

การศึกษาสมบัติทางแสงของเครื่องสำอางค์ที่มีส่วนประกอบ
ของสารกันแดด

A STUDY OF OPTICAL PROPERTY OF COSMETICS
CONTAINING SUNSCREEN



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ปีการศึกษา 2559

A STUDY OF OPTICAL PROPERTY OF COSMETICS
CONTAINING SUNSCREEN



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ACADEMIC YEAR 2016

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาสมบัติทางแสงของเครื่องสำอางค์ที่มีส่วนประกอบของสารกันแดด
A Study of Optical Property of Cosmetics Containing Sunscreen

ชื่อนักศึกษา นางสาวศุภรัตน์ เกษา รหัสนักศึกษา 56051223

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุรชาติ กมลติลก

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ ประธานกรรมการ	
ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข กรรมการ	
อาจารย์ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง กรรมการ	
อาจารย์สุรชาติ กมลติลก กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังเป็นทรัพย์สินของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาสมบัติทางแสงของเครื่องสำอางค์ที่มีส่วนประกอบของสารกันแดด
ชื่อนักศึกษา	นางสาวศุภรัตน์ เกษา รหัสนักศึกษา 56051223
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.)
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุรชาติ กมลติลก

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาสมบัติทางแสงของเครื่องสำอางค์ที่มีส่วนประกอบของสารกันแดดโดยใช้หลักการของสเปกโทรสโกปีเป็นระบบตรวจวัดการดูดกลืนแสง ซึ่งส่วนของระบบนี้ใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอดไฟซีนอนรถยนต์ ซึ่งเป็นแสงสีขาว จะรวมให้เป็นแสงขนานด้วยคอลลิเมเตอร์ จากนั้นจะถูกแยกเป็นสเปกตรัมด้วยเกรตติงและถูกตรวจวัดด้วยดีเทคเตอร์(Detector) จะแสดงผลเป็นตัวเลขผ่าน หน้าจอมิเตอร์

คำสำคัญ : สเปกโทรสโกปี คอลลิเมเตอร์ เครื่องสำอางค์ที่มีส่วนผสมของสารกันแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	A Study of Optical Property of Cosmetics Containing Sunscreen	
Student	Miss Suparat Kesa	Student ID 56051223
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic	2016	
Advisor	Mr.Surachart Kamoldilok	

Abstract

In this special project, we studied on the optical properties of the cosmetics that contained a sunscreen via absorption spectroscopy. The spectroscopic system used a xenon lamp as a light source. The light was collimated with a collimator then separated into a spectrum by a grating. The intensity of light was measured by a detector and displayed as a signal of voltage on the multimeter.

Keywords : Spectroscopy Collimated Cosmetics containing sunscreen



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากอาจารย์สุรชาติ กมลติลลอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขในการดำเนินการจัดโครงการพิเศษ และทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ความเข้าใจและแนวทางที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดทำโครงการพิเศษนี้ ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งและถือเป็นพระคุณอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้ความรู้ ให้คำแนะนำ และให้ความคิดเห็นเป็นอย่างดีเสมอมา ทำให้ผู้วิจัยได้ข้อมูลโครงการพิเศษอย่างครบถ้วน

ขอขอบพระคุณพี่ๆ สาขาออปติก ทุกท่านที่เสียสละเวลา ให้ความรู้ต่างๆ และแนะนำแนวทางในการทำงานโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณ เพื่อนๆภาควิชาฟิสิกส์ทุกคน ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในโครงการพิเศษนี้จนสำเร็จ

คุณงามความดีอันพึงมีจากโครงการพิเศษฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่ง และคณาจารย์ผู้ประสพวิชาความรู้ ตลอดจนทุกท่านที่ให้ความสนใจช่วยเหลือตลอดจนกระทั่งโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ศุภรัตน์ เกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 อัลตราไวโอเลต-วีลิบีลสเปกโทรสโกปี	2
2.1.1 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิคยูวี-วีลิบีล สเปกโทรสโกปี	3
2.1.2 การวิเคราะห์หาปริมาณด้วยเทคนิคทางยูวี-วีลิบีล สเปกโทรสโกปี	3
2.1.3 ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วีลิบีล สเปกโฟโตมิเตอร์	5
2.1.4 หลักการของยูวี-วีลิบีล สเปกโทรสโกปี	14
2.1.5 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง	15
2.2 ระบบสเปกโทรสโกปี	18
2.3 แสงแดด	19
2.3.1 รังสี UVC	19
2.3.2 รังสี UVB	19
2.3.4 รังสี UVA	20
2.4 สารกันแดด	20
2.4.1 ประเภทของสารกันแดด	20
2.4.2 ประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดด	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	23
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	23
3.2 วิธีการศึกษา/วิธีการทดลอง	23
3.2.1 การทดลองเพื่อสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสง	23
3.2.2 การออกแบบระบบตรวจวัดการดูดกลืนแสง	24
3.2.3 การทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารกันแดดด้วยระบบยูวี-วีลิบีล สเปกโทรสโกปี	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	26
4.1 ผลการทดลองหาค่าสเปกตรัมของหลอดไฟซีนอนรถยนต์	26
4.2 ผลการทดลองการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารกันแดดด้วยระบบยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี	26
4.2.1 ผลการทดลองสารกันแดดตัวอย่าง A	26
4.2.2 ผลการทดลองสารกันแดดตัวอย่าง B	27
4.2.3 ผลการทดลองสารกันแดดตัวอย่าง C	27
4.2.4 ผลการทดลองสารกันแดดตัวอย่าง D	28
4.2.5 ผลการทดลองสารกันแดดตัวอย่าง E	28
4.2.6 ผลการทดลองสารกันแดดตัวอย่าง F	29
4.3 ผลการวัดค่าป้องกันแสงแดด (SPF) ของผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดด	29
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	31
5.1 สรุปผลการทดลอง	31
5.2 ปัญหาที่พบในงานวิจัย	31
5.3 ข้อเสนอแนะ	31
5.4 แนวทางในการพัฒนา	32
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การแทนเครื่องหมายของการคำนวณหาความยาวโฟกัสของเลนส์นูนและเลนส์เว้า	18
3.1 แสดงค่าคงที่ที่ใช้คำนวณค่า SPF	25
4.1 ผลการวัดค่า SPF ของผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดดด้วยระบบ UV-Visible spectroscopy	29
4.2 ผลการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการวัดค่า SPF ของผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดดด้วยระบบ UV-Visible spectroscopy	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการเกิดอันตรกิริยาของสารเคมีกับการแผ่รังสีหรือแสง	2
2.2 แสดงกระบวนการเกิดการกระตุ้น	3
2.3 แสดงองค์ประกอบของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	5
2.4 แสดงลักษณะของหลอดดิวเทอเรียม	6
2.5 แสดงการทำงานของส่วนที่ใช้เลือกแสง	6
2.6 แสดงลักษณะของฟิลเตอร์แบบ Interference filters	7
2.7 แสดงการแทรกสอดแสงของ Interference filters	7
2.8 ตัวอย่าง Interference filters ที่ยอมให้แสงสีเขียวผ่านได้	8
2.9 แสดงลักษณะฟิลเตอร์แบบ Absorption filter	8
2.10 Absorption filter สีม่วงจะถูกดูดกลืนแสงสีเขียวในขณะที่แสงสีม่วงผ่านได้	9
2.11 แสดงการกระจายแสงของปริซึม	9
2.12 การเปลี่ยนแปลงดัชนีหักเหเมื่อความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลง	9
2.13 การกระแสงโดยปริซึม	10
2.14 ลำดับการเลี้ยวเบนของแสงจากเกรตติง	10
2.15 แสดงลักษณะของเซลล์ต่างๆที่ใช้กันโดยทั่วไป	11
2.16 แสดงลักษณะของแบรีเออร์-แลเยอร์เซลล์หรือโฟโตโวลตาอิกเซลล์	12
2.17 หลอดรับแสง	13
2.18 แสดงหลอดโฟโตมิเตอร์หลายเออร์	13
2.20 Instrument design for UV-Visible photometer or spectrophotometer Single - beam instrument	14
2.20 Instrument design for UV-Visible photometer or spectrophotometer Double-beam instrument	15
2.21 ภาพแสดงการทำงานของคอลลิเมเตอร์	15
2.22 แสดงการหักเหของลำแสงขนานเมื่อผ่านเลนส์นูนเลนส์เว้า	16
2.23 แสดงแสงจากดวงอาทิตย์	19
2.24 แสดงส่วนประกอบของแสงแดดที่ส่องมายังพื้นผิวโลก	19
2.25 แสดงประเภทของสารกันแดด	21
2.26 แสดงรังสี UVA และ UVB	21
3.1 แสดงการต่อหลอดไฟซีนอน	23
3.2 แสดงไดอะแกรมของระบบการวัดการดูดกลืน	24
3.3 แสดงการทดลองวัดค่าการดูดกลืนของสารกันแดดด้วยระบบยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี	24
3.4 แสดงตัวอย่างสารกันแดดที่นำมาทดสอบ	25
4.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนกับความยาวคลื่น	26
4.2 สารกันแดดตัวอย่าง A ถูกแสงสีม่วงกระตุ้นก่อนดูดกลืน	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 สารกันแดดตัวอย่าง B ที่ถูกแสงสีม่วงกระตุ้นก่อนดูดกลืน	27
4.4 สารกันแดดตัวอย่าง C ที่ถูกแสงสีม่วงกระตุ้นก่อนดูดกลืน	27
4.5 สารกันแดดตัวอย่าง D ที่ถูกแสงสีม่วงกระตุ้นก่อนดูดกลืน	28
4.6 สารกันแดดตัวอย่าง E ที่ถูกแสงสีม่วงกระตุ้นก่อนดูดกลืน	28
4.7 สารกันแดดตัวอย่าง F ที่ถูกแสงสีม่วงกระตุ้นก่อนดูดกลืน	29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีมีความก้าวหน้ามากขึ้น มีการนำเทคโนโลยีทางแสงมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในหลายๆด้าน ซึ่งหนึ่งในนั้นคือ การนำมาใช้ประโยชน์ในการศึกษาด้านสเปกโทรสโกปีและด้านวัสดุโดยใช้เทคโนโลยีทางแสงในการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุ

ในการศึกษาฟิสิกส์พื้นฐานและโมเดิร์นฟิสิกส์ในระดับมหาวิทยาลัย มีการทำการวิจัยและสังเคราะห์สารใหม่ๆเพื่อนำมาใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติด้านต่างๆของสารนั้น เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ ทั้งด้านโครงสร้าง ส่วนประกอบของสาร การดูดกลืนพลังงาน เป็นต้น ซึ่งหนึ่งในคุณสมบัติของข้อมูลที่น่าวิเคราะห์สาร คือ การดูดกลืนแสงของวัสดุ ซึ่งเป็นการตรวจสอบคุณสมบัติด้านการดูดกลืนแสงของสารกันแดด โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (UV-Vis spectroscopy)

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการวัดประสิทธิภาพการป้องกันของสารกันแดด ซึ่งใช้หลักการวัดการวิเคราะห์ของอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่น นาโนเมตร โดยคาดว่าชุดทดลองนี้จะสามารถวัดประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดดของสารตัวอย่างได้จากหลักการของอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางแสงของเครื่องสำอางค์ที่มีส่วนผสมของสารกันแดด
- 1.2.2 สามารถผลิตเครื่องมือวัดทางแสง
- 1.2.3 เพื่อใช้เครื่องมือวัดทางแสงในการศึกษาประสิทธิภาพการป้องกันของเครื่องสำอางค์ที่มีส่วนผสมของสารกันแดด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

สร้างชุดศึกษาอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี เพื่อวัดการดูดกลืนของเครื่องสำอางค์ที่มีส่วนผสมของสารกันแดด ในช่วงรังสียูวีให้แสดงผลบนดิจิทัลมิเตอร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถสร้างชุดศึกษาเครื่องมือวัดทางแสงได้
- 1.4.2 ชุดศึกษาเครื่องมือวัดทางแสงสามารถวัดการดูดกลืนของเครื่องสำอางค์ที่มีส่วนผสมของสารกันแดดได้
- 1.4.3 สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดดของสารกันแดดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

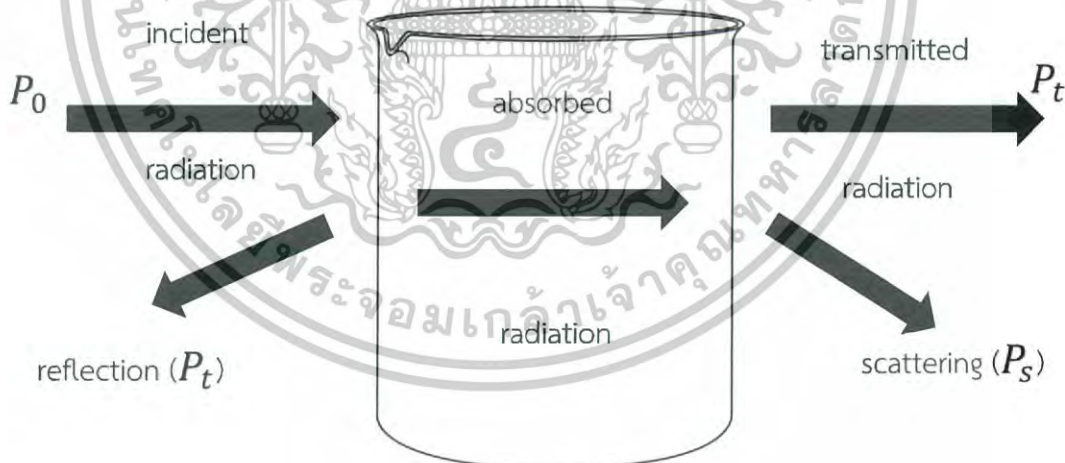
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาาระบบอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี(UV-Vis Spectroscopy) มีทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

2.1 อัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

การดูดกลืนแสงหรือรังสีที่มีอยู่ในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิล ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190-800 นาโนเมตร (nm) ของสารเคมีนั้น ส่วนใหญ่ได้แก่พวดสารอินทรีย์ (organic compound) หรือสารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) หรือสารอนินทรีย์ (inorganic compound) ทั้งที่มีสีและไม่มีสี สมบัติดังกล่าวนี้ได้มาจากการใช้วิธีการวิเคราะห์ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณอย่างกว้างขวาง เพราะวิธีนี้ให้ความเที่ยงและแม่นยำ และมีสภาพไวสูง โดยอาจทำการวิเคราะห์อยู่ในรูปของธาตุหรือโมเลกุลก็ได้ แต่ในกรณีที่จะนำไปใช้พิสูจน์ว่าสารตัวอย่างนั้นเป็นสารอะไรมีโครงสร้างอย่างไร อาจจะต้องใช้เทคนิคอย่างอื่นเข้ามาช่วยด้วย เพื่อให้เกิดความแน่ใจ เช่น ใช้เทคนิค IR หรือ NMR spectroscopy เป็นต้น

โดยทั่วไป เทคนิคการวิเคราะห์นี้บางครั้งนิยมเรียกว่า ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี แต่ถ้าสารที่ทำการวิเคราะห์มีสีหรือทำให้เกิดสีขึ้น สารที่มีสีนั้นจะดูดกลืนแสงในช่วงวิสิเบิลอาจเรียกว่า คัลลอร์ิเมตร(colorimeter)

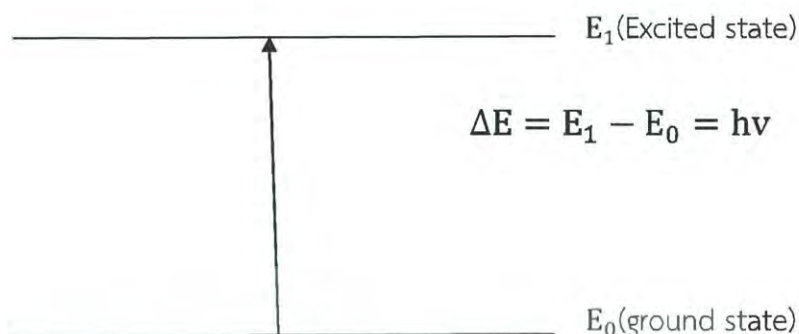


รูปที่ 2.1 แสดงการเกิดอันตรกิริยาของสารเคมีกับการแผ่รังสีหรือแสง

เมื่อให้ลำแสงที่เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องกัน (continuous beam of radiation) ผ่านเข้าไปในวัตถุใสจะพบว่าแสงบางส่วนถูกดูดกลืน บางส่วนเกิดการสะท้อน บางส่วนกระเจิง และบางส่วนผ่านทะลุออกไป ดังแสดงในรูป 2.1 ถ้าให้แสงที่ทะลุผ่านออกป็นั้นผ่านเข้าเครื่องกระจายแสง (เช่น ปริซึมหรือเกรตติง) จะเห็นว่าสเปกตรัมหายไปส่วนหนึ่ง ส่วนที่หายไปนี้เรียกว่า absorption spectrum

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานที่ถูกดูดกลืนไปนั้นจะทำให้โมเลกุลหรืออะตอมเปลี่ยนระดับของพลังงานจากสถานะพื้น (ground state) ไปยังสถานะกระตุ้น (excited state) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงกระบวนการเกิดการกระตุ้น

2.1.1 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพของสารอินทรีย์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี

โดยหลักการแล้ว โมเลกุลของสารอินทรีย์ซึ่งมีโครโมฟอร์สามารถให้สเปกตรัมที่เกิดจากการดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลได้ สเปกตรัมนี้แสดงสมบัติโดยเฉพาะของสารนั้นๆ อาจนำไปใช้ในการวิเคราะห์ที่สารที่บริสุทธิ์ได้โดยการเปรียบเทียบความยาวคลื่นและค่าพลังงาน อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์โดยศึกษาจากยูวี-วิสิเบิล สเปกตรัมเท่านั้นค่อนข้างจะจำกัด เพราะลักษณะของสเปกตรัมที่ได้นั้นกว้างขวางมากและขาดรายละเอียด จึงทำให้สามารถวิเคราะห์ได้เพียงคร่าวๆ เท่านั้น

2.1.2 การวิเคราะห์หาปริมาณของสารด้วยการใช้เทคนิคทางยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี

วิธีวิเคราะห์ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป ดังนี้

2.1.2.1 ในกรณีที่สารตัวอย่างมีสารที่จะวิเคราะห์เพียงสารเดียว อาจใช้วิธีทำกราฟมาตรฐานโดยการเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน แล้วนำไปวัดค่าแอบซอร์เบ้นซ์ที่ความยาวคลื่นสูงสุด โดยเทียบกับ blank นำผลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างค่าแอบซอร์เบ้นซ์กับความเข้มข้น โดยหลักการแล้ว สเปกตรัมซึ่งเกิดจากการดูดกลืนแสง ในช่วงรังสียูวี และ แสงขาวของสารตัวอย่าง จะแสดงคุณสมบัติเฉพาะของสารนั้นๆ ทำให้สามารถ นำไป ใช้ วิเคราะห์ สาร ชนิดต่างๆ ได้ แต่ทั้งนี้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ เท่านั้น จะให้ผล ได้เพียงคร่าวๆ เพราะลักษณะของสเปกตรัมของสาร แต่ละ ชนิดที่ได้จะมี ความ กว้าง มาก และยังมีรายละเอียด อีกเยอะจึงต้อง ใช้ เทคนิค อื่นๆ ร่วมวิเคราะห์ด้วย สำหรับการวิเคราะห์สารในเชิงปริมาณด้วยเทคนิค UV-Vis spectroscopy สามารถทำได้โดยใช้วิธีการ ทำกราฟ มาตรฐาน ระหว่างค่า absorbance และ ค่าความเข้มแสง ดังนั้นเมื่อสามารถวัดค่า absorbance ของสารได้ก็สามารถหาปริมาณของสารที่จะวิเคราะห์ ได้จากกราฟ โดยการหาปริมาณของสารจะอาศัย Beer's law


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกฎของ Beer's law

$$A = \epsilon bc \quad (\text{สมการที่ 2.1})$$

- เมื่อ
- A = ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)
 - ϵ = โมลาร์แอบซอร์ปติวิตี (molar absorptivity) ($\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$)
 - b = ความกว้างของเซลล์ (path length)
 - c = ความเข้มข้นของสารที่นำมาวิเคราะห์ ($\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)

ความสัมพันธ์ของ A และเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแทนซ์



$$\frac{P}{P_0} = T \frac{P}{P_0}$$

$$100 \frac{P}{P_0} = \%T$$

$$\log 100 \frac{P}{P_0} = \log \%T$$

$$2 + \log \frac{P}{P_0} = \log \%T$$

$$2 - A = \log \%T$$

$$A = 2 - \log \%T \quad (\text{สมการที่ 2.2})$$

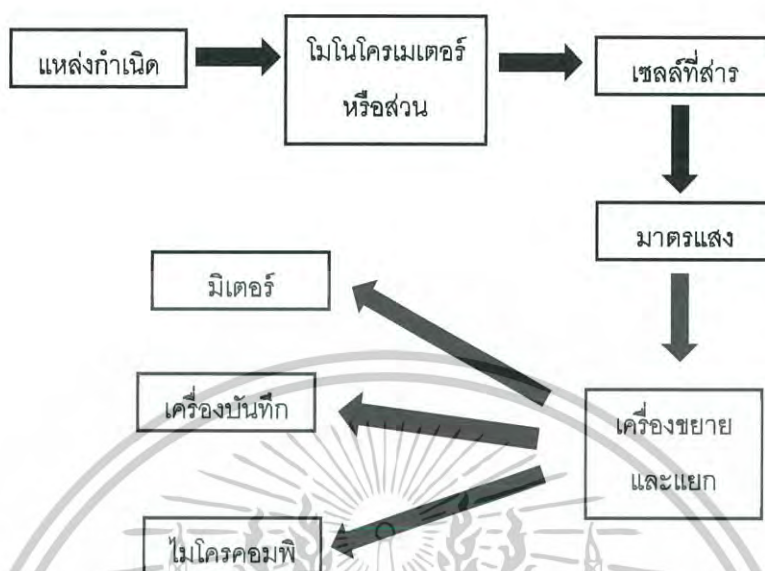
การที่เราได้กฎของเบียร์เป็น $A = \epsilon bc$ นี้เราได้สมมติว่า

1. แสง หรือ radiant power ที่ใช้ผ่านสารละลายหรือวัตถุนั้นต้องเป็น monochromatic radiation
2. กระบวนการดูดกลืนแสงของแต่ละอนุภาคนั้นจะต้องไม่ขึ้นแก่กัน นั่นคือสารละลายจะต้องเจือจาง
3. สารละลายที่นำไปวัดต้องเป็นสารละลายเนื้อเดียวกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

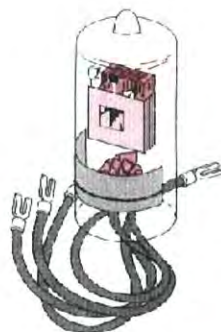
2.1.3.1 แหล่งกำเนิดแสง (Light source)

แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในงานทางสเปกโตรโฟโตเมตรี ควรมีลักษณะดังนี้

1. จะต้องให้ลำแสง ที่มีกำลังพอที่จะวัดได้ด้วยมาตรแสง
2. จะต้องให้การแผ่รังสี ออกมาตลอดเวลาในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ
3. จะต้องให้การแผ่รังสีที่คงที่ตลอดเวลา

สำหรับเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ต เป็นหลอดไฮโดรเจน (hydrogen lamp) หรือ หลอดดิวเทอเรียม (deuterium lamp) ให้แสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 185 - 375 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการคายพลังงานของไฮโดรเจน หรือดิวเทอเรียมอะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้น ช่องที่จะให้แสงออกจากหลอดจะต้องทำด้วยควอร์ตหรือ fused silica แต่ถ้าใช้วัสดุอื่น เช่น แก้ว จะดูดกลืนแสงในช่วงนี้ได้ ทั้งหลอดไฮโดรเจนและหลอดดิวเทอเรียมจะบรรจุแก๊สนั้นไว้ที่ความกดดันต่ำ และใช้ระบบไฟฟ้าชนิด D.C. ขนาด 40 โวลต์เท่านั้น ทั้งหมดดิวเทอเรียมและหลอดไฮโดรเจนมีอายุใช้งานจำกัด แต่หลอดดิวเทอเรียมมีราคาแพงจะมีอายุการใช้งานมากกว่า และให้ความเข้มแสงมากกว่าด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

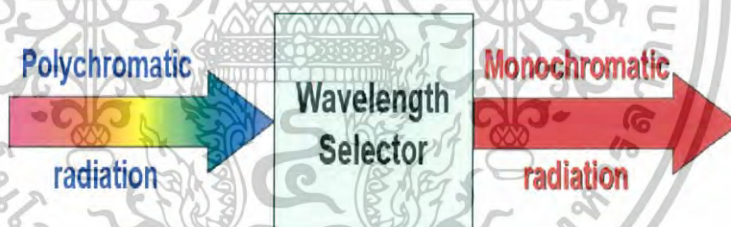


รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของหลอดทังสเตน

หลอดทังสเตน (tungsten lamp) ซึ่งมีลักษณะคล้ายๆหลอดไฟธรรมดาโดยใช้ไส้หลอดเป็นโลหะทังสเตน เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไป หลอดทังสเตนจะถูกเผาให้ร้อน และเปล่งแสงออกมาอยู่ในช่วง 320-2500 นาโนเมตร ถ้าใช้อุณหภูมิสูง ลักษณะของสเปกตรัมจะเคลื่อนที่ไปทางความยาวคลื่นสั้นมากขึ้นแต่อายุของหลอดก็สั้นด้วยเช่นกัน จึงมีการปรับปรุงให้หลอดมีอายุการใช้งานยาวขึ้นโดยใส่แก๊สไอโอดีนหรือแก๊สโบรมีนที่มีความดันต่ำเข้าไปในหลอดที่ทำด้วย fused silica

นอกจากนี้ยังมีหลอดชนิดอื่นๆที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ตและวิลบีลในการผลิตเครื่องมือบางชนิด เช่น หลอดไอปรอท

2.1.3.2 โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator)



รูปที่ 2.5 แสดงการทำงานของส่วนที่ใช้เลือกแสง

ส่วนประกอบนี้เป็นส่วนประกอบหลักของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์เพราะเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะให้แสงซึ่งเป็นพอลิโครเมติก คือ เป็นแสงที่ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ โมโนโครเมเตอร์จะประกอบด้วย

1. ช่องที่ปล่อยให้แสงเข้า (entrance slit) เพื่อให้แสงที่เข้ามาแรงพอที่ผ่านออกไปยังสารตัวอย่างโดยคิดต่อพื้นที่ที่แสงผ่าน ดังนั้นความกว้างของสลิตจึงมีส่วนสำคัญ
2. กระจกและเลนส์ (mirror and lens) เพื่อใช้ทำให้แสงเกิดการสะท้อนไปมาในเครื่องบางครั้งทำให้แสงเกิดการรวมตัวกัน ทั้งนี้เพื่อช่วยลดขนาดของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ให้เล็กลง และบางครั้งทำให้แสงกลายเป็นลำแสงขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ส่วนที่ทำให้แสงกระจายเป็นความยาวคลื่นต่างๆกันเพื่อเหมาะแก่การเลือกใช้หรืออาจเป็นส่วนที่ตัดแสงบางช่วงออกไปให้เหลือเฉพาะช่วงคลื่นแสงที่ต้องการอุปกรณ์ส่วนนี้อาจประกอบไปด้วย

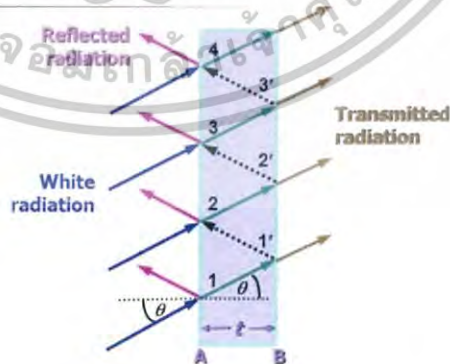
3.1 ฟิลเตอร์ (Filters) เป็นโมนโครเมเตอร์ที่ง่ายที่สุด ซึ่งจะประกอบไปด้วยกระจกสีต่างๆ ทำเป็นแผ่นกลมเพื่อให้สะดวกแก่การเปลี่ยนด้วยการหมุนแผ่นกลมนั้น หรืออาจใช้วิธีเลื่อนไปตามแนวนอนก็ได้ ฟิลเตอร์ที่ใช้จะมี 2 ชนิด คือ Interference filters และ Absorption filters

3.1.1 Interference filter



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของฟิลเตอร์แบบ Interference filters[1]

ฟิลเตอร์แบบ Interference filter จะใช้ในช่วง UV และ Visible และ IR ทำงานโดยอาศัยหลักการแทรกสอดของแสง โดยที่ Interference filter ประกอบด้วยวัสดุไดอิเล็กตริก ที่บางมากทั้งสองด้านเคลือบด้วยฟิล์มของโลหะที่บางพอที่รังสีที่ตกกระทบครึ่งหนึ่งจะผ่านไปได้ และอีกครึ่งหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับ ด้านนอกประกอบด้วยแผ่นแก้วหรือวัสดุโปร่งแสงอื่นๆ 2 แผ่นเพื่อป้องกันด้านในจากอากาศ



รูปที่ 2.7 แสดงการแทรกสอดแสงของ Interference filter[1]

เมื่อลำแสงขนานตกกระทบ Interference filter โดยทำมุม θ กับเส้นตั้งฉากที่จุด 1 ของชั้นโลหะชั้นแรก รังสีบางส่วนจะสะท้อนกลับ และบางส่วนจะสะท้อนไปยังชั้นโลหะชั้นที่ 2 ส่วนที่ผ่านไประยะหนึ่ง เมื่อชนชั้นโลหะชั้นที่ 2 ที่จุด 1' จะแยกออกเป็น 2 ส่วนเช่นเดียวกับรังสีที่สะท้อน

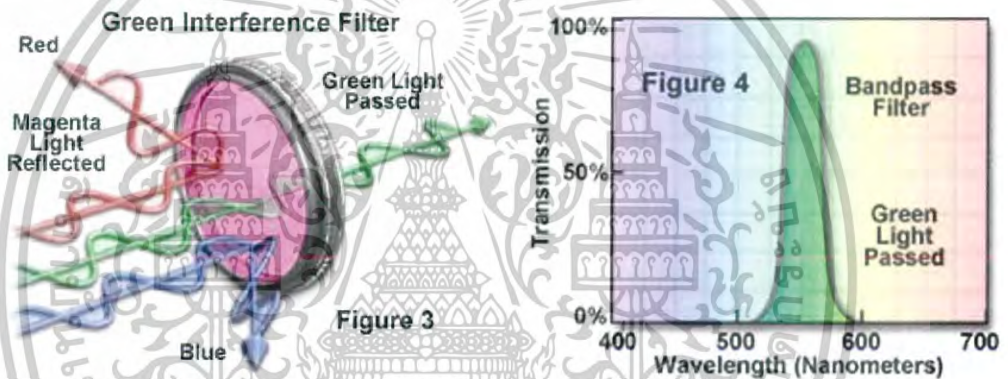
จากชั้นโลหะชั้นที่2 บางความยาวคลื่นจะสะท้อนที่ด้านในของชั้นโลหะชั้นที่1 และร่วมเฟสกับรังสีที่เข้ามาใหม่ซึ่งมีความยาวคลื่นเท่ากัน

ทำให้เกิดการแทรกสอดเสริมและผ่านฟิลเตอร์ไปได้ ในขณะที่ความยาวคลื่นอื่นซึ่งต่างเฟสกัน เกิดการแทรกสอดหักล้างกัน

ความยาวคลื่นของรังสีที่ผ่าน Interference filter (λ_{max}) ขึ้นกับความหนาของไดอิเล็กตริก ดังสมการ

$$\lambda_{max} = \frac{2t\eta}{n} \quad (\text{สมการที่ 2.3})$$

เมื่อ t คือ ความหนาของไดอิเล็กตริก
 η คือ ดัชนีหักเหของไดอิเล็กตริก
 n คือ เลขจำนวนเต็ม



รูปที่ 2.8 ตัวอย่าง Interference filter ที่ยอมให้แสงสีเขียวผ่านได้[1]

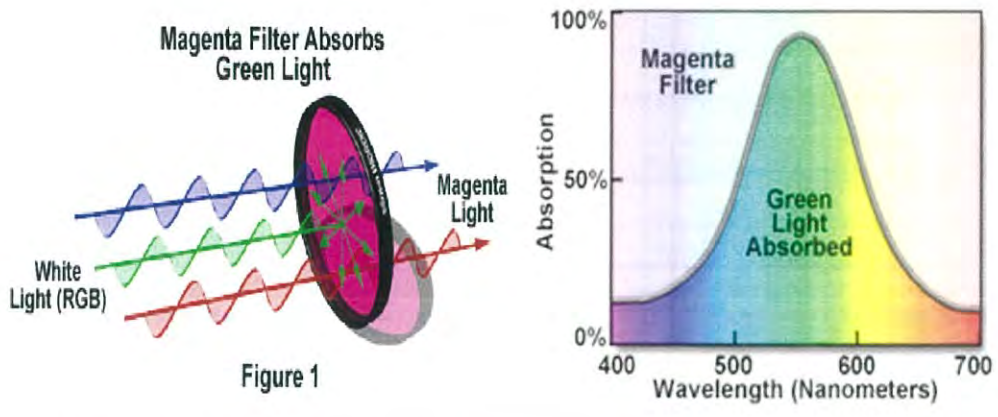


รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะฟิลเตอร์แบบ Absorption filter[1]

3.1.2 Absorption filter

ฟิลเตอร์แบบ Absorption filter จะเป็นแผ่นแก้วสี ทำงานโดยการดูดกลืนรังสี โดยจะใช้เลือกความยาวคลื่นในช่วง visible ซึ่งฟิลเตอร์อันหนึ่งจะใช้แยกแถบที่มีความยาวคลื่นเดียว ถ้าต้องการเลือกความยาวคลื่นอื่นจะต้องเปลี่ยนฟิลเตอร์ ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้ฟิลเตอร์มักจะใช้สำหรับวัดที่ความยาวคลื่นคงที่หรือเปลี่ยนความยาวคลื่นไม่บ่อยนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

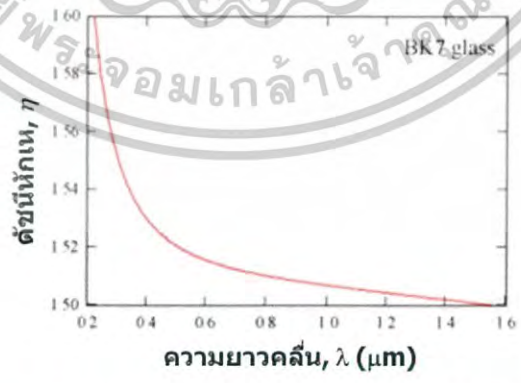


รูปที่ 2.10 Absorption filter สีม่วงจะถูกดูดกลืนแสงสีเขียวในขณะที่แสงสีม่วง(แดงและน้ำเงิน) ผ่านได้ [1]

3.2 ปริซึม (Prism) จะเป็นส่วนที่แยกแสงด้วยการหักเห เมื่อแสงผ่านปริซึม จะเกิดการหักเห (Refraction) เนื่องจากดัชนีหักเห (Refraction index) ของปริซึมและอากาศ แตกต่างกัน เนื่องจากดัชนีหักเหขึ้นกับความยาวคลื่น แสงความยาวคลื่นต่างๆจึงถูกหักเหได้ไม่เท่ากัน และกระจายออกจากกัน



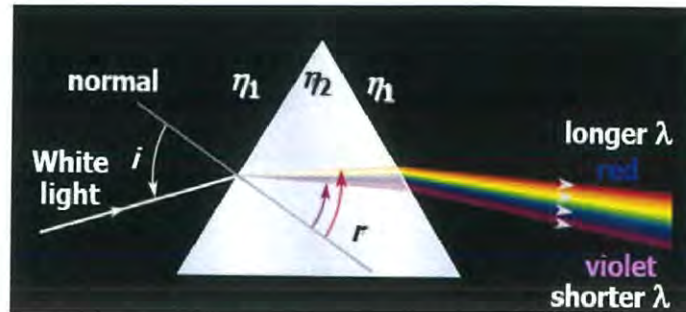
รูปที่ 2.11 แสดงการกระจายแสงของปริซึม[2]



รูปที่ 2.12 การเปลี่ยนแปลงดัชนีหักเหเมื่อความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลง[2]

ค่าดัชนีหักเหของปริซึมขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสงที่ตกกระทบเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มค่าดัชนีหักเหลดลง ซึ่งแสงแต่ละสีจะมีค่าดัชนีหักเหในตัวกลางต่างๆไม่เท่ากัน แสงสีม่วงมีค่าดัชนีมากที่สุด ในขณะที่แสงสีแดงมีค่าน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับครูอาจารย์เพื่อใช้ในการเรียนการสอน ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



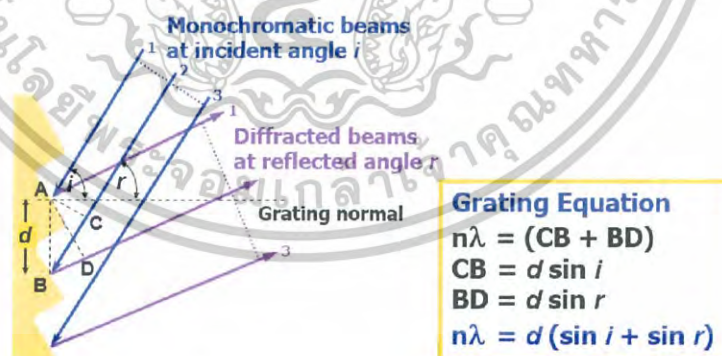
รูปที่ 2.13 การกระจายแสงโดยปริซึม[2]

แสงของปริซึมบนระนาบโฟกัสไม่ใช้การกระจายแบบเชิงเส้น (Non-linear dispersion) ปริซึมที่ใช้ในช่วงตามองเห็นทำด้วยแก้วและปริซึมที่ใช้ในช่วงยูวีจะทำด้วยควอตซ์หรือส่วนผสมซิลิกา (ใช้ในช่วงที่ตามองเห็นได้ด้วย)

3.3 เกรตติง (Grating)

เกรตติงแยกแสงโดยอาศัยหลักการแทรกสอดเสริมและการแทรกสอดหักล้างของรังสีเกรตติงที่ใช้ในช่วงยูวีถึงช่วงที่ตาเรามองเห็น มักมี 300-2000 ช่อง/mm ที่นิยมใช้ที่สุดคือเกรตติงที่มี 1200-1400 ช่อง/mm

3.3.1 Echellette Grating เป็นเกรตติงแบบสะท้อน (Reflection grating) ชนิดหนึ่งที่ใช้กันมาก ช่องด้านหนึ่งมีหน้ากว้างและอีกด้านหนึ่งแคบ การสะท้อนแสง (Reflection) จะเกิดขึ้นที่หน้ากว้าง อาจถือว่าแต่ละฟัรผิวของเกรตติง (Board face) เป็นจุดกำเนิดของลำแสง ให้ลำแสงสะท้อน (Reflected beam) 1,2,3 ซึ่งแทรกสอดซึ่งกันและกัน ถ้าจะให้เกิดระยะทางของการแทรกสอดของแสง (Constructive interference path lengths) ต้องต่างกันเป็นจำนวน n เท่าของความยาวคลื่นของแสงตกกระทบ (Wavelength of incident beam)



รูปที่ 2.14 ลำดับการเลี้ยวเบนของแสงจากเกรตติง[2]

เมื่อแสงขนานของรังสีความยาวคลื่นตกกระทบเกรตติงที่มุมตกกระทบ i กับเส้นปกติของเกรตติงจะเกิดการเลี้ยวเบน (Diffraction) ของแสงเนื่องจากเกรตติงสะท้อนแสง

การเลี้ยวเบนของลำแสง (Diffracted beam) อาจเกิดจากการแทรกสอด (Interference) ซึ่งกันและกัน การแทรกสอดเสริม (Constructive interference) จะสูงกว่าที่มุมสะท้อน r ซึ่งสัมพันธ์กับความยาวคลื่น (λ) อย่างยิ่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดั่งสมการ $n\lambda = d(\sin i + \sin r)$ (สมการที่ 2.4)

เมื่อ n คือ อันดับการเลี้ยวเบน (Diffraction order) = $\pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$
แสง (Exit slit) ได้ โมโนโครมาเตอร์ที่ใช้เกรตติงแบบเว้ามีข้อดีคือราคาถูก
กว่า นอกจากนี้การลดจำนวน จะทำให้พลังงานของรังสีที่ผ่านออกมาจากโมโนโครมาเตอร์สูงขึ้น

3.3.3 Holographic grating เกรตติงแบบโฮโลกราฟฟิก

เกรตติงแบบโฮโลกราฟฟิกเป็นเกรตติงที่ผลิตจากเทคโนโลยีของเลเซอร์ (Laser technology) โดยใช้เทคนิคเชิงแสง (Optical technique) ไม่ใช่เทคนิคเชิงกล (Mechanical technique) ที่ใช้ผลิตเกรตติงทั่วไป ทำให้เกรตติงบนพื้นผิวเรียบหรือพื้นผิวเว้า

2.2.3.3 ส่วนที่วางสารตัวอย่าง (Cell Compartment)

เซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่างและสารเปรียบเทียบแล้วนำไปใส่ที่สหรับวัด ซึ่งส่วนนี้จะมีฝาปิดเพื่อกันแสงจากภายนอกจะเข้าไปและถูกกั้นกั้นออกจากส่วนที่เป็นระบบแสง



รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะของเซลล์ต่างๆที่ใช้กันทั่วไป[3]

เซลล์ที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample cell) บางครั้งเรียกว่า คิวเวทท์ (Cuvettes) มีด้วยกันหลายรูปแบบ รูปแบบต่างๆกัน ที่ใช้กันโดยทั่วไปมีดังนี้

เซลล์ที่ทำด้วยแก้วธรรมดา จะใช้เฉพาะในช่วงวิสิเบิล เพราะเนื้อแก้วธรรมดาดูดกลืนแสงในช่วงยูวีได้

เซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา (Silica) และควอร์ตซ์ (quartz) ใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล และยังมีเซลล์ที่เป็นเกรดพิเศษ เรียกว่า Special UV Grade โดยเขียนไว้ว่าเป็น UV Cell ในการซื้อเซลล์มาใช้ในงานวิเคราะห์ทางสเปกโทรสโกปี มักจะเรียกเป็นคู่ว่า Matched Cells เซลล์ดังกล่าวนี้เป็นเซลล์ที่ได้คัดเลือกแล้วว่ามีลักษณะเหมือนกันทั้งขนาดและการดูดกลืน

การระวังรักษาและการทำความสะอาดเซลล์ เพื่อให้เซลล์อยู่ในสภาพที่ดีและสะอาดทุกครั้งเมื่อใช้เซลล์แล้วควรจะต้องแช่ไว้ในกรดเจือจาง เช่น กรดไนตริก หรือกรดโครมิก แล้วจึงล้างด้วยน้ำกลั่นให้สะอาดไม่ควรใช้แปรงหรือใช้ผ้าทำความสะอาด เมื่อล้างสะอาดแล้วควรใช้กระดาษนุ่มๆซับน้ำให้แห้ง และควรระมัดระวังเศษกระดาษเล็กๆติดอยู่ด้วย ถ้าเซลล์นั้นสกปรกมากควรต้มกับกรดไนตริกเข้มข้นหรือกรดกัดทอง หรือต้มกับสารซัลฟอก 2% หรือกับสารละลายอิมตัวเอกสารโซเดียมฟอสเฟต หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด ในการทำให้เซลล์แห้งนั้น ทางที่ดีที่สุดควรใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศอุ่นๆ เป่าให้แห้ง แล้วเก็บไว้ในช่องที่มีฟองน้ำ และก่อนใช้ควรจะล้างด้วยน้ำกลั่นหรือตัวทำละลายที่จะใช้เสมอ

2.2.3.4 เครื่องวัดแสง (Radiation Detector)

เครื่องที่ใช้สำหรับวัดแสงนั้นมีด้วยกันหลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบอาจแตกต่างกันบ้างที่ความกว้างของช่วงคลื่นแสงที่สามารถตรวจสอบได้ ความเร็วของการตอบสนองต่อแสง สภาพไวของการรับแสง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อต้องการเปลี่ยนพลังงานแสง (radiant energy) ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า (electrical signal) เครื่องวัดแสงที่ดีควรมีลักษณะดังนี้

1. มีสภาพไวสูงคือแม้กำลังของแสงจะเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยก็สามารถตรวจวัดได้

2. การตอบรับแสงเป็นสภาพเชิงเส้น (Linearity of response) คือถ้าแสงตกกระทบมีมากก็วัดได้มาก แสงตกกระทบน้อยก็วัดได้น้อย

3. ระดับของสัญญาณรบกวนจะต้องมีน้อย (Low noise level)

4. การตอบสนองต่อแสงขึ้นอยู่กับความถี่หรือความยาวคลื่นของแสง

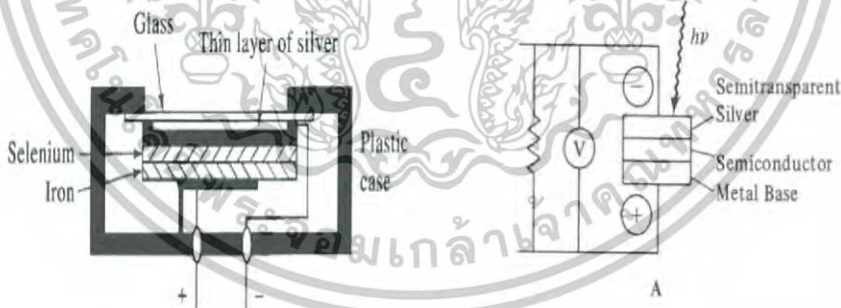
5. เครื่องจะต้องมีความเสถียรดี (Stability) ค่าที่วัดได้ไม่ควรแปรปรวนมาก

6. ขนาดไม่ควรจะใหญ่เกินไป

7. ราคาถูก

เครื่องวัดแสง มีดังนี้

1. โฟโตโวลตาอิกเซลล์ หรือแบริเออร์-แลเยอร์เซลล์ (Photovoltaic or barrier-layer cell) เป็นเซลล์ที่ใช้ตรวจและวัดแสงที่อยู่ในช่วงวิสิเบิล และให้สภาพไวสูงที่สุดที่ความยาวคลื่น 550 nm แต่จะลดลงประมาณ 10% ที่ความยาวคลื่น 350 และ 750 nm

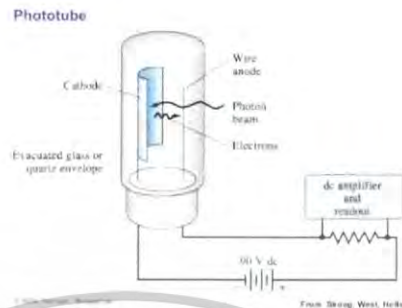


รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะของแบริเออร์-แลเยอร์เซลล์ หรือ โฟโตโวลตาอิกเซลล์

ลักษณะของเซลล์นี้จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 2.17 โดยมีแผ่นทองแดงหรือเหล็กเป็นขั้วบวก(+) ด้านบนฉาบด้วยวัสดุกึ่งตัวนำบางๆ เช่น ซีลีเนียม หรือคอปเปอร์ (I) ออกไซด์ แล้วฉาบผิวด้านนอกเป็นฟิล์มบางๆ โปร่งแสง ซึ่งอาจเป็นทอง หรือเงิน หรือตะกั่ว และทำหน้าที่เป็นตัวจับอิเล็กตรอนหรือเป็นขั้วลบ(-) ทั้งหมดนี้ให้บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติก ส่วนที่รับแสงเป็นแผ่นกระจกใส

โฟโตเซลล์อีกชนิดหนึ่งเป็นซิลิกอนโฟโตเวลล์ (Silicon photocell) ซึ่งเหมาะที่จะใช้วัดแสงในช่วงวิสิเบิล และช่วงใกล้อินฟราเรด แต่ให้สภาพไวต่ำในช่วงยูวี ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

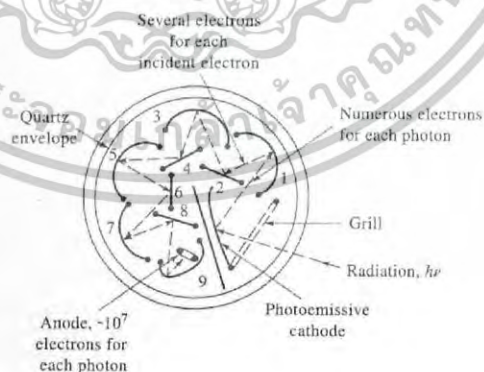
หลอดรับแสง (Phototube) เป็นหลอดที่ทำด้วยแก้วซิลิกา ภายในหลอดเป็นสุญญากาศหรือเกือบเป็นสุญญากาศ มีแคโทด (Cathode) ซึ่งฉาบด้วยสารที่สามารถให้อิเล็กตรอนเมื่อถูกแสง (Photoemissive material) ดังรูปที่ 2.18 แคโทดมักจะเป็นรูปครึ่งวงกลม



รูปที่ 2.17 หลอดรับแสง

เมื่อแสงตกกระทบกับสารที่ฉาบผิวแคโทดจะเกิดอิเล็กตรอนขึ้น แล้ววิ่งไปที่ขั้วแอโนดที่ต่อกับศักย์ไฟฟ้าที่คงที่ (ประมาณ 90 โวลต์) ซึ่งอยู่ในช่วงของ Saturated current กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นอยู่กับปริมาณของอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น โดยไม่ขึ้นกับศักย์ไฟฟ้า แม้ศักย์ไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงบ้างเล็กน้อย ก็จะไม่ส่งผลต่อกระแสที่เกิดขึ้น วงมีลักษณะเช่นเดียวกับการวัดรังสีบีตาด้วยหลอดว็อล์ฟรามที่สร้างขึ้นดังกล่าวมีค่าน้อย จึงจำ photomultiplier = PMT) หลอด PMT เป็นหลอดที่มีลักษณะคล้ายกับหลอดรับแสง แต่มีสภาพไวดีกว่า เป็นต้องต่อเข้ากับเครื่องขยายอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้กระแสพอที่จะวัดด้วยมาตรต่างๆ

หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (P และสามารถใช้ได้ในช่วงความยาวคลื่น 190-900 nm) ดังนั้น PMT จึงนิยมใช้ในการทำมาตรวัดแสงในเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ลักษณะของหลอด PMT ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.18 แสดงหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์

ภายในหลอดประกอบด้วยแคโทดที่ฉาบด้วยผิวด้วยสารเช่นเดียวกับหลอดรับแสงจำนวน 9 ชุด ซึ่งเรียกว่า ไดโอด (Dynode) แต่ละไดโอดมีค่าศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 90 โวลต์ เรื่อยไปจนครบ 9 ไดโอด นั่นคือปริมาณที่อิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้นเป็น 10^6-10^7 เท่า ทำให้ได้ศักย์ไฟฟ้าแตกต่างกันไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีหลอดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างขั้วแคโทดและแอโนดเป็น 900 โวลต์ ดังนั้นหลอด PMT จึงเหมาะแก่การวัดแสงที่มีกำลังต่ำ และถ้าหลอดที่มีกำลังสูงๆ หลอดจะเสื่อมเร็ว เพราะส่วนที่ไวต่อแสงเสีย

2.2.3.5 เครื่องขยาย-แยกสัญญาณและประมาณผล (Signal Processors and Data Readout) สัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดจะนำไปเข้ากระบวนการของระบบอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ขยายสัญญาณให้มากขึ้น หรืออาจเปลี่ยนสัญญาณ DC เป็น AC หรือ AC เป็น DC อาจมีการกรองสัญญาณที่ไม่ต้องการออกไป หรือนำสัญญาณที่ได้ไปแยกออก (และเข้ากระบวนการทางคณิตศาสตร์) จากนั้นสัญญาณที่ได้ซึ่งเป็นผลของการวิเคราะห์จึงได้เสนอออกมาเป็นหลายรูปแบบ โดยต่อเข้ากับ

มิเตอร์ มีสเกลอ่านทั้งที่เป็น linear scale and logarithm scale บอกค่า absorbance และ % transmittance

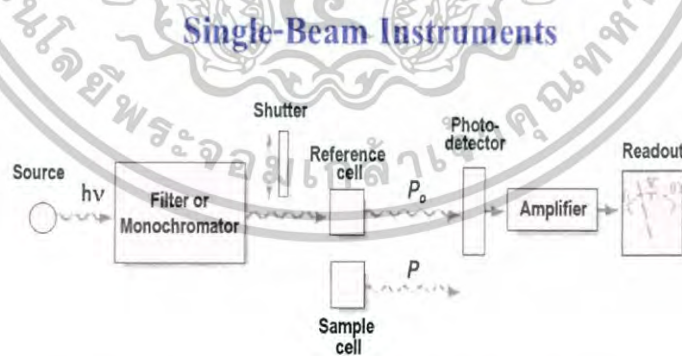
ดิจิตอลมิเตอร์ โดยเสนอค่าที่วัดได้ออกมาเป็นตัวเลข บอกค่า absorbance และ % transmittance หรือ concentration

เครื่องบันทึก เรคอร์ดเดอร์ หรือพริ้นเตอร์ ซึ่งสามารถเขียนสเปกตรัม พิมพ์ข้อมูลที่ต้องการได้ หรือเขียนกราฟได้

เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ หรือ ไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งเป็นเครื่องที่สามารถควบคุมการทำงานต่างๆของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ได้ ใช้ในการคำนวณผลการทดลอง เขียนกราฟผลการทดลอง พิมพ์ข้อมูลและผลการทดลองทั้งหมดได้

2.1.4 หลักการของอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

อาจแบ่งเป็นเครื่องมือชนิดลำแสงเดี่ยว (single-beam instrument) และเครื่องมือชนิดลำแสงคู่(double-beam instrument)

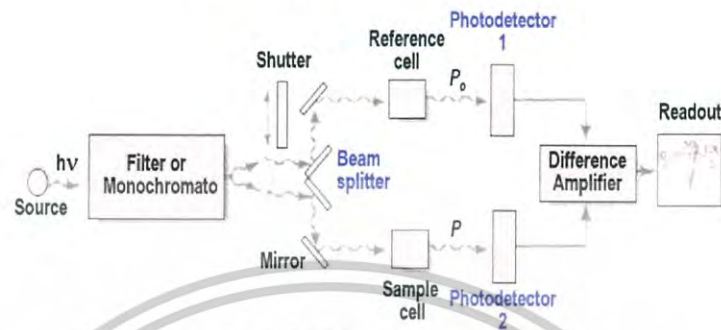


รูปที่ 2.19 Instrument designs for UV-Visible photometer or Spectrophotometer single- Beam Instrument

รังสีจาก filter หรือ monochromator ผ่าน reference cell หรือ sample cell แล้วตกกระทบ photodetector การวัด Transmittance จะมีสภาพทำซ้ำได้ (reproducibility) สูง ถ้า Radiant Power ของ source คงที่ในขณะที่ปรับ 100% T และอ่าน %T ของ analyte โดยทั่วไป จึงควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าของ voltage supply ให้คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงบนสื่อออนไลน์และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Double-Beam Instruments



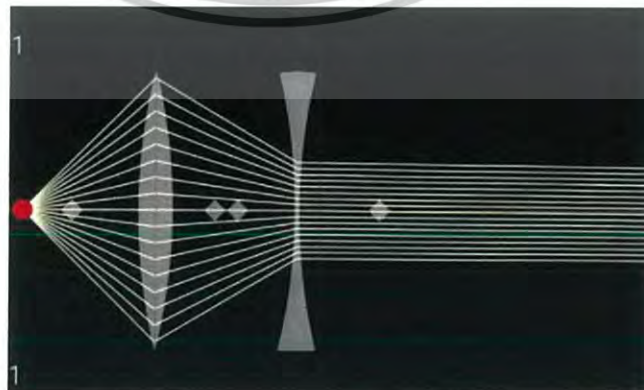
รูปที่ 2.20 Instrument designs for UV-Visible photometer or Spectrophotometer
Double-Beam Instrument

Double-beam-in-space instrument จะมีระจกรูปตัว V ทำหน้าที่เป็น beam splitter แยกรังสีเป็น 2 ลำ ลำแสงหนึ่งผ่าน reference cell ไปยัง photodetector ในขณะเดียวกัน อีกลำแสงหนึ่งจะผ่าน sample cell ไปยัง matched photodetector outputs ทั้งสองจะถูกขยาย หาอัตราส่วนหรือลอการิทึมของอัตราส่วน และแสดงผล

Double-beam-in-time instrument จะมี sector mirror ที่หมุนได้ ทำให้รังสีแยกเป็น 2 ลำตามเวลา (เป็น milliseconds) โดยในช่วงเวลาหนึ่ง ลำแสงจะผ่าน reference cell ไปยัง photodetector และอีกช่วงเวลาหนึ่งลำแสงจะผ่าน sample cell ไปยัง photodetector ตัวเดียวกัน จากนั้นลำแสงทั้งสองจะรวมกันโดย grid mirror ซึ่งยอมให้ลำแสงจาก reference cell ผ่านได้ และสะท้อนลำแสงจาก sample cell

2.1.5 วัสดุอุปกรณ์เพิ่มเติม ที่ใช้ในการสร้าง

คอลลิเมเตอร์ (Collimator) คอลลิเมเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรวมแสงที่เข้ามาให้ออกไปเป็นแสงขนาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.21 ภาพแสดงการทำงานของคอลลิเมเตอร์ ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจกเงาระนาบ

การเกิดภาพบนกระจกเงาระนาบ

- ภาพที่เกิดจากกระจกเงาระนาบบานเดียว

เมื่อวางวัตถุไว้หน้ากระจกเงาระนาบ เราจะมองเห็นวัตถุมีแสงจากวัตถุเข้าตาเรา ส่วนการมองเห็นภาพของวัตถุนั้น เพราะแสงจากวัตถุไปตกกระทบพื้นผิวกระจกเงาระนาบแล้วสะท้อนมาเข้าตาเราอีกทีหนึ่ง ภาพที่เกิดขึ้น เรียกว่า ภาพเสมือน จะปรากฏให้เห็นข้างหลังกระจกและภาพเสมือนไม่สามารถเกิดบนฉากได้ ถ้าเรามองที่ด้านหลังของกระจกเงาระนาบ เราจะไม่เห็นภาพเนื่องจากภาพเสมือนนี้เพียงปรากฏให้เห็น หลังกระจก (เพราะรังสีของแสงสะท้อนเข้าตา เหมือนกับรังสีนี้มาจากข้างหลังกระจก)

- ภาพที่เกิดจากกระจกเงาระนาบ 2 บาน วางทำมุมกัน

กระจกเงาระนาบสองบานวางทำมุมกันถ้านำวัตถุไปวางระหว่างกระจก ภาพที่เกิดจากกระจกเงาระนาบบานหนึ่งถ้าอยู่หน้าแนวกระจกเงาระนาบบานอีกหนึ่ง ภาพนั้นจะทำหน้าที่เป็นวัตถุทำให้เกิดการสะท้อนครั้งที่ 2 เกิดภาพที่สองขึ้น โดยระยะภาพก็ยังคงเท่ากับระยะวัตถุ และถ้าภาพทั้งสองยังอยู่หน้าแนวกระจกเงาระนาบบานแรกอีก ภาพนั้นจะทำหน้าที่เป็นวัตถุในการสะท้อนต่อไปอีกกลับไปกลับมาระหว่างกระจกสองบานจนกว่าภาพที่อยู่หลังแนวกระจก จึงจะไม่มี การสะท้อนทำให้เกิดภาพอีก

$$\text{สมการหาจำนวนภาพที่เกิดขึ้น} \quad n = (360/q) - 1 \quad (\text{สมการที่ 2.3})$$

เมื่อ n คือ จำนวนภาพที่เกิดขึ้น

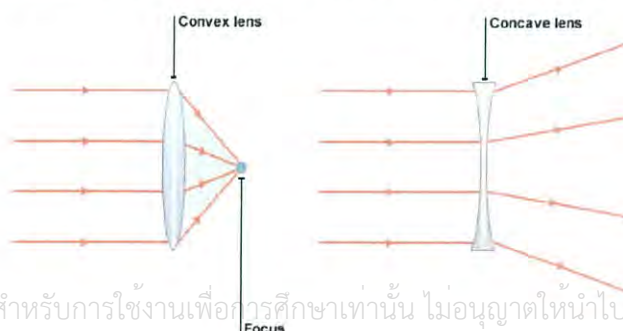
q คือ มุมที่กระจกเงาระนาบทำมุมต่อกัน (ถ้าเหลือเศษให้ปัดเป็นหนึ่งเสมอ)

เลนส์ (Lens)

เลนส์ คือ ตัวกลางโปร่งแสงที่มีผิวหน้าเป็นผิวโค้ง ผิวโค้งของเลนส์อาจจะมีรูปร่างเป็นผิวโค้ง ทรงกระบอก ทรงกลม หรือ พาราโบลาก็ได้ เลนส์แบบง่ายที่สุดเป็นเลนส์ที่มีผิวโค้งทรงกลม โดยส่วนหน้าสุดของเลนส์จะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับรัศมีความโค้ง เลนส์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ เลนส์นูน(Convex Lens) และเลนส์เว้า(Concave Lens)

เลนส์นูนหรือเลนส์รวมแสง (Convex or Converging Lens) คือเลนส์ที่มีความหนาตรงจุดศูนย์กลางมากกว่าที่ขอบและจะทำหน้าที่รวมแสงขนานไปตัดรวมกันที่จุดโฟกัสจริง

เลนส์เว้าหรือเลนส์กระจายแสง (Concave or Diverging Lens) คือเลนส์ที่มีความหนาตรงจุดกลางน้อยกว่าที่ขอบ และจะทำหน้าที่กระจายแสงขนานจากจุดโฟกัส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 2:22 แสดงการหักเหของลำแสงขนานเมื่อผ่านเลนส์นูนและเลนส์เว้าที่มีการนำไปใช้

สมการสำหรับเลนส์ทั่วไป (Lensmaker's equation)

สมการทั่วไปของเลนส์หนา

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{(n-1)d}{nR_1R_2} \right] \quad (\text{สมการที่ 2.4})$$

สมการทั่วไปของเลนส์บาง(เนื่องจาก $d \approx 0$)

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right] \quad (\text{สมการที่ 2.5})$$

เมื่อ f คือ ความยาวโฟกัสของเลนส์

n คือ ดัชนีหักเหของวัสดุที่ใช้ทำเลนส์

d คือ ความหนาของเลนส์

R_1 คือ รัศมีความโค้งของเลนส์ด้านที่แสงเข้ามาตกกระทบบ้างครั้งแรก

R_2 คือ รัศมีความโค้งของเลนส์ด้านที่แสงเข้ามาตกกระทบบ้างครั้งที่ 2

การหาตำแหน่งภาพ

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

(สมการที่ 2.6)

โดยที่ f คือ ความยาวโฟกัส f เป็นบวกเมื่อเป็นเลนส์นูน

f เป็นลบเมื่อเป็นเลนส์เว้า

s คือ ระยะวัตถุ

s เป็นบวกสำหรับวัตถุจริง(ซึ่งอยู่หน้าเลนส์)

s เป็นลบสำหรับวัตถุเสมือน(ซึ่งอยู่หลังเลนส์)

s' คือ ระยะภาพ

s' เป็นบวกสำหรับวัตถุเสมือนจริง(ซึ่งอยู่หลังเลนส์)

s' เป็นลบสำหรับวัตถุจริง(ซึ่งอยู่หน้าเลนส์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การแทนเครื่องหมายของการคำนวณหาความยาวโฟกัสของเลนส์นูนและเลนส์เว้า

ปริมาณที่พิจารณา	เงื่อนไข	เครื่องหมาย
ความยาวโฟกัส	เลนส์นูน	+
	เลนส์เว้า	-
ระยะวัตถุ	เลนส์นูน	+
	เลนส์เว้า	-
ระยะภาพ	เลนส์นูน	+
	เลนส์เว้า	-

2.2 ระบบสเปกโทรสโกปี

สเปกโทรสโกปี (Spectroscopy) แต่เดิมหมายถึงการศึกษาปฏิกิริยาระหว่างการแผ่รังสีกับสสาร ในรูปของฟังก์ชันความยาวคลื่น(λ) สเปกโทรสโกปีจะอ้างถึงการกระเจิงของแสงที่ตามองเห็นตามขนาดความยาวคลื่นของมัน เช่น การกระเจิงของแสงผ่านปริซึม ต่อมาหลักการนี้ได้ขยายออกไปครอบคลุมการวัดปริมาณใดๆ ที่อยู่ ในหมู่ฟังก์ชันของทั้งความยาวคลื่นและความถี่ ดังนั้นมันจึงเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสนามหรือความถี่ด้วย ขอบเขตการศึกษายังขยายไปครอบคลุมเรื่องของพลังงาน(E) ในฐานะตัวแปร ทั้งนี้เนื่องมาจากความสัมพันธ์กันระหว่างพลังงานและความถี่ ตามสมการ $E = h\nu$ การพล็อตค่าที่ได้จากฟังก์ชันความยาวคลื่นหรือความถี่นี้ เรียกว่า สเปกตรัม (Spectrum)

การศึกษาสเปกโทรสโกปี มักใช้ในการวิเคราะห์เคมีและเคมีกายภาพ เพื่อใช้ในการระบุถึงส่วนประกอบของสสาร โดยดูจากเส้นสเปกตรัมที่สสารนั้นแผ่ออกมาหรือถูกดูดกลืนเข้าไป นอกจากนี้ยังมีการใช้งานสเปกโทรสโกปีอย่างมากในทางดาราศาสตร์ กล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่ส่วนมากจะติดตั้งสเปกโทรมิเตอร์เอาไว้ ซึ่งใช้ทั้งการตรวจวัดองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของวัตถุทางดาราศาสตร์ และยังใช้ความเร็วของวัตถุเหล่านั้นโดยสังเกตการเคลื่อนดอปเพลอร์จากเส้นสเปกตรัมของวัตถุนั้น

เครื่องสเปกโทรสโกปี ส่วนใหญ่ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ (analytical instrument) การปลดปล่อยพลังงาน การดูดกลืนพลังงานและการเรืองแสง ไม่ว่าจะ เป็นเครื่องมือที่ออกแบบสำหรับใช้กับแสงยูวี แสงที่ตามองเห็น หรือรังสีอินฟราเรด จึงมักเรียกว่า เครื่องมือวัดทางแสง(Optical instrument) แม้ว่าจะใช้สำหรับช่วงความยาวคลื่นที่ตามองไม่เห็น ประกอบด้วย 5 ส่วน ดังนี้

- 1.แหล่งกำเนิดแสง ที่มีความเสถียรภาพด้านพลังงาน
- 2.ส่วนที่ใช้ในการแยกความยาวคลื่น
- 3.ภาชนะบรรจุสารตัวอย่าง
- 4.ตัวตรวจวัดแสง ซึ่งเปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้า
- 5.ส่วนประมวลผลและแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 รังสี UVA มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 320-360 nm. รังสีช่วงนี้จะมีพลังงานต่ำสุด แต่มีอำนาจทะลุทะลวงผ่านชั้นผิวหนังได้ดีที่สุด และมีผลกระทบเป็นวงกว้างต่อโครงสร้างชั้นผิวหนัง รังสีนี้ในปริมาณน้อยก็สามารถทะลุผ่านชั้นหนังแท้ (Dermis) ได้ ซึ่งจะไปกระตุ้นการสร้างเม็ดสีเมลานินได้มาก และเมลานินนี้จะไปปกป้องผิวจากการถูกทำลายอีกต่อ

2.4 สารป้องกันแสงแดด

2.4.1 ประเภทของสารกันแดด

แสงที่ส่องมายังพื้นโลกประกอบไปด้วยรังสี UVA และ UVB ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อผิวหนังโดยรังสี UVA จะทะลุถึงชั้นหนังแท้ทำให้เกิดผิวสีคล้ำขึ้นและดูแก่ก่อนวัยได้ ส่วนรังสี UVB มีพลังงานสูงจึงทำลายเซลล์ผิวหนังมากโดยเฉพาะชั้นหนังกำพร้าเพราะไม่สามารถทะลุถึงชั้นหนังแท้ได้ทำให้เกิดอาการบวมแดง แดงเผา และมะเร็งผิวหนังได้ ดังนั้นจึงมีการปกป้องผิวหนังจากแสงแดดโดยการใช้ผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดด ซึ่งควรป้องกันได้ทั้งรังสี UVA และ รังสี UVB ซึ่งสารกันแดด ถูกแบ่งได้ 3 ประเภทด้วยกัน ดังนี้

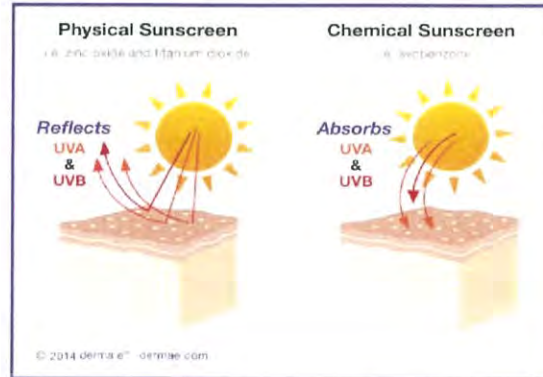
1. Organic sunscreen (Chemical sunscreen)

ออกฤทธิ์โดยจับกับ carbonyl group ในตำแหน่ง ortho หรือ para และดูดซับรังสี UV แล้วเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน ควรทา ก่อนออกสัมผัสแดดประมาณ 15 นาที เดิมยากันแดดเน้นการป้องกันรังสี UVB แต่ปัจจุบันพบว่า UVA ก่อให้เกิดปัญหาได้เช่นเดียวกัน(ดังตารางที่1)(2) ยากันแดดรุ่นใหม่จึงมีคุณสมบัติป้องกันUVA ร่วมด้วย ปัจจุบันยังไม่มีสารเคมีตัวใดที่ป้องกันได้ทั้ง UVA และ UVB ดังนั้นยากันแดดในปัจจุบันจึงต้องใช้สารเคมี 3-4 ประเภทผสมกัน สารเคมีที่นำมาเป็นส่วนประกอบในการผลิตยากันแดดแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการป้องกัน UVA และUVB ได้แตกต่างกัน

2. Inorganic sunscreen (Physical sunscreen)

มีคุณสมบัติทึบแสง ออกฤทธิ์โดยการสะท้อนรังสี UV ไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับผิวหนัง มีขนาดparticleใหญ่ ดูดซึมได้น้อยมาก สามารถป้องกันได้ทั้ง visible light รังสี UVB และUVA หลังทาแล้วทำให้รู้สึกเหนียวเหนอะหนะ และยามีสีขาวกว่าสีผิวปกติทำให้เมื่อทาแล้วดูไม่เป็นธรรมชาติ แต่มีข้อดีคือ ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ สามารถใช้ปลอดภัยในเด็ก แต่อย่างไรก็ไม่ควรใช้ในเด็กที่อายุต่ำกว่า 6 เดือน สารเคมีในกลุ่มนี้ได้แก่ titanium dioxide (TiO₂) และ Zinc oxide (ZnO) เป็นต้น ปัจจุบันมีการพัฒนาสารกลุ่มนี้ให้ที่มี particle ขนาดเล็กลง (micronized form) และพบว่าการป้องกันแสงเปลี่ยนแปลงตามขนาด particle โดย particle ขนาดเล็ก สามารถออกฤทธิ์เป็นการดูดซับรังสี UV ได้คล้ายกับ organic sunscreen จึงป้องกันรังสี UVB ได้ดีและทึบแสงน้อยลง หลังทาดูเป็นธรรมชาติมากขึ้น(4) แต่คุณสมบัติในการป้องกัน visible light จะลดลงหรือหมดไป เช่น microfine zinc oxide และmicrofine titanium dioxide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



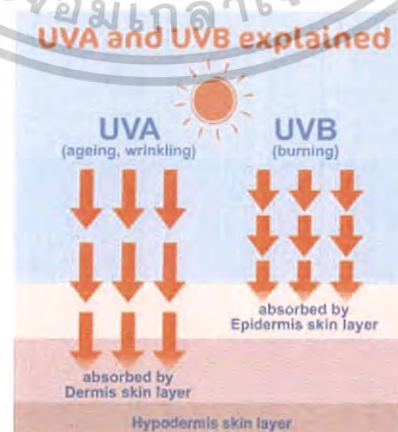
รูปที่ 2.25 แสดงประเภทของสารกันแดด[4]

3. Tanning sunscreen

เป็นสารเคมีที่ทำให้สีผิวคล้ำขึ้น ชนิดที่ใช้กันแพร่หลายขณะนี้คือสาร Dihydroxyacetone (DHA) โดยมีส่วนประกอบเป็น 3-carbon ketoscreen สามารถจับกับ amine group ของโปรตีนใน stratum corneum เกิดเป็นสีน้ำตาลอมส้ม มีผลให้รังสี UV ผ่านผิวหนังได้ลดลง ประสิทธิภาพในการป้องกันแสงแดด UV ได้เทียบเท่ากับ SPF 5-13 ขึ้นกับความเข้มข้นของ DHA มักใช้ในผู้ที่ต้องการให้สีผิวเข้มขึ้น และผู้ป่วยโรคต่างชาว เพื่อให้ผลในการปกปิดสีผิวไม่สม่ำเสมอ ร่วมด้วย โดยแนะนำให้ทาก่อนนอน จะมีสีผิวคล้ำขึ้นประมาณ 6-10 ชั่วโมงและคงอยู่ 3-7 วันหลังการทำ tanning sunscreen ที่มีวางขายในท้องตลาดมีปริมาณ DHA ในความเข้มข้นต่าง ๆ กัน และให้ผลสีผิวคล้ำขึ้นแตกต่างกัน มีทั้งในรูปแบบ lotion และ spray

2.4.2 ประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดด

การประเมินประสิทธิภาพของสารป้องกันแสงแดด นิยมใช้การวัดค่า SPF หรือ Sun Protection Factor ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานของรังสี UV น้อยที่สุดที่ทำให้ผิวหนังเกิดอาการแดง (minimum erythema dose หรือ MED) เมื่อทาผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดดกับเมื่อไม่ทาด้วยผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดด ค่า SPF จึงเป็นค่าที่แสดงว่าสารกันแดดหรือผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการป้องกันแสงแดดเป็นกี่เท่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการรูปที่ 2.26 แสดงรังสี UVA และรังสี UVB[4] ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.1 ประสิทธิภาพในการป้องกัน UVB

SPF เดิมย่อมาจาก sun protection factor ต่อมา FDA ปี 2007ได้แก้ไขให้เปลี่ยนเป็น sunburn protection factor ซึ่ง SPF เป็นค่าที่บอกประสิทธิภาพของยากันแดดในการป้องกันการเกิดอาการแดงของผิวหนังเมื่อทากันแดดเทียบกับไม่ได้ทากันแดด ซึ่งอาการไหม้แดงของผิวหนังนั้นเกิดจากรังสี UVB เป็นหลัก อาจเกิดจาก UVA เป็นส่วนน้อย ดังนั้น SPF จึงเป็นค่าที่บอกความสามารถในการป้องกัน UVB เป็นหลัก เช่น ตากแดดนาน 15 นาที ทำให้ผิวหนังมีอาการแดง การทากันแดด SPF 30 ผิวหนังจะมีอาการแดง หลังตากแดด 15x30 นาที เท่ากับ 450 นาที เท่ากับ 7.5 ชั่วโมง แต่ในสถานการณ์จริงความร้อน การเสียดสี เหงื่อทำให้ประสิทธิภาพของยากันแดดต่ำกว่าตัวเลขที่ได้ จากการทดสอบในห้องทดลองเสมอ การจะเพิ่มประสิทธิภาพของยากันแดดคือ การทาซ้ำทุก 2-3 ชั่วโมง

2.4.2.2 ประสิทธิภาพในการป้องกัน UVA

การประเมินประสิทธิภาพในการป้องกัน UVA มีหลายวิธี แตกต่างกันในแต่ละประเทศ และยังไม่มีการประเมินที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ได้แก่ Critical wavelength(6,7), UVA/UVB ratio, Australian standard As/NZS2604(1993), IPD (immediate pigment darkening)(8), PPD (Persistent pigment darkening)(9,10,11) , UVA erythema(12), PPF (phototoxic protection factor)(13) เป็นต้น ปัจจุบัน PPD เป็นวิธีการทดสอบ in vivo ที่ได้รับความนิยมสูงสุด และทาง Japanese Cosmetic Industry Association (JCIA) ถือเป็นวิธีมาตรฐาน โดยแบ่งความสามารถในการป้องกัน UVA เป็น 3 ประเทศแถบยุโรปบางประเทศใช้วิธี Critical wavelength, Australian standard As/NZS 2604(1993) และ UVA/UVB ratio ในขณะที่ FDA ประเทศอเมริกา ปี 2007 ได้เสนอวิธีวัดประสิทธิภาพการกรองรังสี UVA แบ่งเป็น 4 ระดับ (4-star rating system) ซึ่งแทนค่าความสามารถในการป้องกัน UVA เป็นต่ำ ปานกลาง สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการสร้างชุดศึกษาสมบัติทางแสงของเครื่องสำอางค์ที่มีส่วนผสมของสารกันแดดมีรายละเอียดของวัสดุ อุปกรณ์และการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

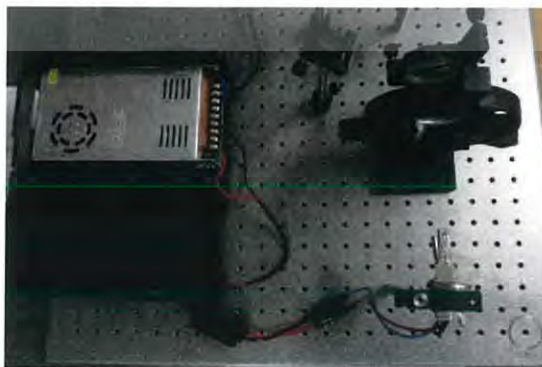
1. Xenon Lamp
2. Switching Power Supply
3. Convex Lens, $f = 50$ mm.
4. Concave Lens, $f = -50$ mm.
5. Grating
6. Mirror
4. Bi-Convex Lens, $f = 50$ mm.
7. Cuvette
8. Sample
9. Detector
10. Digital Meter

3.2 วิธีการศึกษา / วิธีการทดลอง

3.2.1 การทดลองเพื่อหาสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสง

ในระบบอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปีแหล่งกำเนิดแสงจะเป็นดวงหลอดเลียมแลมป์หรือไฮโดรเจนแลมป์ แต่ในงานวิจัยนี้เราจะใช้หลอดไฟซีนอนของรถยนต์เป็นแหล่งกำเนิดแสงแทน แต่เนื่องจากเราไม่ทราบช่วงความยาวคลื่นของแสงหลอดไฟซีนอนของรถยนต์ จึงทำการทดลองเพื่อหาช่วงความยาวคลื่นของแสงหลอดไฟซีนอนของรถยนต์ เพื่อใช้ในการจัดระบบแสงต่อไป

โดยปกติหลอดไฟรถยนต์จะใช้กระแสไฟจากแบตเตอรี่รถยนต์กระตุ้นในการทำให้หลอดไฟติด แต่ในงานวิจัยนั้นเราจะใช้กระแสไฟจากไฟบ้านในการกระตุ้นที่จะทำให้หลอดไฟซีนอนรถยนต์ติด จึงทำการต่อสวิชซึ่งเข้ากับหลอดไฟซีนอนรถยนต์ดังรูปที่ 3.1

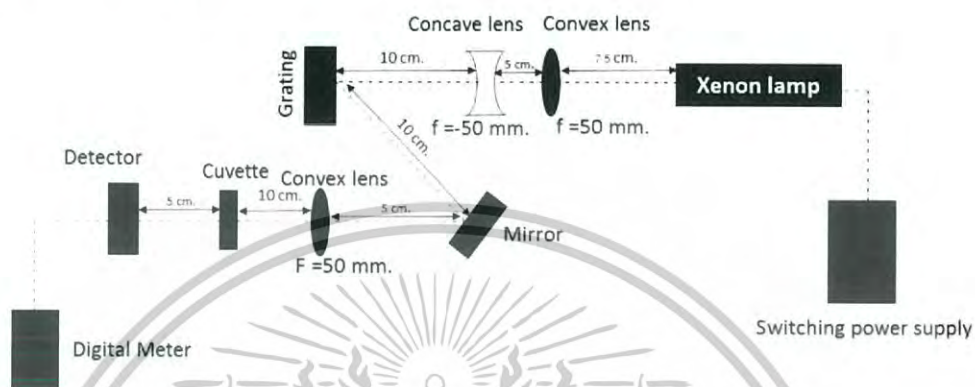


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูอาจารย์ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.1 แสดงการต่อหลอดไฟซีนอนรถยนต์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากการต่อหลอดไฟซีนอนรถยนต์โดยใช้กระแสไฟจากที่บ้านแล้ว ทำการวัดสเปกตรัมของหลอดไฟซีนอนรถยนต์ โดยใช้เครื่องสเปกโทรมิเตอร์

3.2.2 ศึกษาและออกแบบระบบตรวจวัดการดูดกลืนแสง

ในการศึกษาระบบการวัดการดูดกลืนแสงโดยใช้กระบวนการทางสเปกโทรสโกปีมาประยุกต์ใช้ซึ่งระบบการดูดกลืนแสง แสดงดังไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงไดอะแกรมของระบบการวัดการดูดกลืน

จากรูปที่ 3.2 แสงจากแหล่งกำเนิดแสงซีนอนรถยนต์ จะเดินทางเข้าสู่เลนส์นูน แล้วเกิดการรวมแสง และจะเข้าสู่เลนส์เว้าเพื่อกระจายแสง ส่วนนี้เราจะทำเป็นคอลลิเมเตอร์ เพื่อให้ลำแสงขนาน จากนั้นลำแสงจะเข้าสู่เกรตติง เพื่อเลือกความยาวคลื่น จากนั้นลำแสงจะสะท้อนเข้ากระจก ผ่านไปยังเลนส์นูน จึงทำให้ลำแสงมีขนาดเล็กลง

3.2.3 การทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารกันแดดด้วยระบบยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี



รูปที่ 3.3 แสดงการทดลองวัดค่าการดูดกลืนของสารกันแดดด้วยระบบยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี

1. นำสารกันแดดตัวอย่างที่เตรียมใส่ลงใน quartz cell โดยใช้ 95% ของเอทานอลเป็น blank

2. นำคิวเวทท์ไปวางที่แท่นวางคิวเวทท์ (Cuvette Holder) จากนั้นเชื่อมต่อสาย BNC เข้ากับตัว Detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาดูงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแหล่งอื่นและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างสารกันแดดที่นำมาตรวจด้วยระบบยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี

- 3.เปิดใช้หลอดไฟซินอนที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง
- 4.สังเกตค่าที่หน้าจوميเตอร์
- 5.บันทึกข้อมูลลงในตาราง
- 6.นำสารกันแดดที่เตรียมไว้วางบนแท่น ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4-5 โดยใช้สารกันแดดชนิด A,B,C,D,E และ F
- 7.นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาค่า SPF โดยใช้สมการของ Mansur et al

(1986)

$$SPF = CF \times \sum_{290}^{320} EE(\lambda) \times I(\lambda) \times Abs(\lambda)$$

เมื่อ EE คือ erythemal effect spectrum

I คือ solar intensity spectrum

Abs คือ absorbance of sunscreen product

CF คือ correction factor (=1000)

ค่าของ EE×I เป็นค่าคงที่ซึ่งใช้ได้ถูกวัดโดย Sayre et al (1979) แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าคงที่ที่ใช้คำนวณค่า SPF

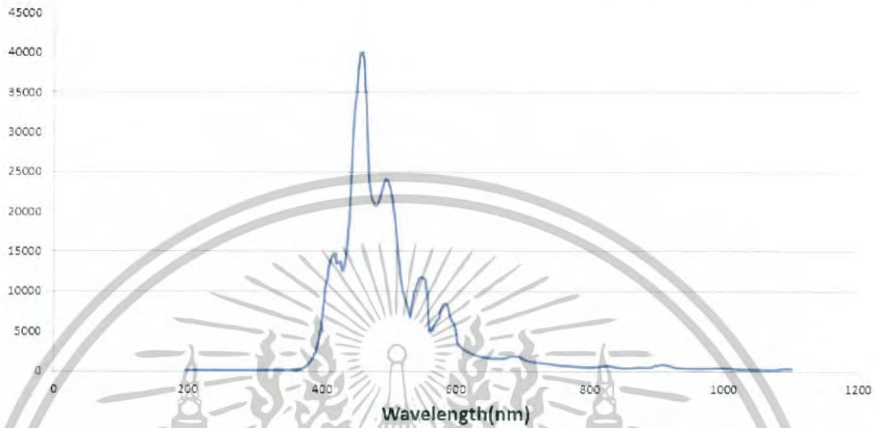
ความยาวคลื่น (λ;นาโนเมตร)	EE×I
290	0.0150
295	0.0817
300	0.2874
305	0.3274
310	0.1864
315	0.0839
320	0.0180
Total	1.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลการทดลองหาสเปกตรัมของหลอดไฟซีนอนรถยนต์

จากการทดลองหาสเปกตรัมของหลอดไฟซีนอนรถยนต์จากเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์

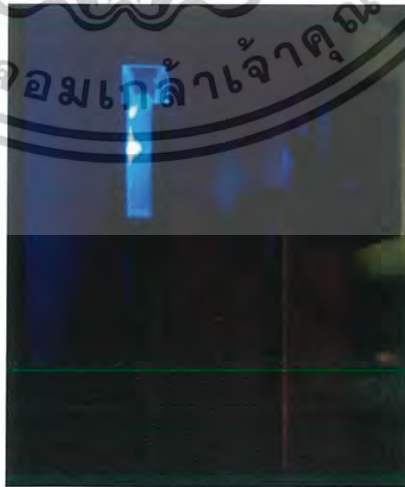


รูปที่ 4.1 แสดงช่วงความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง

จากกราฟพบว่าค่าการดูดกลืนแสงจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 200 -1100 นาโนเมตร

4.2 ผลการทดลองการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารกันแดดด้วยระบบยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี

4.2.1 ผลการทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารกันแดดด้วยระบบยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี โดยใช้สารกันแดดตัวอย่าง A คือ 0.167



รูปที่ 4.2 สารกันแดดตัวอย่าง A ที่ถูกแสงสีม่วงกระตุ้น ก่อนถูกดูดกลืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารกันแดดด้วยระบบยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี โดยใช้สารกันแดดตัวอย่าง B คือ 0.030



รูปที่ 4.3 สารกันแดดตัวอย่าง B ที่ถูกแสงสีม่วงกระตุ้น ก่อนถูกดูดกลืน

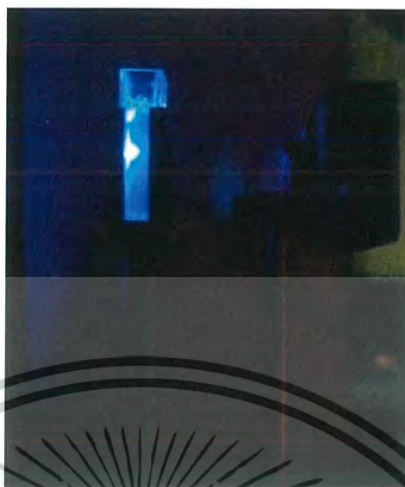
4.2.3 ผลการทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารกันแดดด้วยระบบยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี โดยใช้สารกันแดดตัวอย่าง C คือ 0.043



รูปที่ 4.4 สารกันแดดตัวอย่าง C ที่ถูกแสงสีม่วงกระตุ้นก่อนถูกดูดกลืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ผลการทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารกันแดดด้วยระบบยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี โดยใช้สารกันแดดตัวอย่าง D คือ 0.020



รูปที่ 4.5 สารกันแดดตัวอย่าง D ที่ถูกแสงสีม่วงกระตุ้น ก่อนถูกดูดกลืน

4.2.5 ผลการทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารกันแดดด้วยระบบยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี โดยใช้สารกันแดดตัวอย่าง E คือ 0.070



รูปที่ 4.6 สารกันแดดตัวอย่าง E ที่ถูกแสงสีม่วงกระตุ้น ก่อนถูกดูดกลืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 ผลการทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารกันแดดด้วยระบบยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี โดยใช้สารกันแดดตัวอย่าง F คือ 0.037



รูปที่ 4.7 สารกันแดดตัวอย่าง F ที่ถูกแสงสีม่วงกระตุ้น ก่อนถูกดูดกลืน

4.3 ผลการวัดค่าป้องกันแสงแดด (SPF) ของผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดด เมื่อวัดด้วยระบบยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี

ค่าการป้องกันแสงแดด (SPF) ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดดที่วัดได้จากการทดลองด้วยระบบยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี แสดงดังในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่า SPF ของผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดดด้วยระบบ UV-Visible spectroscopy เปรียบเทียบกับค่า SPF ที่ระบุบนฉลาก

ตัวอย่าง	SPF ระบุที่ฉลาก	ค่า SPF ที่วัดได้ \pm SD
A	50	167 \pm 0.03
B	50	30 \pm 0.00
C	50	43 \pm 0.00
D	50	20 \pm 0.00
E	50	70 \pm 0.01
F	50	37 \pm 0.00

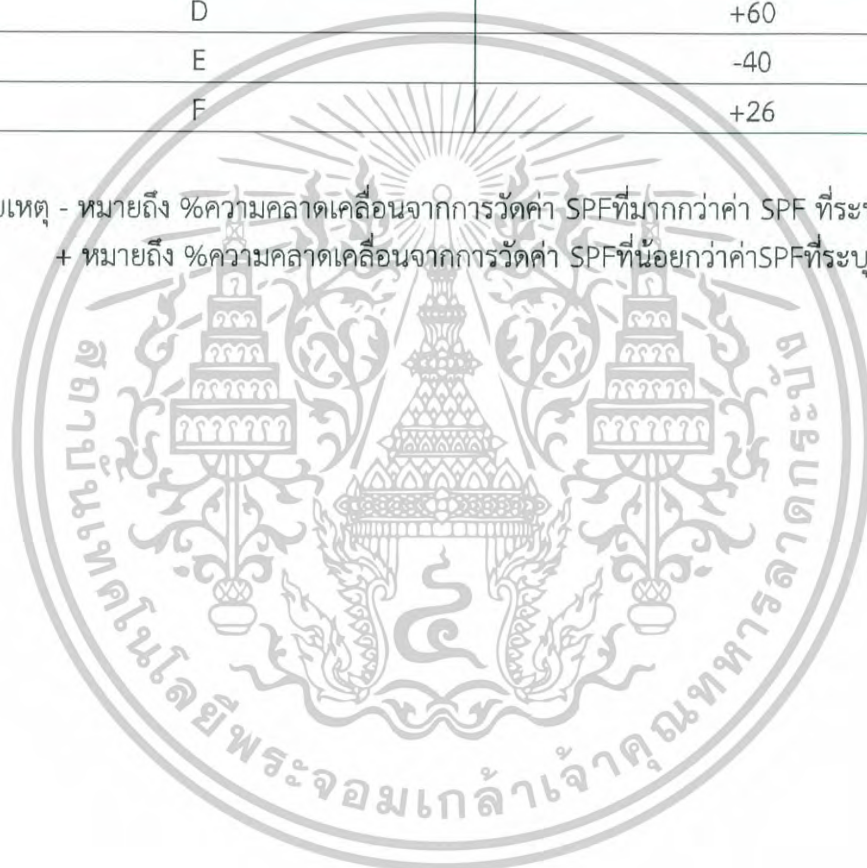
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการวัดค่า SPF ของผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดดด้วยระบบยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี

ตารางที่ 4.2 ผลคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการวัดค่า SPF ของผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดดด้วยระบบ UV-Visible spectroscopy

ตัวอย่าง	%ความคลาดเคลื่อนจากการวัดค่า SPF
A	-234
B	+40
C	+14
D	+60
E	-40
F	+26

หมายเหตุ - หมายถึง %ความคลาดเคลื่อนจากการวัดค่า SPF ที่มากกว่าค่า SPF ที่ระบุบนฉลาก
+ หมายถึง %ความคลาดเคลื่อนจากการวัดค่า SPF ที่น้อยกว่าค่า SPF ที่ระบุบนฉลาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการสร้างชุดศึกษาสมบัติทางแสงของเครื่องสำอางค์ที่มีส่วนประกอบของสารกันแดด สรุปได้ดังนี้

ชุดศึกษาสมบัติทางแสงของเครื่องสำอางค์ที่มีส่วนประกอบของสารกันแดด ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงคือ หลอดไฟซีนอนรถยนต์ โดยปรับลำแสงให้เป็นแสงขนานด้วยคอลิเมเตอร์ที่ประกอบด้วยเลนส์นูนและเลนส์เว้าที่มีความยาวโฟกัส 50 มิลลิเมตร และ -50 มิลลิเมตรตามลำดับ ลำแสงจะถูกเปลี่ยนสเปกตรัม(แสงสีม่วง) ด้วยเกรตติงสะท้อน จากนั้นลำแสงจะถูกสะท้อนด้วยกระจกเข้าเลนส์นูนเพื่อรวมแสงให้มีขนาดพอดีกับตัวตรวจวัด(ดีเทคเตอร์) ในการแสดงผลจะแสดงผลเป็นตัวเลขบนหน้าจอมิเตอร์

จากการทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารกันแดดด้วยระบบยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี สรุปผลได้ว่า เครื่องมือวัดสามารถตรวจวัดค่าการดูดกลืนของแสงได้ และจากการวัดค่า SPF ของผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดดด้วยชุดศึกษานี้ พบว่ามีตัวอย่างผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด ที่มีค่า SPF สูงกว่าที่ระบุ และตัวอย่างที่เหลือมีค่า SPF ต่ำกว่าที่ระบุ

5.2 ปัญหาที่พบในงานวิจัย

โครงการพิเศษ ชุดศึกษาสมบัติทางแสงของเครื่องสำอางค์ที่มีส่วนผสมของสารกันแดดมีปัญหาที่พบในงานวิจัยดังนี้

เนื่องจากระบบแสงเป็นระบบที่ค่อนข้างถูกรบกวนง่าย จึงต้องจัดระบบแสงที่มีความมั่นคง และต้องป้องกันแสงรบกวนจากสิ่งแวดล้อม จึงจำเป็นต้องจัดระบบแสงให้มีระยะผ่านทางเดินที่สั้นที่สุด ด้วยการเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสม แต่เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านอุปกรณ์ ทำให้ระบบแสงที่จัดทำขึ้นไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง โดยที่แหล่งกำเนิดแสง โดยระบบยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปีทั่วไปจะใช้แหล่งกำเนิดแสงคือหลอดไฟดีวีเทอเรียม หรือหลอดไฟไฮโดรเจน ที่มีค่าที่เสถียร แต่เนื่องจากพวกหลอดเหล่านี้มีราคาที่สูง จึงเป็นทำให้ไม่สามารถนำมาเป็นแหล่งกำเนิดแสงให้กับชุดศึกษานี้ได้ จึงต้องใช้หลอดไฟซีนอนรถยนต์แทนซึ่งไม่ทราบค่าสเปกตรัมของแสงและไม่มีค่านีความเสถียรมากนัก และเมื่อเปิดใช้หลอดไฟนานๆหลอดจะร้อนมากขึ้นก่อให้เกิดการระเบิดของหลอดได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ในระบบตรวจวัด ในส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง ควรใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความเหมาะสมกับระบบตรวจวัดมากขึ้น
2. ในการทำการออกแบบระบบการตรวจวัดควรออกแบบให้ดีขึ้นและใช้พื้นที่ที่เหมาะสมกับระบบ
3. ในการเลือกตัวอย่างผลิตภัณฑ์ควรเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีค่า SPF ที่หลากหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 แนวทางพัฒนา

1. พัฒนาระบบให้สามารถวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดด UVA ได้
2. พัฒนาระบบให้สามารถตรวจวัดการดูดกลืนให้แม่นยำมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- ต่อแสงหลวง, เขียงราย.สัมผัสแสงแดด.สำหรับผิวหนัง (หน้า207-212). กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
สุรชาติ กมลดีลิก. Optical Instrument. (สื่อการเรียนการสอน). (สืบค้นวันที่ 1 ม.ค. 2560)
- Agrapidis-Paloympis, L.E., Nash, R.B. & Shaath, N.A. (1987). The effect of solvents on the
Ultraviolet absorbance
Protection factor (SPF) of sunscreens by ultraviolet spectrophotometry. Brazilian
Journal of Pharmaceutical Sciences, 40, 381-385
- IEEE. 2016. Engineering360 powered by IEEE globalspec
[1][Online]. Available : <http://www.globalspec.com>
- J. F. James and R. S. Sternberg (1969), The Design of Optical Spectrometers
[2][Online]. Available : <http://www.opticalspectroscopy.com>
- สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้. ส่วนประกอบหลักของเครื่องสเปกโทรสโกปี
[3][Online]. Available : <http://www.il.mahidol.ac.th>
- เมดไทย(Medthai). 2014. รอบรู้เรื่องครีมกันแดดอย่างครบสูตร
[4][Online]. Available : <https://medthai.com>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

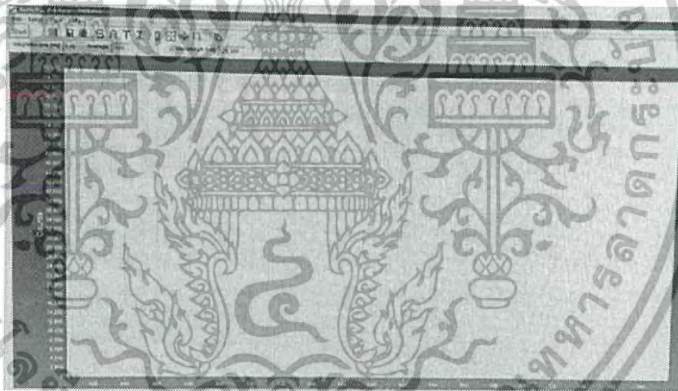
วิธีการใช้เครื่องสเปกโทรมิเตอร์

- 1.เชื่อมต่อสเปกโทรมิเตอร์กับคอมพิวเตอร์ผ่านสาย USB
- 2.Double Click ที่ icon บนหน้าจอ ดังแสดงรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงโปรแกรม AvaSoft 7.4

- 3.รอนหน้าจอปรากฏดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงหน้าจอโปรแกรม Avasoft 7.4

- 4.คลิก Icon รูป S และคลิก Start เพื่อทำการเริ่มต้นโปรแกรมเพื่อวัดสัญญาณ ขั้นตอนนี้ให้ทำขณะที่เครื่องสเปกโทรมิเตอร์ถูกปิดช่องรับแสง ดังรูปที่ 3.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.5 แสดงเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ขณะถูกปิดช่องรับแสง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.คลิกที่ไอคอนสีเทาที่ปรากฏบนแถบแสดง จะปรากฏข้อความ Save dark ให้ทำการคลิก เพื่อ save สัญญาณขณะที่เครื่องยังไม่รับแสง

6.ทำการเปิดช่องรับแสงของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์และทำการเชื่อมต่อสายใยแก้วนำแสงที่นำสัญญาณมาจากแหล่งกำเนิดแสงมายังเครื่อง

7.กดปุ่ม Start และ กดช่อง White และกด A เพื่อทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง

8.นำ Sample มาใส่ลงบนแท่น หน้าจอจะแสดงผลปรากฏสเปกตรัมของการดูดกลืนแสง

9.คลิกที่ File > Save > Experiment เพื่อทำการบันทึกข้อมูลการวัดค่าสเปกตรัม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Experimental

2.1. Synthesis of catalysts

In a typical process, a titanium precursor solution (prepared by mixing 10 mL of tetrabutyl titanate and 40 mL of anhydrous ethanol) was added dropwise into another solution containing 10 mL of anhydrous ethanol and 12 mL of diluted nitric acid (1:5, volume ratio between nitric acid and deionized water) under vigorously stirring. After being stirred for 2 h, the obtained semitransparent sol was aged for 6 h at room temperature. Subsequently, the resulting semitransparent sol was dried for 36 h at 80 °C, and then TiO₂ gel precursor was successfully obtained. Finally, the resulting powder (pure TiO₂) was collected and calcined for 4 h at 350 °C with a heating rate of 3 °C min⁻¹ in an electric tube furnace.

N(NH₄Cl)-TiO₂ nano-particles could be synthesized from the same procedure. The desired amount of ammonia chloride dissolved in appropriate amount of deionized water was added into the mixed nitric acid-ethanol solution prior to the hydrolysis of tetrabutyl titanate. Similarly, N(NH₃)-TiO₂ nano-particles were also synthesized by addition of the desired ammonia water instead of deionized water, and the remaining procedures were the same as described above.

2.2. Characterization of catalysts

X-ray powder diffraction (XRD) of the samples were performed by a Rigaku D/max-III B diffractometer using Cu K α radiation ($\lambda = 0.15406$ nm) and a step size of 0.02° in the range of 15–70°. Raman spectra were recorded by a Jobin Yvon HR 800 spectrophotometer equipped with Ar⁺ laser beam (excitation wavelength = 457.9 nm). X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) was conducted on a PHI-5700 ESCA apparatus with Al K α X-ray source, and all the binding energies were calibrated with respect to the value of adventitious carbon (binding energy = 284.6 eV). The Fourier transform infrared spectra (FT-IR) of the samples were measured by the KBr pellet method on a Perkin Elmer spectrum one spectrophotometer in the wave-number range 4000–400 cm⁻¹. UV-vis diffuse reflectance spectra (UV-vis DRS) of the samples were recorded with a Model Shimadzu UV-2550 spectrophotometer. The surface photovoltage spectroscopy (SPS) measurement of the sample was carried out with a home-built apparatus that had been described in detail elsewhere [8,9].

2.3. Photocatalytic activities of catalysts

The photoactivity of as-synthesized TiO₂ (20 mg of photocatalyst) was evaluated by the photodegradation of RhB (20 mL, with initial concentration of 10 mg L⁻¹) under visible light irradiation. For comparison, a similar experiment was carried out for the P25 TiO₂ under the same conditions. Prior to light irradiation, the sample was magnetically stirred in the dark for 30 min to establish an adsorption/desorption equilibrium. Afterwards, the solution was irradiated by a 350 W arc Xenon lamp equipped without any cutoff filter. At given time intervals, the analyzed sample was taken out and centrifuged, and then the filtrate was measured by a Shimadzu UV2550 spectrophotometer.

3. Results and discussion

3.1. XRD and Raman analysis

Fig. 1 shows the XRD patterns of TiO₂ samples synthesized from different nitrogen dopants. Clearly, pure TiO₂ and N(NH₄Cl)-TiO₂ were mixed crystals of anatase, rutile and brookite, while sample

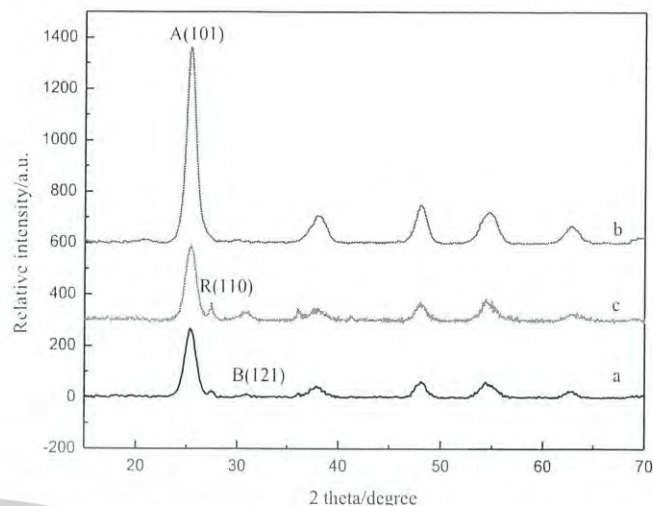


Fig. 1. XRD patterns of (a) pure TiO₂; (b) N(NH₃)-TiO₂; (c) N(NH₄Cl)-TiO₂.

N(NH₃)-TiO₂ did not exhibit additional phase except for anatase. Generally, brookite is a transitional phase from anatase to rutile during the annealing process. Thus it can be concluded that the addition of NH₄Cl favored the formation of rutile and inhibited the formation of anatase. Notably, the doped samples exhibited any detectable dopant related peaks besides the typical structure of TiO₂ crystal. One reason was that the concentration of dopants was so low that it cannot be detected by XRD. The other was that the dopants have moved into either the interstitial positions or the substitutional sites of the TiO₂ crystal structure. Furthermore, the obvious change can be observed in Fig. 1 that the anatase crystallinity was greatly enhanced with the presence of ammonia water. Therefore, it can be suggested that the dopants played an important role in controlling the phase composition of TiO₂. By using the Scherrer equation [10], the average crystallite sizes of pure TiO₂, NH₄Cl-TiO₂ and NH₃-TiO₂ were found to be 8 nm, 6 nm and 5 nm, respectively. This phenomenon can be explained by the fact that the strong electrostatic repulsion between the ammonia groups and nanoparticles resulted in the well dispersion and crystallinity of nanoparticles together with the small grain size and further induced the transformation from amorphous to anatase TiO₂ crystallites. Thus, it can be concluded that the introduction of nitrogen species had an obviously effect on controlling the phase composition as well as inhibiting the crystal growth of TiO₂ nanoparticles during the doping process.

Raman spectroscopy is a powerful technique for characterizing the micro-structural and surface stoichiometric information of inorganic oxide. Thus, in this study, Raman spectra of TiO₂ samples synthesized from different nitrogen dopants were carried out and shown in Fig. 2. As seen in Fig. 2, the peaks at 147, 197, 396, 515, 638 cm⁻¹ was attributed to the characteristics of the anatase phase [11], indicating that the anatase was the predominant phase structure in each sample. Interestingly, the Raman spectra in this study did not detect any signal of rutile and brookite of TiO₂, implying that the amount of rutile and brookite was too slow to be checked out. Furthermore, as seen from the insert pattern in Fig. 2, the E_g mode at 147 cm⁻¹ shifted lightly to the blue (toward the low wavenumber region) with the introduction of N dopants, which was attributed to the increase of oxygen vacancies in the surface of oxygen deficiency content [12]. In addition, the tendency of peak shift ranged in the following order: N(NH₃)-TiO₂ (6.1 cm⁻¹) > N(NH₄Cl)-TiO₂ (2.3 cm⁻¹). As known to us, oxygen vacancy is beneficial to the enhancement of photocatalytic efficiency. Therefore, it can be induced that nitrogen doped samples should most probably

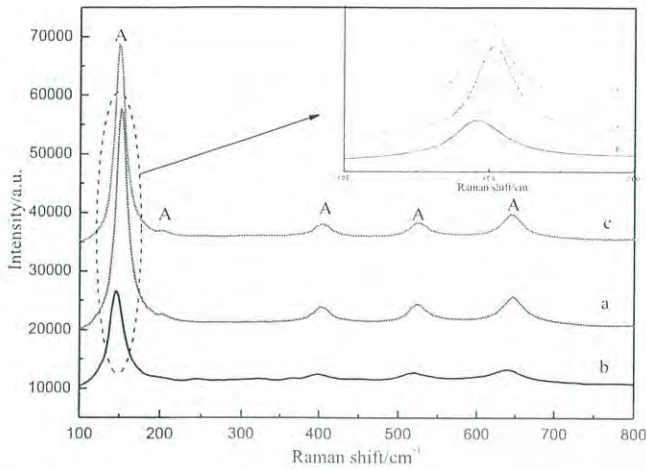


Fig. 2. Raman spectra of (a) pure TiO_2 ; (b) $\text{N}_{(\text{NH}_3)}\text{-TiO}_2$; (c) $\text{N}_{(\text{NH}_4\text{Cl})}\text{-TiO}_2$.

possess high photocatalytic activity for the degradation of pollutants.

3.2. XPS and FT-IR analysis

The XPS spectra of nitrogen doped TiO_2 samples were shown in Fig. 3. The insert in Fig. 3 showed the high-resolution XPS spectrum of N1s peaks of the corresponding XPS spectra. As seen in Fig. 3, weak nitrogen peaks were present in the two kinds of samples. Besides, the surfaces of the two kinds of samples were composed of Ti, O and N elements. The peak at 284.6 eV was assigned to the adventitious carbon. Up to now, the assignment of the XPS peak of N 1s has still been under debate. For both samples, no obvious signals at about 396 eV were found [3]. According to the literatures, the single N1s peak at 399.8 eV from $\text{N}_{(\text{NH}_4\text{Cl})}\text{-TiO}_2$ was attributed to the substitutional O-Ti-N sited in the TiO_2 lattice, which was the natural result of partial oxidation of Ti-N by oxygen. However, as seen from the insert in Fig. 3b, two N 1s peaks at binding energy of 399.5 and 401.4 eV were observed in the sample $\text{N}_{(\text{NH}_3)}\text{-TiO}_2$. The major peak at 399.5 eV was assigned to the O-Ti-N linkages in the crystalline TiO_2 lattice [13,14], while the minor peak at 401.4 eV was attributed to the formation of interstitial Ti-O-N [15,16]. The difference in the states of N may be aroused from the electronegativity of the dopants. During the formation of N doped TiO_2 , the ammonia groups were easier to absorb on the surface of the nanoparticles due to the interaction with the surface hydroxy groups. Thus, this study suggested that different nitrogen dopants can provide different chemical states of nitrogen in N doped TiO_2 nanoparticles.

FT-IR of TiO_2 samples synthesized from different nitrogen dopants were shown in Fig. 4. As seen in Fig. 4, the intensive and broad band at low wave-number range from 400 to 800 cm^{-1} were caused by the strong stretching vibrations of Ti-O bonds [17]. Meanwhile, the intensities of IR band related to Ti-O-Ti vibration mode in N doped TiO_2 samples were also increased, indicating that the corresponding anatase TiO_2 crystallinity was improved [18]. Moreover, the intensities in XRD patterns can be ranged in the following order: $b > c > a$, demonstrating that anatase crystallinity of $\text{N}_{(\text{NH}_3)}\text{-TiO}_2$ was higher, which was in accordance with the XRD results. Additionally, a broad band peak around 3420 cm^{-1} was attributed to the stretching vibration of hydroxyl groups on the TiO_2 surface, and a sharp band at 1620 cm^{-1} corresponded to the O-H bending modes of adsorbed water molecules [19,20]. It is well known that hydroxyl groups play an important role in photocatalytic activity. Comparing IR spectra in Fig. 4, the intensity of IR band in Fig. 1(b) and (c) assigned to the hydroxyl groups was stronger than that in Fig. 1a, indicating that doping with nitrogen

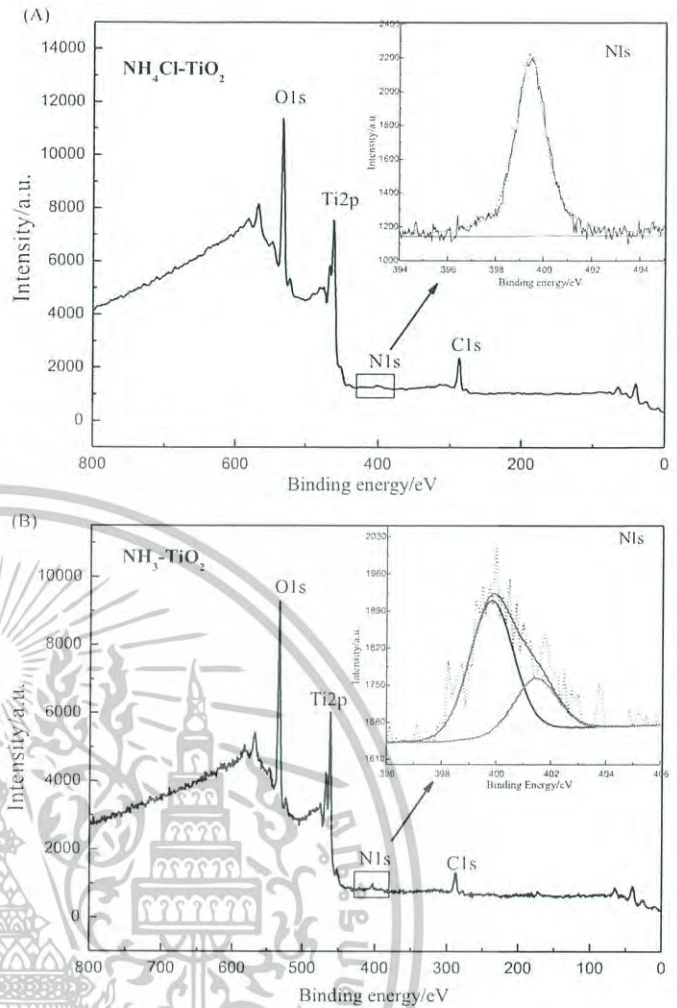


Fig. 3. XPS spectra of (A) $\text{N}_{(\text{NH}_4\text{Cl})}\text{-TiO}_2$ and (B) $\text{N}_{(\text{NH}_3)}\text{-TiO}_2$. Inset is high-resolution XPS spectrum of N1s peak.

favoured the increase of hydroxyl groups, which was considered beneficial for the photocatalytic process. Furthermore, it should be noticed that the intensity of IR band related to hydroxyl groups in Fig. 4b was stronger than that in Fig. 4c, demonstrating that sample $\text{N}_{(\text{NH}_3)}\text{-TiO}_2$ should possess higher photocatalytic activity.

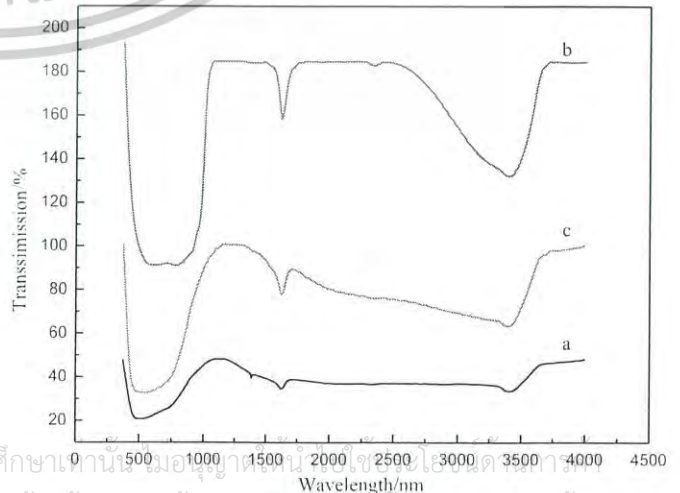


Fig. 4. FT-IR spectra of (a) pure TiO_2 ; (b) $\text{N}_{(\text{NH}_3)}\text{-TiO}_2$; (c) $\text{N}_{(\text{NH}_4\text{Cl})}\text{-TiO}_2$.

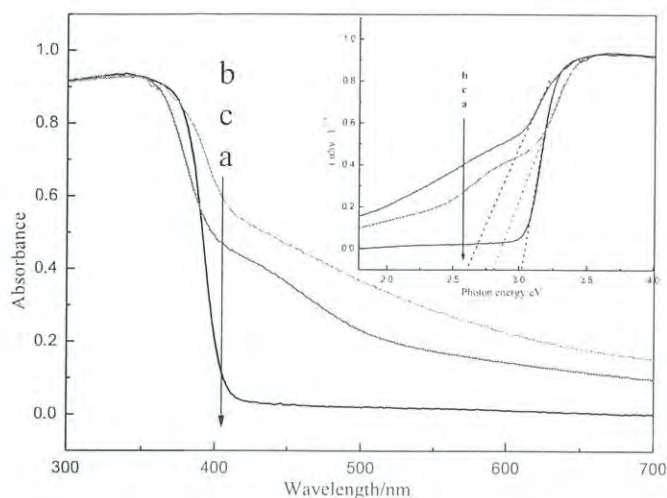


Fig. 5. UV-vis DRS spectra of (a) pure TiO_2 ; (b) $\text{N}_{(\text{NH}_3)}$ - TiO_2 ; (c) $\text{N}_{(\text{NH}_4\text{Cl})}$ - TiO_2 .

3.3. DRS and SPS analysis

In order to investigate the optical response of the as-synthesized TiO_2 samples, UV-vis diffuse reflectance spectra were measured and shown in Fig. 5. Meanwhile, band gap energies were calculated using the Kubelka-Munk function [21] and shown in the insert in Fig. 5. As seen in Fig. 5, pure TiO_2 presented an onset of absorption at 405 nm as commonly observed, while doping with nitrogen greatly enhanced the absorption at a wavelength of 400–800 nm. The red-shift of the absorption edge demonstrated a decrease in the band gap energy. Additionally, it should be noted that the sample $\text{N}_{(\text{NH}_3)}$ - TiO_2 showed stronger light absorption in visible region than that of $\text{N}_{(\text{NH}_4\text{Cl})}$ - TiO_2 , suggesting that different dopants had an important effect on light absorption of TiO_2 , thereby significantly affecting the photocatalytic properties. Thus, we can conclude that both N doping favored the red-shift of light absorption from UV light to visible light region. As calculated, the band gap of pure TiO_2 was 3.06 eV, which was consistent with the very poor visible light absorbance ability. But the band gap of N doped TiO_2 synthesized from ammonia water and ammonia chloride were about at 2.6 and 2.74 eV, respectively. Compared to pure TiO_2 , the E_g values indicated that the band gap of TiO_2 nano-particle had been narrowed by doping of nitrogen, which should give rise to a new energy level between the valence band and conduction band. Furthermore, the difference in the band gap energies of N doped TiO_2 photocatalysts was ascribed to the different chemical states of N species. Thus, we can suggest that interstitial N doping could also narrow the band gap of TiO_2 , but the capacity was weaker than the substitutional N doping.

Fig. 6 shows the SPS spectra of the as-synthesized TiO_2 samples. Noticeably, an obvious SPS peak at about 345 nm for all the three samples was observed, which was attributed to the electronic transition from the valence band to conduction band according to the energy band structure of TiO_2 [22]. Further, compared with the pure TiO_2 , $\text{N}_{(\text{NH}_3)}$ - TiO_2 had a strong SPS response, while $\text{N}_{(\text{NH}_4\text{Cl})}$ - TiO_2 exhibited a relative weak response. Generally, the stronger the SPS signal is, the higher the photoinduced charge separation rate is. Thus, it can be concluded that the $\text{N}_{(\text{NH}_3)}$ - TiO_2 sample should possess a higher separation efficiency of photoinduced charge, which may be caused by the increasing of the surface oxygen vacancies and hydroxyl groups. Interestingly, for the sample $\text{N}_{(\text{NH}_4\text{Cl})}$ - TiO_2 , besides the strong SPS response at about 345 nm, two new SPS responses appeared at the wavelength range from 370 to 570 nm. The first SPS response between 370 and 400 nm was ascribed to the surface state, and was closely related to the

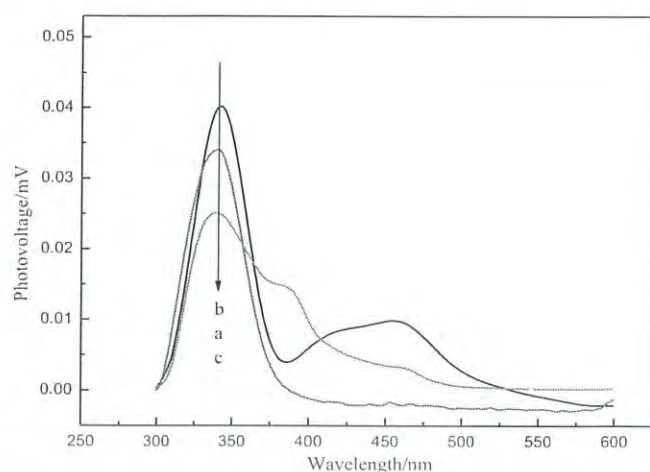


Fig. 6. SPS spectra of (a) pure TiO_2 ; (b) $\text{N}_{(\text{NH}_3)}$ - TiO_2 ; (c) $\text{N}_{(\text{NH}_4\text{Cl})}$ - TiO_2 .

mixed phase composition. The latter SPS response between 400 and 500 nm was reasonably ascribed to the sub-band transitions and was closely related to the doping energy level. However, for sample $\text{N}_{(\text{NH}_3)}$ - TiO_2 , only a broad SPS response between 370 and 570 nm was detected, which was ascribed to both the doping energy level and high crystallinity. Thence, doping with nitrogen could red-shift the light absorption into visible light region. Based on the above analysis, we can conclude that different dopants could result in the different light absorption and surface state, thereby affecting their photocatalytic activities.

3.4. Photocatalytic activity

In order to explore the photocatalytic activity of nitrogen doped TiO_2 under simulated sunlight irradiation, photodegradation of RhB was investigated and shown in Fig. 7. Comparing with the photocatalytic degradation rates of RhB, so small amount of direct photolysis rate could be neglected. As shown in Fig. 7, the photocatalytic activities of TiO_2 nano-particles can be greatly improved by N-doping, which was in good agreement with the XRD, Raman, FT-IR, DRS and SPS results. Notably, pure TiO_2 sample showed a relatively low photocatalytic activity under simulated sunlight irradiation, while $\text{N}_{(\text{NH}_4\text{Cl})}$ - TiO_2 exhibited a relatively high visible light activity. $\text{N}_{(\text{NH}_3)}$ - TiO_2 displayed a even higher visible light capability for the degradation of RhB than that of TiO_2 and $\text{N}_{(\text{NH}_4\text{Cl})}$ - TiO_2 , for

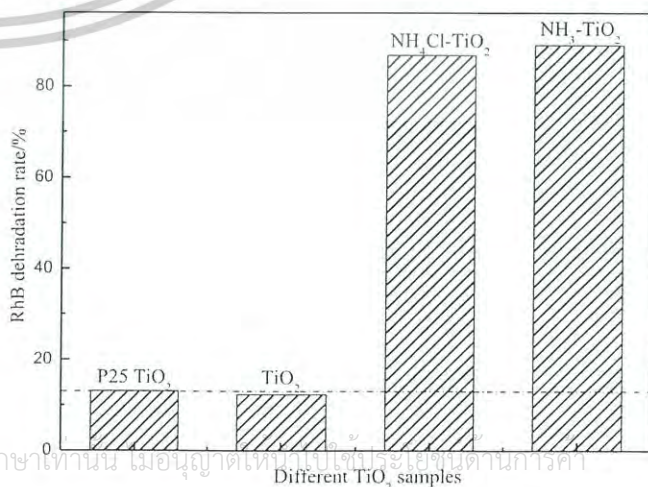


Fig. 7. Photocatalytic degradation rates of RhB solution on different TiO_2 samples.

which 93.02% of RhB can be degraded after 2 h of simulated sunlight irradiation, which was possibly related to the small crystalline size, well-crystalline anatase phase, intense absorption in the visible light region, narrow band gap energy and high separation rate of photoinduced charge.

4. Conclusions

Based on the above analysis, the following conclusions can be drawn: (1) N doped TiO₂ nanoparticles with visible light photocatalytic activity were synthesized from different N dopants which resulted in different properties. (2) Different N dopants could result in the different surface state and photoelectric properties. (3) The photocatalytic activity of all the as-synthesized TiO₂ can be ranged in the following order: N(NH₃)-TiO₂ > N(NH₄Cl)-TiO₂ > undoped TiO₂. (4) The activity enhanced mechanism of N doped TiO₂ nanoparticle was mainly attributed to the intense light absorption in visible region, more surface hydroxyl groups, high separation efficiency of photoinduced charge and narrow band gap energies of N doped TiO₂.

Acknowledgments

This work was supported by National Natural Science Foundation of China for Youth (21106035) and Youth Scholar Backbone Supporting Plan Project for General Colleges and Universities of Heilongjiang Province (1151G034).

References

- [1] A. Fujishima, K. Honda, *Nature* 238 (1972) 37–38.
 [2] M.I. Litter, *Applied Catalysis B: Environmental* 23 (1999) 89–114.

- [3] R. Asahi, T. Morikawa, T. Ohwaki, K. Aoki, Y. Taga, *Science* 293 (2001) 269–271.
 [4] T. Umebayashi, T. Yamaki, H. Itoh, K. Asaia, *Applied Physics Letters* 81 (2002) 454–456.
 [5] T. Yamaki, T. Umebayashi, T. Sumita, S. Yamamoto, M. Maekawa, A. Kawasuso, H. Itoh, *Nuclear Instrumentation Methods in Physics Research Section B* 206 (2003) 254–258.
 [6] W. Zhao, W.H. Ma, C.C. Chen, J.C. Zhao, Z.G. Shuai, *Journal of American Chemical Society* 126 (2004) 4782–4783.
 [7] S. Sakthivel, H. Kisch, *Angewandte Chemie International Edition* 42 (2003) 4908–4911.
 [8] Y.Q. Wang, X.J. Yu, D.Z. Sun, *Journal of Hazardous Materials* 144 (2007) 328–333.
 [9] J. Wang, L.Q. Jing, L.P. Xue, Y.C. Qu, H.G. Fu, *Journal of Hazardous Materials* 160 (2008) 208–212.
 [10] Q.H. Zhang, L. Gao, J.K. Guo, *Applied Catalysis B: Environmental* 26 (2000) 207–215.
 [11] G.H. Tian, H.G. Fu, L.Q. Jing, B.F.K.P. Xin, *Journal of Physical Chemistry C* 112 (2008) 3083–3089.
 [12] J.C. Parker, R.W. Siegel, *Applied Physics Letters* 57 (1990) 943.
 [13] J.H. Xu, J.X. Li, W.L. Dai, Y. Cao, H.X. Li, K.N. Fan, *Applied Catalysis B: Environmental* 79 (2008) 72–80.
 [14] Y. Cong, J.L. Zhang, F. Chen, M. Anpo, *Journal of Physical Chemistry C* 111 (2007) 6976–6982.
 [15] H. Han, R.B. Bai, *Industrial & Engineering Chemistry Research* 48 (2009) 2891–2898.
 [16] G.K. Zhang, X.M. Ding, F.S. He, X.Y. Yu, J. Zhou, Y.J. Hu, J.W. Xie, *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 69 (2008) 1102–1106.
 [17] J.G. Yu, H.G. Yu, B. Cheng, X.J. Zhao, J.C. Yu, W.K. Ho, *Journal of Physical Chemistry B* 107 (2003) 13871–13879.
 [18] X.W. Cheng, X.J. Yu, Z.P. Xing, *Applied Surface Science* 258 (2012) 3244–3248.
 [19] L. Ren, X.T. Huang, F.L. Sun, X. He, *Materials Letters* 61 (2007) 427–431.
 [20] J.W. Wang, W. Zhu, Y.Q. Zhang, S.X. Liu, *Journal of Physical Chemistry C* 111 (2007) 1010–1014.
 [21] F. Spadavecchia, C. Cappelletti, S. Ardizzone, C.L. Bianchi, S. Cappelli, C. Oliva, P. Scardi, M. Leoni, P. Fermo, *Applied Catalysis B: Environmental* 96 (2010) 314–322.
 [22] L.Q. Jing, H.G. Fu, B.Q. Wang, D.J. Wang, B.F. Xin, S.D. Li, J.Z. Sun, *Applied Catalysis B* 62 (2006) 282–291.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Review article

Sunscreen protection in the ultraviolet A region: how to measure the effectiveness

C. Cole

Johnson & Johnson Consumer Products Inc., Skillman, NJ, USA

Products containing ultraviolet (UV) radiation absorbing or scattering ingredients provide varying degrees of protection from sunlight (or other UV sources), thus minimizing the deleterious effects on the skin. The “sun protection factor” (SPF) of sunscreen products has become a well recognized indicator of protection against sunburn induced predominantly by ultraviolet B radiation (UVB: 290–320 nm). A similar system of denoting sunscreen protection from ultraviolet A (UVA: 320–400 nm) radiation has not been universally recognized. A variety of test methods have been proposed, both *in vitro* and *in vivo*, each with specific virtues and shortcomings. Regula-

tory agencies and industry have been reviewing the available methods over the past decade in an effort to develop consumer meaningful claims and appropriate substantiation methods. This article reviews these test methodologies, *in vitro* and *in vivo*, as well as the biological background that establishes the need for UVA protection, and the UVA content of solar radiation and its variability.

Key words: sunscreens; ultraviolet A; efficacy; measurement; critical wavelength; persistent pigment darkening; protection factor A; sun protection factor; absorbance; photostability.

The major source of UVA damage – sunlight: its spectra and variation with season

There are many misconceptions about the intensity and doses of UV radiation that constitute our daily exposure risk. While there is a greater prevalence of UVA radiation in the sun's spectrum compared with UVB, the intensity is not constant during the day or during the year. Table 1 and Fig. 1 shows the variation of both UVB and UVA during the day and over the seasons as measured in Central New Jersey (40° N. Lat.) on clear days on or about the summer solstice, the vernal and autumnal equinoxes, and the winter solstice. They show that the UVA daily doses in the winter are only half that of a summer, spring, or fall day. The intensity of UVA is similarly only about half that experienced on a summer day. This is due to the lower sun angle during the winter as well as the shorter daylight hours from the earth's tilt on its axis during the winter.

The UVB radiation changes more dramatically than the UVA radiation during the daytime as well as over the seasons as it is absorbed preferentially by the ozone in the stratosphere (longer pathlength during the winter and at low sun angles at the beginning and end of the day, resulting in lower UVB dose reaching the earth's surface).

The incident erythemal dose of the UVA portion of the sun's spectrum radiation at this latitude during a full day in the summer is approximately 10 Minimal Erythema Doses (exposure perpendicular to the sun's rays barring clouds, assuming 1 MED_{UVA} is 10 J/cm²). The total erythemal dose of UVB under similar situations is approximately 15–20 MEDs, depending on an individual's skin type. Convolution of the spectra with biological damage action spectra show that despite the significantly greater incidence of UVA radiation, the predominant acute biological damage (erythema, tanning) as well as some

Table 1. Solar irradiance measurements during the seasons

	Solar noon measurements			
	Spring 3/27	Summer 6/30	Fall 9/27	Winter 12/20
UVB (mW/cm ²)	0.211	0.243	0.211	0.060
UVA (mW/cm ²)	4.2	4.2	3.9	1.78
Ratio UVA/UVB	19.9	17.3	18.5	29.7
Integral daily doses				
UVB (J/cm ²)	4.26	6.19	4.51	1.19
UVA (J/cm ²)	99.4	127.8	97.9	40.3
Ratio UVA/UVB	23.3	20.6	21.7	35.1

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

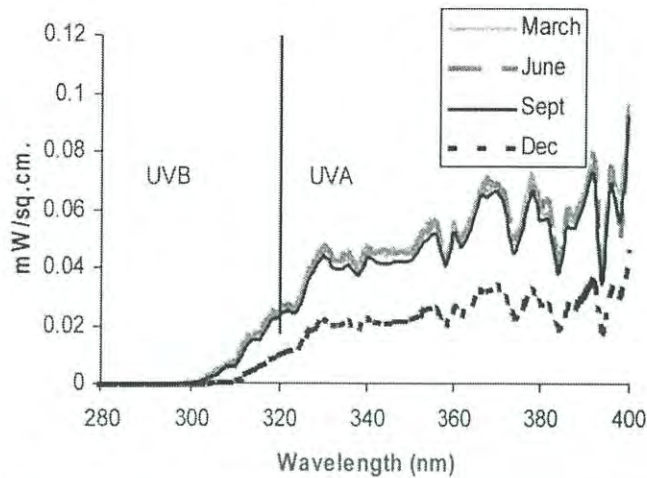


Fig. 1. Spectral irradiance of sunlight as measured at solar noon in Central New Jersey (40° N. Lat.) at the season changes.

chronic damage risks (dermal elastosis and squamous carcinogenesis – from the hairless mouse model) are associated with the UVB portion of the solar spectrum (in approximately a ratio of 4:1).

There are photodamage phenomena not fully characterized in the UVA spectrum that implicate this portion of the spectrum as a cause of degradation of the dermal matrix, and possibly in the initiation or promotion of malignant melanoma. Prudence dictates that for well balanced protection, the ultraviolet A portion of the spectrum should also be blocked as much as possible as an essential part of a comprehensive sun protection program. This includes avoiding unnecessary sun exposure, covering exposed skin with clothing, protecting the face and neck with a broad brimmed hat, and using sunscreen for necessarily exposed skin.

The need for UVA protection in sunscreen products

In many ways, the development of sunscreen technology has paralleled the scientific understanding of the effects of ultraviolet radiation on skin and the emergence of an active photodermatology community. Early research in photodermatology focused on the skin's responses to UVB radiation with the use of mercury lamps and unfiltered fluorescent sunlamps. While providing some fundamental understanding of the skin's photo-physiology, use of these "non-solar" spectral sources often gave incomplete and even misleading information about how the skin reacts to the major source of photodamage, the sun. Much of the early photobiology research focused on the effects of UVB radiation in causing photocarcinogenesis, photo-immune suppression, sunburn, and tanning. Be-

cause the skin is so much more sensitive to UVB radiation for these effects, UVA radiation was thought to only contribute minimally.

The early "suntanning" lotions were often simple moisturizers with little (if any) UV absorbing filters. Sunscreening products with filters contained primarily UVB filters in relatively simple bases with limited substantivity for water or beach use, with no uniform device with which to communicate the actual protection of the product to the consumer. The primary UVB filters were para-aminobenzoic acid (PABA), followed by an ester of PABA that provided greater protection and substantivity, octyldimethyl PABA. With the publication of the Proposed Monograph for Sunscreen products in 1978, the SPF test method was adopted as the means to test and communicate the protectiveness of sunscreen products against sunburn. SPFs of these early products were typically in the range of 2–10, and rarely contained any form of UVA protection. During the 1980's, photobiologists extended their studies of ultraviolet radiation effects on the skin beyond the UVB into the UVA region. It was discovered that while the predominant damaging wavelengths were in the UVB region, the effects of UVA radiation were not as innocuous as originally believed (1). Mice irradiated with a solar simulated radiation showed more profound damage than mice irradiated with a (predominantly) UVB source. Pure UVA irradiation was less damaging but the damage was noted to be located deeper in the dermis than the damage induced by UVB radiation. It was also observed that sagging of the skin in the hairless mouse model was primarily due to UVA radiation, while wrinkling was predominantly induced by UVB (2). Studies of elastosis of the skin (3) showed an action spectrum similar to that of erythema that had its maximum efficiency in the UVB and extended throughout the UVA to 400 nm. Pure UVA radiation under extreme laboratory irradiation conditions was also found to be capable of inducing squamous cell carcinomas in the hairless mouse model (4–6). The mouse model action spectrum for photocarcinogenesis (squamous cell) has been extrapolated to human skin by modifying the spectral distribution according to transmission differences in the mouse and human epidermis and stratum corneum (5).

With the increased awareness of the dangers of both UVB and UVA radiation from sunlight, and the technological advances of sunscreen delivery systems, manufacturers were able to increase the levels of SPF from the 15 range (early 80's) to 30, 45 and even 60 in the 90's. This increased protection has, however, prompted concern that the consumer may have a false sense of security using such high SPF products and may prolong exposure time. Because UVA protection is typically weaker than the UVB portion of a sunscreen protection spectrum, there has

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

been growing concern that there may be a proportionally greater UVA exposure, resulting in increased risks to UVA inducible damage. Therefore, it is desirable to insure that products contain measurable UVA protection that can be characterized in a way that the consumer can understand.

UVA test methods for sunscreen products: *in vitro*

Numerous methods, *in vivo* and *in vitro*, for quantifying the UVA protection provided by sunscreens have been assessed over the past 15 years (see Table 2). The fundamental difficulty with *in vivo* evaluations is that the acute biological responses to UVA exposure are limited primarily to erythema (in Skin Type I and some Skin Type II individuals) and pigmentation. Both erythema and persistent pigmentation responses require relatively high exposure doses of pure UVA (10–20 J/cm²) and high intensity sources for dosing test sites. Combined with the protectiveness of sunscreen products, the exposure doses for testing purposes require lengthy dosing periods.

In vitro test methodologies present advantages of economy and speed, but suffer from uncertainty in predicting the amplitude of protection. Dilute solution spectroscopy of finished sunscreen products is useful for determination of the spectral quality of the protection, but it has been shown not to correlate with product performance on the skin (7). It has been established that sunscreen products

do not obey Beer-Lambert’s Law of absorbance in thin film when applied to a non-homogeneous surface (8). When evaluated in thin film format (2 mg/cm²) the optical properties are determined by the roughness of the substrate surface, the extent of permeation into the substrate, the rigor of application, and the interaction of the excipients of the product with the substrate surface and how they affect the quality or uniformity of the sunscreen film. All of these variables contribute to high variability in absolute measurement of sunscreen absorptivity across laboratories or even within a given laboratory. Measurement instrument design can also lead to variability of results, depending on the ability of the optical system to capture all forward scattered radiation (particularly at oblique angles). Instruments with spherical integrating devices directly behind the test sample are the best design for appropriate measurement of sunscreen efficacy in a thin film format. One must also be aware of and control the potential fluorescent nature of several of the sunscreen filters (salicylates, menthyl anthranilate), which will visibly glow under illumination with UV exposure and will interfere with the measurement when a single beam measurement system is used (no monochromator on the receptor side of the system). For these and other reasons, *in vitro* test measurements have not yet become universally accepted for quantifying the amount of UVA (or UVB) protection from sunscreen products.

Table 2. Comparison of test methods

Test method	Positive attributes	Negative attributes
<i>In vitro</i>		
– dilute solution	Fast, inexpensive	– does not correlate with <i>in vivo</i>
– thin film	Fast, inexpensive	Difficult to determine “absolute” measures due to operator influence and photoinstability of some filters
– Diffey ratio method	Fast, inexpensive	Only measures UVA relative to UVB protection – not absolute UVA protection
– Critical wavelength	Fast, inexpensive	
<i>In vivo</i>		
– erythema	Known endpoint/spectrum Biologically meaningful Accounts for photoinstability	Small pool of type I subjects High UVA exposures Relatively expensive
Sensitized skin		
– 8-methoxypsoralen	Low dose UVA exposures	Relevant biologic measure? Higher potential for permanent damage Carcinogenic promoting agents Relatively expensive Few laboratories will conduct
– anthracene		
– PFA: erythema or tanning	Known endpoint/spectrum Biologically meaningful Accounts for photoinstability Allows for use of type I subjects	High UVA exposures Relatively expensive
– PPD: tanning only	Known endpoint/spectrum Biologically meaningful Accounts for photoinstability	High UVA exposures Relatively expensive Excludes type I subjects
Diffuse reflectance spectroscopy	Minimal exposures Human skin substrate used	Requires pre-irradiation to test photostability Relatively new technique; further validation/testing needed

เอกสารนี้เป็นเอกสาร Qualitative and quantitative measure การศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Considering all this, there have been several *in vitro* measurement systems proposed that have contributed valuable information regarding sunscreen protection. Perhaps the earliest adoption of *in vitro* methodology to assess UVA sunscreen protection was by the Australian/New Zealand Standards Committee (first published AS/NZ 2604:1983; latest revision AS/NZS 2604: 1993) (9). This standard permits spectrophotometric assessment of sunscreen products by dilute solution, thin film in quartz cell, or on roughened quartz plate. While assuring that there are UVA filters incorporated into the products with "broad spectrum" claims, they do not guarantee the level of biological protection provided by the product under use conditions.

In a test method that expanded on the plate method described above (10), thin films of sunscreen were applied to excised mouse skin substrate and the unweighted transmission was measured with a UVA photometer. This method was correlated with an *in vivo* photosensitized (8-methoxypsoralen) animal model for numerous sunscreen preparations. This method, like all other thin film test systems, is operator dependent and relies on consistent application and rubbing techniques and optical calibration to provide consistent and reliable test results.

This method was further improved to reduce operator influence by incorporating a correlation step into the computations (10). The spectral absorbance was adjusted by a scalar multiplier to match, so that the predicted SPF matched the clinically measured SPF, yielding an "absolute" absorbance curve from which UVA protection could be predicted (in accordance with appropriate action spectra or mathematical computation processing).

Sayre & Agin (11) published work on a technique to determine the percentage of erythemal UVA radiation blocked by a sunscreen (APP; UVA Protection Percentage) which also utilized excised mouse skin as a substrate. The transmission through the sunscreen coated sample was cross multiplied by the solar spectrum and the erythema action spectrum to calculate the percentage of erythemal UVA that was blocked by the sunscreen. This provided a second numeric protection index on product packages to quantitate UVA protection. Under careful laboratory control, this technique provided an efficient measure, but did not reach widespread use due to potential operator influence, difficulty in obtaining the substrate, and lack of recognition by the Food and Drug Administration (FDA).

Another approach to measure UVA protection using a thin film technique was proposed by Diffey (12). This technique addresses the problem of operator dependence by requiring only a relative measure of the UVB vs UVA absorbance of the sunscreen product, thus eliminating the need for an absolute absorbance measure. The measure

assesses the "flatness" of the spectral absorbance of the product across the UVB and UVA. The absorbance of the product is summed for the UVB and UVA regions and the ratio of the UVA/UVB absorbance is determined, classifying products into four classes of protection. The closer the ratio is towards unity, the higher the UVA rating of the product.

This method has been modified to yield a new measure of the "breadth" of the UVA protection in a test method called "critical wavelength". This technique has been under assessment by both the COLIPA and CTFA industry groups (as well as individual companies) (13, 14). In this test proposal, the absorbance of the thin film of the sunscreen is summed (starting at 290 nm) sequentially across the UV wavelengths until the sum reaches 90% of the total absorbance of the sunscreen in the ultraviolet region. The wavelength at which the summed absorbance reaches the 90% total absorbance is defined as the "critical wavelength" and is considered to be a measure of the breadth of the sunscreen protection. Because this is a relative measure of the protection, the "absolute" absorbance of the sunscreen is not necessary, eliminating the operator dependence of the test method. Critics of this methodology point out that it is not a true measure of the UVA protectiveness of the product being tested, and that products with widely different *in vivo* protection indices (i.e. PFA or PPD) can have identical critical wavelengths and that the method does not discriminate these products.

In addition to the difficulties with *in vitro* methodologies described above, another contributor to variability and correlation with *in vivo* test results is photo-instability of the product. Some filters (notably dibenzoylmethane derivatives) break down chemically under UV exposure, diminishing their ability to absorb UV radiation. Throughout their use, the protection provided by these non-stable products diminishes, making it difficult to assess the overall "protection" provided by the sunscreen as it depends heavily on the exposure dose. A way to incorporate this variable into *in vitro* test methodology is to have the sample pre-irradiated before measuring the absorption properties. The choice of the exposure dose is somewhat arbitrary, yet critical to the outcome of the test. The most recent *in vitro* test proposals incorporate a pre-irradiation step into the procedures to account for this phenomenon.

In summary, *in vitro* test methods can give meaningful information about UVA protection. In light of the current technical limitations encountered in these methodologies, there has not yet been a complete procedure that has been correlated with *in vivo* test results in a manner that is "fool-proof" for wide scale reliable use and reproducible results. Efforts are underway by a number of groups and

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

individuals to help reduce the complex variables to a single reliable test method.

UVA test methods for sunscreen products: *in vivo*

In vivo test methods for sunscreen use are primarily limited to non-invasive endpoint measures, namely erythema and pigmentation changes. Other endpoints have been used for research purposes to assess sunscreen protectiveness, including immune system changes (15–17), photosensitive conditions (18), pyrimidine dimers (19), photocarcinogenesis (20, 53), and photoaging related change (21–31). While helpful to understand the long-term benefits of sunscreen use and UVA photoprotection, these invasive endpoints are not readily suitable in assessing photoprotection of commercial sunscreen products.

UVA tests using sensitized skin

Because relatively high doses of UVA are required for a visible, non-invasive endpoint, the first evaluations of UVA protectiveness (32) of sunscreens used skin sensitized with an oral dose of 8-methoxypsoralen (8-MOP), a potent UVA photosensitizer. The testing technique was similar to the traditional SPF test procedure, with a series of increasing UVA doses (from fluorescent UVA bulbs) for unprotected and sunscreen protected skin. The ratio of doses (protected/unprotected) required for a minimally perceptible erythema or pigmentation endpoint was determined for the test compounds as observed at 72 hours and 12–18 days post-irradiation, respectively. The test showed clear differentiation between UVB (no significant protection) and UVA protective filters and the added protection of UVBII and UVB I filters (protection factors between 2 and 4).

In a follow-up study (33), the same sunscreen preparations were used with skin topically sensitized with 8-MOP and exposed (separately) to outdoor sunlight and UVA from a xenon arc solar simulator. The protective indices were the same for both exposure sources, and very similar to the earlier report above.

Kaidbey & Gange (34) also compared the protectiveness of three UVA filters on normal (unsensitized) skin, 8-MOP and anthracene sensitized skin. The UVA doses for erythema in normal skin were 62 J/cm² and the doses for delayed melanogenesis were 30 J/cm². The protection indices for the three sunscreens were significantly lower for unsensitized skin compared with sensitized skin (either 8-MOP or anthracene). In retrospect, it is likely that the high UVA exposure doses used to elicit the unsensitized reactions had a significant photodegradation effect on the two dibenzoylmethane filters tested, resulting in lower protection indices. The protective index of pho-

tostable oxybenzone was virtually the same for sensitized and unsensitized skin.

A further study (35) comparing methodologies showed clearly the sensitivity of the UVA protection index on the light source, the sensitizer, and the *in vitro* test method chosen for the evaluation. While broad classification of relative protectiveness of sunscreen preparations could be accomplished, the protective index varied greatly with the test method.

While photosensitizers offer the benefit of requiring a lower dose of UVA to achieve an acute non-invasive endpoint (erythema or pigmentation) there are numerous significant disadvantages that have precluded the widespread adoption of this test procedure for UVA sunscreens. 8-MOP has been determined to be a promoter of UV-induced squamous cell carcinoma (36, 37), and has even been implicated in the increased appearance of malignant melanoma in patients undergoing psoralen-UVA (PUVA) phototherapy for psoriasis (38). While the risk/benefit ratio is acceptable for use in the treatment of diseased skin, the widespread use of this agent for phototesting on normal skin is a risk unacceptable to most, if not all, commercial sunscreen testing facilities. Other risks of using photosensitizers include a increased likelihood of causing long-lasting, disfiguring pigmentation, and blistering reactions with the use of psoralens. Anthracene photosensitization also induces significant stinging and burning reactions during the exposure period, which would be unacceptable to most subjects.

Tests with unsensitized skin: erythema endpoint

Stanfield et al. (39) described the use of the erythema endpoint in unsensitized human subjects (Fitzpatrick phototype II) to assess sunscreen UVA protection. The protocol was directly analogous to the standard SPF protocol except that the solar simulator was filtered to emit primarily only UVB radiation (2 mm WG345 filter). The study also showed that there was no statistical difference between the protection indices observed at 4–6 h after exposure and those observed at 22–26 h. The protection indices were also independent of the UVA irradiance (50–100 mW/cm²) for the products tested. The mean MED for the subjects was approximately 20 J/cm² for this lamp and filter combination. The UVA Protection Factors (APFs) determined for the sunscreens tested were in the range of 2.9–3.6.

The next adaptation of this same approach using unsensitized human subjects was reported by Cole & Van-Fossen (40). In this study, the xenon arc lamp was filtered with a 3-mm WG335 Schott Filter glass to test a fuller UVA spectrum (320–340 nm) than had been possible previously using WG345 filtered solar simulators. This filter permits more UVB compared with the WG345 filtered

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

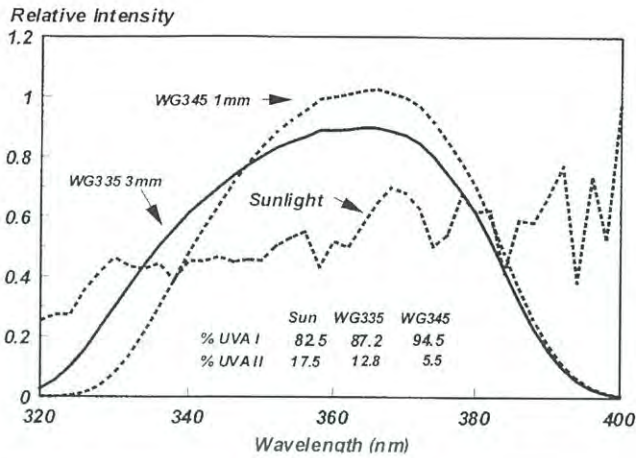


Fig. 2. Spectral irradiance distribution of sunlight compared with the output from a xenon arc solar simulator filtered with either 3 mm of WG335 filter glass, or a 1-mm WG345 filter, both additionally filtered with a 1-mm UG11 filter. The table describes the contribution in the UVAII (320–340 nm) and the UVAI (340–400 nm) portions of the UVA spectrum.

lamps and is more similar to sunlight (see Fig. 2), while maintaining strict elimination of the highly erythemogenic UVB radiation (<1% radiometric, <2% erythemogenic UVB). For this test procedure, either a minimally perceptible erythema response or a minimally perceptible tanning response (observed approximately 24 hours after exposure) was accepted as the endpoint for the determination of the protection index and was called the Minimal Response Dose (MRD). This permitted the use of subjects phototyped as I, II, or III in the test procedure. The average MRD for this lamp and filter combination was 11–12 J/cm² independent of the lamp irradiance (ranging from 30 to 110 mW/cm²). Similarly, the protection indices for the sunscreens tested showed no dependence on the lamp intensity or the type of endpoint response observed (erythema or tanning). This is not unexpected as the action spectra for these two endpoints are essentially parallel throughout the UV spectrum.

This test procedure was more fully evaluated in a multicenter validation test (41) to establish reproducibility between test laboratories and sensitivity of the method to only the UVA portion of the spectrum, and to demonstrate dose response for a commonly used UVA filter, oxybenzone. The data showed no significant protection from the UVB filter alone or from the placebo formulae, a highly significant dose response relationship for oxybenzone concentration, significant differences between the three concentrations of oxybenzone, and uniformity of results between the participating laboratories.

Tests with unsensitized skin: immediate pigment darkening endpoint

The immediate pigment darkening (IPD) response has also been studied as a method for evaluating sunscreen protection in the UVA by Kaidbey & Barnes (42). The IPD response occurs during the UVA exposure period and appears as a transient darkening of the skin (best observed in skin types III and higher) that fades within the first minute after the exposure is completed. The threshold dose for the IPD response was utilized in this evaluation with and without sunscreen protection to assess the protection index (IPD-PF). The threshold dose for unprotected skin was approximately 1.2 J/cm² (WG345 filtered solar simulator). The IPD response thus seems attractive in that it limits the exposure time and dose required for observation of the endpoint. Protective indices for products tested with this methodology ranged from 1.6 to 4.7, with no apparent correlation between their SPF and the IPD-PF. No apparent dose-reciprocity failure was observed in the range of 15–50 mW/cm².

A more recent publication (43) has shown definitive fluence rate dependence of UVA-induced IPD responses over the range of 2–100 mW/cm². Since the primary function of sunscreen products is to modify the fluence rate of incident sunlight, the test result will be determined erroneously, as the threshold dose is determined primarily by the intensity of the source (or source + sunscreen) used. This is not the case for the delayed erythema and persistent pigment darkening (tanning) responses, which have been shown to be dependent solely on the dose (within the limits of heating effects, i.e. <150 mW/cm²) (44–48).

A separate multicenter test of the IPD methodology was unable to appropriately rank order a series of sunscreen products with varying UVA protectiveness and showed little consistency of results between participating test centers (unpublished results).

Tests with unsensitized skin: persistent pigment darkening endpoint

It has been observed that pigment darkening that remained visible at least 2 hours after the completion of the UVA exposure was stable for several weeks. This “persistent” pigment darkening was determined to obey fluence reciprocity laws. A sunscreen testing protocol was developed using this endpoint similar to the design of the SPF test and the PFA test described above. The major elements of the protocol include the use of skin phototypes II, III, and IV (those readily capable of yielding a pigment response) (49), a xenon arc solar simulator filtered with a 3-mm WG335 filter, multiple-incremental doses of UVA with and without sunscreen protection, and observation of the pigment responses 3 h (±1 h) after the

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

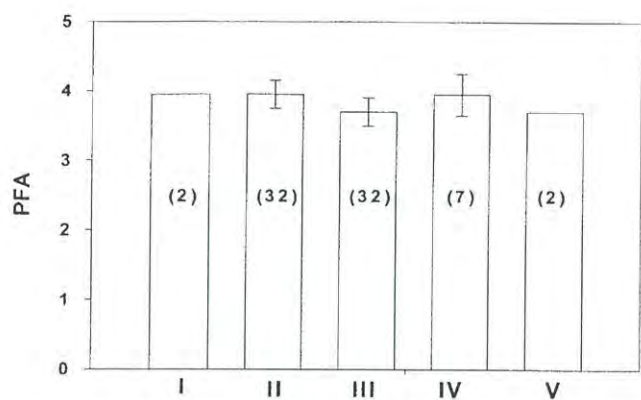


Fig. 3. Comparison of PFA values across the Japanese skin phototypes (Roman numerals). The numerals in parentheses indicate the number of subjects of each skin type tested. (Adapted from Naganuma M, Fukuda M, Ari S, et al. Standard test methods for classification and labeling of sunscreen having UVA protection efficacy in Japan. Proceedings of the 19th IFSCC Congress, Sydney, Australia (October) 1996.)

end of the UVA exposures. The protection index was determined as the ratio of the dose required for a minimally perceptible pigment response for the sunscreen treated skin divided by the dose for the unprotected skin. A series of neutral density filters (ranging from OD 0.5 (PF=3) to 1.17 (PF =15)) were used as a calibration “filter” to validate this test method. The biologically determined UVA protection factors were in virtual 1:1 correspondence with the optical determined protection factors ($r^2=0.998$). The UVA-PPFD was also determined for several organic and inorganic UVA filters at varying concentrations, demonstrating sensitivity of the method to the amount of UVA protection inherent in various sunscreen bases and independence of the test method from the wavelength distribution of the absorbers in the UVA range.

The persistent pigment darkening test as described above was adopted by the Japan Cosmetic Industry Association (JCIA) as the methodology for substantiating UVA protection claims on sunscreen products sold in Japan. The JCIA conducted a validation test (50) demonstrating the reproducibility of the PPD test method across laboratories and across skin types. Skin types I through V were included in the test and yielded equivalent protection factors for the sunscreens tested; however, the small number of subjects of each of these skin types in the study did not allow for statistical analysis of these by phototypes (see Fig. 3). The JCIA uses these “PFA” values as determined using the persistent pigment darkening endpoint to classify sunscreen protectiveness into three categories of protection; $PFA >2$, $<4=PA+$, $PFA >4$, $<8=PA++$, $PFA >8=PA+++$.

Protection determination via diffuse reflection spectroscopy

A novel approach to assessing sunscreen protectiveness in the UVA portion of the spectrum was demonstrated by Kollias et al. (51, 52) using diffuse reflectance spectroscopy. One major advantage of this test method is that the protectiveness is determined directly on human skin, accounting for sunscreen/skin surface and emulsion interactions encountered *in vivo* but not *in vitro*. The reflectance spectrometer consists of a UV light source and two monochromators linked via a bifurcated fiber optic (see Fig. 4). Monochromatic radiation from the first monochromator is directed onto the skin through the applied sunscreen, is “reflected” by the dermal collagen matrix, passes through the sunscreen a second time, and is collected by a second set of optical fibers in the bundle. It then enters the second monochromator and the intensity of the reflected signal is quantified by a photomultiplier at the output of the second monochromator. Operating in synchronized scan mode (both monochromators set at the same wavelength), the amount of reflected radiation without the sunscreen is compared to the reflected radiation with the sunscreen, and the square root of the ratio (since the radiation passes through the sunscreen two times) determines the transmission properties of the sunscreen layer on the skin. This transmission spectrum can then be combined with UV source spectra and various biological action spectra to determine protectiveness indices. Comparison of sunscreen protectiveness predicted by this technique correlated very well with *in vivo* PFA test results and gave a nearly linear relationship between filter concentration and PFA prediction for two UVA filters, oxybenzone and avobenzone.

One of the advantages of this test method is that it does not require high exposure doses of UV on the product

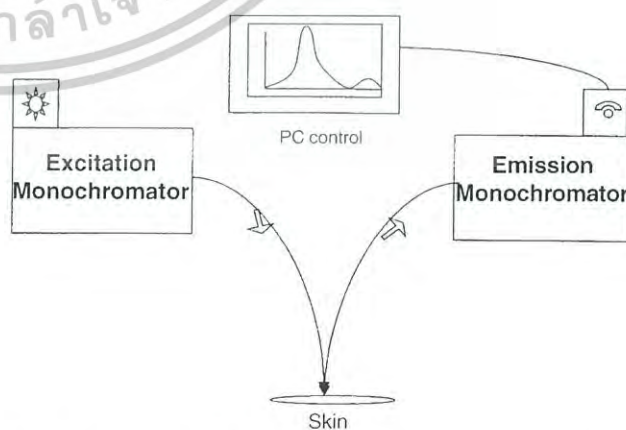


Fig. 4. Schematic description of the diffuse reflectance spectroscopy technique for determining the UVA protectiveness of sunscreens.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and the skin, and a biological endpoint does not need to be elicited. Thus it is anticipated that this method would register higher UVA protection than would be experienced *in vivo* for products that were not photostable. One way to overcome this problem would be to conduct the diffuse reflectance measurement on the irradiated test sites after completion of the routine SPF testing procedure when full UV challenge to the product stability is complete. Thus, only one irradiation procedure would be required to determine both SPF and UVA protectiveness of a sunscreen product. At this point in time, the method has not been widely utilized.

Comments

Medical and commercial interests in understanding the effects of UVA radiation on skin, particularly as related to the aging effects, have prompted much of the efforts to quantitate and characterize the protectiveness of sunscreen products in the UVA region. Each approach has innate technical limitations associated with it, which explains the difficulty in reaching a consensus on test methodology in the past 10 years. Table 2 summarizes some of the advantages and disadvantages of the various test methods discussed above. The urgency to codify a test method for UVA protection is helping to force additional testing and test method validation for both *in vivo* and *in vitro* test methods. As more data are developed and considered, there will be convergence around the optimal test methods for UVA and the consensus will likely be reached.

References

- Kligman L, Akin F, Kligman AM. The contributions of UVA and UVB to connective tissue damage in hairless mice. *J Invest Dermatol* 1985; **84**: 272-276.
- Bissett D, Hannon D, Orr T. An animal model of solar-aged skin: histological, physical and visible changes in UV-irradiated mouse skin. *Photochem Photobiol* 1982; **46**: 367-378.
- Kligman L, Sayre R. An action spectrum for ultraviolet induced elastosis in hairless mice: quantification of elastosis by image analysis. *Photochem Photobiol* 1991; **53**: 237-242.
- Staberg B, Wulf H, Klemp P, Poulsen T, Brodthagen H. The carcinogenic effect of UVA irradiation. *J Invest Dermatol* 1983; **81**: 517-519.
- de Laat A, van der Leun J, de Grujil F. Carcinogenesis induced by UVA (365-nm) radiation: the dose-time dependence of tumor formation in hairless mice. *Carcinogenesis* 1997; **18**: 1013-1020.
- de Grujil F, Sterenborg H, Forbes P, et al. Wavelength dependence of skin cancer induction by ultraviolet irradiation of albino hairless mice. 1993. *Cancer Res* 1993; **53**: 53-60.
- Sayre R, Agin P, LeVe J, Marlowe E. A comparison of *in vivo* and *in vitro* testing of suncreening formulas. *Photochem Photobiol* 1979; **29**: 556-566.
- Diffey B, Robson, J. A new substrate to measure sunscreen protection factors throughout the ultraviolet spectrum. *J Soc Cosmet Chem* 1989; **40**: 123-133.
- Standards. Australian/Standards New Zealand #AS/NZ. 2504-1993. Sunscreen products: Evaluation and classification. 1993.
- Cole CA, Van Fossen R. A rapid *in vitro* model for UVB and UVA sunscreen testing. In: Lowe N, Shaath N, eds. Sunscreens: development, evaluation and regulatory aspects. New York: Marcel Dekker, 1988: 395-404.
- Sayre R, Agin P. A method for determination of UVA protection for normal skin. *J Am Acad Dermatol* 1990; **23**: 429-440.
- Diffey BL. A method for broad-spectrum classification of sunscreens. *Int J Cosmet Sci* 1994; **16**: 47-52.
- CTFA/NDMA Joint Sunscreen Task Force Report. Sunscreen critical wavelength determination: A method of evaluating UVA protection. April 9, 1996. Submitted to FDA Docket Management Branch. Tentative Final Monograph on Sunscreen Drug Products Docket 78N-0038.
- Proctor & Gamble Company Report. Assessment of appropriateness and practical utility of *in vitro* critical wavelength determination procedure for the broad-spectrum classification of sunscreen products. Aug. 8, 1997. Submitted to the FDA Docket Management Branch. Tentative Final Monograph on Sunscreen Drug Products Docket 78-N-0038.
- Edwards E, Edwards E, Beryn F, Rosen L. The effect of an ultraprotective sunscreen on Langerhans cell alteration induced by ultraviolet light in human skin. *Int J Dermatol* 1986; **25**: 327-329.
- Damjan D, Halliday G, Barnetson R. Broad spectrum sunscreens provide greater protection against ultraviolet radiation induced suppression of contact hypersensitivity to a recall antigen in humans. *J Invest Dermatol* 1997; **109**: 146-151.
- Damjan D, Barnetson R, Halliday G. Measurement of *in vivo* sunscreen immune protection factors in humans. *Photochem Photobiol* 1999; **70**: 910-915.
- Furukawa R, Zbrown W, Shivji G, Ramsay C. Assessment by mouse model of the ultraviolet A protective effect of topical sunscreens. *J Am Acad Dermatol* 1989; **20**: 1030-1037.
- Ley R, Fourtanier A. Sunscreen protection against ultraviolet radiation-induced pyrimidine dimers in mouse epidermal DNA. *Photochem Photobiol* 1997; **65**: 1007-1011.
- Kligman L, Kligman A. Sunscreens prevent ultraviolet photocarcinogenesis. *J Am Acad Dermatol* 1980 **3**: 30-35.
- Kligman L, Akin F, Kligman A. The contributions of UVA and UVB to connective tissue damage in hairless mice. *J Invest Dermatol* 1985; **84**: 272-276.
- Kligman L. The effects of UVA radiation: are sunscreens protective enough? *J Toxicol Cut Ocular Toxicol* 1989; **8**: 565-568.
- Kligman L, Akin F, Kligman A. Sunscreens promote repair of ultraviolet radiation induced dermal damage. *J Invest Dermatol* 1983; **81**: 98-102.
- Bissett D, Hannon D, Orr T. An animal model of solar-aged skin: Histological, physical, and visible changes in UV irradiated hairless mouse skin. *Photochem Photobiol* 1987; **46**: 367-378.
- Kligman L, Kligman A. The nature of photoaging: Its prevention and repair. *Photodermatology* 1986; **3**: 215-227.
- Lavker R, Gerberick G, Veres D, Irwin C, Kaidbey K. Cumulative effects from repeated exposures to suberythemal doses of UVB and UVA in human skin. *J Am Acad Dermatol* 1995; **32**: 53-62.
- Takeuchi T, Uitto J, Bernstein E. A novel *in vivo* model for evaluating agents that protect against ultraviolet A-induced photoaging. *J Invest Dermatol* 1998; **110**: 343-347.
- Kligman L, Agin P, Sayre R. Broad-spectrum sunscreens with UVAI and UVAIL absorbers provide increased protection against solar-simulating radiation-induced dermal damage in hairless mice. *J Soc Cosmet Chem* 1996; **47**: 129-155.
- Boyd A, Naylor M, Cameron G, Pearse A, Gaskell S, Neldner K. The effects of chronic sunscreen use on the histologic changes of dermatoheliosis. *J Am Acad Dermatol* 1995; **33**: 941-946.
- Thompson S, Jolley D, Marks, R. Reduction of solar keratoses by regular sunscreen use. *N Engl J Med* 1993; **329**: 1147-1151.
- Pearse A, Gaskell S, Marks R. Epidermal changes in human skin following irradiation with either UVB or UVA. *J Invest Dermatol* 1987; **88**: 83-87.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32. Gange R, Soparkar A, Matzinger B, Dromgoole S, Sefton J, DeGryse R. Efficacy of a sunscreen containing butyl methoxydibenzoylmethane against ultraviolet A radiation in photosensitized subjects. *J Am Acad Dermatol* 1986; **15**: 494-499.
33. Lowe N, Dromgoole S, Sefton J, Bourget T, Weingarten D. Indoor and outdoor efficacy testing of a broad-spectrum sunscreen against ultraviolet A radiation in psoralen-sensitized subjects. *J Am Acad Dermatol* 1987; **17**: 224-230.
34. Kaidbey K, Gange R. Comparison of methods for assessing photoprotection against ultraviolet A *in vivo*. *J Am Acad Dermatol* 1987; **16**: 346-353.
35. Roelandts R, Sohravand N, Garmyn M. Evaluating the UVA protection of sunscreens. *J Am Acad Dermatol* 1989; **21**: 56-62.
36. Dunnick J, Forbes P, Eustis S, Hardisty J, Goodman G. Tumors of the skin in the HRA/Skh mouse after treatment with 8-methoxypsoralen and UVA radiation. *Fundament Appl Toxicol* 1991; **16**: 92-102.
37. Morison W, Baughman R, Day R, et al. Consensus workshop on the toxic effects of long-term PUVA therapy. *Arch Dermatol* 1998; **134**: 5, 595-598.
38. Stern RS. Malignant melanoma in patients treated for psoriasis with PUVA. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 1999; **15**: 37-38.
39. Stanfield J, Feldt P, Csortan E, Krochmal L. Ultraviolet A sunscreen evaluations in normal subjects. *J Am Acad Dermatol* 1989; **20**: 744-748.
40. Cole C, VanFossen R. Measurement of sunscreen UVA protection: An unsensitized human model. *J Am Acad Dermatol* 1992; **26**: 178-184.
41. Cole C. Multicenter evaluation of sunscreen UVA protectiveness with the protection factor test method. *J Am Acad Dermatol* 1994; **30**: 729-736.
42. Kaidben K, Barnets A. Determination of UVA protection factors by means of immediate pigment darkening in normal skin. *J Am Acad Dermatol* 1991; **25**: 262-266.
43. Kollias N, Bykowski J. Immediate pigment darkening thresholds of human skin to monochromatic (362 nm) ultraviolet A radiation are fluence rate dependent. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 1999; **15**: 175-178.
44. Cole C, VanFossen R. Measurement of sunscreen UVA protection: An unsensitized human model. *J Am Acad Dermatol* 1992; **26**: 178-184.
45. Chardon, A. Pigment darkening persistent effect, reciprocity law, doses and observation time. FDA: Public meeting to discuss UVA claims and testing procedures for OTC sunscreen drug products (Rockville, USA). Proceedings 92-97. 1994.
46. Parrish J, Anderson R, Ying C, Pathak M. Cutaneous effects of pulsed nitrogen gas laser irradiation. *J Invest Dermatol* 1976; **67**: 603-608.
47. Parrish JA, Jaenicke KF, Anderson RR. Erythema and melanogenesis actin spectra of normal human skin. *Photochem Photobiol* 1981; **36**: 187-191.
48. Moyal D, Chardon A, Kollias N. *In vivo* assessment of sunscreen UVA protection efficacy using the PPD method. In press.
49. Chardon A, Moyal D, Hourseau C. Persistent pigment darkening response for evaluation of ultraviolet A protection assays. In: Lowe N, Shaath N, Pathak M, eds. Sunscreens: development, evaluation and regulatory aspects. New York: Marcel Dekker, 1997: 559-582.
50. Naganuma M, Fukuda M, Ari S, et al. Standard test methods for classification and labeling of sunscreen having UVA protection efficacy in Japan. Proceedings of the 19th IFSCC Congress. Sydney, Australia (October) 1996.
51. Gillies R, Kollias N. Noninvasive *in vivo* determination of sunscreen ultraviolet A protection factors using diffuse reflectance spectroscopy. In: Lowe N, Shaath N, Pathak M, eds. Sunscreens: development, evaluation and regulatory aspects. New York: Marcel Dekker, 1997: 601-608.
52. Gillies R, Moyal D, Forestier S, Kollias N. Non-invasive *in vivo* determination of UVA efficacy of sunscreens using diffuse reflectance spectroscopy. In press.
53. Fourtanier A. Mexoryl[®] SX protects against solar-simulated UVR-induced photoarcinogenesis in mice. *Photochem Photobiol* 1996; **64**: 688-693.

Accepted for publication May 18, 2000

Corresponding author:

Curtis Cole

Dept. of Photobiology

Johnson & Johnson CPI

199 Grandview Road

Skillman, NJ 08558

USA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

OPTICAL AND COMMUNICATION LABORATORY

วัตถุประสงค์

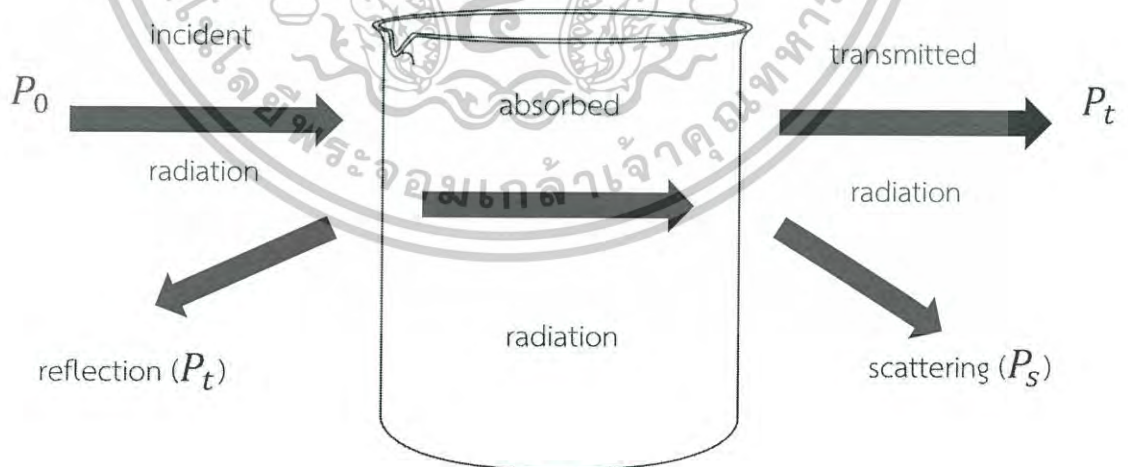
1. เพื่อศึกษาระบบสเปกโทรสโกปี
2. วัดค่าการดูดกลืนของแสง
3. เพื่อศึกษาหาประสิทธิภาพของสารกันแดด

ทฤษฎี

อัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

การดูดกลืนแสงหรือรังสีที่มีอยู่ในช่วงอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิล ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190-800 นาโนเมตร (nm) ของสารเคมีนั้น ส่วนใหญ่ได้แก่พหุสารอินทรีย์ (organic compound) หรือสารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) หรือสารอนินทรีย์ (inorganic compound) ทั้งที่มีสีและไม่มีสี สมบัติดังกล่าวนี้ได้มาจากการใช้วิธีการวิเคราะห์ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณอย่างกว้างขวาง เพราะวิธีนี้ให้ความเที่ยงและแม่นยำ และมีสภาพไวสูง โดยอาจทำการวิเคราะห์ที่อยู่ในรูปของธาตุหรือโมเลกุลก็ได้ แต่ในกรณีที่จะนำไปใช้พิสูจน์ว่าสารตัวอย่างนั้นเป็นสารอะโรมาติกโครงสร้างอย่างไร อาจจะต้องใช้เทคนิคอย่างอื่นเข้ามาช่วยด้วย เพื่อให้เกิดความแน่ใจ เช่น ใช้เทคนิค IR หรือ NMR spectroscopy เป็นต้น

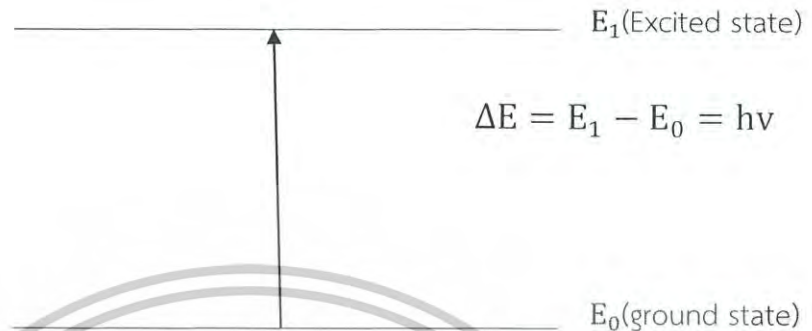
โดยทั่วไป เทคนิคการวิเคราะห์นั้นบางกรณีนิยมเรียกว่า ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตริ์ แต่ถ้าสารที่ทำการวิเคราะห์ที่มีสีหรือทำให้เกิดสีขึ้น สารที่มีสีนั้นจะดูดกลืนแสงในช่วงวิสิเบิลอาจเรียกว่า คัลเลอร์ิเมตร (colorimeter)



รูปที่ 2.1 แสดงการเกิดอันตรกิริยาของสารเคมีกับการแผ่รังสีหรือแสง

เมื่อให้ลำแสงที่เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องกัน (continuous beam of radiation) ผ่านเข้าไปในวัตถุ
เอกสารนั้นเป็นเอกสารที่ส่งผ่านเวสสำหรับกรูเซงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนถาดเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
โสจะพบว่าแสงบางส่วนถูกดูดกลืน บางส่วนเกิดการสะท้อน บางส่วนกระเจิง และบางส่วนผ่านทะลุ
ไม่วากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกไป ดังแสดงในรูป 2.1 ถ้าให้แสงที่ทะลุผ่านออกไปนั้นผ่านเข้าเครื่องกระจายแสง (เช่น ปริซึม หรือเกรตติง) จะเห็นว่าสเปกตรัมหายไปส่วนหนึ่ง ส่วนที่หายไปนี้เรียกว่า absorption spectrum พลังงานที่ถูกดูดกลืนไปนั้นจะทำให้โมเลกุลหรืออะตอมเปลี่ยนระดับของพลังงานจากสถานะพื้น (ground state) ไปยังสถานะกระตุ้น(excited state) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงกระบวนการเกิดการกระตุ้น

2.1.1 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพของสารอินทรีย์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี

โดยหลักการแล้ว โมเลกุลของสารอินทรีย์ซึ่งมีโคโมฟอร์สามารถให้สเปกตรัมที่เกิดจากการดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลได้ สเปกตรัมนี้แสดงสมบัติโดยเฉพาะของสารนั้นๆ อาจนำไปใช้ในการวิเคราะห์สารที่บริสุทธิ์ได้โดยการเปรียบเทียบความยาวคลื่นและค่าพลังงาน อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์โดยศึกษาจากยูวี-วิสิเบิล สเปกตรัมเท่านั้นค่อนข้างจะจำกัด เพราะลักษณะของสเปกตรัมที่ได้นั้นกว้างขวางมากและขาดรายละเอียด จึงทำให้สามารถวิเคราะห์ได้เพียงคร่าวๆ เท่านั้น

2.1.2 การวิเคราะห์หาปริมาณของสารด้วยการใช้เทคนิคทางยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี

วิธีวิเคราะห์ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป ดังนี้

2.1.2.1 ในกรณีที่สารตัวอย่างมีสารที่จะวิเคราะห์เพียงสารเดียว อาจใช้วิธีทำกราฟมาตรฐานโดยการเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน แล้วนำไปวัดค่าแอบซอร์เบ้นซ์ที่ความยาวคลื่นสูงสุด โดยเทียบกับ blank นำผลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างค่าแอบซอร์เบ้นซ์กับความเข้มข้น โดยหลักการแล้ว สเปกตรัมซึ่งเกิดจากการดูดกลืนแสง ในช่วงรังสียูวี และ แสงขาวของสารตัวอย่าง จะแสดงคุณสมบัติเฉพาะของสารนั้นๆ ทำให้สามารถ นำไป ใช้ วิเคราะห์ สาร ชนิดต่างๆ ได้ แต่ทั้งนี้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ เท่านั้น จะให้ผล ได้เพียงคร่าวๆ เพราะลักษณะของสเปกตรัมของสาร แต่ละ ชนิดที่ได้จะมี ความ กว้าง มาก และยังมีรายละเอียด อีกเยอะจึงต้อง ใช้เทคนิค อื่นๆ ร่วมวิเคราะห์ด้วย สำหรับการวิเคราะห์สารในเชิงปริมาณด้วยเทคนิค UV-Vis spectroscopy สามารถทำได้โดยใช้วิธีการ ทำกราฟ มาตรฐาน ระหว่างค่า absorbance และ ค่าความเข้มแสง ดังนั้นเมื่อสามารถวัดค่า absorbance ของสารได้ก็สามารถหาปริมาณของสารที่จะวิเคราะห์ ได้จากกราฟ โดยการหาปริมาณของสารจะอาศัย Beer's law

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกฎของ Beer's law

$$A = \epsilon bc$$

(สมการที่ 2.1)

เมื่อ

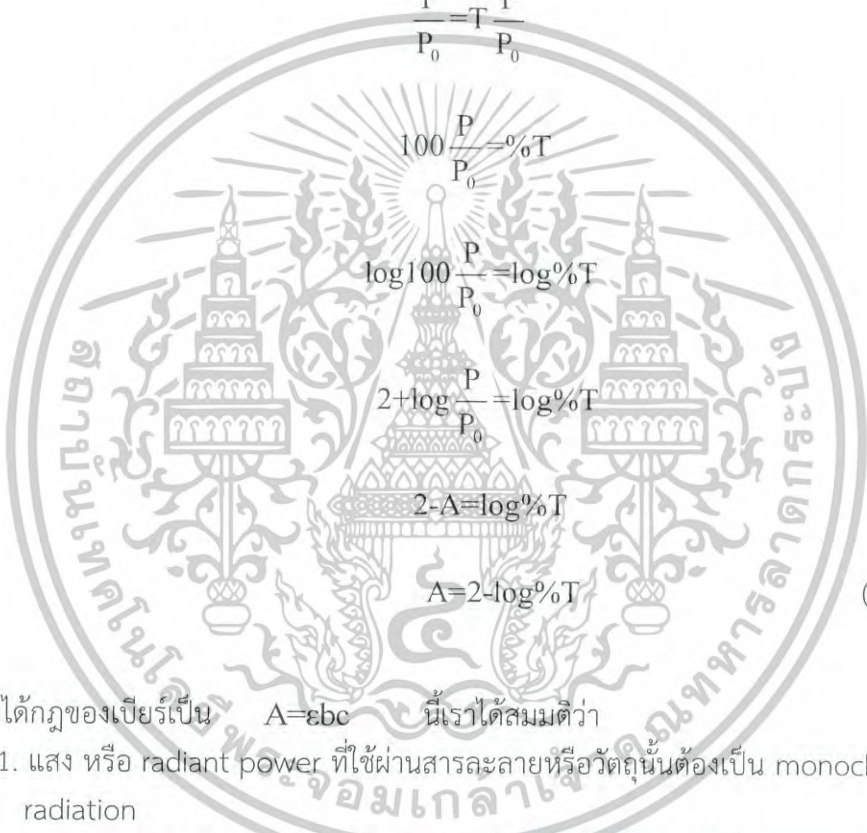
A = ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)

ϵ = โมลาร์แอบซอร์ปติวิตี (molar absorptivity) ($L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$)

b = ความกว้างของเซลล์ (path length)

c = ความเข้มข้นของสารที่นำมาวิเคราะห์ ($mol \cdot L^{-1}$)

ความสัมพันธ์ของ A และเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแทนซ์


$$\frac{P}{P_0} = T = \frac{P}{P_0}$$
$$100 \frac{P}{P_0} = \%T$$
$$\log 100 \frac{P}{P_0} = \log \%T$$
$$2 + \log \frac{P}{P_0} = \log \%T$$
$$2 - A = \log \%T$$
$$A = 2 - \log \%T$$

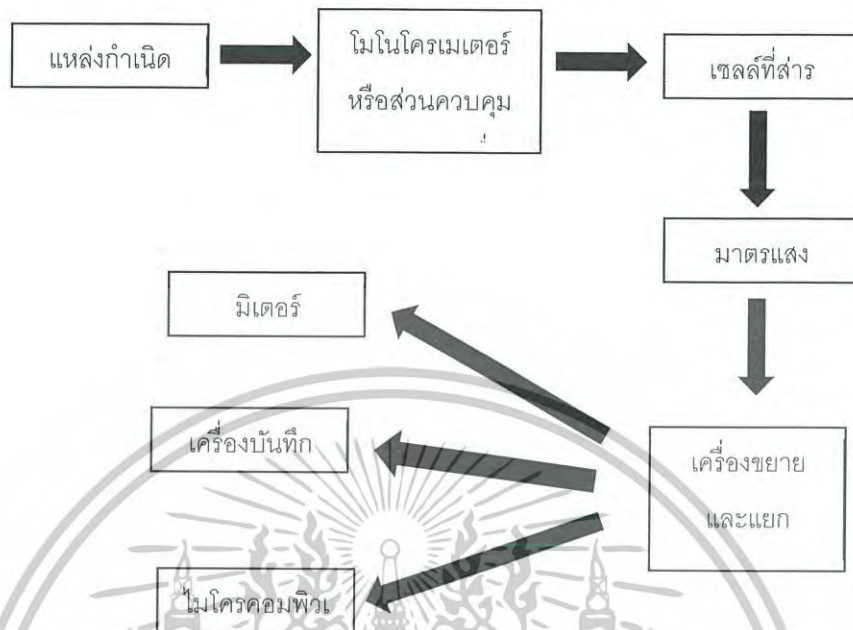
(สมการที่ 2.2)

การที่เราได้กฎของเบียร์เป็น $A = \epsilon bc$ นี้เราได้สมมติว่า

1. แสง หรือ radiant power ที่ใช้ผ่านสารละลายหรือวัตถุนั้นต้องเป็น monochromatic radiation
2. กระบวนการดูดกลืนแสงของแต่ละอนุภาคนั้นจะต้องไม่ขึ้นแก่กัน นั่นคือสารละลายจะต้องเจือจาง
3. สารละลายที่นำไปวัดต้องเป็นสารละลายเนื้อเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์
เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

2.1.3.1 แหล่งกำเนิดแสง (Light source)

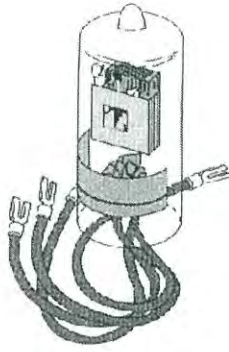
แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในงานทางสเปกโทรโฟโตเมตรี ควรมีลักษณะดังนี้

1. จะต้องให้ลำแสง ที่มีกำลังพอที่จะวัดได้ด้วยมาตรแสง
2. จะต้องให้การแผ่รังสี ออกมาตลอดเวลาในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ
3. จะต้องให้การแผ่รังสีที่คงที่ตลอดเวลา

สำหรับเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ต

เป็นหลอดไฮโดรเจน (hydrogen lamp) หรือ หลอดดีวเทอเรียม (deuterium lamp) ให้แสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 185 - 375 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการคายพลังงานของไฮโดรเจน หรือดีวเทอเรียมอะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้น ช่องที่จะให้แสงออกจากหลอดจะต้องทำด้วยควอร์ตหรือ fused silica แต่ถ้าใช้วัสดุอื่น เช่น แก้ว จะดูดกลืนแสงในช่วงนี้ได้ ทั้งหลอดไฮโดรเจนและหลอดดีวเทอเรียมจะบรรจุแก๊สนั้นไว้ที่ความกดดันต่ำ และใช้ระบบไฟฟ้าชนิด D.C. ขนาด 40 โวลต์เท่านั้น ทั้งหมดดีวเทอเรียมและหลอดไฮโดรเจนมีอายุใช้งานจำกัด แต่หลอดดีวเทอเรียมมีราคาแพงจะมีอายุการใช้งานมากกว่า และให้ความเข้มแสงมากกว่าด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

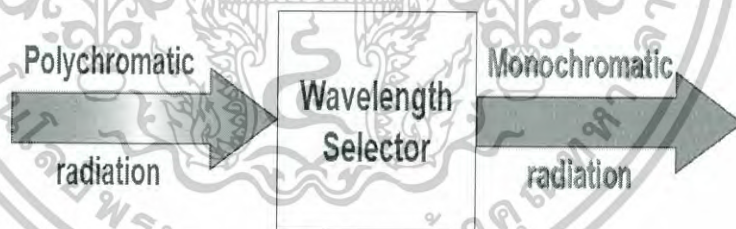


รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของหลอดดิวเทอเรียม[1]

หลอดทังสเตน (tungsten lamp) ซึ่งมีลักษณะคล้ายๆหลอดไฟธรรมดาโดยใช้ไส้หลอดเป็นโลหะทังสเตน เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไป หลอดทังสเตนจะถูกเผาให้ร้อน และเปล่งแสงออกมาอยู่ในช่วง 320-2500 นาโนเมตร ถ้าใช้อุณหภูมิสูง ลักษณะของสเปกตรัมจะเคลื่อนที่ไปทางความยาวคลื่นสั้นมากขึ้นแต่อายุของหลอดก็สั้นด้วยเช่นกัน จึงมีการปรับปรุงให้หลอดมีอายุการใช้งานยาวนานโดยใช้ไส้แก๊สไอโอดีนหรือแก๊สโบรมีนที่มีความดันต่ำเข้าไปในหลอดที่ทำด้วย fused silica

นอกจากนี้ยังมีหลอดชนิดอื่นๆที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิลในการผลิตเครื่องมือบางชนิด เช่น หลอดไอปรอท

2.1.3.2 โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator)



รูปที่ 2.5 แสดงการทำงานของส่วนที่ใช้เลือกแสง[2]

ส่วนประกอบนี้เป็นส่วนประกอบหลักของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์เพราะเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะให้แสงซึ่งเป็นพอลิโครเมติก คือ เป็นแสงที่ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ โมโนโครเมเตอร์จะประกอบด้วย

1. ช่องที่ปล่อยให้แสงเข้า (entrance slit) เพื่อให้แสงที่เข้ามาแรงพอที่ผ่านออกไปยังสารตัวอย่างโดยติดต่อพื้นที่ที่แสงผ่าน ดังนั้นความกว้างของสลิตจึงมีส่วนสำคัญ

2. กระจกและเลนส์ (mirror and lens) เพื่อใช้ทำให้แสงเกิดการสะท้อนไปมา

ในเครื่องบางครั้งทำให้แสงเกิดการรวมตัวกัน ทั้งนี้เพื่อช่วยลดขนาดของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ให้เล็กลง และบางครั้งทำให้แสงกลายเป็นลำแสงขนาน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ส่วนที่ทำให้แสงกระจายเป็นความยาวคลื่นต่างๆกันเพื่อเหมาะแก่การเลือกใช้หรืออาจเป็นส่วนที่ตัดแสงบางช่วงออกไปให้เหลือเฉพาะช่วงคลื่นแสงที่ต้องการอุปกรณ์ส่วนนี้อาจประกอบไปด้วย

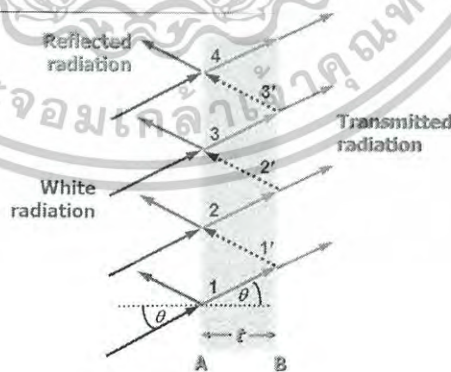
3.1 ฟิลเตอร์ (Filters) เป็นโมโนโครเมเตอร์ที่ง่ายที่สุด ซึ่งจะประกอบไปด้วยกระจกสีต่างๆ ทำเป็นแผ่นกลมเพื่อให้สะดวกแก่การเปลี่ยนด้วยการหมุนแผ่นกลมนั้น หรืออาจใช้วิธีเลื่อนไปตามแนวนอนก็ได้ ฟิลเตอร์ที่ใช้จะมี 2 ชนิด คือ Interference filters และ Absorption filters

3.1.1 Interference filter



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของฟิลเตอร์แบบ Interference filters[3]

ฟิลเตอร์แบบ Interference filter จะใช้ใน ช่วง UV และ Visible และ IR ทำงานโดยอาศัยหลักการแทรกสอดของแสง โดยที่ Interference filter ประกอบด้วยวัสดุไดอิเล็กตริก ที่บางมากทั้งสองด้านเคลือบด้วยฟิล์มของโลหะที่บางพอที่รังสีที่ตกกระทบครึ่งหนึ่งจะผ่านไปได้อีกครึ่งหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับ ด้านนอกประกอบด้วยแผ่นแก้วหรือวัสดุโปร่งแสงอื่นๆ 2 แผ่นเพื่อป้องกันด้านในจากอากาศ



รูปที่ 2.7 แสดงการแทรกสอดแสงของ Interference filter[4]

เมื่อลำแสงขนานตกกระทบ Interference filter โดยทำมุม θ กับเส้นตั้งฉากที่จุด 1 ของชั้นโลหะชั้นแรก รังสีบางส่วนจะสะท้อนกลับ และบางส่วนจะสะท้อนไปยังชั้นโลหะชั้นที่ 2 ส่วนที่ผ่านไปนี้ เมื่อชนชั้นโลหะชั้นที่ 2 ที่จุด 1' จะแยกออกเป็น 2 ส่วนเช่นเดียวกับรังสีที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการอื่น ๆ มิใช่เอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะท้อนจากชั้นโลหะชั้นที่ 2 บางความยาวคลื่นจะสะท้อนที่ด้านในของชั้นโลหะชั้นที่ 1 และรวมเฟสกับรังสีที่เข้ามาใหม่ซึ่งมีความยาวคลื่นเท่ากัน

ทำให้เกิดการแทรกสอดเสริมและผ่านฟิลเตอร์ไปได้ ในขณะที่ความยาวคลื่นอื่นซึ่งต่างเฟสกัน เกิดการแทรกสอดหักล้างกัน

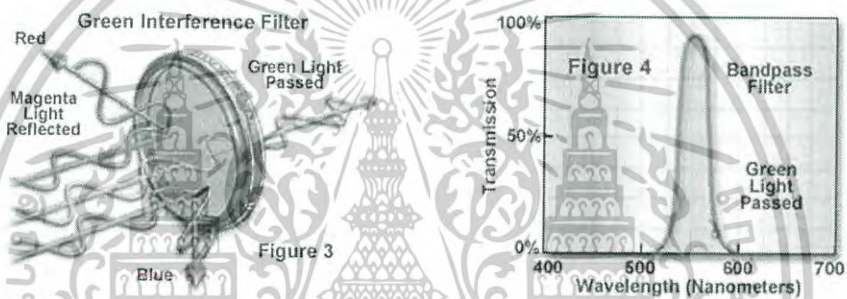
ความยาวคลื่นของรังสีที่ผ่าน Interference filter (λ_{max}) ขึ้นกับความหนาของไดอิเล็กทริก ดังสมการ

$$\lambda_{max} = \frac{2t\eta}{n} \quad (\text{สมการที่ 2.3})$$

เมื่อ t คือ ความหนาของไดอิเล็กทริก

η คือ ดัชนีหักเหของไดอิเล็กทริก

n คือ เลขจำนวนเต็ม



รูปที่ 2.8 ตัวอย่าง Interference filter ที่ยอมให้แสงสีเขียวผ่านได้[5]

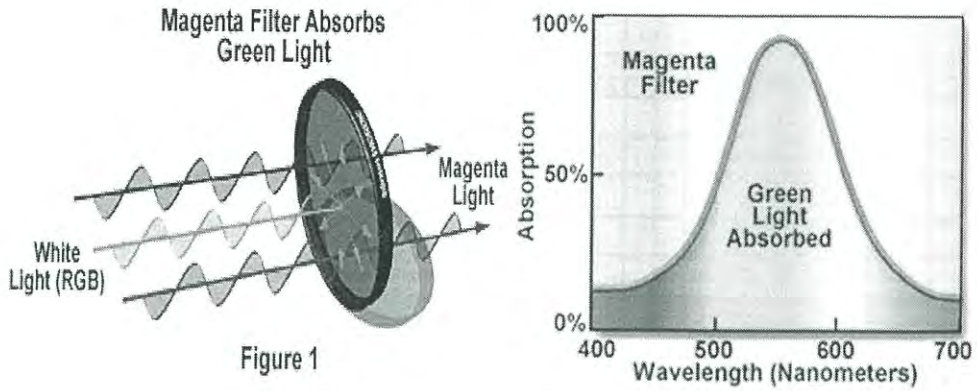
3.1.2 Absorption filter



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะฟิลเตอร์แบบ Absorption filter[6]

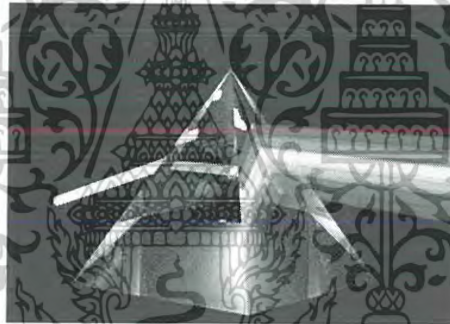
ฟิลเตอร์แบบ Absorption filter จะเป็นแผ่นแก้วสี ทำงานโดยการดูดกลืนรังสี โดยจะใช้เลือกความยาวคลื่นในช่วง visible ซึ่งฟิลเตอร์อันหนึ่งจะใช้แยกแถบที่มีความยาวคลื่นเดียว ถ้าต้องการเลือกความยาวคลื่นอื่นจะต้องเปลี่ยนฟิลเตอร์ ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้ฟิลเตอร์มักจะใช้สำหรับวัดที่ความยาวคลื่นคงที่หรือเปลี่ยนความยาวคลื่นไม่บ่อยนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

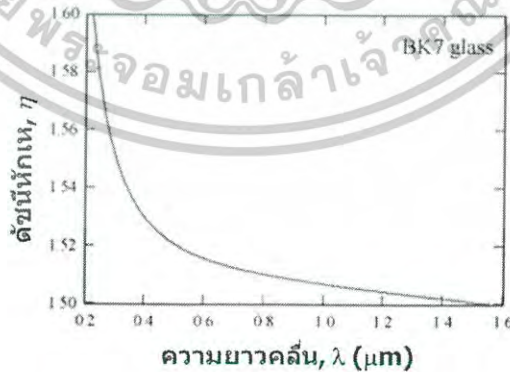


รูปที่ 2.10 Absorption filter สีม่วงจะถูกดูดกลืนแสงสีเขียวในขณะที่แสงสีม่วง(แดงและน้ำเงิน)ผ่านได้ [7]

3.2 ปริซึม (Prism) จะเป็นส่วนที่แยกแสงด้วยการหักเห เมื่อแสงผ่านปริซึม จะเกิดการหักเห (Refraction) เนื่องจากดัชนีหักเห (Refraction index) ของปริซึมและอากาศแตกต่างกัน เนื่องจากดัชนีหักเหขึ้นกับความยาวคลื่น แสงความยาวคลื่นต่างๆจึงถูกหักเหได้ไม่เท่ากัน และกระจายออกจากกัน



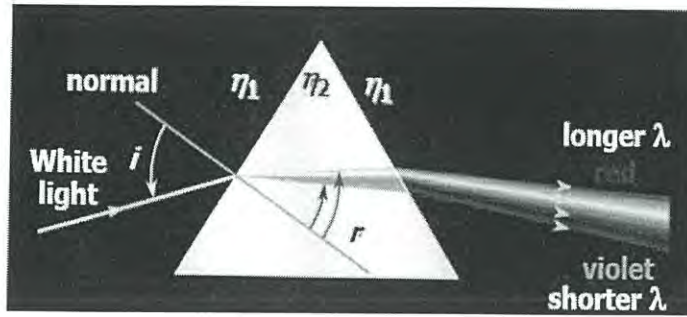
รูปที่ 2.11 แสดงการกระจายแสงของปริซึม[8]



รูปที่ 2.12 การเปลี่ยนแปลงดัชนีหักเหเมื่อความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลง[9]

ค่าดัชนีหักเหของปริซึมขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสงที่ตกกระทบเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มค่าดัชนีหักเหลดลง ซึ่งแสงแต่ละสีจะมีค่าดัชนีหักเหในตัวกลางต่างๆไม่เท่ากัน แสงเอกสารก็เป็นเอกสารที่ส่งมาเวลาหรับการโฆษณาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า สีม่วงมีค่าดัชนีมากที่สุด ในขณะที่แสงสีแดงมีค่าน้อยที่สุด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



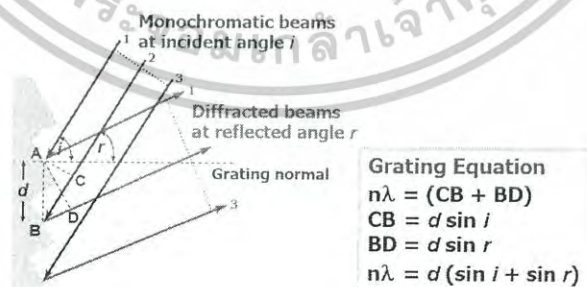
รูปที่ 2.13 การกระจายแสงโดยปริซึม[10]

แสงของปริซึมบนระนาบโฟกัสไม่ใช้การกระจายแบบเชิงเส้น (Non-linear dispersion) ปริซึมที่ใช้ในช่วงตามองเห็นทำด้วยแก้วและปริซึมที่ใช้ในช่วงยูวีจะทำด้วยควอตซ์หรือส่วนผสมซิลิกา (ใช้ในช่วงที่ตามองเห็นได้ด้วย)

3.3 เกรตติง (Grating)

เกรตติงแยกแสงโดยอาศัยหลักการแทรกสอดเสริมและการแทรกสอดหักล้างของรังสีเกรตติงที่ใช้ในช่วงยูวีถึงช่วงที่ตาเรามองเห็น มักมี 300-2000 ช่อง/mm ที่นิยมใช้ที่สุดคือเกรตติงที่มี 1200-1400 ช่อง/mm

3.3.1 Echellette Grating เป็นเกรตติงแบบสะท้อน (Reflection grating) ชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก ช่องด้านหนึ่งมีหน้ากว้างและอีกด้านหนึ่งแคบ การสะท้อนแสง (Reflection) จะเกิดขึ้นที่หน้ากว้าง อาจถือว่ามีแผ่นพีวีเอของเกรตติง (Board face) เป็นจุดกำเนิดของลำแสง ให้ลำแสงสะท้อน (Reflected beam) 1,2,3 ซึ่งแทรกสอดซึ่งกันและกัน ถ้าจะให้เกิดระยะทางของการแทรกสอดของแสง (Constructive interference path lengths) ต่างกันเป็นจำนวน n เท่าของความยาวคลื่นของแสงตกกระทบ (Wavelength of incident beam)



รูปที่ 2.14 ลำดับการเลี้ยวเบนของแสงจากเกรตติง[11]

เมื่อแสงขนานของรังสีความยาวคลื่นตกกระทบเกรตติงที่มุมตกกระทบ i กับเส้นปกติของเกรตติงจะเกิดการเลี้ยวเบน (Diffraction) ของแสงเนื่องจากเกรตติงสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลี้ยวเบนของลำแสง (Diffracted beam) อาจเกิดจากการแทรกสอด (Interference) ซึ่งกันและกัน การแทรกสอดเสริม (Constructive interference) จะสูงสุดที่มุมสะท้อน r ซึ่งสัมพันธ์กับความยาวคลื่น (λ)

ดั่งสมการ $n\lambda = d(\sin i + \sin r)$ (สมการที่ 2.4)

เมื่อ n คือ อันดับการเลี้ยวเบน (Diffraction order) = $\pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$
แสง (Exit slit) ได้ โมโนโครมาเตอร์ที่ใช้เกรตติงแบบเว้ามีข้อดีคือราคาถูกกว่า นอกจากนี้การลดจำนวน จะทำให้พลังงานของรังสีที่ผ่านออกมาจากโมโนโครมาเตอร์สูงขึ้น

3.3.3 Holographic grating เกรตติงแบบโฮโลกราฟิก

เกรตติงแบบโฮโลกราฟิกเป็นเกรตติงที่ผลิตจากเทคโนโลยีของเลเซอร์ (Laser technology) โดยใช้เทคนิคเชิงแสง (Optical technique) ไม่ใช่เทคนิคเชิงกล (Mechanical technique) ที่ใช้ผลิตเกรตติงทั่วไป ทำให้เกรตติงบนพื้นผิวเรียบหรือพื้นผิวเว้า

2.2.3.3 ส่วนที่วางสารตัวอย่าง (Cell Compartment)

เซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่างและสารเปรียบเทียบแล้วนำไปใส่ที่สหรับวัด ซึ่งส่วนนี้จะมีฝาปิดเพื่อกันแสงจากภายนอกจะเข้าไปและถูกกั้นกั้นออกจากส่วนที่เป็นระบบแสง



รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะของเซลล์ต่างๆที่ใช้กันทั่วไป[12]

เซลล์ที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample cell) บางครั้งเรียกว่า คิวเวทท์ (Cuvettes) มีด้วยกันหลายรูปแบบ รูปแบบต่างๆกัน ที่ใช้กันโดยทั่วไปมีดังนี้

เซลล์ที่ทำด้วยแก้วธรรมดา จะใช้เฉพาะในช่วงวิสิเบิล เพราะเนื้อแก้วธรรมดาดูดกลืนแสงในช่วงยูวีได้

เซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา (Silica) และควอร์ตซ์ (quartz) ใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล และยังมีเซลล์ที่เป็นเกรดพิเศษ เรียกว่า Special UV Grade โดยเขียนไว้ว่าเป็น UV Cell ในการซื้อเซลล์มาใช้ในงานวิเคราะห์ทางสเปกโทรสโกปี มักจะเรียกเป็นคำว่า Matched Cells เซลล์ดังกล่าวนี้เป็นเซลล์ที่ได้คัดเลือกแล้วว่า มีลักษณะเหมือนกันทั้งขนาดและการดูดกลืน

การระวังรักษาและการทำความสะอาดเซลล์ เพื่อให้เซลล์อยู่ในสภาพที่ดีและสะอาดทุกครั้งเมื่อใช้เซลล์แล้วควรจะต้องแช่ไว้ในกรดเจือจาง เช่น กรดไนตริก หรือกรดโครมิก แล้ว

จิ้งล้างด้วยน้ำกลั่นให้สะอาดไม่ควรใช้แปรงหรือใช้ผ้าทำความสะอาด เมื่อล้างสะอาดแล้วควรใช้กระดาษขุ่นๆซับน้ำให้แห้ง และควรระมัดระวังเศษกระดาษเล็กๆติดอยู่ด้วย ถ้าเซลล์นั้นสกปรกมาก ไม่ควรนำกลับมาใช้ซ้ำอีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

ควรต้มกับกรดไนตริกเข้มข้นหรือกรดกำถอง หรือต้มกับสารซึกฟอก 2% หรือกับสารละลายอิมตัวโซเดียมฟอสเฟต หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด ในการทำให้เซลล์แห้งนั้น ทางที่ดีที่สุดควรใช้อากาศอุ่นๆ เป่าให้แห้ง แล้วเก็บไว้ในช่องที่มีฟองน้ำ และก่อนใช้ควรจะล้างด้วยน้ำกลั่นหรือตัวทำละลายที่จะใช้เสมอ

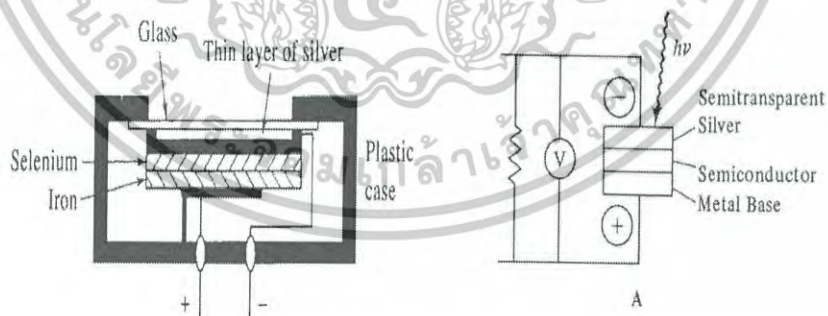
2.2.3.4 เครื่องวัดแสง (Radiation Detector)

เครื่องที่ใช้สำหรับวัดแสงนั้นมีด้วยกันหลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบอาจแตกต่างกันบ้างที่ความกว้างของช่วงคลื่นแสงที่สามารถตรวจสอบได้ ความเร็วของการตอบสนองต่อแสง สภาพไวของการรับแสง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อต้องการเปลี่ยนพลังงานแสง (radiant energy) ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า (electrical signal) เครื่องวัดแสงที่ดีควรมีลักษณะดังนี้

1. มีสภาพไวสูงคือแม้กำลังของแสงจะเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยก็สามารถตรวจวัดได้
2. การตอบรับแสงเป็นสภาพเชิงเส้น (Linearity of response) คือถ้าแสงตกกระทบบี่มากก็วัดได้มาก แสงตกกระทบน้อยก็วัดได้น้อย
3. ระดับของสัญญาณรบกวนจะต้องมีน้อย (Low noise level)
4. การตอบสนองต่อแสงขึ้นอยู่กับความถี่หรือความยาวคลื่นของแสง
5. เครื่องจะต้องมีความเสถียรดี (Stability) ค่าที่วัดได้ไม่ควรแปรปรวนมาก
6. ขนาดไม่ควรจะใหญ่เกินไป
7. ราคาถูก

เครื่องวัดแสง มีดังนี้

1. โฟโตโวลตาอิกเซลล์ หรือแบริเออร์-แลเยอร์เซลล์ (Photovoltaic or barrier-layer cell) เป็นเซลล์ที่ใช้ตรวจและวัดแสงที่อยู่ในช่วงวิสิเบิล และให้สภาพไวสูงที่สุดที่ความยาวคลื่น 550 nm แต่จะลดลงประมาณ 10% ที่ความยาวคลื่น 350 และ 750 nm



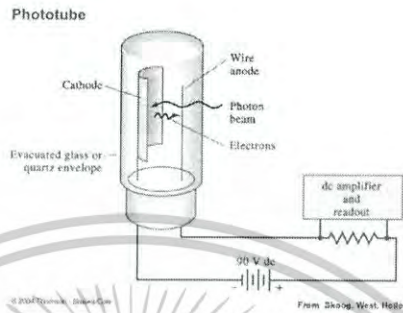
รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะของแบริเออร์-แลเยอร์เซลล์ หรือ โฟโตโวลตาอิกเซลล์[13]

ลักษณะของเซลล์นี้จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 2.17 โดยมีแผ่นทองแดงหรือเหล็กเป็นขั้วบวก(+) ด้านบนฉาบด้วยวัสดุกึ่งตัวนำบางๆ เช่น ซีลีเนียม หรือคอปเปอร์ (I) ออกไซด์ แล้วฉาบผิวด้านนอกเป็นฟิล์มบางๆ โปร่งแสง ซึ่งอาจเป็นทอง หรือเงิน หรือตะกั่ว และทำหน้าที่เป็นตัวจับอิเล็กตรอนหรือเป็นขั้วลบ(-) ทั้งหมดนี้ให้บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติก ส่วนที่รับแสงเป็นแผ่นกระจกใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟโตเซลล์อีกชนิดหนึ่งเป็นซิลิกอนโฟโตเวลล์ (Silicon photocell) ซึ่งเหมาะที่จะใช้วัดแสงในช่วงวิสิเบิล และช่วงใกล้อินฟราเรด แต่ให้สภาพไวต่ำในช่วงยูวี

หลอดรับแสง (Phototube) เป็นหลอดที่ทำด้วยแก้วซิลิกา ภายในหลอดเป็นสุญญากาศหรือเกือบเป็นสุญญากาศ มีแคโทด (Cathode) ซึ่งฉาบด้วยสารที่สามารถให้อิเล็กตรอนเมื่อถูกแสง (Photoemissive material) ดังรูปที่ 2.18 แคโทดมักจะเป็นรูปครึ่งวงกลม



รูปที่ 2.17 หลอดรับแสง[14]

เมื่อแสงตกกระทบกับสารที่ฉาบผิวแคโทดจะเกิดอิเล็กตรอนขึ้น แล้ววิ่งไปที่ขั้วแอโนดที่ต่อกับศักย์ไฟฟ้าที่คงที่ (ประมาณ 90 โวลต์) ซึ่งอยู่ในช่วงของ Saturated current กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นอยู่กับปริมาณของอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น โดยไม่ขึ้นกับศักย์ไฟฟ้า แม้ศักย์ไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงบ้างเล็กน้อย ก็จะไม่มีผลต่อกระแสที่เกิดขึ้น วงมีลักษณะเช่นเดียวกับการวัดรังสีบีตาด้วยหลอดว็อมป์กระแสที่เกิดขึ้นดังกล่าวมีค่าน้อย จึงจำ photomultiplier = PMT) หลอด PMT เป็นหลอดที่มีลักษณะคล้ายกับหลอดรับแสง แต่มีสภาพไวดีกว่าเป็นต้องต่อเข้ากับเครื่องขยายอีกครึ่งหนึ่งเพื่อให้กระแสพอที่จะวัดด้วยมาตรต่างๆ

หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (P) และสามารถใช้ได้ในช่วงความยาวคลื่น 190-900 nm ดังนั้น PMT จึงนิยมใช้ในการทำมาตรวัดแสงในเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ลักษณะของหลอด PMT ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.18 แสดงหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์[15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ในหลอดประกอบด้วยแคโทดที่ฉาบด้วยผิวด้วยสารเช่นเดียวกับหลอดรับแสงจำนวน 9 ชุด ซึ่งเรียกว่า ไดโอด (Dynode) แต่ละไดโอดมีค่าศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 90 โวลต์ เรื่อยไปจน

ครบ 9 ไดโอด นั่นคือปริมาณที่อิเล็กทรอนิกส์จะเพิ่มขึ้นเป็น 10^6-10^7 เท่า ทำให้ได้ศักย์ไฟฟ้าแตกต่างกันระหว่างขั้วแคโทดและแอโนดเป็น 900 โวลต์ ดังนั้นหลอด PMT จึงเหมาะแก่การวัดแสงที่มีกำลังต่ำ และถ้าวัดแสงที่มีกำลังสูงๆ หลอดจะเสื่อมเร็ว เพราะส่วนที่ไวต่อแสงเสีย

2.2.3.5 เครื่องขยาย-แยกสัญญาณและประมาณผล (Signal Processors and Data Readout) สัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดจะนำไปเข้ากระบวนการของระบบอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ขยายสัญญาณให้มากขึ้น หรืออาจเปลี่ยนสัญญาณ DC เป็น AC หรือ AC เป็น DC อาจมีการกรองสัญญาณที่ไม่ต้องการออกไป หรือนำสัญญาณที่ได้ไปแยกออก (และเข้ากระบวนการทางคณิตศาสตร์) จากนั้นสัญญาณที่ได้ซึ่งเป็นผลของการวิเคราะห์จึงได้เสนอออกมา มีหลายรูปแบบ โดยต่อเข้ากับ

มิเตอร์ มีสเกลอ่านทั้งที่เป็น linear scale and logarithm scale บอค่า absorbance และ % transmittance

ดิจิทัลมิเตอร์ โดยเสนอค่าที่วัดได้ออกมาเป็นตัวเลข บอค่า absorbance และ % transmittance หรือ concentration

เครื่องบันทึก เรคอร์ดเดอร์ หรือพริ้นเตอร์ ซึ่งสามารถเขียนสเปกตรัม พิมพ์ข้อมูลที่ต้องการได้ หรือเขียนกราฟได้

เครื่องมือโครโคทพิวเตอร์ หรือ ไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งเป็นเครื่องที่สามารถควบคุมการทำงานต่างๆ ของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ได้ ใช้ในการคำนวณผลการทดลอง เขียนกราฟผลการทดลอง พิมพ์ข้อมูลและผลการทดลองทั้งหมดได้

2.1.4 หลักการของอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

อาจแบ่งเป็นเครื่องมือชนิดลำแสงเดี่ยว (single-beam instrument) และเครื่องมือชนิดลำแสงคู่(double-beam instrument)

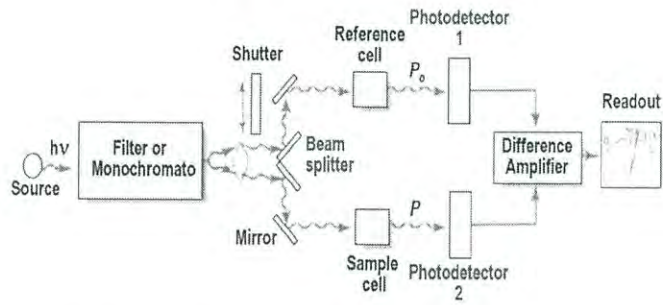


รูปที่ 2.19 Instrument designs for UV-Visible photometer or Spectrophotometer single- Beam Instrument[16]

รังสีจาก filter หรือ monochromator ผ่าน reference cell หรือ sample cell แล้วตกกระทบ photodetector การวัด Transmittance จะมีสภาพทำซ้ำได้ (reproducibility) สูง ถ้า Radiant Power ของ source คงที่ในขณะที่ปรับ 100% T และอ่าน %T ของ analyte โดยทั่วไปจึงควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าของ voltage supply ให้คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Double-Beam Instruments



รูปที่ 2.20 Instrument designs for UV-Visible photometer or Spectrophotometer
Double-Beam Instrument[17]

Double-beam-in-space instrument จะมีกระจกรูปตัว V ทำหน้าที่เป็น beam splitter แยกรังสีเป็น 2 ลำ ลำแสงหนึ่งผ่าน reference cell ไปยัง photodetector ในขณะเดียวกัน อีกลำแสงหนึ่งจะผ่าน sample cell ไปยัง matched photodetector outputs ทั้งสองจะถูกขยาย หาค่าอัตราส่วนหรือลอการิทึมของอัตราส่วน และแสดงผล

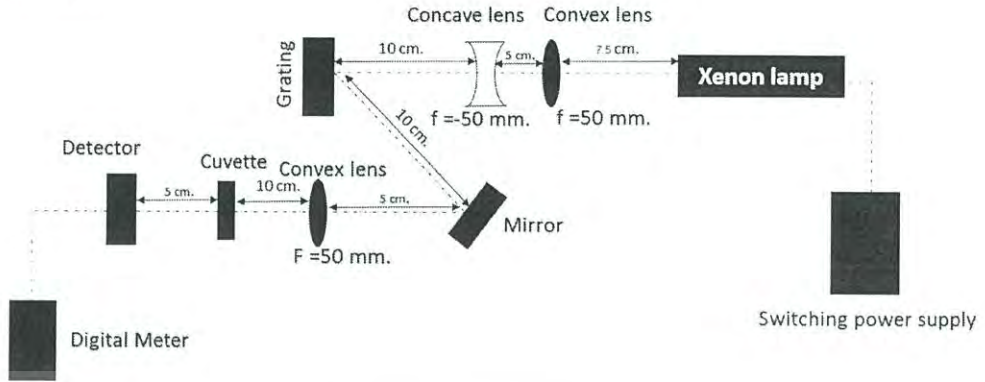
Double-beam-in-time instrument จะมี sector mirror ที่หมุนได้ ทำให้รังสีแยกเป็น 2 ลำตามเวลา (เป็น milliseconds) โดยในช่วงเวลาหนึ่ง ลำแสงจะผ่าน reference cell ไปยัง photodetector และอีกช่วงเวลาหนึ่งลำแสงจะผ่าน sample cell ไปยัง photodetector ตัวเดียวกัน จากนั้นลำแสงทั้งสองจะรวมกันโดย grid mirror ซึ่งยอมให้ลำแสงจาก reference cell ผ่านได้ และสะท้อนลำแสงจาก sample cell

วัสดุอุปกรณ์

1. Xenon Lamp
2. Switching Power Supply
3. Convex Lens, $f = 50$ mm.
4. Concave Lens, $f = -50$ mm.
5. Grating
6. Mirror
4. Bi-Convex Lens, $f = 50$ mm.
7. Cuvette
8. Sample
9. Detector
10. Digital Meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง



1. นำสารกันแดดตัวอย่างที่เตรียมใส่ลงใน quartz cell โดยใช้ 95% ของเอทานอลเป็น blank
2. นำคิวเวทท์ที่ไปวางที่แทนวางคิวเวทท์ (Cuvette Holder) จากนั้นเชื่อมต่อสาย BNC เข้ากับตัว Detector



รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างสารกันแดดที่นำมาตรวจด้วยระบบยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี

3. เปิดใช้หลอดไฟซินอนที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง
4. สังเกตค่าที่หน้าจอดีเตอร์
5. บันทึกข้อมูลลงในตาราง
6. นำสารกันแดดที่เตรียมไว้วางบนแท่น ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4-5 โดยใช้สารกันแดดชนิด A, B, C, D, E และ F
7. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาค่า SPF โดยใช้สมการของ Mansur et al (1986)

$$SPF = CF \times \sum_{290}^{320} EE(\lambda) \times I(\lambda) \times Abs(\lambda)$$

เมื่อ EE คือ erythemal effect spectrum

I คือ solar intensity spectrum

Abs คือ absorbance of sunscreen product

CF คือ correction factor (=1000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ค่าของ $EE \times I$ เป็นค่าคงที่ซึ่งใช้ได้ถูกวัดโดย Sayre et al (1979) แสดงดังตารางที่ 3.1
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเบี่ยงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าคงที่ที่ใช้คำนวณค่า SPF

ความยาวคลื่น (λ ;นาโนเมตร)	EE \times I
290	0.0150
295	0.0817
300	0.2874
305	0.3274
310	0.1864
315	0.0839
320	0.0180
Total	1.0000



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้