การศึกษาการดูดกลืนแสงของธาตุในสารละลาย

นางสาว วิทากรณ์ แก้วกูลฑล
นางสาว วิไลพร โกศลวุฒิกุล

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....76624
วัน,เดือน,ปี.....- 3 S.H. 2550

b.11850607
i.....

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study of light absorption in solution

Miss Vitakron Keawkooltol

Miss Vilaiporn Kosonwuttikun

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Applied Physic

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	ศึกษาการดูดกลืนแสงของธาตุในสารละลาย
นักศึกษา	นางสาว วิทากรณ์ แก้วกูลฑล
	นางสาว วิไลพร โกศลวุฒิกุล
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ - เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. วิษณุ เพชรภา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ วิฑูรย์ ยินดีสุข

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการการตวรจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	อาจารย์ทุดิยาภรณ์ ทิวาวงศ์	
กรรมการ	อาจารย์กาจปัญญา สุวรรณสุโข	
กรรมการ	ผศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม	
กรรมการที่ปรึกษา	รศ.วิษณุ เพชรภา	
กรรมการที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์วิฑูรย์ ยินดีสุข	

.....

(รศ. วิชาญ เตชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	**การศึกษาการดูดกลืนแสงของธาตุในสารละลาย**
นักศึกษา	นางสาววิทากรณ์ แก้วกุลฑล นางสาววิไลพร โกศลวุฒิกุล
ภาควิชา	**ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์**
สาขาวิชา	**ฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม**
ปีการศึกษา	**2549**
อาจารย์ที่ปรึกษา	**รศ.วิษณุ เพชรภา**
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	**อาจารย์ วิฑูรย์ ยินดีสุข**

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการดูดกลืนแสงของธาตุในสารละลายสารละลายคลอรีน ขั้นตอนการทดลองในเบื้องต้นโดยการใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer วัดค่าหาค่าสเปคตรัมการดูดกลืนแสงของคลอรีน ผลที่ได้จากการทดสอบคลอรีนได้ช่วงความยาวคลื่นสูงสุดที่ดูดกลืนอยู่ในช่วง UV อยู่ที่ 335 nm ซึ่งเส้นสเปคตรัมที่ความเข้มข้นต่างๆ ก็มีความโดดเด่นมากพอที่จะสามารถนำไปพัฒนาสร้างเป็นเครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นของคลอรีนได้ แหล่งกำเนิดที่ใช้เป็นไดโอดเปล่งแสงในย่านอัลตราไวโอเลตที่มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 370 nm แสงที่ทะลุผ่านสารละลายออกมาถูกวัดด้วยตัวดีเทคเตอร์ จากนั้นทำการขยายสัญญาณ และแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข โดยใช้ไมโครคอลโทรลเลอร์คำนวนค่าที่วัดได้แสดงออกในรูปของเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น จากนั้นทำการการสอบเทียบหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสงของคลอรีนกับความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Study of light absorption in solution
Name	Miss Vitakron Keawkooltol
	Miss Vilaiporn Kosonwuttikun
Department	Applied Physics Faculty of Scienec
Program	Applied Physics-Science and Industry Instrumentation
Academic Year	2006
Special Project Advisor	Assoc.Prof. Wisanu Pecharapa
Special Project co-advisor	Mr.Witool Yindeesuk

ABSTRACT

This project is aimed to study light absorption properties of chlorine solution. Experiment is set up using UV-Vis spectrophotometer to investigate light absorption spectra of chlorine solution. The results show strong absorption in UV range with maximum peak at 330 nm. Absorption spectra of different concentration are distinguished leading possibility of chlorine concentration measurement by mean of light absorption. A convenient instrument which is able to measure chlorine concentration is developed. A UV-LED with peak wavelength of 370 nm is used as a light source. Transmitted light from solution is detected by UV detector, then amplified before being compared to the reference signal. The signals are converted to digital signal by microcontroller and displayed as absorption percentage. Calibration is required to relate the absorption percentage to corresponding chlorine concentration.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานสำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และปรึกษาจาก รศ.วิษณุ เพชรภา และ อาจารย์ วิฑูรย์ ยินดีสุข ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมโครงงานพิเศษ

ขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ ในห้องปฏิบัติการทางแสง (ODL Lab) และเพื่อนๆ รุ่น 22 ตลอดจนเจ้าหน้าที่ในภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ให้คำแนะนำต่าง ๆและคอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุก ๆ เรื่อง

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากโครงงานพิเศษฉบับนี้ ขอมอบให้แด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาววิฑากรณ์ แก้วกุลฑล

นางสาววิไลพร โกศลวุฒิกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย		ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ข
กิตติกรรมประกาศ		ค
สารบัญ		ง
สารบัญตาราง		ฉ
สารบัญรูปภาพ		ฌ
บทที่ 1 บทนำ		1
1.1	ความสำคัญและที่มา	1
1.2	วัตถุประสงค์	1
1.3	ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4	ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน	2
1.5	ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ		3
2.1	ทฤษฎีการวัดความเข้มแสง	3
2.1.1	กฎของแลมเบิร์ต	3
2.1.2	กฎของเบียร์	4
2.2	การดูดกลืนพลังงานรังสี	7
2.2.1	การดูดกลืนของโมเลกุล	8
2.2.2	การคายพลังงานรังสี	10
2.3	การดูดกลืนแสงของโมเลกุล	11
2.3.1	สเปกตรัมการดูดกลืนแสง	12
2.3.2	สเปกตรัมแบบแถบ	12
2.3.3	ตำแหน่งของสเปกตรัม	14
2.3.4	ความเข้มของแถบการดูดกลืนแสง	14
2.3.5	การเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมการดูดกลืนแสง	15
2.4	การดูดกลืนแสงของสารประกอบอินทรีย์	15
2.4.1	โครงสร้างโมเลกุล	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

	2.4.2 อิเล็กทรอนิกทรานซิชันของโมเลกุล	16
	2.4.3 ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในโมเลกุล	17
2.5	การดูดกลืนแสงเชิงปริมาณของโมเลกุล	18
	2.5.1 แอบซอร์บชันสเปคโตรสโกปี	18
	2.5.2 การวัดค่าทรานสมิทแทนซ์ และค่าแอบซอร์แบนซ์	19
2.6	สเปคโตรโฟโตมิเตอร์	20
	2.6.1 อุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของสเปคโตรโฟโตมิเตอร์	23
	2.6.2 ชนิดของสเปคโตรโฟโตมิเตอร์	25
	2.6.3 ความรู้เบื้องต้นเรื่องเทคนิคทางสเปคโตรโฟโตมิเตอร์	26
	2.6.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยสเปคโตรโฟโตมิเตอร์	27
2.7	คลอรีน	27
	2.7.1 ประโยชน์ของคลอรีน	27
	2.7.2 แหล่งที่พบและการผลิต	28
	2.7.3 คลอรีน กับน้ำดื่ม	29
	2.7.4 หลักการวิเคราะห์คลอรีน	30
2.8	การวิเคราะห์ทางสเปคโทรสโกปี (Spectroscopic methods)	31
2.9	การดูดกลืนแสงของสารในช่วงแสงที่ตามองเห็น	31
2.10	ส่วนบรรจุสารตัวอย่าง	32
2.11	ซิลิกอนไดโอด หรือ โฟโตไดโอด	33
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย		35
3.1	การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายคลอรีน	35
3.2	นำผลการทดลองการดูดกลืนแสงของคลอรีนมาวิเคราะห์	40
3.3	ออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์	40
3.4	วงจรภายใน	41
3.5	ชุดอุปกรณ์เบื้องต้น	43
บทที่ 4 ผลการทดลอง		43
4.1	ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.2 การทดสอบสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสง 47
4.3 ผลการทดลองวัดค่าการดูดกลืนของสารละลายโดยใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้น 48
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 49
5.1 สรุปผลการทดลอง 53
5.2 ข้อเสนอแนะ 53
เอกสารอ้างอิง
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	ตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่าทรานสมิทแทนซ์ ค่าแอบซอร์ฟแบนซ์ และค่าความเข้มแสง	5
ตารางที่ 2.2	ตารางแสดง Complimentary Color	21
ตารางที่ 2.3	ตารางแสดงข้อดีและข้อเสียของเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์	23
ตารางที่ 2.4	ตารางแสดงคุณสมบัติทั่วไปของคลอรีน	27
ตารางที่ 2.5	ตารางแสดงคุณสมบัติประเภทต่างๆ ของคลอรีน	29
ตารางที่ 4.2 (ก)	ตารางแสดงค่า ความเข้มข้นของคลอรีนระหว่าง 0.01-0.10 g/500ml และ ค่า การดูดกลืนแสง	45
ตารางที่ 4.2 (ข)	ตารางแสดงค่า ความเข้มข้นต่างๆของคลอรีน และ ค่า การดูดกลืนแสง	46
ตารางที่ 4.3	ตารางแสดงค่า ความเข้มข้นต่างๆของคลอรีน และ ค่า การดูดกลืนแสง ที่วัดจากอุปกรณ์ ครั้งที่ 1 - 5	48
ตารางที่ 4.4	ตารางแสดงค่า ความเข้มข้นต่างๆของคลอรีน และ ค่า การดูดกลืนแสง ที่วัดจากอุปกรณ์ครั้งที่ 6- 10 และค่าเฉลี่ย	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	(ก) กราฟระหว่างระยะทางที่แสงผ่านกับค่าทรานสมิทแทนซ์ (ข) กราฟระหว่างระยะทางที่แสงผ่านกับค่าแอบซอร์ฟแบนซ์ (ค) กราฟระหว่างความเข้มข้นของสารกับค่าทรานสมิทแทนซ์ (ง) กราฟระหว่างความเข้มข้นของสารกับค่าแอบซอร์ฟแบนซ์	6
รูปที่ 2.2	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายเดี่ยว A สารละลายเดี่ยว B และสารละลายผสมองค์ประกอบ A และ B	7
รูปที่ 2.3	แผนภาพแสดง (ก) การดูดกลืนพลังงานรังสี (ข) ระดับพลังงาน และ (ค) สเปกตรัมการดูดกลืนรังสี	8
รูปที่ 2.4	แผนภาพแสดง (ก) ระดับพลังงานบางส่วนของโมเลกุลที่เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานในการดูดกลืนแสง และ (ข) แถบการดูดกลืนแสง	9
รูปที่ 2.5	แผนภาพแสดง (ก) การคายพลังงานรังสีที่กระตุ้นด้วยความร้อน พลังงานไฟฟ้า หรือ กระบวนการทางเคมี (ข) ระดับพลังงาน (ค) สเปกตรัมการคายพลังงานในรูปรังสี	11
รูปที่ 2.6	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายไดรพีเลนนามีนไฮโดรคลอไรด์	13
รูปที่ 2.7	ระดับพลังงานในโมเลกุลและการทรานซิชันแบบต่างๆ (ก) การทรานซิชันของอิเล็กตรอน (ข) การทรานซิชันที่เกี่ยวข้องกับการสั่นของโมเลกุล (ค) การทรานซิชันที่เกี่ยวข้องกับการหมุนของโมเลกุล	14
รูปที่ 2.8	ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนและการทรานซิชันของอิเล็กตรอนชนิดต่างๆ ในโมเลกุล	17
รูปที่ 2.9	ภาพแสดงการดูดกลืนลำแสงรังสีของสารใดๆ	18
รูปที่ 2.10	ก๊าซคลอรีน คลอรีนผง และคลอรีนน้ำ	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.11	การจัดวางส่วนประกอบของเครื่องมือ แบบ absorption รายละเอียดต่างๆขององค์ประกอบและวัสดุที่ใช้ในแต่ละส่วนของเครื่องมือสำหรับวัดการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิล	31
รูปที่ 2.12	ช่วงการโปร่งใสของวัสดุชนิดต่างๆ	32
รูปที่ 2.13	แผนภาพแสดงการทำงานของอุปกรณ์วัดแสงซิลิกอนไดโอด (ก) ส่วนประกอบของซิลิกอนไดโอด (ข) ซิลิกอนไดโอดในสภาวะ forward biasing และการไหลของกระแสไฟฟ้า (ค) ซิลิกอนไดโอดในสภาวะ reversed biasing	34
รูปที่ 3.1 (ก)	เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์	35
รูปที่ 3.1 (ข)	เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์และหลอดใส่สารละลาย	36
รูปที่ 3.1 (ค)	เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์และหลอดใส่สารละลาย	36
รูปที่ 3.2	รูปเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์	37
รูปที่ 3.3	โปรแกรมที่ใช้กับเครื่องสเปคโตโฟโตมิเตอร์	37
รูปที่ 3.4	หน้าต่างโปรแกรมที่ใช้กับเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์	38
รูปที่ 3.5	หน้าต่างการตั้งค่าโปรแกรมที่ใช้กับเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์	38
รูปที่ 3.6	ภายในเครื่องและหลอดใส่สาร	39
รูปที่ 3.7	หน้าต่างโปรแกรมที่ใช้กับเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์	39
รูปที่ 3.8	แผนภาพแสดงชุดอุปกรณ์	40
รูปที่ 3.9	ภาพวงจรของตัวให้กำเนิดแสงและตัวตรวจวัดแสง	41
รูปที่ 3.10	วงจรแปลงสัญญาณ เปรียบเทียบสัญญาณ และ วงจรขยายสัญญาณ	42
รูปที่ 3.11	อุปกรณ์วัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย	43
รูปที่ 4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การทะลุผ่าน(%T) และ ความยาวคลื่นของคลอรีน	44
รูปที่ 4.2 (ก)	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance และ สารละลายคลอรีนที่ความเข้มข้น 0.02-0.1 g/น้ำ 500ml ที่ความยาวคลื่น 337.5	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.2 (ข)	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance และ สารละลายคลอรีน ที่ความเข้มข้น 0.5-2.5 g/l ที่ความยาวคลื่น 337.5 nm	46
รูปที่ 4.3	เครื่อง Monochromator	47
รูปที่ 4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การทะลุผ่าน(%T) และความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง UV LED	49
รูปที่ 4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืน (V) กับ สารละลาย คลอรีนที่ความเข้มข้น 0.5-1.0 g/l ครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 2	50
รูปที่ 4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืน (V) กับ สารละลาย คลอรีนที่ความเข้มข้น 0.5-1.0 g/l ครั้งที่ 3 และ ครั้งที่ 4	50
รูปที่ 4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืน (V) กับ สารละลาย คลอรีนที่ความเข้มข้น 0.5-1.0 g/l ครั้งที่ 5 และ ครั้งที่ 6	50
รูปที่ 4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืน (V) กับ สารละลาย คลอรีนที่ความเข้มข้น 0.5-1.0 g/l ครั้งที่ 7 และ ครั้งที่ 8	51
รูปที่ 4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืน (V) กับ สารละลาย คลอรีนที่ความเข้มข้น 0.5-1.0 g/l ครั้งที่ 9 และ ครั้งที่ 10	51
รูปที่ 4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืน (V) กับ สารละลาย คลอรีนที่ความเข้มข้น 0.5-1.0 g/l ค่าเฉลี่ยทั้ง 10 ครั้ง	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

สังคมไทยปัจจุบันมีประชากรเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อัตราการใช้น้ำเพื่ออุปโภคบริโภคก็เพิ่มขึ้น ทำให้การผลิตน้ำประปา น้ำดื่ม และบริการสระว่ายน้ำต้องเพิ่มปริมาณการผลิตและการให้บริการที่เพียงพอกับความต้องการที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการผลิตน้ำประปา และน้ำในสระว่ายน้ำทั่วไปมีการนำคลอรีนมาใช้เพื่อการฆ่าเชื้อแบคทีเรียแต่ถ้าหากมีการเติมในปริมาณที่มากเกินไปก็อาจจะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้ โดยน้ำนั้นจะมีกลิ่นฉุนและเกิดสารก่อมะเร็ง คือ คลอโรฟอร์ม ที่ทำให้เกิดเป็นสารคลอรามีนซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำมาใช้อุปโภคบริโภค จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมปริมาณของคลอรีนที่นำมาใส่เพื่อฆ่าเชื้อในน้ำให้มีความเหมาะสม โดยน้ำประปาที่สามารถดื่มได้ต้องมีระดับปริมาณคลอรีนอยู่ที่ 0.2 - 0.5 p.p.m. ส่วนสระว่ายน้ำต้องมีปริมาณที่ 0.6 - 1.0 p.p.m. ซึ่งปัจจุบันเครื่องมือที่มีการนำมาใช้วัดปริมาณคลอรีนในน้ำอย่างแพร่หลาย คือ เครื่องโฟโตมิเตอร์ (Photometer) ที่ใช้หลักการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย (Absorbance) ลักษณะในการทำงานของเครื่องนี้ คือ เมื่อนำสารละลายคลอรีนมาตรวจสอบ ถ้ามีปริมาณคลอรีนมาก การดูดกลืนแสงจะแปรผันตรงกันปริมาณคลอรีนในน้ำ นำอัตราส่วนการดูดกลืนแสงที่วัดได้นำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการดูดกลืนแสงของคลอรีนในรูปของสารละลาย

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางแสงของคลอรีน

1.2.3 เพื่อศึกษาการวัดการดูดกลืนแสง โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer

1.2.4 สามารถสร้างอุปกรณ์ตรวจสอบปริมาณของคลอรีนในสารละลาย

1.2.5 สามารถสร้างอุปกรณ์ได้ในราคาประหยัดและใช้ได้ง่าย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

สำหรับขอบเขตในการศึกษาของโครงงานพิเศษนี้ เราสามารถแบ่งออกเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

1.3.1 ส่วนทฤษฎี จะเป็นการศึกษาคุณสมบัติทางแสงของคลอรีน และศึกษากฎของ Beer's law เพื่อค่าการดูดกลืนแสงของคลอรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.2 ศึกษาการวัดปริมาณคลอรีนในสารละลาย (Absorption Spectrophotometry) โดยการส่งลำแสงผ่านตัวสารละลายที่ต้องการตรวจสอบไปยังตัวรับ(Detector) ที่อยู่ตรงข้ามตรวจสอบความเข้มแสงที่ได้ ระบบจะแสดงผลค่าปริมาณคลอรีนที่มีอยู่ในน้ำ

1.3.3 ส่วนของผลและสรุป รวบรวมผลการทดลองจากการทดสอบอุปกรณ์ตรวจหาปริมาณคลอรีนในน้ำ หาค่าความละเอียดสูงสุดที่วัดได้ และปริมาณความเข้มที่น้อยที่สุดและมากที่สุดที่สามารถวัดได้

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 จัดซื้ออุปกรณ์และทำการทดลองการดูดกลืนของคลอรีน

1.4.3 สร้างอุปกรณ์และทดสอบอุปกรณ์ที่ประกอบขึ้น

1.4.4 วิเคราะห์ผลและปรับปรุงอุปกรณ์

1.4.5 สรุปผลและจัดทำรายงาน

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทำให้ทราบถึงกระบวนการและหลักการต่างๆทางแสง เทคนิคการหาปริมาณสารแบบ Absorption Spectrophotometry

1.5.2 ผลิตเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและใช้งานได้จริง มีราคาประหยัด

1.5.3 ทราบถึงหลักการการดูดกลืนแสงของสารละลาย (Lambert's Law และ Beer's Law)

1.5.4 สามารถใช้เครื่องมือ Spectrophotometer ได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีการวัดความเข้มแสง

2.2.1 กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's Law)

ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับระยะทางที่แสงผ่านตัวกลางที่ดูดกลืนแสง แลมเบิร์ต ได้ศึกษาอันตรกิริยาของแสงความยาวคลื่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงความหนาของตัวกลางที่ดูดกลืนแสง โดยการแบ่งตัวกลางที่ดูดกลืนแสงได้ เช่น สารละลายเนื้อเดียวเป็นชั้นหลายๆชั้น แต่ละชั้นมีความหนาเท่ากัน (Δb) เมื่อลำแสงของแสงความยาวคลื่นเดียวผ่านเข้าไปในตัวกลาง พบว่าแต่ละชั้นดูดกลืนแสงในสัดส่วนที่เท่ากัน หรือแต่ละชั้นทำให้กำลังของแสงที่ผ่านเข้ามา ชั้นที่สองก็ดูดกลืนแสงได้อีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นแสงที่ผ่านออกมาจากชั้นที่สองจะเหลือหนึ่งในสี่ของกำลังแสงที่เข้ามาแรกสุดและชั้นที่สามก็เหลือเป็นหนึ่งในแปดและลดลง เช่นนี้ไปเรื่อยๆ สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$-\frac{dP}{db} = K_1 P \tag{2.1}$$

$$-\frac{dP}{P} = K_1 db \tag{2.2}$$

ทำปริพันธ์จากกำลังแสง P_0 ถึง P และระยะทางจาก 0 ถึง b ได้

$$-\left(\ln P - \ln P_0\right) = K_1 b \tag{2.3}$$

$$\ln P_0 - \ln P = K_1 b \tag{2.4}$$

$$\ln \frac{P_0}{P} = K_1 b \tag{2.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\log\frac{P_0}{P} = K_2 P \tag{2.6}$$

เมื่อ T เป็นค่าทรานสมิทแทนซ์มีค่าเท่ากับ P/P_0 , b เป็นระยะทางที่แสงผ่านสารมีหน่วยเป็นเซนติเมตร และ k เป็นค่าคงที่ที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารและความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารดังสมการ (2.7)

$$2.303\log T = -kb \tag{2.7}$$

ดังนั้นถ้าสารที่วัดมีความเข้มข้นคงที่จะได้ว่าเมื่อระยะทาง b เพิ่มขึ้นแบบเส้นตรงค่าทรานสมิทแทนซ์จะลดลงแบบเอกซ์โพเนเชียล ตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นดังรูป 2.1(ก) และค่าแอบซอร์ฟแบนซ์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $-\log T$ มีค่าความสัมพันธ์โดยตรงกับระยะทาง ดังรูปที่ 2.1(ข) ตามสมการ (2.8) ซึ่งเรียกว่า "กฎของแลมเบิร์ต"

$$A = kb \tag{2.8}$$

2.2.2 กฎของเบียร์ (Beer's Law)

Beer ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่ดูดกลืนแสงกับค่าการดูดกลืนโดยให้ระยะทางที่แสงผ่านคงที่แล้ววัดการดูดกลืนแสงของสารที่ความเข้มข้นต่างๆ และใช้แสงความยาวคลื่นเดียวคล้ายกับการศึกษาของแลมเบิร์ต พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรงค่าทรานสมิทแทนซ์ลดลงแบบเอกซ์โพเนเชียล ดังรูปที่ 2.1(ค) ส่วนค่าแอบซอร์ฟแบนซ์ซึ่งเท่ากับ $-\log T$ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงตามความเข้มข้นในที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2.1(ง)

$$A = \log\frac{P_0}{P} = kc \tag{2.9}$$

ความสัมพันธ์ตามสมการ (2.9) เรียกว่า "กฎของเบียร์" ซึ่งเป็นกฎที่นำมาใช้อย่างกว้างขวางในการวัดการดูดกลืนแสงของสารเชิงปริมาณ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทรานสมิทแทนซ์ ค่าแอบซอร์ฟแบนซ์ และค่าความเข้มแสงบางค่าเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

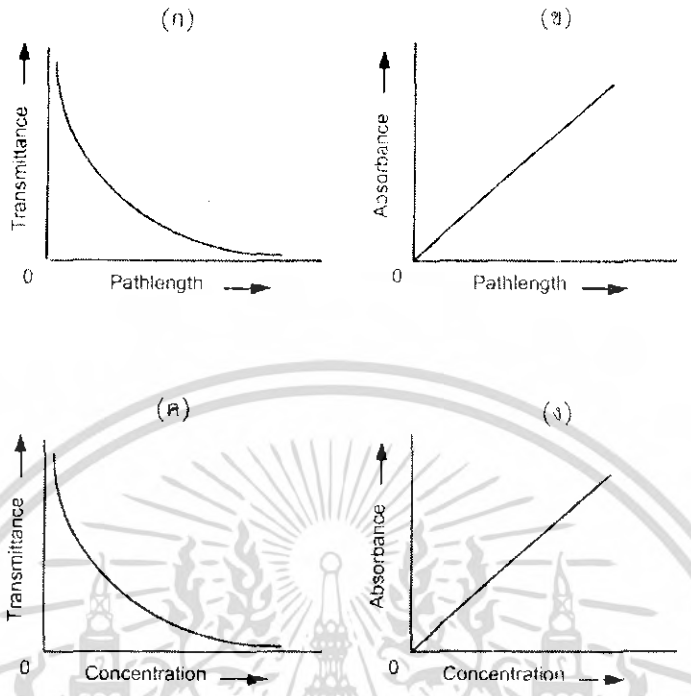
ตารางที่ 2.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่าทรานสมิทแทนซ์ ค่าแอบซอร์ฟแบนซ์ และค่าความเข้มแสง

ค่าทรานสมิทแทนซ์	%T	ค่า P	ค่าแอบซอร์ฟแบนซ์	ความเข้มข้น
1.0	100	P_0	0	0
0.1	10	$0.1\ P_0$	1.0	ขึ้นกับค่า ab
0.01	1	$0.01\ P_0$	2.0	ขึ้นกับค่า ab
0	0	0	∞	∞

เมื่อรวมกฎของเบียร์และกฎของแลมเบิร์ตได้ดังสมการ (3.10) ซึ่งเรียกว่า "กฎของแลมเบิร์ตและเบียร์" แต่การใช้ต้องทราบว่าในการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นต่อการดูดกลืนนั้นระยะทางที่แสงผ่านต้องมีค่าคงที่

$$A = \log\frac{P_0}{P} = abc \qquad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 (ก) กราฟระหว่างระยะทางที่แสงผ่านกับค่าทรานสมิทแทนซ์
(ข) กราฟระหว่างระยะทางที่แสงผ่านกับค่าแอบซอร์ฟแบนซ์
(ค) กราฟระหว่างความเข้มข้นของสารกับค่าทรานสมิทแทนซ์
(ง) กราฟระหว่างความเข้มข้นของสารกับค่าแอบซอร์ฟแบนซ์

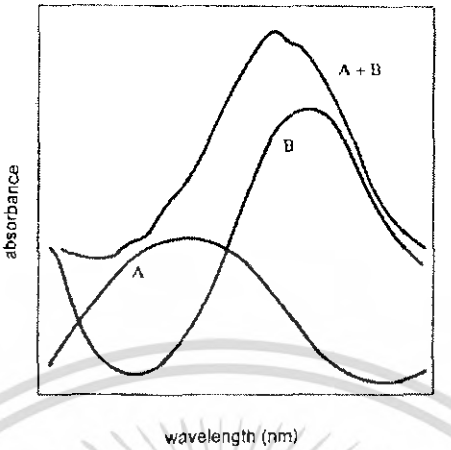
กฎของเบียร์สามารถใช้กับสารละลายที่มีสารที่ดูดกลืนแสงได้มากกว่าหนึ่งชนิด ถ้าไม่มีอันตรกิริยาระหว่างมารแต่ละตัวในสารละลาย ค่าแอบซอร์ฟแบนซ์รวมของระบบที่มีสารหลายชนิดเป็นองค์ประกอบมีค่าดังนี้

$$A_{total} = A_1 + A_2 + ...A_n = \varepsilon_1 b_1 c_1 + \varepsilon_2 b_2 c_2 + ...\varepsilon_n b_n c_n \qquad (2.11)$$

เมื่อตัวเลขหรืออักษรที่ห้อยอยู่หมายถึงองค์ประกอบที่ 1, 2, 3, ...,n สเปกตรัมการดูดกลืนแสงก็เห็นเป็นผลรวมของการดูดกลืนแสงของสารองค์ประกอบ

จากรูปที่ 2.2 แสดงถึงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสาร A และสาร B เดี่ยวๆและของสารผสม A และ B ที่เป็นค่าผลรวมจากองค์ประกอบทั้งสอง ซึ่งสามารถคำนวณค่าแอบซอร์ฟแบนซ์รวมนี้ได้เมื่อทราบค่าความเข้มข้นและค่าความเข้มข้นของการดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายเดี่ยว A สารละลายเดี่ยว B และสารละลายผสมองค์ประกอบ A และ B

2.2 การดูดกลืนพลังงานรังสี

เมื่อรังสีเคลื่อนที่ผ่านของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ความถี่บางความถี่จะถูกกำจัดออกโดยกระบวนการดูดกลืน ซึ่งเป็นกระบวนการที่พลังงานของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าถูกถ่ายเทไปยังอะตอม ไอออน หรือโมเลกุลที่อยู่ในตัวกลาง การดูดกลืนพลังงานทำให้อนุภาคเหล่านี้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสถานะปกติที่อุณหภูมิห้องหรือสถานะพื้น (ground state) ไปยังสถานะกระตุ้น (excited state) ที่มีระดับพลังงานสูงกว่า เรียกกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้ว่า การเปลี่ยนสถานะ หรือการทรานซิชัน (transition)

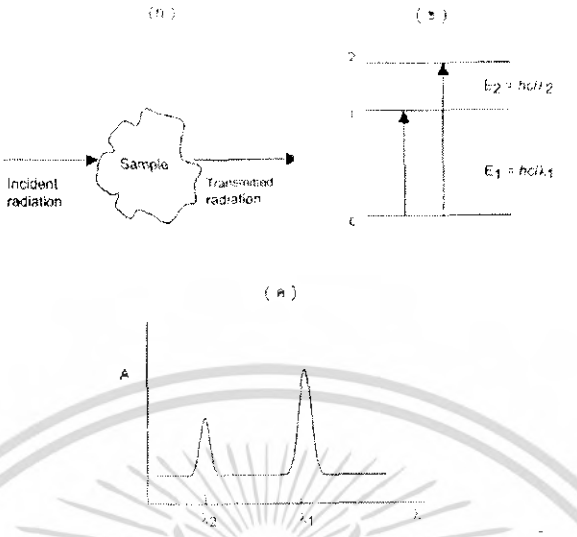
ทฤษฎีควอนตัม ระบุว่า อะตอม ไอออน หรือโมเลกุลมีระดับ พลังงานจำนวนจำกัด พลังงานของโฟตอนที่ทำให้เกิดการดูดกลืนรังสีต้องเท่ากับพลังงานที่เป็นค่าผลต่างระหว่างสถานะพื้นกับสถานะถูกกระตุ้นของสารที่ดูดกลืนเขียนเป็นดังสมการนี้

$$E_1 - E_0 = h\nu \tag{2.12}$$

เมื่อ E_0 เป็นพลังงานของระดับพลังงานที่ต่ำกว่าหรือสถานะพื้น E_1 เป็นพลังงานของระดับพลังงานที่สูงกว่าหรือสถานะกระตุ้น h เป็นค่าคงที่ของแพลงค์ และ ν เป็นค่าความถี่ของโฟตอน

การดูดกลืนพลังงานรังสีแบ่งตามชนิดของสารที่ดูดกลืนพลังงานได้เป็นสองชนิดคือ การดูดกลืนของอะตอม และการดูดกลืนของโมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดง (ก) การดูดกลืนพลังงานรังสี (ข) ระดับพลังงาน และ (ค) สเปกตรัมการดูดกลืนรังสี

2.2.1 การดูดกลืนของโมเลกุล

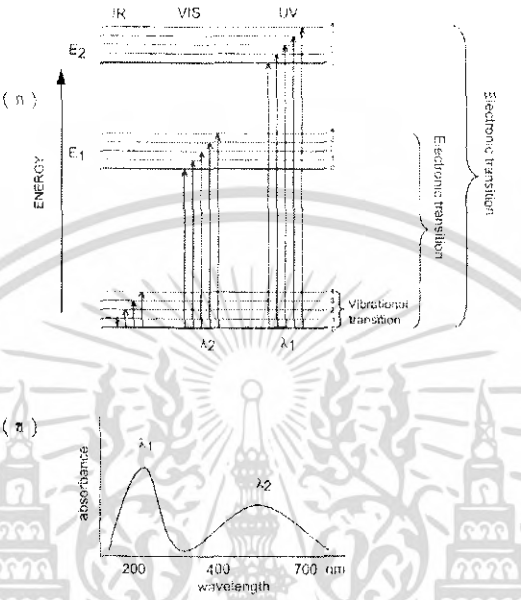
โมเลกุลมีพลังงานที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์หลายอย่าง ได้แก่ ลังงาน E_{trans} (translational energy) เป็นพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของโมเลกุลไปทั้งโมเลกุล พลังงาน E_{vib} (vibrational energy) เป็นพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการสั่นของโมเลกุล พลังงาน E_{rot} (rotational energy) เป็นพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการหมุนรอบแกนของโมเลกุลหรือการหมุนของโมเลกุลรอบจุดศูนย์กลางแรงโน้มถ่วง และพลังงาน E_{elec} (electronic energy) เป็นพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดอิเลคตรอนรอบๆนิวเคลียสของอะตอมในโมเลกุล (electronic configuration) ระดับพลังงานของ E_{vib}, E_{elec} และ E_{elec} สัมพันธ์โดยตรงกับสูตรโครงสร้างของโมเลกุลและทีค่าที่เป็นค่าเฉพาะในแต่ละโมเลกุล พลังงานของโมเลกุลทั้งหมด (E) เป็นผลรวมของพลังงานที่เป็นองค์ประกอบทั้งหมดดังนี้

$$E = E_{trans} + E_{vib} + E_{rot} + E_{elec} \qquad (2.13)$$

แผนภาพระดับพลังงานบางส่วนในโมเลกุล แสดงในรูป 2.4 โดย E_0 เป็นระดับ พลังงานในสถานะพื้น E_1 และ E_2 เป็นระดับพลังงานในสถานะกระตุ้น ระดับพลังงานของการสั่นเป็นเส้น 0, 1, 2, 3 และ 4 และระดับพลังงานของการสั่นต่ำสุดคือ เส้นที่ 0 ส่วนระดับพลังงานการหมุนจะซ้อนอยู่ในแต่ละระดับพลังงานของระดับพลังงานการสั่น ซึ่งไม่ได้แสดงในรูป 2.4 นี้ โมเลกุลมีระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานเป็นจำนวนมากจึงเกิดการดูดกลืนพลังงานจากโฟตอนที่มีพลังงานแตกต่างเพียงเล็กน้อย เป็นจำนวนมากเช่นกัน



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดง (ก) ระดับพลังงานบางส่วนของโมเลกุลที่เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานในการดูดกลืนแสง และ (ข) แถบการดูดกลืนแสง

โมเลกุลเมื่อได้รับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในความถี่ที่เหมาะสม โมเลกุลจะดูดกลืนพลังงานแล้วเกิดทรานซิชัน การกระตุ้นด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตวิสิเบิล และรังสีอินฟราเรดพบว่าโมเลกุลเกิดการทรานซิชันๆได้สามชนิด

รังสีอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลนั้น การกระตุ้นจะเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในออร์บิทัลจากระดับพลังงานต่ำไปยังระดับที่มีพลังงานสูงกว่า ลักษณะแบบนี้เรียกว่าอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิชัน (electronic transition) และเรียกกระบวนการดูดกลืนรังสี แบบนี้ว่าอิเล็กทรอนิกส์แอบซอร์ฟชัน (electronic absorption)

การทรานซิชันอีกสองชนิด คือ การทรานซิชันเกี่ยวกับการสั่น (vibrational transition) และการทรานซิชันเกี่ยวกับการหมุน (rotational energy) นั้นเกิดเฉพาะในระดับพลังงานอิเล็กทรอนิกส์ที่สถานะพื้นเท่านั้น ความแตกต่างระหว่างระดับพลังงานของการสั่นน้อยกว่าความแตกต่างของระดับพลังงานจากการเกิดอิเล็กทรอนิกทรานซิชัน ความแตกต่างระหว่างระดับพลังงานของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

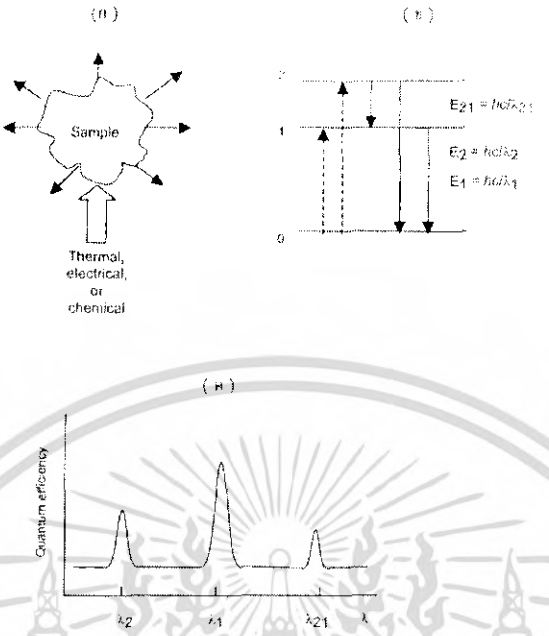
หมุนจะน้อยกว่าความแตกต่างของระดับพลังงานของการสั่น การทรานซิชันทั้งสองแบบนี้จึงดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรดเท่านั้น

สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของโมเลกุลมีความซับซ้อนกว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอะตอมมาก เพราะจำนวนของระดับพลังงานในโมเลกุลมีจำนวนมากเมื่อเทียบกับจำนวนระดับพลังงานของอะตอมเดี่ยว ทำให้สเปกตรัมของการดูดกลืนรังสีของโมเลกุลมีลักษณะเป็น "แถบการดูดกลืน" (absorption band) ส่วนการดูดกลืนรังสีของอะตอมจะเป็น "เส้นการดูดกลืน" (absorption line)

2.2.2 การคายพลังงานรังสี

อะตอม ไอออน และโมเลกุล ถูกกระตุ้นไปยังระดับพลังงานที่สูงขึ้นได้โดยกระบวนการหลายประการ เช่น การให้ความร้อนในเปลวไฟ การยิงด้วยอิเล็กตรอนหรืออนุภาคอื่น การสัมผัสกับกระกายไฟ กระแสสลับที่มีความต่างศักย์สูง การเกิดกระบวนการทางเคมี ดังรูป 2.5 ช่วงอายุของสารที่ถูกกระตุ้นเกิดชั่วขณะในเวลาประมาณ 10^{-6} ถึง 10^{-9} วินาที กระบวนการกลับสู่ระดับพลังงานที่ต่ำกว่าหรือสถานะพื้นจะมีการปล่อยพลังงานส่วนเกินในรูปของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ความร้อน หรือทั้งสองแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดง

(ก) การคายพลังงานรังสีที่กระตุ้นด้วยความร้อน พลังงานไฟฟ้า หรือกระบวนการทางเคมี

(ข) ระดับพลังงาน

(ค) สเปกตรัมการคายพลังงานในรูปรังสี

สเปกตรัมของพลังงานที่คายออกมาในรูปรังสีเรียกว่า "สเปกตรัมการเปล่งแสง" ซึ่งพลสามแบบ คือ แบบเส้น แบบแถบ และแบบต่อเนื่อง สเปกตรัมแบบเส้นเกิดจากการกระตุ้นอะตอมเดี่ยวในสถานะก๊าซ สเปกตรัมแบบแถบเกิดจากการกระตุ้นโมเลกุลขนาดเล็ก หรือแรดิคอล (radicals) ส่วนสเปกตรัมแบบต่อเนื่องเกิดขึ้นจากการกระตุ้น ของแข็งหรือของเหลวที่อัดแน่น กันมากจนไม่สามารถแสดงคุณสมบัติของอะตอมได้ หรือโมเลกุลที่ซับซ้อนที่มีในพลังงานใกล้เคียงกัน

สเปกตรัมแบบต่อเนื่องและแบบเส้นมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์ทางเคมีทั้งคู่ สเปกตรัมแบบต่อเนื่องถูกใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงของวิธีทางสเปคโตรสโกปีชนิดต่างๆ นอกจากนี้สเปกตรัมแบบเส้นมีความสำคัญในการพิสูจน์เอกลักษณ์สาร

2.3 การดูดกลืนแสงของโมเลกุล

เมื่อแสงอัลตราไวโอเลต (ความยาวคลื่นประมาณ 200-400 นาโนเมตร) และวิสิเบิล (ความยาวคลื่นประมาณ 400-700 นาโนเมตร) ในรูปโฟตอน ($h\nu$) เมื่อเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใดๆ (M) โมเลกุลจะดูดกลืนพลังงานจากแสงและเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนวงนอกของโมเลกุลจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นมีผลทำให้โมเลกุลอยู่ในสภาวะกระตุ้นหรือมีพลังงานสูง (M*) ดังสมการที่ 2.11 กระบวนการที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า "อิเล็กทรอนิกส์ทรานซิชัน" (electronic transition) หรือ การเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอน

$$M + h\nu \rightarrow M^{+} \qquad (2.14)$$

พลังงานที่ถูกดูดกลืนต้องมีค่าเท่ากับความแตกต่างของระดับพลังงานในสถานะพื้น (E_g) กับระดับพลังงานในสถานะกระตุ้น (E_e) ของอิเล็กตรอนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานดังสมการที่ 2.12 ความแตกต่างของระดับพลังงานของสถานะทั้งสองนี้ (ΔE) เรียกว่า energy gap

$$\Delta E = E_e - E_g = h\nu \qquad (2.15)$$

1.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสง

การบันทึกการดูดกลืนพลังงานโมเลกุลแสง ทำโดยการพล็อตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนหรือค่าแอบซอร์ฟชัน (absorption) หรือค่าความเข้มของการดูดกลืน (absorption intensity) หรือค่าแอบซอร์ฟทิวิตี (absorptivity) กับความยาวคลื่นต่างๆ ที่เกิดการดูดกลืน เรียกภาพของการพล็อตว่า "สเปกตรัมของการดูดกลืนแสง" (absorption spectrum) ตัวอย่างเช่น การดูดกลืนแสงของสารละลายไตรพีเลนนามีนไฮโดรคอลไรด์ (tripelennamine hydrochloride) ความเข้มข้น 1.94 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตรใน 0.25 นอร์มอลกรดไฮโดรคลอริก จากความยาวคลื่น 200 ถึง 370 นาโนเมตร มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงดังรูปที่ 2.3.1 ซึ่งมีลักษณะเป็นแถบการดูดกลืนสองแถบและมีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 240 และ 315 นาโนเมตร

ความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุดในสเปกตรัมการดูดกลืนแสงใช้สัญญาลักษณ์แทนเป็น λ_{max} ส่วนค่าแอบซอร์ฟทิวิตีหรือค่าความเข้มข้นของการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นก็มีค่าสูงสุดเช่นกันและใช้สัญญาลักษณ์แทนเป็น ε_{max} และทั้งค่า λ_{max} และค่า ε_{max} เป็นค่าที่เฉพาะเจาะจงของสารแต่ละตัวสามารถใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์สารได้

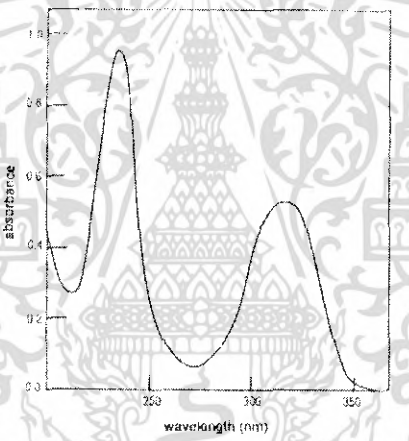
1.2 สเปกตรัมแบบแถบ

ลักษณะของสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของโมเลกุลส่วนมากเป็นแบบสเปกตรัมแบบแถบเนื่องจากในระดับพลังงานของอิเล็กตรอนชนิดอิเล็กทรอนิก (electronic energy level) จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับพลังงานที่เกี่ยวกับการสั่น (vibrational energy level) และระดับพลังงานที่เกี่ยวกับการหมุน (rotational energy level) ของโมเลกุลซ้อนอยู่ ดังรูป 2.7

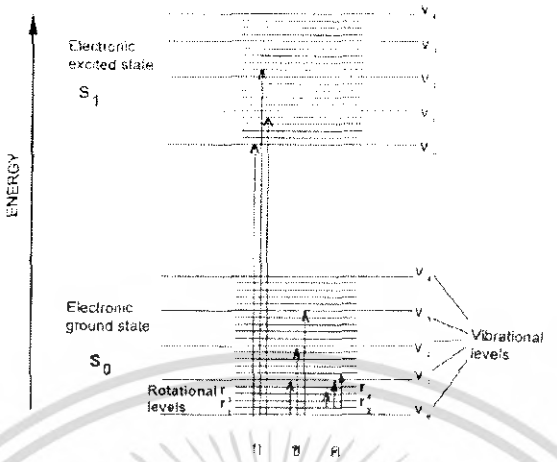
การดูดกลืนพลังงานแล้วเกิดอิเล็กทรอนิกทรานซิชันนั้นอิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานสถานะพื้น คือ อิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานของการสั่นต่ำสุดในแต่ละระดับพลังงานของอิเล็กตรอนชนิดอิเล็กทรอนิก อิเล็กตรอนเหล่านี้มีโอกาสเกิดการทรานซิชันไปยังระดับพลังงานทั้งชนิดอิเล็กทรอนิก และ/หรือ ระดับพลังงานที่เกี่ยวกับการสั่น และ/หรือระดับพลังงานที่เกี่ยวกับการหมุนในสถานะกระตุ้นได้ เนื่องจากระดับพลังงานทั้งสามชนิดในสถานะกระตุ้นมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน การดูดกลืนแสงของโมเลกุลจึงใช้พลังงานได้หลายค่าทำให้เกิดการดูดกลืนที่หลายความยาวคลื่น ลักษณะของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของโมเลกุลจึงเห็นเป็นแถบ



รูปที่ 2.6 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายไตรพีเลนนามีนไฮโดรคลอไรด์

ส่วนกานดูดกลืนพลังงานแล้วเกิดการสั่นหรือการหมุนของโมเลกุลนั้น เกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการสั่นหรือการหมุนเฉพาะระดับพลังงานในสถานะพื้น ดังรูปที่ 2.7 ความแตกต่างของระดับพลังงานของการทรานซิชันทั้งสองชนิดนี้น้อยกว่าการเกิดอิเล็กทรอนิกทรานซิชันมาก การดูดกลืนพลังงานประเภทนี้จึงไม่พลในย่านอัลตราไวโอเลตวิสิเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ระดับพลังงานในโมเลกุลและการทรานซิชันแบบต่างๆ

(ก) การทรานซิชันของอิเล็กตรอน

(ข) การทรานซิชันที่เกี่ยวข้องกับการสั่นของโมเลกุล

(ค) การทรานซิชันที่เกี่ยวข้องกับการหมุนของโมเลกุล

1.3 ตำแหน่งของสเปกตรัม

ตำแหน่งของสเปกตรัม นิยมแสดงด้วยค่า λ_{max} ซึ่งเป็นค่าที่จะบอกตำแหน่งของการดูดกลืนแสงสูงสุดของโมเลกุลสารว่าเกิดที่ความยาวคลื่นเท่าไร ค่า λ_{max} นี้มีค่าความสัมพันธ์โดยตรงกับความแตกต่างของพลังงานที่ทำให้เกิดอิเล็กทรอนิกทรานซิชัน หากการดูดกลืนแสงชนิดใดใช้พลังงานสูงหรือมีความแตกต่างของพลังงานมาก ค่า λ_{max} จะมีค่าต่ำ คือเกิดที่ความยาวคลื่นที่สั้น ในทางตรงกันข้ามการดูดกลืนแสงชนิดใดใช้พลังงานน้อย ค่า λ_{max} จะมีค่าสูงคือเกิดที่ความยาวคลื่นที่ยาว

1.4 ความเข้มของแถบการดูดกลืนแสง

ความเข้มข้นของแถบการดูดกลืนแสงนิยมแสดงด้วยค่าโมลาร์แอบซอร์ฟทิวิตี (ε_{max}) ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นของการดูดกลืนแสงสูงสุดในสเปกตรัม ค่า ε_{max} เป็นค่าที่แสดงความสามารถของโมเลกุลว่าดูดกลืนแสงได้มากหรือน้อย ค่า ε_{max} นี้ขึ้นอยู่กับโอกาสของการเกิดการทรานซิชัน ซึ่งอิเล็กทรอนิกทรานซิชัน แต่ละชนิดมีโอกาสที่จะเกิดแตกต่างกัน การเกิดอิเล็กทรอนิกทรานซิชันชนิดใดมีโอกาสเกิดสูง ค่า ε_{max} จะมีค่ามาก ส่วนการเกิดอิเล็กทรอนิกทรานซิชันชนิดใดมีโอกาสเกิดได้น้อย ค่า ε_{max} จะมีค่าต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 การเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมการดูดกลืนแสง

การเปลี่ยนแปลงสูตรโครงสร้างของโมเลกุลหรือตัวทำละลาย อาจมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของสาร การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีสี่ชนิด คือ

Bathochromic shift : เป็นการเปลี่ยนแปลงของ λ_{max} ไปยังความยาวคลื่นที่ยาวขึ้น หรือเรียกว่า "red shift"

Hypsochrimic shift : เป็นการเปลี่ยนแปลงของ λ_{max} ไปยังความยาวคลื่นที่สั้นลงหรือเรียกว่า "blue shift"

Hyperchromic Shift : เป็นการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของการดูดกลืนหรือค่า ε_{max} เพิ่มขึ้น

Hypochromic Shift : เป็นการลดลงของความเข้มของการดูดกลืนหรือค่า ε_{max} ลดลง

2.4 การดูดกลืนแสงของสารประกอบอินทรีย์

การดูดกลืนแสงโดยโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์จากช่วงความยาวคลื่น 180 ถึง 780 นาโนเมตร (โดยทั่วไปศึกษาตั้งแต่ความยาวคลื่น 200 นาโนเมตร) เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างโฟตอนกับอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างพันธะหรืออิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวที่อยู่ในเฮเทอรโรอะตอมพวกออกซิเจน ซัลเฟอร์ ไนโตรเจน และฮาโลเจน

ความยาวคลื่นที่โมเลกุลของสารเหล่านี้ดูดกลืนขึ้นกับความแข็งแรงของพันธะที่อิเล็กตรอนนั้นเชื่อมต่ออยู่ อิเล็กตรอนในพันธะเดี่ยว เช่น คาร์บอน-คาร์บอน หรือ คาร์บอน-ไฮโดรเจน จับยึดกันแน่น การกระตุ้นอิเล็กตรอนประเภทนี้ในช่วงอัลตราไวโอเลตสุญญากาศที่ความยาวคลื่นต่ำว่า 180 นาโนเมตร จึงไม่นิยมวิเคราะห์ โดยใช้สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของพันธะเดี่ยว เพราะการทดลองในช่วงความยาวคลื่นนี้ทำได้ยากเนื่องจากทั้งควอตซ์และส่วนประกอบต่างๆ ในบรรยากาศสามารถดูดกลืนแสงในช่วงต่ำกว่า 180 นาโนเมตรได้ ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องมือประเภทนี้ต้องทำจากลิเทียม ฟลูออไรต์และมีราคาแพง

สารประกอบอินทรีย์ที่มีพันธะคู่หรือพันธะสามจะมีการดูดกลืนแสงในช่วงอัลตราไวโอเลต เนื่องจากอิเล็กตรอนในพันธะไม่อิ่มตัวยึดกันค่อนข้างหลวมและถูกกระตุ้นได้ง่ายกว่าพันธะเดี่ยวจึงใช้พลังงานน้อยกว่าและเกิดในช่วงของแสงที่ความยาวคลื่นยาวกว่าช่วงอัลตราไวโอเลต

สารประกอบอินทรีย์ที่มีอะตอมของออกซิเจน ซัลเฟอร์ ไนโตรเจน และฮาโลเจน สามารถดูดกลืนแสงในช่วงอัลตราไวโอเลตได้เช่นกัน เพราะธาตุเหล่านี้มีอิเล็กตรอนอิสระที่ไม่สร้างพันธะซึ่งอิเล็กตรอนประเภทนี้ถูกกระตุ้นได้ง่ายกว่าอิเล็กตรอนที่สร้างพันธะของพันธะอิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 โครงสร้างโมเลกุล

อิเล็กตรอนของสารประกอบอินทรีย์ที่เกิดการดูดกลืนแสงเป็นอิเล็กตรอนวงนอกที่สร้างพันธะ (bonding electrons) ในพันธะเดี่ยวอิเล็กตรอนอยู่ใน ซิกมา-ออร์บิทัล (σ-orbitals) และเรียกว่าอิเล็กตรอนชนิดนี้ว่า ซิกมา-อิเล็กตรอน (σ-electron) ส่วนในพันธะคู่หรือพันธะสามอิเล็กตรอนอยู่ใน ไพ-ออร์บิทัล (π-orbitals) เรียกอิเล็กตรอนชนิดนี้ว่า ไพ-อิเล็กตรอน (π-electrons) นอกจากนี้คู่อิเล็กตรอนที่ไม่สร้างพันธะ (nonbonding electrons หรือ n-electrons) พลในอะตอมของธาตุออกซิเจน ซัลเฟอร์ ไนโตรเจน และฮาโลเจน เมื่ออะตอมเหล่านี้อยู่ในโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ก็สามารถดูดกลืนพลังงานแสงได้

ทั้ง σ-อิเล็กตรอน π-อิเล็กตรอน และ n-อิเล็กตรอน เป็นอิเล็กตรอนที่อยู่ในสถานะพื้นที่มีระดับพลังงานต่ำ เมื่อได้รับพลังงานการเกิดการเคลื่อนไปอยู่ในสภานะกระต้นที่มีพลังงานสูงขึ้น อิเล็กตรอนในสถานะมีพลังงานสูงนี้ว่าอิเล็กตรอนที่ต้านการสร้างพันธะ (antibonding electrons) ซึ่งมีสองชนิดคือ σ^*-อิเล็กตรอน และ π^*-อิเล็กตรอน เรียงลำดับอิเล็กตรอนตามพลังงานจากต่ำสุดไปสูงสุดจะเป็นดังนี้

$$\sigma < \pi < \mathrm{n} < \pi^* < \sigma^*$$

σ-อิเล็กตรอน มีพลังงานต่ำสุดและมีความคงตัวสูสุดเมื่อเทียบกับ π-อิเล็กตรอน และ n-อิเล็กตรอน ขณะเดียวกัน σ^*-อิเล็กตรอน ก็มีพลังงานสูงสุดเมื่อเทียบกับอิเล็กตรอนชนิดอื่นๆ การเปลี่ยนระดับพลังงานของ σ-อิเล็กตรอน จึงใช้พลังงานสูงมาก

2.4.2 อิเล็กทรอนิกทรานซิชันของโมเลกุล

การเกิดทรานซิชันในโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ เกิดได้ 6 แบบ คือ $\sigma \rightarrow \sigma^*$, $\sigma \rightarrow \pi^*$, $\pi \rightarrow \sigma^*$, $\pi \rightarrow \pi^*$, $n \rightarrow \sigma^*$ และ $n \rightarrow \pi^*$ ซึ่งการดูดกลืนพลังงานของการทรานซิชันแต่ละแบบจะเกิดในช่วงสเปกตรัมของรังสีอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลต่างๆกัน โดยทั่วไปการเกิดอิเล็กทรอนิกทรานซิชันที่พบมากมีสี่แบบ คือ

การทรานซิชันชนิด $\sigma \rightarrow \sigma^*$: การทรานซิชันชนิดนี้เกิดในสารประกอบอิ่มตัวซึ่งใช้พลังงานสูงมาก เกิดในช่วงความถี่ของแสงที่อยู่ย่านอัลตราไวโอเลตซึ่งไม่มีการศึกษามากนัก ตัวอย่างของการทรานซิชันชนิด $\sigma \rightarrow \sigma^*$ จะพบในพันธะคาร์บอน-ไฮโดรเจน ของโมเลกุลมีเธน ซึ่งมีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 125 นาโนเมตร ส่วนมีเธนมีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 135 นาโนเมตร เนื่องจากโมเลกุลของมีเธนนั้นนอกจากจะมีพันธะ คาร์บอน-ไอโดรเจน และยังมีพันธะ คาร์บอน-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

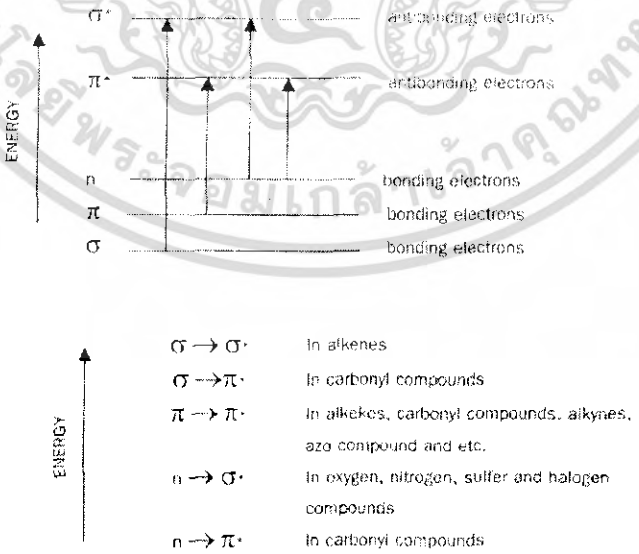
คาร์บอน ที่เป็นพันธะที่มีความแข็งแรงน้อยกว่า คาร์บอน-ไฮโดรเจน จึงเกิดการดูดกลืนแสงความยาวคลื่นที่ยาวกว่ามีเธน

การทรานซิชันชนิด $n \rightarrow \sigma^*$: สารประกอบอิ่มตัวที่มีหมู่แทนที่ชนิดเฮเทอโรอะตอมซึ่งอิเล็กตรอนคู่ที่ไม่สร้างพันธะสามารถเกิดการทรานซิชันชนิดนี้ได้ โดยทั่วไปการทรานซิชันชนิด $n \rightarrow \sigma^*$ ใช้พลังงานน้อยกว่าการทรานซิชันชนิด $\sigma \rightarrow \sigma^*$ และเกิดในช่วงของแสงความยาวคลื่นระหว่าง 150 ถึง 250 นาโนเมตร

การทรานซิชันชนิด $n \rightarrow \pi^*$ และ $\pi \rightarrow \pi^*$: การใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่วิธีทางอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลสเปคโตรสโกปีเป็นการศึกษาสารประกอบอินทรีย์ที่เกิดการทรานซิชันสองชนิดนี้ เนื่องจากการทรานซิชันทั้งสองแบบนี้จำเป็นต้องมีหมู่หรือพันธะไม่อิ่มตัวที่เรียกว่า "โครโมฟอร์" ซึ่งเป็นหมู่ที่มี π-ออร์บิทัล พลังงานที่ใช้สำหรับการดูดกลืนแสงของโครโมฟอร์นี้อยู่ในช่วงที่สะดวกในการทดลองคืออยู่ระหว่าง 200 ถึง 700 นาโนเมตร ค่า ε_{max} ของการทรานซิชันแบบ $n \rightarrow \pi^*$ โดยทั่วไปมีค่าต่ำอยู่ในช่วง 10 ถึง 100 ลิตรเซนติเมตร$^{-1}$ โมล$^{-1}$ ส่วนค่า ε_{max} ของทรานซิชันชนิด $\pi \rightarrow \pi^*$ มีค่าปานกลางถึงสูงสุดในช่วง 1,000 ถึง 10,000 ลิตร เซนติเมตร$^{-1}$โมล$^{-1}$

2.4.3 ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในโมเลกุล

ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนชนิดต่างๆในโมเลกุลเรียกว่า ระดับพลังงานอิเล็กทรอนิก (electronic energy level) ซึ่งลำดับของชั้นพลังงานเรียงตามลำดับดังรูป 2.8



รูปที่ 2.8 ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนและการทรานซิชันของอิเล็กตรอนชนิดต่างๆในโมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
76624

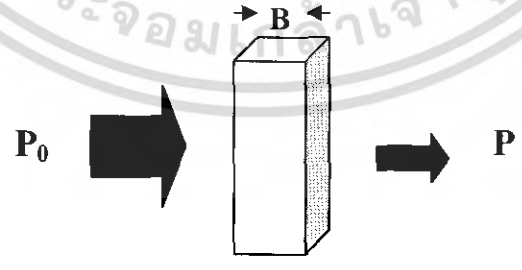
2.5 การดูดกลืนแสงเชิงปริมาณของโมเลกุล

การดูดกลืนแสงของโมเลกุลนอกจากจะให้สเปกตรัมที่มีลักษณะเฉพาะตัวแล้ว ความสัมพันธ์เชิงปริมาณในการดูดกลืนแสงของสารก็เป็นไปตามกฎของเบียร์ ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารกับปริมาณแสที่ถูกดูดกลืนดังกล่าวเป็นหลักการสำคัญของการนำวิธีทางอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปคโตรสโกปีไปประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์เป็นจำนวนมาก

2.2.1 แอบซอร์ฟชันสเปคโตรสโกปี

สเปกตรัมดูดกลืนแสงของสารละลายสามารถวัดโดยใช้ตัวอย่างทั้งในรูปก๊าซ ฟิล์มบางๆ ของของเหลว สารละลาย และของแข็ง แต่งานวิเคราะห์ส่วนมากจะเกี่ยวข้องกันสารละลายจึงมีการพัฒนาคำอธิบายในเชิงปริมาณของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกับความสามารถในการดูดกลืนแสง ขณะเดียวกันระยะที่แสงผ่านสารละลายก็มีผลต่อการดูดกลืนแสง นอกจากนี้การดูดกลืนแสงยังขึ้นกับความยาวคลื่นของแสงและธรรมชาติของสาร เมื่ออยู่ในสารละลายด้วยเช่นกัน แต่ในการพิจารณาดูการดูดกลืนแสงในปริมาณนั้นมีสมมุติฐานว่าสิ่งเหล่านี้ได้ควบคุมแล้ว

คำที่ใช้ในแอบซอร์ฟชันสเปคโตรสโกปีพิจารณาจากการดูดกลืนลำแสงรังสีของสารใดๆ ดังรูป 2.9 เมื่อลำแสงขนานผ่านเข้าไปในชั้นของสารละลายความเข้มข้น C ที่มีความหนา B เซนติเมตร จะเกิดอันตรกิริยา ระหว่างโฟตอนกับอนุภาคที่ดูดกลืนแสงได้ กำหนดให้กำลังของแสงก่อนผ่านเข้าไปยังสารละลายมีค่า P_0 และกำลังของแสงหลังผ่านสารละลายมีค่า P



รูปที่ 2.9 ภาพแสดงการดูดกลืนลำแสงรังสีของสารใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าทรานสมิทแทนซ์ (Transmittance)

ค่าทรานสมิทแทนซ์ (T) ของสารละลายเป็นค่าที่แสดงถึงการวัดปริมาณแสงในส่วนที่ไม่ถูกดูดกลืน ในรูปของสัดส่วนของแสงที่ผ่านออกมาจาสารละลาย เทียบกับแสงที่ผ่านเข้าไปสารละลายดัง สมการ (2.16)

$$T = \frac{P}{P_0} \tag{2.16}$$

โดยส่วนใหญ่ค่าทรานสมิทแทนซ์ แสดงในรูปเปอร์เซ็นต์ดังสมการ

$$\%T = \frac{P}{P_0} \times 100 \tag{2.1.7}$$

- ค่าแอบซอร์ฟแบนซ์

ค่า แอบซอร์ฟแบนซ์ (A) ของสารละลายมีความหมายดัง สมการ (2.18)

$$A = -\log_{10} T = \log \frac{P_0}{P} \tag{2.18}$$

ค่าแอบซอร์ฟแบนซ์ของสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อแสงมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับค่าทรานสมิทแทนซ์ ค่าที่อ่านจากเครื่องมือที่มีทั้งค่าทรานสมิทแทนซ์และค่าแอบซอร์ฟแบนซ์นั้น หน่วยของค่าแอบซอร์ฟแบนซ์จะเป็นหน่วยลอการิทึมของค่าทรานสมิทแทนซ์โดนค่าเปอร์เซ็นต์ทรานสมิทแทนซ์มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง

2.2.2 การวัดค่าทรานสมิทแทนซ์ และค่าแอบซอร์ฟแบนซ์

ค่าทรานสมิทแทนซ์ และค่าแอบซอร์ฟแบนซ์ ตามความหมาย ในสมการที่ (2.16) และ (2.18) นั้นเป็นการวัดเฉพาะอันตรกิริยาของแสงกับสารละลาย ซึ่งจริงๆแล้วไม่สามารถวัดได้ในห้องปฏิบัติการเนื่องจากสารละลายที่เราสนใจศึกษาต้องบรรจุอยู่ในภาชนะ และแสงสามารถเกิดอันตรกิริยากับผนังของภาชนะที่บรรจุสาร

อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นทำให้ความเข้มของแสงสูญหายไปบางส่วนที่ผิวภาชนะบรรจุเนื่องจากการสะท้อนแสงและการดูดกลืนที่อาจเกิดจากภาชนะบรรจุเอง การสะท้อนจะทำให้เกิดการสูญหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแสงมาก ตัวอย่างเช่น แสงสีเหลืองจะหายไป 8.5 เปอร์เซ็นต์จากการสะท้อนแสง เมื่อแสงนี้ผ่านตรงเข้าไปในบีกเกอร์แก้วที่บรรจุน้ำอยู่ นอกจากนี้การกระเจิงแสงเนื่องจากโมเลกุลขนาดใหญ่หรือตัวทำละลายที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันอาจทำให้ความเข้มข้นของแสงลดลงเมื่อผ่านสารละลายที่ต้องการวัดได้

การกำจัดผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวจำเป็นต้องวัดความเข้มของแสงที่ผ่านภาชนะหรือเซลล์บรรจุสารละลายที่ต้องการวัดเปรียบเทียบกับความเข้มของแสงที่ผ่านเซลล์อันเดียวกันที่บรรจุเฉพาะตัวทำละลาย ค่าแอบซอร์ฟแบนซ์ในการทดลองจึงเป็นดังสมการ

$$A = \log \frac{P_{solvent}}{P_{solution}} = \log \frac{P_0}{P} \qquad (2.16)$$

ดังนั้นจึงได้ว่า P_0 เป็นความเข้มของแสงหลังจากผ่านเซลล์ที่บรรจุเฉพาะตัวทำละลาย หรือที่เรียกว่า แบลงค์ (blank) และ P เป็นความเข้มของแสงหลังจากผ่านเซลล์อันเดียวกันหรือเซลล์ที่เหมือนกันที่บรรจุสารละลายตัวอย่าง การวัดตามวิธีนี้สามารถตัดผลของภาชนะบรรจุไปได้ทำให้ค่าแอบซอร์ฟแบนซ์เป็นไปตามกฎของเบียร์และมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริง

2.6 สเปคโตรโฟโตมิเตอร์

สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ตามผลของการวิเคราะห์ คือ

1. การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (qualitative analysis) เป็นการวิเคราะห์โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อต้องการตรวจสอบว่ามี สารชนิดนั้นๆอยู่ในตัวอย่างที่ส่งตรวจหรือไม่ผลการวิเคราะห์จึงมีการรายงานเป็นผลบวกหรือผลลบ แต่บางครั้งอาจมีการจัดลำดับขั้นของผลบวกออกเป็นช่องกว้างๆ ตามปริมาณของสารที่มีอยู่ในสารตัว อย่างคือ 1^+ 2^+ 3^+ และ 4^+ วิธีวิเคราะห์ให้ได้ผลประเภทนี้มีใช้อยู่ไม่มากนักแต่ก็มีประโยชน์มากในการตรวจสอบเบื้องต้น(secreeningtest) จึงเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป เนื่องจากวิธีวิเคราะห์ประเภทนี้มักทำได้ง่าย รวดเร็ว และประหยัด

2. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative analysis) เป็นวิธีที่ใช้กันมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการวิเคราะห์สารเคมี โดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมี เนื่องจากการวิเคราะห์ประเภทนี้ให้ผลเป็นปริมาณของสารนั้น ๆ ดังนั้นวิธีวิเคราะห์จึงต้องใช้เครื่องมือเป็นเครื่องช่วยในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำ

เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่นำมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์สารเคมีในร่างกายนั้น มีอยู่มากมายหลายชนิด และมีหลักการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันไป อย่างไรก็ตาม หลักการตรวจวิเคราะห์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้มากก็คือ สเปกโทรโฟโตเมตรีของการดูดกลืนแสง (Absorption spectrophotometry) และสเปกโทรเมตรีของการคายคลื่นแสง (Emission spectrophotomety)

สเปกโทรโฟโตเมตรีของการดูดกลืนแสงเป็นการเปรียบเทียบสีที่เกิดขึ้นจากตัวอย่างส่งตรวจกับสีของน้ำยามาตรฐาน สีที่เปรียบเทียบนี้อาจเป็นสีของตัวอย่างส่งตรวจเอง หรือสีที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมีก็ได้ โดยความเข้มของสีที่เกิดขึ้นนั้น จะเป็นปฏิภาคกับปริมาณของสารนั้น ๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่างส่งตรวจ

การเปรียบเทียบตามความเข้มของสีนั้น อาศัยหลักของการดูดกลืนแสง (absorption) ในช่วงคลื่นบางขนาด อาทิเช่น การที่เราเห็นสารละลายบางชนิดมีสีน้ำเงินก็เพราะสารละลายนั้นดูดกลืนเอาแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วยของแสงสีเหลือง ส้ม แดง ไปและยอมให้แสงที่มีสีน้ำเงินลอดผ่านไปได้เราจึงเห็นสารละลายนั้นมีสีน้ำเงิน ยิ่งสารละลายนั้นดูดกลืนแสงสีเหลืองและแดงไปมากเท่าใด เราก็จะเห็นสารละลายนั้นมีสีน้ำเงินเข้มยิ่งขึ้น ปริมาณการดูดกลืนแสงดังกล่าวนี้จึงขึ้นกับความเข้มของสีที่ปรากฏในสารละลายนั้นๆ กล่าวคือ ยิ่งมีสารที่มีสีมาก ก็จะดูดกลืนแสงในบางช่วงคลื่นได้มากด้วย

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดง Complimentary Color

Wavelength (nm)	Absorbed Color	Observed Color
400	violet	yellow - green
435	blue	yellow
495	green	purple
560	yellow	blue
650	yellow	greenish blue
800	red	bluish green

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น เมื่อให้ลำแสงผ่านเข้าไปในสารละลายที่มีสี จำนวนแสงที่ถูกดูดกลืนไปจะแสดงถึงปริมาณของสารที่มีสีในสารละลายนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อใช้ลำแสงที่มีความยาวคลื่นแสงในช่วงที่สารมีสีนั้นดูดกลืนได้มากที่สุด

เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่อาศัยหลักการเปรียบเทียบสีโดยอาศัยการดูดกลืนแสงที่ใช้บ่อยในการวิเคราะห์สารเคมีในร่างกาย คือ โฟโตมิเตอร์ที่ใช้กระจกกรองแสง (filter photometer) สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) และฟลูออโรมิเตอร์ (flourometer)

สเปกโตรโฟโตมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่มีตัวเลือกความยาวคลื่นเป็นโมโนโครเมเตอร์ เครื่องมือประเภทนี้จึงมีความสามารถการเลือกความยาวคลื่นใดก็ได้และมักมีส่วนประกอบที่ยุ่งยากซับซ้อน เครื่องมือกลุ่มนี้ได้แก สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดลำแสงเดี่ยวที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดความยาวคลื่นคู่ ฯลฯ โมโนโครเมเตอร์ที่ใช้ยิ่งดีขึ้นก็ยิ่งทำให้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ทำงานได้หลายอย่างมากขึ้น

เครื่องมือกลุ่มนี้ส่วนใหญ่มีราคาแพง ซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบและความสามารถในการทำงานพิเศษของเครื่องมือแต่ละชนิด เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์มีทั้งชนิดลำแสงเดี่ยวชนิดลำแสงคู่และชนิดหลายช่องแสง บางส่วนออกแบบให้วัดได้เฉพาะในช่วงวิสิเบิล เครื่องมือส่วนมากจะวัดได้ทั้งช่วงอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิล และมีเครื่องมือจำนวนเล็กน้อยที่สามารถวัดได้ตั้งแต่ช่วงอัลตราไวโอเลตไปจนถึงช่วงอินฟราเรดย่านใกล้ (ช่วง 185 ถึง 3,000 nm)

ปัจจุบันเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์นิยมใส่ไมโครคอมพิวเตอร์เข้าไปทำหน้าที่ควบคุมโปรแกรมของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น กระแสจากแหล่งกำเนิด การตั้งค่าความยาวคลื่นของโมโนโครมิเตอร์และความกว้างของช่องแสง และมีการเติมหน่วยจัดเก็บความจำระยะสั้น (ROM) เพื่อใช้ในการคำนวนค่าแอบซอร์ฟแบนซ์ เก็บข้อมูลการคำนวณหรือการเทียบมาตรฐานของสารที่ทำการวิเคราะห์แล้ว คำนวนค่าแอบซอร์ฟแบนซ์ การควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ยังสามารถทำการแก้ค่าความผิดพลาดบางอย่างได้ เช่น แสงที่หลุดแยกออกมาและความแตกต่างของเส้นฐาน การแก้ไขทำไดเคราบเท่าที่ปริมาณที่คำนวนยังให้ผลที่ใกล้เคียงกันทุกครั้งและค่าที่วัดยังคงเป็นฟังก์ชันกับความยาวคลื่น ยิ่งไปกว่านั้นความแม่นยำจากการอ่านค่าเชิงตัวเลข ทำให้ความแม่นยำสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงข้อดีและข้อเสียของเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ทำงานได้ครอบคลุมหมดทั้งช่วงของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงและช่วงของโมโนโครเมเตอร์ที่ใช้	1. แสงที่ผ่านออกมาลดลงเพราะมีส่วนประกอบทางแสงจำนวนมาก
2. สามารถแยกความยาวคลื่นได้ดี	2. มีความทนทานน้อย
3. ความแม่นยำของความยาวคลื่นมีมากตามความแม่นยำของโมโนโครเมเตอร์ที่ตั้งไว้	3. ราคาสูงและต้องบำรุงรักษามาก

เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ลำแสงเดี่ยวที่ใช้ในช่วงอัลตราไวโอเลตวิสิเบิล

เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์จำนวนมากเป็นชนิดลำแสงเดี่ยวที่ใช้ทั้งการวัดในช่วงอัลตราไวโอเลตและช่วงวิสิเบิล ความยาวคลื่นด้านล่างมีตั้งแต่ 190 - 210 nm และความยาวด้านบนมีถึง 800 - 1000 nm เครื่องมือประกอบด้วยอุปกรณ์ให้มีทั้งหลอดทังสเตน และหลอด ไฮโดรเจนหรือหลอด ดิวเทอร์เรียม ที่เปลี่ยนกันไปมาได้ ส่วนมากมีเครื่องวัดชนิดหลอดโฟโตมัลติฟายเออร์และมีเกรทติงโมโนโครเมเตอร์ เป็นตัวเลือกความยาวคลื่น เกณฑ์มาตราฐานของเครื่องโดยทั่วไปแถบความกว้างมีตั้งแต่ 2 - 8 nm ความถูกต้องของความยาวคลื่นอยู่ในช่วง ±0.5 - ±0.2 nm

ส่วนมากเครื่องมือประเภทนี้พัฒนาสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณ มีการออกแบบให้เป็นแบบง่ายๆ มีความทนทานและต้องการการบำรุงรักษาน้อย เครื่องมือประเภทนี้จำนวนน้อยที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์เชิงคุณภาพที่ต้องมีการสแกนสเปกตรัม คอมพิวเตอร์ยังให้ทางเลือกอื่นจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการประมวลข้อมูลและการนำเสนอข้อมูล เช่น ค่าล็อกของแอบซอร์ฟแบนซ์ ค่าทรานสมิทแทนซ์ ค่าอนุพันธ์ ภาพสเปกตรัมที่ซ้อนทับกันหลายภาพ การสแกนซ้ำหลายๆครั้ง การคำนวณค่าความเข้มข้น การหาตำแหน่งจุดยอดสูงสุดและความสูงของยอด การวัดกลไกลการเปลี่ยนแปลง ฯลฯ

2.6.1 อุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ มีดังนี้

1. แหล่งกำเนิดรังสี (Source) : แหล่งกำเนิดรังสีในสเปคโตรโฟโตรมิเตอร์ที่นิยมใช้กันแพร่หลายมี ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. หลอดไฮโดรเจนและหลอดดิวทีเรียมความดันต่ำ เป็นแหล่งกำเนิดรังสีต่อเนื่องที่ดีที่สุดตั้งแต่ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 160-360 nm มีทั้งประเภทใช้ศักดาไฟฟ้าสูง (2,200-6,600 โวลต์) และประเภทใช้ศักดาไฟฟ้าต่ำ (ประมาณ 40 โวลต์) หลอดชนิดนี้ให้รังสีที่มีความเข้มสูงจนถึงความยาวคลื่นประมาณ 360 nm หลังจากนั้นความเข้มของรังสีจะลดลงอย่างรวดเร็ว

ข. หลอดทังสเตน ประกอบด้วยลวดทังสเตนอยู่ในหลอดสุญญากาศซึ่งให้รังสีที่มีความยาว คลื่นตั้งแต่ช่วง UV ใกล้ ช่วงแสงที่แลเห็นได้จนถึงช่วง IR หลอดชนิดนี้มีราคาและหาได้ง่ายในท้องตลาด

2. โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator) : โมโนโครเมเตอร์เป็นชิ้นส่วนสำคัญในการกำหนดคุณภาพของสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ทำหน้าที่แยกลำรังสีที่มีความยาวคลื่นต่อเนื่องออกเป็นลำรังสีความยาวคลื่นเดียว ในช่วงแสงที่แลเห็นได้อาจใช้ปริซึมแก้ว ส่วนในช่วง UV จำเป็นต้องใช้ปริซึมที่ทำด้วยควอตซ์สำหรับสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ที่มีราคาแพง มักใช้โมโนโครเมเตอร์แบบ diffraction grating ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีร่องเป็นจำนวนมากและความกว้างของร่องใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของรังสี

3. อุปกรณ์บันทึกสัญญาณ (Recorder) : หลังจากที่ลำรังสีความยาวคลื่นเดียวผ่านสารที่ต้องการวัดการดูดกลืนแล้ว จะไปตกที่อุปกรณ์รับสัญญาณซึ่งให้ข้อมูลการดูดกลืนแก่เรา ข้อมูลนี้จะปรากฏออกมาในรูปการบ่ายเบนของเข็มบนหน้าปัดมิเตอร์ หรือปรากฏเป็นตัวเลขก็ได้ ในกรณีเช่นนี้ ต้องบันทึกข้อมูลเหล่านี้สำหรับแต่ละความยาวคลื่นในกระดาษกราฟ เส้นที่เชื่อมจุดต่าง ๆ ก็คือสเปคตรัมนั่นเอง สำหรับสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ที่สามารถเปลี่ยนความยาวคลื่นเองโดยอัตโนมัติจะมีอุปกรณ์บันทึกสัญญาณอยู่ด้วย สามารถบันทึกออกมาเป็นสเปคตรัมได้โดยตรง สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดนี้มีราคาแพง

4. เซลล์บรรจุสารตัวอย่าง : เนื่องจากแก้วธรรมดาดูดกลืนรังสีในช่วง UV จึงจำเป็นต้องใช้เซลล์ที่ทำด้วยควอตซ์แทน เซลล์ที่นิยมใช้มีความหนา 1.00 ซม. การรักษาความสะอาดเซลล์เป็นเรื่องสำคัญมากสำหรับการวัดสเปกตรัม ไม่ควรปล่อยให้ตัวทำละลายระเหยไปจนเหลือสารตัวอย่างติดอยู่กับเซลล์ ควรล้างเซลล์ให้สะอาดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์หรือน้ำกลั่นตามความเหมาะสม เช็ดผิวภายนอกเซลล์ด้วยกระดาษเช็ดเซลล์แล้วปล่อยให้แห้งในอากาศก็เป็นการเพียงพอ ไม่ควรใช้กรดโครมิค ล้างเซลล์ ควรแยกเซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายของสารอินทรีย์ ออกจากเซลล์ที่บรรจุสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนินทรีย์ เพื่อให้ง่ายต่อการล้างทำความสะอาด เซลล์ควอตซ์นี้มีราคาแพงจึงควรเก็บรักษาไว้อย่างดีที่สุด

2.6.2 ชนิดของสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

นอกจากนี้เรายังแบ่งสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภทด้วยกันคือ

1. Single-Beam Spectrophotometer ซึ่งเป็นสเปคโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำรังสีเดี่ยว และสามารถวัดสเปกตรัมทั้งในช่วง UV และช่วง visible จะเห็นได้ว่าเมื่อลำรังสีออกจากแหล่งกำเนิดรังสี ซึ่งอาจจะเป็นหลอดติวทีเรียมหรือหลอดทังสเตนแล้ว จะผ่านเลนส์กระจกต่าง ๆ โมโนโครเมเตอร์ที่เป็น grating เลนส์ต่าง ๆ สารตัวอย่าง แล้วจึงเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจรับ สัญญาณตลอดเส้นทางของลำรังสีนี้มีลำรังสีเพียงลำเดียว จึงเรียกสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้ว่าแบบลำรังสีเดี่ยว พึงสังเกตว่าเมื่อ grating หมุนทำมุมกับลำรังสีที่มาตกกระทบ ตัวเลขบนหน้าปัดของเครื่องจะแสดงว่าในขณะนั้นรังสีที่ผ่าน grating มีความยาวคลื่นเท่าใดเนื่องจากสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้ใช้ลำรังสีเพียงลำเดียวผ่านจากโมโนโครเมเตอร์ไปสู่สารละลายที่ต้องการวัดลำรังสีนี้จะไปสู่อุปกรณ์ตรวจรับสัญญาณเลย การวัดแต่ละครั้งจึงต้องใช้เซลล์ 2 เซลล์ให้ลำรังสีผ่านสลับกัน เซลล์แรกบรรจุตัวทำละลายบริสุทธิ์ ส่วนเซลล์หลังบรรจุสารละลายที่ต้องการวัด ทุกครั้งที่วัดต้องให้ลำรังสีผ่านเซลล์แรก ปรับเครื่องให้อยู่ในตำแหน่ง "ศูนย์" แล้วจึงให้ลำรังสีผ่านเซลล์หลังความแตกต่างระหว่างการดูดกลืนรังสีของทั้ง 2 เซลล์จะปรากฏบนหน้าปัดมิเตอร์ ทำเช่นนี้เรื่อยไปสำหรับทุกความยาวคลื่นที่ต้องการวัดแล้วนำข้อมูลที่ได้ไปบันทึกเป็นสเปคตรัมต่อไป ก่อนใช้สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ประเภทลำรังสีเดี่ยว ควรให้เวลาเครื่องมือได้ปรับตัวอย่างน้อย 15-20 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าหลอดดิวทีเรียมหรือหลอดทังสเตนให้รังสีที่มีความเข้มสม่ำเสมอ

2. Double-Beam Spectrophotometer ซึ่งใช้โมโนโครเมเตอร์แบบ double pass ลำรังสีจะผ่านโมโนโครเมเตอร์ 2 ครั้งด้วยกัน ทำให้ได้ลำรังสีความยาวคลื่นเดียวอย่างมีประสิทธิภาพและความละเอียดมากขึ้น เมื่อออกจาก exit slit แล้ว ลำรังสีจะไปสู่อุปกรณ์ตัดลำรังสี (beam chopper)ซึ่งในกรณีนี้เป็นแผ่นวงกลมซึ่งครึ่งหนึ่งเป็นโลหะและอีกครึ่งหนึ่งเป็นช่องว่างอุปกรณ์นี้จะหมุนอยู่ตลอดเวลา เมื่อลำรังสีตกกระทบครึ่งวงกลมที่เป็นโลหะ ก็จะสะท้อนไปผ่านสารตัวอย่าง ในขณะต่อมาลำรังสีจะผ่านครึ่งวงกลมที่เป็นช่องว่างและทะลุไปผ่านสารอ้างอิง ด้วยวิธีนี้ ลำรังสีลำเดี่ยวที่ผ่านโมโนโครเมเตอร์จะถูกอุปกรณ์ตัดลำรังสีแยกออกเป็นลำรังสีสองลำที่มีความเข้มเท่ากันตลอดเวลา เมื่อลำรังสีทั้งสองนี้ไปตกกระทบ phototube ความแตกต่างของความเข้มจะกลายเป็นสัญญาณส่งต่อไปยังอุปกรณ์บันทึกสัญญาณต่อไปในการใช้สเปคโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำรังสีคู่ ไม่จำเป็นต้องอุ่นเครื่องนานเหมือนเครื่องแบบลำรังสีเดี่ยวทั้งนี้ เพราะไม่ว่าแหล่งกำเนิดรังสีจะให้ความเข้มสูงหรือต่ำเพียงใด ลำรังสีทั้งสองที่อุปกรณ์ตัดลำรังสีแยกออกคงมีความเข้มเท่ากันเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้มักจะมีอุปกรณ์บันทึกสัญญาณติดอยู่ด้วยและสามารถเปลี่ยนความยาวคลื่นไปตลอดเวลาพร้อมกับบันทึกสเปคตรัมในเวลาเดียวกันเครื่องแบบนี้จึงมีราคาค่อนข้างแพง

2.6.3 ความรู้เบื้องต้นเรื่อง เทคนิคทาง Spectrophotometer

เป็นการศึกษาด้านการกระทำร่วม (Interaction)ระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือคลื่นแสงกับสสาร(atom),(molecule)Interaction ระหว่างคลื่นแสงกับสสาร

1. การดูดกลืนคลื่นแสง (Absorption) สสารสามารถดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงคลื่นเฉพาะ
2. การคายคลื่นแสง (emission) การที่ส่วนหนึ่งของพลังงานภายในของสสารถูกเปลี่ยนเป็น พลังงานแสง
3. การกระเจิง (Scatter) หรือการสะท้อนกลับ (Reflection)

2.6.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วย Spectrophotometer

- เตรียมสารละลายตัวอย่าง และสารละลายมาตรฐาน
- เลือกความยาวคลื่นที่ต้องการ
- วัดค่าดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน และสารละลายตัวอย่าง
- สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนคลื่นแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน
- อ่านค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างจาก กราฟมาตรฐาน

2.7 คลอรีน

คลอรีน (Chlorine) ปรากฏมากในธรรมชาติมีน้ำหนักมากกว่าอากาศ 2.5 เท่า มีกลิ่นเหม็นอย่างรุนแรง และเป็นพิษอย่างร้ายแรง เป็นตัวออกซิไดซ์ ฟอกขาว และฆ่าเชื้อได้เป็นอย่างดีและจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ รวมถึงมนุษย์ด้วย ในรูปของก๊าซ คลอรีนมีสีเขียวอมเหลือง

2.7.1 คลอรีนมีประโยชน์ดังนี้

1. ใช้ฆ่าเชื้อ แบคทีเรีย และจุลินทรีย์ใน น้ำดื่ม และน้ำในสระว่ายน้ำ
2. ใช้ในอุตสาหกรรมผลิต กระดาษ ทำยาฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ทำสีผสมอาหาร ยาฆ่าแมลง สีผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม พลาสติก เวชภัณฑ์ เคมีอุตสาหกรรมเท็กไทค์ ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ในทาง อินทรีย์เคมี ใช้ธาตุนี้เป็นออกซิไดซิ่งเอเจนต์ และใน ซับสทิทิวชัน(substitution) เพราะคลอรีนมีคุณสมบัติเคมีที่ต้องการใน สารประกอบอินทรีย์ เมื่อเข้าไปแทนที่ไฮโดรเจน(ในการผลิตยางสังเคราะห์)

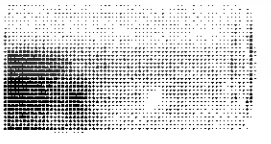
4. ใช้ในการผลิตคลอเรต (chlorates),เช่น คลอโรฟอร์ม (chloroform), คาร์บอนเตตร้าคลอไรด์ (carbon tetrachloride),และใช้ในการสกัลป์โบรมีน

2.7.2 แหล่งที่พบและการผลิต

ในธรรมชาติคลอรีนอยู่ในรูปของ คลอไรด์ไอออน(chloride ion) หรือเป็นรูปของ เกลือ ซึ่งละลายอยู่ในน้ำทะเลประมาณกันว่ามีอยู่ราว 1.9 %ของมวลน้ำทะเลใน มหาสมุทร ความเข้มข้นของ คลอไรด์ไอออน ที่มากกว่าในน้ำทะเลได้แก่น้ำใน ทะเลเดดซี (Dead Sea) และน้ำในเหมืองเกลือใต้ดิน ในอุตสาหกรรมธาตุคลอรีนผลิตได้โดยปฏิกิริยา อิเล็กโทรไลสิส (electrolysis) โซเดียมคลอไรด์ ที่ละลายในน้ำ กระบวนการนี้เรียกว่า กระบวนการคลอร์อัลคะไล ซึ่งนอกจากได้คลอรีนแล้วยังมีผลพลอยได้ ไฮโดรเจน และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ด้วย, ตาม สมการเคมี

$$2\,NaCl + 2\,H_2O \longrightarrow Cl_2 + H_2 + 2\,NaOH$$

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงคุณสมบัติทั่วไปของคลอรีน

ตารางแสดงคุณสมบัติทั่วไปของคลอรีน	
ชื่อ, สัญลักษณ์, หมายเลข	คลอรีน, Cl, 17
อนุกรมเคมี	แฮโลเจน
หมู่, คาบ, บล็อก	17, 3, p
ลักษณะ	เขียวอมเหลือง 
มวลอะตอม	35.453(2) กรัม/โมล
การจัดเรียงอิเล็กตรอน	[Ne] $3s^2\ 3p^5$
อิเล็กตรอนต่อระดับพลังงาน	2, 8, 7
คุณสมบัติทางกายภาพ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟส				ก๊าซ		
จุดหลอมเหลว				171.6 K (-101.5 °C)		
จุดเดือด				239.11 K(-34.04 °C)		
ความร้อนของการหลอมเหลว				(Cl_2) 6.406 กิโลจูล/โมล		
ความร้อนของการกลายเป็นไอ				(Cl_2) 20.41 กิโลจูล/โมล		
ความร้อนจำเพาะ				(25 °C) (Cl_2) 33.949 J/(mol·K)		
ความดันไอ						
P/Pa	1	10	100	1k	10k	100k
ที่ *T* K	128	139	153	170	197	239
คุณสมบัติของอะตอม						
โครงสร้างผลึก				orthorhombic		
สถานะออกซิไดเซชัน				±1, 3, 5, 7 (กรดแก่)		
อิเล็กโตรเนกาติวิตี				3.16 (Pauling scale)		
พลังงานไอออไนเซชัน (เพิ่มเติม)				ระดับที่ 1: 1251.2 กิโลจูล/โมล ระดับที่ 2: 2298 กิโลจูล/โมล ระดับที่ 3: 3822 กิโลจูล/โมล		
รัศมีอะตอม				100 pm		
คุณสมบัติของอะตอม(ต่อ)						
รัศมีอะตอม (คำนวณ)				79 pm		
รัศมีโควาเลนต์				99 pm		
รัศมีวานเดอร์วาลส์				175 pm		
อื่น ๆ						
การจัดเรียงทางแม่เหล็ก				ไม่เป็นแม่เหล็ก		
ความต้านทานไฟฟ้า				(20 °C) > 10 Ω·m		
การนำความร้อน				(300 K) 8.9 mW/(m·K)		
ความเร็วเสียง				(ก๊าซ, 0 °C) 206 m/s		
เลขทะเบียน CAS				7782-50-5		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 คลอรีน กับน้ำดื่ม

ทุกวันนี้ การนำคลอรีนไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ เช่น การฆ่าเชื้อโรคในสระว่ายน้ำ นำไปใช้เป็นส่วนของน้ำยาล้างห้องน้ำ และนำไปใช้เตรียมน้ำสำหรับเลี้ยงกุ้ง จากการศึกษาวิจัย พบว่า ถ้าใส่คลอรีนในปริมาณที่เหมาะสม คือใส่ประมาณ 2 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร (2 ส่วนต่อล้านส่วน) จะสามารถฆ่าเชื้อโรคในน้ำดื่มที่เรากักเก็บในภาชนะได้พอดี และไม่ทำอันตรายต่อผู้ที่นำน้ำนั้นไปดื่มด้วย แต่จะพบว่า น้ำยังคงมีกลิ่นฉุนของคลอรีน ถ้าไม่ชอบกลิ่นนี้ ก็สามารถทิ้งไว้ค้างให้ระเหยไปก่อนนำมาใช้และดื่มได้ ซึ่งใช้เวลาประมาณชั่วข้ามคืน

รูปที่ 2.10 ก๊าซคลอรีน คลอรีนผง และคลอรีนน้ำ

ตารางที่ 2.5 ตารางแสดงคุณสมบัติประเภทต่างๆ ของคลอรีน

ลักษณะ • ก๊าซสีเขียว, เหลือง • กลิ่นฉุน	ลักษณะ • ผงสีขาวคล้ายแป้ง • กลิ่นฉุน	ลักษณะ • น้ำสีเขียวอ่อน • กลิ่นฉุน
• เหมาะสำหรับ ระบบการผลิตน้ำที่ต้องมีผู้ดูแลเป็นชำนาญการ • ต้องขอใบอนุญาตการใช้	• เหมาะสำหรับระบบประปาหมู่บ้าน • เหมาะสำหรับใช้ในครัวเรือน • หาซื้อได้ตามร้านขายเคมีภัณฑ์ทุกจังหวัด	• เหมาะสำหรับในครัวเรือน • มีอายุการใช้งานสั้นกว่าคลอรีนรูปแบบอื่น • หาซื้อได้ตามร้านขายเคมีภัณฑ์ทุกจังหวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 หลักการวิเคราะห์คลอรีน

1. การวิเคราะห์ปริมาณคลอรีนในน้ำมีหลายวิธี แต่ที่นำเสนอเป็นวิธีที่ง่ายๆ และนำเสนอเฉพาะการดัดแปลงมาเป็นชุดทดสอบเบื้องต้นเท่านั้น โดยใช้สารเคมี 3 ตัว คือ โปตัสเซียมไอโอไดด์ (KI) ฟอร์มาลิน และแป้งมัน

2. หลักการวิเคราะห์คลอรีนในน้ำที่จะนำเสนอดัดแปลงจากวิธี 408A (APHA 1980) ชื่อวิธี Iodometric method 1มีหลักการที่ง่ายๆ คือ ใส่ สารเคมีชื่อ โปตัสเซียมไอโอไดด์ (KI) ผสมกับน้ำแป้งลงในน้ำ หากในน้ำมีคลอรีน ตัวคลอรีนจะทำปฏิกิริยากับโปตัสเซียมไอโอไดด์ (KI) ที่เราใส่ลงไป ทำให้ไอโอดีนถูกขับออกมา (Chlorine will liberate free iodine from KI) เกิดเป็นสารสีเหลือง แต่เมื่อเจอกับน้ำแป้งก็จะเปลี่ยนเป็น สีน้ำเงิน หากในน้ำมีคลอรีนมาก ไอโอดีนก็จะถูกขับออกมามาก สีน้ำเงิน ก็จะเข้มมากตามไปด้วย

3. ดังนั้นหากในน้ำมีคลอรีนน้อย สีน้ำเงิน ก็จะจาง หากในน้ำมีคลอรีนมาก สีน้ำเงิน ก็จะเข้ม การเปรียบเทียบความเข้มของ สีน้ำเงิน ก็พอจะรู้ปริมาณคลอรีนได้อย่างกว้างๆ

4. แต่หากต้องการทราบปริมาณคลอรีนอย่างละเอียด วิธี 408 A (APHA 1980) ก็จะใช้วิธี Tritration ด้วยการหยดสารละลาย โซเดียมไธโอซัลเฟต ที่ทราบความเข้มข้นลงไป (0.01N) ก็สามารถคำนวณหาปริมาณคลอรีนที่แท้จริงจากปริมาณโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไปจนทำให้สีน้ำเงินจางหายไปได้

5. ไม่นำเสนอวิธี ไตเตรชั่น เพราะทางปฏิบัติแล้ว พอดูปริมาณคลอรีนจากความเข้มของสีน้ำเงินได้ และสิ่งที่ต้องการมากที่สุด คือ ดูว่าในน้ำที่จะนำมาใช้ไม่มีคลอรีนหลงเหลืออยู่

6. สำหรับความเข้มข้นทางเคมีนิยมใช้หน่วย น้ำหนักของคลอรีนต่อปริมาตรน้ำ 1 ลิตร คือ มิลลิกรัมคลอรีน/ลิตร หรือ mg Cl as Cl_2/L แต่เขียนสั้นๆเป็น มิลลิกรัม/ลิตร หรือ มก./ล. ก็เป็นที่เข้าใจกัน แต่บางครั้งในรายงานบางฉบับ อาจใช้เป็นน้ำหนักของเม็ดคลอรีนก็มี โดยมักเป็นหน่วย กรัม/ลูกบาศก์เมตร หรือ พีพีเอ็ม หรือ ส่วนในล้านส่วน (ค่าเท่ากับ มิลลิกรัม/ลิตร) ซึ่งหากใช้เป็นน้ำหนักของเม็ดคลอรีน ความเข้มข้นคลอรีนจริงจะน้อยกว่า เพราะคลอรีนเม็ดจะมีเปอร์เซ็นต์คลอรีนไม่เต็มร้อยเปอร์เซ็นต์

2.8 การวิเคราะห์ทางสเปกโทรสโกปี (Spectroscopic methods)

ในธรรมชาติจะพบเสมอว่าสสารสามารถดูดกลืน (Absorb) รังสีหรือแสง (radiation or light) ได้แตกต่างกัน ทำให้วัตถุเหล่านั้นมีสีสันแตกต่างกันออกไป การนำสมบัติเหล่านี้มาวิเคราะห์สสารเป็นการวิเคราะห์ได้ทั้งทางคุณภาพและปริมาณสเปกโทรสโกปี (spectroscopy) หมายถึงการ

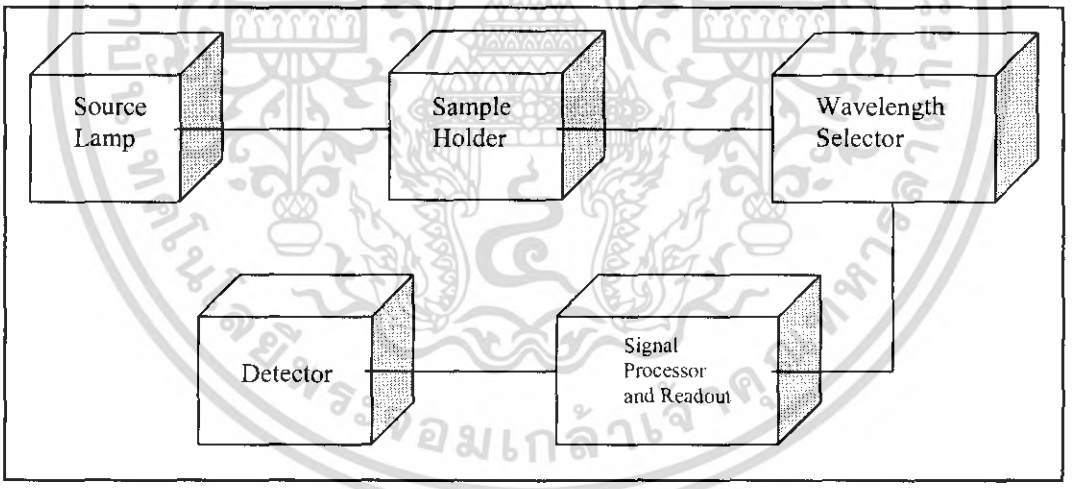
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แยกการตรวจจับและการบันทึกของพลังงานที่เปลี่ยนไป เกี่ยวกับนิวเคลียส อะตอมไอออน หรือโมเลกุล พลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นเนื่องจากการเกิดอีมิสชัน(Emission)

การดูดกลืน (Absorption) การกระเจิง (scattering) ของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าหรือของอนุภาค เทคนิคนี้ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาทางเคมีอย่างกว้างขวางและหลากหลายด้วยหลักการอย่างเดียวกัน 1 คือ อาศัยการเกิดอัตราการิยากับสสารเหล่านั้น

ส่วนประกอบของเครื่องมือที่ใช้ทางสเปคโตรสโกปีทั่วไปประกอบด้วยห้าส่วน คือ

1. แหล่งกำเนิดแสง
2. ส่วนบรรจุสารตัวอย่างที่โปร่งใส
3. ส่วนประกอบที่ทำหน้าที่แยกสเปกตรัมสำหรับการวัด
4. เครื่องวัดรังสีที่เปลี่ยนพลังงานรังสีให้เป็นพลังงานไฟฟ้า
5. เครื่องประมวลผลและอ่านผล



รูปที่ 2.9 การจัดวางส่วนประกอบของเครื่องมือ แบบ absorption รายละเอียดต่างๆของอองค์ประกอบและวัสดุที่ใช้ในแต่ละส่วนของเครื่องมือสำหรับวัดการดูดกลืนแสงอัลตร้าไวโอเลตและวิสิเบิล

2.9 การดูดกลืนแสงของสารในช่วงแสงที่ตามองเห็น

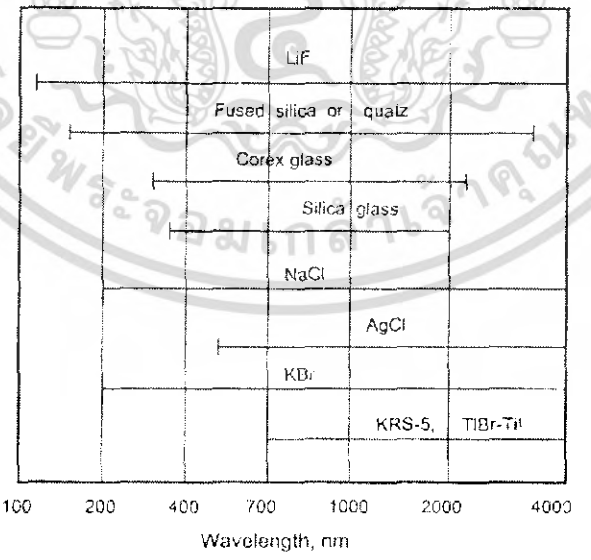
สารที่ต้องการหาปริมาณจะต้องมีสีหรือสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นแล้วทำให้เกิดสารที่มีสี ในทางทฤษฎี สารละลายที่มีสีที่ใช้ในงานวิเคราะห์ควรมีสมบัติดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สีของสารควรมีความเข้มมากพอที่จะวัดค่าการดูดกลืนแสงได้
2. สีของสารที่อยู่ในสารละลายจะต้องอยู่ตัวไม่จางลงอย่างรวดเร็ว
3. สีของสารจะต้องไม่เปลี่ยนแปลงหรือจางลง เมื่อ pH หรืออุณหภูมิของสารละลายเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย
4. สารรีเอเจนต์ที่ทำให้เกิดสีกับสารที่เราต้องการวิเคราะห์จะต้องไม่มีสี หรือไม่ดูดกลืนแสงที่มีช่วงคลื่นเดียวกับสารที่มีสีที่เกิดขึ้น
5. ปฏิกิริยาของรีเอเจนต์ที่ทำให้เกิดสารที่มีสีกับสารที่ต้องการวิเคราะห์ จะต้องใช้สารที่มีสีชนิดเดียวเท่านั้น

2.10 ส่วนบรรจุสารตัวอย่าง

ส่วนบรรจุสารตัวอย่างมีชื่อเรียกทั่วไปว่า "เซลล์" (Cells) หรือ "คิวเวต" (cuvette) ส่วนบรรจุสารต้องทำจากวัสดุโปร่งใสที่ยอมให้แสงในช่วงที่ศึกษาผ่านโดนไม่เกิดการดูดกลืนช่วงความยาวคลื่นที่ยอมให้แสงผ่านของวัสดุชนิดต่างๆ ควอทซ์ (Quartz) และซิลิกาหลอม (fused silica) โปร่งใสทั้งในช่วงอัลตราไวโอเลต และวิสิเบิล แก้วทำจาก ซิลิกา (silicated glass) นั้นโปร่งใสจากช่วงความยาวคลื่น 350 ถึง 2,000 nm จึงใช้งานได้เฉพาะช่วงวิสิเบิลไม่สามารถใช้ในช่วงอัลตราไวโอเลต พลาสติกสามารถใช้ได้ในช่วงวิสิเบิลเช่นกัน แต่ไม่นิยมเท่าใดนัก



รูปที่ 2.12 ช่วงการโปร่งใสของวัสดุชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์ที่ดีต้องมีหน้าต่างที่ตั้งฉากกับทางเดินของแสง เพื่อให้เกิดการสะท้อนน้อยที่สุด เครื่องมือส่วนมากมีเซลล์เป็นคู่ที่เข้ากันสำหรับบรรจุตัวอย่างและตัวทำละลายเพื่อใช้ในการวัดพร้อมกัน คุณภาพของข้อมูลการดูดกลืนแสงขึ้นอยู่กับการดูแลรักษาเซลล์คู่ที่เข้ากัน รอยขีดข่วน รอยนิ้วมือ คราบมันหรือสิ่งอื่นที่ติดอยู่บนเซลล์จะเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะในการยอมให้แสงผ่านของเซลล์ได้อย่างชัดเจน การทำความสะอาดทั้งก่อนและหลังใช้เซลล์เป็นสิ่งที่ต้องทำและต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง ควรหลีกเลี่ยงการซับที่บริเวณหน้าต่างของเซลล์ขณะที่ใช้ ห้ามทำให้เซลล์แห้งโดยการทำให้ร้อนในเตาหรือเปลวไฟ เพราะจะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของเซลล์เสียหายไปหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของระยะที่แสงผ่านไป

2.11 ซิลิกอนไดโอด หรือ โฟโตไดโอด

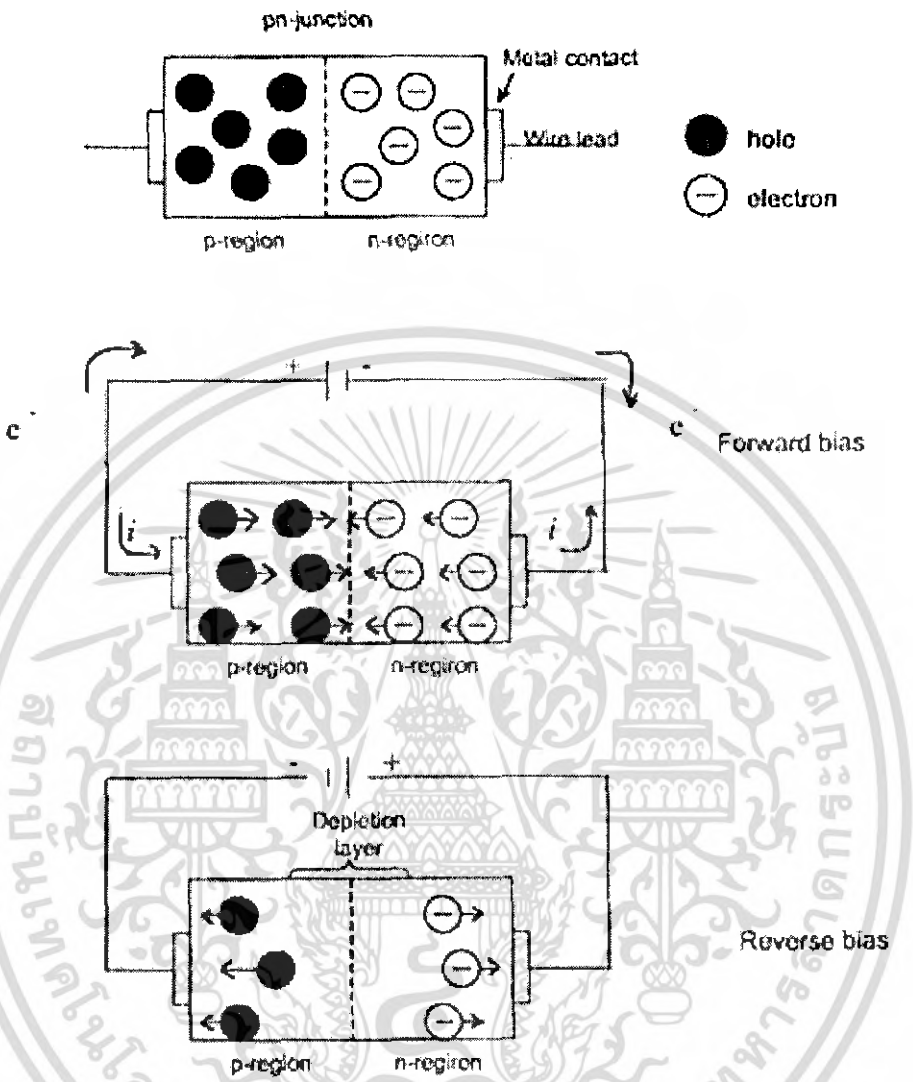
ซิลิกอนไดโอด หรือ โฟโตไดโอด ทำจากซิลิกอนชิฟซึ่งเป็นวัสดุกึ่งตัวนำ ประกอบด้วยรอยต่อพีเอ็น (pn-junction) โดนส่วน n-region มีอิเล็กตรอนซึ่งสามารถเคลื่อนที่และนำไฟฟ้าได้ และส่วน p-region มีหลุมประจุบวกซึ่งอิสระในการเคลื่อนที่และนำไฟฟ้าได้ดังรูป 2.11 (ก)

รูปที่ 2.11 (ข) แสดงรอยต่อพีเอ็นในสภาวะนำไฟฟ้าโดยแหล่งไฟฟ้ากระแสตรงด้านบวกต่อกับด้าน p และ ด้านลบต่อกับด้าน n อิเล็กตรอนที่มากเกินพอใน n และ หลุมบวกใน p เคลื่อนที่เข้าหารอยต่อแล้วผสมเข้ากัน ด้านลบนั้นให้อิเล็กตรอนตัวใหม่เข้าไปใน n ส่วนด้านบวกนั้นสกัดอิเล็กตรอนจาก p ทำให้เกิดการสร้างหลุมใหม่ที่อิสระในการเคลื่อนที่ไปยังรอยต่อ เรียกสภาพของไดโอดแบบนี้ว่า "forward biasing"

รูปที่ 2.11 (ค) แสดงรอยต่อพีเอ็นในสภาวะ "reversed biasing" เป็นการให้ศักย์ไฟฟ้าระหว่าง n-region กับ p-region กลับด้านกับสภาวะ forward biasing ทำให้อิเล็กตรอนและหลุมเคลื่อนที่ไปทิศทางตรงกันข้าม สภาวะแบบนี้ทั้งหลุมบวกและอิเล็กตรอนถูกดึงออกไปจากรอยต่อทิ้งให้เกิดบริเวณที่การนำไฟฟ้ามีน้อยมากเกือบเป็นศูนย์ที่เรียกว่า "depletion layer" ไอโอดในสภาวะ reversed biasing นี้มีการนำไฟฟ้าเพียง 10^{-6} ถึง 10^{-8} เท่าของสภาวะ forward biasing

ซิลิกอนไดโอดในสภาวะ reversed biasing ทำหน้าที่เป็นตัววัดแสง เมื่อแสงตกกระทบบริเวณ depletion layer โฟตอนจากแสงมีพลังงานมากพอที่จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนและหลุมบวกในบริเวณ depletion layer จึงเกิดการนำไฟฟ้าและกระแสอีกครั้ง แระแสที่เกิดขึ้นนี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสง เครื่องวัดแสงชนิดแถวโฟโตไอโอดใช้กับสเปกตรัมช่วงตั้งแต่ 190 ถึง 1,100 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แผนภาพแสดงการทำงานของเครื่องวัดแสงซิลิกอนไอโอด

(ก) ส่วนประกอบของซิลิกอนไดโอด

(ข) ซิลิกอนไดโอดในสภาวะ forward biasing และการไหลของกระแสไฟฟ้า

(ค) ซิลิกอนไดโอดในสภาวะ reversed biasing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินการโครงงาน

การดำเนินงานในโครงงานพิเศษนี้ได้ทำการออกแบบ เครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายคลอรีน ซึ่งแบ่งการดำเนินงานออกเป็นส่วนได้ 2 ส่วน ซึ่งประกอบไปด้วย ส่วนที่ใช้วัดค่าความเข้มข้น ซึ่งใช้คุณสมบัติทางแสง หาการดูดกลืนแสงของคลอรีน และส่วนของไมโครคอนโทรเลอร์ซึ่งจะใช้เป็นตัวประมวลผล เก็บค่าที่วัดได้และแสดงค่าความเข้มข้นที่วัดได้

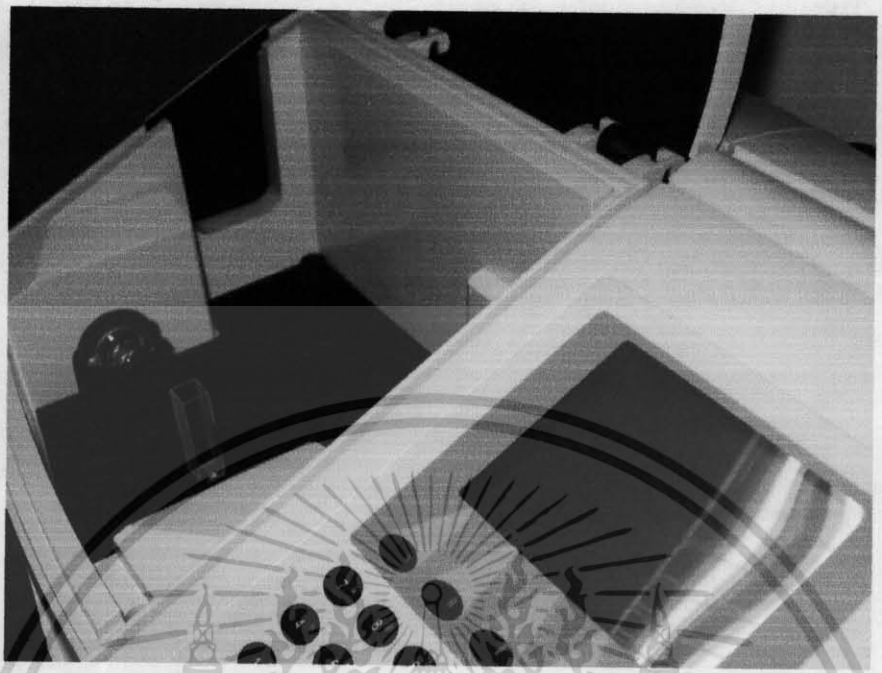
3.1 การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายคลอรีน

ศึกษาคุณสมบัติทางแสงของสารละลาย ทำการทดลองหาช่วงการดูดกลืนของสารละลายชนิดต่างๆ คือ ครอรีน น้ำตาล เกลือ น้ำส้มสายชู ผงชูรส โดยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

3.1.1 ศึกษาและทดลองการใช้เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

(ค)

รูป ที่ 3.1 (ก) , (ข) และ (ค) เครื่องสเปคโตร โฟโตมิเตอร์และหลอดใส่สารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 จัดเตรียมสารลายชนิดและความเข้มข้นต่างๆ พร้อมอุปกรณ์ เช่น น้ำกลั่น หลอดทดลอง บีกเกอร์ แท่งแก้วคน

3.1.3 ผสมสารกับน้ำในอัตราส่วนต่างๆ เช่น คลอรีน 0.1 กรัม / น้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เพิ่มปริมาณคลอรีน ทีละ 0.1 กรัม ที่ปริมาณน้ำเท่าเดิม จนกระทั่ง ถึง 1 กรัม ได้สารละลายคลอรีนที่ความเข้มข้นต่างๆ

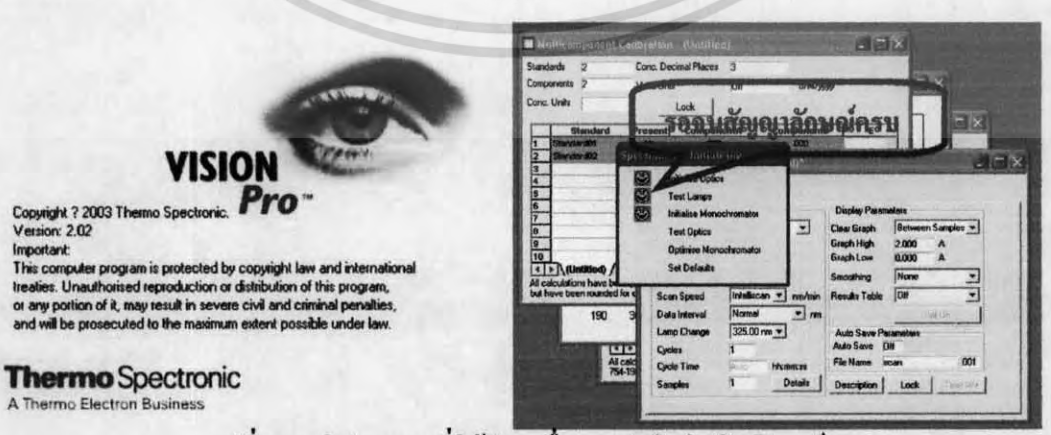
3.1.4 เตรียมสารละลายตัวอย่างทั้งหมด 5 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่างๆ

3.1.5 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ วัดค่า %T เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้โปรแกรม PC คือ VISIONpro ตามขั้นตอนดังนี้

1. เปิดเครื่อง UV Spectrophotometer และ ใส่สารละลายตัวอย่าง

รูปที่ 3.2 รูปเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

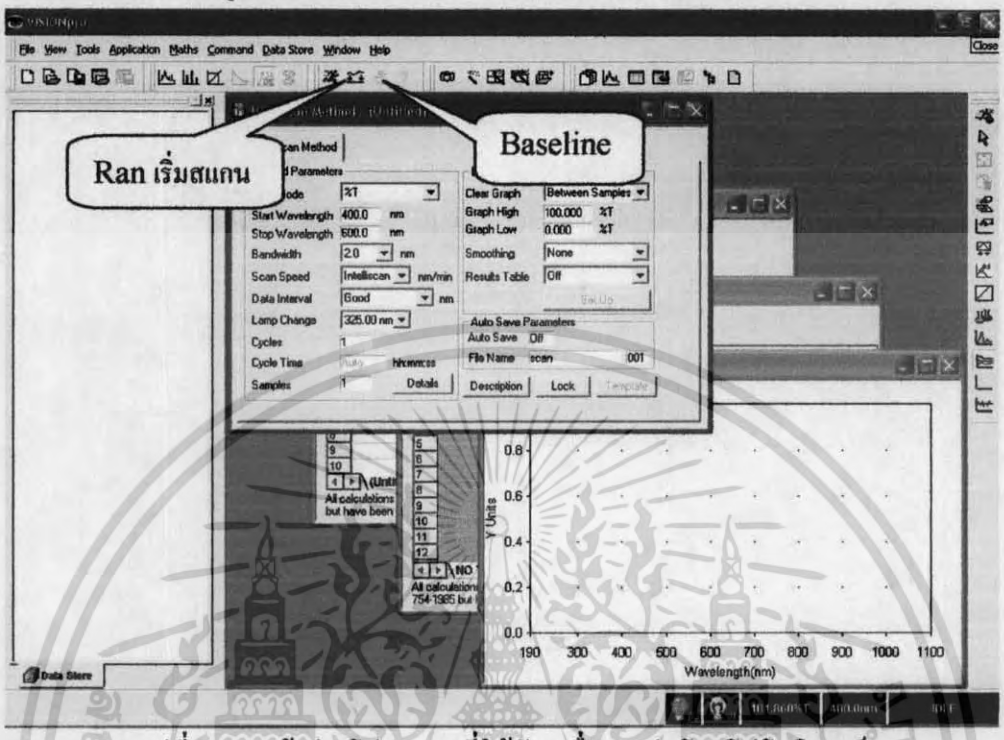
2. เปิดโปรแกรม VISIONpro และ หน้าต่างโปรแกรม



รูปที่ 3.3 โปรแกรมที่ใช้กับเครื่องสเปคโตโฟโตมิเตอร์

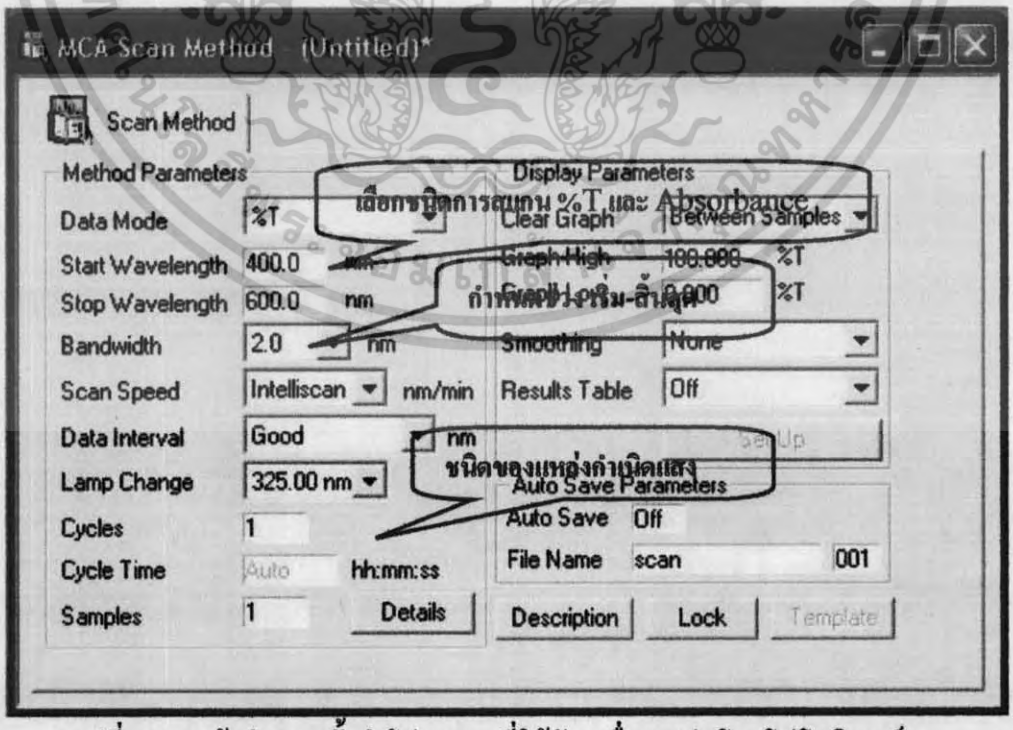
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หน้าต่างสมบูรณ์ เมื่อเครื่องเชื่อมต่อกับโปรแกรมเรียบร้อย



รูปที่ 3.4 หน้าต่างโปรแกรมที่ใช้กับเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

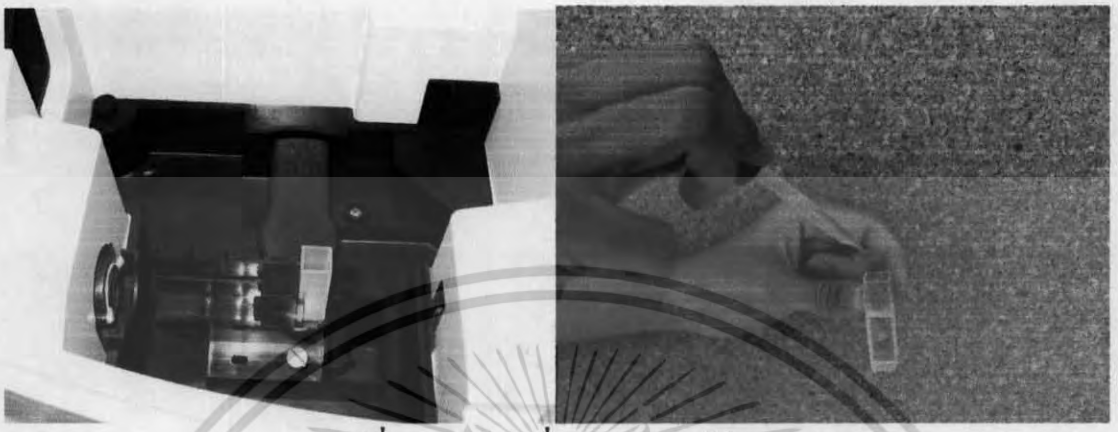
4. ทำการตั้งค่าการสแกน



รูปที่ 3.5 หน้าต่างการตั้งค่าโปรแกรมที่ใช้กับเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

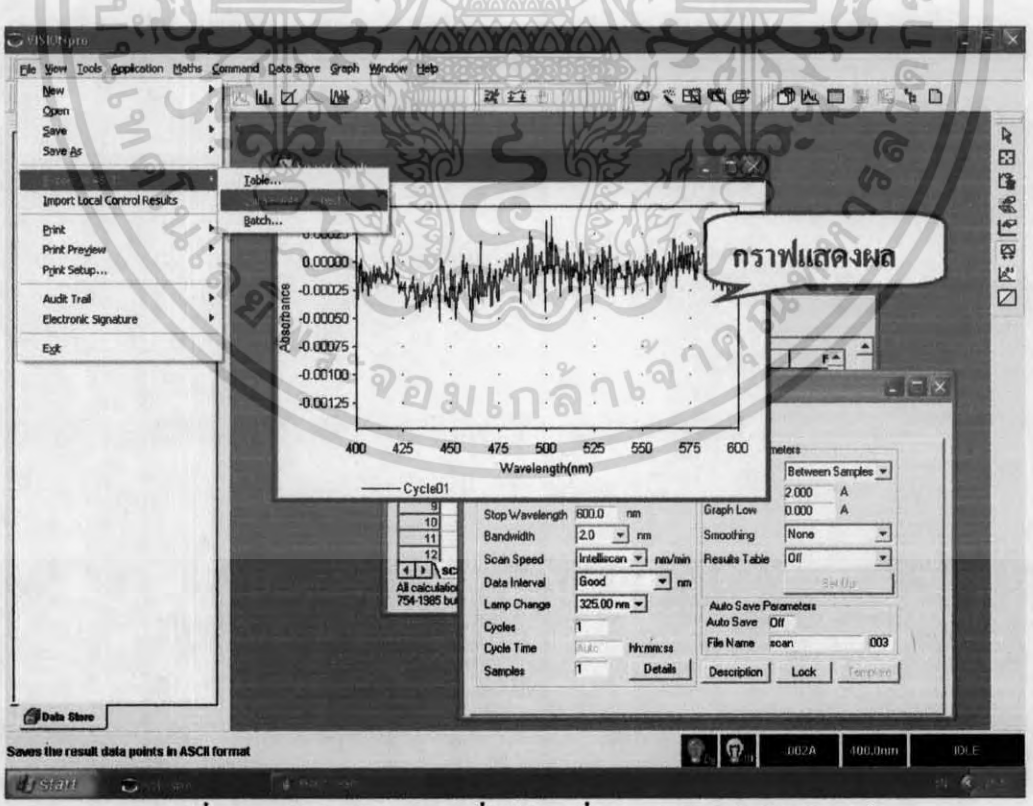
5. ทำการหา Baseline สาร โดยใช้น้ำกลั่น เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบ



รูปที่ 3.6 ภายในเครื่องและหลอดใส่สาร

6. กด Baseline ตามรูปในข้อที่ 3. เมื่อเสร็จ นำน้ำกลั่นออก และเปลี่ยนใส่สาร ชนิดต่างๆ ที่ทำการตรวจสอบ จากนั้นกด Run ตามรูปข้อที่ 3. แล้วรอจนเครื่องทำการสแกน

7. เมื่อสแกนเสร็จ ให้ทำการเก็บข้อมูล ดังรูป



รูปที่ 3.7 หน้าต่างโปรแกรมที่ใช้กับเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.7 จากนั้นนำสารละลายที่จะทดลองใส่แทนที่และทำการวัดและเก็บข้อมูลนำมาเขียนกราฟ

3.1.8 ผลที่ได้มาเขียนกราฟ และคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารละลายจากสูตรทางเคมี

3.2 นำผลการทดลองการดูดกลืนแสงของสารละลายมาวิเคราะห์

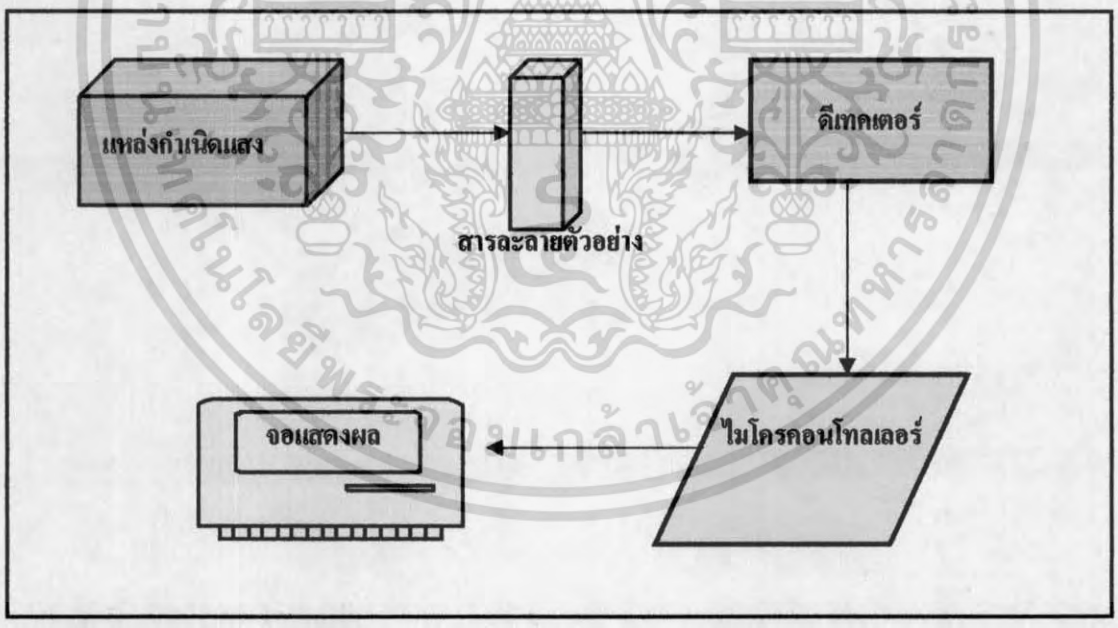
3.2.1 นำกราฟมาวิเคราะห์หาช่วงการดูดกลืนแสงของคลอรีน เพื่อนำไปหาว่าควรใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิดใด

3.2.2 ทดสอบดูว่าคลอรีนมีปริมาณเพียงพอในการวัดการดูดกลืนแสงได้หรือไม่

3.2.3 ศึกษาทฤษฎีของ Beer-Lambert law มาคำนวณหาค่าการดูดกลืน

3.2.4 นำผลไปออกแบบสร้างเครื่องมือวัด

3.3 ออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์



รูป 3.8 แผนภาพแสดงชุดอุปกรณ์

ส่วนประกอบของเครื่องมือที่ใช้แยกออกเป็นส่วนๆ คือ

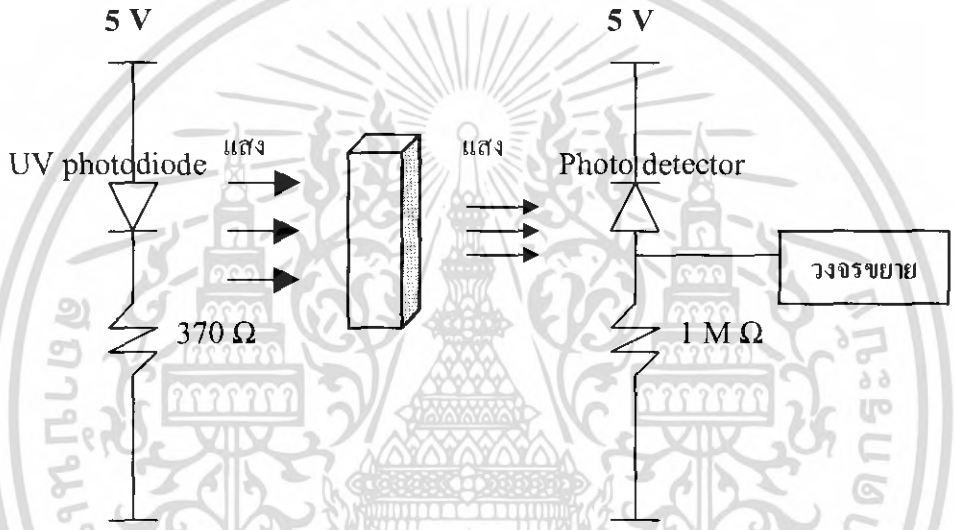
1. แหล่งกำเนิดแสง
2. ส่วนบรรจุสารตัวอย่างที่โปร่งใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เครื่องวัดรังสีที่เปลี่ยนพลังงานรังสีให้เป็นพลังงานไฟฟ้า
4. เครื่องประมวลผลและอ่านผล

3.4 วงจรภายใน

- วงจรแหล่งกำเนิดแสงและตัวรับแสง

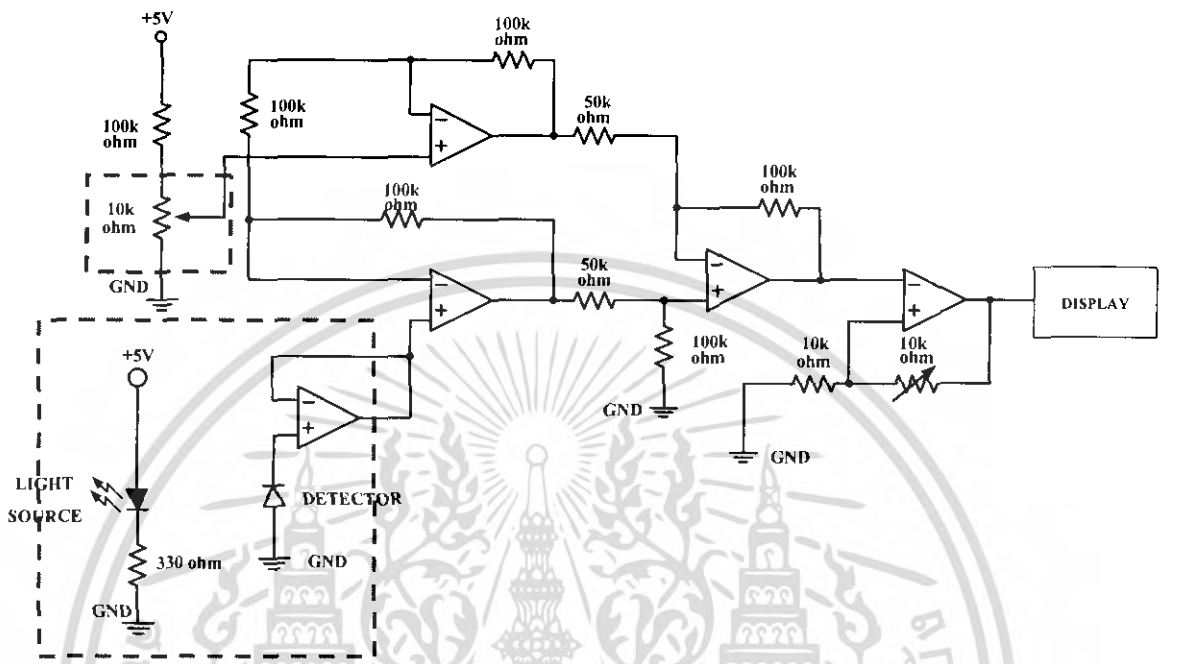


รูปที่ 3.9 ภาพวงจรของตัวให้กำเนิดแสงและตัวจรวจวัดแสง

ในวงจรแหล่งกำเนิดจ่ายกระแส 5 โวลต์ ให้กับ UV LED กระแสไหลแบบ forward bias ผ่านตัวต้านทาน 370 โอห์ม ต่อลงกราวด์ ให้ลำแสงส่องผ่านเซลล์ที่ใส่สารละลายตัวอย่าง แสงที่ผ่านออกมาตกกระทบตัวตรวจวัด (โฟโตไดโอด) ต่อแบบ reversed bias จากนั้นต่อสัญญาณที่ได้เข้าวงจรขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรขยายที่ต่อจากตัวตรวจวัดแสง

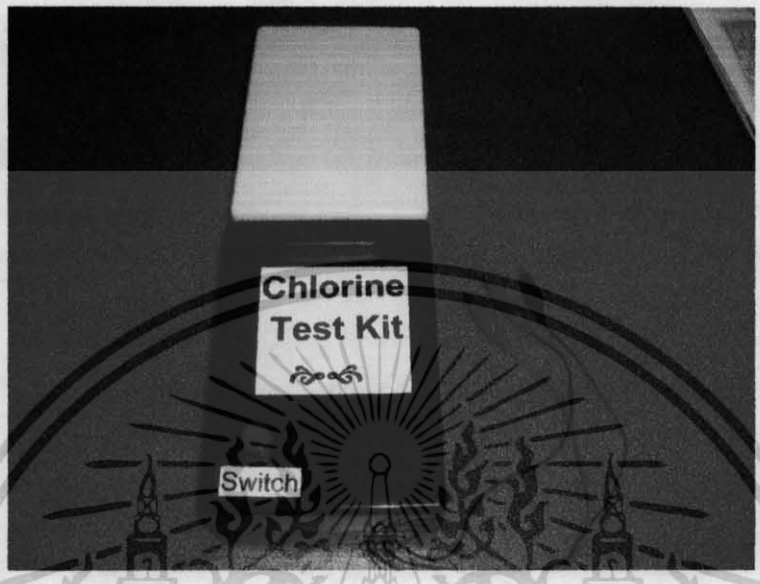


รูปที่ 3.10 วงจรแปลงสัญญาณ เปรียบเทียบสัญญาณ และ วงจรขยายสัญญาณ

กระแสที่วัดได้จากตัวตรวจวัดแสงเข้าวงจรแปลงค่าความต่างศักย์ที่รับมาจากแหล่งกำเนิด โดยใช้ ออบแอมป์ เบอร์ 741 ใช้ตัวต้านทานในวงจร 100kΩ , 50kΩและ 10kΩ ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ 10kΩ ซึ่งในส่วนนั้นทำหน้าที่เป็นตัวปรับเทียบค่า (Calibrate) อ้างอิงจากตัวต้านทานปรับค่าได้ มีค่าเท่ากับ 100% เมื่อวางสารตัวอย่างลงในเครื่อง จะทำให้ความต่างศักย์ที่ออกมาจากตัวตรวจวัดแสงมีค่าลดลง เมื่อนำไปเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์กับตัวต้านทานที่อ้างอิง ทำให้ได้ความต่างศักย์ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น จากนั้นทำการขยายสัญญาณมีขนาดเพิ่มขึ้น 6 เท่า จากนั้นต่อสัญญาณเข้าสู่วงจรแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 กล่องอุปกรณ์เบื้องต้น



รูปที่ 3.11 อุปกรณ์วัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย

ทำการวัดค่าการดูดกลืนของสารละลาย เช่นเดียวกันเครื่อง UV สเปคโตรโฟโตมิเตอร์ และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ เพื่อใช้ในการปรับปรุงต่อไป

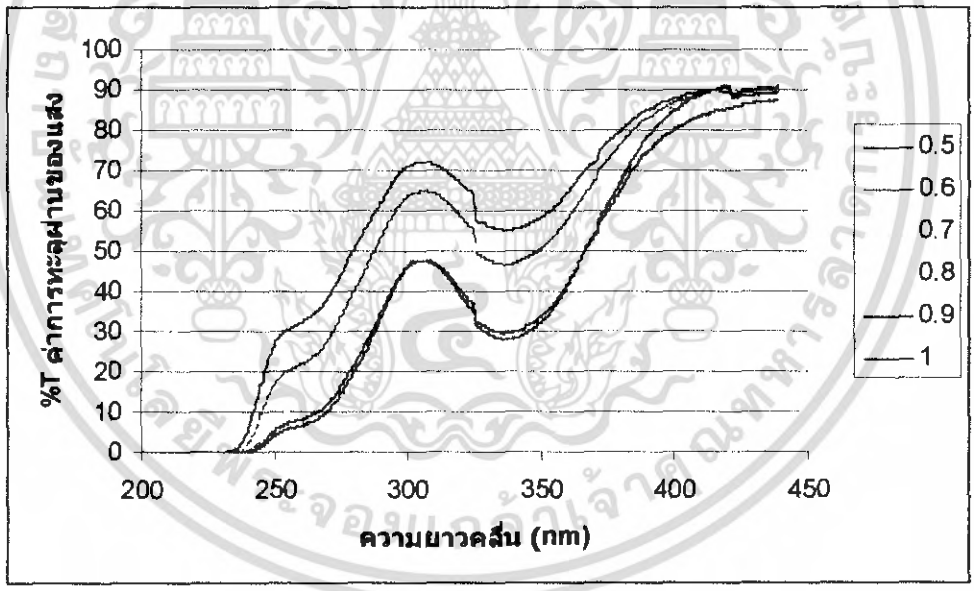
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

จากนั้นนำข้อมูลมาเขียนกราฟ มาวิเคราะห์เพื่อตรวจหาช่วงความยาวคลื่นของสารละลายที่ดูดกลืนสูงสุด ให้สามารถนำไปเลือกใช้ให้ถูกต้องกับอุปกรณ์ภายในเครื่องมือที่ต้องการสร้าง จากกราฟ เราได้เลือกคลอรีนมาเป็นสารที่เราต้องการสร้างเครื่องมือตรวจสอบ เนื่องจากคลอรีน มีจุดดูดกลืนที่ชัดเจนกว่าสารอื่น ดังรูปที่ 4.1 ทำให้เลือกใช้ช่วงความยาวคลื่นของคลอรีนที่ 337.5 nm เป็นเป็นช่วงแสง UV ที่ตาคนเราไม่สามารถมองเห็นได้ ดังนั้นการทดสอบนี้ นำไปเพื่อเลือกชนิดของแหล่งกำเนิดแสง ตัวตรวจวัดแสง และแผ่นกรองแสง ในขั้นตอนการสร้างเครื่องมือ

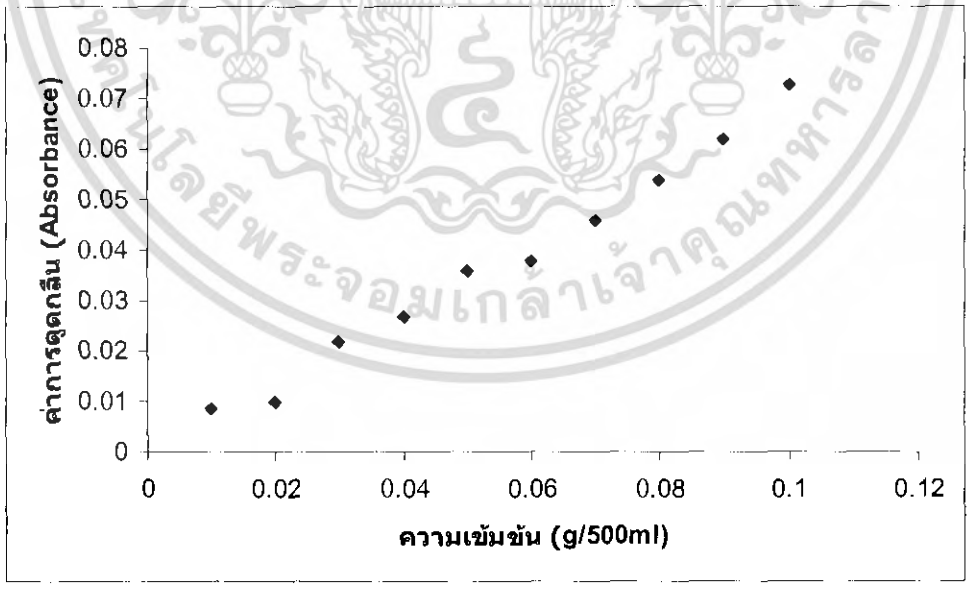


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การทะลุผ่าน(%T) และ ความยาวคลื่นของคลอรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ก) ตารางแสดงค่า ความเข้มข้นของคลอรีนระหว่าง 0.01-0.10 g/500ml และ ค่า การดูดกลืนแสง

ที่ความยาวคลื่น 337.5 nm	
ความเข้มข้น (g/500ml)	ค่าการดูดกลืน
0.01	0.009
0.02	0.010
0.03	0.022
0.04	0.036
0.05	0.036
0.06	0.038
0.07	0.046
0.08	0.054
0.09	0.0447
0.10	0.099

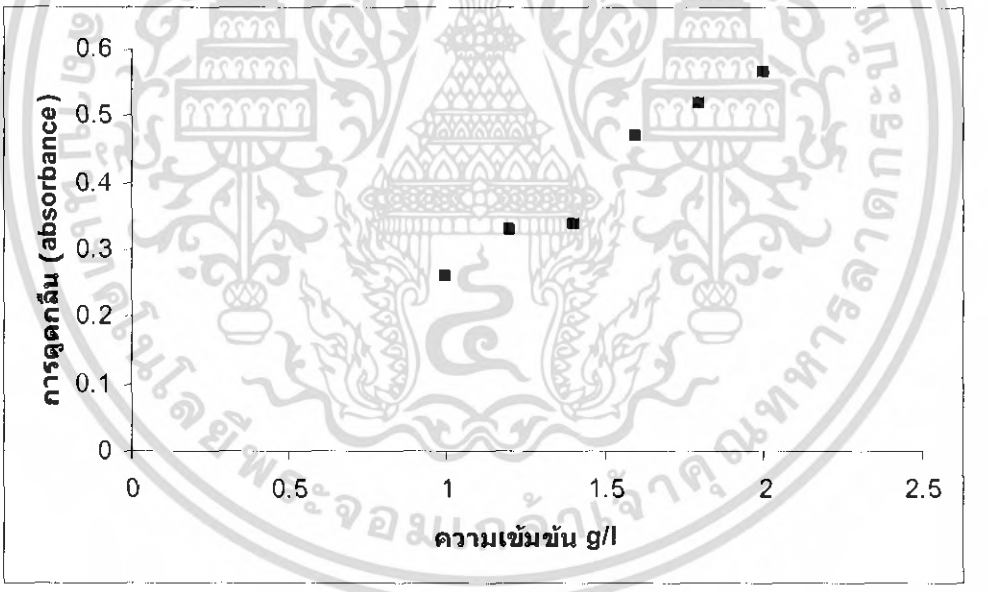


รูปที่ 4.2 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance และ สารละลายคลอรีนที่ความเข้มข้น 0.02-0.1 g/น้ำ 500ml ที่ความยาวคลื่น 337.5 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ข.) ตารางแสดงค่า ความเข้มข้นต่างๆของคลอรีน และ ค่า การดูดกลืนแสง

ความยาวคลื่น 337.5 nm		
%T	A = log 10(1/%T)	ความเข้มข้น (g/l)
54.924	0.26	1.0
46.636	0.33	1.2
45.207	0.34	1.4
33.593	0.47	1.6
29.568	0.52	1.8
28.108	0.56	2.0



รูปที่ 4.2 (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Absorbance และ สารละลายคลอรีนที่ความเข้มข้น 0.5-2.5 g/l ที่ความยาวคลื่น 337.5

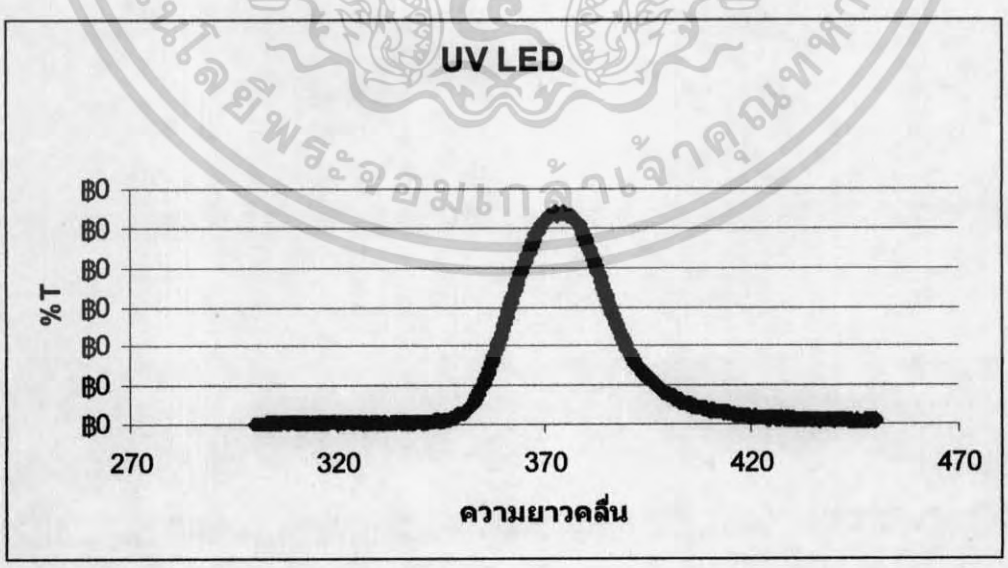
จากรูปกราฟที่ 4.2(ก) นำไปใช้เป็นผลเปรียบเทียบระหว่างวงจรกับเครื่องที่ที่ทำการสร้างให้มีผลเทียบเท่ากับเครื่อง UV สเปคโตรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสง

จากการศึกษาการดูดกลืนแสงของคลอรีน เราได้ช่วงความยาวคลื่น ที่จะเป็นตัวกำหนดแหล่งกำเนิดแสงในเครื่องได้ว่า ควรอยู่ที่ประมาณ ย่านอัลตราไวโอเลต (UV) และย่านที่ตามองเห็น (Visible) นั่นคือ ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 200-600 นาโนเมตร ซึ่งมีวิธีการวัดสเปกตรัมของแหล่งกำเนิด โดยใช้เครื่องโมโนโครมาเตอร์ และนำตัวรับแสง (UV enhanced detector) แสงที่ผ่านออกมาจากเครื่องผ่านต่อไปยัง Lock-in amplifier และสัญญาณที่ได้นี้จะเข้าสู่โปรแกรม Lab view เพื่อทำการวิเคราะห์ในรูปของกราฟ

รูปที่ 4.3 เครื่อง Monochromator



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %T และความยาวคลื่น ของแหล่งกำเนิดแสง UV LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัว LED ที่ให้แสงที่มีความเข้มข้นสูงสุดที่ 370 nm จึงเลือกใช้ Ultraviolet LED (HUVL370-510) ของ HERO เป็น Ultraviolet Light Emitting Diode 370 nm จากกราฟ จุดยอดของเส้นสเปกตรัมของแสงจากหลอด Ultraviolet LED อยู่ที่ความยาวคลื่น 370 nm ซึ่งอยู่ในช่วงใกล้เคียงที่สามารถวัดค่าการดูดกลืนของคลอรีนที่เราต้องทำการวัดได้

4.3 ผลการทดลองวัดค่าการดูดกลืนของสารละลายโดยใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้น

ผลที่ได้จากเครื่องมือจะเห็นว่าผลจากกราฟที่ได้ออกมามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เกือบจะเป็นเส้นตรง มีบางส่วนที่ใกล้เคียงกันมากยิ่งความเข้มข้นสูงยิ่งใกล้เคียงกันมาก

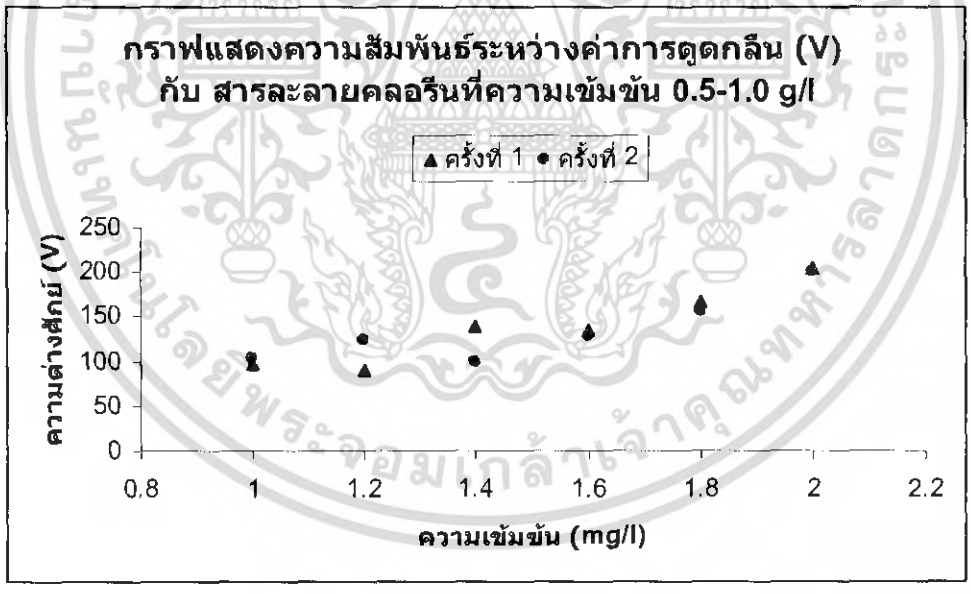
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่า ความเข้มข้นต่างๆของคลอรีน และ ค่า การดูดกลืนแสง (V) ที่วัดจากอุปกรณ์ครั้งที่ 1-5

ความเข้มข้นของคลอรีน (g/l)	ค่าความต่างศักย์ (V)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
1.0	96	103	97	109	101
1.2	90	124	112	119	93
1.4	140	100	109	137	126
1.6	136	129	131	128	133
1.8	166	156	158	161	165
2.0	205	201	200	204	207

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

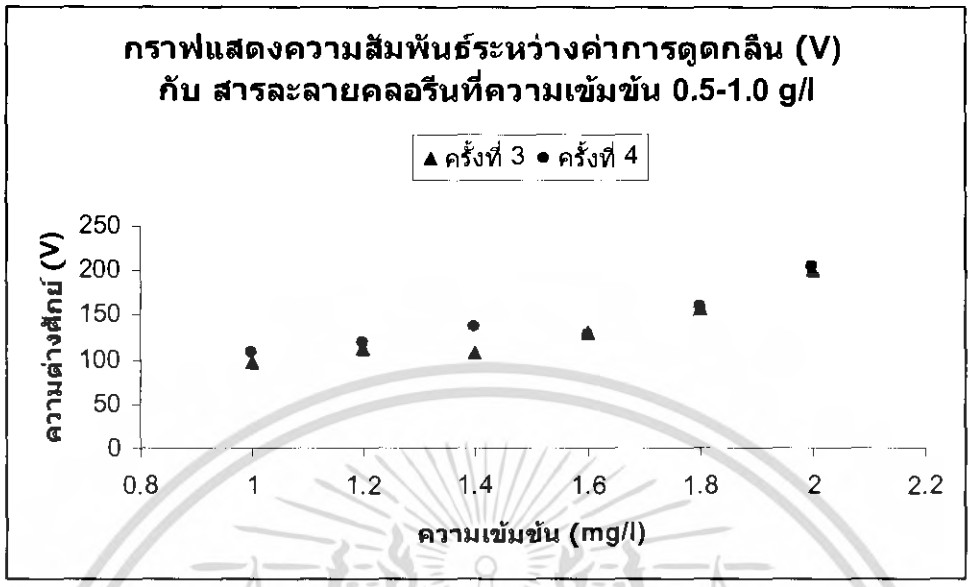
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่า ความเข้มข้นต่างๆของคลอรีน และ ค่า การดูดกลืนแสง (V) ที่วัดจากอุปกรณ์ครั้งที่ 6-10 และค่าเฉลี่ย

ความเข้มข้นของคลอรีน (g/l)	ค่าความต่างศักย์ (V)					
	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10	เฉลี่ย
1.0	90	95	106	99	87	98.3
1.2	120	118	117	97	101	108.7
1.4	119	130	122	135	126	124.4
1.6	132	134	136	129	125	131.3
1.8	151	162	158	156	163	159.6
2.0	201	198	207	206	202	203.1

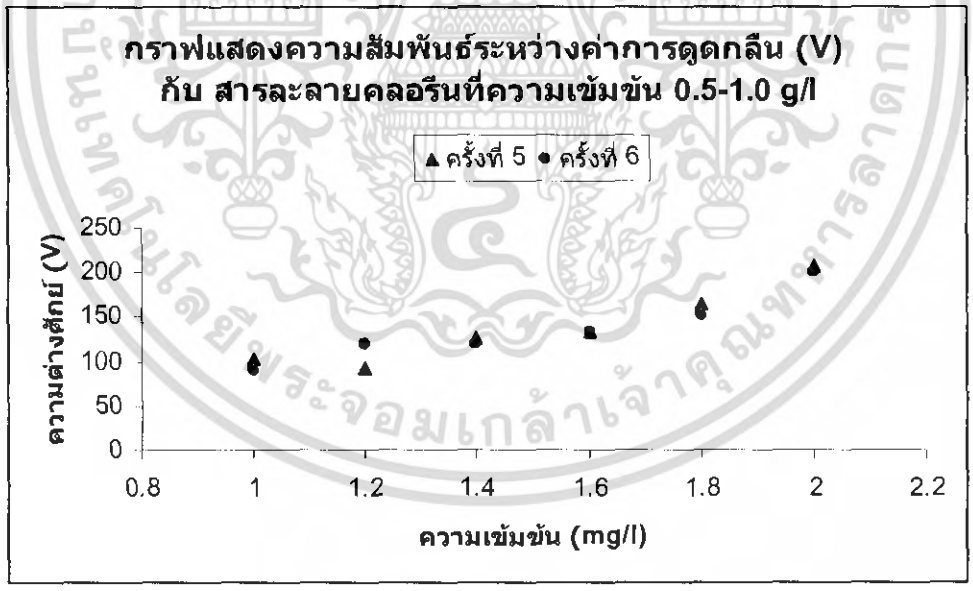


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืน (V) กับ สารละลายคลอรีนที่ความเข้มข้น 0.5-1.0 g/l ครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

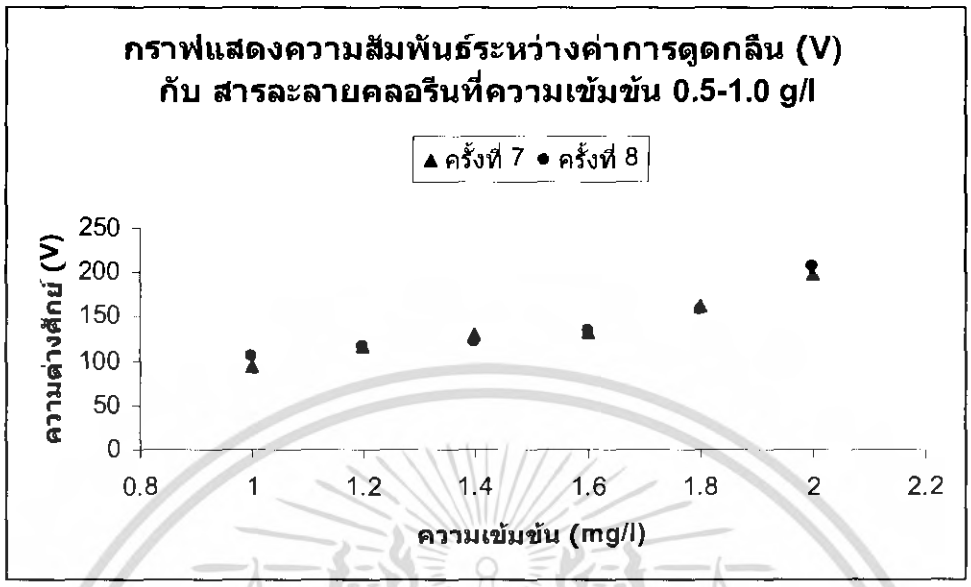


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืน (V) กับ สารละลายคลอรีนที่ความเข้มข้น 0.5-1.0 g/l ครั้งที่ 3 และ ครั้งที่ 4

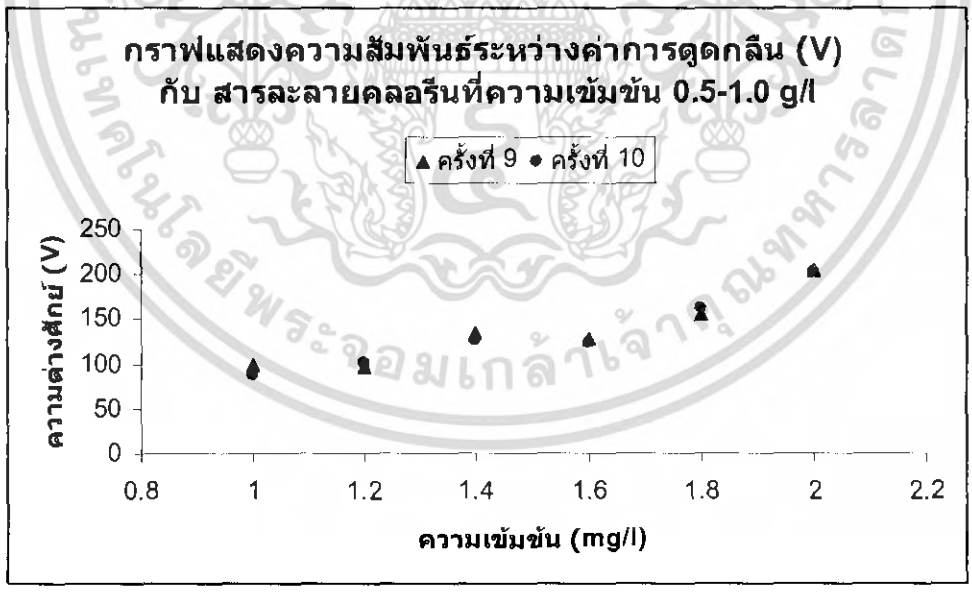


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืน (V) กับ สารละลายคลอรีนที่ความเข้มข้น 0.5-1.0 g/l ครั้งที่ 5 และ ครั้งที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

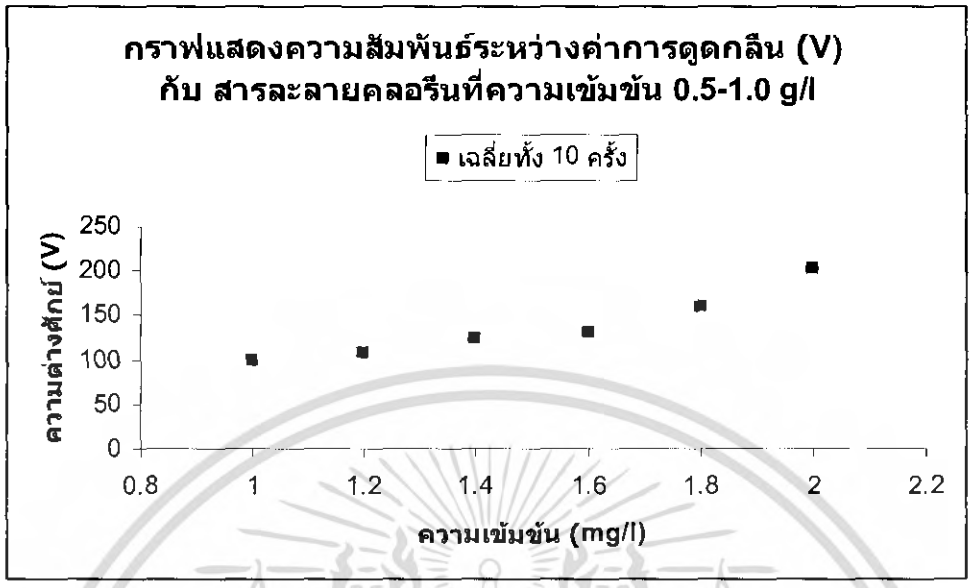


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืน (V) กับ สารละลายคลอรีนที่ความเข้มข้น 0.5-1.0 g/l ครั้งที่ 7 และ ครั้งที่ 8



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืน (V) กับ สารละลายคลอรีนที่ความเข้มข้น 0.5-1.0 g/l ครั้งที่ 9 และ ครั้งที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืน (V) กับ สารละลายคลอรีนที่ความเข้มข้น 0.5-1.0 g/l ค่าเฉลี่ยทั้งหมด 10 ครั้ง

จากกราฟที่วัดได้จากเครื่องมือที่สร้างซึ่งให้ความยาวคลื่นที่จุดสูงสุดที่ 370 nm และได้ทำการทดสอบวัดสารละลายคลอรีน จะเห็นจากกราฟว่ายิ่งความเข้มข้นเพิ่ม ค่าการดูดกลืนก็จะเพิ่มขึ้น ยิ่งความเข้มข้นมาก ก็จะเกิดการดูดกลืนมากขึ้น แต่จากทฤษฎีค่าความต่างศักย์ควรจะลดลง แต่เนื่องจากวงจรขยายที่เราต่อทำให้ได้ค่าออกมาดังรูป เส้นแนวโน้มของกราฟมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ในการทดสอบการดูดกลืนแสงของคลอรีน โดยใช้เครื่อง UV Spectrophotometer ได้ผลว่า คลอรีนสามารถดูดกลืนแสงในช่วง อุลตร้าไวโอเลต 200-400 นาโนเมตร ช่วงที่คลอรีนดูดกลืนได้ดีในช่วง 300-350 นาโนเมตร เราจึงเลือกใช้แหล่งกำเนิด คือ UV photodiode ที่มีความยาวคลื่นสูงสุดที่ 370 จากการทดลองแสงเดินทางผ่านสารละลายคลอรีนจะถูกดูดกลืนแสง แสงที่ผ่านออกมาจะมีค่าความเข้มแสงเปลี่ยนไป ซึ่งถูกวัดได้ด้วยตัวเซ็นเซอร์ Photo Detector (แบบBPW) ได้ V_{OUT} ออกมาเป็นมิลลิโวลต์ เราจึงทำการขยายสัญญาณ โดยต่อเข้ากับ วงจรขยายสัญญาณ จากนั้นทำการเปรียบเทียบสัญญาณ โดนใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ ส่วนการแสดงผลใช้วงจรแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข 4 หลัก จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนจากเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 สามารถพัฒนาปรับเปลี่ยนแหล่งกำเนิดที่ให้ความยาวคลื่นต่างไป ซึ่งเพื่อให้สามารถวัดค่าสารตัวอื่นได้หลายๆ ชนิดในเครื่องเดียว

5.2.2 สามารถพัฒนาให้สามารถใส่ตัวฟิลเตอร์ สำหรับเลือกความยาวคลื่นให้เหมาะกับชนิดของสารที่ต้องการวัดได้

5.2.3 สามารถพัฒนาวงจรโดยการใช้ไมโครคอลโทรเลอร์ ปรับเทียบค่าได้ ให้แสดงผลออกเป็น ค่าการดูดกลืนแสง หรือ ค่า การทะลุผ่านของแสง ได้

5.2.4 สามารถพัฒนาวงจรโดยการใช้ไมโครคอลโทรเลอร์ ปรับเทียบค่าได้ จากการเขียนโปรแกรมคำนวนค่า สามารถเปลี่ยนค่าที่ได้นั้นเป็นค่าความเข้มข้นของสารที่ต้องการตรวจสอบออกมาได้ทันที

5.2.5 พัฒนารูปแบบกล่องบรรจุเครื่องมือให้มีขนาดเล็กกะทัดรัดขึ้น ให้มีรูปแบบที่สวยงาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ลาวัลย์ ศรีพงษ์.2543.เครื่องมือในอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโตรสโกปี,
กรุงเทพฯ: ภาควิชาเภสัชเคมี คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม

www.rit.ac.th/homepage-sc/physics

http://teaching.shu.ac.uk/hwb/chemistry/tutorials/molspec/beers1.htm

http://teaching.shu.ac.uk/hwb/chemistry/tutorials/molspec/uvvisab1.htm

http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%84%E0%B8%A5%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B8%99

http://www.mwa.co.th/download/etc01/chlorine.pdf

http://202.129.59.150/prapathai/nana/Clorine/clorine.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

www.fairchildsemi.com

LM741

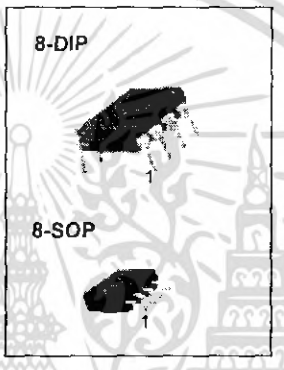
Single Operational Amplifier

Features

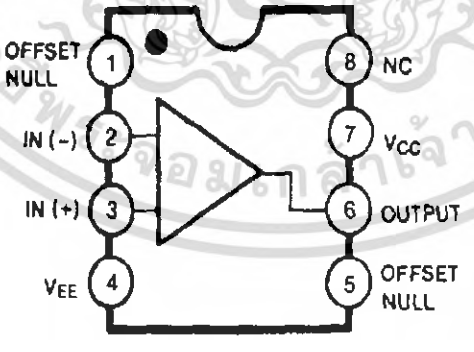
- Short circuit protection
- Excellent temperature stability
- Internal frequency compensation
- High Input voltage range
- Null of offset

Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers. It is intended for a wide range of analog applications. The high gain and wide range of operating voltage provide superior performance in intergrator, summing amplifier, and general feedback applications.



Internal Block Diagram

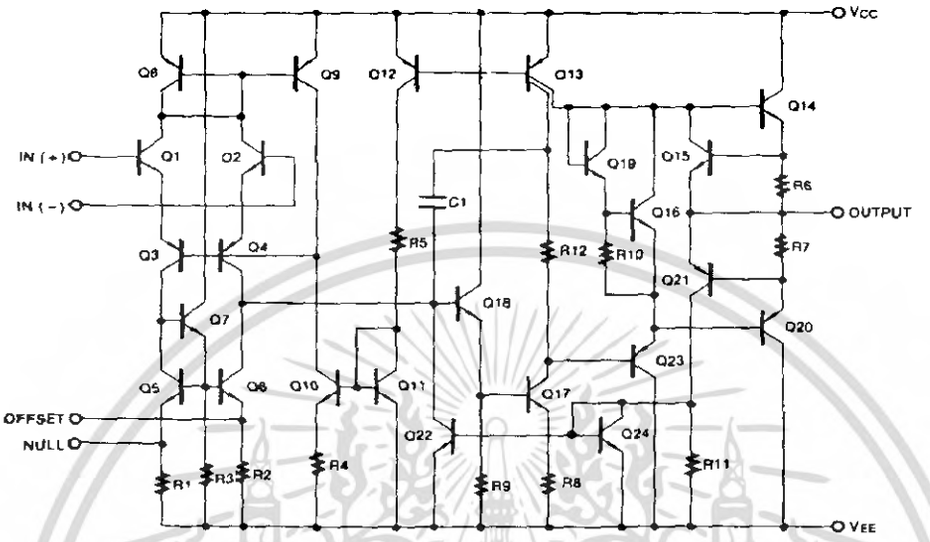


Rev. 1.0.1

©2001 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schematic Diagram



Absolute Maximum Ratings (T_A = 25°C)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	V_{CC}	±18	V
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	30	V
Input Voltage	V_I	±15	V
Output Short Circuit Duration	-	Indefinite	-
Power Dissipation	P_D	500	mW
Operating Temperature Range LM741C LM741I	T_{OPR}	 0 ~ + 70 -40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 ~ + 150	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics

(V_{CC} = 15V, V_{EE} = - 15V. T_A = 25 °C, unless otherwise specified)

Parameter		Symbol	Conditions		LM741C/LM741I			Unit
					Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage		V_{IO}	$R_S \leq 10K\Omega$		-	2.0	6.0	mV
			$R_S \leq 50\Omega$		-	-	-	
Input Offset Voltage Adjustment Range		$V_{IO(R)}$	V_{CC} = ±20V		-	±15	-	mV
Input Offset Current		I_{IO}	-		-	20	200	nA
Input Bias Current		I_{BIAS}	-		-	80	500	nA
Input Resistance (Note1)		R_I	V_{CC} =±20V		0.3	2.0	-	MΩ
Input Voltage Range		$V_{I(R)}$	-		±12	±13	-	V
Large Signal Voltage Gain		G_V	$R_L \geq 2K\Omega$	V_{CC} =±20V, $V_{O(P-P)}$ =±15V	-	-	-	V/mV
				V_{CC} =±15V, $V_{O(P-P)}$ =±10V	20	200	-	
Output Short Circuit Current		I_{SC}	-		-	25	-	mA
Output Voltage Swing		$V_{O(P-P)}$	V_{CC} = ±20V	$R_L \geq 10K\Omega$	-	-	-	V
				$R_L \geq 2K\Omega$	-	-	-	
			V_{CC} = ±15V	$R_L \geq 10K\Omega$	±12	±14	-	
				$R_L \geq 2K\Omega$	±10	±13	-	
Common Mode Rejection Ratio		CMRR	$R_S \leq 10K\Omega$, V_{CM} = ±12V		70	90	-	dB
			$R_S \leq 50\Omega$, V_{CM} = ±12V		-	-	-	
Power Supply Rejection Ratio		PSRR	V_{CC} = ±15V to V_{CC} = ±15V $R_S \leq 50\Omega$		-	-	-	dB
			V_{CC} = ±15V to V_{CC} = ±15V $R_S \leq 10K\Omega$		77	96	-	
Transient Response	Rise Time	T_R	Unity Gain		-	0.3	-	µs
	Overshoot	OS			-	10	-	%
Bandwidth		BW	-		-	-	-	MHz
Slew Rate		SR	Unity Gain		-	0.5	-	V/µs
Supply Current		I_{CC}	R_L = ∞Ω		-	1.5	2.8	mA
Power Consumption		P_C	V_{CC} = ±20V		-	-	-	mW
			V_{CC} = ±15V		-	50	85	

Note:

1. Guaranteed by design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics

(0°C ≤T_A≤70 °C V_{CC} = ±15V, unless otherwise specified)
The following specification apply over the range of 0°C ≤ T_A ≤ +70 °C for the LM741C; and the -40°C ≤ T_A ≤ +85 °C for the LM741I

Parameter	Symbol	Conditions		LM741C/LM741I			Unit
				Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	R_S≤50Ω		-	-	-	mV
		R_S≤10KΩ		-	-	7.5	
Input Offset Voltage Drift	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-		-	-		µV/ °C
Input Offset Current	I_{IO}	-		-	-	300	nA
Input Offset Current Drift	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-		-	-		nA/ °C
Input Bias Current	I_{BIAS}	-		-	-	0.8	µA
Input Resistance (Note1)	R_I	V_{CC} = ±20V		-	-	-	MΩ
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	-		±12	±13	-	V
Output Voltage Swing	$V_{O(P-P)}$	V_{CC} =±20V	R_S≥10KΩ	-	-	-	V
			R_S≥2KΩ	-	-	-	
		V_{CC} =±15V	R_S≥10KΩ	±12	±14	-	
			R_S≥2KΩ	±10	±13	-	
Output Short Circuit Current	I_{SC}	-		10	-	40	mA
Ccmmon Mode Rejection Ratio	CMRR	R_S≤10KΩ, V_{CM} = ±12V		70	90	-	dB
		R_S≤50Ω, V_{CM} = ±12V		-	-	-	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	V_{CC} = ±20V to ±5V	R_S≤50Ω	-	-	-	dB
			R_S≤10KΩ	77	96	-	
Large Signal Voltage Gain	Gv	R_S≥2KΩ	V_{CC} = ±20V, $V_{O(P-P)}$ = ±15V	-	-	-	V/mV
			V_{CC} = ±15V, $V_{O(P-P)}$ = ±10V	15	-	-	
			V_{CC} = ±15V, $V_{O(P-P)}$ = ±2V	-	-	-	

Note :
1. Guaranteed by design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HUVL370-510

Ultraviolet LED

■ Features

Ultraviolet Light Emitting Diode 370nm
5mm Diameter Clear Epoxy Package
Beam Angle $\theta_{1/2}$ TYP. ±10°

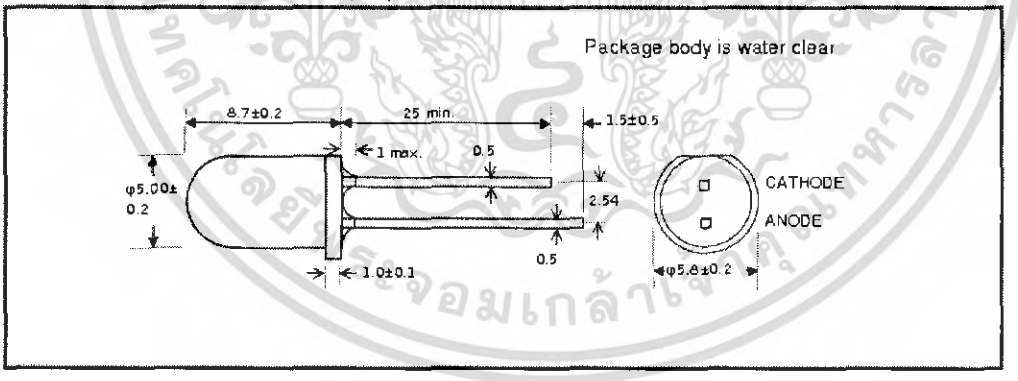
■ Absolute Maximum Ratings (T_a = 25°C)

Parameter	Symbol	Rated Value	Unit
Pulsed forward current (t ≤ 10ms) Duty cycle 1/10	I_P	100	mA
Forward current	I_{FM}	30	mA
Reverse voltage	V_{RM}	5	V
Operating temperature	T_{opr}	-40 to +85	°C
Storage temperature	T_{stg}	-40 to +100	°C

■ Electro-Optical Characteristics (T_a = 25°C)

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Output power	P_o	I_F = 20 mA	1.2	1.5		mW
Forward voltage	V_F	I_F = 20 mA		3.6	4.0	V
Reverse current	I_R	V_R = 5 V			10	μA
Peak emission wavelength	λ_p	I_F = 20 mA	370		380	nm
Spectral bandwidth	$\Delta\lambda$	I_F = 20 mA		20		nm
Half intensity angle	$\theta_{1/2}$	I_F = 20 mA		±10		degree

■ Outline Dimensions (mm)



HERO ELECTRONICS LIMITED, DUNSTABLE STREET, AMPTHILL, BEDFORDSHIRE, MK45 2JS, ENGLAND
TEL: 01525 405015 Email: sales@heroelec.co.uk FAX: 01525 402383

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้