

การมองเห็นและการวัดสี

ภักดิ์ ทองทิมพร

คำสำคัญ การมองเห็น, การวัดสี

ผลิตภัณฑ์ใดๆ ที่มีการผลิตออกมาจำหน่ายเพื่อการบริโภคหรืออุปโภคจะพบว่ามีความสำคัญในการที่จะดึงดูดความสนใจอยู่อย่างหนึ่งคือ สีที่แตกต่างกันไปและความสม่ำเสมอของสีนั้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตออกมาแล้วมีสีที่สม่ำเสมอ ผู้บริโภคก็อาจจะพิจารณาว่าผลิตภัณฑ์นั้นไม่มีคุณภาพ ซึ่งมีผลต่อการตัดสินใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์นั้นหรือไม่ แต่การตัดสินใจของแต่ละคนนั้นก็แตกต่างกันไป ทั้งนี้เนื่องจากการเห็นสีนั้นเกิดจากตาและสมองสั่งการรวมทั้งประสบการณ์ที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดการวัดสีในระบบที่เป็นตัวเลขขึ้นมา เพื่อควบคุมคุณภาพของสินค้า และสีที่ใช้ในทางอุตสาหกรรมให้เป็นไปตามมาตรฐานในระดับสากล

การมองเห็นสีของมนุษย์ เกิดจากการที่แสงที่สะท้อนจากวัตถุนั้นๆ มากระทบตาเราและส่งไปสมองเพื่อแปลออกมาเป็นสีที่เห็น ดังนั้นในการมองเห็นจึงมีปัจจัยอยู่ 3 อย่าง คือ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุที่มีสี และสายตาของเรา ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วว่าเมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงส่องมากระทบวัตถุที่มีสี จะสะท้อนเข้าสู่ตา และตาของมนุษย์เราจะไวต่อแม่สีแสง 3 สีคือ สีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน

การมองเห็นด้วยตาจะบ่งบอกลักษณะของวัตถุได้ 3 ลักษณะคือ

1. สีที่ปรากฏในการมองเห็น เช่น สีแดง สีเขียวหรือสีน้ำเงิน เรียกว่า Hue
2. ความสว่างของสีซึ่งเป็นการสะท้อนของแสงที่มีค่าต่างกันเรียกว่า Lightness
3. ความสดใสดูความเข้มและความบริสุทธิ์ของสี เรียกว่า Chroma

จากที่ได้กล่าวไว้ในตอนแรกแล้วว่า การมองเห็นสีของวัตถุเกิดจากปัจจัยอยู่ 3 อย่างคือ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุที่มีสี และผู้สังเกตการณ์(หรือคนมอง) ซึ่งจะได้พิจารณาจากปัจจัยทั้ง 3 ดังนี้

1. แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงสำหรับการมองเห็นมาจาก 2 แหล่งคือ แหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดแสงที่ประดิษฐ์ขึ้น

สำหรับแหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติ ได้แก่ แสงจากดวงอาทิตย์ หรือแสงแดดในตอนกลางวัน (Daylight) ส่องมายังพื้นผิวโลกเป็นแสงสีขาว และเมื่อผ่านปริซึมแสงสีขาวนี้จะแยกออกเป็นแถบสีต่างๆกัน 7 สี โดยแต่ละสีจะมีความยาวคลื่นต่างกันซึ่งอยู่ระหว่าง 400-780 นาโนเมตร แต่แสงแดดในแต่ละท้องฟ้าของประเทศต่างๆจะพบว่าการกระจายพลังงาน (Spectral Energy Distribution, SED) ที่แตกต่างกันไปตามภูมิภาค ประเทศ ภูมิอากาศ ฤดู และช่วงเวลา ดังนั้นการมองเห็นสีที่มีแหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติในช่วงเวลาสถานที่ หรือสภาพอากาศที่ต่างกันแล้ว ก็เป็นเหตุให้การมองเห็นสีต่างกันไปด้วย

แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ มีอยู่ด้วยกันหลายแบบได้แก่ หลอดไฟ Incandescence, หลอดไฟ
ทังสแตน (Tungsten filament lamp), หลอดฟลูออเรสเซนต์, หลอดไฟซีนอนอาร์ค (Zenon arc lamp)

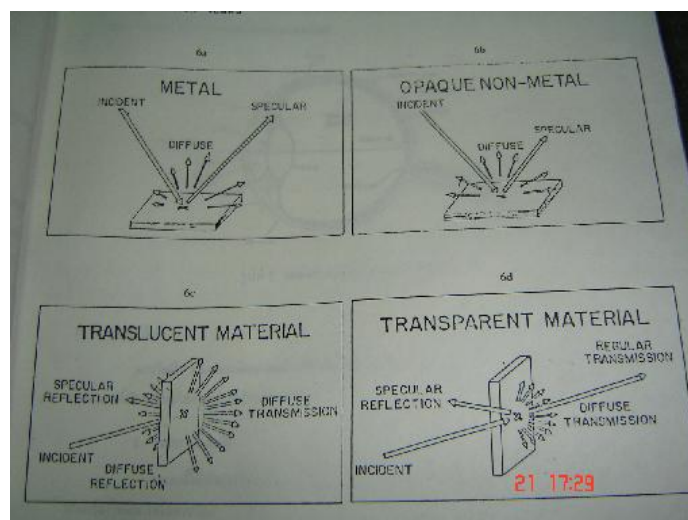
หลอดไฟซีนอนอาร์ค จะให้แสงที่มีการกระจายพลังงานอยู่ระหว่างช่วงรังสี UV และรังสี
อินฟราเรด เมื่อเราใช้ที่กรองแสงรังสี UV อย่างสม่ำเสมอ รวมทั้งใช้ที่กรองความร้อนลดความเข้มของรังสี
อินฟราเรดให้ต่ำลงแล้ว จะทำให้หลอดไฟซีนอนอาร์คมีการกระจายพลังงานได้ใกล้เคียงกับแสงแดดตอน
กลางวัน

นอกจากนี้หลอดไฟซีนอนอาร์คที่ให้แสงกะพริบ (Zenon flash lamp) เมื่อให้แสงกะพริบที่มี
ความเข้มของแสงสูงในช่วงระยะสั้น ทำให้ชิ้นตัวอย่างที่ทำการวัดสีไม่ร้อนมากจนเกิดการเปลี่ยนแปลงสี

2. วัสดุสี

แสงจากแหล่งกำเนิดแสงเมื่อตกกระทบวัตถุที่มีสีจะเกิดปรากฏการณ์การสะท้อนของแสงที่พื้นผิว
ของวัตถุที่มีความเงามัน เรียกว่า Specular reflection ถ้าพื้นผิวไม่เรียบ ไม่มีความเงามันเมื่อแสงส่องผ่านเข้า
ไปกระทบวัตถุนั้นจะเกิดการกระเจิงของแสง และอนุภาคของสีในบางช่วงคลื่นจะถูกดูดกลืนเอาไว้ บางช่วง
คลื่นจะถูกสะท้อนออกมาทำให้เกิดการมองเห็นสีแตกต่างกันตามความยาวช่วงคลื่นที่มีการสะท้อนออกมา
เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Diffuse reflection

นอกจากจะมีการสะท้อน และการดูดกลืนในบางช่วงของคลื่นแสงแล้ว ยังมีการส่องผ่านของแสง
บนวัตถุโปร่งแสงและเกิดการกระเจิงของแสงที่พื้นผิวปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Diffuse transmission แต่ถ้าเป็น
วัตถุที่มีความโปร่งใส เช่น กระจกใส จะเกิดการส่องผ่านทะลุวัตถุโปร่งใสนั้นเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า
Regular transmission ดังรูปที่ 1 ของปรากฏการณ์ทั้ง 4



รูปที่ 1 เป็นลักษณะการสะท้อนแสงบนผิวชนิดต่างๆ

3. ผู้สังเกตการณ์

เป็นปัจจัยสุดท้ายของการมองเห็นเมื่อแสงตกกระทบบนวัตถุที่มีสีและสะท้อนเข้าตาผู้สังเกตการณ์แล้วส่งไปยัง เรตินาที่มีส่วนไวต่อแสงแตกต่างกันอยู่ 2 ชนิดคือ ส่วนที่จะแยกความแตกต่างระหว่างความมืดและความสว่างที่เรียกว่า rods และส่วนที่สามารถแยกสีที่เรียกว่า cones แบ่งออกอีก 3 ชนิด คือส่วนที่ไวต่อแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้วว่าการมองเห็นของมนุษย์ต่อวัตถุที่มีสีนั้นจะเป็นการมองเห็นที่แตกต่างกันไป ดังนั้นถ้าวัตถุที่มีสีหรือผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นมานั้นมีสีที่สม่ำเสมอและเป็นมาตรฐานสากลแล้ว การวัดสีจะบอกลักษณะของสีให้เป็นที่เข้าใจในระดับสากลได้ ซึ่งมีหลายวิธี หลายระบบ ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง คือระบบ Munsell และระบบ CIE

ระบบ Munsell เป็นระบบที่ได้มีการพัฒนามาก่อนการนำเครื่องมือวัดสีมาใช้ในการวัดสี โดยการใช้สายตาและอาศัยคุณสมบัติของการมองเห็นสีคือ Hue, Lightness และ Chroma ซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์ความคิดของมนุษย์ในการวัดสี ระบบนี้จัดเป็นระบบที่ตรงกับที่สายตามนุษย์มองเห็นสีแตกต่างกันเป็นช่วงที่เท่าๆกัน

ระบบ CIE เป็นระบบที่ Commission International de l'Eclairage (CIE) ได้พัฒนาระบบของการวัดสีในรูปของ Objective ที่ไม่ต้องอาศัยประสบการณ์ หรือความคิดของมนุษย์ในการวัดสีดังเช่นระบบ Munsell การวัดสีระบบนี้มีข้อดีคือ เป็นระบบที่ไม่ขึ้นกับการมองเห็นของแต่ละบุคคล เป็นระบบที่วัดสีออกมาเป็นตัวเลข เป็นระบบที่สามารถนำไปคำนวณ และทำนายสูตรสีผสมได้ด้วย ดังนั้นการมองเห็นสีของวัตถุ ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสง วัตถุที่มีสี และสายตามนุษย์ ถ้าเราสามารถวัดออกมาเป็นตัวเลขได้ก็สามารถวัดค่าสีออกมาเป็นตัวเลขได้

แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์

ในการวัดสีของวัตถุจากเครื่องวัดสีต้องอาศัยแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ ที่เมื่อให้แสงออกมาแล้วสามารถที่จะวัดการกระจายพลังงานในแต่ละความยาวคลื่นได้ด้วยเครื่อง Spectroradiometer และด้วยผลของแหล่งกำเนิดแสงที่ต่างกันจะมีผลให้การมองเห็นสีที่ต่างกัน ดังนั้นระบบ CIE จึงได้มีการกำหนดมาตรฐานของแหล่งกำเนิดแสงขึ้น คือ

Illuminant A มีการกระจายพลังงานใกล้เคียงกับหลอดไฟทังสแตน หรือหลอดไฟ Incandescence ที่มี Color temperature ประมาณ 2848 K

Illuminant B เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ได้จากหลอด Illuminant A ที่ผ่านตัวกรองแสงแล้วให้แสงแดดตอนเที่ยง โดยมี Color temperature ประมาณ 4900 K

Illuminant C เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ได้จากหลอด Illuminant A ที่ผ่านตัวกรองแสงแล้วให้แสงแดดตอนกลางวัน โดยมี Color temperature ประมาณ 6700 K

Illuminant D เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้แทนแสงแดดตอนกลางวันแต่มีความละเอียดของ Color temperature ที่ต่างกันเช่น D₆₅ และ D₇₅ โดยที่

D₆₅ เป็นแสงแดดตอนกลางวันที่มี Color temperature 6500 K

D₇₅ เป็นแสงแดดตอนกลางวันที่มี Color temperature 7500 K

และเรานิยมที่จะใช้ D₆₅ เป็นแหล่งกำเนิดแสงในการวัด

วัตถุที่มีสี

เครื่องมือที่ใช้วัดสี เรียกว่าเครื่อง Spectrophotometer ที่สามารถวัดสีของวัตถุออกมาเป็นตัวเลขได้ ซึ่งจะวัดปริมาณการสะท้อนแสงของวัตถุเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงที่เป็น reflectance curve วัตถุที่มีสีแตกต่างกันจะมี reflectance curve ต่างกัน

วัตถุที่มีสีต่างกันเมื่อสะท้อนแสงของสีนั้นออกมาก็จะมีความยาวคลื่นต่างกัน โดยที่

สีน้ำเงิน มีความยาวคลื่นที่ 430-460 นาโนเมตร

สีเขียว มีความยาวคลื่นที่ 500-580 นาโนเมตร

สีแดง มีความยาวคลื่นที่ 620-780 นาโนเมตร

ระบบการวัดสีในเครื่อง Spectrophotometer มีอยู่หลายระบบด้วยกัน คือ ระบบ Munsell ซึ่งได้กล่าวไว้แล้ว, ระบบ Tristimulus Value, ระบบ Chromaticity coordinate และระบบ CIE L^{*} a^{*} b^{*}

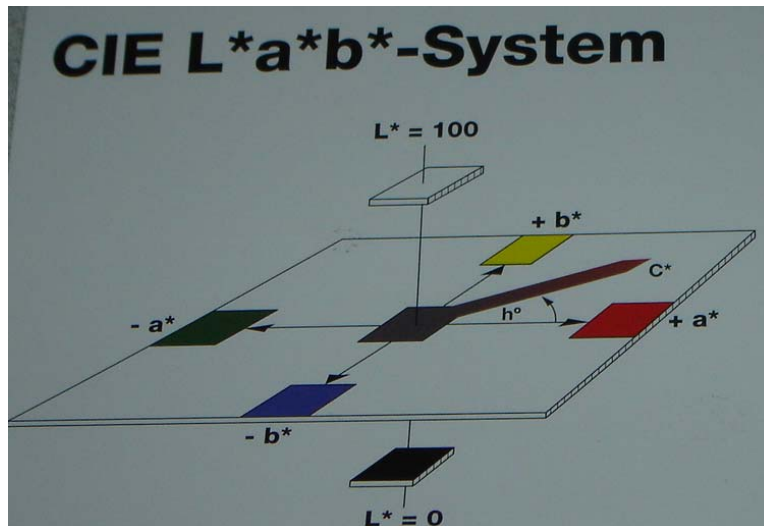
ระบบ Tristimulus Value ค่าที่หาได้ออกมาเป็น X, Y, Z โดยค่านี้จะระบุเป็นค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ตามลำดับ แต่ค่าที่ได้ยังขาดความสัมพันธ์ระหว่างกันของสีที่มองเห็น จึงไม่สามารถที่นำมาใช้ประโยชน์อะไรได้มาก

ระบบ CIE Chromaticity coordinate เป็นวิธีการที่สามารถระบุความหมายของสีได้ชัดเจนขึ้น ซึ่งค่าที่ได้เป็น

$$\begin{aligned}x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\y &= \frac{Y}{X+Y+Z} \\z &= \frac{Z}{X+Y+Z}\end{aligned}$$

โดยที่ค่า x และ y เป็นค่าที่ระบุความเป็นสี ส่วนความสว่างของสีเป็นค่า Y แต่วิธีการวัดสีโดยวิธีการนี้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการบอกค่าความแตกต่างของสีได้ดี

ระบบ CIE L^{*} a^{*} b^{*} เป็นวิธีการวัดสีที่ใช้ลักษณะของ color space ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 CIELAB 1976 ซึ่งมีลักษณะของ color space

โดยกำหนดให้ L^* เป็นค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 100

แกน a^* ที่เป็น + สีจะไปในทิศทางสีแดง

แกน a^* ที่เป็น - สีจะไปในทิศทางสีเขียว

แกน b^* ที่เป็น + สีจะไปในทิศทางสีเหลือง

แกน b^* ที่เป็น - สีจะไปในทิศทางสีน้ำเงิน

และในการหาค่าความแตกต่างของสีที่เป็นตัวเลขนั้นเมื่อพิจารณาจากรูป จะพบว่าจุดๆหนึ่งใน Space นั้นเป็น $L_1^* a_1^* b_1^*$ และเมื่อสีมีการเปลี่ยนเฉดสีไปจะได้อีกจุดใน Space เป็น $L_2^* a_2^* b_2^*$

ซึ่ง 2 จุดนี้จะมีระยะห่างกันใน Space เท่าไร ก็จะเป็นตัวบ่งบอกถึงความแตกต่างของสีดังกล่าว

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2}$$

โดย ΔE คือค่าความแตกต่างของสี

เราอาจจะกล่าวได้ว่า การมองเห็นสีของมนุษย์และการวัดสีจากเครื่องวัดจะต้องอาศัยปัจจัย 3 อย่าง คือ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุที่มีสีและและการอ่านค่าสี แต่กับการมองเห็นสีของมนุษย์นั้นจะพบว่าแต่ละคนอาจจะอ่านค่าสีแตกต่างกันไป สำหรับเครื่องวัดสีนั้นจะให้ค่าที่ได้จากการวัดสีในทางอุตสาหกรรมเป็นไปตามมาตรฐานสากล รวมทั้งยังสามารถที่จะวัดค่าความแตกต่างของสีที่มีเฉดสีต่างออกไปเพียงเล็กน้อยได้ เป็นผลให้ในทางอุตสาหกรรมสามารถกำหนดให้ค่าความแตกต่างของสีเท่าไรได้

เอกสารอ้างอิง

1. Cayless, M.A. & Marsden, A.M Lamp and Lighting. 3 rd.ed., Arnold, London (1983)
2. R.W.G. Hunt. Measuring Colour. 2 nd.ed., The City University, London (1993)

โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม

โทร 02-2017150

e-mail: puckanai95@hotmail.com

28 มิถุนายน 2550

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

