

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวัดสีผิวด้วยเครื่องลูมิแนนซ์มิเตอร์



นางสาวเพชรรัตน์ จันทรัมย์

นางสาวสุมิตรา มุกดาเจริญชัย

รฟ.
พ 877ก
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **76661**
วัน,เดือน,ปี..... -3 S.ค. 2550

b. 118.502.80
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2549
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Skin color measurement using Luminance meter



**A special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Bachelor
of Science**

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
Academic Year 2006

โครงการพิเศษเรื่อง/ปัญหาพิเศษเรื่อง	การวัดสีผิวด้วยเครื่องลูมิแนนซ์มิเตอร์
นักศึกษา	นางสาวเพชรรัตน์ จันทร์ขาม นางสาวสุมิตรา มุกดาเจริญชัย
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.วิญญู เพชรภา

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	อ. วิฑูรย์ อินดีสุข	
กรรมการ	ผศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม	
กรรมการ	อ. กางปัญญา สุวรรณสุขโข	
กรรมการที่ปรึกษา	รศ.วิญญู เพชรภา	

(รองศาสตราจารย์วิญญู เตชิตธีระ)
หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การสอบเทียบสีผิวด้วยเครื่องลูมิแนนซ์มิเตอร์	
นักศึกษา	นางสาว เพชรรัตน์	จันทร์ยาม
	นางสาว สุมิตรา	มุกดาเจริญชัย
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์	
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2549	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. วิษณุ เพชรภา	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้เครื่องลูมิแนนซ์มิเตอร์สำหรับวัดสีผิวมนุษย์โดยใช้เครื่องลูมิแนนซ์มิเตอร์รุ่น LS-110 ผลิตโดย Konica-Minolta คุณสมบัตการวัดอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 999900 แคนเดลาต่อตารางเมตร กระบวนการวัดจะใช้ฟิลเตอร์ 3 สี ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งเหมาะกับช่วงของCIE-standard เป็นช่วงสีที่ตามองเห็นมีความไวแสงต่อสีทั้งสามสี มีคุณสมบัติในระดับของการวัดการสะท้อนความสว่างจากผิวหนังการปรับค่าแก้ไขสีที่เหมาะสมจะเป็นปัจจัยในการปรับบริเวณที่เลือก การเก็บข้อมูลของนักศึกษาตัวอย่างที่มีสีผิวแตกต่างกัน ข้อมูลที่เก็บจะอยู่ในเทอมของค่าไตรสติมูลัส X, Y และ Z ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถแปลงเป็นค่า CIELAB (L^* , a^* , b^*) จะนำมาหาค่า h° (hue angle) และ C (chroma value) ผลการทดลองที่ได้คือสามารถแยกแยะความสว่างของสีผิวได้จากกลุ่มนักศึกษาตัวอย่าง

ค่า L^* มีค่าระหว่าง 62.88 – 119.72 แคนเดลาต่อตารางเมตร

ค่า h° มีค่าระหว่าง -80.05° – 72.65°

ค่า C มีค่าระหว่าง 14.87 – 115.74

จากการทดลองนี้สามารถนำไปใช้ทดสอบความสว่างของสีผิวที่มีการใช้ไวเทนนิ่งได้

ค่าสีผิวของผู้ทดสอบไวเทนนิ่ง คนที่1(แขนซ้าย)

ค่า L^* มีค่าระหว่าง 100 – 138.28 แคนเดลาต่อตารางเมตร

ค่า h° มีค่าระหว่าง 8.53° – 76.61°

ค่า C มีค่าระหว่าง 20.61 – 60.46

ค่าสีผิวของผู้ทดสอบไวเทนนิง คนที่2(แขนซ้าย)

ค่า L^* มีค่าระหว่าง 106.96 – 149.88 แคนเดลาต่อตารางเมตร

ค่า h° มีค่าระหว่าง 0° - 69.68°

ค่า C มีค่าระหว่าง 33.54 – 59.36

ซึ่งจากการทดลองทดสอบผู้ใช้ไวเทนนิงปรากฏเห็นว่าสีผิวมีความสว่างเพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Skin color calibration by Luminance meter
Name	Miss.Petcharat Janyarm Miss.Sumitra Mukdacharoenchai
Department	Applied Physics Faculty of Science
Program	Applied Physics - Science and Industry Instrumentation
Academic Year	2006
Special Project Advisor	Assoc. Prof. Wisanu Pecharapa

ABSTRACT

This special project was assigned to utilize the Luminance meter for measuring human skin color. Luminance meter model LS-110 manufactured by Konica-Minolta with measuring range of $0.01-999900 \text{ Cd/m}^2$ were used for all measurements. Three color filters in red, green, and blue range with CIE-standard matching were chosen in order to measure the reflected luminance from the skin. Suitable color correction factors were adjusted in selected color region. Data collection were made among a large number of students with various skin color. Collected data is in term of Tristimulus values, X, Y, and Z. These data were transformed to (L^*, a^*, b^*) hue angle and Chroma Values, based on CIELAB method. The results showed that

Skin color of students

L^* values range $62.88 - 119.72 \text{ Cd/m}^2$

h° values range $-80.05^\circ - 72.65^\circ$

C values range $14.87 - 115.74$

This method was also applied to study the effect of whitening cosmetic on skin color, and the results showed that

Skin color of students

L^* values range $100 - 138.28 \text{ Cd/m}^2$

h° values range $8.53^\circ - 76.61^\circ$

C values range $20.61 - 60.46$

Skin color of students

L*	values range	106.96 – 149.88 Cd/m ²
h°	values range	0° - 69.68°
C	values range	33.54 – 59.36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ประสบกับปัญหาและอุปสรรคต่างๆมากมาย และการแก้ไขปัญหาลำนี้จะไม่สามารถแก้ไขปัญหาและอุปสรรคดังกล่าวได้หากขาดบุคคลเหล่านี้

รศ. วิษณุ เพชรภา

ผู้ให้ความรู้ คำแนะนำและแนวทางในการแก้ปัญหาอีก
ทั้งยังเป็นกำลังใจในการทำงาน

ดร. ปิติพร ถนอมงาม

ผู้ให้โปรแกรมการทำงานและเสนอแนะเกี่ยวกับการใช้
โปรแกรม

บิดา มารดา

ที่ให้ความสนับสนุนด้านการศึกษา และเป็นกำลังใจในการทำงาน

เพื่อนๆ น้องๆ ทุกคน

ที่ให้การสนับสนุนและความร่วมมือในการทำงาน และเป็นกำลังใจ
ให้ตลอดมา

นางสาว เพชรรัตน์ จันทรัมย์

นางสาว สุมิตรา มุกดาเจริญชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตในการศึกษา	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง	3
2.1.1 การสะท้อน(Reflectance)	5
2.1.1.1 การสะท้อน(Reflectance)	5
2.1.1.2 ความสว่าง	6
2.2 หลักการของลูมิเนสเซนซ์มิเตอร์	7
2.3 ลักษณะสีผิว	8
2.3.1 รังสีอัลตราไวโอเล็ตกับผิวหนัง	8
2.3.2 ปฏิกริยาตอบสนองของผิวหนังเมื่อได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ต	9
2.3.3 Melanogenesis	10
2.3.3.1 Immediate pigment darkning IPD	10
2.3.3.2 Delayed tanning	10
2.3.4 DNA photodamage และ mutation	10
2.3.5 การสังเคราะห์วิตามิน ดี	10
2.3.6 Alteration of cellular immunity	11
2.3.7 Actinic change, premature aging and carcinogenesis	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 วิธีวัดสีผิวที่นิยม	11
2.4.1 Color Space	11
2.4.2 Skin modeling	12
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 ระบบวัดค่าการส่องสว่าง	13
3.1.1 การวัดค่าการส่องสว่าง	13
3.2 อุปกรณ์การทดลอง	14
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	16
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 คุณสมบัติของฟิลเตอร์	19
4.1.1 วัดช่วงความยาวคลื่นของฟิลเตอร์สีน้ำเงิน	19
4.1.2 วัดช่วงความยาวคลื่นของฟิลเตอร์สีเขียว	20
4.1.3 วัดช่วงความยาวคลื่นของฟิลเตอร์สีแดง	20
4.1.4 Color - matching function	21
4.2 วัดค่าความสว่างของวัตถุ	22
4.2.1 วัดค่าความสว่างของวัตถุสีขาว	22
4.2.2 วัดค่าความสว่างของวัตถุสีดำ	25
4.2.3 วัดค่าความสว่างของวัตถุสีเขียว	26
4.2.4 วัดค่าความสว่างของวัตถุสีแดง	28
4.3 หาค่าการทดลองของ Skin color	30
4.3.1 วัดค่าความสว่างสีผิวของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่าง	30
4.3.1.1 แผนภูมิแท่งแสดงค่า L^* , h° , C ของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่าง	31
4.3.1.2 พล็อตกราฟค่า L^* , a^* และ b^* ของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่าง	35
4.4 การทดสอบผลของไวเทนนิงต่อค่าสีผิว	35
4.4.1 ทดสอบค่าความสว่างของสีผิวผู้ทดสอบคนที่ 1 (แขนซ้าย)	35
4.4.1.1 กราฟแสดงค่า L^* , h° , C	37
4.4.1.2 พล็อตกราฟค่า L^* , a^* และ b^*	39
4.4.2 ทดสอบค่าความสว่างของสีผิวผู้ทดสอบคนที่ 2 (แขนซ้าย)	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.2.1 กราฟแสดงค่า L^* , h° , C	41
4.4.2.2 พล็อตกราฟค่า L^* , a^* และ b^*	44
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย	45
5.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ	45
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ค่าความสว่างของวัตถุสีขาว (Cd/m^2) ไม่ปรับแฟกเตอร์แก๊ส	22
ตารางที่ 4.2 ค่าความสว่างของวัตถุสีขาว (Cd/m^2) ปรับแฟกเตอร์แก๊ส	24
ตารางที่ 4.3 ค่าความสว่างของวัตถุสีดำ (Cd/m^2) ปรับแฟกเตอร์แก๊ส	25
ตารางที่ 4.4 ค่าความสว่างของวัตถุสีขาว (Cd/m^2) ปรับแฟกเตอร์แก๊ส	26
ตารางที่ 4.5 ค่าความสว่างของวัตถุสีแดง (Cd/m^2) ปรับแฟกเตอร์แก๊ส	28
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าเปรียบเทียบการตอบสนองของวัตถุสีในแต่ละแสงสี	29
ตารางที่ 4.7 แสดงค่า CIELAB ของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่าง	30
ตารางที่ 4.8 แสดงค่า L^* , a^* , b^* ของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่าง	33
ตารางที่ 4.9 แสดงค่า CIELAB ของผู้ทำการทดสอบไวเทนนิงคนที่ 1(แขนซ้าย)	36
ตารางที่ 4.10 แสดงค่า L^* , a^* , b^* ของผู้ทำการทดสอบไวเทนนิงคนที่ 1(แขนซ้าย)	39
ตารางที่ 4.11 แสดงค่า CIELAB ของผู้ทำการทดสอบไวเทนนิงคนที่ 2(แขนซ้าย)	40
ตารางที่ 4.12 แสดงค่า L^* , a^* , b^* ของผู้ทำการทดสอบไวเทนนิงคนที่ 2(แขนซ้าย)	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงมุมตัน	4
รูปที่ 2.2 แสดงความสว่างที่เกิดจากการสะท้อน	5
รูปที่ 2.3 แสดงระบบการวัดทางแสง	7
รูปที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบผลความไวต่อสเปกตรัม	7
รูปที่ 3.1 เครื่องลูมิแนนซ์มิเตอร์ (Luminance meter)	14
รูปที่ 3.2 แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการทดลอง	15
รูปที่ 3.3 ฟิลเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	15
รูปที่ 3.4 กล้องดำที่ใช้ในการทดลอง	16
รูปที่ 3.5 แสดงการจัดวางอุปกรณ์	16
รูปที่ 3.6 แสดง CIELAB Color Space	17
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการตอบสนองของช่วงความยาวคลื่นของฟิลเตอร์สีน้ำเงิน	19
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการตอบสนองของช่วงความยาวคลื่นของฟิลเตอร์สีเขียว	20
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการตอบสนองของช่วงความยาวคลื่นของฟิลเตอร์สีแดง	20
รูปที่ 4.4 แสดง CIE Color Matching Function	21
รูปที่ 4.5 แสดงกราฟค่าความสว่างของสีขาวเมื่อผ่านฟิลเตอร์กรณีไม่ปรับแฟกเตอร์แก้สี	23
รูปที่ 4.6 แสดงกราฟค่าความสว่างของสีขาวเมื่อผ่านฟิลเตอร์กรณีปรับแฟกเตอร์แก้สี	24
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟค่าความสว่างของสีดำเมื่อผ่านฟิลเตอร์กรณีปรับแฟกเตอร์แก้สี	26
รูปที่ 4.8 แสดงกราฟค่าความสว่างของสีเขียวเมื่อผ่านฟิลเตอร์กรณีปรับแฟกเตอร์แก้สี	27
รูปที่ 4.9 แสดงกราฟค่าความสว่างของสีแดงเมื่อผ่านฟิลเตอร์กรณีปรับแฟกเตอร์แก้สี	29
รูปที่ 4.10 แสดงค่า L^* ในรูปของแผนภูมิแท่งของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่าง	31
รูปที่ 4.11 แสดงค่า h° ในรูปของแผนภูมิแท่งของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่าง	32
รูปที่ 4.12 แสดงค่า C ในรูปของแผนภูมิแท่งของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่าง	33
รูปที่ 4.13 แสดงค่า L^* , a^* , b^* บนระนาบ XYZ ของกลุ่มนักศึกษา	35
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่า L^* ของผู้ทดสอบไวเทนนึงคนที่ 1(แขนซ้าย)	37
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่า h° ของผู้ทดสอบไวเทนนึงคนที่ 1(แขนซ้าย)	37
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่า C ของผู้ทดสอบไวเทนนึงคนที่ 1(แขนซ้าย)	38
รูปที่ 4.17 แสดงค่า L^* , a^* , b^* บนระนาบ XYZ ของผู้ทดสอบไวเทนนึงคนที่ 1(แขนซ้าย)	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่า L^* ของผู้ทดสอบไวเทนนึ่งคนที่ 2(แขนซ้าย)	41
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่า h° ของผู้ทดสอบไวเทนนึ่งคนที่ 2(แขนซ้าย)	41
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่า C ของผู้ทดสอบไวเทนนึ่งคนที่ 2(แขนซ้าย)	42
รูปที่ 4.21 แสดงค่า L^* , a^* , b^* บนระนาบ XYZ ของผู้ทดสอบไวเทนนึ่งคนที่ 2(แขนซ้าย)	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ

แสงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการมองเห็นทำให้เรารับรู้ข้อมูลรอบๆตัวเราได้ ชีวิตประจำวันของเรา มีส่วนเกี่ยวข้องกับแสง มีการนำเทคโนโลยีทางด้านแสงมาใช้งานในด้านการติดต่อสื่อสาร โทรคมนาคม การคมนาคมขนส่ง การแพทย์ และอุตสาหกรรม ทั้งนี้เนื่องจากเทคโนโลยีทางด้านแสงนั้นมีความรวดเร็วและมีความสะดวกในการใช้งานเป็นอย่างมาก ซึ่งปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านแสงขึ้นเรื่อยๆ

โครงการพิเศษนี้เป็นการนำเครื่องมือความสว่าง(Luminance meter)ไปศึกษาลักษณะของสีผิวที่แตกต่างกัน โดยสีผิวที่แตกต่างกันให้ค่าการสะท้อนที่แตกต่างกัน ค่าการสะท้อนสามารถที่จะใช้เครื่องมือวัดความส่องสว่างออกมาได้เป็นปริมาณเชิงตัวเลข ค่าที่ได้ออกมาสามารถนำไปหาค่าที่เกี่ยวข้องโดยวิธีมาตรฐานได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเครื่องลูมิแนนซ์มิเตอร์
2. เพื่อนำเครื่องลูมิแนนซ์มิเตอร์ไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ
3. เพื่อนำผลการวัดที่ได้ไปสอบเทียบกับมาตรฐานของเครื่องมือประเภทต่างๆ
4. เพื่อนำเทคนิคและความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ต่อไป

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตในการศึกษาโครงการพิเศษแบ่งออกได้ ดังนี้

1. ส่วนทฤษฎี เป็นการศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีทางด้านแสง ความเข้มแสง ความส่องสว่าง และหลักการทำงานของเครื่องลูมิแนนซ์มิเตอร์เพื่อวัดความเข้มของสีผิว
2. ส่วนเทคนิคการวัด นำแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆมาใช้ตรวจสอบวัดค่าความส่องสว่างออกมาได้เป็นปริมาณเชิงตัวเลขและเป็นเปอร์เซ็นต์
3. ส่วนของผลและการสรุป รวบรวมผลการทดลองที่ได้ไปสอบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| 1. ศึกษาขอบเขตและข้อมูล | มิถุนายน 2549 |
| 2. ทำการทดลองเก็บข้อมูล | มิถุนายน - ธันวาคม 2549 |
| 3. ตรวจสอบความถูกต้อง | มกราคม - กุมภาพันธ์ 2550 |
| 4. จัดทำเอกสารประกอบ | มิถุนายน 2549 - กุมภาพันธ์ 2550 |
| 5. ตรวจสอบความถูกต้องครั้งสุดท้าย | มีนาคม 2550 |

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้เครื่องภูมิแนชมิเตอร์ได้อย่างถูกต้อง
2. ทราบถึงคุณสมบัติของเครื่องและนำไปประยุกต์ใช้ได้
3. ทราบถึงหลักการทำงานทางด้านแสงที่นำไปใช้ในการวัดได้
4. สามารถนำไปพัฒนาในขั้นสูงต่อไปได้
5. ได้เรียนรู้และแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการดำเนินงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง

เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบวัตถุหรือพื้นที่ใดๆ เป็นผลให้แสงส่วนหนึ่งสะท้อนเข้าสู่ดวงตาทำให้เกิดการมองเห็น ปริมาณแสงที่ตกกระทบวัตถุหรือพื้นที่นั้นๆ เราเรียกว่า การส่องสว่าง หรือความสว่างซึ่งมีนิยามเกี่ยวข้องกับ การส่องสว่าง ดังนี้

1. **ฟลักซ์ของการส่องสว่าง (Luminous Flux)** คือ ปริมาณแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงในหนึ่งหน่วยเวลา เป็นการบอกค่าพลังงานหรือกำลังงานของแหล่งกำเนิดแสงในรูปของเส้นแรง ปริมาณแสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้นมีหน่วยเป็นลูเมน

2. **มุมตัน** เป็นการวัดส่วนหนึ่งของพื้นผิวทรงกลมที่ถูกควบคุมด้วยพื้นที่สมมติรูปทรงกรวยที่มีส่วนแหลมของกรวยอยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมนั้นๆ หรือคืออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวส่วนที่พิจารณาของทรงกลมต่อรัศมีของทรงกลมนั้นๆ ยกกำลังสองมีหน่วยเป็นสเตอเรเดียน

$$\text{Solid angle(W)} = \frac{A}{R^2} \quad (2.1)$$

โดยที่ A คือ พื้นที่ผิวพิจารณาของทรงกลม

R คือ รัศมีของทรงกลม



3. ความเข้มแห่งการส่องสว่าง (Luminous Intensity) คือ ปริมาณฟลักซ์ที่เปล่งออกจากแหล่งกำเนิดแสงในมุมตันใดๆ บอกค่าความมากน้อยของพลังงานหรือกำลังงานของแหล่งกำเนิดแสงใดๆ ในรูปของความเข้มแห่งการส่องสว่างหรือกำลังส่องสว่าง มีหน่วยเป็นแคนเดลา หรือลูเมน ต่อสเตอ-เรเดียน ใช้สำหรับการพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงที่มีขนาดเล็กมากจนถือว่าเป็นจุด

หากพิจารณาโดยการนำแหล่งกำเนิดแสงที่เล็กมากจนเสมือนจุดและมีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างสม่ำเสมอทุกทิศทางเท่ากับ 1 แคนเดลามาวางไว้ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมรัศมี 1 หน่วย ปริมาณแสงที่พุ่งไปตกลงบนทุกๆ หนึ่งตารางหน่วยพื้นที่บนพื้นผิวทรงกลมนี้จะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนและเนื่องจากพื้นที่ผิวทั้งหมดของทรงกลมรัศมี 1 หน่วยมีค่าเท่ากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา สามารถเปล่งปริมาณเส้นแรงขอแสงออกมาได้เท่ากับ 12.57 ลูเมน

$$I = \frac{F}{\Omega} \quad (2.2)$$

4. ความส่องสว่าง (illuminance) เมื่อมีปริมาณแสงตกกระทบบน 1 หน่วยพื้นที่ใดๆ ผลที่ได้คือ ความสว่างมีหน่วยเป็นลูเมนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (lumen per unit of area) เช่นเดียวกับการพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงในทรงกลม หากทรงกลมมีรัศมี 1 ฟุต ปริมาณแสง 1 ลูเมนที่พุ่งไปตกลงบนพื้นที่หนึ่งตารางฟุตของผิวทรงกลมปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางฟุต ในทำนองเดียวกัน ถ้ารัศมีของทรงกลมมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางเมตร หรือ 1 ลักซ์

5. การส่องสว่าง (illumination) ปริมาณแห่งการส่องสว่างบนพื้นที่ผิวใดๆจะแปรผันโดยตรงกับความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดและแปรผกผันกับค่าระยะทางยกกำลังสองระหว่างพื้นผิวนั้นกับแหล่งกำเนิดแสงและเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า กฎกำลังสองผกผัน (Inverse square law) มีหน่วยเป็น ลักซ์ หรือ ฟุตแคนเดิล มีสมการ ดังนี้

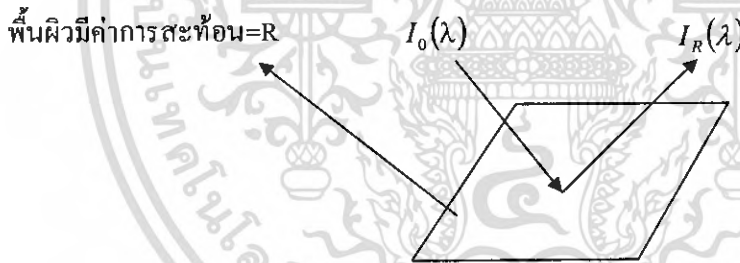
$$E = \frac{I}{d^2} \quad (2.3)$$

โดยที่ E คือ ปริมาณความส่องสว่างบนพื้นที่ผิวที่พิจารณามีหน่วยเป็นลักซ์หรือฟุตแคนเดิล

I คือ ความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางที่พุ่งไปหาพื้นที่ผิวที่พิจารณา มีหน่วยเป็นแคนเดลา

d คือ ระยะทางระหว่างพื้นที่ผิวที่พิจารณากับแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็นเมตรหรือฟุต

2.1.1 การสะท้อน (Reflectance)



รูปที่ 2.2 แสดงความสว่างที่เกิดจากการสะท้อน

จากรูปที่ 2.2 เมื่อฉายแสงที่มีความเข้ม $I_0(\lambda)$ ตกกระทบพื้นผิวที่มีค่าการสะท้อน R_λ จะทำให้เกิดแสงสะท้อนที่มีความเข้ม $I_R(\lambda)$

$$\text{โดยที่ } R_\lambda = \frac{I_R(\lambda)}{I_0(\lambda)} \quad (2.4)$$

2.1.1.2 ความสว่าง

ความสว่าง หมายถึง ปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็นแคนเดลาต่อตารางเมตร ปริมาณแสงที่เท่ากันเมื่อตกกระทบลงบนวัตถุที่มีสีต่างกันจะมีปริมาณแสงสะท้อนกลับต่างกัน นั่นคือ สัมประสิทธิ์ต่างกัน สาเหตุที่ต่างกันก็เนื่องมาจากสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุต่างกัน

ความส่องสว่าง หมายถึง ความหนาแน่นของฟลักซ์ส่องสว่าง(ปริมาณแสง)ที่ตกกระทบบนพื้นผิวใดๆ แทนด้วยสัญลักษณ์ E โดย

$$E = \frac{d\phi}{dA} \quad (2.5)$$

$$d\phi = Id$$

$$E = \frac{Id}{dA}$$

$$d = \frac{dA}{r^2}$$

$$E = \frac{I}{r^2} \quad (2.6)$$

ดังนั้น

แต่

จะได้ว่า

หน่วยของความส่องสว่างที่นิยมใช้มี 2 ระบบ คือ

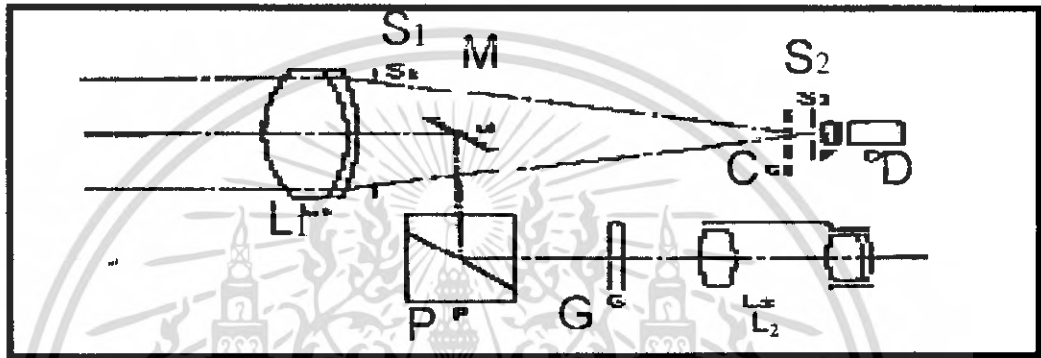
ระบบอังกฤษมีหน่วยเป็นฟุตแคนเดิล โดย $1 \text{ fc} = 1 \text{ lm/ft}^2$

ระบบ SI มีหน่วยเป็นลักซ์ โดย $1 \text{ lux} = 1 \text{ lm/m}^2$

หมายเหตุ $1 \text{ fc} = 10.76 \text{ lux}$

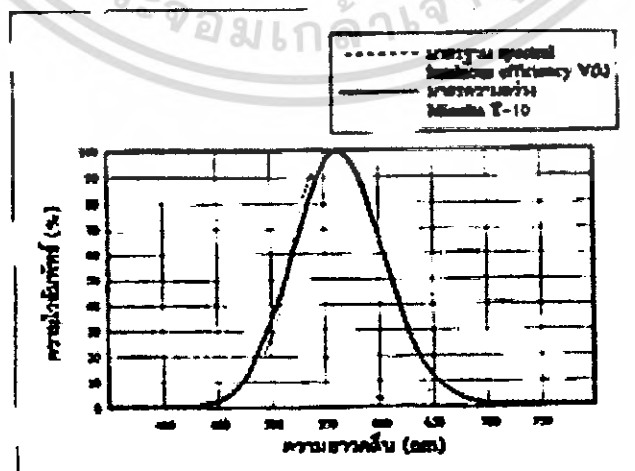
2.2 หลักการของลูมิแนนซ์มิเตอร์

หลักการใช้เครื่องลูมิแนนซ์มิเตอร์
ระบบทางแสง



รูปที่ 2.3 แสดงระบบการวัดทางแสง

จากรูปที่ 2.3 เมื่อแหล่งกำเนิดแสงส่องผ่านไปยังเลนส์ใกล้วัตถุ (L_1) และช่องรับแสงในเลนส์ (S_1) แสงจะไปรวมกันที่บริเวณ Chopper (C) เพื่อตัดแสงทำให้แสงมีลักษณะเป็นจังหวะไปยัง Detector (D) แสงอีกส่วนไปตกที่กระจกและสะท้อนจากกระจกไปที่ปริซึม (P) สะท้อนปริซึมผ่านไปยังฉากที่ทำให้เกิดภาพ (G) ผ่านไปยังเลนส์ใกล้ตา (L_2)



รูปที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบผลความไวต่อสเปกตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.4 เป็นการเปรียบเทียบผลความไวต่อสเปกตรัมโดยตัวรับรู้หรือเซนเซอร์จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับมาตรฐานกราฟ CIE (เส้นประ) เส้นทึบเป็นความไวของตัวรับรู้ ซึ่งจะพบว่ามีความใกล้เคียงกันโดยจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400 - 700 นาโนเมตร

2.3 ลักษณะสีผิว

2.3.1 รังสีอัลตราไวโอเล็ตกับผิวหนัง

เมื่อแสงตกกระทบผิวหนัง แสงร้อยละ 5-10 จะสะท้อนกลับ (reflection) แสงส่วนใหญ่จะผ่านไป ในชั้นผิวหนังกำพวดและหนังแท้ โดยแสงบางส่วนถูกดูดซับหรือกระจายในชั้นผิวหนัง รังสีซึ่งควายาวช่วงคลื่นต่ำกว่า 320 นาโนเมตร ถูกดูดซับโดยโปรตีนในเซลล์ผิวหนัง พบว่าร้อยละ 90 รังสีช่วง 300 นาโนเมตร ผ่านลงลึกในชั้นหนังกำพวดและมีร้อยละ 10 ของรังสีช่วง 350 นาโนเมตร ที่สามารถผ่านถึงรอยต่อหนังกำพวดกับหนังแท้ (dermoepidermal junction)

การเกิดแสงสะท้อนกลับ ในคนผิวขาวเมื่อแสงตกกระทบผิวหนัง ร้อยละ 50 ของแสงช่วงมองเห็นและรังสีอินฟราเรดสะท้อนกลับแต่รังสีอัลตราไวโอเล็ตความยาวช่วงคลื่นต่ำกว่า 320 นาโนเมตร ถูกดูดซับหมดในชั้นหนังกำพวด ส่วนคนผิวดำรังสีช่วง 290-320 นาโนเมตรก็ถูกดูดซับหมดเช่นกัน ในคนผิวขาวรังสีช่วง 320-400 นาโนเมตรสะท้อนกลับร้อยละ 30-40 แต่ในคนผิวดำจะสะท้อนเพียงร้อยละ 16

การกระจายแสง (scattering effect) รังสีอัลตราไวโอเล็ตเกิดการกระจายมากกว่าแสงช่วงที่มองเห็นและรังสีอินฟราเรด การกระจายแสงพบมากในชั้นหนังแท้เพราะเนื้อเยื่อมีหลายชนิดและมีความทึบแตกต่างกันมาก ทำให้เกิดการหักเหของแสงหลายครั้ง

แสงที่ผ่านเข้าชั้นผิวหนัง ส่วนประกอบภายในเซลล์แต่ละชนิดในชั้นผิวหนังดูดซับช่วงแสงสูงสุดโดยแต่ละชนิดดูดซับแสงในช่วงแตกต่างกัน เช่น กรดอะมิโนดูดซับช่วง 280-300 นาโนเมตร purine และ pyrimidine base ของ DNA และ RNA ดูดซับช่วง 260 นาโนเมตร dehydrocholesterol ดูดซับช่วง 285 นาโนเมตร ฮีโมโกลบินดูดซับช่วง 410 นาโนเมตรและเม็ดสีเมลานินดูดซับแสงช่วงความยาวคลื่น 250-1200 นาโนเมตร

สีผิวซึ่งคล้ำเนื่องจากเซลล์สร้างเม็ดสีถูกกระตุ้น (facultative skin color, tanning) สิ่งกระตุ้น คือ รังสีอัลตราไวโอเล็ตหรือฮอร์โมน melanocyte stimulating hormone (MSH) หรือ adrenocorticotrophic hormone (ACTH) ความสามารถ tanning จะแตกต่างกันในแต่ละเชื้อชาติ รังสีอัลตราไวโอเล็ตจะกระตุ้นให้เซลล์สร้างเม็ดสีทำงานมากขึ้น และเพิ่มการกระจายตัวของ melanosome สีผิวคล้ำจะจางลงเมื่อหลีกเลี่ยงสิ่งกระตุ้น

เมลานินสามารถป้องกันอันตรายจากรังสีได้หลายวิธี คือ

สีเมลานินดูดซับแสงช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 250-1200 รังสีบางช่วงเปลี่ยนสีเมลานินเป็นเมลานินภาวะ excite state และจะกลับสู่สภาวะปกติเมื่อดูดพลังงานออกบางส่วนเป็นพลังงานความร้อน และพลังงานบางส่วนก่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเม็ดสีเมลานิน เปลี่ยนคุณสมบัติของสีเมลานิน ทำให้สีดำเข้มขึ้น (oxidized melanin) สีผิวจึงคล้ำทันทีเมื่อนำรังสีอัลตราไวโอเล็ตชนิดเอ หรือแสงช่วงมองเห็น เรียกปรากฏการณ์ immediate pigment darkening (IPD) และจางหายไปเมื่อหยุดฉายรังสีแต่บางครั้งความเข้มของสีผิวอาจอยู่นานหลายชั่วโมง เรียก persistent pigment darkening (PPD) แสงที่ผ่านเข้าไปในเม็ดสีเมลานินมีการหักเหเปลี่ยนทิศทางอยู่เฉพาะภายในเม็ดสีเมลานินเท่านั้น ทำให้รังสีไม่มีอันตรายต่อเนื่องอื่น ๆ

เมื่อเนื้อเยื่อต่างๆดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะเกิดอนุมูลอิสระ (free radical) ขึ้นเมลานินในบริเวณดังกล่าวจะดูดซับอนุมูลอิสระไว้เพื่อมิให้อนุมูลอิสระทำลายเนื้อเยื่อดังกล่าว

2.3.2 ปฏิกิริยาตอบสนองของผิวหนังเมื่อได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ต

Sunburn (ultraviolet erythema) คือ การอักเสบของผิวหนัง เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งแบ่งเป็น UVA, UVB, UVC รังสีในแต่ละช่วงจะดูดซึมโดยเนื้อเยื่อ

- UVA erythema พบน้อย เพราะการไหม้แดงจากรังสีช่วงนี้ต้องใช้ปริมาณรังสีสูงมากเป็นร้อยหรือพันเท่าของรังสี UVB
- UVB erythema เป็นช่วงรังสีซึ่งทำให้เกิดการไหม้แดงเมื่ออาบแดด
- UVC erythema ปกติรังสีอัลตราไวโอเล็ตช่วงนี้ไม่ผ่านเข้ามาบนผิวโลก

จากการศึกษาโดยใช้หลอดไฟ พบว่ารังสีช่วงนี้ก่อให้เกิดผื่นแดงเรื้อรัง แต่บางส่วนอาจเสียดขาด และมีผลต่อหลอดเลือดโดยตรง ทำให้หลอดเลือดขยายตัว รังสีช่วงนี้ทำให้แก้วตาอักเสบ

2.3.3 Melanogenesis(melanin pigmentation,tanning)

สีผิวคล้ำหลังได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ต แบ่งเป็น 2 ระยะ คือ

2.3.3.1 Immediate pigment darkning IPD

สีผิวคล้ำเกิดขึ้นในระหว่างฉายแสงและจางลงเมื่อหยุดฉายแสง กลไกเกิดจาก UVA และแสงช่วงมองเห็นกระตุ้นทำให้ reduced melanin เปลี่ยนเป็น oxidized melanin ซึ่งมีสีเข้มกว่าและรังสียังช่วยการกระจายของเม็ดสีสู่เซลล์ผิวหนังมากและเร็วขึ้นสีผิวจึงคล้ำลงทันที

2.3.3.2 Delayed tanning

เป็นผลมาจาก UVB และ UVA ปริมาณรังสีซึ่งทำให้ tanning จะแตกต่างกันแต่ละเชื้อชาติ กลไกการเกิด delayed tanning เชื่อว่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตทำให้จำนวนเซลล์สร้างเม็ดสีที่มีอยู่ สร้างจำนวนเม็ดสีเพิ่มขึ้น มีขนาดเม็ดสีโตขึ้น เซลล์มี dendrite แดกสาขามากขึ้น จำนวนของ melanosome เพิ่มขึ้น ขนาดโตขึ้น มีการสังเคราะห์เม็ดสีเมลานินภายใน melanosome เพิ่มขึ้นและมีการส่ง melanosome เข้าเซลล์ผิวหนังเพิ่มขึ้น

2.3.4 DNA photodamage และ mutation

DNA ของเซลล์ผิวหนังเป็นโมเลกุลที่ดูดซับรังสี (chromophore) ที่สำคัญที่สุด รังสีทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายใน DNA การเชื่อมโยงของสายกรดอะมิโนเปลี่ยนเป็น dipyrimidine

2.3.5 การสังเคราะห์วิตามินดี (vitamin D synthesis)

วิตามินดีจากอาหารมีน้อยมากปกติที่ผิวหนังมีการสร้างพันธะวิตามินดีโดย 7-dehydrocholesterol ในชั้นผิวหนังจะดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ตช่วง 250-310 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 Alteration of cellular immunity

การกดภาวะภูมิคุ้มกัน เมื่อผิวหนังได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตพบว่า Langerhan cell มีจำนวนลดลงและมีรังสีอัลตราไวโอเล็ตทำให้ Macrophage เคลื่อนเข้ามาในชั้นหนังแท้และหนังกำพร้า

2.3.7 Actinic chang, premature aging and carcinogenesis

มะเร็งผิวหนัง basal cell carcinoma, squamous cell carcinoma และ melanoma พบบ่อยบริเวณผิวหนังนอกร่มผ้าซึ่งได้รับแดดเป็นเวลานาน รังสีอัลตราไวโอเล็ตยังจะทำให้ผิวหนังห่อ่นบ่น บางแห่งและเห็นหลอดเลือดฝอยชัดเจน จากการตรวจสภาพของผิวหนังพบความหนาของเซลล์ชั้นหนังกำพร้าไม่สม่ำเสมอ รูปร่างของเซลล์และขนาดของเซลล์ผิดปกติ อาจเป็นผลมาจาก UVA เพราะรังสี UVA สามารถทะลุผ่านเข้ามาในชั้นแท้ได้ลึกกว่าและมากกว่ารังสี UVB แต่บางรายงานอธิบายว่าการเปลี่ยนแปลงชั้นหนังแท้เป็นผลมาจาก photoinflammatory UVB burn มากกว่า

2.4 วิธีวัดสีผิว

2.4.1 Color Space

- ทำการวัดค่าสีผิวในรูป RGB
- ทำการแปลงค่าที่ได้ให้อยู่ในรูปของ Normalized RGB

$$r = \frac{R}{R+G+B} \quad g = \frac{G}{R+G+B} \quad b = \frac{B}{R+G+B} \quad (2.7)$$

- ทำการแปลงค่า RGB ให้เป็นรหัส YCrCb และ Color Space อื่นๆ

$$\begin{aligned} Y &= 0.299R + 0.587G + 0.114B \\ C_r &= R - Y \\ C_b &= B - Y \end{aligned} \quad (2.8)$$

2.4.2 Skin modelling

- วิธีนี้ใช้แยกประเภทของบริเวณที่ทำการตรวจสอบอย่างชัดเจน
- ใช้หลักของวิธีแบบ Nonparametric skin
- วิธีนี้เหมาะสำหรับการแยกแยะเฉพาะจุด เช่น ปานแดง ปานดำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ระบบวัดค่าการส่องสว่าง

เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบวัตถุ หรือพื้นที่ใดๆ เป็นผลให้แสงส่วนหนึ่งสะท้อนเข้าสู่ดวงตาทำให้เกิดการมองเห็น ปริมาณแสงที่ตกกระทบวัตถุหรือพื้นที่นั้นๆ เราเรียกว่า การส่องสว่าง หรือ ความสว่าง

การส่องสว่าง (Illumination) ปริมาณแห่งการส่องสว่างบนพื้นที่ผิวใดๆ จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง และแปรผันผกผันกับค่าระยะทางยกกำลังสองระหว่างพื้นผิวนั้นกับแหล่งกำเนิดแสง และเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า กฎกำลังสองผกผัน (Inverse square law) มีหน่วยเป็น ลักซ์ หรือ ฟุตแคนเดิล มีสมการดังนี้

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (3.1)$$

E คือ ปริมาณความส่องสว่างบนพื้นที่ผิวที่พิจารณา มีหน่วยเป็นลักซ์ หรือฟุตแคนเดิล

I คือ ความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางที่พุ่งไปหาพื้นที่ผิวที่พิจารณา มีหน่วยเป็น แคนเดลา

d คือ ระยะทางระหว่างพื้นที่ผิวที่พิจารณากับแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็นเมตร หรือฟุต

3.1.1 การวัดค่าการส่องสว่าง

การวัดค่าความสว่างของแสงสามารถทำการวัดค่าได้ใน 3 รูปแบบดังนี้

1. ในรูปของความเข้มแห่งการส่องสว่าง (Luminous Intensity) หรือบางทีเรียกว่ากำลังส่องสว่าง (Candle Power) ซึ่งมีหน่วยเป็นแคนเดลา (Candela) ความเข้มแห่งการส่องสว่างหรือกำลังส่องสว่าง 1 แคนเดลา มีค่าเท่ากับความเข้มแห่งการส่องสว่าง ของวัตถุดำ (Black body) ที่อุณหภูมิเยือกแข็งของแพลาตินัม (Platinum) โดยทั่วไป ความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงมักจะมีค่าเท่ากัน และสมมาตรกันระหว่างแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในรูปของจำนวนเส้นแรงของปริมาณแสง (Luminous Flux) ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็นลูเมน

3. ในรูปของปริมาณลูเมนต่อตารางหน่วยพื้นที่ เมื่อเรานำแหล่งกำเนิดแสงที่มีค่าความเข้มการส่องสว่างเท่ากับ 1 แคนเดลา ไปวางไว้ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมที่มีรัศมี 1 ฟุต ปริมาณแสง 1 ลูเมนจะไปตกลงบนทุกๆหนึ่งตารางฟุตบนพื้นผิวของทรงกลม ปริมาณแห่งการส่องสว่างที่เกิดขึ้นเท่ากับ 1 ฟุต แคนเดลาหรือ 1 ลูเมนต่อตารางฟุต หรือ 1 ลูเมนต่อตารางฟุต ในทำนองเดียวกันถ้ารัศมีของทรงกลมดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 1 เมตร ปริมาณแห่งการส่องสว่างที่เกิดขึ้นบนพื้นที่ตารางเมตรบนพื้นผิวของทรงกลมจะมีค่าเท่ากับ 1 ลักซ์หรือ 1 ลูเมนต่อตารางเมตร

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. Luminance meter



รูปที่ 3.1 เครื่องลูมิแนนซ์มิเตอร์ (Luminance meter)

จากรูปที่ 3.1 เครื่องลูมิแนนซ์มิเตอร์รุ่น LS-110 ผลิตโดย Konica-Minolta คุณสมบัติการวัดอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 999900 แคนเดลาต่อตารางเมตร สามารถวัดได้ทั้งหน่วยแคนเดลาต่อตารางเมตรและหน่วยฟุตแคนเดลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แหล่งกำเนิดแสง



รูปที่ 3.2 แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการทดลอง

จากรูปที่ 3.2 แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการทดลองเป็นหลอดไฟทั้งสแตนดีขาว SYLVANIA 15W , 60Lm/W

3. ฟิลเตอร์



รูปที่ 3.3 ฟิลเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.3 ฟิลเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง มี 3 สี ดังนี้ สีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดงซึ่งมีค่าความยาวคลื่นอยู่ในช่วงที่ตามนุษย์มองเห็น คือ 400 – 700 นาโนเมตร

4. กล้องดำ



รูปที่ 3.4 กล้องดำที่ใช้ในการทดลอง

กล้องดำที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 14*14 นิ้ว

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. จัดวางอุปกรณ์ ดังรูป



รูปที่ 3.5 แสดงการจัดวางอุปกรณ์

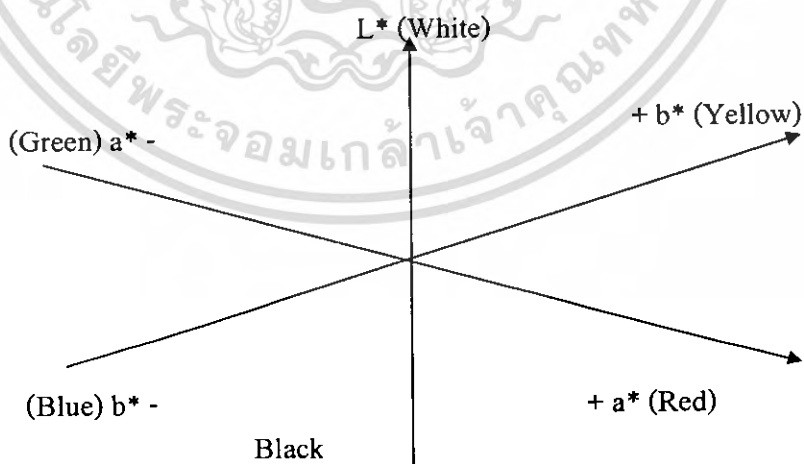
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำหนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2. ปรับค่า CCF ให้ได้ค่าตามมาตรฐานของเครื่องลูมิแนนซ์มิเตอร์ โดยที่
 - สีน้ำเงินมี CCF เท่ากับ 1.123
 - สีเขียวมี CCF เท่ากับ 1.018
 - สีแดงมี CCF เท่ากับ 0.995
3. วัดค่าความสว่างที่เกิดการสะท้อนจากวัตถุ
4. เก็บข้อมูลผลการทดลอง
5. นำผลที่ได้มาวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์จะได้ค่า CIE Color Space (XYZ), CIELAB (L^* , a^* , b^* , h° , C)

ค่า	L^*	แสดงถึงค่าความสว่างของวัตถุบอกถึงค่าความสว่างของสี ขาว - ดำ
ค่า	a^*	แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสี เขียว - แดง
ค่า	b^*	แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำเงิน - เหลือง
ค่า	h°	แสดงถึงค่ามุมสี (hue angle) <ul style="list-style-type: none"> - ถ้า h° มีค่ามากลักษณะสีผิวค่อนข้างไปทางสีเหลือง - ถ้า h° มีค่าน้อยลักษณะสีผิวค่อนข้างไปทางสีแดง
ค่า	C	แสดงถึงค่าความเข้มสีของวัตถุ <ul style="list-style-type: none"> - ถ้า C มีค่ามากลักษณะสีผิวคล้ำ - ถ้า C มีค่าน้อยลักษณะสีผิวขาว



รูปที่ 3.6 แสดง CIELAB Color Space [1]

- หาค่าเฉลี่ยของ R B G และนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาหาค่า X Y Z [2]

$$\text{จาก } \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.490 & 0.310 & 0.200 \\ 0.177 & 0.813 & 0.010 \\ 0.000 & 0.010 & 0.990 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

- นำค่าที่ได้มาหาค่า L^* , a^* , b^* [1,2]

$$\text{จาก } L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16, \text{ if } \left(\frac{Y}{Y_n} \right) > 0.01 \quad (3.3)$$

$$L^* = 903 \frac{Y}{Y_n}, \text{ otherwise}$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right] \quad (3.4)$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right] \quad (3.5)$$

- นำค่าที่ได้มาหาค่า h° , C [1]

$$h^\circ = \arctan \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (3.6)$$

$$C = \left[(a^*)^2 + (b^*)^2 \right]^{1/2} \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

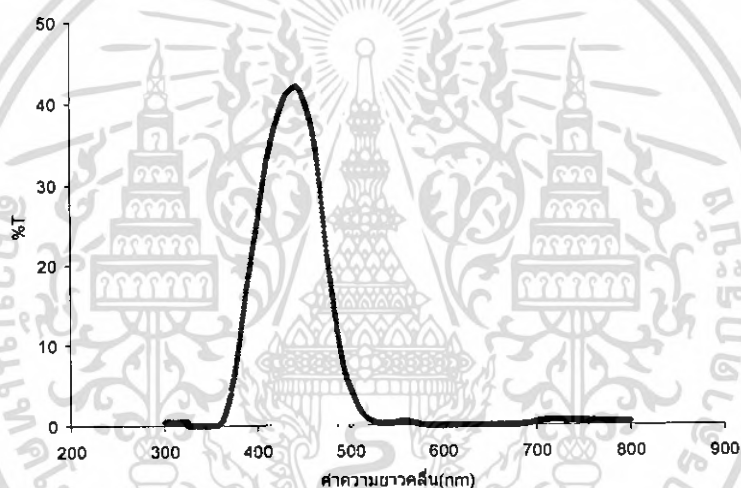
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 คุณสมบัติของฟิลเตอร์

ทำการวัดคุณสมบัติของฟิลเตอร์ด้วยเครื่อง UV –VIS Spectrophotometer

4.1.1 วัดช่วงความยาวคลื่นของฟิลเตอร์สีน้ำเงิน

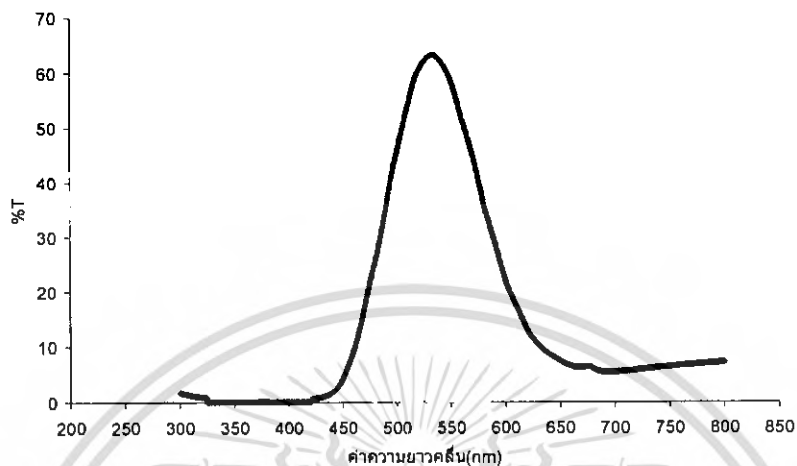


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการตอบสนองของช่วงความยาวคลื่นของฟิลเตอร์สีน้ำเงิน

จากรูปที่ 4.1 แสดงการตอบสนองของช่วงความยาวคลื่นที่ผ่านได้ของฟิลเตอร์สีน้ำเงินจะเห็นว่า ช่วงความยาวคลื่นของฟิลเตอร์สีน้ำเงินมีค่าอยู่ระหว่าง 300 – 520 นาโนเมตร มีค่าการทะลุผ่านสูงสุดที่ ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร และมีค่า Bandwidth เท่ากับ 100 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

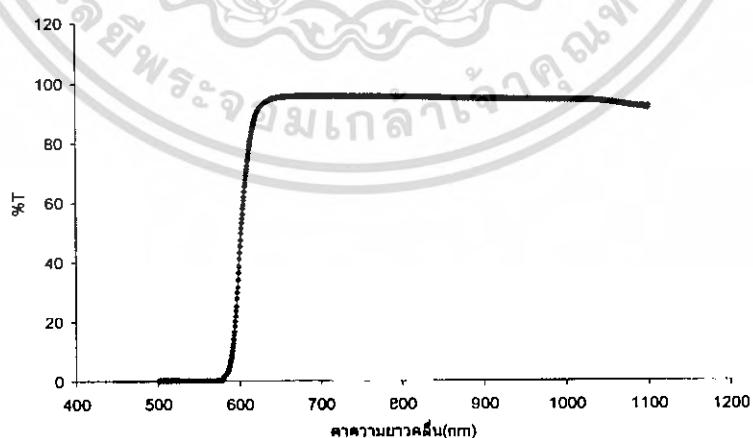
4.1.2 วัดช่วงความยาวคลื่นของฟิลเตอร์สีเขียว



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการตอบสนองของช่วงความยาวคลื่นของฟิลเตอร์สีเขียว

จากรูปที่ 4.2 แสดงการตอบสนองของช่วงความยาวคลื่นที่ผ่านได้ของฟิลเตอร์สีเขียวจะเห็นว่า ช่วงความยาวคลื่นของฟิลเตอร์สีเขียวมีค่าอยู่ระหว่าง 400 – 650 นาโนเมตร มีค่าการทะลุผ่านสูงสุดที่ ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตรและมีค่า Bandwidth เท่ากับ 100 นาโนเมตร

4.1.3 วัดช่วงความยาวคลื่นของฟิลเตอร์สีแดง



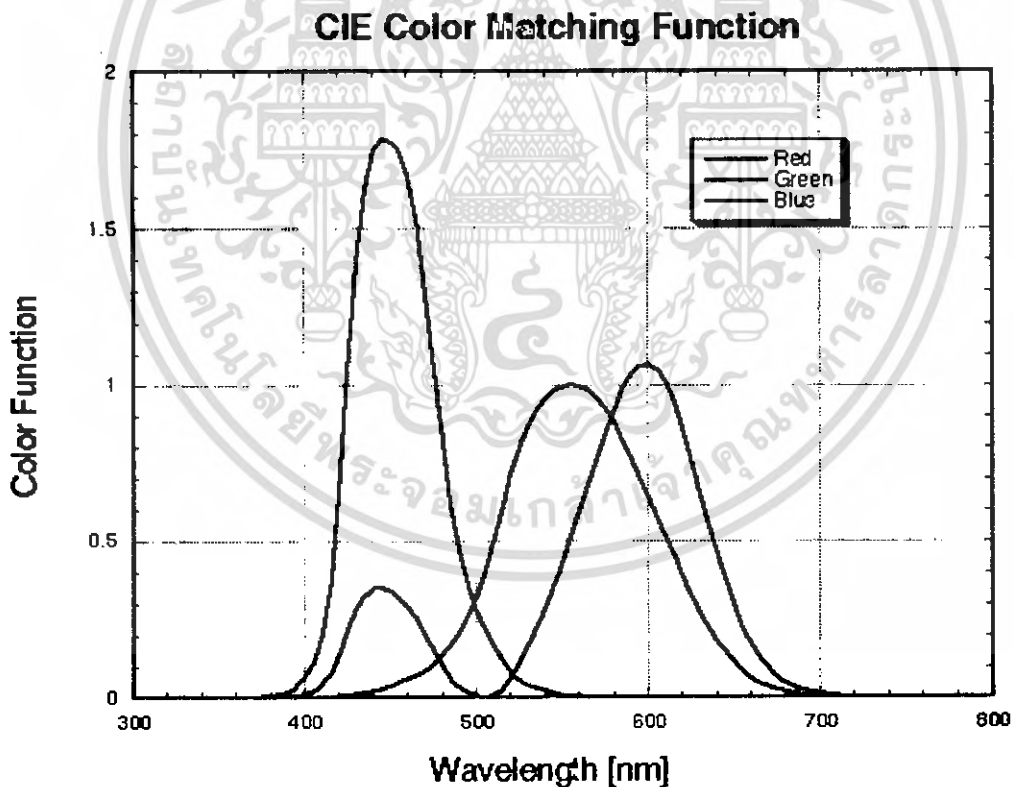
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการตอบสนองของช่วงความยาวคลื่นของฟิลเตอร์สีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 แสดงการตอบสนองของช่วงความยาวคลื่นที่ผ่านได้ของฟิลเตอร์สีแดงจะเห็นว่ากราฟมีลักษณะต่างจากกราฟสีอื่นเนื่องจากมีลักษณะเป็น High pass filter แสงที่ผ่านจะต้องมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 580 นาโนเมตรเป็นต้นไป

4.1.4 Color-matching function

นำช่วงความยาวคลื่นของฟิลเตอร์ทั้ง 3 สี มาเทียบกับหลักการพื้นฐานบนทฤษฎีการมองเห็นของตามนุษย์ที่มีความไวแสงต่อสี 3 สี ได้แก่ น้ำเงิน แดง และเขียว กราฟฟังก์ชันมาตรฐานความไวแสงของตามนุษย์ (standard observer) ฟังก์ชันที่ได้นี้เรียกว่า Color-matching function ซึ่งการวัดค่าไตรสติมูลัส XYZ จะคำนวณมาจากฟังก์ชันนี้



รูปที่ 4.4 แสดง CIE Color Matching Function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 แสดง CIE Color Matching Function

ความยาวคลื่นของฟิลเตอร์สีน้ำเงินมีช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 380 - 560 นาโนเมตร

ความยาวคลื่นของฟิลเตอร์สีเขียวมีช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 420 - 700 นาโนเมตร

ความยาวคลื่นของฟิลเตอร์สีแดงมีช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 500 - 700 นาโนเมตร

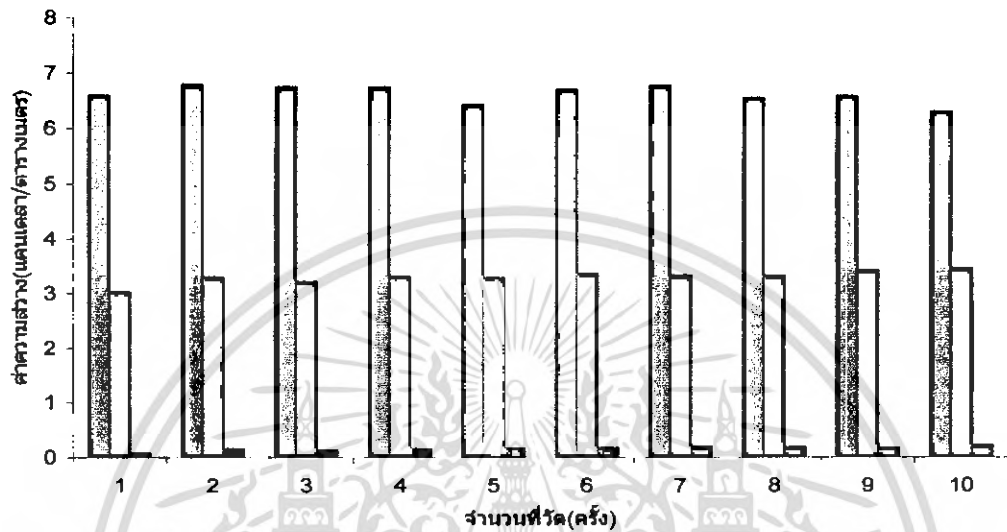
4.2 วัดค่าความสว่างของวัตถุ

4.2.1 วัดค่าความสว่างของวัตถุสีขาว

กรณีที่ยังไม่ปรับแฟกเตอร์แก้ไข Color Correction Factor (CCF)

ตารางที่ 4.1 ค่าความสว่างของวัตถุสีขาว (Cd/m^2) ไม่ปรับแฟกเตอร์แก้ไข

ชนิด	สีขาว		
	ฟิลเตอร์	สีเขียว	สีแดง
1	6.6	3.03	0.07
2	6.8	3.3	0.15
3	6.77	3.22	0.13
4	6.77	3.31	0.15
5	6.46	3.29	0.16
6	6.73	3.38	0.17
7	6.82	3.35	0.19
8	6.6	3.34	0.18
9	6.64	3.44	0.17
10	6.36	3.48	0.22



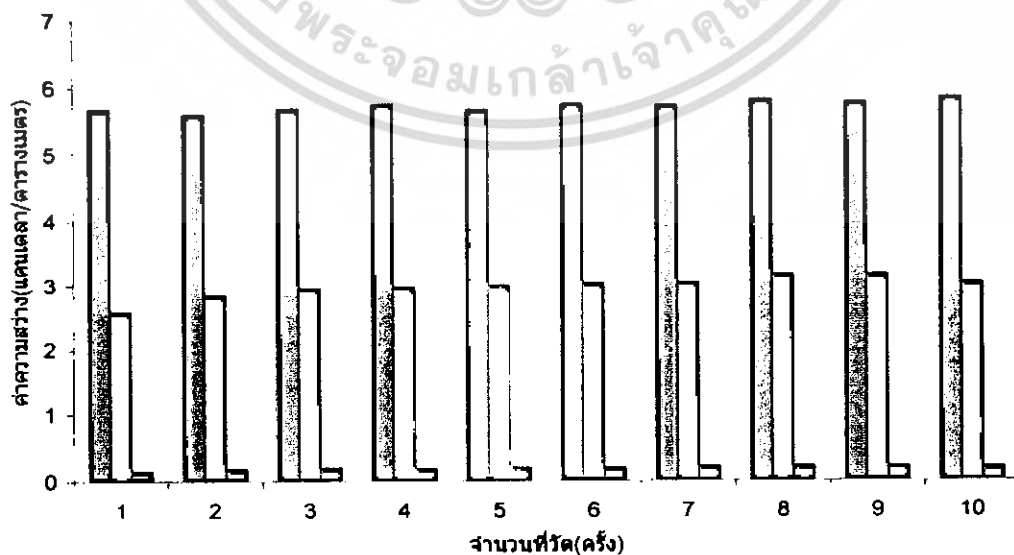
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าความสว่างของสีขาวเมื่อผ่านฟิลเตอร์กรณีไม่ปรับแฟกเตอร์แก๊ส

จากรูปที่ 4.5 แสดงค่าความสว่างของวัสดุสีขาวเมื่อผ่านฟิลเตอร์กรณีไม่ปรับแฟกเตอร์แก๊ส จะเห็นว่าแผนภูมิแท่งสีเขียวมีค่าสูงกว่าสีอื่นเนื่องจากแสงสีเขียวมีการตอบสนองต่อวัสดุสีขาวดีกว่าแสงสีแดงและสีน้ำเงิน

กรณีที่ปรับแฟกเตอร์แก้สี Color Correction Factor (CCF)

ตารางที่ 4.2 ค่าความสว่างของวัตถุสีขาว (Cd/m^2)ปรับแฟกเตอร์แก้สี

ชนิด	สีขาว			
	ฟิลเตอร์	สีเขียว	สีแดง	สีน้ำเงิน
1		5.681	2.587	0.157
2		5.599	2.846	0.18
3		5.691	2.945	0.202
4		5.752	2.965	0.18
5		5.671	2.995	0.202
6		5.752	3.025	0.191
7		5.732	3.035	0.213
8		5.813	3.164	0.213
9		5.772	3.164	0.213
10		5.833	3.025	0.202



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟค่าความสว่างของสีขาวเมื่อผ่านฟิลเตอร์กรณีปรับแฟกเตอร์แก้สี

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิชาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 แสดงค่าความสว่างของวัตถุสีขาวเมื่อผ่านฟิลเตอร์กรณีปรับแฟกเตอร์แก้สีจะเห็นว่าผลที่ได้จะต่างจากตอนไม่ปรับแฟกเตอร์แก้สีเล็กน้อยเนื่องมาจากเมื่อทำการปรับแฟกเตอร์แก้สีแล้วจะได้ค่าที่เป็นมาตรฐานยิ่งขึ้น

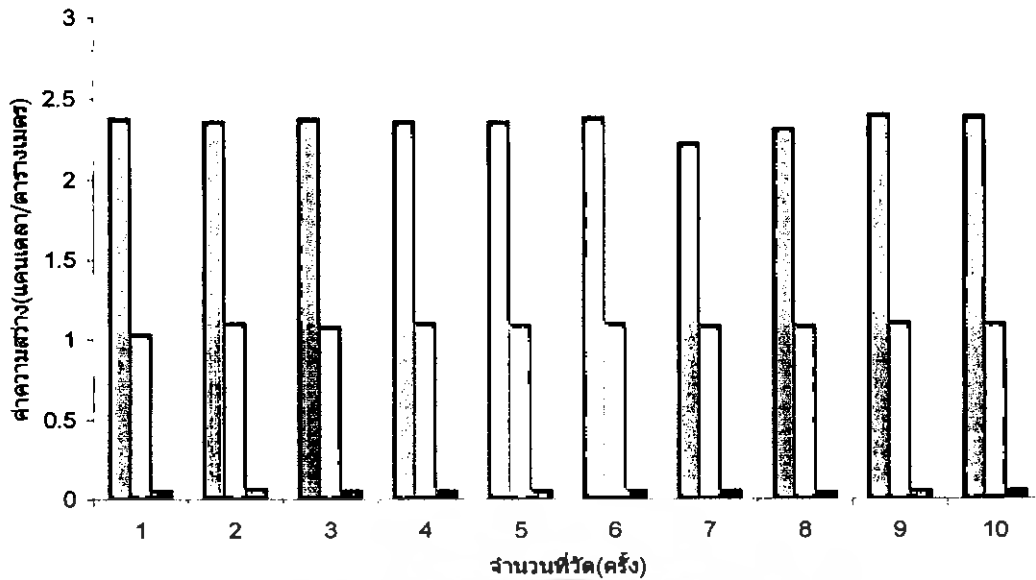
4.2.2 วัดค่าความสว่างของวัตถุสีดำ

กรณีปรับแฟกเตอร์แก้สี Color Correction Factor (CCF)

ตารางที่ 4.3 ค่าความสว่างของวัตถุสีดำ (Cd/m^2) กรณีปรับแฟกเตอร์แก้สี

ชนิด	สีดำ			
	ฟิลเตอร์	สีเขียว	สีแดง	สีน้ำเงิน
1		2.382	1.035	0.056
2		2.362	1.105	0.067
3		2.382	1.085	0.056
4		2.362	1.105	0.056
5		2.362	1.095	0.056
6		2.392	1.105	0.056
7		2.232	1.095	0.056
8		2.322	1.095	0.045
9		2.413	1.114	0.056
10		2.403	1.105	0.056

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟค่าความสว่างของสีดำเมื่อผ่านฟิลเตอร์กรณีปรับแฟกเตอร์แก้สี

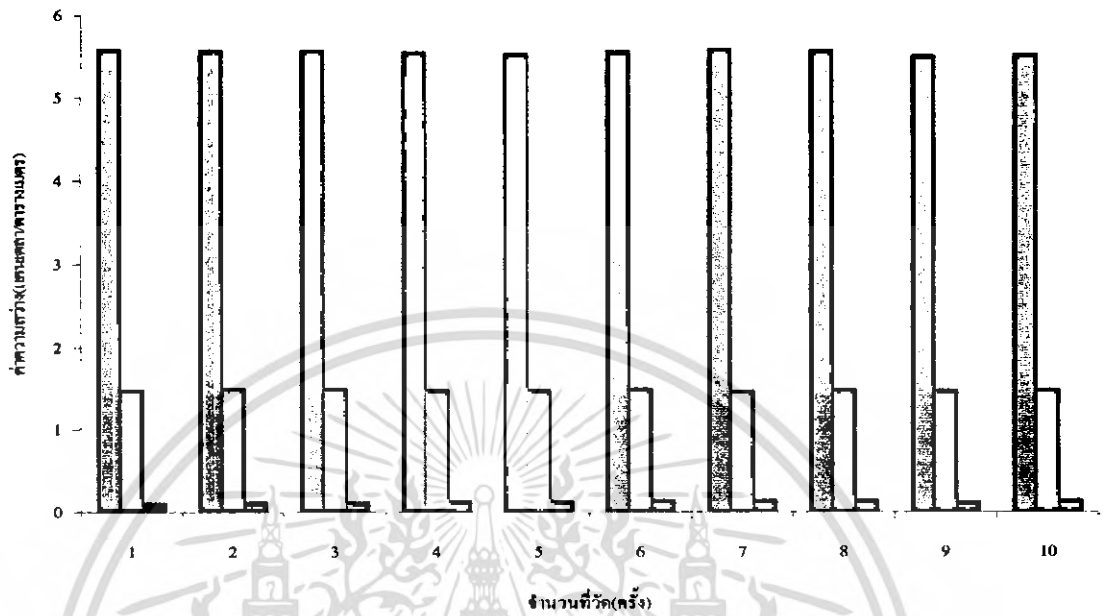
จากรูปที่ 4.7 แสดงค่าความสว่างของวัตถุสีดำเมื่อผ่านฟิลเตอร์กรณีปรับแฟกเตอร์แก้สีจะเห็นว่าค่าความสว่างของสีดำมีค่าน้อยกว่าได้จากแกน y เนื่องมาจากวัตถุสีดำดูดกลืนความยาวคลื่นได้ดีกว่าวัตถุอื่นๆ ในทุกความยาวคลื่น แผนภูมิแท่งสีเขียวยังคงมีการตอบสนองต่อวัตถุสีดำได้ดีกว่าแสงสีแดงและสีน้ำเงิน

4.2.3 วัดค่าความสว่างของวัตถุสีเขียว

กรณีที่ปรับแฟกเตอร์แก้สี Color Correction Factor (CCF)

ตารางที่ 4.4 ค่าความสว่างของวัตถุสีเขียว (Cd/m²) กรณีปรับแฟกเตอร์แก้สี

ชนิดฟิลเตอร์	สีเขียว		
	สีเขียว	สีแดง	สีน้ำเงิน
1	5.579	1.483	0.124
2	5.579	1.503	0.124
3	5.589	1.503	0.112
4	5.565	1.493	0.135
5	5.548	1.483	0.135
6	5.579	1.503	0.146
7	5.609	1.473	0.146
8	5.589	1.493	0.146
9	5.528	1.483	0.124
10	5.548	1.493	0.146



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟค่าความสว่างของเทียนเมื่อผ่านฟิลเตอร์กรณีปรับแฟกเตอร์แก๊ส

จากรูปที่ 4.8 แสดงกราฟค่าความสว่างของเทียนเมื่อผ่านฟิลเตอร์กรณีปรับแฟกเตอร์แก๊สจะเห็นว่าแผนภูมิแท่งเทียนมีการตอบสนองดีและมีค่าสูงกว่าแสงสีแดงและสีน้ำเงินเราจึงสามารถแยกแยะได้ว่าวัตถุที่ทำการวัดเป็นวัตถุเทียน

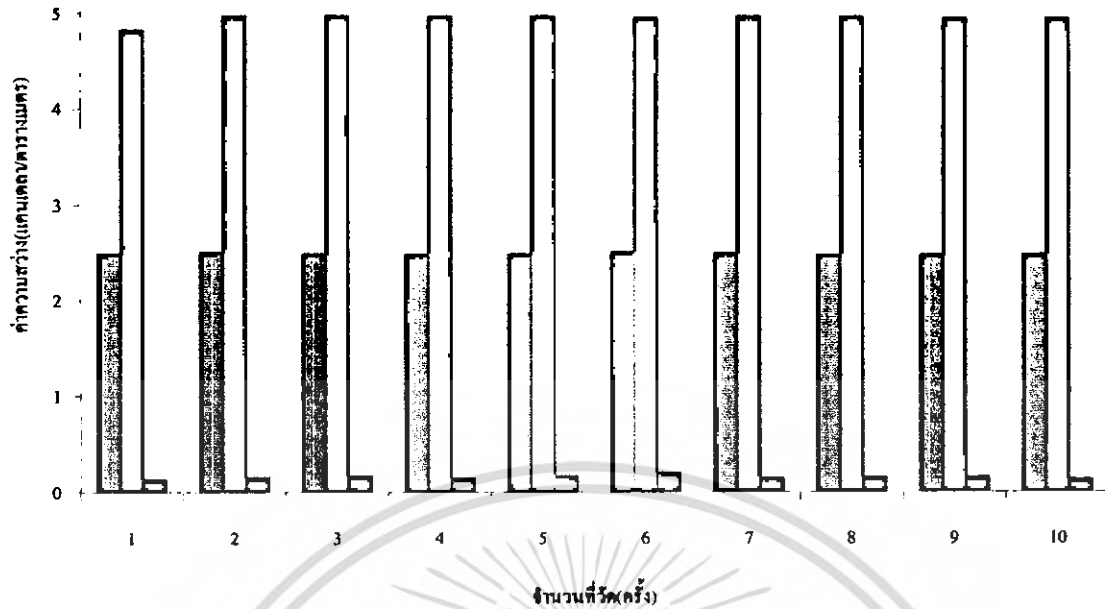
4.2.4 วัดค่าความสว่างของวัตถุสีแดง

กรณีปรับแฟกเตอร์แก้สี Color Correction Factor (CCF)

ตารางที่ 4.5 ค่าความสว่างของวัตถุสีแดง (Cd/m^2) กรณีปรับแฟกเตอร์แก้สี

ชนิด	สีแดง		
	ฟิลเตอร์	สีเขียว	สีน้ำเงิน
1	2.494	4.826	0.135
2	2.515	4.975	0.157
3	2.494	4.975	0.168
4	2.484	4.965	0.146
5	2.494	4.975	0.168
6	2.515	4.958	0.202
7	2.504	4.975	0.145
8	2.484	4.965	0.157
9	2.484	4.955	0.157
10	2.494	4.955	0.135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟค่าความสว่างของสีแดงเมื่อผ่านฟิลเตอร์กรณีปรับแฟกเตอร์แก๊ส

จากรูปที่ 4.9 แสดงกราฟค่าความสว่างของสีแดงเมื่อผ่านฟิลเตอร์กรณีปรับแฟกเตอร์แก๊สจะเห็นว่าแผนภูมิแท่งสีแดงมีการตอบสนองได้ดีและค่าสูงกว่าแสงสีเขียวและสีน้ำเงิน จึงแยกแยะได้ว่าวัตถุที่ทำการวัดเป็นวัตถุสีแดง

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าเปรียบเทียบการตอบสนองของวัตถุสีในแต่ละแสงสี

ชนิด	ฟิลเตอร์		
	สีเขียว	สีแดง	สีน้ำเงิน
สีขาว	5.7296	2.9751	0.1953
สีดำ	2.3612	1.0939	0.056
สีเขียว	5.5713	1.491	0.1338
สีแดง	2.4962	4.9521	0.157

จากตารางที่ 4.6 แสดงค่าเปรียบเทียบการตอบสนองของวัตถุสีในแต่ละแสงสีจะเห็นว่าวัตถุสีขาวมีค่าการตอบสนองต่อแสงสีเขียวดีกว่าแสงสีแดงและสีน้ำเงิน วัตถุสีดำมีค่าการตอบสนองต่อแสงสีเขียวดีกว่าแสงสีแดงและสีน้ำเงิน วัตถุสีเขียวมีค่าการตอบสนองต่อแสงสีเขียวดีกว่าแสงสีแดงและสีน้ำเงิน วัตถุสีแดงมีค่าการตอบสนองต่อแสงสีแดงดีกว่าแสงสีเขียวและสีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 หาค่าการทดลองของ Skin color

4.3.1 วัดค่าความสว่างสีผิวของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่าง

เมื่อผ่านฟิลเตอร์สีเขียว แดง และน้ำเงิน แล้วนำค่าเฉลี่ยที่ได้ของแต่ละสีไปทำการหาค่าไตรสติมูลัส XYZ ตามสมการ(3.2) และแปลงค่าเป็น CIELAB ได้แก่ ค่า L^* , h° , C ตามสมการ(3.3), (3.6), (3.7) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 แสดงค่า CIELAB ของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่าง

ลำดับที่	L^*	h°	C
1	88.4	53.06	25
2	91.88	52.43	32.8
3	82.6	70.35	29.73
4	79.12	0	30
5	93.04	0	24
6	94.2	28.81	45.65
7	98.84	21.8	43.08
8	79.12	16.17	57.28
9	87.24	70.35	14.87
10	104.64	72.65	33.53
11	105.8	38.66	38.42
12	62.88	9.65	35.51
13	119.72	24.7	38.48
14	90.72	7.41	30.26
15	113.92	59.97	30.02
16	117.4	55.22	43.83
17	117.4	0.07	39.29
18	72.16	19.29	84.76
19	113.92	36.5	43.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	L*	h°	C
20	119.72	0	34
21	97.68	2.86	40.05
22	106.96	-38.66	19.21
23	106.96	53.06	25
24	108.12	-80.05	115.74

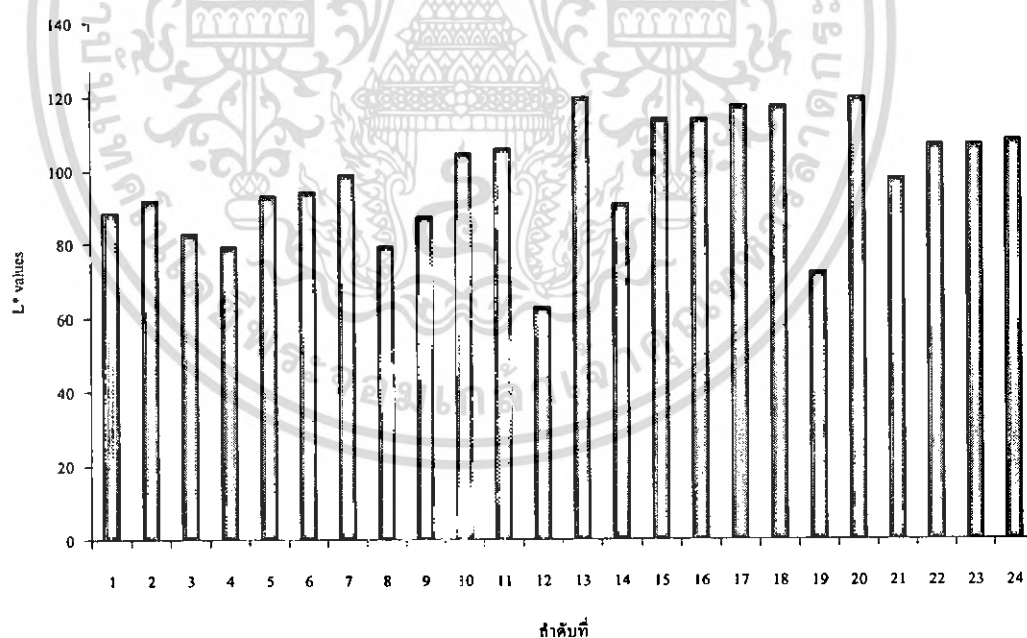
จากตารางค่าสีผิวของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่าง(ชาวเอเชีย)จำนวน 24 คนจะได้ค่า CIELAB ดังนี้

ค่า L* มีค่าระหว่าง 62.88 – 119.72

ค่า h° มีค่าระหว่าง -80.05° – 72.65°

ค่า C มีค่าระหว่าง 14.87 – 115.74

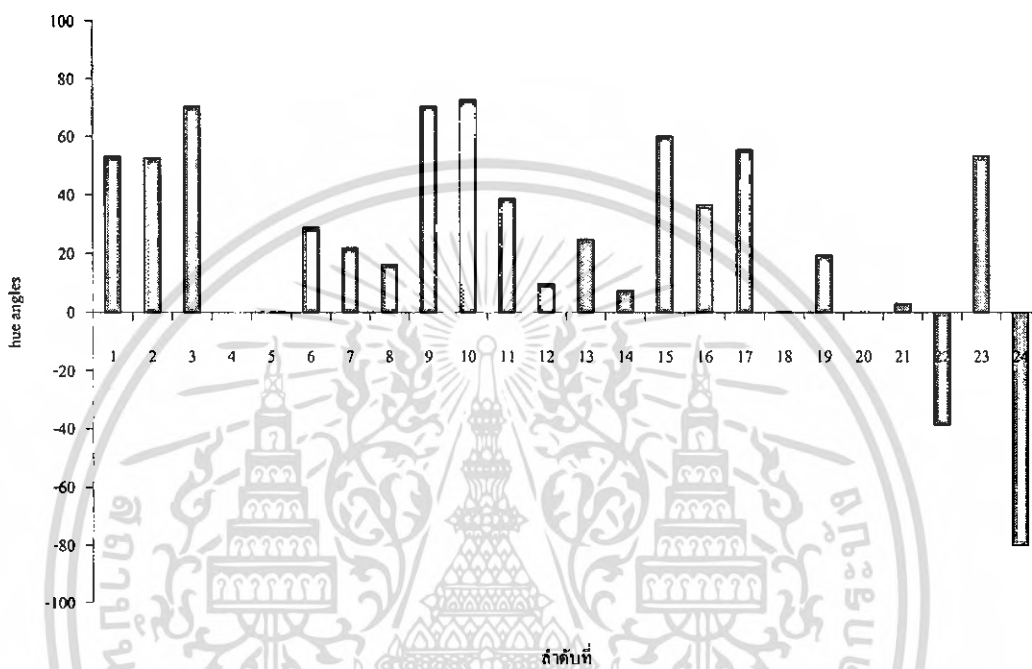
4.3.1.1 แผนภูมิแท่งแสดงค่า L*, h°, C ของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่าง



รูปที่ 4.10 แสดงค่า L* ในรูปของแผนภูมิแท่งของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่าง

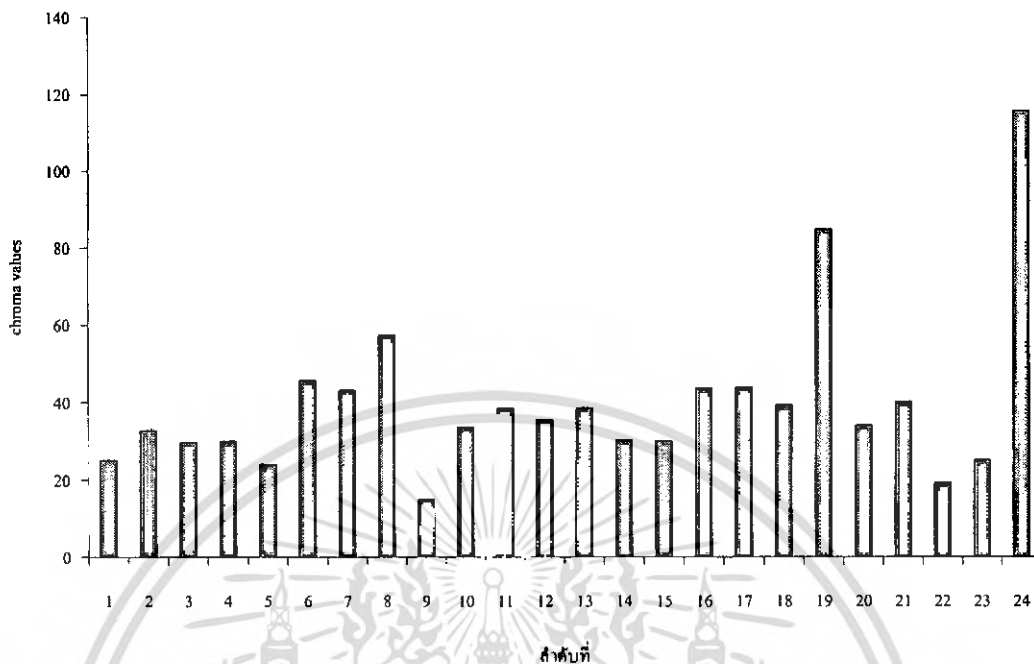
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 แสดงค่า L^* ในรูปของแผนภูมิแท่งของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่างจะเห็นว่าค่า L^* ที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 62.88 – 119.72 แคนเดลาต่อตารางเมตร จากรูปนักศึกษาตัวอย่างลำดับที่ 12, 19 มีค่า L^* น้อย สามารถแยกแยะได้ว่ามีลักษณะสีผิวคล้ำ



รูปที่ 4.11 แสดงค่า h° ในรูปของแผนภูมิแท่งของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่าง

จากรูปที่ 4.11 แสดงค่า h° ในรูปของแผนภูมิแท่งของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่างจะเห็นว่าค่า h° ที่ได้จะมีทั้งค่าเป็นบวก ลบ และศูนย์ มีค่าอยู่ระหว่าง -80.05° - 72.65° จากรูปนักศึกษาตัวอย่างลำดับที่ 22, 24 มีค่า h° เป็นลบ สามารถแยกแยะได้ว่ามีลักษณะสีผิวค่อนข้างไปทางสีแดง



รูปที่ 4.12 แสดงค่า C ในรูปของแผนภูมิแท่งของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่าง

จากกราฟรูปที่ 4.12 แสดงค่า C ในรูปของแผนภูมิแท่งของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่างจะเห็นว่าค่า C ที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 14.87 – 115.74 จากรูปนักศึกษาตัวอย่างลำดับที่ 19, 24 ค่า C มีค่าสูงมาก สามารถแยกแยะได้ว่ามีลักษณะสีผิวคล้ำ

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า L^* , a^* , b^* ของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่าง

ลำดับที่	L^*	a^*	b^*
1	88.4	15	20
2	91.88	20	26
3	82.6	10	28
4	79.12	30	0
5	93.04	0	24
6	94.2	40	22
7	98.84	40	16
8	79.12	55	16

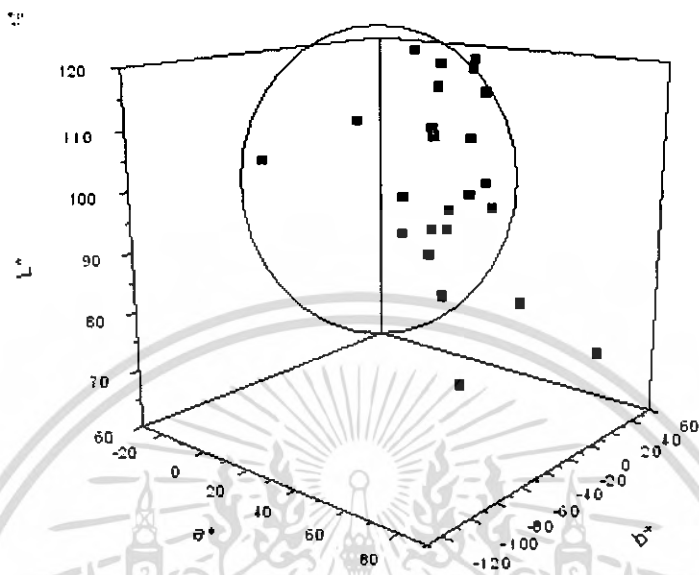
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	L*	a*	b*
9	87.24	5	14
10	104.64	10	32
11	105.8	30	24
12	62.88	35	6
13	119.72	35	16
14	90.72	30	4
15	113.92	15	26
16	113.92	35	26
17	117.4	25	36
18	117.4	10	38
19	72.16	80	28
20	119.72	0	34
21	97.68	40	2
22	106.96	-15	12
23	106.96	15	20
24	108.12	20	-114

จากตารางที่ 4.8 ค่า a^* , b^* หาได้ตามสมการ(3.4), (3.5) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.2 กราฟค่า L^* , a^* และ b^* ของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่าง



รูปที่ 4.13 แสดงค่า L^* , a^* , b^* บนระนาบ XYZ ของกลุ่มนักศึกษา

จากรูปที่ 4.13 แสดงค่า L^* , a^* , b^* บนระนาบ XYZ ของกลุ่มนักศึกษาจะเห็นว่านักศึกษาส่วนใหญ่มีลักษณะสีผิวอยู่ในช่วงสีผิวขาว – เหลือง

4.4 การทดสอบผลของไวเทนนิ่งต่อค่าสีผิว

4.4.1 ทดสอบค่าความสว่างของสีผิวผู้ทดสอบคนที่ 1 (แขนซ้าย)

โดยทาไวเทนนิ่ง ที่ปลายแขนด้านซ้ายแล้วทำการวัดค่าความสว่างทุกวันเป็นเวลา 10 วัน เมื่อผ่านฟิลเตอร์สีเขียว แดง และน้ำเงิน แล้วนำค่าเฉลี่ยที่ได้ของแต่ละสีไปทำการหาค่าไตรสตีมิคัล XYZ ตามสมการ (3.2) และแปลงค่าเป็น CIELAB ได้แก่ ค่า L^* , h° , C ตามสมการ (3.3), (3.6), (3.7) ตามลำดับ ได้ผลดังนี้

ผู้ทดสอบคนที่ 1

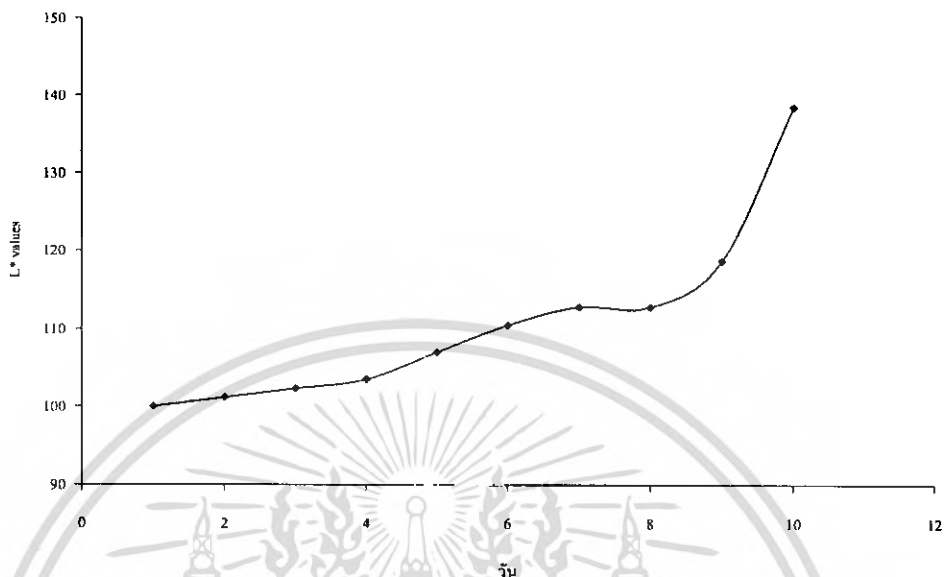
ตารางที่ 4.9 แสดงค่า CIELAB ของผู้ทำการทดสอบไวเทนนิ่งคนที่ 1(แขนซ้าย)

วันที่	L*	h°	C
1	100	75.96	43.17
2	101.16	38.66	46.1
3	102.32	48.24	20.61
4	103.48	24.23	33.54
5	106.96	40.69	40.45
6	110.44	76.61	43.86
7	112.76	63.43	37.54
8	112.76	34.21	60.46
9	118.56	8.53	32.01
10	138.28	70.35	59.46

จากตารางค่าสีผิวของผู้ทดสอบไวเทนนิ่งจะได้ค่า CIELAB ดังนี้

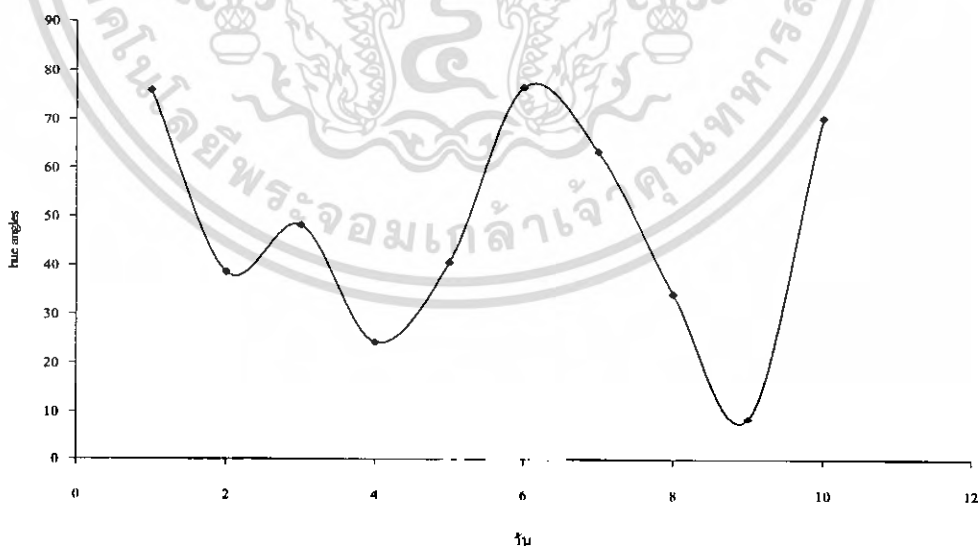
ค่า	L*	มีค่าระหว่าง	100 - 138.28
ค่า	h°	มีค่าระหว่าง	8.53° - 76.61°
ค่า	C	มีค่าระหว่าง	20.61 - 60.46

4.4.1.1 กราฟแสดงค่า L^* , h° , C



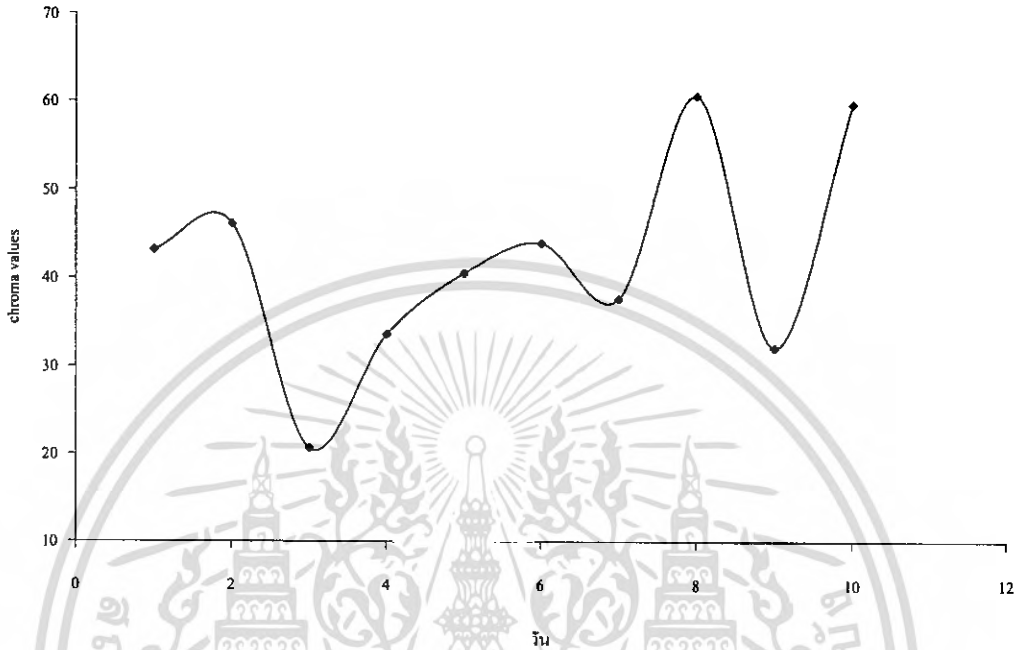
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่า L^* ของผู้ทดสอบไวเทนนึงคนที่ 1(แขนซ้าย)

จากรูปที่ 4.14 แสดงค่า L^* ของผู้ทดสอบไวเทนนึงคนที่ 1 แขนซ้ายจะเห็นว่าค่า L^* สูงขึ้นเรื่อยๆตามลำดับตลอดระยะเวลาที่ทำการทดสอบค่า L^* มีค่าระหว่าง 100 – 138.28 แคนเดลาต่อตารางเมตร



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่า h° ของผู้ทดสอบไวเทนนึงคนที่ 1(แขนซ้าย)

จากรูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่า h° ของผู้ทดสอบไวเทนนึงคนที่ 1 แขนซ้ายจะเห็นว่าค่า h° ที่ได้มีค่าระหว่าง $8.53^\circ - 76.61^\circ$



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่า C ของผู้ทดสอบไวเทนนึงคนที่ 1(แขนซ้าย)

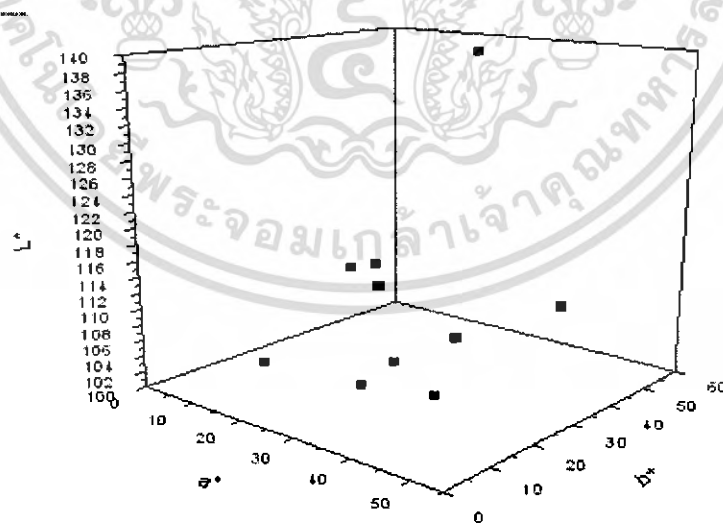
จากรูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่า C ของผู้ทดสอบไวเทนนึงคนที่ 1 แขนซ้ายจะเห็นว่าค่า C ที่ได้มีค่าระหว่าง 20.61 - 60.46

ตารางที่ 4.10 แสดงค่า L^* , a^* , b^* ของผู้ทำการทดสอบไวเทนนิ่งคนที่1(แขนซ้าย)

วันที่	L^*	a^*	b^*
1	100	5	20
2	101.16	25	20
3	102.32	25	28
4	103.48	40	18
5	106.96	35	30
6	110.44	10	42
7	112.76	15	30
8	112.76	50	34
9	118.56	40	6
10	138.28	20	56

จากตารางที่ 4.7 ค่า a^* , b^* หาได้ตามสมการ(3.4), (3.5) ตามลำดับ

4.4.1.2 กราฟค่า L^* , a^* และ b^*



รูปที่ 4.17 แสดงค่า L^* , a^* , b^* บนระนาบ XYZ ของผู้ทดสอบไวเทนนิ่งคนที่1(แขนซ้าย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.17 แสดงค่า L^* , a^* , b^* บนระนาบ XYZ ของผู้ทดสอบไวเทนนึงคนที่ 1 แขนซ้ายจะเห็นว่าลักษณะสีผิวอยู่ในช่วงสีผิวน้ำเงิน - ดำ - แดง

4.4.2 ทดสอบค่าความสว่างของสีผิวผู้ทดสอบคนที่ 2 (แขนซ้าย)

ผู้ทดสอบคนที่ 2

ตารางที่ 4.11 แสดงค่า CIELAB ของผู้ทำการทดสอบไวเทนนึงคนที่ 2(แขนซ้าย)

วัน	L^*	h°	C
1	106.96	36.87	50
2	110.44	32.62	59.36
3	110.44	38.66	51.22
4	111.6	38.66	44.82
5	111.6	57.99	37.73
6	111.6	57.99	37.73
7	122.04	63.43	33.54
8	126.68	69.68	57.58
9	149.88	0	50
10	149.88	0	50

จากตารางค่าสีผิวของผู้ทดสอบไวเทนนึงจะได้ค่า CIELAB ดังนี้

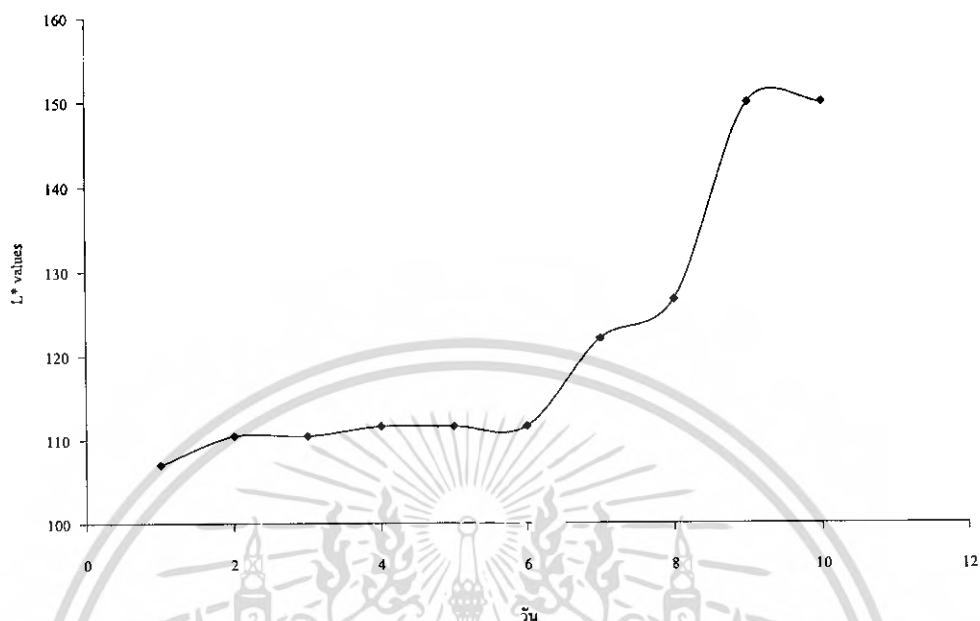
ค่า L^* มีค่าระหว่าง 106.96 – 149.88

ค่า h° มีค่าระหว่าง 0° – 69.68°

ค่า C มีค่าระหว่าง 33.54 57.58

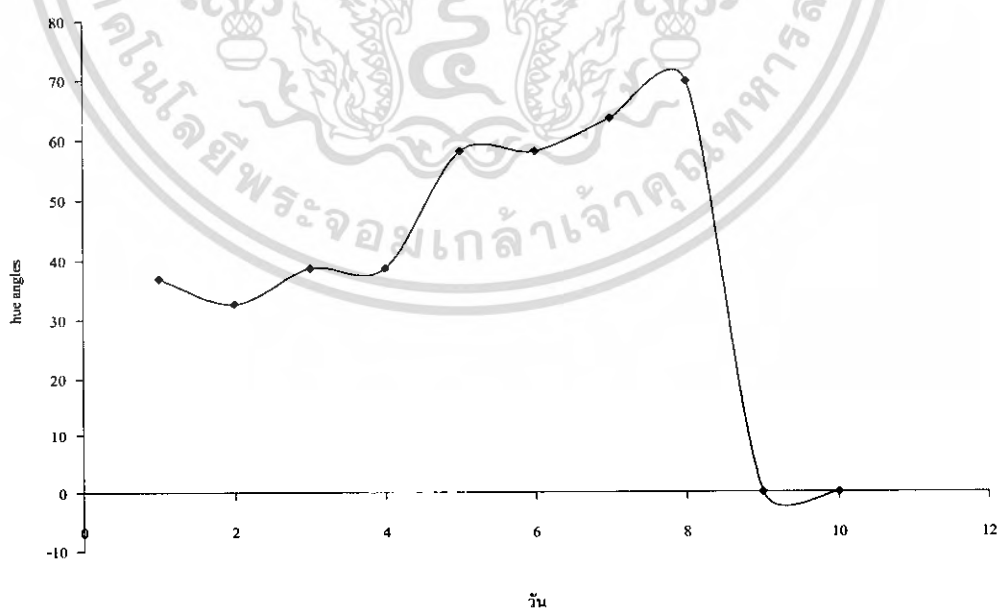
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.1 กราฟแสดงค่า L^* , h° , C



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่า L^* ของผู้ทดสอบไวเทนนิ่งคนที่ 2 (แขนซ้าย)

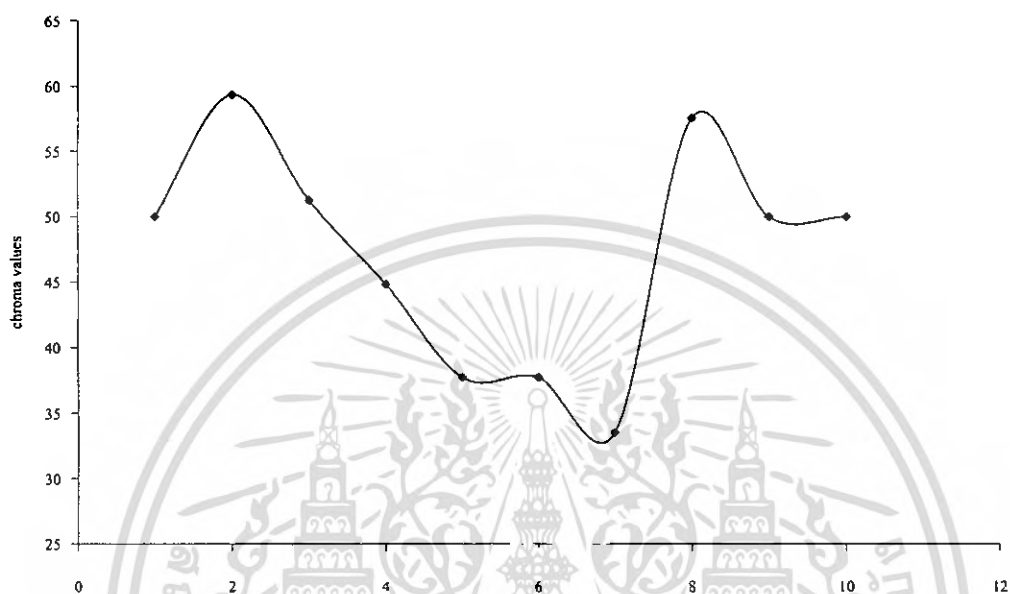
จากรูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่า L^* ของผู้ทดสอบไวเทนนิ่งคนที่ 2 จะเห็นว่าค่า L^* มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดสอบ ซึ่งค่า L^* ที่ได้ มีค่าระหว่าง 106.96 – 149.88 แคนเดลาต่อตารางเมตร



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่า h° ของผู้ทดสอบไวเทนนิ่งคนที่ 2 (แขนซ้าย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บวกและศูนย์ ซึ่งมีค่าระหว่าง $0^\circ - 69.68^\circ$



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่า C ของผู้ทดสอบไวเทนนิงคนที่ 2 (แขนซ้าย)

จากรูปที่ 4.20 แสดงค่า C ของผู้ทดสอบไวเทนนิงคนที่ 2 จะเห็นว่าค่า C ที่ได้มีค่าระหว่าง 33.54 – 57.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

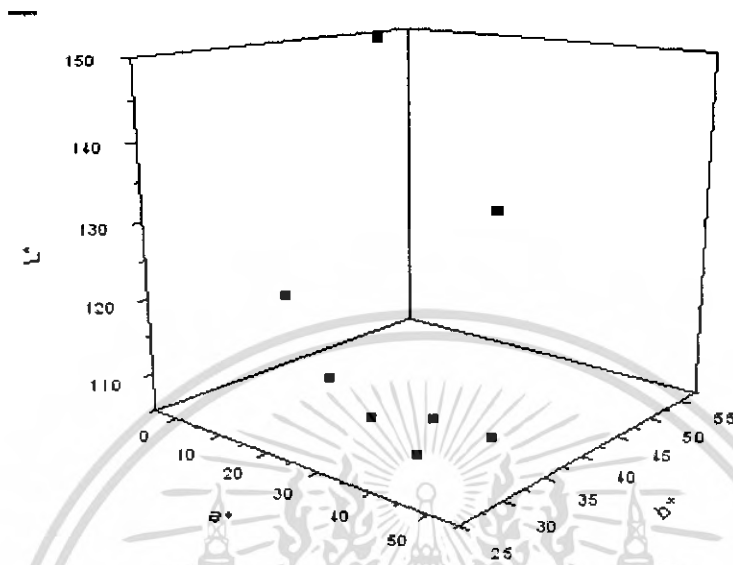
ตารางที่ 4.12 แสดงค่า L^* , a^* , b^* ของผู้ทำการทดสอบไวเทนนึ่งคนที่ 2(แขนซ้าย)

วัน	L^*	a^*	b^*
1	106.96	40	30
2	110.44	50	32
3	110.44	40	32
4	111.6	35	28
5	111.6	20	32
6	111.6	20	32
7	122.04	15	30
8	126.68	20	54
9	149.88	0	50
10	149.88	0	50

จากตารางที่ 4.12 ค่า a^* , b^* หาได้ตามสมการ(3.4), (3.5) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.2 กราฟค่า L^* , a^* และ b^*



รูปที่ 4.21 แสดงค่า L^* , a^* , b^* บนระนาบ XYZ ของผู้ทดสอบไวเทนนึงคนที่ 2(แขนซ้าย)

จากรูปที่ 4.21 แสดงค่า L^* , a^* , b^* บนระนาบ XYZ ของผู้ทดสอบไวเทนนึงคนที่ 2 จะเห็นว่าลักษณะสีผิวอยู่ในช่วงสีผิวน้ำเงิน - ดำ - แดง

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาโรงงานพิเศษเรื่องการสอบเทียบสีผิวด้วยเครื่องลูมิแนนซ์มิเตอร์เพื่อวัดค่าความสว่างของสีผิวโดยหลักการสะท้อนและคำนวณหาค่าไตรสติมูลัส XYZ และค่า L^* , h° , C (CIELAB) จากการทดลองกลุ่มนักศึกษาตัวอย่าง

ค่าสีผิวของกลุ่มนักศึกษาตัวอย่างจำนวน 24 คนจะได้ค่า CIELAB ดังนี้

ค่า L^*	มีค่าระหว่าง	62.88 – 119.72	แคนเดลาต่อตารางเมตร
ค่า h°	มีค่าระหว่าง	-80.05° – 72.65°	
ค่า C	มีค่าระหว่าง	14.87 – 115.74	

ค่าสีผิวของผู้ทดสอบไวเทนนิง คนที่1(แขนซ้าย)

ค่า L^*	มีค่าระหว่าง	100 – 138.28	แคนเดลาต่อตารางเมตร
ค่า h°	มีค่าระหว่าง	8.53° – 76.61°	
ค่า C	มีค่าระหว่าง	20.61 – 60.46	

ค่าสีผิวของผู้ทดสอบไวเทนนิง คนที่2(แขนซ้าย)

ค่า L^*	มีค่าระหว่าง	106.96 – 149.88	แคนเดลาต่อตารางเมตร
ค่า h°	มีค่าระหว่าง	0° – 69.68°	
ค่า C	มีค่าระหว่าง	33.54 – 59.36	

ซึ่งจากการทดลองทดสอบผู้ใช้ไวเทนนิงปรากฏเห็นว่าสีผิวมีความสว่างเพิ่มขึ้น

5.2 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองที่ผ่านมาพบปัญหาที่พบในส่วนของผู้ปกรณคือ การจัดวางอุปกรณ์ทางแสงควรจะมีตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากกล่องค่าควรจะมีที่วางแขนอยู่ในตำแหน่งและระยะที่เครื่องลูมิแนนซ์มิเตอร์วัดได้พอดี และความสว่างของห้องทดลองควรจะมีคเพื่อว่าเมื่อฉายแสงไปยังวัตถุแล้วจะสามารถวัดค่าได้แม่นยำ

ในส่วนของคุณูปกรณ์นั้นการจัดวางอุปกรณ์อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องระมัดระวังเป็นอย่างมากในการทำอุปกรณ์ทางแสง จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลการทดลองเกิดความคลาดเคลื่อนได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. รศ.ดร.อรรัญ หาญสืบสาย , **The Language of Light ภาษาแสง** , ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ , คณะวิทยาศาสตร์ , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. Ian L. Weatherall and Bernard D. Coombs , **Skin Color Measurement in Terms of CIELAB Color Space Values** , School of Consumer and Applied Sciences (ILW) and Department of Preventative and Social Medicine (BDC) , University of Otago , Dunedin , New Zealand
3. Mark Nischik and Clemens Forster , **Analysis of Skin Erythema Using True-Color Images**
4. Vladimir Vezhnevets , Vassili Sazonov , Alla Andreeva , **A Survey on Pixel – Based Skin Color Detection Techniques** , Graphics and Media Laboratory , Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics , Moscow State University , Moscow , Russia

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้