หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

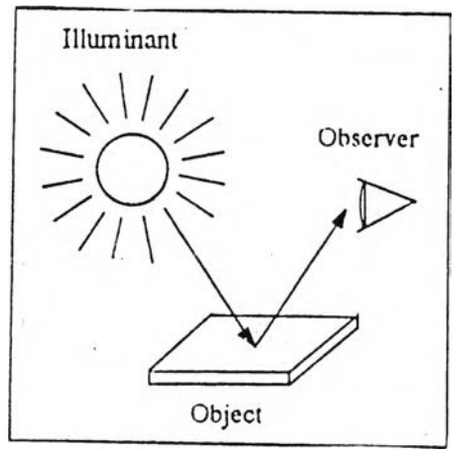
บทที่2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการวัดสี

สิ่งสำคัญในการดึงดูดความสนใจ และการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ของผู้บริโภคส่วนใหญ่ล้วนมาจากรูปลักษณ์ภายนอกของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ โดยที่ผู้บริโภคตางมีความหวังที่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปลักษณ์ เช่น สีสันที่สม่ำเสมอ ไม่มีความแตกต่าง ตราบใดที่ผู้บริโภคเห็นความแตกต่างของผลิตภัณฑ์แล้ว ก็อาจตัดสินว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีคุณภาพไม่ดี ไม่ควรตัดสินใจซื้อ แต่การมองเห็นสีของมนุษย์ที่เกิดจากตา และสมองเป็นผู้บงการ รวมทั้งการตัดสินใจของมนุษย์แต่ละคนจะแตกต่างกัน และไม่เหมือนเดิมตลอดไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอายุ และประสบการณ์ของมนุษย์ด้วย เรียกว่าเป็น Subjective ดังนั้นเพื่อให้สามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพื่อกำจัดความขัดแย้งเกี่ยวกับการมองเห็นสีในทางอุตสาหกรรม และเพื่อให้เป็นที่เข้าใจในระดับสากล จึงได้มีการพัฒนาการวัดสีในระบบตัวเลข แต่ก่อนที่จะกล่าวถึงวิธีการวัดสีออกมาเป็นตัวเลขได้อย่างไรนั้น จำเป็นที่จะต้องเรียนรู้และเข้าใจกลไกการมองเห็นสีของมนุษย์ก่อน

โดยทั่วไป มนุษย์จะสามารถมองเห็นสีได้เนื่องจากมีปัจจัย 3 อย่างคือ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุมีสี และสายตาของมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1.1 โดยแสงสว่างที่ส่องกระทบวัตถุมีสีจะสะท้อนเข้าตา และไปกระตุ้นให้เกิดการทำงานของเซลล์บนเรตินา ซึ่งประกอบด้วย Rods ที่มีความไวต่อแสงแต่ไม่ก่อให้เกิดสีสัน และ Cones ที่มีความไวต่อแม่สีแสง 3 สี คือ แดง เขียว และน้ำเงิน และส่งสัญญาณไปยังสมองเพื่อแปล หรือวิเคราะห์สีนั่นเอง



รูปที่2.1.1 แสดงการมองเห็นสีของมนุษย์

การมองเห็นสีด้วยตาจะบอกสีได้ 3 ลักษณะ คือ

1. HUE หมายถึงสีที่หรากฏให้เห็น เช่น สีแดง เขียว น้ำเงิน เป็นต้น
2. VALUE (Lightness) หมายถึงความสว่างของสี โดยดูการสะท้อนแสงที่ต่างกันไป
3. CHROMA (Saturation) หมายถึงความสดใส ความเข้ม (Strength) หรือความบริสุทธิ์ของสี

2.1.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการมองเห็นสี

- แหล่งกำเนิดแสง (Light source)
- วัตถุมีสี (Colored Object)
- ผู้สังเกตการณ์ (Observer)

1) แหล่งกำเนิดแสง

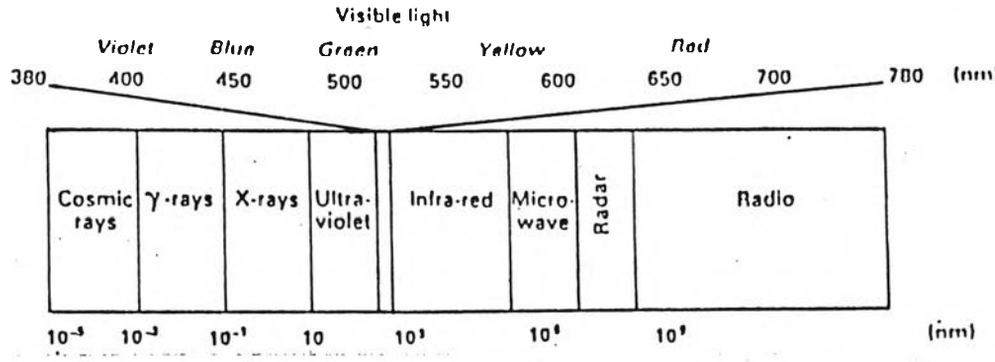
แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการมองเห็นสีมี 2 แหล่ง คือ แหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์

1.1 แหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติ

แหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติ เช่น แสงแดดตอนกลางวัน (Daylight) ก่อนที่จะส่องผ่านมายังโลก จะเกิดการกระเจิงของแสง (Scatter) หรือถูกดูดกลืนบางส่วนโดยชั้นของบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก เช่น ไอน้ำ โอโซน เป็นต้น จากนั้นจึงส่องผ่านมายังโลก เมื่อให้ผ่านปริซึมแสงแดดซึ่งเป็นสีขาว จะแยกออกเป็นแถบแสงที่มองเห็นได้ต่าง ๆ กัน โดยมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400 – 700 นาโนเมตร (nm) ซึ่งแต่ละความยาวคลื่นจะมีสีแตกต่างกันดังต่อไปนี้

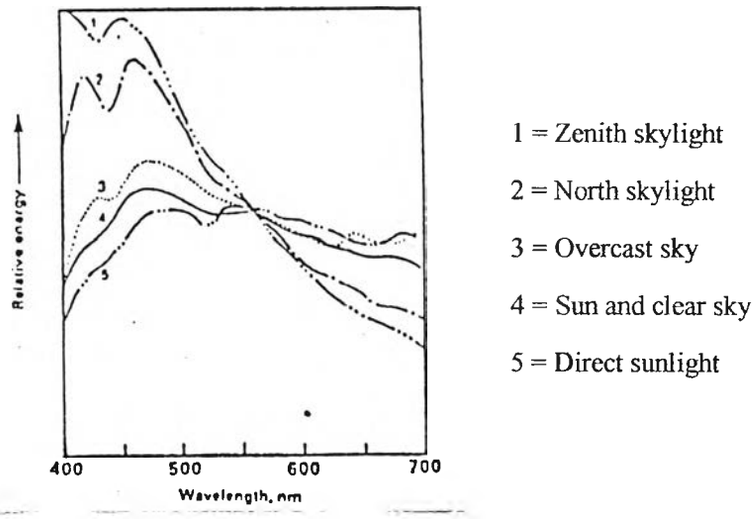
ความยาวคลื่น	400 – 430	นาโนเมตร	เป็นแสง	สีม่วง
”	”	430 – 460	”	”	”	สีน้ำเงิน
”	”	460 – 500	”	”	”	สีเขียวแกมน้ำเงิน
”	”	500 – 530	”	”	”	สีเขียว
”	”	530 – 570	”	”	”	สีเขียวแกมเหลือง
”	”	570 – 590	”	”	”	สีเหลือง
”	”	590 – 620	”	”	”	สีส้ม
”	”	620 – 700	”	”	”	สีแดง

แสงที่มองเห็นได้นี้จะเป็นเพียงส่วนหนึ่งของสเปกตรัมของรับสีแม่เหล็กไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.1.1.1



รูปที่ 2.1.1.1 แสดงสเปกตรัมของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

แสงแดดตามธรรมชาติจะมีการกระจายพลังงาน (Spectral Energy Distribution, SED) แตกต่างกันไป ตามภูมิประเทศ ภูมอากาศ ฤดู และช่วงเวลา ดังรูปที่ 2.1.1.2



รูปที่ 2.1.1.2 แสดงการกระจายพลังงานของแสงแดดบริเวณต่าง ๆ กัน

จากรูปที่ 2.1.1.2 แสดงให้เห็นว่าแสงแดดบริเวณ Zenith จะมีสีออกฟ้ามากที่สุด อย่างไรก็ตาม สีฟ้าจะลดลงมากถ้าเป็นแสงแดดบริเวณขั้วโลกเหนือ (North skylight)

ดังนั้นการมองเห็นสีจากแหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติ ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน หรือบริเวณที่ต่างกัน ก็จะทำให้ผลของการมองเห็นสีแตกต่างกันไปด้วย

1.2 แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์

แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ที่ใช้กันอยู่จะมีหลายแบบ คือ

ก. หลอดไฟ Incandescence

แหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้ เกิดจากการให้ความร้อนแก่โลหะทองเหลือง จนกระทั่งสัมผัสไม่ได้เนื่องจากมีการปล่อยรังสีอินฟราเรดออกมา หลังจากความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โลหะทองเหลืองจะคุแดงตุ่น ๆ จากนั้นจะเป็นสีแดงสด สีเหลือง และสีฟ้า สีของแสงที่เปล่งออกมาจะขึ้นกับอุณหภูมิของโลหะ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิของโลหะเพิ่มขึ้น ความยาวคลื่นของแสงจะลดลง ดังนั้นการกระจายพลังงานของแสงจากหลอดไฟ Incandescence จะขึ้นกับอุณหภูมิของโลหะที่เพิ่มขึ้น

ข. หลอดไฟทังสเตน (Tungsten filament lamp)

แหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้ เกิดจากการให้ความร้อนแก่ลวดทังสเตน โดยผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในหลอดแก้วที่บรรจุก๊าซเฉื่อย หรือลดความดันอากาศลงเพื่อให้ลวดทังสเตนเกิดออกซิเดชันน้อยที่สุด การให้ความร้อนแก่ลวดทังสเตนนี้จะทำให้เกิดพลังงานแสงที่มีการกระจายพลังงานอย่างต่อเนื่องออกมาตลอดความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 – 700 นาโนเมตร แสงจากหลอดไฟทังสเตนจะมีสีเหลืองกว่าแสงแดดตอนกลางวัน ทำให้มองเห็นสีของวัตถุแตกต่างกันได้

ค. หลอดไฟทังสเตน – ฮาโลเจน (Tungsten – halogen lamp)

แหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้ จะมีข้อดีกว่าหลอดไฟทังสเตนแบบเดิม กล่าวคือ หลอดไฟทังสเตนแบบเดิม เมื่อได้รับความร้อน ไอระเหยของทังสเตนจะไปเกาะติดที่ผนังด้านในของหลอดแก้ว ทำให้หลอดดำขึ้นเรื่อย ๆ และความสว่างจะลดลงเมื่อใช้ไปนาน ๆ แต่เมื่อก๊าซฮาโลเจน เช่น ไอโอดีน หรือโบรมีน อยู่ในหลอดไฟปริมาณเล็กน้อย ก็จะทำให้ไอระเหยของทังสเตนไปรวมกับฮาโลเจนเกิดเป็นทังสเตนเฮไลด์แทนที่จะไปเกาะที่ผนังของหลอดแก้ว และเมื่อทังสเตนเฮไลด์มากระทบลวดทังสเตน ทังสเตนเฮไลด์ก็จะแยกตัวโดยทังสเตนก็จะไปเกาะติดที่ไส้หลอด ส่วนฮาโลเจนก็จะกลายเป็นก๊าซไหลเวียนอยู่ในหลอดแก้วทำให้หลอดแก้วไม่ดำ นอกจากนี้อายุการใช้งานของหลอดไฟทังสเตน –ฮาโลเจนก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

แสงจากหลอดไฟทังสเตน – ฮาโลเจน จะเป็นแสงทีมีการกระจายพลังงานอย่างต่อเนื่อง

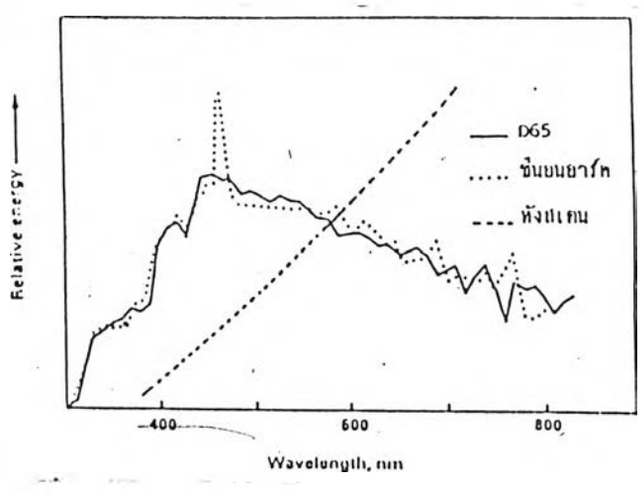
ง. <u>หลอดฟลูออเรสเซนส์</u>

พลังงานแสงของหลอดฟลูออเรสเซนส์ จะเกิดจากไอปรอทแผ่รังสีที่มีความยาวคลื่นในช่วงพลังงานที่มองเห็นได้ (Visible light) และรังสีอุลตราไวโอเลต (Non – visible ultraviolet ray) โดยพลังงานแสงที่ความยาวคลื่นบางช่วงจะส่องผ่านผงฟลูออเรสเซนส์ที่เคลือบอยู่ด้านในของหลอดออกไป ในขณะเดียวกับที่ รังสีอุลตราไวโอเลตที่เกิดขึ้นจะถูกผงฟลูออเรสเซนส์ดูดไว้ และปล่อยพลังงานออกมาในช่วงพลังงานแสงที่มองเห็นได้ (Visible region) ทำให้เกิดการเรืองแสง

จ. <u>หลอดไฟซีนอนอาร์ค</u> **(Xenon arc lamp)**

แหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้ จะให้แสงโดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านก๊าซทำให้เกิดแสงที่มีการกระจายพลังงานอยู่ระหว่างช่วงรังสีอุลตราไวโอเลต และรังสีอินฟราเรด และเมื่อเราใช้ที่กรองแสงลดรังสีอุลตราไวโอเลตอย่างสม่ำเสมอและใช้ทีกรองความร้อนลดความเข้มของรับสีอินฟราเรดให้ต่ำลงแล้ว จะทำให้หลอดไฟซีนอนอาร์คเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีการกระจายพลังงานใกล้เรียงกับแหล่งกำเนิดแสง D65 หรือแสงแดดตอนกลางวัน

นอกจากนี้หลอดไฟซีนอนอาร์คที่ให้แสงกระพริบ (Xenon flash lamps) จะมีข้อได้เปรียบ คือจะให้แสงกระพริบที่มีความเข้มของแสงสูงในช่วงระยะสั้น ทำให้ชิ้นตัวอย่างที่ทำการวัดสีไม่ร้อนมากจนเกิดการเปลี่ยนสี



รูปที่ 2.1.1.3 แสดงการกระจายพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงต่าง ๆ กัน

2) <u>วัตถุมีสี</u> **(Colored object)**

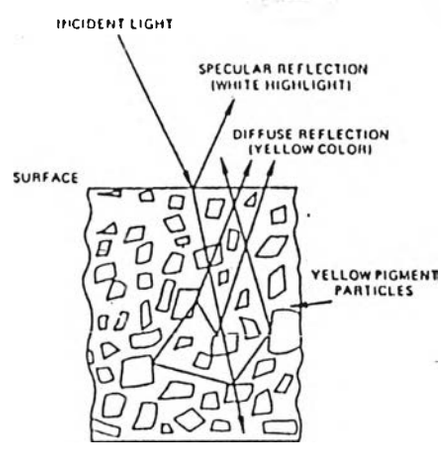
เมื่อแสงส่องกระทบวัตถุจะเกิดปรากฏการณ์ดังต่อไปนี้

- **<u>Specula reflection</u>**

เป็นปรากฏการณ์ของการสะท้อนแสงที่พื้นผิวของวัตถุที่มีความเงามัน ปรากฏการณ์นี้จะเกิดกับวัตถุที่เป็นโลหะที่พื้นผิวมีความเงามัน (Opaque metal)

- **<u>Diffuse reflection</u>**

เป็นปรากฏการณ์ของการสะท้อนแสงของวัตถุที่มีพื้นผิวไม่เรียบ ไม่มีความเงามัน เช่น วัสดุสิ่งทอ ซึ่งจะทำให้เกิดการมองเห็นสีของวุตถุโดยเมื่อแสงส่องผ่านเข้าไปในวัสดุสิ่งทอนั้น จะเกิดการกระเจิงของแสง (Scattering) ขึ้นในวัสดุสิ่งทอที่มีอนุภาคของสีอยู่ จากนั้นอนุภาคของสีจะดูดกลืนแสงบางช่วงคลื่นไว้ (absorption) และสะท้อนแสงบางช่วงคลื่นออกมาทำให้เกิดการมองเห็นสีได้แตกต่างกันตามความยาวคลื่นที่สะท้อนออกมา



รูปที่ 2.1.1.4 แสดงปรากฏการณ์การ Scattering และการ absorption

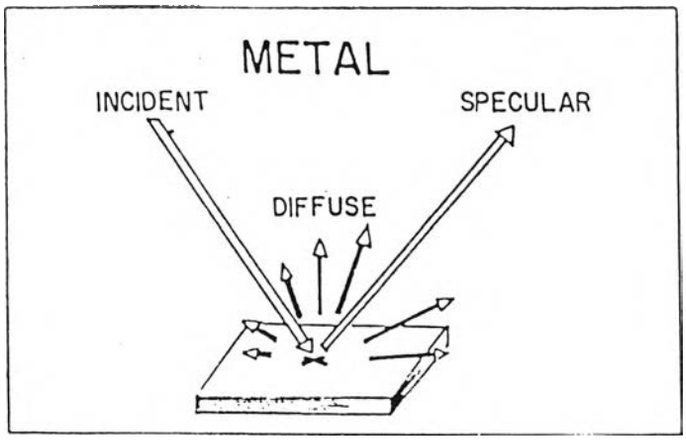
- **<u>Diffuse transmission</u>**

เป็นปรากฏการณ์ที่แสงส่องผ่านวัตถุที่มีความโปร่งแสง มีพื้นผิวไม่เรียบหรือวัตถุที่มีความโปร่งใส และเกิดการกระเจิงของแสง (Scattering) ที่พื้นผิวนั้น

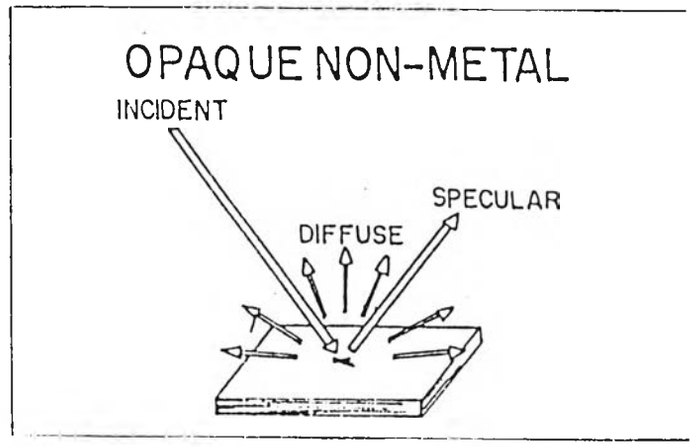
- **<u>Regular transmission</u>**

เป็นปรากฏการณ์ที่แสงจะส่องทะลุผ่านวัตถุที่มีความโปร่งใส เช่น กระจกใส และสารละลายสีย้อม เป็นต้น

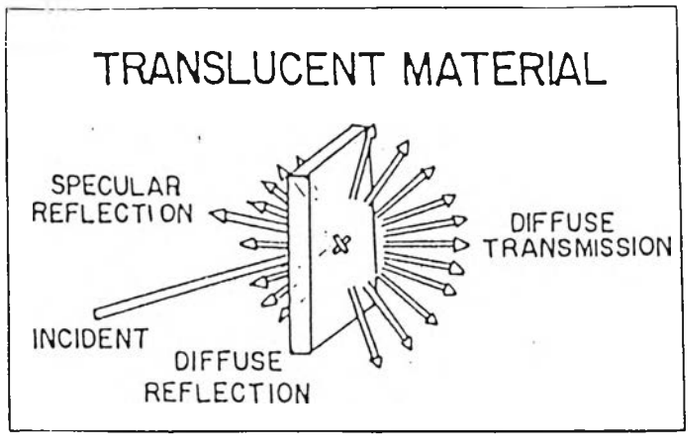
6a



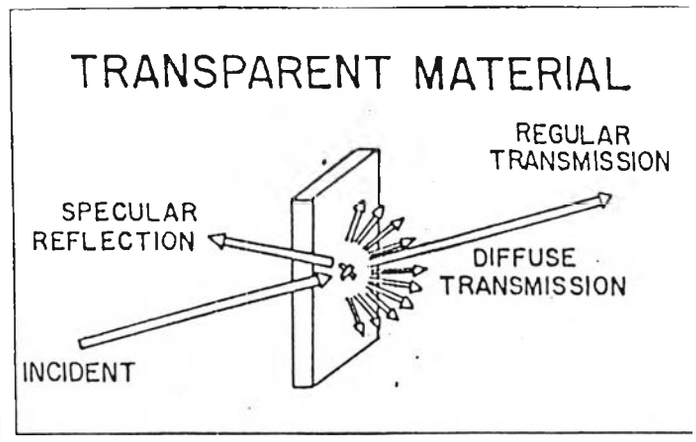
6b



6c



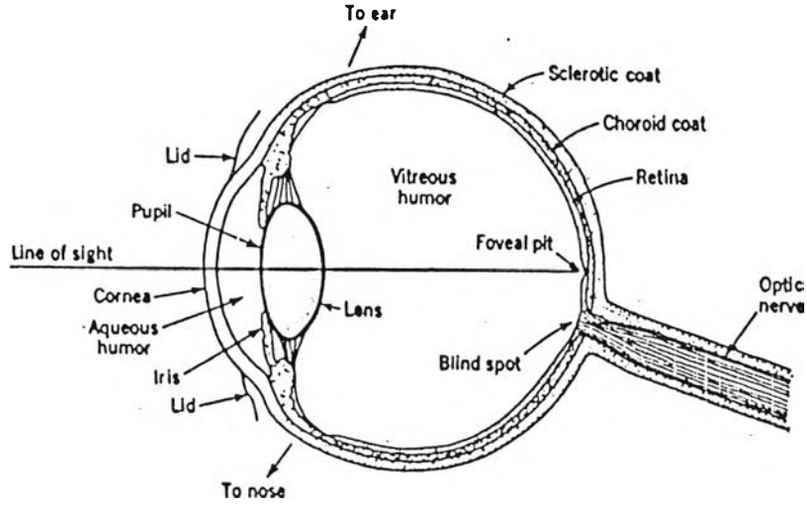
6d



รูปที่ 2.1.1.5 a-d แสดงปรากฏการณ์เมื่อแสงส่องกระทบวัตถุต่างชนิดกัน

3) <u>ผู้สังเกตการณ์</u> (Observer)

ผู้สังเกตการณ์เป็นส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่งต่อการมองเห็นสี กล่าวคือ เมื่อแสงส่องกระทบวัตถุแล้วสะท่อนเข้าตามนุษย์นั้น ที่ตาของมนุษย์บริเวณเรตินา (Retina) จะมีส่วนไวต่อแสงแตกต่างกันอยู่ 2 ชนิดด้วยกัน คือ ส่วนที่แยกความแตกต่างระหว่างความมืด และความสว่างเรียกว่า Rods และส่วนที่สามารถแยกสีได้เรียกว่า cones แบ่งเป็น 3 ชนิดคือส่วนที่ไวต่อแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน โดยแสงจะไปกระตุ้น cones ให้ส่งสัญญาณผ่านเส้นประสาทตา (Optic nerves) ไปยังสมองและแปลออกมาเป็นสี



รูปที่ 2.1.1.6 แสดงภาพตัดขวางของตามนุษย์

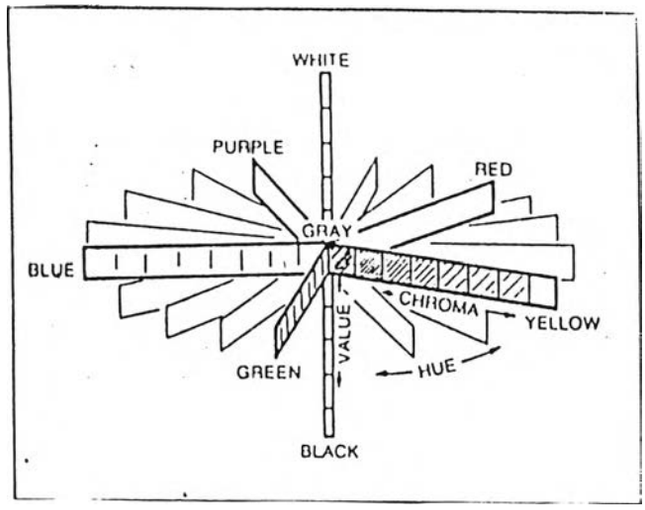
2.1.2 ระบบการวัดสี

การวัดสี หรือบอกลักษณะของสีให้เป็นที่เข้าใจในระดับสากลมีหลายวิธี หลายระบบ แต่ระบบที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ได้แก่

1.) <u>ระบบ Munsell</u>

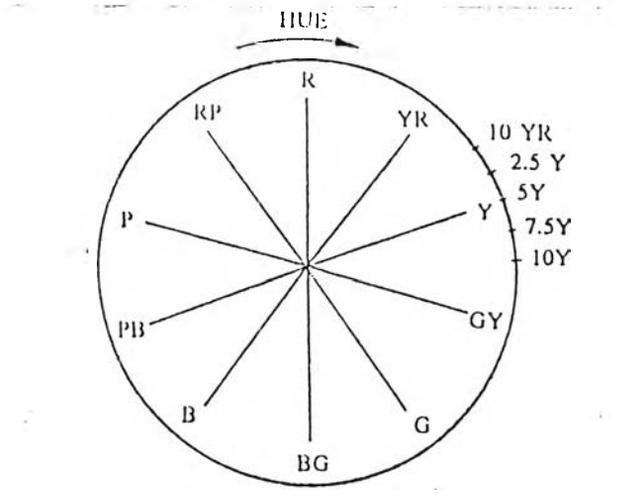
ระบบนี้ได้พัฒนาขึ้นมาโดย Albert Munsell ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1905 ก่อนที่จะมีการนำเครื่องวัดสีมาใช้ในการวัดสี

ระบบ Munsell จะมีพื้นฐานในการจัดลำดับสี คือ การใช้สายตาดูโดยอาศัยคุณสมบัติการมองเห็นสี 3 ประการ คือ Hue, Value และ Chroma ดังแสดงในรูปที่ 2.1.2.1 โดยสีจะถูกจัดลำดับไว้ในชาร์ตที่มี Hue ที่คงที่ ในแถวที่มี Value คงที่ และคอลัมน์ที่มี Chroma คงที่ ระบบ Munsell จะบอกสีโดยใช้ตัวอักษรและตัวเลขคือ hue/value/chroma



รูปที่ 2.1.2.1 แสดง Munsell Color Solid

ระบบ Munsell จะใช้ตัวอักษรบอกถึงค่า hue เช่น R-red, Gr-green และ B-blue โดยมีตัวเลขนำหน้า คือ 2.5, 5, 7.5 และ 10 และกำหนดให้เลข 5 เป็นจุดกลางสำหรับ hue ที่สำคัญ คือ R, YR, Y, GY, BG, B, PB, P, RP ซึ่งเรียงลำดับไว้ดังรูปที่ 2.1.2.2



รูปที่ 2.1.2.2 แสดงการระบุสี (Hue) ในระบบ Munsell

จากรูปที่ 2.1.2.2 จะเห็นว่าถ้าตัวเลขนำหน้า R (red) มากกว่า 5 สีจะไปทาง YR คือ yellow-red และถ้าตัวเลขนำหน้า R น้อยกว่า 5 สีจะไปทาง RP (Red-purple) เป็นเช่นนี้ตบอดวงกลมแสดง hue

Value จะมีค่า 0 – 10 ตัวเลขต่ำบอกถึงสีคล้ำ (dark) และจะต่ำลงไปถึงดำ (/0) ตัวเลขสูงบอกถึงสีอ่อน (lighter) ขึ้นไปจนถึงขาว (10/) สีที่มี value เหมือนกันจะมีการสะท้อนแสง (reflectance) เหมือนกัน

Chroma จะมีค่าตัวเลขจาก neutral gray (-0) ไปถึงสีที่สดใสที่สุด ณ ค่า value ที่คงที่หนึ่ง ๆ

ตัวอย่างการบอกสีของระบบ Munsell เช่นสีหมายเลข 7.5 R 9/2

1. Hue 7.5 R เป็นสีแดงไปทางเหลือง (Yellow-red)
2. Value 9 แสดงถึงสีอ่อน (light color)
3. Chroma 2 แสดงถึงสีไม่อิ่มตัว (ไม่สดใส) คือ saturation ต่ำ

ดังนั้น สีที่มีตัวเลขและอักษรดังกล่าวจึงเป็นสีชมพูซีด (Pale pink)

ระบบ Munsell จัดเป็นระบบที่ตรงกับที่สายตามนุษย์มองเห็นแตกต่างกันเป็นช่วงเท่า ๆ กัน

2.) <u>ระบบ CIE</u>

ระบบ CIE ได้ถูกพัฒนาขึ้นเมื่อ Commission Internationale de I'Eclairage (CIE) ได้เห็นความจำเป็นที่จะต้องมีระบบการวัดสีในรูปของ Objective ที่ไม่ต้องอาศัยประสบการณ์ หรือความคิดของมนุษย์ในการวัดสี โดยจะวัดสีออกมาเป็นตัวเลขซึ่งมีข้อดีอยู่หลายประการคือ

1. เป็นระบบที่ไม่ขึ้นกับการมองเห็นของแต่ละบุคคล ทำให้ลดปัญหาขัดแย้งลงได้
2. เป็นระบบที่วัดสีออกมาเป็นตัวเลข ดังนั้นถึงแม้ชิ้นตัวอย่างจะซีดลงตามกาลเวลา แต่จากตัวเลขที่มีอยู่ก็ยังทราบได้ว่าสีเดิมเป็นอย่างไร
3. เป็นระบบที่สามารถนำไปคำนวณ และทำนายสูตรสีผสมได้ด้วย

ดังได้กล่าวแล้วข้างต้นว่า ปัจจัยในการมองเห็นสีของมนุษย์ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสง วัตถุมีสี และสายตามนุษย์ ดังนั้นถ้าสามารถวัดปัจจัยทั้ง 3 อย่างออกมาเป็นตัวเลขได้แล้วก็สามารถวัดสีออกมาเป็นตัวเลขได้

2.1) <u>แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน</u>

แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการวัดสีนั้น เราสามารถวัดการกระจายพลังงานที่แต่ละความยาวคลื่น (Spectral power distribution) ได้ โดยใช่เครื่อง Spectroradiometer

เนื่องจากการมองเห็นสีของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงที่ต่างกัน จะมีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะการมองเห็นสีของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติจะแตกต่างกันตามวันเวลา ภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ดังนั้น ในการตรวจสอบตัวอย่างสีในทางอุตสาหกรรมจึงต้องใช้แหล่งกำเนิดแสงประดษฐ์ที่สามารถทำการปรับเทียบมาตรฐานได้ และมีคุณภาพของแสงที่คงที่ ระบบ CIE จึงจำเป็นต้องกำหนดมาตรฐานของแหล่งกำเนิดแสงดังนี้

2.1.1) <u>Illuminant A</u>

มีการกระจายพลังงานใกล้เคียงกับหลอดไฟทังสเตน หรือ หลอดไฟ Incandescence มี color temperature ประมาณ 2848°K

2.1.2) Illuminant B

เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ได้จากการนำ Illuminant A มาผ่าน filter ใช้แทนแสงแดดตอนเที่ยง มี Color temperature ประมาณ 4900°K

2.1.3) Illuminant C

เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ได้จากการนำ Illuminant A มาผ่าน filter ใช้แทนแสงแดดตอนเที่ยง มี Color temperature ประมาณ 6700°K

2.1.4) Illuminant D

เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้แทนแสงแดดตอนกลางวันเช่นกัน แต่จะแบ่งละเอียดตาม Color temperature จากสีเหลืองจนถึงสีน้ำเงิน เช่น D55, D60, D65 และ D75

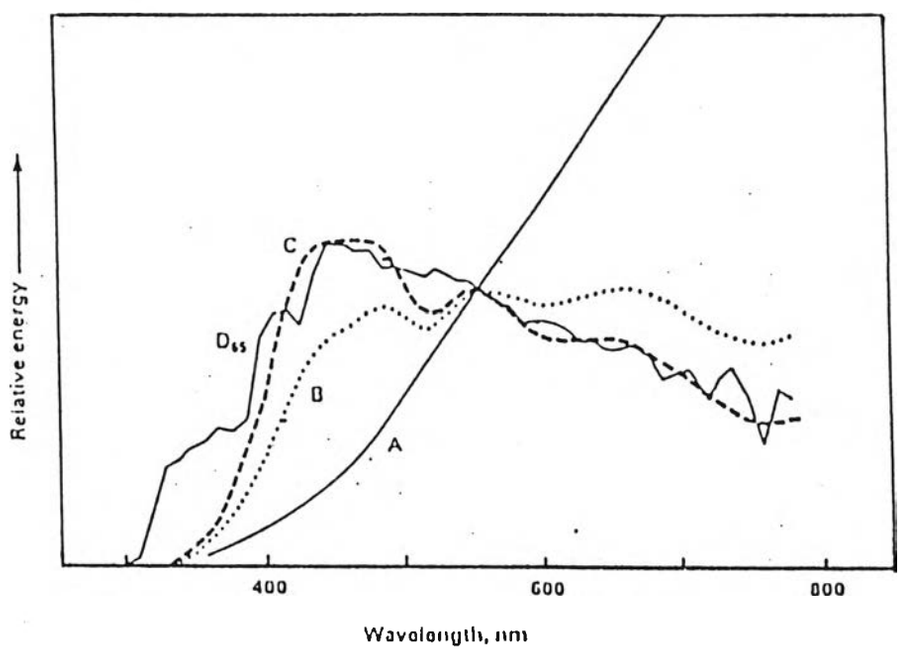
โดย D65: D = Daylight

65 = Color temperature ของแสงแดดตอนกลางวัน 6500°K

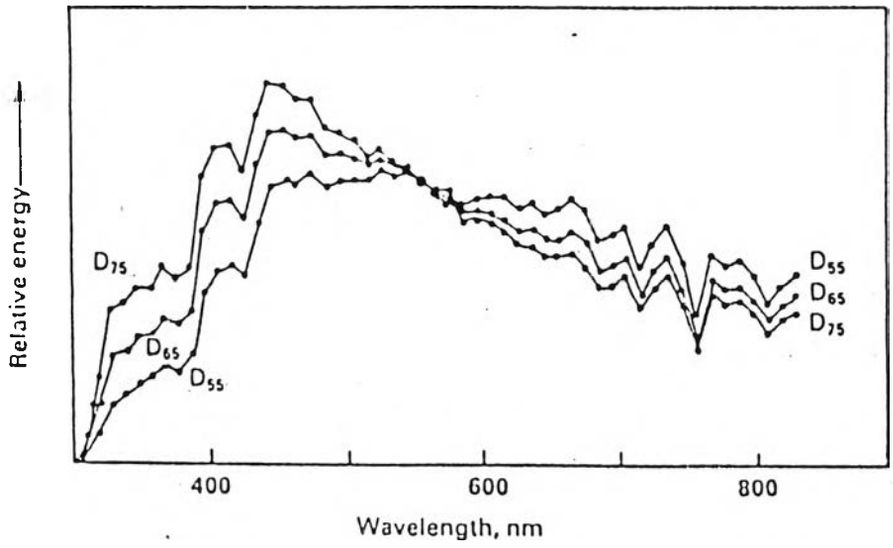
D75: D = Daylight

75 = Color temperature ของแสงแดดตอนกลางวัน 7500°K

Illuminant D ที่มีตัวเลขน้อยต่อท้ายจะมีสีออกเหลืองมากกว่าที่มีตัวเลขมาก Illuminant D ยิ่งมีตัวเลขมากเท่าไรก็จะยิ่งมีสีออกฟ้าหรือน้ำเงินมากขึ้นเท่านั้น อย่างไรก็ตาม Illuminant D65 ก็เป็นที่นิยมใช้มากที่สุด



รูปที่ 2.1.2.3 แสดงการกระจายพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน CIE ต่าง ๆ กัน

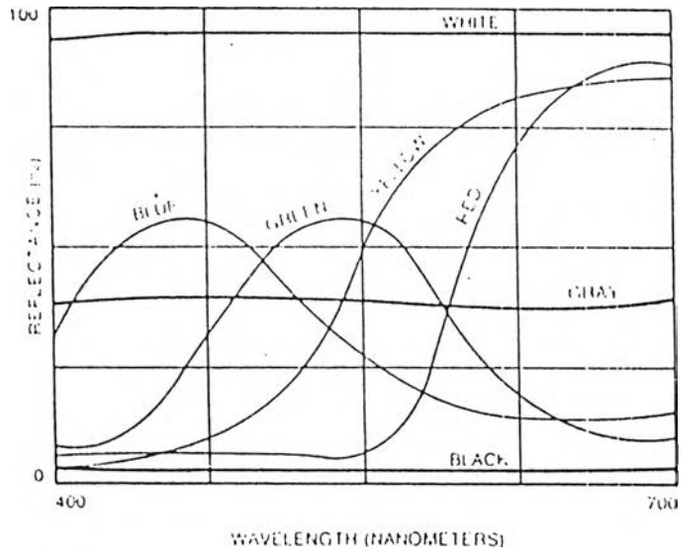


รูปที่ 2.1.2.4 แสดงการกระจายพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน D55, D65 และ D75

2.2) <u>วัตถุมีสี</u>

แสงสะท้อนออกมาจากวัตถุสามารถวัดออกมาเป็นตัวเลขได้ โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Spectrophotometer ซึ่งจะวัดปริมาณการสะท้อนแสงของวัตถุเปรียบเทียบกับมาตรฐานอ้างอิง (Reference) ได้เป็น reflectance curve ดังรูปที่ 2.1.2.5 วัตถุที่มีสีแตกต่างกันจะมี reflectance curve ต่างกัน เช่น

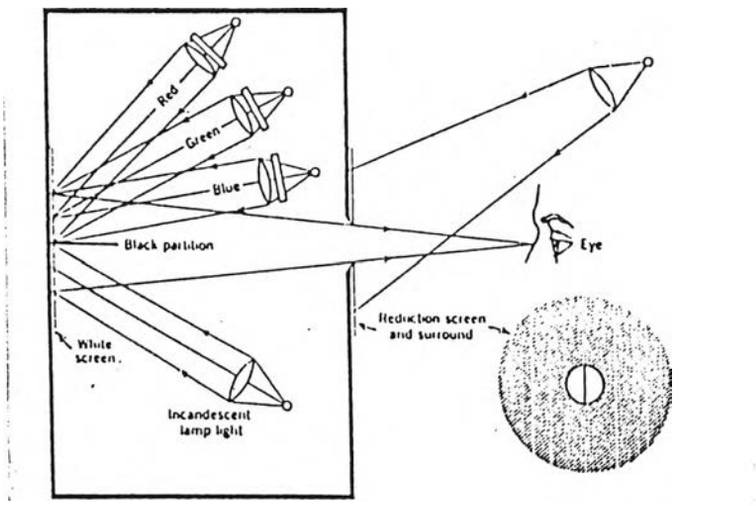
วัตถุสี ขาว แสงจะสะท้อนที่ทุกความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร
" " น้ำเงิน " " มากที่ความยาวคลื่น 430 – 460 "
" " เขียว " " มากที่ความยาวคลื่น 500 – 530 "
" " เหลือง " " มากที่ความยาวคลื่นของแสงสีเขียว เหลือง และแดง แต่จะมีการสะท้อนแสงต่ำมากที่ความยาวคลื่นของแสงสีน้ำเงิน
" " แดง " " มากที่ความยาวคลื่น 620 – 700 นาโนเมตร
" " ดำ มีการสะท้อนแสงต่ำมากที่ทุกความยาวคลื่น



รูปที่ 2.1.2.5 แสดง Reflectance curve ของวัตถุสีต่าง ๆ

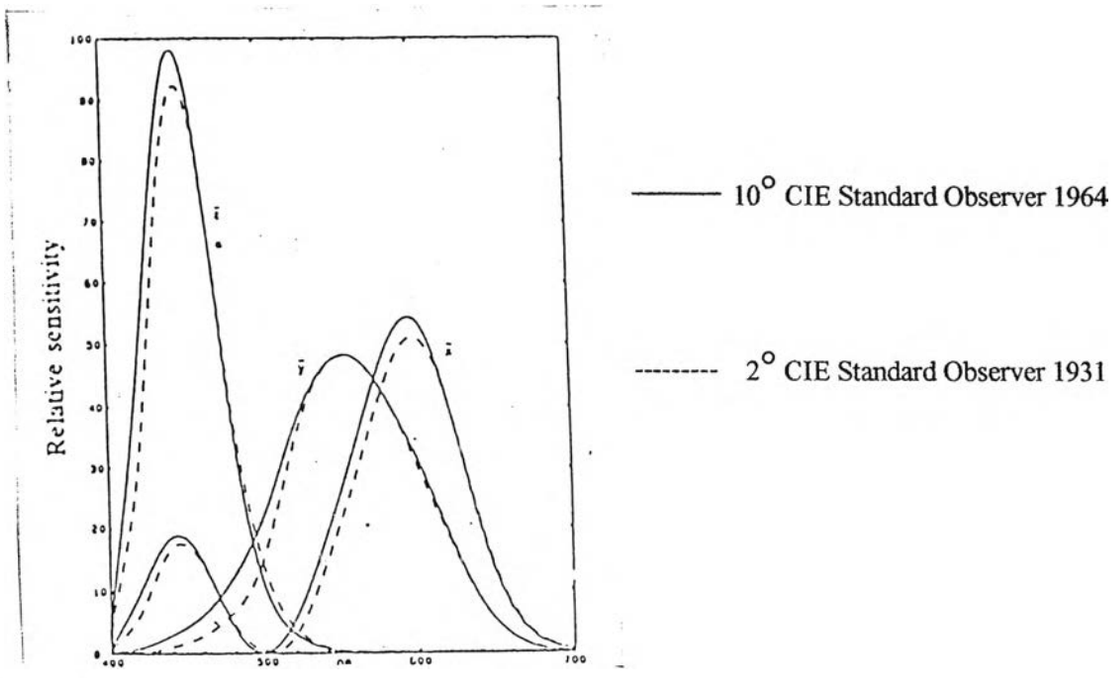
2.3) ผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน

การวัดสีออกมาเป็นตัวเลข ต้องสามารถหาปริมาณการตอบสนองของตามนุษย์ต่อแสงสีแดง เขียว และน้ำเงินได้ โดยนักวิทยาศาสตร์ 2 ท่าน คือ Wright และ Guild ได้ทำการทำทดลอง โดยฉายแสงตัวอย่างหลอดความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร ลงบนจอสีขาวด้านล่างส่วนจอด้านบนจะส่องด้วยแสงปฐมภูมิ แสดงสีแดงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร แสงสีเขียวความยาวคลื่น 546.1 นาโนเมตร และแสงสีน้ำเงินที่ความยาวคลื่น 435.8 นาโนเมตร จากนั้นจะให้ผู้สังเกตการณ์ 17 คน มองผ่านช่องเล็ก ๆ และทำการเทียบสี (Color match) แสงสีแดง เขียว และน้ำเงินที่ส่องมาผสมกันในปริมาณที่แตกต่างกันที่จอด้านบนกับแสงตัวอย่างที่จอด้านล่าง ดังรูปที่ 2.1.2.6



รูปที่ 2.1.2.6 แสดงการทดลองหาปริมาณการตอบสนองของตามนุษย์ต่อแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน โดยการเทียบสี (Color-matching eaperiment)

ผลจากการทดลองดังกล่าวสามารถนำมาหาค่าเฉลี่ยการตอบสนองของตามนษย์ที่ไวต่อแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน ได้ค่าที่เรียกว่า CIE Color-matching function curves 3 curves หรือเรียกว่า 2°1931 CIE Standard Observer ดังรูปที่ 2.1.2.7



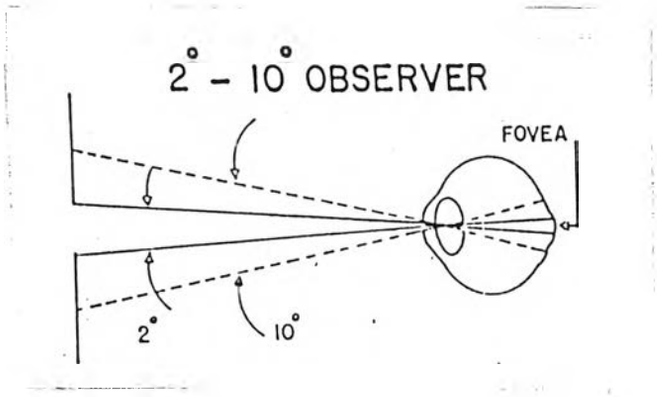
รูปที่ 2.1.2.7 แสดง 2° 1931 CIE Standard Observer และ 10° 1964 CIE Standard Observer

โดย $\bar{x}$ = เส้นกราฟแสดงค่าเฉลี่ยการตอบสนองของตามนุษย์ที่ไวต่อแสงสีแดง

$\bar{y}$ = " " " " เขียว

$\bar{z}$ = " " " " น้ำเงิน

การมองวัตถุด้วยมุม 2° จะทำให้เห็นภาพได้ไม่สมบูรณ์เหมือนการมองวัตถุตามปกติในอุตสาหกรรม เองจากการมองวัตถุด้วยมุมที่แคบเพียง 2° นั้น เป็นการมองที่จัดเดียว ซึ่งมีข้อเสียเพราะภาพจะตกลงบน fovea เท่านั้น แต่เซลล์บนเรตินา คือ cones ซึ่งเป็นเซลล์ที่ไวต่อแสง จะไม่ได้มีเพียงที่บริเวณ fovea เท่านั้น แต่จะอยู่นอกบริเวณ fovea ด้วย ดังนั้นในปี 1964 จึงได้ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งโดยทาการมองวัตถุที่มุมใหญ่ขึ้น คือ 10° ได้ค่าที่เรียกว่า 10° 1964 Standard Observer ซึ่งจะมีการตอบสนองต่อแสงสีน้ำเงินมากกว่าการมองวัตถุที่ 2°



รูปที่ 2.1.2.8 แสดงการมองวัตถุที่มุม 2° และ 10°

2.1.3 CIE Tristimulus Values

จากการทีสามารถหาปริมาณการกระจายพลังงานของแหล่งกำเนิดแสง การสะท้อนแสงของวัตถุ และการตอบสนองของตามนุษย์ที่ไวต่อแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน เป็นตัวเลขได้ดังกล่าวข้างต้นจึงทำให้สามารถคำนวณสี หรือระบุสีของวัตถุได้ออกมาเป็นตัวเลข 3 ค่า คือ X, Y และ Z ดังมีสมการต่อไปนี้

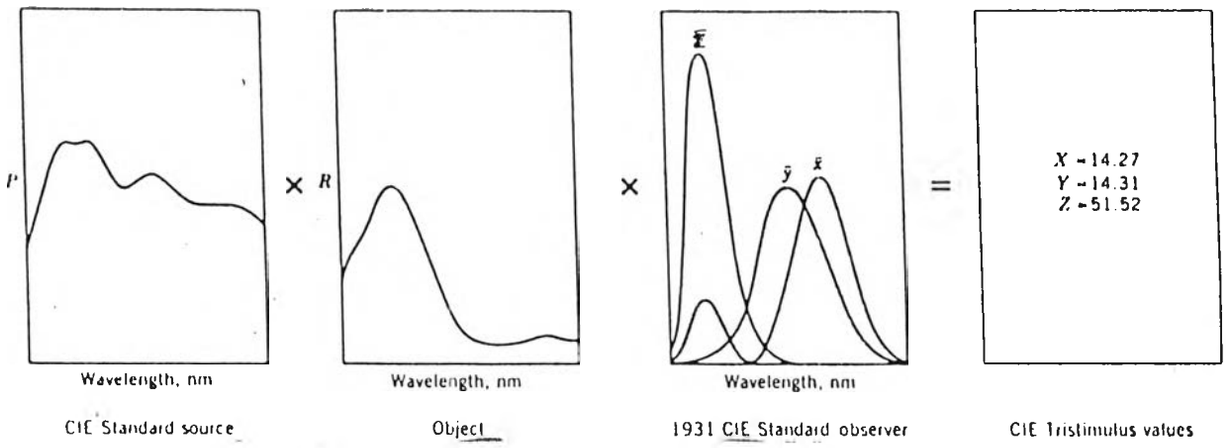
$$X = \sum_{400}^{700} S(\lambda) = R(\lambda) = \bar{x}(\lambda)$$

$$Y = \sum_{400}^{700} S(\lambda) = R(\lambda) = \bar{y}(\lambda)$$

$$Z = \sum_{400}^{700} S(\lambda) = R(\lambda) = \bar{z}(\lambda)$$

Illuminant Sample Eye

ค่า X, Y และ Z ที่ได้เรียกว่า CIE Tristimulus values โดย X จะบอกความเป็นสีแดงของวัตถุ Y จะบอกความเป็นสีเขียวของวัตถุ และ Z จะบอกความเป็นสีน้ำเงินของวัตถุ ซึ่งแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.1.3.1



รูปที่ 2.1.3.1 แสดงค่า CIE Tristimulus Values

จากรูปที่ 2.1.3.1 กราฟของ $\bar{y}$ จะคล้ายคลึงกับกราฟแสดง Human sensitivity ต่อ spectrum มาก จึงสามารถใช้ค่า CIE Tristimulus values, Y บอกทั้งความสว่าง (lightness) และความเป็นสีเขียวของวัตถุได้

2.1.4 CIE Chromaticity coordinates

แม้ว่าเราจะสามารถระบุสีของวัตถุโดยใช้ค่า CIE Tristimulus values หรือ X, Y และ Z ได้ก็ตาม แต่เราก็จำเป็นที่จะต้องเข้าใจหรือหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดังกล่าวกับลักษณะของสีที่มองเห็น เช่น hue, value และ chroma ด้วย ดังนั้นการระบุสีโดยใช้ค่า X, Y และ Z นั้น จึงยังไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากนัก และเพื่อให้การระบุสีโดยใช้ตัวเลขสามารถสื่อความหมายของสีได้ชัดเจนยิ่งขึ้น จะได้มีการคำนวณค่า CIE Chromaticity coordinates จากค่า Tristimulus values ดังนี้คือ

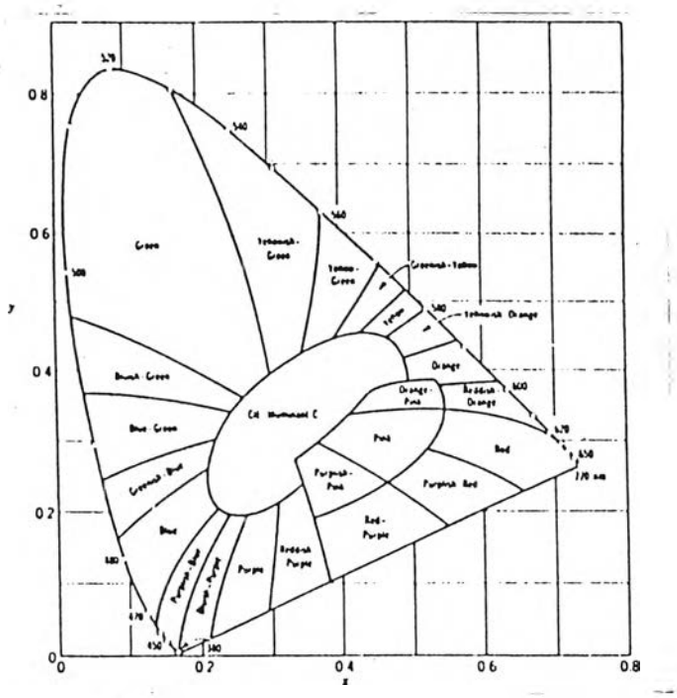
$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

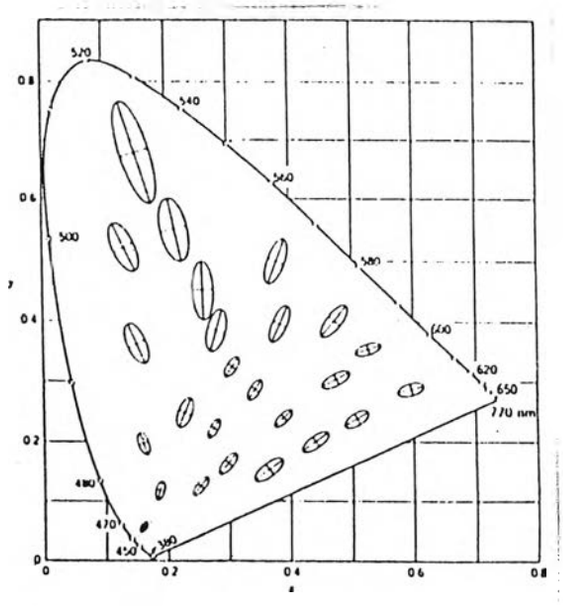
โดย x, y และ z คือ CIE Chromaticity coordinates เมื่อนำค่า x และ y มา plot กราฟจะได้แผนผังที่ใช้บอกสีเรียกว่า CIE Chromaticity diagram ซึ่งมีลักษณะคล้ายเกือกม้า ดังรูปที่ 2.1.4.1 ซึ่ง CIE Chromaticity diagram นี้ จะบอกได้เพียงลักษณะของสีที่เป็นสีที่ปรากฏให้เห็น (hue) และความสดใสของสี (chroma) เท่านั้น แต่ถ้าต้องการบอกลักษณะของสีที่หมายถึง ความสว่างของสี (value หรือ lightness) จะต้องกำหนดด้วยค่า CIE Tristimulus values, Y ดังนั้น ในการระบุสีจึงสามารถระบุด้วยค่า x, y และ Y จึงจะได้ลักษณะของสีที่ครบถ้วน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1.4.1 แสดง CIE Chromaticity diagram

อย่างไรก็ตาม การระบุสีด้วยค่า CIE Chromaticity coordinates (x และ y) จาก CIE Chromaticity diagram ยังมีข้อเสียคือ ส่วนต่าง ๆ ที่แยกบริเวณของสีมีขนาดไม่เท่ากัน แสดงว่าสีแต่ละสีจะมีการกระจายไม่เท่ากัน ไม่สม่ำเสมอ ทำให้เมื่อมองสีด้วยตาแล้วจะมองเห็นความแตกต่างของสีแต่ละจุดใน CIE Chromaticity diagram แปรเปลี่ยนไปกับสีที่เห็น



รูปที่2.1.4.2 แสดง MacAdam Ellipse

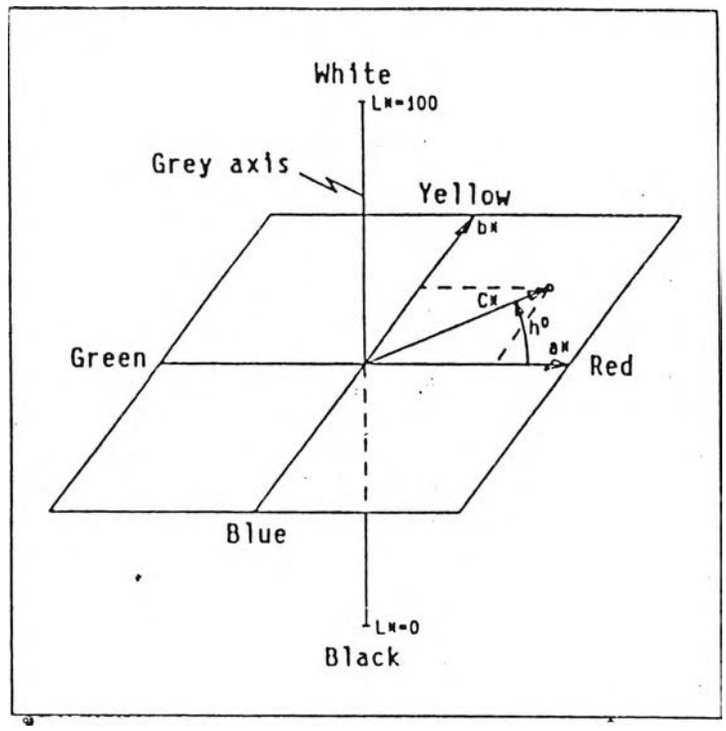
จากรูปที่ 2.1.4.2 แสดงให้เห็นว่าที่ช่วงความยาวคลื่น หรือ Chromaticity coordinates หนึ่ง ๆ สายตามนุษย์จะบอกความแตกต่างของสีได้ไม่เท่ากัน เพราะเส้นขอบเขตที่แสดงความสามารถในการบอกความแตกต่าง (Just noticeable color difference, j. n. d.) นั้นเป็นวงรีและมีขนาดไม่เท่ากัน

กล่าวคือในบริเวณของสีเขียวใบไม้ (Green) จะเป็นบริเวณที่ใหญ่ที่สุด ส่วนบริเวณที่เป็นสีน้ำเงิน (Blue) จะเป็นบริเวณเล็กที่สุด แสดงว่า ค่า x, y (Chromaticity coordinates) ของสีเขียวจะเปลี่ยนไปได้มากโดยที่สายตามนุษย์ยังไม่สังเกตเห็นความแตกต่าง แต่สำหรับสีน้ำเงินแล้วแม้ว่า Chromaticity coordinates จะเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย สายตาของมนุษย์ก็สามารถมองเห็นความแตกต่างได้ง่าย หากตามนุษย์สามารถบอกความแตกต่างของสีได้อย่างสม่ำเสมอแล้ว เส้นขอบเขตที่แสดง j. n. d. ควรจะต้องเป็นวงกลมและมีขนาดเท่ากัน

ดังนั้น จึงไม่เป็นการเหมาะที่จะนำค่า Chromaticity coordinates (x, y และ Y) มาเป็นหลักในการประเมินคุณภาพหรือวัดความแตกต่างของสี

2.1.5 CIE L* a* b* System

เนื่องจากการระบุสีเป็นตัวเลข 2 ระบบ คือระบบที่ระบุตัวเลขด้วยค่า CIE Tristimulus values (X, Y และ Z) และ CIE Chromaticity coordinates (x, y และ Y) ยังมีข้อเสียดังได้กล่าวแล้วข้างต้น จำเป็นต้องมีการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลง CIE Chromaticity coordinates system ไปเป็นระบบใหม่หรือสมการใหม่ที่สามารถบอกความแตกต่างของสีได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งก็ได้ทำการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงกันอย่างมากมาย จนกระทั่งปัจจุบันนี้สมการที่ใช้ในการระบุสีที่เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางก็คือ CIELAB 1976 ซึ่งมีลักษณะของ color space ดังรูปที่ 2.1.5.1



ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

2.1.6 การวัดความแตกต่างของสี (Color differences)

แม้ว่าเราจะสามารถวัดสีออกมาเป็นตัวเลขได้ แต่การใช้ประโยชน์จากการวัดสีออกมาเป็นตัวเลขที่แท้จริงคือ การวัดความแตกต่างของสีตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐานออกมาเป็นตัวเลข

การบอกความแตกต่างของสีตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐานมี 2 วิธี คือใช้ตามนุษย์ และใช้เครื่องวัดสี อย่างไรก็ตามการบอกความแตกต่างของสีโดยใช้ตามนุษย์ ยังมีจุดอ่อนอยู่หลายประการ คือ

1. ตาของมนุษย์แต่ละคนจะมีความสามารถในการมองเห็นสีได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นกับประสบการณ์ การฝึกฝนของแต่ละคน ดังนั้นการบอกความแตกต่างของสีตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน จึงอาจมีความขัดแย้งด้านความคิดได้
2. ตามนุษย์จะบอกความแตกต่างของสี ณ จุดต่าง ๆ บน Chromaticity diagram ได้ไม่เท่ากัน
3. ตามนุษย์จะปรับตัวให้เข้ากับสีที่ใกล้เคียงกันได้ง่ายมาก
4. ความสามารถในการมองเห็นสีขึ้นกับแสงที่ส่องผิวหน้า และขึ้นกับมุมที่ตกมองผิวหน้าของวัตถุมีสี
5. ตามนุษย์ไม่สามารถบันทึกหรือบอกค่าที่แน่นอนได้ว่า สีของตัวอย่างจะซีดไปมากน้อยเพียงใดเมื่อเวลาผ่านไป และสีเดิมเป็นอย่างไร

ดังนั้นการใช้เครื่องวัดสีในการบอกความแตกต่างของสีตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน จะทำให้สามารถควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีมาตรฐาน และเป็นการช่วยให้การตัดสินใจง่ายขึ้น ลดความขัดแย้งระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายถ้าไม่มีการตกลงกันตั้งแต่ต้น

ตารางที่ 2.1.6.1 แสดงค่าของสีในระบบต่าง ๆ ที่วัดได้จากเครื่องวัดสี

	Colour coordinates			CIELAB 76				(D65/10)
S A M P L E	X	Y	Z	a*	b*	L*	C*	h*
1 YELLOW	62.53	69.06	9.57	-6.7	87.4	86.5	87.7	94.4
c= .443	.4430	.4893						
2 GOLDEN YELLOW	52.26	43.36	6.10	31.5	74.5	71.8	80.9	67.1
c= .745	.5137	.4263						
3 ORANGE	43.39	31.10	4.98	46.6	63.6	62.6	78.9	53.8
c= 1.325	.5461	.3913						
4 SCARLET	33.29	20.08	5.81	59.9	41.5	51.9	72.9	34.7
c= 1.492	.5625	.3393						
5 RED	27.86	14.94	11.65	67.1	10.7	45.5	67.9	9.1
c= 1.986	.5116	.2744						
6 VIOLET	9.32	7.17	28.82	23.1	-45.9	32.2	51.4	296.7
c= 1.722	.2058	.1583						
7 BLUE	9.00	9.00	37.73	4.0	-51.5	36.0	51.7	274.5
c= 3.560	.1615	.1615						
8 BLUE GREEN	5.84	8.84	17.40	-25.3	-20.0	35.7	32.2	218.3
c= 2.000	.1820	.2756						
9 GREEN	9.83	17.30	9.74	-43.7	21.6	48.6	48.7	153.7
c= .733	.2667	.4692						
10 YELLOW GREEN	24.84	36.10	7.94	-36.1	58.4	66.6	68.7	121.7
c= .922	.3606	.5241						
11 YELLOW BROWN	11.48	10.57	4.44	11.0	25.4	38.8	27.7	66.7
c= 1.214	.4334	.3990						
12 BROWN	7.63	6.85	4.22	11.2	13.8	31.5	17.8	50.9
c= 1.560	.4077	.3664						
13 RED BROWN	6.58	5.63	5.60	13.8	1.9	28.5	13.9	7.9
c= 1.670	.3693	.3161						
14 GREY	4.97	5.21	5.71	.4	-.5	27.3	.7	308.4
c= 2.200	.3129	.3277						

ความแตกต่างของสีที่วัดได้ ควรจะเป็นตัวเลขที่สามารถบอกความแตกต่างของสี การยอมรับ และบอกขนาดของความแตกต่างของสีได้เหมือนกับที่ตามนุษย์มองเห็น ค่าความแตกต่างของสีที่นิยมใช้ในปัจจุบันมี 2 สมการ คือ

2.1.6.1 <u>CIELAB Color Differences Equation</u>

การวัดความแตกต่างของสีตัวอย่างกับมาตรฐาน สามารถหาได้จากค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสว่าง, ความเป็นสีแดง – เขียว และความเป็นสีเหลือง – น้ำเงิน ดังนี้คือ

dL* = L* ของตัวอย่าง – L* ของตัวอย่างมาตรฐาน

ถ้า dL* = + แสดงว่า ตัวอย่างมีความสว่างมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (Lightness)

dL* = - แสดงว่า ตัวอย่างจะมืดกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (Darker)

da* = a* ของตัวอย่าง – a* ของตัวอย่างมาตรฐาน

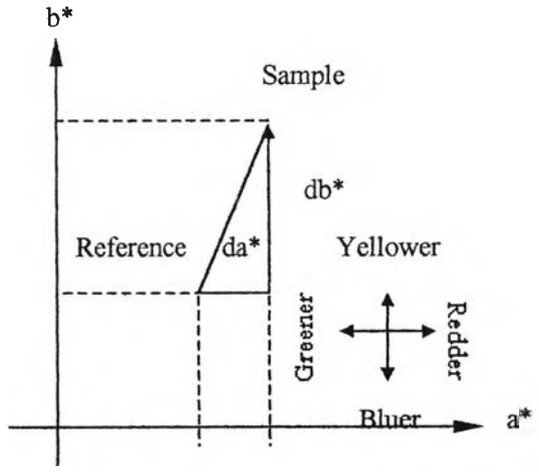
ถ้า da* = + แสดงว่า ตัวอย่างแดงกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (redder)

da* = - แสดงว่า ตัวอย่างเขียวกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (greener)

db* = b* ของตัวอย่าง – b* ของตัวอย่างมาตรฐาน

ถ้า db* = + แสดงว่า ตัวอย่างเหลืองกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (yellowier)

db* = - แสดงว่า ตัวอย่างน้ำเงินกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (bluer)

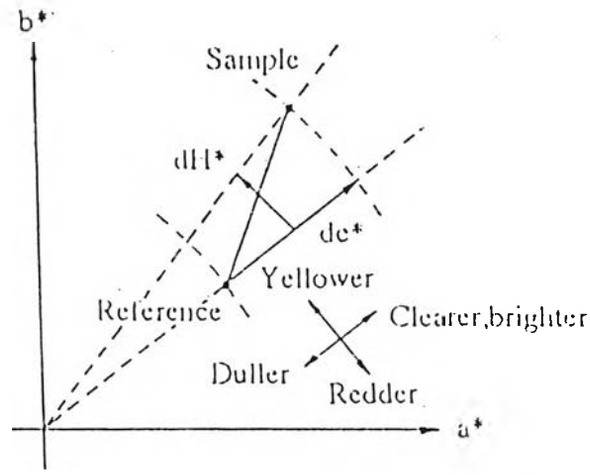


รูปที่ 2.1.6.1.1 แสดงค่า da* และ db* ในระบบ CIELAB

นอกจากจะบอกความแตกต่างด้วยค่า dL*, da* และ db* แล้ว ก็ได้กำหนดให้มีค่าตัวเลขเดียว ซึ่งแทนค่าความแตกต่างของสีระหว่างตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน (Total color difference, dE*)

โดย $dE^* = (dL^{*2} + da^{*2} + db^{*2})^{1/2}$

นอกจากนี้ เราก็ยังสามารถบอกความแตกต่างของสีให้สอดคล้องหรือใกล้เคียงกับที่ตามองเห็นในแง่ของสีที่ปรากฏ และความสดใสของสีได้จากค่า dH* และ dC* ดังรูปที่ 2.1.6.1.2



รูปที่ 2.1.6.1.2 แสดงค่า dH* และ dC* ในระบบ CIELAB

โดย $dH^* = (dE^{*2} - dL^{*2} - dC^{*2})^{1/2}$

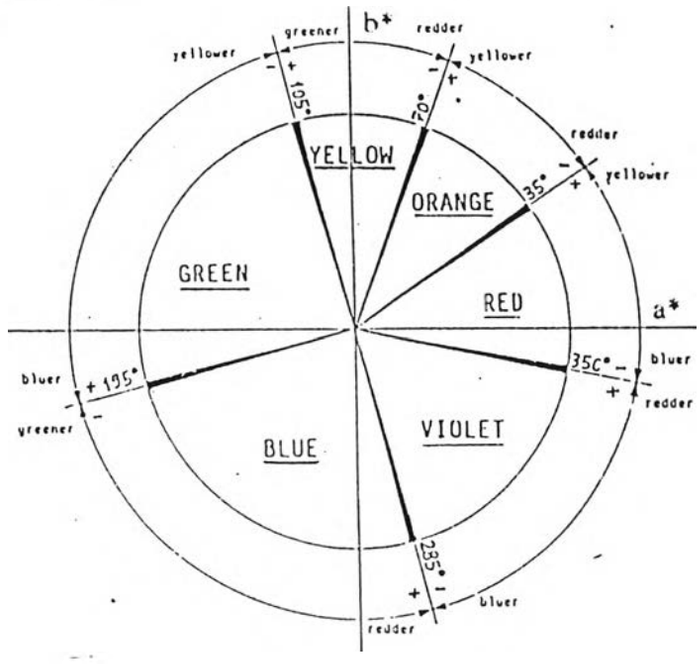
ซึ่งเครื่องหมายของ dH* จะเหมือนกับ dH° กล่าวคือ ถ้า dH° เป็น + dH* ก็จะมีเครื่องหมาย + ถ้า dH° เป็น - dH* ก็จะมีเครื่องหมายเป็น – เช่นกัน

dC* = C* ของตัวอย่าง – C* ของตัวอย่างมาตรฐาน

ถ้า dC* = + แสดงว่าตัวอย่างมีความสดใสมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (Brighter)

dC* = - แสดงว่าตัวอย่างมีความตุ่นมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (Duller)

สำหรับ dH* จะแสดงความหมาย yellowier, redder, bluer หรือ greener เท่านั้น ทั้งนี้ขึ้นกับว่าค่า dH* นั้นเป็น + หรือ - และสีมีค่า hue angle อยู่ใน segment ที่เท่าไร ดังรูปที่ 2.6.1.1.3



รูปที่ 2.1.6.1.3 แสดงความหมายของ dH* ในระบบCIELAB

โดยทั่วไปค่า dE* ที่ทางอุตสาหกรรมให้การยอมรับจะมีค่าประมาณ 1 – 2 หน่วย แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นกับสี และทิศทางการเบี่ยงเบนของสีด้วย เช่น สีแดงสดที่มีค่าความแตกต่างของสี (dE*) = 1.0 เท่ากับสีเทาอ่อน แต่ตาของมนุษย์จะมองเห็นสีเทาอ่อนที่มีค่า dE* = 1.0 แตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐาน ในขณะที่ตัวอย่างสีแดง ตามนุษย์กลับมองไม่เห็นความแตกต่างของสีเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างมาตรฐาน หรือ ชิ้นตัวอย่างสีน้ำเงินที่มีค่า dE* = 1 พบว่าเราสามารถมองเห็นความแตกต่างของสีได้เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างมาตรฐาน ในขณะที่ชิ้นตัวอย่างสีเหลืองทีมีค่า dE* = 1 เท่ากัน เรากลับยังมองไม่เห็นความแตกตางของสีเมื่อเปรียบเทียบกับัวอย่างมาตรฐาน

2.1.6.1 CMC (I : c) Color Difference Equation

แม้ว่าเราจะมีสมการวัดความแตกต่างของสีในระบบ CIELAB แล้วก็ตาม แต่ก็ได้มีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงให้สมการ CIELAB สามารถใช้งานได้สอดคล้องกับการมองเห็นของตามนุษย์มากขึ้น ไม่เปลี่ยนแปลงตามสี และทิศทางการเบี่ยงเบนของสี โดยการหา factor มาคำนวณเข้ากับค่า lightness, chrome และ (L, C และ H) ซึ่งจะทำให้ผลของการวัดความแตกต่างของสีมีความแม่นยำมากขึ้น

สมการวัดความแตกต่างของสีที่ได้มาจากการปรับปรุงดังกล่าว ได้แก่สมการ JPC 79 (J & P Coats, 1979) สมการ M & S 83A (Mark & Spencer and ICS) และ CMC (Color Measuring Committee, Society of Dyers and Colorists (SDC)) ซึ่งปรับปรุงมาจากสมการ JPC 79

สมการวัดความแตกต่างของสี CMC (l :c) เป็นสมการที่ดัดแปลงมาจากสมการ CIELAB COLOR DIFFERENCE เพื่อให้สามารถวัดความแตกต่างของสีได้ทั้งในรูปของสีที่เห็น (perceptibility) และขนาดของความแตกต่างของสีที่จะยอมรับได้ (acceptability) ปัจจุบันเป็นที่นิยมและนำมาใช้อย่างกว้างขวาง เพราะจะให้ความแม่นยำถูกต้องในการบอกความแตกต่างของสี (hue) และความเข้มของสี (depth of shade) โดย dE_{cmc} จะมีสมการดังนี้

$$dE_{CMC} = \left\{ \left(\frac{dL^*}{l\,S_L} \right)^2 + \left(\frac{dC^*}{c\,S_C} \right)^2 + \left(\frac{dH^*}{S_H} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

โดย $S_L = 0.040975\,L^* / (1+0.01765\,L^*)$ สำหรับสีที่มีค่า $L^* > 16$

$S_L = 0.511$ สำหรับสีที่มีค่า $L^* < 16$

$S_C = 0.0638\,C^* / (1+0.0131\,C^*) + 0.638$

$S_H = S_C\,(Tf + 1 - f)$

$f = \{(C^*)^4 / [(C^*)^4 + 1900]\}^{1/2}$

$T = 0.36 + |\,0.4 \cos(h + 35)\,|$ สำหรับสีที่มีค่า hue angle ที่น้อยกว่า 164° และมากกว่า 345°

$T = 0.56 + |\,0.2 \cos(h + 168)\,|$ สำหรับสีที่มีค่า hue angle ที่อยู่ระหว่าง 164° และ 345°

l = lightness weighting term

c = chroma หรือ depth of shade weighting term

l = 1 และ c = 1 ถ้าเป็นการพิจารณาความแตกต่างของสีระหว่างตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐานที่มองเห็น (Perceptibility judgments)

l = 2 และ c = 1 ถ้าเป็นการพิจารณาความแตกต่างของสีระหว่างตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐานที่จะยอมรับได้ (Acceptability judgments)

โดยทั่วไปแล้วการวัดความแตกต่างของสี (dE_{cmc}) เพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์สิ่งทอ จะใช้ l = 2 และ c = 1

การนำสมการ CIELAB L* C* H* มาพิจารณาความแตกต่างของสีที่มองเห็นร่วมกับการนำสมการ CMC (l :c) มาใช้พิจารณาความแตกต่างของสีที่จะยอมรับได้ (Visual acceptance) พบว่าจะเป็นการทำให้ผู้ใช้มีความมั่นใจในการนำเครื่องวัดสีมาใช้ในการวัดค่าความแตกต่างของสีที่ได้ผลและเชื่อถือได้ อาจกล่าวได้ว่า ความสามารถในการบอกความแตกต่างของสีเป็นตัวเลขนั้น ได้กลายเป็นเครื่องมือทางอุตสาหกรรมอย่างหนึ่งแล้ว ที่จะควบคุมสีของผลิตภัณฑ์ของบริษัทให้ได้ตามความต้องการของลูกค้า

2.2 เครื่องวัดสีในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยเฉพาะในการพิมพ์ย้อมสี การเทียบสีนับเป็นเรื่องที่มีความสำคัญยิ่ง เพราะในการพิมพ์หรือย้อมก็ดี โรงงานมักจะต้องพิมพ์หรือย้อมให้ได้สีตามที่ได้มีการกำหนดไว้ล่วงหน้า ดังนั้น โรงงานจึงจำเป็นต้องมีช่างผู้ชำนาญในการเทียบสีไว้คอยตรวจสอบความถูกต้องของสีที่ได้ และรวมทั้งทำการปรับสูตรสีในกรณีที่จำเป็นด้วย ในอุตสาหกรรมการตัดเย็บแต่ละครั้งมักจะมีปริมาณมาก ผ้าอาจจะผ่านการย้อมมาคนละครั้ง ทำให้สีที่ได้แตกต่างกันไปบ้าง ดังนั้น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาการนำผ้าต่างสีมาตัดเย็บในเสื้อตัวเดียวกัน โรงงานจึงจำเป็นต้องทำการจัดกลุ่มผ้า (Shade sorting) โดยการนำผ้าแต่ละชุดมาเทียบกับผ้ามาตรฐานแล้วจัดผ้าที่มีสีใกล้เคียงกันไว้ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งการที่จะปฏิบัติงานเทียบสีดังกล่าวได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และแม่นยำนั้น นอกจากจะต้องอาศัยผู้ที่มีสายตาดี มีประสาทการรับแสงที่ปกติแล้ว ยังต้องอาศัยความชำนาญจากการฝึกฝนเป็นแรมปีด้วย ถึงกระนั้นก็ดีการเปรียบเทียบสีโดยใช้คนก็ยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ ที่สำคัญคือการเทียบสีโดยใช้สายตาคนไม่มีมาตรฐานที่แน่นอน ผลการเทียบสีจะเปลี่ยนไปได้เมื่อเปลี่ยนคนดู หรือเปลี่ยนสภาพแวดล้อมในการดู นอกจากนี้การใช้สายตาคนก็ไม่สามารถให้ผลการตรวจวัดออกมาเป็นตัวเลขที่มีค่าแน่นอน ทำให้ยากแก่การสื่อความหมาย และเปิดช่องให้มีการขัดแย้งระหว่าง 2 ฝ่ายได้ ดังนั้น เพื่อเป็นฯการแก้ปัญหาดังกล่าว จึงได้มีความพยายามที่จะนำเครื่องวัดสีมาใช้แทน เพื่อให้ผลการวัดเป็ฯตัวเลขที่มีค่าแน่นอนตามมาตรฐานสากลเป็นที่ยอมรับกันได้ทั่วไป ปัจจุบันความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีการวัดสีและด้านคอมพิวเตอร์ ได้ทำให้การพัฒนาเครื่องวัดสีที่มีสมรรถนะในการใช้งานที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ จนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมสิ่งทอในด้านต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง ช่วยให้โรงงานสามารถลดค่าใช้จ่ายในการพิมพ์ย้อม ช่วยเพิ่มประสิทธ์ภาพในการผลิตและการใช้วัตถุดิบ ตลอดจนช่วยให้การควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์สิ่งทอเป็นไปอย่างมีหลักเกณฑ์ และมีมาตรฐานที่เชื่อถือได้ดียิ่งขึ้น

ปัจจุบัน ได้มีหลายบริษัทผลิตเครื่องวัดสีเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอขึ้นมามากมาย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน คือ

1. หน่วยวัดสี (Colorimeter หรือ Spectrophotometer)
2. เครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer)
3. แผ่นโปรแกรม (Software)

2.2.1 หน่วยวัดสี

หน่วยวัดสีนับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของเครื่องวัดสี เนื่องจากข้อมูลทุกอย่างที่ป้อนเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ได้มาจากส่วนนี้ทั้งสิ้น โดยทั่วไปหน่วยวัดสีของบริษัทผู้ผลิตชั้นนำจะถูกออกแบบให้ประกอบด้วยว่าส่วนประกอบพื้นฐาน 6 ส่วนคือ

1.) แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)

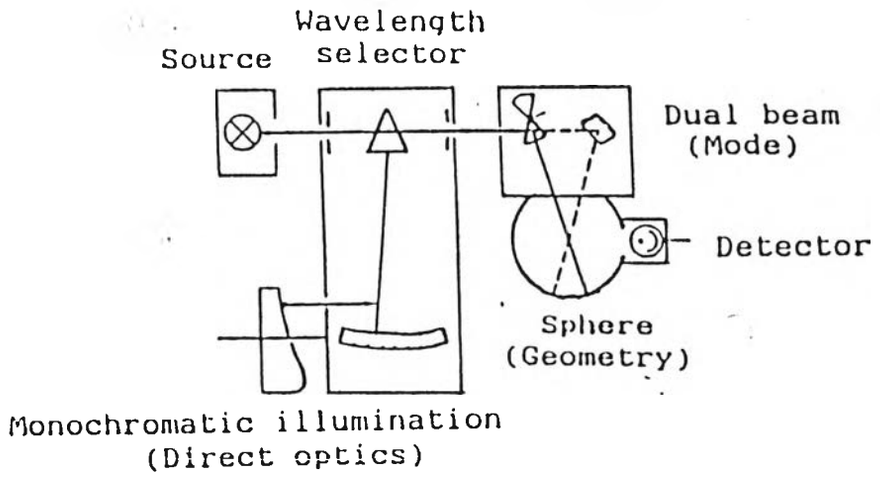
2.) หน่วยแยกแสง (Wavelength Selector, Monochromator)

3.) หน่วยรับแสง (Detector)

4.) ช่องวัดแสง (Measuring Geometry)

5.) การวางหน่วยแยกแสง (Optical Arrangement)

6.) Measurement mode



รูปที่ 2.2.1 .1 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ในหน่วยวัดสี

เราสามารถจำแนกประเภทของหน่วยวัดสีที่มีอยู่ทั่วไปเป็น 2 ประเภท ตามวิธีการวัดสีดังนี้

ก. <u>หน่วยวัดสีที่มีวิธีวัดแบบใช้แผ่นกรองแสง</u>

หน่วยวัดสีประเภทนี้ เรียกว่า "Trichromatic Colorimeter" ซึ่งจะทำการวัดค่าการสะท้อนของแสงจากตัวอย่างเฉพาะแสงที่เป็นแม่สี คือ แสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน เพียง 3 ค่า เท่านั้น คือ ค่า Reflectance factors – R_X, R_Y และ R_Z โดยให้แสงที่สะทอนจากวัตถุส่องผ่านแผ่นกรองแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน ค่าการสะท้อนแสงดังกล่าวจะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณค่า Tristimulus values (X, Y และ Z) ของตัวอย่างและค่าของสีในระบบต่าง ๆ ได้เช่นกัน

ข้อดีของการวัดสีด้วยวิธีวัดแบบใช้แผ่นกรองแสง คือ

- สามารถวัดสีได้เร็วมาก
- วัดสีได้ใกล้เคียงกับที่สายตามนุษย์มองเห็นสี
- ราคาต่ำ

ข้อเสียของการวัดสีด้วยวิธีวัดแบบใช้แผ่นกรองแสง คือ

- การเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการวัดสีเป็นเรื่องที่ยากลำบาก และทำได้นอบเขตที่จำกัด
- ใช้ได้เฉพาะกับตัวอย่างที่ไม่มีปัญหาการเกิด "Metamerism"
- ไม่สามารถจำกำจัดการแปรเปลี่ยนของชิ้นส่วนอุปกรณ์การวัด เช่น หลอดไฟหรือแหล่งกำเนิดแสง แผ่นกรองแสง ได้โดยการปรับเทียบเครื่อง ดังนั้นเครื่องจะมีผลการทวนซ้ำ (Reproducibility) ที่ไม่ดีนักในระยะยาว
- ไม่สามารถนำมาใช้ในการทำนายสูตรสีย้อมได้

ข. <u>หน่วยวัดสีที่ใช้วิธีวัดแถบแสง</u>

หน่วยวัดสีประเภทนี้ เรียกว่า "Spectrophotometer" ซึ่งจะให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงผ่าน "Monochromator" เช่น ปริซึม ทำให้สามารถวัดค่าการสะท้อนของแสงจากตัวอย่างที่ ความยาวคลื่นต่าง ๆ ตั้งแต่ 400 – 700 นาโนเมตร ปกติจะวัดรวม 16 ค่า

ข้อดีของการวัดสีด้วยวิธีวัดแถบแสง คือ

- สามารถเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงได้โดยง่าย และไม่มีข้อจำกัด
- สามารถกำจัดการแปรเปลี่ยนของชิ้นส่วนอุปกรณ์การวัดได้ด้วยการปรับเทียบเครื่องโดยใช้แผ่นสีขาวและดำมาตรฐาน
- สามารถใช้ระบุตัวอย่างที่มีปัญหาการเกิด "Metamerism" ได้
- มีเสถียรภาพในระยะยาวสูง
- มีโอกาสที่จะเปรียบเทียบค่าจากต่างเครื่องค่อนข้างสูง
- สามารถทำนายสูตรสีผสม และแก้ไขสูตรได้
- สามารถคำนวณค่าของสีในระบบต่าง ๆ ได้ เพื่อประโยชน์ในการคำนวณค่าความแตกต่างของสี

ข้อเสียของการวัดสีด้วยวิธีวัดแถบแสง คือ

- มีราคาค่อนข้างสูง

ปัจจุบันหน่วยวัดสี และเครื่องวัดสีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมสิ่งทอ จะใช้วิธีวัดแถบแสงเกือบทั้งสิ้น เรียกว่า "Reflectance Spectrophotometer"

"Reflectance Spectrophotometer" เป็นหน่วยวัดสีที่จะทำการวัดอัตราส่วนของแสงที่สะท้อนจากผิวของวัตถุทึบแสงที่ตกกระทบตลอดความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 – 700 นาโนเมตร ตลอดความยาวคลื่น 400 - 700 นาโนเมตร

2.2.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของหน่วยวัดสี

โดยทั่วไปหน่วยวัดสีจะมีส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญอยู่ 6 ส่วนคือ

1) แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)

แหล่งกำเนิดแสง หรือ หลอดไฟที่ใช้ในหน่วยวัดสีจะเป็นชนิดใดก็ได้ที่ให้แสงออกมาอย่างสม่ำเสมอตลอดความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 – 700 นาโนเมตร ที่นิยมใช้กันมากได้แก่ หลอดไฟทังสเตน (Tungsten Lamp) หลอดไฟทังสเตนฮาโลเจน (Tungsten-halogen lamp) หลอด Quartz Tungsten-halogen lamp (QTH) หรือ หลอดไฟซีนอนอาร์ค (Xenon arc lamp)

ถ้าตัวอย่างที่วัดไม่มีสารเรืองแสง (Non-fluorescent materials) หลอดไฟที่ใช้ในหน่วยวัดสีจะเป็นชนิดใดก็ได้ แต่ถ้าตัวอย่างที่วัดมีสารเรืองแสง (fluorescent materials) หรือตัวอย่างที่วัดเป็นผ้าที่ผ่านการตกแต่งขาวด้วยสารตกแต่งขาว (Optical brightening agent) หลอดไฟที่ใช้จะต้องปรับให้เป็นหลอดที่มีรับสีอัลตราไวโอเลต (UV) อยู่ด้วย เพื่อให้ใกล้เคียงกับแสงแดดนั่นเอง ดังนั้นโดยทั่วไปหลอดไฟที่เหมาะสำหรับวัดตัวอย่างที่มีสารเรืองแสง คือ หลอดไฟซีนอนอาร์ค ส่วนหลอดไฟทังสเตน หรือ Incandescent lamp ที่มีแผ่นกรองแสงสีน้ำเงินจะมีรับสีอัลตราไวโอเลตไม่เข้มพอที่จะไปกระตุ้น (excite) สารเรืองแสงได้ จึงไม่เหมาะที่จะนำมาวัดตัวอย่างดังกล่าว นอกจากจะใส่หลอด UV เพิ่มเข้าไป

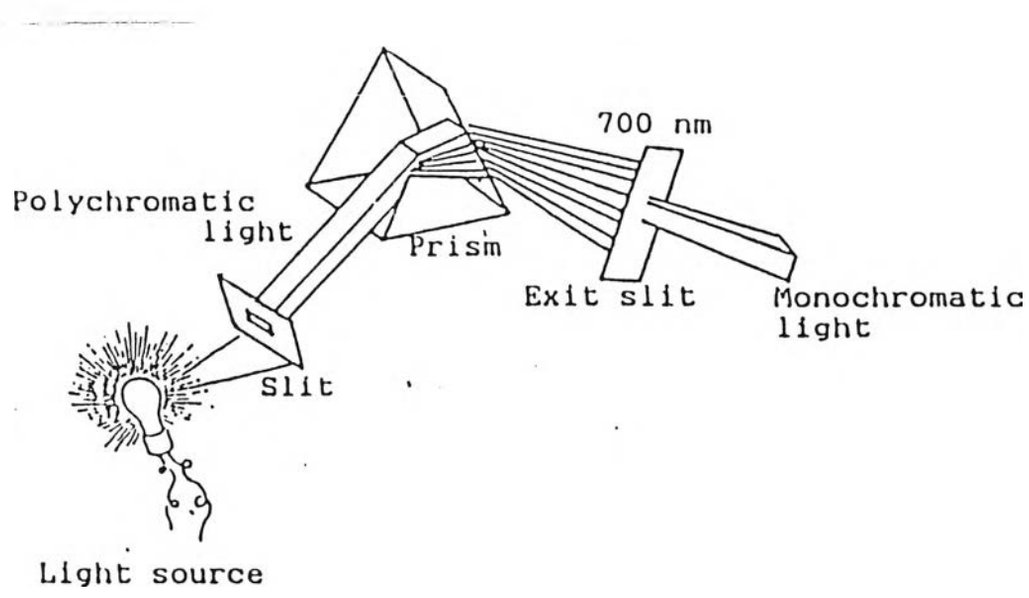
แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้โดยทั่วไปในเครื่อง Reflectance Spectrophotometer ในปัจจุบันมีอยู่ 2 ชนิด คือ Xenon flash lamp และ Tungsten-halogen lamp หรือ Quartz Tungsten-halogen lamp ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียดังตารางที่ 2.2.2.1

ตารางที่ 2.2.2.1 แสดงข้อดีและข้อเสียของ Xenon flash lamp และ Tungsten-halogen lamp

แหล่งกำเนิดแสง	ข้อดี	ข้อเสีย
1. Xenon flash lamp	- ชิ้นตัวอย่างได้รับความร้อนน้อย - สามารถวัดชิ้นตัวอย่างที่มีสารเรืองแสงได้	- ราคาแพง - ไฟกระพริบทำให้ความเข้มแสงไม่คงที่
2. Tungsten-halogen lamp	- ราคาถูก - แสงที่ได้เป็นแสงต่อเนื่องและคงที่กว่า ทำให้ง่ายต่อการวัดสี	- แสงที่ออกมามีรังสีอินฟราเรดสูงทำให้ชิ้นตัวอย่างได้รับความร้อนสูง อาจทำให้สีเปลี่ยนได้ - ไม่สามารถวัดชิ้นตัวอย่างที่มีสารเรืองแสงได้ถูกต้องและแม่นยำ

2) หน่วยแยกแสง (Wavelength Selector, Monochromator)

หน่วยแยกแสง ได้แก่ ปริซึม หรือ grating ทำหน้าที่แยกแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน



รูปที่ 2.2.2.1 แสดงการแยกแสงเป็นแถบแสงต่าง ๆ (spectrum)

จากรูปที่ 2.2.2.1 แสงจากแหล่งกำเนิดแสง (Polychromatic light) จะผ่านไปยังปริซึม หรือ grating เพื่อแยกแสงที่มีช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 – 700 นาโนเมตร

3.) <u>หน่วยรับแสง</u> (Photodetector)

หน่วยรับแสง หรือ Photodetector จะทำการตรวจวัดคลื่นแสงที่ออกมาจาก Monochromator สัญญาณที่ได้รับนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นตัวเลข และจะถูกส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้น โปรแกรมที่ใส่ไว้ในคอมพิวเตอร์จะดำเนินการต่อไปทั้งหมด

หน่วยรับแสงที่ใช้ คือ Photodiodes จะมีจำนวน16อัน ถ้าทำการตรวจวัดแสงที่ 16 ความยาวคลื่น หรือ จะมีจำนวน 32 ความยาวคลื่น โดย Photodiodes ทั้งหมดจะติดกันเป็นแถว (Photodiodes array) สามารถตรวจวัดคลื่นแสงที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 – 700 นาโนเมตรได้ในเวลาเดียวกัน ในกรณีที่ใช้แสงกระพริบแทนการใช้หลอดไฟแบบเดิม จะทำให้สามารถวัดสีได้ตลอดความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตรในเวลาไม่เกิน 1 milliseconds

4.) <u>ช่องวัดแสง</u> (Measuring Geometry)

เป็นที่ทราบกันดีว่า สีที่มองเห็นจะขึ้นกับแสงที่ใช้และมุมที่มอง ดังนั้นกรจัดทิศทางที่แสงส่องกระทบชิ้นตัวอย่างและการจัดมุมมองในหน่วยวัดสี จึงนับเป็นเรื่องสำคัญ

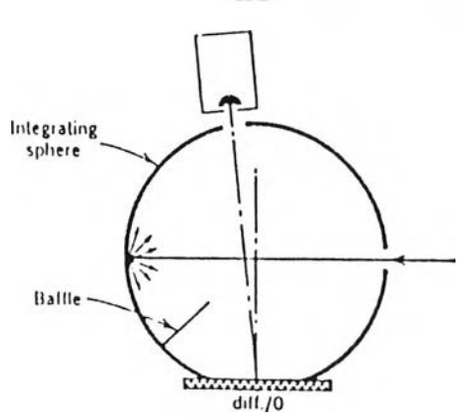
การส่องแสงบนชิ้นตัวอย่างของหน่วยวัดสี จะเป็นลักษณะส่องตรงบนชิ้นตัวอย่าง หรือ ส่องผ่านจากผนังทรงกลมสีขาว (Integrating sphere) ก็ได้ แบบที่นิยมใช้คือ แบบที่ให้แสงส่องผ่านผนังทรงกลมสีขาว ซึ่งจะทำให้แสงที่ตกกระทบบนชิ้นตัวอย่างเป็นแสงกระจาย (diffuse light)

การเลือกแบบของช่องวัดแสง (Measuring Geometry) ในหน่วยวัดสีจะขึ้นอยู่กับชนิดของชิ้นตัวอย่างหรือวัสดุที่จะนำมาวัด

ระบบการจัดช่องวัดแสง หรือ การจัดทิศทางที่แสงสองกระทบชิ้นตัวอย่างและการจัดมุมมองที่ใช้กันมากในหน่วยวัดสี ได้แก่

ก. **Diffuse / 0° (d / 0)**

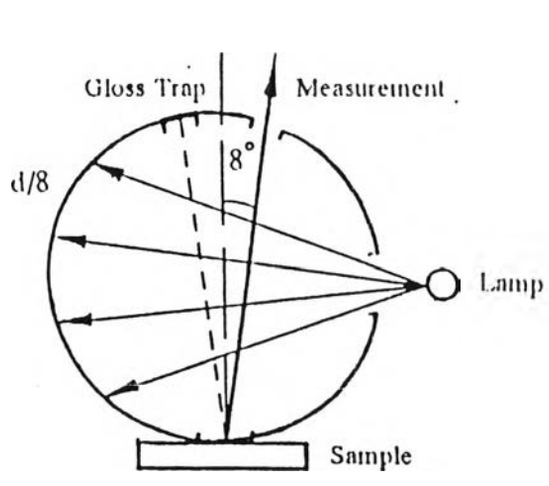
หมายถึงการใช้แสงส่องกระทบชิ้นตัวอย่างเป็นแสงกระจาย (diffuse light) และใช้มุมมองที่ 0 °



รูปที่ 2.2.2.2 แสดงการจัดช่องวัดแสงแบบ diffuse / 0°

ข. **Diffuse / 8° (d / 8)**

หมายถึงการใช้แสงส่องกระทบชิ้นตัวอย่างเป็นแสงกระจาย (diffuse light) และใช้มุมมองที่ 8 °



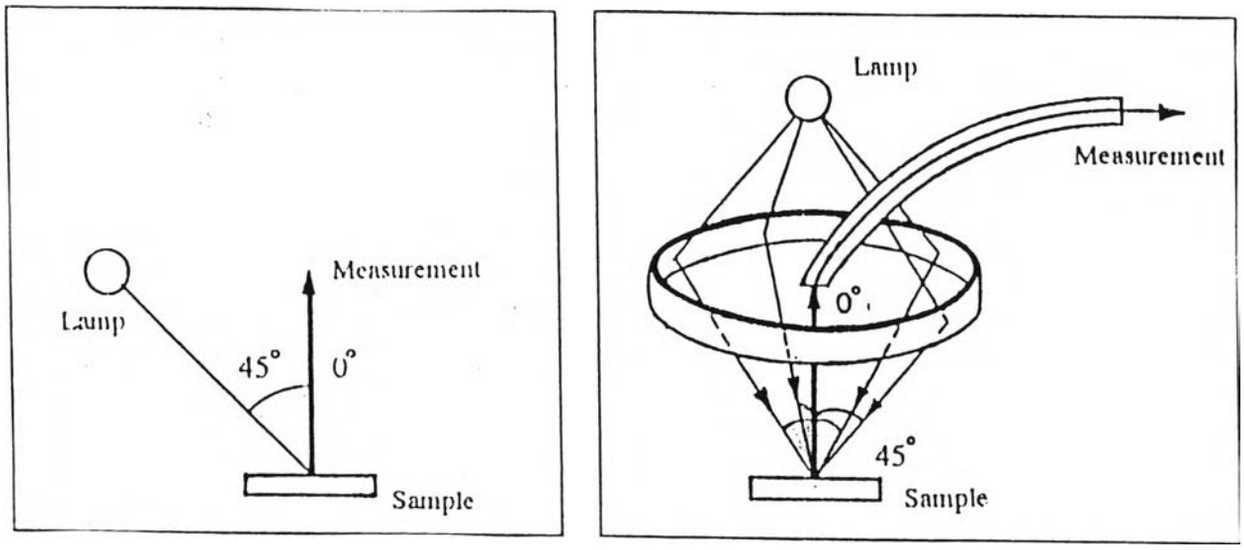
รูปที่ 2.2.2.3 แสดงการจัดช่องวัดแสงแบบ diffuse / 8°

ค. **45° / 0°**

หมายถึงการใช้แสงส่องกระทบตรงบนชิ้นตัวอย่างที่ 45° และใช้มุมมองที่ 0 °

I19694568

(a) 45° / 0° Directed (b) 45° / 0° Circular



รูปที่ 2.2.2.4 a-b แสดงการจัดช่องวัดแสง (a) 45° / 0° Directed และ (b) 45° / 0° Circular

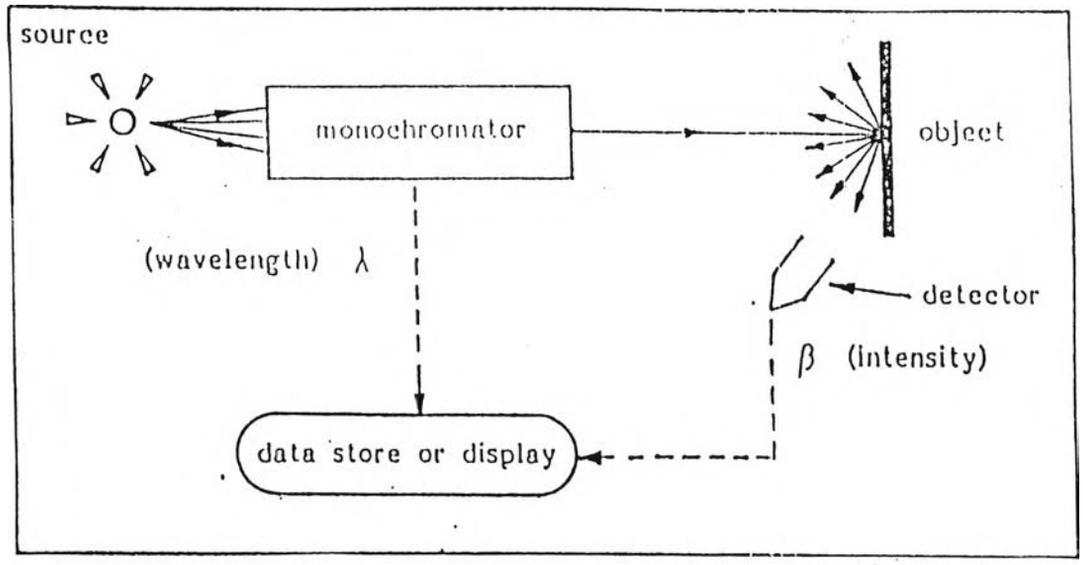
สำหรับผลิตภัณฑ์สิ่งทอ ซึ่งมีโครงสร้างของการทอ ถัก หรืออื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้พื้นผิวมักมีลวดลาย เมื่อดูผ้าต่างทิศทางกันจะมองเห็นสีต่างกันไป ในการวัดเพื่อลดปัญหานี้ ควรหมุนเปลี่ยนทิศทางของตัวอย่างโดยวัดอย่างน้อย 2 ตำแหน่งในทิศทางตั้งฉากกัน ดังนั้น การใช้มุมมองที่ 0 ° จึงนับเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากการใช้มุมมองดังกล่าวนี้ การหมุนเปลี่ยนทิศทางของตัวอย่างหรือวัดตัวอย่างที่ตำแหน่งแตกต่างกันจะมีการแปรเปลี่ยนทิศทางของตัวอย่าง หรือ วัดตัวอย่างที่ตำแหน่งแตกต่างกันจะมีการแปรเปลี่ยนของค่าที่วัดได้แต่ละครั้งน้อยที่สุด เนื่องจากเงาของชิ้นตัวอย่างไม่ได้ถูกนำไปวัดด้วย

5.) <u>การวางหน่วยแยกแสง</u> (Optical Arrangement)

"Reflectance Spectrophotometer" เป็นหน่วยวัดสีที่วัดสีโดยใช้วิธีวัดแถบแสง ซึ่งจะมีการวางหน่วยแยกแสงเป็น 2 แบบ คือ

- **Monochromatic Illumination**

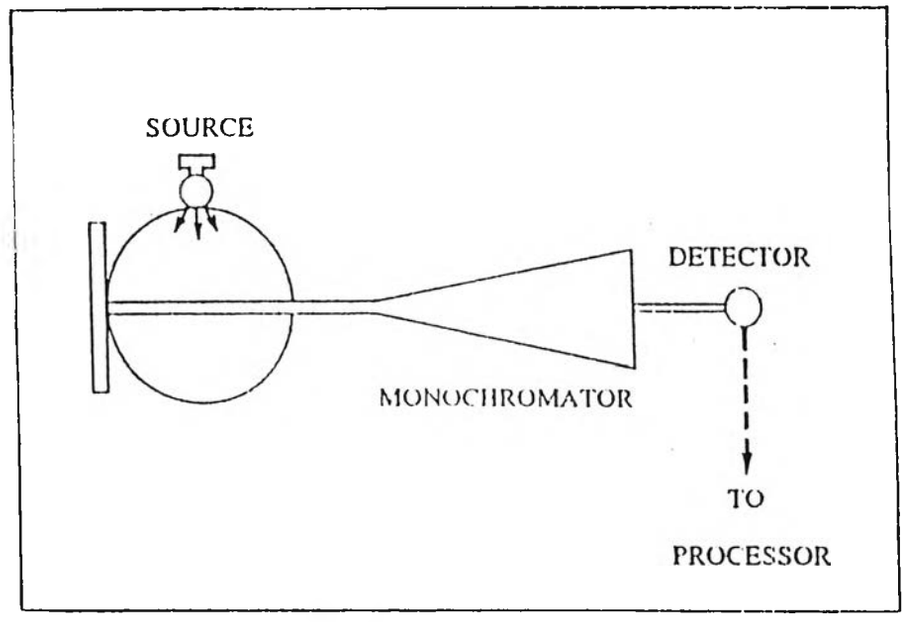
วิธีนี้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะผ่าน Monochromator ได้แก่ ปริซึม แผ่นกรองแสง Holographic grating หรือ Diffraction grating ซึ่งจะทำหน้าที่กระจายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเป็นแถบแสงต่าง ๆ (Spectrum) ที่มี bandwidth แคบ ๆ โดยแสงที่ถูกกระจายแล้วนี้จะเรียกว่า monochromated light เป็นแสงที่มีสีเพียงสีเดียว ให้สามารถวัดค่าการสะท้อนแสงได้ตลอดความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 – 700 นาโนเมตร ปกติจะวัดรวม 16 ค่า แล้วผ่านไปยังชิ้นตัวอย่าง จากนั้น Photodetector หรือหน่วยรับแสงที่อยู่ในหน่วยวัดสีจะทำการวัดค่าของแสงที่สะท้อนออกมาจากชิ้นตัวอย่าง ดังรูปที่ 2.2.2.5



รูปที่ 2.2.2.5 แสดงวิธีวัดสีแบบ Monochromatic Illumination

. **Polychromatic Illumination**

วิธีนี้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะผ่านไปยังชิ้นตัวอย่างโดยตรง จากนั้นแสงที่สะท้อนออกมาจากชิ้นตัวอย่างจะผ่านไปยัง Monochromator และ Photodetector โดย Photodetector จะทำการวัดค่าของแสงที่ผ่านออกมาจาก Monochromator ดังรูปที่ 2.2.2.6



รูปที่ 2.2.2.6 แสดงวิธีวัดสีแบบ Polychromatic Illumination

วิธีวัดแสงแบบ Monochromatic Illumination นี้จะมีข้อดีในแง่ที่ชิ้นตัวอย่างจะไม่ถูกแสงมากเกินไป แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถวัดผ้าที่มีสารเรืองแสง (Fluorescent materials) ผ้าที่ผ่านการตกแต่งขาวได้ถูกต้องและแม่นยำเหมือนวิธีการวัดสีแบบ Polychromatic Illumination

6.) Measurement mode

หน่วยวัดสีประเภท "Reflectance Spectrophotometer" จะมีลักษณะการรับแสงแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

6.1) Single beam

หน่วยวัดสีประเภทนี้จะวัดการสะท้อนแสงของ Reference (R_w) ก่อน จากนั้นจึงวัดการสะท้อนแสงของชิ้นตัวอย่าง (R_s) สลับกันไปตลอดความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร

หน่วยวัดสีประเภท Single beam จะมีความเรียบง่าย และราคาถูก แต่มีข้อเสียคือ ต้องมีการ Reset สัญญาณจาก Reference ทุกครั้ง ทำให้ใช้เวลาในการวัดนาน

6.2) Dual beam

หน่วยวัดสีประเภทนี้ จะวัดการสะท้อนแสงของ Reference ไปพร้อม ๆ กับการวัดการสะท้อนแสงของชิ้นตัวอย่าง ตลอดความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร โดยจะแยกแสงที่ออกมาจาก Monochromator เป็นสองส่วน คือ ส่วนหนึ่งมาจากชิ้นตัวอย่างและอีกส่วนหนึ่งเป็น Reference

หน่วยวัดสีประเภท Dual beam จะวัดสีได้ถูกต้องและแม่นยำมากกว่าหน่วยวัดสีประเภท single beam เพราะเครื่องจะมีการวัดการแปรเปลี่ยนของแสงไปพร้อมกับการวัดการสะท้อนแสงของชิ้นตัวอย่าง และสามารถวัดสีได้เร็วกว่า อย่างไรก็ตามหน่วยวัดสีประเภทนี้จะมีราคาแพง

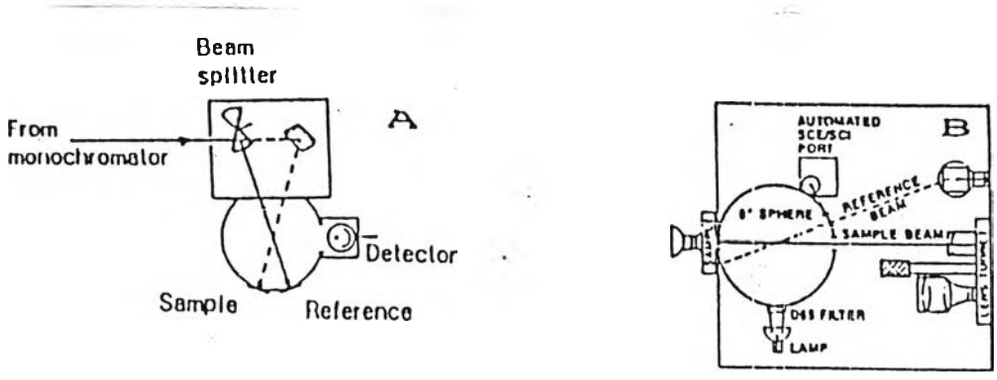
หน่วยวัดสีประเภท Dual beam จะมี 2 แบบ คือ

. **Classical dual beam**

หน่วยวัดสีแบบนี้จะมีหน่วยรับแสงหรือ detector 1 ตัว ดังรูปที่ 2.2.2.7A

. **True dual beam**

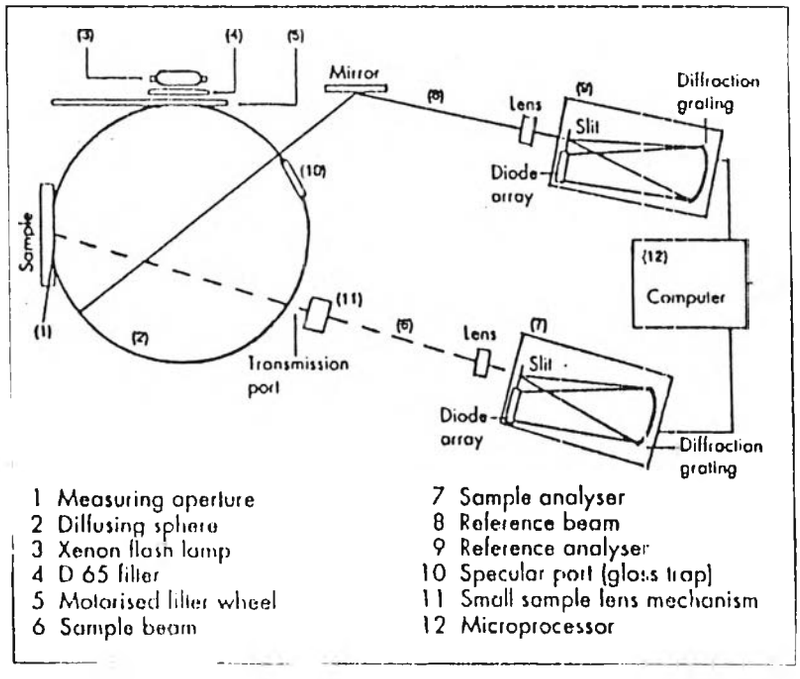
หน่วยวัดสีแบบนี้จะมีหน่วยรับแสงหรือ detector 2 ตัว ตัวหนึ่งสำหรับแสงสะท้อนจากชิ้นตัวอย่าง และอีกตัวหนึ่งสำหรับแสงสะท้อนจาก Reference ที่มาจากทรงกลมสีขาว (Integrating sphere) และเป็นระบบ Direct Sample Imaging (DSI) ดังรูปที่ 2.2.2.7B ซึ่งหน่วยวัดสีแบบนี้จะเป็นการนำเอาความเรียบง่าย และประสิทธ์ภาพของหน่วยวัดสีที่มีลักษณะการรับแสงแบบ single beam มาผสมผสานกันทำให้แสงที่ได้ออกมาคงที่ ซึ่งปัจจุบันนี้ "Reflectance Spectrophotometer" ที่มีลักษณะการรับแสงแบบ True dual beam จะเป็นหน่วยวัดสีที่เด่นที่สุดในยุคนี้



รูปที่ 2.2.2.7 แสดงหน่วยวัดสีที่มีลักษณะการรับแสงแบบ dual beam

A = Classical dual beam design

B = True dual beam design



รูปที่ 2.2.2.8 แสดงหน่วยวัดสีที่มีลักษณะการรับแสงแบบ True dual beam

การพิจารณาเลือกใช้ Reflectance Spectrophotometer ในการทำนายสูตรสีผสม มีสิ่งที่ควรคำนึงถึง คือ

- แหล่งกำเนิดแสง เช่น Xenon flash lamp หรือ Tungsten-halogen lamp
- รูปแบบของผลลัพธ์ที่ออกมาจากเครื่องค่าการสะท้อนแสง ค่าการส่องผ่าน และค่า Tristimulus values
- ช่วงความยาวคลื่น (400 – 700 นาโนเมตรเท่านั้น หรือรวมช่วงรังสีอัลตราไวโอเลตด้วย เพื่อใช้ในการวัดผ้าที่ผ่านการตกแต่งขาวหรือผ้าที่มีสารเรืองแสงผสมอยู่ด้วย)
- ชนิดของแหล่งกำเนิดแสงที่ส่องสว่าง เช่น D65, TL84, C เป็นต้น
- การจัดระบบของช่องวัดแสงและมุมมอง เช่น d/8, d/0, 45°/0 ° เป็นต้น
- ความเร็วในการตรวจวัดสีสูง
- ความถูกต้องและแม่นยำในการตรวจวัด
- ความสามารถในการทวนซ้ำ (Reproducibility) ให้ได้ผลคงเดิม
- ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability)
- ขนาดและรูปร่างของชิ้นตัวอย่างที่จะทำการตรวจวัด
- ราคา

ปัจจุบันมีการพัฒนาการออกแบบหน่วยวัดสีให้มีความถูกต้องแน่นอนเพิ่มขึ้น มีความสามารถในการทวนซ้ำให้ได้ผลคงเดิมระหว่างหน่วยวัดสีแต่ละเครื่องมากขึ้น นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนารูปแบบของหน่วยวัดสีมากมาย เช่น แบบตั้งโต๊ะ ได้แก่ Spectraflash 500, Spectraflash 600, Color-Eye 3000, Color-Eye 7000, Ultrascan เป็นต้น หรือ หน่วยวัดสีแบบเคลื่อนย้ายได้ (Portable Spectrophotometer) ได้แก่ Microflash ของ Datacolor, ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาโดย Hunterlab, Macbeth, X-rite และ Minolta เป็นต้น ซึ่งมักใช้งานทางด้านการควบคุมคุณภาพ อย่างไรก็ตาม Portable Spectrophotometer ดังกล่าวบางระบบสามารถนำไปใช้ในการทำนายสูตรสีผสมได้

2.2.3 เครื่องคอมพิวเตอร์

หน่วยวัดสีในปัจจุบันมักจะต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ ถ้าเป็นเครื่องวัดสีที่คำนวณค่าของสี (Color Coordinates) หรือค่าความแตกต่างของสี ก็มักจะใช้ Integrated microprocessor เท่านั้น แต่ถ้าเป็นเครื่องวัดสีที่ต้องคำนวณสูตรผสม สามารถเก็บข้อมูลการวัดสี สามารถควบคุมสต๊อก และทำอะไรได้อีกมากมายแล้ว เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควรจะเป็น “Personal computer” ที่มีความจำสูง (memory) และสามารถคำนวณค่าต่าง ๆ ได้รวดเร็ว ซึ่งมักจะเป็นอุปกรณ์ที่แยกออกมาจากหน่วยวัดสี นอกจากนี้ “Personal computer” ยังสามารถใช้กับโปรแกรมอื่น ๆ ได้ มีราคาพอเหมาะ และยังสามารถเชื่อมโยงเป็นระบบเครือข่ายได้อีกด้วย

2.2.4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับเครื่องวัดสี

ปัจจุบันเทคโนโลยีของโปรแกรมมีมาตรฐานที่สูงมาก โปรแกรมของผู้ผลิตชั้นนำโดยทั่วไป สามารถครอบคลุมความต้องการของโรงงานได้ทั้งหมด ทั้งนี้โปรแกรมใดจะเหมาะสมกับโรงงานใด ขึ้นกับความต้องการของแต่ละโรงงานนั้น จุดสำคัญที่ควรพิจารณา ได้แก่

<u>ลักษณะทั่วไป</u>

1. การสื่อความหมายระหว่างผู้ใช้กับคอมพิวเตอร์ ควรจะเป็นแบบตรงไปตรงมา และง่ายต่อความเข้าใจ
2. โครงสร้างของข้อมูลควรจะปรับเปลี่ยนได้ และควรจะสามารถเก็บข้อมูลได้ไม่จำกัด
3. ควรจะสามารถเลือกวิธีป้อนข้อมูล (Data coding) ได้ และควรจะเปิดกว้างสำหรับการจัดกลุ่มข้อมูลได้
4. ควรจะสามารถถ่ายทอดข้อมูลไปยังเครื่องอื่นได้ ในรูปแบบที่เป็นมาตรฐาน
5. จะต้องมีการรับประกันปรับโปรแกรมให้ทันสมัย
6. โปรแกรมที่ใช้ควรเป็นโปรแกรมมาตรฐานที่รู้จักกันโดยทั่วไป
7. โปรแกรมควรเป็นแบบ "Modular" ที่สามารถเพิ่มขยายได้ทุกเวลา
8. โปรแกรมที่ใช้จะต้องสามารถรับข้อมูลทั้งที่เป็นการวัดครั้งเดียวหรือหลาย ๆ ครั้งโดยมีการคิดค่าเฉลี่ยอย่างอัตโนมัติ
9. การกำหนดฟังก์ชันคีย์บอร์ด เช่น F1, F2 เป็นต้น สำหรับขั้นตอนการทำงานอัตโนมัติ ตัวอย่างเช่น กด F1 สำหรับโปรแกรมการทำนานสูตรสี
10. โปรแกรมคาลิเบรท หรือปรับเทียบหน่วยวัดสี สามารถเลือกภาวะการวัดต่าง ๆ ได้ เช่นการเลือกขนาดของช่องวัด การวัดรวม / ไม่รวมแสง UV การวัดรวม / ไม่รวมความมันเงา เป็นต้น
11. โปรแกรมสำหรับเปลี่ยนและแก้ไขข้อมูล หรือเรียกข้อมูลออกมาดู

<u>โปรแกรมการควบคุมคุณภาพ</u> ควรคำนึงถึง

1. สมการค่าความแตกต่างของสี เช่น สมการ CIELAB, CMD, FMC-H, HUNTERLAB, JPC-79 เป็นต้น
2. ความสามารถในการตัดสิน PASS/ FALL โดยตัดสินจาก da, db, dC, dH และ dE
3. โปรแกรม Shade sorting สามารถคัดหรือจัดกลุ่มผ้าตามเฉดสี
4. โปกแกรมวิเคราะห์การสะท้อนแสง
5. ค่า Whiteness และ Yellowness index
6. โปรแกรมคำนวณค่าความเข้มของสี (Dye Strength)

7. โปรแกรมแสดงกราฟของ %R, %T, T/ S เป็นต้น
8. การแสดงผลที่ได้ด้วยคำสั่งที่ง่ายต่อการเข้าใจ เช่น lighter / darker, weaker / stronger
9. มีหลอดไฟหรือแหล่งกำเนิดแสงต่าง ๆ ให้เลือก เช่น D65, C, A, TL84 เป็นต้น พร้อมทั้ง 2° และ 10° Observer
10. ความสามารถในการจัดทำค่าการยอมรับ (Tolerance) เฉพาะเจาะจงสำหรับผู้ใช้แต่ละราย ได้

<u>โปรแกรมการทำนายสูตรสี</u> ควรคำนึงถึง

1. การเตรียมฐานข้อมูลจะต้องทำได้โดยง่าย สามารถแสดงออกมาเป็นรูปกราฟ และควรมีการให้สัญญาณเตือนโดยอัตโนมัติถ้ามีฐานข้อมูลชุดใดให้ค่าที่ยอมรับไม่ได้
2. โปรแกรมที่ใช้สามารถตรวจสอบฐานข้อมูลได้
3. ความสามารถในการทำนายสูตรสีย้อมของชิ้นตัวอย่าง เฉดสีอ่อน กลาง และเข้ม ของแต่ละโปรแกรมโดยใช้ฐานข้อมูลชุดเดียวกัน
4. ความสามารถในการทำนายสูตรสีย้อมที่ดีที่สุดและสูตรสีย้อมที่ถูกที่สุด
5. ความสามารถในการคัดเลือกสูตรสีย้อมที่คำนวณได้ โดยคัดเลือกตามลำดับ ราคา และ Metamerism
6. ความสามารถในการทำนายสูตรสีย้อมออกมาในค่าของ % หรือ กรัม / ลิตร เป็นต้น
7. ความสามารถในการทำนายสูตรสีย้อมบนวัสดุที่มีสีหรือบนวัสดุที่มีความสามารถในการติดสีต่างกัน
8. ความสามารถในการเลือกตัวอย่างสีจากห้องสมุด (Shade Library) ที่เก็บไว้
9. ความสามารถในการแสดงกราฟของสูตรสีย้อมได้จากการทำนาย และการแก้สูตรสีย้อมและสามารถแสดงการเปรียบเทียบของสูตรสีต่าง ๆ ได้
10. ความสามารถในการจัดลำดับการทำนายสูตรสีย้อม
11. ความสามารถในการแก้สูตรสีย้อมได้หลายวิธี เช่น
    1.) คำนวณการแก้สูตรสีย้อมอัตโนมัติโดยเครื่องคอมพิวเตอร์
    2.) คำนวณเฉพาะปริมาณสีที่ต้องการเพิ่ม
    3.) คำนวณการแก้สูตรสีโดยผู้ย้อม (Manual Aid) วิธีนี้เป็นวิธีที่ผู้ย้อมสามารถใช้ความสามารถและประสบการณ์ของตนเองในการแก้สูตรสีโดยมีคอมพิวเตอร์เป็นตัววิเคราะห์
12. ความสามารถในการคำนวณตัวแปร (Performance Factor) ที่ช่วยระบุได้ว่ามีสิ่งผิดพลาดเกิดขึ้นหรือไม่ในกระบวนการย้อม
13. ความสามารถในการเรียกฐานข้อมูลของสีออกมาดู และแก้ไขค่าความเข้มข้นของแม่สี

2.3 การสำรวจงานวิจัย

McDonald . R. (1976)

ได้กล่าวถึงการทำนายสูตรสีโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์วัดสีอาจไม่ได้ผลที่น่าพอใจในการหาสูตรสีเพื่อให้ชิ้นตัวอย่างที่ทดลองมีความเหมือนชิ้นตัวอย่างมาตรฐานอันเนื่องจาก

1. ความล้มเหลวของทฤษฎีที่ใช้ในการทำนายสูตรอันเนื่องมาจากความไม่เป็นเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่างการใช้สีในน้ำย้อมและ การสะท้อนแสงที่ได้
2. อิทธิพลของสีย้อมที่มีต่อกันในแต่ละสูตรสี
3. ความแตกต่างระหว่างเสกลที่ใช้ในการทดลองสีตัวอย่างและการย้อมจริงในเครื่องย้อม
4. ความแตกต่างของวัสดุที่นำมาย้อม
5. ขบวนการย้อมที่ผิดพลาด เช่น อุณหภูมิที่ใช้ การควบคุมค่า pH เวลาที่ทำการย้อม เป็นต้น

McDonald , R. and McKay,D . (1976)

ได้กล่าวถึงสาเหตุที่การทำนายสูตรสีที่จะทำให้เกิดความถูกต้องในครั้งแรกนั้นเพราะ โดยทั่วไปแล้วสีย้อมจะมี ความไม่เป็นเส้นตรงของค่า K/S กับความเข้มข้นของฐานข้อมูลแม่สี ทั้งนี้เนื่องมาจากเส้นใยจะมีจุดอิ่มตัวที่จะติดสีจากอ่างย้อม

Park, J. and Thompson ,T M .(1983)

การสรุปและวิเคราะห์ ข้อมูลและสถิติการผลิตจริงในโรงงานย้อมที่เกี่ยวเนื่องกับสูตรสีที่จากการทดลองย้อมสีตัวอย่างต่าง ถ้าได้รับการจัดการที่ดีแล้วจะสามารถทำให้การย้อมสีตัวอย่างรวมทั้งการย้อมจริงนั้นทำได้โดยใช้ต้นทุนเหมาะสม

Kuehei. RG(1975)

ความไม่ถูกต้องการของการทำนายสูตรสีเกิดจากสัมประสิทธิการดูดกลืนของแสง อันเนื่องจากวัสดุที่ใช้ย้อมนั้นมีการเปลี่ยนไปและไม่คงที่ รวมทั้งไม่ได้เป็นวัสดุย้อมชนิดเดียวกับวัสดุที่นำมาทำการย้อมเพื่อการทำฐานข้อมูลแม่สี

Mackin.JF. (1975)

ได้อธิบายถึงเทคนิคในการเลือกสีย้อมสำหรับการผสมสีเพื่อให้ได้ความคงทนของสีและต้นทุนที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาสิ่งต่อไปนี้

1. ระดับความเข้มของสีที่จะสามารถย้อมได้
2. ปัจจัยต่างๆในการย้อมเช่น อัตราการซึมสีเข้าสู่เส้นใย อัตราการติดสี เป็นต้น
3. คุณลักษณะของสีที่ใช้
4. ผลกระทบจากการที่มีแหล่งกำเนิดสงที่เปลี่ยนไป
5. ความเข้ากันได้ของสีที่ใช้ในแต่ละสูตร

Allen ,E .(1978)

กล่าวว่าการทำนายสูตรสีโดยใช้คอมพิวเตอร์วัดสีนั้นสิ่งที่จะต้องคำนึงอีกอย่างหนึ่งคือปรากฏการณ์ Metamerism ซึ่งเกิดเป็นปรากฏการณ์ที่เห็นความแตกต่างของสีระหว่างชิ้นตัวอย่างต่างกันไปตามแหล่งกำเนดิแสงที่ใช้ การผสมสี 4 สี แทน การผสมสี3 สีจะสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้

datacolor International (2000)

ได้พัฒนาโปรแกรม ชื่อ DCI Match ที่ใช้ในการทำนายสูตรสีเพื่อให้สูตรที่ทำนายครั้งแรกนั้นทำการทดลองย้อมแล้วมีความใกล้เคียงชิ้นตัวอย่างสีมาตรฐานซึ่งจะทำให้จำนวนครั้งในการทดลองย้อมลดลง โดยที่โปรแกรมดังกล่าวจะเก็บข้อมูลครั้งล่าสุดของสูตรสีสุดท้ายที่ใช้ได้ นำไปปรับฐานข้อมูลแม่สีโดยอัตโนมัติ โดยอาศัยเทคนิค Algorithmic hybrid

กัลยา วานิชย์บัญชา (2544)

ได้อธิบายวิธีใช้และการแปรผลของโปรแกรม SPSS สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัว ที่มีความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรง และความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นลักษณะเส้นตรง

บรรจง ปิยชำรง และ ภิเษก หาญพานิช (2539)

ได้พัฒนาระบบการวินิจฉัยโรคเบื้องต้นจากโปรแกรม ไมโครซอฟ แอกเซส และได้กล่าวว่าการพัฒนาโปรแกรมจากไมโครซอฟท์ แอกเซส นั้นต่างจากการเขียนโปรแกรมขั้นสูงทั่วๆไปที่จะเน้น

การทำงานตามลำดับขั้นตอนที่โปรแกรมได้เขียนไว้โดยจะเริ่มการทำงานที่บรรทัดแรกของโค้ดและทำตามตามคำสั่งตามเส้นทางที่กำหนดไว้ แต่ไมโครซอฟท์ แอกเซสเป็นโปรแกรมประเภทอีเวนท์ไดรเวนที่การทำงานของผู้ใช้จะเป็นตัวกำหนดลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

วศิน เพิ่มทรัพย์ (2537)

ได้อธิบายถึงรายละเอียดวิธีการใช้โปรแกม ไมโครซอฟท์ แอกเซส 97 ซึ่งเป็นโปรแกรมจัดการฐานข้อมูลอย่างหนึ่งที่เรียกว่า DBMS หรือ Database Management System ที่ประกอบด้วย ส่วนประกอบย่อยๆที่เรียกว่า " ออบเจ็คฐานข้อมูล" (Database Object) ตามแต่ละแท็บที่ปรากฏในหน้าต่างฐานข้อมูลดังนี้คือ ตาราง (Table) ตารางเสมือน(Query) แบบฟอร์ม(Form) รายงาน (Report) ชุดคำสั้ง(Macro) และ โปรแกรมย่อย(Module)