

ผลกระทบของระยะห่างการมองเห็นจอ แอล.อี.ดี. ขนาดตัวอักษร และมุมเอียงของจอภาพที่มีต่อ  
สมรรถนะการรับรู้ตัวอักษรบนจอ

นางสาวพจนารถ พิมน้อม

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

EFFECTS OF LED DISPLAY VIEWING DISTANCE, CHARACTER SIZE AND  
SCREEN OBLIQUE ANGLE ON CHARACTER PERCEPTION PERFORMANCE

Miss Photjanat Phimnom



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	ผลกระทบของระยะห่างการมองเห็นจอ แอล.อี.ดี. ขนาด ตัวอักษร และมุมเอียงของจอภาพที่มีต่อสมรรถนะการรับ รู้ตัวอักษรบนจอ
โดย	นางสาวพจนารถ พิมน้อม
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจินทร์ชัย)

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

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสพงศ์ โรจนโรวรรณ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สลิษฐ์ เทพตระการพร)

พจนานารถ พิมพ์น้อม : ผลกระทบของระยะห่างการมองเห็นจอ แอล.อี.ดี. ขนาดตัวอักษร และมุมเอียงของจอภาพที่มีต่อสมรรถนะการรับรู้ตัวอักษรบนจอ (EFFECTS OF LED DISPLAY VIEWING DISTANCE, CHARACTER SIZE AND SCREEN OBLIQUE ANGLE ON CHARACTER PERCEPTION PERFORMANCE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล, หน้า.

ปัจจุบันจอ LED ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการแสดงข้อมูล และได้กลายมาเป็นตัวกลางสำคัญในการประมวลผลสารสนเทศของมนุษย์อีกด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการรับรู้ข้อมูล ได้แก่ ปัจจัยด้านระยะห่างการมอง ขนาดตัวอักษร มุมเอียง รวมถึงประเภทของ Target เพื่อประเมินเวลาในการตอบสนอง

ผลการทดลองจากผู้เข้าร่วมงานวิจัยทั้ง 10 คน พบว่าสถานการณ์ที่ยากขึ้นส่งผลให้เวลาในการตอบสนองเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งหมายถึงสถานการณ์ที่มุมเอียงมีขนาดเพิ่มขึ้น รวมถึงขนาดความสูงของตัวอักษรที่มี Visual Angle ขนาดเล็ก และการรับรู้กลุ่มคำเมื่อเทียบกับตัวอักษรแบบเดี่ยว จึงทำให้เกิดความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สำหรับขนาดตัวอักษรที่อ่านได้อย่างชัดเจน พบว่าระยะห่างการมองไม่ส่งผลต่อเวลาในการตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ได้มีคำแนะนำในการออกแบบข้อมูลที่แสดงบนจอ โดยช่วงมุมเอียงที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 45 องศา และความสูงของตัวอักษรควรมี Visual Angle ตั้งแต่ 16 MOA ขึ้นไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 5570925921 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: CHARACTER SIZE / OBLIQUE ANGLE / VIEWING DISTANCE / INFORMATION  
PROCESS / PERCEPTION / RESPONSE TIME

PHOTJANAT PHIMNOM: EFFECTS OF LED DISPLAY VIEWING DISTANCE,  
CHARACTER SIZE AND SCREEN OBLIQUE ANGLE ON CHARACTER PERCEPTION  
PERFORMANCE. ADVISOR: PHAIROAT LADAVICHITKUL, Ph.D., pp.

Nowadays, the LED display has been used for visual presenting and became an important intermediary in human information processing. In this research considered various factors that affected the performance of data recognition include viewing distance, character size, oblique angle and types of target to assess the response time.

The results from 10 participants showed that the required response time increased by more difficult situation. It referred to a situation which the oblique angle was increased, small character size and recognition of words as opposed to a single character. It showed a difference at 0.05 significant levels. At a readable character size, the viewing distance did not affect significantly.

There was also a design recommendation for information display on the screen. The optimum oblique angle should not exceed 45 degrees, and the height of the character in visual angle should be more than 16 MOA

Department: Industrial Engineering

Student's Signature .....

Field of Study: Industrial Engineering

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2014

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะประสบความสำเร็จไม่ได้เลยหากไม่ได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำจาก อาจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ทั้งนี้ยังรวมถึง ผู้ช่วยศาสตราจารย์หฤทัย โลหะศิริวัฒน์ ที่เป็นผู้ดูแลและให้คำแนะนำเพิ่มเติมตลอดการทำวิจัยอีกด้วย และคำชี้แนะจากคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ผู้ทรงคุณวุฒิอันประกอบไปด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อังศุมาลิน เสนจันทร์ฉิมไชย, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ และรองศาสตราจารย์ ดร.สลิธร เทพตระการพร ทั้งนี้ ผู้วิจัยขอถือโอกาสขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูง ณ ที่นี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ รวมทั้งสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือในการทำการวิจัย นอกจากนี้แล้วผู้วิจัยยังต้องขอขอบคุณผู้เข้าร่วมวิจัยที่ให้ความช่วยเหลือและร่วมมือในกับงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี และขอบพระคุณเป็นอย่างมากสำหรับเพื่อนร่วมงานที่ช่วยเหลือในด้านการศึกษานำร่องสำหรับงานวิจัยนี้ด้วย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของผู้วิจัยเองที่ได้สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยจนกระทั่งงานวิจัยเสร็จสิ้นไปได้ด้วยดี

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ .....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 จุดประสงค์ของการวิจัย .....	9
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	11
2.1 การรับรู้ (Perception) .....	11
2.1.1 โครงสร้างทางกายวิภาคศาสตร์ของลูกตา .....	13
2.1.2 การนำสัญญาณประสาทเข้าสู่สมอง .....	16
2.1.3 สมรรถนะในการมองเห็น .....	17
2.1.4 การแปลความหมาย .....	18
2.2 การวัดสายตา.....	21
2.3 มุมการมองเห็น (Visual Angle).....	22
2.4 Visual Display Terminals (VDT) .....	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	38
3.1 ผู้เข้าร่วมงานวิจัย .....	38
3.2 ปัจจัยที่ใช้ในการวิจัย.....	39
3.2.1 ตัวแปรอิสระ (Independent Variables).....	39

3.2.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variables) .....	42
3.3 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย .....	42
3.4 วิธีการดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล .....	44
3.5 การออกแบบการทดลอง .....	45
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	46
การประเมินด้านเวลาในการตอบสนองที่มีต่อการรับรู้ข้อมูลบนจอแสดงผลแบบ LED .....	49
4.1 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่างๆ ต่อเวลาในการตอบสนอง .....	49
4.2 การสร้างสมการเพื่อทำนายค่าของตัวแปรตามจากปัจจัยต่างๆ.....	61
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	67
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	67
5.2 แนวทางการประยุกต์ใช้ผลการวิจัย .....	69
5.2.1 คำแนะนำสำหรับการออกแบบข้อมูลที่แสดงบนหน้าจอแสดงผล .....	69
5.2.2 การพิจารณาสมการการทำนายเวลาในการตอบสนอง .....	71
5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยในอนาคต.....	71
รายการอ้างอิง .....	72
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	125



## สารบัญภาพ

ภาพที่ 2.1 แสดงแบบจำลองของการประมวลผลสารสนเทศ (Model of Information Processing).....	12
ภาพที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของดวงตา .....	15
ภาพที่ 2.3 แสดงการจำลองเซลล์รูปแท่งและรูปกรวยใยประสาทในชั้นเรตินา.....	15
ภาพที่ 2.4 แสดงการนำสัญญาณประสาทเข้าสู่สมอง .....	16
ภาพที่ 2.5 มุมมองในแนวนอน (ซ้าย) มุมมองในแนวตั้ง (ขวา) .....	18
ภาพที่ 2.6 Snellen Chart.....	22
ภาพที่ 2.7 มุมการมองที่มีความสัมพันธ์กับความสูงของวัตถุกับระยะห่างของวัตถุที่ห่างจากตา .....	22
ภาพที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างการมองและความสูงของอักขระที่ Visual Angle หนึ่งๆ .....	24
ภาพที่ 2.9 แสดงขนาดตัวอักษร (MOA) ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างการมองและความสูงของอักขระ .....	25
ภาพที่ 2.10 องศาของ Viewing Angle ในจอแสดงผลประเภทต่างๆ .....	29
ภาพที่ 2.11 Viewing Angle หลอดไฟ LED จำนวน 1 หลอด .....	30
ภาพที่ 2.12 การกำหนด Viewing Angle โดยใช้ลำแสงของความเข้มส่องสว่างที่ลดลง 50% หรือครึ่งหนึ่งจากความเข้มส่องสว่างสูงสุดที่จุดกึ่งกลาง.....	30
ภาพที่ 2.13 มุมเอียง (Oblique Angle) ที่ 45 องศา .....	31
ภาพที่ 3.1 แสดงการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....	43
ภาพที่ 4.1 แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติด้านเวลาในการตอบสนอง.....	51
ภาพที่ 4.2 ผลการแปลงข้อมูลของเวลาในการตอบสนองจาก Johnson Transformation .....	52
ภาพที่ 4.3 แผนภาพการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองด้านฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ ผกผันของเวลาในการตอบสนอง.....	52
ภาพที่ 4.4 แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติของฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง .....	53

ภาพที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีต่อการรับรู้ด้านไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการ ตอบสนอง .....	54
ภาพที่ 4.6 การมีอิทธิพลร่วมกันระหว่างปัจจัยหลักต่อไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการ ตอบสนอง .....	55
ภาพที่ 4.7 การมีอิทธิพลร่วมกันระหว่างมุมเอียงกับขนาดของ Visual Angle ต่อไฮเพอร์โบลิก ไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง .....	55
ภาพที่ 4.8 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง .....	56
ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับต่างๆ ภายในปัจจัยต่อไฮเพอร์โบลิกไซน์ ผกผันของเวลาในการตอบสนอง โดยใช้วิธีการของ Tukey.....	57
ภาพที่ 4.10 ช่วงความเชื่อมั่นสำหรับระดับต่างๆ ภายในปัจจัยด้าน Visual Angle เมื่อมีมุมเอียง ในช่วง 0-45 องศา.....	59
ภาพที่ 4.11 ค่า Power ที่ได้จากการวิเคราะห์รูปแบบ General Full Factorial ต่อไฮเพอร์โ บลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง.....	60
ภาพที่ 4.12 แผนภาพของค่า Power ที่ได้จากการวิเคราะห์รูปแบบ General Full Factorial ต่อไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง .....	61
ภาพที่ 4.13 แผนภาพตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองของสมการการทำนายเวลา .....	62

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างอัตราค่าโฆษณาของสื่อโฆษณานอกบ้านในทำเลใจกลางเมือง .....	3
ตารางที่ 2.1 แสดงความสูงของอักขระที่ Visual Angle ต่างๆ ที่ได้มีการแนะนำไว้ใน มาตรฐาน .....	26
ตารางที่ 2.2 ระยะห่างการมองใกล้สุดที่เหมาะสมในการรับชมจอแสดงผลที่มีความสัมพันธ์กับ ขนาดของหน้าจอขนาดต่างๆ .....	34
ตารางที่ 2.3 แสดงมาตรฐานห้องบรรยายในระดับอุดมศึกษาของกระทรวงศึกษาธิการ .....	34
ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบค่าความสว่างในอาคารตามมาตรฐาน CIE.....	37
ตารางที่ 3.1 แสดงขนาดความสูงของตัวอักษรที่ใช้ในการทดสอบมี Visual Angle ทั้งสิ้น 7 MOA ใน 3 ระดับของระยะห่างการมอง.....	41
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลของผู้เข้าร่วมงานวิจัย .....	48
ตารางที่ 4.2 ช่วงความเชื่อมั่นของค่าไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนองที่ระดับ ต่างๆ ภายในปัจจัย Visual Angle เมื่อมีมุมเอียงในช่วง 0-45 องศา.....	59
ตารางที่ 4.3 ช่วงความเชื่อมั่นสำหรับระดับต่างๆภายในปัจจัยด้าน Visual Angle เมื่อมีมุมเอียง ในช่วง 0-45 องศา.....	60
ตารางที่ 4.4 ตัวแปรหุ่น (Dummy Variable) ของปัจจัยประเภท Target.....	62
ตารางที่ 4.5 สรุปผลจาก Stepwise Regression ครั้งที่ 11 สำหรับปัจจัยหลักที่มีต่อค่าไฮเพอร์ โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง.....	64
ตารางที่ 4.6 สมการการทำนายเวลาในการตอบสนองของฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผัน .....	65
ตารางที่ 4.7 สมการการทำนายเวลาในการตอบสนอง .....	65
องของการประมวลสารสนเทศ (Model of Information Processing) .....	12

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการดำเนินชีวิตของเราได้ถึงยุคที่เราได้มีการใช้ชีวิตควบคู่อยู่กับเทคโนโลยี ทั้งในด้านการใช้ประโยชน์ใช้สอย จนนำไปสู่ความสะดวกสบายในการดำเนินชีวิตของเรามากขึ้นด้วย และไม่ว่าจะมองไปในทิศทางใดก็必将พบเทคโนโลยีในด้านต่างๆ มากมายที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องอยู่รอบตัวเราแบบเต็มไปหมด และด้วยเหตุนี้จึงทำให้การดำเนินชีวิตของเราได้มีการปรับเปลี่ยนไปตามเทคโนโลยีที่พัฒนาไปด้วยนั่นเอง

จอแสดงผลแบบ LED (Light Emitting Diode Display) เป็นเทคโนโลยีของจอแสดงผลที่กำลังได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เพราะเป็นจอแสดงผลที่มีอัตราการกินไฟน้อย แต่กลับให้สีสันที่คมชัด มีความสว่างสูง ให้สีดำที่ดำสนิท มีอัตราการตอบสนองรวดเร็ว มีอายุการใช้งานที่นานกว่าจอ LCD (Liquid Crystal Display) นอกจากนี้ยังมีต้นทุนการผลิตที่ถูกกว่าแต่ก่อนมาก (Santa Clara, 2012: online) และจากการควบคุมคุณภาพของภาพหรือผลลัพธ์ที่จะมีการแสดงบนจอด้วยคอมพิวเตอร์ได้ด้วยนั้น จึงทำให้จอแสดงผลประเภทนี้ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในวงกว้างมากขึ้น โดยแบ่งเป็นสองแบบ คือทั้งแบบติดตั้งภายนอกอาคาร (Outdoor) และแบบติดตั้งภายในอาคาร (Indoor) โดยการควบคุมคุณภาพของผลลัพธ์ด้วยคอมพิวเตอร์นั้น จะทำให้การแสดงภาพมีความละเอียดเพิ่มขึ้น หรือแสดงรายละเอียดที่คมชัด ให้สีสันที่สวยงาม และสมจริงมากขึ้นด้วยนั่นเอง นอกจากนี้ในปัจจุบันยังได้มีการใช้จอ LED มาเป็นจอแสดงผลที่แสดงข้อมูลสารสนเทศ (Information Display) ในด้านต่างๆ เพิ่มมากขึ้นตามลำดับอีกด้วยเช่นกัน

Information Display หรือจอแสดงผลที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการแสดงข้อมูลสารสนเทศด้านต่างๆ ไม่ว่าจะอยู่ในรูปแบบของรูปภาพ หรือข้อความ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ Information Display เป็นสื่อกลางสำหรับใช้ในการสื่อสารระหว่างผู้ส่งสารที่ต้องการส่งข้อมูลไปยังผู้รับสาร หรืออาจจะกล่าวได้ว่าเป็นตัวกลางสำคัญของการประมวลสารสนเทศ (Information Process) ในมนุษย์นั่นเอง จอ LED แบบติดตั้งภายในอาคาร ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากขึ้นตามลำดับ ทั้งในด้านการโฆษณา การประชาสัมพันธ์ การเผยแพร่ข่าวสารข้อมูลความรู้ต่าง ๆ

หรือข้อความหมายเหตุที่บอกถึงอันตราย ในสถานที่ประกอบการต่างๆ เช่น การโฆษณารายการอาหารหน้าร้านอาหาร การแสดงตัวเลขคิวภายในโรงพยาบาล และการแสดงภายนอกหรือภายในอาคารสำหรับการโฆษณาในรูปแบบดิจิทัลวิดีโอ เป็นต้น และนอกจากนี้ยังได้มีการใช้สำหรับการฉายสื่อการเรียนการสอนในสถานศึกษา รวมถึงการใช้ประกอบในการประชุม สัมมนา หรือแม้กระทั่งภายในภาคอุตสาหกรรมก็เริ่มมีการนำมาใช้ในการบอกถึงข้อมูลภายในโรงงานหรือสายการผลิตกันมากขึ้นด้วย

จากการรวบรวมข้อมูลของศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2556 อ้างอิงจากอุณหภูมิเศรษฐกิจ, 2556: ออนไลน์ ยังพบว่า Information Display ที่พบเจอในยุคปัจจุบัน จะมีลักษณะเป็นสื่อโฆษณาแบบดิจิทัลอีกด้วย ซึ่งจอ LED แบบติดตั้งภายในอาคารได้กลายเป็นส่วนหนึ่งในการใช้ชีวิตของผู้คนในสังคมไทยอย่างกลมกลืน เพราะได้มีการพบเจอประเภทย่อยเกือบตลอดเวลา เช่น การฉายโฆษณาผ่านหน้าจอ ทั้งบนรถประจำทางปรับอากาศ บริเวณสถานี หรือภายในขบวนรถไฟฟ้ เพื่อดึงดูดสายตาผู้ใช้บริการ ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลทำให้ราคาในการเช่าพื้นที่สำหรับการโฆษณาค่อนข้างสูงตามไปด้วยนั่นเอง ซึ่งแสดงไว้ดังตารางที่ 1.1 ถึงแม้จะมีราคาในการเช่าพื้นที่ที่สูงดังที่ได้กล่าวมา แต่ด้วยข้อดีของการแสดงข้อมูลบนจอ LED ที่สามารถแสดงข้อมูลได้อย่างหลากหลายและมีความยืดหยุ่นในการแสดงเนื้อหา จึงทำให้จอประเภทย่อยนี้ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ แบบมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นด้วย และผู้ส่งสารก็ยังคงเลือกการสื่อสารกับผู้รับสารโดยใช้สื่อกลางนี้ด้วยเช่นกัน และนอกจากนี้มนุษย์ก็จะสามารถรับรู้ข้อมูลที่แสดงบนจอได้จากกระบวนการรับรู้ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ Information Process ในมนุษย์ต่อไป

ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างอัตราค่าโฆษณาของสื่อโฆษณานอกบ้านในทำเลใจกลางเมือง (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2556 อ้างอิงจาก อุณหภูมิเศรษฐกิจ, 2556: ออนไลน์)

ประเภทสื่อโฆษณา	รูปแบบ	อัตราค่าโฆษณาโดยประมาณ
จอ LED	ภาพยนตร์โฆษณา / ภาพนิ่ง	20,000 บาทขึ้นไป / 10-15 วินาที
<b>สื่อโฆษณานบนรถไฟฟ้า</b>		
- โฆษณาหุ้มรอบขบวนรถ ไฟฟ้า	สติ๊กเกอร์แบบลอกได้	600,000 บาท / เดือน
- ป้ายโฆษณาบริเวณบันได และชานชลา	ป้ายแบบเปลี่ยนได้	900,000 บาท / เดือน
- ป้ายโฆษณาแบบแขวน	ป้ายผ้าใบ	400,000 บาท / 10 วัน
- ลิฟท์โดยสาร	สติ๊กเกอร์แบบลอกได้	300,000 บาท / เดือน

จอ LED ก็คือจอ LCD ที่มีการเปลี่ยนจากหลอด CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp) มาเป็นหลอด LED ที่มีขนาดเล็กเรียงต่อกัน เพื่อให้แสงจากด้านหลังของจอ (Park and Cha, 2010) หรือกล่าวได้ว่าการใช้เทคโนโลยีการส่องสว่างจากด้านหลังจอที่ต่างชนิดกัน จึงทำให้จอทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันนั่นเอง โดยหลอดไฟ LED ขนาดเล็กในแต่ละหลอดจะมีคุณสมบัติในด้าน Viewing Angle ซึ่งมุมนี้จะมีขอบเขตที่ความเข้มของการส่องสว่างลดลงเป็นครึ่งหนึ่งจากแนวกึ่งกลางของหลอดไฟ นอกจากนี้เมื่อมีการมองที่นอกขอบเขตจากมุมนี้จะทำให้เห็นได้ว่ามีความสว่างลดลงหรือมืดลงด้วย และเมื่อหลอดไฟ LED หลายๆ หลอดมาเรียงต่อกันเพื่อให้แสงจากด้านหลัง จึงทำให้จอประเภทนี้มีคุณสมบัติในด้านนี้ตามไปด้วย โดย Viewing Angle ของจอประเภทนี้เป็นหนึ่งในเงื่อนไขที่มักทำให้เกิดความสับสนมากที่สุดเกี่ยวกับการรับรู้ข้อมูลบนจอแสดงผล เนื่องจากคนส่วนใหญ่มักคิดว่าเป็นมุมที่ยังคงสามารถรับรู้หรือเข้าถึงข้อมูลที่แสดงอยู่บนจอแสดงผลได้ แต่ในความเป็นจริงแล้ว Viewing Angle ที่มีการกำหนดขึ้นมานี้จะเกี่ยวข้องกับความเข้มการส่องสว่าง และไม่ได้มีการกำหนดมาจากการยังสามารถรับรู้ข้อมูลบนจอแสดงผลได้ ซึ่งผู้ผลิตมักจะมีการกำหนดมุมนี้เป็นลักษณะมุมแบบกว้างที่ยังมีความส่องสว่างอยู่ โดยสำหรับการมองที่เกินกว่าจากมุมนี้ยังคงมีความสว่างมากพอที่ยังจะสามารถมองเห็นภาพที่ปรากฏขึ้นได้ ซึ่งนั่นก็ไม่ได้หมายความว่าความสามารถรับรู้หรือ

แปลความข้อมูลบนจอแสดงผลในทุกรายละเอียดได้จริง เพราะความสว่างของจอจะลดลงหรือมีลดลงด้วย ดังนั้นค่าของ Viewing Angle ที่มีการกำหนดจากผู้ผลิต จึงเป็นการประมาณขึ้นจากความส่องสว่างของหลอดไฟ LED ในแต่ละหลอดนั่นเอง ดังนั้นจึงทำให้จอประเภทนี้มีปัญหาในด้านความสว่างของจอที่ลดลงเมื่อมีการมองเป็นมุมที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจากปัญหาดังกล่าวจึงเป็นการส่งเสริมให้ปัจจัยมุมเอียง (Oblique Angle) มีผลต่อการรับรู้ข้อมูลที่ปรากฏบนจอด้วย โดยในความเป็นจริงแล้วจากการนำจอแสดงผลแบบ LED ไปใช้ประโยชน์ในมุมกว้าง เช่น การนำไปเป็นสื่อกลางที่ใช้ในด้าน การเรียนการสอน การบรรยาย หรือการประชุมสัมมนา ข่าวสาร ซึ่งทั้งนี้ผู้รับสารเองก็จะมีการยืนหรือนั่งกระจายอยู่จนเต็มพื้นที่ด้วยเช่นกัน ซึ่งแนวสายตาของผู้รับสารต่างๆ ก็จะพุ่งเข้าสู่จุดกึ่งกลางของจอแสดงผลในขณะที่กำลังมองเพื่อรับรู้ข้อมูลบนจอแสดงผล ดังนั้นผู้รับสารจึงไม่ได้มีการยืนหรือนั่งอยู่ตรงจุดหรือบริเวณที่แนวสายตาทำมุมตั้งฉากกับกึ่งกลางของจอพอดีด้วยเช่นกัน จึงส่งผลทำให้ผู้รับสารเหล่านั้นมีการรับรู้ข้อมูลบนจอในลักษณะของมุมเอียง ทั้งนี้เมื่ออยู่ในตำแหน่งของมุมเอียงที่มากขึ้นจะเห็นว่าหน้าจอแสดงผลจะมีความสว่างน้อยลงด้วย ด้วยเหตุนี้จะทำให้การอ่านข้อความที่ปรากฏบนจอเป็นไปได้ยากขึ้นอีกด้วยนั่นเอง

นอกจากปัญหาของจอ LED ในด้านความสว่างของจอที่ลดลงเมื่อมีการมองที่มุมเพิ่มขึ้นแล้วยังพบว่าการอ่านข้อมูลบนจอแสดงผลได้มีความแตกต่างจากการอ่านข้อมูลบนกระดาษด้วย จากงานวิจัยของ Jorna and Snyder, 1991 ได้กล่าวว่าคุณภาพของตัวอักษรที่แสดงอยู่บนจอเป็นหนึ่งตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการอ่านที่ยากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบที่ใช้กระดาษ และจากงานวิจัยของ Dillon, 1992 ได้แสดงความเห็นเกี่ยวกับการอ่านจากจอแสดงผลที่ต่างจากกระดาษด้วยเช่นกัน ดังนั้นการใช้จอแสดงผลประเภทนี้ในการแสดงข้อมูลสำหรับใช้ในด้านต่างๆ จึงมีความแตกต่างจากการแสดงโดยใช้รูปแบบของตัวหนังสือบนกระดาษ ยังรวมถึงการมีคุณสมบัติเฉพาะของจอแสดงผลประเภทนี้ด้วย จึงทำให้จอแสดงผลแบบ LED ได้รับเลือกสำหรับการใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลกระทบจากปัจจัยในด้านต่างๆ ต่อไป

ขนาดของอักขระ (Character Size) หรือความสูงของอักขระ (Character's Height) ที่แสดงบนจอได้เป็นอีกหนึ่งปัจจัยหลักสำหรับการศึกษาและวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งความสูงของอักขระที่ปรากฏบนจอแสดงผลนั้น เป็นส่วนสำคัญต่อการรับรู้ข้อมูลบนจอแสดงผลของมนุษย์ด้วย เพราะความสูงของอักขระขนาดต่างๆ ที่ได้มีการแสดงบนจอจะเปรียบเสมือนได้กับสิ่งเร้าที่มากกระตุ้นหรือมา

กระทบกับประสาทสัมผัสในการมองเห็นด้วยดวงตาจนกระทั่งทำให้เกิดการรับรู้ขึ้นนั่นเอง สำหรับขนาดตัวอักษรที่ได้มีการกำหนดขึ้น เพื่อใช้ในงานวิจัยนี้จะเกิดจากการนำมุมการมอง (Visual Angle) ของมนุษย์มาประยุกต์ใช้ ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความสูงของตัวอักษรกับระยะห่างการมอง (Viewing Distance) หนึ่งๆ ที่ต้องการ และ Visual Angle จะมีหน่วยเป็น minute of arc (MOA) (Human Factors Design Guidelines for Advanced Traveler Information Systems [ATIS], 1998) โดยความสูงของตัวอักษรจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีระยะห่างการมองมากขึ้น และเมื่อมี Visual Angle ที่เพิ่มขึ้นด้วย ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงได้มีการกำหนดความสูงของอักษรจากค่าของ Visual Angle และระยะห่างการมอง ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในด้านการนำไปใช้งานที่สามารถนำมาใช้ในการบอกรายละเอียดในด้านต่างๆ ได้มากกว่าการกำหนดเป็นขนาดความสูงสำหรับระยะห่างการมองหนึ่งๆ โดยตรงนั่นเอง เนื่องจากความสัมพันธ์ดังกล่าวจึงทำให้ระยะห่างการมองเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ได้รับเลือกสำหรับการศึกษาผลกระทบต่อการรับรู้ข้อมูลบนจอแสดงผลด้วย โดยระยะห่างการมองสำหรับงานวิจัยนี้ ซึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้นเกี่ยวกับหน้าจอ LED ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ จึงทำให้ขนาดของระยะห่างการมองไม่ได้ถูกจำกัดแค่เพียงการนั่งทำงานอยู่ต่อหน้าจอแสดงผลอีกต่อไป ดังนั้นขนาดของระยะห่างการมองจึงต้องมีขนาดไกลกว่าจากที่เคยมีการระบุภายในมาตรฐานต่างๆ ซึ่งจะมีการระบุไว้แค่เพียงการทำงานต่อหน้าจอเท่านั้น ทั้งนี้ขนาดของระยะห่างการมองที่มีขนาดมากขึ้น ความสูงของอักษรก็มีขนาดมากขึ้นด้วย ดังตามความสัมพันธ์ของ Visual Angle เดียวกัน และนอกจากนี้ระยะห่างการมองจะมีความสัมพันธ์กับการโฟกัสของตาที่ทำให้ภาพตกลงบริเวณเรตินาพอดี ดังนั้นสำหรับคนที่มีความสามารถในการมองเห็นที่เป็นปกติปัญหาด้วยโฟกัสจะไม่ส่งผลกระทบต่อปัจจัยนี้ แต่เมื่อมีระยะห่างการมองที่ขนาดไกลมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ระยะห่างการมองที่ระยะ 12 เมตร สำหรับการศึกษาภายในงานวิจัยนี้ เพราะฉะนั้นปัจจัยด้านระยะห่างการมองที่มีขนาดไกลเช่นนี้จะส่งผลกระทบต่อรับรู้ข้อมูลบนจอหรือไม่และอย่างไรต่อนั่นเอง

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยต่างๆ จะพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างการมองหรือระยะห่างหน้าจอ กับความสูงของอักษรใน Visual Angle ต่างๆ ซึ่งได้รับความสนใจและได้รับการศึกษาจากงานวิจัยอย่างกว้างขวาง ยกตัวอย่างเช่น ในงานวิจัยของ Henning and Ye, 1996 ได้กล่าวไว้ว่าเรื่องทั่วไปที่ผู้เข้าร่วมวิจัยต้องการ ซึ่งได้จากการรวบรวมคำตอบจากแบบสอบถามก็คือ ต้องการระยะห่างของหน้าจอแสดงผลมากกว่า 600 มิลลิเมตร ความสูงของอักษรควรมี Visual



Angle อยู่ที่ 20 MOA และจากงานวิจัยนี้ยังได้มีการรวบรวมงานวิจัยอื่นๆ ไว้พอสังเขป เช่น งานวิจัยของ Helander et al., 1984 ได้แนะนำความสูงของอักขระต่ำสุดควรมี Visual Angle อยู่ที่ 16-18 MOA Jaschinski-Kruza, 1988 เปิดเผยว่าเมื่อระยะทางหน้าจอเปลี่ยนจาก 500 มิลลิเมตรถึง 750 มิลลิเมตร การเปลี่ยนความสูงของอักขระจาก Visual Angle 34 MOA ไปถึง 23 MOA ตามลำดับ จะทำให้มีประสิทธิภาพการทำงานต่ำลง และจากงานวิจัยของ Helander and Rupp, 1984 ได้มีการแนะนำความสูงของอักขระต่ำสุดควรมี Visual Angle อยู่ที่ 18 MOA เป็นต้น ซึ่งผลการวิจัยที่กล่าวมาในขั้นต้นได้รับการอ้างอิงมาจาก Henning and Ye, 1996 และได้ผลการทดลองจากการศึกษาเชิงประจักษ์ที่มักจะได้จากการใช้ตัวชี้วัดเป็นความสบายตา ความพึงพอใจจากการทดสอบ โดยผ่านการใช้แบบสอบถามหลังการทดสอบนั่นเอง

นอกจากนี้ความสูงของอักขระยังได้รับการแนะนำหรือถูกระบุไว้ในมาตรฐานต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น International Organization of Standardization (ISO9241), 1998 ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับความสูงของอักขระที่เหมาะสมควรมี Visual Angle อยู่ที่ 20-22 MOA และในบางมาตรฐานยังได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับความสูงของอักขระใน Visual Angle ต่างๆ ไว้ เช่น ความสูงของอักขระที่มี Visual Angle สูงสุดคือคำแนะนำที่ได้จากการอ่านแบบเจาะจงในระหว่างงานอ่าน และสำหรับการประยุกต์ใช้ในการออกแบบข้อมูลบนจอ LED จะต้องมีการพิจารณาถึงพื้นที่ของจอแสดงผลที่มีอยู่จำกัดต่อจำนวนข้อมูลที่จำเป็นในการนำเสนอ ก่อนจะมีการตัดสินใจเลือกขนาดความสูงของอักขระต่อไป ความสูงของอักขระที่ Visual Angle มีขนาดใหญ่มักจะเป็นตัวอักษรที่ถูกนำมาใช้ เพื่อส่งเสริมในเรื่องของการอ่านได้อย่างสบาย และในทางตรงข้ามความสูงของอักขระที่ Visual Angle มีขนาดเล็กจะถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบการเริ่มอ่านออกได้จากตัวอักษรตัวเดียว เป็นต้น ซึ่งจากผลงานการวิจัยและค่าที่ได้มีการระบุหรือแนะนำไว้ภายในมาตรฐานต่างๆ โดยส่วนใหญ่ความสูงของอักขระควรมี Visual Angle ที่ได้มีการแนะนำไว้จะอยู่ในช่วง 16-24 MOA

จากคำแนะนำของมาตรฐานต่างๆ จะพบว่ามียุทธศาสตร์ในการเลือกใช้ Visual Angle ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของอักขระกับระยะห่างการมองต่างๆ ค่อนข้างที่มีความละเอียด ดังนั้นผู้ที่จะนำมาใช้ต้องมีความรู้ ความเชี่ยวชาญในด้านการออกแบบตัวอักษรสำหรับนำไปใช้ในการแสดงผลที่จอแสดงผลด้วย และนอกจากนี้เนื่องจากค่าเช่าพื้นที่ในการโฆษณามีราคาค่อนข้างสูงจากข้อมูลที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น จึงส่งผลให้การใช้ประโยชน์จากพื้นที่บนจอแสดงผลมีความสำคัญและ

ยังมีพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่จำกัดอีกด้วย และด้วยเหตุนี้จึงอาจทำให้ผู้ส่งสารได้หลงลืมหรือลืมตระหนักถึงความสำคัญของ Visual Angle กับระยะทางการมองจอแสดงผลของผู้รับสารก็เป็นไปได้ ดังนั้นจึงทำให้บ่อยครั้งที่ยังคงพบปัญหาในการมองไม่เห็นข้อความหรือมีความรู้สึกว่าจะไม่น่าอ่าน เพราะข้อความได้มีขนาดเล็ก หรือเบียดกันแน่นจนเกินไป ยกตัวอย่างเช่น การลดขนาดของ Visual Angle ลง นั้นหมายความว่าความสูงของอักขระหรือขนาดของอักขระจะเล็กลงตาม Visual Angle ที่ลดลงด้วย ทั้งนี้เพื่อเป็นการประหยัดพื้นที่ภายในจอแสดงผล และสามารถใส่ข้อความได้มากขึ้น แต่การลดขนาดของ Visual Angle มากจนเกินไป อาจเป็นเหตุทำให้เกิดความไม่เข้าใจหรือไม่สามารถแปลความจากข้อความที่ปรากฏบนจอแสดงผลได้ และตลอดจนไม่สามารถรับรู้ข่าวสารนั้นได้ด้วยเช่นกัน ทั้งนี้โดยเฉพาะข้อความที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย เช่น คำเตือน หมายเลขโทรศัพท์ที่ใช้สำหรับการติดต่อฉุกเฉิน ซึ่งถือว่าเป็นข้อความที่สำคัญที่ผู้รับสารจะต้องสามารถเข้าถึงได้ในทันทีที่พบหรือสามารถแปลความได้ โดยต้องใช้เวลาอันสั้นสำหรับการแปลความหรือกล่าวได้ว่าเมื่อมองแล้วสามารถตอบสนองได้ทันทีด้วย แต่ถ้าผู้รับสารไม่สามารถรับรู้ข้อมูลในส่วนนี้ได้อย่างทันที อาจก่อให้เกิดอันตรายหรือความไม่สะดวกได้อีกด้วยเช่นกัน ดังนั้นขนาดตัวอักขระจึงมีความสำคัญ สำหรับการรับรู้ข้อมูลบนจอแสดงผลเป็นอย่างมาก เพราะถ้าขนาดเล็กเกินไปก็อาจจะทำให้ผู้รับสารไม่สามารถอ่านข้อมูลนั้นได้ โดยทั้งนี้ก็ต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยของระยะทางการมองอีกด้วย ซึ่งจากการกล่าวมานี้สำหรับการมองตรงในแนวสายตาตั้งฉากกับหน้าจอ แต่ในความเป็นจริงแล้วเราได้มีการรับรู้ข้อมูลด้วยการมองเป็นมุมด้วย เช่น การยืนหรือการนั่งในการรับสารจากจอแสดงผล LED ที่มีการกระจายอยู่เต็มพื้นที่ จนทำให้เกิดลักษณะของรับรู้ข้อมูลบนจอในลักษณะของมุมเอียงเกิดขึ้นด้วย โดยได้มีการกล่าวถึงมาแล้วนั้น ดังนั้นทั้งสามปัจจัยได้มีความเกี่ยวข้องกับการรับรู้ข้อมูลบนจอแสดงผลด้วยกันทั้งสิ้น จึงทำให้งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาผลกระทบจากปัจจัยทั้งสามที่มีต่อการรับรู้ข้อมูลบนจอ LED นั้นเอง

สำหรับการสื่อสารระหว่างข้อมูลที่ผู้ส่งสารต้องการส่งมายังผู้รับสาร โดยมีจอแสดงผลเป็นสื่อกลางนั้น มนุษย์จะนำกระบวนการรับรู้ (Perception) มาใช้ในการรับรู้หรือเข้าถึงข้อมูลที่ได้ส่งมายังผู้รับสาร โดยข้อมูลหรือตัวอักขระที่ถูกแสดงบนหน้าจอแสดงผลจะเข้าสู่กระบวนการรับรู้ของมนุษย์ ผ่านทางประสาทสัมผัสของการมองเห็นด้วยดวงตา ซึ่งเป็นประสาทสัมผัสที่มนุษย์ใช้ในการรับรู้ข้อมูลมากที่สุด (นนทิชา ถาวรไพบูลย์บุตร, 2555: 25-29) โดยข้อมูลที่แสดงอยู่บนจอแสดงผล

จะเป็นสิ่งเร้าที่มากกระตุ้นการมองเห็น ทำให้เกิดกระแสประสาทสัมผัสวิ่งไปยังระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งมีศูนย์กลางอยู่ที่สมองเพื่อสั่งการ โดยจะทำให้เกิดการรับรู้ขึ้น และหลังจากนั้นสมองจึงได้มีการแปลความหมายออกมาเป็นความรู้หรือความเข้าใจ ทำให้เกิดการตอบสนองอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งเรียกว่าปฏิกิริยาหรือการตอบสนอง (Response) ได้นั่นเอง ดังนั้นข้อมูลที่ถูกแสดงบนจอแสดงผลกับกระบวนการรับรู้ของมนุษย์จึงมีความสัมพันธ์กัน ในด้านการรับรู้หรือการเข้าถึงของข้อมูลที่ต้องการจะสื่อสารระหว่างผู้รับสารกับผู้ส่งสารด้วยนั่นเอง และในขณะเดียวกันการรับรู้หรือการเข้าถึงข้อมูลตลอดจนการตอบสนองกับข้อมูลที่ได้รับทราบบนหน้าจอ จะเป็นผลลัพธ์หรือตัวชี้วัดของสมรรถนะในการมองเห็นหรือการรับรู้ของมนุษย์ได้อีกวิธีหนึ่ง

สมรรถนะในการมองเห็นหรือการรับรู้ของมนุษย์จะมีปฏิสัมพันธ์กับข้อมูลหรืออักขระที่ปรากฏบนจอแสดงผล ซึ่งจอแสดงผลก็จะเปรียบเสมือนตัวกลางที่มีไว้ใช้ในการสื่อสารระหว่างผู้ส่งสารไปยังผู้รับสาร ดังนั้นจอแสดงผลที่ใช้ในการสื่อสารที่ดีก็ควรส่งสารไปยังผู้รับสารได้เท่าๆ กัน แต่ผู้รับสารซึ่งเป็นมนุษย์นั้น ในแต่ละบุคคลจะมีสมรรถนะในการมองเห็นหรือมีความสามารถในการรับรู้หรือเข้าถึงข้อมูลได้ไม่เท่ากันทุกคน อันเนื่องมาจากความเป็นธรรมชาติของความไม่เหมือนกันของมนุษย์นั่นเอง และเนื่องจากการศึกษาวิจัยแบบเดิมจะมีการศึกษาสมรรถนะในการรับรู้หรือการเข้าถึงข้อมูล เป็นการศึกษาแบบเชิงประจักษ์ที่มักจะได้จากการใช้ตัวชี้วัดเป็นความสบายตา ความพึงพอใจ หลังการทดสอบ โดยผ่านการใช้แบบสอบถาม เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้งานวิจัยนี้ต้องการที่นำเสนอระเบียบวิธีการของการวัดและประเมิน โดยสมรรถนะการรับรู้ดังกล่าวจะแสดงผ่านด้านประสิทธิภาพ ความเร็วของการรับรู้ หรือความเร็วในการอ่าน ซึ่งการทดสอบสมรรถนะด้วยความเร็วนี้ ว่ามีผลกระทบจากระยะทางการมองและขนาดตัวอักษร รวมถึงมุมเอียงของหน้าจอแสดงผลอย่างไร ซึ่งในงานวิจัยนี้จะมีการทดสอบสมรรถนะการรับรู้หรือการเข้าถึงข้อมูล และมีตัวชี้วัดจากการทดสอบออกมาเป็นเวลาในการตอบสนอง (Response Time) ซึ่ง Response Time ภายในงานวิจัยก็จะเป็นผลรวมของเวลาที่ใช้ในการรับรู้ข้อมูลกับเวลาที่ใช้ในการตอบสนองข้อมูลที่ปรากฏบนหน้าจอแสดงผล โดยจะเป็นเวลาเริ่มตั้งแต่ตัวอักษรปรากฏขึ้นบนหน้าจอ จนกระทั่งผู้เข้าร่วมงานวิจัยเริ่มมีการตอบสนองด้วยการอ่าน และนอกจากมีตัวชี้วัดเป็น Response Time แล้ว การอ่านได้ถูกต้องยังเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่สำคัญ เพราะฉะนั้นจึงได้มีตัวชี้วัดเป็นเปอร์เซ็นต์การตอบสนองอย่างถูกต้องหรือเปอร์เซ็นต์ของการอ่านถูกต้อง (%Correct Response หรือ %Correct) เพิ่มมีอีกตัวชี้วัด

หนึ่ง โดยทั้งนี้ตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบของการวิจัยในครั้งนี้ ก็คือ การทดสอบสมรรถนะการรับรู้ของมนุษย์ในด้านความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างการมองและขนาดตัวอักษร รวมถึงการศึกษาถึงปัจจัยมุมเอียงของจอแสดงผลด้วยนั่นเอง

## 1.2 จุดประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลกระทบระหว่างระยะห่างการมอง ขนาดตัวอักษร และมุมเอียงของจอภาพที่มีต่อสมรรถนะการรับรู้ตัวอักษรบนจอแสดงผลแบบ LED

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. จอแสดงผลที่ใช้ในการทดสอบเป็นจอแบบ LED ประเภทที่ใช้ในการติดตั้งภายในอาคาร โดยถือว่ามี การกระจายตัวของหลอดไฟ LED เพื่อให้แสงสว่างมีลักษณะวางตัวแบบสม่ำเสมอเท่ากันทุกจุด และในการงานวิจัยนี้จอแสดงผลจะมี Viewing Angle อยู่ที่ 176/176
2. ตัวอักษรที่ใช้ในการแสดงผลบนจอ คือ ตัวเลขอารบิก และตัวอักษรภาษาอังกฤษ ซึ่งเป็นตัวพิมพ์ใหญ่ทั้งสิ้น
3. มีรูปแบบตัวอักษร (Fonts) เป็นแบบ Arial และการทดสอบจะทดสอบโดยใช้ตัวหนังสือสีดำบนพื้นขาว นอกจากนี้จะมีการทดสอบในขั้นตอนของการทดสอบภายในงานวิจัยจะมีความส่องสว่างอยู่ประมาณที่ 300-750 ลักซ์
4. มุมเอียงของจอ จะเป็นการศึกษามุมในแนวนอน (Horizontal Angle) หรือเป็นมุมซ้าย-ขวาจากแนวสายตาการมองที่ตั้งฉากกับจอแสดงผล

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงผลกระทบระหว่างระยะห่างการมอง ขนาดตัวอักษร และมุมเอียง ที่มีต่อสมรรถนะการรับรู้ตัวอักษรบนจอแสดงผลแบบ LED ของบุคคลต่างๆ
2. ทราบถึงขอบเขตเกี่ยวกับระยะห่างการมอง ขนาดตัวอักษร และมุมเอียง ที่มีต่อสมรรถนะการรับรู้ตัวอักษรบนจอแสดงผลแบบ LED ของบุคคลต่างๆเพื่อนำผลที่ได้จากการวิจัยไปเป็นแนวทางในการออกแบบหรือป้องกันการออกแบบ Information Display ที่มีผลต่อสมรรถนะการรับรู้ของมนุษย์ได้ต่อไป

3. เพื่อนำผลที่ได้จากการวิจัยไปเป็นแนวทางในการออกแบบหรือป้องกันการออกแบบ Information Display ที่มีผลต่อสมรรถนะการรับรู้ของมนุษย์ได้ต่อไป



## บทที่ 2

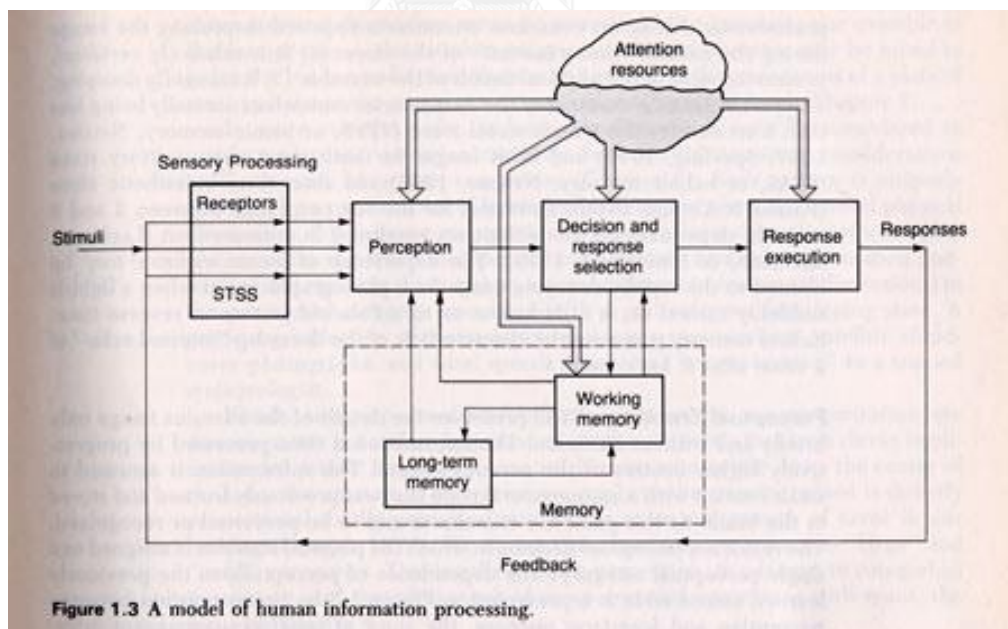
### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การรับรู้ (Perception)

การรับรู้ (Perception) จะเกิดหลังจากการถูกกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าที่ได้มีการมากระทบกับอวัยวะรับสัมผัสหรือประสาทสัมผัส จนเกิดความรู้สึก ความเข้าใจและเกิดการแปลความในสิ่งเร้านั้น หรืออาจจะกล่าวว่าจากสิ่งเร้าที่มากระตุ้นอวัยวะรับสัมผัสจะเกิดกระบวนการในการเลือก จัด และตีความข้อมูลที่มาสัมผัส จนกลายเป็นสิ่งที่มีความหมายโดยทั้งนี้จะต้องอาศัยความรู้ ประสบการณ์เดิม และความเข้าใจในปัจจุบันของแต่ละบุคคลด้วย ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญเพราะการรับรู้โดยขาดความรู้หรือประสบการณ์จะเป็นเพียงการรับสัมผัสได้เท่านั้น (Bernstein, 1999 อ้างอิงถึงในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2556: ออนไลน์)

ทฤษฎีประมวลสารสนเทศ (Information Processing Theory) ได้เป็นส่วนขยายหรืออธิบายการรับรู้ของมนุษย์ หรือการรับรู้ได้เป็นกระบวนการหนึ่งที่เกิดในการประมวลข้อมูลของมนุษย์นั่นเอง จากทศนา แคมมณี (2557) ได้กล่าวไว้ว่า คลอสเมียร์ได้อธิบายการทำงานของสมองในการประมวลสารสนเทศของมนุษย์มีความคล้ายคลึงกับการทำงานของคอมพิวเตอร์ คือ มีการรับข้อมูล (Input), การเข้ารหัส (Encoding) และการส่งข้อมูลออก (Output) ดังนั้นเพื่อทำให้เกิดความเชื่อมโยงของกระบวนการในการประมวลสารสนเทศในมนุษย์ จึงได้อธิบายไว้ว่ากระบวนการประมวลสารสนเทศจะเริ่มต้นจากการที่มนุษย์ได้รับการกระตุ้นจากสิ่งเร้า (Stimuli) มากระทบกับอวัยวะรับสัมผัสหรือประสาทสัมผัส (Sensory) ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 5 ทาง คือ ตา หู จมูก ลิ้น และผิวหนังหรือผิวกาย สิ่งเร้าที่เข้ามาจะได้รับการบันทึกไว้ในความจำระยะสั้น (Short-Term Memory) ซึ่งการถูกบันทึกจะขึ้นอยู่กับ 2 องค์ประกอบคือ การรู้จัก (Recognition) และความใส่ใจ (Attention) ของแต่ละบุคคลที่มีต่อสิ่งเร้า โดยแต่ละบุคคลจะมีการเลือกรับสิ่งเร้าที่ตนรู้จักหรือมีความสนใจเท่านั้น หลังจากนั้นจึงได้มีการบันทึกไว้ในหน่วยความจำนี้ ซึ่งจะมีการบันทึกอยู่ในเวลาอันสั้นหรือไม่นาน โดยในแต่ละบุคคลก็จะมีความสามารถในการจำระยะสั้นที่จำกัดไม่เท่ากันอีกด้วย ทั้งนี้คนส่วนใหญ่จะสามารถจำสิ่งที่ไม่เกี่ยวข้องกันได้เพียงครั้งละ  $7 \pm 2$  อย่าง สำหรับในการทำงานที่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลไว้ อาจจำเป็นต้องใช้เทคนิคต่างๆ ในการช่วยจำ เช่น การจัดกลุ่มคำ หรือการท่องซ้ำๆ กันหลายครั้ง

ซึ่งจะสามารถช่วยให้จดจำสิ่งนั้นไว้ใช้งานได้ การเก็บข้อมูลไว้ในภายหลัง สามารถทำได้โดยข้อมูลนั้นจำเป็นต้องได้รับการประมวลและเปลี่ยนรูปโดยการเข้ารหัส (Encoding) เพื่อนำไปเก็บไว้ในหน่วยของความจำระยะยาว (Long-Term Memory) ซึ่งอาจต้องใช้เทคนิคต่างๆ เข้าช่วย เมื่อข้อมูลข่าวสารได้รับการบันทึกไว้ในความจำระยะยาวแล้ว บุคคลจะสามารถเรียกข้อมูลต่างๆ ออกมาใช้ได้ ซึ่งในการเรียกข้อมูลออกมาใช้ บุคคลจำเป็นต้องถอดรหัสข้อมูล (Decoding) จากความจำระยะยาวนั้น ซึ่งก็จะเรียกว่าความรู้เดิมหรือประสบการณ์เดิม ที่ใช้ในกระบวนการของการรับรู้ด้วยนั่นเอง หลังจากนั้นการถอดรหัสจากความจำระยะยาวก็จะถูกส่งต่อไปยังตัวก่อกำเนิดพฤติกรรมตอบสนอง โดยจะเกิดการตัดสินใจหรือการตอบสนองในรูปแบบที่ต้องการ ซึ่งจะเป็นการกระตุ้นให้บุคคลนั้นมีการเคลื่อนไหว หรือการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมต่างๆ ทั้งนี้การตอบสนองจะออกมาในรูปแบบใด ก็ขึ้นอยู่กับสถานการณ์หรือผลลัพธ์ที่ต้องการ และการตอบสนองอย่างรวดเร็วก็เกิดจากการที่มีหน่วยความจำระยะยาวที่มากพอหรือมีความคุ้นเคยมากพอด้วย ซึ่งจากที่ได้กล่าวมาแล้วในขั้นต้นสามารถแสดงได้ด้วยแบบจำลองของการประมวลสารสนเทศ (Model of Information Processing) ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงแบบจำลองของการประมวลสารสนเทศ (Model of Information Processing)  
(Wickens, 1984)

นนทিকা ถาวรไพบูลย์, 2555: 25-29 ได้กล่าวไว้ว่า การรับรู้สิ่งต่างๆ รอบตัวของมนุษย์ โดยส่วนใหญ่มาจากการรับรู้จากการมองเห็นประมาณ 70% และจากการรับรู้ด้วยประสาทสัมผัสด้านอื่นๆ อีกประมาณ 30% ดังนั้นการรับรู้ด้วยการมองเห็นเพื่อรับรู้ข้อมูลของเราจึงเป็นส่วนที่สำคัญการดำเนินชีวิตของเราเป็นอย่างยิ่ง และในการวิจัยนี้ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการรับรู้ที่ผ่านประสาทสัมผัสทางตาด้วยการมองเห็นเมื่อมีสิ่งเร้ามากระตุ้นการมองเห็น ผ่านกระบวนการรับรู้ และกระบวนการของความคิดความเข้าใจ เพื่อแปลความจากสิ่งที่มองเห็นร่วมกับประสบการณ์ที่เคยได้บันทึกหรือเก็บไว้ก่อนหน้านี้จนนำไปสู่การตอบสนองของแต่ละบุคคลขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาการรับสัมผัสหรือประสาทสัมผัสทางตาเท่านั้น

### 2.1.1 โครงสร้างทางกายวิภาคศาสตร์ของลูกตา

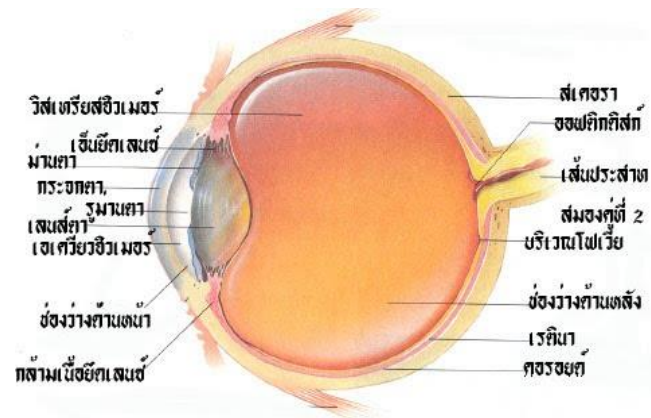
จินตนา เวชสวัสดิ์, 2545 ได้กล่าวไว้ภายในสารานุกรมพื้นฐานของร่างกายมนุษย์ว่าลูกตาเป็นอวัยวะที่มีรูปร่างเป็นทรงกลม ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5 เซนติเมตร ซึ่งคงรูปร่างได้ โดยมีของเหลวลักษณะเฉพาะบรรจุอยู่ภายในผนังลูกตา แบ่งออกเป็น 3 ชั้น (ภาพที่ 2.2) คือ

1. ชั้นนอกสุดเป็นเปลือกลูกตา เรียกว่า สเคอรา หรือเปลือกลูกตา (Sclera) เป็นชั้นที่เหนียวแต่ไม่ยืดหยุ่น อยู่ชั้นนอกสุดเห็นเป็นสีขาวส่วนที่อยู่ด้านหน้ามีลักษณะใสและนูนออกมาเรียกว่ากระจกตา (Cornea) ทำหน้าที่รับและให้แสงผ่านเข้าสู่ภายในกระจกตามีความสำคัญมาก
2. ชั้นกลาง เรียกว่า โครอยด์ (Choroid) เป็นชั้นที่มีเส้นเลือดมาเลี้ยงมากมายส่วนที่ยื่นออกไปด้านหน้าเรียกว่า ซีเลียรีบอดี (Ciliary Body) ทำหน้าที่สร้างของเหลวที่เรียกว่า เอควีวอิวเมอร์ (Aqueous humor) เข้าไปอยู่ในช่องว่างของลูกตาด้านหน้าเลนส์ โดยปกติของเหลวนี้จะถูกดูดซึมกลับเข้าเส้นเลือดดำของตา โดยผ่านทางท่อแคนลอปซเลม (Canal of Schlemm) ดังนั้นถ้ามีการอุดตันของท่อเกิดขึ้นจะทำให้ความดันของของเหลวในลูกตาส่งและเป็นสาเหตุของโรคต้อหิน (Glaucoma) ในชั้นนี้ยังมีมิงควัตถุหรือสารสีแผ่กระจายอยู่เป็นจำนวนมาก เพื่อป้องกันไม่ให้แสงสว่างทะลุผ่านชั้นเรตินาไปยังด้านหลังของลูกตาโดยตรง ซึ่งคนเราจะมียีนต่างกันเนื่องจากมิงควัตถุต่างชนิดกันนั่นเอง

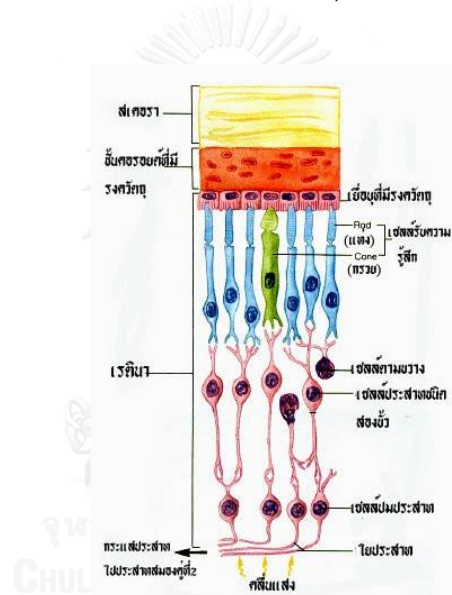


3. ชั้นในสุด เป็นชั้นจอประสาทตาหรือเรียกว่าจอตาหรือเรตินา (Retina) เป็นเนื้อเยื่อชั้นในสุดประกอบด้วยเซลล์ประสาท และเซลล์ซึ่งไวต่อแสงเรียงตัวกันเป็นชั้นในช่องว่างของลูกตาด้านหลังของเลนส์ และส่วนที่ติดกับเรตินามีของเหลวลักษณะคล้ายวุ้นเรียกว่า วิสเทรียส ฮิวเมอร์ (Vitreous Humor) บรรจุอยู่ ช่วยทำให้ลูกตาคงรูปร่างอยู่ได้ เรตินาทำหน้าที่เป็นจอรับภาพเนื่องจากมีเซลล์รับแสง 2 ชนิดคือ เซลล์รูปแท่ง (Rod Cell) ซึ่งไวต่อการรับแสงสว่าง แต่ไม่สามารถแยกความแตกต่างของสีได้ ส่วนเซลล์อีกประเภทหนึ่งเป็นเซลล์รูปกรวย (Cone Cell) เป็นเซลล์ที่แยกความแตกต่างของสีได้ แต่ต้องการแสงสว่างมากจึงบอกสีของวัตถุได้ถูกต้อง และมีจุดสำคัญโดยเฉพาะที่ โฟเวีย ถือเป็นจุดที่มีการมองเห็นได้ชัดเจนที่สุด ส่วนบริเวณที่ไม่มีเซลล์ประสาทรับความรู้สึกอยู่เลยเรียกว่า จุดบอดนั่นเอง

นอกจากชั้นเรตินาจะมีเซลล์ที่ไวต่อแสงดังกล่าวแล้ว ยังมีเซลล์ประสาทอื่นที่รับกระแสประสาทที่รวมกันเป็นมัด เพื่อส่งไปยังเส้นประสาทสมองคู่ที่ 2 แล้วส่งต่อไปยังสมองส่วนซีรีบรัม ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมเกี่ยวกับการมองเห็นจากภาพที่ 2.3 จะเห็นว่าแสงจะตกกระทบผ่านชั้นเซลล์ปมประสาท (Ganglion Cells) และเซลล์ประสาทชนิดสองขั้ว (Bipolar Cells) แล้วจึงมาถึงชั้นของเซลล์รูปแท่งและรูปกรวยที่ไวต่อแสงที่เมื่อมีพลังงานแสงมากระตุ้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงการซึมผ่านของเยื่อหุ้ม (Membrane Permeability) จนเกิดเป็นกระแสประสาทส่งผ่านเส้นประสาทสมองคู่ที่ 2 ไปยังสมองได้ บริเวณด้านหน้าของเลนส์ (Lens) จะมีแผ่นเนื้อเยื่อเรียกว่า ม่านตา (Iris) ออกมาบังบางส่วนของเลนส์ไว้เหลือบริเวณตรงกลางให้แสงผ่านเข้าไปสู่เลนส์ได้เรียกว่ารูม่านตา (Pupil) ซึ่งด้านหน้าของแก้วตาหรือเลนส์ตามีม่านตา (Iris) ยื่นลงมาจากด้านบนและด้านล่างของผนังคอร์อยด์คล้ายกับเป็นผนังกั้นบางส่วนของแก้วตาหรือเลนส์ เพื่อควบคุมปริมาณแสงให้พอเหมาะที่จะผ่านไปสู่เลนส์ตาโดยม่านตาสามารถเปิดกว้างมากหรือน้อยตามความสว่างของแสงและเมื่อเปิดเป็นช่องกลางที่เหลือมีลักษณะกลมให้แสงผ่านเข้าถ้าแสงสว่างมากรูม่านตาจะเปิดน้อยแสงสว่างน้อยรูม่านตาจะเปิดกว้าง ฉะนั้นขนาดของรูม่านตาจะแคบหรือกว้างขึ้นอยู่กับการหดหรือขยายของกล้ามเนื้อวงหรือกล้ามเนื้อที่เรียงตัวตามแนวรัศมีของม่านตา



ภาพที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของดวงตา  
(จินตนา เวชสวัสดิ์, 2545)



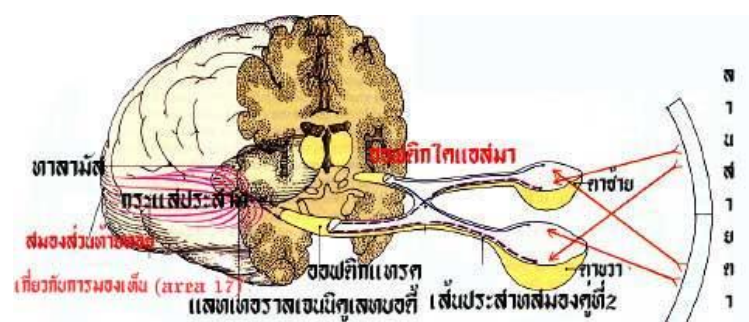
ภาพที่ 2.3 แสดงการจำลองเซลล์รูปแท่งและรูปกรวยใยประสาทในชั้นเรตินา  
(จินตนา เวชสวัสดิ์, 2545)

ปรียา อนุพงษ์องอาจ, 2556: ออนไลน์ ส่วนการเกิดภาพนั้นเกิดจากการหักเหของแสงที่คอร์เนียและที่เลนส์ตา ส่วนเลนส์ตานั้นปรับความยาวโฟกัสได้ เพื่อให้ภาพของวัตถุที่อยู่ในระยะต่างๆ กันเกิดภาพชัดบนเรตินา ความยาวโฟกัสของเลนส์ตาเปลี่ยนแปลงได้โดยการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเลนส์ตา รอบๆ เลนส์ตามีกล้ามเนื้อวงกลมล้อมรอบเรียกว่า กล้ามเนื้อซิลิอารี (Ciliary Muscles) เมื่อกล้ามเนื้อนั้นคลายตัว เลนส์ตาจะถูกเส้นใยซิลิอารี (Ciliary Fibers) ดึงให้แฟบลง ในระยะนี้ตาคนปกติจะมองเห็นชัดที่ระยะอนันต์ และเมื่อต้องการดูวัตถุที่อยู่ใกล้เข้ามา เลนส์ตาจะต้องมีความยาวโฟกัสสั้นเข้าจึงจะได้ภาพชัดบนเรตินา กล้ามเนื้อซิลิอารีจะหดตัวทำให้เส้นใยซิลิอารีหย่อนเลนส์ตาก็จะโป่ง

ออกทำให้ความยาวโฟกัสสั้นเข้า ดังนั้นมนุษย์ที่มีสายตาสั้น หรือมีความสามารถในการมองเห็นได้  
 อย่างเป็นปกติ จะสามารถเห็นได้เหมือนคนปกติคือ ที่ระยะ 6 เมตร โดยอ้างอิงจากหลักการของ  
 Snellen (Colenbrander, 2001: online) เลนส์ตาจะมีลักษณะผอมลงเรื่อยๆ เมื่อมองวัตถุไกล ๆ และ  
 กล้ามเนื้อจะเกร็งให้ความยาวโฟกัสของเลนส์ตาเพิ่มขึ้นเมื่อมองวัตถุใกล้ การเกร็งกล้ามเนื้อเป็นไป  
 อย่างอัตโนมัติ โดยมนุษย์จะเห็นภาพคมชัดตลอดเวลาไม่ว่าวัตถุอยู่ใกล้หรือไกล แต่ถ้าวัตถุอยู่ใกล้  
 เกินไป ถ้ามีการเกร็งกล้ามเนื้อไม่เพียงพอ อาจจะทำให้มองเห็นไม่ชัดได้ สำหรับเซลล์เรียงรายกันอยู่  
 บนเรตินาจะนำสัญญาณไฟฟ้าผ่านไปทางจักษุประสาทไปสู่สมองทำให้เกิดความรู้สึกในการมองเห็น

### 2.1.2 การนำสัญญาณประสาทเข้าสู่สมอง

จินตนา เวชสวัสดิ์, 2545 ได้กล่าวไว้ภายในสารานุกรมพื้นฐานของร่างกายมนุษย์ว่า กระแส  
 ประสาทจากเซลล์รับความรู้สึก (Receptor Cells) จะถูกส่งผ่านใยประสาท (Nerve Fiber) ของเซลล์  
 ปมประสาท (Ganglion Cells) มารวมเป็นเส้นประสาทสมองคู่ที่ 2 (Optic Nerve) โดยแต่ละใย  
 ประสาทจะมีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบตามตำแหน่งที่มาจากเซลล์รับความรู้สึก (Receptor  
 Cells) ในเรตินา เมื่อมาถึงบริเวณออฟติกไคแอสมา (Optic Chiasma) ใยประสาทที่มาจากเรตินา  
 ด้านข้างจมูก จะมีการข้ามไปอยู่ในออฟติกแทรค (Optic Tract) ด้านตรงข้าม ออฟติกแทรค (Optic  
 Tract) จะนำกระแสประสาทไปสู่ แลทเทอราลเจเนนิคูลีบอดี (Lateral Geniculate Body) ในส่วน  
 ของทาลามัส (Thalamus) เพื่อซิแนปส์กับเซลล์ประสาทตัวใหม่จากนั้นกระแสประสาทจะถูกส่งผ่าน  
 ไปสู่สมองส่วนท้ายทอย (Visual Cortex) ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับการมองเห็น (ภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.4 แสดงการนำสัญญาณประสาทเข้าสู่สมอง  
 (สารานุกรมพื้นฐานของร่างกายมนุษย์, 2545)

### 2.1.3 สมรรถนะในการมองเห็น

สมรรถนะในการมองเห็น ก็คือความสามารถในการมองเห็นของมนุษย์ ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งกับการทำงานของมนุษย์ โดยสมรรถนะในการมองเห็นจะถูกวัดด้วยผลลัพธ์ที่มีการตอบสนองกลับจากการถูกระตุ้นด้วยสิ่งเร้า และนอกจากนี้ความสามารถในการมองเห็นของมนุษย์จะมีความเกี่ยวข้องกับลานสายตา (Visual Field) ด้วย (ธวัชชานนท์ สิบปภากุล, 2548: 161)

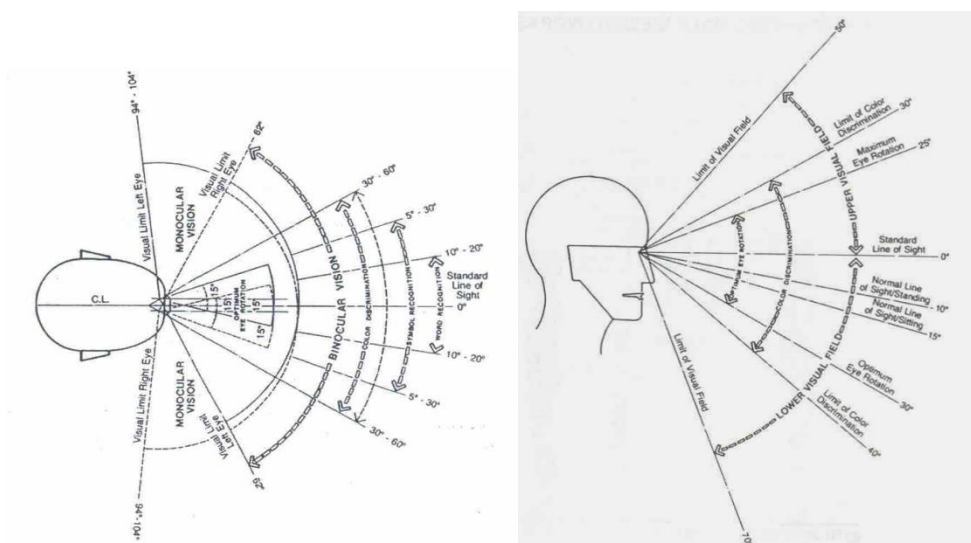
ลานสายตา (ปัฐมา วงศ์วัฒนะเดช, 2555) คือ ขอบเขตของการมองเห็น ในขณะที่มนุษย์มีการมองตรง โดยในคนปกติ เมื่อมองตรงออกไปจะเห็นภาพได้กว้างมาก ทั้งภาพตรงหน้าเรา และภาพโดยรอบ โดยเราไม่ต้องเงยหน้า ก้มหน้า หรือ หันหน้า ซึ่งจะใช้วิธีการกลอกตาเท่านั้น เราสามารถมองเห็นภาพที่อยู่เหนือจมูกหรือด้านล่างหรือด้านข้างทั้งซ้ายขวาได้ดังนี้

#### - มุมมองในแนวนอน

มุมมองของการมองเห็นในแนวนอนในขณะที่มองตรงของมนุษย์นั้น มีระยะของมุมมองของการเห็นภาพของตาข้างหนึ่งๆ จะมีระยะประมาณ 60 องศาด้านจมูก และประมาณ 100 องศาด้านหลังตา เนื่องจากในการมองเราใช้ตาทั้งสองข้างในการมอง ดังนั้นลานสายตาของตาทั้งสองข้างจะมีการทับซ้อนกัน ทำให้เกิดการมองเห็นภาพเป็นสามมิติ และสามารถมองเห็นได้กว้างประมาณ 120 องศาในแนวนอน โดยลานสายตาที่เรามีการใช้ จะมีระยะของมุมมองในการมองเห็น เช่น ระยะของมุมมองในการอ่านตัวอักษรประมาณ 10-20 องศา, ระยะของมุมมองในการอ่านสัญลักษณ์ประมาณ 5-30 องศา เป็นต้น ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวแสดงได้ด้วยภาพที่ 2.5 มุมมองในแนวนอน

#### - มุมมองในแนวตั้ง

ในขณะที่มองตรงนั้นมุมมองการเห็นในแนวตั้งมี ระยะของมุมมองในการมองเห็นภาพด้านบนจะมีระยะประมาณ 50 องศา และด้านล่างประมาณ 70 องศา ตามภาพ 2.5 มุมมองในแนวตั้ง



ภาพที่ 2.5 มุมมองในแนวนอน (ซ้าย) มุมมองในแนวตั้ง (ขวา)  
(Panero and Zelinik อ้างอิงใน รัชชานนท์ สิปปภาคกุล, 2548: 161)

#### 2.1.4 การแปลความหมาย

เมื่อเกิดการรับรู้ขึ้น ก็จะนำไปสู่กระบวนการของการแปลความหมาย ซึ่งการแปลความนี้จะต้องอาศัยประสบการณ์หรือความคุ้นเคยหรือจากการเรียนรู้เดิมเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย โดยแบ่งเป็นด้วยกัน ความคงที่ (Constancy) คือ การรับรู้วัตถุว่ามีลักษณะคงที่ ถึงแม้ว่าข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงไปในมุมหรือในระยะทางต่างๆ ความคงที่ในการรับรู้ที่เกิดขึ้นได้ทั้งขนาดคงที่ (Size Constancy) , รูปร่างคงที่ (Shape Constancy) และสีคงที่ (Color Constancy) เป็นต้น (Matlin, 1995 อ้างอิงถึงในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2556: ออนไลน์)

การรับรู้ความลึกหรือความไกลหรือระยะทาง (Depth and Distance Perception) เป็น การรับรู้ที่เกิดจากการมองเห็นโดยใช้เนยน์ตาสองข้าง (Binocular Vision) ซึ่งจากหลักความจริง เนยน์ตาทั้งสองข้างจะรับรู้สิ่งต่าง ๆ แตกต่างกัน ฉะนั้นเมื่อนัยน์ตามองสิ่งหนึ่งจะเห็นสิ่งนั้นเป็นมุม ต่างกันเล็กน้อย โดยวัตถุที่เนยน์ตาได้รับมานี้จะมีสมองจัดการอย่างใดอย่างหนึ่งให้ออกมาในรูปแบบ ของสามมิติ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่มีต่อการรับรู้ความลึกและระยะทางได้นั่นเอง (Matlin, 1995 อ้างอิงถึงในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2556: ออนไลน์)

สิ่งสำคัญของการรับรู้ ก็คือ ประสบการณ์ เพราะการแปลความที่ดีและรวดเร็วจำต้องอาศัย ประสบการณ์เข้ามาเกี่ยวข้องเป็นอย่างมาก หรือการแปลความที่เกิดขึ้นอาจจะเกิดจากการวิเคราะห์ ลักษณะหรือเรียกว่า Bottom-Up Processing (กระบวนการล่างขึ้นบน) เป็นการรับรู้โดย พิจารณาจากรายละเอียดจนเกิดความรู้ความเข้าใจส่วนรวมทั้งหมดแล้ว จึงได้มีการตอบสนองอย่าง ใดอย่างหนึ่งออกมา ส่วนการรับรู้ในอีกแบบหนึ่งก็คือการรับรู้โดยกระบวนการบนลงล่าง (Top-Down Processing) คือรับรู้โดยรวมหรือตามรูปแบบโดยรวมที่เราควรจะเข้าใจ โดยจะมีการพิจารณาจาก ประสบการณ์ของผู้รับสารก่อนโดยตรงนั่นเอง (ฉัตรปวีณ อัมภา, 2555)

แนวความคิด Speed and Accuracy Trade-off เป็นทฤษฎีที่อธิบายถึงความสามารถใน การทำงานหรือกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ภายใต้ระบบการทำงานหนึ่งๆ โดยการทำงานของมนุษย์ จะมีความสัมพันธ์เกี่ยวกับความเร็ว (Speed) กับความถูกต้องหรือความแม่นยำ (Accuracy) เกิดขึ้น พร้อมกันเสมอ ซึ่งถ้าต้องการอย่างหนึ่งจะสูญเสียความสามารถในอีกด้านหนึ่งทันที เช่น งานที่ ต้องการความเร็วก็จะสูญเสียความถูกต้องหรือความแม่นยำในงานทันที เป็นต้น และจาก แนวความคิด Speed and Accuracy Tradeoff ก็สามารถอธิบายได้ทั้งงานที่อาศัยการเคลื่อนไหว ของร่างกาย (Physical workload) และงานที่อาศัยความคิดของมนุษย์ (Cognitive Workload) ด้วย

กิจกรรมหรืองานที่เกี่ยวข้องกับความคิดของมนุษย์ (Cognitive Workload) โดยสามารถ นำมาใช้ในการอธิบายงานที่ต้องอาศัยกระบวนการรับรู้ของมนุษย์ ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยใช้กฎของ Hick-Hyman หรือกฎของ Hyman Law โดยเป็นกฎที่มาจากนักจิตวิทยาชาวอังกฤษสองคน คือ William Edmund Hick และ Ray Hyman ซึ่งได้มีการอธิบายเวลาที่ใช้สำหรับการตัดสินใจของ มนุษย์ในการเลือกผลลัพธ์ที่เป็นไปได้จะขึ้นอยู่กับจำนวนของตัวเลือก และยังได้กล่าวเพิ่มเติมด้วยว่า เมื่อมีการเพิ่มจำนวนของตัวเลือก เวลาที่ใช้ในการตัดสินใจก็จะมีเพิ่มขึ้นในเชิงลอการิทึม กฎของ Hick-Hyman สามารถใช้ในการประเมินผลในด้านความสามารถในการเข้าถึงข้อมูลหรือการมีความรู้ ความเข้าใจในข้อมูลที่ได้รับกับการตอบสนองกับตัวเลือกของคำตอบได้ โดยจากกฎของ Hick-Hyman ยังได้นิยามเกี่ยวกับระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจำนวนหนึ่งบิดว่าอัตราการได้รับข้อมูล (Rate of Gain of Information) นั่นเอง

กฎของ Hick-Hyman ได้เริ่มต้นจาก Hick ได้ค้นพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการตัดสินใจหรือตอบสนอง (Reaction Time) กับจำนวนของตัวเลือก (Number of Choices) ซึ่งทั้งสองจะมีความสัมพันธ์กันในเชิงลอการิทึม และต่อมา Hyman ต้องการที่จะมีการความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ที่ Hick คิดค้นมากขึ้น Hyman จึงได้เริ่มทำการทดลองของเขา และจากการทดลองในครั้งนั้นทำให้ได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างเวลาของการตอบสนอง กับการเกิดปฏิกิริยาและข้อมูลที่ถูกส่งมา (Transmitted Information) โดยเป็นกฎที่ใช้ในการ ทำนายความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างเวลาของการตอบสนองกับการเกิดปฏิกิริยาและข้อมูลที่ถูกส่งมา (Transmitted Information) ดังนั้นกฎของ Hick-Hyman Law เกิดจากส่วนขยายของ Hyman และยังได้การยอมรับเท่ากับกฎของ Hick ซึ่งมีรูปแบบของสมการตามสมการที่ 2.1 (Seow, 2005) นั่นเอง

$$RT = a + bH_T \quad (2.1)$$

โดยที่  $RT$  คือ เวลาของการตอบสนอง มีหน่วยเป็น วินาที (s)

$H_T$  คือ ข้อมูลที่ถูกส่งมา มีหน่วยเป็น บิตต์ (bit)

$a$  คือ จุดตัดแกน

$b$  คือ ความชัน ซึ่ง Hick ได้เรียกว่าอัตราการได้รับข้อมูลหรือความจุข้อมูล (Information Capacity)

จากความสัมพันธ์กฎของ Hick Law จะมีลักษณะคล้ายกับรูปแบบที่เป็นไปตามกฎของ Fitts's Law แต่กฎของ Hick จะมีรูปแบบของความสัมพันธ์เป็นแบบลอการิทึม เพราะมนุษย์มีความสามารถในการแบ่งและการรวบรวมเก็บตัวเลือกเป็นหมวดหมู่ โดยจะลดลงประมาณครึ่งหนึ่งจากตัวเลือกที่เหลืออยู่ในแต่ละขั้นตอน และจะมีการพิจารณาทุกตัวเลือกหรือใช้เวลาในการตัดสินใจสำหรับทุกตัวเลือก ซึ่งต้องใช้เวลาในการทำให้ความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้น

การกระตุ้น (Stimulus)-การตอบสนอง (Response) (S-R) และการทำงานร่วมกัน (Compatibility) (SRC) หมายถึงระดับของการทำงานร่วมกันระหว่างการถูกกระตุ้นและวิธีการตอบสนองจากการถูกกระตุ้นนั้น การทำงานร่วมกันของ S-R จะช่วยในด้านการตอบสนองจากการถูกกระตุ้น ทำให้อัตราของการถ่ายโอนข้อมูลเพิ่มสูงขึ้นได้ และสำหรับคนที่ไม่สามารถทำได้จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานที่ดีในทันที ยกตัวอย่าง การประยุกต์ใช้ของการทดลองในระยะแรกที่มี

การใช้กับการควบคุมลูกบิดล้อของคันควบคุมล้อ และนอกจากนี้นักวิจัยหลายคนยังได้เสนอผลกระทบของ SRC ซึ่งมีผลโดยตรงกับความชันของกฎของ Hick-Hyman โดยเฉพาะการเพิ่มขึ้น SRC จะมีผลทำให้เกิดการลดลงของความชัน ณ จุด RT เมื่อ RT เป็นจำนวนของทางเลือก โดยสำหรับการทำงานส่วนใหญ่มักเป็นการทำงานที่มีการกระตุ้น และการตอบสนองอยู่ร่วมกัน เช่น การทำงานอยู่หน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะถูกระตุ้นจากงานที่เข้ามา และจะมีการตอบสนองเป็นการพิมพ์โต้ตอบ เป็นต้น โดยทั้งการกระตุ้นและการตอบสนองจะส่งผลกระทบต่อเวลาของการตอบสนองของตัวเลือกต่างๆ สำหรับกฎของ Hick-Hyman ซึ่งอาจจะหมายความว่า การตอบสนองจะคล้ายกับการกระตุ้นตัวเอง เช่น การหมุนพวงมาลัยเพื่อเปิดล้อของรถ การกระทำของผู้ขับขี่ที่สามารถแสดงให้เห็นซึ่งประสิทธิภาพ (Performance) ของการขับขี่ด้วยการตอบสนองของผู้ขับขี่จากเหตุการณ์ในครั้งนี้ เป็นต้น

## 2.2 การวัดสายตา

การวัดสายตา หรือ Visual Acuity (VA) หมายถึงความสามารถในการแยกความแตกต่างที่น้อยที่สุดระหว่างวัตถุสองชิ้นหรือโดยทั่วไปหมายถึงความคมชัดของสายตา ซึ่งการวัดสายตาก็คือการวัดระดับความสามารถในการมองเห็นได้นั่นเอง โดยทั่วไปการวัดสายตาจะมีสองระยะด้วยกันคือ ที่ระยะไกล (Distance VA) จะมีระยะห่างในการตรวจวัดอยู่ที่ระยะ 6 เมตร (หรือ 20 ฟุต) และระยะใกล้ (Near) คือที่ ระยะ 33 เซนติเมตร (หรือ 14 นิ้ว) การทดสอบสามารถทำได้ หลายวิธี แต่วิธีที่เป็นมาตรฐานและใช้กันแพร่หลายคือ “Snellen Visual Acuity” โดยใช้แผ่นทดสอบที่เรียกว่า Snellen Chart (รูปที่ 2.6) ซึ่งเป็นแผ่นที่มีพื้นขาวและมีแสงไฟส่องมาจากด้านหลังเพื่อให้มีความคมชัดที่สุด โดยมีตัวเลขหรือตัวอักษรเป็นตัวทดสอบ (Optotypes) ตัวทดสอบสายตาแบบอื่น อาจเป็นตัวอักษร “E” สำหรับผู้ที่ไม่รู้หนังสือหรือในเด็กเล็กก่อนวัยเรียน ซึ่งจะมีการปิดตาทีละข้างสำหรับการทดสอบ จากนั้นใช้ตาข้างที่เปิดอ่านตัวเลขหรือตัวหนังสือจากบนลงล่าง หากอ่านได้ค่า 20/20 จะหมายความว่า ผู้เข้าการวัดสายตาสามารถมองเห็นได้ในระยะที่คนปกติสามารถมองเห็นได้ที่ระยะ 20 ฟุต หรือ 6 เมตร หรือหมายถึงระดับความสามารถที่คนปกติสามารถอ่านตัวเลขหรือตัวอักษรจากมาตรฐานของ Snellen Chart ได้ครบทุกตัว เมื่ออยู่ห่างจากแผ่นชาร์ตที่ระยะ 20 ฟุต หรือ 6 เมตรนั่นเอง โดยตัวเลขนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามความสามารถในการมองเห็นของแต่ละคน ยิ่ง



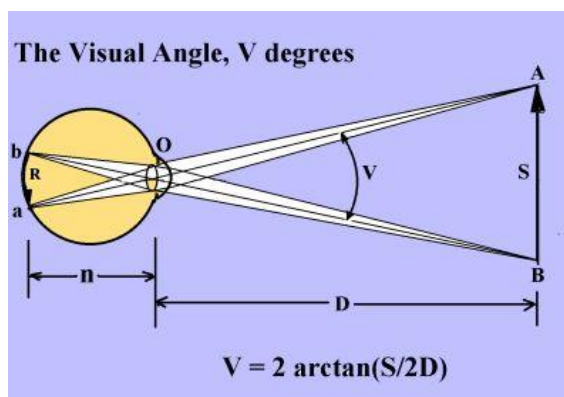
ตัวเลขมีจำนวนมากเท่าไร แสดงว่าระดับความสามารถในการมองเห็นยิ่งไม่ดีเท่านี้ด้วยเช่นกัน (นภาพร ตนานุวัฒน์, 2551: ออนไลน์)

E	1	20/200
F P	2	20/100
T O Z	3	20/70
L P E D	4	20/50
P E C F D	5	20/40
E D F C Z P	6	20/30
F E L O P Z D	7	20/25
D E F F O T E C	8	20/20

ภาพที่ 2.6 Snellen Chart

### 2.3 มุมการมองเห็น (Visual Angle)

มุมการมอง (Visual Angle) ของมนุษย์จะเป็นมุมที่เกิดจากเส้นสมมติสองเส้นตัดกันที่จุด Nodal ซึ่งอยู่หลังกระจกตา 7 มิลลิเมตร และอยู่หน้าจอรับภาพประมาณ 15 มิลลิเมตร (นภาพร ตนานุวัฒน์, 2551: ออนไลน์) โดยมีหน่วยเป็น Minute of Arc (MOA) (1 MOA เท่ากับ 1/60 องศา) ซึ่งมุมที่เกิดขึ้นนี้มีความสัมพันธ์กับความสูงของวัตถุ กับระยะห่างของวัตถุที่ห่างจากตา ตามรูป 2.7 และมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.2 ด้วย



ภาพที่ 2.7 มุมการมองที่มีความสัมพันธ์กับความสูงของวัตถุกับระยะห่างของวัตถุที่ห่างจากตา

(Wikipedia, 2013)

$$V = \arctan\left(\frac{S}{2D}\right) \quad (2.2)$$

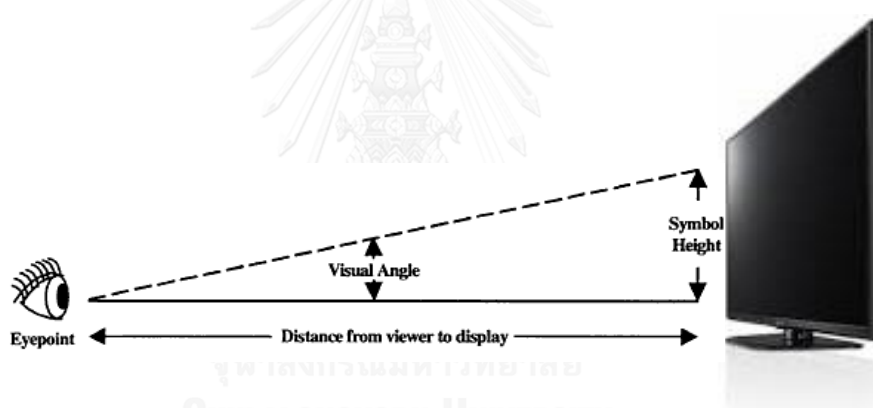
เมื่อ  $V$  คือ มุมการมอง (Visual Angle) (องศา)

$S$  คือ ความสูงของวัตถุ

$D$  คือ ระยะห่างของวัตถุที่ห่างจากตา

จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.2 Visual Angle ของมนุษย์ยังได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการกำหนดความสูงของอักขระที่ระยะห่างการมองเห็นๆ สำหรับใช้ในการแสดงผลบนจอแสดงผล แต่มักจะกำหนดเป็นค่าของ Visual Angle ซึ่งมีหน่วยเป็น Minute of Arc (MOA) ทั้งนี้เพื่อใช้ในการบอกรายละเอียดในด้านต่างๆ ได้มากขึ้นในภายหลัง ก็เป็นเพราะ Visual Angle ได้มีความสัมพันธ์กับขนาดความสูงของอักขระและระยะห่างการมอง ดังภาพที่ 2.8 นั้นเอง โดยตาของมนุษย์จะสามารถแยกความละเอียดต่ำสุดได้ 1 MOA และเนื่องจากคุณภาพของตัวอักษรที่แสดงอยู่บนจอแสดงผล เป็นหนึ่งตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการอ่านยากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การอ่านจากบนกระดาษ จากงานวิจัยของ Jorna and Snyder, 1991 และงานวิจัยของ Dillon, 1992 ได้เป็นตัวอย่างที่ดีสำหรับการแสดงความเห็นเกี่ยวกับการอ่านจาก VDT ที่ต่างจากกระดาษ นอกจากปัญหาทางด้วยคุณภาพของตัวหนังสือแล้ว ยังมีปัจจัยด้านอื่นอีก เช่น ความเร็ว ความแม่นยำ ความล่า ความเข้าใจ เป็นต้น และขนาดตัวอักษรก็ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในเวลาต่อมาเช่นกัน ยกตัวอย่างงานวิจัยของ Henning and Ye (1996) ได้ทำการสำรวจเกี่ยวกับผลกระทบทางด้านปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างจากหน้าจอ (Screen Distances) ที่ระยะ 600 มิลลิเมตร และ 900 มิลลิเมตร ความสูงของอักขระควรมี Visual Angle อยู่ที่ 16, 20 และ 30 MOA โดยมีตัวชี้วัดเป็นประสิทธิภาพในการมองเห็นและความพึงพอใจในการตั้งค่าของตัวอักษร โดยจากผู้เข้าร่วมงานวิจัย 30 คน ในกลุ่มอายุที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งผลการวิจัยได้ว่า ผู้เข้าร่วมวิจัยยังคงมีประสิทธิภาพในการมองเห็นที่ดีเมื่อความสูงของอักขระเปลี่ยนจาก Visual Angle ที่ 16 MOA ไป 20 MOA สำหรับระยะห่างจากหน้าจอที่ 600 มิลลิเมตร และทั้งนี้สำหรับระยะห่างจากหน้าจอเป็น 900 มิลลิเมตร ก็ยังคงมีประสิทธิภาพในการมองเห็นที่ดีเมื่อความสูงของอักขระเปลี่ยนไปจาก Visual Angle ที่ 20 MOA ไป 16 MOA ส่วนเรื่องทั่วไปที่ผู้เข้าร่วมวิจัยต้องการ คือ ต้องการระยะห่างจากหน้าจอมากกว่า 600

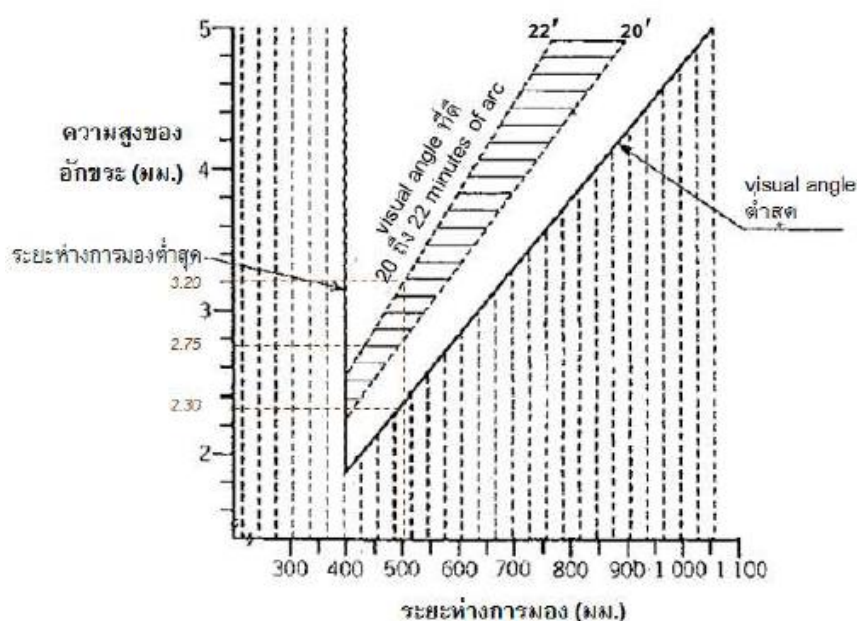
มิลลิเมตร ความสูงของอักขระควรมี Visual Angle อยู่ที่ 20 MOA และนอกจากนี้ภายในงานวิจัยนี้ ยังได้มีการรวบรวมงานวิจัยอื่นๆ ไว้พอสังเขปว่า ขนาดตัวอักษรจากผลการศึกษาวิจัยมักจะมาจากการศึกษาเชิงประจักษ์ และผลการทดลองจากงานวิจัยอื่นๆ เช่น Helander et al., 1984 ได้แนะนำความสูงของอักขระต่ำสุดควรมี Visual Angle อยู่ที่ 16-18 MOA หรือ Jaschinski-Kruza, 1988 เปิดเผยว่าเมื่อระยะทางหน้าจอเปลี่ยนจาก 500 มิลลิเมตร ถึง 750 มิลลิเมตร การเปลี่ยนความสูงของอักขระจาก Visual Angle ที่ 34 ไปถึง 23 MOA ตามลำดับ จะทำให้มีประสิทธิภาพการทำงานต่ำลง และจากงานวิจัยของ Helander and Rupp, 1984 มีการแนะนำความสูงของอักขระต่ำสุดควรมี Visual Angle อยู่ที่ 18 MOA ซึ่งผลการวิจัยที่กล่าวมาในขั้นต้นได้รับการอ้างอิงใน Henning and Ye, 1996 และได้ผลจากการศึกษาเชิงประจักษ์ที่มักจะได้จากการใช้ตัวชี้วัดเป็นความสบายตา ความพึงพอใจจากการทดสอบ โดยผ่านการใช้แบบสอบถามหลังการทดสอบ



ภาพที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างการมองและความสูงของอักขระที่ Visual Angle หนึ่งๆ (ATIS, 1998)

และในขณะที่เดียวกันความสูงของอักขระก็ได้มีการแนะนำไว้ในมาตรฐานต่างๆ ด้วย ซึ่งยกตัวอย่างดังเช่นภายในตารางที่ 2.1 ซึ่งจากมาตรฐานต่างๆ และจากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยส่วนใหญ่จะมีการแนะนำความสูงของอักขระควรมี Visual Angle ในช่วง 16-24 MOA และจาก ISO9241, 1998 ยังได้มีการกล่าวไว้ว่าความสูงของอักขระสามารถใช้ไม่บรรทัดวัดที่จอแสดงผลได้โดยตรงอีกด้วย นอกจากนี้จากภาพที่ 2.9 โดยได้แสดงถึง Visual Angle ที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างระยะห่างการมองและความสูงของอักขระ ซึ่งจากภาพดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าในระดับของ Visual

Angle (MOA) เดียวกัน เมื่อระยะทางการมองที่มากขึ้น ความสูงของอักขระก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเมื่อขนาดของ Visual Angle เพิ่มขึ้น ความสูงของอักขระก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน โดยจากงานวิจัยของ Tan et al., 2003 ในการสรุปผลการทดลองที่ 1 ได้มีการสรุปว่า การที่ระยะทางไกลขึ้นแล้วตัวอักษรที่ใหญ่ขึ้นจะไม่ส่งผลต่อความเข้าใจในการอ่าน (Reading Comprehension) ซึ่งผลจากการวิจัยดังกล่าวจะได้มาจากการทดสอบในด้านของความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมวิจัย



ภาพที่ 2.9 แสดงขนาดตัวอักษร (MOA) ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการมองและความสูงของอักขระ (ISO9241, 1998)

ตารางที่ 2.1 แสดงความสูงของอักขระที่ Visual Angle ต่างๆ ที่ได้มีการแนะนำไว้ภายในมาตรฐาน

มาตรฐาน	คำแนะนำความสูงของอักขระบนจอแสดงผล
Mil-Std 1472, 1983 (อ้างอิงจาก Henning and Ye, 1996)	20 MOA ชั้นต่ำสำหรับสัญลักษณ์รูปร่างรหัสที่ซับซ้อน
	สำหรับตัวหนังสือที่ต้องการความชัดเจนเป็นสิ่งสำคัญ 18 MOA เป็นชั้นต่ำสำหรับตัวอักษรตัวพิมพ์เล็ก และ 15 MOA ชั้นต่ำสำหรับตัวพิมพ์ใหญ่
	สำหรับตัวหนังสือที่ต้องการการอ่านง่ายเป็นสิ่งสำคัญ 16 MOA เป็นชั้นต่ำสำหรับตัวอักษรตัวพิมพ์เล็ก และ 14 MOA ชั้นต่ำสำหรับตัวพิมพ์ใหญ่
	สำหรับตัวหนังสือที่ไม่สำคัญและเป็นคำแนะนำปกติ 12 MOA เป็นชั้นต่ำสำหรับตัวอักษรตัวพิมพ์เล็ก และ 10 MOA ชั้นต่ำสำหรับตัวพิมพ์ใหญ่
ANSI/HFS, 1988 (อ้างอิงจาก Henning and Ye, 1996)	ต่ำสุด 16-18 MOA , ถูกแนะนำว่าเหมาะสมหรือดี 20-22 MOA , มากที่สุด 24 MOA
Human Factors Design Guidelines for Advanced Traveler Information Systems (ATIS) and Commercial Vehicle Operations (CVO), 1998	สำหรับหัวเรื่อง ถูกแนะนำไว้ที่ 50 MOA
	สัญลักษณ์ที่ควรจะมี Visual Angle อย่างน้อย 20 MOA โดยมักใช้เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของการแสดงผลแบบไดนามิก หรือสัญลักษณ์ที่สำคัญ
	ลักษณะอ่านง่ายจะมีขนาดความสูงของตัวอักษรลดลง ซึ่งไม่ควรน้อยกว่า 18 MOA
	นักร้องแบบควรหลีกเลี่ยงการใช้สัญลักษณ์ที่ขนาดน้อยกว่า 16 MOA
ISO9241, 1998	20-22 MOA ถูกแนะนำว่าเหมาะสมหรือดี

## 2.4 Visual Display Terminals (VDT)

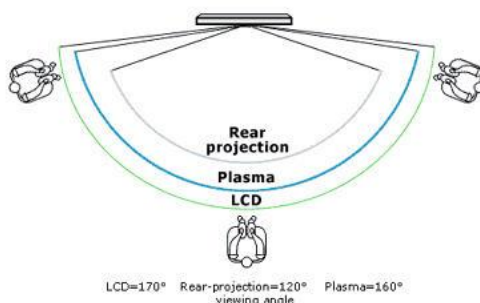
Visual Display Terminals (VDT) หรือจอคอมพิวเตอร์ หรือที่เรารู้จักในชื่ออื่นด้วยเช่น จอภาพ, จอคอม, จอมอนิเตอร์, มอนิเตอร์, จอแสดงผล, จอภาพแสดงผล, จอภาพแสดงผล คอมพิวเตอร์ เป็นต้น โดยจอแสดงผลจะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์แสดงผลลัพธ์ (Output Device) ของระบบคอมพิวเตอร์หรือจากการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ ซึ่งผลลัพธ์ที่แสดงออกมาจะมีทั้งข้อมูล ตัวอักษร, ตัวเลข, กราฟ, ภาพนิ่ง, ภาพเคลื่อนไหว เป็นต้น เทคโนโลยีของจอแสดงผลจากอดีตจนถึงปัจจุบันก็ได้มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นด้วย อันเนื่องมาจากนวัตกรรมของเทคโนโลยีการแสดงผล โดยความต้องการที่จะมีการปรับปรุงคุณภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ในการแสดงผลรวมทั้งจอแสดงผลอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะมีการพัฒนาเริ่มตั้งแต่จอแสดงผลที่ล้ำสมัยที่สุด คือ จอแสดงผลแบบ CRT (Cathode Ray Tube) มาจนถึงจอแสดงผลที่มีความหนาแบบบางเฉียบที่ได้รับความนิยม ได้แก่ จอแสดงผลแบบ LCD และจอแสดงผลแบบ LED เป็นต้น

จอ CRT (Cathode Ray Tube) เป็นจอคอมพิวเตอร์แบบเก่า ซึ่งในปัจจุบันได้มีการลดความนิยมลงไปแล้ว และกำลังจะหายไปจากตลาดการซื้อขายด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงทำให้ผู้ผลิตส่วนใหญ่ได้มีการปิดสายการผลิตโทรทัศน์และจอคอมพิวเตอร์แบบ CRT ไปเกือบหมดแล้วด้วยเช่นกัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556: ออนไลน์) ด้วยกระบวนการที่ทำให้เกิดภาพของจอ CRT ที่ต้องใช้ Cathode Ray Tube จึงเป็นเหตุผลให้จอ CRT จะต้องเป็นจอที่มีขนาดใหญ่ หลังตุง หนัก ใช้พื้นที่มาก และยังมีอัตราการกินไฟที่สูงอีกด้วย แต่จอประเภทนี้กลับมีมุมมองกว้าง และเนื่องจากจอประเภทนี้ไม่สามารถที่จะทำให้ขนาดของจอภาพบางลงได้มากไปกว่านี้อีกแล้ว ดังนั้นจึงทำให้จอ CRT ไม่ได้รับพัฒนาต่อไป และเอมความนิยมลงไปที่สุดในที่สุดจึงทำให้เทคโนโลยีจากจอแบบบางเฉียบเข้ามาแทนที่ได้นั่นเอง เทคโนโลยีแรกๆ ของจอแบบบางเฉียบและได้รับความนิยมกันมาก คือ จอแบบ LCD (Liquid Crystal Display) ด้วยการสร้างภาพจากหลอดไฟ CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp) ขนาดประมาณหลอดกาแฟ วางเรียงตัวกันในแนวนอนของหน้าจอ เพื่อให้กำเนิดแสงสว่างที่จะไปกระทบกับผลึกคริสตัลชนิดกึ่งแข็งกึ่งเหลวคอยปิดตัวอยู่ในหน้าจอ เพื่อให้แสงสว่างจากด้านหลังสีขาวและส่องผ่านไปยังแผ่นฟิล์มที่มีแม่สี 3 สีคือ แดง เขียว น้ำเงิน (RGB) อีกที ก็จะแสดงออกมาเป็นสีอื่นต่างๆ เป็นภาพที่เราเห็นกับบนหน้าจอ (ชมชุง, 2556: ออนไลน์) จากเทคโนโลยีที่ทำให้เกิดภาพของจอ LCD จึงทำให้จอประเภทนี้สามารถมีขนาดบางลงได้ ประหยัดเนื้อที่ และอัตราการกินไฟก็ต่ำกว่าจอ CRT มาก แต่จะมี Viewing Angle ค่อนข้างจำกัด และในปัจจุบันจอแบบบางเฉียบอีก

ประเภทที่กำลังได้รับความนิยมและได้มีการเลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือ จอ LED (Light Emitting Diode) ซึ่งจอแสดงผลประเภทนี้ก็คือจอ LCD ที่เปลี่ยนจากหลอด CCFL เป็นหลอด LED ขนาดเล็กเรียงต่อกัน (Park and Cha, 2010) หรือมีการใช้เทคโนโลยีการส่องสว่างจากด้านหลังจอที่มีความแตกต่างกัน จึงทำให้ทั้งสองมีความแตกต่างกันนั่นเอง โดยจอแสดงผลที่มีการใช้หลอดไฟแอลอีดีขนาดเล็กมาใช้ในการส่องสว่างจากด้านหลังจอ หลอดไฟประเภทนี้มีขนาดเล็กแต่ภายในหนึ่งหลอดสามารถเปล่งแสงสีได้มากมายตามการผสมสีของแม่สีทั้งสาม ด้วยคุณสมบัติพิเศษของหลอดไฟแอลอีดีจึงทำให้จอแสดงผลประเภทนี้กินไฟน้อย แต่กลับให้สีที่ชัดเจน มีความสว่างสูง ให้สีดำที่ดำสนิท มีอัตราการตอบสนองรวดเร็ว และมีอายุการใช้งานที่นานกว่าจอ LCD ด้วย และในปี 2556 ก็แทบจะไม่มีจอ LCD ที่ใช้หลอด CCFL ช่วยในการส่องสว่างแล้ว ดังนั้นจอ LED จึงเข้ามามีบทบาทที่มากขึ้น เพราะต้นทุนการผลิตจอแสดงผลได้ถูกลงกว่าเดิมมาก และยังมีราคาที่ทำให้เลือกตามความต้องการ ซึ่งก็ตามกำลังการซื้อของผู้ซื้อเองอีกด้วย (Santa Clara, 2012: online) และนอกจากนี้จอแสดงผลประเภทนี้ยังมี Viewing Angle บนจอภาพได้เกือบ 180 องศาอีกด้วย

มุมมองสำหรับการรับรู้ข้อมูล ควรเป็นมุมที่มากที่สุดที่มีการหันเหออกจากหน้าจอออกไปแล้วยังสามารถมองเห็นได้ โดยภาพที่ปรากฏยังไม่ลดคุณภาพ เช่น สีเพี้ยน เป็นต้น และนั่นก็หมายความว่าสมรรถนะการรับรู้ข้อมูลบนจอ LED ด้วยการมองเห็นก็จะถูกจำกัดด้วย Viewing Angle ของจอภาพเองด้วย โดยจอแสดงผลทั้งสองแบบ ได้มีปัญหาในเรื่องของการมี Viewing Angle ที่จำกัด ทั้งนี้ก็เป็นผลอันเนื่องมาจากการใช้เทคโนโลยีในการแสดงผลแบบกระจายแสงหรือส่องผ่านแสง โดยการผสมแสงที่ฉายผ่านหน้าจอ เมื่อแสงถูกส่องผ่านไปยังเซลล์ที่ต้องการแล้ว แสงที่อยู่ในเซลล์ข้างเคียงก็就会被ลดทอนลง แต่สำหรับจอ CRT เป็นการปล่อยแสง โดยมีอุปกรณ์ปล่อยแสงทางด้านหน้าของจอภาพทำให้สามารถมองเห็นหน้าจอได้จาก Viewing Angle ที่กว้างกว่าจอทั้งสองแบบ (ชุดิมา สุวานิชย์, 2549: ออนไลน์) และจากการที่กล่าวมาแล้วถึงแม้จอ LED จะได้มีการพัฒนาเพื่อให้มี Viewing Angle ที่กว้างขึ้นแล้ว แต่ในการใช้งานจริงจอประเภทนี้ก็ยังคงมีมุมที่จำกัดอยู่นั่นเอง และนอกจากสมรรถนะการรับรู้ข้อมูลบนจอด้วยการมองเห็นจะถูกจำกัดด้วย Viewing Angle ของจอภาพเองแล้วยังถูกจำกัดด้วยสมรรถนะการมองเห็นของมนุษย์อีกด้วยเช่นกัน (อวัชชานนท์ ลิขิตภากุล, 2548: 161) ซึ่งจะถูกจำกัดด้วยลานสายตา (Visual Field) ของมนุษย์นั่นเอง ซึ่งลานสายตา (Visual Field) คือ ขอบเขตของการมองเห็นในขณะที่มนุษย์มีการมองตรง (ปัฐมา วงศ์วัฒน์เดช, 2555: ออนไลน์)

แต่ในการความเป็นจริงแล้วข้อมูลที่ปรากฏบนจอภาพไม่ได้อยู่ในแนวตรงเสมอไป ดังนั้นขอบเขตของลานสายตาตัวเองจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งเช่นเดียวกัน



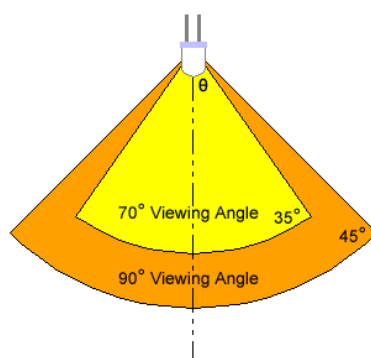
ภาพที่ 2.10 องศาของ Viewing Angle ในจอแสดงผลประเภทต่างๆ  
(เอวี ดิจิตอล เซ็นเตอร์, 2557: ออนไลน์)

Viewing Angle ของจอแสดงผลแบบ LED ที่ได้มีการแสดงไว้ด้วยค่าต่างๆ นั้นจะมีการกำหนดขึ้นจากผู้ผลิตจอแสดงผลเอง ซึ่งค่าดังกล่าว ก็คือ Viewing Angle รวมที่ได้จากการนำหลอดไฟแอลอีดีขนาดเล็กมาเรียงต่อกันเป็นส่วนของความส่องสว่างจากด้านหลัง ดังนั้นขนาดของมุมนี้ จึงเป็นคุณสมบัติของหลอดไฟแอลอีดีด้วยนั่นเอง จากรูปที่ 2.11 แสดง Viewing Angle ของหลอด LED จำนวน 1 หลอด ส่วนของสีเหลืองแสดงให้เห็นถึง Viewing Angle ที่ 70 องศา หรือ  $\pm 35$  องศา (ค่าบวกและลบแสดงถึงทิศทางเมื่อมีการทำมุมซ้ายและขวาจากแนวสายตาที่อยู่ในแนวตั้งฉากกับจอแสดงผลหรืออยู่ในแนวพุ่งเข้ากึ่งกลางของหลอดแอลอีดี) และสำหรับส่วนที่เป็นสีส้ม จะแสดงให้เห็นถึง Viewing Angle ที่ 90 องศา หรือ  $\pm 45$  องศา ดังนั้นจากรูปดังกล่าวจึงสามารถสรุปได้ว่า Viewing Angle ก็คือมุมที่กำหนดมาจากความเข้มการส่องสว่าง (Luminous Intensity) ของหลอดแอลอีดีจำนวน 1 หลอด โดยบริเวณกึ่งกลางของหลอดไฟจะมีความเข้มการส่องสว่างสูงสุด และ ขอบเขตของมุมก็คือมุมที่เป็นสองเท่าขององศาจากแนวตั้งฉากที่ความเข้มส่องสว่างลดลงไปครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุดหรือบริเวณกึ่งกลางนั่นเอง แสดงไว้ดังภาพที่ 2.12 หรืออาจจะกล่าวได้ว่า เมื่อมีการมองเป็นมุมที่มากขึ้นจะทำให้เห็นว่ามีแสงสว่างลดลงหรือมืดลงนั่นเอง

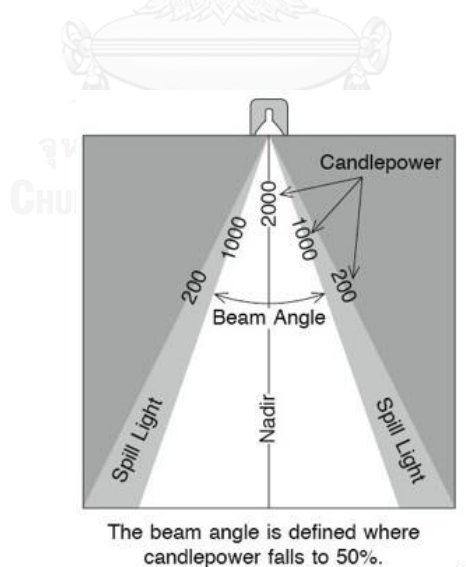
Viewing Angle เป็นหนึ่งในเงื่อนไขที่มักทำให้เกิดความสับสนมากที่สุดเกี่ยวกับการอ่านข้อมูลบนจอแสดงผล เนื่องจากคนส่วนใหญ่มักคิดว่าเป็นมุมที่ยังคงสามารถดูข้อมูลที่แสดงอยู่บนจอแสดงผลได้อยู่ แต่ในความเป็นจริงแล้ว Viewing Angle ที่มีการกำหนดขึ้นมานี้จะเกี่ยวข้องกับแสงสว่าง ซึ่งเป็นคุณสมบัติของหลอดไฟ LED เอง โดยผู้ผลิตมักจะมีการกำหนดมุมของ



Viewing Angle เป็นลักษณะมุมที่มากที่สุดที่มีค่าความส่องสว่างลดเป็นครึ่งหนึ่งจากจุดกึ่งกลางของหลอดไฟนั่นเอง โดยสำหรับการมองที่เกินกว่า Viewing Angle จะยังคงมีความสว่างมากพอที่ยังจะมองเห็นได้ แต่ความสว่างของจอจะลดลงหรือมีดลง ดังนั้นจึงไม่ได้หมายความว่าจะสามารถอ่านตัวอักษรหรือรับทราบรายละเอียดที่ครบถ้วนนั้นได้จริง ซึ่งค่านี้ได้จากการประมาณขึ้นเท่านั้น โดยสำหรับมุมเอียงที่สามารถอ่านได้นั้นควรจะเป็นมุมเอียงที่คนทั่วไปหรือคนส่วนใหญ่สามารถอ่านหรือทราบละเอียดข้อมูลบนจอแสดงผลนั้นได้

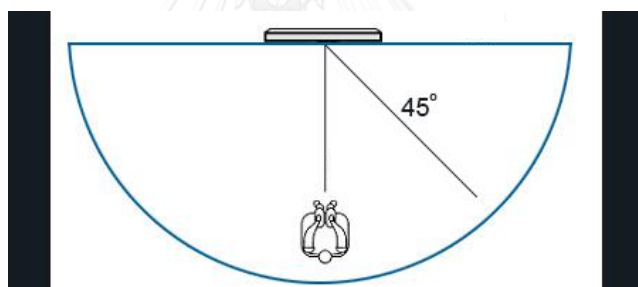


ภาพที่ 2.11 Viewing Angle หลอดไฟ LED จำนวน 1 หลอด



ภาพที่ 2.12 การกำหนด Viewing Angle โดยใช้ลำแสงของความเข้มส่องสว่างที่ลดลง 50% หรือครึ่งหนึ่งจากความเข้มส่องสว่างสูงสุดที่จุดกึ่งกลาง

จากคุณสมบัติเฉพาะของหลอดไฟแอลอีดีจำนวน 1 หลอดจากที่กล่าวมาแล้วในขั้นต้น และเมื่อนำหลอดไฟขนาดเล็กมาเรียงต่อกันจนมีเป็นแผงสำหรับการส่องสว่างจากด้านหลังให้กับจอ LED จึงทำให้จอประเภทนี้มีคุณสมบัติประการนี้ตามไปด้วยนั่นเอง และด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผู้ผลิตจะต้องมีการระบุถึงองศาการมอง (Viewable Angle) ไว้ด้วย โดยผู้ผลิตจะมีการระบุ Viewing Angle ซึ่งจะแสดงเป็นตัวเลข เช่น 160/160 จะหมายถึง ที่มุม  $\pm 80$  องศา หรือมุม 80 องศาไปทางซ้ายและทางขวาจากแนวสายตาที่มีการตั้งฉากกับจอแสดงผล ถึงจะมีความเข้มการส่องสว่างลดลงจากจุดกึ่งกลางของหน้าจอ โดยทั้งนี้ Viewing Angle ก็จะมีการกำหนดทั้งสองแนวคือ ทั้งด้านข้าง (แนวนอน) และด้านบนหรือล่าง (แนวตั้ง) แต่ในงานวิจัยนี้จะมีการศึกษาเพียงมุมในแนวนอนเท่านั้น นอกจากนี้สำหรับตัวเลข Viewing Angle ที่ใกล้ 180 องศา ก็จะหมายความว่าจอแสดงผลนั้นมีความเข้มการส่องสว่างไม่ต่างจากจุดกึ่งกลางของจอแสดงผลเลย ซึ่งก็ไม่ได้แสดงให้เห็นว่าจะสามารถเข้าถึงข้อมูลหรือรายละเอียดของข้อมูล เช่น การอ่านข้อมูล ที่ปรากฏบนจอแสดงผลได้



ภาพที่ 2.13 มุมเอียง (Oblique Angle) ที่ 45 องศา

จาก Morrissey, 1989: 337 ได้กล่าวถึง แนวสายตาคารมมองที่ทำมุมตั้งฉากกับกึ่งกลางหน้าจอแสดงผล ทั้งนี้จึงทำให้เกิดเป็นการแบ่งครึ่งของ Viewing Angle ได้พอดีนั่นเอง และในขณะเดียวกันเมื่อแนวสายตาคารมมองไม่อยู่ในระดับสมดุหรือไม่ขนานกับระนาบอ้างอิงใดเลย เอียงไปด้านใดด้านหนึ่งซึ่งเข้าหาเส้นตั้งฉาก ก็จะทำให้เกิดมุมเอียงเกิดขึ้น ดังเช่น มุมเอียงที่ 45 องศา ดังภาพที่ 2.13 จากมาตรฐานของ American National Standard Institute (ANSI), 1988 อ้างอิงจาก Morrissey, 1989: 337 ได้ให้คำแนะนำไว้ว่า Viewing Angle ของจอแสดงผลภายในสถานีการทำงานไม่ควรเกิน  $\pm 45$  องศา เพื่อยังคงประสิทธิภาพในการอ่านข้อความได้อยู่นั่นเอง

องศาของการเอียงหน้าจอแสดงผลในแนวนอนที่จะนำมาทดสอบในงานวิจัยนี้ จะเป็นมุมที่วัดจากซ้ายและขวาจากแนวสายตาตั้งฉาก และจะเป็นมุมที่เกิดจากมุมหน้าจอแสดงผล เพื่อความสะดวกในการทดสอบหรือวิจัย และเนื่องจากในสถานการณ์จริงจำนวนมากไม่สามารถทำตามได้ ยกตัวอย่างการยืนหรือนั่งในห้องประชุมและห้องเรียน ซึ่งทั้งนี้แนวสายตาของผู้รับสารต่างๆ ก็จะพุ่งเข้าสู่เส้นตั้งฉาก ดังนั้นผู้รับสารที่ไม่ได้อยู่จุดกึ่งกลางของจอ จึงมีการรับรู้ข้อมูลบนจอในลักษณะของมุมเอียงด้วย เพราะฉะนั้นจึงเป็นไปได้ว่าผู้รับสารบางคนอาจจะอยู่เกินกว่าตำแหน่งที่  $\pm 45$  องศา (ANSI, 1988) ก็เป็นไปได้ และจากงานวิจัยของ Weinger, Wiklund, and Bonneau, 2011 ได้กล่าวถึงการมองที่เป็นไปได้ในมุมเอียงที่มากกว่า 57.1 องศา ซึ่งเป็นการรับรู้รายงานจากการอ่านจอแสดงผลของอุปกรณ์ทางการแพทย์ โดยเป็นผลของมุมขนาดใหญ่จากตำแหน่งของจอแสดงผลที่ติดตั้งจากตำแหน่งสูง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้งานวิจัยนี้สนใจศึกษามุมเอียงที่มีการเพิ่มเติมนอกเหนือจากที่มาตรฐานได้กำหนดไว้ โดยมีจุดประสงค์ของการทำเกินจากคำแนะนำก็เพื่อต้องการทราบว่าเมื่อมุมเอียงของหน้าจอมากขึ้น การรับรู้ข้อมูลบนจอแสดงผลจะเป็นเช่นไรต่อไป

จอแสดงผลที่ใช้ในการวิจัยนี้จะมี Viewing Angle ที่มีการระบุโดยผู้ผลิตเท่ากับ 176/176 องศา ดังนั้นองศาในการมองที่กว้างที่สุดของจอแสดงผลนี้จะอยู่ที่ 176 องศาหรือ  $\pm 88$  องศา ทั้งในแนวตั้งและแนวนอนนั่นเอง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะได้มีการกำหนดระยะห่างการมอง ก็คือระยะจากจุดกึ่งกลางจาก Target มาถึงตา (ISO9241, 1998) ดังนั้นจึงทำให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะมีแนวสายตาทำมุมตั้งฉากกับกึ่งกลางหน้าจอแสดงผลอยู่เสมอเช่นกัน จึงส่งผลทำให้จะมีหน้าจอแสดงผลเท่านั้นที่จะมีการเอียงทำมุมไปได้ ซึ่งจากภาพที่ 2.13 โดยภายในภาพจะเห็นว่าหน้าจอแสดงผลจะอยู่กับที่และคนยืนก็อยู่ที่ตำแหน่งขององศาต่างๆ ซึ่งการทำการวิจัยในลักษณะนี้จะต้องมีใช้พื้นที่ในการทดลองค่อนข้างมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้สำหรับแนวที่ตาทำมุมตั้งฉากกับกึ่งกลางหน้าจอแสดงผล จะกำหนดให้หน้าจอแสดงผลอยู่ที่มุม 0 องศาพอดี ซึ่งมุมเอียงของจอแสดงผลจะเป็นมุมที่มีการวัดเทียบจากองศาที่ 0 ของจอแสดงผล ซึ่งก็จะมีมุมเอียงที่เหมือนกันนั่นเอง

และเนื่องจากการพัฒนาในด้านการออกแบบโครงสร้างของจอ LED เพื่อให้สามารถป้องกันน้ำ หน่อแสงแดด จึงทำให้จอแสดงผลประเภทนี้สามารถที่มีการติดตั้งภายนอกอาคาร ได้ในที่สุด และจากการควบคุมคุณภาพของภาพหรือผลลัพธ์ที่จะมีการแสดงบนหน้าจодด้วย Computer จึงส่งผลทำให้จอแสดงผลทั้งสองแบบ คือทั้งแบบติดตั้งภายนอกอาคาร และแบบติดตั้งภายในอาคารจนกระทั่งเรานำจอประเภทนี้มาใช้ประโยชน์ในด้านการเป็น Information Display หรือจอแสดงผลที่

แสดงข้อมูลสารสนเทศนั้น จะมีหน้าที่ในการแสดงข้อมูล ข่าวสาร, ความรู้ ทั้งที่อยู่ในรูปแบบของรูปภาพ หรือข้อความ ยกตัวอย่างเช่น ใช้ในด้านการโฆษณา การประชาสัมพันธ์ การเผยแพร่ข่าวสาร ข้อมูลความรู้ต่าง ๆ หรือข้อความหมายเหตุที่บอกถึงอันตราย การใช้ในงานด้านการจราจร เป็นต้น โดยทั้งหมดจะเกี่ยวข้องกับสมรรถนะการรับรู้ข้อมูลบนหน้าจอแสดงผลแทบทั้งสิ้น

สำหรับในงานวิจัยนี้จะมีการใช้จอแสดงผลแบบ LED ที่เป็นแบบติดตั้งภายในอาคาร ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับระยะห่างการมอง (Viewing Distance) จากจอแสดงผล คือ ระยะจากจุดกึ่งกลางจาก Target มาถึงตา ซึ่งก็จะเป็นระยะการวางหรือระยะห่างระหว่างจอแสดงผลกับผู้รับสารนั่นเอง (ISO9241, 1998) และจากตารางที่ 2.2 เป็นคำแนะนำของผู้ผลิตจอ LED เกี่ยวกับระยะห่างการมองใกล้สุดที่เหมาะสมในการรับชมจอแสดงผลแบบ LED ขนาดประมาณ 40-60 นิ้ว จะมีระยะห่างใกล้สุดที่เหมาะสมกับการรับชมอยู่ที่ประมาณ 2 เมตร (ซัมซุง, 2556: ออนไลน์) และสำหรับจอแสดงผลแบบ LED ที่มีการติดตั้งภายในอาคาร เช่น สำหรับการประกอบบรรยายในการเรียนการสอน จากตารางที่ 2.3 ซึ่งเป็นมาตรฐานห้องบรรยายของกระทรวงศึกษาธิการ ที่มีการประกาศในราชกิจจานุเบกษา, 2556: 19 สำหรับห้องบรรยายที่มีความจุคนตั้งแต่ 25-300 คน และถ้าคิดขนาดของห้อง โดยให้ห้องเหล่านี้เป็นห้องที่มีลักษณะสี่เหลี่ยมจัตุรัส ดังนั้นความยาวและความกว้างจะมีขนาดประมาณ 6-16 เมตร ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ต้องการทดสอบการรับรู้หรือการเข้าถึงข้อมูลในลักษณะของการมองระยะใกล้ด้วย เพื่อต้องการทราบถึงแนวโน้มของผลกระทบที่เกิดขึ้น และเนื่องจากได้มีข้อจำกัดของพื้นที่ห้องที่ใช้ในการทำวิจัย เพราะฉะนั้นจึงได้เลือกระยะห่างการมองที่สามารถทำได้ใกล้ที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้มาใช้ในการทำวิจัยต่อไป โดยจะมีระยะห่างการมองที่ 6 เมตรและระยะ 12 เมตรเป็นระยะที่ไกลที่สุดในการทำวิจัยในครั้งนี้ด้วย

ตารางที่ 2.2 ระยะห่างการมองใกล้สุดที่เหมาะสมในการรับชมจอแสดงผลที่มีความสัมพันธ์กับขนาดของหน้าจอขนาดต่างๆ (ซัมซุง, 2556: ออนไลน์)

ขนาดหน้าจอ (นิ้ว)	ระยะนั่งใกล้ที่สุด(เมตร)
26	1.0
32	1.3
40	1.5
42	1.6
47	1.8
50	1.9
55	2.1
60	2.3
70	2.6
80	3.0

ตารางที่ 2.3 แสดงมาตรฐานห้องบรรยายในระดับอุดมศึกษาของกระทรวงศึกษาธิการ (ราชกิจจานุเบกษา ประกาศกระทรวงศึกษาธิการ, 2556: 19)

ห้องบรรยายขนาดจุ (คน)	ควรมีพื้นที่คนละ (ตร.ม./คน)	ขนาดพื้นที่ (ตร.ม.)
25	1.5	37.5
50	1.1	55.0
100	1.0	100.0
200	0.9	180.0
300	0.9	270.0

จาก International Sign Association, 2007: online ได้กล่าวถึงองค์ประกอบที่สำคัญต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อ การอ่านได้หรืออ่านไม่ได้ของข้อมูลที่มีการแสดงอยู่บนแผ่นป้าย ตัวแปรแรกคือ ตำแหน่งของแผ่นป้ายที่ใช้สำหรับการแสดงข้อมูล (Placement of Sign) ซึ่งให้ความสำคัญหรือประกอบด้วย ความสูง, ระยะห่างการมอง และมุมเอียง ตัวแปรถัดมาคือ ขนาดของแผ่นป้ายจะให้

ความสำคัญกับความสูงของตัวอักษร, จำนวนและความยาวของคำ และระยะช่องไฟ นอกจากนี้การอ่านได้หรืออ่านไม่ได้นั้นจะเกี่ยวข้องกับความสว่าง (Illumination) ด้วย ดังนั้นตัวแปรนี้จึงได้มีการกำหนดได้ด้วยเช่นกัน

จากปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการอ่านได้และอ่านไม่ได้ที่ได้กล่าวไว้ในขั้นต้น สำหรับงานวิจัยนี้ จะได้มีการทดสอบทั้งหมด 4 ปัจจัย คือ ระยะห่างการมอง, มุมเอียง, ความสูงของตัวอักษร และจำนวนหรือความยาวของคำด้วย ส่วนในองค์ประกอบด้านอื่นๆ จะได้ถูกนำมาเป็นตัวแปรควบคุมหรือจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงในทุกสถานการณ์ (Condition) สำหรับในการทดลองต่อไป

ชนิดของป้าย (Type of sign) ในงานวิจัยนี้คือจะมีลักษณะเป็น Information Display ที่ใช้ติดตั้งภายในอาคาร ความสูงของจอแสดงผลที่ใช้ในการวิจัยนี้จะมี ความสูงที่คงที่ แต่ทั้งนี้จะมีการกำหนดระยะการวางหรือระยะห่างระหว่างจอแสดงผลกับผู้รับสาร จะหมายถึง ระยะการมองจากจอแสดงผล ซึ่งก็คือระยะจากจุดกึ่งกลางจาก Target มาถึงตา (ISO9241, 1998) ดังนั้นเก้าอี้ของผู้เข้าร่วมงานวิจัยนี้จึงต้องสามารถปรับระดับได้ เพื่อให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยสามารถมองข้อมูลหรือ Target ได้ตามเงื่อนไขนี้

จำนวนหรือความยาวของคำ (Number and Length of Words) ในงานวิจัยนี้ได้มีการกำหนดจำนวนข้อมูลที่มีการแสดงบนจอแสดงผลอยู่ที่ 1 จำนวน (หนึ่งคำหรือหนึ่งตัวอักษร) ต่อหนึ่งครั้งของการทดลอง และอยู่ในแนวสายตาพอดี ทั้งนี้เพื่อลดผลกระทบในด้านของลานสายตา (Visual Field) เมื่อข้อมูลไม่ได้อยู่ในแนวสายตาพอดีนั่นเอง และจากงานวิจัยของ Klare, 1963 ได้กล่าวถึงความยากของการอ่านจับใจความ (Textual Difficulty) ซึ่งปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อ การอ่านข้อความ คือ ความยากของคำศัพท์ ซึ่งคำศัพท์ที่มักเป็นที่รู้จักหรือทั่วไป (Common Words) จะสามารถอ่านได้ง่ายหรือมีความยากน้อยกว่าคำที่ไม่เป็นที่รู้จัก และนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความยาวของคำด้วย ซึ่งสำหรับคำที่ไม่เป็นที่รู้จักหรือไม่คุ้นเคยและมีความยาวมากขึ้น จะส่งผลทำให้คำนั้นยังมีความยากกว่าที่คำสั้นกว่าด้วย โดยระดับความยากของคำศัพท์ได้มีการแบ่งตามระดับของการศึกษา ซึ่งจะมีความเหมาะสมกับช่วงวัยในแต่ละระดับต่างๆ ดังนั้นสำหรับ Target ที่ใช้ในงานวิจัยได้มีการแบ่งกลุ่มของคำในภาษาอังกฤษออกเป็น 2 กลุ่มตามระดับการศึกษาภายในประเทศไทย คำภาษาอังกฤษแบบสั้นหรือคำสั้น (Short Words) เป็นคำศัพท์ที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาในระดับประถมศึกษาชั้นป.1-ป.6 (ทณ เตียวรัตนกุล, 2556: 9-306) ประกอบด้วย 4 ตัวอักษรและอ่านออก

เสียง 1 พยางค์ แบ่งออกเป็น 10 ชุด รวมทั้งสิ้น 360 คำ และเป็นส่วนของคำภาษาอังกฤษแบบยาว หรือคำยาว (Long Words) เป็นคำศัพท์ที่เหมาะสมสำหรับระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (Karagoslo, Kampangtong and Phuriprinya, 2001: 5-141 และมนตรี ตั้งพิชัยกุล, 2555: 31-151) ประกอบด้วย 7-8 ตัวอักษรเรียงต่อกัน และอ่านออกเสียง 2-3 พยางค์ แบ่งออกเป็น 10 ชุด เช่นเดียวกับคำสั้น รวมทั้งสิ้น 400 คำ ระยะช่องไฟ ระหว่างตัวอักษรภายในคำนั้นๆ จะมีการคำนวณ จากโปรแกรมอย่างอัตโนมัติ โดยทั้งนี้จะมีอัตราส่วนของขนาดตัวอักษรกับระยะช่องไฟที่มีความสัมพันธ์กัน และสำหรับตัวอักษรที่ปรากฏบนจอแสดงผลจะเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ทั้งหมด เพื่อลดผลกระทบของขนาดตัวอักษรที่มีความสูงที่ไม่เท่ากันนั่นเอง นอกจากนี้รูปแบบตัวอักษร (Fonts) เป็นแบบ Arial ซึ่งอยู่ในกลุ่มตัวอักษรแบบ San-Serif เพื่อลดผลกระทบของรูปแบบตัวอักษรที่มีต่อปัจจัยหลักของการทดลอง ทั้งนี้จากเสาวนีย์ สิละวัฒนพันธ์, 2556: ออนไลน์ ได้กล่าวไว้ว่า ตัวอักษรแบบ San-Serif ก็คือ กลุ่มของรูปแบบตัวอักษรที่มีเส้นตรงตำแหน่งปลายสุดของตัวอักษร และรูปแบบตัวอักษรแบบ Serif จะมีเส้นเล็กๆ ตรงปลายสุดของอักขระบางตัว ซึ่งบนหน้าจอแสดงผล Fonts แบบ San-Serif จะอ่านได้อ่านง่ายกว่า Serif นั่นเอง และสุดท้ายช่องว่างพื้นที่การใช้งาน (Square Footage) จะมีการถูกจำกัดด้วยขนาดของจอแสดงผลแบบ LED ที่ใช้ในการทดสอบนั่นเอง

จากสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, 2548: ออนไลน์ ที่ได้มีการรวบรวมมาตรฐานความสว่างภายในอาคารไว้ ซึ่งได้มีอ้างอิงถึงมาตรฐานของ CIE (COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE) ดังตารางที่ 2.4 ดังนั้นในขั้นตอนของการทดสอบภายในงานวิจัยจะมีความส่องสว่างอยู่ประมาณที่ 300-750 ลักซ์ ซึ่งเป็นความส่องสว่างที่เหมาะสมกับห้องทำงานในสำนักงานทั่วไป และนอกจากนี้สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, 2543 ยังได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับ Luminance Contrast ที่เป็นแบบบวก (Positive) ที่มีการแสดงของตัวอักษรสีเข้มบนพื้นสีอ่อนนั้น จะสามารถช่วยลดปัญหาของแสงบาดตาได้ดีกว่าการแสดงข้อมูลด้วยวิธีแบบลบ (Negative) และนอกจากนี้ยังมีตัวอย่างงานวิจัยที่แสดงถึงว่าผู้เข้าร่วมงานวิจัยชอบตัวอักษรสีเข้มบนพื้นหลังสว่างได้รับจากการศึกษาจำนวนมาก เช่น งานวิจัยของ Snyder et al., 1990 และ Shena et al. 2009 และจากงานวิจัยของ Wanga and Chenb, 2000 ได้กล่าวว่าการมองเห็นไม่พบว่าได้รับผลกระทบจาก

ปัจจัยนี้ด้วย ฉะนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีการเลือกทดสอบ Luminance Contrast ที่เป็นแบบบวก โดยจะมีการทดสอบที่ใช้ตัวหนังสือสีดำบนพื้นขาวต่อไป

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบค่าความสว่างในอาคารตามมาตรฐาน CIE (สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, 2548)

พื้นที่ต่างๆ	CIE
ห้องประชุม	300-500-750
ห้องเรียนแบบ	500-750-1000
ห้องทำงานทั่วไป	300-500-750
ห้องคอมพิวเตอร์	300-500-750
ห้องสมุด	300-500-750
ร้านค้าในอาคารพาณิชย์	500-750
เคานเตอร์	200-300-500
ห้องเก็บของ	100-150-200
ห้องลิอบบี้หรือบริเวณต้อนรับ	100-150-200
ห้องน้ำ	100-150-200
ทางเดิน	50-100-150
บันได	100-150-200
ลิฟท์	100-150-200



### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการศึกษาสมรรถนะของการรับรู้หรือการเข้าถึงข้อมูล จึงทำให้งานวิจัยนี้ต้องการที่นำเสนอระเบียบวิธีการของการวัดและประเมิน โดยสมรรถนะการรับรู้ดังกล่าวจะแสดงผ่านด้านเวลาในการตอบสนอง ได้นำมาใช้เป็นตัวชี้วัดในการศึกษาครั้งนี้ว่าเมื่อขนาดของมุมเอียง ระยะห่างการมองเปลี่ยนไป รวมถึงขนาดตัวอักษรที่มี Visual Angle ต่างๆ และประเภทของ Target ที่แสดงบนหน้าจอต่างชนิดกันว่ามีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญอย่างไรต่อสมรรถนะการรับรู้หรือการอ่านต่อไป โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

#### 3.1 ผู้เข้าร่วมงานวิจัย

ผู้ที่ได้รับการทดสอบเป็นชายหรือหญิง มีอายุประมาณ 20-35 ปี เป็นจำนวน 10 คน ร่างกายแข็งแรง สุขภาพดี พักผ่อนเพียงพออย่างน้อย 6 ชั่วโมง และมีความสามารถในการมองเห็นเป็นปกติ ซึ่งจะผ่านการทดสอบตามหลักการและแผนภาพของ Snellen สำหรับผู้ที่มีปัญหาทางสายตา คือ สายตาสั้นหรือสายตายาว อนุญาตให้สวมแว่นตา หรือคอนแทคเลนส์ขณะทดสอบได้ โดยทั้งนี้ต้องมีการตรวจความสามารถในการมองเห็นก่อนเข้ารับการทดสอบว่าเป็นผู้มีสายตาปกติก่อนเช่นกัน และมีการควบคุมความส่องสว่างอยู่ประมาณ 300-750 ลักซ์ อ้างอิงตามมาตรฐานของ CIE ซึ่งได้มีการรวบรวมโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย, 2548 โดยค่าของความส่องสว่างนี้เป็นคำแนะนำสำหรับห้องทำงานทั่วไป

## 3.2 ปัจจัยที่ใช้ในการวิจัย

### 3.2.1 ตัวแปรอิสระ (Independent Variables)

จากจุดประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้ ทำให้มีตัวแปรอิสระซึ่งเป็นปัจจัยหลักอยู่ 3 ประเภท คือ ระยะห่างการมอง มุมเอียง และขนาดของตัวอักษร นอกจากนี้ยังได้มีการเพิ่มเติมในส่วน ของปัจจัยในด้านประเภท Target มาในการศึกษาในครั้งนี้ด้วย โดยแต่ละปัจจัยจะมีรายละเอียดดังนี้

ระยะห่างการมอง ได้มีการแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ระยะใกล้และระยะไกลจากระยะ 6 เมตร ซึ่งเป็นระยะที่คนปกติสามารถมองเห็นอ้างอิงจากการทดสอบของ Snellen (Colenbrander, 2001) และนอกจากนี้ระยะที่ 6 ยังสนับสนุนในด้านความกว้างและความยาวต่ำสุดของห้องบรรยายที่มีความ จุตั้งแต่ 25-300 คน และถ้าคิดขนาดของห้องโดยให้ห้องเหล่านี้เป็นห้องที่มีลักษณะสี่เหลี่ยมจัตุรัส อ้างอิงจากตารางที่ 2.3 ซึ่งเป็นมาตรฐานห้องบรรยายของกระทรวงศึกษาธิการที่มีการประกาศในราช กิจจานุเบกษา, 2556: 19 โดยความยาวของห้องที่สูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 16 เมตร แต่เนื่องจากห้อง สำหรับเก็บข้อมูลมีพื้นที่ที่จำกัด ดังนั้นระยะห่างการมองที่ 12 เมตรจึงเป็นระยะสูงสุดที่เราสามารถทำ ได้สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ส่วนระยะห่างการมองที่ 2 เมตร เป็นระยะใกล้สุดที่เหมาะสมกับ จอแสดงผลขนาด 60 นิ้ว (ซัมซุง, 2556: ออนไลน์) ดังนั้นโดยสรุปจากที่กล่าวมาแล้วในขั้นต้น ระยะห่างการมองที่นำมาทดสอบจึงเป็น 2, 6 และ 12 เมตรตามลำดับ ซึ่งมีทั้งหมด 3 ระดับ

มุมเอียงของจอแสดงผล เป็นมุมซ้าย-ขวาจากแนวสายตาดูการมองที่มีการตั้งฉากกับ จอแสดงผล ซึ่งจะมุมที่อยู่ในแนวนอนนั่นเอง เนื่องจากปัจจัยนี้ต้องการทราบว่า การรับรู้ข้อมูลบนจอ แสดงจะเป็นเช่นไร เมื่อมีมุมเอียงของหน้าจอมากขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดระดับของการศึกษาใน ปัจจัยนี้อยู่นอกเหนือจากที่มาตรฐานได้กำหนดไว้ ซึ่งภายในปัจจัยนี้ได้มีการแบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ มุม 0 (มุมที่จอแสดงผลทำมุมเป็นแนวตั้งฉากกับแนวสายตาดูการมอง), 45, 60, และ 75 องศา ซึ่งใน สองระดับแรกเป็นช่วงที่อยู่ในคำแนะนำจาก ANSI, 1988 และในสองระดับหลังอยู่นอกเหนือจากที่ มาตรฐานได้กำหนดไว้ ซึ่งจากการศึกษานำร่องมุมเอียงที่เกินจาก 75 องศาจะไม่สามารถรับรู้ข้อมูล หรืออ่านได้ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีมุมเอียงที่ถูกจำกัดหรือเป็นบริเวณขอบอยู่ที่ 75 องศา ส่วนมุม 60 องศา ก็คือมุมที่เป็นจุดกึ่งกลางระหว่างมุม 45 และ 75 องศานั่นเอง

ขนาดของอักขระหรือความสูงของอักขระ ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 2.2 โดยมีการกำหนด Visual Angle ที่ระยะห่างการมองระดับต่างๆ ซึ่งมีค่าของความสูงของอักขระต่างๆ ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งมี Visual Angle ทั้งสิ้น 7 MOA ใน 3 ระดับของระยะห่างการมอง โดย Visual Angle ทั้ง 7 MOA ส่วนหนึ่งได้มาจากผลการทดลองนำร่องกับผู้เข้าร่วมงานวิจัยทั้งสิ้น 2 คน จากผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า Visual Angle ที่เริ่มอ่านได้อยู่ในช่วง 6-10 MOA และจากตารางที่ 2.1 พบว่า Visual Angle ที่ 10 MOA คือขนาดของมุมต่ำสุดที่ได้มีการแนะนำไว้ ซึ่งทั้งสองมีความสอดคล้องกัน ดังนั้นความสูงของอักขระควรมี Visual Angle ที่มีการทดสอบอยู่ในช่วง 2-10 MOA และได้มีการเพิ่มขึ้นทีละ 2 MOA นอกจากนี้ยังมีการทดสอบในความสูงของอักขระที่มี Visual Angle ขนาด 16 และ 22 MOA รวมไว้ด้วย เพื่อให้ครอบคลุมถึงขนาดที่ได้รับคำแนะนำในหลายมาตรฐาน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ามี 7 Visual Angle ที่ใช้สำหรับการทดลองกับระยะห่างการมองทั้ง 3 ระยะ

สำหรับ Target ที่ใช้ในการแสดงบนจอ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ได้มีการเพิ่มเติมมาในงานวิจัยนี้ด้วย จากที่กล่าวมาแล้วในขั้นต้น โดยได้มีการแบ่งกลุ่มไว้ทั้งหมด 4 กลุ่ม คือ ตัวเลข (Number), ตัวอักษร (Alphabet), คำภาษาอังกฤษแบบสั้นหรือคำสั้น (Short Words) และคำภาษาอังกฤษแบบยาวหรือคำยาว (Long Words) ซึ่งในสองกลุ่มหลังนี้ได้ถูกเลือกมาใช้ในการทำวิจัย ก็เพื่อจุดประสงค์ของการประยุกต์กับการใช้งาน ซึ่งในความเป็นจริงของการแสดงข้อมูลมีการพบในรูปแบบของคำมากกว่าตัวอักษรหรือตัวเลขแบบเดียว สำหรับกลุ่มของคำจะแบ่งแยกตามระดับการศึกษาภายในประเทศไทย คำสั้นเป็นคำศัพท์ที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาในระดับประถมศึกษาชั้นป.1-ป.6 (ทฤษฎี เดียวรัตน์กุล, 2556: 9-306) ประกอบด้วย 4 ตัวอักษรและอ่านออกเสียง 1 พยางค์ แบ่งออกเป็น 10 ชุด รวมทั้งสิ้น 360 คำ ส่วนคำยาวนั้นเป็นคำศัพท์ที่เหมาะสมสำหรับระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (Karagoslo, Kampangtong and Phuriprinya, 2001: 5-141) (มนตรี ตั้งพิชัยกุล, 2555: 31-151) ประกอบด้วย 7-8 ตัวอักษรเรียงต่อกัน และอ่านออกเสียง 2-3 พยางค์ แบ่งออกเป็น 10 ชุด เช่นเดียวกับคำภาษาอังกฤษแบบสั้น รวมทั้งสิ้น 400 คำ และสำหรับตัวอักษรที่ปรากฏบนจอแสดงผลจะเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ทั้งหมด

ตารางที่ 3.1 แสดงขนาดความสูงของตัวอักษรที่ใช้ในการทดสอบมี Visual Angle ทั้งสิ้น 7 MOA ใน 3 ระดับของระยะห่างการมอง

ระยะห่างการมอง (m)	Visual Angle (MOA)	ความสูงของตัวอักษร (mm)
2	2	1.2
	4	2.3
	6	3.5
	8	4.7
	10	5.9
	16	9.3
	22	12.8
6	2	3.5
	4	7.0
	6	10.5
	8	14.0
	10	17.5
	16	27.9
	22	38.4
12	2	7.0
	4	14.0
	6	20.9
	8	27.9
	10	34.9
	16	55.9
	22	76.8

### 3.2.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variables)

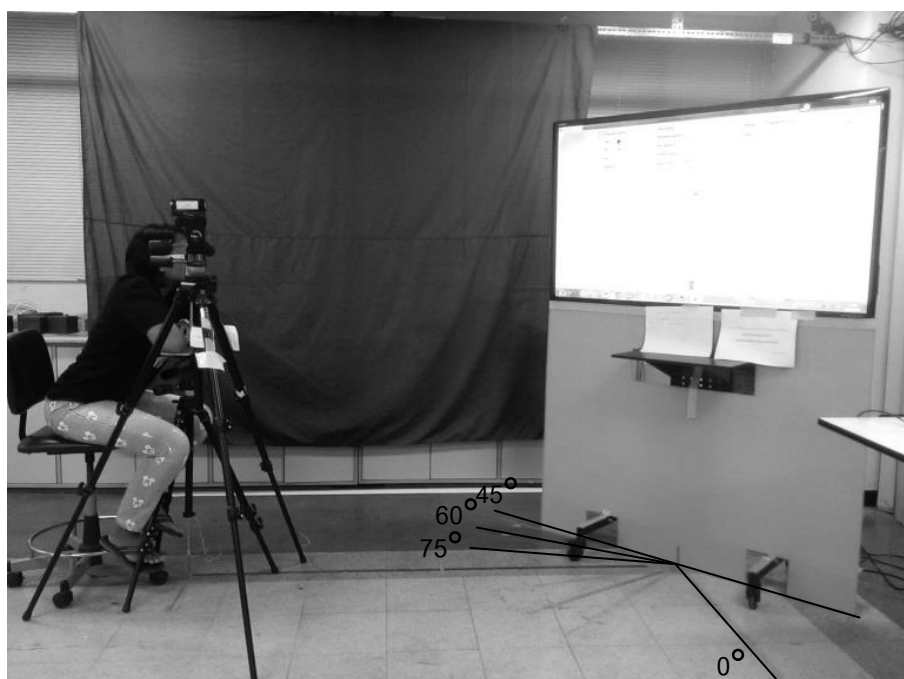
จากตัวแปรอิสระหลังจากดำเนินการทดลองไปแล้ว เราได้ในส่วนของตัวแปรตาม ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) เป็นผลการทดลองขั้นต้นที่ได้รับหลังจากดำเนินการทดลองจบลงในแต่ละเงื่อนไขหรือสภาวะ (Condition) ซึ่งภายในงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลที่แสดงถึงความถูกต้องจากการอ่าน และข้อมูลที่แสดงถึงการใช้เวลาสำหรับการรับรู้และตอบสนองด้วยการอ่านว่าใช้เวลาช้าหรือเร็วอย่างไร โดยแสดงด้วยเวลาในการตอบสนอง ความถูกต้องจากการอ่าน Target ที่แสดงบนจอ ซึ่งได้รับการทวนสอบคำตอบจากการอ่านของผู้เข้าร่วมงานวิจัยผ่านการดูวิดีโอที่ได้บันทึกไว้เทียบกับ Target ในแต่ละตัวที่ปรากฏบนจอแสดงผล ที่ได้มีการบันทึกไว้ด้วยโปรแกรม ErgoEyeSkill ที่ได้มีการพัฒนาขึ้นมาด้วยนั่นเอง

สำหรับเวลาในการตอบสนองได้มีการเริ่มพิจารณาเป็นเวลาดังแต่ Target ปรากฏขึ้นบนจอ จนกระทั่งมีการตอบสนองด้วยการอ่าน ซึ่งการวิเคราะห์ผลการทดลองได้มีการพิจารณาถึงการอ่านได้อย่างถูกต้องและเวลาในการตอบสนองร่วมกันต่อไป ทั้งนี้วิธีการเก็บข้อมูลเวลาดังกล่าวแสดงไว้ในภาคผนวก ง ซึ่งได้แสดงขั้นตอนการทบทวนความถูกต้องและเวลาในการอ่าน จากวิดีโอที่ได้มีการบันทึกไว้ และเวลาในการตอบสนองที่รวบรวมได้ถูกนำไปเป็นตัวแปรตามในส่วนนี้ต่อไป

### 3.3 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

จอแสดงผลแบบ LED สำหรับการแสดง Target ต่างๆ ในงานวิจัยนี้มีขนาด 60 นิ้ว และมีความละเอียด (Resolution) เป็น 1360x768 พิกเซล นอกจากนี้ยังมี Viewing Angle อยู่ที่ 176/176 ผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะมีการลักษณะท่าทางแบบนั่งอยู่ด้านหน้าของจอ ตำแหน่งของมุมเอียงและระยะห่างการมองจะถูกกำหนดบนพื้นโดยใช้เทปสี ทั้งนี้สำหรับมุมเอียงในงานวิจัยนี้จะมีลักษณะที่จอแสดงผลทำเป็นมุมเอียงกับแนวสายตาการมองของผู้เข้าร่วมวิจัยในแนวนอนเท่านั้น โดยมุมที่เกิดจากแนวสายตาการมองตั้งฉากกับหน้าจอจะกำหนดให้หน้าจอดีแสดงผลอยู่ที่มุม 0 องศาพอดี และมุมเอียงของจอแสดงผลจะเป็นมุมที่มีการวัดเทียบจากองศาที่ 0 ของจอแสดงผลนั่นเอง ผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะมีการถูกบังคับการมองไว้ด้วยที่วางคาง เพื่อให้มีการมองตรง ห้ามเอียงศีรษะในขณะที่ทำการ

ทดสอบ และแนวสายตาของผู้เข้าร่วมวิจัยจะมองที่กึ่งกลางของหน้าจอพอดี นอกจากนี้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะได้รับอนุญาตให้แก้ไขหรือปรับความสูงของเก้าอี้ซึ่งสามารถปรับระดับได้ เพื่อความสะดวกของแต่ละคน และได้มีการบันทึกวิดีโออย่างต่อเนื่องในตลอดเวลาของการทดสอบ ซึ่งเป็นดังภาพที่ 3.1 แสดงการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3.1 แสดงการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะมีการอ่าน Target ที่ถูกแสดงขึ้นตรงกึ่งกลางหน้าจอแสดงผล โดย Target ได้ถูกเปลี่ยนโดยผู้ควบคุมการทดลองอย่างสุ่ม ทั้งนี้ตัวอักษรที่แสดงบนจอ LED มีรูปแบบตัวอักษร ที่ใช้ในการทดสอบเป็นแบบ Arial และทำการทดสอบโดยใช้ตัวอักษรสีดำบนพื้นขาว ความสูงของตัวอักษรได้ถูกปรับโดยการใช้โปรแกรม ErgoEyeSkill และมีวิธีการตั้งค่าตัวอักษรที่ใช้ในการทดลองดังภาคผนวก ข ส่วนในด้านของความสว่าง ของจอแสดงผลจะถูกควบคุมให้มีความเหมือนกันในทุกเงื่อนไขและในทุกผู้ร่วมงานวิจัย คือตั้งค่าในโหมดมาตรฐาน ซึ่งเป็นไปตามค่าที่ผู้ผลิตได้มีการตั้งค่าไว้ นอกจากนี้แผนภูมิของ Snellen ยังได้ถูกนำมาใช้ในการทดสอบความสามารถในการมองเห็นแบบปกติก่อน เพื่อเป็นการคัดกรองผู้เข้าร่วมงานวิจัยก่อนเริ่มการทดลอง

### 3.4 วิธีการดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล

สำหรับผู้เข้าร่วมงานวิจัยที่ได้รับการตรวจความสามารถในการมองเห็นว่าเป็นปกติแล้ว หลังจากนั้นจะได้รับคำแนะนำหรืออธิบายเงื่อนไขหรือการปฏิบัติตนในระหว่างการทดลองทั้งหมด รวมถึงปัจจัยทั้งหมดที่จะมีการทดลองต่อไป ซึ่งหลังจากการอบรมแล้ว ในกระบวนการถัดมาก็คือการฝึกปฏิบัติเหมือนสภาพจริง ก็คือการอ่านข้อมูลที่ปรากฏขึ้นบนจอ LED ที่ระยะห่างการมอง 6 เมตร ของมุมเอียงที่ 0 องศา ในทุกประเภทของ Target และมีความสูงของตัวอักษรที่ Visual Angle ขนาด 16 MOA ระยะเวลาทั้งสิ้นที่ใช้ในกระบวนการประมาณ 30 นาที

ลำดับของการทดลองในการศึกษาจริง ได้การสุ่มในปัจจัยของการแสดง Target เป็นหลัก คือ สุ่มประเภทของ Target และสุ่มขนาดตัวอักษรภายใน Visual Angle ต่างๆ ในขณะที่ปัจจัยซึ่งเกี่ยวข้องกันการจัดตั้งอุปกรณ์ ทั้งระยะการมอง และมุมเอียง จะทำการจัดแบบเรียงลำดับไปเรื่อยๆ แบบสุ่มภายในปัจจัยนี้ด้วยเช่นกัน เพื่อรักษาเวลาการทดลอง โดยการทดลองจะเริ่มจากการสุ่มระยะการมองขึ้นมาก่อน เมื่อได้ค่าระยะแรกแล้ว จะจัดตั้งขนาดของมุมเอียงจอแสดงผลแบบสุ่ม จนครอบคลุมในทุกระดับจากนั้น จึงดำเนินการเช่นเดิมไปครบทั้ง 3 ระยะการมอง

ในกรณีของขนาดความสูงของอักขระภายใน Visual Angle ต่างๆ และประเภทของ Target ทำการสุ่มโดยโปรแกรมเป็นหลัก ทำให้สำหรับผู้ทดลองแต่ละคนจะได้ทดสอบลำดับของขนาดตัวอักษรที่ต่างกัน รวมถึงลำดับประเภท Target ที่ต่างกัน กล่าวคือคนที่ 1 อาจจะเริ่มด้วย Target ประเภทคำยาว แล้วจึงตามด้วยตัวเลข ตัวอักษร จบด้วยคำสั้นตามลำดับ ในขณะที่คนอื่นๆ อาจจะมีลำดับที่ต่างกัน ซึ่งในประเภท Target แต่ละประเภท จะมีการสุ่มลำดับคำไว้ล่วงหน้าตามแสดงในภาคผนวก ค ดังนั้นคนที่ 1 ที่เริ่มด้วยคำยาว อาจจะสุ่มได้คำยาวจากชุดที่ 3 ในขณะที่คำสั้น อาจจะสุ่มได้คำสั้นจากชุดที่ 7 เป็นต้น ทั้งนี้ในแต่ละสภาวะของการทดลอง ขนาดตัวอักษรหนึ่งๆ จะมีจำนวนข้อมูลที่ปรากฏบนหน้าจอทั้งหมด 10 ครั้ง คือ แสดงทีละตัวอักขระเป็นจำนวนรวม 10 ครั้ง (สำหรับกลุ่ม Target ประเภทตัวเลขและตัวอักษร) หรือแสดงทีละคำเป็นจำนวนรวม 10 ครั้ง (สำหรับกลุ่มคำแบบสั้นและแบบยาว) จึงถือว่าจบในหนึ่งสภาวะ

นอกจากนี้เวลาในการพักของผู้ร่วมในการวิจัยกำหนดให้สามารถพักได้ตามอัธยาศัย และสามารถขอหยุดพักได้ตลอดเวลา ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลจึงไม่ได้กำหนดเวลาไว้อย่างเข้มงวด

และจะเป็นบรรยากาศของความผ่อนคลาย โดยเฉลี่ยการทดลองทั้งหมดสำหรับ 1 คน ใช้เวลาประมาณ 1 วัน และจะดำเนินการในช่วงวันหยุดเสาร์-อาทิตย์เป็นหลัก

ผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะมีการตอบสนองโดยการอ่านต่อสิ่งที่พวกเขาได้รับบนจอแสดงผล สำหรับประเภทของ Target ในประเภทกลุ่มคำจะขอให้ออกเสียงเป็นคำมากกว่าการสะกดทีละตัวอักษร โดยสำหรับคำที่ผู้เข้าร่วมงานวิจัยไม่สามารถอ่านได้ สามารถของผ่านคำนั้นได้ในทันที ผู้ควบคุมการทดลองจะเป็นผู้กดเพื่อเปลี่ยน Target ในแต่ละตัวที่ต้องแสดงบนจอ ทั้งนี้จะมีการบันทึกวิดีโอไว้ตลอดระยะเวลาของการทดลอง ซึ่งความถูกต้องของการอ่านจะได้รับการทวนสอบคำตอบของผู้เข้าร่วมงานวิจัยผ่านการดูวิดีโอเทียบกับตัวอักษร ตัวเลข หรือคำในแต่ละตัวที่ปรากฏบนจอแสดงผล ซึ่งได้มีการบันทึกไว้ด้วยโปรแกรม ErgoEyeSkill

### 3.5 การออกแบบการทดลอง

ในการศึกษาและประเมินผลกระทบถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อการรับรู้ข้อมูลบนจอแสดงผล ซึ่งแสดงด้วยเวลาในการตอบสนอง หรืออาจกล่าวได้ว่าสำหรับการออกแบบการทดลองในขั้นตอนนี้จะมีเวลาเป็นตัวแปรตามในการประเมินการรับรู้ตนเอง และนอกจากนี้ปัจจัยหลักที่ได้นำมาศึกษาจะมีการกำหนดให้สอดคล้องกับจุดประสงค์ของงานวิจัยที่ได้มีการกล่าวไว้ในตอนต้น คือ ต้องการศึกษาผลกระทบระหว่างระยะห่างการมอง ขนาดตัวอักษร และมุมเอียง ทั้งจะรวมปัจจัยประเภท Target ที่มีต่อสมรรถนะการรับรู้ตัวอักษรบนจอแสดงผลแบบ LED ของบุคคลต่างๆ ด้วย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการวิเคราะห์ผลในส่วนที่สองนี้จะมีปัจจัยหลักเป็นระยะห่างการมอง ขนาดตัวอักษร มุมเอียง และประเภท Target โดยมีตัวแปรตามเป็นเวลาในการตอบสนอง และมีรูปแบบของการออกแบบการทดลองเป็น General Full Factorial

การวิเคราะห์ผลที่ได้จากทดลองทั้งสองส่วนดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จะมีการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีการทาง DOE ในรูปแบบ General Full Factorial โดยผ่านโปรแกรม Minitab เพื่อนำผลการทดลองที่ได้มีวิเคราะห์ผลต่อไป



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากวิธีการดำเนินงานวิจัยและการเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาผลกระทบระหว่างระยะห่างการมองเห็น ขนาดตัวอักษร และมุมเอียง รวมถึงประเภทของ Target ที่มีต่อสมรรถนะการรับรู้ข้อมูลบนจอแสดงผลแบบ LED สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลต่อไป

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้เข้าร่วมงานวิจัย จะเป็นข้อมูลในส่วนแรกที่ได้รับการกล่าวถึงและจากตารางที่ 4.1 สามารถสรุปข้อมูลได้ดังนี้ ผู้เข้าร่วมงานวิจัยจำนวน 10 คน เป็นเพศชาย 2 คน และเพศหญิง 8 คน มีอายุระหว่าง 20-29 ปี มีการศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรีและปริญญาโท และเป็นผู้ที่มีความสามารถในการมองเห็นเป็นปกติ โดยสามารถมองเห็นตัวเลขและอ่านได้อย่างถูกต้องบน Snellen Chart จนถึงแถวที่ 20/20 หรือ 6/6 และมีผู้เข้าร่วมงานวิจัยจำนวน 5 คนที่มีปัญหาทางด้านสายตา คือ มีสายตาสั้น ซึ่งได้มีการสวมแว่นและใส่คอนแทคเลนส์ในขณะทดลอง แต่ทั้งนี้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยที่มีปัญหาทางด้านสายตาก็ได้ผ่านการตรวจความสามารถในการมองเห็นตามหลักการของ Snellen ด้วยเช่นกัน ซึ่งทั้ง 5 คนก็มีความสามารถในการมองเห็นที่เป็นปกติ จึงทำให้สามารถเก็บข้อมูลในการทดลองได้ต่อไป

การเก็บข้อมูลผู้เข้าร่วมงานวิจัยจะกระทำโดยใช้แบบสอบถามตามระบุไว้ใน ภาคผนวก ก. เรื่อง แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลผู้ร่วมวิจัย ข้อมูลที่เก็บเป็นรายบุคคลนี้จะสงวนสิทธิ์ในการแสดงชื่อและนามสกุลเพื่อเก็บผลการทดลองเป็นความลับ รายละเอียดข้อมูลที่เก็บจะประกอบด้วย

- วันเดือนปีที่ทำการเก็บข้อมูล: การเก็บข้อมูลทั้งหมดใช้เวลาประมาณ 2 เดือน ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม ปี 2557 และมีการเก็บข้อมูลเฉพาะในวันเสาร์ อาทิตย์ และระหว่างเวลากลางวัน เพื่อความสะดวกของผู้เข้าร่วมการทดลองในการเดินทางมายังห้องปฏิบัติการ และเนื่องจากการเก็บข้อมูลต้องใช้เวลา 1 วันเต็ม อย่างต่อเนื่องจึงจำเป็นต้องทำการทดลองในวันหยุด

- รหัสวิดีโอ: ผู้เข้าร่วมการทดลองทั้ง 10 คน จะถูกบันทึกภาพวิดีโอตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยแต่ละบุคคลจะต้องทดสอบทั้งสิ้น 336 เงื่อนไขการทดลอง ดังนั้นจะมีคลิปวิดีโอทั้งสิ้นจำนวน 336 ไฟล์ ที่ต้องถูกนำมาวิเคราะห์ต่อไป
- เพศ และ อายุ: ข้อมูลส่วนนี้ในเบื้องต้นที่ออกแบบแบบสอบถาม ได้คาดการณ์เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ผลการทดลองในลักษณะของ Secondary Analysis อย่างไรก็ตาม สำหรับการทดลองครั้งนี้ เนื่องจากมีความไม่เท่ากันในส่วนของผู้หญิงและชายมีมาก คือ 2 ต่อ 8 และอายุของผู้ทดลองอยู่ในช่วงวัยทำงานทั้งสิ้น คือ 20-29 ปี จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาวิเคราะห์ ในส่วนของผลการทดลองจึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยด้าน เพศ และอายุ
- วุฒิการศึกษา: ระดับการศึกษาของผู้เข้าร่วมการทดลองอยู่ในระดับปริญญาตรี และปริญญาโททั้งหมด โดยผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนนักในด้านความสามารถของงานที่ทำการทดลองครั้งนี้ (การอ่านตาม Target ที่ขึ้นบนหน้าจอ) ทั้งทางด้านเวลาในการตอบสนอง และขนาดตัวอักษรที่เริ่มอ่านได้
- การประกอบอาชีพ: ผู้เข้าร่วมการทดลองประกอบไปด้วยบุคคลจากหลายอาชีพ ได้แก่ นักศึกษา คุณครู พนักงานมหาวิทยาลัย และบริษัทเอกชน โดยมีประสบการณ์ทำงานเป็นระยะเวลาสูงสุดอยู่ที่ 3 ปี
- สุขภาพทางสายตา: ข้อมูลสุขภาพทางสายตาเป็นไปตามระบุในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลของผู้เข้าร่วมงานวิจัย

ลำดับ ที่	ผู้เข้าร่วม งานวิจัย	เพศ	อายุ (ปี)	วุฒิการศึกษา	ปัญหาด้านสายตา			ความ สามารถ ในการ มองเห็น
					มี	ไม่มี	สวม แว่น	
1	S1	หญิง	29	จบการศึกษา ระดับปริญญาตรี	มี	สายตาสั้น (-375/-375)	สวม แว่น	ปกติ
2	S2	หญิง	20	กำลังศึกษา ระดับปริญญาตรี	ไม่มี	-	-	ปกติ
3	S3	ชาย	26	กำลังศึกษา ระดับปริญญาโท	มี	สายตาสั้น (-375/-375)	สวม แว่น	ปกติ
4	S4	หญิง	22	จบการศึกษา ระดับปริญญาตรี	ไม่มี	-	-	ปกติ
5	S5	หญิง	23	จบการศึกษา ระดับปริญญาตรี	ไม่มี	-	-	ปกติ
6	S6	หญิง	27	กำลังศึกษา ระดับปริญญาโท	มี	สายตาสั้น (-500/-500)	ใส่ คอน- แทค เลนส์	ปกติ
7	S7	ชาย	21	กำลังศึกษา ระดับปริญญาตรี	มี	สายตาสั้น (-200/-200)	สวม แว่น	ปกติ
8	S8	หญิง	27	จบการศึกษา ระดับปริญญาตรี	มี	สายตาสั้น (-150/-150)	สวม แว่น	ปกติ
9	S9	หญิง	23	จบการศึกษา ระดับปริญญาตรี	ไม่มี	-	-	ปกติ
10	S10	หญิง	22	กำลังศึกษา ระดับปริญญาตรี	ไม่มี	-	-	ปกติ

## การประเมินด้านเวลาในการตอบสนองที่มีต่อการรับรู้ข้อมูลบนจอแสดงผลแบบ LED

### 4.1 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่างๆ ต่อเวลาในการตอบสนอง

#### ขั้นที่ 1 พิจารณาขอบเขตของการวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับผลของการทดลองในส่วนนี้ มีตัวแปรตามเป็นเวลาในการตอบสนอง เพื่อประเมินผลกระทบจากปัจจัยหลัก 4 ด้าน คือ ระยะห่างการมอง มุมเอียง ขนาดตัวอักษรหรือความสูงของตัวอักษรที่ Visual Angle ต่างๆ และประเภทของ Target ซึ่งได้มีการวิเคราะห์สำหรับการมองเห็นตัวอักษรได้อย่างชัดเจน หรือกล่าวได้ว่ามีการวิเคราะห์สำหรับความสูงของตัวอักษรที่มี Visual Angle เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง โดยทั้งนี้ได้อ้างอิงจากตัวอักษรเชิงเดียว คือ ตัวเลขและตัวอักษรเป็นหลักนั่นเอง

อย่างไรก็ตาม ก็ยังพบบางสถานการณ์ทดลองที่มีผู้ทดลองไม่สามารถปฏิบัติงานได้ เช่น มุมเอียง 75 องศา และขนาดความสูงของตัวอักษรที่มี Visual Angle 10 MOA จะมีผู้ทดลองถึง 5 คนที่ไม่สามารถอ่านได้ โดยเฉพาะในระยะห่างหน้าจอที่ 2 เมตร กรณีที่ผู้ทดลองไม่สามารถปฏิบัติงานได้ทุกคน เช่น มุมเอียง 75 องศา และขนาดความสูงของตัวอักษรที่มี Visual Angle 8 MOA จะทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ผลการวิเคราะห์ด้านเวลา จะต้องกำหนดขอบเขตการวิเคราะห์เฉพาะส่วนที่มีข้อมูลด้านเวลาการตอบสนองหรือมีการอ่านได้อาศัยข้อมูลจากผลการทดลอง พบว่ามีทางเลือกในการกำหนดขอบเขตข้อมูล 2 ทางเลือก ได้แก่

ทางเลือกที่ 1 เลือกวิเคราะห์เฉพาะขนาดความสูงของตัวอักษรที่มี Visual Angle สูงกว่า 16 MOA ขึ้นไป จะสามารถวิเคราะห์ปัจจัยอื่นๆ ได้ครบทุกระดับ

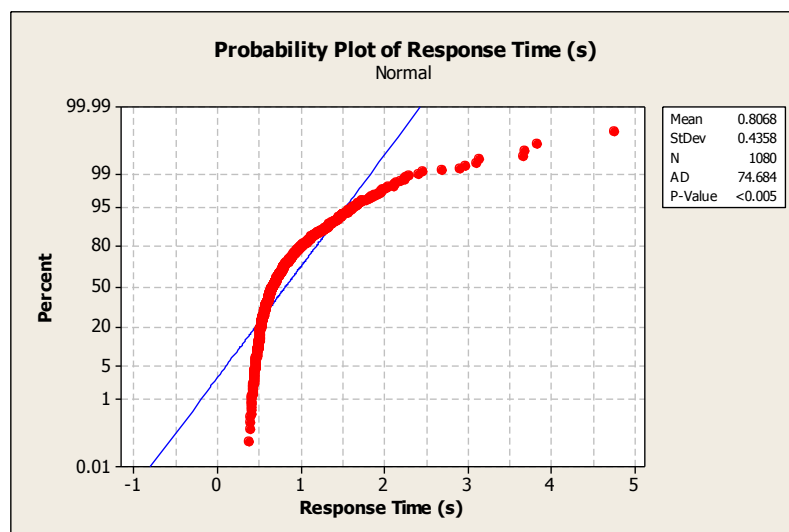
ทางเลือกที่ 2 เลือกวิเคราะห์เฉพาะขนาดความสูงของตัวอักษรที่มี Visual Angle สูงกว่า 10 MOA ขึ้นไป แต่จะไม่สามารถทดสอบมุมเอียงที่ 75 องศาได้

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบจากทั้งสองทางเลือก โดยอาศัยลักษณะการใช้งานจอแสดงผลตามความเป็นจริง จะพบว่ามีบางสถานการณ์ที่ยังใช้ขนาดความสูงของตัวอักษรที่มี Visual Angle ขนาดเล็กถึง 8 MOA ในขณะที่มุมเอียงถึงระดับ 75 องศา จะพบในสภาพความเป็นจริงน้อยกว่า ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกวิเคราะห์ข้อมูลในทางเลือกที่ 2 สำหรับตัวแปรตามด้านเวลาในการตอบสนอง

## ขั้นที่ 2 ผลการทดสอบ ANOVA

จากการกำหนดขอบเขตการศึกษาในขั้นที่ 1 เพราะฉะนั้นการออกแบบการทดลองของการประเมินด้านเวลาในการตอบสนอง โดยมีผลจากปัจจัยระยะห่างการมอง มุมเอียง ประเภทของ Target และขนาดตัวอักษรหรือความสูงของตัวอักษรที่ Visual Angle ต่างๆ ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วยระดับต่างๆ ได้แก่ ระยะห่างการมองยังคงมีการแบ่งออกเป็น 3 ระดับเช่นเดิม คือ 2, 6 และ 12 เมตร มุมเอียงจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ มุม 0, 45, และ 60 องศา ประเภทของ Target จะแบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ ตัวเลข, ตัวอักษร, คำสั้น และคำยาว และสุดท้ายขนาดตัวอักษรหรือขนาดความสูงของตัวอักษรที่มี Visual Angle แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 10, 16 และ 22 MOA โดยทั้งหมดจะมีการออกแบบการทดลองเป็นแบบ Full Factorial Design  $3 \times 3 \times 4 \times 3$

ในส่วนแรกของการวิเคราะห์ผล คือการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ซึ่งจากภาพที่ 4.1 สำหรับการวิเคราะห์ความเป็นปกติของข้อมูลจากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) พบว่า ค่าของข้อมูลด้านเวลาไม่เป็นไปตามของเส้นตรง โดยมีส่วนปลายของข้อมูลที่มีการกระจายและไม่เกาะติดเส้นตรง และมี  $P\text{-value} < 0.005$  จึงทำให้สรุปได้ว่า ข้อมูลมีการแจกแจงหรือการกระจายตัวแบบไม่เป็นปกติ ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากสถานะของการทดลองที่มีความยากหรือการกำหนดสถานะที่เป็นขอบของการรับรู้ข้อมูล จึงทำให้ค่าของเวลาในการตอบสนอง มีการกระโดดหรือมีค่ามากกว่าในสถานะปกติ และทำให้เกิดความแปรปรวนที่สูงตามไปด้วย เช่น ที่มุมเอียง 60 องศา กับการอ่านประเภท Target แบบกลุ่มของคำ จะมีใช้เวลาในการอ่านที่นานกว่าการที่มุม 0 องศา ซึ่งเป็นมุมที่แนวสายตาตั้งฉากกับหน้าจอแสดงผลพอดี เป็นต้น

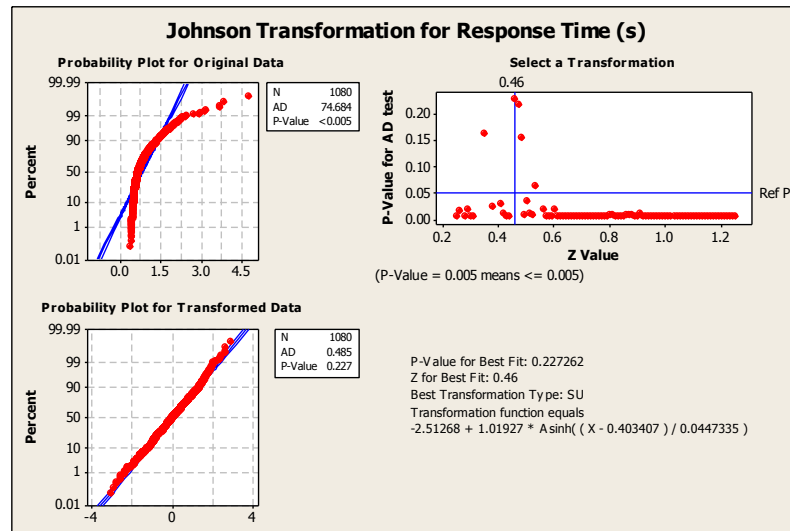


ภาพที่ 4.1 แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติด้านเวลาในการตอบสนอง

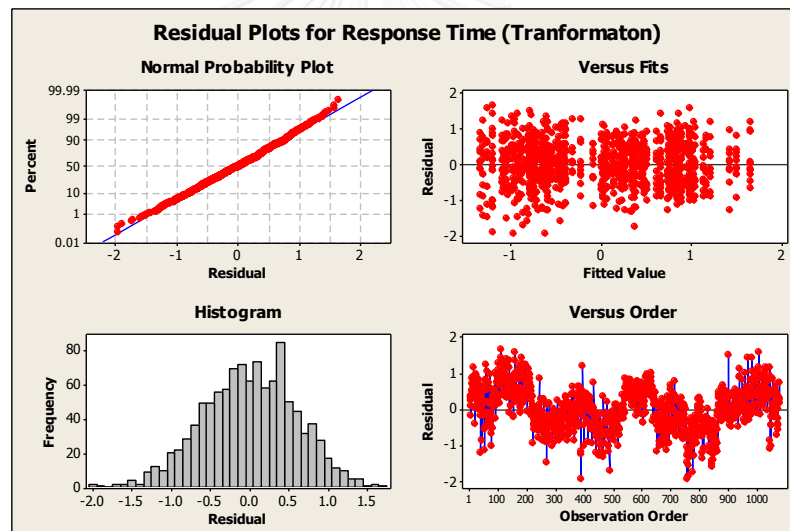
เนื่องจากการตรวจสอบข้อมูลด้านเวลาในการตอบสนองจากขั้นต้น มีการแจกแจงไม่เป็นปกติ จึงทำให้การวิเคราะห์ผลในส่วนต่างๆ เกิดความไม่น่าเชื่อถือขึ้นได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้วิธีการแปลงข้อมูลด้วย Johnson Transformation เพื่อนำฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำมาแปลงค่าข้อมูลเดิมให้เป็นมาตราใหม่ ทั้งนี้เพื่อให้ข้อมูลมาตราใหม่นี้มีการแจกแจงแบบปกตินั่นเอง ซึ่งผลจากการแปลงข้อมูลเป็นไปดังภาพที่ 4.2 โดยมีฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผัน (Inverse Hyperbolic Sine) ของเวลาในการตอบสนองนั่นเอง และทั้งนี้ยังมีรูปแบบของสมการเป็นดัง 4.1 นอกจากนี้พบว่าเมื่อมีการแปลงข้อมูลด้วยฟังก์ชันนี้แล้ว ข้อมูลมาตราใหม่ทางด้านเวลาในการตอบสนองจะมีการแจกแจงปกติด้วย โดยมีค่า P-value=0.227 (P-value>0.05) ซึ่งพิจารณาจากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติ ดังนั้นข้อมูลมาตราใหม่ที่ได้จากการแปลงข้อมูลจากฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง ได้ถูกนำมาเป็นตัวแปรตามสำหรับการวิเคราะห์ผลต่อปัจจัยต่างๆ ต่อไป

$$T_{\text{Transformation}} = -2.5127 + 1.0193A \sinh\left(\frac{T - 0.4034}{0.0447}\right) \quad (4.1)$$

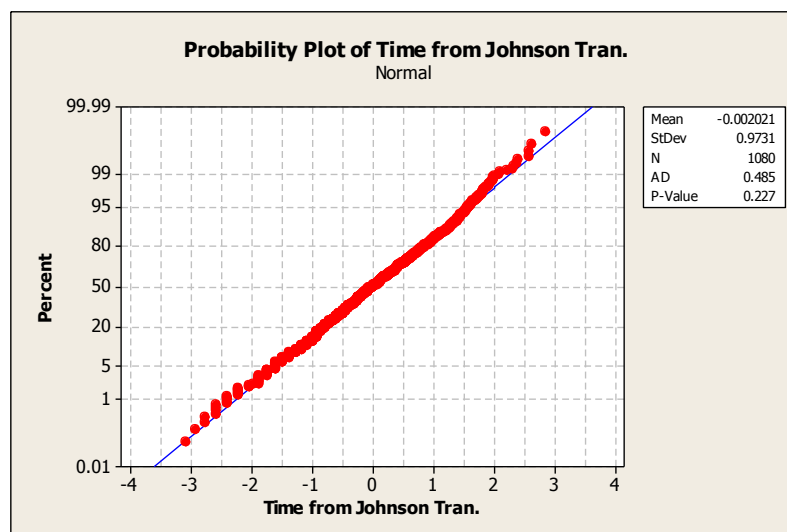
เมื่อ  $T_{\text{Transformation}}$  คือ เวลามาตราใหม่ที่ผ่านการแปลงค่าแล้ว  
 $T$  คือ เวลาในการตอบสนอง



ภาพที่ 4.2 ผลการแปลงข้อมูลของเวลาในการตอบสนองจาก Johnson Transformation



ภาพที่ 4.3 แผนภาพการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองด้านฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์  
 ผกผันของเวลาในการตอบสนอง



ภาพที่ 4.4 แผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติของฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง

จากการแปลงข้อมูลเวลาในการตอบสนอง ซึ่งเป็นข้อมูลเดิมให้เป็นมาตรฐานใหม่เป็นฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง และได้นำข้อมูลมาตรฐานของเวลาเป็นตัวแปรตามนั้น สำหรับการพิจารณาความเหมาะสมของฟังก์ชันต่อข้อมูลที่มีการแปลงค่าแล้ว ซึ่งแสดงด้วยแผนภาพความน่าเชื่อถือของแบบจำลองดังภาพที่ 4.3 พบว่า จากการทดสอบสมมติฐานด้านความเป็นอิสระต่อข้อมูล ด้วยแผนภาพที่มีความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) จะพบว่าส่วนตกค้างของค่าไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง มีการกระจายตัวแบบในรูปแบบหรือแนวโน้มที่ไม่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และสำหรับการทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของของความแปรปรวน โดยพิจารณาได้จากแผนภาพการกระจายตัวที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งข้อมูลไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง ไม่มีการกระจายที่เป็นแนวโน้ม จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นเสถียรภาพของความแปรปรวน นอกจากนี้การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ โดยพิจารณาจากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติ ดังภาพที่ 4.4 ข้อมูลส่วนใหญ่ได้มีการวางตัวอยู่ตามเส้นตรง และมี  $P\text{-value}=0.227$  ( $P\text{-value}>0.05$ ) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ข้อมูลไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง ได้ผ่านการตรวจสอบของความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง โดยมีข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกตินั่นเอง



ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติในรูปแบบ General Full Factorial 3x3x4x3 ของทั้งสี่ปัจจัย คือ ระยะห่างการมอง มุมเอียง ประเภทของ Target และขนาดตัวอักษร ที่ต่อมีส่วนกลับของเวลาในการตอบสนอง ซึ่งเป็นตัวแปรตามนั้นจะได้ผลจากการทดสอบดังภาพที่ 4.5 ซึ่งผลของ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย คือ มุมเอียง ประเภทของ Target และขนาดของ Visual Angle มีอิทธิพลต่อการรับรู้ด้านเวลาในการตอบสนอง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าทั้งสามปัจจัยได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (P-value <0.05) ต่อเวลาในการตอบสนอง ซึ่งทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปัจจัยด้านระยะห่างการมอง และนอกจากนี้ยังพบการมีอิทธิพลร่วมกันระหว่างมุมเอียงกับขนาดของ Visual Angle (P-value <0.05) แต่ไม่พบการมีอิทธิพลร่วมกันระหว่างปัจจัยอื่นๆ แสดงดังภาพที่ 4.6

General Linear Model: Time from Jo versus Viewing Dist, Oblique Angl, ...						
Factor	Type	Levels	Values			
Viewing Distance (m)	fixed	3	2, 6, 12			
Oblique Angle (degree)	fixed	3	0, 45, 60			
Target	fixed	4	Alphabet, Long Word, Number, Short Word			
Visual Angle (MOA)	fixed	3	10, 16, 22			

Analysis of Variance for Time from Johnson Tran., using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Viewing Distance (m)	2	0.907	0.907	0.454	1.23	0.292
Oblique Angle (degree)	2	21.745	21.745	10.873	29.51	0.000
Target	3	558.704	558.704	186.235	505.40	0.000
Visual Angle (MOA)	2	43.395	43.395	21.697	58.88	0.000
Viewing Distance (m) * Oblique Angle (degree)	4	2.182	2.182	0.545	1.48	0.206
Viewing Distance (m) *Target	6	3.291	3.291	0.549	1.49	0.179
Viewing Distance (m) * Visual Angle (MOA)	4	0.468	0.468	0.117	0.32	0.866
Oblique Angle (degree) *Target	6	0.617	0.617	0.103	0.28	0.947
Oblique Angle (degree) * Visual Angle (MOA)	4	4.444	4.444	1.111	3.01	0.017
Target*Visual Angle (MOA)	6	2.804	2.804	0.467	1.27	0.269
Error	1040	383.230	383.230	0.368		
Total	1079	1021.787				

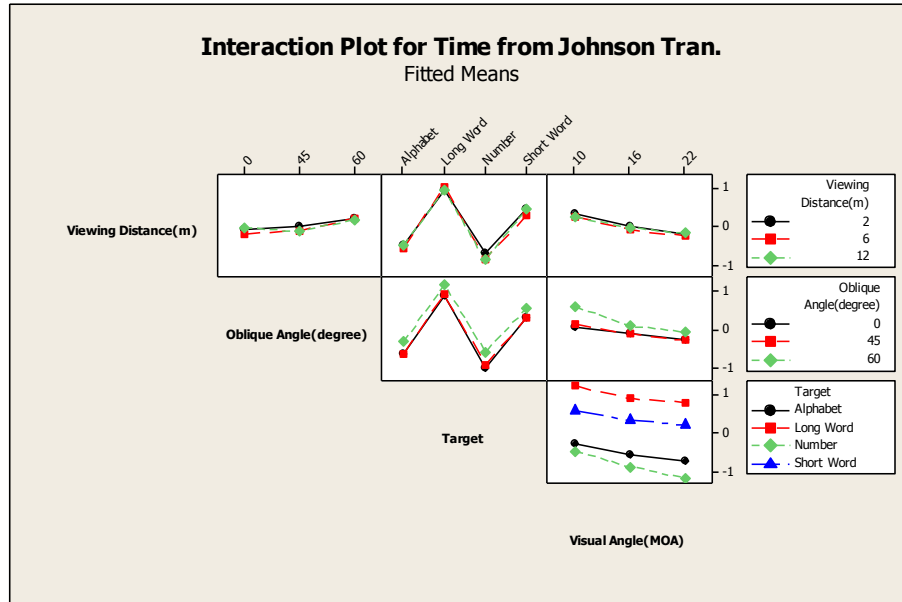
  

S = 0.607034	R-Sq = 62.49%	R-Sq(adj) = 61.09%
--------------	---------------	--------------------

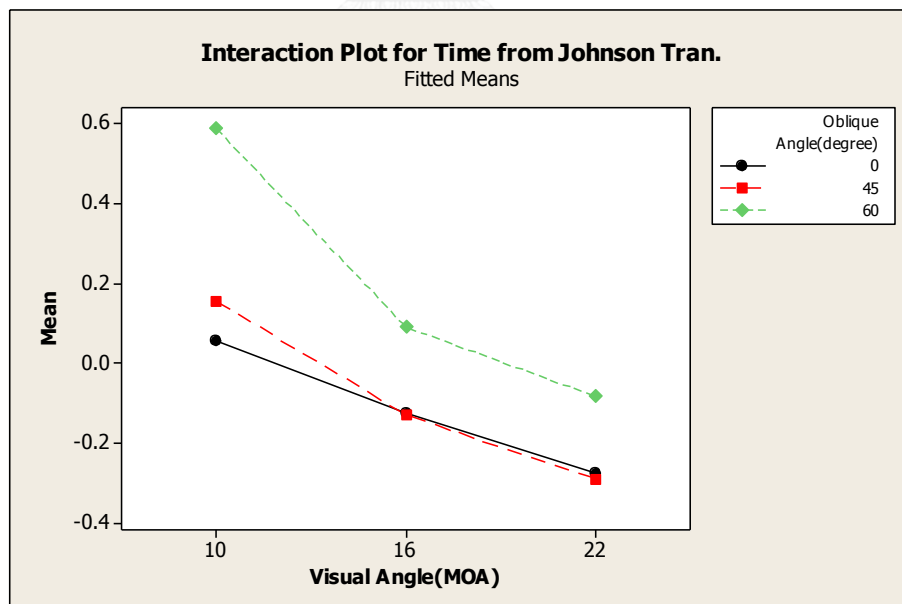
ภาพที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีต่อการรับรู้ด้านไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง

เนื่องจากในขั้นนี้เป็นการประเมินด้านเวลาในการตอบสนองต่อการรับรู้ข้อมูลบนจอแสดงผลแบบ LED ซึ่งสำหรับตัวแปรตามสำหรับการทดสอบค่าทางสถิติได้ทำการแปลงข้อมูลฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง จึงทำให้การวิเคราะห์ถึงแนวโน้มของปัจจัยต่างๆ ยังมี

ลักษณะเป็นเช่นเดิมจากในส่วนของเวลาเดิม หรือมีการผันตามกัน คือ สำหรับการใช้เวลาในการตอบสนองที่มาก ข้อมูลมาตราใหม่ก็จะมีค่ามากตามไปด้วยนั่นเอง



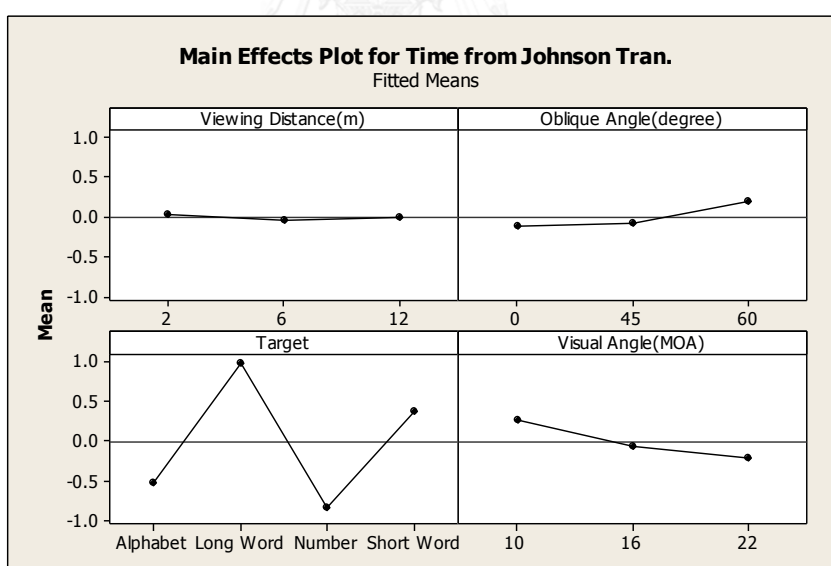
ภาพที่ 4.6 การมีอิทธิพลร่วมกันระหว่างปัจจัยหลักต่อไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง



ภาพที่ 4.7 การมีอิทธิพลร่วมกันระหว่างมุมเอียงกับขนาดของ Visual Angle ต่อไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง

สำหรับผลการทดสอบด้านการมีอิทธิพลร่วมระหว่างคู่ปัจจัย พบว่า มีเพียงอิทธิพลร่วมระหว่างมุมเอียงกับขนาด Visual Angle เท่านั้นที่มีนัยสำคัญ ภาพที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อ Visual Angle มีค่าลดลง ผู้อ่านจะต้องใช้เวลาในการตอบสนองมากขึ้นที่ทุกระดับของมุมเอียง โดยมีอิทธิพลร่วมระหว่าง Visual Angle และมุมเอียงดังนี้คือ เมื่อมุมเอียงเป็น 60 องศา เวลาในการตอบสนองเมื่อ Visual Angle ลดลงจาก 16 MOA เป็น 10 MOA จะเพิ่มขึ้นด้วยขนาดที่มากกว่าการเพิ่มขึ้นของเวลาในการตอบสนองเมื่อมุมเอียงเป็น 0 และ 45 องศา

ถึงแม้อิทธิพลร่วมระหว่าง Visual Angle และมุมเอียงจะมีนัยสำคัญ แต่ทิศทางของผลกระทบของปัจจัย Visual Angle ที่มีต่อเวลาในการตอบสนองก็ยังเป็นไปในทิศทางเดียวกันไม่ว่าจะใช้มุมเอียงที่ระดับใด ดังนั้นผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ผลหลักของปัจจัยต่างๆ ต่อไป โดยจะเปรียบเทียบความแตกต่างที่แต่ละระดับของแต่ละปัจจัยโดยใช้ Paired T-test ภาพที่ 4.8 แสดงให้เห็นผลหลักของปัจจัยต่างๆ คือ ปัจจัยด้านระยะห่างการมอง มุมเอียง ประเภทของ Target รวมถึงขนาดของ Visual Angle



ภาพที่ 4.8 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง

ในส่วนของการพิจารณาแนวโน้มของปัจจัยหลัก นอกจากแผนภาพของปัจจัยหลัก ดังภาพที่ 4.8 ผู้วิจัยยังได้ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับต่างๆ ภายในปัจจัยเดียวกันที่มีต่อไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง โดยใช้วิธีการของ Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 ดังภาพที่ 4.9 กล่าวโดยสรุปได้ว่า สำหรับปัจจัยระยะห่างการมอง พบว่าเวลาในการตอบสนองไม่มีความ

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับของปัจจัยระยะห่างการมองแตกต่างกัน ส่วนปัจจัยด้านมุมเอียงพบว่าปัจจัยนี้มีผลต่อการรับรู้ด้านเวลาในการตอบสนอง โดยพบว่าเมื่อมุมเอียงเป็น 60 องศา จะใช้เวลาในการตอบสนองที่มากกว่าที่มุมเอียงเป็น 0 และ 45 องศา ดังนั้นเวลาในการตอบสนองเมื่อมุมเอียงเป็น 60 องศาจะแตกต่างกับเวลาในการตอบสนอง เมื่อมุมเอียงอยู่ที่ 0 และ 45 องศาอย่างมีนัยสำคัญ และไม่พบความแตกต่างของเวลาเมื่อมุมเอียงเป็น 0 และ 45 องศา สำหรับปัจจัยหลักด้านประเภทของ Target นั้น พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกะดับของ Target โดยเมื่อมีความยาวของ Target มากขึ้น เช่น กลุ่มของคำ พบว่าแนวโน้มของการใช้เวลาในการตอบสนองก็มากขึ้นด้วย และสุดท้ายคือปัจจัยขนาดของ Visual Angle ที่มีความสัมพันธ์กับขนาดความสูงของตัวอักษรนั้น โดยพบว่าเวลาในการตอบสนองมีความแตกต่างกันที่ทุกคู่ของระดับปัจจัย ซึ่งพบว่าขนาดตัวอักษรที่ใหญ่ขึ้นก็จะมีเวลาในการอ่านที่น้อยกว่าตัวอักษรขนาดเล็กกว่าด้วยเช่นกัน

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

Viewing			
Distance (m)	N	Mean	Grouping
2	360	0.0	A
12	360	-0.0	A
6	360	-0.0	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

Oblique			
Angle (degree)	N	Mean	Grouping
60	360	0.2	A
45	360	-0.1	B
0	360	-0.1	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

Target			
	N	Mean	Grouping
Long Word	270	1.0	A
Short Word	270	0.4	B
Alphabet	270	-0.5	C
Number	270	-0.8	D

Means that do not share a letter are significantly different.

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

Visual			
Angle (MOA)	N	Mean	Grouping
10	360	0.3	A
16	360	-0.1	B
22	360	-0.2	C

Means that do not share a letter are significantly different.

ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับต่างๆ ภายในปัจจัยต่อไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง โดยใช้วิธีการของ Tukey

จากผลการทดสอบทางสถิติดังกล่าว ซึ่งผลชี้ให้เห็นว่าปัจจัยด้านมุมเอียง ระดับที่ 0 และ 45 องศา ไม่พบความแตกต่างของเวลาในการรับรู้ โดยทั้งนี้ได้พบว่าที่มุมเอียง 60 องศาได้มีความแตกต่างในด้านเวลาการตอบสนอง เมื่อเทียบกับมุมเอียงที่ 0 และ 45 องศา นอกจากนี้ยังพบว่าในสถานการณ์จริงของการใช้งานจนถึงมุมเอียงที่ 60 องศา เกิดขึ้นได้น้อยและไม่มีความเหมาะสมเพราะมีเวลาในการตอบสนองที่นานกว่ามุมเอียงที่อยู่ในช่วง 0-45 องศา ดังนั้นสำหรับผลการวิจัยในขั้นนี้ จึงได้มีการสรุปว่า สำหรับมุมเอียงที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานควรมีอยู่ในช่วง 0-45 องศา

นอกจากนี้ได้มีการพิจารณาเพิ่มเติมเกี่ยวกับขนาดของ Visual Angle ที่เหมาะสมในด้านเวลาในการตอบสนอง เมื่อมุมเอียงอยู่ในช่วง 0-45 องศา จากภาพที่ 4.7 ผลจากการประเมินด้วยสายตาพบว่า Visual Angle ทั้งสามระดับ คือ 10, 16 และ 22 MOA มีความแตกต่างกันของเวลาในการตอบสนอง แต่ทั้งนี้ผลที่ได้มาจากการประเมินด้วยสายตา ดังนั้นเพื่อสามารถสรุปผลได้อย่างชัดเจนมากขึ้น จึงได้มีการทดสอบทางสถิติเพิ่มเติม โดยหาช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval) ซึ่งได้ค่าต่างๆ ดังตารางที่ 4.2 และจะมีการพิจารณาเปรียบเทียบจากการซ้อนทับกันของช่วงความเชื่อมั่นของเวลาในการตอบสนองในระดับต่างๆ ภายในปัจจัยด้าน Visual Angle ทั้งนี้ถ้ามีการซ้อนทับกันของช่วงความเชื่อมั่นของระดับต่างๆ ก็จะสรุปได้ว่า ระดับนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในด้านเวลาในการตอบสนอง และหากช่วงความเชื่อมั่นไม่ซ้อนทับกัน แสดงว่า ระดับนั้นมีความแตกต่างของเวลาในการตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสูตรของช่วงความเชื่อมั่นแสดงได้ดังสมการที่ 4.2

$$\bar{x} \pm t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \times \frac{SD}{\sqrt{n}} \quad (4.2)$$

เมื่อ  $\alpha$  =ระดับนัยสำคัญที่ 0.05

$n$  = จำนวนตัวอย่าง 240 ตัวอย่าง (มุมเอียง 2 ระดับ คือ 0 และ 45 องศา, ระยะห่างการมอง 3 ระดับ, ประเภทของ Target 4 ระดับ, ผู้เข้าร่วมงานวิจัย 10 คน)

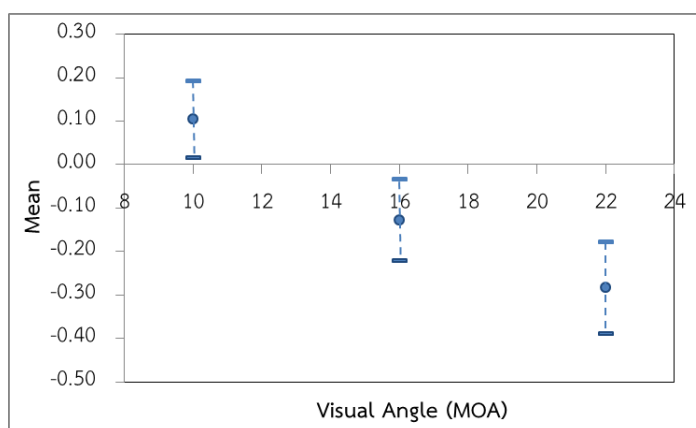
$SD$  = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง

$\bar{x}$  = ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง

ตารางที่ 4.2 ช่วงความเชื่อมั่นของค่าไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนองที่ระดับต่างๆ ภายในปัจจัย Visual Angle เมื่อมีมุมเอียงในช่วง 0-45 องศา

Visual Angle (MOA)	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ช่วงความเชื่อมั่น
10	0.105	0.698	$\pm 0.088$
16	-0.128	0.739	$\pm 0.094$
22	-0.283	0.832	$\pm 0.105$

เมื่อมีการพิจารณาเปรียบเทียบการซ้อนทับของช่วงความเชื่อมั่นของระดับต่างๆ ภายในปัจจัย Visual Angle เมื่อมีมุมเอียงในช่วง 0-45 องศา จากภาพที่ 4.10 และตารางที่ 4.3 พบว่า ช่วงของความเชื่อมั่นของ Visual Angle ที่ 10 MOA ไม่มีการซ้อนทับกับระดับใดๆ เลย และได้พบว่าช่วงของความเชื่อมั่นของ Visual Angle ที่ 16 MOA กับ 20 MOA ได้มีส่วนบางส่วนที่มีการซ้อนทับกัน ด้วยเหตุนี้จึงกล่าวได้ว่าเวลาในการตอบสนองที่ Visual Angle เป็น 10 MOA มีความแตกต่างจากเวลาในการตอบสนอง Visual Angle ที่ 16 และ 22 MOA อย่างมีนัยสำคัญ และสำหรับ Visual Angle ที่ 16 และ 22 MOA ระดับทั้งสองนี้จะไม่พบความแตกต่างของเวลาในการตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญขึ้น ดังนั้นจากผลการวิจัยในครั้งนี้สำหรับสภาวะที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการออกแบบข้อมูลเพื่อแสดงบนจอแสดงผล คือ มุมเอียงควรใช้ในช่วง 0-45 องศา และขนาดของอักขระควรมี Visual Angle ที่ 16 MOA ขึ้นไปนั่นเอง



ภาพที่ 4.10 ช่วงความเชื่อมั่นสำหรับระดับต่างๆ ภายในปัจจัยด้าน Visual Angle เมื่อมีมุมเอียงในช่วง 0-45 องศา

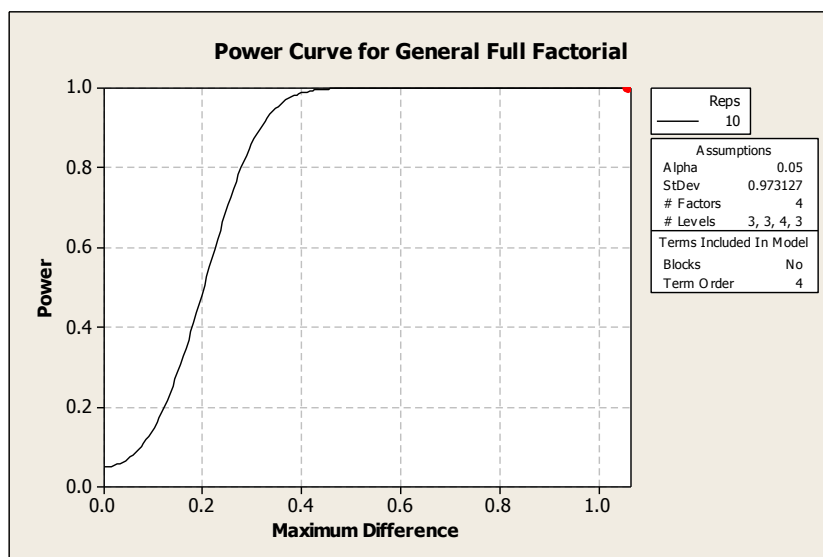
ตารางที่ 4.3 ช่วงความเชื่อมั่นสำหรับระดับต่างภายในปัจจัยด้าน Visual Angle เมื่อมีมุมเอียงในช่วง 0-45 องศา

Visual Angle (MOA)	Upper	Center	Lower
10	0.193	0.105	0.017
16	-0.034	-0.128	-0.221
22	-0.178	-0.283	-0.389

สำหรับในส่วนถัดมาคือการพิจารณาถึงขนาดตัวอย่างต่อกำลังในการตรวจสอบ โดยจากวิเคราะห์ผลในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีรูปแบบเป็น General Full Factorial  $3 \times 3 \times 4 \times 3$  ของทั้งสี่ปัจจัย โดยมีต่อไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนองเป็นตัวแปรตามนั้น จากภาพที่ 4.11 และแผนภาพที่ 4.12 สำหรับที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 และความแตกต่างสูงสุดภายในปัจจัยหลัก พบที่ประเภทของ Target ตัวเลขกับค้ายาว ซึ่งมีค่าประมาณ 0.9731 จึงทำให้ได้ค่าของ Power ที่ได้จากการทดสอบในขั้นนี้มีค่าเข้าใกล้ 1 ดังนั้นจึงทำให้ค่าของ Beta Error มีค่าเข้าใกล้ 0 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจำนวนของข้อมูลมีจำนวนมากพอ และมีความน่าเชื่อถือสำหรับการวิเคราะห์ในขั้นนี้นั่นเอง

Power and Sample Size			
General Full Factorial Design			
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.973127			
Factors: 4 Number of levels: 3, 3, 4, 3			
Include terms in the model up through order: 4			
Not including blocks in model.			
	Maximum	Total	
Difference	Reps	Runs	Power
1.05956	10	1080	1

ภาพที่ 4.11 ค่า Power ที่ได้จากการวิเคราะห์รูปแบบ General Full Factorial ต่อไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง



ภาพที่ 4.12 แผนภาพของค่า Power ที่ได้จากการวิเคราะห์รูปแบบ General Full Factorial ต่อไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง

#### 4.2 การสร้างสมการเพื่อทำนายค่าของตัวแปรตามจากปัจจัยต่างๆ

##### ขั้นที่ 1 การกำหนดขอบเขตของสมการ

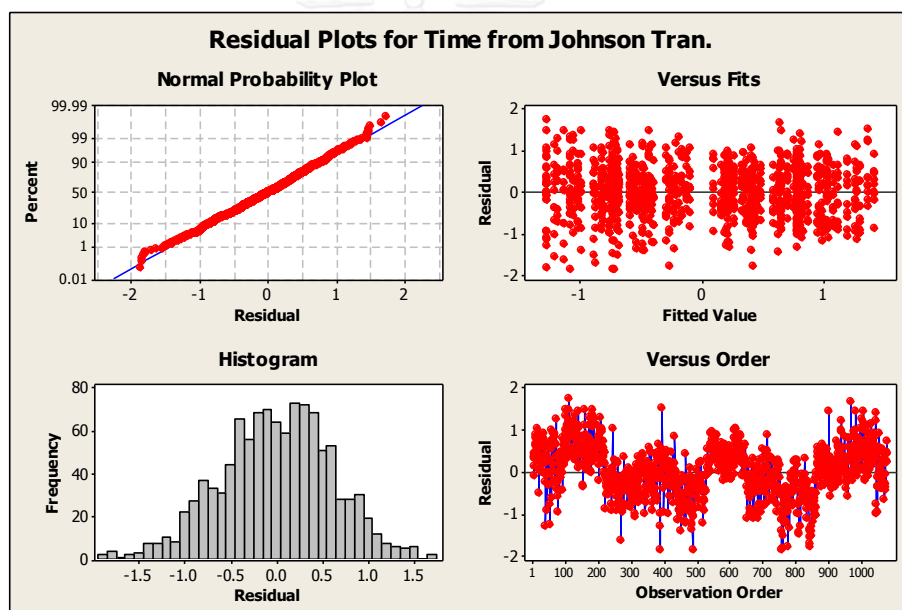
จากผลทดสอบด้าน ANOVA ใน 4.1 สรุปได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาในการตอบสนอง คือ มุมเอียง ประเภทของ Target และขนาดของ Visual Angle นอกจากนี้ยังพบการมีอิทธิพลร่วมกันระหว่างมุมเอียงกับ Visual Angle ด้วยเป็นหลัก ทำให้การสร้างสมการความสัมพันธ์เพื่อทำนายเวลาในการตอบสนอง (สมรรถนะการรับรู้ หรือการอ่านได้) จึงมีฟังก์ชันตามปัจจัยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเวลาในการตอบสนอง แต่เนื่องจากการสร้างสมการการทำนายได้พิจารณาเลือกใช้วิธีการแบบ Stepwise Regression จึงทำให้สามารถพิจารณาปัจจัยหลัก พร้อมทั้งการมีอิทธิพลร่วมของปัจจัยหลักต่างๆ ไว้ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ได้ โดยปัจจัยด้านมุมเอียงอยู่ในช่วง 0-60 องศา ขนาดความสูงของตัวอักษรที่มี Visual Angle ในช่วง 10-22 MOA และระยะห่างการมองในช่วง 2-12 เมตร รวมถึงประเภทของ Target ทั้ง 4 ประเภท ซึ่งปัจจัยด้าน Target เป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ (Qualitative Variable) โดยการสร้างสมการทำนายจำเป็นต้องแปลงปัจจัยนี้ให้อยู่ในรูปของตัวแปรหุ่น (Dummy Variable) และจะเป็นไปตามดังตารางที่ 4.4 และจึงมีการนำมาสร้างสมการการ



ทำนายต่อไป โดยสำหรับตัวแปรตามในการสร้างสมการทำนายยังคงมีตัวแปรตามเป็นต่อไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนองเช่นเดิม

ตารางที่ 4.4 ตัวแปรหุ่น (Dummy Variable) ของปัจจัยประเภท Target

ประเภทของ Target	$X_1$	$X_2$	$X_3$
ตัวเลข	0	0	0
ตัวอักษร	1	0	0
คำสั้น	0	1	0
คำยาว	0	0	1



ภาพที่ 4.13 แผนภาพตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองของสมการการทำนายเวลา

สำหรับการสร้างสมการเพื่อทำนายเวลาในการตอบสนองด้วยวิธี Stepwise Regression ในส่วนแรกคือ การพิจารณาความน่าเชื่อถือของแบบจำลองดังภาพที่ 4.13 พบว่าจากการทดสอบสมมติฐานด้านความเป็นอิสระต่อข้อมูลทั้งสองฟังก์ชัน ด้วยแผนภาพที่มีความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับของการเก็บข้อมูล จะพบว่าส่วนตกค้างของค่าไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนองมีการกระจายตัวในรูปแบบหรือแนวโน้มที่ไม่แน่นอน จึงสรุปได้ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และสำหรับการทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของของค่าแปรปรวน โดยพิจารณาได้จาก

แผนภาพการกระจายตัวที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกพิต ซึ่งค่าไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง ไม่มีการกระจายที่เป็นแนวโน้มเช่นกัน จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นเสถียรภาพของความแปรปรวน นอกจากนี้การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ โดยพิจารณาจากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติ ข้อมูลส่วนใหญ่ได้มีการวางตัวอยู่ตามเส้นตรง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า สมการการทำนายได้ผ่านการตรวจสอบของความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง โดยมีข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

สำหรับสมการทำนายเวลาในการตอบสนอง ที่ได้จากวิธี Stepwise Regression แสดงไว้ในภาคผนวก ฉ และสำหรับตารางที่ 4.5 ได้เป็นการสรุปผลจากการทำ Stepwise Regression ครั้งที่ 11 ของปัจจัยหลักต่างๆต่อค่าไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง โดยพบว่าปัจจัยทั้งสามมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง จึงทำให้สมการการทำนายเวลามีฟังก์ชันเป็นปัจจัยหลักทั้งสาม และได้พบการมีอิทธิพลร่วมระหว่างมุมเอียงกับ Visual Angle และประเภทของ Target กับ Visual Angle ด้วยนั่นเอง โดยสมการการทำนายที่ได้มีค่าของ R-squared อยู่ที่ 60.51% และเมื่อมีการแทนรหัสของตัวแปรหมุนกลับเข้าไปยังสมการทำนายที่ได้ ดังนั้นสมการการทำนายค่าไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง จะมีทั้งสิ้น 4 สมการ ซึ่งแยกตามประเภทของ Target ดังตารางที่ 4.6 และเนื่องจากตัวแปรตามที่ใช้ในการสร้างสมการการทำนายได้อยู่ในฟังก์ชันค่าไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง ตามสมการที่ 4.1 ดังนั้นเมื่อมีการจัดรูปเพื่อหาเวลาในการตอบสนองจะได้ดังตารางที่ 4.7 ซึ่งสมการทั้งหมดจะอยู่ในฟังก์ชันของมุมเอียง Visual Angle และการอิทธิพลร่วมกันของทั้งสองปัจจัย โดยปัจจัยหลักทั้งสองได้มีความสัมพันธ์ต่อเวลาในการตอบสนอง คือ มุมเอียงจะแปรผันตามกับเวลาในการตอบสนอง หรือกล่าวได้ว่าเมื่อขนาดของมุมเอียงหน้าจอเพิ่มขึ้น เวลาในการตอบสนองก็จะมีขนาดเพิ่มขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามขนาดของ Visual Angle จะมีการแปรผกผันกับเวลาในการตอบสนอง หรืออาจจะกล่าวได้เมื่อมีขนาดของ Visual Angle มากขึ้น ซึ่งก็หมายความว่ามีความสูงของอักขระก็เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเวลาในการตอบสนองจึงลดลงด้วยนั่นเอง

ตารางที่ 4.5 สรุปผลจาก Stepwise Regression ครั้งที่ 11 สำหรับปัจจัยหลักที่มีต่อค่าไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผันของเวลาในการตอบสนอง

ตัวแปรต้น	Step 11	
	สัมประสิทธิ์	P-value
Constant	-0.2968	-
Viewing Distance	-	-
Oblique Angle	0.0107	<0.0005
X1	-	-
X2	0.7900	<0.0005
X3	1.4600	<0.0005
Visual Angle	-0.0427	<0.0005
Viewing Distance*Oblique Angle	-	-
Viewing Distance *Visual Angle	-	-
Oblique Angle*Visual Angle	-0.00041	0.006
Viewing Distance*X2	-	-
Viewing Distance*X3	-	-
Viewing Distance*X3	-	-
Oblique Angle*X1	-	-
Oblique Angle*X2	-	-
Oblique Angle*X3	-	-
X1*Visual Angle	0.0192	<0.0005
X2*Visual Angle	0.0265	0.005
X3*Visual Angle	0.0218	0.021

ตารางที่ 4.6 สมการการทำนายเวลาในการตอบสนองของฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผัน

ประเภทของ Target	สมการการทำนาย
ตัวเลข	$T_{Transformation} = -0.2968 + 0.0107\theta_{Oblique} - 0.0427\theta_{Visual} - 0.0004\theta_{Oblique}\theta_{Visual}$
ตัวอักษร	$T_{Transformation} = -0.2968 + 0.0107\theta_{Oblique} - 0.0235\theta_{Visual} - 0.0004\theta_{Oblique}\theta_{Visual}$
คำสั้น	$T_{Transformation} = 0.4932 + 0.0107\theta_{Oblique} - 0.0162\theta_{Visual} - 0.0004\theta_{Oblique}\theta_{Visual}$
คำยาว	$T_{Transformation} = 1.1632 + 0.0107\theta_{Oblique} - 0.0209\theta_{Visual} - 0.0004\theta_{Oblique}\theta_{Visual}$

โดยที่  $T_{Transformation}$  คือ เวลาในการตอบสนองของฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกไซน์ผกผัน

$\theta_{Oblique}$  คือ มุมเอียง ในช่วง 0-45 องศา มีหน่วยเป็นองศา

$\theta_{Visual}$  คือ Visual Angle ในช่วง 10-22 MOA มีหน่วยเป็น MOA

ตารางที่ 4.7 สมการการทำนายเวลาในการตอบสนอง

ประเภทของ Target	สมการการทำนาย
ตัวเลข	$T = 0.4034 + 0.0447 \sinh \left( \frac{2.2159 + 0.0107\theta_{Oblique} - 0.0427\theta_{Visual} - 0.0004\theta_{Oblique}\theta_{Visual}}{1.0193} \right)$
ตัวอักษร	$T = 0.4034 + 0.0447 \sinh \left( \frac{2.2159 + 0.0107\theta_{Oblique} - 0.0235\theta_{Visual} - 0.0004\theta_{Oblique}\theta_{Visual}}{1.0193} \right)$
คำสั้น	$T = 0.4034 + 0.0447 \sinh \left( \frac{3.0059 + 0.0107\theta_{Oblique} - 0.0162\theta_{Visual} - 0.0004\theta_{Oblique}\theta_{Visual}}{1.0193} \right)$
คำยาว	$T = 0.4034 + 0.0447 \sinh \left( \frac{3.6759 + 0.0107\theta_{Oblique} - 0.0209\theta_{Visual} - 0.0004\theta_{Oblique}\theta_{Visual}}{1.0193} \right)$

โดยที่  $T$  คือ เวลาในการตอบสนอง มีหน่วยเป็น วินาที (s)

$\theta_{Oblique}$  คือ มุมเอียง ในช่วง 0-45 องศา มีหน่วยเป็นองศา

$\theta_{Visual}$  คือ Visual Angle ในช่วง 10-22 MOA มีหน่วยเป็น MOA

และสำหรับประเภทของ Target ประกอบด้วยอักขระเชิงเดี่ยว คือ ตัวเลขและตัวอักษร  
ประเภทของกลุ่มคำ คือ คำสั้นและคำยาว ซึ่งประกอบด้วย 4 ตัวอักษรเรียงต่อกันและ 7-8 ตัวอักษร  
เรียงต่อกันตามลำดับ และสมการการทำนายนี้จะสามารถใช้ได้ตลอดในช่วง 2-12 เมตรของระยะห่าง  
การมอง



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จอแสดงผลแบบ LED ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ที่เป็นวงกว้างไม่ว่าจะใช้ภายในอาคารและนอกอาคาร ยกตัวอย่างเช่น การโฆษณารายการอาหารหน้าร้านอาหาร, การแสดงตัวเลขคิวภายในโรงพยาบาล, การใช้ในการเรียนการสอน การอบรม, การแสดงภายนอกอาคารในการโฆษณาในรูปแบบดิจิทัลวิดีโอ ในสถานการณ์เหล่านี้ๆ จะมีการแสดงข้อมูลทั้งในรูปแบบของตัวหนังสือและตัวเลขรวมอยู่ด้วย และจากการศึกษามากมายเกี่ยวกับการอ่านจากหน้าจอแสดงผลถึงปัจจัยต่างๆ ได้พบว่าตัวอักษรได้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการของผู้อ่าน หรืออาจกล่าวได้ว่าจอแสดงผลประเภทนี้ได้กลายมาเป็นตัวกลางสำคัญในการประมวลผลสารสนเทศของมนุษย์ด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกับประสิทธิภาพของ Information Processing หรือการรับรู้ข้อมูล ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการนี้ด้วย ขนาดตัวอักษรเป็นปัจจัยหลักอย่างไม่ต้องสงสัยที่จะมีการทดสอบและยังได้ถูกแนะนำไว้ในมาตรฐานต่างๆ นอกจากนี้ระยะห่างการมองข้อมูลบนจอ ซึ่งจากงานวิจัยส่วนใหญ่จะได้รับการมองในแนวตั้งฉากกับหน้าจอ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วได้มีการมองในลักษณะเป็นมุมด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ในการศึกษาผลกระทบระหว่างระยะห่างการมอง ขนาดตัวอักษร และมุมเอียง รวมถึงประเภทของ Target ที่มีต่อสมรรถนะการรับรู้ข้อมูลบนจอแสดงผลแบบ LED โดยปัจจัยด้านระยะห่างการมองจะประกอบด้วย 3 ระดับ คือ 2, 6 และ 12 เมตร มุมเอียงประกอบด้วย 4 ระดับ คือ มุม 0 (มุมที่แนวสายตาดั้งฉากกับจอแสดงผล), 45, 60 และ 75 องศา และขนาดความสูงของตัวอักษรที่มี Visual Angle ประกอบด้วย 7 MOA รวมถึงได้มีการศึกษาปัจจัยด้านประเภทของ Target ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ ตัวเลข, ตัวอักษร, คำสั้นและคำยาวเพิ่มเติมด้วย ทั้งนี้เวลาในการตอบสนอง ได้เป็นตัวแปรตามที่ใช้ในการศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ต่อไป

จากปัจจัยต่างๆ ที่ได้มีการศึกษา และผลการทดลองที่ได้อยู่ในระดับที่น่าพอใจหรือเป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ล่วงหน้า โดยสถานการณ์จากการทดลองที่ยากขึ้นสอดคล้องกับการใช้เวลาในการตอบสนองที่เพิ่มขึ้นตามไป โดยมีรายละเอียดแต่ละปัจจัยดังต่อไปนี้

ปัจจัยด้านมุมเอียง เมื่อมีการเอียงของหน้าจอแสดงผลมากขึ้น จะส่งผลให้มีเวลาการตอบสนองก็มากขึ้นด้วย โดยการเพิ่มขึ้นนี้จะเกิดขึ้นอย่างเด่นชัดตั้งแต่ระดับสูงกว่า 45 องศาขึ้นไป คือระดับ 60 องศา สาเหตุหลักเกิดจากความบิดเบี้ยวของตัวอักษรเมื่อมองจากมุมเอียง ทำให้อ่านได้ยากขึ้น และความจริงที่ว่าจอแสดงผลได้มีความสว่างน้อยลงเมื่อมีมุมเอียงเกินกว่ามุม 45 อีกด้วย จึงทำให้เวลาในการตอบสนองที่มุม 60 องศา มีความแตกต่างอย่างน้อยสำคัญกว่ามุมเอียงที่ 0 และ 45 องศา

ปัจจัยด้านระยะห่างการมอง ผลจากการวิเคราะห์ด้านเวลาในการตอบสนองไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในส่วนของปัจจัยนี้ โดยผลการวิจัยในส่วนนี้ยังเป็นการยืนยันผลได้อย่างหนึ่งว่า สำหรับคนที่มีความสามารถในการมองเห็นแบบปกติแล้ว ระยะห่างการมองจะไม่มีผลต่อการโฟกัสภาพของตาจนกระทั่งถึงระยะห่างการมองที่ระยะ 12 เมตรนั่นเอง ดังนั้นจึงส่งผลทำให้ Visual Angle ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความสูงของตัวอักษรกับระยะห่างการมองใช้ได้ถึงระยะ 12 เมตรด้วยเช่นกัน เพราะฉะนั้นการรับรู้ข้อมูลบนจอแสดงผลจะเกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับขนาดความสูงของตัวอักษร โดยมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงของขนาด Visual Angle มากกว่าการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างการมองที่ Visual Angle เดียวกัน จึงทำให้สำหรับปัจจัยด้านขนาดตัวอักษรหรือความสูงของตัวอักษร ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ Visual Angle และระยะห่างการมองหนึ่งๆ นั้น ได้พบว่ามีผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อเวลาในการตอบสนอง ซึ่งขนาดตัวอักษรที่มีขนาดเล็กมีการใช้เวลาในการตอบสนองที่มากกว่าตัวอักษรที่มีขนาดใหญ่กว่า

สำหรับการมีอิทธิพลร่วมกันของปัจจัยด้านมุมเอียงและ Visual Angle ต่อเวลาในการตอบสนอง สามารถสรุปได้ว่าระดับที่มีความเหมาะสมต่อด้านเวลาในการตอบสนอง คือ มุมเอียงควรใช้ในช่วง 0-45 องศา และแนะนำขนาดความสูงของตัวอักษรควรจะมี Visual Angle ในช่วง 16-22 MOA หรือมีขนาดมากกว่า 16 MOA ขึ้นไป เพราะทั้งสองระดับภายในปัจจัยเดียวกัน ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อเวลาในการตอบสนองนั่นเอง

สุดท้ายนี้ปัจจัยเสริมที่ถูกนำมาพิจารณาเพิ่มเติม คือปัจจัยด้านประเภทของ Target ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า Target ประเภทอักขระเดี่ยวทั้งกลุ่มตัวเลข และตัวอักษร จะสามารถอ่านได้ง่ายกว่า จึงใช้เวลาในการตอบสนองที่เร็วกว่า ส่วนหนึ่งน่าจะเกิดจากความจริงที่ว่าลักษณะงานที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นงานที่อาศัยกระบวนการประมวลผลข้อมูลแบบล่างขึ้นบน (Bottom-Up

Processing) ทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็ Target ประเภทใด ดังนั้นความสามารถในการอ่านตัวอักษรได้ออกทุกตัวจึงเป็นสิ่งจำเป็น สำหรับ Target ประเภทกลุ่มคำซึ่งเป็นการเรียงต่อกันของอักขระมากกว่า 1 ตัว จะส่งผลให้ตัวแปรตามด้านเวลาในตอบสนองสูงขึ้นกว่า Target ประเภทอักขระเดี่ยว

ในส่วนของการสร้างสมการเพื่อการทำนาย สำหรับสมการการทำนายเวลาในการตอบสนอง จะมีการทำนายเฉพาะขนาดตัวอักษรที่อ่านได้อย่างชัดเจนแล้ว โดยมีขอบเขตของมุมเอียงอยู่ในช่วง 0-60 องศา และขนาดความสูงของตัวอักษรที่มี Visual Angle ตั้งแต่ 10-22 MOA และปัจจัยในด้านของระยะห่างการมองที่ 2-12 เมตร ผลของสมการที่ได้รับจากผลการทดลองพบว่าสมการการทำนายของทั้ง 4 สมการ ซึ่งแบ่งแยกตามประเภทของ Target เช่นกัน จะอยู่ในรูปแบบฟังก์ชันของปัจจัยด้านมุมเอียง Visual Angle และการมีอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยเป็นหลัก และเมื่อพิจารณาแยกปัจจัยระหว่างมุมเอียงต่อเวลาในการตอบสนองนั้นจะการแปรผันตามกันคือ เมื่อมีมุมเอียงมากขึ้น การใช้เวลาในการตอบสนองก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ในทางกลับกัน Visual Angle จะมีการแปรผกผันกับเวลาในการตอบสนอง คือ เมื่อมีขนาดตัวอักษรที่มีขนาดเพิ่มมากขึ้นจะทำให้เวลาในการตอบสนองลดลงด้วยนั่นเอง

## 5.2 แนวทางการประยุกต์ใช้ผลการวิจัย

### 5.2.1 คำแนะนำสำหรับการออกแบบข้อมูลที่แสดงบนหน้าจอแสดงผล

จากผลของการศึกษาปัจจัยต่างๆ สามารถนำมาเป็นแนวทางหรือคำแนะนำในการออกแบบสำหรับการมองเพื่อรับรู้ข้อมูลบนจอ LED ได้บางประการ ลำดับแรกขอแนะนำว่าสำหรับการออกแบบข้อมูลที่จะนำเสนอบนจอแสดงผลแบบ LED ควรมีการพิจารณาและทำความเข้าใจในช่วงที่เป็นไปได้ทั้งหมดของการมุมเอียงที่เกิดขึ้น กล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่ามุมเอียงส่งผลต่อการรับรู้ข้อมูลบนจอ ซึ่งสำหรับผลการทดลองในการวิจัยนี้ได้พบว่า มุมเอียงที่เหมาะสมต่อการรับรู้ไม่ควรมีขนาดเกินจาก 45 องศา ในแนวซ้าย-ขวา กับแนวสายตาดั้งฉากกับจอแสดงผล แต่สำหรับงานที่จำเป็นต้องใช้มุมเอียงเกิน 45 องศา ซึ่งแนะนำว่าไม่ควรเกินจาก 60 องศาอีกด้วยเช่นกัน เพราะที่มุมเอียง 60 องศา จากการวิจัยนี้ได้พบว่าจะเป็นจุดการเพิ่มอย่างมากของเวลาในการอ่าน โดยทั้งนี้คาดว่าเกิดจากความสว่างของจอจะน้อยลงเมื่อมีมุมเอียงเพิ่มมากขึ้น ทำให้ต้องใช้เวลาในการตอบสนองที่มากขึ้น และสำหรับ



คำแนะนำด้านมุมเอียงในงานวิจัยนี้ ได้เฉพาะมุมเอียงในแนวนอน หรือแนวซ้าย-ขวาจากแนวสายตา การมองตั้งฉากกับจอแสดงผลเท่านั้น

ประการที่สองระยะห่างการมอง เป็นส่วนถัดมาที่ได้รับการพิจารณา โดยระยะห่างการมอง มักจะถูกจำกัดด้วยขนาดของพื้นที่หรือขนาดของห้องที่ได้นำจอแสดงผลไปใช้งาน ดังนั้นระยะห่างการมองจึงมีขอบเขตที่ชัดเจน เพื่อสำหรับนำไปพิจารณาหรือคำนวณหาค่าขนาดความสูงของอักขระที่จำเป็นในการแสดงบนจอแสดงผลต่อไป

ประการที่สามการเลือก Visual Angle ที่เหมาะสมก็จะถูกเลือกหลังจากการมีการพิจารณาถึงช่วงของมุมเอียงและขอบเขตของระยะห่างการมองแล้ว และขนาดความสูงที่เหมาะสมก็จะถูกคำนวณมาหลังจากนั้น ซึ่งควรมีการคำนึงถึงความสูงของอักขระที่เหมาะสมสำหรับการแสดงบนจอ กับข้อมูลในแต่ละประเภท โดยจะขึ้นอยู่กับความสำคัญของข้อความหรือข้อมูลนั้นด้วย สำหรับงานวิจัยนี้ได้มีการแนะนำขนาดความสูงของอักขระควรมี Visual Angle มากกว่า 16 MOA ขึ้นไป ซึ่งผลงานวิจัยที่ได้ก็มีความสอดคล้องกับคำแนะนำจากงานวิจัยของ Henning and Ye (1996), Helander et al. (1984) และ Helander and Rupp (1984) และคำแนะนำจากมาตรฐาน ISO9241 (1998), ATIS (1998) และ ANSI/HFS (1988) ถึงขนาดความสูงของอักขระควรมี Visual Angle อยู่ที่ 16-24 MOA แต่สำหรับการแสดงผลข้อมูลบนจอในสถานการณ์จริง เนื่องจากพื้นที่ของการนำเสนอข้อมูลมีราคาต่อพื้นที่ที่สูง นอกจากนี้ยังมีพื้นที่สำหรับการใช้งานที่จำกัดด้วย เพราะฉะนั้นขนาดความสูงที่มี Visual Angle ขนาดเล็กกว่ามาตรฐานกำหนดจึงได้ถูกนำมาใช้ ซึ่งจากผลการของงานวิจัยนี้ Visual Angle ที่มีขนาดเล็กกว่า 16 MOA ได้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญกับเวลาในการตอบสนอง โดยเมื่อขนาดของ Visual Angle เล็กลงเวลาในการอ่านมีการเพิ่มขึ้นตามลำดับ ด้วยเหตุนี้ การแสดงข้อมูลบนจอเพื่อการสื่อสารขนาดตัวอักษรจึงมีความสำคัญมาก และควรมีการพิจารณาอย่างละเอียด เพราะถ้ามีขนาดเล็กเกินไป เพื่อการประหยัดพื้นที่แล้ว แต่สำหรับการไปใช้เพื่อการสื่อสาร อาจไม่เป็นผลสำเร็จได้นั่นเอง

ข้อควรระวังของการออกแบบการแสดงผลข้อมูลบนจอ คือ Viewing Angle ซึ่งได้มีการกำหนดขึ้นจากผู้ผลิต โดยเป็นมุมสูงสุดที่มีความสว่างลดลงเป็นครึ่งหนึ่งจากกึ่งกลางหน้าจอ หรือจอจะมีความส่องสว่างน้อยลงเมื่อมีการเป็นมุมเอียงมากขึ้น ทั้งนี้ Viewing Angle จึงไม่มีความเกี่ยวข้องกับ

ขอบเขตของการยังอ่านได้ หรือไม่ได้หมายความว่าประสิทธิภาพในการอ่านจะเหมือนกันตลอดในช่วงของมูมนี่

### 5.2.2 การพิจารณาสมการการทำนายเวลาในการตอบสนอง

จากสมการที่ได้มีการทำนายไว้นั้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการหาเวลาการรับรู้ต่อข้อมูลที่ปรากฏบนจอได้ โดยสมการที่มีการทำนายไว้ ได้มีการแบ่งตามประเภทของข้อมูลที่สามารถพบได้ในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นกลุ่มของคำ เช่น คำสั้นและคำยาว ทั้งนี้สำหรับกลุ่มของคำที่มีความยาวหรืออักขระที่เรียงต่อกันอยู่นอกเหนือจากงานวิจัยนี้ที่ได้มีการศึกษา ก็สามารถคำนวณหาเวลาในการตอบสนองแบบโดยรวมเฉลี่ยได้จากสมการการทำนายเวลาสำหรับตัวอักขระเชิงเดี่ยว คือตัวเลขและตัวอักษรได้อีกด้วยเช่นกัน

### 5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยในอนาคต

จากงานวิจัยนี้ที่ดำเนินการวิจัยจนกระทั่งได้มีการสรุปผลการทดลอง ได้นำไปสู่ข้อเสนอแนะสำหรับผู้สนใจต้องการศึกษาเรื่องนี้ในอนาคต ดังต่อไปนี้

1. จากผลการวิจัยพบว่าคุณภาพหรือความละเอียดของจอ LED ส่งผลต่อ Visual Angle ที่มีขนาดเล็กกว่าที่ระยะห่างมอง 2 เมตร ซึ่งเป็นระยะใกล้โดยประมาณที่ได้รับการแนะนำจากผู้ผลิต ดังนั้นก่อนเริ่มการกำหนดระยะห่างการมองควรมีการศึกษานำร่องเพื่อหาระยะห่างการมองที่เหมาะสมต่อสภาวะนั้นของการทดลองที่จะมีการศึกษาต่อไป
2. เพิ่มระดับการทดสอบของขนาดความสูงของอักขระที่มี Visual Angle ให้มีความละเอียดของแต่ละระดับที่ลดลงหรือมีความละเอียดมากขึ้น เพื่อจะได้เห็นแนวโน้มของเวลาการตอบสนอง อันจะเป็นประโยชน์ต่อการสร้างสมการเพื่อทำนายค่าเวลาการตอบสนอง
3. ควรมีการพิจารณาในการเก็บข้อมูลเพื่อให้ได้เวลาในการตอบสนองที่ชัดเจนถูกต้องมากขึ้น เช่น อาจใช้เครื่องบันทึกเสียงและตั้งโปรแกรมที่สามารถบันทึกเวลาได้อย่างอัตโนมัติ ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการเก็บข้อมูล ลดเวลา หรือสามารถมีการแก้ไขได้ในทันทีว่าการนำผลการทดลองที่ได้มาทบทวนความถูกต้องและเวลาในการตอบสนอง ซึ่งกระบวนการนี้ได้ใช้เวลาในการวิเคราะห์หมากพอสมควรนั่นเอง

## รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- จินตนา เวชสวัสดิ์. (2545). สารานุกรมพื้นฐานของร่างกายมนุษย์. กรุงเทพมหานคร: ที เจ เจ.
- ฉัตรปวีณ อ่ำภา. (2555). การสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสอนอ่านภาษาอังกฤษ ระดับชั้นมัธยมศึกษา. มหาวิทยาลัยศิลปากร, สาขาวิชาการสอนภาษาอังกฤษในฐานะภาษาต่างประเทศ บัณฑิตวิทยาลัย.
- ชุตินา สุวานิชย์. (2549). จอ LCD มีความแตกต่างจากจอ CRT อย่างไร. Retrieved 8 ธันวาคม 2556, from [http://www.uniserv.buu.ac.th/forum2/topic.asp?TOPIC\\_ID=1446](http://www.uniserv.buu.ac.th/forum2/topic.asp?TOPIC_ID=1446)
- ซัมซุง. ทีวี LCD กับ LED ต่างกันอย่างไร. Retrieved 16 ธันวาคม 2556, from <http://www.samsung.com/th/article/lcd-vs-led/>
- ซัมซุง. (2556). LED : ระยะห่างการดูทีวี. Retrieved 20 มกราคม, 2557, from <http://skp.samsungcsportal.com/integrated/popup/FaqDetailPopupMobile.jsp?cdsite=th&seq=449646>
- ทนุ เตียวรัตน์กุล. (2556). พจนานุกรมคำศัพท์ระดับประถม (ป.1-ป.6). กรุงเทพมหานคร: พ.ศ. พัฒนา จำกัด.
- ทิตินา แคมมณี. (2557). ศาสตร์การสอน:องค์ความรู้เพื่อการวัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธวัชชานนท์ สิปปภากุล. (2548). การยศาสตร์และกายวิภาคเชิงกล. กรุงเทพมหานคร: บริษัท วาดศิลป์ จำกัด.
- นนทิตา ถาวรไพบูลย์บุตร. (2555). กรอบอ้างอิงการรับรู้ทางสายตา (Visual Perception Frame of Reference). วารสารกิจกรรมบำบัด, 17, 25-29.
- นภาพร ตนานุวัฒน์. (2551). การวัดระดับสายตา และการตรวจจอตา (Visual Acuity and Ophthalmoscopy). Retrieved 10 มกราคม 2557, from <http://www.medicine.cmu.ac.th/dept/eye/lecture301.pdf>
- ปรียา อนุพงษ์อ้อจ. การเกิดภาพภายในตา. Retrieved 16 ธันวาคม 2556, from [http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/62/light1/ligh\\_17.htm](http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/62/light1/ligh_17.htm)
- ปัฐมา วงศ์วิวัฒนะเดช. (2555). ลานสายตา. Retrieved 8 ธันวาคม 2556, from <http://www.vichaiyut.co.th/forum/index.php?topic=528.0>
- มนตรี ตั้งพิชัยกุล. (2555). ศัพท์อังกฤษสำหรับแอดมินชั้น. กรุงเทพมหานคร: เดอะบุ๊ก จำกัด.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. (2556). เอกสารสื่อการสอนอิเล็กทรอนิกส์ บทที่ 5 การรับรู้ (Perception). Retrieved 8 ธันวาคม 2556, from <http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/SSC231/Psychology/Chapter5/Ch5.pdf>

ราชกิจจานุเบกษา ประกาศกระทรวงศึกษาธิการ. (2556). แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์อาคารของสถาบันอุดมศึกษา. 15-21.

สมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย. (2543). ข้อเสนอแนะนำการส่องสว่างสำหรับห้องที่มีจอคอมพิวเตอร์.

สมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย. (2548). ความรู้พื้นฐานทางด้านแสงสว่าง. Retrieved 10 มกราคม 2557, from <http://www.tieathai.org/know/general/general0.htm>

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2556). สรุปสถานการณ์เศรษฐกิจอุตสาหกรรมประจำเดือนเมษายน 2556. Retrieved 8 ธันวาคม 2556, from <http://www.ryt9.com/s/oie/1655756>

เสาวนีย์ ลีละวัฒน์พันธ์. (2556). 4.3 CSS font. Retrieved 6 มกราคม 2557, from <http://61.19.202.164/resource/elearning/w31102/content/css-02-03.html>

อุณหภูมิต่อเศรษฐกิจ. (2556). จับตาธุรกิจสื่อโฆษณาดิจิทัลนอกบ้าน. Retrieved 15 ธันวาคม 2556, from <http://www.biztempnews.com/index.php//technology/item/4303-จับตาธุรกิจสื่อโฆษณา-ดิจิทัลนอกบ้าน>

ภาษาอังกฤษ

Clara, S. (2012). LCD TV Shipments to Grow 7% in 2012 to 220M Units, Despite Zero Growth in Overall TV Shipments. Retrieved 8 DEC 2013 [http://www.displaysearch.com/cps/rde/xchg/displaysearch/hs.xsl/120509\\_lcd\\_tv\\_shipments\\_to\\_grow\\_in\\_2012\\_to\\_220M\\_units\\_despite\\_zero\\_growth\\_in\\_overall\\_tv\\_shipments.asp](http://www.displaysearch.com/cps/rde/xchg/displaysearch/hs.xsl/120509_lcd_tv_shipments_to_grow_in_2012_to_220M_units_despite_zero_growth_in_overall_tv_shipments.asp)

Colenbrander, A. (2001). Measuring Vision and Vision Loss Retrieved January 8, 2014, from [http://www.ski.org/Colenbrander/Images/Measuring\\_Vis\\_Duane01.pdf](http://www.ski.org/Colenbrander/Images/Measuring_Vis_Duane01.pdf)

Dillon, A. (1992). Reading from paper versus screens: a critical review of the empirical literature. *Ergonomics*, 35, 1297-1326.

Henning, L. K. and Ye, N., (1996). Interaction of screen distances, screen letter height and source document distance. *HUMAN-COMPUTER INTERACTION*, 8, 311-322.

- International Organization of Standardization (ISO9241). (1998). Ergonomic requirement for office work with visual display terminal (VDTs).
- International Sign Association. (2007). Conspicuity and Readability. Retrieved March 8, 2014, from [http://www.signs.org/portals/0/docs/signline/signline\\_51.pdf](http://www.signs.org/portals/0/docs/signline/signline_51.pdf)
- Jorna, G. C., and Snyder, H. L.,. (1991). Image Quality Determines Differences in Reading Performance and Perceived Image Quality with CRT and Hard-Copy Displays. *Human Factors and Ergonomics Society*, 33, 459-469.
- Karagoslo, C. Kampangtong, C. and Phuripriya P.,. (2001). *Entrance Vocabulary Synonyms and Antonyms*. Bangkok: P.S.P.
- Klare, G. R. (1963). *The measurement of readability*. Ames IA: Iowa State University Press.
- Morrissey, S. J. (1998). Readability of VDU Messages with Oblique Screen Angles. *Advances in Industrial Ergonomics and Safety I*, 337-343.
- Park, B. R. and Cha, H. Y.,. (2010). Thermal consideration in LED array design for LCD backlight unit applications. *IEICE Electron*, 7, 40-46.
- Seow S.C. (2005). Information Theoretic Models of HCI: A Comparison of the Hick-Hyman Law and Fitts' Law. *HUMAN-COMPUTER INTERACTION*, 20, 315-352.
- Shena, I. H. Shiehb, K. K. Chaoc, C. Y. and Leed, D. S.,. (2009). Lighting, font style, and polarity on visual performance and visual fatigue with electronic paper displays. *Displays*, 30, 53-58.
- Snyder, H. L. Decker, J. J. Lloyd, C. J. C. and Dye, C.,. (1990). Effect of Image Polarity on VDT Task Performance. *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 34, 1447-1451.
- Tan, S. T. Gergle, D., Scupelli, P.G., and Pausch R., . (2003). With Similar Visual Angles, Larger Displays Improve Spatial Performance. *Large Displays*, 5, 218-224.
- United States Department of Transportation. (1998). Human Factors Design Guidelines for Advanced Traveler Information Systems (ATIS) and Commercial Vehicle Operations (CVO). Retrieved January 8, 2012, from <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/98057/ch03b.cfm>

- Wanga, A. H. and Chenb, M. T.,. (2000). Effects of polarity and luminance contrast on visual performance and VDT display quality. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25, 415–421.
- Weinger, M. B. Wiklund, M. E. and Bonneau, D. J. G.,. (2011). *Handbook of Human Factors in Medical Device Design*. Ed. Boca Raton: CPS Press.
- Wickens, C. D. (1984). *Engineering psychology and human performance*. Columbus, OH: Merrill.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY





ภาพที่ ก.1 แบบสอบถามเพื่อคัดกรองผู้เข้าร่วมงานวิจัยก่อนเริ่มมีการเก็บข้อมูล

แบบสอบถามเพื่อคัดกรองผู้เข้าร่วมงานวิจัย	
<p>ผู้ร่วมวิจัยคนที่ : .....(ขอสงวนสิทธิ์ในการกล่าวถึงชื่อ-นามสกุล)  วัน/เดือน/ปี ที่เก็บข้อมูล: .....  รหัสวีดีโอ : .....</p>	
<p><b>ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม (โปรดเติมเครื่องหมาย ✓ และกรอกข้อความให้สมบูรณ์)</b></p> <p>1. เพศ <input type="checkbox"/> ชาย <input type="checkbox"/> หญิง</p> <p>2. อายุ <input type="checkbox"/> 20-35 ปี (โปรดระบุวัน/เดือน/ปี เกิด: .....และอายุ..... ปี)</p> <p>3. วุฒิการศึกษาสูงสุด <input type="checkbox"/> ปริญญาตรี <input type="checkbox"/> ปริญญาโท <input type="checkbox"/> ปริญญาเอก</p> <p>4. สถานะการศึกษา  <input type="checkbox"/> อยู่ระหว่างการศึกษา (คณะ.....)  <input type="checkbox"/> จบการศึกษา (คณะ..... ปีที่จบการศึกษาสูงสุด: .....)</p> <p>5. ประกอบอาชีพ  <input type="checkbox"/> นิสิตหรือนักศึกษา  <input type="checkbox"/> อื่นๆ (โปรดระบุ: อาชีพ ..... ระยะเวลาทำงาน.....ปี)</p>	
<p><b>ส่วนที่ 2 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย</b></p> <p>6. สายตา <input type="checkbox"/> ปกติหรือไม่มีปัญหาด้านสายตา  <input type="checkbox"/> มีปัญหา (โปรดระบุ: สายตาสั้น / สายตายาว, สวมแว่น / คอนแทคส์, ระดับสายตาที่มีปัญหา ซ้าย: ...../ขวา: .....)</p> <p>7. ตรวจวัดความสามารถในการมองเห็นโดยใช้ Snellen Chart  <input type="checkbox"/> ปกติ  <input type="checkbox"/> ไม่ปกติ</p> <p><b>หมายเหตุ:</b> ความสามารถในการมองเห็นที่เป็นปกติ คือสามารถอ่านตัวเลขได้ครบทุกตัวบนขีดแดงแถวที่ 7 หรือ แถวที่ 20/20 โดยมีระยะห่างจากแผนภาพที่ระยะ 6 เมตร</p>	

ภาคผนวก ข

วิธีการใช้โปรแกรม ErgoEyeSkill ในการเก็บข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

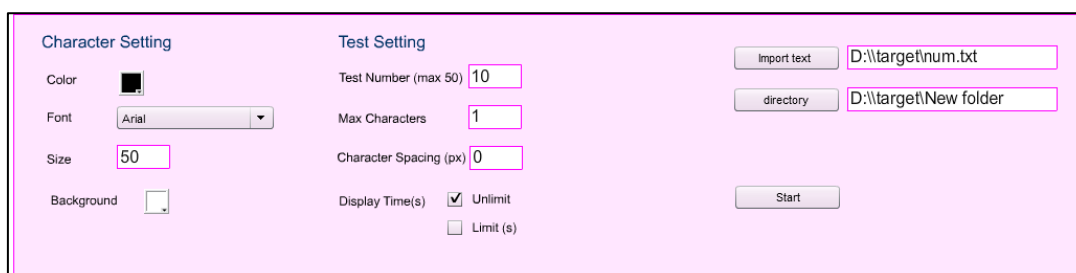
## วิธีการใช้โปรแกรม ErgoEyeSkill ในขั้นตอนของการเก็บข้อมูล

1. เปิดโปรแกรม ErgoEyeSkill โดยส่วนประกอบของโปรแกรม จะเป็นดังภาพที่ ข.1ซึ่งได้มีการแบ่งส่วนต่างๆ ไว้ดังนี้คือ ส่วนของแถบสีทึบ จะเป็นส่วนของเมนูที่มีไว้สำหรับตั้งค่าตัวอักษรหรือ Target ที่ต้องการให้มีการปรากฏบนจอแสดงผล และส่วนที่สองเป็นส่วนของที่ว่างถัดลงมาจากส่วนที่เป็นสีทึบหรือแถบของเมนู ในส่วนนี้จะมีไว้ใช้ในการแสดงตัวอย่างรูปแบบของตัวอักษรหรือ Target ที่เราได้มีการตั้งค่าไว้ ทั้งนี้ก็เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องก่อนจะเริ่มมีการเก็บข้อมูลนั่นเอง



ภาพที่ ข.1 โปรแกรม ErgoEyeSkill

2. การตั้งค่าบนแถบเมนู ก่อนเริ่มการเก็บข้อมูล ดังภาพที่ ข.2 โดยมีรายละเอียด ดังนี้



ภาพที่ ข.2 แถบเมนูในโปรแกรม ErgoEyeSkill สำหรับตั้งค่า Target ก่อนมีการข้อมูล

## 2.1 การตั้งค่าตัวอักษร (Character Setting)

2.1.1 Color คือ สีของตัวอักษร ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้สีดำ

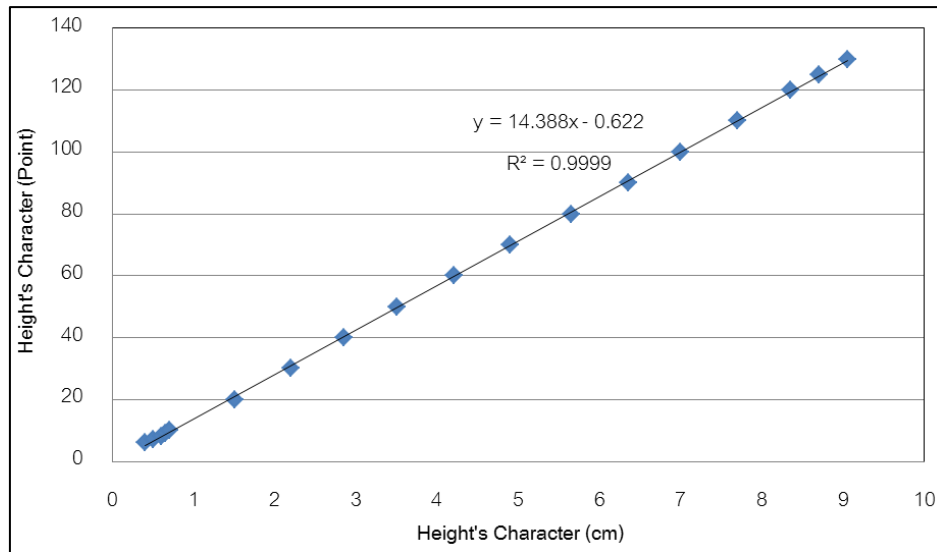
2.1.2 Font คือ รูปแบบของตัวอักษร ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้ Arial

2.1.3 Background คือ สีของพื้นหลัง ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้สีขาว

2.1.4 Size คือ ขนาดของตัวอักษร มีหน่วยเป็น Point ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มีการแปลงค่าขนาดของความสูงของตัวอักษรจากหน่วยที่เซนติเมตรให้มีหน่วยเป็น Point โดยขนาดความสูงของตัวอักษรที่ใช้ในการทดลองนี้สามารถวัดได้โดยตรงจากหน้าจอแสดงผล ดังนั้นจึงได้มีการหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความสูงของตัวอักษรที่มีหน่วยเป็นเซนติเมตรกับหน่วยของ Point โดยมีการวัดทั้งหมด 3 ครั้ง ดังตารางที่ ข.1 แสดงค่าเฉลี่ยที่มีการวัด 3 ครั้ง หลังจากนั้นแล้วจึงนำค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด 3 ครั้งไปการสร้างกราฟเพื่อหาสมการเชิงเส้นถดถอย ซึ่งมีลักษณะของกราฟและมีสมการดังภาพที่ ข.3 โดยสมการที่ได้มีค่า R-square อยู่ที่ 0.9999 ทั้งนี้เมื่อได้สมการเชิงเส้นถดถอยแล้วจะมีการนำไปใช้ในการคำนวณหาขนาดความสูงของตัวอักษรที่มีหน่วยเป็น Point ตามความสูงที่เราได้มีการกำหนดไว้ในงานวิจัยนี้ต่อไป ซึ่งจะสรุปขนาดความสูงของตัวอักษรดังตารางที่ ข.2 โดยขนาดความสูงของตัวอักษรที่แสดงในหน่วยเซนติเมตรจะได้จากคำนวณด้วยสมการ 2.4 ด้วยเช่นกัน และจากความละเอียด (Resolution) เท่ากับ 1360x768 pixel ของจอแสดงผลที่ใช้ในการวิจัยนี้ นอกจากนี้จากความสูงของจอจะเท่ากับ 74.8 เซนติเมตร ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน pixel ต่อความสูงของตัวอักษรเป็น 10.27 pixel/cm เพราะฉะนั้นเราก็จะได้ขนาดของความสูงที่มีหน่วยเป็น pixel ด้วยนั่นเอง

ตารางที่ ข.1 ค่าเฉลี่ยขนาดความสูงของตัวอักษรในหน่วย Point และเซนติเมตรที่มีการวัด 3 ครั้ง

Character's	Point	1	3	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	125	130
Height	cm	0.10	0.20	0.40	0.40	0.50	0.60	0.65	0.70	1.50	2.20	2.85	3.50	4.20	4.90	5.65	6.35	7.00	7.70	8.35	8.70	9.05



ภาพที่ ข.3 สมการเชิงเส้นถดถอยที่ใช้ในการประมาณขนาดความสูงของตัวอักษร

ตารางที่ ข.2 ขนาดความสูงของตัวอักษรในหน่วย Point และ Pixel ที่ใช้ในงานวิจัย

Viewing Distance (m)	Character Size (MOA)	Height's Character		
		cm	Point (y = 14.388x - 0.622)	pixel
2	2	0.12	1.052	1.195
	4	0.23	2.726	2.389
	6	0.35	4.400	3.584
	8	0.47	6.074	4.779
	10	0.58	7.749	5.973
	16	0.93	12.771	9.557
	22	1.28	17.793	13.141
6	2	0.35	4.400	3.584
	4	0.70	9.423	7.168
	6	1.05	14.445	10.752
	8	1.40	19.467	14.336
	10	1.75	24.490	17.920
	16	2.79	39.557	28.672
	22	3.84	54.624	39.424
12	2	0.70	9.423	7.168
	4	1.40	19.467	14.336
	6	2.09	29.512	21.504
	8	2.79	39.557	28.672
	10	3.49	49.602	35.840
	16	5.59	79.736	57.344
	22	7.68	109.870	78.848

## 2.2 การตั้งค่าการทดลอง (Test Setting)

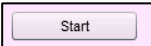
- 2.2.1 Test Number คือ จำนวน Target ทั้งหมดที่ปรากฏบนจอแสดงผลในหนึ่งชุดการทดลอง หรือหนึ่งเงื่อนไข (Condition) ในการทดลองนี้ตั้งค่าไว้ที่ 10 จำนวนจึงจบในหนึ่งเงื่อนไขที่มีการทดลอง
- 2.2.2 Max Character คือ จำนวนตัวของ Target ที่แสดงบนจอแสดงผล ในการทดลองนี้ตั้งค่าไว้ที่ 1 จำนวนหรือ 1 Digit เช่น ตัวเลขแบบเดียว, คำหนึ่งคำ เป็นต้น
- 2.2.3 Character Spacing คือ ระยะช่องไฟระหว่างตัวอักษร สำหรับงานวิจัยนี้ได้กำหนดอัตราส่วนระหว่างขนาดตัวอักษรกับระยะช่องไฟไว้อย่างอัตโนมัติโดยโปรแกรม ErgoEyeSkill ซึ่งสำหรับตัวอักษรที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ระยะช่องไฟก็จะมากขึ้นด้วย แต่ทั้งนี้เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนแล้วนั้นจะได้เท่ากันตลอดการทดลอง
- 2.2.4 Display Time(s) คือ เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยน Target สามารถเลือกได้สองแบบ คือแบบไม่กำหนดเวลา (Unlimit) โดยผู้ควบคุมการทดลองจะเป็นผู้กดเพื่อเปลี่ยน Target ที่ปรากฏบนจอแสดงผล และแบบการกำหนดเวลา (Limits) โดย Target จะเปลี่ยนอย่างอัตโนมัติเมื่อครบเวลาที่กำหนดไว้ ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกแบบไม่กำหนดเวลา (Unlimit)

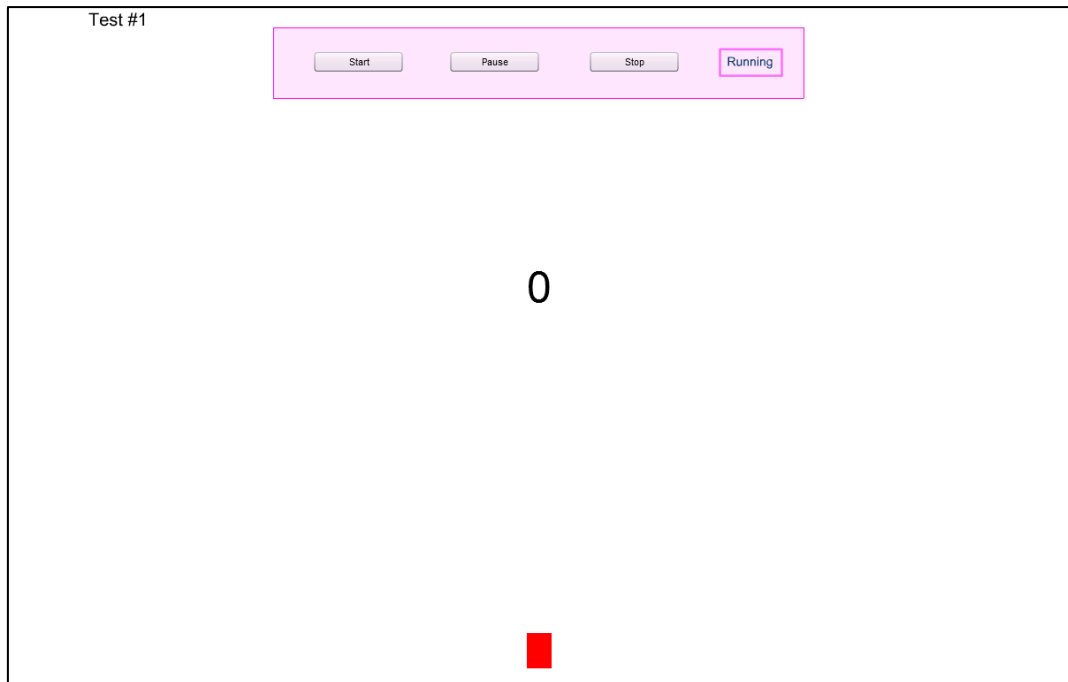
### 2.3 การเลือกประเภทของ Target โดยเลือกผ่าน

Import text	D:\targetnum.txt
-------------	------------------

### 2.4 เลือกสถานที่เก็บข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

directory	D:\New folder
-----------	---------------

3. เมื่อตั้งค่าสำหรับการทดลองในเงื่อนไขนั้นเสร็จแล้ว จะมีตัวอย่างของตัวเลข, ตัวอักษร หรือคำที่ได้มีการเลือกหรือตั้งค่าไว้ ซึ่งจะแสดงตัวอย่างตรงบริเวณถัดลงจากส่วนของเมนู และเมื่อตรวจสอบว่าถูกต้อง  แล้ว จึงกดปุ่ม เพื่อเริ่มเก็บข้อมูลในเงื่อนไขของการทดลองนั้น โดยมีตัวอย่าง Target ที่แสดงบนจอแสดงผลดังภาพที่ ข.4



ภาพที่ ข.4 ตัวอย่าง Target ชนิดตัวเลขที่แสดงบนจอแสดงผลในระหว่างการเก็บข้อมูล







กลุ่มคำภาษาอังกฤษแบบสั้น (Short Words)

No.	SET1	SET2	SET3	SET4	SET5	SET6	SET7	SET8	SET9	SET10
1	BACK	BAHT	BAKE	BALL	BEAR	BEAN	BATH	BANK	BEST	BELL
2	BEER	BEEF	BIRD	BLUE	BOAT	BONE	BOWL	BOOT	BOSS	BOOK
3	BURN	BARK	JOKE	BELT	BEND	BIKE	BITE	BLOW	BOLD	BUSH
4	CAKE	CAME	CAMP	CASE	CASH	CHEF	CLAP	COAT	COIN	COLD
5	COMB	COME	CONE	COOK	COOL	CRAB	CUBE	CUTE	CHAT	CAGE
6	CALL	CART	CAST	CAVE	CENT	CHEW	CHOP	CLAW	CLUE	CUFF
7	CALF	CHIN	HIRE	HOOP	HUGE	HUNT	HEEL	INCH	KNIT	KNOT
8	DARK	DEAD	DEAR	DEER	DESK	DISH	DIVE	DOLL	DOOR	DOSE
9	DRAW	DRUM	DUCK	DUMP	DUST	DOWN	DAMP	DIRT	DUMB	EAST
10	FACE	FAIR	FALL	FEED	FAST	FEEL	FEET	FILM	FIND	FINE
11	FISH	FIVE	FLAT	FOIL	FOOD	FOOT	FOUR	FREE	FROG	FROM
12	FULL	FARM	FIST	FLEW	FOOL	FORK	FOLD	JUMP	JUNE	JUST
13	GAME	GAVE	GIFT	GIRL	GIVE	GOAT	GOLD	GOOD	GRAM	GRAY
14	GROW	GERM	GLUE	GOWN	LAMB	LEND	LIME	LOAF	LIPS	MOLE
15	HAIR	HAND	HARD	HEAD	HAVE	HEAR	HATE	HIGH	HELP	HILL
16	HERE	HOLD	HOLE	HOME	HOOD	HARE	HURT	PURR	HIDE	HIKE
17	KICK	KILL	KIND	KING	KISS	KITE	KNEE	KNEW	KNOW	KILT
18	LAMP	LAND	LAST	LATE	LEAF	LEAN	LEFT	LESS	LIKE	LIFE
19	LINE	LIVE	LOCK	LONG	LOOK	LOUD	LOVE	LUCK	LAKE	LANE
20	MAIN	MAKE	MARK	MEAT	MEET	MILK	MINE	MONK	MOON	MOVE
21	MUCH	POUR	MAID	MANE	MUST	MASK	MEAL	MEAT	MEND	MICE
22	NAIL	NAME	NEAR	NECK	NEED	NEWS	NEXT	NINE	NOON	NONE
23	NICE	NOSE	NEAT	NEST	NAPE	POND	PIPE	PRAY	VASE	TICK
24	PAGE	PAIN	PAIR	PARK	PART	PASS	PATH	PICK	PEAR	PINK
25	POOL	PLAN	PORK	PLAY	POST	PULL	PUSH	PEEL	PIER	PINE
26	RAIN	READ	REST	RICE	RICH	RIDE	RING	RISE	ROAD	ROCK
27	JAZZ	JEEP	JOIN	ROLL	ROOF	ROOM	ROSE	RULE	RUDE	SOUR
28	SAFE	SAID	SALE	SALT	SAME	SAND	SEAT	SAVE	SELL	SHOE
29	SHOP	SHOW	SICK	SIDE	SING	SIZE	SOAP	SOFT	SOME	SONG
30	SUIT	SAIL	SOUP	SANG	SEAL	SEEK	SELF	SHIP	SILK	SINK
31	TAIL	TAKE	TALK	TALL	TENT	THAI	THAN	THAT	THIN	THIS
32	TIME	TOWN	TREE	TRIP	TRUN	TYPE	TEAR	TILE	TOAD	TYRE
33	WAIT	WAKE	WALK	WALL	WANT	WARM	WATT	WAVE	WASH	WEEK
34	WEAR	WENT	WELL	WEST	WHEN	WHAT	WIDE	WIFE	WIND	WING
35	WORD	WISH	WOLF	WOOD	WIRE	WORK	WASP	WEAK	WELD	WHIP
36	WINE	WIPE	WISE	WOOF	WORM	WRAP	YEAR	YOUR	YARD	YELL

กลุ่มคำภาษาอังกฤษแบบยาว (Long Words)

No.	SET1	SET2	SET3	SET4	SET5	SET6	SET7	SET8	SET9	SET10
1	ABILITY	ABSENCE	ACCOUNT	ACTIVATE	ADDITION	ABRIDGE	ABOLISH	ABANDON	ACQUIRE	ALLOCATE
2	AILMENT	ANALYZE	ANXIETY	AVERAGE	ARRANGE	ATTRACT	AWFULLY	ANTIQUE	APPROVE	APPOINT
3	ABSTRACT	ACCIDENT	AWKWARD	AWESOME	ATTITUDE	ASSEMBLY	ARGUMENT	APTITUDE	BENEFIT	BECAUSE
4	BALANCE	BELOVED	BLENDING	BROCHURE	BARGAIN	BANQUET	BESECH	BLEMISH	BRITTLE	BACHELOR
5	CERTAIN	CALIBER	CANTEEN	CAPTURE	CLARIFY	CHANNEL	CHAPTER	CHARITY	COMBINE	CLIMATE
6	CLUSTER	COLLAGE	CONCEAL	COMMENT	COMPARE	COMPLEX	CONFIN	CONCERN	CONDUCT	CONFESS
7	CONTACT	CONFIRM	CONFUSE	CONSIST	CULTURE	CONTAIN	CONTEND	CONVERT	CHRONIC	CUPOLAS
8	CURIOUS	CUSHION	COMPILE	COMPETE	CONSUME	CONSENT	CLASSIFY	CONCLUDE	COMPOUND	COMPLETE
9	CONSUMER	CONTINUE	CRITICAL	CUSTOMER	DECISION	DECEPTIVE	DESTINY	DESTROY	DELICATE	DEVOUS
10	DECLINE	DELIVER	DEplete	DEPOSIT	DESERVE	DESPAIR	DISPUTE	DYNAMIC	DEVELOP	DEVIATE
11	DIAGRAM	DIGNITY	DISCARD	DISEASE	DISMISS	DISPLAY	DIVISION	DEFINITE	DEPRESS	DISAGREE
12	DESCRIBE	DECEIVE	DISCOVER	DISTANCE	ELECTION	EMISSION	ENTITLE	ENVOUS	DISMOUNT	EXPLAIN
13	ELEMENT	DRAMATIC	EDUCATE	ELEGANT	EXACTLY	EXAMINE	FITNESS	FAILURE	EXPENSE	EXERCISE
14	EXAMPLE	ENHANCE	EXPLOIT	EXPRESS	EXTREME	EVIDENT	FLAWLESS	FLEXIBLE	EXTINCT	FURNISH
15	ESTIMATE	EXCLUDE	EXTENDED	ENTRANCE	FEATURE	FICTION	GENEROUS	HELPFUL	FOOLISH	FORECAST

No.	SET1	SET2	SET3	SET4	SET5	SET6	SET7	SET8	SET9	SET10
16	FURTHER	EXCHANGE	GENUINE	GRATEFUL	FUNCTION	FERTILE	HABITUAL	INQUIRE	FEEDBACK	INVOLVE
17	GENERAL	FLATTER	HUMOROUS	HEALTHY	HARMFUL	GRATEFUL	INSPECT	INSTANCE	FRIENDLY	INDICATE
18	HARVEST	GRADUAL	IMPROVE	IMAGINE	GUIDANCE	HORRIFY	INTEGRAL	LOOPHOLE	HONESTY	MISTAKE
19	IMMENSE	HARNESS	INDULGE	INITIAL	INSTALL	INSPIRE	LOVABLE	MACHINE	INTENSE	NEGATIVE
20	INCLINE	IMMORAL	ISOLATE	INTRIGUE	INTEREST	IMPOSING	MANNERS	MUSCULAR	INCREASE	OFFICER
21	INCIDENT	INCLUDE	JEALOUS	LABORED	LENGTHY	LICENSE	MULTIPLY	NOTABLE	MICROBE	PRECISE
22	KINGDOM	INSTEAD	LOGICAL	MENTION	MONITOR	MYSTERY	NOMINATE	OPINION	NUTRIENT	PROCEED
23	MOISTURE	KINDNESS	MINIMUM	MAINTAIN	MODERATE	MOTIVATE	OPERATE	PERFORM	OPPONENT	PERSONAL
24	NATURAL	JUSTIFY	MEASURE	NERVOUS	NOMADIC	NOMINEE	PERFECT	PRODUCT	PREDICT	REFLECT
25	ONENESS	LEISURE	NEGLECT	OBVIOUS	OPTIMUM	ORGANIC	PRODUCE	PROSPER	PROCESS	ROMANCE
26	PROMISE	MAXIMUM	OBSERVE	OUTDOORS	OVERCOME	OVERFLOW	PROPOSE	PERCEIVE	PERPLEX	REGULATE
27	POSITION	MINIMIZE	OBSOLETE	PARTNER	PICTURE	PIGMENT	PROPERTY	RECEIVE	RECOVER	SEEPAGE
28	HOPELESS	NEUTRAL	PACKAGE	PROBLEM	PRESUME	PREVENT	RECEIPT	REVENUE	REVERSE	SPONSOR
29	QUESTION	POPULAR	PRIVACY	PROLONG	PROTECT	PROVIDE	RETREAT	RESOURCE	RESPONSE	SUSTAIN
30	ROUTINE	PROMOTE	PROJECT	PROHIBIT	PURCHASE	PROPOSAL	RESONANT	SURPRISE	SERIOUS	TERRIFIC



No.	SET1	SET2	SET3	SET4	SET5	SET6	SET7	SET8	SET9	SET10
31	RELEVANT	PRESSURE	PROGRESS	RAMMING	READILY	REALIZE	SUBTRACT	SIMILAR	SITUATE	TROPICAL
32	SKILLFUL	QUARTER	QUALITY	RESERVE	RESPECT	RESPOND	STUMBLE	SUGGEST	SHARPLY	JUSTICE
33	SCATTER	RADIATE	RADICAL	RELATIVE	RESEARCH	RESEARCH	SURFACE	TORTURE	TREMBLE	LOYALTY
34	SUPPORT	REQUEST	REQUIRE	SKELETON	STANDARD	SEGMENT	TYPICAL	VIOLATE	VILLAIN	MIXTURE
35	SUSPEND	REMEMBER	REACTION	SERVICE	SEVERAL	SHELTER	VISIBLE	OUTLINE	TRANSMIT	RADIANT
36	TEARING	RENOVATE	SHORTAGE	STRANGE	SUSPECT	SUPPOSE	WITHHOLD	PASSIVE	OPENING	RELEASE
37	UNKNOWN	SENSIBLE	SILENCE	SCRATCH	SYMPTOM	SEQUENCE	SUCCESS	PORTION	OVERALL	TENDENCY
38	VACATION	SATISFY	SUCCEED	THUNDER	TIGHTLY	TRANSIT	SURPLUS	UNCOMMON	PENDING	VETERAN
39	WEATHER	TENSION	SEPARATE	TRANSFER	VARIETY	VERTICAL	UNDERGO	COSMETIC	YOUTHFUL	WELFARE
40	THERAPY	THREATEN	TOLERATE	VARIOUS	WORKING	WILLING	VENTURE	WITNESS	WHISPER	CONSIDER

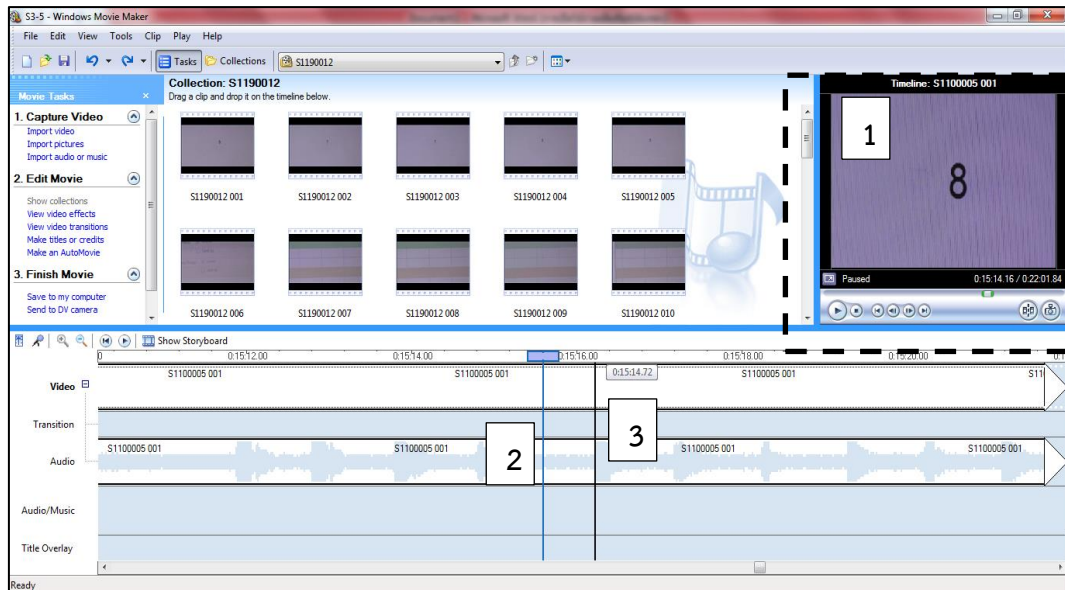
ภาคผนวก ง

ขั้นตอนการทบทวนความถูกต้องและเวลาในการอ่านจากวิดีโอที่ได้มีการบันทึกไว้

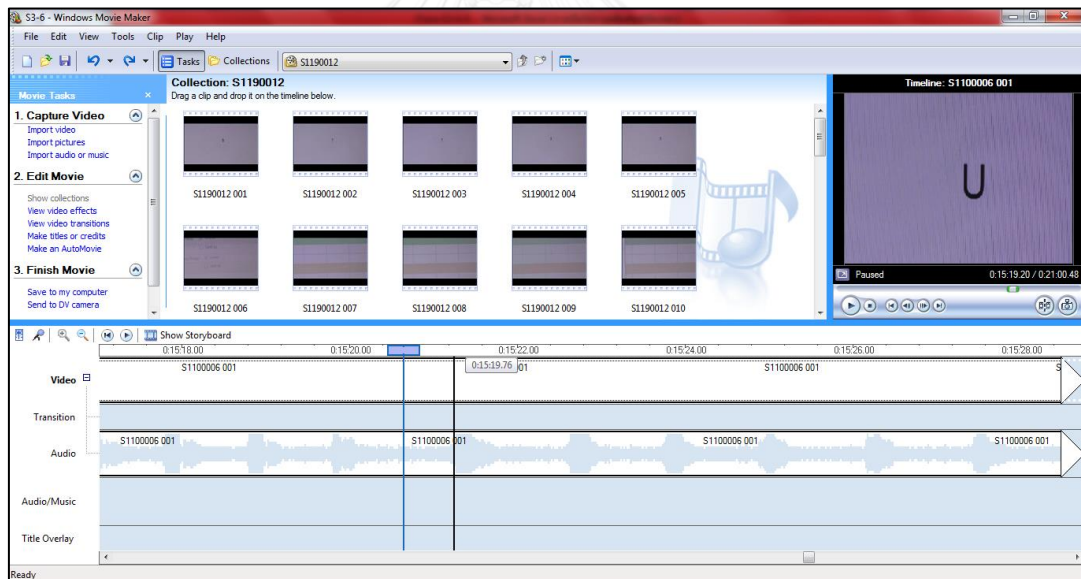
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### ขั้นตอนการทบทวนความถูกต้องและเวลาในการอ่านจากวิดีโอที่ได้มีการบันทึกไว้

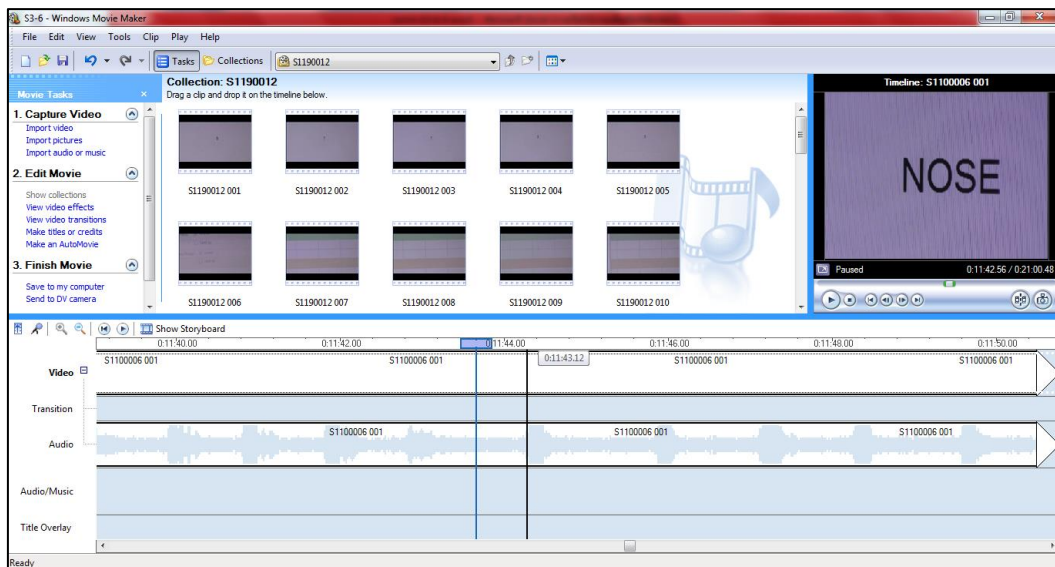
1. วิดีโอที่ได้บันทึกไว้จะถูกนำมาใช้ในการทบทวนความถูกต้องและพิจารณาถึงเวลาในการอ่าน โดยใช้โปรแกรม Windows Movie Maker มาช่วยในส่วนนี้ เริ่มตั้งแต่การเลือกไฟล์ที่ต้องการ ซึ่งจากโปรแกรมดังกล่าวจะมีส่วนสำคัญกับข้อมูลของเวลา ดังภาพที่ ง.1 แสดงตัวอย่างการอ่านเวลา จากโปรแกรม Windows Movie Maker โดยแสดงชนิดของ Target เป็นตัวเลข ส่วนที่ 1 คือ บริเวณจอเพื่อแสดงถึง Target ที่แสดง ณ ขณะนั้น โดยมีความสัมพันธ์กับส่วนที่ 2 ซึ่งเป็นแถบของเวลา โดยเมื่อเลื่อนส่วนนี้ไปเวลาจะแสดงได้จอภาพของส่วนที่ 1 (เช่น ) และในส่วนนี้เองที่ใช้ในการดูเวลา ณ ที่ Target นั้นเริ่มขึ้นบนจอภาพ นอกจากนี้ตรงส่วนนี้ยังสัมพันธ์กับคลื่นเสียงที่มีการเริ่มอ่านด้วยคือ ส่วนที่ 3 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อมีการอ่านจะมีการขยับขึ้น ดังนั้นเมื่อเราเส้นบอกเวลาไปหาบริเวณที่คลื่นเสียงเริ่มขึ้น ก็จะเป็นเวลาที่เริ่มอ่านนั่นเอง (เช่น ) และเมื่อหาผลต่างระหว่างเวลาที่เริ่มอ่านกับเวลาที่ Target เริ่มขึ้นแสดงบนจอ ก็จะเรียกเวลาในส่วนนี้ว่า Responds Time ซึ่งจะถูกนำไปเป็นผลของการทดลองต่อไป ส่วนในการทบทวนความถูกต้องของการอ่านก็สามารถทำได้ โดยการเปิดฟังการอ่านของผู้เข้าร่วมงานวิจัย ซึ่งสามารถกระทำได้อย่างต่อเนื่องจากส่วนของเวลา และจะทำเช่นนี้จนครบ 10 จำนวนของตัวเลข, ตัวอักษร และคำ ที่มีการปรากฏขึ้นบนจอ ซึ่งเป็นอันว่าจบในหนึ่งเงื่อนไขในการทดลอง โดยทั้งนี้จะมีการรวบรวมค่าไว้ใน Sheet ของโปรแกรม Excel ต่อไป



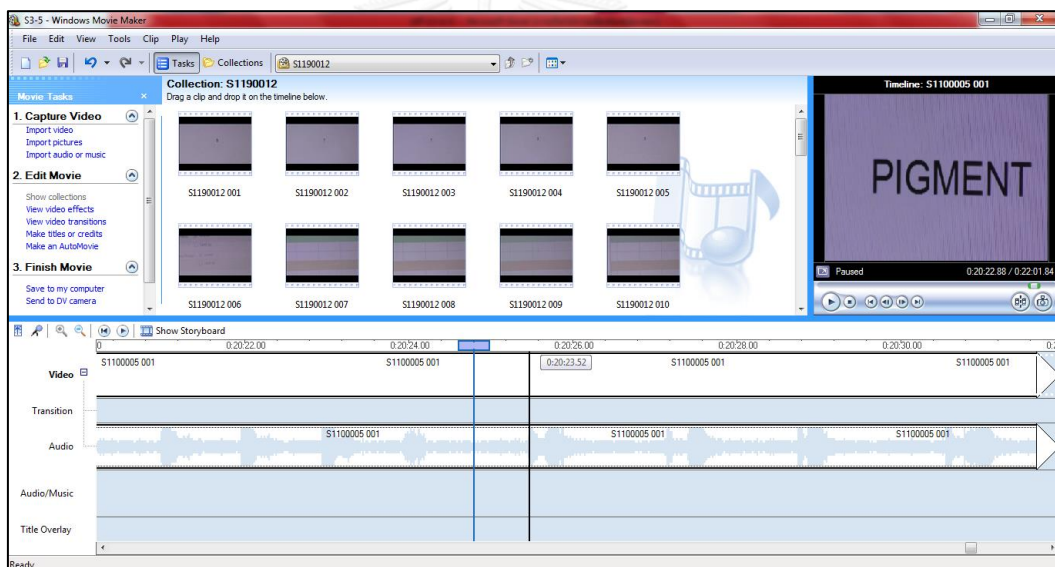
ภาพที่ ง.1 ตัวอย่างการอ่านเวลาจากโปรแกรม Windows Movie Maker ชนิดของ Target เป็นตัวเลข



ภาพที่ ง.2 ตัวอย่างการอ่านเวลา โดยชนิดของ Target เป็นตัวอักษร



ภาพที่ ง.3 ตัวอย่างการอ่านเวลา โดยชนิดของ Target เป็นคำภาษาอังกฤษแบบสั้น (Short Words)



ภาพที่ ง.4 ตัวอย่างการอ่านเวลา โดยชนิดของ Target เป็นคำภาษาอังกฤษแบบยาว (Long Words)

- ข้อมูลในแต่ละเงื่อนไขจะมีถูกรวบรวมไว้ในโปรแกรม Excel โดยข้อมูลต่างๆ มีรายละเอียดเป็นดังภาพที่ ง.5 ซึ่งเป็นตัวอย่างการรวบรวมผลการทดลองจากการทบทวนความถูกต้องและ Responds Time จากโปรแกรม Windows Movie Maker และได้นำเวลาส่วนนี้ไปวิเคราะห์ต่อไปนั่นเอง



VDO no.	Start Condition	Character Size	Target's Type
S3-V5	15:10	16 MOA	Number

Display: unlimited, Test number:10, Characters: 1,  
Font size: 39.557, Font color (r,g,b): (0,0,0), Background color (r,g,b): (255,255,255)

row	target1	answer1	Begin Targer	Start Answer	Diff. (Start answer-Begin target)
1	8	0	15:14.16	15:14.72	00.560
2	3	0	15:15.20	15:15.68	00.480
3	6	0	15:16.40	15:16.80	00.400
4	4	0	15:17.28	15:17.76	00.480
5	1	0	15:18.32	15:18.72	00.400
6	0	0	15:19.20	15:19.68	00.480
7	3	0	15:20.16	15:20.56	00.400
8	2	0	15:21.12	15:21.60	00.480
9	3	0	15:22.08	15:22.56	00.480
10	5	0	15:23.04	15:23.52	00.480

answer1	Meaning	Number of Responds
0	correct	10
1	un-correct	0
2	indigestible	0
3	Seen but not read	0
	sum	10

average	00.464
SUM	04.640
Max	00.560
Min	00.400
SD.	00.051

ดั่งภาพที่ ๓.5 ตัวอย่างการรวบรวมข้อมูลจากโปรแกรม Windows Movie Maker

ภาคผนวก จ

ผลการทดลองด้านเวลาในการตอบสนอง (Response Time)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Viewing Distance (m)	Oblique Angle (degree)	Target's Type	Character Size (MOA)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Average		
2	0	Number	10	0.598	0.824	0.604	0.504	0.512	0.648	0.512	0.400	0.608	0.504	0.571		
		Number	16	0.512	0.824	0.432	0.496	0.464	0.640	0.464	0.464	0.408	0.520	0.496	0.526	
		Number	22	0.464	0.808	0.488	0.488	0.472	0.576	0.408	0.408	0.376	0.528	0.464	0.507	
	45	Number	10	0.944	0.864	0.536	0.512	0.528	0.664	0.664	0.504	0.456	0.712	0.656	0.638	
		Number	16	0.624	0.744	0.480	0.544	0.448	0.608	0.608	0.496	0.456	0.584	0.520	0.550	
		Number	22	0.528	0.704	0.456	0.448	0.432	0.600	0.600	0.472	0.448	0.568	0.496	0.515	
		Number	10	0.824	0.912	1.120	0.544	0.528	0.720	0.720	0.544	0.528	0.720	0.640	0.708	
		Number	16	0.544	0.696	0.536	0.568	0.464	0.608	0.608	0.496	0.464	0.632	0.616	0.562	
		Number	22	0.584	0.632	0.472	0.520	0.432	0.536	0.480	0.480	0.440	0.560	0.572	0.523	
	6	0	Number	10	0.552	0.660	0.512	0.488	0.456	0.552	0.504	0.504	0.920	0.504	0.565	
			Number	16	0.472	0.584	0.464	0.440	0.440	0.568	0.504	0.504	0.496	0.520	0.476	0.496
			Number	22	0.400	0.568	0.416	0.456	0.456	0.536	0.496	0.496	0.472	0.504	0.472	0.478
45		Number	10	0.480	0.776	0.480	0.621	0.448	0.552	0.552	0.552	0.480	0.560	0.560	0.551	
		Number	16	0.560	0.768	0.448	0.480	0.440	0.544	0.544	0.568	0.440	0.552	0.512	0.531	
		Number	22	0.408	0.760	0.392	0.488	0.432	0.536	0.536	0.544	0.432	0.504	0.488	0.498	
		Number	10	0.808	0.744	0.680	0.472	0.568	0.568	0.640	0.640	0.560	0.816	0.720	0.658	
		Number	16	0.560	0.696	0.504	0.428	0.504	0.552	0.552	0.600	0.480	0.560	0.576	0.546	
		Number	22	0.488	0.724	0.480	0.384	0.464	0.544	0.544	0.616	0.448	0.448	0.536	0.568	0.525
12		0	Number	10	0.488	0.728	0.528	0.536	0.504	0.656	0.560	0.464	0.704	0.448	0.562	
			Number	16	0.456	0.752	0.456	0.520	0.480	0.648	0.648	0.488	0.448	0.712	0.424	0.538
			Number	22	0.416	0.720	0.464	0.416	0.488	0.608	0.608	0.504	0.408	0.592	0.416	0.503
	45	Number	10	0.536	0.696	0.504	0.560	0.440	0.600	0.600	0.552	0.432	0.600	0.512	0.543	
		Number	16	0.520	0.616	0.456	0.520	0.440	0.592	0.592	0.504	0.400	0.488	0.472	0.501	
		Number	22	0.520	0.640	0.448	0.416	0.432	0.552	0.552	0.496	0.392	0.448	0.480	0.482	
		Number	10	1.136	0.816	0.598	0.520	0.560	0.552	0.552	0.580	0.484	0.824	0.624	0.669	
		Number	16	0.584	0.696	0.472	0.512	0.528	0.568	0.568	0.480	0.472	0.608	0.456	0.538	
		Number	22	0.616	0.688	0.440	0.528	0.536	0.544	0.544	0.504	0.432	0.504	0.448	0.524	

Viewing Distance (m)	Oblique Angle (degree)	Target's Type	Character Size (MOA)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Average		
2	0	Alphabet	10	0.608	0.744	0.544	0.568	0.504	0.648	0.536	0.448	0.576	0.680	0.586		
		Alphabet	16	0.584	0.728	0.516	0.520	0.472	0.640	0.520	0.432	0.584	0.600	0.560		
		Alphabet	22	0.572	0.712	0.504	0.520	0.424	0.632	0.528	0.408	0.568	0.528	0.540		
	45	Alphabet	10	0.552	0.640	0.592	0.496	0.504	0.524	0.496	0.496	0.552	0.532	0.624	0.551	
		Alphabet	16	0.520	0.600	0.568	0.448	0.480	0.560	0.560	0.512	0.568	0.536	0.584	0.538	
		Alphabet	22	0.440	0.600	0.488	0.464	0.496	0.504	0.504	0.480	0.552	0.496	0.576	0.510	
	60	Alphabet	10	0.560	0.904	0.512	0.616	0.544	0.704	0.704	0.520	0.528	0.680	0.512	0.608	
		Alphabet	16	0.480	0.848	0.512	0.560	0.576	0.696	0.696	0.528	0.504	0.656	0.528	0.589	
		Alphabet	22	0.480	0.856	0.520	0.576	0.496	0.688	0.688	0.504	0.504	0.592	0.488	0.570	
	6	0	Alphabet	10	0.672	1.080	0.560	0.600	0.560	0.704	0.624	0.552	0.632	0.608	0.659	
			Alphabet	16	0.496	0.872	0.552	0.456	0.432	0.624	0.624	0.544	0.464	0.600	0.616	0.566
			Alphabet	22	0.528	0.876	0.528	0.456	0.440	0.616	0.616	0.544	0.448	0.544	0.584	0.556
45		Alphabet	10	0.608	0.784	0.528	0.504	0.448	0.640	0.640	0.632	0.496	0.664	0.664	0.597	
		Alphabet	16	0.544	0.704	0.544	0.488	0.440	0.568	0.568	0.560	0.456	0.584	0.640	0.553	
		Alphabet	22	0.464	0.696	0.488	0.504	0.400	0.568	0.568	0.528	0.416	0.568	0.624	0.526	
60		Alphabet	10	0.840	0.688	0.608	0.568	0.480	0.480	0.673	0.576	0.424	0.648	0.536	0.604	
		Alphabet	16	0.504	0.680	0.512	0.576	0.480	0.640	0.640	0.560	0.432	0.612	0.544	0.554	
		Alphabet	22	0.528	0.656	0.504	0.568	0.464	0.592	0.592	0.532	0.416	0.568	0.504	0.533	
12		0	Alphabet	10	0.696	1.064	0.656	0.672	0.504	0.784	0.544	0.600	0.672	0.656	0.685	
			Alphabet	16	0.576	0.928	0.592	0.560	0.448	0.624	0.528	0.512	0.560	0.592	0.592	
			Alphabet	22	0.600	0.936	0.512	0.547	0.432	0.608	0.496	0.496	0.520	0.592	0.600	0.584
	45	Alphabet	10	0.972	0.900	0.608	0.638	0.552	0.592	0.592	0.664	0.616	0.824	0.672	0.704	
		Alphabet	16	0.536	0.904	0.544	0.576	0.496	0.592	0.592	0.640	0.528	0.576	0.640	0.603	
		Alphabet	22	0.504	0.792	0.520	0.600	0.536	0.560	0.560	0.616	0.480	0.568	0.648	0.582	
	60	Alphabet	10	1.128	0.952	0.568	0.504	0.696	0.616	0.616	0.680	0.512	0.680	0.608	0.694	
		Alphabet	16	0.800	0.856	0.512	0.520	0.560	0.600	0.600	0.592	0.456	0.648	0.520	0.606	
		Alphabet	22	0.616	0.760	0.520	0.504	0.576	0.592	0.592	0.552	0.448	0.632	0.496	0.570	

Viewing Distance (m)	Oblique Angle (degree)	Target's Type	Character Size (MOA)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Average
2	0	Short Words	10	1.096	1.008	0.736	0.864	0.640	1.576	0.712	0.624	0.728	1.336	0.586
		Short Words	16	1.000	0.928	0.632	0.888	0.680	1.320	0.664	0.496	0.776	0.928	0.560
		Short Words	22	1.032	0.896	0.616	0.744	0.648	1.112	0.576	0.512	0.712	1.024	0.540
	45	Short Words	10	1.560	1.056	0.800	0.680	0.640	1.304	0.728	0.600	0.968	0.928	0.551
		Short Words	16	0.952	0.968	0.664	0.792	0.576	1.072	0.552	0.464	0.848	1.336	0.538
		Short Words	22	0.952	0.920	0.608	0.784	0.688	1.136	0.832	0.520	0.720	0.896	0.510
		Short Words	10	2.024	1.032	0.792	1.328	0.848	1.328	0.784	0.776	1.344	2.240	0.608
		Short Words	16	1.032	1.112	0.952	0.768	0.616	1.088	0.824	0.672	0.784	1.176	0.589
		Short Words	22	1.064	0.920	0.608	0.664	0.496	1.040	0.760	0.544	0.792	1.240	0.570
6	0	Short Words	10	0.880	0.840	0.576	0.820	0.584	0.968	0.600	0.672	0.616	1.184	0.659
		Short Words	16	0.904	0.640	0.624	0.728	0.768	1.016	0.560	0.648	0.632	0.772	0.566
		Short Words	22	0.628	0.624	0.576	0.696	0.616	0.976	0.656	0.600	0.648	0.784	0.556
	45	Short Words	10	1.768	0.923	0.624	1.148	0.576	1.112	0.664	0.528	0.752	1.000	0.597
		Short Words	16	1.072	0.808	0.584	0.788	0.536	0.936	0.680	0.592	0.696	0.928	0.553
		Short Words	22	0.640	0.848	0.528	0.776	0.624	0.952	0.600	0.488	0.624	1.144	0.526
		Short Words	10	1.372	0.920	0.880	0.984	0.776	1.120	0.792	0.848	1.840	2.032	0.604
		Short Words	16	0.736	0.824	0.680	0.744	0.696	0.960	0.744	0.608	0.784	0.952	0.554
		Short Words	22	0.643	0.968	0.600	0.992	0.568	0.816	0.856	0.664	0.752	1.120	0.533
12	0	Short Words	10	0.952	0.992	0.640	0.832	0.648	1.456	0.616	0.560	0.888	1.048	0.685
		Short Words	16	1.048	0.872	0.712	0.992	0.864	1.072	0.892	0.688	0.800	0.944	0.592
		Short Words	22	0.880	0.896	0.656	0.952	0.668	1.608	0.656	0.584	0.832	1.024	0.584
	45	Short Words	10	1.056	0.776	0.624	0.784	0.720	1.272	0.688	0.688	0.880	0.816	0.704
		Short Words	16	0.960	0.937	0.632	0.760	0.760	1.328	0.672	0.496	0.712	0.912	0.603
		Short Words	22	0.752	1.136	0.656	0.688	0.696	1.152	0.640	0.488	0.696	1.016	0.582
		Short Words	10	2.024	1.016	1.088	0.776	0.880	1.496	0.704	0.800	3.644	1.312	0.694
		Short Words	16	1.776	1.096	0.592	0.824	0.792	0.936	0.632	0.640	0.792	1.000	0.606
		Short Words	22	0.848	0.952	0.616	0.792	0.776	1.008	0.680	0.552	0.704	0.888	0.570

Viewing Distance (m)	Oblique Angle (degree)	Target's Type	Character Size (MOA)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Average	
2	0	Long Words	10	2.256	1.592	0.792	1.312	0.728	1.376	0.656	0.720	1.304	1.864	1.260	
		Long Words	16	1.728	1.688	0.736	1.024	0.688	1.256	0.744	0.792	0.800	1.888	1.134	
		Long Words	22	1.512	1.128	0.720	0.952	0.688	1.368	0.608	0.664	0.832	2.168	1.064	
	45	Long Words	10	2.296	1.568	0.784	1.832	0.968	1.812	0.760	0.888	1.080	1.080	2.160	1.415
		Long Words	16	1.960	1.488	0.742	1.024	0.728	1.272	0.648	0.736	1.080	1.872	1.155	
		Long Words	22	1.726	1.192	0.776	0.800	0.744	0.980	0.608	0.552	0.848	1.952	1.018	
	60	Long Words	10	2.650	1.896	1.312	1.568	1.968	1.816	1.816	0.856	1.272	1.456	2.112	1.691
		Long Words	16	1.488	1.880	1.000	1.680	0.768	1.280	0.720	0.784	1.264	3.784	1.465	
		Long Words	22	1.448	1.440	0.736	1.352	0.640	1.265	0.600	0.752	0.848	2.192	1.127	
	6	0	Long Words	10	1.628	1.956	0.704	1.120	0.792	1.088	0.888	1.184	0.856	2.788	1.300
			Long Words	16	1.496	1.168	0.808	0.920	0.808	1.320	0.632	0.952	0.880	1.440	1.042
			Long Words	22	1.336	1.160	0.680	1.176	0.864	1.320	0.792	1.080	0.832	1.688	1.093
45		Long Words	10	2.824	1.472	0.760	1.664	0.800	1.152	1.008	1.072	1.152	3.240	1.514	
		Long Words	16	2.416	1.456	0.696	2.936	0.696	1.192	0.736	0.768	0.960	1.904	1.376	
		Long Words	22	1.608	1.488	0.736	1.704	0.880	1.448	0.744	0.776	0.856	1.488	1.173	
60		Long Words	10	4.936	1.808	1.296	5.392	1.064	1.560	1.224	3.488	1.848	3.680	2.630	
		Long Words	16	1.824	1.352	0.888	1.240	0.736	1.112	0.784	0.920	1.168	1.664	1.169	
		Long Words	22	1.584	1.552	0.664	1.379	0.896	1.064	0.888	0.928	0.856	2.448	1.226	
12		0	Long Words	10	1.840	1.408	0.696	1.160	0.856	1.443	0.752	0.752	1.168	2.075	1.215
			Long Words	16	1.504	1.520	0.702	0.864	0.968	1.500	0.712	0.784	1.088	1.016	1.066
			Long Words	22	1.112	1.256	0.744	1.208	0.688	1.312	0.808	0.656	1.696	1.052	1.053
	45	Long Words	10	2.656	1.424	0.696	1.072	0.928	1.672	1.024	1.024	0.752	2.240	1.496	1.396
		Long Words	16	1.256	1.616	0.664	0.936	0.848	1.232	0.720	0.616	0.784	1.616	1.029	
		Long Words	22	1.424	1.488	0.704	1.000	0.912	1.344	0.624	0.636	0.856	1.680	1.067	
	60	Long Words	10	2.888	1.296	1.048	1.704	1.328	1.592	0.688	0.688	2.440	1.988	2.464	1.744
		Long Words	16	2.048	1.424	0.760	1.120	1.292	1.240	0.704	1.048	1.448	1.448	1.760	1.284
		Long Words	22	1.912	1.616	0.698	1.620	0.976	1.112	0.624	0.656	1.368	1.248	1.183	

ภาคผนวก ฉ

ผลการสร้างสมการเพื่อทำนายเวลาในการตอบสนองด้วยวิธี Stepwise Regression

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## Stepwise Regression: Time from Jo versus Viewing Dist, Oblique Angl, ...

Backward elimination. Alpha-to-Remove: 0.05

Response is Time from Johnson Tran. on 18 predictors, with N = 1080

Step	1	2	3	4
Constant	-0.2015	-0.2431	-0.2288	-0.2344
Viewing Distance (m)	-0.021	-0.020	-0.019	-0.019
T-Value	-1.11	-1.07	-1.05	-1.03
P-Value	0.266	0.285	0.294	0.305
Oblique Angle (degree)	0.0139	0.0141	0.0133	0.0130
T-Value	4.56	4.64	4.64	4.62
P-Value	0.000	0.000	0.000	0.000
X1	-0.08			
T-Value	-0.39			
P-Value	0.696			
X2	0.76	0.80	0.79	0.79
T-Value	3.58	4.36	4.30	4.34
P-Value	0.000	0.000	0.000	0.000
X3	1.42	1.46	1.42	1.44
T-Value	6.68	7.95	8.09	8.31
P-Value	0.000	0.000	0.000	0.000
Visual Angle (MOA)	-0.0493	-0.0476	-0.0470	-0.0462
T-Value	-4.43	-4.65	-4.61	-4.58
P-Value	0.000	0.000	0.000	0.000
Viewing Distance*Oblique Angle	-0.00028	-0.00028	-0.00028	-0.00028
T-Value	-1.56	-1.56	-1.56	-1.56
P-Value	0.119	0.118	0.118	0.118
Viewing Distance *Visual Angle	0.00095	0.00095	0.00095	0.00095
T-Value	1.03	1.03	1.03	1.03
P-Value	0.305	0.305	0.305	0.304
Oblique Angle*Visual Angle	-0.00041	-0.00041	-0.00041	-0.00041
T-Value	-2.74	-2.74	-2.74	-2.74
P-Value	0.006	0.006	0.006	0.006
Distance*X1	0.019	0.017	0.016	0.015
T-Value	1.44	1.40	1.35	1.28
P-Value	0.150	0.161	0.178	0.200
Distance*X2	0.016	0.015	0.015	0.015
T-Value	1.28	1.23	1.20	1.17
P-Value	0.200	0.219	0.229	0.243
Distance*X3	0.013	0.012	0.011	0.011
T-Value	0.99	0.93	0.90	0.86
P-Value	0.324	0.354	0.369	0.388
Oblique*X1	-0.0014	-0.0017	-0.0010	
T-Value	-0.69	-0.87	-0.57	
P-Value	0.493	0.384	0.569	
Oblique*X2	-0.0024	-0.0026	-0.0018	-0.0015

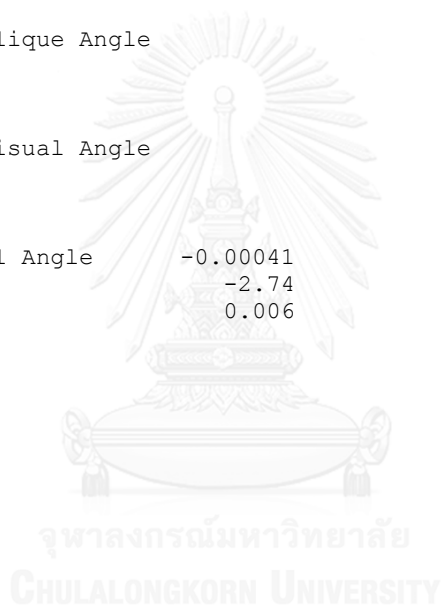


T-Value	-1.18	-1.27	-1.02	-0.88
P-Value	0.238	0.205	0.309	0.378
Oblique*X3	-0.0014	-0.0016		
T-Value	-0.70	-0.78		
P-Value	0.485	0.437		
X1*Visual	0.0197	0.0163	0.0151	0.0135
T-Value	1.83	2.59	2.47	2.49
P-Value	0.068	0.010	0.013	0.013
X2*Visual	0.0268	0.0251	0.0245	0.0237
T-Value	2.48	2.54	2.49	2.43
P-Value	0.013	0.011	0.013	0.015
X3*Visual	0.0221	0.0204	0.0198	0.0190
T-Value	2.05	2.07	2.01	1.95
P-Value	0.041	0.039	0.044	0.051
S	0.614	0.614	0.614	0.614
R-Sq	60.80	60.80	60.77	60.76
R-Sq(adj)	60.14	60.17	60.18	60.21
Mallows Cp	19.0	17.2	15.8	14.1
Step		5	6	
Constant	-0.2534	-0.3387		
Viewing Distance (m)	-0.014			
T-Value	-0.79			
P-Value	0.432			
Oblique Angle (degree)	0.0130	0.0133		
T-Value	4.62	4.80		
P-Value	0.000	0.000		
X1				
T-Value				
P-Value				
X2	0.81	0.82		
T-Value	4.48	4.52		
P-Value	0.000	0.000		
X3	1.49	1.49		
T-Value	9.34	9.32		
P-Value	0.000	0.000		
Visual Angle (MOA)	-0.0471	-0.0433		
T-Value	-4.69	-4.94		
P-Value	0.000	0.000		
Viewing Distance*Oblique Angle	-0.00028	-0.00033		
T-Value	-1.56	-1.98		
P-Value	0.118	0.048		
Viewing Distance *Visual Angle	0.00095	0.00033		
T-Value	1.03	0.69		
P-Value	0.304	0.492		
Oblique Angle*Visual Angle	-0.00041	-0.00041		
T-Value	-2.74	-2.74		
P-Value	0.006	0.006		
Distance*X1	0.010	0.009		

T-Value	0.99	0.86		
P-Value	0.320	0.393		
Distance*X2	0.010	0.008		
T-Value	0.86	0.71		
P-Value	0.390	0.475		
Distance*X3				
T-Value				
P-Value				
Oblique*X1				
T-Value				
P-Value				
Oblique*X2	-0.0015	-0.0015		
T-Value	-0.88	-0.88		
P-Value	0.378	0.378		
Oblique*X3				
T-Value				
P-Value				
X1*Visual	0.0153	0.0159		
T-Value	3.04	3.20		
P-Value	0.002	0.001		
X2*Visual	0.0246	0.0249		
T-Value	2.54	2.57		
P-Value	0.011	0.010		
X3*Visual	0.0199	0.0202		
T-Value	2.06	2.09		
P-Value	0.040	0.037		
S	0.614	0.614		
R-Sq	60.73	60.71		
R-Sq(adj)	60.22	60.23		
Mallows Cp	12.8	11.4		
Step	7	8	9	10
Constant	-0.3465	-0.3335	-0.3275	-0.2968
Viewing Distance (m)				
T-Value				
P-Value				
Oblique Angle (degree)	0.0128	0.0124	0.0121	0.0118
T-Value	4.79	4.71	4.61	4.53
P-Value	0.000	0.000	0.000	0.000
X1				
T-Value				
P-Value				
X2	0.81	0.76	0.82	0.79
T-Value	4.48	4.43	5.15	5.05
P-Value	0.000	0.000	0.000	0.000
X3	1.50	1.50	1.49	1.46
T-Value	9.39	9.40	9.36	9.35
P-Value	0.000	0.000	0.000	0.000

Visual Angle (MOA)	-0.0406	-0.0406	-0.0410	-0.0427
T-Value	-5.15	-5.15	-5.20	-5.57
P-Value	0.000	0.000	0.000	0.000
Viewing Distance*Oblique Angle	-0.00026	-0.00026	-0.00020	-0.00016
T-Value	-2.02	-2.02	-1.75	-1.48
P-Value	0.044	0.044	0.081	0.138
Viewing Distance *Visual Angle				
T-Value				
P-Value				
Oblique Angle*Visual Angle	-0.00041	-0.00041	-0.00041	-0.00041
T-Value	-2.75	-2.75	-2.75	-2.75
P-Value	0.006	0.006	0.006	0.006
Distance*X1	0.0110	0.0110	0.0092	
T-Value	1.16	1.16	0.99	
P-Value	0.247	0.247	0.324	
Distance*X2	0.010	0.010		
T-Value	1.02	1.02		
P-Value	0.307	0.307		
Distance*X3				
T-Value				
P-Value				
Oblique*X1				
T-Value				
P-Value				
Oblique*X2	-0.0015			
T-Value	-0.88			
P-Value	0.377			
Oblique*X3				
T-Value				
P-Value				
X1*Visual	0.0150	0.0150	0.0157	0.0192
T-Value	3.13	3.13	3.30	6.09
P-Value	0.002	0.002	0.001	0.000
X2*Visual	0.0244	0.0244	0.0248	0.0265
T-Value	2.53	2.53	2.57	2.80
P-Value	0.011	0.011	0.010	0.005
X3*Visual	0.0197	0.0197	0.0201	0.0218
T-Value	2.05	2.05	2.09	2.31
P-Value	0.041	0.041	0.037	0.021
S	0.614	0.613	0.613	0.613
R-Sq	60.69	60.67	60.63	60.59
R-Sq (adj)	60.25	60.26	60.26	60.26
Mallows Cp	9.9	8.7	7.7	6.7
Step	11			
Constant	-0.2968			
Viewing Distance (m)				
T-Value				
P-Value				

Oblique Angle (degree)	0.0107
T-Value	4.29
P-Value	0.000
X1	
T-Value	
P-Value	
X2	0.79
T-Value	5.05
P-Value	0.000
X3	1.46
T-Value	9.35
P-Value	0.000
Visual Angle (MOA)	-0.0427
T-Value	-5.56
P-Value	0.000
Viewing Distance*Oblique Angle	
T-Value	
P-Value	
Viewing Distance *Visual Angle	
T-Value	
P-Value	
Oblique Angle*Visual Angle	-0.00041
T-Value	-2.74
P-Value	0.006
Distance*X1	
T-Value	
P-Value	
Distance*X2	
T-Value	
P-Value	
Distance*X3	
T-Value	
P-Value	
Oblique*X1	
T-Value	
P-Value	
Oblique*X2	
T-Value	
P-Value	
Oblique*X3	
T-Value	
P-Value	
X1*Visual	0.0192
T-Value	6.08
P-Value	0.000
X2*Visual	0.0265
T-Value	2.80
P-Value	0.005



X3*Visual	0.0218
T-Value	2.31
P-Value	0.021
S	0.614
R-Sq	60.51
R-Sq(adj)	60.21
Mallows Cp	6.9





ภาคผนวก ข

ผลการทดลองของการหาขนาดตัวอักษรที่เริ่มอ่านได้ (Legibility Threshold)

(หมายเหตุ: ข้อมูลในส่วนนี้มีการแจกแจงไม่เป็นปกติ ซึ่งควรพิจารณาวิเคราะห์แบบ

Nonparametrics ต่อไป)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Independent Variables			Dependent Variables										
Viewing Distance (m)	Oblique Angle (degree)	Target's Type	S1					S2					
			Linear Regression $y=bx+a$	R <sup>2</sup>	a	b	Legibility Threshold (MOA)	Linear Regression $y=bx+a$	R <sup>2</sup>	a	b	Legibility Threshold (MOA)	
2	0	Number	$y = 25x - 300$	1.0000	-300	50	-300	7	$y = 25x - 143.33$	0.9494	25	-143.33	8
		Alphabet	$y = 15x - 50$	0.8824	-50	15	-50	7	$y = 20x - 76.667$	0.9796	20	-76.667	6
		ShortWord	$y = 25x - 150$	1.0000	-150	25	-150	8	$y = 25x - 143.33$	0.9494	25	-143.33	8
		LongWord	$y = 40x - 240$	1.0000	-240	40	-240	7	$y = 22.5x - 130$	0.9643	22.5	-130	8
		Number	$y = 50x - 400$	1.0000	-400	50	-400	9	$y = 25x - 143.33$	0.9494	25	-143.33	8
	45	Alphabet	$y = 45x - 270$	1.0000	-270	45	-270	7	$y = 25x - 143.33$	0.9494	25	-143.33	8
		ShortWord	$y = 7.1429x - 13.929$	0.6112	-13.929	7.1429	-13.929	9	$y = 25x - 150$	1.0000	25	-150	8
		LongWord	$y = 22.5x - 140$	0.9643	-140	22.5	-140	8	$y = 22.5x - 146.67$	0.8322	22.5	-146.67	9
		Number	$y = 45x - 360$	1.0000	-360	45	-360	9	$y = 50x - 400$	1.0000	50	-400	9
		Alphabet	$y = 20x - 110$	0.8421	-110	20	-110	8	$y = 25x - 143.33$	0.9494	25	-143.33	8
6	0	ShortWord	$y = 40x - 320$	1.0000	-320	40	-320	9	$y = 45x - 360$	1.0000	45	-360	9
		LongWord	$y = 10.769x - 65.385$	0.7634	-65.385	10.769	-65.385	11	$y = 45x - 360$	1.0000	45	-360	9
		Number	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	-166.67	16.667	-166.67	13	$y = 40x - 320$	1.0000	40	-320	9
		Alphabet	$y = 9.2857x - 42.857$	0.9286	-42.857	9.2857	-42.857	10	$y = 12.308x - 96.154$	0.9971	12.308	-96.154	12
		ShortWord	$y = 15x - 150$	1.0000	-150	15	-150	13	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	16.667	-166.67	13
	45	LongWord	$y = 7.5x - 63.333$	0.8322	-63.333	7.5	-63.333	15	$y = 7.5x - 80$	0.9643	7.5	-80	17
		Number	$y = 50x - 200$	1.0000	-200	50	-200	5	$y = 40x - 80$	1.0000	40	-80	3
		Alphabet	$y = 45x - 90$	1.0000	-90	45	-90	3	$y = 40x - 80$	1.0000	40	-80	3
		ShortWord	$y = 25x - 93.333$	0.9494	-93.333	25	-93.333	6	$y = 25x - 46.667$	0.9868	25	-46.667	4
		LongWord	$y = 40x - 160$	1.0000	-160	40	-160	6	$y = 40x - 160$	1.0000	40	-160	5
12	0	Number	$y = 50x - 300$	1.0000	-300	50	-300	7	$y = 25x - 56.667$	0.9494	25	-56.667	4
		Alphabet	$y = 25x - 143.33$	0.9494	-143.33	25	-143.33	8	$y = 25x - 43.333$	0.9494	25	-43.333	4
		ShortWord	$y = 50x - 300$	1.0000	-300	50	-300	7	$y = 45x - 180$	1.0000	45	-180	5
		LongWord	$y = 60x - 300$	1.0000	-300	60	-300	7	$y = 22.5x - 95$	0.9643	22.5	-95	6
		Number	$y = 45x - 270$	1.0000	-270	45	-270	7	$y = 40x - 160$	1.0000	40	-160	5
	45	Alphabet	$y = 50x - 300$	1.0000	-300	50	-300	7	$y = 25x - 96.667$	0.9868	25	-96.667	6
		ShortWord	$y = 20x - 123.33$	0.9796	-123.33	20	-123.33	9	$y = 22.5x - 98.333$	0.9067	22.5	-98.333	7
		LongWord	$y = 11.538x - 80.769$	0.9231	-80.769	11.538	-80.769	11	$y = 50x - 400$	1.0000	50	-400	9
		Number	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	-166.67	16.667	-166.67	13	$y = 11.154x - 73.077$	0.8512	11.154	-73.077	11
		Alphabet	$y = 13.333x - 133.33$	1.0000	-133.33	13.333	-133.33	14	$y = 9.2857x - 45.357$	0.9514	9.2857	-45.357	10
60	0	ShortWord	$y = 6.6667x - 63.333$	0.9796	-63.333	6.6667	-63.333	17	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	16.667	-166.67	13
		LongWord	$y = 7.5x - 80$	0.9643	-80	7.5	-80	17	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	16.667	-166.67	13
		Number	$y = 50x - 200$	1.0000	-200	50	-200	5	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3
		Alphabet	$y = 50x - 200$	1.0000	-200	50	-200	5	$y = 45x - 90$	1.0000	45	-90	3
		ShortWord	$y = 45x - 180$	1.0000	-180	45	-180	5	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5
	45	LongWord	$y = 45x - 180$	1.0000	-180	45	-180	5	$y = 22.5x - 53.333$	0.9067	22.5	-53.333	6
		Number	$y = 40x - 160$	1.0000	-160	40	-160	5	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5
		Alphabet	$y = 40x - 160$	1.0000	-160	40	-160	5	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5
		ShortWord	$y = 50x - 200$	1.0000	-200	50	-200	5	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5
		LongWord	$y = 20x - 83.333$	0.9796	-83.333	20	-83.333	7	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5
75	0	Number	$y = 25x - 143.33$	0.9494	-143.33	25	-143.33	8	$y = 50x - 300$	1.0000	50	-300	7
		Alphabet	$y = 20x - 120$	1.0000	-120	20	-120	9	$y = 45x - 180$	1.0000	45	-180	5
		ShortWord	$y = 45x - 360$	1.0000	-360	45	-360	9	$y = 25x - 103.33$	0.9868	25	-103.33	6
		LongWord	$y = 10.192x - 68.846$	0.8856	-68.846	10.192	-68.846	12	$y = 25x - 150$	1.0000	25	-150	8
		Number	$y = 13.333x - 133.33$	1.0000	-133.33	13.333	-133.33	14	$y = 25x - 146.67$	0.9868	25	-146.67	8
	45	Alphabet	$y = 15x - 150$	1.0000	-150	15	-150	13	$y = 45x - 270$	1.0000	45	-270	7
		ShortWord	$y = 13.333x - 213.33$	1.0000	-213.33	13.333	-213.33	20	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	16.667	-166.67	13
		LongWord	$y = 6.6667x - 70$	0.9796	-70	6.6667	-70	19	$y = 15x - 150$	1.0000	15	-150	13

Independent Variables		Dependent Variables										
Viewing Distance (m)	Oblique Angle (degree)	Target's Type	S3					S4				
			Linear Regression $y=bx+a$	R <sup>2</sup>	b	a	Legibility Threshold (MOA)	Linear Regression $y=bx+a$	R <sup>2</sup>	b	a	Legibility Threshold (MOA)
2	0	Number	$y = 50x - 400$	1.0000	50	-400	9	$y = 20x - 80$	1.0000	20	-80	7
		Alphabet	$y = 40x - 240$	1.0000	40	-240	9	$y = 15x - 56$	0.9468	15	-56	7
		Short Word	$y = 45x - 360$	1.0000	45	-360	9	$y = 25x - 150$	1.0000	25	-150	8
		Long Word	$y = 50x - 400$	1.0000	50	-400	9	$y = 50x - 300$	1.0000	50	-300	7
		Number	$y = 50x - 400$	1.0000	50	-400	9	$y = 25x - 146.67$	0.9868	25	-146.67	8
		Alphabet	$y = 40x - 240$	1.0000	40	-240	7	$y = 40x - 240$	1.0000	40	-240	7
	45	Short Word	$y = 50x - 400$	1.0000	50	-400	9	$y = 10.769x - 65.385$	0.7634	10.769	-65.385	11
		Long Word	$y = 50x - 400$	1.0000	50	-400	9	$y = 25x - 153.33$	0.9868	25	-153.33	8
		Number	$y = 40x - 320$	1.0000	40	-320	9	$y = 16x - 62$	0.9846	16	-62	7
		Alphabet	$y = 50x - 400$	1.0000	50	-400	9	$y = 22.5x - 133.33$	0.9959	22.5	-133.33	8
		Short Word	$y = 45x - 360$	1.0000	45	-360	9	$y = 40x - 320$	1.0000	40	-320	9
		Long Word	$y = 45x - 360$	1.0000	45	-360	9	$y = 10.769x - 65.385$	0.7634	10.769	-65.385	11
6	0	Number	$y = 8.3333x - 80$	0.9868	8.3333	-80	16	$y = 10.769x - 65.385$	0.7634	10.769	-65.385	11
		Alphabet	$y = 15x - 150$	1.0000	15	-150	13	$y = 45x - 360$	1.0000	45	-360	9
		Short Word	$y = 16.667x - 266.67$	1.0000	16.667	-266.67	19	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	16.667	-166.67	13
		Long Word	$y = 7.5x - 70$	0.9643	7.5	-70	16	$y = 6.6667x - 56.667$	0.8421	6.6667	-56.667	16
		Number	$y = 45x - 180$	1.0000	45	-180	5	$y = 45x - 90$	1.0000	45	-90	3
		Alphabet	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3
	45	Short Word	$y = 22.5x - 98.333$	0.9087	22.5	-98.333	7	$y = 25x - 43.333$	0.9494	25	-43.333	4
		Long Word	$y = 45x - 180$	1.0000	45	-180	5	$y = 45x - 180$	1.0000	45	-180	5
		Number	$y = 45x - 270$	1.0000	45	-270	7	$y = 45x - 90$	1.0000	45	-90	3
		Alphabet	$y = 40x - 160$	1.0000	40	-160	5	$y = 25x + 43.333$	0.9494	25	-43.333	4
		Short Word	$y = 50x - 300$	1.0000	50	-300	7	$y = 22.5x - 46.667$	0.9959	22.5	-46.667	4
		Long Word	$y = 40x - 240$	1.0000	40	-240	7	$y = 22.5x - 88.333$	0.9959	22.5	-88.333	6
12	0	Number	$y = 40x - 240$	1.0000	40	-240	7	$y = 45x - 180$	1.0000	45	-180	5
		Alphabet	$y = 50x - 300$	1.0000	50	-300	7	$y = 25x - 50$	1.0000	25	-50	4
		Short Word	$y = 22.5x - 133.33$	0.9959	22.5	-133.33	8	$y = 22.5x - 126.67$	0.9067	22.5	-126.67	8
		Long Word	$y = 10.769x - 65.385$	0.7634	10.769	-65.385	11	$y = 22.5x - 126.67$	0.9067	22.5	-126.67	8
		Number	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	16.667	-166.67	13	$y = 40x - 240$	1.0000	40	-240	7
		Alphabet	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	16.667	-166.67	13	$y = 20x - 120$	1.0000	20	-120	9
	75	Short Word	$y = 8.3333x - 76.667$	0.9494	8.3333	-76.667	15	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	16.667	-166.67	13
		Long Word	$y = 8.3333x - 83.333$	1.0000	8.3333	-83.333	16	$y = 7.5x - 70$	0.9643	7.5	-70	16
		Number	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3
		Alphabet	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5	$y = 45x - 90$	1.0000	45	-90	3
		Short Word	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5	$y = 22.5x - 33.333$	0.8322	22.5	-33.333	4
		Long Word	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5	$y = 25x - 43.333$	0.9494	25	-43.333	4
45	Number	$y = 50x - 300$	1.0000	50	-300	7	$y = 40x - 80$	1.0000	40	-80	3	
	Alphabet	$y = 45x - 180$	1.0000	45	-180	5	$y = 40x - 80$	1.0000	40	-80	3	
	Short Word	$y = 45x - 270$	1.0000	45	-270	7	$y = 25x - 56.667$	0.9494	25	-56.667	4	
	Long Word	$y = 50x - 300$	1.0000	50	-300	7	$y = 45x - 180$	1.0000	45	-180	5	
	Number	$y = 50x - 400$	1.0000	50	-400	9	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5	
	Alphabet	$y = 40x - 240$	1.0000	40	-240	7	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5	
60	Short Word	$y = 22.5x - 140$	0.9643	22.5	-140	8	$y = 45x - 270$	1.0000	45	-270	7	
	Long Word	$y = 25x - 156.67$	0.9494	25	-156.67	8	$y = 40x - 240$	1.0000	40	-240	7	
	Number	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	16.667	-166.67	13	$y = 25x + 146.67$	0.9868	25	-146.67	8	
	Alphabet	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	16.667	-166.67	13	$y = 25x - 143.33$	0.9494	25	-143.33	8	
	Short Word	$y = 11.667x - 116.67$	1.0000	11.667	-116.67	14	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	16.667	-166.67	13	
	Long Word	$y = 8.3333x - 76.667$	0.9494	8.3333	-76.667	15	$y = 8.3333x - 80$	0.9868	8.3333	-80	16	



Independent Variables			Dependent Variables									
Viewing Distance (m)	Oblique Angle (degree)	Targets Type	S5					S6				
			Linear Regression $y=bx+a$	R <sup>2</sup>	b	a	Legibility Threshold (MOA)	Linear Regression $y=bx+a$	R <sup>2</sup>	b	a	Legibility Threshold (MOA)
2	0	Number	$y = 45x - 270$	1.0000	45	-270	7	$y = 17.5x - 75$	0.9761	17.5	-75	7
		Alphabet	$y = 22.5x - 81.667$	0.9067	22.5	-81.667	6	$y = 22.5x - 81.667$	0.9067	22.5	-81.667	6
		ShortWord	$y = 45x - 270$	1.0000	45	-270	7	$y = 40x - 240$	1.0000	40	-240	7
		LongWord	$y = 50x - 300$	1.0000	50	-300	7	$y = 25x - 143.33$	0.9494	25	-143.33	8
		Number	$y = 40x - 240$	1.0000	40	-240	7	$y = 20x - 80$	1.0000	20	-80	7
		Alphabet	$y = 20x - 76.667$	0.9796	20	-76.667	6	$y = 22.5x - 81.667$	0.9067	22.5	-81.667	6
	45	Number	$y = 50x - 300$	1.0000	50	-300	7	$y = 45x - 270$	1.0000	45	-270	7
		Alphabet	$y = 50x - 300$	1.0000	50	-300	7	$y = 22.5x - 130$	0.9643	22.5	-130	8
		ShortWord	$y = 50x - 300$	1.0000	50	-300	9	$y = 25x - 153.33$	0.9868	25	-153.33	8
		LongWord	$y = 50x - 300$	1.0000	50	-300	9	$y = 20x - 110$	0.8421	20	-110	8
		Number	$y = 50x - 300$	1.0000	50	-300	9	$y = 25x - 146.67$	0.9868	25	-146.67	8
		Alphabet	$y = 45x - 360$	1.0000	45	-360	9	$y = 25x - 153.33$	0.9868	25	-153.33	8
6	75	Number	$y = 25x - 146.67$	0.9868	25	-146.67	8	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	16.667	-166.67	13
		Alphabet	$y = 50x - 400$	1.0000	50	-400	9	$y = 11.154x - 73.077$	0.8512	11.154	-73.077	11
		ShortWord	$y = 11.154x - 73.077$	0.8512	11.154	-73.077	11	$y = 13.333x - 133.33$	1.0000	13.333	-133.33	14
		LongWord	$y = 16x - 160$	1.0000	16	-160	13	$y = 16x - 160$	1.0000	16	-160	13
		Number	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3
		Alphabet	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3
	0	Number	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3
		Alphabet	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3	$y = 25x - 43.333$	0.9494	25	-43.333	4
		ShortWord	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3	$y = 25x - 43.333$	0.9494	25	-43.333	4
		LongWord	$y = 22.5x - 36.667$	0.9067	22.5	-36.667	4	$y = 40x - 80$	1.0000	40	-80	5
		Number	$y = 25x - 43.333$	0.9494	25	-43.333	4	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5
		Alphabet	$y = 40x - 80$	1.0000	40	-80	3	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5
12	60	Number	$y = 25x - 50$	1.0000	25	-50	4	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5
		Alphabet	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5
		ShortWord	$y = 25x - 60$	0.8929	25	-60	4	$y = 16x - 25$	0.9660	16	-25	5
		LongWord	$y = 40x - 160$	1.0000	40	-160	5	$y = 22.5x - 53.333$	0.9067	22.5	-53.333	5
		Number	$y = 45x - 270$	1.0000	45	-270	7	$y = 20x - 73.333$	0.9231	20	-73.333	6
		Alphabet	$y = 25x - 93.333$	0.9494	25	-93.333	6	$y = 20x - 76.667$	0.9796	20	-76.667	6
	75	Number	$y = 22.5x - 143.33$	0.9067	22.5	-143.33	9	$y = 8.9286x - 34.286$	0.8423	8.9286	-34.286	9
		Alphabet	$y = 40x - 240$	1.0000	40	-240	7	$y = 8.9286x - 34.286$	0.8423	8.9286	-34.286	9
		ShortWord	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	16.667	-166.67	13	$y = 11.923x - 88.462$	0.9727	11.923	-88.462	12
		LongWord	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	16.67	-166.67	13	$y = 15x - 150$	1.0000	15	-150	13
		Number	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3	$y = 45x - 90$	1.0000	45	-90	3
		Alphabet	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3
12	45	Number	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3	$y = 40x - 80$	1.0000	40	-80	3
		Alphabet	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3	$y = 20x - 36.667$	0.9796	20	-36.667	4
		ShortWord	$y = 40x - 80$	1.0000	40	-80	3	$y = 25x - 43.333$	0.9494	25	-43.333	4
		LongWord	$y = 45x - 90$	1.0000	45	-90	4	$y = 22.5x - 36.667$	0.9067	22.5	-36.667	4
		Number	$y = 40x - 160$	1.0000	40	-160	5	$y = 25x - 93.333$	0.9494	25	-93.333	6
		Alphabet	$y = 25x - 46.667$	0.9868	25	-46.667	4	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5
	60	Number	$y = 45x - 180$	1.0000	45	-180	5	$y = 25x - 93.333$	0.9494	25	-93.333	6
		Alphabet	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5	$y = 45x - 180$	1.0000	45	-180	5
		ShortWord	$y = 40x - 160$	1.0000	40	-160	5	$y = 14x - 43$	0.8711	14	-43	7
		LongWord	$y = 25x - 93.333$	0.9494	25	-93.333	6	$y = 40x - 240$	1.0000	40	-240	7
		Number	$y = 20x - 113.33$	0.9231	20	-113.33	8	$y = 25x - 150$	1.0000	25	-150	8
		Alphabet	$y = 25x - 143.33$	0.9494	25	-143.33	8	$y = 25x - 150$	1.0000	25	-150	8
75	ShortWord	$y = 13.333x - 133.33$	1.0000	13.333	-133.33	14	$y = 9.8077x - 61.154$	0.7940	9.8077	-61.154	11	
	LongWord	$y = 13.333x - 133.33$	1.0000	13.333	-133.33	14	$y = 16x - 160$	1.0000	16	-160	13	

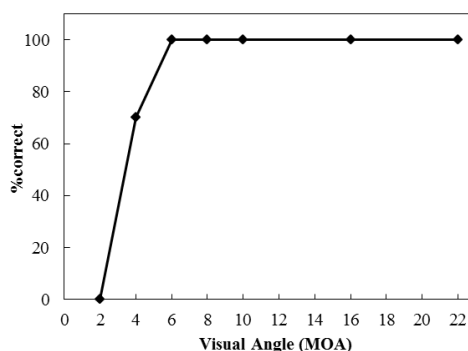
Independent Variables			Dependent Variables									
Viewing Distance (m)	Oblique Angle (degree)	Target's Type	S7					S8				
			Linear Regression $y=bx+a$	R <sup>2</sup>	b	a	Legibility Threshold (MOA)	Linear Regression $y=bx+a$	R <sup>2</sup>	b	a	Legibility Threshold (MOA)
2	0	Number	$y = 25x - 150$	1.0000	25	-150	8	$y = 25x - 160$	0.8929	25	-160	8
		Alphabet	$y = 22.5x - 91.667$	0.9959	22.5	-91.667	6	$y = 25x - 103.33$	0.9868	25	-103.33	6
		ShortWord	$y = 25x - 146.67$	0.9868	25	-146.67	8	$y = 25x - 143.33$	0.9494	25	-143.33	8
		LongWord	$y = 25x - 143.33$	0.9494	25	-143.33	8	$y = 25x - 146.67$	0.9868	25	-146.67	8
		Number	$y = 25x - 146.67$	0.9868	25	-146.67	8	$y = 40x - 240$	1.0000	40	-240	7
	45	Alphabet	$y = 45x - 270$	1.0000	45	-270	7	$y = 15x - 50$	0.8824	15	-50	7
		ShortWord	$y = 25x - 146.67$	0.9868	25	-146.67	8	$y = 25x - 150$	1.0000	25	-150	8
		LongWord	$y = 25x - 146.67$	0.9868	25	-146.67	8	$y = 20x - 120$	1.0000	20	-120	9
		Number	$y = 25x - 143.33$	0.9494	25	-143.33	8	$y = 25x - 153.33$	0.9868	25	-153.33	8
		Alphabet	$y = 25x - 150$	1.0000	25	-150	8	$y = 25x - 143.33$	0.9494	25	-143.33	8
6	60	ShortWord	$y = 25x - 156.67$	0.9494	25	-156.67	8	$y = 60x - 400$	1.0000	60	-400	9
		LongWord	$y = 25x - 153.33$	0.9868	25	-153.33	8	$y = 50x - 400$	1.0000	50	-400	9
		Number	$y = 50x - 400$	1.0000	50	-400	9	$y = 11.923x - 88.462$	0.9727	11.923	-88.462	12
		Alphabet	$y = 45x - 360$	1.0000	45	-360	9	$y = 9.6429x - 61.429$	0.9825	9.6429	-61.429	11
		ShortWord	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	16.667	-166.67	13	$y = 15x - 150$	1.0000	15	-150	13
	75	LongWord	$y = 13.333x - 133.33$	1.0000	13.333	-133.33	14	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	16.667	-166.67	13
		Number	$y = 45x - 90$	1.0000	45	-90	3	$y = 25x - 50$	1.0000	25	-50	4
		Alphabet	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3	$y = 45x - 90$	1.0000	45	-90	3
		ShortWord	$y = 25x - 43.333$	0.9494	25	-43.333	4	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	6
		LongWord	$y = 22.5x - 43.333$	0.9959	22.5	-43.333	4	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	6
12	45	Number	$y = 25x - 50$	1.0000	25	-50	4	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5
		Alphabet	$y = 25x - 43.333$	0.9494	25	-43.333	4	$y = 25x - 56.667$	0.9494	25	-56.667	4
		ShortWord	$y = 20x - 70$	0.8421	20	-70	6	$y = 40x - 160$	1.0000	40	-160	5
		LongWord	$y = 40x - 160$	1.0000	40	-160	5	$y = 25x - 103.33$	0.9868	25	-103.33	6
		Number	$y = 25x - 93.333$	0.9494	25	-93.333	6	$y = 25x - 100$	1.0000	25	-100	6
	60	Alphabet	$y = 25x - 93.333$	0.9494	25	-93.333	6	$y = 25x - 106.67$	0.9494	25	-106.67	6
		ShortWord	$y = 45x - 270$	1.0000	45	-270	7	$y = 40x - 240$	1.0000	40	-240	7
		LongWord	$y = 22.5x - 130$	0.9643	22.5	-130	8	$y = 40x - 240$	1.0000	40	-240	7
		Number	$y = 25x - 160$	0.8929	25	-160	8	$y = 12.308x - 96.154$	0.9971	12.308	-96.154	12
		Alphabet	$y = 50x - 400$	1.0000	50	-400	9	$y = 12.308x - 96.154$	0.9971	12.308	-96.154	12
12	75	ShortWord	$y = 15x - 150$	1.0000	15	-150	13	$y = 8.3333x - 80$	0.9868	8.3333	-80	16
		LongWord	$y = 15x - 150$	1.0000	15	-150	13	$y = 15x - 240$	1.0000	15	-240	19
		Number	$y = 45x - 90$	1.0000	45	-90	3	$y = 45x - 90$	1.0000	45	-90	3
		Alphabet	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3
		LongWord	$y = 22.5x - 36.667$	0.9067	22.5	-36.667	4	$y = 40x - 80$	1.0000	40	-80	3
	0	LongWord	$y = 22.5x - 40$	0.9643	22.5	-40	4	$y = 25x - 56.667$	0.9494	25	-56.667	4
		Number	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3	$y = 25x - 56.667$	0.9494	25	-56.667	4
		Alphabet	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3	$y = 40x - 80$	1.0000	40	-80	3
		ShortWord	$y = 45x - 180$	1.0000	45	-180	5	$y = 45x - 180$	1.0000	45	-180	5
		LongWord	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5	$y = 25x - 93.333$	0.9494	25	-93.333	6
6	45	Number	$y = 45x - 180$	1.0000	45	-180	5	$y = 40x - 160$	1.0000	40	-160	5
		Alphabet	$y = 45x - 180$	1.0000	45	-180	5	$y = 40x - 160$	1.0000	40	-160	5
		ShortWord	$y = 25x - 53.333$	0.9868	25	-53.333	4	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5
		LongWord	$y = 25x - 93.333$	0.9494	25	-93.333	6	$y = 45x - 270$	1.0000	45	-270	7
		Number	$y = 20x - 73.333$	0.9231	20	-73.333	6	$y = 45x - 270$	1.0000	45	-270	7
	75	LongWord	$y = 22.5x - 126.67$	0.9067	22.5	-126.67	8	$y = 11.154x - 73.077$	0.8512	11.145	-73.077	11
		Alphabet	$y = 22.5x - 126.67$	0.9067	22.5	-126.67	8	$y = 40x - 320$	1.0000	40	-320	9
		ShortWord	$y = 16x - 160$	1.0000	16	-160	13	$y = 13.333x - 133.33$	1.0000	13.333	-133.33	14
		LongWord	$y = 16x - 160$	1.0000	16	-160	13	$y = 8.3333x - 80$	0.9868	8.3333	-80	16

Independent Variables		Dependent Variables										
Viewing Distance (m)	Oblique Angle (degree)	Target's Type	S9					S10				
			Linear Regression $y = bx + a$	R <sup>2</sup>	b	a	Legibility Threshold (MOA)	Linear Regression $y = bx + a$	R <sup>2</sup>	b	a	Legibility Threshold (MOA)
2	0	Number	$y = 16.5x - 63$	0.9945	16.5	-63	7	$y = 40x - 240$	1.0000	40	-240	7
		Alphabet	$y = 20x - 76.667$	0.9796	20	-76.667	6	$y = 22.5x - 88.333$	0.9959	22.5	-88.333	6
		Short Word	$y = 45x - 270$	1.0000	45	-270	7	$y = 25x - 143.33$	0.9494	25	-143.33	8
		Long Word	$y = 40x - 240$	1.0000	40	-240	7	$y = 45x - 270$	1.0000	45	-270	7
		Number	$y = 20x - 70$	0.8421	20	-70	6	$y = 40x - 240$	1.0000	40	-240	7
		Alphabet	$y = 20x - 73.333$	0.9231	20	-73.333	6	$y = 45x - 270$	1.0000	45	-270	7
	45	Short Word	$y = 25x - 146.67$	0.9868	25	-146.67	8	$y = 22.5x - 126.67$	0.9067	22.5	-126.67	8
		Long Word	$y = 25x - 150$	1.0000	25	-150	8	$y = 45x - 360$	1.0000	45	-360	9
		Number	$y = 25x - 143.33$	0.9494	25	-143.33	8	$y = 25x - 153.33$	0.9868	25	-153.33	8
		Alphabet	$y = 17x - 69$	0.9966	17	-69	7	$y = 25x - 150$	1.0000	25	-150	8
		Short Word	$y = 50x - 400$	1.0000	50	-400	9	$y = 45x - 360$	1.0000	45	-360	9
		Long Word	$y = 45x - 360$	1.0000	45	-360	9	$y = 50x - 400$	1.0000	50	-400	9
6	75	Number	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	16.667	-166.67	13	$y = 11.538x - 80.769$	0.9231	11.538	-80.769	11
		Alphabet	$y = 12.308x - 96.154$	0.9971	12.308	-96.154	12	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	16.667	-166.67	13
		Short Word	$y = 8.3333x - 76.667$	0.9494	8.3333	-76.667	15	$y = 13.333x - 213.33$	1.0000	13.333	-213.33	20
		Long Word	$y = 8.3333x - 76.667$	0.9494	8.3333	-76.667	15	$y = 16x - 240$	1.0000	16	-240	19
		Number	$y = 22.5x - 43.333$	0.9959	22.5	-43.333	4	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3
		Alphabet	$y = 22.5x - 46.667$	0.9959	22.5	-46.667	4	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3
	45	Short Word	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5	$y = 22.5x - 50$	0.9843	22.5	-50	4
		Long Word	$y = 22.5x - 88.333$	0.9959	22.5	-88.333	6	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5
		Number	$y = 25x - 93.333$	0.9494	25	-93.333	6	$y = 25x - 43.333$	0.9494	25	-43.333	4
		Alphabet	$y = 25x - 96.667$	0.9668	25	-96.667	6	$y = 22.5x - 40$	0.9843	22.5	-40	4
		Short Word	$y = 25x - 100$	1.0000	25	-100	6	$y = 45x - 180$	1.0000	45	-180	5
		Long Word	$y = 40x - 240$	1.0000	40	-240	7	$y = 25x - 103.33$	0.9868	25	-103.33	6
12	60	Number	$y = 25x - 146.67$	0.9868	25	-146.67	8	$y = 60x - 200$	1.0000	60	-200	5
		Alphabet	$y = 18x - 76$	0.9529	18	-76	7	$y = 22.5x - 81.667$	0.9067	22.5	-81.667	6
		Short Word	$y = 8.5714x - 33.214$	0.8107	8.5714	-33.214	10	$y = 45x - 270$	1.0000	45	-270	7
		Long Word	$y = 9.2857x - 40.357$	0.8819	9.2857	-40.357	10	$y = 25x - 146.67$	0.9868	25	-146.67	8
		Number	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	16.667	-166.67	13	$y = 40x - 320$	1.0000	40	-320	9
		Alphabet	$y = 16.667x - 166.67$	1.0000	16.667	-166.67	13	$y = 25x - 150$	1.0000	25	-150	8
	75	Short Word	$y = 8.3333x - 83.333$	1.0000	8.3333	-83.333	16	$y = 8.3333x - 80$	0.9868	8.3333	-80	16
		Long Word	$y = 15x - 240$	1.0000	15	-240	19	$y = 16.667x - 266.67$	1.0000	16.667	-266.67	19
		Number	$y = 12x - 14$	0.9172	12	-14	6	$y = 25x - 43.333$	0.9494	25	-43.333	4
		Alphabet	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5	$y = 50x - 100$	1.0000	50	-100	3
		Short Word	$y = 25x - 96.667$	0.9868	25	-96.667	6	$y = 40x - 80$	1.0000	40	-80	3
		Long Word	$y = 22.5x - 81.667$	0.9067	22.5	-81.667	6	$y = 45x - 180$	1.0000	45	-180	5
12	45	Number	$y = 25x - 110$	0.8929	25	-110	6	$y = 25x - 40$	1.0000	25	-40	4
		Alphabet	$y = 25x - 110$	0.8929	25	-110	6	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5
		Short Word	$y = 25x - 100$	1.0000	25	-100	6	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5
		Long Word	$y = 25x - 146.67$	0.9868	25	-146.67	8	$y = 50x - 200$	1.0000	50	-200	5
		Number	$y = 45x - 270$	1.0000	45	-270	7	$y = 25x - 90$	0.8929	25	-90	6
		Alphabet	$y = 20x - 113.33$	0.9231	20	-113.33	8	$y = 25x - 86.667$	0.8242	25	-86.667	5
	75	Short Word	$y = 11.923x - 88.462$	0.9727	11.923	-88.462	12	$y = 6.6509x - 4.5283$	0.7624	6.6509	-4.5283	8
		Long Word	$y = 13.333x - 133.33$	1.0000	13.333	-133.33	14	$y = 22.5x - 126.67$	0.9067	22.5	-126.67	8
		Number	$y = 13.333x - 133.33$	1.0000	13.333	-133.33	14	$y = 11.154x - 73.077$	0.8512	11.154	-73.077	11
		Alphabet	$y = 13.333x - 133.33$	1.0000	13.333	-133.33	14	$y = 11.154x - 73.077$	0.8512	11.154	-73.077	11
		Short Word	$y = 13.333x - 213.33$	1.0000	13.333	-213.33	20	$y = 8.3333x - 80$	0.9868	8.3333	-80	16
		Long Word	$y = 11.667x - 186.67$	1.0000	11.667	-186.67	20	$y = 6.6667x - 56.667$	0.8421	6.667	-56.667	16

## การประเมินด้าน Visual Angle ที่เริ่มอ่านได้ หรือ Legibility Threshold ต่อการรับรู้ข้อมูลบนจอแสดงผลแบบ LED

### ข.1การคำนวณหาค่า Legibility Threshold จากผลการทดลอง

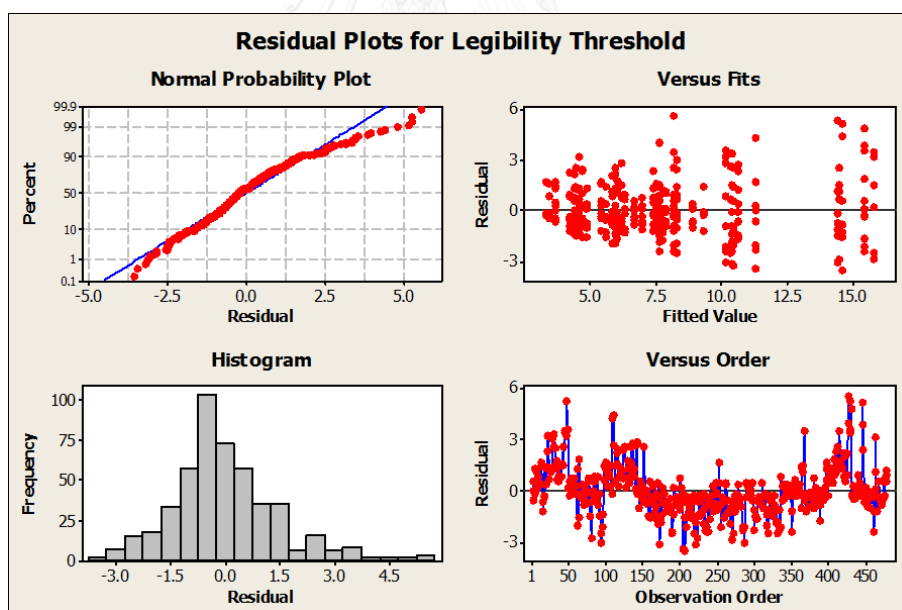
วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนนี้จะเริ่มจากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของ Visual Angle กับเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในทุกๆ เงื่อนไขและแต่ละผู้เข้าร่วมงานวิจัย ซึ่งกราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นรูปตัวเอส (S-shaped) ดังภาพที่ ข.1 หลังจากนั้นได้นำวิธีการหาสมการเชิงเส้นถดถอย (Linear Regression) มาใช้ในการประเมินข้อมูลที่เป็นส่วนของการเปลี่ยนแปลงอย่างมากของส่วนโค้ง หรือบริเวณที่ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันจากการเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องต่ำมากไปสูงมาก ยกตัวอย่างเช่น บริเวณ Visual Angle ที่ 2 MOA จนถึง 6 MOA ในภาพที่ 4.1 ซึ่งสมการถดถอยที่ได้จากตัวอย่างนี้ สามารถใช้ประมาณค่าตั้งแต่ที่ 0-100 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง โดยค่า R-squared ของสมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้จากผลการทดลองทั้งหมดจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.97 หลังจากนั้นจึงนำสมการเชิงเส้นถดถอยมาใช้ในการคำนวณหา Legibility Threshold หรือขนาด Visual Angle ต่ำสุดที่ 50เปอร์เซ็นต์ของความถูกต้อง หรือขีดเริ่มต้นของขนาด Visual Angle ที่เริ่มอ่านได้นั้นเอง โดยจากที่กล่าวมาแล้วในขั้นต้นถึงขนาดของ Visual Angle ที่มีความสัมพันธ์กับความสูงของอักขระที่ระยะห่างการมองต่างๆ ด้วย ดังนั้นเมื่อทราบถึงขนาดของ Visual Angle ที่เริ่มอ่านได้ก็จะทำให้ทราบถึงความสูงของอักขระที่เริ่มอ่านได้ในแต่ละระยะห่างการมองด้วยนั่นเอง และ Legibility Threshold นี้ ก็ได้ถูกนำมาใช้เป็นตัวแปรตามของการทดลองส่วนที่ 1 ต่อไป โดยผลการประมาณขนาดตัวอักษรที่เริ่มอ่านได้ของผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกคนจะเป็นดังส่วนก่อนหน้านี้



ภาพที่ ข.1 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาด Visual Angle กับเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง (มุมเอียง 45 องศา, ระยะห่างการมองที่ 6 เมตร และมีประเภทของ Target เป็นตัวเลขแบบเดี่ยว)

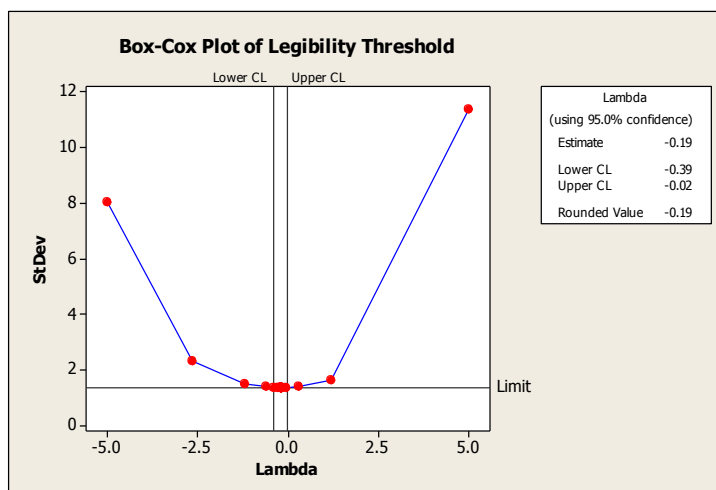
## ข.2 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่างๆ ต่อ Legibility Threshold

ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม Minitab ด้วยวิธีการทาง DOE ในรูปแบบ General Full Factorial ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ถึงการประเมินการรับรู้ข้อมูลบนจอ LED ด้านขนาด Visual Angle ที่เริ่มอ่านได้หรือ Legibility Threshold ในส่วนแรกของการวิเคราะห์ผล คือการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ซึ่งจากภาพที่ ข.2 สำหรับการวิเคราะห์ความเป็นปกติของข้อมูลจากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) พบว่า ค่าของข้อมูล Legibility Threshold ไม่เป็นไปตามแนวของเส้นตรง โดยมีส่วนปลายของข้อมูลที่มีการกระจายและไม่เกาะติดเส้นตรง จึงทำให้สรุปได้ว่า ข้อมูลมีการแจกแจงหรือการกระจายตัวไม่เป็นปกติ ซึ่งสาเหตุน่าจะมาเกิดจากสถานะของการทดลองที่มีความยากหรือการกำหนดสถานะที่เป็นขอบของการรับรู้ข้อมูล จึงทำให้ค่าของ Legibility Threshold มีการกระโดดหรือมีค่ามากกว่าในสถานะปกติ และทำให้เกิดความแปรปรวนที่สูงตามไปด้วย เช่น ที่มุมเอียง 75 องศา จะมีขนาดของ Legibility Threshold ใหญ่กว่าที่มุมเอียง 60 องศา เป็นต้น



ภาพที่ ข.2 แผนภาพการตรวจสอบความถูกต้องหรือความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง เนื่องจากการตรวจสอบข้อมูลในขั้นต้น ซึ่งมีการแจกแจงไม่เป็นปกติ จึงทำให้การวิเคราะห์ผลในส่วนต่างๆ เกิดความไม่น่าเชื่อถือขึ้นได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้วิธีการแปลงข้อมูลด้วย Box-Cox Transformation เพื่อนำฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำมาแปลงค่าข้อมูลเดิมให้เป็นมาตราใหม่ ทั้งนี้ เพื่อให้ข้อมูลมาตราใหม่นี้มีการแจกแจงแบบปกติหรือใกล้เคียงกับแบบปกติต่อไป โดยจากภาพที่

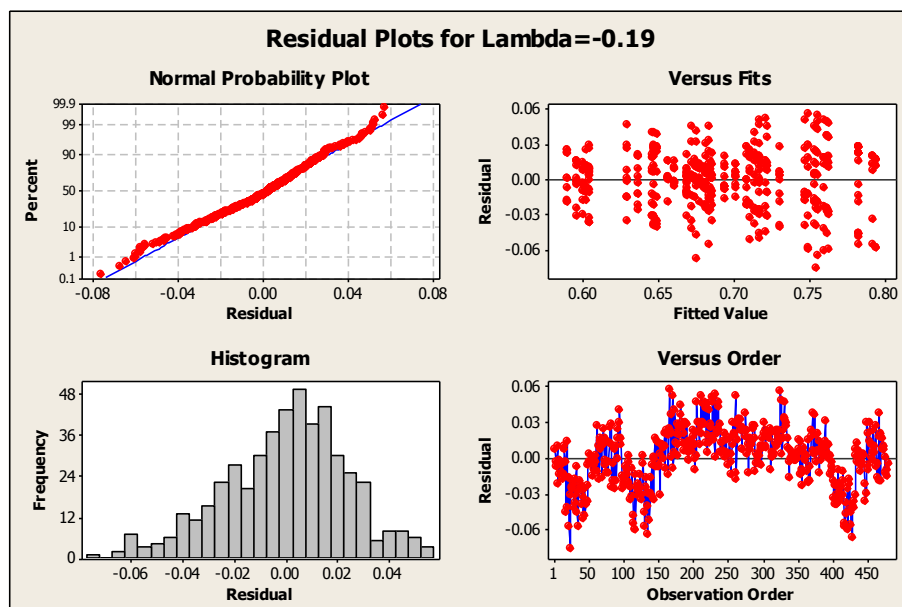
ช.3 แสดงค่าแลมบ์ดาที่ได้จาก Box-Cox Transformation ซึ่งมีค่าเท่ากับ -0.19 ดังนั้นจึงได้มีการสร้างข้อมูลตัวแปรตามมาตราใหม่จากค่าของแลมบ์ดาที่ได้ และจึงทำการตรวจสอบความถูกต้องหรือความน่าเชื่อถือของแบบจำลองต่อไป



ภาพที่ ช.3 ค่าแลมบ์ดาของ Legibility Threshold จาก Box-Cox Transformation

จากการแปลงข้อมูล Legibility Threshold ซึ่งเป็นข้อมูลเดิม ให้เป็นมาตราใหม่ด้วยฟังก์ชันของแลมบ์ดาเท่ากับ -0.19 ซึ่งเป็นฟังก์ชันส่วนกลับของ Legibility Threshold ที่มีเลขชี้กำลังเป็น 0.19 ซึ่งได้เป็นตัวแปรตามในการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ในส่วนแรก คือ การพิจารณาตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง โดยแสดงด้วยแผนภาพความน่าเชื่อถือของแบบจำลองดังภาพที่ ช.4 พบว่าจากการทดสอบสมมติฐานด้านความเป็นอิสระต่อข้อมูล ด้วยแผนภาพที่มีความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) จะพบว่าส่วนตกค้างของค่า Legibility Threshold ที่มีการแปลงเป็นมาตราใหม่ มีการกระจายตัวแบบในรูปร่างหรือแนวโน้มที่ไม่แน่นอน จึงสรุปได้ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และสำหรับการทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของของความแปรปรวน โดยพิจารณาได้จากแผนภาพการกระจายตัวที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งข้อมูลมาตราใหม่ของ Legibility Threshold ไม่มีการกระจายที่เป็นแนวโน้ม จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นเสถียรภาพของความแปรปรวน นอกจากนี้การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ โดยพิจารณาจากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติ ข้อมูลส่วนใหญ่ได้มีการวางตัวอยู่ตามเส้นตรง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า สมการการ

ทำนายได้ผ่านการตรวจสอบของความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง โดยมีข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ  
 นั้นเอง



ภาพที่ ข.4 แผนภาพตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่มีการแปลงค่า Legibility  
 Threshold ด้วยฟังก์ชันของแลมบ์ดาเท่ากับ -0.19

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติในรูปแบบ General Full Factorial 3x4x4 ของทั้งสามปัจจัย คือ ระยะทางการมอง มุมเอียง และประเภทของ Target ที่ฟังก์ชันส่วนกลับของ Legibility Threshold ที่มีเลขชี้กำลังเป็น 0.19 เป็นตัวแปรตามนั้นจะได้ผลการทดสอบดังภาพที่ ข.5 ซึ่งผลของ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยมีอิทธิพลต่อการรับรู้ด้าน Legibility Threshold หรือขนาด Visual Angle ที่เริ่มอ่านได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าทั้งสามปัจจัยหลักได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (P-value <0.05) ต่อ Legibility Threshold และนอกจากนี้ยังพบการมีอิทธิพลร่วมกันระหว่างระยะทางการมองกับมุมเอียง และระยะทางการมองกับประเภทของ Target (P-value <0.05) แต่ไม่พบการมีอิทธิพลร่วมกันระหว่างมุมเอียงกับประเภทของ Target ซึ่งภาพที่ ข.6 แสดงการมีอิทธิพลร่วมกันระหว่างปัจจัยหลักต่างๆ

**General Linear Model: Lambda=-0.19 versus Viewing Dist, Oblique Angl, ...**

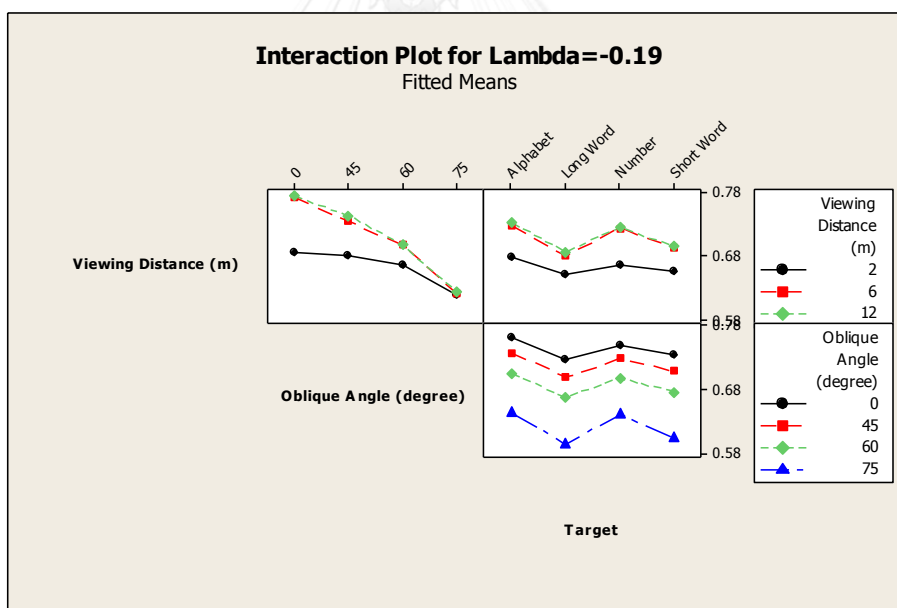
Factor	Type	Levels	Values
Viewing Distance (m)	fixed	3	2, 6, 12
Oblique Angle (degree)	fixed	4	0, 45, 60, 75
Target	fixed	4	Alphabet, Long Word, Number, Short Word

Analysis of Variance for Lambda=-0.19, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Viewing Distance (m)	2	0.215569	0.215569	0.107785	176.59	0.000
Oblique Angle (degree)	3	1.012985	1.012985	0.337662	553.23	0.000
Target	3	0.130753	0.130753	0.043584	71.41	0.000
Viewing Distance (m)* Oblique Angle (degree)	6	0.098316	0.098316	0.016386	26.85	0.000
Viewing Distance (m)*Target	6	0.011033	0.011033	0.001839	3.01	0.007
Oblique Angle (degree)*Target	9	0.005960	0.005960	0.000662	1.08	0.372
Error	450	0.274657	0.274657	0.000610		
Total	479	1.749273				

S = 0.0247053    R-Sq = 84.30%    R-Sq(adj) = 83.29%

ภาพที่ ข.5 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีต่อการรับรู้ด้านส่วนกลับรากที่สองของ Legibility Threshold

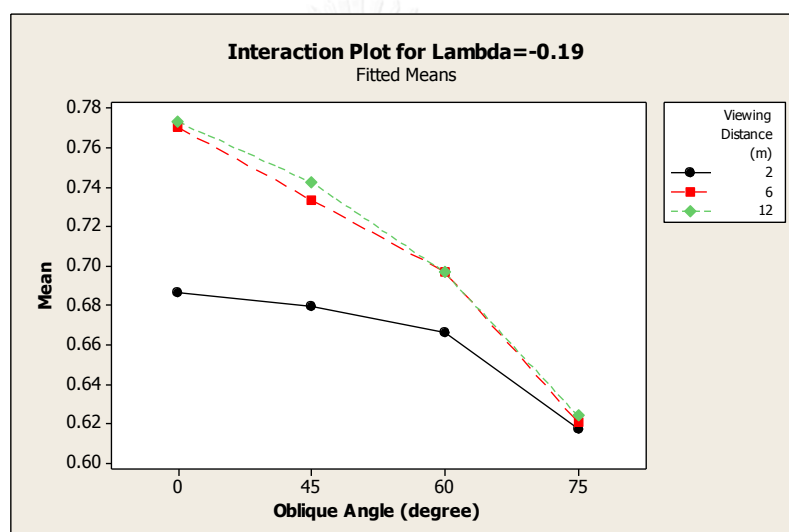


ภาพที่ ข.6 การมีอิทธิพลร่วมกันระหว่างปัจจัยหลักต่อ Legibility Threshold มาตรฐานใหม่

เนื่องจากในขั้นนี้เป็นการประเมินด้าน Legibility Threshold หรือ Visual Angle ที่เริ่มอ่านได้ต่อการรับรู้ข้อมูลบนจอแสดงผลแบบ LED ซึ่งสำหรับตัวแปรตามสำหรับการทดสอบค่าทางสถิติได้มีการแปลงข้อมูลของ Legibility Threshold ด้วยส่วนกลับที่มีเลขชี้กำลังเป็น 0.19 จึงทำให้การ



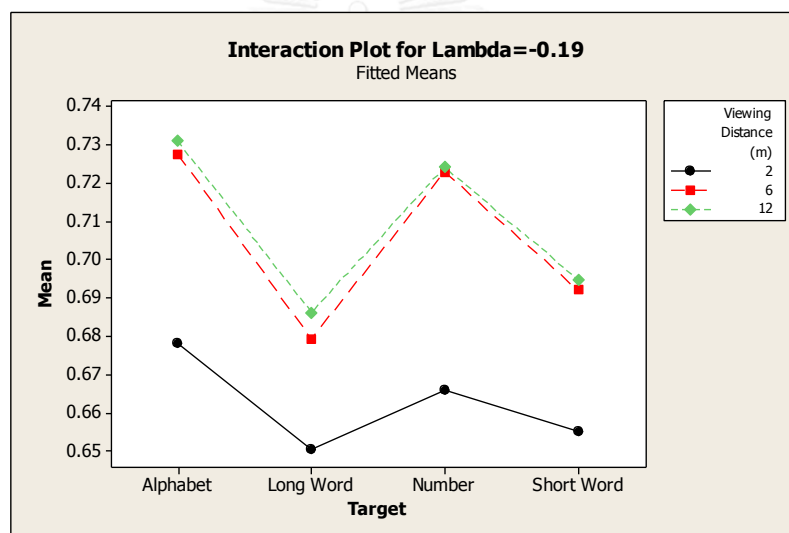
วิเคราะห์ถึงแนวโน้มของปัจจัยต่างๆ จะต้องพิจารณาถึงค่าที่เป็นส่วนกลับนี้ด้วย ซึ่งสำหรับค่า Legibility Threshold ที่มีค่ายิ่งมากเมื่อถูกแปลงค่าด้วยฟังก์ชันนี้ ก็จะทำให้มีค่าที่ยิ่งน้อยลงตามลำดับ และในทางตรงกันข้ามสำหรับค่า Legibility Threshold ที่มีค่าน้อยก็จะมีค่ามากเมื่อถูกแปลงค่าด้วยฟังก์ชันนี้เช่นเดียวกัน และจากที่กล่าวมาแล้วในขั้นต้น จะพบว่า Legibility Threshold จะมีความสัมพันธ์กับขนาดความสูงของอักขระที่ระยะห่างการมองเห็นๆ ด้วย โดย Legibility Threshold ก็คือ ขนาด Visual Angle ที่เริ่มอ่านได้ ซึ่งในส่วนนี้สำหรับในสถานะที่มีความต้องการขนาด Visual Angle ที่เริ่มอ่านได้ขนาดใหญ่ หรือกล่าวได้ว่าต้องการขนาดความสูงของอักขระหรือขนาดของอักขระที่มีขนาดใหญ่ขึ้นตามไปด้วยนั่นเอง



ภาพที่ ข.7 การมีอิทธิพลร่วมกันระหว่างระยะห่างการมองกับมุมเอียง

สำหรับผลการทดสอบด้านการมีอิทธิพลร่วมกับปัจจัยหลักต่างๆ โดยจากภาพที่ ข.7 แสดงถึงการอิทธิพลร่วมกันระหว่างระยะห่างการมองกับมุม ทั้งนี้สำหรับค่าของส่วนกลับที่มีค่ายิ่งน้อยนั้น แสดงว่ามีค่าของ Legibility Threshold ที่ใหญ่ และเนื่องจากการมี Visual Angle ที่มีขนาดใหญ่ จึงทำให้ขนาดตัวอักษรที่ต้องการสำหรับในสถานะนั้นๆ ก็จะมีขนาดที่ใหญ่ตามไปด้วยนั่นเอง สำหรับการมีอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองน่าจะเกิดจากระยะห่างการมองที่ 2 เมตรและที่มุมเอียง 75 องศาเป็นหลัก โดยเมื่อมีมุมเอียงของจอเพิ่มมากขึ้น ขนาดของ Visual Angle ที่เริ่มอ่านได้ก็มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นด้วย ซึ่งเราพบแนวโน้มแบบนี้จากระยะห่างการมองที่ 6 เมตรและ 12 เมตร ซึ่งทั้งสองระยะจะไม่มี ความแตกต่างกันของ Visual Angle ที่เริ่มอ่านได้อีกด้วย แต่สำหรับระยะห่างการมองที่ 2 เมตร เรา

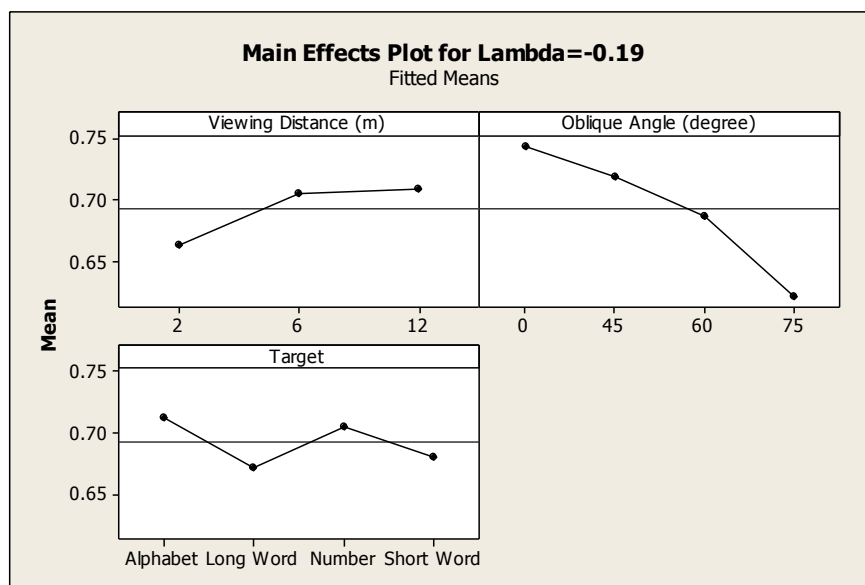
กลับพบความแตกต่างจากระดับภายในปัจจัยเดียวกันขึ้น สำหรับการที่มีมุมเอียงเพิ่มขึ้นด้วย โดยเส้นของกราฟจะต่ำกว่าและมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยหรือมีความชันที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับระยะห่างที่ 6 และ 12 เมตร ซึ่งทั้งนี้ได้เกิดจากปัญหาด้านคุณภาพของจอแสดงผลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ที่ส่งผลกับ Visual Angle ที่เริ่มอ่านได้กับระยะห่างการมองที่ 2 เมตร โดยจะมี Visual Angle ที่เริ่มอ่านได้ใหญ่กว่าระยะห่างที่ไกลออกไป แต่สำหรับมุมเอียงของจอที่ 75 องศา จะมีขนาดตัวอักษรเท่ากับระยะห่างการมองที่ 6 และ 12 เมตร ก็เนื่องจากที่มีมุมเอียงนี้ต้องการขนาด Visual Angle ที่มีขนาดใหญ่กว่ามุมอื่นๆ และเนื่องจากระยะห่างการมองที่ 2 เมตร ปัญหาด้านคุณภาพของจอจะส่งผลกับ Visual Angle ที่มีขนาดเล็กเท่านั้น ดังนั้นจึงทำให้สำหรับมุมเอียงที่ 75 องศา Visual Angle ที่เริ่มอ่านได้ของทั้งสามระยะห่างการมองจึงมีค่าไม่ต่างกันนั่นเอง



ภาพที่ ข.8 การมีอิทธิพลร่วมกันระหว่างระยะห่างการมองกับประเภทของ Target

สำหรับการมีอิทธิพลร่วมกันระหว่างระยะห่างการมองกับประเภทของ Target ดังภาพที่ ข.8 ซึ่งการมีอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสองน่าจะเกิดจากระยะห่างการมองที่ 2 เมตรเป็นหลักเช่นกัน โดยจากเส้นกราฟของระยะห่างการมองที่ 2 เมตร ในทุกประเภทของ Target ต่ำกว่าและขนานกับอีกสองระยะห่างการมอง ซึ่งให้เห็นว่าระยะห่างการมองจะมี Legibility Threshold ที่ใหญ่กว่าในอีกสองระยะห่างอย่างเห็นได้ชัด และทั้งสองระยะห่างการมองกลับมี Legibility Threshold ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน นอกจากระยะห่างการมองที่ 2 เมตรยังมีความแตกต่างของ Legibility Threshold ของ Target ทั้งสี่น้อยกว่าระยะห่างการมองทั้งสองระยะเช่นกัน โดยความแตกต่างที่พบในระยะเวลาการ

มองที่ 2 ก็มาจากคุณภาพของจอแสดงผลอีกเช่นกัน ซึ่งระยะห่างการมองที่ 2 มีขนาด Visual Angle ที่เริ่มอ่านได้มีขนาดใหญ่กว่าระยะห่างการมองที่ไกลออกไป จึงทำให้ Target ทั้ง 4 ประเภทมีขนาดของ Visual Angle ที่เริ่มอ่านได้ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้สำหรับปัจจัยประเภทของ Target พบว่าแนวโน้มขนาดของ Visual Angle ที่เริ่มอ่านได้ ค่ายาวมีขนาดที่ใหญ่กว่าคำสั้น ตัวเลข และตัวอักษรตามลำดับ



ภาพที่ ข.9 แนวโน้มของปัจจัยหลักต่อ Legibility Threshold มาตรฐานใหม่

ในส่วนของการพิจารณาแนวโน้มของปัจจัยหลัก นอกจากแผนภาพของปัจจัยหลัก ดังภาพที่ ข.9 ผู้วิจัยยังได้ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับต่างๆ ภายในปัจจัยเดียวกันที่มีต่อ Legibility Threshold มาตรฐานใหม่ โดยใช้วิธีการของ Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 ดังภาพที่ ข.10 กล่าวโดยสรุปได้ว่า สำหรับปัจจัยระยะห่างการมอง ระดับภายในปัจจัยจะมีความแตกต่างอยู่ที่ระยะห่างการมองที่ 2 เมตรเป็นหลัก โดยที่ระยะ 6 เมตรกับ 12 เมตรไม่มีความแตกต่างกัน หรืออาจกล่าวได้ว่าระยะห่างการมองที่ 2 เมตรต้องใช้ตัวอักษรขนาดใหญ่ขึ้นอย่างมีนัยสำคัญกว่าจุดที่ไกลออกไป โดยปัจจัยระยะห่างการมองที่มีพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญขึ้น เราพบว่าเกิดจากคุณภาพของจอแสดงผลที่ได้นำมาใช้ในงานวิจัย โดยการมองที่ระยะใกล้จะมีคุณภาพของภาพที่แสดงบนจอแ่กว่าระยะไกลออกไปอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ยังมีเหตุผลจากความจริงที่ว่ายิ่งระยะห่างการมองที่ใกล้ก็จะมีขนาดความสูงของตัวอักษร (MOA เดียวกัน) ที่เล็กกว่าระยะห่างการมองที่ไกลออกไปรวมอยู่อีกด้วย หรือกล่าวได้ว่าจำนวนของพิกเซลต่อความสูงของตัวอักษรในระยะห่างการมองที่ 2

เมตรจึงมีค่าน้อยและจากความละเอียดที่ต่ำกว่า เมื่อเทียบกับระยะห่างการมองไกลออกไป ทำให้ไม่เกิดภาพตัวหนังสือมีลักษณะแตก จางหรือเป็นจุดที่บจนไม่สามารถแยกได้นั่นเอง ส่วนปัจจัยด้านมุมเอียง ระดับภายในปัจจัยนี้มีผลต่อการรับรู้ขนาดตัวอักษรภายใน Visual Angle มีความแตกต่างกันในทุกระดับ โดยเมื่อหน้าจามีขนาดของมุมเอียงเพิ่มขึ้นก็จำเป็นต้องมีขนาดตัวอักษรขนาดใหญ่ขึ้นตามลำดับ สำหรับปัจจัยหลักด้านประเภทของ Target นั้น ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มตัวอักษรแบบเดี่ยว คือ ตัวเลขและตัวอักษร และในกลุ่มของคำ คือ คำสั้นและคำยาวด้วย นอกจากนี้สำหรับการอ่านประเภทของ Target ที่เป็นกลุ่มคำของผู้เข้าร่วมงานวิจัยมีความต้องการขนาดตัวอักษรที่ใหญ่กว่าการอ่านตัวอักษรแบบเดี่ยวอย่างชัดเจน

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence			
Viewing Distance (m)			
N	Mean	Grouping	
12	160	0.4	A
6	160	0.4	A
2	160	0.3	B
Means that do not share a letter are significantly different.			
Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence			
Oblique Angle (degree)			
N	Mean	Grouping	
0	120	0.5	A
45	120	0.4	B
60	120	0.4	C
75	120	0.3	D
Means that do not share a letter are significantly different.			
Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence			
Target			
N	Mean	Grouping	
Alphabet	120	0.4	A
Number	120	0.4	A
Short Word	120	0.4	B
Long Word	120	0.4	B
Means that do not share a letter are significantly different.			

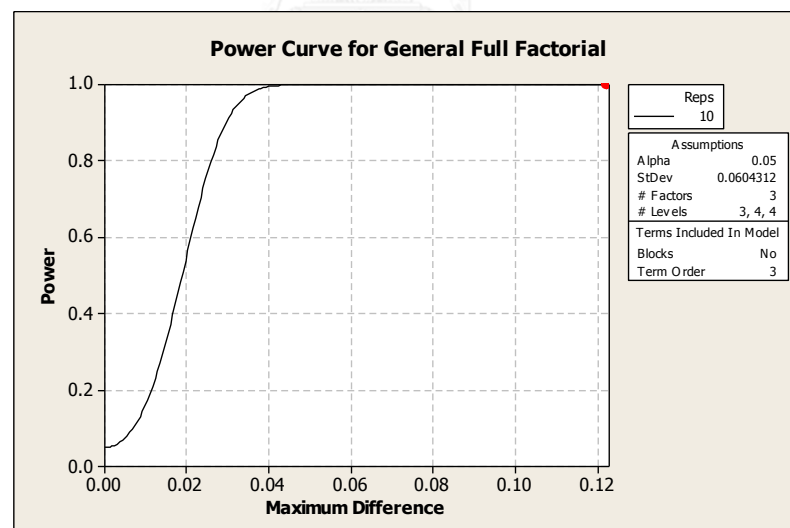
ภาพที่ ข.10 การเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับต่างๆ ภายในปัจจัย โดยใช้วิธีการของ Tukey

สำหรับวิเคราะห์ในรูปแบบ General Full Factorial  $3 \times 4 \times 4$  ของทั้งสามปัจจัย จะมีความผิดพลาดที่เกิดการสรุปว่า การปฏิเสธสมมุติฐานที่ความเป็นจริงปัจจัยต่างๆ มีความแตกต่างกัน แต่กลับไม่พบความต่างนั้น หรือเรียกว่า Beta Error หรือ Type II Error นอกจากนี้ค่าโอกาสด้านกลับของ Beta ( $1 - \text{Beta}$ ) เราจะเรียกว่า Power ซึ่งค่านี้จะแสดงถึงสำหรับการศึกษาวิจัยในขั้นนี้มีพลังในการตรวจสอบหรือตรวจจับ (Detect) ความแตกต่างในปัจจัยต่างๆ ได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งจากภาพที่

ช.11 และแผนภาพที่ ช.12 สำหรับที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 และความแตกต่างสูงสุดภายในปัจจัยหลักด้านมุมเอียงที่ 0 กับ 75 องศา ซึ่งมีค่า 0.122568 จะทำให้ได้ค่าของ Power ที่ได้จากการทดสอบในขั้นนี้มีค่าเข้าใกล้ 1 ดังนั้นจึงทำให้ค่าของ Beta Error มีค่าเข้าใกล้ 0 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจำนวนของข้อมูลมีจำนวนมากพอ และมีความน่าเชื่อถือสำหรับการวิเคราะห์ในขั้นนี้นั่นเอง

Power and Sample Size			
General Full Factorial Design			
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.0604312			
Factors: 3 Number of levels: 3, 4, 4			
Include terms in the model up through order: 3			
Not including blocks in model.			
	Maximum	Total	
	Difference	Reps	Runs Power
	0.122257	10	480 1

ภาพที่ ช.11 ค่า Power ที่ได้จากการวิเคราะห์รูปแบบ General Full Factorial



ภาพที่ ช.12 แผนภาพของค่า Power ที่ได้จากการวิเคราะห์รูปแบบ General Full Factorial

อย่างไรก็ตาม ค่า Visual Angle ที่เริ่มอ่านได้นี้ ยึดหลักการประมาณค่าตามหลักของจิต-ฟิสิกส์ดังที่กล่าวก่อนหน้านี้นี้ คือที่การอ่านได้ 50% แต่ในการอ่านตัวอักษร หรือข้อความในเชิงปฏิบัติจริงหลายครั้งจะมีความต้องการให้อ่านได้ 100% ในที่นี้ จึงได้อาศัยสมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้มาจาก

การสร้างกราฟระหว่าง Visual Angle กับเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในขั้นต้น มาประมาณขนาด Visual Angle สำหรับ 100 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องได้ผลดังแสดงในตารางที่ ข.1 ทั้งนี้ การแสดงค่าจะปิดเศษทศนิยมออกทั้งหมด เนื่องจากซึ่งจากความละเอียดต่ำสุดที่ตาสามารถแยกได้จะมีค่าอยู่ที่ 1 MOA และจากการทดสอบทางด้านระยะห่างการมองแล้วพบว่าที่ระยะ 6 และ 12 เมตรไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำให้มีการรวมช่วงของระยะห่างมองที่ 6-12 เมตรเข้าด้วยกัน



ตารางที่ ข.1 ขนาด Visual Angle ที่อ่านได้สำหรับ 100 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง (MOA)

ประเภทของ Target	มุมเอียง (องศา)	Visual Angle (MOA)	
		ระยะห่างการมองที่ 2 เมตร	ระยะห่างการมองที่ 6-12 เมตร
ตัวเลข (Number)	0	9	5
	45	9	6
	60	10	8
	75	15	13
ตัวอักษร ภาษาอังกฤษ (Alphabet)	0	9	5
	45	9	6
	60	10	8
	75	14	13
คำภาษาอังกฤษ แบบสั้น (Short Word)	0	9	6
	45	10	7
	60	10	10
	75	18	13
คำภาษาอังกฤษ แบบยาว (Long Word)	0	9	6
	45	11	7
	60	11	11
	75	20	20

ตัวเอน หมายถึง ขนาดตัวอักษรที่มี Visual Angle เกินกว่า 16 MOA ซึ่งเป็นค่าคำแนะนำทั่วไป

จากการเปรียบเทียบขนาด Visual Angle ที่ได้จากการทดลองกับขนาดต่ำสุดที่ได้มีการแนะนำจากมาตรฐานคือที่ 16 MOA ซึ่งตัวเลขและตัวอักษรแบบเดี่ยวจะมีขนาดต่ำกว่าจากที่มาตรฐานกำหนดในทุกสถานการณ์ ยกเว้นบางกรณี que แสดงด้วย ตัวเอน ในตารางที่ ข.1 อันได้แก่ คำสั้น อ่านที่ระยะ 2 เมตร มุมเอียง 75 องศา และคำยาวที่มุมเอียง 75 องศา ทุกระยะห่าง ดังนั้นจากผลของการทดลองในครั้งนี้ จึงแนะนำให้ใช้ขนาดตัวอักษรควรมี Visual Angle ที่อยู่ในช่วงเกินกว่า 20 MOA เป็นสำคัญให้สามารถมองเห็นได้ครอบคลุมทุกสถานการณ์อย่างแน่นอน

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว พจนารถ พิมน้อม เกิดเมื่อวันที่ 7 เมษายน พุทธศักราช 2530 เป็นคนจังหวัดสมุทรสาคร สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนกระทุ่มแบน วิเศษสมุทรคุณ จังหวัดสมุทรสาคร สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) จากภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2555 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง วิศวกรประกันคุณภาพ ด้านการสอบเทียบเครื่องมือวัด ประจำบริษัทผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าแห่งหนึ่งในจังหวัดฉะเชิงเทรา

