# บทที่ 5

## การวิเคราะห์ข้อมูล และกราฟ

ข้อมูลที่บันทึกได้จากการทดลองในส่วนของ การทดลองเพื่อหาค่าคอนทราสต่ำสุดสำหรับการมองเห็น(Threshold Contrast) ประกอบด้วย

1. ความส่องสว่างของฉากหลัง
2. ชนิดของตัวกลาง
3. ความส่องสว่างของวัตถุต่ำสุดที่ทำให้เกิดการมองเห็น(Threshold Luminance)ของวัตถุทดสอบแต่ละชนิด

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบค่า คอนทราสต่ำสุดสำหรับการมองเห็น (Threshold Contrast)ของวัตถุทดสอบ แต่ละชนิด ที่ค่าความส่องสว่างของฉากหลังต่างๆกัน โดยแยกเป็นการมองผ่านตัวกลาง และการมองโดยไม่ผ่านตัวกลาง

ข้อมูลที่บันทึกได้จากการทดลองในส่วนของ การทดลองเพื่อหาค่าสมรรถนะการมองเห็น(Visual Performance) ประกอบด้วย

1. ความส่องสว่างของฉากหลัง
2. ชนิดของตัวกลาง
3. ความส่องสว่างของวัตถุ
4. เวลาที่ใช้ทำงานการมอง(มองภาพวงแหวนแลนดอลท์ ครบ 1 รอบของการทดสอบ)
5. คำตอบของการทำงานการมองเห็น

### 5.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากข้อมูลการทดลองทั้งสองส่วนดังกล่าว เมื่อนำมาคำนวณ วิเคราะห์เพื่อสร้างชุดของข้อมูล 2 ชนิด คือ

5.1.1 ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Analytical Data)

5.1.2 ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยผลการทดลอง(Empirical Data)

ค่าฟังก์ชั่นที่ต้องคำนวณทั้งหมด มีดังนี้

ก. Contrast :C

ข. Threshold Contrast :$\bar{C}$

ค. Reference Equivalent Contrast :$\tilde{C}_{ref}$ และ Equivalent Contrast :$\tilde{C}$

ง. Visibility Level :VL

ง/1 โดยวิธีตรง(Direct Method) ซึ่งก็คือข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยผลการทดลอง(Empirical Data)

ง/2 โดยวิธีอ้อม(Indirect Method) ซึ่งก็คือข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Analytical Data)

จ. Relative Task Performance :RTP

จ/1 RTP ที่เป็นข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยผลการทดลอง(empirical data)

จ/2 RTP ที่เป็นข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ (analytical data)

เมื่อแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น 2 ส่วน คือ

5.1.1 **ส่วนที่ 1 EMPIRICAL DATA**

รายละเอียดของข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยผลการทดลอง(empirical data) ซึ่งฟังก์ชั่นแต่ละตัวมีความหมาย และวิธีการคำนวณดังนี้

5.1.1.1 **Contrast :C** คือค่าอัตราส่วนค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างความส่องสว่างของวัตถุกับความส่องสว่างของฉากหลัง ต่อ ความส่องสว่างของฉากหลัง

$$C = \frac{|L_o - L_b|}{L_b}$$

5.1.1.2 **Threshold Contrast :$\bar{C}$** เป็นการคำนวณคอนทราส โดยการแทนค่าความส่องสว่างของวัตถุ ด้วยค่า ความส่องสว่างต่ำสุดที่ทำให้เกิดการมองเห็น

5.1.1.3 **Reference Equivalent Contrast : $\tilde{C}_{ref}$ และ Equivalent Contrast : $\tilde{C}$**

เป็นค่าที่แสดงความยาก(Difficulty)ของงานที่ต้องมอง เมื่อค่า $\tilde{C}_{ref}$ ใช้กับเงื่อนไขแสงอ้างอิง และ $\tilde{C}$ ใช้กับเงื่อนไขแสงใดๆตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ $\tilde{C}_{ref}$ คือ รายละเอียดของงาน , ขนาด , คอนทราส และความส่องสว่างของฉากหลัง การวัดค่า $\tilde{C}_{ref}$ เป็นการวัดที่ใช้การเปรียบเทียบความรู้สึก(Psychophysical) ซึ่งค่า $\tilde{C}_{ref}$ คือค่า คอนทราสที่วัดได้จริงของ Visibility Reference Task ที่มีค่าDifficulty เท่ากันกับของงาน

(task)ที่ต้องการวัดค่า$\tilde{C}_{ref}$ โดยทำการวัดที่ค่าความส่องสว่างของฉากหลังของงานที่ต้องการวัดค่า$\tilde{C}_{ref}$ ซึ่งค่าDifficulty มีค่าเท่ากับความแตกต่างของคอนทราสที่จุดนั้น กับ ที่จุดเริ่มต้นของการมองเห็น(Visibility Threshold)

เมื่อ $C_{ref}$ คือ คอนทราส ของ Visibility Reference Task

$\bar{C}_{ref}$ คือ คอนทราสต่ำสุดที่ทำให้เกิดการมองเห็น ของ Visibility Reference Task

$\bar{C}$ คือ คอนทราสต่ำสุดที่ทำให้เกิดการมองเห็น ของ งานที่ต้องการวัดค่า $\tilde{C}_{ref}$

C คือ คอนทราส ของรายละเอียดของงาน ณ จุดที่ต้องการวัดค่า $\tilde{C}_{ref}$

จากคำจำกัดความของการวัดค่า $\tilde{C}_{ref}$ เมื่อDifficulty ของงานทั้งสองเท่ากัน

$$C_{ref} - \bar{C}_{ref} = C - \bar{C}$$

$$C_{ref} = \bar{C}_{ref} + (C - \bar{C})$$

Reference Equivalent Contrast :$\tilde{C}_{ref}$ หรือ Equivalent Contrast : $\tilde{C}$ คือ คอนทราส ของ Visibility Reference Task ตามคำจำกัดความ

ดังนั้น $$\tilde{C}_{ref} = \bar{C}_{ref} + (C - \bar{C}) \quad \text{-----(5.1)}$$

หมายเหตุ ตัวห้อย(subscript) "ref" ในสมการที่ 5.1

$\tilde{C}_{ref}$ : ref หมายถึง เงื่อนไขของแสงอ้างอิง(Reference Lighting Condition) ซึ่งแทนการมองโดยไม่ผ่านตัวกลาง จึงแทน ref ด้วย N เป็น $\tilde{C}_{N}$

$\bar{C}_{ref}$ : ref หมายถึง Visibility Reference Task จึงเป็นการรวมความหมายของ Reference Lighting Condition เข้าไปด้วย ซึ่ง Visibility Reference Task คืองานที่มีรายละเอียดเป็น วงกลม(disc)ขนาด 4 ลิบดา จึง แทน 'ref' ด้วย ' DISC'

สมการที่ 5.1 เขียนใหม่ได้ว่า

$$\tilde{C}_{N} = \bar{C}_{disc,N} + (C_{N} - \bar{C}_{N})$$

Equivalent Contrast : $\tilde{C}$ เป็นการวัดความยากของงาน(Difficulty) เช่นเดียวกันกับ $\tilde{C}_N$ แต่ไม่ใช่การวัดภายใต้เงื่อนไขแสงอ้างอิงจึงใช้สัญลักษณ์ $\tilde{C}_I$ สำหรับการมองผ่านตัวกลางตัวที่ 1 และ $\tilde{C}_{II}$ สำหรับการมองผ่านตัวกลางตัวที่ 2 จากสมการที่ ๖.1 เพื่อหาค่า $\tilde{C}$ จำเป็นต้องทราบค่า $\bar{C}_{Disc}$ , $\bar{C}$ และ C ที่ค่าความส่องสว่างของฉากหลังขณะนั้น ซึ่งค่า $\bar{C}_{Disc}$ และ $\bar{C}$ หาได้จากการทดลองในส่วนของการหาค่าคอนทราสต่ำสุดสำหรับการมองเห็น (Threshold Contrast)ซึ่งเป็นการวัดโดยใช้ความรู้สึก(Psychophysical) ส่วนค่า C หาได้จากการทดลองในส่วนของการหาค่าสมรรถนะการมองเห็น(Visual Performance)ซึ่งเป็นการวัดทางกายภาพ(Physical) สมการสำหรับหาค่า Equivalent Contrast เขียนได้ดังนี้

$$\tilde{C}_1 = \bar{C}_{Disc,1} + (C_1 - \bar{C}_1)$$

เมื่อตัวห้อย 1 แทนการทดลองโดยผ่านตัวกลางโปร่งใส

5.1.1.4 **Visibility Level :VL**

ใช้การคำนวณแบบโดยตรง(Direct Method)จากสมการ

$$VL = \frac{C}{\bar{C}}$$

เมื่อ C คือคอนทราสขณะนั้นของรายละเอียดของงานที่ต้องการทราบค่าVisibility Level และ $\bar{C}$ คือ ค่าคอนทราสต่ำสุดสำหรับการมองเห็น(Threshold Contrast)ของรายละเอียดของงานดังกล่าว ซึ่งวัดที่ค่าความส่องสว่างของฉากหลังค่าเดียวกันกับค่าความส่องสว่างของฉากหลังของงานที่ต้องการทราบค่า Visibility Level ให้วัตถุทดสอบแสดงต่อผู้สังเกตุในแบบแสดงภาพวัตถุทดสอบกระพริบเป็นช่วงๆ(Pulse-Train) เป็นเวลา ๐.2 วินาที ทุกๆ 1 วินาที เพื่อจำลองการมองเห็นจริง

5.1.1.5 **Relative Task Performance :RTP**

RTP ที่เป็นข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยผลการทดลอง(Empirical Data)

คำว่าสมรรถนะการมองเห็น(Visual Performance)หมายถึงความรวดเร็ว และความถูกต้องในการทำงานการมองเห็น ซึ่งมีวิธีการวัด ,คำนวณ และการเลือกค่าที่ใช้แสดงสมรรถนะการมองเห็นแตกต่างกันออกไป ขึ้นกับความต้องการทราบสมรรถนะการมองเห็นเพื่อนำไปวิเคราะห์สถานะการณ์อื่นๆต่อไป ในส่วนของการทดลองนี้เราบันทึก เวลาที่ใช้ทำงานการมองเห็น 1 ครั้ง(working time :t) และคำตอบของการทำงานการมองเห็น เนื่องจาก

เวลาที่บันทึกได้รวม 'เวลาตอบสนอง' เข้าไปด้วย ดังนั้นสมรรถนะที่วัดได้จึงเป็นสมรรถนะของการทำงาน(Task Performance)ซึ่งมีค่าเท่ากับ ส่วนกลับของเวลาที่ใช้ทำงาน คูณกับอัตราส่วนของ จำนวนคำตอบที่ถูกต้อง ต่อ จำนวนคำตอบทั้งหมด

$$\text{ดังนั้น} \quad TP = (1/\text{เวลาที่ใช้ทำงานการมองเห็น}) * \frac{\text{จำนวนคำตอบถูก}}{\text{จำนวนคำตอบทั้งหมด}}$$

เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบผลการทดลองในกลุ่มของผู้ทดลองหลายคน จึงใช้ค่า สมรรถนะการทำงานสัมพัทธ์(Relative Task Performance :RTP)

$$RTP = \frac{\text{สมรรถนะการทำงาน}}{\text{สมรรถนะการทำงานสูงสุด}}$$

$$= \frac{TP}{TP_{max}}$$

เมื่อนำค่า RTP มาพลอตกราฟกับค่า ลอกการิธึมของVisibility Level(logVL) โดยให้แกนตั้ง(ordinate) แทนค่าRTP และแกนนอน(abcissa)แทนค่า logVL จะได้กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง logVL และ RTP ของงานสำหรับทดสอบการมองเห็นเพื่อใช้เปรียบเทียบกับกราฟชนิดเดียวกันที่พลอตจากข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Analytical Data) เพื่อหาค่า Task Demand Level :D และ Critical Component Weight :$W_{12s}$

5.1.2 **ส่วนที่ 2 ANALYTICAL DATA**

ในส่วนนี้ฟังก์ชั่นที่ต้องคำนวณคือ

5.1.2.1 **Visibility Level** (แบบจำลองคณิตศาสตร์ชุดที่ 1)

5.1.2.2 **RTP** (แบบจำลองคณิตศาสตร์ชุดที่ 2)

เพื่ออ้างถึงงานสำหรับทดสอบสมรรถนะการมองเห็น จึงต้องมีการกำหนดคุณสมบัติประจำตัวให้แก่งานสำหรับทดสอบสมรรถนะการมองเห็นด้วยพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ

1.ความยากของงานที่ต้องทำ(Task Demand Level :D)

2.สัมประสิทธิ์น้ำหนักของส่วนที่สำคัญ(Critical Component Weight :$W_{12s}$)

พารามิเตอร์ D และ $W_{123}$ เป็นตัวกำหนดรูปร่างกราฟสมรรถนะการทำงาน(Task Performance Curve) ซึ่งอันที่จริงเราพอจะทราบค่าคร่าวๆของคุณสมบัติประจำตัวของงานสำหรับทดสอบสมรรถนะการมองเห็นได้จากกราฟสมรรถนะการทำงานซึ่งได้จากข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยผลการทดลอง(Empirical Data) แต่เพื่อให้ได้ค่า พารามิเตอร์ D และ $W_{123}$ ที่มีค่าเป็นตัวเลขที่ถูกต้อง เพื่อนำไปใส่ลงในแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อให้จำลองงานสำหรับทดสอบสมรรถนะการมองเห็นได้อย่างถูกต้อง จึงต้องดำเนินการโดย นำแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับงานทั่วๆไป(หมายถึงการใช้งาน แบบจำลองคณิตศาสตร์ชุดที่1 ร่วมกับ แบบจำลองคณิตศาสตร์ชุดที่2)มาใช้ สร้างข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Analytical Data) และกราฟสมรรถนะการทำงาน ด้วยการทดลองสมมุติค่าพารามิเตอร์ D และ $W_{123}$ จนกระทั่งได้ค่าพารามิเตอร์ D และ $W_{123}$ ที่ทำให้กราฟสมรรถนะการทำงานที่ทับกับกราฟของข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยผลการทดลอง(Empirical Data)พอดี ซึ่งก็คือค่าพารามิเตอร์ D และ $W_{123}$ ที่เป็นคุณสมบัติประจำตัวของงานสำหรับทดสอบสมรรถนะการมองเห็น

ขั้นตอนการคำนวณ ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Analytical Data) มีดังนี้

1. เลือกอายุของผู้สังเกตุ :A (data)
2. ทดลองเดาค่า **Task Demand Level** :D (trial)
3. คำนวณ Visual Performance Threshold : $\bar{\alpha}_1$ จากค่า D

$$\bar{\alpha}_1 = \frac{D}{100}$$

4. คำนวณ Equivalent Eccentricity :$\bar{X}$ จาก $\bar{\alpha}_1$

$$\log\bar{X} = \frac{(\bar{\alpha}_1 - .550)}{1.355}$$

5. คำนวณ พารามิเตอร์ S ด้วยสมการ

$$\log S = .5900-.6235*\log d-.1980*\bar{X}-s$$

6. คำนวณ พารามิเตอร์ n ด้วยสมการ

$$n = [(S/100*t)^{.4}+1]^{2.5}$$

7. เลือกค่า $L_{ref}$ (data)

8. คำนวณ RCS ด้วยสมการ

$$RCS = n*[(S/L_{ref}*t)^{.4}+1]^{-2.5}$$

9. เลือกค่า Equivalent Contrast :$\tilde{C}$ ซึ่งได้จากหัวข้อ 5.1.1.3

10. ค่าพารามิเตอร์ $m_i$ เป็นฟังก์ชั่นของ อายุของผู้สังเกตุ :A

อายุ 20-42 ปี $m_i = 1.000+.00795*(A-20)$

42-64 ปี $m_i = 1.175+.0289*(A-42)$

11. คำนวณ Visibility Level ด้วยสมการ

$$VL = \tilde{C} * \frac{RCS}{(0923*m_i)}$$ --------(แบบจำลองคณิตศาสตร์ชุดที่ 1)

12. คำนวณ $\alpha = \log VL$

13. คำนวณ $\gamma_i$ ด้วยสมการ

$$\gamma_i = .145+.278*(\bar{\alpha}_i - .050)$$

14. เลือกค่า Process Effectiveness Factor(Critical Process) :$P_1$ ,$P_2$ ,$P_3$ จากตารางที่ 10 ในภาคผนวก ก เมื่อ

$$P_1 = p \quad \text{เมื่อ} \quad x/\delta = \frac{\alpha - \bar{\alpha}_i}{\gamma_i}$$

$$P_2 = p \quad \text{เมื่อ} \quad x/\delta = \frac{\alpha - .107}{.180}$$

$$P_3 = p \quad \text{เมื่อ} \quad x/\delta = \frac{\alpha - \alpha_3}{.180}$$

$$\alpha_3 = .107+.(678\log\tilde{X} + .007)+(.350*\log\tilde{X} - .050)$$

คิดเฉพาะค่าที่เป็นบวก ในแต่ละวงเล็บ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

15. คำนวณ Relative Visual Performance :RVP ด้วยสมการ

$RVP = W_1P_1 + W_2P_2 + W_3P_3$ ----------(แบบจำลองคณิตศาสตร์ชุดที่ 2)

เมื่อ $\bar{\alpha}_1 <= .6$ ,$W_2 = W_3 = .100 + .0683 * \bar{\alpha}_1$

$\bar{\alpha}_1 >= .6$ ,$W_2 = W_3 = .141 + .627 * (\bar{\alpha}_1 - .600)$

และ $W_1 + W_2 + W_3 = 1.0$

16. เลือกค่า Process Effectiveness Factor(Noncritical Process) : $P_{4.1}$ ,$P_{4.2}$ จากตารางที่ 10 ในภาคผนวก ก เมื่อ

$P_{4.1} = p$ เมื่อ $x/\delta = \dfrac{\alpha + .150}{.145}$

$P_{4.2} = p$ เมื่อ $x/\delta = \dfrac{\alpha + .700}{.145}$

17. คำนวณ Process Effectiveness Factor(Noncritical Process) :$P_4$ ด้วยสมการ

$$P_4 = 0.3 * P_{4.1} + 0.7 * P_{4.2}$$

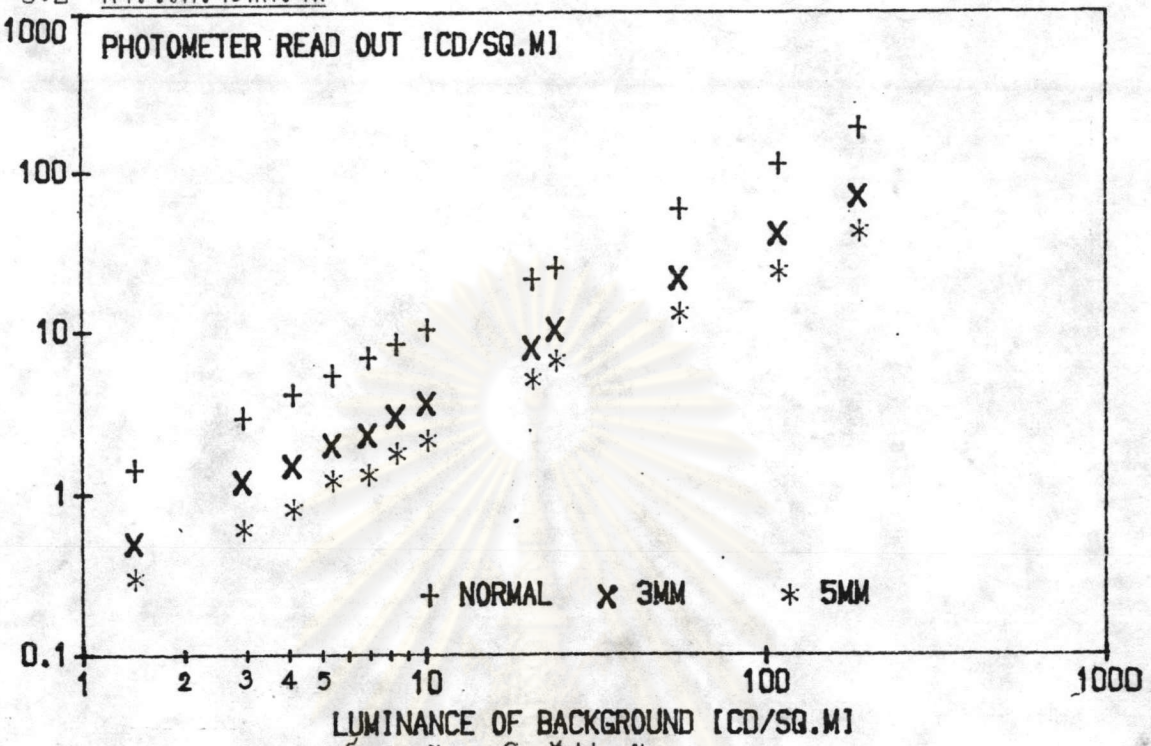
18. คำนวณ Relative Task Performance :RTP จากสมการ

$$RTP = W_{123} * RVP + W_4$$

เมื่อ $W_{123} + W_4 = 1.0$

ดังนั้นเมื่อทายค่า $W_{123}$ ลงในสมการ จึงได้ค่า RTP เพื่อนำไปพลอตกราฟกับค่า logVL ตามต้องการ

5.2 การวิเคราะห์กราฟ




NORMAL เป็นการวัดแสงโดยไม่ผ่านตัวกลาง

3 mm เป็นการวัดแสงผ่านตัวกลางชนิด หนา 3 มิลลิเมตร

5 mm เป็นการวัดแสงผ่านตัวกลางชนิด หนา 5 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.1 กราฟแสดงค่าความส่องสว่างของฉากหลังที่เปลี่ยนแปลง เมื่อวัดแสงผ่านตัวกลาง

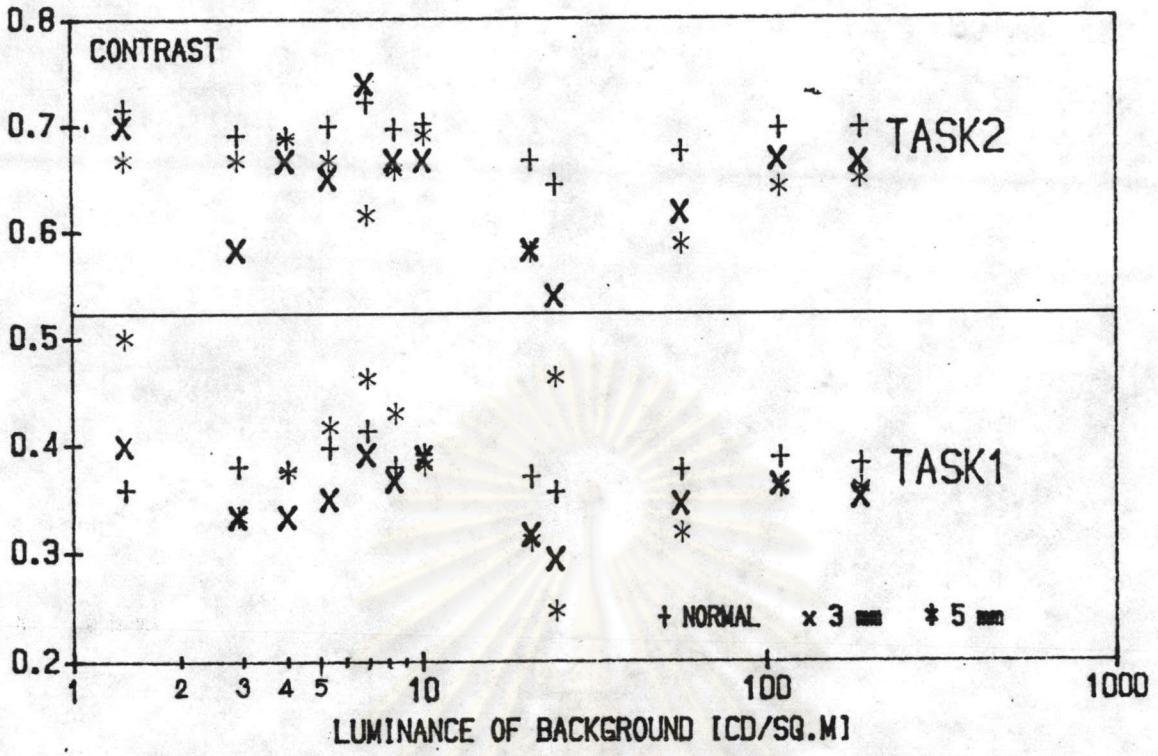
5.2.3 กราฟรูปที่ 5.1

แสดงผลของตัวกลางโปร่งใสที่มีต่อ ความส่องสว่าง เส้นกราฟทั้ง 3 เส้น แสดงให้เห็นว่า เมื่อวัดแสงผ่านตัวกลางจะทำให้ความส่องสว่างลดลง ตามชนิดของตัวกลางที่ใช้ ดังแสดงด้วยผลของการเลื่อน(shift)ของเส้นกราฟการวัดแสงผ่านตัวกลาง(3 mm และ 5 mm)ลงมาจากเส้นกราฟของการวัดแสงโดยไม่ผ่านตัวกลาง(NORMAL)ตามแนวแกนตั้ง โดยที่อัตราส่วนของค่าความส่องสว่างที่วัดผ่านตัวกลาง ต่อค่าความส่องสว่างของฉากหลัง มีค่าคงที่ทุกๆค่าความส่องสว่างของฉากหลัง เพราะความชันของกราฟมีค่าคงที่เมื่อพลอตกราฟด้วยค่าลอกการิธึมมิกทั้งสองแกนความส่องสว่างของฉากหลังที่ลดลงเมื่อวัดแสงผ่านตัวกลาง แสดงในรูปของเปอร์เซนต์ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ความส่องสว่างของฉากหลังที่ลดลง เมื่อวัดแสงผ่านตัวกลาง

| ความส่องสว่างฉากหลังจริง [cd/m$^2$] | ความส่องสว่างของฉากหลังที่ลดลง เมื่อวัดแสงผ่านตัวกลาง | |
|---|---|---|
| | 3 mm | 5 mm |
| 1.4 | 64.29% | 78.57% |
| 2.9 | 58.62% | 79.31% |
| 4.0 | 62.50% | 80.00% |
| 5.3 | 62.26% | 77.36% |
| 6.8 | 66.18% | 80.88% |
| 8.2 | 63.41% | 78.66% |
| 10.0 | 64.00% | 79.00% |
| 20.6 | 61.65% | 75.73% |
| 24.3 | 58.02% | 73.25% |
| 56.0 | 62.14% | 77.50% |
| 108.2 | 63.03% | 78.65% |
| 184.0 | 62.50% | 77.88% |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




3 mm เป็นการวัดแสงผ่านตัวกลางชนิด หนา 3 มิลลิเมตร

5 mm เป็นการวัดแสงผ่านตัวกลางชนิด หนา 5 มิลลิเมตร

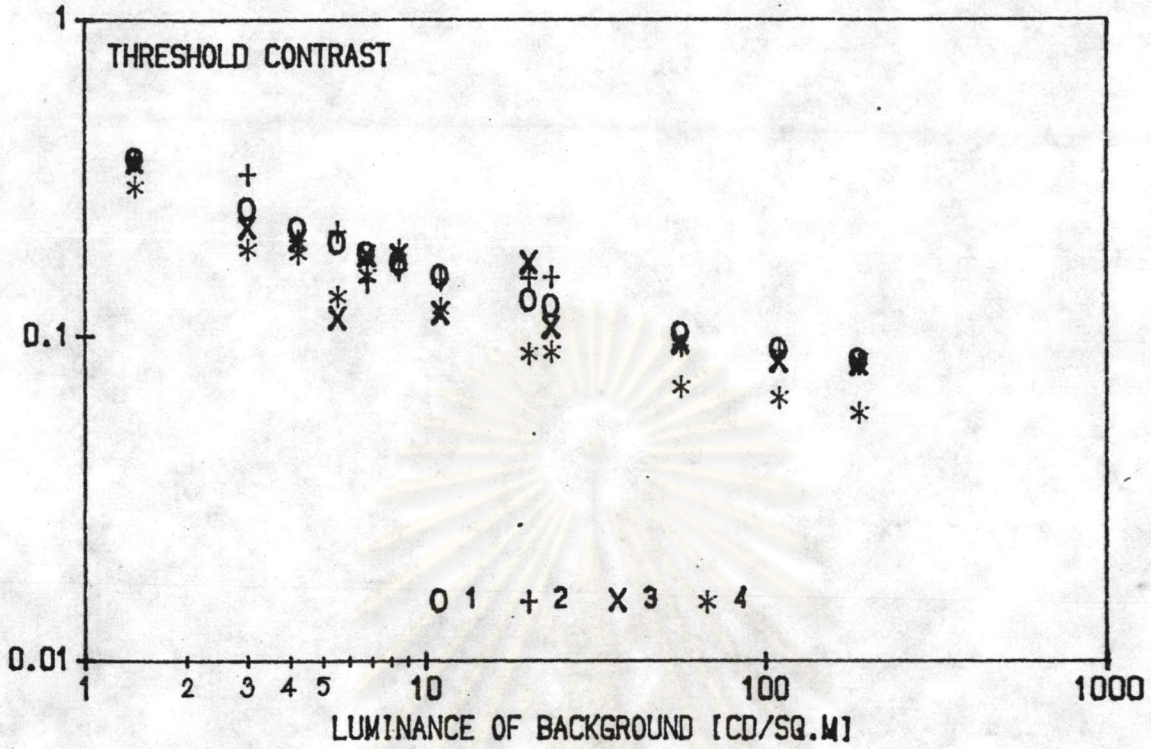
TASK1 คืองานที่ 1 ซึ่งหมายถึงงานที่มีค่าคอนทราสเฉลี่ย ระหว่าง ภาพวัตถุ กับ ฉากหลัง เท่ากับ 0.3638

TASK2 คืองานที่ 2 ซึ่งหมายถึงงานที่มีค่าคอนทราสเฉลี่ย ระหว่าง ภาพวัตถุ กับ ฉากหลัง เท่ากับ 0.6552

รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความส่องสว่างของฉากหลัง กับ คอนทราส

5.2.4 <u>กราฟรูปที่ 5.2</u>

แสดงให้เห็นว่าคอนทราสของงานมีค่าค่อนข้างคงที่ ตลอดช่วงของความส่องสว่างของฉากหลังที่ทำการทดลอง ข้อมูลที่เบี่ยงเบนไปเนื่องมาจากความผิดพลาดของการวัดแสง คอนทราสของงานที่ 1(TASK 1)มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.3638 และคอนทราสของงานที่ 2 (TASK 2)มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.6552 คอนทราสที่มากกว่าทำให้มองเห็นได้ง่ายกว่า เมื่อเงื่อนไขอื่นๆของงานเหมือนกัน




กราฟหมายเลข 1 แสดงค่าคอนทราสต่ำสุดสำหรับการมองเห็น เมื่อคำนวณด้วย Visibility Reference function (สมการที่ 3.1)

กราฟหมายเลข 2 แสดงค่าคอนทราสต่ำสุดสำหรับการมองเห็น เมื่อวัตถุทดสอบคือภาพวงกลมขนาด 4 ลิบดา แสดงต่อผู้สังเกตแบบ pulse-train

กราฟหมายเลข 3 แสดงค่าคอนทราสต่ำสุดสำหรับการมองเห็น เมื่อวัตถุทดสอบคือภาพวงแหวนแลนดอลท์ขนาด 4 ลิบดา แสดงต่อผู้สังเกตแบบ pulse-train

กราฟหมายเลข 4 แสดงค่าคอนทราสต่ำสุดสำหรับการมองเห็น เมื่อวัตถุทดสอบคือภาพวงแหวนแลนดอลท์ขนาด 4 ลิบดา แสดงต่อผู้สังเกตแบบต่อเนื่อง

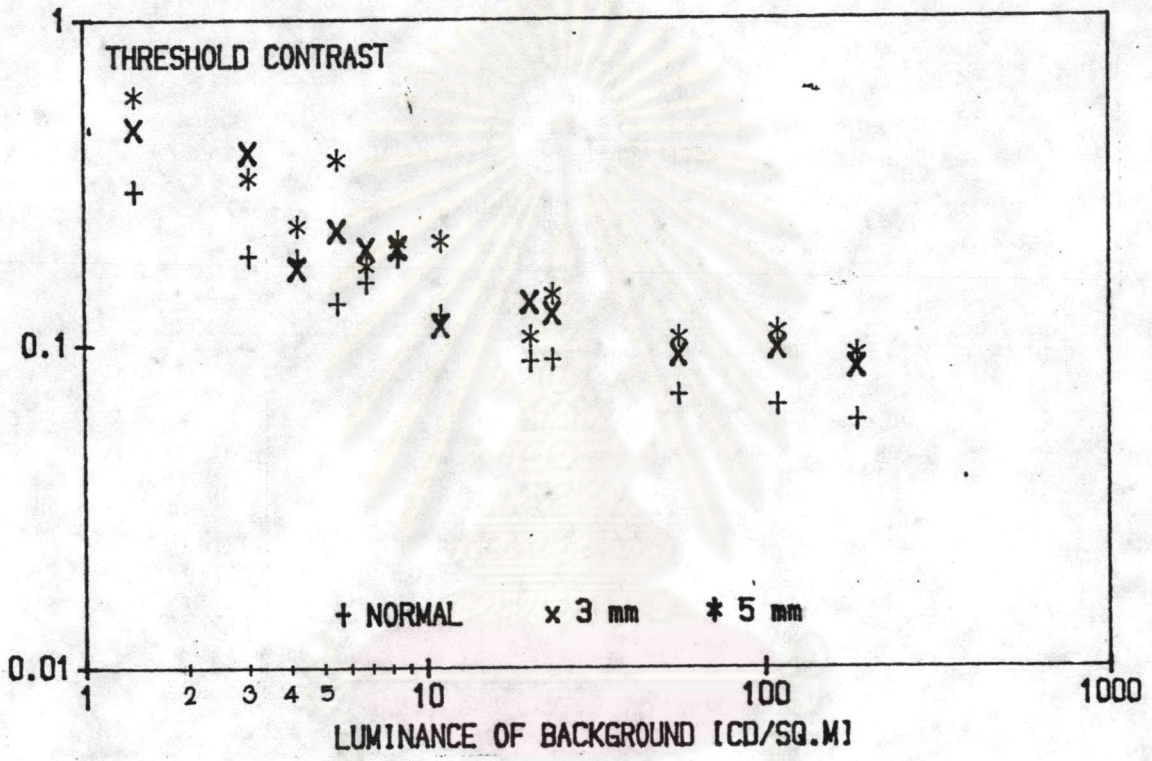
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความส่องสว่างของฉากหลัง กับคอนทราสต่ำสุดสำหรับการมองเห็น

5.2.5 <u>กราฟรูปที่ 5.3</u>

พบว่า กราฟจากการทดลอง(เส้นที่ 2 และ 3) และกราฟจากทฤษฎี(เส้นที่ 1) ที่แสดงความสัมพันธ์ของ คอนทราสต่ำสุดสำหรับการมองเห็น กับความส่องสว่างของฉากหลัง มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การทดลองที่สร้างขึ้น สามารถใช้แสดงถึงอิทธิพลของความส่องสว่างของฉากหลังที่มีต่อความต้องการคอนทราสต่ำสุด สำหรับการมองเห็นได้อย่างถูกต้องพอสม

ควรแต่เนื่องจากระบบแสงสว่างที่ใช้ในการทดลองมิได้ตรงตามเงื่อนไขของระบบแสงสว่าง อ้างอิง และความผิดพลาดจากเครื่องมือวัดแสง และจากผู้สังเกต จึงทำให้กราฟเส้นที่ 2 และ 3 คลาดเคลื่อนไปจากกราฟเส้นที่ 1 ไปบ้าง

ส่วนกราฟเส้นที่ 4 นั้น เนื่องจากภาพวัตถุถูกแสดงต่อผู้สังเกตในแบบต่อเนื่อง จึงมองเห็นได้ง่ายกว่าแบบ pulse-train




NORMAL เป็นการวัดแสงโดยไม่ผ่านตัวกลาง

3 mm เป็นการวัดแสงผ่านตัวกลางชนิด หนา 3 มิลลิเมตร

5 mm เป็นการวัดแสงผ่านตัวกลางชนิด หนา 5 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความส่องสว่างของฉากหลัง กับคอนทราสต์ต่ำสุดสำหรับการมองเห็น

5.2.6 <u>กราฟรูปที่ 5.4</u>

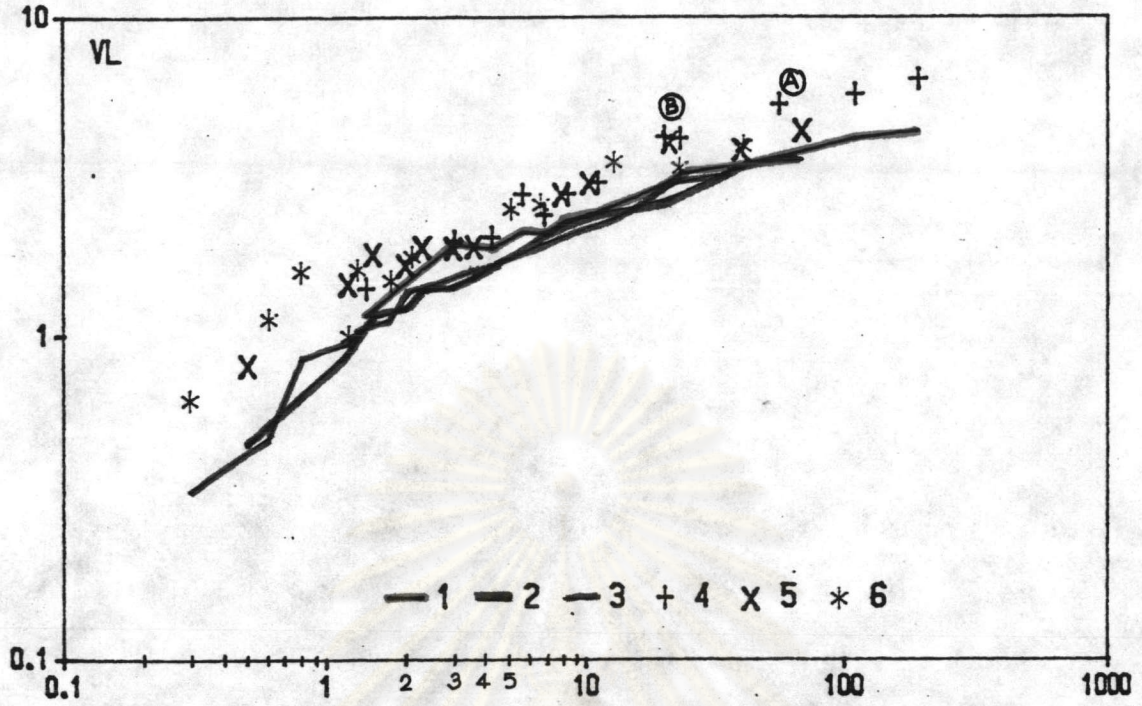
แสดงให้เห็นว่า การมองผ่านตัวกลางทำให้คอนทราสต์ต่ำสุดสำหรับการมองเห็น เพิ่มขึ้นจากการมองโดยไม่ผ่านตัวกลาง ซึ่งหมายความว่า เมื่อเริ่มมองเห็นวัตถุด้วยการมองธรรมดาโดยไม่ผ่านตัวกลาง จากนั้น เมื่อนำตัวกลางมากั้น เพื่อให้ผู้สังเกตมองผ่านตัวกลางทำให้ผู้สังเกต

ไม่สามารถมองเห็นวัตถุทดสอบได้ตามเงื่อนไข ในกรณีของวงแหวนแลนดอลท์ จะทำให้ผู้สังเกตมองเห็นแต่เพียงว่า เป็นวงแหวนที่ต่อกันสนิทเท่านั้น

ความแตกต่างของค่าคอนทราสต์ต่ำสุดสำหรับการมองเห็น ระหว่างการมองโดยไม่ผ่านตัวกลางกับการมองผ่านตัวกลางแสดงในรูปของเปอร์เซนต์ดังตารางที่ 5.2 ค่อนข้างจะคงที่ตลอดช่วงของความส่องสว่างของฉากหลังที่ทำการทดลอง

ตารางที่ 5.2 ความแตกต่างของค่าคอนทราสต์ต่ำสุดสำหรับการมองเห็น ระหว่างการมองโดยไม่ผ่านตัวกลางกับการมองผ่านตัวกลาง

| ความส่องสว่างฉากหลังจริง [cd/m$^2$] | คอนทราสต์ต่ำสุดสำหรับการมองเห็นที่เพิ่มขึ้น | |
|---|---|---|
| | 3 mm | 5 mm |
| 1.4 | 53.27% | 95.92% |
| 2.9 | 104.30% | 73.22% |
| 4.0 | -6.57% | 27.11% |
| 5.3 | 65.35% | 176.18% |
| 6.8 | 25.19% | 12.79% |
| 8.2 | 4.59% | 11.27% |
| 10.0 | -8.39% | 70.01% |
| 20.6 | 50.51% | 19.37% |
| 24.3 | 36.91% | 60.07% |
| 56.0 | 30.89% | 51.01% |
| 108.2 | 48.76% | 70.43% |
| 184.0 | 43.97% | 61.38% |




กราฟเส้นที่ 1 แสดงค่า Visibility Level ของการมองโดยไม่ผ่านตัวกลางที่คำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์

กราฟเส้นที่ 2 แสดงค่า Visibility Level ของการมองผ่านตัว 3 มิลลิเมตร คำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์

กราฟเส้นที่ 3 แสดงค่า Visibility Level ของการมองผ่านตัวกลางหนา 5 มิลลิเมตร คำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์

กราฟเส้นที่ 4 แสดงค่า Visibility Level ของการมองโดยไม่ผ่านตัวกลางที่คำนวณด้วยผลการทดลอง

กราฟเส้นที่ 5 แสดงค่า Visibility Level ของการมองผ่านตัวกลางหนา 3 มิลลิเมตร คำนวณด้วยผลการทดลอง

กราฟเส้นที่ 6 แสดงค่า Visibility Level ของการมองผ่านตัวกลางหนา 5 มิลลิเมตร คำนวณด้วยผลการทดลอง

รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความส่องสว่างของฉากหลัง กับ Visibility Level เมื่อแสดงกราฟในแบบที่ 1

การแสดงกราฟแบบที่ 1 เมื่อเป็นเงื่อนไขการมองผ่านตัวกลาง ให้นำค่าความส่องสว่างของฉากหลังที่วัดผ่านตัวกลางชนิดนั้น มาใช้ในการคำนวณ จึงเสมือนว่าผู้สังเกตทำงานการมองเห็นด้วยค่าความส่องสว่างของฉากหลังของงาน เท่ากับค่าที่วัดได้โดยผ่านตัวกลางนั้น

จุดประสงค์ของการแสดงกราฟแบบที่ 1 ก็เพื่อแสดงให้เห็นว่า การมองผ่านตัวกลางไม่ได้เปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่าง ความส่องสว่างของฉากหลัง ซึ่งอยู่ในแกนนอน (abcissa) กับค่าคุณสมบัติการมองเห็น ซึ่งอยู่ในแกนตั้ง (ordinate) แต่เป็นเพียงการลดค่าของแกนนอนลง ซึ่งทำให้ค่าของแกนตั้งลดลงตามด้วย โดยที่ความสัมพันธ์ของค่าในทั้ง 2 แกน ยังคงเป็นกราฟเส้น เดิมอยู่ (เมื่อมองที่ค่า LB ค่าเดียวกัน เงื่อนไขการมองทั้ง 3 แบบก็ยังคงให้ค่า $\bar{C}$ และ VL เท่า ๆ กัน )

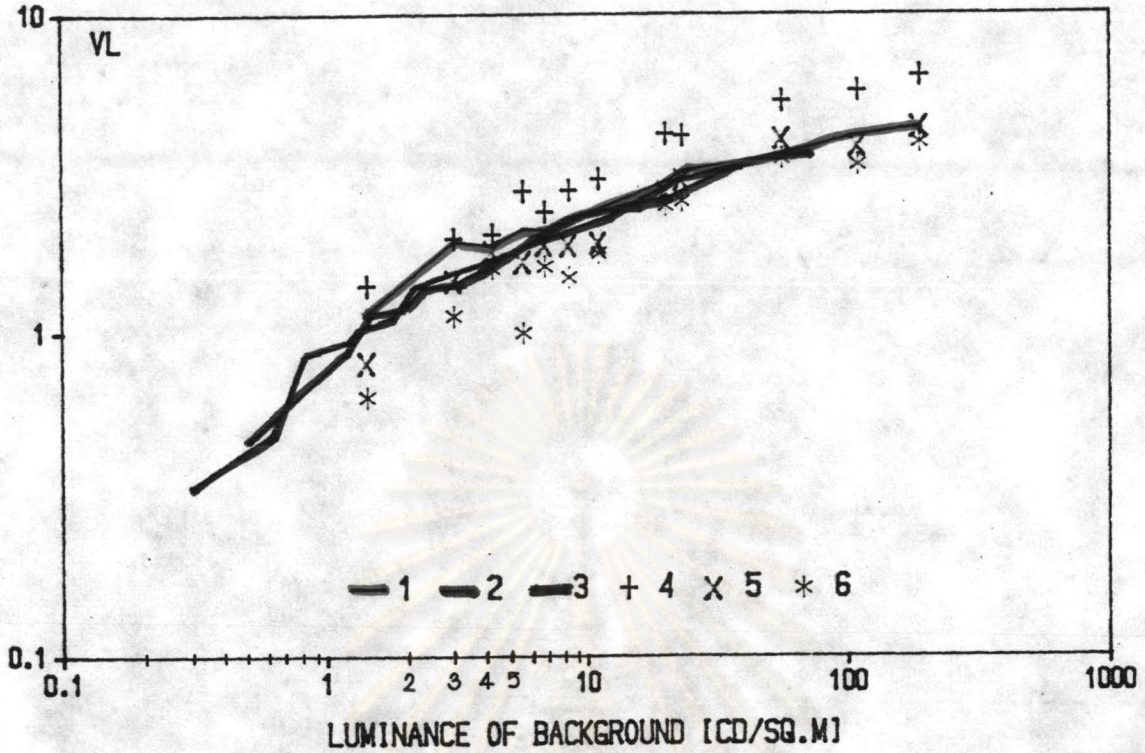
5.2.7 <u>กราฟรูปที่ 5.5</u> (กราฟทุกเส้นใช้การแสดงกราฟแบบที่ 1)

กราฟเส้นที่ 4,5 และ 6 เป็นกราฟเส้นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าการมองผ่านตัวกลางเป็นการลดค่า VL ลงเพียงอย่างเดียว มิได้เปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างของฉากหลังกับVisibility Level แต่อย่างใด โดยดูได้จากการมองผ่านตัวกลางทำให้ค่าความส่องสว่างของฉากหลังลดลงจากจุด A ไปยังจุด B, ค่าความส่องสว่างที่จุด B ของการมองแบบผ่านตัวกลางก็ยังคงให้ค่า Visibility Level เท่ากันกับ การมองโดยไม่ผ่านตัวกลาง

กราฟเส้นที่ 1, 2 และ 3 เป็นกราฟที่ได้มาจากการคำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อใช้เปรียบเทียบกับกราฟที่ได้จากการวัดจริง (4,5,6 ) กราฟ 2 กลุ่มนี้ มีความแตกต่างกัน เนื่องมาจากความแตกต่างของระบบแสงสว่าง และความผิดพลาดจากเครื่องมือทดลอง และจากผู้สังเกต ซึ่งมีผลต่อคอนทราสต์ต่ำสุด สำหรับการมองเห็นดังที่กล่าวมาแล้ว จึงส่งผลมาถึงค่า Visibility Level ด้วย

แต่อย่างไรก็ตาม สังเกตเห็นได้ว่า กราฟของทั้ง 2 กลุ่ม มีรูปร่างเหมือนกัน เพียงแต่มีการเลื่อนไปตามแนวแกนตั้งที่ทำให้คลาดเคลื่อนจากกัน ซึ่งเมื่อสามารถแก้ไขข้อผิดพลาดที่กล่าวข้างต้นได้แล้วกราฟทั้ง 2 กลุ่มน่าจะทับกันได้พอดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




กราฟเส้นที่ 1 แสดงค่า Visibility Level ของการมองโดยไม่ผ่านตัวกลาง คำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์

กราฟเส้นที่ 2 แสดงค่า Visibility Level ของการมองผ่านตัวกลางหนา 3 มม. คำนวนด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์

กราฟเส้นที่ 3 แสดงค่า Visibility Level ของการมองผ่านตัวกลางหนา5มม. คำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์

กราฟเส้นที่ 4 แสดงค่า Visibility Level ของการมองโดยไม่ผ่านตัวกลาง คำนวณด้วยผลการทดลอง

กราฟเส้นที่ 5 แสดงค่า Visibility Level ของการมองโดยผ่านตัวกลางหนา 3 มม. คำนวณด้วยผลการทดลอง

กราฟเส้นที่ 6 แสดงค่า Visibility Level ของการมองโดยผ่านตัวกลางหนา 5 มม. คำนวณ ด้วยผลการทดลอง

รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความส่องสว่างของฉากหลัง กับ Visibility Level เมื่อแสดงกราฟในแบบที่ 2 (ดูความหมายหน้า 58)

การแสดงกราฟแบบที่ 2 การคำนวณค่าคุณสมบัติการมองเห็น ได้แก่ คอนทราสต่ำสุดสำหรับการมองเห็น, Visibility Level ให้ใช้ค่าความส่องสว่างของฉากหลังที่วัดโดยไม่ผ่านตัวกลาง สำหรับทุกเงื่อนไขการมองทั้งมองผ่านตัวกลาง และมองโดยไม่ผ่านตัวกลาง

จุดประสงค์ของการแสดงกราฟแบบที่ 2 ก็เพื่อแสดงให้เห็นว่า การมองผ่านตัวกลางทำให้คุณสมบัติการมองเห็นทั้ง 3 ข้อ มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของตัวกลางที่มองผ่าน คือ คอนทราสต่ำสุดสำหรับการมองเห็นมีค่าเพิ่มขึ้น, Visibility Level และสมรรถนะการมองเห็นมีค่าลดลง

5.2.8 <u>กราฟรูปที่ 5.6</u>

กราฟของค่า Visibility Level ที่คำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ แสดงด้วยกราฟเส้นที่ 1,2,3 ส่วนที่คำนวณด้วยผลการทดลอง นั้น แสดงด้วยกราฟเส้นที่ 4,5 และ 6

กราฟเส้นที่ 4, 5 และ 6 แสดงให้เห็นว่า การมองผ่านตัวกลางทำให้ Visibility Level ลดลง ระยะห่างของกราฟทั้ง 3 เส้น ในแนวแกนตั้ง มีค่าค่อนข้างจะคงที่ตลอดช่วงความส่องสว่างของฉากหลังที่ทำการทดลอง ซึ่งหมายความว่า การมองผ่านตัวกลางโปร่งใส ทำให้ Visibility Level ลดลงจาก การมองโดยไม่ผ่านตัวกลางโปร่งใส ด้วยค่าคงที่ค่าหนึ่งทุกค่าของความส่องสว่างของฉากหลัง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง งานหมายเลข 1 ซึ่งมีคอนทราสน้อยกว่า งานหมายเลข 2 พบว่างานชนิดเดียวกัน (ขนาด และความส่องสว่างของฉากหลังเท่า ๆ กัน) งานที่มีคอนทราสสูงกว่า จะให้ค่า Visibility Level สูงกว่า ซึ่งหมายความว่า ผู้สังเกตสามารถมองเห็นได้ชัดเจนกว่าด้วย

การวิเคราะห์กราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างของฉากหลัง กับ Visibility Level จากสมการแบบจำลองคณิตศาสตร์ชุดที่ 1 (สมการที่ 3.3) พบว่า ค่า Visibility Level เป็นฟังก์ชั่นของ Relative Contrast Sensitivity : RCS (ค่าความไวต่อคอนทราสสัมพันธ์ของระบบการมองเห็นของมนุษย์) โดยตรง โดยมี Difficulty : $\tilde{C}$ เป็นพารามิเตอร์ จึงสรุปได้ว่าปริมาณความส่องสว่างของฉากหลัง มีผลกระทบต่อ Visibility Level โดยผ่านทางผลซึ่งความส่องสว่างของฉากหลังมีต่อ RCS เท่านั้น และผลกระทบนี้ก็ไม่ใช่ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ซึ่งหมายความว่าการเพิ่มปริมาณความส่องสว่างของฉากหลังไม่ได้เพิ่มค่า Visibility Level อย่างเป็นสัดส่วนต่อกัน กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างของฉากหลังกับ Visibility Level เมื่อมี $\tilde{C}$ เป็นพารามิเตอร์ แสดงในรูปที่ 3.3

กรณีการแสดงกราฟผลการทดลองแบบที่ 2 นั้น (รูปที่ 5.6) มีลักษณะเหมือนกราฟในรูปที่ 3.3 การมองผ่านตัวกลาง จึงเสมือนว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงค่า Difficulty ของงาน, การมองผ่านตัวกลางทำเส้นกราฟเลื่อนต่ำลงมาตามแกนตั้ง ซึ่งเป็นผลทำให้ Visibility

Level มีค่าลดลงด้วยอัตราส่วนเท่ากัน การเลื่อนของเส้นกราฟตามแนวแกนตั้งเป็นการเลื่อนไปทั้งเส้น โดยยังคงรูปร่างและความชันของเส้นกราฟเหมือนกับการมองโดยไม่ผ่านตัวกลาง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การมองผ่านตัวกลางไม่ได้เปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของงานเลย เมื่อเปรียบเทียบกับ งานที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของรายละเอียดของงานดังรูปที่ 3.3

เมื่อเราสมมุติ ค่าคงที่ที่แทนการเลื่อนของเส้นกราฟ โดยให้ค่าคงที่อันนี้ทำงานในลักษณะเดียวกับ Difficulty แล้ว ทำให้สามารถประมาณค่าคงที่นั้นด้วยการสมมุติว่าเส้นกราฟ Visibility Level ที่ทับกับเส้นกราฟ RCS คือเส้นกราฟที่มีค่าคงที่ เท่ากับ 1 จากนั้น สมมุติค่าคงที่ขึ้นเพื่อใช้คูณกับเส้นกราฟ RCS เพื่อให้กราฟ RCS เลื่อนไปจนทับกับเส้นกราฟ Visibility Level ของการมองเห็นผ่านตัวกลาง

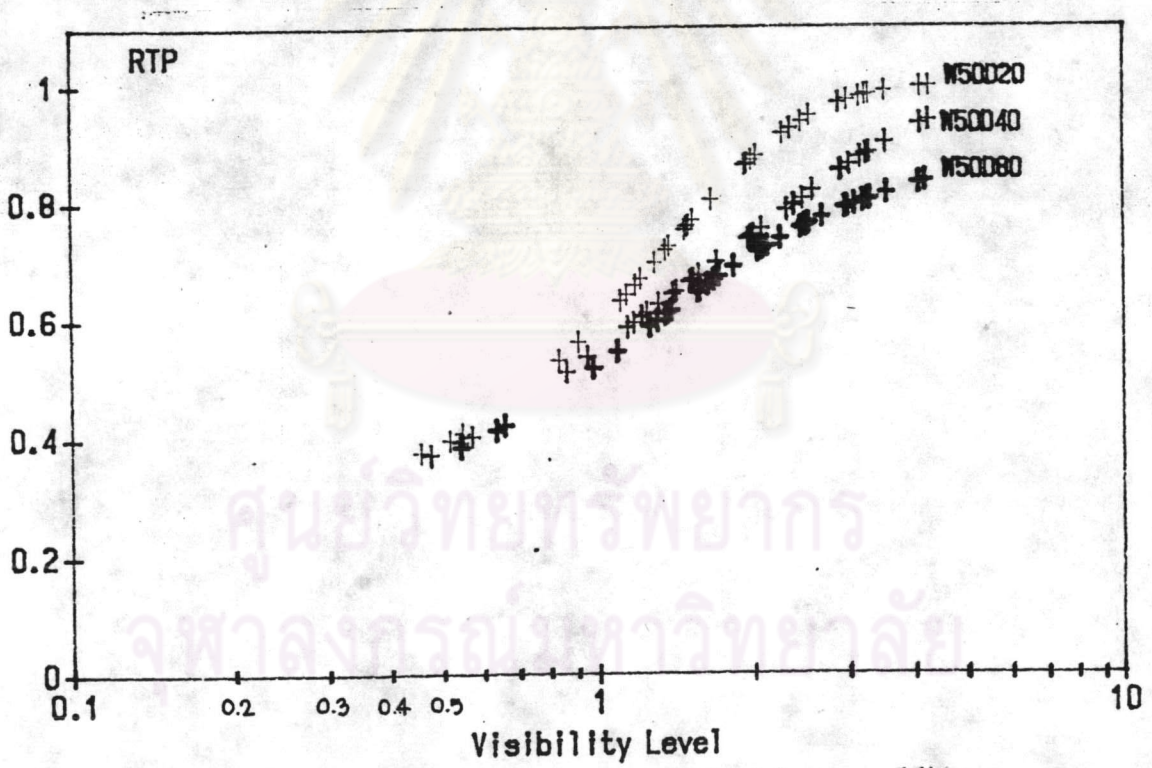
การมองผ่านตัวกลางทำให้ Visibility Level ลดลง ซึ่งแสดงค่าที่ลดลงเป็นเปอร์เซนต์เมื่อเทียบกับค่า Visibility Levelจริงที่คำนวณได้เมื่อไม่ผ่านตัวกลาง

ตารางที่ 5.3 แสดงค่า Visibility Level ที่ลดลงเนื่องจากการมองผ่านตัวกลาง

| ความส่องสว่างฉากหลังจริง [cd/m$^2$] | Visibility Level ที่ลดลง [ % ] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | คำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ | | | คำนวณด้วยผลการทดลอง | | |
| | normal | 3 mm | 5 mm | normal | 3 mm | 5 mm |
| 1.4 | 1.145 | 59.65 | 71.09 | 1.394 | 41.82 | 54.52 |
| 3.0 | 1.910 | 53.66 | 74.55 | 1.958 | 25.89 | 42.29 |
| 4.2 | 1.856 | 38.42 | 54.53 | 2.018 | 10.60 | 21.31 |
| 5.5 | 2.087 | 41.88 | 54.82 | 2.751 | 39.51 | 63.79 |
| 6.7 | 2.073 | 33.29 | 50.17 | 2.368 | 20.14 | 32.01 |
| 8.3 | 2.276 | 37.35 | 50.53 | 2.768 | 32.04 | 46.32 |
| 10.95 | 2.414 | 37.37 | 42.87 | 3.004 | 36.62 | 41.18 |
| 20.0 | 2.943 | 24.50 | 40.57 | 4.172 | 33.53 | 40.17 |
| 23.3 | 3.175 | 25.04 | 39.28 | 4.120 | 26.92 | 37.48 |

ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

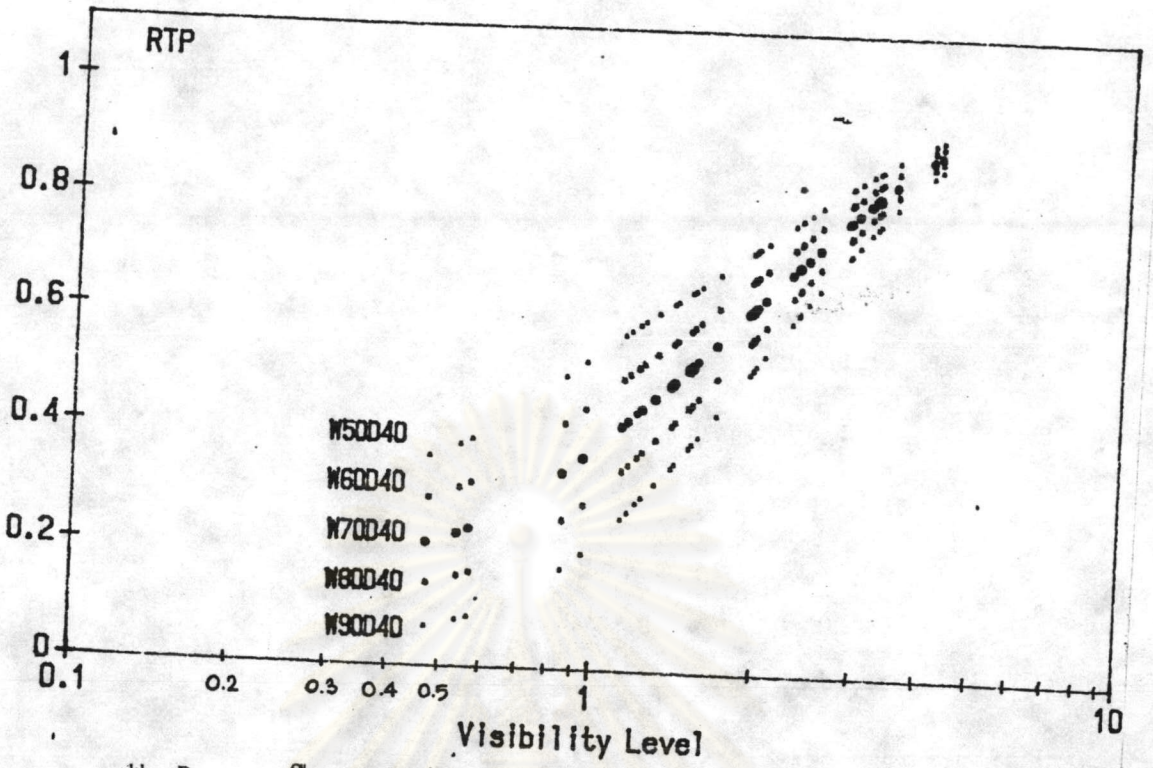
| ความส่องสว่างฉากหลังจริง [cd/m$^2$] | Visibility Level ที่ลดลง [ % ] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | คำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ | | | คำนวณด้วยผลการทดลอง | | |
| | normal | 3 mm | 5 mm | normal | 3 mm | 5 mm |
| 56.0 | 3.591 | 25.48 | 35.39 | 5.291 | 23.53 | 33.72 |
| 108.2 | 4.122 | 17.73 | 26.90 | 5.703 | 32.77 | 41.31 |
| 184.1 | 4.374 | 17.76 | 23.62 | 6.356 | 30.62 | 38.07 |




W__D__ คือการระบุค่า พารามิเตอร์ $W_{123}$ และ D ซึ่ง $W_{123}$ มีค่าเท่ากับ W/100 ,สัญลักษณ์ W70D30 จึงแทน ค่า $W_{123}$ = 0.7 และ D = 30

รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Visibility Level :VL กับ Relative Task Performance :RTP

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




W__D__ คือการระบุค่า พารามิเตอร์ $W_{123}$ และ D ซึ่ง $W_{123}$ มีค่าเท่ากับ W/100 ,สัญลักษณ์ W70D30 จึงแทน ค่า $W_{123}$ = 0.7 และ D = 30

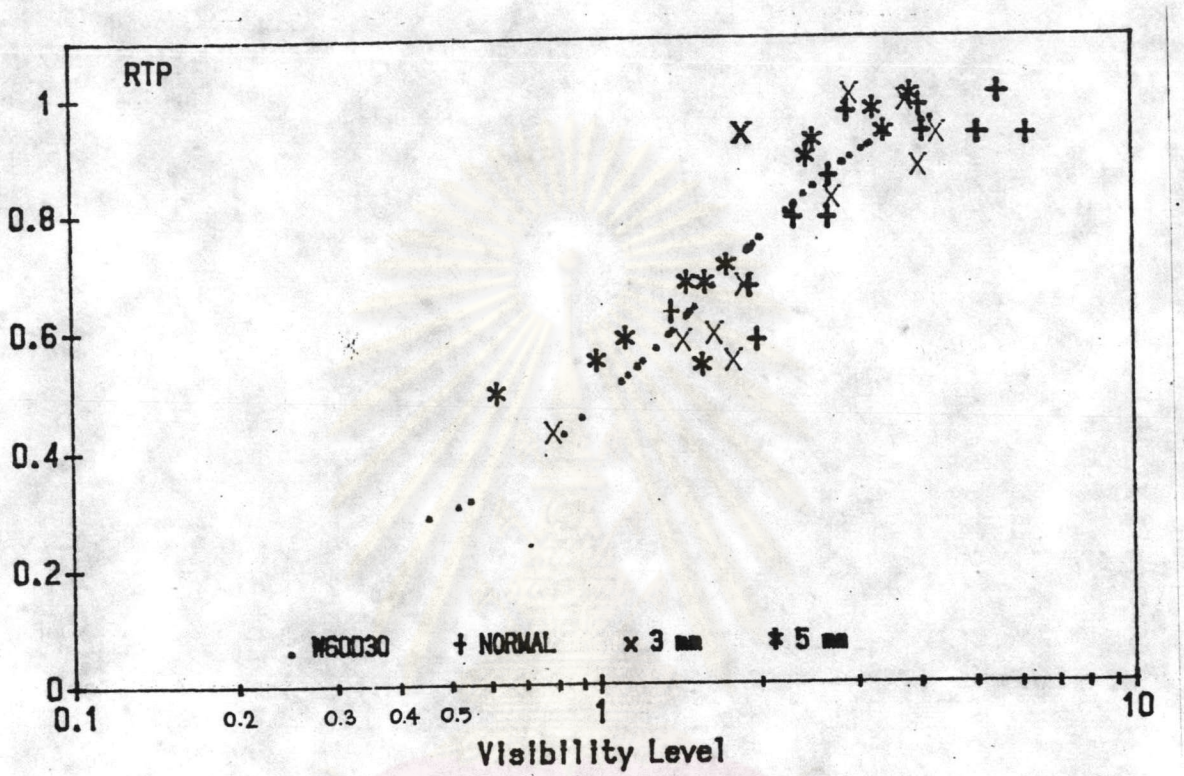
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Visibility Level :VL กับ Relative Task Performance :RTP

5.2.9 <u>กราฟรูปที่ 5.7 และ 5.8</u>

แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์ $W_{123}$ และ D ที่มีต่อความสัมพันธ์ของค่าสมรรถนะการมองเห็น(RTP) กับ Visibility Level(VL) เมื่อข้อมูลที่ใช้สร้างกราฟคำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์

ค่า D แสดงถึงความต้องการ Visibility เพื่อให้สามารถทำงานการมองด้วยสมรรถนะที่ต้องการ หรือ อาจจะหมายถึงความยากของการทำงานก็ได้ ค่า D ยิ่งมากความยากของการทำงานก็ยิ่งมากด้วย กราฟในรูปที่ 5.7 แสดงให้เห็นว่าการทำงานให้ได้สมรรถนะการมองเห็นเท่ากันนั้น งานที่ยากกว่าก็ต้องการ Visibility Level ที่มากกว่า ค่า $W_{123}$ มีค่ามากแสดงถึง การที่กระบวนการการมองเห็นที่สำคัญ(Critical Visual Process)ซึ่งหมายถึงกระบวนการที่ 1,2 และ 3 มีส่วนประกอบเป็นอย่างมากในการทำงานการมองเห็น เมื่อ เปรียบเทียบกับกระบวน การการมองเห็นที่ไม่สำคัญ(Noncritical Visual Process)ซึ่งหมายถึงกระบวนการที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งหมายความว่าแสงมีอิทธิพลต่อ

สมรรถนะการมองเห็นมาก โดยผ่านมาทางกระบวนการการมองเห็นที่สำคัญ ดังนั้นค่า $W_{123}$ มาก จึงทำให้กราฟมีความชันมากดังแสดงกราฟในรูปที่ 5.8




NORMAL เป็นการวัดแสงโดยไม่ผ่านตัวกลาง

3 mm เป็นการวัดแสงผ่านตัวกลางชนิด หนา 3 มิลลิเมตร

5 mm เป็นการวัดแสงผ่านตัวกลางชนิด หนา 5 มิลลิเมตร

W60D30 คือการระบุค่า พารามิเตอร์ $W_{123}$ มีค่าเท่ากับ 0.60 และ D = 30

รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Visibility Level :VL กับ Relative Task Performance :RTP

5.2.10 <u>กราฟรูปที่ 5.9</u>

แสดงผลเมื่อมองผ่านตัวกลางกับการมองโดยไม่ผ่านตัวกลาง สมรรถนะการมองเห็นทั้ง 3 เงื่อนไขการมองไม่ได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าได้แยกออกตามเงื่อนไขการมองแต่ละแบบ ซึ่งหมายความว่า พารามิเตอร์ $W_{123}$ และ D ของการมองผ่านตัวกลางยังคงมีค่าเท่ากับ

การมองโดยไม่ผ่านตัวกลาง ทั้งนี้ก็เพราะว่าการมองผ่านตัวกลางไม่ได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความยากของเงื่อนไขการมอง(Difficulty of Task Condition)ซึ่งประกอบด้วย

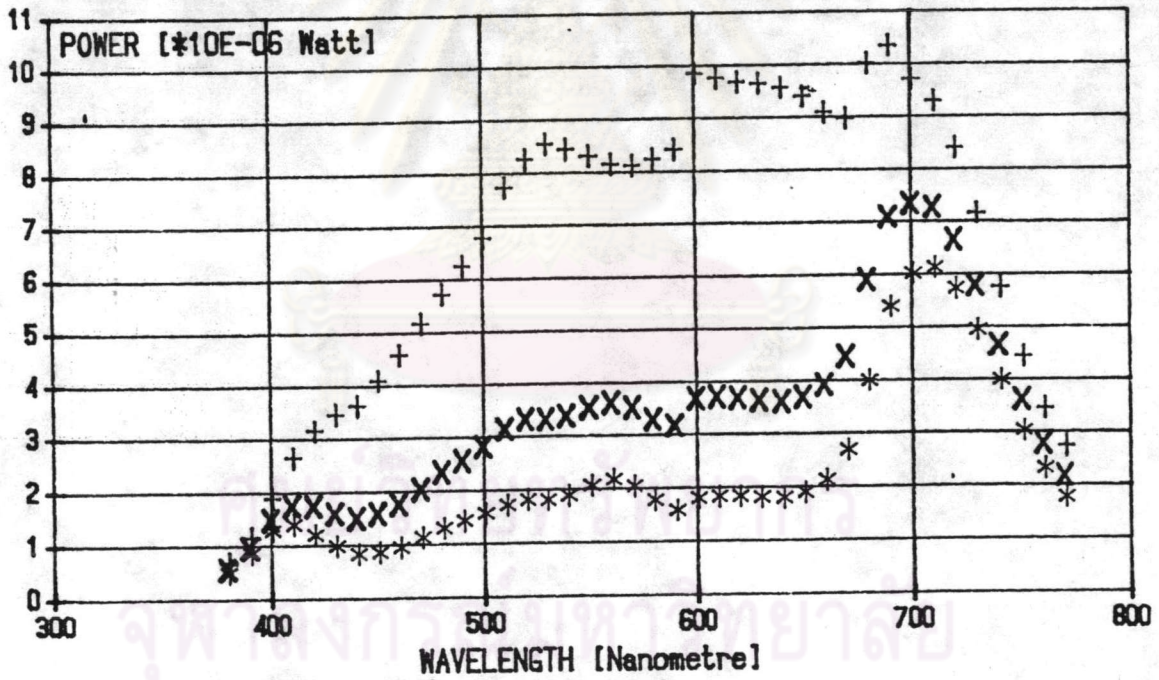
5.2.10.1 เวลาที่มองวัตถุเพื่อทำงานการมองเห็น

5.2.10.2 ระยะห่างระหว่างวัตถุ(รายละเอียดของงาน)

5.2.10.3 เงื่อนไขความต้องการข้อมูล

แต่การมองผ่านตัวกลางทำให้สมรรถนะการมองเห็นลดลง เพราะ Visibility Level มีค่าลดลงดังที่กล่าวข้างต้น

เส้นกราฟ W60D30 คือกราฟสมรรถนะการมองเห็นที่คำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อประมาณว่างานที่ใช้ทดสอบสมรรถนะการมองเห็นมีค่าพารามิเตอร์ $W_{123}$ และ D เท่ากับ 0.60 และ 30 ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลของCIEพบว่า โดยการทดลองด้วยงานการมองเห็นและวิธีการทำงานการมองเห็นที่คล้ายคลึงกันกับที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ มีค่าพารามิเตอร์ $W_{123}$ และ D เท่ากับ 0.6 และ 30 ตามลำดับ



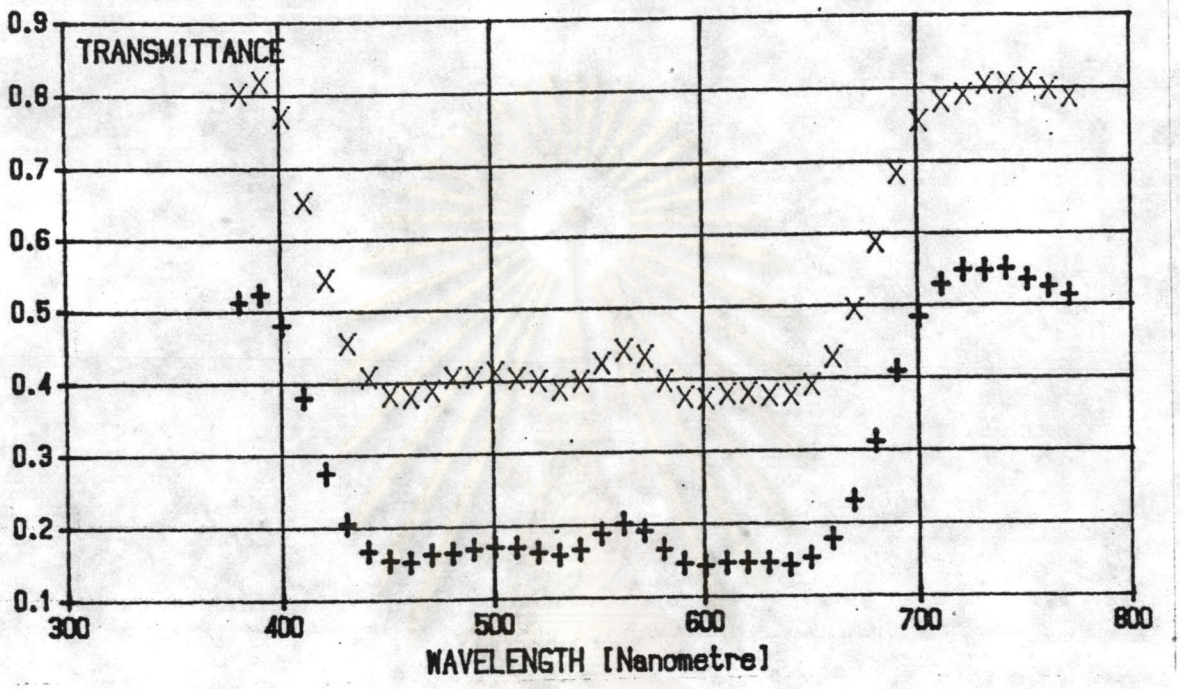

\+ ไม่ผ่านตัวกลาง x ผ่านตัวกลางหนา 3 มิลลิเมตร

* ผ่านตัวกลางหนา 5 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความยาวคลื่น กับ การกระจายพลังงานแสง (Spectral Power Distribution)

5.2.11 กราฟรูปที่ 5.10

รูปที่ 5.10 แสดงการกระจายพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการทดลอง จากกราฟพบว่าพลังงานถูกทำให้ลดลงเมื่อเมื่อผ่านตัวกลาง แต่รูปร่างของกราฟการกระจายพลังงานเมื่อผ่านตัวกลางยังคงคล้ายกับกราฟการกระจายพลังงานปกติ




x ตัวกลางหนา 3 มิลลิเมตร * ตัวกลางหนา 5 มิลลิเมตร

รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความยาวคลื่นกับ กับ
ค่าการผ่านทะลุแสง(Transmittance) ของตัวกลางแต่ละชนิด

5.2.12 กราฟรูปที่ 5.11

รูปที่ 5.11 แสดงค่าการผ่านทะลุของตัวกลางในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ พบว่าช่วงความยาวคลื่น 380-420 นาโนเมตร(แสงสีม่วง) และ 690-770 นาโนเมตร(แสงสีแดง) ผ่านทะลุตัวกลางได้มากกว่าแสงสีอื่นๆ แต่เนื่องจากการทดลองในวิทยานิพนธ์ ถูกจำกัดให้มีเพียงคอนทราสของความส่องสว่างเท่านั้น คอนทราสของสีจึงไม่ได้ถูกคำนึงถึง ซึ่งกรณีเช่นนี้การมองผ่านตัวกลางทำให้สีม่วงและสีแดงมีความส่องสว่างลดลงน้อยกว่าแสงสีอื่นๆ