอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างปัจจัยจากรูปที่ 4.11 - 4.13 ซึ่งสามารถอธิบายอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

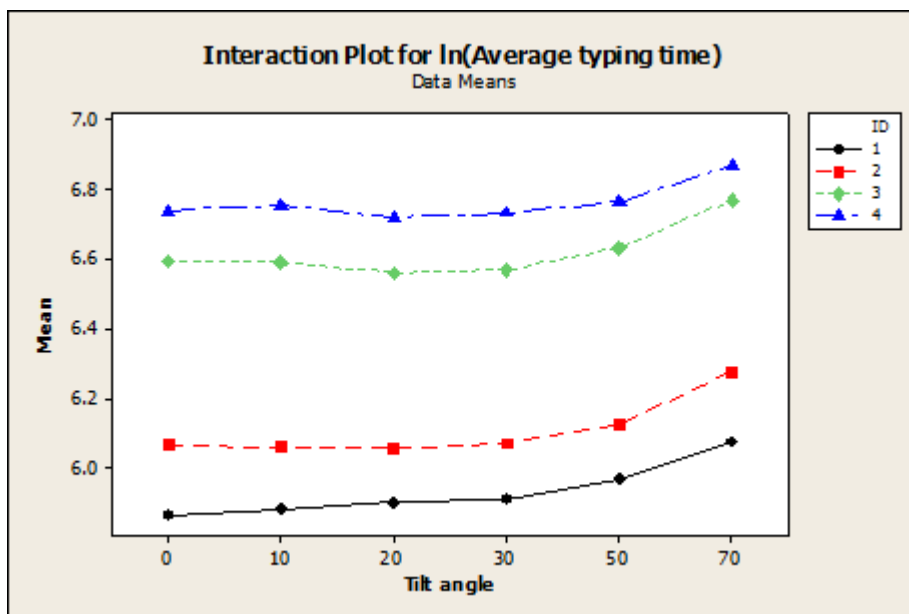


#### รูปที่ 4.11 อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างปริมาณแสงสว่างในห้องกับมุมเอียงจอภาพ

จากรูปที่ 4.11 สำหรับการพิจารณาอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างปริมาณแสงสว่างในห้องกับ มุมเอียงจอภาพนั้นเมื่อพิจารณาจากมุมเอียงจอภาพที่ระดับ 0 – 30 องศา นั้นพบว่าผลของเวลาเฉลี่ย ที่ได้ นั้นใกล้เคียงกันในแต่ละระดับของปริมาณแสงสว่างในห้อง แต่มุมเอียงจอภาพที่ 50 และ 70 องศา นั้นจะเห็นได้ชัดเจนว่ายิ่งมีการเอียงของมุมที่มากขึ้นจะทำให้เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่ง ตัวที่มากขึ้น

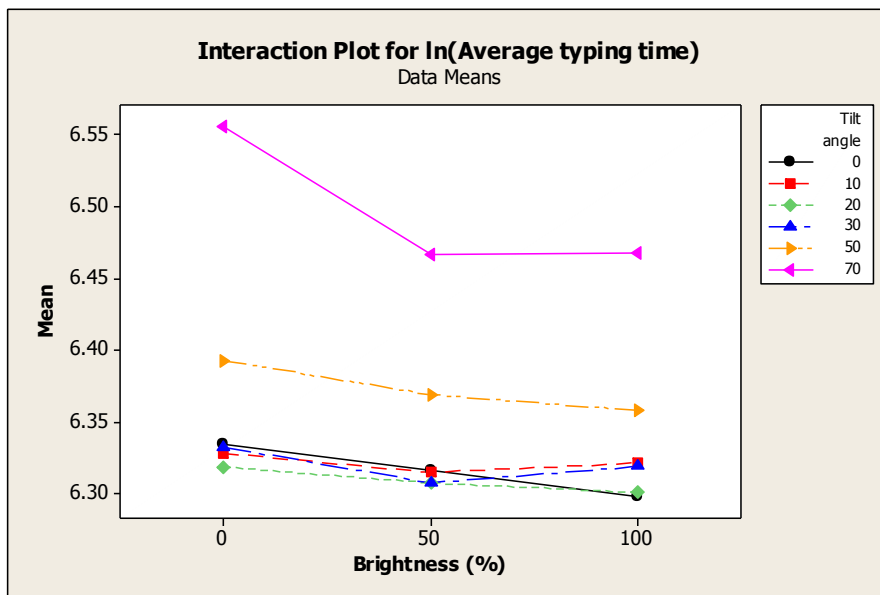
อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาอันตรกิริยาด้านปริมาณแสงสว่างในห้องเป็นการเพิ่มเติมจะพบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแสงสว่างในห้องจะส่งผลให้เวลาตอบสนองมีความแปรปรวนมากขึ้นในระดับมุมเอียงที่สูงขึ้น กล่าว คือ จากภาพจะเห็นได้ว่า ที่ระดับมุมเอียงน้อยๆ (0-50 องศา) การเปลี่ยนแปลงปริมาณแสงสว่างในห้อง จะส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อเวลาการพิมพ์ แต่เมื่อปรับระดับมุมเอียงมากขึ้นเป็น 50 องศา จะมีความแปรปรวนด้านเวลาการพิมพ์เพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณแสงสว่างในห้องที่เปลี่ยนไป และความแปรปรวนนี้จะมีค่ามากที่สุดในระดับมุมเอียงจอที่ 70 องศา ความแตกต่างที่ชัดเจนที่สุดในระดับมุมเอียง 70 องศา คือ พบว่าที่การใช้ปริมาณแสงสว่างในห้องที่เพิ่มจากระดับ 200 เป็น 600 ลักซ์นั้นจะส่งผลให้ใช้เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวที่ต่ำที่สุด โดยต่ำกว่าปริมาณแสงสว่างในห้องที่ระดับอื่นอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เหตุผลหลักของความแปรปรวนที่เพิ่มขึ้นคาดว่าเกิดจากสาเหตุที่แตกต่างกัน 2 สาเหตุ คือ ผลของการสะท้อนของแสงไฟจากเพดานลงบนจอภาพ และเกิดเป็นภาพซ้อน (Superimpose) บนจอส่งผลให้การปฏิบัติงานยากขึ้นและเวลาการพิมพ์เพิ่ม ดังนั้นเมื่อระดับแสงไฟอยู่ในช่วงสูง (1000-1600 ลักซ์) ปัญหาภาพซ้อนจึงเพิ่มขึ้นกว่าระดับ 600 ลักซ์ อย่างไรก็ตามในส่วนในระดับแสงไฟที่อยู่ในช่วงต่ำ (200-400 ลักซ์) จะให้ผลที่กลับกัน คือ ระดับไฟต่ำกลับมีเวลาการพิมพ์ที่เพิ่มขึ้นอีก สาเหตุในส่วนนี้คาดว่าเกิดจากสาเหตุที่แตกต่างออกไป กล่าวคือ ที่ระดับแสงไฟต่ำๆ นี้ ปัญหาจากการเกิดภาพซ้อนไม่เป็นประเด็นสำคัญอีกต่อไป แต่ความสว่างที่เพียงพอต่อการปฏิบัติงานกลับเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเพิ่มขึ้นมา ซึ่งกรณี 200-400 ลักซ์อาจจะไม่เพียงพอต่อการปฏิบัติงานให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด หรือมองเห็นได้ไม่ชัดเจน (การพิสูจน์อักษร และการบันทึกข้อมูลบนจอภาพ ได้กำหนดระดับแสงไฟที่เหมาะสมไว้ที่ 600 ลักซ์ขึ้นไป ดังรายละเอียดที่ได้กล่าวไว้ในตารางที่ 2.1)





รูปที่ 4.12 อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างค่า ID กับมุมเอียงจอภาพ

จากรูปที่ 4.12 ผลของอันตรกิริยาระหว่าง ID กับมุมเอียงจอภาพนั้น การพิจารณาปัจจัย ID หรือความยากของงานพิมพ์จะเห็นได้ว่าการพิมพ์ชุดแบบทดสอบที่ ID 1 จะมีเวลาการพิมพ์ต่ำที่สุดที่มุมเอียง 0 องศา งาน ID2 จะอยู่ที่มุมเอียง 0-20 องศา งาน ID 3 จะอยู่ที่มุมเอียง 20 องศา และ ID 4 จะอยู่ที่มุมเอียง 20 องศา ซึ่งปัจจัยด้าน ID ที่แตกต่างกันนั้นจะทำให้เกิดความแปรปรวนของเวลาการพิมพ์ในช่วงความเอียงจอภาพระดับนี้ คือ กลุ่มงานง่าย (ID 1 และ ID 2) เมื่อมีการเอียงจอภาพมากขึ้นจะมีแนวโน้มที่เวลาการพิมพ์จะเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ส่วนกลุ่มงานที่ยากขึ้น (ID 3 และ ID 4) การใช้มุมเอียงจอภาพที่ระดับ 0 องศากลับได้เวลาการพิมพ์ที่สูงกว่าการเอียงเล็กน้อย คือ ประมาณ 20 องศา ซึ่งเกิดจากการที่งานพิมพ์ซึ่งอยู่ในกลุ่มยากมีตัวอักษรที่ถูกจัดความยากตามปัจจัยแถวและนิ้วมือของแป้นพิมพ์ (พงศภัทร อุไรวงศ์, 2556) ทำให้บางครั้งผู้เข้าร่วมการทดลองอาจจะมีการชำเลื่องมองดูตัวอักษรบนแป้นพิมพ์ ดังนั้นมุมมองของสายตาจะอยู่ในระดับต่ำกว่าแนวระดับโดยปกติโดยส่วนใหญ่ เมื่อเป็นดังนี้ การที่หน้าจอมีการเอียงเล็กน้อย จะส่งผลดีมากกว่าเพราะอยู่ใกล้กับแนวทางการมองมากกว่า หรือใช้เวลาในการเลื่อนสายตาน้อยกว่านั่นเอง แต่เมื่อความเอียงจอภาพเอียงมากถึงระดับ 50-70 องศาแล้ว ปัจจัยความยากในการอ่านตัวอักษรที่เพิ่มขึ้นตามการเอียงของจอภาพจะกลายเป็นปัจจัยหลักทำให้เกิดการก้มหน้าซึ่งทำให้นิวสายตาทิศไม่ต่อการมองเห็นในช่วงความเอียงมากๆ



รูปที่ 4.13 อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างความสว่างและมุมเอียงจอภาพ

จากรูปที่ 4.13 การวิเคราะห์อันตรกิริยาระหว่างความสว่างและมุมเอียงจอภาพนี้ด้วยเหตุผลเดียวกับการพิจารณาอิทธิพลร่วมก่อนหน้านี้ ทำให้เราสามารถพิจารณาแยกมุมเอียงหน้าจอออกเป็น 3 ระดับได้ คือ ระดับต่ำ (0-30 องศา) ระดับกลาง (50 องศา) และระดับสูง (70 องศา) ซึ่งเมื่อพิจารณาแยกระดับดังนี้แล้ว จะเห็นได้ว่า ที่ระดับมุมเอียงต่ำ และกลางความแตกต่างของเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวที่ระดับต่างกันจะมีไม่มากเท่ากับความแตกต่างของเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวที่ระดับความสว่างจอภาพที่ต่างกันเมื่อใช้มุมเอียงจอภาพที่ระดับ 70 องศา อย่างไรก็ตาม ในส่วนของมุมเอียงสูงที่ 70 องศา จะพบว่า เวลาการพิมพ์จะลดลงอย่างมากระหว่างความสว่างที่ 0% กับ 50% แต่ในส่วนของ 50% กับ 100% นั้นให้ผลของเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวที่ใกล้เคียงกัน

จากผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นถึงสาเหตุของอันตรกิริยานี้ ว่าน่าจะเกิดจากระดับมุมเอียงที่ 70 องศา ที่ส่งผลให้เวลาการพิมพ์มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าระดับความเอียงที่ระดับอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด สาเหตุที่ผู้วิจัยคาดว่าจะใช้อธิบายสิ่งที่ค้นพบนี้ คือ ความสว่างที่ลดลงเมื่อมองจอภาพในมุมที่เบี่ยงออกจากการมองตรงตาม อันเป็นคุณลักษณะของจอแสดงผลภาพโดยทั่วไป (จอภาพที่ใช้ในการทดลองมี Viewing angle 170 องศา ซึ่งหมายความว่า ณ มุมเอียงการมองที่ 70 องศา ความสว่างที่จะรับรู้ได้จริงจะมีค่าเป็นเพียงครึ่งหนึ่งของการมองตรง) ดังนั้น ในสภาวะการทำงานที่หน้าจอมีการ

เอียงทำมุมมากๆ ถึงบริเวณขอบของค่า Viewing angle มีความจำเป็นที่จะต้องปรับความสว่างหน้าจอเพิ่มขึ้นเพื่อให้คงประสิทธิภาพการทำงานให้ได้มากที่สุด

หลังจากการวิเคราะห์แนวโน้มของอันตรายที่แต่ละคู่แล้วจะพบว่ามุมเอียงจอภาพจะเป็นปัจจัยที่เป็นคู่อันตรายกับอีกทั้ง 3 ปัจจัยที่เหลือ อย่างไรก็ตามผลของอันตรายที่เกิดขึ้นแต่ละคู่ปัจจัยนั้นจะพบว่าการใช้มุมเอียงจอภาพที่ระดับ 0 - 30 องศาทำให้เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวอักษรมีเวลาที่ใกล้เคียงกันไม่ว่าจะพิจารณาที่ปัจจัยใดๆ แต่เนื่องมาจากผลของอันตรายที่เกิดขึ้นนั้นจะไม่สามารถบอกความแตกต่างได้อย่างชัดเจนดังนั้น จึงต้องทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของคู่ระดับของปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อการใช้เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวน้อยที่สุด โดยจะทำการวิเคราะห์แยกทีละระดับของการใช้ปริมาณแสงสว่างในห้องเนื่องจากในสภาวะการทำงานจริงปริมาณแสงสว่างในห้องนั้นเป็นปัจจัยที่ปรับได้ยากที่สุด และเป็นปัจจัยที่ถูกกำหนดไว้ในแต่ละสภาวะการทำงาน โดยจะทำการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างระดับของปัจจัยด้านความสว่างจอภาพที่ 50% และ 100% ร่วมกับมุมเอียงจอภาพที่ 0 - 30 องศา ในทุกระดับของปัจจัยด้านปริมาณแสงสว่างในห้องเนื่องจากความสว่างและมุมเอียงจอภาพเป็น 2 ปัจจัยที่ปรับใช้งานได้ง่ายที่สุด และจะทำการวิเคราะห์แยกทีละ ID เพื่อจัดอันดับของผลของความแปรปรวนที่เกิดจากผลของเวลาในแต่ละอันตรายนั้นซึ่งจะเป็นเวลาที่เฉลี่ยในทุกๆ ID โดยตารางที่ 4.1 นั้นจะเป็นตารางที่แสดงระดับปัจจัยร่วมที่จะนำไปวิเคราะห์แยกทีละ ID

ตารางที่ 4.1 ปัจจัยร่วมด้านปริมาณแสงสว่างในห้อง ความสว่างและมุมเอียงจอภาพที่จะทำการวิเคราะห์แยกในแต่ละ ID

ปริมาณแสงสว่างในห้อง (ลักซ์)	ความสว่างจอภาพ (%)	มุมเอียงจอภาพ (องศา)
200	50	0
		10
		20
		30
	100	0
		10
		20
		30
400	50	0
		10
		20
		30
	100	0
		10
		20
		30
600	50	0
		10
		20
		30
	100	0
		10
		20
		30
1000	50	0
		10
		20
		30
	100	0
		10
		20
		30
1600	50	0
		10
		20
		30
	100	0
		10
		20
		30

เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างกันทีละคู่จากสูตร

$$\bar{x} \pm t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \times \frac{sd}{\sqrt{n}}$$

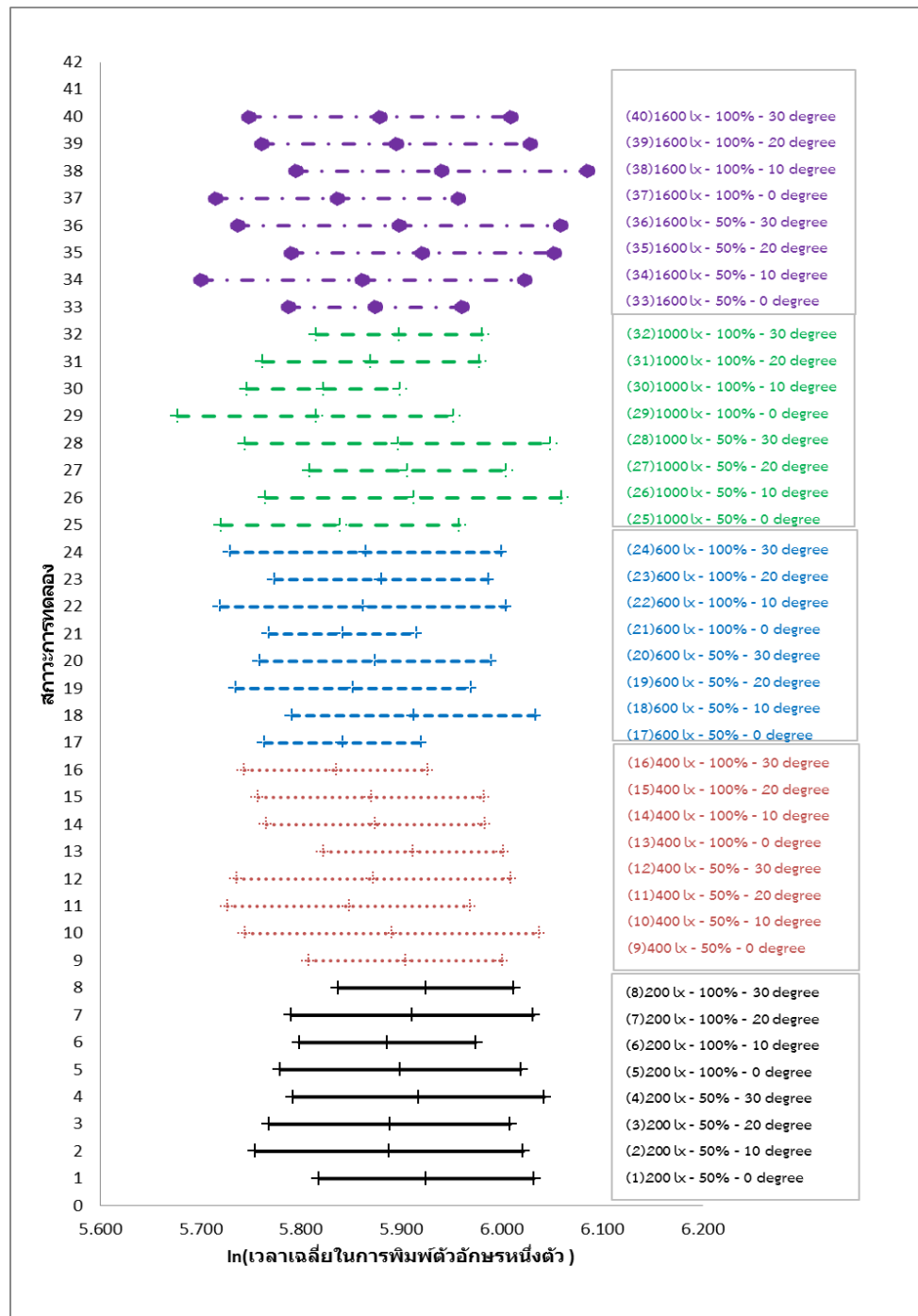
โดย  $\alpha$  = ระดับนัยสำคัญ = 0.05

n = จำนวนตัวอย่าง = 10 (ผู้เข้าร่วมการทดลอง 10 คน)

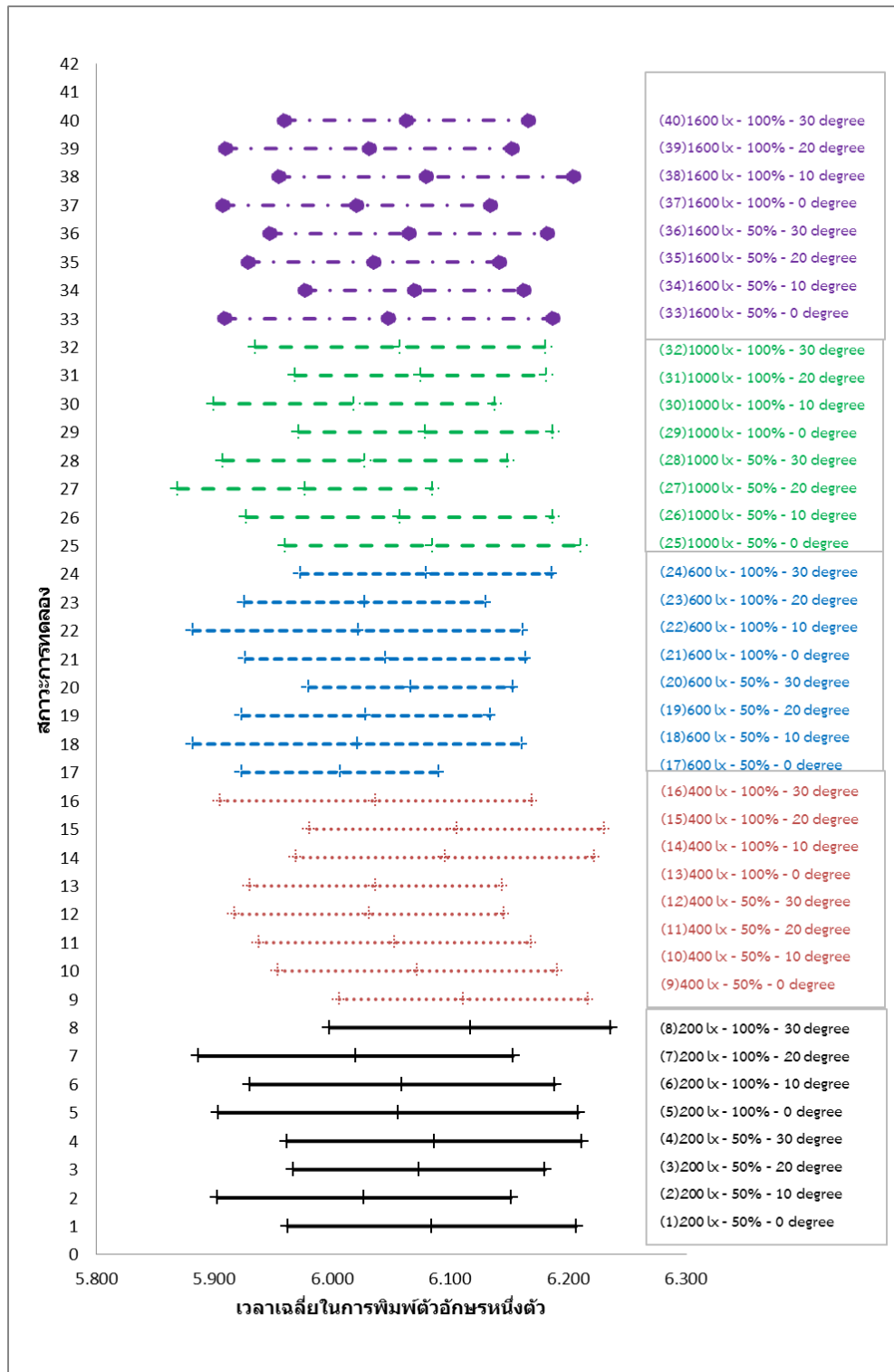
sd = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง

จากการเปิดตารางจะได้  $t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} = t_{\frac{0.05}{2}, 10-1} = 2.262$

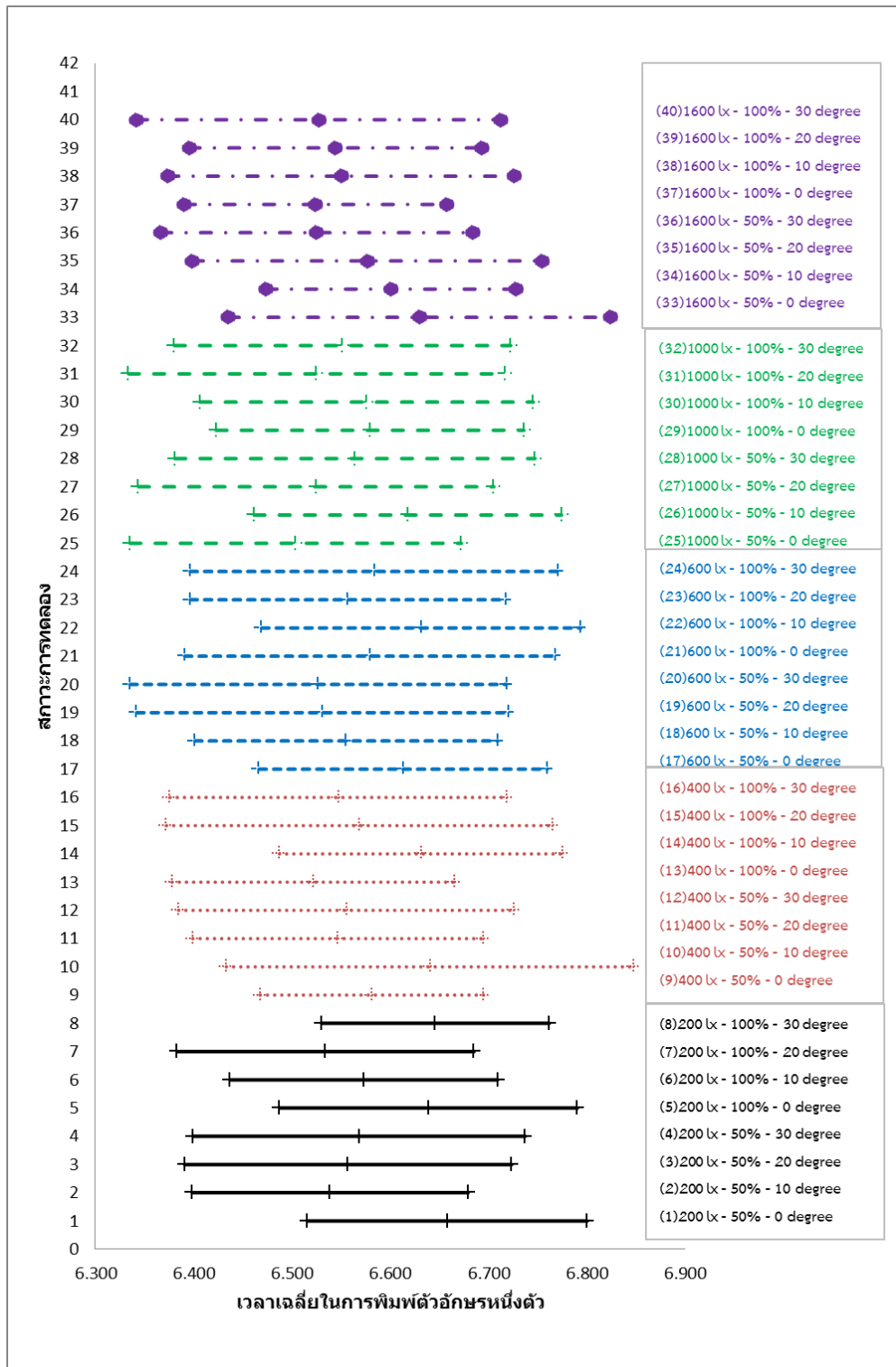
เมื่อทำการคำนวณหาช่วงความเชื่อมั่น (Confidence interval) ของแต่ละคู่ปัจจัยที่ทำการวิเคราะห์จะได้ผลของการคำนวณแสดงไว้ในตารางที่ ค3 ในภาคผนวก และรูปที่ 4.14 – 4.17



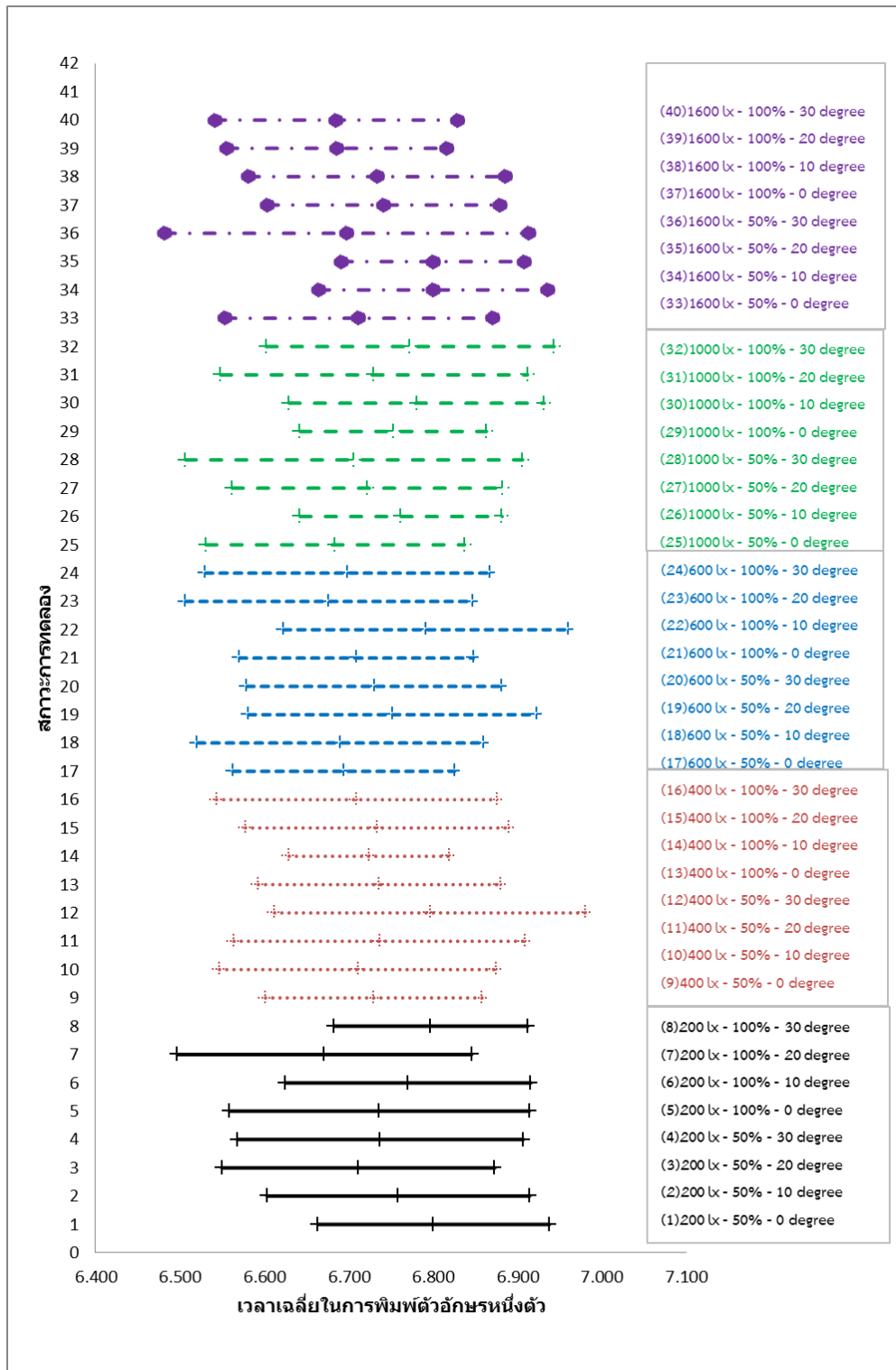
รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบปัจจัยด้านปริมาณแสงสว่างในห้อง 200 – 1600 ลักซ์ร่วมกับความสว่างจอภาพที่ 50 กับ 100% และมุมเอียงจอภาพที่ 0 – 30 องศาภายใต้การใช้แบบทดสอบการพิมพ์ที่



รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบปัจจัยด้านปริมาณแสงสว่างในห้อง 200 – 1600 ลักซ์ร่วมกับความสว่างจอภาพที่ 50 กับ 100% และมุมเอียงจอภาพที่ 0 – 30 องศาภายใต้การใช้แบบทดสอบการพิมพ์ที่



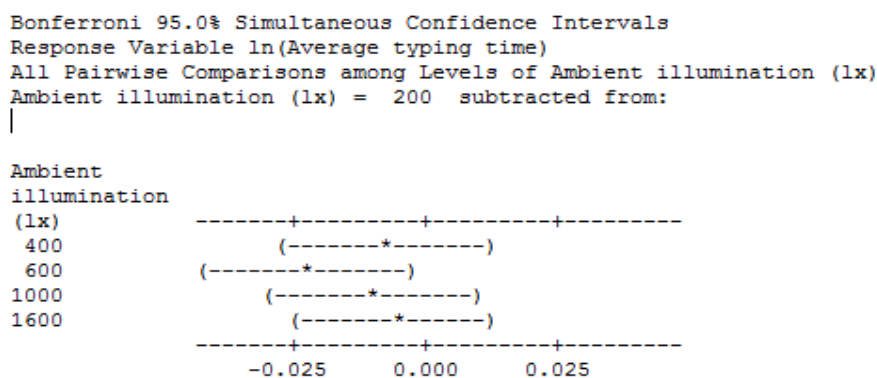
รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบปัจจัยด้านปริมาณแสงสว่างในห้อง 200 – 1600 ลักซ์ร่วมกับความสว่างจอภาพที่ 50 กับ 100% และมุมเอียงจอภาพที่ 0 – 30 องศาภายใต้การใช้แบบทดสอบการพิมพ์ที่



รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบปัจจัยด้านปริมาณแสงสว่างในห้อง 200 – 1600 ลักซ์ร่วมกับความสว่างจอภาพที่ 50 กับ 100% และมุมเอียงจอภาพที่ 0 – 30 องศาภายใต้การใช้แบบทดสอบการพิมพ์ที่



จากรูปที่ 4.14 – 4.17 เมื่อพิจารณาถึงการใช้ปริมาณแสงสว่างในห้องและมุมเอียงจอภาพไม่ว่าจะพิจารณาที่ระดับ ID ใดก็ตามจะพบว่าการใช้ความสว่างที่ระดับ 50% - 100% และมุมเอียงจอภาพที่ 0 - 30 องศาไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวอย่างมีนัยสำคัญซึ่งเห็นได้จากการที่ช่วงความเชื่อมั่นของทุกระดับของคู่ปัจจัยมีการซ้อนทับกันของช่วงความเชื่อมั่น (Bonferroni Test) ซึ่งพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของระดับปัจจัยที่เราสนใจเทียบกับระดับปัจจัยอื่นๆหรือดูจากผลของการวิเคราะห์ด้วยวิธี Tukey ซึ่งทำการจัดกลุ่มของระดับปัจจัยที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบให้เห็นถึงการใช่วิธีการวิเคราะห์ทั้งสองแบบนี้ ได้แก่ ปริมาณแสงสว่างในห้อง ความสว่างจอภาพ มุมเอียงจอภาพและ ID



รูปที่ 4.18 Bonferroni Test ของปริมาณแสงสว่างในห้องทั้ง 5 ระดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

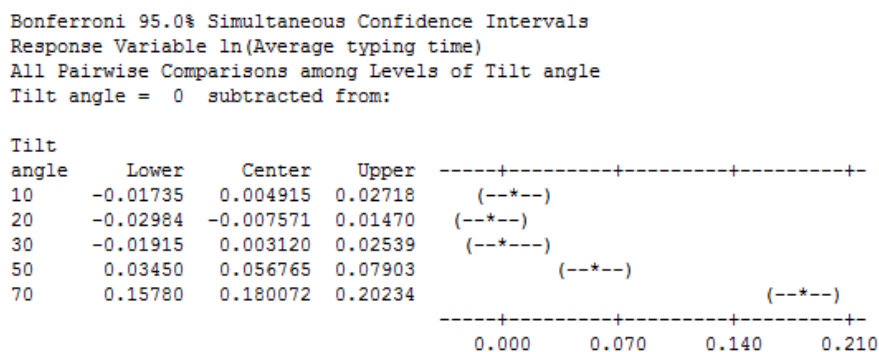
Ambient illumination (lx)	N	Mean	Grouping
200	720	6.365	A
1600	720	6.359	A B
400	720	6.358	A B
1000	720	6.355	A B
600	720	6.342	B

Means that do not share a letter are significantly different.

รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ Pairwise Comparisons ของปัจจัยด้านปริมาณแสงสว่างในห้องสำหรับการวิเคราะห์ช่วงความเชื่อมั่นของปริมาณแสงสว่างในห้องทั้ง 5 ระดับนั้น



วิเคราะห์จึงแสดงให้เห็นว่าที่ระดับความสว่างจอภาพที่ระดับ 50% และ 100% จะไม่ส่งผลต่อความแตกต่างกันของเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.22 Bonferromi Test ของมุมเอียงทั้ง 6 ระดับ

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

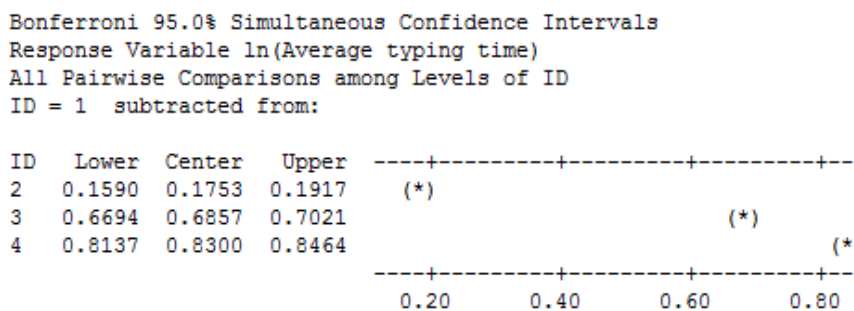
Tilt angle	N	Mean	Grouping
70	600	6.496	A
50	600	6.373	B
10	600	6.321	C
30	600	6.319	C
0	600	6.316	C
20	600	6.309	C

Means that do not share a letter are significantly different.

รูปที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ Pairwise Comparisons ของปัจจัยด้านมุมเอียงจอภาพ

จากรูปที่ 4.22 เมื่อวิเคราะห์ถึงช่วงของความเชื่อมั่นของเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวที่ปัจจัยด้านมุมเอียงจอภาพนั้นพบว่าการใช้มุมเอียงจอภาพที่ระดับ 0 – 30 องศา จะไม่ทำให้เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญแต่มุมเอียงระดับที่ 50 และ 70 นั้นจะส่งผลต่อความแตกต่างของเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวอย่างมีนัยสำคัญและเมื่อทำการวิเคราะห์ Pairwise Comparisons ดังรูปที่ 4.23 ของมุมเอียงของจอภาพนั้นจะเห็นได้ว่าการใช้ที่ระดับ 0, 10, 20, และ 30 องศาจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันคือกลุ่ม C โดยเมื่อเปรียบเทียบการใช้ที่ระดับ 50 และ 70 องศา นั้นจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจึงถูกจัดให้อยู่ในกลุ่ม B และ A ตามลำดับ

โดยผลการทดสอบที่ได้ จะเป็นการยืนยันถึงข้อแนะนำการใช้มุมเอียงจอภาพที่ 5 – 20 องศาสำหรับการใช้งานคอมพิวเตอร์ในสำนักงานตามที่ได้เคยกล่าวไว้ในบทนำ



รูปที่ 4.24 Bonferroni Test ของ ID ทั้ง 4 ระดับ

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

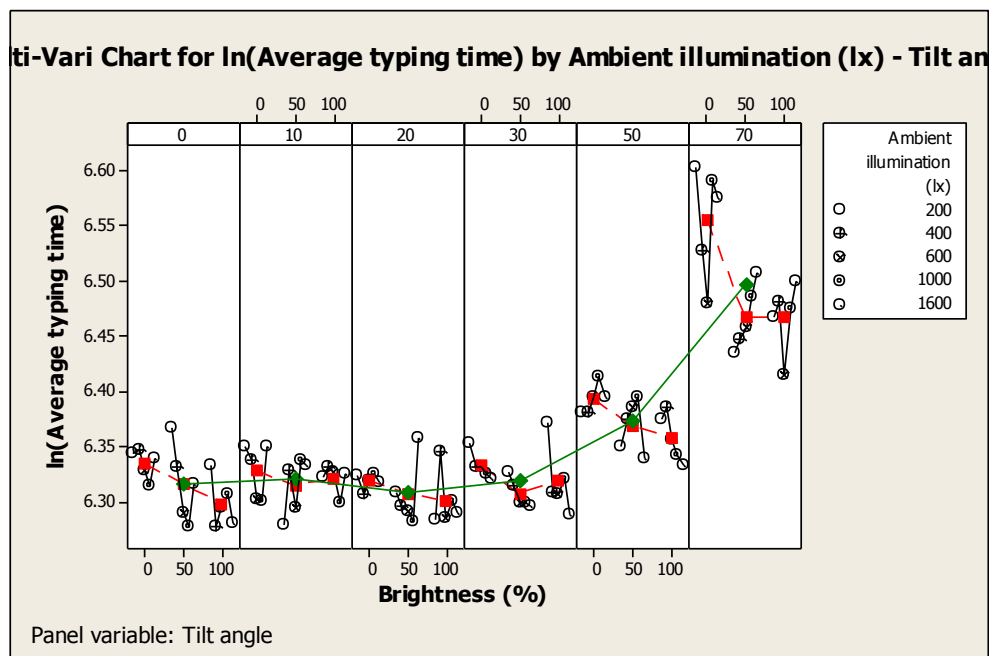
ID	N	Mean	Grouping
4	900	6.763	A
3	900	6.619	B
2	900	6.108	C
1	900	5.933	D

Means that do not share a letter are significantly different.

รูปที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ Pairwise Comparisons ของปัจจัยด้านค่า ID

จากรูปที่ 4.24 เมื่อวิเคราะห์ถึงช่วงของความเชื่อมั่นของเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวที่ปัจจัยด้าน ID ทั้ง 4 ระดับนั้นจะส่งผลให้เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวมีความแตกต่างกันและเมื่อทำการวิเคราะห์ Pairwise Comparisons ดังรูปที่ 4.25 จึงจัดกลุ่ม ID1 - 4 ได้เป็น A, B, C, และ D ตามลำดับ

บทสรุปการวิเคราะห์ผลการทดลอง



รูปที่ 4.26 กราฟ Multi-Vari Chart ของปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย

เนื่องจากปัจจัยหลักของงานวิจัยฉบับนี้ แบ่งออกเป็น 3 ด้าน หลักๆ ดังนั้น จึงนำข้อมูลมาแสดงเป็น Multi vari chart ดังรูปที่ 4.26 เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่าง 3 ปัจจัยในคราวเดียวกัน โดยไม่แสดงปัจจัยด้าน ID ซึ่งมีความสำคัญในระดับรอง และแนวโน้มอันตรกิริยาไม่เด่นชัดเท่ากับปัจจัยหลักของงานวิจัย กล่าวโดยสรุป จะเห็นได้ว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อเวลาการพิมพ์ คือ มุมเอียงจอภาพโดยมุมเอียงที่เหมาะสม (ให้เวลาพิมพ์ต่ำสุด) จะเป็นกลุ่ม 0-30 องศา ซึ่งไม่ว่าจะแปรเปลี่ยนปัจจัยอื่นๆ อย่างไรก็ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญในช่วงของการเอียงหน้าจอระดับต่ำนี้ แต่หากการทำงานมีความจำเป็นที่จะต้องเอียงหน้าจอมากขึ้น คือ 50-70 องศา ก็จำเป็นที่จะต้องพิจารณาปรับตั้งค่าปัจจัยอื่นๆ เพิ่มเติม ได้แก่ ควรใช้ระดับความสว่างจอภาพที่ 50% - 100% โดยพบว่าทั้งสองระดับนี้ไม่ส่งผลต่อเวลาการพิมพ์อย่างมีนัยสำคัญ และควรหลีกเลี่ยงความสว่างที่ระดับ 0% เพราะให้ผลเวลาการพิมพ์ที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจากนั้น จึงควรระมัดระวังในการปรับระดับแสงสว่างภายในห้องเป็นปัจจัยสุดท้าย เนื่องจากมีความยุ่งยากในการปรับระดับปัจจัยนี้ แต่หากสามารถปรับหรือออกแบบได้ตั้งแต่ต้น ผู้วิจัยขอแนะนำให้ระดับแสงสว่างในห้องเป็นไปตามคำแนะนำของมาตรฐานสำหรับการ

ป้อนข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งกำหนดไว้อยู่ที่ระดับความสว่าง 600 ลักซ์ขึ้นไป โดยผู้วิจัยเชื่อว่า หากปรับความสว่างเพิ่มขึ้นจาก 600 ลักซ์ไปจนถึง 1600 ลักซ์ ก็จะทำให้การปฏิบัติงานมีประสิทธิภาพมากขึ้นดังผลการทดลองที่ระบุไว้ในส่วนก่อนหน้า

#### 4.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติกรณีใช้ค่าสมรรถนะบุคคลเป็นตัวชี้วัด

จากกฎของฟิตส์ (Fitts' Law) ซึ่งได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.3 งานวิจัยนี้อาจกล่าวได้ว่าค่า MT นั้นเปรียบเสมือนกับเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัว ซึ่งเป็นข้อมูลสำหรับใช้วิเคราะห์ผลของปัจจัยทั้ง 3 ที่สนใจในแต่ละ ID ทั้ง 4 ระดับจากหัวข้อที่ 4.1

ตัวอย่างในการคำนวณค่าสมรรถนะของข้อมูลแต่ละบุคคลในแต่ละสภาวะการทดลองนั้นจะใช้ข้อมูลจากในตารางที่ 4.2 ดังนี้

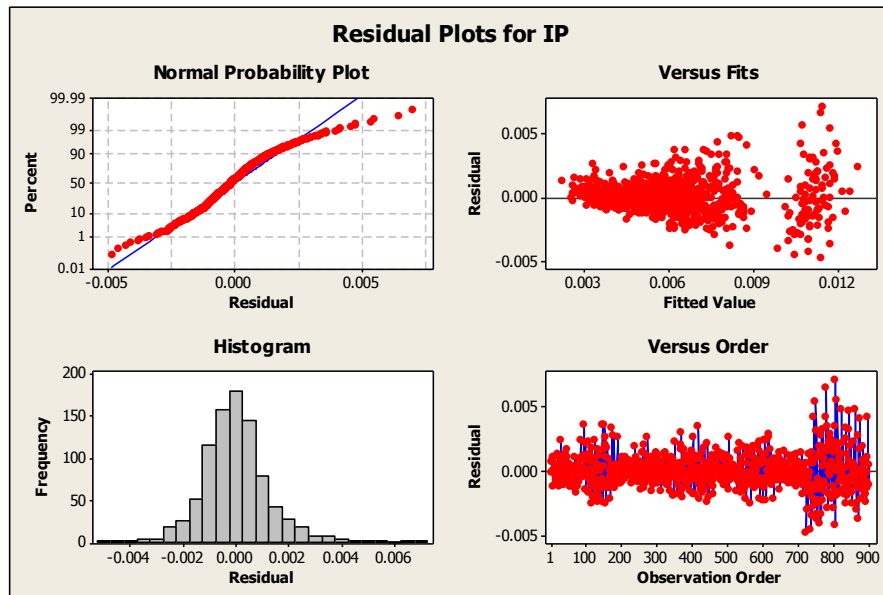
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลของผู้ร่วมทดลองคนที่ 1 ที่ใช้เป็นตัวอย่งการคำนวณ

สภาวะการทดลอง	ปริมาณแสงสว่างในห้อง (ลักซ์)	ความสว่าง (%)	มุมเอียง (องศา)	ดัชนีความยากชุดแบบทดสอบ	เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์หนึ่งตัวอักษร (ms)
1	200	0	0	1	410.222
	200	0	0	2	410.462
	200	0	0	3	948.400
	200	0	0	4	965.600

เนื่องจากค่าสมรรถนะของบุคคลตามกฎของฟิตส์นั้น คือ ค่าส่วนกลับของความชันกราฟซึ่งพลอตระหว่างดัชนีความยากของชุดแบบทดสอบในแกน X และเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์หนึ่งตัวอักษรในแกน Y จากตารางที่ 4.2 จึงใช้ฟังก์ชัน SLOPE(Y:X) ใน MS-Excel ในการหาค่าความชันออกมาได้เท่ากับ 220.47 เมื่อนำไปหาส่วนกลับจึงได้ค่าสมรรถนะของผู้ร่วมทดลองในสภาวะการทดลองนี้เท่ากับ 0.0045 และยังหาค่า  $R^2$  ได้จากฟังก์ชัน RSQ(Y:X) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.812

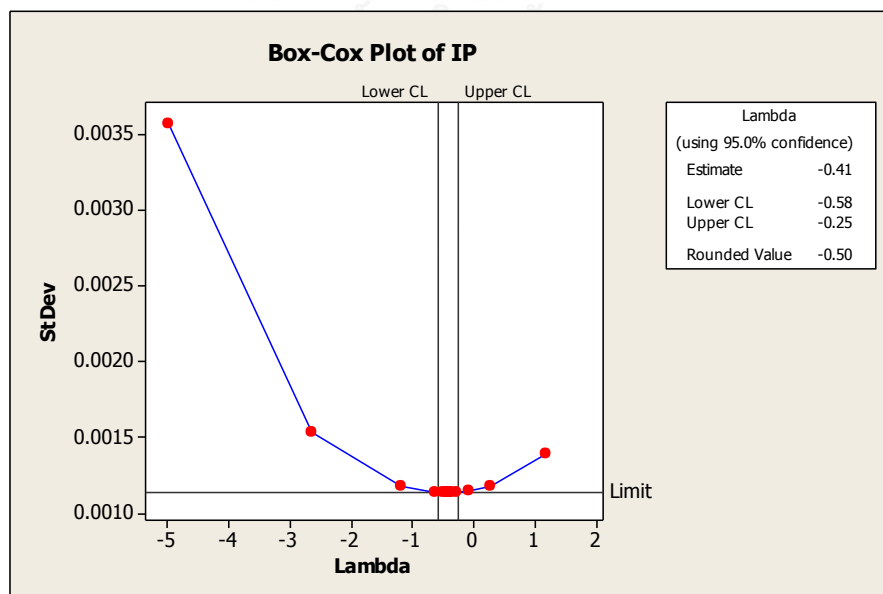
เมื่อนำข้อมูลด้านเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัว ในแต่ละสภาวะการทดลองทั้ง 90 สภาวะทั้ง ID 4 ระดับของทุกผู้ร่วมทดลองมาสร้างเป็นสมการเส้นตรงเพื่อหาค่าสมรรถนะของแต่ละบุคคลจากส่วนกลับของความชัน โดยค่าสมรรถนะนั้นจะนำมาเป็นปัจจัยชี้วัดเพิ่มเติมนอกจากเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวว่าผลของปัจจัยทั้ง 3 ที่สนใจจะทดสอบนั้นจะเป็นอย่างไร แต่เนื่องจากข้อมูล IP ที่เป็นตัวชี้วัดจะนำมาวิเคราะห์นั้นมีการแจกแจงที่ไม่ปกติเนื่องจากการกลุ่มข้อมูลที่เบี่ยงออกจากเส้นตรงในส่วนของ Normal Probability Plot และ กลุ่มข้อมูลที่กระจายตัวแยก

ออกเป็น 2 กลุ่มย่อยใน Versus Fits ดังรูปที่ 4.27 ดังนั้นจึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลให้ชุดข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์นั้นมีการแจกแจงแบบปกติ



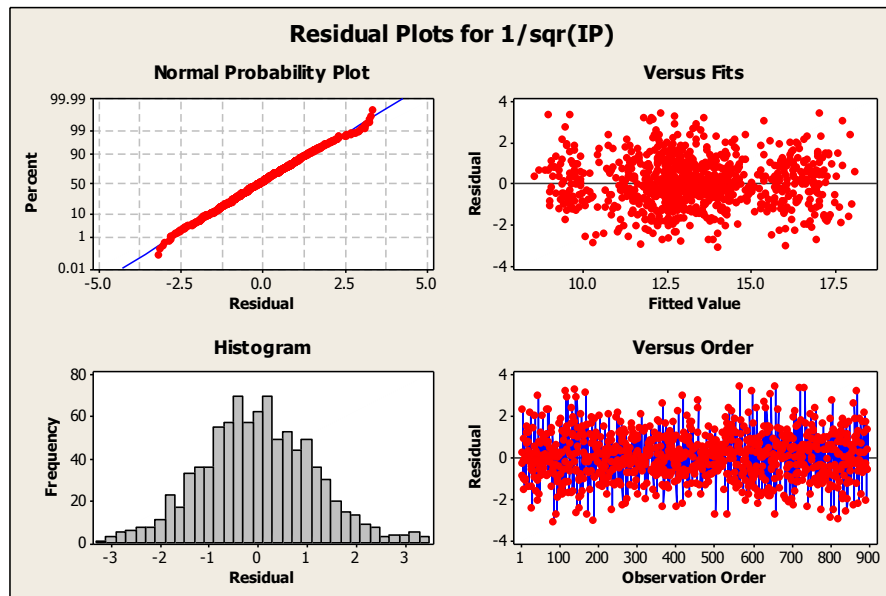
รูปที่ 4.27 Residual Plot ของชุดข้อมูลค่าสมรรถนะบุคคลจากผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน

เนื่องจากข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์นั้นมีการแจกแจงที่ไม่ปกติ ดังนั้นจึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลให้ชุดข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์นั้นมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 4.28 ค่า  $\lambda$  ที่ได้จากการคำนวณ

จากรูปที่ 4.28 หลังจากการคำนวณหาค่า  $\lambda$  จากโปรแกรม MINITAB แล้ว ทำให้ได้ค่า  $\lambda$  คือ -0.5 ซึ่งหมายความว่าค่า  $\lambda$  ที่ได้จะอยู่ในรูปของฟังก์ชัน  $1/\sqrt{Y}$  หรือกล่าวได้ว่าข้อมูลใหม่ที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ห้ผลนั้นคือ  $1/\sqrt{IP}$



รูปที่ 4.29 Residual Plot ของชุดข้อมูลค่าสมรรถนะบุคคลใหม่จากผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน

จากรูปที่ 4.29 พบว่า Normal Probability Plot ของชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นจะเห็นได้ว่ามีข้อมูลเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่กระจายตัวออกจากเส้นตรง Histogram ที่แสดงผลนั้นจึงอยู่ในรูปของการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ เช่นเดียวกับการพิจารณา Versus Fits ที่แสดงให้เห็นว่าชุดข้อมูลที่เหลือเกิดการกระจายตัวใน Fitted Value อย่างเป็นอิสระรวมถึง Versus Order ที่ค่า Residual ส่วนใหญ่ในแกน y จะกระจายอยู่ในช่วง -2 ถึง 2 จึงสรุปได้ว่าข้อมูลชุดใหม่ที่ทำกรแปลงให้เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวอยู่ในรูปของฟังก์ชัน  $1/\sqrt{IP}$  มีการกระจายตัวแบบปกติ



Analysis of Variance for 1/sqr(IP), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Blocks	9	3618.945	3618.945	402.105	282.44
Ambient illumination (lx)	4	9.072	9.072	2.268	1.59
Brightness (%)	2	7.302	7.302	3.651	2.56
Tilt angle (degree)	5	91.405	91.405	18.281	12.84
Ambient illumination (lx)* Brightness (%)	8	16.959	16.959	2.120	1.49
Ambient illumination (lx)* Tilt angle (degree)	20	33.414	33.414	1.671	1.17
Brightness (%)*Tilt angle (degree)	10	31.217	31.217	3.122	2.19
Ambient illumination (lx)* Brightness (%)*Tilt angle (degree)	40	56.654	56.654	1.416	0.99
Error	801	1140.388	1140.388	1.424	
Total	899	5005.356			

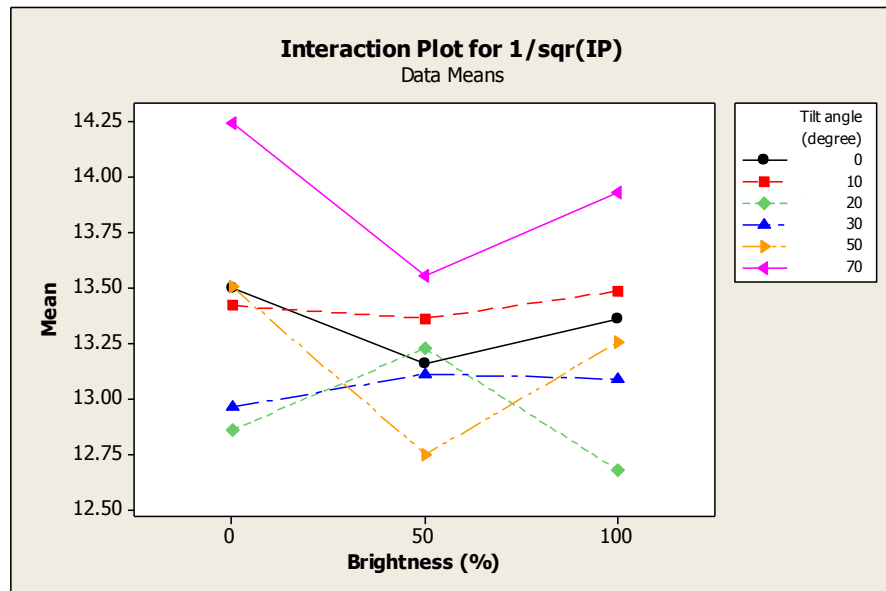
Source	P
Blocks	0.000
Ambient illumination (lx)	0.174
Brightness (%)	0.078
Tilt angle (degree)	0.000
Ambient illumination (lx)* Brightness (%)	0.157
Ambient illumination (lx)* Tilt angle (degree)	0.270
Brightness (%)*Tilt angle (degree)	0.016
Ambient illumination (lx)* Brightness (%)*Tilt angle (degree)	0.481
Error	
Total	

S = 1.19319 R-Sq = 77.22% R-Sq(adj) = 74.43%

#### รูปที่ 4.30 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสมรรถนะบุคคล

CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากรูปที่ 4.30 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบอันตรกิริยาระหว่างความสว่างและมุมเอียงจอภาพที่ส่งผลต่อค่าสมรรถนะบุคคล ( $p\text{-value} < 0.05$ ) เนื่องมาจากการแปลงข้อมูลค่าสมรรถนะบุคคลให้อยู่ในรูปของฟังก์ชัน  $1/\sqrt{IP}$  ทำให้การพิจารณาค่าจะเปลี่ยนไปโดยฟังก์ชันนี้จะแปรผกผันกับตัวชี้วัดเดิม คือ ค่าสมรรถนะ กล่าวคือที่ค่าสมรรถนะสูงๆจะทำให้ฟังก์ชันของชุดข้อมูลใหม่นี้มีค่าต่ำ



รูปที่ 4.31 อันตรกิริยาระหว่างความสว่างและมุมเอียงจอภาพเมื่อใช้ค่าสมรรถนะเป็นตัวชี้วัด

สำหรับผลที่ได้จากการอธิบายอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นจากรูปที่ 4.31 คือสำหรับการใช้มุมเอียงที่ระดับ 20 องศาพร้อมกับความสว่างจอภาพ 100 % นั้นจะทำให้มีค่าดัชนีสมรรถนะที่สูงที่สุดซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์อันตรกิริยาระหว่างความสว่างกับมุมเอียงจอภาพที่ใช้เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวเป็นตัวชี้วัดที่ใช้มุมเอียงที่ระดับ 20 องศาพร้อมกับความสว่างจอภาพ 100 % นั้นจะส่งผลต่อเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวที่น้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาที่มุมเอียงที่ระดับ 0-10 และ 50-70 องศา เป็นผลจากอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ความสว่างจอภาพจากระดับ 0% เป็น 50% ซึ่งจะให้ค่าสมรรถนะที่เพิ่มขึ้น แต่สมรรถนะจะลดลงเมื่อเพิ่มการใช้ความสว่างที่ระดับ 50% ไปเป็น 100% เนื่องจากการใช้ความสว่างที่เหมาะสมไม่มากหรือน้อยจนเกินไปจะทำให้เกิดความสบายตาจึงทำให้สามารถนั่งทำงานได้นานขึ้นซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเวลาที่ใช้ในการทำงานในสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงน้อยจึงเป็นเหตุผลในการอธิบายผลที่เกิดจากการใช้ความสว่างของจอภาพที่ระดับ 50%

#### 4.6 การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน

##### 4.6.1 การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนของเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัว

หลังจากที่ได้ทำวิเคราะห์ผลทางสถิติของปัจจัยที่ทำการศึกษาโดยใช้ตัวแปรตามเป็นเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวนั้น หัวข้อนี้จึงเป็นการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวเพื่อนำไปสร้างสมการพยากรณ์ สำหรับรูปแบบของสมการพยากรณ์นั้นสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4.1 นี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + e \quad \dots(4.1)$$

Y คือ ตัวแปรตาม (Dependent Variable) เนื่องจากแปรผันตามค่า X

X คือ ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

$\beta_0$  คือ ส่วนตัดแกน Y เมื่อกำหนดให้  $X_1 = X_2 = \dots = X_k = 0$

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  คือ สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงซ้อน

e คือ ความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม (random error)

สำหรับงานวิจัยนี้การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนจึงต้องเริ่มจากการกำหนดตัวแปรในสมการ เพื่อให้สอดคล้องกับการแสดงผลในโปรแกรม MINITAB ดังนี้

ตัวแปรตาม คือ Average Typing Time (ms)

ตัวแปรอิสระ คือ Ambient illumination (lx), Brightness ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) ซึ่งจะเปลี่ยนจากหน่วย 0%, 50% และ 100% เป็น 67,145 และ 200  $\text{cd}/\text{m}^2$ , Tilt Angle (degree) และ ID

เนื่องจากตัวแปร ID ไม่สามารถใช้โดยตรงได้ในสมการพยากรณ์เนื่องจากตัวแปรชนิดนี้เป็นตัวแปรที่เกิดจากการแบ่งกลุ่มตัวอักษรที่ใช้ในแบบทดสอบการพิมพ์ ไม่ใช่ค่าที่แท้จริง ดังนั้นจึงต้องสร้างกลุ่มตัวแปรหุ่น (Dummy Variable) ซึ่งประกอบไปด้วย X1-ID, X2-ID, และ X3-ID ขึ้นมาตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตัวแปรหุ่นของค่า ID

ID	X1-ID	X2-ID	X3-ID
1	0	0	0
2	1	0	0
3	0	1	0
4	0	0	1

### Regression Analysis: ln(Average t versus Ambient illu, Brightness, ...

The regression equation is

$$\begin{aligned} \ln(\text{Average typing time}) = & 5.85 + 0.000000 \text{ Ambient illumination} \\ & + 0.000017 \text{ Brightness} + 0.00348 \text{ Tilt Angle} \\ & + 0.175 \text{ x1-ID} + 0.701 \text{ x2-ID} + 0.867 \text{ x3-ID} \\ & - 0.000000 \text{ Ambient} * \text{Brightness} \\ & + 0.000000 \text{ Ambient} * \text{Tilt} - 0.000007 \text{ Brightness} * \text{Tilt} \\ & - 0.000003 \text{ x1-ID} * \text{Tilt} - 0.000521 \text{ x2-ID} * \text{Tilt} \\ & - 0.00122 \text{ x3-ID} * \text{Tilt} \end{aligned}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5.85431	0.02347	249.47	0.000
Ambient illumination	0.00000016	0.00002045	0.01	0.994
Brightness	0.0000169	0.0001383	0.12	0.903
Tilt Angle	0.0034758	0.0005084	6.84	0.000
x1-ID	0.17540	0.01547	11.34	0.000
x2-ID	0.70136	0.01547	45.35	0.000
x3-ID	0.86675	0.01547	56.04	0.000
Ambient * Brightness	-0.00000010	0.00000013	-0.78	0.433
Ambient * Tilt	0.00000041	0.00000029	1.43	0.152
Brightness * Tilt	-0.00000660	0.00000262	-2.52	0.012
x1-ID * Tilt	-0.0000027	0.0004039	-0.01	0.995
x2-ID * Tilt	-0.0005213	0.0004039	-1.29	0.197
x3-ID * Tilt	-0.0012240	0.0004039	-3.03	0.002

S = 0.203943 R-Sq = 74.7% R-Sq(adj) = 74.6%

### รูปที่ 4.32 การสร้างสมการพยากรณ์จากโปรแกรม MINITAB

จากรูปที่ 4.30 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงซ้อนพบว่า มีปัจจัยที่ไม่มีความสัมพันธ์กับการพยากรณ์ค่า  $\ln(\text{Average typing time})$  จึงทำการตัดปัจจัยนี้ออกแล้ววิเคราะห์ผลในโปรแกรม MINITAB ใหม่ ดังรูปที่ 4.32 ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ Stepwise Regression แบบ Backward เช่นกัน

### Regression Analysis: ln(Average typin versus Tilt Angle, x1-ID, ...

The regression equation is

$$\ln(\text{Average typing time}) = 5.85 + 0.00378 \text{ Tilt Angle} + 0.175 \text{ x1-ID} + 0.686 \text{ x2-ID} \\ + 0.862 \text{ x3-ID} - 0.000008 \text{ Brightness} * \text{Tilt} \\ - 0.00105 \text{ x3-ID} * \text{Tilt}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5.85171	0.00841	696.11	0.000
Tilt Angle	0.0037767	0.0002776	13.60	0.000
x1-ID	0.175321	0.009613	18.24	0.000
x2-ID	0.685722	0.009613	71.33	0.000
x3-ID	0.86151	0.01379	62.46	0.000
Brightness * Tilt	-0.00000778	0.00000163	-4.78	0.000
x3-ID * Tilt	-0.0010493	0.0003297	-3.18	0.001

S = 0.203922 R-Sq = 74.7% R-Sq(adj) = 74.7%

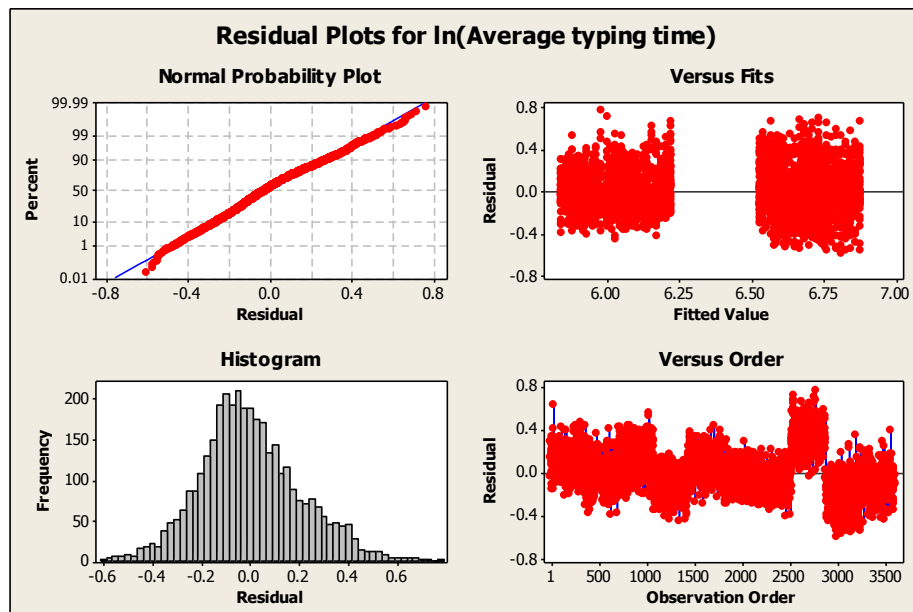
**รูปที่ 4.33** การสร้างสมการพยากรณ์ค่าเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวจากโปรแกรม

MINITAB

หลังจากการสร้างสมการพยากรณ์  $\ln(\text{Average typing time}) = 5.85 + 0.00378 \text{ Tilt Angle} + 0.175 \text{ x1-ID} + 0.686 \text{ x2-ID} + 0.862 \text{ x3-ID} - 0.000008 \text{ Brightness} * \text{Tilt} - 0.00105 \text{ x3-ID} * \text{Tilt}$

ค่า  $R^2$  ที่ได้จะมีค่า 74.4% ซึ่งถือว่าตัวแปรอิสระในสมการมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกับตัวแปรตามค่อนข้างดี โดยทุกตัวแปรอิสระได้แก่ Brightness (%), Tilt Angle (degree) และกลุ่มตัวแปรหุ่นเช่น X1-ID, X2-ID, และ X3-ID จะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม

แต่เนื่องจากการสร้างสมการพยากรณ์นั้นจะต้องพิจารณาถึงความน่าเชื่อถือของสมการที่ได้ นอกจากการพิจารณา  $R^2$  แล้วจะต้องทำการพิจารณาถึง Residual Plot ของชุดข้อมูลด้วย



รูปที่ 4.34 Residual Plot ของชุดข้อมูลค่า  $\ln(\text{Average typing time})$  จากผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน

จากรูปที่ 4.34 พบว่า Normal Probability Plot ของชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นจะเห็นได้ว่ามีข้อมูลเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่กระจายตัวออกจากเส้นตรง Histogram ที่แสดงผลนั้นจึงอยู่ในรูปของการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ เช่นเดียวกับการพิจารณา Versus Fits ที่แสดงให้เห็นว่าชุดข้อมูลที่เหลือเกิดการกระจายตัวใน Fitted Value อย่างเป็นอิสระรวมถึง Versus Order ที่ค่า Residual ส่วนใหญ่ในแกน y จะกระจายอยู่ในช่วง  $-0.4$  ถึง  $0.4$  จึงทำให้สมการพยากรณ์ที่ได้นั้นมีความน่าเชื่อถือ แต่เมื่อสังเกตจากกราฟ Versus Fits นั้นพบว่าค่า Fitted Value ที่เป็นค่าพยากรณ์ของ Y ในช่วง  $6.25 - 6.5$  นั้นหายไปจึงทำการแทนค่าตัวแปรกลับลงในสมการเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโมเดลจึงพบว่าไม่มีค่าพยากรณ์ใดๆที่ตกลงในช่วง  $6.25 - 6.5$  ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าช่วงของค่าที่หายไปนั้นไม่ถือว่าเป็นความผิดปกติแต่อย่างใด

#### 4.6.2 การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนของค่าสมรรถนะบุคคล

ในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนจึงต้องเริ่มจากการกำหนดตัวแปรในสมการ เพื่อให้สอดคล้องกับการแสดงผลในโปรแกรม MINITAB ดังนี้

ตัวแปรตาม คือ  $1/\sqrt{IP}$

ตัวแปรอิสระ คือ Ambient illumination (lx), Brightness ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) ซึ่งจะเปลี่ยนจากหน่วย 0%, 50% และ 100% เป็น 67,145 และ 200  $\text{cd}/\text{m}^2$ , Tilt Angle (degree)

### Regression Analysis: 1/sqr(IP) versus Ambient illu, Brightness (, ...

The regression equation is

$$1/\text{sqr}(\text{IP}) = 13.3 - 0.000088 \text{ Ambient illumination (lx)} \\ - 0.00099 \text{ Brightness (cd/m}^2\text{)} + 0.00645 \text{ Tilt angle (degree)}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	13.3121	0.2638	50.47	0.000
Ambient illumination (lx)	-0.0000879	0.0001583	-0.56	0.579
Brightness (cd/m <sup>2</sup> )	-0.000991	0.001440	-0.69	0.491
Tilt angle (degree)	0.006451	0.003301	1.95	0.051

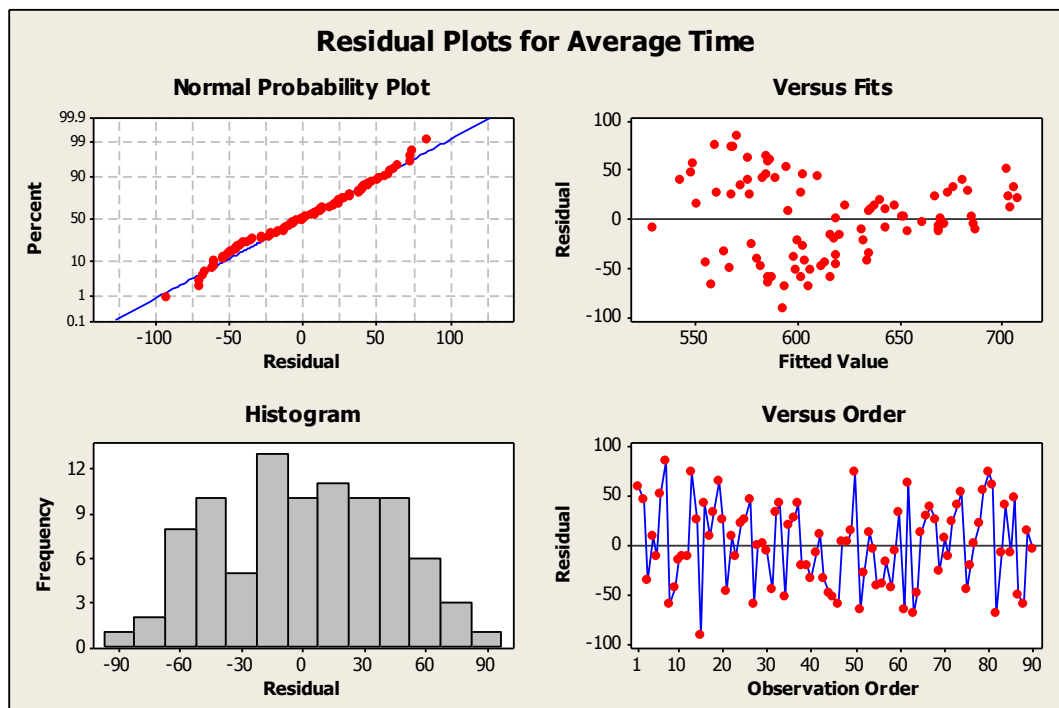
S = 2.35750    R-Sq = 0.5%    R-Sq(adj) = 0.2%

#### รูปที่ 4.35 การสร้างสมการพยากรณ์ค่าสมรรถนะบุคคลจากโปรแกรม MINITAB

จากรูปที่ 4.35 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงซ้อนพบว่าไม่มีปัจจัยใดๆที่มีความสัมพันธ์กับการพยากรณ์ค่า  $1/\sqrt{IP}$  จึงถือว่าจากปัจจัยทั้ง 3 ไม่สามารถสร้างสมการพยากรณ์ค่าสมรรถนะของบุคคลได้

#### 4.7 สมการพยากรณ์สำหรับการใช้งานจริง

เนื่องจากในสภาวะการใช้งานจริงนั้นการพิมพ์งานจะไม่สามารถทราบถึงความยากงานได้อย่างแท้จริงจึงต้องมีการสร้างสมการพยากรณ์ซึ่งง่ายต่อการประยุกต์ใช้งาน โดยจะทำการเฉลี่ยเวลาจากทุกๆ ID รวมเป็นเวลาเฉลี่ยเพียงค่าเดียวจากทั้ง 4 ID โดยขั้นตอนแรกจะต้องตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลว่าเป็นปกติหรือไม่



รูปที่ 4.36 Residual Plot ของชุดข้อมูลค่าเฉลี่ยเวลาทั้ง 4 ID จากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน จากผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน

เนื่องจากข้อมูลค่าเฉลี่ยเวลาทั้ง 4 ID ซึ่งเฉลี่ยจากผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน ที่เป็นตัวชี้วัดจะนำมาวิเคราะห์นั้นมีการแจกแจงปกติเนื่องจากการกลุ่มข้อมูลไปสร้างสมการพยากรณ์

#### Regression Analysis: Average Time versus Ambient illu, Brightness, ...

The regression equation is

$$\begin{aligned} \text{Average Time} = & 599 - 0.0000 \text{ Ambient illumination} - 0.174 \text{ Brightness} \\ & + 1.65 \text{ Tilt angle} - 0.000110 \text{ Ambient} * \text{Brightness} \\ & + 0.000158 \text{ Ambient} * \text{Tilt angle} - 0.00007 \text{ Brightness} * \text{Tilt angle} \end{aligned}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	598.92	28.15	21.27	0.000
Ambient illumination	-0.00003	0.02691	-0.00	0.999
Brightness	-0.1737	0.1813	-0.96	0.341
Tilt angle	1.6450	0.4139	3.97	0.000
Ambient * Brightness	-0.0001104	0.0001651	-0.67	0.505
Ambient * Tilt angle	0.0001580	0.0003797	0.42	0.678
Brightness * Tilt angle	-0.000071	0.004583	-0.02	0.988

S = 42.5636 R-Sq = 54.5% R-Sq(adj) = 51.2%

รูปที่ 4.37 การสร้างสมการพยากรณ์ค่าเฉลี่ยเวลาของผู้เข้าร่วมทดลองทั้ง 10 คน



จากรูปที่ 4.37 นั้นการสร้างสมการพยากรณ์ค่าเฉลี่ยเวลาจะทำการสร้างจากการตัดปัจจัยที่ไม่มีผลต่อสมการออกแล้วเลือกปัจจัยด้านมุมเอียงจอภาพมาสร้างสมการใหม่สำหรับการนำไปใช้งานดังนี้

### Regression Analysis: Average Time versus Tilt angle

The regression equation is  
Average Time = 564 + 1.76 Tilt angle

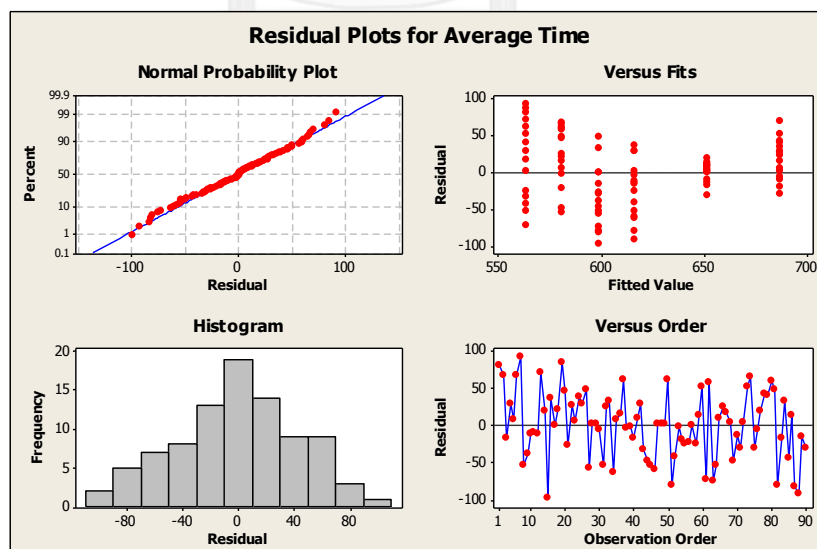
Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	563.555	7.498	75.16	0.000
Tilt angle	1.7615	0.1958	9.00	0.000

S = 44.2155 R-Sq = 47.9% R-Sq(adj) = 47.3%

### รูปที่ 4.38 ผลการสร้างสมการใหม่จากโปรแกรม MINITAB

จากรูปที่ 4.38 จะเห็นว่าสมการที่ได้ คือ Average Time = 564 + 1.76Tilt angle ซึ่งผลวิเคราะห์ที่ได้นั้นสอดคล้องกับการวิเคราะห์ Stepwise Regression แบบ Backward เช่นกัน

เนื่องจากการสร้างสมการพยากรณ์นั้นจะต้องพิจารณาถึงความน่าเชื่อถือของสมการที่ได้ ดังนั้นจะต้องทำการพิจารณาถึง Residual Plot ของชุดข้อมูลด้วย



รูปที่ 4.39 Residual Plot ของชุดข้อมูลค่า Average time จากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนของผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน

จากรูปที่ 4.39 พบว่า Normal Probability Plot ของชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นจะเห็นได้ว่ามีข้อมูลเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่กระจายตัวออกจากเส้นตรง Histogram ที่แสดงผลนั้นจึงอยู่ในรูปของการกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ เช่นเดียวกับการพิจารณา Versus Fits ที่แสดงให้เห็นว่าชุดข้อมูลที่เหลือเกิดการกระจายตัวใน Fitted Value อย่างเป็นอิสระรวมถึง Versus Order ที่ค่า Residual ส่วนใหญ่ในแกน y จะกระจายอยู่ในช่วง -50 ถึง 50 จึงทำให้สมการพยากรณ์ที่ได้นั้นมี ความน่าเชื่อถือ

สำหรับสมการพยากรณ์เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวที่ได้นั้นจะเห็นว่าค่า  $R^2$  นั้นมีค่าต่ำกว่าสมการพยากรณ์เวลาที่ใส่ค่า ID เข้าไปด้วยเนื่องจากปัจจัย ID นั้นจะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาที่เปลี่ยนไปอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามสมการพยากรณ์ที่ได้ใหม่นี้จะมีความง่ายในการนำไปใช้งานจริงเนื่องจากเหลือปัจจัยด้านมุมเอียงเพียงแค่ปัจจัยเดียวสำหรับการพิจารณาปรับใช้



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์ที่เกิดขึ้นจะเห็นได้ว่ามุมเอียงจอภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้งานมุมเอียงจอภาพในระดับที่สูงตั้งแต่ 50 ขึ้นไปจะเป็นปัจจัยหลักจะส่งผลกระทบต่อเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวเนื่องจากอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ ปริมาณแสงสว่างในห้อง ความสว่างจอภาพ และ ค่า ID ไม่ว่าจะใช้ตัวชี้วัดเป็นเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัว หรือการใช้ค่าสมรรถนะของบุคคลที่คำนวณได้ในแต่ละสภาวะการทดลอง ส่วนในกรณีที่ใช้มุมเอียงจอภาพในระดับ 0 – 30 องศาพร้อมกับความสว่างจอภาพที่ 50% และ 100% ในการใช้ปริมาณแสงสว่างในห้องตั้งแต่ 200 – 1600 ลักซ์นั้นจะพบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อความแตกต่างของเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวอย่างมีนัยสำคัญจากการใช้การประมาณค่าแบบช่วงในการวิเคราะห์

สำหรับการอธิบายอิทธิพลจากปัจจัยนั้น เรื่องมุมเอียงของจอภาพนั้นจะทำการพิจารณาอยู่ที่ 3 ประเด็นประกอบกัน ประเด็นแรก คือ การปรับมุมเอียงของจอภาพนั้นจะส่งผลกระทบต่อมุมระหว่างดวงตากับจอภาพ (Oblique viewing angle) โดยเมื่อจอภาพเอียงไปด้านหลังเส้นแนวสายตาที่ปกติเคยอยู่ในแนวตั้งฉากกับจอภาพจะยิ่งเอียงออกมากยิ่งขึ้นส่งผลกระทบต่อความสามารถในการอ่านตัวอักษรลดลง จากความบิดเบี้ยว (Distortion) ของตัวอักษรพิจารณาได้จากอันตรกิริยาระหว่างมุมเอียงจอภาพกับ ID นั้นการใช้มุมเอียงจอภาพที่ระดับ 70 องศาจะส่งผลให้เกิดความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดโดยจะส่งผลกระทบต่อเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวไม่ว่าจะทำการพิมพ์ที่ ID ใดก็ตามจะใช้เวลามากกว่าการใช้มุมเอียงจอภาพที่ระดับอื่นๆ

ประเด็นที่สองหลังจากที่จอภาพถูกเอียงไปแล้ว คอนทราสต์ระหว่างตัวอักษรกับจอภาพนั้นจะลดลงเนื่องจากแสงที่สะท้อนจากหลอดไฟทางด้านบนเพดานลงบนจอภาพมีเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้การอ่านทำได้ยากขึ้นโดยเฉพาะในภาวะปริมาณแสงในห้องมากสังเกตได้จากอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างมุมเอียงจอภาพกับปริมาณแสงสว่างในห้อง โดยเฉพาะการใช้มุมเอียงที่ระดับ 70 องศาพร้อมกับปริมาณแสงสว่างในห้อง 1600 ลักซ์จะทำให้ใช้เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวมากที่สุด อย่างไรก็ตามที่มุมเอียงมากๆ นี้ หากปริมาณแสงลดลงมากเกินไปก็มีแนวโน้มไม่ดีขึ้นสังเกตได้จากช่วงปริมาณแสงสว่างในห้องที่ลดลงจาก 600 ลักซ์เหลือ 200 ลักซ์ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวจะเริ่มมีแนวโน้มลดลงจนถึงจุดต่ำสุดของการใช้มุมเอียงที่ระดับ 70 องศา จากแนวโน้มของอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นที่มุมเอียงจอภาพระดับนี้จะเห็นได้ว่าปริมาณแสงสว่างที่ 600 ลักซ์

จะมีแนวโน้มที่ทำให้ผู้เข้าร่วมทดลองใช้เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวที่ลดลงซึ่งเป็นการสนับสนุนข้อแนะนำในการใช้ปริมาณแสงสว่างที่ 600 ลักซ์ซึ่งเป็นงานบันทึกข้อมูลทางจอภาพ เนื่องมาจากการใช้งานที่ระดับมมเอียงต่างๆจะเห็นว่าเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนจากการใช้ปริมาณแสงสว่างในห้องที่ 600 ลักซ์เป็น 1000 ลักซ์จะทำให้เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวนั้นเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Grandjean (1982) ซึ่งได้ทำการสำรวจความคิดเห็นของผู้ที่ทำงานในอาคารสำนักงานจำนวนมากเกี่ยวกับความสบายตาของระดับการใช้ปริมาณแสงสว่างในห้องซึ่งพบว่าปริมาณแสงสว่างในห้องตั้งแต่ 1000 ลักซ์ขึ้นไปจะมีผู้ที่มีปัญหาด้านความไม่สบายตาเพิ่มมากกว่า 11% ของผู้เข้าร่วมทดสอบ

สำหรับผลที่เกิดอาจจะต่อเนื่องมาจากประเด็นแรกที่ว่าทำให้อ่านได้ยากในมุมเอียงมากๆ หากระดับแสงสว่างยังลดลงก็จะอ่านได้ยากขึ้นไปอีก ประเด็นสุดท้ายคือ การเอียงของจอภาพที่มากขึ้นจะส่งผลต่อค่าความสว่างหน้าจอที่ลดลงเนื่องจากจอภาพแต่ละชนิดนั้นจะมีขอบเขตของมุมในการมองเห็นในแนวตั้งที่ถูกกำหนดไว้ สำหรับจอภาพรุ่นที่ใช้ในการทดลองนี้นั้นมีมุมในการมองเห็นในแนวตั้งคือ 170 องศา ซึ่งหมายความว่า ณ มุมเอียง 70 องศา จะเป็นมุมเอียงที่เกือบจะมากที่สุดของ Viewing Angle ที่กำหนดโดยผู้ผลิต ซึ่ง ณ จุดนี้ ความสว่างของจอภาพจะลดลงครึ่งหนึ่งจากค่าความสว่างสูงสุด ณ จุดที่มองตรงแบบตั้งฉากกับหน้าจอ ดังนั้น ประโยชน์ของการตั้งค่าความสว่างหน้าจอให้สูงขึ้น จาก 0% เป็น 50% หรือ 100% นั้นจึงเห็นประโยชน์ได้ชัดเจน ซึ่งอันตรกิริยาระหว่างมุมเอียงกับความสว่างของจอภาพได้บ่งชี้ว่าการ ใช้ปริมาณแสงสว่างในห้องกับความสว่างของจอภาพ ณ สภาวะมุมเอียงจอภาพที่ระดับ 50 และ 70 องศา โดยการใช้ความสว่างจอภาพที่ระดับ 50% หรือ 100% จะส่งผลให้ใช้เวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวน้อยกว่าการใช้ความสว่างจอภาพที่ระดับ 0%

## 5.2 แนวทางการประยุกต์ใช้ผลการวิจัย

จากปัจจัยที่ทำการทดลองทั้ง 4 ปัจจัยนั้นจะเห็นว่ามุมเอียงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดเนื่องจากมีอันตรกิริยาเกิดขึ้นกับปัจจัยที่เหลืออีก 3 ปัจจัยดังนั้นการจัดสถานการณ์งาน ควรให้ความสำคัญกับปัจจัยนี้เป็นหลัก จากผลของอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อนำไปวิเคราะห์ความแตกต่างของคู่ปัจจัยระหว่างความสว่างและมุมเอียงจอภาพนั้นสรุปว่า ความสว่างจอภาพควรจะให้อยู่ที่ระดับ 50% หรือ 100% และใช้มุมเอียงอยู่ในช่วง 0 - 30 องศาสำหรับการใช้ปริมาณแสงสว่างในห้องที่ระดับ 200 - 1600 ลักซ์

## 5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป

จากข้อสรุปที่ได้จากงานวิจัยนี้ทำให้ได้แนวทางสำหรับการทำงานวิจัยในอนาคตว่าอาจจะทำการทดลองถึงผลกระทบที่เกิดจากการเอียงจอภาพในกรณีที่ควบคุมมุมระหว่างดวงตากับจอภาพให้

อยู่ในแนวตั้งฉากกับจอภาพอยู่ตลอดทำให้ผู้เข้าร่วมทดลองนั้นสามารถมองที่กึ่งกลางของจอภาพได้ตลอดโดยลักษณะงานที่อาจจะนำมาใช้ในการทดลอง เพื่อลดปัญหาจากการเห็นตัวอักษรแบบบิดเบี้ยว

ในส่วนของ ลักษณะงานที่เป็นงานพื้นฐานของการใช้คอมพิวเตอร์ สามารถทดสอบเพิ่มเติมได้อีกหลายรูปแบบ เช่น ทดสอบงานประเภทลากตามรอยหรือตามเส้นทาง (Tracking) โดยการลากด้วยเมาส์หรือลากด้วยนิ้วมือ หรืออาจทดสอบงานประเภทการอ่านข้อความ หรือสะกดตัวอักษร เป็นต้น และในส่วนของตัวแปรต้น สามารถที่จะออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบปัจจัยอื่นๆที่อาจเกี่ยวข้องในเรื่องของการจัดวางสถานีงานคอมพิวเตอร์กับสมรรถนะในการทำงานได้เช่น ขนาด หรือความละเอียดของจอภาพ ทำทางการนั่งรูปแบบต่างๆ



## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กระทรวงแรงงาน. (2549). กฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง 123.
- ชำนาญ ห่อเกียรติ. (2553). เทคนิคการส่องสว่าง (2 ed. Vol. เล่ม). กรุงเทพมหานคร: จรัสสินทวงศ์การพิมพ์.
- พงศ์ภัทร อุไรวงศ์. (2556). การประเมินสมรรถนะการใช้แป้นพิมพ์การยศาสตร์โดยอาศัยหลักการกฎของฟิตส์. (บัณฑิตวิทยาลัย วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรรณนา พูนพิน. (2557). ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์. แหล่งที่มา <http://web.bsru.ac.th/~panna/chapter1.pdf>
- รุ่งโรจน์ หนูชลี. (2557). เครื่องวัดเพราะงานไฟฟ้า. แหล่งที่มา <http://edltv.vec.go.th/courses/32/10110049.pdf>
- วิกิพีเดีย. (2557). คอมพิวเตอร์. แหล่งที่มา <http://th.wikipedia.org/wiki/คอมพิวเตอร์>
- สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย. (2543). ข้อเสนอแนะการส่องสว่างสำหรับห้องที่มีจอคอมพิวเตอร์.
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2556). การสำรวจการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารในครัวเรือน พ.ศ.2548 - 2556. แหล่งที่มา <http://www.nso.go.th>
- อัตราส่วนคอนทราสต์คืออะไร. (2556). แหล่งที่มา [http://www.lcdthai.and.com/article/detail.asp?param\\_id=1](http://www.lcdthai.and.com/article/detail.asp?param_id=1)

### ภาษาอังกฤษ

- Anshel, J. (2005). *Visual Ergonomics Handbook*. Boca Raton, FL CRC Press Taylor and Francis Group.
- Bangor, W. A. (2000). *Display Technology and Ambient Illumination Influences on Visual Fatigue at VDT Workstations*. (Doctoral dissertation), Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Eklundh, K. S., Marmolin, H., & Hedin, C. E. (1985). Experimental evaluation of dialogue types for data entry. *International Journal of Man-Machine Studies*, 22, 651-661.
- Grandjean, E. (1982). *Fitting the task to the man*. London: Taylor & Francis Ltd.

- Hawes, K. B., Brunyé, T. T., Mahoney, C. R., Sullivan, J. M., & Aall, D. C. (2012). Effects of four workplace lighting technologies on perception, cognition and affective state. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42, 122-128.
- International Organization for Standardization. (1998a). Ergonomic requirements for office work with visual display terminals-Part 5 : Workstation layout and postural requirements.
- International Organization for Standardization. (1998b). Ergonomic requirements for office work with visual display terminals-Part 3 : Visual display requirements.
- Jonai, H., Villanueva, G. B. M., Takata, A., Sotoyama, M., & Saito, S. (2002). Effects of the liquid crystal display tilt angle of a notebook computer on posture, muscle activities and somatic complaints. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 29, 219-229.
- Lcdthailand. (2557). แหล่งที่มา  
[http://www.lcdtvthailand.com/article/detail.asp?param\\_id=1](http://www.lcdtvthailand.com/article/detail.asp?param_id=1)
- Lin, C. C. (2003). Effects of contrast ratio and text color on visual performance with TFT-LCD. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 31, 65-72.
- Lin, C. C., & Huang, K. C. (2013). Effects of ambient illumination conditions and background color on visual performance with TFT-LCD screens. *Displays*, 34, 276-282.
- Macevoy, B. (2005). Handprint brightness, lightness & anchoring  
<http://www.handprint.com/HP/WCL/color4.html#anchoring>
- Olson, T. (1995). Behind gamma's disguise. *SMPTE Journal*, 104(7), 452-458.
- Smith, M. J., Carayon, P., & Cohen, W. J. (2009). *Design Of Computer Workstations*. Boca Raton, FL Taylor and Francis Group.
- Workplace Ergonomics Reference Guide 2nd. A Publication of the Computer/Electronic Accommodations Program.





แบบฟอร์มสำหรับสมุดแบบทดสอบ

เนื่องจากในการทดลองจะมีการสุ่มหมายเลขของชุดแบบทดสอบและสถานะของการทดลองว่าในการทดลองที่ 90 ครั้งผู้เข้าร่วมทดลองจะต้องทำการทดลองที่สถานะใดในครั้งต่อไป โดยหมายเลขตัวแทนของการทดลองที่ 90 สภาวะ

Ambient Illumination	Brightness/Tilt angle	Test form No.	Ambient Illumination	Brightness/Tilt angle	Test form No.	Ambient Illumination	Brightness/Tilt angle	Test form No.	Ambient Illumination	Brightness/Tilt angle	Test form No.			
200	0	1	400	0	19	600	0	37	1000	0	55			
		2		10	38		10	56						
		3		20	39		20	57						
	50	4		30	40		30	58		50	30	50	50	59
		5		50	41		50	60			70	70	70	78
		6		70	42		70	61			0	0	79	
200	50	7	400	0	25	600	0	43	1000	0	61			
		8		10	26		10	62						
		9		20	27		20	63		50	20	81		
	100	10		30	28		30	64			100	30	82	
		11		50	29		50	65				50	50	83
		12		70	30		70	66		70		70	84	
200	50	13	400	0	31	600	0	49	1000	0	67			
		14		10	32		10	68		50	10	86		
		15		20	33		20	69			100	20	87	
	100	16		30	34		30	70				100	30	88
		17		50	35		50	71		50			50	89
		18		70	36		70	72		70	70		90	

ตารางการเก็บข้อมูลของผู้ทดลองคนที่ 1

Ambient illumination	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	
200	0	0	6	1	0	0	0	4	37	1000	50	0	5	55	
		10	2	20			10	5	38			10	7	56	
		20	4	3			20	7	39			20	3	57	
		30	1	4			30	2	40			30	8	58	
		50	9	5			50	8	41			50	1	59	
		70	3	6			70	6	42			70	1	60	
	50	0	0	9	7	0	0	0	7	43	1600	50	0	3	61
			10	4	8			10	1	44			10	7	62
			20	5	9			20	5	45			20	4	63
			30	1	10			30	2	46			30	5	64
			50	2	11			50	3	47			50	8	65
			70	6	12			70	6	48			70	2	66
100	0	0	9	13	0	0	0	7	49	1000	100	0	8	67	
		10	4	14			10	4	50			10	4	68	
		20	2	15			20	8	51			20	9	69	
		30	6	16			30	1	52			30	2	70	
		50	7	17			50	6	53			50	7	71	
		70	3	18			70	3	54			70	5	72	
	100	100	0	4	31	100	100	0	4	31	1000	100	0	0	5
			10	3	32			10	3	32			10	9	86
			20	8	33			20	8	33			20	1	87
			30	2	34			30	2	34			30	8	88
			50	6	35			50	6	35			50	4	89
			70	1	36			70	1	36			70	7	90

ตารางการเก็บข้อมูลของผู้ทดลองคนที่ 2

Ambient illumination	Brightness/Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	Brightness/Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	Brightness/Tilt angle	Test form	No.		
200	0	0	5	1	0	0	8	19	50	0	7	37	
		10	9	2		10	4	38					
		20	1	3		20	8	39					
		30	8	4		30	1	40					
		50	4	5		50	6	41					
		70	7	6		70	3	42					
	50	0	8	7	0	7	43						
		10	5	8	10	1	44						
		20	9	9	20	4	45						
		30	2	10	30	5	46						
		50	7	11	50	8	47						
		70	1	12	70	2	48						
100	0	0	7	13	100	0	4	49	50	0	5	67	
		10	5	14		10	7	50					
		20	8	15		20	3	51					
		30	3	16		30	8	52					
		50	6	17		50	1	53					
		70	9	18		70	1	54					
	1600	0	0	9	73	50	0	9	79	1000	0	9	61
			10	4	74		10	2	62				
			20	2	75		20	3	63				
			30	6	76		30	6	64				
			50	7	77		50	1	65				
			70	3	78		70	4	66				
50		0	0	9	85	50	0	6	86	100	0	6	87
			10	4	88		10	2	89				
			20	2	89		20	4	90				
			30	6	91		30	1	92				
			50	9	93		50	9	94				
			70	3	95		70	8	96				

ตารางการเก็บข้อมูลของผู้ทดลองคนที่ 3

Ambient Illumination	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient Illumination	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient Illumination	Brightness	Tilt angle	Test form	No.					
200	0	0	9	1	400	0	0	5	19	600	0	0	3	37					
			4	2				7	20				6	38					
			8	3				2	21				1	39					
		50	30	1		4	400	50	30		9	22	1000	50	30	8	40		
				9		5					4	23				3	59		
				5		6					7	24				4	60		
	50	0	0	1	7	400	0	0	2	25	1000	0	0	4	61				
				7	8				8	26				1	62				
				2	9				2	27				6	63				
		100	30	50	9		10	400	50	30		4	28	1600	50	30	3	64	
					5		11					1000	50				50	2	65
					8		12											1600	50
	100	0	0	7	13	1000	0	0	8	67	100			0	0	3			
				6	14				1600	10		10	9			68			
				3	15								1000			20	20	1	69
		50	30	50	8		16	1600						30	30			3	70
					5		17		1000	50		50						6	71
					7		18						1600			70	70	5	72

ตารางการเก็บข้อมูลของผู้ทดลองคนที่ 4

Ambient Illumination	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient Illumination	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient Illumination	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	
200	0	0	9	1	400	0	0	4	19	600	0	0	5	37	
		10	4	2			10	3	20			10	9	38	
		20	2	3			20	8	21			20	1	39	
		30	6	4			30	2	22			30	8	40	
		50	7	5			50	6	23			50	4	41	
		70	3	6			70	1	24			70	7	42	
	50	50	0	9	7	400	50	0	9	25	1000	50	0	3	61
			10	4	8			10	2	26			10	5	62
			20	5	9			20	3	27			20	4	63
			30	1	10			30	6	28			30	2	64
			50	2	11			50	1	29			50	7	65
			70	6	12			70	4	30			70	2	66
100	100	0	6	13	400	100	0	5	31	1000	100	0	5	67	
		10	2	14			10	6	32			10	5	68	
		20	4	15			20	3	33			20	3	69	
		30	1	16			30	1	34			30	8	70	
		50	9	17			50	9	35			50	6	71	
		70	3	18			70	8	36			70	1	72	
	100	100	0	7	73	1600	0	0	7	73	1600	50	0	7	79
			10	4	74			10	4	74			10	1	80
			20	8	75			20	8	75			20	5	81
			30	1	76			30	1	76			30	2	82
			50	6	77			50	6	77			50	3	83
			70	3	78			70	3	78			70	6	84
100		100	0	4	85	1600	100	0	4	85	1600	100	0	4	85
			10	5	86			10	5	86			10	7	87
			20	7	87			20	7	87			20	2	88
			30	2	88			30	2	88			30	8	89
			50	8	89			50	8	89			50	1	90
			70	6	90			70	6	90			70	9	90

ตารางการเก็บข้อมูลของผู้ทดลองคนที่ 5

Ambient illumination	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	Brightness	Tilt angle	Test form	No.
200	0	0	8	1	400	0	0	7	19	600	0	0	4	37
		10	5	2			10	1	20			10	9	38
		20	2	3			20	3	21			20	5	39
		30	3	4			30	9	22			30	1	40
		50	9	5			50	8	23			50	8	41
		70	6	6			70	2	24			70	3	42
200	50	0	8	7	400	50	0	7	25	1000	50	0	4	61
		10	3	8			10	2	26			10	8	62
		20	1	9			20	6	27			20	1	63
		30	9	10			30	1	28			30	3	64
		50	5	11			50	5	29			50	2	65
		70	6	12			70	3	30			70	4	66
200	100	0	7	13	1000	100	0	3	31	1600	100	0	4	67
		10	8	14			10	9	32			10	5	68
		20	2	15			20	2	33			20	1	69
		30	1	16			30	4	34			30	6	70
		50	3	17			50	7	35			50	9	71
		70	6	18			70	6	36			70	7	72
200	100	0	5	73	1000	100	0	5	85	1600	100	0	5	85
		10	9	74			10	8	86			10	8	86
		20	4	75			20	7	87			20	7	87
		30	1	76			30	2	88			30	2	88
		50	6	77			50	4	89			50	4	89
		70	8	78			70	9	90			70	9	90

ตารางการเก็บข้อมูลของผู้ทดลองคนที่ 6

Ambient Illumination	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient Illumination	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient Illumination	Brightness	Tilt angle	Test form	No.
200	0	0	6	1	400	0	0	2	19	600	0	0	4	37
		10	4	2			10	9	20			10	6	38
		20	5	3			20	8	21			20	7	39
	30	3	4	30		7	22	30	1		40			
	50	2	5	50		9	23	50	8		41			
	70	9	6	70		5	24	70	3		42			
50	0	0	5	7	50	0	0	6	25	1000	0	0	7	61
		10	7	8			10	2	26			10	8	44
		20	4	9			20	1	27			20	6	45
	30	8	10	30		3	28	30	5		46			
	50	3	11	50		4	29	50	2		47			
	70	2	12	70		6	30	70	6		48			
100	0	0	6	13	100	0	0	5	31	1000	0	0	8	67
		10	5	14			10	1	32			10	3	68
		20	2	15			20	9	33			20	4	69
	30	7	16	30		8	34	30	2		52			
	50	9	17	50		7	35	50	9		53			
	70	1	18	70		4	36	70	1		54			
1600	0	0	4	73	1600	0	0	9	55	10000	0	0	9	55
		10	6	74			10	1	56			10	1	56
		20	3	75			20	3	57			20	3	57
	30	2	76	30		4	58	30	4		58			
	50	1	77	50		5	59	50	5		59			
	70	8	78	70		2	60	70	2		60			
50	0	0	5	79	50	0	0	7	61	10000	0	0	7	61
		10	4	80			10	4	62			10	4	62
		20	6	81			20	6	63			20	6	63
	30	1	82	30		9	64	30	9		64			
	50	8	83	50		1	65	50	1		65			
	70	3	84	70		8	66	70	8		66			
100	0	0	8	85	100	0	0	8	67	10000	0	0	8	67
		10	5	86			10	3	68			10	3	68
		20	2	87			20	4	69			20	4	69
	30	9	88	30		5	70	30	5		70			
	50	3	89	50		7	71	50	7		71			
	70	7	90	70		9	72	70	9		72			

ตารางการเก็บข้อมูลของผู้ทดลองคนที่ 7

200	Ambient illumination	0	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	0	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	0	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	0	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	0	Brightness	Tilt angle	Test form	No.											
																															9	1	19	4	37	6	55				
																															4	2	20	3	38	7	56				
																															2	3	21	8	39	4	57				
50	Ambient illumination	0	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	0	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	0	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	0	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	0	Brightness	Tilt angle	Test form	No.											
																															7	4	22	1	40	2	58				
																															5	5	23	7	41	9	59				
																															4	6	24	9	42	3	60				
100	Ambient illumination	0	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	0	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	0	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	0	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	0	Brightness	Tilt angle	Test form	No.											
																															6	7	25	4	43	3	61				
																															5	8	26	2	44	5	62				
																															2	9	27	3	45	1	63				
200	Ambient illumination	50	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	600	50	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	1000	50	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	1600	50	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	1600	50	Brightness	Tilt angle	Test form	No.							
																																			7	10	28	1	46	6	64
																																			6	11	29	8	47	2	65
																																			4	12	30	5	48	7	66
100	Ambient illumination	100	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	100	100	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	100	100	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	100	100	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	100	100	Brightness	Tilt angle	Test form	No.							
																																			8	13	31	3	49	2	67
																																			6	14	32	8	50	8	68
																																			1	15	33	1	51	9	69
100	Ambient illumination	100	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	100	100	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	100	100	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	100	100	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	100	100	Brightness	Tilt angle	Test form	No.							
																																			4	16	34	5	52	3	70
																																			9	17	35	9	53	1	71
																																			5	18	36	4	54	7	72





ตารางการเก็บข้อมูลของผู้ทดลองคนที่ 9

Ambient illumination	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	Brightness	Tilt angle	Test form	No.	Ambient illumination	Brightness	Tilt angle	Test form	No.					
200	0	0	4	1	400	0	0	8	19	600	0	0	2	37					
			6	2				20	38										
			7	3				21	39										
		10	30	50		1	4	50	30		50	7	22	1000	50	30	50	9	41
						8	5					23	42						
						3	6					24	43						
	50	0	10	4	8	400	10	10	2	25	1000	50	10	20	6	61			
				6	9				26	44									
				9	10				27	45									
		30	50	70	1		11	50	30	50		3	28	1000	50	30	50	1	64
					8		12					29	46						
					3		13					30	47						
100	0	0	3	13	600	0	0	5	31	1000	100	0	0	4	67				
			7	14				100	20					30	50	70	6	68	
			6	15													3	69	
	2	16	4	70															
	50	30	50	9		17	1000	50	50		7	53	1000	100	50	50	1	71	
				9		18					8	54							
1				18	4	54													

ตารางการเก็บข้อมูลของผู้ทดลองคนที่ 10

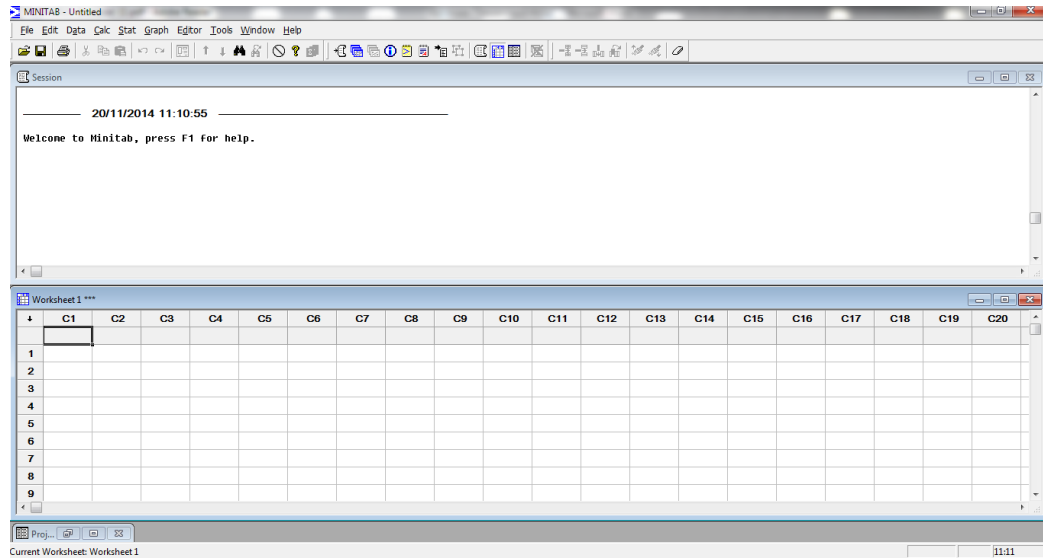
Ambient illumination	0	0	3	1	0	9	19	Ambient illumination	0	0	8	37	Ambient illumination	0	0	4	55	No.	73									
																				0	10	7	20	38	10	7	56	74
0	30	7	4	22	30	3	40	58	76																			
										50	6	5	23	50	1	59	77											
																		70	4	6	24	70	5	60	78			
200	50	0	6	7	0	8	25	61	79																			
										10	2	8	26	10	4	62	80											
																		20	5	9	27	20	3	81				
50	30	7	10	28	30	6	46	64	82																			
										50	8	11	29	50	4	65	83											
																		70	1	12	30	70	6	66	84			
100	100	0	1	13	0	2	31	67	85																			
										10	9	14	10	5	32	10	9	68	86									
																				20	2	15	20	4	33	20	7	87
100	100	30	6	16	30	3	34	70	88																			
										50	7	17	50	1	35	50	5	89										
																			70	3	18	70	9	36	70	6	90	

ภาคผนวก ข  
วิธีการวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม MINITAB

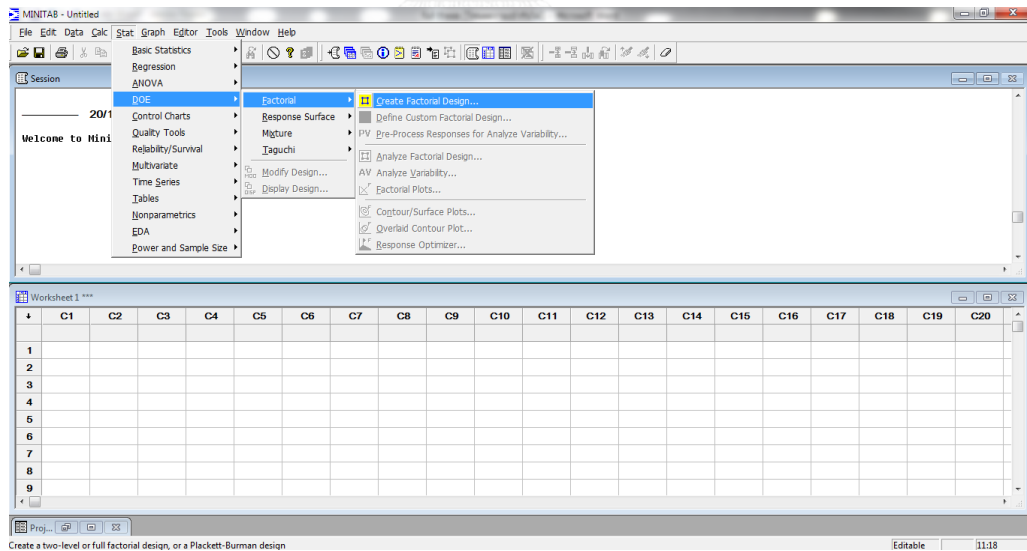


การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม Minitab

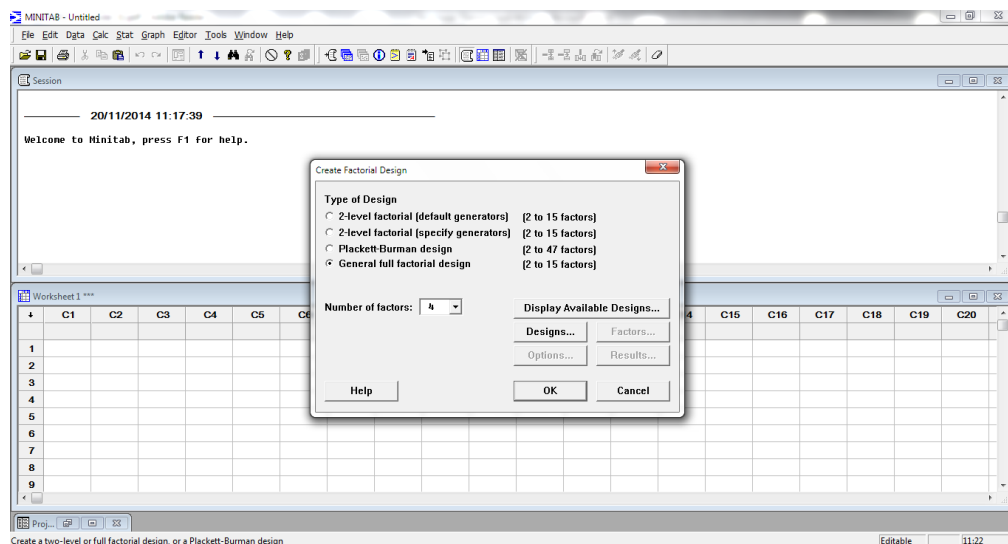
1. เปิดโปรแกรม Minitab 14 จะปรากฏหน้าต่าง Session และ Worksheet



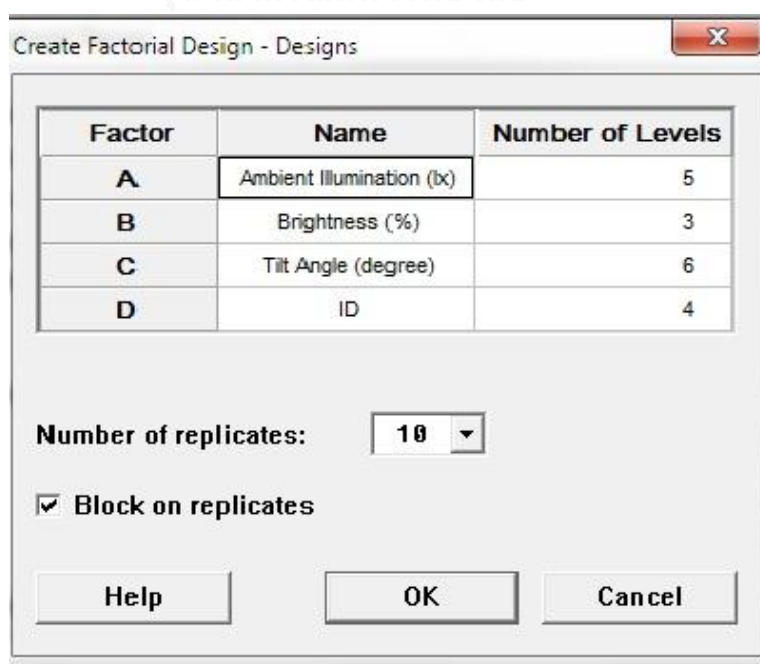
2. เลือกเมนู Stat > DOE > Factorial > Create Factorial Design



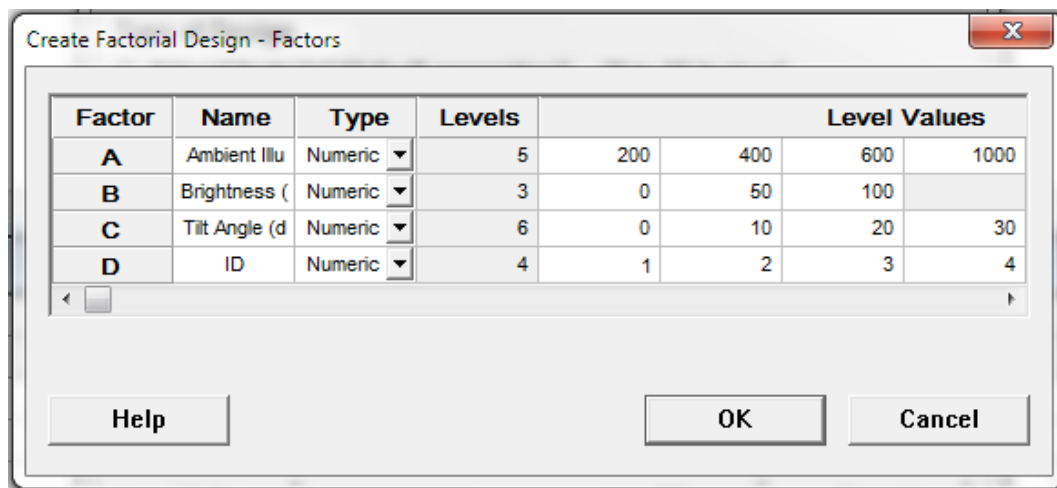
3. จากหน้าต่าง Create Factorial Design เลือก General full factorial design ส่วน Number of factors เลือก 4 ปัจจัยจากการทดลองนี้แม้ว่าจะไม่ได้พิจารณาปัจจัยด้านดัชนีความยากก็ตาม และคลิก Designs



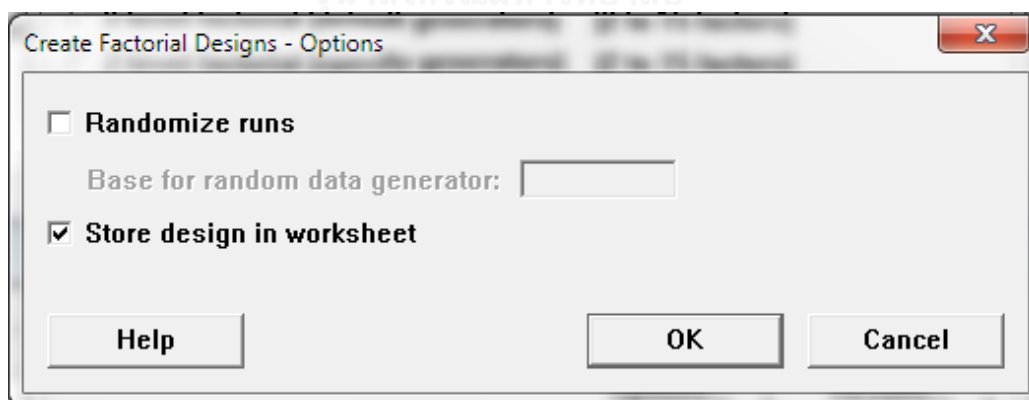
4. หน้าต่าง Create Factorial Design - Designs ปรากฏขึ้น กรอก Name, Number of Levels สำหรับแสดงปัจจัยกับระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง และกดเครื่องหมายถูกตรงกล่อง Block on replicates เพื่อทำการ Block ผู้เข้าทดสอบเพื่อป้องกันอิทธิพลจากปัจจัยรบกวนภายนอก จากนั้นคลิก OK



5. จากเมนูหน้าต่าง Create Factorial Design กด Factors จากนั้นจะขึ้นเมนูของ Create Factorial Design – Factors จากเมนู Type เลือก Numeric เพื่อกรอกข้อมูล Level Values ของแต่ละปัจจัย คลิก OK



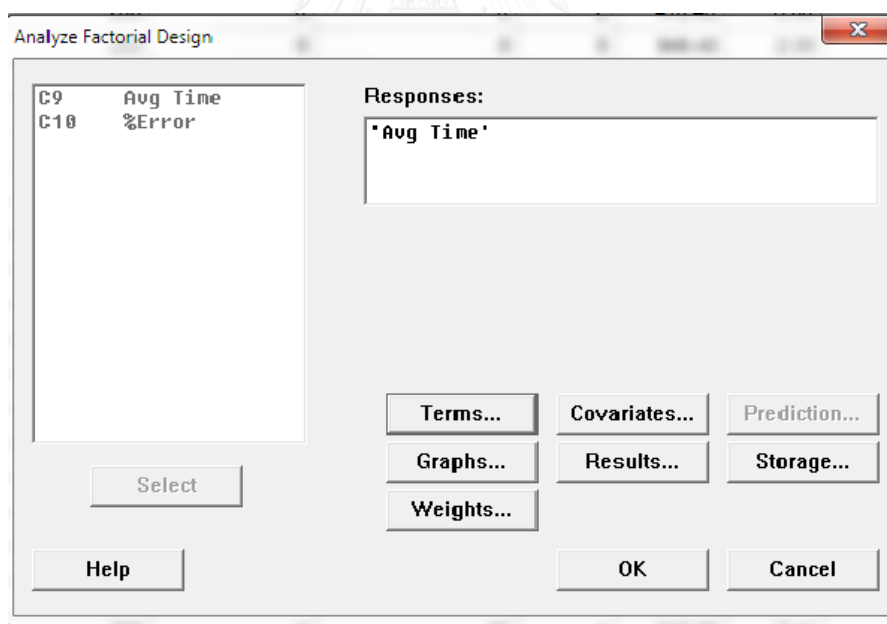
6. จากเมนูหน้าต่าง Create Factorial Design กด Options แล้วเลือก Randomize runs ซึ่งเป็นการสุ่มผู้ทำการทดลองทั้งหมดออก เนื่องจากการทดลองจะให้ผู้เข้าร่วมการทดลองทำการทดลองให้เสร็จทีละคน



## 7. ป้อนข้อมูลใน worksheet ตามรูปแบบที่ถูกสร้างขึ้นมา

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17
	StdOrder	RunOrder	PType	Blocks	Ambient Illumination (lx)	Brightness (%)	Tilt Angle (degree)	ID	Avg Time	%Error							
1	1	1	1	1	200	0	0	1	410.22	2.22							
2	2	2	1	1	200	0	0	2	410.46	0.00							
3	3	3	1	1	200	0	0	3	948.40	2.00							
4	4	4	1	1	200	0	0	4	965.60	9.43							
5	5	5	1	1	200	0	10	1	510.67	12.00							
6	6	6	1	1	200	0	10	2	498.31	1.54							
7	7	7	1	1	200	0	10	3	861.20	2.00							
8	8	8	1	1	200	0	10	4	1008.60	9.26							
9	9	9	1	1	200	0	20	1	317.56	0.00							
10	10	10	1	1	200	0	20	2	399.85	4.55							
11	11	11	1	1	200	0	20	3	746.20	5.66							
12	12	12	1	1	200	0	20	4	1039.60	3.85							
13	13	13	1	1	200	0	30	1	498.22	2.27							
14	14	14	1	1	200	0	30	2	491.38	5.88							
15	15	15	1	1	200	0	30	3	1042.00	3.92							
16	16	16	1	1	200	0	30	4	941.80	7.41							
17	17	17	1	1	200	0	50	1	465.33	11.76							
18	18	18	1	1	200	0	50	2	592.46	17.81							
19	19	19	1	1	200	0	50	3	876.00	9.09							
20	20	20	1	1	200	0	50	4	910.20	7.41							
21	21	21	1	1	200	0	70	1	637.11	8.16							
22	22	22	1	1	200	0	70	2	943.85	14.67							
23	23	23	1	1	200	0	70	3	1112.40	20.00							
24	24	24	1	1	200	0	70	4	1259.80	1.96							
25	25	25	1	1	200	50	0	1	388.67	15.09							

8. จากนั้นกดเมนู Stat > DOE > Factorial > Analyze Factorial Design ซอง Responses เลือก Avg Time แล้วกด OK







ตาราง ค1 สภาวะการทดลองของผู้เข้าร่วมทดลองคนที่ 8 ที่ถูกพิจารณาเป็น Outlier

Ambient illumination (lx)	Brightness (%)	Tilt angle (degree)	ID
200	0	10	4
200	0	30	3
200	0	50	1
200	0	50	3
200	0	70	1
200	0	70	2
200	0	70	3
200	0	70	4
200	50	0	4
200	50	20	4
200	50	30	4
200	50	50	2
200	100	70	4
200	100	70	4
400	0	70	1
400	0	70	2
400	50	10	3
400	50	30	4
400	50	50	1
400	100	50	4
600	0	50	2
600	0	50	3
600	50	20	4
600	50	50	1
600	50	50	3
600	50	70	1
600	50	70	3
1000	0	50	3
1000	0	70	2
1000	0	70	3
1000	50	50	1
1000	50	50	3
1000	50	50	4
1600	0	30	1
1600	0	50	3
1600	0	50	4
1600	50	70	3
1600	50	70	4
1600	100	50	2

ตาราง ค2 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการพิมพ์ของแต่ละดัชนีความยาก

No.	Ambient	Brightness	Tilt Angle	ID	Avg Typing Time1	Avg Typing Time2	Avg Typing Time3	Avg Typing Time4	Avg Typing Time5	Avg Typing Time6	Avg Typing Time7	Avg Typing Time8	Avg Typing Time9	Avg Typing Time10	Mean	SD
1	200	0	0	1	410.22	261.56	382.67	297.78	456.67	338.00	328.67	436.67	337.78	447.11	369.71	67.02
	200	0	0	2	410.46	369.85	431.38	341.08	485.08	417.38	431.54	570.46	403.69	522.46	438.34	69.43
	200	0	0	3	948.40	576.40	1068.80	721.20	851.00	693.80	673.40	936.80	655.00	719.40	784.42	157.83
	200	0	0	4	965.60	718.80	1284.00	962.80	820.00	793.80	835.80	1123.00	618.40	740.40	886.26	200.82
2	200	0	10	1	510.67	422.44	294.44	258.67	377.78	341.11	300.89	452.89	352.22	400.89	371.20	77.77
	200	0	10	2	498.31	527.85	422.77	322.92	506.92	441.08	368.15	570.62	384.46	482.31	452.54	78.26
	200	0	10	3	861.20	611.80	998.60	703.80	663.00	774.00	640.20	988.40	554.40	710.60	750.60	153.57
	200	0	10	4	1008.60	732.60	1164.20	820.40	875.60	864.80	753.00	1476.80	634.60	890.40	922.10	244.44
3	200	0	20	1	317.56	372.44	396.22	341.78	425.56	396.67	311.78	484.89	320.89	396.00	376.38	55.08
	200	0	20	2	399.85	450.92	488.46	431.54	486.31	406.92	405.69	545.38	391.65	419.69	442.66	49.81
	200	0	20	3	746.20	601.60	964.60	635.00	802.00	630.60	549.20	1096.60	622.80	539.20	718.78	185.47
	200	0	20	4	1039.60	795.00	1079.60	685.80	822.40	879.20	651.40	1214.00	745.80	677.40	859.02	192.08
4	200	0	30	1	498.22	365.11	452.22	357.11	432.22	397.56	412.22	489.11	333.33	359.56	409.67	57.46
	200	0	30	2	491.38	424.46	423.54	321.08	502.77	399.85	398.77	612.46	368.62	441.08	438.40	81.21
	200	0	30	3	1042.00	692.20	772.40	760.20	710.20	620.00	729.40	1314.20	499.80	660.80	780.12	232.84
	200	0	30	4	941.80	687.00	1085.60	875.60	870.40	831.80	820.60	1204.20	588.00	672.20	857.72	187.94
5	200	0	50	1	465.33	346.67	374.44	305.56	435.33	355.56	305.33	824.00	325.56	389.56	412.73	153.72
	200	0	50	2	592.46	462.62	440.15	378.62	506.46	366.46	398.15	768.15	383.69	448.62	474.54	123.87
	200	0	50	3	876.00	585.60	963.00	741.20	758.80	596.20	740.80	1445.20	525.00	609.40	805.96	262.64
	200	0	50	4	910.20	685.00	1127.60	820.40	826.20	817.00	858.80	1428.00	586.00	784.80	884.40	237.28
6	200	0	70	1	637.11	542.44	464.67	330.44	613.33	449.11	389.11	721.33	400.00	402.89	495.04	127.59
	200	0	70	2	943.85	638.00	717.38	436.77	717.54	457.85	422.00	981.08	516.00	553.85	638.43	201.51
	200	0	70	3	1112.40	962.60	1242.20	868.00	1163.20	760.20	794.80	1605.60	587.00	780.60	987.66	298.20
	200	0	70	4	1259.80	959.80	1248.40	847.80	1327.60	894.40	953.20	1890.60	730.00	872.00	1098.36	343.24
7	200	50	0	1	398.67	363.78	390.22	379.56	467.56	318.89	297.11	471.78	346.00	346.67	378.02	57.39
	200	50	0	2	465.69	461.08	515.08	345.38	537.08	365.08	395.38	568.77	404.46	389.38	444.74	76.67
	200	50	0	3	966.60	752.80	748.20	729.40	758.60	724.80	805.20	1211.00	636.80	609.40	794.28	175.31
	200	50	0	4	1007.60	817.80	874.40	890.80	814.40	1001.40	896.60	1393.40	711.00	736.40	914.38	194.52
8	200	50	10	1	306.89	245.56	334.67	315.78	473.78	314.89	268.44	405.56	329.56	321.56	331.67	65.26
	200	50	10	2	471.23	340.00	410.00	330.77	541.23	402.62	412.92	541.23	362.62	389.38	420.20	75.32
	200	50	10	3	806.20	617.00	891.60	683.80	602.40	732.40	588.00	977.60	549.00	609.40	704.04	145.12
	200	50	10	4	884.80	850.80	1159.60	882.20	812.60	1071.00	858.20	1056.40	586.20	632.80	879.46	182.30
9	200	50	20	1	371.33	390.22	332.44	286.22	480.89	326.22	330.44	472.44	333.56	331.56	365.53	64.74
	200	50	20	2	428.31	488.31	407.85	336.62	492.46	471.38	422.46	561.08	373.54	404.46	438.65	65.45
	200	50	20	3	716.80	760.40	804.20	684.20	731.20	665.80	686.40	1138.00	577.60	456.40	722.10	175.96
	200	50	20	4	837.80	811.60	923.60	797.00	791.40	917.40	765.00	1338.00	557.20	677.00	841.60	204.98
10	200	50	30	1	419.33	322.22	356.00	331.11	419.56	360.67	290.22	534.67	334.67	398.67	376.71	69.97
	200	50	30	2	434.00	492.62	374.15	344.92	522.92	423.23	420.15	631.23	399.54	417.69	446.05	83.05
	200	50	30	3	735.00	619.40	975.80	737.40	714.60	681.80	551.60	1123.80	520.40	654.00	731.38	186.16
	200	50	30	4	978.20	766.40	1101.40	768.40	820.00	895.20	671.20	1332.80	616.80	708.80	865.92	219.36
11	200	50	50	1	456.44	326.00	317.33	342.89	374.22	370.89	336.22	472.44	387.33	413.33	379.71	53.55
	200	50	50	2	463.85	447.38	428.15	381.69	532.62	428.92	436.15	796.77	436.77	433.23	478.55	118.02
	200	50	50	3	829.60	742.20	936.80	693.00	647.40	600.40	648.20	1167.80	537.60	691.60	749.46	185.86
	200	50	50	4	853.40	634.80	1123.60	779.60	781.60	793.40	848.80	1272.00	657.60	763.20	850.80	199.07
12	200	50	70	1	480.00	445.56	509.56	372.44	455.11	361.78	315.11	499.56	416.22	424.00	427.93	63.15
	200	50	70	2	545.23	672.00	498.77	378.46	517.69	410.92	462.77	532.00	431.85	510.31	496.00	82.77
	200	50	70	3	905.60	749.80	1054.60	927.40	872.60	613.60	700.80	1174.20	529.00	613.80	814.14	208.36
	200	50	70	4	1073.00	843.80	1112.00	904.00	972.60	859.40	790.20	1461.80	649.20	744.60	941.06	231.62
13	200	100	0	1	416.00	347.56	315.11	280.00	383.33	466.44	310.89	422.44	329.11	421.78	369.27	61.29
	200	100	0	2	473.08	458.00	448.00	307.08	493.54	458.31	387.38	547.23	284.15	491.23	434.80	83.84
	200	100	0	3	893.20	676.40	897.00	705.80	712.00	845.60	847.20	1079.60	525.60	615.20	779.76	162.56
	200	100	0	4	1048.60	695.20	1116.40	786.80	1002.20	921.00	882.20	1034.60	524.40	635.60	864.70	197.63
14	200	100	10	1	348.89	306.44	349.78	312.67	424.44	359.11	370.00	457.56	343.33	352.22	362.44	46.41
	200	100	10	2	382.92	412.15	436.62	326.00	521.85	443.54	364.00	620.31	415.23	423.54	434.62	83.42
	200	100	10	3	735.00	632.40	978.00	652.00	729.00	609.40	717.80	1015.80	607.20	603.60	728.02	150.75
	200	100	10	4	1072.60	967.60	1072.80	763.60	841.40	799.60	835.60	1160.80	592.00	770.40	887.64	175.95
15	200	100	20	1	402.89	354.67	334.00	256.00	453.56	387.56	378.89	422.00	320.89	424.67	373.51	58.65
	200	100	20	2	487.23	423.85	422.62	312.15	467.08	368.77	340.77	575.54	350.00	432.92	418.09	79.24
	200	100	20	3	810.80	629.00	791.80	715.20	629.40	631.00	553.60	1092.80	534.00	644.80	703.24	163.96
	200	100	20	4	889.20	621.80	1020.00	819.40	794.20	772.40	715.60	1273.60	558.20	650.80	811.52	210.85

16	200	100	30	1	378.67	380.89	364.00	303.56	425.33	331.33	369.11	459.11	344.00	409.11	376.51	45.86	
	200	100	30	2	420.46	499.54	427.85	381.85	573.54	423.85	409.85	632.15	395.54	429.69	459.43	82.79	
	200	100	30	3	887.80	725.00	1004.60	678.20	707.80	733.00	650.00	976.80	646.40	782.20	779.18	131.81	
	200	100	30	4	1050.00	938.80	1149.60	810.00	823.60	816.20	728.40	1126.60	818.40	800.40	906.20	150.65	
17	200	100	50	1	357.11	336.67	381.33	324.22	448.22	378.44	304.00	548.22	415.33	460.22	395.38	74.21	
	200	100	50	2	464.00	440.00	543.54	375.08	485.54	413.85	490.62	719.85	386.77	445.54	476.48	99.28	
	200	100	50	3	825.20	680.80	965.20	699.60	586.40	685.20	796.20	854.60	557.40	717.60	736.82	124.61	
	200	100	50	4	973.00	791.00	1052.60	999.00	921.80	834.80	817.20	1247.40	623.80	801.80	906.24	172.60	
18	200	100	70	1	537.11	387.78	524.44	320.44	424.89	354.00	332.67	438.89	335.78	407.56	406.36	76.97	
	200	100	70	2	553.54	630.00	660.15	393.38	442.92	447.38	455.23	638.00	430.62	523.08	517.43	97.85	
	200	100	70	3	952.00	844.80	1148.20	821.40	873.00	719.20	733.00	1290.60	700.60	928.60	901.14	190.90	
	200	100	70	4	1028.60	796.40	1368.60	984.80	948.40	752.80	711.60	1657.60	732.60	872.20	985.36	306.13	
19	400	0	0	1	331.11	353.11	276.89	320.00	431.56	332.22	348.89	438.67	323.33	323.56	347.93	50.34	
	400	0	0	2	441.08	436.62	426.62	304.00	527.85	437.54	412.15	604.31	368.62	500.00	445.88	83.36	
	400	0	0	3	934.00	803.00	907.80	800.00	865.00	673.40	702.60	1115.60	593.60	594.00	719.20	869.30	164.64
	400	0	0	4	1022.60	883.00	1056.60	840.40	978.60	824.40	716.60	1219.00	629.80	902.20	907.32	171.00	
20	400	0	10	1	425.11	366.67	366.00	325.78	507.11	383.33	357.78	476.67	311.78	388.00	390.82	62.27	
	400	0	10	2	403.69	456.00	390.62	355.08	564.31	413.85	392.46	484.15	380.15	404.77	424.51	61.46	
	400	0	10	3	844.00	600.80	1031.00	833.60	709.60	659.60	687.20	1139.60	625.60	581.60	761.26	200.01	
	400	0	10	4	991.60	749.00	1064.60	921.40	873.20	880.40	759.20	1200.60	533.80	719.20	869.30	190.73	
21	400	0	20	1	393.33	328.67	359.33	276.44	439.56	349.78	321.78	431.11	319.11	334.89	355.40	51.77	
	400	0	20	2	448.46	439.54	444.92	339.08	459.54	363.23	383.54	611.08	390.77	411.69	429.18	75.33	
	400	0	20	3	874.00	630.00	911.20	697.20	696.00	617.80	731.80	1072.60	566.20	503.60	730.04	174.44	
	400	0	20	4	941.60	747.00	912.40	893.60	818.40	884.60	778.20	1202.60	641.20	795.20	861.48	149.72	
22	400	0	30	1	411.11	394.00	311.33	275.78	382.44	316.44	362.89	506.00	309.78	338.89	360.87	66.60	
	400	0	30	2	506.46	485.08	428.46	332.77	520.77	382.77	415.38	642.46	369.85	429.69	451.37	90.19	
	400	0	30	3	821.80	579.20	1147.40	689.80	871.00	623.20	700.80	1063.60	467.60	701.80	766.62	212.57	
	400	0	30	4	1226.80	771.60	1173.20	747.00	866.60	789.60	708.00	1283.00	564.20	801.00	893.10	245.01	
23	400	0	50	1	415.11	311.11	349.33	300.44	398.67	362.00	310.00	408.67	346.22	423.56	362.51	46.69	
	400	0	50	2	489.54	510.46	439.54	386.62	528.00	435.69	398.31	576.92	462.92	417.23	464.52	61.05	
	400	0	50	3	877.60	719.20	1034.80	847.60	808.20	757.80	661.20	1285.20	672.20	531.80	819.56	213.68	
	400	0	50	4	1027.60	817.80	1002.60	940.80	917.00	940.00	889.80	1323.80	714.40	730.00	930.38	173.51	
24	400	0	70	1	516.00	329.11	507.78	448.67	533.56	372.44	390.44	596.89	410.89	476.67	458.24	82.99	
	400	0	70	2	542.77	530.77	532.15	419.23	522.46	434.77	538.92	816.31	447.85	600.60	538.52	112.81	
	400	0	70	3	1166.80	806.80	1295.60	970.80	869.00	695.20	888.40	1388.00	593.60	962.60	963.68	253.82	
	400	0	70	4	1059.40	1171.00	1279.80	925.60	893.80	937.00	850.40	1287.20	586.20	1032.00	1002.24	213.15	
25	400	50	0	1	444.22	324.44	305.56	339.56	440.89	386.89	318.89	408.89	344.22	382.22	369.58	50.46	
	400	50	0	2	497.85	448.46	404.31	346.15	523.08	452.77	385.08	546.00	433.08	515.54	455.23	65.19	
	400	50	0	3	867.00	564.60	793.80	688.20	731.20	760.20	696.40	950.60	617.80	630.00	729.98	117.96	
	400	50	0	4	867.20	717.20	932.20	797.60	933.80	884.40	792.80	1200.00	620.40	747.60	849.32	157.98	
26	400	50	10	1	378.22	307.11	414.67	327.11	458.67	351.78	263.11	528.22	328.22	330.44	368.76	78.74	
	400	50	10	2	476.92	376.31	476.00	365.08	592.46	424.77	388.31	525.69	378.92	386.00	439.05	76.35	
	400	50	10	3	724.80	665.00	1100.00	598.40	883.00	709.20	753.60	1378.40	632.80	530.80	797.60	259.64	
	400	50	10	4	739.20	809.60	1038.00	737.80	955.40	798.20	962.60	1183.20	612.40	574.00	841.04	191.82	
27	400	50	20	1	386.44	313.33	317.78	270.22	410.67	347.56	298.22	461.11	307.11	397.33	350.98	60.42	
	400	50	20	2	444.77	435.69	522.00	315.85	490.15	370.92	399.23	517.54	371.54	435.54	430.32	67.42	
	400	50	20	3	771.40	660.00	981.60	574.00	754.80	563.40	648.80	933.60	531.40	690.60	710.96	152.04	
	400	50	20	4	910.00	808.00	1132.40	734.80	964.40	750.00	640.40	1280.00	589.40	844.40	865.38	214.96	
28	400	50	30	1	419.56	298.67	339.33	249.11	418.67	325.78	330.00	460.00	339.78	427.33	360.82	67.07	
	400	50	30	2	450.15	423.38	431.23	315.23	474.00	384.00	378.62	570.92	376.15	407.23	421.09	68.96	
	400	50	30	3	717.80	688.60	959.40	785.80	596.00	618.20	625.60	1128.40	522.80	583.40	722.60	189.02	
	400	50	30	4	977.00	1021.60	985.80	842.80	833.60	753.20	812.80	1663.60	648.40	743.80	928.26	284.35	
29	400	50	50	1	490.89	374.44	460.89	313.11	446.44	390.22	350.89	686.67	328.00	360.00	420.16	110.42	
	400	50	50	2	435.54	478.31	461.85	349.69	484.92	395.69	380.31	758.00	374.77	446.62	456.57	115.63	
	400	50	50	3	897.00	673.60	1138.00	748.40	793.20	610.00	711.20	1317.40	452.60	610.80	795.22	260.40	
	400	50	50	4	937.40	953.00	1080.00	779.80	856.80	858.40	767.00	1320.00	496.40	724.20	877.30	220.45	
30	400	50	70	1	498.67	375.56	419.56	355.33	378.00	365.78	332.00	605.56	390.22	724.20	409.87	82.22	
	400	50	70	2	747.38	703.69	443.38	464.00	556.77	393.85	471.54	821.38	448.31	403.69	545.40	155.32	
	400	50	70	3	973.20	875.00	892.80	831.40	829.80	705.80	852.60	1111.80	593.00	671.40	833.68	150.19	
	400	50	70	4	1118.80	966.00	1033.40	886.20	895.00	930.60	830.20	1180.40	578.40	782.20	920.12	172.54	

31	400	100	0	1	326.22	303.56	339.33	262.67	408.00	362.00	333.11	386.00	335.33	309.33	336.56	41.65
	400	100	0	2	395.54	411.69	448.31	312.15	478.00	402.92	421.08	558.46	404.62	395.23	422.80	63.86
	400	100	0	3	843.20	610.80	817.60	598.00	627.20	569.40	738.40	970.40	511.00	641.20	692.72	144.64
	400	100	0	4	997.20	870.20	918.00	834.60	815.60	881.20	774.20	1160.60	534.60	784.40	857.06	161.45
32	400	100	10	1	333.33	352.67	354.67	268.44	446.44	422.00	296.89	379.56	354.89	385.11	359.40	53.24
	400	100	10	2	444.62	527.08	402.46	321.23	498.77	473.54	374.00	598.31	426.31	435.54	450.18	79.08
	400	100	10	3	791.80	787.20	860.60	743.00	905.60	779.00	663.40	1062.00	606.80	526.00	772.54	153.08
	400	100	10	4	834.20	729.20	891.20	824.80	845.00	793.20	860.60	1144.00	730.60	740.20	839.30	121.17
33	400	100	20	1	380.22	424.89	468.67	291.33	442.22	406.44	334.00	481.11	356.89	372.22	395.80	60.32
	400	100	20	2	411.54	555.69	477.54	348.00	482.00	421.69	413.23	610.00	365.23	461.38	454.63	81.44
	400	100	20	3	837.20	636.60	1044.00	674.20	617.80	678.80	657.40	1156.00	450.00	626.80	737.88	214.04
	400	100	20	4	851.20	748.80	1080.80	859.20	893.00	846.20	691.80	1273.00	589.80	753.60	858.74	195.97
34	400	100	30	1	414.22	394.00	384.67	306.22	381.56	419.11	312.89	464.67	365.78	364.44	380.76	47.70
	400	100	30	2	450.15	523.38	375.54	317.23	474.15	417.08	356.92	569.08	355.08	412.92	425.15	79.78
	400	100	30	3	776.40	688.20	795.60	673.80	653.60	750.40	555.60	1176.60	618.20	480.60	716.90	188.70
	400	100	30	4	1031.00	765.60	978.40	663.20	828.40	894.60	698.60	1266.80	691.20	595.00	841.28	205.44
35	400	100	50	1	415.56	431.56	409.78	330.44	420.89	360.67	339.56	519.56	317.78	401.33	394.71	60.17
	400	100	50	2	440.00	558.92	496.62	412.92	504.00	412.62	410.46	638.46	388.62	447.23	470.98	79.08
	400	100	50	3	1148.60	825.00	982.20	753.80	844.20	657.40	540.80	1114.80	471.20	532.20	787.02	241.34
	400	100	50	4	1079.40	849.80	1046.60	879.00	995.40	831.00	696.80	1614.20	671.60	673.80	933.76	281.62
36	400	100	70	1	538.44	459.56	428.00	315.11	430.00	420.67	386.22	461.56	391.56	410.67	424.18	58.07
	400	100	70	2	633.69	626.15	556.00	397.38	522.31	588.46	438.77	580.46	530.77	511.69	538.57	76.16
	400	100	70	3	932.80	783.60	1188.20	905.20	1030.20	742.80	723.40	1368.40	608.80	621.60	890.50	247.51
	400	100	70	4	1053.60	899.00	1262.80	946.00	875.60	862.20	763.60	1255.20	691.80	914.80	952.46	188.61
37	600	0	0	1	342.89	382.89	332.00	259.11	429.33	327.33	374.67	372.44	351.56	367.33	353.96	44.45
	600	0	0	2	397.54	535.08	441.23	303.54	516.92	349.23	382.77	608.77	426.46	374.77	433.63	93.93
	600	0	0	3	790.60	692.20	970.60	598.00	746.60	787.80	713.60	1051.60	653.00	661.60	766.56	143.36
	600	0	0	4	950.00	893.00	982.60	784.80	867.60	832.00	802.00	1216.80	698.20	799.60	882.66	143.79
38	600	0	10	1	294.67	316.22	404.22	323.33	368.89	326.22	299.56	427.33	348.44	365.33	347.42	44.06
	600	0	10	2	401.08	435.85	426.15	359.38	519.08	358.15	381.85	578.46	367.23	452.92	428.02	72.84
	600	0	10	3	661.80	644.80	1091.80	705.20	747.00	743.60	545.40	1185.20	508.40	593.40	742.66	223.94
	600	0	10	4	864.20	838.60	1024.80	817.60	805.80	916.20	716.00	1358.00	652.20	665.20	865.86	206.84
39	600	0	20	1	362.89	402.67	327.56	284.44	430.22	366.67	369.11	468.22	336.00	318.67	366.64	54.98
	600	0	20	2	415.69	439.54	414.62	317.69	498.62	405.69	388.46	600.92	413.69	410.62	430.55	74.55
	600	0	20	3	747.00	716.40	894.80	711.00	649.60	745.60	918.00	1148.00	494.60	520.00	754.50	193.87
	600	0	20	4	891.00	824.40	1027.20	730.20	849.20	887.00	824.80	1277.80	572.60	677.80	856.20	194.17
40	600	0	30	1	466.22	366.22	495.11	302.89	421.33	367.56	358.44	540.22	318.44	344.89	398.13	79.27
	600	0	30	2	398.00	520.92	483.85	352.92	479.23	418.15	380.15	628.92	376.77	372.62	441.15	86.69
	600	0	30	3	684.00	674.40	990.80	906.60	564.40	628.40	596.00	1059.60	598.20	545.40	724.78	188.54
	600	0	30	4	862.00	944.60	1018.20	917.20	780.00	760.80	760.40	1221.20	608.80	607.40	848.06	187.84
41	600	0	50	1	423.33	368.67	420.89	286.44	548.89	364.00	465.33	588.44	321.33	352.89	414.02	96.92
	600	0	50	2	432.77	503.54	716.31	311.08	502.46	395.85	372.31	750.15	363.69	416.77	476.49	147.85
	600	0	50	3	902.00	818.60	1070.80	681.80	722.40	761.60	666.80	1387.20	519.60	669.00	819.98	249.42
	600	0	50	4	980.80	1034.80	994.80	786.40	832.40	919.60	819.40	1191.00	521.40	860.60	894.12	178.66
42	600	0	70	1	549.56	474.00	442.67	356.67	508.22	340.00	350.44	497.78	506.67	389.33	441.53	76.82
	600	0	70	2	642.77	632.62	522.62	405.23	700.15	410.31	485.54	530.77	493.85	430.31	525.42	102.83
	600	0	70	3	1238.20	886.40	1195.00	976.20	818.00	647.80	609.20	1015.60	586.60	716.60	868.96	235.20
	600	0	70	4	1475.80	869.60	1230.40	887.40	1090.80	855.20	943.00	1302.40	548.40	817.00	1002.00	272.94
43	600	50	0	1	334.44	322.00	380.89	287.11	344.00	347.33	302.44	413.78	374.22	355.78	346.20	37.69
	600	50	0	2	392.92	375.54	390.00	366.15	477.38	391.54	385.08	528.46	393.85	387.23	408.82	51.75
	600	50	0	3	678.00	742.20	1003.60	703.40	617.40	741.40	691.60	1113.60	739.80	567.40	759.84	169.14
	600	50	0	4	802.80	811.00	1020.60	780.20	764.80	723.20	707.00	1214.60	693.00	690.40	820.76	168.66
44	600	50	10	1	446.67	401.11	331.78	262.22	434.22	346.22	382.00	444.44	318.67	374.67	374.20	60.35
	600	50	10	2	436.31	453.08	375.08	293.38	531.23	398.77	419.69	566.92	354.77	363.85	419.31	82.48
	600	50	10	3	750.20	651.40	885.20	687.60	764.40	703.60	567.60	1016.60	468.80	680.80	717.62	153.47
	600	50	10	4	834.20	729.20	877.80	737.00	961.00	853.80	695.80	1303.20	523.00	743.80	825.88	206.10
45	600	50	20	1	331.78	302.22	367.56	282.67	494.89	321.56	306.00	398.67	339.78	379.33	352.44	61.89
	600	50	20	2	423.85	393.38	437.08	354.92	466.77	364.92	399.69	567.69	348.15	436.77	419.32	65.09
	600	50	20	3	663.40	708.60	871.80	689.00	646.80	733.40	573.60	1204.00	456.60	550.00	709.72	207.04
	600	50	20	4	880.80	905.20	1121.40	780.20	924.60	782.40	808.60	1302.40	542.60	728.80	877.70	210.96

46	600	50	30	1	463.78	291.33	379.78	286.67	400.67	299.78	357.33	403.78	327.78	388.89	359.98	58.05
	600	50	30	2	490.62	451.23	439.69	407.54	490.31	394.00	366.46	519.69	374.92	406.46	434.09	52.87
	600	50	30	3	814.40	672.40	944.60	670.40	731.40	608.40	576.20	1069.80	436.80	533.40	705.78	192.27
	600	50	30	4	844.20	801.00	1247.40	743.40	1003.00	787.80	758.60	1162.80	631.00	667.60	864.68	206.63
47	600	50	50	1	461.78	411.33	359.56	285.56	400.67	357.11	325.33	647.78	337.33	391.33	397.78	100.80
	600	50	50	2	554.62	592.15	412.92	340.00	548.46	464.62	406.15	874.92	390.46	482.77	506.71	152.56
	600	50	50	3	919.00	703.40	816.40	793.80	651.60	663.40	685.40	1426.40	583.60	767.00	801.00	239.88
48	600	50	70	1	946.40	863.40	910.80	833.20	854.20	748.80	774.00	1345.60	593.00	719.80	858.92	199.25
	600	50	70	2	447.56	455.56	464.89	388.44	396.22	476.00	338.00	714.22	369.33	383.56	443.38	105.65
	600	50	70	3	496.77	492.00	593.69	534.00	496.31	436.15	441.23	566.92	416.46	439.69	491.32	59.53
	600	50	70	4	856.60	858.80	1205.40	855.40	660.00	759.80	780.40	1567.60	542.00	593.20	867.92	306.97
49	600	100	0	1	1113.40	1043.00	1222.60	823.60	795.40	997.60	890.80	1415.20	627.60	781.80	971.10	235.58
	600	100	0	2	364.22	313.11	403.56	311.78	408.44	349.78	309.56	333.33	320.44	345.78	346.00	36.44
	600	100	0	3	481.38	408.62	421.08	325.08	522.00	390.31	392.77	565.38	397.08	371.23	427.49	73.35
	600	100	0	4	912.40	606.20	1167.40	699.40	728.00	603.00	500.00	1125.60	554.80	708.40	760.52	232.91
50	600	100	10	1	826.40	766.60	1037.20	832.20	798.00	823.60	696.00	1229.60	647.80	688.60	834.60	175.96
	600	100	10	2	289.78	262.44	381.11	255.11	449.56	390.44	377.33	408.67	349.56	410.89	357.49	66.79
	600	100	10	3	385.23	382.46	426.00	297.85	539.23	399.08	414.15	598.00	384.62	370.31	419.69	86.71
	600	100	10	4	802.20	726.40	1029.60	647.60	810.00	839.40	753.60	1053.80	515.20	585.00	776.28	173.62
51	600	100	20	1	910.00	996.20	1132.60	911.80	912.20	900.60	770.00	1286.00	542.40	755.80	911.76	204.65
	600	100	20	2	389.78	344.67	332.00	316.00	495.11	319.78	369.33	410.44	303.56	335.56	361.62	57.83
	600	100	20	3	419.85	344.00	458.77	354.77	512.31	389.08	381.69	525.85	397.08	403.23	418.66	61.89
	600	100	20	4	798.40	594.40	848.40	648.40	733.60	731.60	578.60	1110.60	501.20	664.80	721.00	172.35
52	600	100	30	1	1011.80	701.40	924.20	793.60	828.00	852.00	656.20	1184.20	520.20	668.00	813.96	193.10
	600	100	30	2	389.78	378.67	308.67	267.78	423.56	356.44	278.00	497.33	352.44	348.67	358.13	69.01
	600	100	30	3	443.85	499.85	450.00	361.69	446.62	424.92	391.38	608.00	403.69	385.08	441.51	70.71
	600	100	30	4	681.40	798.20	1004.20	652.40	697.60	703.20	660.80	1222.40	536.60	517.60	747.44	215.18
53	600	100	50	1	917.80	731.20	1043.80	741.40	855.40	801.40	876.40	1201.80	594.60	556.00	831.98	195.32
	600	100	50	2	355.56	432.00	399.56	298.22	471.78	359.33	392.00	440.44	285.78	330.44	376.51	61.67
	600	100	50	3	438.92	574.62	414.31	319.08	474.00	408.46	487.23	678.00	368.31	409.23	457.22	104.11
	600	100	50	4	925.00	719.40	892.40	843.00	819.80	608.80	674.20	1186.60	513.60	618.20	780.10	196.03
54	600	100	70	1	1066.80	708.60	1201.40	889.00	875.00	880.60	801.00	1330.40	521.40	716.60	899.08	242.31
	600	100	70	2	502.00	316.22	367.11	327.56	408.00	378.00	406.89	405.33	377.78	420.22	390.91	52.13
	600	100	70	3	584.00	535.69	546.77	373.85	497.85	418.15	486.46	573.08	457.23	486.31	495.94	67.09
	600	100	70	4	921.20	921.60	1186.20	693.80	738.60	635.80	786.40	1031.20	606.60	695.40	821.68	187.95
55	1000	0	0	1	1103.20	1064.60	1175.60	748.80	910.20	715.00	790.00	1083.00	610.20	1071.80	927.24	198.10
	1000	0	0	2	304.00	292.44	370.00	306.89	441.56	370.00	316.00	415.78	364.89	357.56	353.91	49.53
	1000	0	0	3	393.23	455.54	502.15	359.08	495.85	420.15	430.62	578.15	410.92	486.62	453.23	63.94
	1000	0	0	4	749.20	639.80	752.00	719.40	739.80	743.60	713.80	951.80	621.40	665.00	729.58	91.20
56	1000	0	10	1	804.40	850.00	858.60	804.20	798.60	872.40	797.00	998.40	641.80	780.20	820.56	89.30
	1000	0	10	2	362.44	355.11	348.00	263.11	450.89	351.78	284.44	433.78	299.33	372.22	352.11	59.86
	1000	0	10	3	412.77	440.92	535.08	329.69	510.92	392.15	393.08	549.85	369.54	427.54	436.15	73.42
	1000	0	10	4	811.40	603.00	934.00	693.40	693.00	652.00	725.80	991.00	434.20	697.40	723.52	159.67
57	1000	0	20	1	913.80	846.80	1033.20	811.40	898.00	780.40	757.00	1234.20	531.60	691.80	849.82	191.18
	1000	0	20	2	423.33	402.00	335.11	310.89	504.67	369.78	327.11	377.33	315.56	434.00	379.98	62.07
	1000	0	20	3	438.62	496.62	449.38	320.15	486.62	380.00	376.77	596.62	375.54	411.23	433.15	79.21
	1000	0	20	4	874.80	759.60	779.60	703.20	655.60	799.20	598.20	1218.00	444.80	861.80	769.48	203.85
58	1000	0	30	1	986.80	831.60	942.60	790.60	755.00	789.80	751.40	1124.20	499.00	813.00	828.40	166.21
	1000	0	30	2	381.56	287.78	492.89	309.78	398.00	509.11	318.67	502.44	337.78	417.56	395.56	83.47
	1000	0	30	3	408.62	501.85	459.69	355.08	560.46	417.69	380.15	594.46	381.69	388.15	444.78	82.14
	1000	0	30	4	835.00	595.20	995.80	616.80	753.60	661.80	598.80	1142.40	521.40	554.20	727.50	205.35
59	1000	0	50	1	807.40	811.60	968.40	696.80	869.40	912.60	654.20	1310.00	536.60	794.20	836.12	209.34
	1000	0	50	2	463.11	507.11	428.89	379.11	407.78	430.67	323.78	640.22	338.44	425.56	434.47	90.56
	1000	0	50	3	491.08	450.00	392.15	342.77	549.38	411.08	488.46	681.69	424.77	407.85	463.92	96.36
	1000	0	50	4	884.80	755.40	878.00	773.40	894.80	646.60	841.40	1513.00	515.60	611.20	831.42	271.87
60	1000	0	70	1	1055.00	807.40	999.20	864.40	1037.40	829.20	979.80	1165.20	634.40	665.00	903.70	173.18
	1000	0	70	2	801.33	498.67	551.33	302.22	509.11	425.78	506.44	544.22	544.89	414.67	509.87	128.44
	1000	0	70	3	731.08	674.46	576.77	447.54	744.00	477.54	561.85	856.77	634.46	532.15	623.66	129.02
	1000	0	70	4	1232.00	840.20	1228.20	706.00	813.60	762.20	737.80	1681.20	746.80	1118.40	986.64	319.43
60	1000	0	70	4	1276.00	910.60	1248.60	958.20	1053.20	880.60	902.40	1431.00	693.20	966.20	1032.00	222.39

61	1000	50	0	1	333.78	414.67	316.67	256.67	434.22	334.67	314.22	400.89	293.56	377.11	347.64	57.09
	1000	50	0	2	413.69	545.08	474.77	365.08	490.31	351.69	364.77	530.00	385.38	532.15	445.29	77.34
	1000	50	0	3	684.40	628.80	914.60	616.60	625.20	639.00	534.60	1057.00	470.00	684.00	685.42	174.32
	1000	50	0	4	857.60	693.20	997.20	765.80	796.20	773.20	659.20	1259.40	591.20	777.80	817.08	190.78
62	1000	50	10	1	407.11	400.67	387.33	260.00	461.11	354.89	317.78	527.33	342.00	307.78	376.60	78.14
	1000	50	10	2	451.23	487.85	429.38	326.31	430.92	357.38	360.62	622.62	443.38	427.23	433.69	82.86
	1000	50	10	3	877.00	633.80	758.40	728.60	907.20	641.40	654.80	1203.40	586.60	667.40	765.86	186.28
	1000	50	10	4	942.20	732.80	995.00	784.60	825.20	870.00	898.40	1241.00	720.60	749.40	875.92	157.74
63	1000	50	20	1	377.11	429.33	381.56	271.78	423.11	405.33	360.67	375.78	318.22	360.00	370.29	47.52
	1000	50	20	2	459.85	369.54	361.23	337.23	466.77	412.46	361.54	518.62	343.69	352.00	398.29	62.86
	1000	50	20	3	883.40	616.20	958.20	729.20	700.80	672.80	539.00	937.40	487.80	491.00	701.58	176.35
	1000	50	20	4	916.40	721.00	1062.60	842.00	955.80	870.80	740.80	1131.20	524.80	722.80	848.82	179.77
64	1000	50	30	1	372.22	278.22	347.56	275.78	415.11	458.44	354.00	547.56	328.22	337.78	371.49	83.14
	1000	50	30	2	456.77	419.69	450.31	339.54	460.46	409.23	369.08	589.85	346.62	361.08	420.26	75.13
	1000	50	30	3	788.60	725.80	958.80	718.40	626.60	682.80	724.40	1101.00	501.80	477.00	730.52	189.33
	1000	50	30	4	975.60	857.60	1009.60	817.60	799.20	861.40	786.20	1299.20	491.20	558.80	845.64	227.12
65	1000	50	50	1	454.00	376.67	322.00	328.44	460.22	374.67	390.89	850.67	388.22	460.67	440.64	152.54
	1000	50	50	2	464.00	701.69	440.00	363.69	548.46	439.85	403.08	828.62	389.38	440.00	501.88	150.30
	1000	50	50	3	872.80	725.00	759.60	772.20	831.60	590.20	604.40	1544.20	580.00	553.40	783.34	289.99
	1000	50	50	4	992.60	744.60	914.60	861.20	858.00	773.20	652.40	1537.20	584.60	729.60	864.80	265.78
66	1000	50	70	1	484.89	406.22	470.44	261.78	638.89	449.78	401.56	598.89	454.89	364.67	453.20	108.72
	1000	50	70	2	764.92	636.77	618.15	379.85	554.77	418.31	393.08	606.15	514.15	478.31	536.45	123.40
	1000	50	70	3	1058.40	836.40	1224.20	650.00	887.20	772.20	720.60	1093.60	580.00	690.00	864.64	196.97
	1000	50	70	4	1119.40	956.00	1318.40	810.40	1053.20	878.00	882.20	1148.00	647.80	816.00	962.94	197.53
67	1000	100	0	1	363.78	230.89	379.11	248.67	345.11	332.00	329.78	425.11	365.11	385.11	340.47	60.04
	1000	100	0	2	413.54	472.77	450.46	312.77	458.46	479.54	459.69	552.92	399.08	409.54	440.88	62.99
	1000	100	0	3	785.80	613.40	996.40	647.80	689.20	832.60	589.80	1036.20	568.80	604.60	736.46	170.40
	1000	100	0	4	841.20	846.00	1018.40	850.80	879.80	841.20	744.80	1180.00	684.60	772.80	865.96	141.48
68	1000	100	10	1	311.11	305.33	334.44	314.89	375.33	326.22	351.33	433.33	322.67	320.44	339.51	38.95
	1000	100	10	2	378.46	425.54	396.15	311.69	506.92	407.08	426.92	504.92	325.85	477.23	416.08	67.51
	1000	100	10	3	893.60	736.00	966.60	668.20	671.00	596.40	723.80	1037.80	494.40	574.60	736.24	177.00
	1000	100	10	4	1122.80	884.40	1107.80	832.80	815.00	852.20	881.20	1164.40	584.00	735.00	897.96	183.91
69	1000	100	20	1	365.11	350.67	371.11	262.89	417.33	349.56	312.22	450.44	321.33	376.89	357.76	52.97
	1000	100	20	2	411.38	422.31	472.15	346.15	459.23	407.38	482.62	589.54	369.85	432.15	439.28	67.96
	1000	100	20	3	942.80	574.20	789.60	581.00	681.80	733.60	676.80	1071.80	427.20	566.60	704.54	191.26
	1000	100	20	4	1064.60	677.20	961.80	826.40	734.60	796.60	958.20	1329.40	542.00	730.60	862.14	224.68
70	1000	100	30	1	372.89	338.89	341.11	322.67	454.89	339.33	348.67	428.22	331.11	387.56	366.53	44.40
	1000	100	30	2	403.54	458.77	464.15	331.85	485.54	387.23	424.62	605.85	351.69	418.00	433.12	77.73
	1000	100	30	3	754.20	631.40	883.60	670.00	850.00	568.00	622.40	1121.80	527.20	566.60	719.52	185.58
	1000	100	30	4	912.00	936.40	1005.60	787.40	1030.00	834.20	751.20	1259.40	511.80	921.80	894.98	196.85
71	1000	100	50	1	395.56	430.67	409.78	283.33	477.11	372.00	365.33	593.78	335.11	372.44	403.51	84.98
	1000	100	50	2	442.15	510.92	448.92	358.62	494.00	384.15	398.00	606.31	348.31	459.54	445.09	78.69
	1000	100	50	3	867.00	694.80	930.40	581.00	788.60	683.60	583.60	1098.00	508.40	636.80	737.22	183.21
	1000	100	50	4	981.00	894.60	1052.20	690.40	888.20	780.80	774.20	1147.60	515.20	778.40	850.26	183.57
72	1000	100	70	1	537.11	388.67	410.67	420.00	481.33	375.56	384.22	441.33	364.67	371.56	417.51	55.38
	1000	100	70	2	569.85	629.08	642.00	443.38	629.85	426.31	415.23	628.46	498.46	495.08	537.77	92.29
	1000	100	70	3	947.80	920.40	1226.60	870.20	763.20	747.60	893.80	1240.00	611.80	670.60	889.20	211.44
	1000	100	70	4	1067.80	940.80	1382.80	918.00	953.00	868.00	824.40	1303.80	628.20	658.80	954.56	244.52
73	1600	0	0	1	351.33	466.00	378.89	274.44	389.56	373.56	368.89	454.89	332.44	369.33	375.93	55.21
	1600	0	0	2	474.46	538.31	435.08	362.15	537.38	413.54	373.85	572.92	377.85	417.54	450.31	76.35
	1600	0	0	3	829.80	813.00	867.80	686.80	655.40	602.40	699.40	970.20	585.00	636.20	734.60	128.15
	1600	0	0	4	969.20	827.20	972.80	749.80	964.20	875.20	843.20	1167.60	575.80	757.20	870.22	161.30
74	1600	0	10	1	339.56	364.44	347.56	281.33	456.67	330.44	371.11	508.89	333.33	382.22	371.56	65.96
	1600	0	10	2	455.08	481.85	476.62	346.31	576.92	404.77	368.15	594.46	457.54	393.54	455.52	82.44
	1600	0	10	3	786.40	613.40	985.60	623.80	912.40	769.60	594.40	1061.40	574.60	592.20	751.38	181.05
	1600	0	10	4	905.00	959.20	1175.60	787.60	941.20	903.20	692.40	1377.60	680.20	716.40	913.84	222.39
75	1600	0	20	1	411.78	347.78	394.00	267.33	453.11	374.44	448.44	516.00	332.00	368.67	391.36	70.43
	1600	0	20	2	368.31	517.38	512.00	345.54	503.23	402.15	402.00	516.00	432.62	369.08	436.83	69.02
	1600	0	20	3	932.20	663.80	1038.20	781.40	818.60	758.20	602.00	997.40	450.60	511.20	755.36	199.70
	1600	0	20	4	845.20	755.20	1035.60	813.00	685.00	825.00	693.20	1004.40	547.40	666.40	787.04	151.56

76	1600	0	30	1	372.00	289.56	367.78	274.67	430.89	309.33	380.44	496.22	314.89	363.33	359.91	67.55
	1600	0	30	2	446.31	427.08	476.62	326.31	491.23	387.38	365.69	699.08	377.23	517.08	451.40	105.98
	1600	0	30	3	716.80	782.60	845.60	677.20	746.40	641.60	503.40	1151.60	529.60	801.20	739.60	182.75
	1600	0	30	4	916.40	936.40	985.60	694.60	897.20	779.20	693.00	1464.00	561.80	793.00	872.12	246.02
77	1600	0	50	1	504.44	331.33	380.22	389.11	411.11	340.67	332.67	590.44	358.22	384.44	402.27	83.34
	1600	0	50	2	513.69	361.85	461.85	358.15	439.38	380.31	352.77	685.54	418.77	488.92	446.12	101.46
	1600	0	50	3	1109.00	666.00	943.20	887.20	892.40	601.20	799.80	1395.80	506.00	714.20	851.48	260.74
78	1600	0	50	4	1070.00	783.80	1316.20	982.40	873.60	749.20	834.40	1470.60	620.40	721.00	942.16	272.47
	1600	0	70	1	614.00	360.44	555.33	356.44	467.33	404.44	430.89	465.33	446.67	620.44	472.13	95.40
	1600	0	70	2	799.85	560.00	871.85	465.54	615.08	415.23	472.15	592.77	709.54	534.31	603.63	149.24
	1600	0	70	3	1115.20	985.80	1499.60	785.60	926.80	768.60	768.00	1256.80	647.20	935.00	968.86	259.64
79	1600	0	70	4	1166.40	855.60	1473.80	962.80	1154.60	943.40	986.80	1402.60	752.00	988.80	1068.68	230.52
	1600	50	0	1	394.44	347.11	382.22	286.00	407.56	359.78	324.22	405.56	365.78	306.22	357.89	41.93
	1600	50	0	2	394.92	550.15	543.38	313.54	459.38	420.00	341.38	511.23	363.23	406.31	430.35	83.35
	1600	50	0	3	849.60	788.80	1163.00	652.40	754.40	784.80	641.60	1133.40	508.60	557.60	783.42	220.00
80	1600	50	0	4	1031.20	735.00	1045.00	749.40	831.80	862.80	801.00	1140.60	566.60	636.80	840.22	184.16
	1600	50	10	1	377.11	280.00	301.33	318.22	388.22	332.00	279.33	606.67	353.56	365.11	360.16	94.80
	1600	50	10	2	409.54	448.31	386.15	359.69	543.69	414.92	430.92	532.92	411.85	420.62	435.86	59.11
	1600	50	10	3	785.40	732.60	828.00	696.20	736.00	797.40	657.00	1066.20	583.20	585.40	746.74	140.01
81	1600	50	10	4	1097.00	880.40	894.40	704.20	998.00	980.00	811.00	1233.20	662.40	863.40	912.40	172.81
	1600	50	20	1	410.89	338.67	379.33	282.44	466.44	319.33	340.89	493.56	321.56	432.22	378.53	69.82
	1600	50	20	2	512.62	475.85	438.46	340.15	529.08	417.23	485.54	548.46	402.92	513.69	466.40	65.54
	1600	50	20	3	926.00	648.60	859.80	614.20	662.60	655.00	660.40	1228.60	531.40	615.40	740.20	208.29
82	1600	50	20	4	942.80	934.00	845.20	854.80	829.40	887.40	816.80	1256.00	707.40	997.60	907.14	146.42
	1600	50	30	1	562.00	420.44	325.11	280.22	439.33	315.78	328.67	444.44	317.56	296.44	373.00	89.79
	1600	50	30	2	456.62	515.85	408.00	388.92	532.15	388.00	365.08	542.62	339.38	421.23	435.78	72.49
	1600	50	30	3	745.40	670.20	830.40	629.20	705.60	725.20	559.00	1058.20	481.00	574.20	697.84	162.47
83	1600	50	30	4	862.40	674.00	1093.60	734.40	1029.20	767.40	627.20	1465.20	535.00	674.20	846.26	279.06
	1600	50	50	1	397.56	270.67	314.00	356.89	481.56	387.56	388.00	511.11	348.00	392.44	384.78	71.28
	1600	50	50	2	414.15	451.23	408.31	362.46	548.77	404.77	372.15	704.62	372.62	451.54	449.06	105.07
	1600	50	50	3	809.00	638.60	970.20	625.40	671.20	757.60	640.20	1115.20	473.00	767.40	746.78	185.15
84	1600	50	50	4	899.00	705.20	1043.20	819.60	900.40	978.20	755.60	1181.60	537.60	849.60	867.00	180.79
	1600	50	70	1	544.22	393.78	546.22	267.78	610.89	474.22	354.89	602.89	474.67	396.67	466.62	112.59
	1600	50	70	2	686.46	562.62	559.08	398.92	685.23	472.15	392.15	611.69	506.77	458.46	533.35	106.58
	1600	50	70	3	1010.20	846.40	1227.60	833.20	1146.80	642.40	790.20	1476.20	574.20	580.20	912.74	299.06
85	1600	50	70	4	1118.80	870.00	1352.20	1003.40	1156.20	819.20	801.60	1525.00	632.20	804.40	1008.30	278.89
	1600	100	0	1	338.67	316.89	346.67	252.67	411.56	366.22	307.78	464.89	305.56	356.89	346.78	59.31
	1600	100	0	2	417.08	424.92	390.15	310.46	482.46	383.54	354.92	553.54	427.38	420.00	416.45	66.79
	1600	100	0	3	704.60	641.60	883.00	616.40	607.60	684.80	687.00	984.00	579.40	537.60	692.60	138.99
86	1600	100	0	4	933.20	744.80	977.00	784.40	869.40	940.00	804.40	1210.60	749.40	595.80	860.90	167.52
	1600	100	10	1	409.56	299.33	502.00	342.67	488.44	354.22	321.11	488.67	298.22	366.89	387.11	80.08
	1600	100	10	2	453.54	502.15	401.85	323.08	550.31	381.23	486.62	526.62	359.85	442.31	442.75	75.15
	1600	100	10	3	775.40	632.80	970.00	640.20	716.00	579.60	605.80	1137.80	501.80	640.20	719.96	194.61
87	1600	100	10	4	916.60	731.00	1163.00	863.60	902.60	798.60	735.20	1154.80	592.80	716.00	857.42	186.13
	1600	100	20	1	477.56	450.22	347.33	260.44	415.56	338.67	348.44	416.67	314.22	319.56	368.87	68.20
	1600	100	20	2	391.54	446.62	430.31	295.85	492.31	411.38	416.00	563.08	381.23	386.46	421.48	71.05
	1600	100	20	3	763.20	640.40	871.20	742.80	751.00	669.60	564.20	991.80	490.20	605.00	708.94	148.34
88	1600	100	20	4	942.20	722.20	912.20	752.60	795.60	951.40	743.00	1033.40	562.80	709.40	812.48	143.25
	1600	100	30	1	342.89	329.56	376.22	250.67	420.00	373.56	320.22	505.78	349.33	357.78	362.60	66.75
	1600	100	30	2	382.46	508.15	441.54	373.69	461.85	406.31	382.46	580.77	382.77	418.31	433.83	67.05
	1600	100	30	3	796.20	682.00	988.40	645.60	697.40	625.40	495.80	1062.60	507.20	551.40	705.20	192.48
89	1600	100	30	4	844.20	746.20	1126.20	720.80	777.80	754.00	725.00	1152.80	649.40	660.80	815.72	179.45
	1600	100	50	1	344.67	325.56	376.67	313.33	396.44	361.78	421.78	586.44	336.44	334.00	379.71	80.03
	1600	100	50	2	414.62	445.23	482.77	374.31	460.31	386.31	437.85	604.77	401.23	359.38	436.68	70.83
	1600	100	50	3	761.80	734.20	821.20	820.60	649.60	728.00	660.00	1274.00	451.20	541.20	744.18	220.16
90	1600	100	50	4	973.00	859.20	895.80	890.80	792.20	851.20	886.00	1505.60	579.00	669.20	890.20	245.72
	1600	100	70	1	627.56	516.89	519.11	334.22	505.56	372.89	336.89	418.22	358.00	418.44	440.78	97.54
	1600	100	70	2	614.77	820.00	468.31	378.77	556.62	513.69	427.08	658.46	430.31	472.46	534.05	132.97
	1600	100	70	3	1127.80	983.00	1204.40	955.00	878.60	843.40	839.60	1128.40	485.20	721.20	916.66	214.79
1600	100	70	4	1212.00	1052.80	1274.60	1024.60	926.80	1015.00	1044.00	1164.00	544.00	853.20	1011.10	207.21	



ตาราง ค3 ค่าประมาณแบบช่วงของปัจจัยร่วมด้านปริมาณแสงสว่างในห้องที่ระดับ 200 – 1600 ลักซ์ร่วมกับความสว่างจอภาพที่ 50 กับ 100% และมุมเอียงจอภาพที่ 0 – 30 องศาภายใต้การใช้แบบทดสอบการพิมพ์ที่ ID1-4

ปริมาณแสงสว่างในห้อง (ลักซ์)	ความสว่างจอภาพ (%)	มุมเอียงจอภาพ (องศา)	ID	ขอบล่าง	ค่าเฉลี่ย	ขอบบน
200	50	0	1	5.818	5.925	6.032
		10	1	5.655	5.788	5.921
		20	1	5.768	5.888	6.008
		30	1	5.792	5.917	6.042
	100	0	1	5.779	5.899	6.019
		10	1	5.798	5.886	5.974
		20	1	5.790	5.911	6.031
		30	1	5.837	5.924	6.011
400	50	0	1	5.807	5.904	6.001
		10	1	5.744	5.891	6.037
		20	1	5.727	5.848	5.969
		30	1	5.736	5.872	6.009
	100	0	1	5.722	5.812	5.901
		10	1	5.766	5.874	5.983
		20	1	5.858	5.970	6.082
		30	1	5.844	5.935	6.026
600	50	0	1	5.764	5.842	5.920
		10	1	5.791	5.912	6.034
		20	1	5.735	5.852	5.969
		30	1	5.759	5.874	5.990
	100	0	1	5.768	5.842	5.915
		10	1	5.720	5.862	6.004
		20	1	5.774	5.880	5.987
		30	1	5.730	5.865	6.000
1000	50	0	1	5.720	5.839	5.958
		10	1	5.765	5.912	6.059
		20	1	5.808	5.906	6.004
		30	1	5.745	5.897	6.049
	100	0	1	5.677	5.815	5.952
		10	1	5.746	5.822	5.899
		20	1	5.761	5.870	5.978
		30	1	5.815	5.898	5.981
1600	50	0	1	5.787	5.874	5.960
		10	1	5.700	5.861	6.022
		20	1	5.790	5.921	6.052
		30	1	5.736	5.898	6.059
	100	0	1	5.715	5.836	5.957
		10	1	5.795	5.940	6.085
		20	1	5.761	5.895	6.029
		30	1	5.748	5.878	6.009

ปริมาณแสงสว่างในห้อง (ลักซ์)	ความสว่างจอภาพ (%)	มุมเอียงจอภาพ (องศา)	ID	ขอบล่าง	ค่าเฉลี่ย	ขอบบน
200	50	0	2	5.962	6.084	6.206
		10	2	5.903	6.027	6.151
		20	2	5.967	6.074	6.180
		30	2	5.961	6.086	6.211
	100	0	2	5.903	6.056	6.208
		10	2	5.930	6.059	6.188
		20	2	5.887	6.020	6.153
		30	2	5.998	6.117	6.236
400	50	0	2	6.006	6.111	6.216
		10	2	5.954	6.072	6.190
		20	2	5.938	6.053	6.168
		30	2	5.917	6.031	6.145
	100	0	2	5.930	6.037	6.144
		10	2	5.969	6.096	6.222
		20	2	5.981	6.106	6.231
		30	2	5.905	6.037	6.169
600	50	0	2	5.923	6.007	6.090
		10	2	5.882	6.021	6.161
		20	2	5.924	6.029	6.134
		30	2	5.980	6.067	6.153
	100	0	2	5.926	6.045	6.164
		10	2	5.882	6.022	6.162
		20	2	5.925	6.028	6.130
		30	2	5.973	6.080	6.186
1000	50	0	2	5.960	6.085	6.210
		10	2	5.927	6.057	6.187
		20	2	5.869	5.977	6.085
		30	2	5.907	6.028	6.148
	100	0	2	5.971	6.079	6.186
		10	2	5.899	6.019	6.138
		20	2	5.968	6.075	6.181
		30	2	5.935	6.057	6.180
1600	50	0	2	5.909	6.048	6.187
		10	2	5.977	6.070	6.162
		20	2	6.029	6.135	6.242
		30	2	5.947	6.065	6.182
	100	0	2	5.907	6.020	6.134
		10	2	5.955	6.080	6.205
		20	2	5.910	6.031	6.152
		30	2	5.959	6.063	6.166

ปริมาณแสงสว่างในห้อง (ลักซ์)	ความสว่างจอภาพ (%)	มุมเอียงจอภาพ (องศา)	ID	ขอบล่าง	ค่าเฉลี่ย	ขอบบน
200	50	0	3	6.516	6.658	6.801
		10	3	6.398	6.539	6.679
		20	3	6.391	6.557	6.724
		30	3	6.400	6.569	6.738
	100	0	3	6.488	6.639	6.791
		10	3	6.437	6.573	6.709
		20	3	6.383	6.534	6.685
		30	3	6.530	6.646	6.762
400	50	0	3	6.468	6.582	6.695
		10	3	6.433	6.641	6.848
		20	3	6.399	6.547	6.695
		30	3	6.385	6.556	6.727
	100	0	3	6.378	6.522	6.666
		10	3	6.487	6.632	6.776
		20	3	6.372	6.569	6.765
		30	3	6.376	6.548	6.719
600	50	0	3	6.467	6.613	6.760
		10	3	6.401	6.555	6.709
		20	3	6.342	6.532	6.721
		30	3	6.335	6.527	6.718
	100	0	3	6.391	6.579	6.768
		10	3	6.469	6.632	6.794
		20	3	6.396	6.557	6.718
		30	3	6.396	6.584	6.771
1000	50	0	3	6.335	6.504	6.672
		10	3	6.462	6.618	6.774
		20	3	6.344	6.525	6.706
		30	3	6.381	6.564	6.747
	100	0	3	6.423	6.579	6.736
		10	3	6.407	6.576	6.746
		20	3	6.334	6.525	6.717
		30	3	6.380	6.552	6.723
1600	50	0	3	6.435	6.630	6.824
		10	3	6.474	6.601	6.728
		20	3	6.399	6.577	6.755
		30	3	6.367	6.525	6.684
	100	0	3	6.391	6.524	6.657
		10	3	6.374	6.550	6.727
		20	3	6.396	6.544	6.693
		30	3	6.342	6.527	6.713

ปริมาณแสงสว่างในห้อง (ลักซ์)	ความสว่างจอภาพ (%)	มุมเอียงจอภาพ (องศา)	ID	ขอบล่าง	ค่าเฉลี่ย	ขอบบน
200	50	0	4	6.663	6.801	6.938
		10	4	6.603	6.759	6.914
		20	4	6.550	6.711	6.873
		30	4	6.568	6.737	6.907
	100	0	4	6.558	6.736	6.914
		10	4	6.625	6.770	6.916
		20	4	6.497	6.671	6.845
		30	4	6.683	6.797	6.912
400	50	0	4	6.601	6.730	6.858
		10	4	6.547	6.711	6.875
		20	4	6.564	6.737	6.909
		30	4	6.612	6.796	6.981
	100	0	4	6.593	6.736	6.880
		10	4	6.629	6.724	6.819
		20	4	6.577	6.733	6.890
		30	4	6.543	6.710	6.876
600	50	0	4	6.563	6.694	6.825
		10	4	6.521	6.691	6.860
		20	4	6.581	6.752	6.922
		30	4	6.579	6.730	6.881
	100	0	4	6.571	6.709	6.848
		10	4	6.623	6.791	6.960
		20	4	6.507	6.677	6.847
		30	4	6.530	6.699	6.868
1000	50	0	4	6.531	6.684	6.837
		10	4	6.642	6.762	6.882
		20	4	6.562	6.722	6.882
		30	4	6.507	6.706	6.906
	100	0	4	6.642	6.753	6.863
		10	4	6.629	6.781	6.932
		20	4	6.548	6.730	6.912
		30	4	6.602	6.773	6.943
1600	50	0	4	6.553	6.712	6.870
		10	4	6.664	6.800	6.936
		20	4	6.691	6.800	6.908
		30	4	6.482	6.698	6.913
	100	0	4	6.604	6.741	6.879
		10	4	6.581	6.733	6.886
		20	4	6.556	6.686	6.816
		30	4	6.541	6.685	6.828

ตาราง ค4 ค่าสมรรถนะและ R<sup>2</sup> ของแต่ละบุคคล

Condition	Ambient Illumination (lx)	Brightness (%)	Tilt Angle(degrees)	IP 1	Req1	IP 2	Req2	IP 3	Req3	IP 4	Req4	IP 5	Req5	IP 6	Req6	IP 7	Req7	IP 8	Req8	IP 9	Req9	IP 10	Req10
1	200	0	0	4.54	0.81	6.34	0.99	2.99	0.91	4.21	0.93	6.87	0.79	6.08	0.95	5.67	0.98	4.12	0.97	9.15	0.81	9.29	0.92
2	200	0	10	5.39	0.88	9.86	1.00	3.14	0.93	4.84	0.92	6.06	0.99	5.25	0.94	6.14	0.95	2.87	0.94	9.83	0.94	5.89	0.97
3	200	0	20	3.98	0.95	7.05	0.97	3.96	0.92	8.09	0.95	6.64	0.88	5.98	0.90	8.60	0.99	3.65	0.90	6.64	0.96	10.38	0.93
4	200	0	30	5.32	0.70	8.11	0.86	4.45	0.87	5.01	0.84	6.57	0.97	6.57	0.90	6.43	0.86	3.51	0.79	11.17	0.96	8.64	0.90
5	200	0	50	6.18	0.93	8.79	1.00	3.59	0.92	5.24	0.92	7.02	0.94	6.20	0.91	4.99	0.95	4.02	0.75	10.84	0.97	6.39	0.80
6	200	0	70	4.91	0.97	6.34	0.87	3.48	0.90	5.04	0.85	3.86	0.94	6.10	0.90	4.84	0.92	2.42	0.97	9.43	0.98	6.12	0.98
7	200	50	0	4.30	0.87	6.05	0.94	5.93	0.98	5.21	0.86	7.92	0.94	4.15	0.93	4.53	0.92	2.94	0.92	7.55	0.94	7.20	0.95
8	200	50	10	4.83	0.95	4.78	0.97	3.38	0.94	4.87	0.91	9.28	0.90	3.85	0.95	5.14	0.98	4.19	0.93	10.46	0.91	8.80	0.93
9	200	50	20	5.92	0.94	6.51	0.93	4.61	0.93	5.32	0.92	8.55	0.89	5.08	0.99	6.38	0.95	3.15	0.93	11.43	0.82	9.19	0.89
10	200	50	30	5.06	0.91	6.85	1.00	3.52	0.87	5.87	0.84	7.18	0.98	5.37	0.95	7.85	1.00	3.46	0.94	10.34	0.99	8.57	0.89
11	200	50	50	6.42	0.83	8.19	0.72	3.42	0.94	6.17	0.91	7.48	1.00	6.95	0.95	5.72	0.98	3.61	0.96	10.97	0.97	7.65	0.90
12	200	50	70	4.67	0.94	7.86	0.93	4.23	0.83	4.67	0.79	5.24	0.92	5.90	0.93	6.01	0.97	2.83	0.91	12.56	0.92	9.39	0.99
13	200	100	0	4.31	0.92	7.93	0.92	3.51	0.96	5.21	0.88	4.82	0.96	5.71	0.85	4.60	0.88	4.22	0.83	12.09	0.70	13.06	0.94
14	200	100	10	3.96	0.92	4.54	0.95	3.69	0.90	5.96	0.90	6.86	0.98	6.72	0.97	5.71	0.88	3.99	0.96	10.66	0.86	6.97	0.97
15	200	100	20	5.61	0.93	9.93	0.87	4.12	0.96	4.78	0.91	8.44	0.91	7.06	0.87	8.18	0.84	3.26	0.95	11.16	0.89	11.23	0.83
16	200	100	30	4.03	0.91	5.27	0.98	3.41	0.90	5.51	0.95	7.52	1.00	5.67	0.94	7.59	0.93	4.26	0.98	5.97	0.95	6.55	0.84
17	200	100	50	4.53	0.96	6.24	0.97	4.11	0.94	4.26	0.93	6.57	0.83	6.10	0.93	5.42	0.92	4.48	0.94	12.56	0.82	7.71	0.86
18	200	100	70	5.34	0.87	6.94	0.81	3.31	0.96	4.13	0.93	5.00	0.87	6.81	0.92	7.07	0.87	2.32	0.96	6.85	0.92	5.56	0.82
19	400	0	0	3.90	0.91	5.11	0.92	3.55	0.95	4.86	0.82	5.05	0.95	5.84	0.98	7.18	0.88	3.51	0.93	8.74	0.91	5.46	0.95
20	400	0	10	4.67	0.87	7.74	0.99	3.65	0.83	4.41	0.88	8.04	0.96	5.76	0.93	6.67	0.90	3.54	0.84	12.32	0.91	8.54	0.92
21	400	0	20	4.83	0.89	6.92	0.99	4.70	0.86	4.53	0.94	7.28	0.92	5.38	0.90	5.82	0.89	3.60	0.95	8.76	0.97	6.79	0.89
22	400	0	30	3.62	0.94	8.15	0.96	3.03	0.86	5.65	0.90	5.55	0.88	6.02	0.96	7.57	0.87	3.63	0.97	11.61	0.99	6.03	0.96
23	400	0	50	4.49	0.94	5.78	0.98	3.91	0.83	4.20	0.91	5.45	0.97	4.86	0.95	4.99	0.97	2.90	0.89	7.61	0.95	9.67	0.84
24	400	0	70	4.44	0.73	3.57	0.98	3.25	0.80	5.04	0.74	7.01	0.81	5.12	0.95	5.78	0.85	3.78	0.82	14.89	0.85	4.93	0.93
25	400	50	0	6.10	0.85	7.73	1.00	4.41	0.94	5.83	0.89	5.93	0.97	5.56	0.94	5.77	0.93	3.60	0.97	9.87	0.90	8.26	1.00
26	400	50	10	7.51	0.91	5.57	0.95	4.01	0.79	6.82	0.94	5.62	0.95	6.16	0.94	4.06	0.97	3.55	0.68	9.04	0.83	11.42	0.95
27	400	50	20	5.27	0.94	5.85	0.99	3.44	0.96	6.05	0.94	5.19	0.96	7.14	0.92	7.84	0.88	3.48	0.93	9.93	0.96	6.26	0.94
28	400	50	30	5.15	0.92	4.11	0.96	4.05	0.87	4.44	0.88	7.32	0.92	6.59	0.96	5.90	0.95	2.40	0.94	9.32	0.95	8.88	0.86
29	400	50	50	5.55	0.78	5.18	0.96	3.95	0.76	5.56	0.86	6.50	0.90	6.18	0.89	6.33	0.88	4.07	0.84	17.15	0.99	7.96	0.99
30	400	50	70	4.79	0.99	5.15	0.93	4.37	0.90	5.10	0.92	5.48	0.96	4.98	0.92	5.33	0.87	4.96	0.95	14.10	0.85	6.76	0.92

Condition	Ambient Illumination (lx)	Brightness (%)	Tilt Angle(degree)	IP 1	Rsq1	IP 2	Rsq2	IP 3	Rsq3	IP 4	Rsq4	IP 5	Rsq5	IP 6	Rsq6	IP 7	Rsq7	IP 8	Rsq8	IP 9	Rsq9	IP 10	Rsq10
31	400	100	0	4.06	0.93	5.27	0.97	4.75	0.94	5.00	0.94	7.29	0.96	5.80	0.89	6.10	0.91	3.66	0.97	14.20	0.95	5.98	0.97
32	400	100	10	5.41	0.92	7.20	0.82	4.84	0.86	4.78	0.90	6.24	0.78	7.05	0.87	5.05	0.96	3.63	0.94	7.65	0.98	8.65	0.90
33	400	100	20	5.44	0.84	9.50	0.99	4.16	0.83	4.93	0.94	6.72	0.89	6.34	0.92	7.59	0.92	3.42	0.92	12.76	0.88	7.64	0.99
34	400	100	30	4.59	0.93	7.81	0.98	4.54	0.89	7.01	0.80	6.58	0.98	5.68	0.89	7.38	0.95	3.32	0.90	8.07	0.86	13.17	0.96
35	400	100	50	3.70	0.77	6.58	0.92	4.17	0.89	5.03	0.94	4.85	0.95	6.04	0.95	8.32	0.97	2.66	0.94	8.74	0.93	11.08	0.95
36	400	100	70	5.42	0.96	6.78	0.99	3.19	0.90	4.17	0.88	5.42	0.70	6.76	0.99	7.06	0.90	3.16	0.79	10.22	0.98	6.16	0.92
37	600	0	0	4.52	0.93	5.93	1.00	4.03	0.87	5.34	0.94	6.47	0.97	5.12	0.85	6.20	0.88	3.36	0.97	7.90	0.93	6.31	0.90
38	600	0	10	5.08	0.98	5.63	0.99	3.96	0.77	5.47	0.91	6.50	0.96	4.64	0.92	7.08	0.98	2.94	0.94	9.50	0.92	9.61	0.99
39	600	0	20	5.22	0.93	6.48	0.93	3.88	0.92	5.78	0.85	7.10	0.96	5.26	0.92	5.27	0.73	3.36	0.93	12.65	1.00	8.43	0.98
40	600	0	30	6.79	0.81	5.29	0.98	4.82	0.81	4.17	0.84	8.61	0.91	7.19	0.96	7.03	0.93	4.04	0.94	9.15	0.89	10.41	0.93
41	600	0	50	4.67	0.86	4.32	0.98	4.82	0.82	5.35	0.90	9.34	0.81	4.92	0.92	7.37	0.76	4.09	0.72	13.23	0.88	5.63	0.96
42	600	0	70	2.96	0.93	6.94	0.88	3.29	0.86	4.62	0.76	5.36	0.98	5.61	0.96	5.26	0.94	3.45	0.92	45.88	0.45	6.37	0.92
43	600	50	0	5.92	0.94	5.45	0.90	3.95	0.82	5.51	0.92	7.13	1.00	6.77	0.82	6.58	0.89	3.35	0.91	7.68	0.76	8.45	0.94
44	600	50	10	6.77	0.86	8.46	0.95	4.66	0.82	5.50	0.87	5.51	0.98	5.47	0.94	9.18	0.95	3.30	0.96	13.75	0.96	7.02	0.85
45	600	50	20	5.30	0.97	4.71	0.96	3.71	0.94	5.47	0.93	6.81	0.82	5.71	0.88	5.95	0.97	2.99	0.92	13.95	0.92	8.61	0.95
46	600	50	30	6.83	0.86	5.71	0.99	3.22	0.93	6.12	0.96	4.88	0.96	5.96	0.98	7.07	0.91	3.54	0.91	10.29	0.89	10.38	0.92
47	600	50	50	5.50	0.89	6.81	0.99	4.86	0.91	4.77	0.87	6.83	0.98	7.28	0.98	6.15	0.95	3.78	0.83	10.42	0.89	7.88	0.81
48	600	50	70	4.24	0.93	4.70	0.92	3.47	0.87	6.15	0.86	7.35	0.99	5.30	0.86	5.01	0.95	3.22	0.65	11.11	0.97	7.42	0.95
49	600	100	0	5.50	0.79	6.42	0.98	3.78	0.72	5.17	0.90	7.27	0.97	6.12	0.93	7.90	0.96	3.08	0.94	8.77	0.98	7.32	0.80
50	600	100	10	4.39	0.93	3.93	0.97	3.50	0.88	4.31	0.93	6.03	0.96	5.07	0.85	6.59	0.85	3.24	0.97	14.10	0.93	8.00	0.83
51	600	100	20	4.46	0.92	7.57	0.89	4.62	0.93	5.79	0.93	8.20	0.91	5.16	0.94	9.46	0.91	3.44	0.90	13.26	0.94	7.94	0.88
52	600	100	30	5.49	0.94	7.37	0.80	3.62	0.89	5.84	0.95	6.47	0.93	6.20	0.94	4.84	0.98	3.67	0.84	10.88	0.98	13.25	0.94
53	600	100	50	3.82	0.92	10.26	0.87	3.47	0.91	4.35	0.85	6.43	0.85	5.67	0.92	7.07	0.99	3.15	0.96	11.73	0.91	7.31	0.97
54	600	100	70	4.67	0.95	3.80	0.97	3.26	0.87	6.31	0.90	5.72	0.97	8.14	0.93	6.90	0.88	4.01	0.92	11.81	0.90	4.62	0.91
55	1000	0	0	5.38	0.91	5.39	1.00	5.83	0.98	5.40	0.91	7.60	0.92	5.46	0.93	5.79	0.95	4.71	0.93	9.60	0.89	6.91	0.99
56	1000	0	10	4.87	0.91	6.11	0.96	4.07	0.95	4.98	0.93	6.56	0.95	6.47	0.94	5.71	0.91	3.52	0.96	13.13	0.99	8.14	0.85
57	1000	0	20	4.70	0.88	6.44	0.95	4.65	0.97	5.49	0.87	10.87	0.86	5.95	0.80	6.69	0.95	3.49	0.82	16.14	1.00	6.30	0.73
58	1000	0	30	5.87	0.80	6.01	0.98	5.10	0.75	7.03	0.92	6.22	0.99	6.87	0.75	8.16	0.94	3.37	0.92	13.58	0.91	7.72	0.82
59	1000	0	50	4.41	0.91	8.29	0.77	4.55	0.84	5.30	0.83	4.48	0.97	6.99	0.87	4.31	0.97	4.16	0.56	10.22	0.99	10.85	0.84
60	1000	0	70	5.20	0.77	7.14	0.97	3.65	0.83	4.49	0.99	5.88	0.96	6.06	0.94	7.33	0.96	2.87	0.75	17.94	0.69	4.46	0.73

Condition	Ambient Illumination (lx)	Brightness (%)	Tilt Angle(Degree)	IP 1	Rsq1	IP 2	Rsq2	IP 3	Rsq3	IP 4	Rsq4	IP 5	Rsq5	IP 6	Rsq6	IP 7	Rsq7	IP 8	Rsq8	IP 9	Rsq9	IP 10	Rsq10
62	1000	50	10	4.92	0.88	8.75	0.99	4.65	0.93	5.06	0.89	6.38	0.68	5.47	0.90	4.91	0.93	3.67	0.87	7.82	1.00	6.39	0.97
63	1000	50	20	4.90	0.88	8.92	0.79	3.79	0.84	4.76	0.92	5.46	0.93	6.04	0.91	7.59	0.89	3.72	0.96	13.09	0.92	8.15	0.84
64	1000	50	30	4.67	0.96	4.89	0.97	4.01	0.89	4.99	0.92	7.58	0.95	6.75	0.84	6.05	0.87	3.62	0.91	15.53	0.81	12.84	0.95
65	1000	50	50	4.94	0.88	8.87	0.70	4.77	0.97	4.98	0.89	6.77	0.91	7.43	0.96	10.14	0.89	3.60	0.78	12.82	0.81	10.87	0.81
66	1000	50	70	4.55	0.94	5.41	0.98	3.17	0.91	5.22	0.98	6.35	0.79	6.10	0.84	5.65	0.89	4.68	0.84	12.85	0.71	6.39	0.99
67	1000	100	0	5.54	0.89	5.04	0.99	4.06	0.86	4.67	0.95	5.45	0.98	5.32	0.90	7.27	1.00	3.64	0.94	8.86	0.95	7.36	0.93
68	1000	100	10	3.39	0.93	4.88	0.97	3.46	0.90	5.23	0.89	6.74	1.00	5.66	0.95	5.30	0.96	3.67	0.91	10.50	0.90	7.46	0.99
69	1000	100	20	3.80	0.89	8.84	0.98	4.79	0.97	5.19	0.96	8.52	0.92	6.00	0.91	4.69	0.99	3.21	0.96	13.90	0.96	8.36	0.96
70	1000	100	30	5.08	0.92	5.09	0.96	4.14	0.94	5.77	0.89	4.79	0.92	6.00	0.92	7.12	0.98	3.32	0.95	13.94	0.80	5.71	0.85
71	1000	100	50	4.58	0.91	6.35	0.97	4.15	0.90	6.93	0.97	6.55	0.90	6.55	0.89	7.08	0.93	4.64	0.84	14.28	0.84	7.17	0.98
72	1000	100	70	5.08	0.91	5.13	0.92	2.86	0.95	5.21	0.86	6.46	0.99	5.56	0.93	5.56	0.76	3.13	0.91	11.06	0.92	9.64	0.88
73	1600	0	0	4.53	0.96	7.36	0.89	4.52	0.91	5.71	0.92	5.43	0.95	5.90	0.91	5.72	0.90	3.94	0.96	10.67	0.85	7.23	0.95
74	1600	0	10	4.93	0.96	5.22	0.92	3.34	0.95	5.57	0.95	5.59	0.91	4.80	0.94	8.40	0.89	3.25	0.95	8.64	1.00	8.33	0.92
75	1600	0	20	5.36	0.69	7.31	0.98	4.08	0.86	4.82	0.88	9.89	0.60	5.86	0.88	10.70	0.80	5.14	0.81	15.06	0.94	9.66	0.89
76	1600	0	30	5.25	0.96	4.36	0.97	4.50	0.95	6.21	0.86	6.05	0.95	6.01	0.96	9.30	0.84	2.98	0.98	11.20	0.94	6.36	0.89
77	1600	0	50	4.36	0.78	6.02	0.92	3.04	0.94	4.33	0.83	5.43	0.81	6.91	0.94	5.12	0.84	2.98	0.88	11.44	0.98	8.10	0.90
78	1600	0	70	5.07	0.94	5.23	0.76	2.96	0.88	4.67	0.97	4.21	0.98	5.08	0.91	5.09	0.94	2.88	0.92	11.71	0.66	6.64	0.74
79	1600	50	0	4.23	0.89	7.13	0.82	3.83	0.79	5.78	0.90	6.38	0.92	5.34	0.91	5.78	0.91	3.54	0.86	15.27	0.88	8.75	0.99
80	1600	50	10	3.94	0.92	4.80	0.99	4.50	0.90	6.69	0.85	4.95	0.99	4.30	0.95	5.49	0.99	4.14	0.82	9.11	0.96	6.03	0.92
81	1600	50	20	4.98	0.88	5.11	0.97	5.50	0.83	5.02	0.95	8.18	0.96	5.15	0.97	6.24	1.00	3.37	0.84	7.78	0.97	5.56	0.86
82	1600	50	30	8.40	0.71	10.93	0.91	3.67	0.95	6.24	0.97	5.15	0.93	5.91	0.90	9.18	0.93	2.79	0.94	12.60	0.93	7.77	0.99
83	1600	50	50	5.27	0.88	6.71	0.96	3.64	0.89	6.06	0.91	7.25	0.93	4.71	0.91	7.29	0.87	4.13	0.94	14.94	0.96	5.93	0.92
84	1600	50	70	4.88	0.96	5.84	0.92	3.24	0.86	3.79	0.95	4.77	0.86	8.30	0.89	5.75	0.84	2.75	0.82	18.52	0.98	7.44	0.93
85	1600	100	0	4.83	0.96	6.66	0.98	4.19	0.89	5.26	0.95	6.67	0.92	4.94	0.91	5.49	0.92	3.75	0.95	6.74	0.99	11.99	0.98
86	1600	100	10	5.43	0.93	7.01	0.97	3.92	0.81	5.32	0.88	7.10	0.96	6.55	0.92	7.35	0.99	3.83	0.83	9.75	0.98	8.03	0.96
87	1600	100	20	5.66	0.80	9.90	0.89	4.68	0.89	5.20	0.84	7.15	0.92	4.77	0.95	7.51	0.96	4.39	0.91	11.70	0.99	7.20	0.96
88	1600	100	30	5.21	0.87	7.02	0.96	3.58	0.91	5.94	0.96	7.64	0.93	7.35	0.94	7.53	0.92	4.13	0.90	9.76	0.94	9.60	0.98
89	1600	100	50	4.48	0.95	5.29	0.97	5.27	0.93	4.59	0.89	7.26	0.97	5.52	0.91	6.19	0.91	2.92	0.89	12.86	0.96	8.42	0.94
90	1600	100	70	4.41	0.84	5.65	0.92	3.33	0.81	3.78	0.87	6.31	0.89	4.43	0.98	3.95	0.95	3.69	0.92	16.32	1.00	6.44	0.95

ตาราง ค5 ค่าเวลาเฉลี่ยในการพิมพ์ตัวอักษรหนึ่งตัวจากทั้ง 4 ID

Ambient Illumination (lx)	Brightness (%)	Tilt Angle (degree)	Avg Typing Time all ID (ms)>1	Avg Typing Time all ID (ms)>2	Avg Typing Time all ID (ms)>3	Avg Typing Time all ID (ms)>4	Avg Typing Time all ID (ms)>5	Avg Typing Time all ID (ms)>6	Avg Typing Time all ID (ms)>7	Avg Typing Time all ID (ms)>8	Avg Typing Time all ID (ms)>9	Avg Typing Time all ID (ms)>10	Mean Time (ms)	SD
200	0	0	670.667	478.905	775.714	570.333	645.857	555.81	563.333	760.571	500.524	605.095	612.681	100.504
200	0	10	708.857	574	708.905	518.286	604.19	599.81	510.143	860.619	477.571	616.381	617.876	115.055
200	0	20	617	551.905	722.81	521.286	628.476	570.429	478.238	822.857	515.905	504.429	593.333	108.432
200	0	30	731.19	538	670.381	565.381	624.571	554.619	580.81	894	444.524	530.952	613.443	126.407
200	0	50	708.381	520	714.238	554.476	627.429	526.095	569.524	1098.429	455.048	606.286	637.79	181.413
200	0	70	993.476	771.429	914.619	614.524	946.571	631.905	630.19	1290.667	559	651.238	800.362	232.218
200	50	0	699.619	594.619	629.381	574	640.952	592.333	591.238	897.238	520.238	515.238	625.486	109.902
200	50	10	614.238	507.333	687	542.905	605.952	621.476	529.667	738.714	453.143	481.143	578.157	91.425
200	50	20	582.286	609.048	608.857	518.19	618	592.762	547.143	864.429	457.286	466.095	586.41	113.876
200	50	30	632.095	551.476	686.667	536.238	617.143	583.762	483.381	894.857	466.143	539.19	599.095	123.678
200	50	50	642.095	556.19	691.095	542.238	585.286	544.095	563.476	928.762	502.762	569.048	610.505	124.521
200	50	70	742.714	682.905	779.429	633	697.095	555.429	565.762	899.333	503.381	572.238	663.129	121.548
200	100	0	697.905	542.81	685.571	510.429	643.048	662.429	598.286	763.286	408.476	540.238	605.248	105.722
200	100	10	623.667	574.19	698.381	504.952	626.381	549.714	561.81	808.286	487.619	533.714	596.871	97.143
200	100	20	641.905	505	633.762	516.857	580.714	531.333	488.857	832	437.143	533.476	570.105	111.608
200	100	30	672.667	632.381	723.333	557.571	633.286	571.048	534.143	794.857	544.905	597.476	624.167	86.211
200	100	50	648.286	558.762	730.381	590	605.429	571.095	601.143	840.762	489.952	598.286	623.41	98.091
200	100	70	758	668.857	915.952	620.476	661.81	564.81	556.143	993.476	546.476	678	696.4	151.941
400	0	0	673.333	612.238	659.095	553.238	694.81	563.238	540.238	836.905	474.667	580.333	618.81	102.089
400	0	10	653.095	541.095	698.286	597.571	660.19	576.905	542.524	809.19	436.714	518.143	603.371	105.633
400	0	20	655.381	534.333	648.905	542.952	597	545.095	547.19	823.238	476.81	508.429	587.933	100.431
400	0	30	732.619	556.19	751.857	504.19	656.857	522.667	541.762	866	426.524	563.429	612.21	135.421
400	0	50	694.095	590.619	696	609.857	659.619	616.667	559	887.333	547.619	520.333	638.114	105.878
400	0	70	808.619	705.714	886.714	677.429	695.762	603	664.476	1017.524	507.571	762.762	732.957	144.844
400	50	0	662.19	513.524	601.571	533.667	652.81	614.619	542.095	768.667	502.619	569.476	596.124	82.204
400	50	10	577.238	533.381	745.238	501.238	719.381	563.762	585.19	885.81	484.095	453.333	605.067	136.534
400	50	20	620.81	551.524	733	467.286	649.048	502	494.429	786.048	447.667	585.429	583.724	113.883
400	50	30	632.762	602.238	669.333	538.714	576.81	515.19	530.381	940.048	468.095	533.619	600.719	133.188
400	50	50	676.762	615.571	769.81	539.19	638.619	555.714	544.857	1009.714	412.238	535.238	629.571	164.653
400	50	70	836.286	736.619	685.762	628.714	664	589.905	617.762	929.762	501.286	552.048	674.214	130.341
400	100	0	630.524	545.095	624.714	494	578.905	547.667	561.857	762.952	446.048	528.048	571.981	86.931
400	100	10	596.19	599.762	617.667	530.238	666.857	611.333	542.338	791.762	526.429	518.81	600.129	82.936
400	100	20	610.857	592.905	754.143	535.238	603.667	580.714	520.714	870.238	437.095	551.238	605.681	123.115
400	100	30	658.429	592.571	621.048	482.143	581.381	610.571	476.143	857.476	500.048	462	584.181	118.522
400	100	50	755.714	664.238	724.571	587.381	684.19	559.381	494.476	958.714	460.476	511.571	640.071	150.491
400	100	70	784.476	692.905	847.381	631.286	707.571	650.429	572.619	903.238	557.857	612.19	696.395	115.989

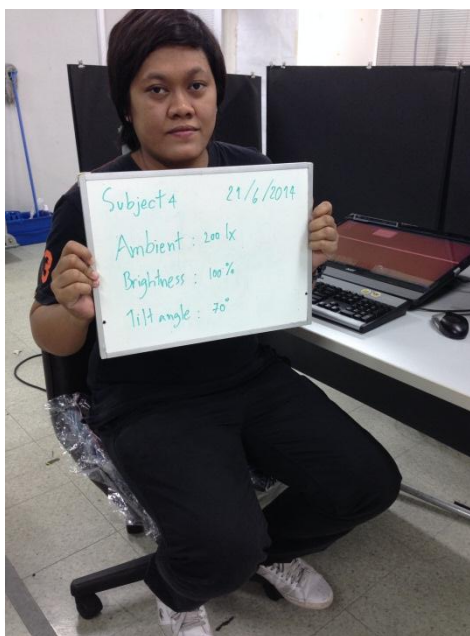


Ambient Illumination (lx)	Brightness (%)	Tilt Angle (degree)	Avg Typing Time at ID (ms)-1	Avg Typing Time at ID (ms)-2	Avg Typing Time at ID (ms)-3	Avg Typing Time at ID (ms)-4	Avg Typing Time at ID (ms)-5	Avg Typing Time at ID (ms)-6	Avg Typing Time at ID (ms)-7	Avg Typing Time at ID (ms)-8	Avg Typing Time at ID (ms)-9	Avg Typing Time at ID (ms)-10	Mean Time (ms)	SD
600	0	0	610.952	625.095	672.762	478.714	636.333	563.905	539.619	808.333	529.048	542.619	602.738	92.293
600	0	10	550.619	555.857	722.476	543.095	609.429	575.952	482.714	876.143	464.667	518.143	589.91	123.514
600	0	20	596.429	589.19	656.143	502.429	603.381	592.857	614.286	863.905	454.143	480.571	595.333	114.52
600	0	30	591.19	625.19	734.19	608.381	643.333	600.81	538.952	853.476	472.238	463.714	596.348	120.209
600	0	50	672.952	676.143	803.714	507.238	643.333	600.81	568.81	972.143	429.286	568.81	644.324	153.853
600	0	70	962.905	715.476	834.095	645.571	780.095	557.714	594.952	822.857	531.667	581.762	702.71	143.502
600	50	0	545.857	555.048	684.286	528.095	550.571	544.333	517	806.571	543.238	495.571	577.057	94.981
600	50	10	608	554.905	486.19	668.286	668.286	568.429	512.571	823.048	418.476	520.952	583.271	111.652
600	50	20	569.952	570.762	688.619	520.238	624.667	542.762	518.381	857.905	418.476	520.952	583.271	119.924
600	50	30	646.143	552.905	739.381	524.19	650.571	518.619	507.81	778.952	440.524	495.095	585.419	112.317
600	50	50	714.762	644.476	616.095	553.81	614.143	556.571	542.905	1069.619	475.286	587.286	637.295	165.24
600	50	70	718.714	702.714	861.476	648.286	585.048	655.429	606.905	1038.714	486.524	545.667	684.948	161.53
600	100	0	641.048	520.429	741.714	532.095	612.429	535.429	472.667	807.19	477.905	521.619	586.252	113.204
600	100	10	589	584.762	728.333	518.143	673.286	621.476	571.81	829.762	445.762	521.905	608.424	111.614
600	100	20	644.476	488.857	635.19	520.857	636.476	566	491.286	797.095	431.143	514.048	572.543	107.158
600	100	30	601.667	600	693.048	501.19	598.762	566.143	546.714	871.952	465.524	449.524	589.452	122.92
600	100	50	686.286	610.429	712.381	575.048	651.333	558.048	586.048	903.524	421.667	515.286	622.005	129.812
600	100	70	770.333	706.476	810.238	529.381	634.095	532.048	613.095	767.619	512.19	661.333	653.681	108.649
1000	0	0	556.762	558.381	618.19	539.667	614.381	594.095	560.714	732.381	506.143	571.333	585.205	61.756
1000	0	10	669.714	618.714	620.952	521.381	594.619	575.19	508.048	823.19	408.571	619.048	595.943	109.335
1000	0	30	599.286	551.952	715.571	489.048	645.19	613.238	484.286	875.571	442.429	530.667	594.724	128.617
1000	0	50	713.095	620.048	660.238	577.286	717.476	570.905	654.19	985.857	477.81	521.286	649.819	141.466
1000	0	70	995.143	732.476	886.381	599.524	783.857	630.19	672.952	1122.81	656	749.905	782.924	169.989
1000	50	0	566.714	572.333	670	497.143	583.238	516.81	464.476	801.476	434.857	593.571	570.062	106.387
1000	50	10	660.048	562.238	633.381	517	644.667	546.524	549.524	887.714	521.762	535.524	605.838	112.128
1000	50	20	651.667	524.762	674.714	536.714	629.571	582.048	493.905	733.571	415.667	475.095	571.771	99.902
1000	50	30	641.19	566.524	682.524	529.905	592.571	592.571	549.762	871.381	414.048	430.762	584.962	130.201
1000	50	50	685.048	647.81	603.81	571.857	670.667	541.048	507.762	1172.429	481	540.381	642.181	198.578
1000	50	70	859.19	710.905	897.524	521.381	770.619	618.762	589.333	849.667	580.81	584.762	698.295	137.466
1000	100	0	593.333	543.286	700.381	506.905	589.429	618.095	500.714	789.905	500.19	537.238	590.948	92.129
1000	100	10	663.905	582.952	688.19	521.333	591.143	540.81	589.571	773.476	426.762	528.19	590.633	97.989
1000	100	20	683.524	503.81	642.667	498.571	568.81	565.333	605.571	850.714	414.095	523.381	585.648	121.001
1000	100	30	601.524	587.905	666.571	518.857	695.381	526.429	533.19	846.238	427.19	566.81	597.01	116.26
1000	100	50	661.619	628.857	698.81	474.429	654.381	547.286	524.762	849.571	423.333	559	602.205	123.238
1000	100	70	771.381	721.143	908	653	706.714	597.095	619.952	894.762	527.667	549.381	694.91	132.546

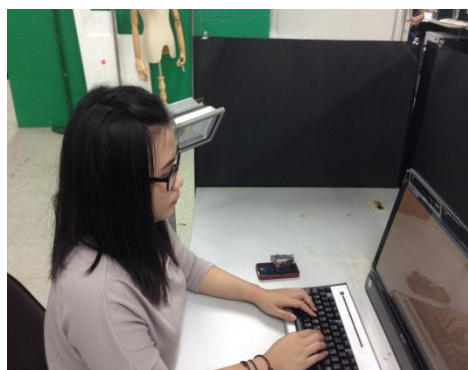
Ambient illumination (lx)	Brightness (%)	Tilt Angle (degree)	Avg Typing Time all ID (ms)-1	Avg Typing Time all ID (ms)-2	Avg Typing Time all ID (ms)-3	Avg Typing Time all ID (ms)-4	Avg Typing Time all ID (ms)-5	Avg Typing Time all ID (ms)-6	Avg Typing Time all ID (ms)-7	Avg Typing Time all ID (ms)-8	Avg Typing Time all ID (ms)-9	Avg Typing Time all ID (ms)-10	Mean Time (ms)	SD
1600	0	0	650.476	657	654.095	512.952	635.429	559.857	562.048	783.81	464.571	540.143	602.038	92.06
1600	0	10	616.333	601.667	736.571	503.524	717.762	594.381	499.857	873.762	511.81	515.286	617.095	124.336
1600	0	20	625.429	572.524	736.667	543.857	610.857	581.667	528.905	746.905	442.667	473.619	586.31	99.539
1600	0	30	606.714	603.524	662.333	486.476	635.714	524.476	479.571	945.476	444.095	617.476	600.586	142.312
1600	0	50	785.905	528.19	762.381	639.381	644.571	512.238	569.571	1021.19	474.571	575.429	651.343	165.203
1600	0	70	922.381	689	1096.81	636.762	786.095	622.81	656.286	916.381	648.476	756.381	773.138	158.281
1600	50	0	654.571	607.476	775.81	492.095	607.19	599.381	518.619	786.571	447.286	475.762	596.476	110.182
1600	50	10	655.762	582.81	594.19	512.952	664.333	622.762	542.762	842.429	499.81	553.381	607.119	99.68
1600	50	20	691.667	596.667	622.952	515.571	618.952	564.81	575.048	867.095	488.571	635.667	617.7	105.506
1600	50	30	644.571	569.81	654.048	505.095	671.905	543.143	465.857	864	415	491.143	582.457	130.774
1600	50	50	620.048	517.619	673.048	532.714	647.238	621.619	530.667	874.476	430.524	608.857	605.681	119.431
1600	50	70	836	667.19	904.333	618.143	891.333	595.762	576.429	1033.095	545.81	556.571	722.467	176.705
1600	100	0	591.619	529.524	637.905	483.762	589.19	584.048	530.905	793.476	514.143	476.333	573.09	93.087
1600	100	10	631	544.286	739.81	531.476	660.381	522.048	538.714	813.571	435.905	538.429	595.562	114.465
1600	100	20	629.571	559.143	632.238	503.429	609.667	585.857	514.667	745.762	436.048	501.048	571.743	88.455
1600	100	30	582.429	567.952	720.762	494.714	584.19	534.238	477.667	815.619	468.714	494.762	574.105	112.862
1600	100	50	615.238	586.952	638.952	590.476	570.714	573.095	594	974.667	441.571	471	605.667	143.536
1600	100	70	881.857	849.286	846.429	660.19	710.476	681.381	652.857	839.238	454.952	610.762	718.743	135.38



## ตัวอย่างรูประหว่างทำการทดลองและเก็บข้อมูล



รูปที่ ง.1 ผู้เข้าร่วมทดลองคนที่ 4 ก่อนทำการทดลองที่สภาวะการใช้แสงสว่างในห้อง 200 ลักซ์  
ความสว่าง 100% และมุมเอียง 70 องศา



รูปที่ ง.2 ขณะการทดลองที่ใช้มุมเอียง 10 องศา



รูปที่ ง.3 ขณะทำการทดลองที่ใช้ปริมาณแสงสว่างในห้องที่ 1000 ลักซ์



รูปที่ ง.4 ขณะทำการทดลองที่ใช้ปริมาณแสงสว่างในห้อง 1600 ลักซ์และมุมเอียง 70 องศา

## ดัชนี

### ภาษาไทย

#### ก

การเกิดภาพเบลอ (Blurred Vision)

การเกิดภาพซ้อน (Double Vision)

กระจกตา (Cornea)

การนั่งทำงานผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ของมนุษย์ (Visual Display Terminal : VDT)

การประมวลผล (Process)

การรับข้อมูลเข้า (Input)

การแสดงผล (Output)

#### ค

คอนทราสต์แบบลบ (Negative Contrast)

คอนทราสต์แบบบวก (Positive Contrast)

คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ (Desktop PC)

คอมพิวเตอร์แบบพกพา (Laptop PC)

คอมพิวเตอร์แบบแท็บเล็ต (Tablet PC)

ความสว่างของจอภาพ (Brightness)

ค่าคอนทราสต์ (Contrast)

ค่าสมรรถนะบุคคล (Index of Performance : IP)

ความผิดปกติของสายตา (Refraction Error)

ความสว่างสูงสุด (Maximum Luminance Ratio)

ความสามารถในการปรับระยะโฟกัส (Accommodation)

#### ง

งานประมวลผล ( Word processing )

**ช**

ชั้นของเหลว (Aqueous humor)

ชั้นของเหลวภายใน (Vitreous humor)

**ซ**

เซลล์รูปแท่ง (Rod Cells)

เซลล์รูปกรวย (Cone Cells)

**ด**

ดัชนีความถูกต้องสี (Color Rendering Index)

ดัชนีความยากของงาน (Index of difficulty : ID)

**ป**

ปริมาณแสงสว่างที่เปล่งออกจากแหล่งกำเนิดจัดเป็นหน่วยวัดมาตรฐาน (lumen)

ปริมาณแสงสว่างในสถานที่ทำงาน (Ambient Illumination)

**ผ**

ผนังชั้นกลางของดวงตา (Choroid)

ผนังชั้นนอกสุดของดวงตา (Sclera)

ผิวกระจายแสง (Diffusing Surface)

ผิวด้าน (Matt Surface)

**ม**

ม่านตา (Iris)

มุมการมอง (Angle of view)

มุมของแนวสายตา (Line of sight angle)

มุมเอียงของจอภาพ (Tilt Angle)

**ร**

เรตินา (Retina)

ระบบสีของ CIE (Colorimetry)

## ล

ลักซ์มิเตอร์ (Lux meter)

## ส

สายตาสั้น (Myopia)

สายตาวาว (Hyperopia)

สายตาเอียง (Astigmatism)

แสงบาดตา (Glare)

แสงบาดตาชนิดที่ก่อให้เกิดความไม่สบายตา (Direct Glare)

แสงบาดตาที่เกิดจากการสะท้อนของหน้าจอ (Reflected Glare)

แสงสว่าง (Light)

แสงสว่างที่ส่องกระทบลงบนผิววัตถุมีปริมาณเท่ากับ 1 ลูเมนต่อ ตารางเมตร (ลักซ์ : lx)

สมองส่วน ซีรีบรัม (Cerebrum cortex)

## ห

แหล่งกำเนิดแสงเฉพาะจุด (Local light)

หน่วยเก็บข้อมูลสำรอง (Secondary Storage Device)

หน่วยความจำเข้าถึงโดยสุ่ม (Random Access Memory : RAM)

หน่วยความจำหลัก (Main Memory)

หน่วยความจำอ่านอย่างเดียว (Read-only Memory : ROM)

หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU)

หลอดไฟ (Electric Lamp)

หลอดดิสชาร์จ (Discharge lamp)

หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent lamp)

หลอด GLS (General Service Lamp),

หลอด PAR (Parabolic)

หลอด R (Reflector)



**อ**

อาการที่เกิดขึ้นจากการมองจอภาพเป็นเวลานานๆ (Computer Vision Syndrome - CVS)

อาการปวดตา (Eyestrain)

อาการปวดศีรษะ (Headaches)

อาการแห้งในดวงตา (Dry and Irritated Eyes)

อาการปวดคอและหลัง (Neck and Back Ache)

อาการไวต่อแสงของดวงตา (Light Sensitivity)

อัตราส่วนคอนทราสต์ (Contrast Ratio)

อุณหภูมิสี (Color Temperature)

**ส**

แสงสีขาว (Backlight)

**ภาษาอังกฤษ**

CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp)

CRT (Cathode Ray Tube)

Dual-Scan Twisted Nematic (DSTN)

International Commission on Illumination (CIE)

LCD (Liquid Crystal Display)

LED (Light Emitting Diode)

Thin Film Transistor (TFT)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกษิต์เดช เศรษฐาภรณ์ เกิดเมื่อวันที่ 2 มิถุนายน พุทธศักราช 2532 เป็นคนจังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาในระดับประถมและมัธยมศึกษาจากโรงเรียนอัสสัมชัญ จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรีในสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2554 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555 ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง วิศวกร ประจำการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

