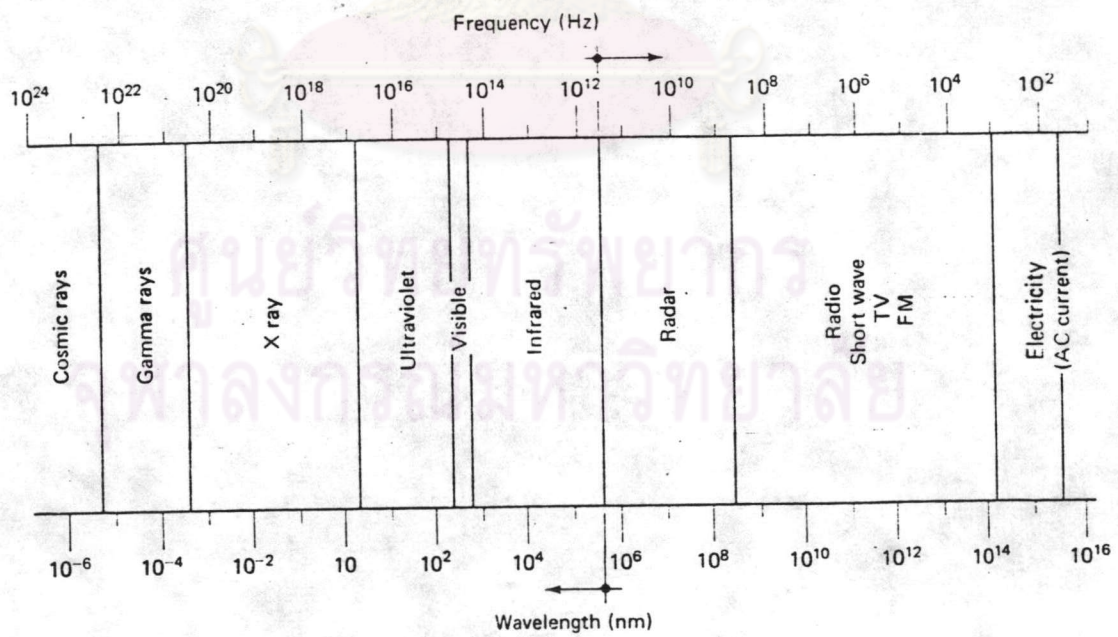
บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีแสง

ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทางด้านแสงมีอยู่ 2 ทฤษฎี คือ ทฤษฎีควันตัม (Quantum Theory) และทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Theory) แต่ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าให้คำอธิบายได้ดีที่สุดเกี่ยวกับเรื่อง ลักษณะของพลังงานการแผ่รังสี (Radiant Energy) ซึ่งใช้กันบ่อยโดย วิศวกรแสงสว่าง (Lighting Engineer) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.1 คือ สเปคตรัม (Spectrum) ของการแผ่รังสีของพลังงานในรูปต่าง ๆ ตั้งแต่รังสีคอสมิค (Cosmic Rays) ไปจนถึงไฟฟ้า มีกันอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ความยาวคลื่น 3.937×10^{-13} นิ้ว หรือ 10^{-15} นาโนเมตร สำหรับรังสีคอสมิคไปจนถึงความยาวคลื่น 300 ไมล์ สำหรับกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 พลังงานการแผ่รังสี

เส้นแบ่งชนิดของพลังงานการแผ่รังสี มิได้แบ่งอย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 2.1 แต่เป็นไปอย่างต่อเนื่อง จากชนิดหนึ่งไปเป็นอีกชนิดหนึ่ง จากความสัมพันธ์ที่เป็นส่วนกลับของความยาวคลื่นและความถี่ , พลังงานการแผ่รังสีจึงบ่งบอกได้ด้วยความยาวคลื่นหรือความถี่ก็ได้ แต่เรามักจะอธิบายรูปแบบของพลังงานการแผ่รังสีทางด้านซ้ายของเส้นแบ่งระหว่างอินฟาเรด (Infrared) กับ เรดาห์ (Radar) ด้วยความยาวคลื่น และส่วนทางด้านขวาของเส้นแบ่งนั้นจะใช้ความถี่อธิบายถึงลักษณะชนิดของพลังงานการแผ่รังสี เส้นแบ่งระหว่างอินฟาเรดกับเรดาห์นี้ เป็นความเหมาะสมของขนาดของตัวเลข เมื่อใช้ความยาวคลื่นและความถี่เป็นตัวบอกขนาด เช่น กระแสไฟฟ้า มักจะใช้ความถี่เป็นตัวระบุ คือ ความถี่ 50 - 60 เฮิรทซ์ (Hz) อย่างไรก็ตามสามารถระบุพลังงานไฟฟ้าด้วยความยาวคลื่นคือประมาณ 10^{15} นาโนเมตร ซึ่งมีเลขศูนย์ถึง 15 ตัว ซึ่งเป็นเรื่องไม่ปกติที่ต้องใช้งานเลขศูนย์จำนวนขนาดนี้

ในเรื่องของการส่องสว่าง (Illumination) เราจะพิจารณาเฉพาะช่วงสั้น ๆ ของสเปคตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagmetic Spectrum) เท่านั้น สเปคตรัมช่วงแคบๆ ที่พิจารณานี้ เรียกว่า แถบพลังงานการแผ่รังสีที่มองเห็นได้ (Visible Spectrum) ซึ่งเมื่อพลังงานการแผ่รังสีในช่วงแคบๆนี้ ไปกระตุ้นระบบการมองเห็นของมนุษย์ จะทำให้เกิด`ความรู้สึกมองเห็น` แถบพลังงานการแผ่รังสีที่มองเห็นได้นี้มีช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 380 - 760 นาโนเมตร แต่ละแถบพลังงานการแผ่รังสีที่ทำให้เกิดความรู้สึกมองเห็น สีที่แตกต่างกันไป เมื่อมีพลังงานการแผ่รังสีไปตกกระทบที่ตา ดังแสดงในตารางที่ 2.1 แถบพลังงานการแผ่รังสีในช่วงที่มองเห็นได้นี้เรียกว่า `แสง`(Light)

Color Versus Wavelength

Color	*Wavelength (nm)*
Red	760-630
Orange	630-590
Yellow	590-560
Green	560-490
Blue	490-440
Indigo	440-420
Violet	420-380
Purple	Not a pure spectral color

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับสีที่มองเห็น

2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นของแสง

เพื่อให้ง่ายต่อการอ่าน และ ทำความเข้าใจเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ จึงขออธิบายถึงศัพท์เทคนิคที่ใช้ในระบบแสงสว่าง และการมองเห็น และหน่วยวัดแสง ดังนี้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.1 **พลังงานแสง(Luminous Energy)** : Q_v คือพลังงานที่เปล่งออกจากแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็น ลูเมน-ชั่วโมง(Lumen-Hour)

2.2.2 **ฟลักซ์การส่องสว่าง(Luminous Flux)** : ø คือ เอาท์พุท(Output) จากแหล่งกำเนิดแสงต่อหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น ลูเมน(Lumen) : $ø = dQ_v/dt$

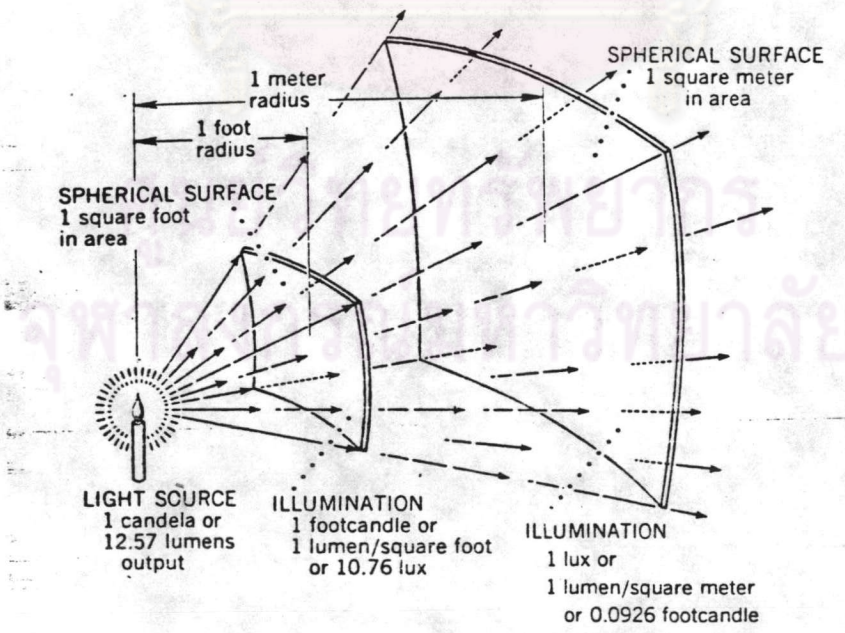
2.2.3 **ความเข้มแห่งการส่องสว่าง(Luminous Intensity)** : I คือ ความหนาแน่นของฟลักซ์การส่องสว่าง ต่อ มุมตัน(Solid Angle) ในทิศทางที่ต้องการ มีหน่วยเป็นแคนเดอลา(Candela)

2.2.4 **ความสว่าง(Illuminance)** : E คือฟลักซ์การส่องสว่าง ที่ตกกระทบพื้นผิวย่อยใดๆต่อหน่วยพื้นที่ผิวย่อยนั้นๆ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E = \frac{dø}{dA}$$

มีหน่วยเป็น

- ลูเมน ต่อ ตารางฟุต หรือ ฟุตแคนเดิล(Footcandle:fc)
- ลูเมน ต่อ ตารางเมตร หรือ ลักซ์(Lux) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 หน่วยการวัดความสว่าง

2.2.5 **ความส่องสว่าง(Luminance)** : L คือ ฟลักซ์การส่องสว่าง ต่อพื้นที่ที่ฉายตั้งฉากกับทิศทางที่กำหนดให้ ต่อ มุมตัน(Solid Angle) ในทิศทางที่กำหนด เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$L = \frac{d^2\phi}{d\omega dA_\theta}$$

มีหน่วยเป็น

- ลูเมน ต่อ ตารางฟุต หรือ ฟุตแลมเบิร์ต(Footlambert)

ความส่องสว่าง อาจหมายถึง ความเข้มแห่งการส่องสว่างในทิศทางที่กำหนด ต่อพื้นที่ของแหล่งกำเนิดที่ฉายตั้งฉากกับทิศทางที่กำหนดให้ ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$L = \frac{I_\theta}{dA_\theta}$$

มีหน่วยเป็น

- แคนเดอลาต่อ ตารางเมตร [CD/M^2] หรือ NITS

2.2.6 **ค่าการผ่านทะลุ(Transmissivity)** : τ คืออัตราส่วนของพลังงานที่ผ่านทะลุตัวกลางต่อพลังงานทั้งหมดที่ตกกระทบตัวกลางนั้น

2.2.7 **ค่าการสะท้อน(Reflectivity)** : ρ คืออัตราส่วนของพลังงานที่สะท้อนจากตัวกลางต่อพลังงานทั้งหมดที่ตกกระทบตัวกลางนั้น

2.2.8 **อุณหภูมิสี(Color Temperature)** คืออุณหภูมิของวัตถุดำซึ่งเปล่งแสงออกมาให้เห็นเป็นสีเดียวกันกับของแหล่งกำเนิดแสงที่ต้องการระบุอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น เคลวิน(KELVIN)

2.2.9 **คอนทราส(Contrast)** : C คือความแตกต่างของความส่องสว่างของวัตถุ(L_o) กับความส่องสว่างของฉากหลัง(L_b) ทั้งหมดหารด้วยความส่องสว่างของฉากหลัง

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

2.2.10 **ขนาด(Size)** : D คือขนาดของมุมที่มีเส้นบิดเท่ากับขนาดของวัตถุ มุมนี้วัดที่ตาของผู้มอง มีหน่วยเป็น องศา

2.2.11 **งาน(Task)** เป็นสิ่งของหรือวัตถุใดๆที่ต้องการมองเห็น กำหนดความยากง่ายของ งานด้วย ขนาด และคอนทราส

การที่เราสามารถมองเห็นวัตถุใดๆได้ ก็เพราะมีแสงออกจากวัตถุดังกล่าว มาตกกระทบที่ตาของเรา แสงที่ออกจากวัตถุอาจจะเป็นแสงที่เปล่งออกจากวัตถุเอง(Emit) หรือเป็นแสงที่สะท้อนออกจากวัตถุดังกล่าวก็ได้

2.2.12 **การมองเห็น(Vision)** ต้องประกอบด้วยองค์ประกอบดังนี้

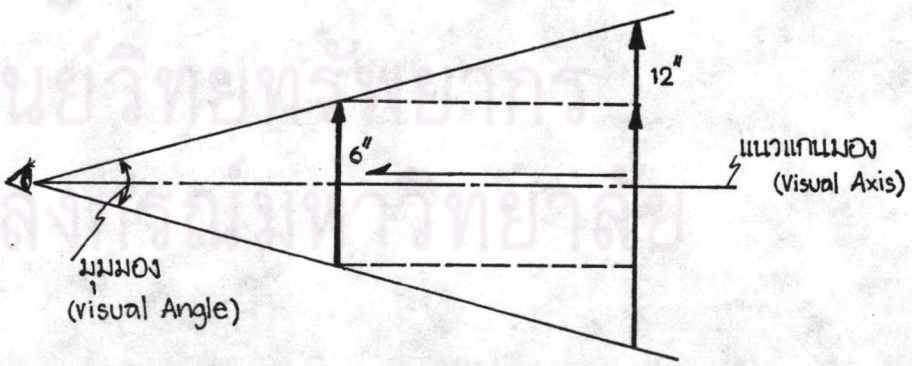
2.2.12.1 ขนาดวัตถุ

2.2.12.2 ความส่องสว่างของวัตถุ

2.1.12.3 คอนทราส

2.2.12.4 เวลาที่ใช้ในการมอง

ขนาดวัตถุ ขนาดของวัตถุที่ใหญ่ขึ้น ทำให้สามารถมองเห็นวัตถุได้ดีขึ้น เช่น เสาโทรศัพท์สูง 30 ฟุต ห่างจากผู้มอง 53 ฟุต มุมของการมองที่ตาไปยังวัตถุมีค่า 30 องศา ถ้าผู้มองถอยห่างออกจากเสาโทรศัพท์ออกไปอีก มุมมองจะเล็กลง ตัววัตถุเองไม่ได้มีขนาดเล็กลง แต่เนื่องจากมุมมองมีขนาดเล็กลงทำให้วัตถุปรากฏให้เห็นมีขนาดเล็กลง จากรูปข้างล่าง มีวัตถุ 2 ชิ้น สูง 6 นิ้ว และ 12 นิ้ว เมื่อวางวัตถุห่างออกไปเท่าๆกัน วัตถุขนาดใหญ่จะมองเห็นได้ชัดกว่า เพราะมีขนาดมุมมองใหญ่กว่า แต่ถ้าเคลื่อนวัตถุชิ้นเล็กเข้ามาใกล้จนมุมมองมีขนาดเท่ากับของวัตถุชิ้นใหญ่แล้ว วัตถุทั้งสองชิ้นจะถูกมองเห็นได้ด้วยความชัดเจน(CLARITY)เท่ากัน



รูปที่ 2.3 ขนาดวัตถุที่ระยะทางต่างกัน

ความส่องสว่างของวัตถุ วัตถุที่ผิวสีอ่อนกว่าจะมีความส่องสว่างมากกว่าวัตถุที่มีสีผิวเข้มกว่า ทำให้มองเห็นได้ดีกว่าในสภาพแสงเดียวกัน

คอนทราส วัตถุที่มีคอนทราสสูงกว่าจะมองเห็นได้ง่ายกว่าวัตถุที่มีคอนทราสต่ำกว่า แต่การเพิ่มระดับของความสว่างสามารถชดเชยคอนทราสที่ต่ำนี้ได้

เวลาที่ใช้ในการมอง การมองเห็นไม่ใช่กระบวนการที่เกิดขึ้นทันทีทันใด แต่เป็นกระบวนการที่ต้องใช้เวลา ตาสามารถมองเห็นได้ดีในที่ที่มีแสงจำกัด(น้อย) ถ้าให้เวลาเพียงพอ ซึ่งถ้าต้องการการมองเห็นให้เร็วขึ้นก็ต้องเพิ่มแสงสว่าง

2.2.13 **ความส่องสว่างแตกต่างต่ำสุด(Minimum Perceptible Luminance or Luminance Threshold)** : ΔL_{min} คือค่าความแตกต่างระหว่างความส่องสว่างของวัตถุกับฉากหลัง ที่ต่ำที่สุดที่ทำให้เริ่มมองเห็นวัตถุได้

2.2.14 **ความสามารถในการแยกรายละเอียด(Visual Acuity)** : 1/D เป็นส่วนกลับของมุมที่แบ่งของสองสิ่งออกจากกัน เมื่อมุมนั้นเป็นมุมที่ทำให้ผู้มองสามารถเห็นวัตถุสองชิ้นนั้นแยกจากกัน

2.2.15 **ความสามารถในการแยกความส่องสว่างที่แตกต่างกัน(Contrast Sensitivity)** : S_c เป็นส่วนกลับของคอนทราสที่เริ่มทำให้เกิดการมองเห็น

2.2.16 **ความไวของการมองเห็น(Speed of Vision)** : 1/t คือส่วนกลับของเวลาที่ใช้มองวัตถุจนสามารถระบุรูปร่างของวัตถุได้

2.2.17 **วิสิบิลิตี้ เลเวล(Visibility Level)** เป็นการวัดความยากง่าย ของการมองงานการมองเห็น โดยวัดเป็นจำนวนเท่าของการมองเห็นได้ดีกว่า การมองเห็นที่จุดเริ่มต้นการมองเห็น(Visibility Threshold)

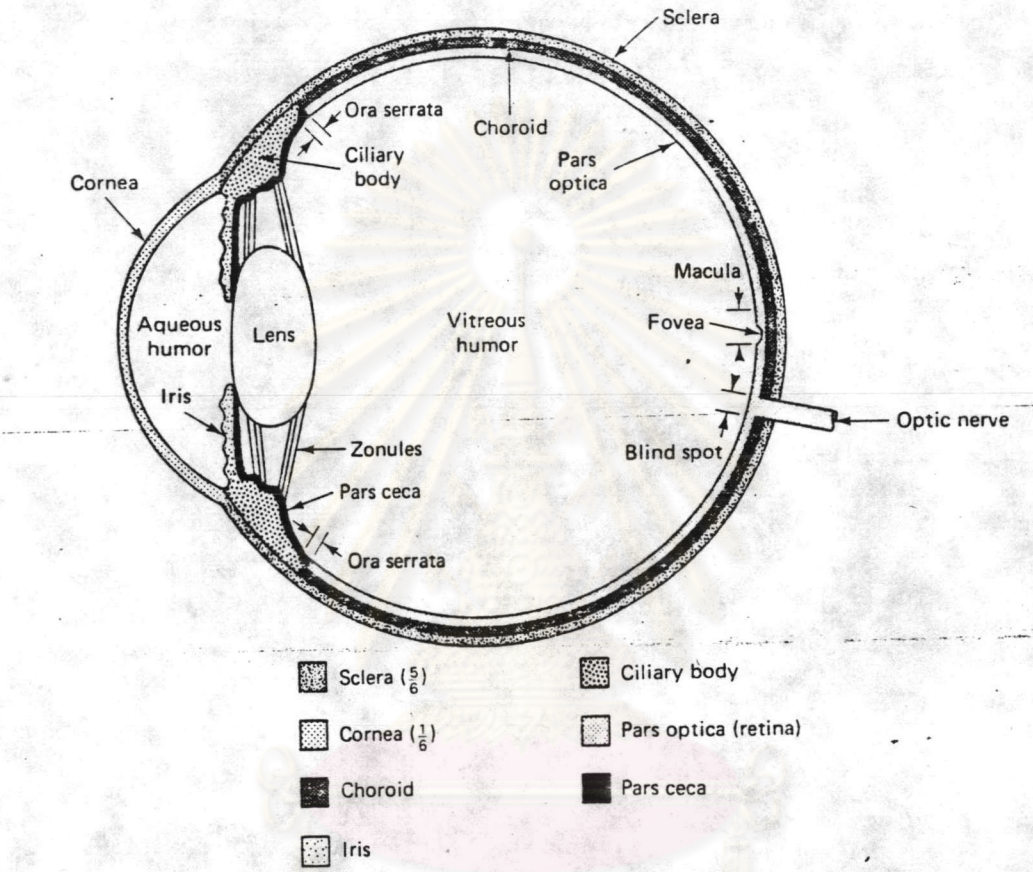
2.2.18 **สมรรถนะของการมองเห็น(Visual Performance)** เป็นเครื่องแสดงให้เห็นว่า ผู้มองสามารถปฏิบัติการมอง เห็นได้ดีเพียงใด โดยแสดงในเทอมของ ความรวดเร็วในการมอง(Speed) และ ความถูกต้อง(Accuracy) เมื่อมีการทดสอบการมองเห็นด้วยการให้รายละเอียดของวัตถุที่มอง สมรรถนะการมองเห็น เป็นสิ่งจำเป็นในชีวิตประจำวันเพื่อทำกิจกรรมต่างๆ เช่น การอ่านหนังสือ, เขียนหนังสือ, การเล่นกีฬา, ขับรถ เป็นต้น

2.3 สรีระของตา (Anatomy of the Eye)

ลูกตามีรูปร่างเป็นทรงกลมประกอบไปด้วยชั้นของเนื้อเยื่อที่เรียกว่า ทูนิค (Tunic) ทูนิคจะมี 3 ชั้น แต่ละชั้นมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน ดังรูปที่ 2.4

2.3.1 ชั้นนอกสุด ประกอบไปด้วย ส่วน 2 ส่วน คือ คอร์เนีย (Cornea) และสเคิลล่า (Sclera) คอร์เนียเป็นเยื่อโปร่งใสบางส่วน (Transparent Membrane) ที่อยู่ภายนอก เป็น

ตัวกลางที่หักเหแสงเพื่อให้แสงตกกระทบบนเรตินา (retina) ส่วนสเคิลล่า ทำหน้าที่รักษารูปทรงของลูกตา



รูปที่ 2.4 ชั้นของเนื้อเยื่อต่างๆของตา

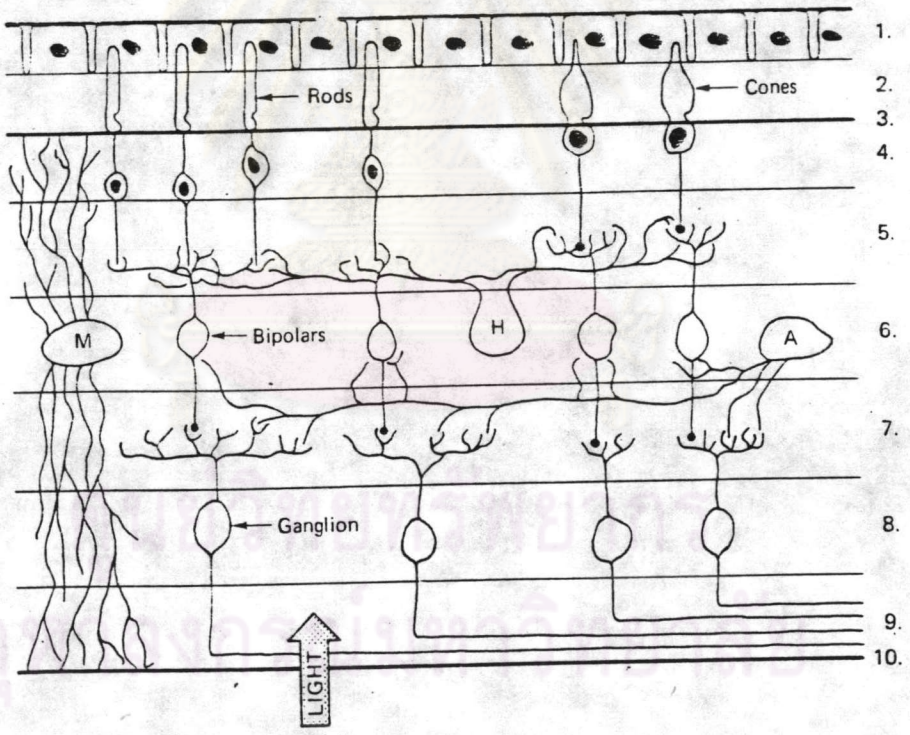
2.3.2 <u>ชั้นกลาง</u> แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

2.3.2.1 คอรอยด์(Choroid) ทำหน้าที่หล่อเลี้ยงส่วนผนังนอกของเรตินา (Retina)

2.3.2.2 ซิเลียรี บอดี(Ciliary Body) ทำหน้าที่ควบคุมเลนซ์ตา(แก้วตา) เพื่อการปรับความชัดของวัตถุที่มอง และนอกจากนี้ยังเป็นตัวสร้างน้ำหล่อเลี้ยงที่บรรจุอยู่ระหว่างคอร์เนีย(Cornea) และเลนซ์เพื่อเป็นตัวหักเหและกรองแสง

2.3.2.3 ไอริช(Iris) ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณแสง และยังช่วยเพิ่มความชัดลึกของการปรับความชัดด้วย

2.3.3 <u>ชั้นในสุด</u> เป็นชั้นของเส้นประสาท (nervous tunic) แบ่งออกเป็น พาร์ส ออพติกา[Pars Optica(retina)] เรตินาประกอบด้วยชั้นของเซลล์ถึง 10 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และ พาร์ส ซีซา(Pars Ceca) เส้นประสาทในส่วนนี้จะต่อออกมาจากสมอง เรียกว่า ไดเอนเซฟพาลัน(Diencephalan) ,พาร์ส ซีซา เป็นส่วนที่อยู่หน้าสุด ลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ ติดอยู่ที่ไอริชและซิเลียรี บอดี และมาสิ้นสุดที่ โอรา เซอราตา(Ora Serrata) ,โอรา เซอราตา เป็นบริเวณที่เป็นจุดเปลี่ยนแปลงระหว่างคอรอยด์กับซิเลียรี่ บอดี้ ในระดับชั้นของน้ำหล่อเลี้ยง (Vascular Tunic)และเป็นจุดเปลี่ยนแปลงระหว่าง พาร์ส ซีซา กับ พาร์ส ออพติกา ในระดับชั้นของเส้นประสาท(Nervous Tunic) ในบริเวณ โอรา เซอราตา จะไม่มีเซลล์สำหรับการมองเห็น (Visual Cell) พาร์ส ออพติกาหรือเรตินา เป็นส่วนที่มีความไวต่อแสงทางด้านหลังที่สำคัญ ในชั้นเส้นประสาท (Nervous Tunic) บริเวณที่สำคัญที่อยู่ในส่วนของพาร์ส ออพติกา คือ ออพติค ดิส(Optic Disc) และ มาคิวลา(Macula)



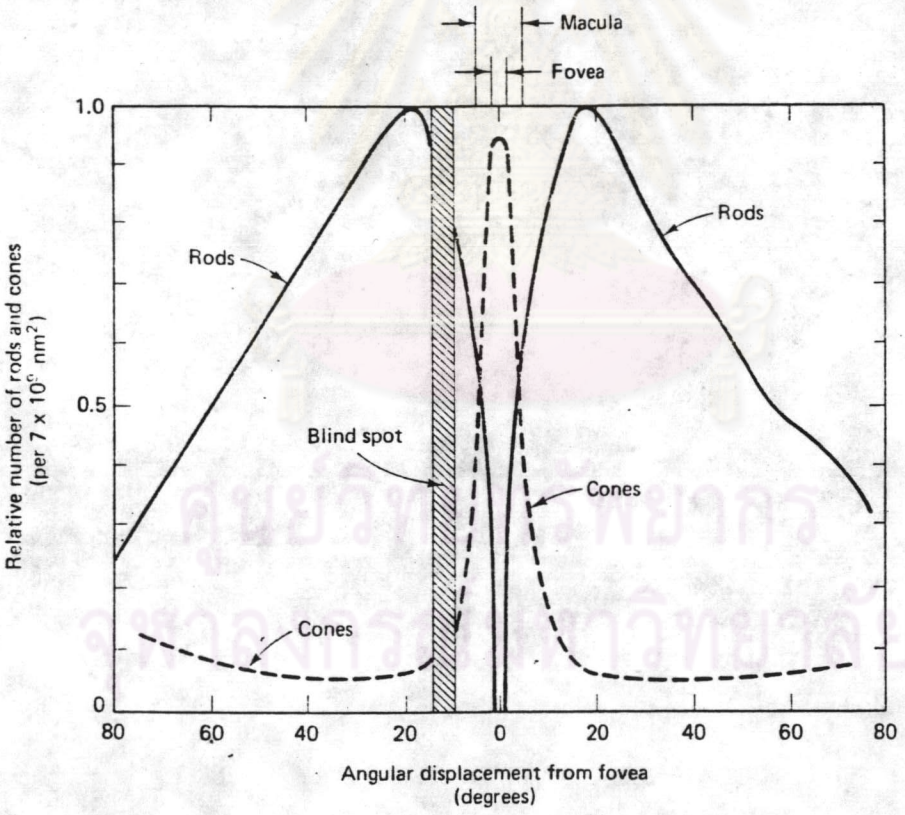
M – Muller cell H – Horizontal cell A – Amacrine cell

1. Pigment epithelium
2. Rod and cone layer
3. Outer limiting membrane
4. Outer nuclear
5. Outer plexiform
6. Inner nuclear
7. Inner plexiform
8. Ganglion cells
9. Optic nerve fibers
10. Inner limiting membrane

รูปที่ 2.5 ชั้นเซลล์ต่างๆของเรตินา

ออพติค ดิส หรือจุดขาว (White Spot) หรือจุดบอด (Blind Spot) คือบริเวณที่เส้นประสาทต่อออกจากเรตินำไปยังสมอง บริเวณนี้จะไม่มีเซลล์สำหรับการมองเห็น มองเห็นเป็นสีขาวบริเวณจุดบอดนี้จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.5 มิลลิเมตร ส่วน มาคิวลา หรือจุดเหลือง(Yellow spot) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.5 มิลลิเมตร บริเวณนี้จะเว้าลงไป ส่วนที่อยู่ลึกที่สุดของส่วนเว้าเรียกว่า โฟเวีย (Fovea) มีขนาดประมาณ 0.4 มิลลิเมตร โฟเวีย เป็นบริเวณที่ไวต่อการมองเห็นที่สุดของเรตินา กล้ามเนื้อของลูกตา และการหักเหแสงของตัวกลาง (เลนซ์) จะพยายามปรับให้แสงมาตกลงที่โฟเวีย โฟเวียเป็นจุดที่มองเห็นชัดที่สุด และมีการตอบสนองเรื่องสีดีที่สุด

2.3.3.1 <u>เรตินา</u> (retina) เป็นส่วนที่อยู่ลึกเข้ามาในลูกตา เป็นส่วนที่รับและไวต่อแสง เรตินา มีส่วนปลายของประสาทที่มีความไวต่อแสง ซึ่งละเอียดอ่อนมาก เรียกว่า โคน (Cones) และร็อด (Rods) บรรจุอยู่



รูปที่ 2.6 จำนวน โคน และ ร็อด ที่กระจายรอบ โฟเวีย

2.3.3.2 โคน (Cones) โคนจะถูกใช้ได้ผลก็เฉพาะต่อการมองในสภาพแสงของตอนกลางวันเท่านั้น โดนมีรวมกันมากที่สุดที่ โฟเวีย ดังแสดงในรูปที่ 2.6 โฟเวียจะไม่ทำงานในสภาพแสงน้อย (น้อยกว่า ๐.๐1 ฟุตแลมเบิร์ต) ซึ่งการทำงานของโคนจะเริ่มทำงานได้ตั้งแต่แสงน้อย ขนาด ๐.๐1 ฟุตแลมเบิร์ต และกรณีที่มีแสงเกินกว่า 1 ฟุตแลมเบิร์ตแล้วจะมีเฉพาะโคนเท่านั้นที่ทำงาน ซึ่งเรียกว่า การมองเห็นแบบโฟโตปิค(Photopic) นั่นเองในขณะที่เราเคลื่อนจากที่มืดมายังที่สว่าง ระบบการมองเห็นจะต้องเปลี่ยนความไวกระบวนการนี้เรียกว่าการปรับตัวให้เข้ากับความสว่าง (Light Adaption) กระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับโคนเป็นส่วนใหญ่ และมักใช้เวลาน้อยกว่า 1 นาที

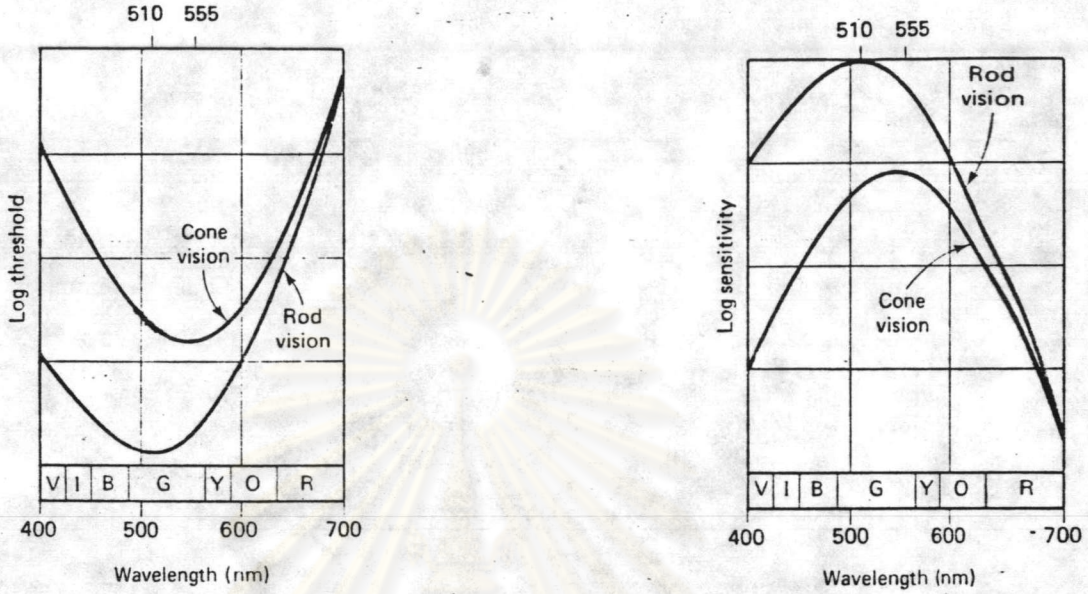
2.3.3.3 ร็อด (Rods) ร็อดจะทำงานระหว่างการมองในตอนกลางคืนเป็นส่วนใหญ่ บริเวณโฟเวียจะไม่มีร็อดเลย จำนวนของร็อดจะเพิ่มขึ้นเมื่อห่างจากโฟเวียมากขึ้น ดังรูปที่ 2.6 ร็อดไวต่อแสง และการเคลื่อนไหวมาก ซึ่งมีหน้าที่ในการมองเส้นรอบรูปของวัตถุให้ชัดเจน กระจุกของร็อดนับพัน ๆอันจะมาจากเส้นประสาทเพียง 1 เส้น ด้วยการต่อประสานกันที่วุ่นวายนี้เองจะมีผลทำให้ความไวของการมอง(Acuity)แย่มาก ไม่มีการตอบสนองต่อสีในระบบของร็อด ซึ่งร็อดจะให้ผลเป็นขาวดำ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงความส่องสว่างโดยเฉพาะเท่านั้น เมื่อเราเคลื่อนจากที่สว่างมาก ๆ ไปยังที่ที่มืดผลของการเปลี่ยนแปลงความไวของระบบการมองเห็นจะเนื่องมาจากการปรับตัวให้เข้ากับความมืด(Dark Adaptation) กระบวนการปรับตัวนี้จะกินเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง จึงจะเสร็จสมบูรณ์ หลังจากการลดแสงลงแล้ว ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการนี้ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วก็เนื่องมาจาก ปกิริยาที่ช้ากว่าของร็อด การมองเห็นที่ใช้เฉพาะร็อดเรียกว่า การมองเห็นแบบสโคโทปิค(Scotopic) เกิดขึ้นเมื่อตาปรับตัวให้เข้ากับความมืดเสร็จเรียบร้อยแล้ว ร็อดจะทำงานในช่วงของแสงจาก 10^{-6} ฟุตแลมเบิร์ต ถึง 1 ฟุตแลมเบิร์ต

2.3.3.4 โคนและร็อด (Cones and Rods) เมื่อมีการทำงานร่วมกันระหว่าง ร็อดและโคน เราเรียกว่า การมองเห็นแบบเมโสปิค(Mesopic) คือตั้งแต่ ๐.๐1 – 1 ฟุตแลมเบิร์ต จุดจำกัดทางด้านบน (Upper Limit) ของ การมองเห็นแบบเมโสปิค จะขึ้นอยู่กับขนาด, ตำแหน่ง และเวลาที่ร็อดรับแสง ซึ่งสภาพแสงในช่วง เมโสปิค นี้มักเป็นการทำกิจกรรมในเวลากลางคืน

การตอบสนองต่อแสงของ โคน และ ร็อด แสดงในรูปที่ 2.7 พบว่าร็อดมีความไวแสงมากกว่า โคน และมีความไวที่สุดต่อแสงที่มีความยาวคลื่นที่แตกต่างกันด้วย

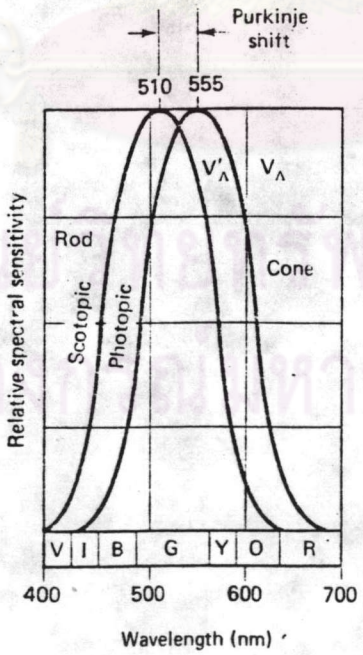
2.4 กราฟความไวสัมพัทธ์ (Relative Sensitivity Curve)

เมื่อทำให้กราฟการตอบสนองของทั้ง การมองเห็นแบบโฟโตปิค และ การมองเห็นแบบสโคโทปิค ขึ้นมาอยู่ที่ระดับเดียวกันแล้วจะให้ผลดังรูปที่ 2.8 , Purkinje Shift คือการ



ก) Threshold ข) Sensitivity

รูปที่ 2.7 การตอบสนองต่อแสงของ โคน และ ร็อด

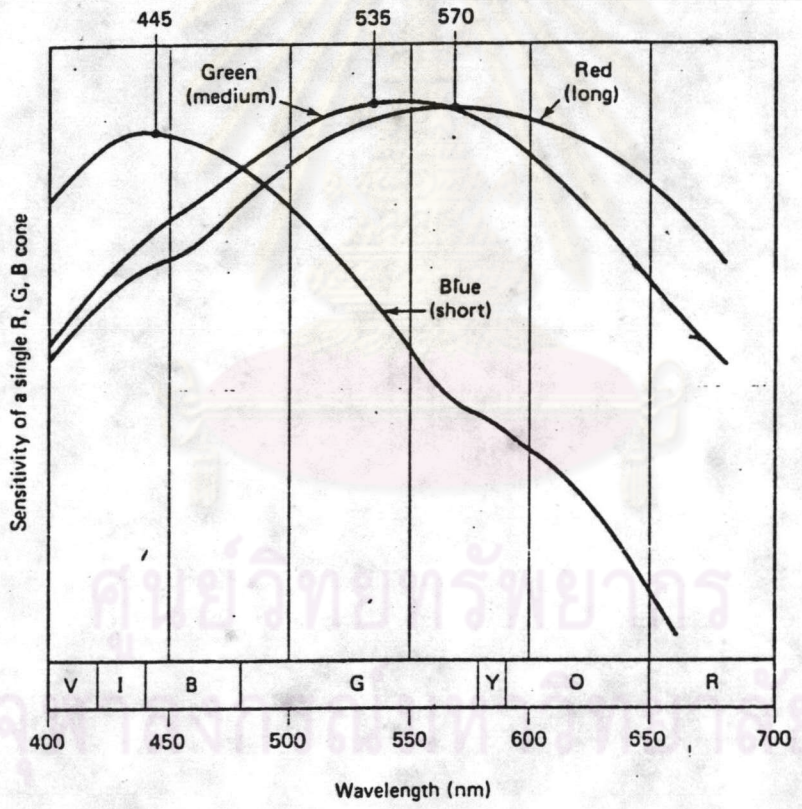


รูปที่ 2.8 กราฟการตอบสนองต่อแสงของตามนุษย์(กราฟความไวสัมพัทธ์)

เลื่อนของ ความไวสูงสุดของตาจนการมองเห็นแบบโฟโตปิค เปลี่ยนไปเป็นแบบสโคโทปิค ,ความไวสัมพัทธ์(Relative Sensitivity) ของ โคน มีจุดสูงสุดที่ 555 นาโนเมตร ขณะที่ ความไวสัมพัทธ์ของร็อดมีจุดสูงสุดที่ 510 นาโนเมตร การเลื่อนนี้มีผลให้เพิ่มความไวต่อความยาวคลื่นสั้น และลดความไวต่อคลื่นยาว (700 นาโนเมตร) สำหรับระบบของ ร็อด กราฟความไวสัมพัทธ์(Relative Sensitivity Curve) ใช้สำหรับการมองแบบ โฟโตปิค เพื่อแทนการตอบสนองของตามนุษย์ ซึ่งบางครั้งเรียกว่า "กราฟการตอบสนองต่อแสงของตามนุษย์"

2.5 การมองเห็นที่เป็นสี (Color Vision)

การมองเห็นที่เป็นสีโดยทั่ว ๆ ไปนั้นเกี่ยวข้องกับการมองเห็นที่เป็น 3 สี การมองเห็นที่เป็นสีนั้นก็เนื่องมาจาก ระบบการมองเห็นประกอบด้วยโคน (cone) ที่แตกต่างกัน 3 ชนิด



รูปที่ 2.9 ความไวแสงของโคนแต่ละชนิด

โคนแต่ละชนิดต่างก็ตอบสนองต่อสีที่ต่างกัน กราฟการตอบสนองต่อแสงของกลุ่มโคนแต่ละชนิดทั้ง 3 ชนิดนั้น จะตัดกันไปมา ตลอดช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็น ซึ่งทำให้มีค่าความไวสูงสุดที่แตกต่างกันออกไปสำหรับกราฟของกลุ่มโคนแต่ละเส้นค่าความไวสูงสุดทั้ง 3 ค่าคือ 570, 535 และ 445

015825

นาโนเมตร ดังรูปที่ 2.9 อย่างไรก็ตามโคนทั้งหมดก็ไวต่อแสง (ตอบสนองต่อแสง) ที่ทุก ๆ ความยาวคลื่น กลุ่มโคนรับสีนี้แบ่งออกเป็น สีแดง, สีเขียว และสีน้ำเงิน การตั้งชื่อของกลุ่มโคนก็ตั้งตามความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับกลุ่มโคนชนิดนั้น ๆ โดยอาศัยทฤษฎีนี้ การมองเห็นที่เป็นสีคือการทำงานของกลุ่มโคนสีต่าง ๆ 3 กลุ่มและอีกหนึ่งคือ ตัวรับแสงชนิดร็อด (rhodopsin) ตัวรับแสงแต่ละชนิดจะมีการตอบสนองต่อแสงด้วยความไวที่แตกต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย