บทที่ 3

แบบจำลองคณิตศาสตร์

3.1 บทนำ

เพื่อศึกษาสมรรถนะการมองเห็นของการมองผ่านตัวกลาง เราจำเป็นต้องมีเครื่องมือเพื่อช่วยหาค่า (ทำนาย) สมรรถนะการมองเห็นในการทำงานการมองเห็นที่มีเงื่อนไขแตกต่างกันไปซึ่งได้แก่ เงื่อนไขความยากของงาน , ความส่องสว่าง และ ผู้สังเกตที่มีอายุแตกต่างกัน เครื่องมือดังกล่าวคือ แบบจำลองคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ซึ่งเรียกสั้น ๆ ว่า" model" จุดสำคัญหลัก ๆ ของ แบบจำลองคณิตศาสตร์ ก็เพื่อใช้อธิบายอิทธิพลของพารามิเตอร์ทางแสงต่าง ๆ ที่มีต่อสมรรถนะการมองเห็น

แบบจำลองคณิตศาสตร์ ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้เป็น แบบจำลองคณิตศาสตร์ ที่สร้างและปรับปรุงพัฒนาโดย International Commission on Illumination ; CIE ซึ่งสร้างขึ้นมาจากข้อมูลของการทดลองที่ใช้หาความสัมพันธ์ของสมรรถนะการมองเห็น กับพารามิเตอร์ทางแสง ในเงื่อนไข และ สภาพแสงแบบต่าง ๆ ซึ่งข้อมูลดังกล่าว หามาได้ด้วยวิธีการหลัก ๆ 2 วิธีคือ

1. เป็นการศึกษาสมรรถนะการมองเห็น โดยมีสมมุติฐานว่า การมองเห็นประกอบด้วยกระบวนการย่อยหลายกระบวนการ แล้วทำการศึกษาแยกถึงลักษณะการทำงาน และคุณสมบัติประจำตัวของแต่ละกระบวนการ หรือศึกษาร่วมกันโดยมีการรวมกันของแต่ละกระบวนการอย่างง่ายๆ ไม่ซับซ้อน

2. เป็นการวัดความรวดเร็วและความถูกต้องของสมรรถนะการมองเห็น โดยใช้การทดลองที่สร้างขึ้นมาเพื่อจำลองการมองเห็นจริง หรือทดลองด้วยสถานะการณ์การมองเห็นจริง

เมื่อวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติประจำตัวของแต่ละกระบวนการการมองเห็นย่อย เพื่อนำมาใส่ลงใน แบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สามารถอธิบายถึงสมรรถนะการมองเห็นภายใต้เงื่อนไขการทำงานแบบต่างๆ

แบบจำลองคณิตศาสตร์ได้รับการปรับปรุง และพัฒนาด้วยการตั้งสมมุติฐานและวิเคราะห์ว่ากระบวนการมองเห็นประกอบขึ้นจากกระบวนการย่อย ๆ อะไรบ้าง แล้วจึงทำการสร้างการทดลองเพื่อพิสูจน์สมมุติฐานดังกล่าว ดังนั้นในปัจจุบันแม้แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้นี้จะได้รับการพัฒนาให้ใช้ทำนายสมรรถนะการมองเห็นได้อย่างถูกต้องแม่นยำแล้วก็ตาม แต่ก็ยังสามารถพัฒนาเพื่อให้สามารถนำไปใช้กับสถานะการณ์และเงื่อนไขการมองเห็นอื่น ซึ่งขณะนี้ยังครอบคลุมไปไม่ถึงได้

อีก และการศึกษาสมรรถนะการมองเห็นผ่านตัวกลางโปรงใสจึงเป็นการนำเอาหลักการสร้างและปรับปรุงแบบจำลองคณิตศาสตร์มาใช้ ด้วยการตั้งสมมุติฐานว่า การมองผ่านตัวกลางโปร่งใสทำให้ Visibility Levelลดลง ซึ่งทำให้สมรรถนะการมองเห็นลดตามไปด้วย แล้วจึงสร้างการทดลองเพื่อศึกษาผลของ Visibility Level และสมรรถนะการมองเห็นที่เปลี่ยนแปลงไปจากการมองผ่านตัวกลางโปร่งใส นอกจากนี้ ยังจะหา แฟคเตอร์ ที่สามารถ อธิบายถึงผลแตกต่างของการมองผ่านตัวกลางนี้กับการมองธรรมดาที่ไม่ผ่านตัวกลางด้วย

3.2 <u>กลไกการทำงานของ แบบจำลองคณิตศาสตร์</u>

แบบจำลองคณิตศาสตร์ ประกอบขึ้นด้วย ชุดของสมการคณิตศาสตร์ ที่ใช้งานแบบอนุกรมกันจำนวน 2 ชุดซึ่งใช้หาค่าอิทธิพลของพารามิเตอร์ทางแสงที่มีต่อสมรรถนะการมองเห็น <u>สมการชุดแรก</u> แสดงถึงผลของความส่องสว่าง(Luminance)หรือความสว่าง(Illuminance)ของงานที่มีต่อVisibility ของงานการมองเห็นที่ถูกแสดงต่อผู้สังเกตซึ่งแสดงด้วยค่า Visibility Level รายละเอียดทางข่าวสารของงานฯซึ่งจะเป็นการสะดวกขึ้นถ้ากำหนดให้ความสัมพันธ์ระหว่าง ความส่องสว่าง หรือความสว่างของงานกับ ค่า Visibility Level อยู่ในเงื่อนไขของแสงแบบ Idealized Photometric Sphere, คือแสงที่ส่องมายังงานเป็นแสงที่มีความเข้มของแสงเท่ากันทุกทิศทาง(Perfectly Diffuse) และเป็นแสงที่ไม่ถูกโพลาไรซ์ (Unpolarized), และบริเวณที่สังเกตรอบ ๆ งาน มีความส่องสว่างเท่ากันกับฉากหลังของงานด้วย ซึ่งเงื่อนไขแสงดังกล่าวทั้งหมดถูกใช้เป็นเงื่อนไขแสง อ้างอิง(Reference Lighting Condition)สำหรับการทดสอบการมองเห็นทั่วๆไป การใช้เงื่อนไขแสง อ้างอิงมิได้มีความหมายว่า เป็นเงื่อนไขแสงที่ทำให้ระบบการมองเห็นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุด แต่เพื่อความสะดวกแก่การอ้างถึงคำว่า 'อ้างอิง' เสียมากกว่า เหตุผลใหญ่ของการเลือกเงื่อนไข 'การให้ความสว่างแบบที่มีการกระจายความเข้มแสงเท่ากันทุกทิศทาง'(perfectly diffuse illumination) ให้เป็นเงื่อนไขอ้างอิงก็เพื่อความเป็นไปได้ที่ผู้ทดลองเรื่องการมองเห็นคนอื่นๆ จะสามารถสร้างเงื่อนไขแสงแบบนี้ขึ้นมาเพื่อใช้เป็นมาตรฐานของการเปรียบเทียบกับเงื่อนไขแสงแบบอื่นๆในการใช้งานแบบจำลองคณิตศาสตร์ในแบบประยุกต์ ภายใต้เงื่อนไขแบบนี้ทำให้ค่า Visibility Level ยังคงเพิ่มขึ้นได้ เมื่อค่าความส่องสว่างเพิ่มขึ้นไปถึงอย่างน้อย 10,000 cd/m^2 อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ของความส่องสว่างหรือความสว่างกับ Visibility Level มิได้เป็นแบบเส้นตรงเมื่อพลอตในแบบ ลอกการิธึม ทั้งสองแกน ซึ่งเมื่อความส่องสว่างหรือความสว่างเพิ่มขึ้นอัตราส่วนการเพิ่มของ Visibility Level จะมีค่าลดลง

<u>สมการชุดที่สอง</u> ใน แบบจำลองคณิตศาสตร์ เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่สร้างความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการมองเห็น กับค่า Visibility Level ซึ่งความสัมพันธ์แสดงรูปร่าง

เป็นเส้นโค้งรูปตัว S เมื่อพลอตค่า "สมรรถนะการมองเห็น" ในแกนตั้ง(ordinate) กับค่าลอกการิธึมของ "Visibility Level" ในแกนนอน(abcissa) และเมื่อพลอตในแบบลอกการิธึมทั้งสองแกนจะแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ ที่ไม่เป็นเส้นตรงแบบถดถอย (compressive nonlinearity) ซึ่งเมื่อค่า Visibility Levelเพิ่มขึ้น อัตราส่วนการเพิ่มของสมรรถนะการมองเห็น จะมีค่าลดลง

แบบจำลองคณิตศาสตร์ อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ความส่องสว่าง หรือความสว่างของงานกับประสิทธิภาพของ สมรรถนะการมองเห็น ในเทอมของ Transfer Function ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ทำงานต่อเนื่องกันในแบบอนุกรม ซึ่ง ส่วนที่ 1 ความส่องสว่าง หรือความสว่างของงาน มีอิทธิพลต่อ Visibility Level และส่วนที่ 2 Visibility Level มีอิทธิพลต่อสมรรถนะการมองเห็น

มีพารามิเตอร์ 3 ตัวที่มีอิทธิพลต่อความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างหรือความสว่างกับสมรรถนะการมองเห็น ซึ่งได้แก่

1. ความยากของงาน (Difficulty) เมื่อมองแบบ สแตติค (Static)
2. ความยากของงานที่ต้องปฏิบัติ (Task Demand Level) คือ ความยากของเงื่อนไขการมองแบบไดนามิค (ความยากของการทำงาน)
3. อายุของผู้สังเกต

แบบจำลองคณิตศาสตร์ส่วนที่หนึ่ง แสดงถึงผลของความส่องสว่างที่มีต่อ Visibility Level ซึ่ง Visibility Level VL มีวิธีการหาค่า 2 วิธีคือ

1. $VL = C/\bar{C}$

2. $VL = \tilde{C}_{REF}/\bar{C}_{REF}$

วิธีที่ 1 เป็นวิธีโดยตรง(Direct method) ซึ่งเมื่อเราทราบค่าคอนทราสต่ำสุดสำหรับการมองเห็น(Threshold Contrast:$\bar{C}$) ของรายละเอียดของงานใดๆที่จุดนั้น เมื่อทราบค่าคอนทราส(Contrast:C)ของรายละเอียดของงานทำให้เราทราบค่า Visibility Level ขณะนั้นได้

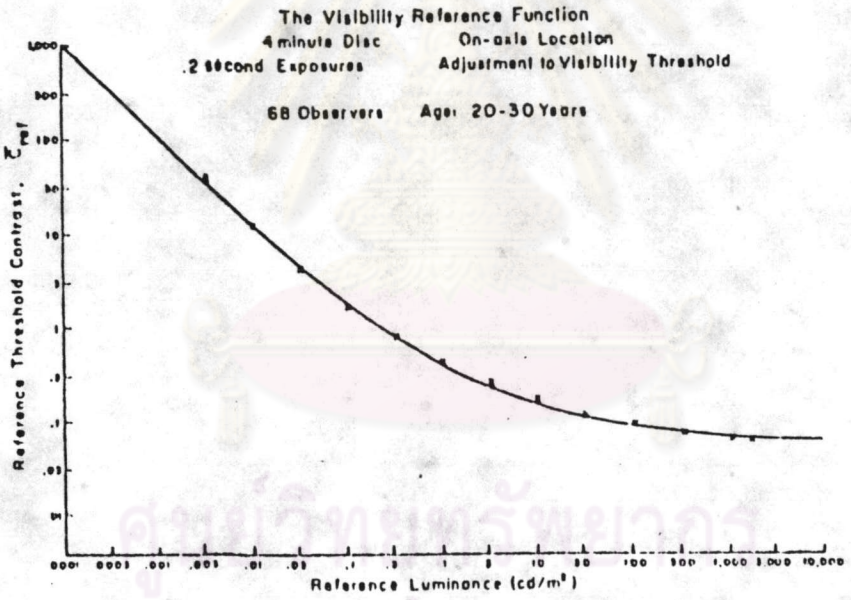
วิธีที่ 2 เป็นวิธีอ้อม(Indirect method) เมื่อ $\bar{C}_{ref}$ คือ Reference Threshold Contrast และ $\tilde{C}_{ref}$ คือ Reference Equivalent Contrast ซึ่งจากการทดลองและวิเคราะห์โดย Bodmann เมื่อทำการทดลองโดยใช้ งาน(Task)ที่ประกอบด้วย วงกลมขนาด 4 ลิบดา ซึ่งมีความส่องสว่างมากกว่าฉากหลัง ทำการทดลองภายใต้แสงอ้าง

อิง ซึ่งก็คืองานอ้างอิง(Visibility Reference Task) พบว่า

$$\bar{C}_{ref} = .05936[(1.639/L_{ref})^{.4}+1]^{2.5} \quad \text{----------(3.1)}$$

เมื่อ L_{ref} คือ ค่าความส่องสว่างของฉากหลังในเงื่อนไขแสงแบบอ้างอิง

สมการที่ 3.1 นี้เรียกว่า Visibility Reference Function ซึ่งให้ค่า Reference Threshold Contrast ; $\bar{C}_{ref}$ ซึ่งหมายถึงปริมาณคอนทราสที่ต่ำที่สุดที่ทำให้เกิดการมองเห็น ฟังก์ชั่นนี้ใช้ได้เฉพาะกับ งานที่เป็นวงกลมขนาด 4 ลิบดา ภายใต้เงื่อนไขแสงอ้างอิงเท่านั้น ค่า $\bar{C}_{ref}$ ในฟังก์ชั่นของความส่องสว่างของฉากหลังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ค่า $\bar{C}_{ref}$ ในฟังก์ชั่นของ ความส่องสว่างของฉากหลัง

Reference Equivalent Contrast ; $\tilde{C}_{ref}$ เป็นค่าที่แสดงถึงความยากของงาน ที่แสดงต่อผู้สังเกต ค่า $\tilde{C}_{ref}$ นี้ วัดได้ด้วยการเปรียบเทียบความรู้สึกโดยตรง ระหว่างงานที่ต้องการวัดค่า $\tilde{C}_{ref}$ กับ งานที่ประกอบด้วยวงกลม 4 ลิบดา ค่าคอนทราสของวงกลมขนาด 4 ลิบดาที่วัดได้จริง เมื่องานทั้งสองมี difficulty เท่ากันที่ค่าความส่องสว่างของฉาก

หลังค่าเดียวกัน คือค่า $\tilde{C}_{ref}$ การที่งานทั้งสองมีdifficultyเท่ากัน หมายความว่า ที่จุดนั้นผลต่างของคอนทราสจริงที่จุดนั้นกับ คอนทราสที่จุดThreshold ของงานทั้งสองมีค่าเท่ากัน การเปรียบเทียบงานทั้งสองใช้การแสดงภาพวัตถุทดสอบต่อผู้สังเกต เป็นแบบ pulse-train โดยมีเวลาที่แสดงภาพวัตถุต่อผู้สังเกตเป็นเวลาเท่ากับ ø.2 วินาที จากนั้นเว้นช่วงไม่แสดงภาพไป 1 วินาที แล้วจึงแสดงภาพอีก ø.2 วินาทีสลับกันเช่นนี้เรื่อยไป ซึ่งวิธีทดลองเพื่อวัดค่า $\tilde{C}_{ref}$ จะกล่าวถึงอย่างละเอียดอีกครั้งในส่วนของการทดลอง

เนื่องจาก Visibility Reference Function จำกัดให้ใช้ได้เฉพาะกับ งานที่เป็นวงกลมขนาด 4 ลิบดา จึงจำเป็นต้องหาฟังก์ชั่นอื่นที่สามารถดัดแปลงให้ใช้ได้กับงานแบบอื่นได้ ฟังก์ชั่นที่ว่าคือ RCS Reference Function ซึ่งใช้หาค่า Reference Relative Contrast Sensitivity RCS_{ref}

RCS_{ref} คือ ค่าความไวต่อคอนทราสแบบสัมพัทธ์ของระบบการมองเห็นของมนุษย์ ซึ่งค่าความไวต่อคอนทราสเป็นส่วนกลับของ ค่าคอนทราสต่ำสุดสำหรับการมองเห็น และเพื่อความสะดวกในการอ้างอิงจึงกำหนดให้ RCS_{ref} = 1 ที่ความส่องสว่างเท่ากับ 1ø0 cd/m^2 ซึ่งสมการเขียนได้ดังนี้

$$RCS_{ref} = n(S/L_{ref}xt)^{.4}+1]^{-2.5} \qquad \text{----------(3.2)}$$

เมื่อ n และ S คือพารามิเตอร์ ซึ่งเมื่อความส่องสว่างของฉากหลังมีค่าเท่ากับ 1ø0 cd/m^2 ทำให้ RCS_{ref} = 1.ø
ดังนั้น

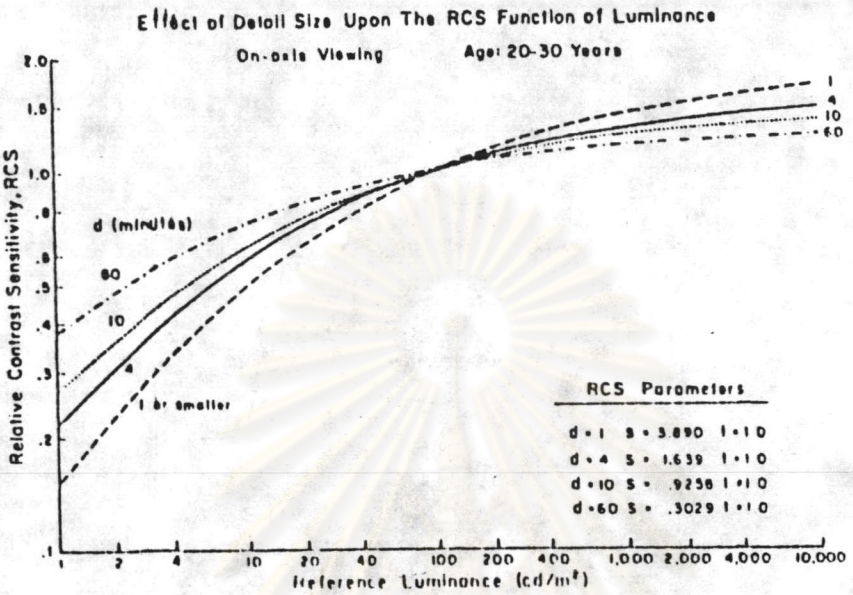
$$n = [(S/100xt)^{.4}+1]^{2.5}$$

และ $\log(S) = .5900 - .6235\times\log(d)$ (คิดเฉพาะค่าบวก)

เมื่อ d คือขนาดของวัตถุทดสอบที่ปรากฏในรายละเอียดของงาน ซึ่งมีผลต่อค่า Reference Relative Contrast Sensitivity RCS_{ref} ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งจากการทดลองและวิเคราะห์ผลพบว่า งานที่ประกอบด้วยวงกลม หรือวงแหวนแลนดอลท์ที่มีขนาดเท่ากันจะให้ค่า RCS_{ref} เท่ากัน เนื่องจากวงกลมและสี่เหลี่ยมตรงรอยแยกของวงแหวนแลนดอลท์มีรูปร่างที่คล้ายคลึงกันนั่นเอง ดังนั้นจึงสามารถใช้ฟังก์ชั่นนี้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองของงานที่มีราย ละเอียดเป็นวงกลม หรือ วงแหวนแลนดอลท์ที่มีขนาดต่างๆได้ แต่มีข้อจำกัดว่าใช้ได้อย่างถูกต้องกับเงื่อนไขแสงแบบอ้างอิงเท่านั้น กรณีที่ต้องใช้งานกับระบบแสงสว่างที่ไม่ใช่

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แสงแบบอ้างอิง ฟังก์ชั่นนี้จึงเขียนเป็น RCS โดยไม่ต้องมีตัวห้อย 'ref'



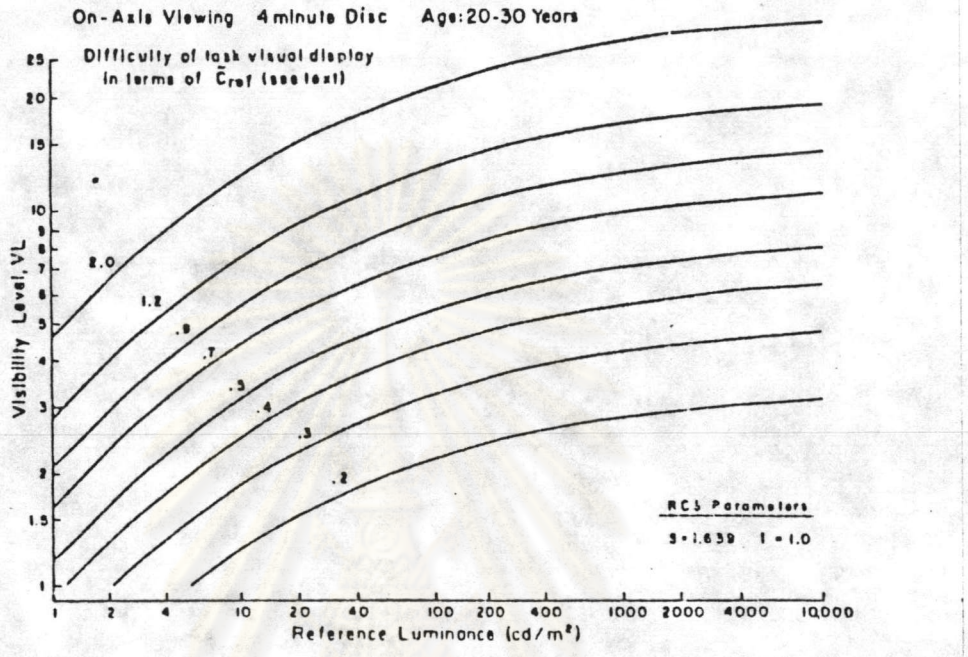
รูปที่ 3.2 ค่า RCS ในฟังก์ชั่นของความส่องสว่างของฉากหลัง

$$\therefore \quad VL = \tilde{C}_{ref} \times RCS/.0923 \qquad \text{--------(3.3)}$$

สมการที่ 3.3 ก็คือสมการแบบจำลองคณิตศาสตร์ชุดที่ 1 ซึ่ง .0923 คือค่า $\bar{C}_{ref}$ ที่ความส่องสว่างเท่ากับ 100 cd/m^2 ซึ่งกำหนดให้ RCS มีค่าเท่ากับ 1 ค่า Visibility Level ที่คำนวณด้วยสมการที่ 3.3 เมื่อมี $\tilde{C}_{ref}$ เป็นพารามิเตอร์ แสดงในรูปที่ 3.3

แบบจำลองคณิตศาสตร์ส่วนที่สอง ใช้แสดงผลของ Visibility Level ที่มีต่อสมรรถนะการมองเห็น งาน(Task) ที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาสมรรถนะการมองเห็นถูกสร้างขึ้นมาโดยเฉพาะ เรียกว่า งานอ้างอิงสำหรับทดสอบสมรรถนะการมองเห็น (Visual Performance Reference Task) ประกอบด้วย วงแหวนแลนดอลท์ 5 วง ขนาด 4 ลิบดาเท่ากันทุกวง วงที่หนึ่งอยู่ตรงกลางถูกล้อมรอบด้วยวงที่เหลืออีกสี่วงซึ่งมีระยะห่างจากวงกลางเท่ากันทุกวง โดยที่วงแหวนรอบนอกจัดเรียงตัวกันอยู่ในลักษณะที่เป็นมุมของทิศสี่ทิศ ซึ่งได้แก่ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ภาพชุดวงแหวนถูกแสดงต่อผู้สังเกตเป็นเวลา 1 วินาที จากนั้นผู้สังเกตจึงระบุว่าวงแหวนวงนอกวงใดที่มีทิศทางของช่องว่าง(gap) หันไปทางเดียวกันกับช่องการทดลองในแบบนี้ไม่ได้รวมเวลาที่ใช้ในการทำงานเพื่อระบุคำตอบเข้าไปด้วย ซึ่งเวลาที่ใช้ใน

การทำงานเพื่อระบุคำตอบนี้เรียกว่า เวลาตอบสนอง(Response Time) นอกจากนี้งานอ้างอิงสำหรับทดสอบสมรรถนะการมองเห็นยังเป็นกระบวนการทดลองที่สร้างขึ้นจากสมมุติฐานที่มีความว่า



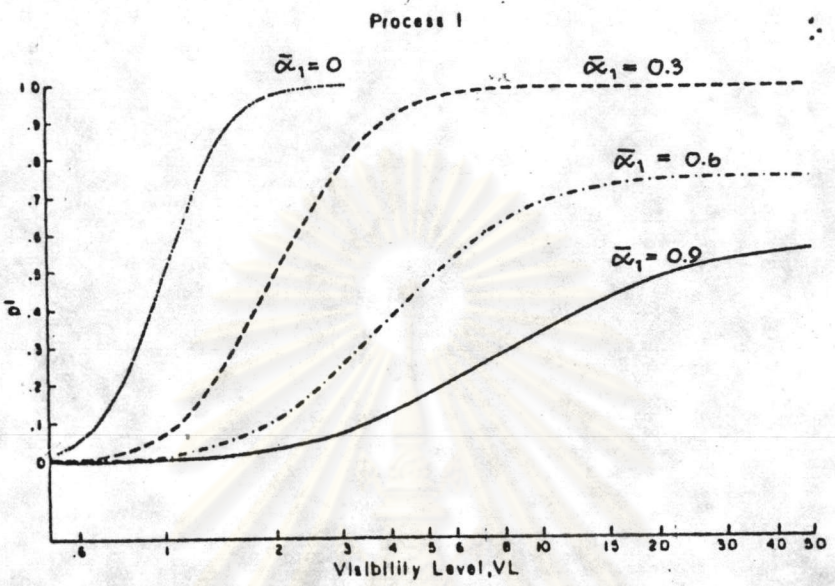
รูปที่ 3.3 ค่า Visibility Level เป็นฟังก์ชั่นของความส่องสว่างของฉากหลัง

การมองเห็น เป็นกระบวนการการรับรู้ของระบบการมองเห็นต่อสิ่งกระตุ้นเพียงกระบวนการเดียว กระบวนการดังกล่าวคือ "กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาทของการมองเห็นที่สำคัญ" (Critical Visual Sensory Process) ซึ่งเรียกว่า **กระบวนการที่ 1(Process 1)** ซึ่งเกี่ยวข้องกับการรับรู้รายละเอียดของงาน ความยากของเงื่อนไขการทำงาน(Difficulty of Task condition)ถูกกำหนดได้ด้วย

1. เวลาที่ภาพชุดวงแหวนถูกแสดงต่อผู้สังเกต
2. ระยะระหว่างวงแหวนแลนดอลท์วงกลางกับวงแหวนแลนดอลท์รอบนอก
3. ข้อมูลที่ต้องการจากการทำงานการมองเห็น

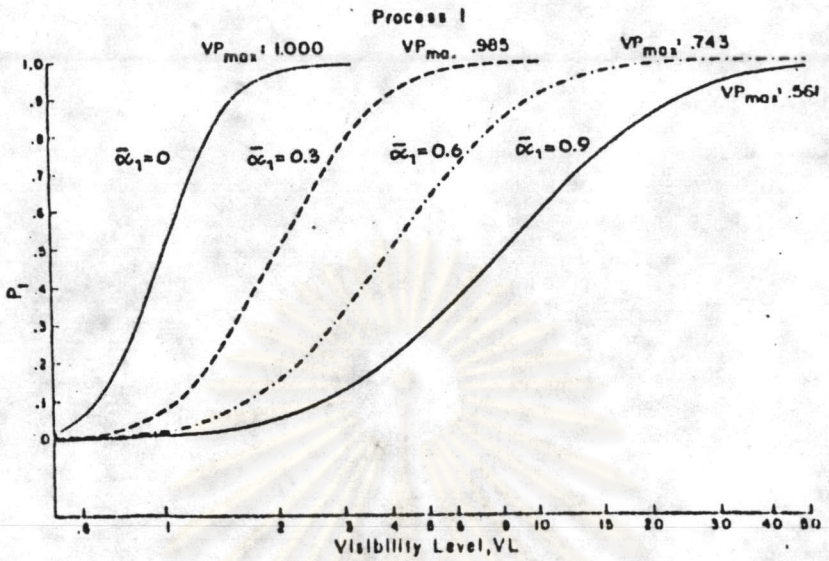
จุดประสงค์ของการศึกษา งานอ้างอิงสำหรับทดสอบสมรรถนะการมองเห็น นี้ ก็เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง พารามิเตอร์ของการตอบสนอง(response parameter) กับ ตัวกระตุ้น (Stimulus) และเพื่อหาองค์ประกอบของระบบการมองเห็นจริง จึงต้องการศึกษาเพิ่มเติมอีกความสัมพันธ์ของสมรรถนะการมองเห็นที่วัดได้ด้วยค่า p' กับ Visibility Level โดยมี ความยากของเงื่อนไขการทำงานเป็นพารามิเตอร์ถูกแสดงด้วยกราฟรูปที่ 3.4 เมื่อ p'

คือ อัตราส่วนการตอบถูกที่ไม่รวมเอาคำตอบที่ถูกเนื่องจากการเดาถูกด้วย ต่อจำนวนคำถามทั้งหมด รูปที่ 3.4 ประกอบด้วยกราฟ 4 เส้น เส้นทางซ้ายสุดคือ Visibility Threshold



รูปที่ 3.4 ค่าสมรรถนะการมองเห็นเป็นฟังก์ชั่นของ Visibility Level

Curve ($\bar{\alpha}_1 = 0$) ซึ่งทดสอบโดยการให้ผู้สังเกต มองวงแหวนแลนดอลท์ 1 วง และบอกทิศทางของวงแหวน ส่วนกราฟเส้นที่เหลือ คือ Visual Performance Threshold Curve ($\bar{\alpha}_1 = 0$) ที่มีความยากของเงื่อนไขการทำงานที่แตกต่างกัน เมื่อทำการปรับสเกลของแกนตั้ง (ordinate) ให้อยู่ในรูปของค่า p สูงสุดของกราฟแต่ละเส้น จะได้ผลลัพธ์ดัง รูปที่ 3.5 ซึ่งทำให้สังเกตผลของ Visibility Levelที่มีต่อสมรรถนะการมองเห็นของงานที่มีเงื่อนไขต่าง ๆ กันได้ชัดเจนยิ่งขึ้น เส้นกราฟในรูปที่ 3.5 แทนได้ด้วยฟังก์ชั่น log ogive ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่สำคัญ 2 ตัวคือ ค่าเฉลี่ย (mean) และค่าความชัน(slope) ในส่วนที่เป็นเส้นตรง แต่เนื่องจากค่าในแกนนอน (Abscissa) เป็นค่าของ logVL ซึ่งแทนค่า logVL ด้วย α และสัญญลักษณ์ $\bar{\alpha}_1$ ใช้แทนค่าlogVL ที่ให้ค่าสมรรถนะการมองเห็นมีค่าเท่ากับ 0.5 ซึ่งเราเรียก $\bar{\alpha}_1$ ว่า Visual Performance Threshold สำหรับกรณีที่ $\bar{\alpha}_1 = 0$ แสดงถึงเงื่อนไขแบบ Visibility Threshold ซึ่งแตกต่างจากเงื่อนไขแบบ Visual Performance Threshold ตรงที่ว่างานที่ใช้ทดสอบสมรรถนะการมองเห็นต้องมีการค้นหา(search)และกวาดตา(scan)ส่วนงานที่ทดสอบVisibilityไม่จำเป็นต้องมี ความชันของกราฟแทนด้วยสัญลักษณ์ γ และค่าลอกการิธึม ของค่าสูงสุดของสมรรถนะการมองเห็นของเงื่อนไขงานแต่ละอันแทนด้วย



รูปที่ 3.5 ค่าสมรรถนะการมองเห็นสัมพัทธ์เป็นฟังก์ชั่นของ Visibility Level

μ เส้นกราฟในรูปที่ 3.5 ได้มาจากการทดลองโดยใช้ ประชากรอ้างอิง(Reference Population) แต่เมื่อทดลองโดยใช้ผู้สังเกตทั่วๆไปพบว่ากราฟของผู้สังเกตนี้มีค่าเบี่ยงเบนไปจากกราฟของประชากรอ้างอิงบ้าง ความแตกต่างนี้สามารถแทนได้ด้วย log ogive อีกอันหนึ่ง และlog ogiveอันใหม่นี้สามารถอธิบายได้ด้วย พารามิเตอร์เพียงตัวเดียวคือ ความชัน ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ ν เมื่อทำการจัดรูปตัวแปร และพารามิเตอร์ให้อยู่ในรูปของ $\bar{\alpha}_1$ จึงได้สมการ

$$\gamma_1 = .145 + .278\times(\bar{\alpha}_1 - .050)$$
$$\mu_1 = -.408\times(\bar{\alpha}_1 - .284)$$
$$\nu_1 = .110 + .142\times(\bar{\alpha}_1 - .378)$$

ซึ่งค่า $\bar{\alpha}_1$ แสดงถึงความต้องการ Visibility Level ที่งานแต่ละเงื่อนไขต้องการจากผู้สังเกต เพื่อใช้ทำงานตามเงื่อนไขให้ได้

ระยะห่างระหว่างวงแหวนวงกลางกับวงแหวนรอบนอก ในงานอ้างอิงสำหรับทดสอบสมรรถนะการมองเห็น มีผลต่อ RCS Function ซึ่งหมายถึง Visibility Level และสมรรถนะการมองเห็นด้วย เมื่อกำหนดให้ Eccentricity :X หมายถึง มุมเบี่ยงเบนจริงที่วัดเป็นองศา ของวงแหวนรอบนอกที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกนมอง(Visual axis)ซึ่งเป็นเส้น

ตรงที่ลากจากตาของผู้สังเกต ไปยังจุดศูนย์กลางของวงแหวนวงกลาง โดยที่การมองแบบนี้เป็นแบบที่ไม่มีการค้นหา(search) เพราะผู้สังเกตถูกตรึงการมองไปที่จุดศูนย์กลางของวงแหวน และเวลาที่ภาพชุดวงแหวนแสดงต่อผู้สังเกตเพียง ๐.2 วินาที ทำให้ไม่มีเวลาในการค้นหา จึงเรียกงานการมองเห็นนี้ว่า เป็นงานการมองเห็นแบบไม่มีการค้นหา ค่า $\tilde{X}$ อธิบายถึงงานสำหรับทดสอบสมรรถนะการมองเห็นใดๆ ซึ่งให้ค่า $\bar{\alpha}_1$ และ γ_1 เท่ากันกับงานการมองแบบไม่มีการค้นหาที่มีค่ามุมเบี่ยงเบนเท่ากับ X (ค่า X และ $\tilde{X}$ มีค่าเท่ากัน) $\tilde{X}$ คือค่ามุมเบี่ยงเบนสำหรับงานสำหรับทดสอบสมรรถนะการมองเห็นใดๆ เมื่องานนี้ให้ค่า α_1 และค่า γ_1 เท่ากันกับงานการมองแบบไม่มีการค้นหาที่มีค่ามุมเบี่ยงเบนเท่ากับ X โดยที่ $\tilde{X} = X$ จากข้อมูลการทดลองด้วยงานการมองแบบไม่มีการค้นหา ทำให้ได้ความสัมพันธ์ว่า

$$\alpha_1 = 1.355 \times i \times \log(X) + .550 \times i$$

i คือ Information Index มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเป็น Full Information Criterion และมีค่าเท่ากับ .5705 เมื่อเป็น Partial Information Criterion ซึ่ง Full Information Criterion หมายถึงการทำงานการมองเห็นที่มีเงื่อนไขคำตอบที่ว่าไม่มีวงแหวนรอบนอกวงใดเลยที่เหมือนกับวงแหวนวงกลาง ส่วน Partial Information Criterion ไม่มีเงื่อนไขคำตอบดังกล่าว ดังนั้น

$$\log(\tilde{X}) = (\alpha_1 - .550)/1.355 \quad ; i = 1$$

$$\log(\tilde{X}) = (\alpha_1 - .314)/.773 \quad ; i = .5705$$

นอกจากนี้ $\tilde{X}$ ยังมีผลต่อ RCS Function ด้วย โดยนำมาคิดที่ พารามิเตอร์ S ดังนี้

$$\log(S) = .5900 - .6235 \times \log(d) - .1980 \times \tilde{X}$$

โดยที่สมมุติว่า ขนาด(d) และการเยื้องศูนย์($\tilde{X}$) ไม่ขึ้นต่อกันใน RCS Function ซึ่งการคลาดเคลื่อนเนื่องจากคุณสมบัติอันนี้ สามารถจำกัดให้มีค่าน้อยที่สุดได้ด้วยการกำหนดให้แบบจำลองคณิตศาสตร์ ใช้กับค่า $\tilde{X}$ ที่ไม่มากเกินกว่า 3 องศา

การใช้ข้อมูลจากงานอ้างอิงสำหรับทดสอบสมรรถนะการมองเห็นเพื่อทำนายการมองเห็นจริงนั้น ยังไม่เป็นการถูกต้องนักเนื่องจากพบว่าเมื่อพิจารณาและวิเคราะห์ จากข้อมูลของการมองจากสถานะการณ์จริง(Actual Visual Task)แล้ว เชื่อว่าน่าจะมีกระบวนการที่

ประกอบกันเป็นกระบวนการมองเห็นมากกว่า 1 กระบวนการ แต่งานอ้างอิงสำหรับทดสอบสมรรถนะการมองเห็นที่ใช้นั้นประกอบขึ้นจากกระบวนการรับรู้ของระบบการมองเห็นเพียงกระบวนการเดียว ส่วนกระบวนการที่เป็นส่วนประกอบของการมองเห็นจริงที่นอกเหนือไปจากกระบวนการที่ 1 นั้น เป็นกระบวนการทำงานของกลไกการกลอกตาไปมา(Oculomotor Mechanism)ที่มีส่วนในการปรับโฟกัสของตา(Accommodation)และการหยุดลูกตาไม่ให้กลอกไปมา(Fixation) กระบวนการดังกล่าวคือ **กระบวนการที่ 2(Process 2)** การรักษาการหยุดนิ่ง(ตรึง)ของตาเพื่อมองรายละเอียดในขณะที่กวาดตาเพื่อทำงานการมองเห็น และ**กระบวนการที่ 3(Process 3)** การควบคุมและเริ่มต้นการกลอกตาไปมา การศึกษากระบวนการที่ 2 และ 3 ด้วยการสร้างงานที่จำลองการมองเห็นจริงเพื่อใช้ทดลองเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์ โดยให้สมรรถนะการทำงานของกระบวนการที่ 2 และ 3 เป็น ฟังก์ชั่นของ Visibility Level เพราะค่า Visibility Level สามารถแสดงผลจากกระบวนการที่ 2 และ 3 ที่มีต่อสมรรถนะการมองเห็นได้อย่างชัดเจน ความสัมพันธ์ของสมรรถนะการทำงานในกระบวนการที่2 และ 3 กับ Visibility Level เป็น log ogive ซึ่ง Performance Threshold สำหรับกระบวนการที่ 2 คือ $\bar{\alpha}_2$ = .107 และความชัน คือ γ_2 = .180 กระบวนการที่ 2 นี้จะไปช่วยให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า β เพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนแปลงค่า Visibility Level ในกระบวนการที่ 1 ,สำหรับกระบวนการที่ 3 พบว่า Visibility ของรายละเอียดของงานที่อยู่นอกแนวแกนมอง(off-axis)มีผลต่อสมรรถนะของกระบวนการที่ 3 มากกว่า Visibility ของรายละเอียดของงานที่อยู่บนแนวแกนมอง(on-axis)ซึ่ง Performance Threshold ของกระบวนการที่ 3 เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\bar{\alpha}_3 = .107 + (.678 \times \log X + .007) + (.350 \times \log X - .050)$$

และ $\gamma_3 = .180$

กระบวนการมองเห็นจริงประกอบขึ้นจากกระบวนการที่ 1,2 และ 3 ดังนั้นสมรรถนะของการมองเห็นจริงจึงเป็นผลรวมของสมรรถนะของกระบวนการที่ 1 ,2 และ 3

$$P_{123} = W_1 \times P_1 + W_2 \times P_2 + W_3 \times P_3 \qquad \text{---------(3.4)}$$

สมการที่ 3.4 คือสมการแบบจำลองคณิตศาสตร์ชุดที่ 2 ซึ่งสมรรถนะการมองเห็นที่คำนวณได้จากสมการ 3.4 เป็นสมรรถนะที่เปรียบเทียบกับค่าสมรรถนะสูงสุดของแต่ละเงื่อนไขความยากของงาน(Relative Visual Performance :RVP) ซึ่งเราเรียกสมการTransfer

Functionที่รวมเอาผลของกระบวนการที่ 1 ,2 และ 3 เข้าด้วยกันนี้ว่า Visual Performance Transfer Function

8.3 <u>กระบวนการที่ไม่สำคัญซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับสมรรถนะการทำงานการมองเห็น</u>(Non-Critical Process Involved in Task Performance)

ในการทดลองด้วยงานอ้างอิงสำหรับทดสอบสมรรถนะการมองเห็น และงานการมองเห็นจริงที่ใช้วิเคราะห์ และ สร้าง แบบจำลองคณิตศาสตร์ การวัดผลการทดลองมิได้รวมเอาเวลาที่ใช้ในการทำงานเพื่อระบุคำตอบ ซึ่งเวลาที่ใช้ในการทำงานเพื่อระบุคำตอบนี้เรียกว่า " เวลาตอบสนอง"(Response Time) แต่เพื่อให้ใช้ แบบจำลองคณิตศาสตร์ กับงานการมองเห็นจริงได้ จึงได้รวมเอากระบวนการที่ใช้ในการระบุคำตอบซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการการมองเห็นที่ไม่สำคัญ(Noncritical Visual Process)เข้าไว้ใน แบบจำลองคณิตศาสตร์ ด้วย ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. Noncritical Process เป็นกระบวนการที่ได้รับอิทธิพลจากแสงสว่างเพียงเล็กน้อย
2. Nonvisual Process เป็นกระบวนการที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากแสงสว่างเลย

ดังนั้นแม้สมรรถนะการมองเห็นจะมีส่วนประกอบของกระบวนการนี้ด้วยก็ตาม แต่แสงสว่างจะมีผลต่อ สมรรถนะการมองเห็นโดยผ่านทางกระบวนการนี้ได้น้อยมากหรือไม่มีผลเลย

เมื่อนำเอาเวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดมาใช้คำนวณค่า สมรรถนะการมองเห็นควรนำเอาเวลาตอบสนองไปลบออกหรือไม่นั้นก็ขึ้นกับว่า กระบวนการระบุคำตอบเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการการมองเห็นที่สำคัญ (หมายถึง กระบวนการที่ 1,2 และ 3)แล้ว เจ้าตัวกระบวนการระบุคำตอบนี้ เป็นส่วนหนึ่งของสมรรถนะการทำงานการมองเห็นหรือไม่ ที่กล่าวมานี้เพื่อเป็นข้อคิดว่า ส่วนประกอบของการทำงานการมองเห็นทั้งหมดนั้น มีส่วนใดบ้างที่ควรตัดทิ้งและส่วนใดบ้างที่ควรนำมาใช้ เพื่อวิเคราะห์ผลของแสงที่มีต่อสมรรถนะการมองเห็น ซึ่งทาง CIE ได้มีข้อกำหนดในการคำนวณค่าสมรรถนะการมองเห็นดังนี้

1. เมื่อสมรรถนะการมองเห็นคำนวณได้จาก กระบวนการการมองเห็นที่สำคัญ (Critical Visual Process)เท่านั้น ซึ่งเป็นกระบวนการที่ได้รับอิทธิพลจากแสงสว่างอย่างแท้จริงโดยผ่านมาทาง Visibility ของงาน สมรรถนะการมองเห็นที่ได้จากการวิเคราะห์แบบนี้ คือ Relative Visual Performance :RVP นั่นเอง

2. เมื่อสมรรถนะการมองเห็นคำนวณได้จาก ผลรวมของกระบวนการการมองเห็นที่สำคัญ(Critical Visual Process) และกระบวนการการมองเห็นที่ไม่สำคัญ(Noncritical Visual Process) ดังนั้นสมรรถนะการมองเห็นที่คำนวณได้จึงเป็นสมรรถนะการทำงานการมองเห็น(Task Performance :TP)ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าสมรรถนะการทำงานการ

มองเห็นสูงสุด(TP_{max}) ก็คือ Relative Task Performance :RTP ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$RTP = W_{123} \times RVP + W_4 \times P_4 \quad \text{----------(3.5)}$$

P_4 คือสมรรถนะของกระบวนการการมองเห็นที่ไม่สำคัญ(noncritical Visual Process) ซึ่งกระบวนการนี้ยังแบ่งเป็นกระบวนการย่อยได้อีก 2 กระบวนการ(ทั้งสองกระบวนการนี้เป็น Noncritical Process มิใช่ Nonvisual Process) ได้แก่

กระบวนการย่อยที่ 4.1 (Subprocess 4.1) หมายถึงกระบวนการที่เคลื่อนไหวไปยังอุปกรณ์ที่ใช้ส่งสัญญานเพื่อระบุคำตอบ

กระบวนการย่อยที่ 4.2 (Subprocess 4.2) หมายถึงกระบวนการที่กระทำเพื่อระบุคำตอบ(Visumotor Act of Marking) เช่นการกดปุ่ม

3.4 <u>พารามิเตอร์ในแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ได้รับผลกระทบจาก อายุของผู้สังเกต</u>

แบบจำลองคณิตศาสตร์ชุดที่ 1 สร้างจากการทดสอบการมองเห็นด้วยประชากรอ้างอิง (Reference Population) ซึ่งเป็นผู้สังเกตที่มีอายุ 20 -30 ปีและได้รับการฝึกฝนเพื่อการทดสอบนี้โดยเฉพาะ และได้รับการตรวจสอบจากจักษุแพทย์แล้วว่าสายตาปกติ ค่าเฉลี่ยของผล การทดลองนี้ถือได้ว่าเป็นค่ามาตรฐานใช้สำหรับสร้าง แบบจำลองคณิตศาสตร์ ซึ่งผู้สังเกตที่ให้ผลการทดลองได้เทียบเท่ากับค่ามาตรฐานนั้น เรียกว่า ผู้สังเกตอ้างอิง(Reference Observer)

จากการทดสอบของ Blackwell โดยใช้ผู้สังเกตชุดใหม่ที่มีอายุ 20-79 ปี พบว่าผลลัพธ์จากผู้สังเกตชุดใหม่ที่มีอายุ 20-30 ปี ให้ผลลัพธ์เท่ากันกับของประชากรอ้างอิง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า มีเพียงตัวแปร 'อายุของผู้สังเกต' ที่มีผลต่อ พารามิเตอร์ทางแสงต่างๆในแบบจำลองคณิตศาสตร์ ซึ่ง ค่าสมรรถนะการมองเห็นที่แตกต่างกัน จากการทดสอบต่างครั้งกัน สรุปออกมาในรูปของพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดความแตกต่างได้ดังนี้

1. ค่า Visibility Threshold สำหรับวงแหวนแลนดอลท์ 1 วง
2. ค่า Visual Performance Threshold สำหรับชุดของวงแหวนแลนดอลท์ 5 วง
3. ค่า พารามิเตอร์ของRCS Function ซึ่งได้แก่ S และ t

พารามิเตอร์เหล่านี้สามารถอธิบายได้ดังนี้

เนื่องจาก แบบจำลองคณิตศาสตร์ สามารถใช้งานได้อย่างถูกต้องกับผู้สังเกตที่มีอายุในช่วง 20 - 30 ปีเท่านั้น ดังนั้นการใช้งาน แบบจำลองคณิตศาสตร์ชุดที่ 1 กับผู้สังเกตทั่วๆไปที่มีอายุแตกต่างไปจากช่วงดังกล่าว จึงจำเป็นต้องมีตัวคูณ(Multiplier) เพื่อทำให้ผลลัพธ์เทียบเท่ากับผลลัพธ์จากผู้สังเกตอ้างอิง ซึ่งใน แบบจำลองคณิตศาสตร์ ตัวคูณดังกล่าว

คือVisibility Threshold Multiplier :m_1 ซึ่งใช้ปรับค่าคอนทราสเริ่มต้นสำหรับการมองเห็น ของวงแหวนแลนดอลท์ขนาด 4 ลิบดา ซึ่งได้จากผู้สังเกตทั่วไปให้เทียบเท่ากับค่าที่ได้จาก ผู้สังเกตอ้างอิง ส่วนใน แบบจำลองคณิตศาสตร์ชุดที่ 2 ตัวคูณคือ Visual Performance Threshold Multiplier :m_2 ซึ่งใช้ปรับค่า Visual Performance Threshold ของ งานอ้างอิงสำหรับทดสอบสมรรถนะการมองเห็น ที่ได้จากผู้สังเกตทั่วๆไปให้มีค่าเทียบเท่ากับค่าที่ได้จาก ผู้สังเกตอ้างอิง เมื่อ

m_1 ใช้ใน แบบจำลองคณิตศาสตร์ชุดที่ 1 คือ

$$VL = C_{ref} \times RCS/(.0923 \times m_1) \qquad ----(3.5)$$

m_1 เป็นอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยของ C ที่ได้จากผู้สังเกตที่มีอายุมากกว่า 20-30 ปี หารด้วยค่า C_{ref} เฉลี่ยที่ได้จากผู้สังเกตอายุ 20-30 ปี ซึ่งจากสมการ 3.5 พบว่าค่า Visibility Level VL จะมีค่าลดลง เมื่อผู้สังเกตมีอายุสูงขึ้น

m_2 จากการวิเคราะห์ข้อมูลสมรรถนะการมองเห็นที่ได้จากผู้สังเกตอายุต่างๆกัน พบว่าผู้สังเกตที่มีอายุมากจะต้องการ Visibility Level ที่คำนวณได้จากสมการ 3.5 สูงกว่าผู้สังเกตในกลุ่มอายุ 20-30 ปี แม้ว่าจะมีความแตกต่างของค่าVisibility Threshold Contrast เนื่องจาก m_1 แล้วก็ตาม แต่ผู้สังเกตที่มีอายุสูงกว่าก็ยังไม่สามารถจะให้ผลการทดสอบการมองเห็นทางด้าน dynamics ได้ดีเท่ากับผู้สังเกตที่มีอายุน้อยกว่า ความต้องการค่า Visibility Level ที่มากขึ้น ถูกทำให้เพิ่มขึ้นด้วย Visual Performance Threshold Multiplier :m_2 เพื่อให้ได้ค่า สมรรถนะที่เท่ากันกับผู้สังเกตที่มีอายุต่ำกว่า m_2 ไม่เพียงขึ้นกับอายุเท่านั้น แต่ยังขึ้นกับ Task Demand Level :D ด้วย แต่จากการทดลองของ Blackwell พบว่า m_2 ไม่ควรนำมาใช้ในแบบจำลองคณิตศาสตร์

ส่วนพารามิเตอร์ S และ t ใน RCS Function เป็นพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กับอายุของผู้สังเกต เพื่อคำนึงถึงผลของอายุของผู้สังเกตที่มีต่อ RCS Function จึงเขียนสมการของ พารามิเตอร์ S ไว้ดังนี้

$$\log(S) = .5900 - .6235 \times \log(d) - .1980 \times X - s$$

เมื่อ อายุ 20-44 ปี $s = 0$

44-64 ปี $s = .00406 \times (A - 44)$

64-80 ปี $s = .0812 + .00667 \times (A - 64)$

เมื่อ A คืออายุของผู้สังเกต

พารามิเตอร์ t แสดงผลของประสิทธิภาพของระบบการมองเห็นที่ลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้นของผู้สังเกต ซึ่งแสดงให้เห็นได้ด้วยค่า Visibility Threshold ที่เพิ่มขึ้น ,พารามิเตอร์ t มีความสัมพันธ์กับอายุของผู้สังเกตดังนี้

อายุ 20-30 ปี $\log(t) = 0$

30-44 ปี $\log(t) = -.01053x(A - 30)$

44-64 ปี $\log(t) = -.1474 - .0134x(A - 44)$

64-80 ปี $\log(t) = -.4154 - .0175x(A - 64)$

เมื่อ A คืออายุของผู้สังเกต

3.5 <u>ข้อจำกัดในการใช้งาน แบบจำลองคณิตศาสตร์</u>

แบบจำลองคณิตศาสตร์ ที่สร้างขึ้นโดย CIE นี้ ยังไม่สมบูรณ์เต็มที่ ยังมีส่วนที่ แบบจำลองคณิตศาสตร์ ยังไม่ได้ครอบคลุมไปถึงคือ

3.5.1 การที่พารามิเตอร์ทางแสงอาจมีผลกระทบต่อการปรับโฟกัสของตาเพื่อมองวัตถุให้ชัดเจนเมื่อระยะทางระหว่างวัตถุกับตาเปลี่ยนแปลงไป(Accommodation) เนื่องจากข้อมูลที่เหมาะสมส่วนนี้ยังไม่สามารถรวบรวมมาทำการวิเคราะห์ได้ ดังนั้นจึงควรใช้ แบบจำลองคณิตศาสตร์ ด้วยความระมัดระวังกับงานที่ต้องมี Accommodation บ่อยๆ

3.5.2 ผลของคอนทราสของสี(Color Contrast)

3.5.3 ผลของการเคลื่อนไหวของผู้สังเกต ,ความล้า และความเครียด ระหว่างการทำงานเป็นระยะเวลานาน ในสภาพแสงที่แตกต่างกัน

3.5.4 ความชอบสภาพแสงที่แตกต่างกันของผู้สังเกต

แบบจำลองคณิตศาสตร์ ถูกจำกัดให้ใช้ได้กับผู้สังเกตอายุมากกว่า 20 ปี และไม่รวมเอาผู้สังเกตที่มีความผิดปกติทางด้านการมองเห็น และควรใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยให้พารามิเตอร์ต่อไปนี้อยู่ในช่วง

1. Visibility Level ตั้งแต่ 0 ถึง 100

2. ความส่องสว่างตั้งแต่ 1 ถึง 10,000 cd/m^2

3. รายละเอียดของงานไม่ควรเฉออกนอกแนวแกนมอง(Ocular Line) เกินกว่า 3 องศา และไม่ควรใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ กับงานที่มีแสงสว่างที่ส่องมายังพื้นที่ทำงานแบบเป็นลำ(Directional Lighting)และนอกจากนี้ยังไม่ควรใช้กับงานที่พื้นผิวบริเวณที่ทำงานมิใช่พื้นผิวแบบที่สะท้อนแสงได้เท่ากันในทุกทิศทาง(Diffuse Surface)