



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์แบบพกพา
Development of Portable Fluorometer

นางสาวภัทธรียา กิตติเดชาชาญ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2556

RCH

คณะวิทยาศาสตร์

TK

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2960

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เลขหมู่

130295

เลขทะเบียน

รับ เดือน ปี 2 ๒๕๕ 2557

b. 12598343
i.

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์แบบพกพา.....

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....

ประจำปีงบประมาณ..... 2556..... จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน..... 50,000..... บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย..... 1..... ปี ตั้งแต่..... 1 ตุลาคม 2555..... ถึง..... 30 กันยายน 2556

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทริยา กิตติเดชาชาญ

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้ร่วมโครงการวิจัย -

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับตรวจวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์แบบพกพา ส่วนประกอบหลักของระบบจะประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสง LED ชนิดให้แสงสว่างสูงเพื่อทำหน้าที่เป็นแสงกระตุ้น ไมโครฟลูอิดิกแซนแนล และตัวตรวจวัดแสง ระบบที่ถูกจัดสร้างขึ้นจะถูกนำมาใช้ทดลองวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสาร Rhodamine 6G ที่มีค่าความเข้มข้น 100 nM to 5 mM ความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองต่อแสงของระบบวัดสำหรับสารที่มีค่าความเข้มข้นต่างๆได้ถูกวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับระบบตรวจวัดที่ใช้คิวเวท จากการศึกษาพบว่าอุปกรณ์ต้นแบบที่ถูกพัฒนาขึ้นมีความสามารถในการตรวจวัดสารในย่านที่กว้างกว่าในคิวเวท ซึ่งในคิวเวทผลการวัดแสดงให้เห็นถึงการลดลงของสัญญาณฟลูออเรสเซนซ์เมื่อค่าความเข้มข้นของสารมีค่าสูงกว่า 10^{-5} M ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องจากปรากฏการณ์ดูดกลืนซ้ำและกลไก self-quenching สามารถเกิดขึ้นได้สูงเมื่อสารมีค่าความเข้มข้นมาก ทำให้ค่าควอนตัมยิลด์ของสารมีค่าลดลง ซึ่งปัญหาดังกล่าวไม่เกิดกับระบบวัดที่ใช้ไมโครฟลูอิดิก

คำสำคัญ : แสงฟลูออเรสเซนซ์ ไมโครฟลูอิดิกแซนแนล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร. สิริพัฒน์ ประโทนเทพ อาจารย์ประจำวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง และ ดร. ศุภนิจ พรธีระภัทร จากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้เครื่อง Plasma cleaning สำหรับคำชี้แนะในการดำเนินการวิจัย และขอขอบคุณ คุณเจริญชัย เหลืองอ่อน จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติที่ให้ความช่วยเหลือและช่วยประสานงานในการใช้เครื่อง Profilometer สำหรับวัดความเรียบของพื้นผิวของไมโครฟลูอิดิก

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทรียา กิตติเดชาชาญ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	6
2.1.1 แหล่งกำเนิดแสง	7
2.1.2 อุปกรณ์เลือกความยาวคลื่น (Wavelength selector)	11
2.1.2.1 โมโนโครเมเตอร์	11
2.1.2.2 ปริซึม	14
2.1.2.3 เกรตติ้ง	14
2.1.2.4 ช่องให้แสงเข้าและช่องให้แสงออก	15
2.1.2.5 ฟิลเตอร์	15
2.1.3 แทนวางสารตัวอย่าง	17
2.1.4 อุปกรณ์ตรวจวัดแสง	19
2.3 การประยุกต์ใช้งานของระบบตรวจวัดฟลูออเรสเซนซ์กับไมโครฟลูอิดิก	19
บทที่ 3 การพัฒนาระบบตรวจวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์	21
3.1 ส่วนประกอบของระบบตรวจวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์	21
3.2 สมบัติสารสีย้อมที่ใช้การทดลอง	25
3.3 เครื่องมือและระบบการวัดที่เกี่ยวข้อง	28

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 ระบบการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง	28
3.3.2 ระบบวัดสเปกตรัมแสงฟลูออเรสเซนซ์	32
3.3.3 ระบบวัดสมบัติทางไฟฟ้า	34
3.4 การทดลอง	35
3.4.1 การศึกษาและเปรียบเทียบระบบวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์รูปแบบต่างๆ ของสารละลายสีย้อมเรืองแสง	35
3.4.2 การศึกษาสเปกตรัมที่ตรวจวัดได้เมื่อบรรจุสารละลายเรืองแสงในคิว เวทและไมโครฟลูอิดิก	37
3.4.3 การศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลายเรืองแสงในไมโคร ฟลูอิดิกที่มีขนาดต่างๆ	37
3.4.4 การศึกษาการตอบสนองต่อแสงของโฟโตไดโอด	38
บทที่ 4 ผลการทดลอง	39
4.1 ผลการศึกษาและเปรียบเทียบระบบวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์รูปแบบ ต่างๆของสารละลายสีย้อมเรืองแสง	39
4.2 ผลการศึกษาสเปกตรัมที่ตรวจวัดได้เมื่อบรรจุสารละลายเรืองแสงในคิว เวทและไมโครฟลูอิดิก	40
4.2.1 สารละลาย Rhodamine 6 G	40
4.2.2 สารละลาย DCM	44
4.2.3 สารละลาย Coumarin 153	47
4.3 ผลการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลายเรืองแสงในไมโคร ฟลูอิดิกที่มีขนาดของแขนแนลต่างๆ กัน	51
4.3.1 ไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 1	51
4.3.2 ไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 2	52
4.3.3 ไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 3	53
4.4 ผลการศึกษาการตอบสนองต่อแสงของโฟโตไดโอด	54
4.4.1 ผลการวัดปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์โดยใช้ซิลิกอนโฟโต ไดโอดรุ่น SPD900-9P	54
4.4.2 ผลการวัดปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์โดยใช้ซิลิกอนโฟโต ไดโอดของบริษัท Thorlabs รุ่น SM05PD1A	55
4.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	57
4.5.1 การศึกษาและเปรียบเทียบระบบวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบต่างๆ ของสารละลายสีย้อมเรืองแสง	
4.5.2 การศึกษาสเปกตรัมที่ตรวจวัดได้เมื่อบรรจุสารละลายเรืองแสงในคิวเวทและไมโครฟลูอิดิก	57
4.5.3 การศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลายเรืองแสงในไมโครฟลูอิดิกที่มีขนาดของแขนแนลต่างๆ กัน	57
4.5.4 การศึกษาการตอบสนองต่อแสงของโฟโตไดโอด	57
บทที่ 5 บทสรุปและแนวทางการพัฒนา	58
5.1 บทสรุป	58
5.2 แนวทางการพัฒนา	59
เอกสารอ้างอิง	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ชนิดของแหล่งกำเนิดแสงและการใช้งาน	3
ตารางที่ 1.2 แผนการดำเนินงาน	5
ตารางที่ 3.1 สมบัติพื้นฐานของสารสีย้อมเรืองแสง Rh 6 G DCM และ Coumarin 153	25
ตารางที่ 3.2 รูปทรงและขนาดของลาวตลายไมโครฟลูอิดิกที่ใช้ในการทดลอง	37
ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ทฤษฎีของสาร Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 ด้วยไฟโตไดโอด รุ่น SPD900-9P บริษัท Roithner Laser	55
ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ทฤษฎีของสาร Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 ด้วยไฟโตไดโอดรุ่น SM05PD1A บริษัท Thorlabs	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 หลักการวัดปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์	1
รูปที่ 1.2 กลไกการเกิดแสงฟลูออเรสเซนซ์	2
รูปที่ 1.3 เครื่องฟลูออโรมิเตอร์ชนิดใช้เกรตติ้ง	2
รูปที่ 1.4 เครื่องฟลูออโรมิเตอร์ชนิดใช้ฟิลเตอร์	3
รูปที่ 1.5 ไดโอดเปล่งแสง	4
รูปที่ 2.1 แผนภาพการทำงานของเครื่องมือ	6
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของหลอดไฮโดรเจนและหลอดทิวเทอเรียมโดยทั่วไป	7
รูปที่ 2.3 หลอดทั้งสแตน	8
รูปที่ 2.4 ไดโอดเปล่งแสงแบบ Lamp Type	9
รูปที่ 2.5 ไดโอดเปล่งแสงแบบ Surface Mount Type (SMT)	9
รูปที่ 2.6 แบบจำลองพลังงานที่มี 3 สถานะ	11
รูปที่ 2.7 ปริซึมโมโนโครเมเตอร์	12
รูปที่ 2.8 เกรตติ้งโมโนโครเมเตอร์	13
รูปที่ 2.9 สเปกตรัมแสงจากโมโนโครเมเตอร์	13
รูปที่ 2.10 การกระจายแสงที่เกิดที่ผิวของเกรตติ้ง	14
รูปที่ 2.11 ผลความกว้างของช่องแสงต่อสเปกตรัมของไอเบนซิน	15
รูปที่ 2.12 ฟิลเตอร์	16
รูปที่ 2.13 เปรียบเทียบแถบความกว้างสเปกตรัมของฟิลเตอร์แบบดูดกลืนและแบบ แทรกสอด	17
รูปที่ 2.14 แทนวางสารตัวอย่าง	17
รูปที่ 2.15 คิวเวทรูปทรงต่างๆ	18
รูปที่ 2.16 ตัวอย่างของวัสดุและความยาวคลื่นที่แสงสามารถทะลุผ่านออกมาได้	18
รูปที่ 2.17 การจัดชุดอุปกรณ์สำหรับวัดความเข้มข้นสารสีย้อม Rhodamine 6	20
รูปที่ 3.1 ระบบตรวจวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์	21
รูปที่ 3.2 ลักษณะการยึดไดโอดเปล่งแสงกับอุปกรณ์ระบายความร้อน	21
รูปที่ 3.3 ฟิลเตอร์แสงชนิด long pass ของบริษัท Thorlabs	22
รูปที่ 3.4 แทนจับยึดโมโครฟลูอิดิกแซนแนล	23
รูปที่ 3.5 โฟโตไดโอดซิลิกอนของบริษัท Roithner Laser	24
รูปที่ 3.6 โฟโตไดโอดและกราฟการตอบสนองต่อแสงกับความยาวคลื่น	24
รูปที่ 3.7 วุจรขยายสัญญาณ	24

ไม่วารณิตยสารนี้ให้ผู้อื่นใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.8 Syringe pump รุ่น NE-300 Just Infusion	25
รูปที่ 3.9 กราฟแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปล่งแสง ของสาร Rhodamine 6 G	26
รูปที่ 3.10 กราฟแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปล่งแสง ของสาร DCM	27
รูปที่ 3.11 กราฟแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปล่งแสง ของสาร Coumarin 153	27
รูปที่ 3.12 (ก) เครื่องฉายแสงจากหลอดไฟทั้งสแตน (ข) สเปกตรัมแสงของหลอดไฟ ทั้งสแตน	28
รูปที่ 3.13 สายใยแก้วนำแสงสำหรับนำส่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสง ไปยังคิวเวทและไมโครฟลูอิดิก	28
รูปที่ 3.14 (ก) เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (ข) สายใยแก้วนำแสง	29
รูปที่ 3.15 (ก) คิวเวทควอทซ์ (ข) อุปกรณ์ไมโครฟลูอิดิก	29
รูปที่ 3.16 อุปกรณ์จับยึดยึดสายใยแก้วนำแสงและใส่ที่บรรจุสารละลาย	30
รูปที่ 3.17 ระบบการวัดสมบัติการดูดกลืนแสงของสารสี้อมเรืองแสงในคิวเวท	31
รูปที่ 3.18 ระบบการวัดสมบัติการดูดกลืนแสงของสารสี้อมเรืองแสงในไมโครฟลูอิดิก	31
รูปที่ 3.19 สเปกตรัมแสงของไดโอดเปล่งแสงที่ปลดปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่นสูงสุด 515.77 นาโนเมตร (เส้นสีเขียว) 451.26 นาโนเมตร (เส้นสีน้ำเงิน) และ 398.63 นา โนเมตร (เส้นสีม่วง)	32
รูปที่ 3.20 ระบบการวัดสมบัติการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสารเรืองแสงในคิวเวท	33
รูปที่ 3.21 ระบบวัดสมบัติการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสารเรืองแสงในไมโคร ฟลูอิดิก	33
รูปที่ 3.22 ระบบการวัดสมบัติทางไฟฟ้าในไมโครฟลูอิดิก	34
รูปที่ 3.23 ระบบวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์โดยมีการจัดตำแหน่ง แหล่งกำเนิดแสงและตำแหน่งสายใยแก้วนำแสง 3 รูปแบบ	36
รูปที่ 4.1 กราฟสเปกตรัมการเปล่งแสงของสาร Rhodamine 6 G ที่มีความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ โดยเปลี่ยนตำแหน่งอุปกรณ์การวัดในรูปแบบต่างๆ	39
รูปที่ 4.2 กราฟฟออร์มอลไลซ์สเปกตรัมการเปล่งแสงของสาร Rhodamine 6 G ที่ม ีความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ โดยเปลี่ยนตำแหน่งอุปกรณ์การวัดในรูปแบบต่างๆ	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสาร Rhodamine 6 G ในคิวเวท ที่มีความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์	40
รูปที่ 4.4 ค่าพีการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์ของสาร Rhodamine 6 G ในคิวเวท	41
รูปที่ 4.5 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสาร Rhodamine 6 G ที่มีความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ ที่วัดในคิวเวทและไมโครฟลูอิดิก	41
รูปที่ 4.6 สเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสาร Rhodamine 6 G ในคิวเวทที่มีความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์	42
รูปที่ 4.7 ค่าพีการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่มีความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์ ของสาร Rhodamine 6 G ในคิวเวท	42
รูปที่ 4.8 สเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสาร Rhodamine 6 G ในไมโครฟลูอิดิกที่มีความเข้มข้น 10^{-7} - 5×10^{-3} โมลาร์	43
รูปที่ 4.9 ค่าพีการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่มีความเข้มข้น 10^{-7} - 5×10^{-3} โมลาร์ ของสาร Rhodamine 6 G ในไมโครฟลูอิดิก	43
รูปที่ 4.10 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสาร DCM ในคิวเวทที่มีความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์	44
รูปที่ 4.11 ค่าพีการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์ ของสาร DCM ใน คิวเวท	44
รูปที่ 4.12 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสาร DCM ที่ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ ที่วัดในคิวเวทและไมโครฟลูอิดิก	45
รูปที่ 4.13 สเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสาร DCM ในคิวเวทที่มีความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์	45
รูปที่ 4.14 ค่าพีการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์ ของสาร DCM ในคิวเวท	46
รูปที่ 4.15 สเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสาร DCM ในไมโครฟลูอิดิกที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 5×10^{-3} โมลาร์	46
รูปที่ 4.16 ค่าพีการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 5×10^{-3} โมลาร์ ของสาร DCM ในไมโครฟลูอิดิก	47
รูปที่ 4.17 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสาร Coumarin 153 ในคิวเวทที่มีความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.18 ค่าพีการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์ ของสาร Coumarin 153 ในคิวเวท	48
รูปที่ 4.19 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสาร Coumarin 153 ที่ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ ที่วัดในคิวเวทและไมโครฟลูอิดิก	48
รูปที่ 4.20 สเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสาร Coumarin 153 ในคิวเวทที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์	49
รูปที่ 4.21 ค่าพีการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์ ของสาร Coumarin 153 ในคิวเวท	49
รูปที่ 4.22 สเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสาร Coumarin 153 ในไมโครฟลูอิดิกที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 5×10^{-3} โมลาร์	50
รูปที่ 4.23 ค่าพีการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 5×10^{-3} โมลาร์ ของสาร Coumarin 153 ในไมโครฟลูอิดิก	50
รูปที่ 4.24 ไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 1	51
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่วัดในไมโครฟลูอิดิกแบบที่ ขนาด 250 500 และ 1000 ไมโครเมตร ใช้ฟิลเตอร์ long pass ที่มีความยาวคลื่น cut on เท่ากับ 570 นาโนเมตร	52
รูปที่ 4.26 ไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 2	52
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่วัดในไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 2 ขนาด 250 500 และ 1000 ไมโครเมตร ใช้ฟิลเตอร์ long pass ที่มีความยาวคลื่น cut on เท่ากับ 570 นาโนเมตร	52
รูปที่ 4.28 ไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 3	53
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่วัดในไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 3 ขนาด 250 500 และ 1000 ไมโครเมตร ใช้ฟิลเตอร์ long pass ที่มีความยาวคลื่น cut on เท่ากับ 570 นาโนเมตร	53
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้จากโฟโตไดโอด รุ่น SPD900-9P ของสาร Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 ที่มีความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} M	54
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าจากทฤษฎีและการทดลองด้วยโฟโตไดโอดรุ่น SPD900-9P ของสาร Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 ที่มีความ เข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} M	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้จากโฟโตไดโอด รุ่น SM05PD1A บริษัท Thorlabs ของสาร Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 ที่มีความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์	55
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าจากทฤษฎีและการทดลองด้วยโฟโตไดโอด รุ่น SM05PD1A บริษัท Thorlabs ของสาร Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 ที่มีความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์	56

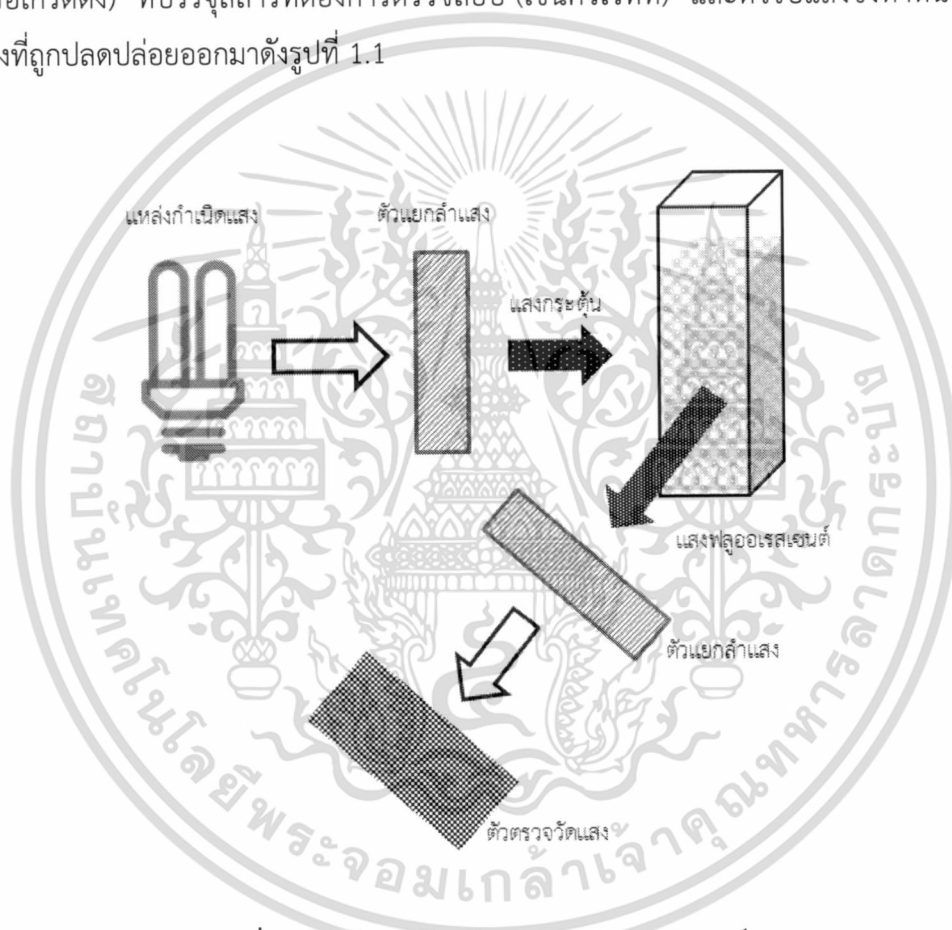


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

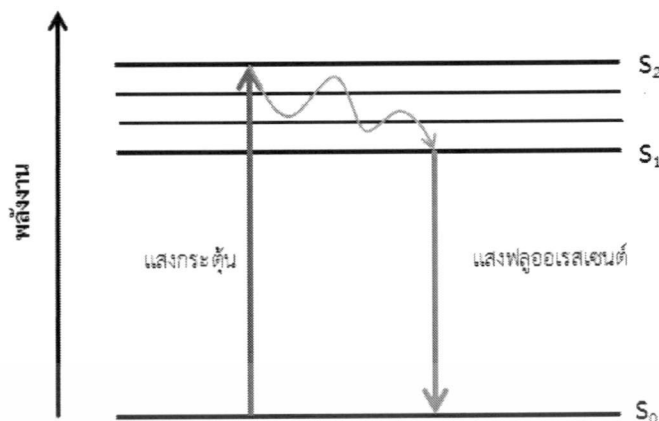
การตรวจวัดปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในงานวิเคราะห์สมบัติของสาร โดยทั่วไปแล้วการตรวจวัดจะสามารถกระทำได้โดยอาศัยเครื่องวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์ องค์ประกอบหลักของเครื่องจะมีแหล่งกำเนิดแสงที่ทำหน้าที่กระตุ้นหรือให้พลังงานกับสารที่ต้องการตรวจสอบ ตัวแยกแสง (เช่น ฟิลเตอร์ หรือเกรตติง) ที่บรรจุสารที่ต้องการตรวจสอบ (เช่น คิวเวทท์) และตัวรับแสงซึ่งทำหน้าที่ตรวจวัดสัญญาณแสงที่ถูกปลดปล่อยออกมาดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 หลักการวัดปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์

หลักการวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์จะทำได้โดยการฉายแสงที่มีย่านพลังงานที่เหมาะสมให้กับสารที่ต้องการตรวจสอบ ทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในสถานะพื้น (S_0) เปลี่ยนระดับพลังงานขึ้นไปยังสถานะที่สูงขึ้น (S_1, S_2, S_3, \dots) ดังรูปที่ 1.2 และเมื่ออิเล็กตรอนกลับสู่สถานะพื้นจะคายพลังงานออกมา โดยแสงฟลูออเรสเซนซ์หรือพลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะมีความยาวคลื่นยาวขึ้น กว่าแสงที่ใช้ในการกระตุ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือมีพลังงานลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเนื่องจากการกลับเข้าสู่สถานะพื้นของอิเล็กตรอนจะมีการสูญเสียพลังงานไปบางส่วนเนื่องจากการชนและการสั่นของอะตอมหรือโมเลกุล และการถ่ายเทพลังงานให้สารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



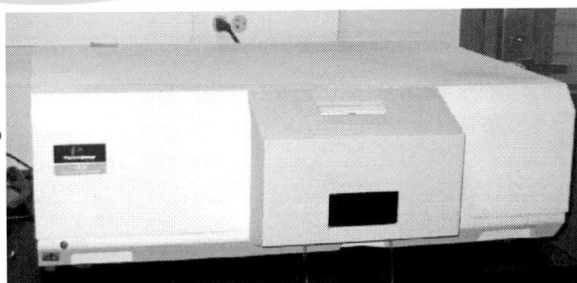
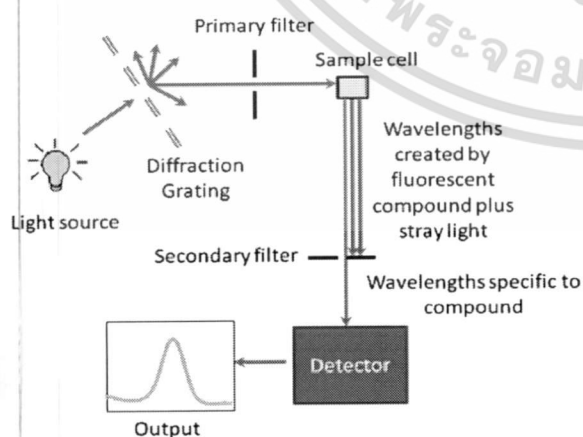
รูปที่ 1.2 กลไกการเกิดแสงฟลูออเรสเซนซ์

ชนิดของเครื่องวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์

เครื่องวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์อาจแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามชนิดของตัวแยกแสง คือ

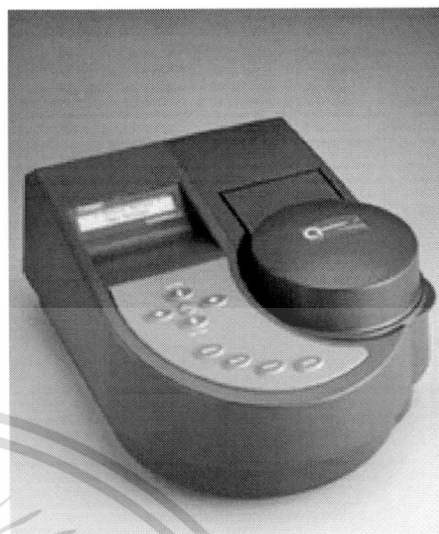
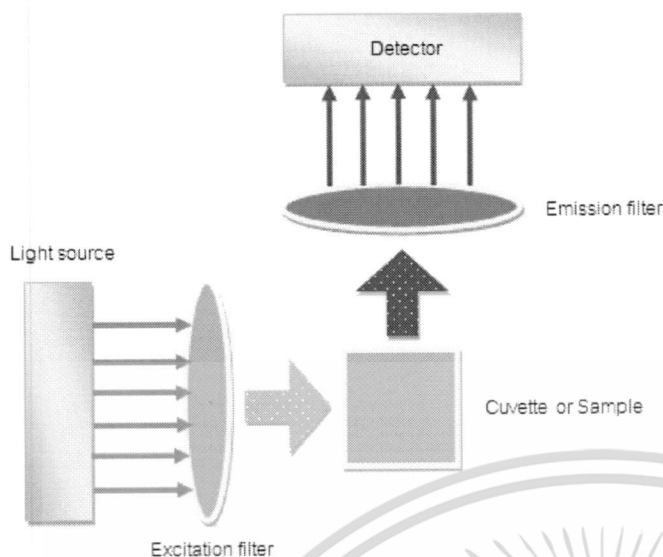
- เครื่องฟลูออโรมิเตอร์ชนิดใช้ฟิลเตอร์ (Filter fluorometer)
- เครื่องฟลูออโรมิเตอร์ชนิดใช้เกรตติง (Spectrofluorometer)

ตัวแยกแสงทำหน้าที่กรองแสงหรือแยกความยาวคลื่นแสงที่ไม่ต้องการให้ตกกระทบสารตัวอย่างออก ในกรณีที่ใช้เกรตติงเป็นตัวแยกแสงเครื่องจะสามารถจำแนกแสงตกกระทบได้ดีและให้แถบแสงที่แคบ แต่ในกรณีที่ใช้ฟิลเตอร์จำเป็นต้องเลือกใช้งานให้ถูกต้องเหมาะสมกับย่านที่ต้องการวัด เพราะฟิลเตอร์ให้แสงออกมาเป็นแถบและมีย่านที่กว้างกว่าเกรตติง ดังนั้นการเลือกใช้ฟิลเตอร์จะต้องเลือกให้มีค่าแบนด์วิธ (Bandwidth) แคบๆ และไม่อยู่ในย่านที่ซ้อนทับกับแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ต้องการตรวจวัดเพราะจะทำให้วัดปริมาณแสงได้สูงกว่าค่าจริง



รูปที่ 1.3 เครื่องฟลูออโรมิเตอร์ชนิดใช้เกรตติง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 เครื่องฟลูออโรมิเตอร์ชนิดใช้ฟิลเตอร์

แหล่งกำเนิดแสง

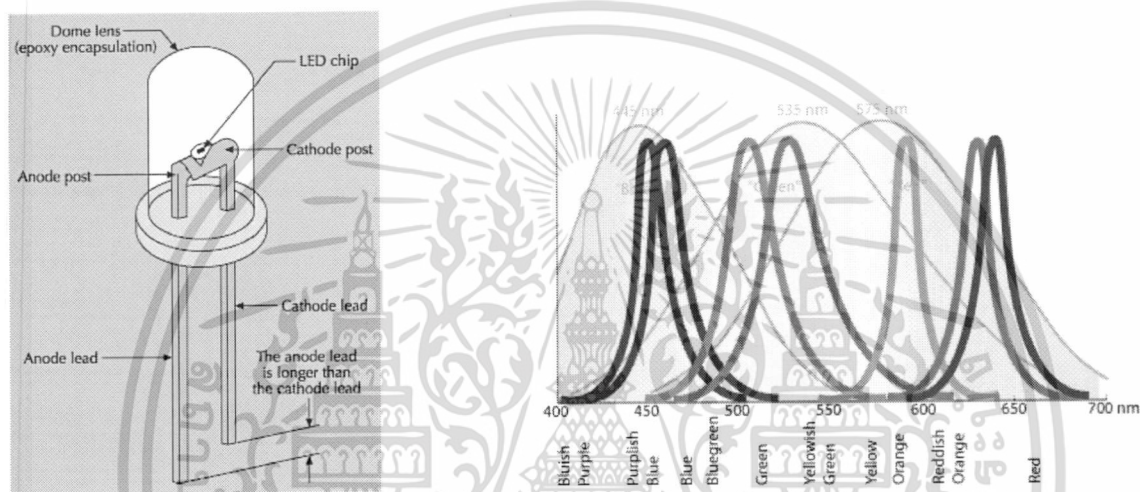
แหล่งกำเนิดแสงคือส่วนประกอบสำคัญที่ทำหน้าที่ให้กระตุ้นหรือให้พลังงานกับสารตัวอย่างที่ศึกษา สมบัติของแหล่งกำเนิดแสงที่ดีคือต้องมีค่าความยาวคลื่นในย่านที่เหมาะสมต่อการดูดกลืนพลังงานของสารที่ศึกษาและมีความเข้มแสงคงที่ตลอดช่วงเวลาที่วัดค่า แหล่งกำเนิดแสงมีอยู่มากมายหลายชนิดดังแสดงในตารางที่ 1.1 ซึ่งแต่ละชนิดจะมีหลักการทำงานและให้แสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันออกไป

ตารางที่ 1.1 ชนิดของแหล่งกำเนิดแสงและการใช้งาน [1]

Type	Usage
Tungsten Halogen Light Sources:	Used most often as standard VIS-NIR light sources for absorbance, reflectance of solid objects and color measurement.
Deuterium Light Sources:	Used most often for UV absorbance and reflectance measurements, and for applications requiring a stable, high-power source.
Combination UV-VIS-NIR Light Sources:	Used as a single illumination source for measurements across our spectrometers' entire wavelength range.
Pulsed Xenon Lamp:	Used most often in applications requiring a long-life light source for absorbance, reflectance and fluorescence measurements, and for measuring optically or thermally unstable samples.
Light-emitting Diodes:	Used most often as an excitation source for fluorescence applications. Features minimal warm-up time and high stability.
Mercury-Argon Wavelength Calibration Source:	Used as a wavelength calibration source for spectrophotometric systems. Produces Hg and Ar atomic emission lines from 253-922 nm.
Calibrated Tungsten Halogen Light Source:	Used to calibrate the absolute spectral intensity of a system. Its spectral intensity is NIST-traceable.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันเทคโนโลยีของแหล่งกำเนิดแสงได้ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ทำให้มีแหล่งกำเนิดแสงแอลอีดี (LED) ที่มีขนาดเล็ก ให้ความสว่างสูงและใช้กำลังไฟต่ำ แหล่งกำเนิดแสงชนิดนี้ยังมีราคาถูกเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงชนิดอื่น ๆ ที่ถูกนำมาใช้ในการตรวจวัดเช่น ซีนอน และเลเซอร์ เป็นต้น ดังนั้นการประยุกต์ใช้แหล่งกำเนิดแสง LED เพื่อกระตุ้นสสารจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการพัฒนาเครื่องมือวัดให้มีขนาดเล็กและกินไฟน้อย งานวิจัยนี้จะเกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องวัดปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์ขนาดพกพา โดยใช้ LED เป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยเครื่องต้นแบบที่พัฒนาได้สามารถถูกนำไปประยุกต์ใช้กับงานวิเคราะห์ปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์ในห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 1.5 ไดโอดเปล่งแสง [2]

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเครื่องวัดปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์ขนาดพกพาโดยใช้แหล่งกำเนิดแสง LED
2. เพื่อนำเครื่องที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้เครื่องกับงานวิเคราะห์ปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์ทั้งในและนอกห้องปฏิบัติการ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติและหลักการทำงานของเครื่องวัดปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์
2. ศึกษาสมบัติและหลักการทำงานของแหล่งกำเนิดแสง LED ชนิดต่างๆ
3. ทดลองจัดสร้างเครื่องวัดปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง LED ชนิดต่างๆ
4. ศึกษาสมบัติของเครื่องที่จัดเตรียมขึ้น เช่น ความไว (sensitivity) ความยาวคลื่นของแสงกระตุ้น ย่านการตอบสนองของตัวตรวจวัดแสง เป็นต้น
5. จัดทำเครื่องสำเร็จรูปต้นแบบสำหรับนำไปใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาทฤษฎีและหลักการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อวิจัย เช่น หลักการทำงานของเครื่องวัดปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์ หลักการทำงานของแอลอีดี
- ขั้นตอนที่ 2 จัดหาวัสดุสำหรับสร้างเครื่องวัดปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์
- ขั้นตอนที่ 3 ทดลองสร้างเครื่องวัดปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์
- ขั้นตอนที่ 4 ศึกษาและพัฒนาสมบัติของเครื่องที่สร้างขึ้น
- ขั้นตอนที่ 5 สร้างเครื่องต้นแบบและนำไปทดลองใช้งานในภาคสนามและในห้องปฏิบัติการ
- ขั้นตอนที่ 6 จัดทำและส่งมอบรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ตารางที่ 1.2 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ระยะเวลา											
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
ขั้นตอนที่ 1												
ขั้นตอนที่ 2												
ขั้นตอนที่ 3												
ขั้นตอนที่ 4												
ขั้นตอนที่ 5												
ขั้นตอนที่ 6												

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. นักวิจัยสามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้ในการสร้างเครื่องมือวัดเพื่อใช้งานจริง
2. ได้เครื่องวัดฟลูออเรสเซนซ์ขนาดพกพาที่เหมาะสมกับงานวัดในภาคสนาม
3. สามารถนำเครื่องต้นแบบไปขยายผลต่อในเชิงพาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

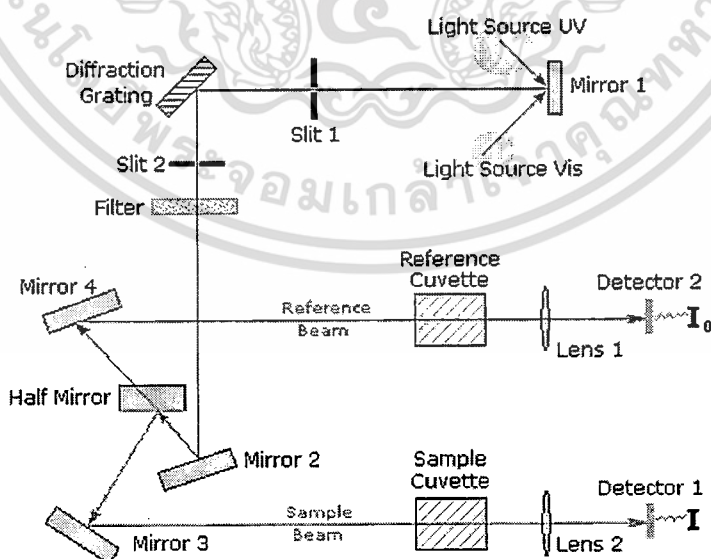
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

การวัดการดูดกลืนและการคายแสงหรือรังสีที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิลจะสามารถทำได้โดยอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า ยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรมิเตอร์ ซึ่งเครื่องมือนี้จะมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

- แหล่งกำเนิดแสง
- อุปกรณ์เลือกความยาวคลื่น
- แท่นวาง (จับยึด) สารตัวอย่าง
- อุปกรณ์ตรวจวัดแสง
- ส่วนประมวลผลสัญญาณ

การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนหรือการคายแสง กระทำได้โดยฉายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีพลังงานเหมาะสมผ่านไปยังโมโนโครเมเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าควบคุมแสงให้ผ่านออกมาและมีค่าความยาวคลื่นเฉพาะตามต้องการ แสงที่ออกมาจากโมโนโครเมเตอร์จะถูกส่งผ่านไปยังแท่นวางสารตัวอย่าง แสงที่ไม่ได้ถูกดูดกลืนหรือถูกปลดปล่อยออกมาจากสารตัวอย่างจะถูกส่งผ่านออกมายังอุปกรณ์ตรวจวัดแสง สัญญาณไฟฟ้าจากอุปกรณ์ตรวจวัดแสงจะถูกส่งผ่านมายังส่วนประมวลผลสัญญาณและแสดงผลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์แสดงผลชนิดอื่น



รูปที่ 2.1 แผนภาพการทำงานของเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงคือส่วนประกอบสำคัญที่ทำหน้าที่ให้กระตุ้นหรือให้พลังงานกับสารตัวอย่างที่ศึกษา สมบัติของแหล่งกำเนิดแสงที่ดีคือต้องมีค่าความยาวคลื่นในย่านที่เหมาะสมต่อการดูดกลืนพลังงานของสารที่ศึกษาและมีความเข้มแสงคงที่ตลอดช่วงเวลาที่วัดค่า แหล่งกำเนิดแสงมีอยู่มากมายหลายชนิดซึ่งแต่ละชนิดจะมีหลักการทำงานและให้แสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันออกไป ดังนี้

หลอดไฮโดรเจนและหลอดดิวเทอเรียม

หลอดไฮโดรเจนและหลอดดิวเทอเรียม เป็นแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ให้สเปกตรัมรังสีที่ต่อเนื่องและความยาวคลื่นในย่าน 160-380 นาโนเมตร โครงสร้างของหลอดโดยทั่วไปจะประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าแอโนดและแคโทดและหน้าต่างที่ทำจากแก้วควอตซ์¹ ดังรูปที่ 2.2 ภายในหลอดจะบรรจุก๊าซไฮโดรเจน (หลอดไฮโดรเจน) หรือบรรจุก๊าซดิวเทอเรียม (หลอดดิวเทอเรียม) ที่มีความดันต่ำ เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าศักย์สูงให้กับหลอดจะทำให้อะตอมของก๊าซถูกไอออไนซ์ อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะวิ่งไปชนกับอะตอมของก๊าซภายในหลอดและทำให้อิเล็กตรอนในสถานะพื้นถูกกระตุ้นให้อยู่ในสถานะกระตุ้น และเมื่ออิเล็กตรอนตกกลับลงมาสู่สถานะพื้นจะคายพลังงานในรูปของแสง ซึ่งแสงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะมีสเปกตรัมขึ้นกับชนิดของก๊าซที่ถูกบรรจุภายในหลอด

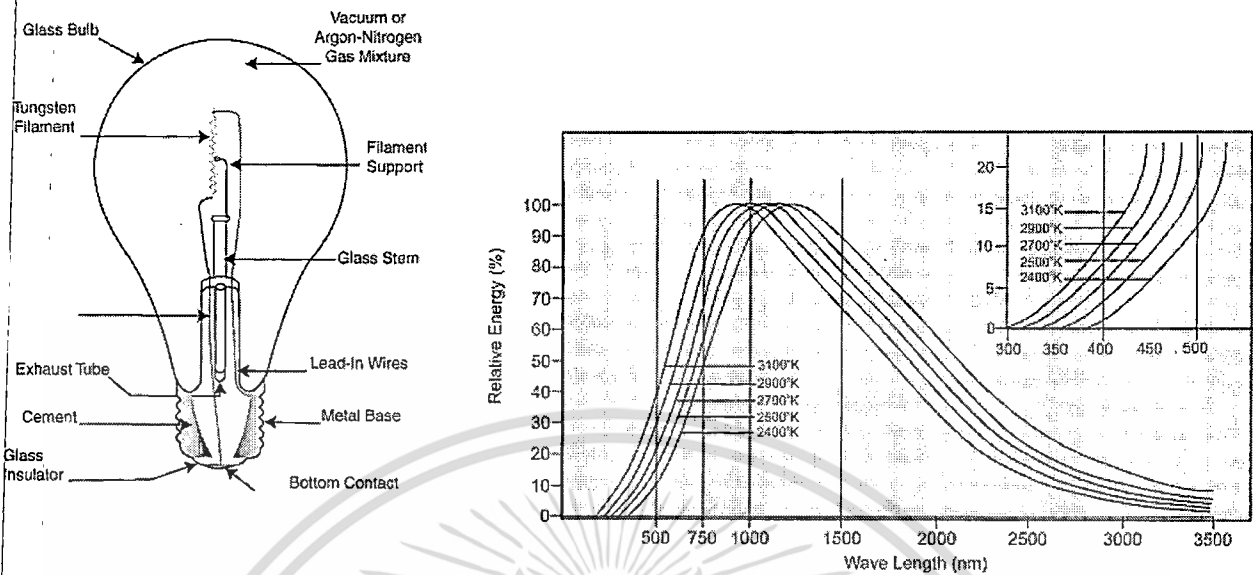


รูปที่ 2.2 โครงสร้างของหลอดไฮโดรเจนและหลอดดิวเทอเรียมโดยทั่วไป

หลอดทังสเตน

หลอดทังสเตนเป็นหลอดที่กำเนิดแสงในย่านวิสิเบิลถึงย่านอินฟราเรด โครงสร้างของหลอดโดยทั่วไปจะประกอบด้วยไส้หลอดที่ทำจากวัสดุทังสเตน (tungsten filament) และครอบแก้ว (glass bulb) ดังรูปที่ 2.3

¹ ควอตซ์คือแก้วชนิดหนึ่งที่ไม่ดูดกลืนแสงยูวีหรือแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 350 นาโนเมตร อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 หลอดทังสแตน

เมื่อจ่ายกระแสผ่านไส้หลอดที่ทำจากหลอดทังสแตน ไส้หลอดจะร้อนและเปล่งแสงออกมาอย่างต่อเนื่องในย่านความยาวคลื่น 320 ถึง 2500 นาโนเมตร โดยทั่วไปแล้วหลอดทังสแตนจะมีอายุการใช้งานต่ำ จึงได้ถูกพัฒนาให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นโดยการเติมก๊าซเฉื่อยบางชนิดเข้าไปเพื่อลดการระเหิดของไส้หลอด ตัวอย่างของก๊าซเฉื่อยที่นิยมใช้เช่น อาร์กอน ไนโตรเจน หรือในบางครั้งจะมีการเติมก๊าซฮาโลเจน เช่น ก๊าซไอโอดีน หรือโบรมีน เพื่อช่วยลดการเกาะตัวของบริเวณครอบแก้วของทังสแตนที่ระเหิดออกมา หลอดที่มีการเติมก๊าซฮาโลเจนเข้าไปจะถูกเรียกว่า “หลอดทังสแตน-ฮาโลเจน”

ไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสงเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ถูกใช้เพื่อการกระตุ้นสารตัวอย่างเพื่อวัดสเปกตรัมการเรืองแสง (fluorescence spectrum) แหล่งกำเนิดแสงชนิดนี้นิยมใช้เนื่องจากมีเสถียรภาพและมีการแผ่ความร้อนออกมาน้อยเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงอื่น

โครงสร้างโดยทั่วไปของไดโอดเปล่งแสงประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำสองชนิด (สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และสารกึ่งตัวนำชนิดพี) ประกบเข้าด้วยกัน มีผิวข้างหนึ่งเรียบคล้ายกระจก เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงผ่านตัวไดโอดเปล่งแสง โดยจ่ายไฟบวกให้ขาแอนโนด (A) จ่ายไฟลบให้ขาแคโทด (K) ทำให้อิเล็กตรอนที่สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นมีพลังงานสูงขึ้น จนสามารถวิ่งข้ามรอยต่อจากสารชนิดเอ็นไปรวมกับโฮลในสารชนิดพี การที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อพีเอ็นทำให้เกิดกระแสไหล เป็นผลให้ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเปลี่ยนไปและคายพลังงานออกมาในรูปคลื่นแสง สีของแสงที่เกิดจากรอยต่อจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างไดโอด เปล่งแสงทั้งชนิดที่เป็นของเหลวและก๊าซ เช่น ใช้แกลเลียมฟอสไฟด์ (GALLIUM AEGARSANI เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญาดเห็นใบไซประะเขยชนดานการคาไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

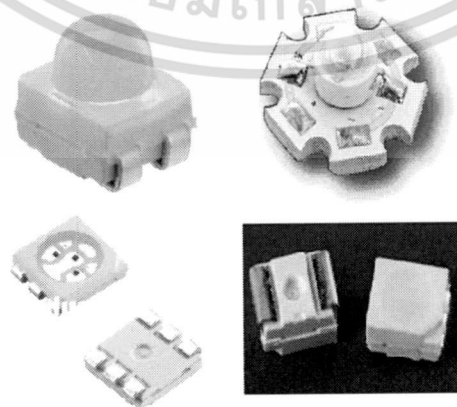
PHOSPHIDE,GaP) ทำให้เกิดแสงสีแดง ใช้แกลเลียมอาซีนัด ฟอสไฟต์ (GALLIUM ARSENIDE PHOSPHIDE,GaAsP) เกิดแสงสีเหลืองและเขียว การควบคุมปริมาณแสงสว่างจะควบคุมกระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสง หากกระแสที่ไหลสูงมากไปจะทำให้หลอดมีความสว่างมาก แต่หากบ่อนกระแสสูงมาไปจะทำให้บริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำเกิดความร้อนในปริมาณมากจนทำให้โครงสร้างหลอดเสียหายไม่สามารถใช้งานได้อีก

ไดโอดเปล่งแสงที่วางขายตามท้องตลาดในปัจจุบันมีหลายรูปแบบ หากแบ่งไดโอดเปล่งแสงตามลักษณะของบรรจุภัณฑ์ (Packet) จะสามารถแบ่งได้ 2 แบบคือ

1. แบบ Lamp Type เป็นไดโอดเปล่งแสงชนิดที่พบกันอยู่ทั่วไปมีขายื่นออกมาจากตัว Epoxy 2 ขา หรือมากกว่า โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 3 มิลลิเมตรขึ้นไป บริษัทผู้ผลิตจะออกแบบให้ขั้วกระแสได้ไม่เกิน 150 มิลลิแอมป์

รูปที่ 2.4 ไดโอดเปล่งแสงแบบ Lamp Type

2. แบบ Surface Mount Type (SMT) มีลักษณะ packet เป็นตัวบางๆ เวลาประกอบต้องใช้เครื่องมือชนิดพิเศษมีขนาดการขั้วกระแสตั้งแต่ 20 มิลลิแอมป์ถึงมากกว่า 1 แอมป์ สำหรับแอลอีดีแบบ SMT ถ้าขั้วกระแสได้ตั้งแต่ 300 มิลลิแอมป์ขึ้นไป จะเรียกว่า high power LED



รูปที่ 2.5 ไดโอดเปล่งแสงแบบ Surface Mount Type (SMT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของไดโอดเปล่งแสง

- มีประสิทธิภาพการให้แสงสว่างสูง และทิศทางแสงสว่างของไดโอดเปล่งแสงจะส่องไปเฉพาะด้านหน้าเท่านั้น ลดการสูญเสียของแสงสว่าง
- ใช้พลังงานน้อย
- ทนต่อการสั่นสะเทือนและแรงกระแทก
- สามารถเปิดปิดได้บ่อยครั้ง และเมื่อเปิดจะให้แสงสว่างโดยทันที
- อายุการใช้งานยาวนานถึง 100,000 ชั่วโมง
- สามารถควบคุมคุณภาพของแสงที่ปล่อยออกมาได้จึงสามารถนำไปใช้ให้แสงสว่างในบางสถานที่ได้ เช่น การให้แสงสว่างกับภาพเขียนเนื่องจากสามารถควบคุมแสงสว่างจาก ไดโอดเปล่งแสง ไม่มีส่วนผสมของแสงที่เป็นอันตรายต่อภาพเขียน เช่น แสงอินฟราเรดและแสงอุลตราไวโอเลต
- ปล่อยความร้อนออกมาน้อยมาก ทำให้ลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในส่วนเครื่องปรับอากาศ
- การดูแลรักษาต่ำ
- น้ำหนักเบา , ขนาดเล็ก

ข้อจำกัดของไดโอดเปล่งแสง

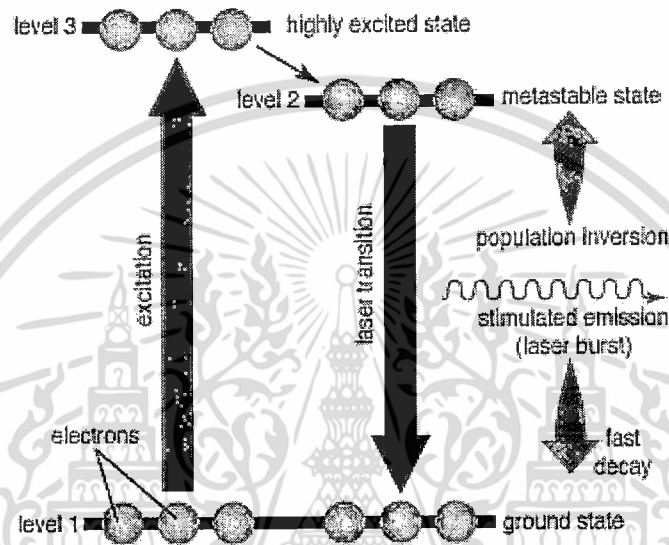
- ในการนำไดโอดเปล่งแสงมาใช้งานต้องมีการทดสอบสีว่า แสงที่ออกมาเป็นแสงสีที่ถูกต้องหรือไม่
- ราคาไดโอดเปล่งแสงยังแพงกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์อยู่มาก

เลเซอร์

เลเซอร์ (LASER) คือแหล่งกำเนิดแสงอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในการกระตุ้นสารตัวอย่างและวัดการปล่อยพลังงานออกด้วยกลไกลูมิเนสเซนซ์ แหล่งกำเนิดแสงชนิดนี้จะให้แสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะค่าและมีความเข้มแสงสูงมาก หลักการทำงานของเลเซอร์สามารถอธิบายได้โดยใช้แบบจำลองพลังงานที่มี 3 สถานะ ดังรูปที่ 2.6 เมื่ออิเล็กตรอนในสถานะพื้น (level 1) ถูกกระตุ้นโดยพลังงานภายนอก เช่น แสง ไฟฟ้า จะทำให้มีพลังงานที่สูงขึ้นและย้ายระดับไปยังสถานะกระตุ้น (level 3) อิเล็กตรอนจะอยู่ในสถานะนี้เพียงชั่วขณะและตกกลับมายังสถานะกระตุ้นกึ่งเสถียร (level 2) ปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสง (ยังไม่ใช่แสงเลเซอร์) อิเล็กตรอนจะอยู่ในสถานะนี้ได้นานพอประมาณและถ้ามีโฟตอนจากภายนอกที่มีพลังงานเท่ากับความแตกต่างของระดับพลังงาน (level 2) – (level 1) เข้ามาชน จะทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในชั้นพลังงาน (level 2) นี้ ถูกกระตุ้นให้ลงมายังชั้นพลังงาน (level 1) โดยมีการคายพลังงานออกมาในรูปของแสง (แสงเลเซอร์) ที่มีพลังงานเท่ากับ (level 2) – (level 1) เนื่องจากโฟตอนแสงที่เข้ามาชนไม่ถูกดูดกลืนโดยอะตอมที่ถูกชน ทำให้จำนวนโฟตอนเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า (โฟตอนที่มากระตุ้นบวกกับโฟตอนที่ได้จากการเปลี่ยนสถานะของอะตอม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟตอนทั้งสองนี้มีพลังงานเท่ากัน มีความถี่เดียวกัน มีเฟสตรงกัน มีโพลาไรเซชันเหมือนกัน และเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน ซึ่งถ้าพิจารณาในมุมมองของคลื่นแล้ว จะพบว่าเมื่อแสงสองขบวนมีความถี่ตรงกัน มีเฟสตรงกัน เคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน สามารถที่จะรวมกันในลักษณะที่เสริมกันได้ ทำให้ได้คลื่นรวมที่มีขนาดโตขึ้น เกิดเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า *การขยายสัญญาณแสง* (light amplification) ขึ้น ถ้าสามารถทำให้เกิดการขยายสัญญาณแสงในลักษณะนี้กับอะตอมเป็นจำนวนมาก ๆ ได้ ก็จะทำให้ได้สัญญาณแสงที่มีความเข้มสูงออกมา



รูปที่ 2.6 แบบจำลองพลังงานที่มี 3 สถานะ

2.1.2 อุปกรณ์เลือกความยาวคลื่น (Wavelength selector)

2.1.2.1 โมโนโครเมเตอร์

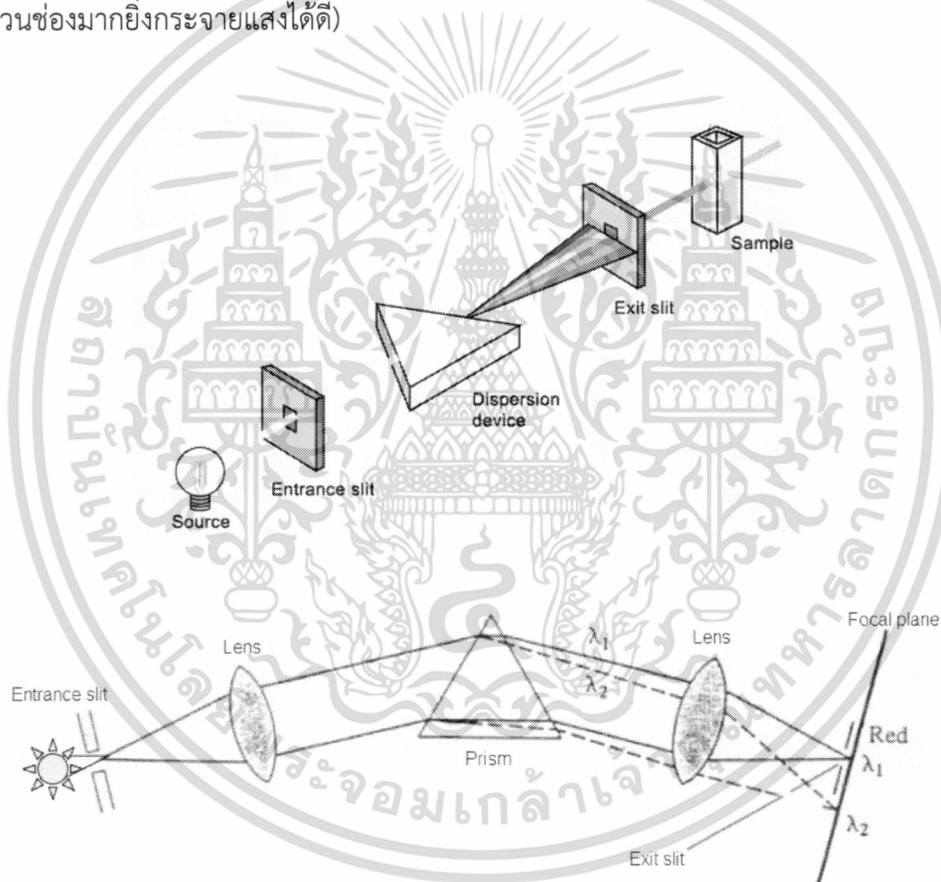
โมโนโครเมเตอร์คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เลือกให้แสงจากแหล่งกำเนิดผ่านออกมาด้วยความยาวคลื่นเฉพาะค่า สามารถจำแนกออกเป็น 2 ชนิดคือ ปริซึมโมโนโครเมเตอร์ (prism monochromator) รูปที่ 2.7 และเกรตติงโมโนโครเมเตอร์ (grating monochromator) รูปที่ 2.8

ส่วนประกอบภายในเครื่องที่สำคัญของอุปกรณ์นี้คือ

1. ช่องให้แสงเข้า (entrance slit) เป็นช่องเปิดขนาดเล็กที่ควบคุมความเข้มแสงที่ผ่านเข้ามา
2. เลนส์นูนหรือกระจกเว้า ซึ่งทำหน้าที่ปรับลำแสงให้เป็นแสงขนาน
3. ปริซึมหรือเกรตติง ซึ่งทำหน้าที่ให้แสงเกิดการหักเหหรือเลี้ยวเบนและกระจายแสงออกมาเป็นแถบสเปกตรัม
4. เลนส์รวมแสง ทำหน้าที่รวมแสงให้เป็นจุดในแนวระนาบ (focal plane)
5. ช่องให้แสงออก (exit slit) เป็นช่องเปิดที่ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณแสงที่ผ่านออกมา

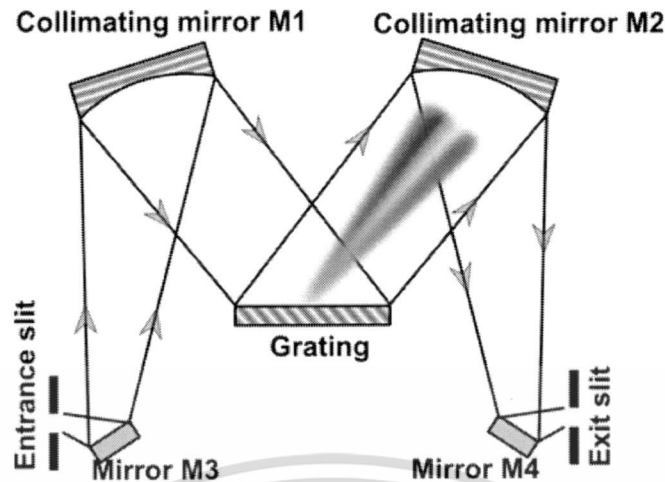
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริซึมโมโนโครเมเตอร์ใช้ปริซึมแยกแสงโดยอาศัยพฤติกรรมหักเหของแสง ซึ่งปริซึมที่ถูกนำมาใช้อาจทำจากวัสดุควอตซ์หรือแก้ว ขึ้นกับย่านความยาวคลื่นแสงที่ใช้งาน ในกรณีของเกรตติงโมโนโครเมเตอร์จะแยกลำแสงที่ผ่านเข้ามาโดยอาศัยพฤติกรรมเลี้ยวเบนของแสงผ่านช่องขนาดเล็ก โดยแผ่นเกรตติงที่ถูกนำมาใช้จะมีช่องเล็กๆจำนวนมากประมาณ 15,000 ถึง 30,000 ช่องต่อนิวบนผิววัสดุ เช่น อะลูมิเนียม การเลือกให้แสงผ่านออกมายังช่องให้แสงออกของโมโนโครเมเตอร์กระทำโดยการหมุนปริซึมหรือเกรตติง ทำให้แสงความยาวคลื่นหนึ่งๆถูกโฟกัสไปที่ช่องให้แสงออก ความกว้างของแถบสเปกตรัมจะขึ้นกับความสามารถในการกระจายแสงของปริซึมหรือเกรตติงและความกว้างของช่องให้แสงออก และกำลังในการกระจายแสงของปริซึมนั้นจะขึ้นกับวัสดุที่ใช้ในการสร้างปริซึมและความยาวคลื่น ขณะที่กำลังในการกระจายแสงของเกรตติงจะขึ้นกับจำนวนช่องต่อนิว (จำนวนช่องมากยิ่งกระจายแสงได้ดี)



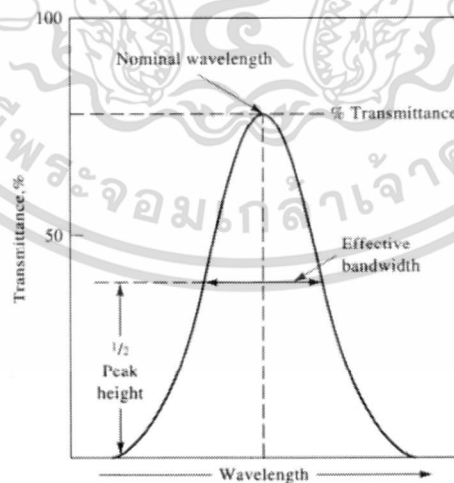
รูปที่ 2.7 ปริซึมโมโนโครเมเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 เกรตติ้งโมโนโครเมเตอร์

รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างแถบสเปกตรัมที่ได้จากโมโนโครเมเตอร์ สเปกตรัมของแสงจะมีความเข้มแสงกระจายตัวคล้ายรูปประฆังคว่ำและมีความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่นค่าหนึ่ง ความกว้างที่ความสูงครึ่งหนึ่งของความเข้มสูงสุดในหน่วยความยาวคลื่นคือ แถบความกว้างยังผล (effective bandwidth) หรือ แถบความกว้างทางสเปกตรัม (spectral bandwidth) หรือที่เรียกสั้นๆว่า แถบความกว้าง (bandwidth) แถบความกว้างสามารถมีค่าได้ตั้งแต่ 1 นาโนเมตรไปถึงหลายนาโนเมตร โมโนโครเมเตอร์ที่ดีต้องสามารถให้แสงที่มีแถบความกว้างแคบๆ ในปัจจุบันโมโนโครเมเตอร์ส่วนใหญ่จะเป็นเกรตติ้งโมโนโครเมเตอร์เพราะมีราคาถูกกว่าในการสร้างและสามารถแยกความยาวคลื่นได้ดีกว่าและกระจายแสงในเชิงเส้นตรงมากกว่าปริซึมโมโนโครเมเตอร์



รูปที่ 2.9 สเปกตรัมแสงจากโมโนโครเมเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 ปริซึม

เมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านปริซึม แสงจะเกิดการหักเหเนื่องจากดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางต่างชนิดกันจะแตกต่างกัน แสงที่มีความยาวคลื่นสั้นจะหักเหได้มากกว่าแสงที่มีความยาวคลื่นยาว ดังรูปที่ ซึ่ง $\lambda_1 > \lambda_2$ เมื่อหมุนปริซึมจะทำให้แสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆในสเปกตรัมผ่านไปที่ยังช่องให้แสงออกและผ่านไปยังตัวอย่างที่ต้องการทดสอบต่อไป ปริซึมสามารถแยกแสงได้ดีในย่านอัลตราไวโอเล็ตและย่านวิสิเบิล รวมถึงย่านอินฟราเรดด้วย แต่เนื่องจากการหักเหของแสงจะไม่เป็นเชิงเส้นจึงใช้ได้ดีในช่วงความยาวคลื่นสั้นๆเท่านั้น วัสดุที่ใช้ทำปริซึม เช่น แก้ว (ใช้งานย่านวิสิเบิล) และควอตซ์หรือฟอสซิลิกา (ใช้งานย่านอัลตราไวโอเล็ต)

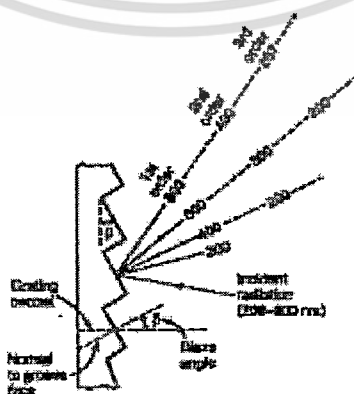
2.1.2.3 เกรตติ้ง

เกรตติ้งคืออุปกรณ์แสงที่ประกอบด้วยร่องขนานกันขนาดเล็กจำนวนมาก ร่องเหล่านี้ถูกเจาะอย่างเป็นระเบียบบนวัสดุที่มีผิวเรียบ เช่น อะลูมิเนียมหรือแก้ว และมีจำนวนเส้นประมาณ 15,000-30,000 เส้นต่อนิ้ว สำหรับการวิเคราะห์ในย่านอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิลและ 1,500-2,500 เส้นต่อนิ้ว สำหรับการวิเคราะห์ย่านอินฟราเรด ซึ่งร่องเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางที่ทำหน้าที่ให้แสงกระจายได้แบบเส้นตรง และความสามารถในการแยกแสงของเกรตติ้งจะขึ้นกับจำนวนร่องนั่นเอง

การแยกแสงของเกรตติ้งสามารถอธิบายได้จากรูปที่ 2.10 เมื่อแสงตกกระทบบที่ผิวของเกรตติ้งด้วยมุม i จะสะท้อนออกไปด้วยมุม θ ถ้าให้ระยะระหว่างเส้นเท่ากับ d ระยะระหว่างแสง 2 ลำที่ตกกระทบบที่มุม i คือ $d \sin i$ และระยะแสงที่สะท้อนออกเท่ากับ $d \sin \theta$ ความแตกต่างของระยะทางระหว่างแสงตกกระทบบและหักเหจะมีค่าเท่ากับ $d \sin(i) - d \sin \theta$

$$n\lambda = d(\sin i - \sin \theta)$$

เมื่อ n คืออันดับของการเลี้ยวเบน เมื่อ n เพิ่มมากขึ้นความยาวคลื่นจะสั้นลง

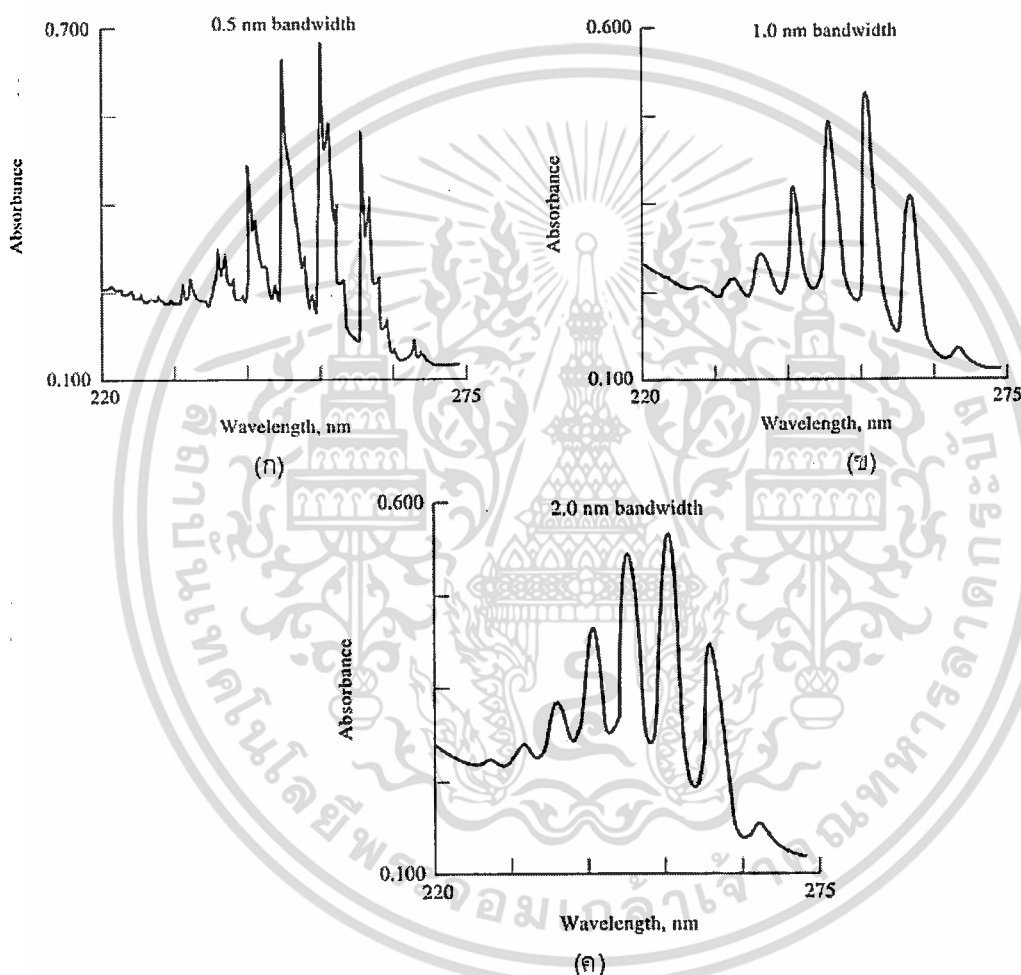


รูปที่ 2.10 การกระจายแสงที่เกิดที่ผิวของเกรตติ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.4 ช่องให้แสงเข้าและช่องให้แสงออก

ประสิทธิภาพของการเลือกแสงของโมนโครเมเตอร์นอกจากจะขึ้นกับการกระจายแสงของปริซึมและเกรตติงแล้ว ยังขึ้นกับความกว้างของช่องแสงเข้าและช่องแสงออกด้วย โมนโครเมเตอร์ส่วนใหญ่จะใช้ช่องแสงเข้าและออกที่สามารถปรับความกว้างได้ การใช้ช่องแสงที่แคบจะทำให้ประสิทธิภาพการแยกแสงที่ดี แต่ขณะเดียวกันก็ทำให้ความเข้มแสงลดลงด้วย ดังนั้นในการวิเคราะห์ปริมาณสารนิยมใช้ช่องแสงที่กว้างในการวิเคราะห์ รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างผลความกว้างของช่องแสงต่อสเปกตรัมของไอเบนซีน จากรูปจะเห็นว่าการใช้ช่องแสงที่แคบจะเห็นรายละเอียดที่ชัดเจนขึ้น



รูปที่ 2.11 ผลความกว้างของช่องแสงต่อสเปกตรัมของไอเบนซีน

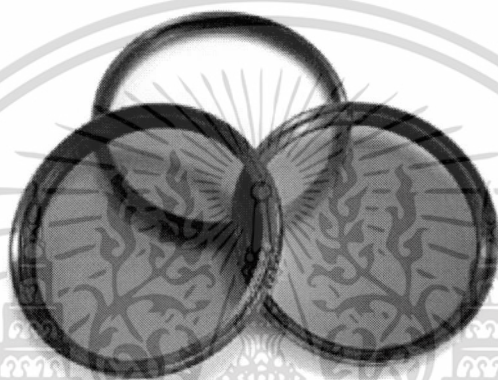
2.1.2.5 ฟิลเตอร์

ฟิลเตอร์คืออุปกรณ์ทางแสงอีกชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่เลือกให้แสงผ่านออกมาและมีค่าความยาวคลื่นเฉพาะย่านทำงานโดยการดูดกลืนแสงบางส่วนออกจากแสงที่มาจากแหล่งกำเนิดแสง เพื่อให้เข้าใจหลักการการทำงานของฟิลเตอร์ จำเป็นต้องเข้าใจการสะท้อนสีของแสงก่อน เช่น เมื่อเราเห็นวัตถุสีแดงนั้นคือผิวหน้าของวัตถุจะดูดกลืนแสงอีก 2 สี คือ สีเขียว และสีน้ำเงินแต่จะมีสีแดงเท่านั้นที่จะสะท้อนออกมาสู่สายตาของเรา ถ้าหากวัตถุที่มีสีดำนั้น หมายความว่าผิวหน้าของวัตถุนั้นได้ดูดกลืนแสงสีทั้งหมดเอาไว้ดังนั้นถ้าปราศจากสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาไปเซบระโยชนดานการค้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะท้อนเมื่อใดวัตถุนั้น ๆ จะเป็นสีดำทันที วัตถุสีขาวจะดูดกลืนแสงสีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น หากแต่จะสะท้อนสีสู่สายตาของเราทั้งสามสีอันมี สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งทำให้เกิดเป็นสีขาวขึ้นมา

ฟิลเตอร์มีคุณลักษณะพิเศษคือ ยอมให้สีของแสงผ่านเฉพาะสีเดียวกันกับสีของฟิลเตอร์เท่านั้น ขณะเดียวกันจะดูดกลืนสีอื่นๆ ที่เหลือ ตัวอย่างเช่น ฟิลเตอร์สีแดงจะยอมให้สีแดงผ่านไปตกที่ฟิล์ม แต่จะดูดกลืนสีฟ้า (สีน้ำเงิน + สีเขียว) ฟิลเตอร์สีเขียวจะยอมให้แสงสีเขียวผ่านและดูดกลืนสีม่วง (สีแดง + สีน้ำเงิน) และฟิลเตอร์สีน้ำเงินยอมให้สีน้ำเงินผ่านและดูดกลืนสีเหลือง (สีแดง + สีเขียว) ดังนั้นฟิลเตอร์สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินเรียกว่า ฟิลเตอร์พื้นฐาน (Primary Filters)

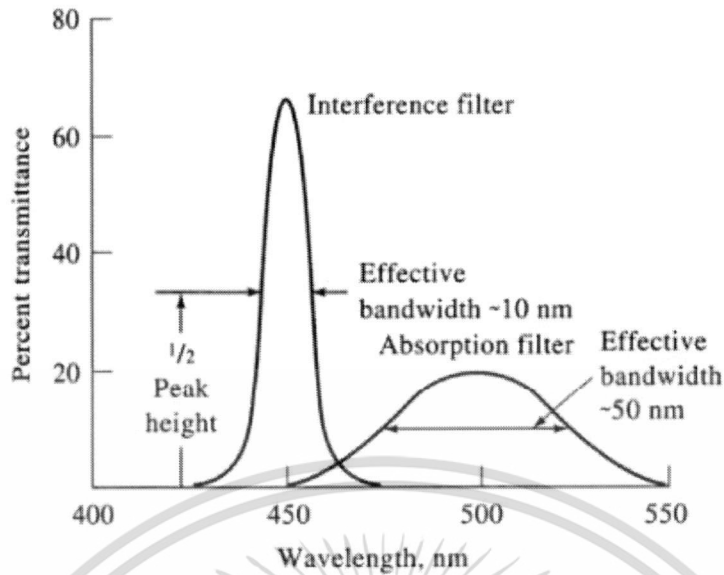


รูปที่ 2.12 ฟิลเตอร์

ในขณะเดียวกันฟิลเตอร์สีเหลืองจะยอมให้สีเหลืองผ่าน ซึ่งในสีเหลืองนั้นมีอยู่สองสี คือ สีแดงและสีเขียว ดังนั้นจะดูดกลืนสีน้ำเงินเอาไว้ ฟิลเตอร์สีม่วง (สีแดง + น้ำเงิน) ยอมให้สีม่วงผ่าน แต่จะดูดกลืนสีเขียว และฟิลเตอร์สีฟ้า (สีเขียว + สีน้ำเงิน) ยอมให้สีฟ้าผ่านและดูดกลืนสีแดงเอาไว้ ฟิลเตอร์สีเหลือง สีม่วง และสีฟ้า เรียกว่า ฟิลเตอร์อันดับรอง (Secondary Filters)

ฟิลเตอร์ที่ถูกผลิตใช้งานในปัจจุบันมีอยู่มากมายหลายชนิด ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงฟิลเตอร์ 2 ชนิดที่นิยมใช้ โดยทั่วไปคือ ฟิลเตอร์แบบดูดกลืน (absorption filter) และฟิลเตอร์แบบแทรกสอด (interference filter) ฟิลเตอร์แบบดูดกลืนเหมาะสำหรับแสงในย่านวิสิเบิลเท่านั้น ในขณะที่ฟิลเตอร์แบบแทรกสอดสามารถใช้ได้กับแสงอัลตราไวโอเล็ต วิสิเบิล จนถึงย่านอินฟราเรด

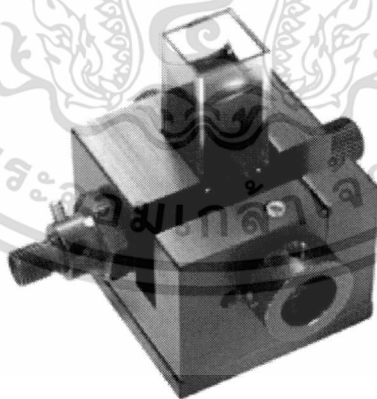
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 เปรียบเทียบแถบความกว้างสเปกตรัมของฟิลเตอร์แบบดูดกลืนและแบบแทรกสอด

2.1.3 แท่นวางสารตัวอย่าง

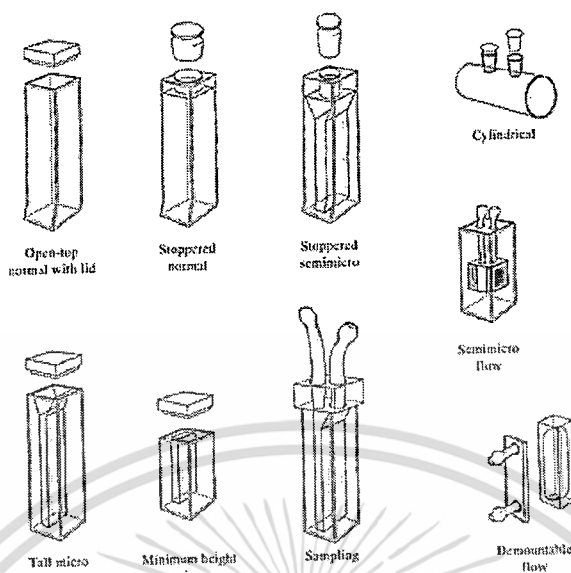
แท่นวางสารตัวอย่างทำหน้าที่จับยึดตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ ลักษณะของแท่นวางสารโดยทั่วไปจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.14 ส่วนของแท่นจับยึดจะถูกออกแบบให้มีรูปทรงกระบอกและมีช่องเปิดสำหรับให้แสงเคลื่อนที่ผ่านเข้าและออก ภายในแท่นสามารถบรรจุคิวเวท (cuvette) หรือภาชนะสำหรับบรรจุสารละลายที่ต้องการทดสอบได้ คิวเวทอาจจะสร้างจากพลาสติก แก้วหรือควอตซ์ขึ้นกับย่านความยาวคลื่นที่ต้องการศึกษา เช่น การศึกษาในช่วงอัลตราไวโอเล็ตจะต้องใช้คิวเวทที่ทำจากวัสดุควอตซ์ หรือการศึกษาในช่วงวิสิเบิลอาจใช้แก้วหรือพลาสติกก็ได้



รูปที่ 2.14 แท่นวางสารตัวอย่าง

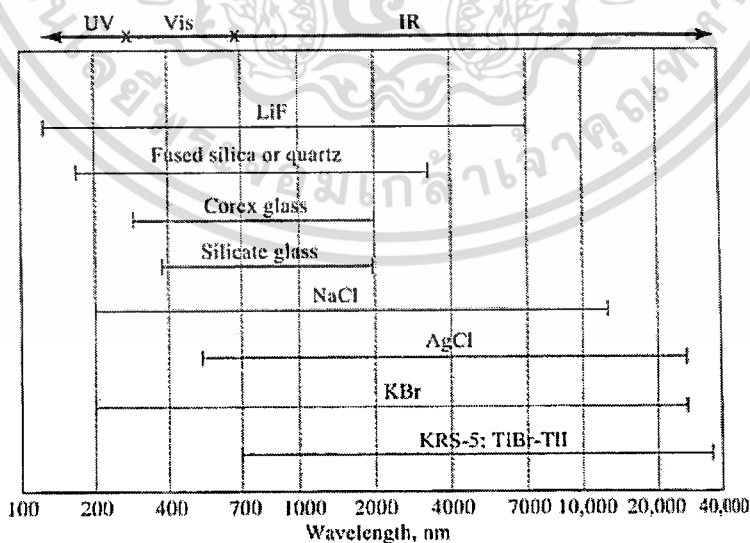
ตัวอย่างของคิวเวทที่วางขายตามท้องตลาดมีลักษณะหลายรูปแบบ แสดงดังรูปที่ 2.15 คิวเวทจะมีหลายรูปทรงและมีระยะทางที่แสงผ่านได้ตั้งแต่ 0.1 เซนติเมตรจนถึง 10-20 เซนติเมตร คิวเวทที่นิยมใช้มากที่สุดจะมีรูปทรงสี่เหลี่ยมจตุรัสทรงสูงที่มีระยะทางให้แสงเคลื่อนที่ขนาด 1 เซนติเมตร คิวเวทรูปทรงอื่นได้แก่ทรง tall micro มีขนาดสูงและแคบ ใช้สำหรับบรรจุสารปริมาณน้อยๆ

ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 คิวเวทรูปทรงต่างๆ

รูปที่ 2.16 แสดงตัวอย่างของวัสดุและความยาวคลื่นที่แสงสามารถทะลุผ่านออกมาได้ จากรูปจะเห็นว่าแก้วซิลิกาสามารถใช้ได้ดีในย่านวิสิเบิลและมีราคาถูก แก้วควอตซ์หรือฟิวส์ซิลิกาสามารถใช้งานในย่านอัลตราไวโอเล็ตหรือการศึกษาในย่านอินฟราเรดซึ่งมีความยาวคลื่นมากกว่า 2.5 ไมโครเมตรจะไม่สามารถใช้แก้วหรือควอตซ์ได้เนื่องจากวัสดุเหล่านี้จะดูดกลืนแสงในย่านความยาวคลื่นนี้ ดังนั้นวัสดุที่ใช้สำหรับการศึกษาในย่านนี้จึงต้องทำจากเกลือแฮไลด์ (halide salts) เช่น KBr NaCl หรือ AgCl เป็นต้น แต่สารเหล่านี้มีข้อเสียคือเป็นสารที่สามารถละลายน้ำหรือดูดความชื้นและมีราคาแพง



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างของวัสดุและความยาวคลื่นที่แสงสามารถทะลุผ่านออกมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 อุปกรณ์ตรวจวัดแสง

อุปกรณ์ตรวจวัดแสงทำหน้าที่รับแสงและแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ตรวจวัดแสงที่นิยมใช้ในเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์มีอยู่หลายชนิด เช่น หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tube) อาร์เรย์ของซิลิกอนไดโอดหรืออาร์เรย์ของโฟโตไดโอด (silicon diode arrays หรือ photodiode arrays) และซีซีดี (CCD หรือ Charge-Coupled Device)

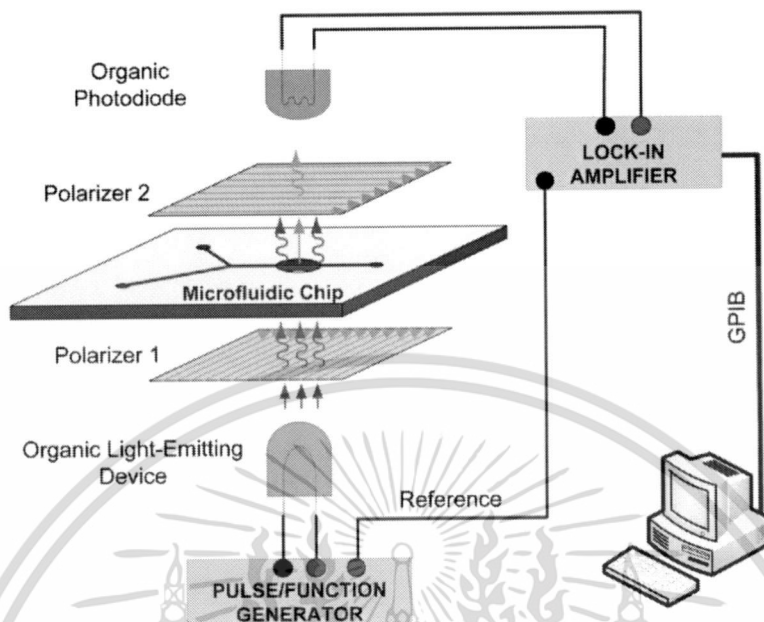
2.3 การประยุกต์ใช้งานของระบบตรวจวัดฟลูออเรสเซนซ์กับไมโครฟลูอิดิก

การวิเคราะห์ทางด้านเคมีและชีววิทยาในระดับไมโคร เทคนิคการตรวจวัดจะใช้ฟลูออเรสเซนซ์ในการตรวจวัด เนื่องจากมีสภาพไวสูง (sensitivity) และเทคนิคนี้ยังเหมาะสำหรับการทดสอบในหลายๆด้าน ระบบจะถูกออกแบบให้มีขนาดเท่ากับบัตรเครดิตซึ่งเรียกว่า ไมโครฟลูอิดิก Lab-on-a-chip (LOC)^[3] ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์อิเล็กโตรโฟรีซิส (electrophoresis-based devices) เกือบทั้งหมดจะใช้เทคนิคการกระตุ้นฟลูออเรสเซนซ์ด้วยเลเซอร์ (laser induced fluorescence : LIF) เพราะมีสภาพไวและเร็วต่อการตอบสนองเป็นสิ่งจำเป็นในการวิเคราะห์ฟีด การตรวจวัดฟลูออเรสเซนซ์ส่วนมากจะมีขนาดในระดับไมโคร โดยจะมีกล้องจุลทรรศน์โฟกัสไปที่ไมโครแชนแนล และจะเชื่อมต่อกับกล้อง charge coupled device (CCD) หรือ ตัวตรวจวัดแสงทวีคูณแบบหลอดสุญญากาศ (photomultiplier tube : PMT) อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์และระบบเหล่านี้จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยในการตรวจวัดโรคแบบทันใจ (point-of-care : POC) ในการแพทย์ หรือ ใช้เป็นอุปกรณ์ทดสอบที่พกพาได้ ดังนั้น Lab-on-a-chip (LOC) จึงต้องมีขนาดเล็กและพกพาได้สะดวก

มีนักวิจัยหลายท่านได้พยายามรวบรวมการตรวจวัดฟลูออเรสเซนซ์โดยใช้ไมโครฟลูอิดิกชิป Edel และคณะ^[4] จะใช้ polyfluorene based OLED (polymer LED) เป็นแหล่งกำเนิดแสง โฟโตไดโอดจะทำหน้าที่เป็นตัวตรวจวัดที่มีขีดจำกัดในการตรวจพบสารสีย้อม fluorescein ที่ความเข้มข้น 1×10^{-6} โมลาร์ Yao และคณะ^[5] ได้สร้างอุปกรณ์ไมโครฟลูอิดิกโดยรวม แหล่งกำเนิดการกระตุ้น OLED และตัวตรวจวัด PMT สำหรับการตรวจวัดฟลูออเรสเซนซ์บนชิปโดยใช้ pinhole และ interference filter สำหรับกรองแสงกระตุ้น วิธีนี้จะใช้สารสีย้อม Alexa 532 ซึ่งมี ขีดจำกัดในการตรวจพบที่ความเข้มข้น 3×10^{-6} โมลาร์ (S/N=3) Kim และคณะ^[6] จะแสดงให้เห็นถึงความกะทัดรัดของอุปกรณ์ โดยใช้ OLED เป็นแหล่งกำเนิดแสงและ p-i-n โฟโตไดโอดเป็นตัวตรวจวัด ซึ่งจะใช้ interference filter ในการกรองแสงการกระตุ้นและขีดจำกัดในการตรวจพบสารสีย้อม TAMRA ที่ความเข้มข้น 10×10^{-6} โมลาร์ (S/N=3) DeMello และคณะ^[7] ได้แสดงให้เห็นถึงระบบกะทัดรัดกับ organic electronics สำหรับ chemiluminescence Pagliari และคณะ^[8] ได้ใช้เทคโนโลยีแหล่งกำเนิดแสงใหม่ แหล่งกำเนิดแสงโพลาริไซโดยใช้ electrospun light-emitting polymer nanofibers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการจัดเตรียมระบบเพื่อวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์มีลักษณะดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การจัดชุดอุปกรณ์สำหรับวัดความเข้มข้นสารสี้อม Rhodamine 6 G ^[38]

ระบบที่แสดงมีขีดจำกัดในการตรวจวัดสารสี้อม Rhodamine 6 G ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 10^{-8} โมลาร์ ระบบนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ต่างๆได้ เช่น อุปกรณ์ทดสอบสิ่งแวดล้อมเคลื่อนที่ (on-site environmental testing) อุปกรณ์ตรวจวัดโรคแบบทันใจ (point-of-care diagnostics) และ อุปกรณ์การวิเคราะห์ตัวแทนสงครามในสนามรบ (warfare agent analysis on battlefield) ส่วนประกอบทั้งหมดในระบบจะถูกรวมอยู่บนแผ่นกระจกสร้างเป็นระบบขนาดใหญ่ ต้นทุนต่ำ สร้างได้ง่ายและสามารถใช้แล้วทิ้ง เมื่อไม่นานมานี้กลุ่มวิจัยจากประเทศออสเตรเลียได้ใช้หลักการ cross-polarization วัดออกซิเจนและค่าพีเอช เป็นการประยุกต์ที่น่าสนใจสำหรับระบบ on-chip fluorescence

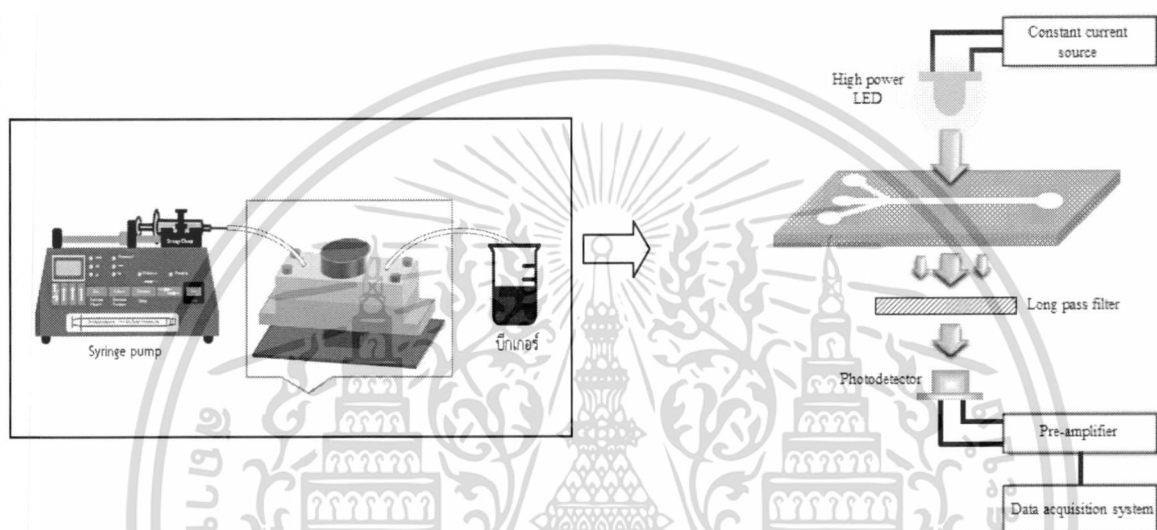
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การพัฒนาระบบตรวจวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์

3.1 ส่วนประกอบของระบบตรวจวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์

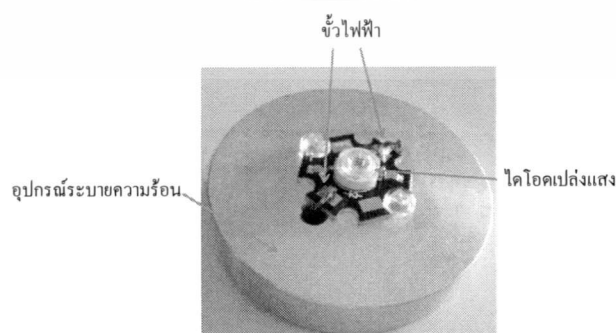
ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาระบบตรวจวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่มีขนาดเล็กและใช้ต้นทุนการผลิตต่ำ โดยมีส่วนประกอบของระบบแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ระบบตรวจวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์

ระบบตรวจวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ออกแบบประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. แหล่งกำเนิดแสงสำหรับการกระตุ้นสารเรืองแสง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (High Power Light Emitting Diode: LED) ขนาด 3 วัตต์ เป็นตัวกระตุ้นเนื่องจากหลอดชนิดนี้จะให้แสงสว่างมาก มีอายุการใช้งานยาวนานและมีราคาถูก รูปทรงของหลอดที่ใช้งานจะมีลักษณะเป็นรูป 6 เหลี่ยมจะถูกยึดติดกับอุปกรณ์ระบายความร้อนลักษณะดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ลักษณะการยึดไดโอดเปล่งแสงกับอุปกรณ์ระบายความร้อน

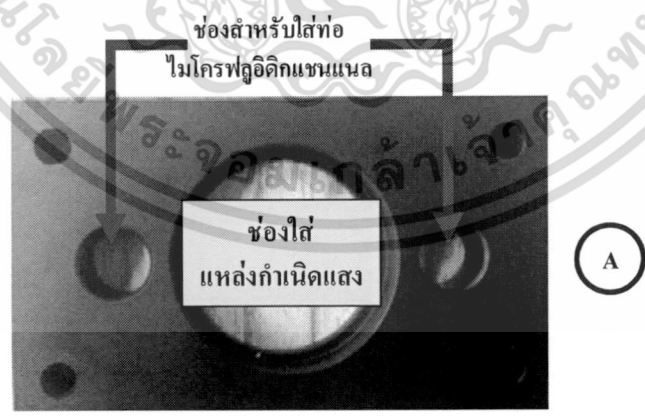
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี โดยมีผู้ดูแลและแก้ไขประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ฟิลเตอร์แสงทำหน้าที่เป็นตัวกรองแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไม่ให้ผ่านเข้าไปในตัวตรวจวัดแสง ฟิลเตอร์แสงที่ถูกนำมาใช้ในระบบวัดที่จัดเตรียมขึ้นคือฟิลเตอร์แสงชนิด long pass (long pass filter) ของบริษัท Thorlabs ยกตัวอย่างเช่น ฟิลเตอร์ที่มี cut-on wavelength 495 นาโนเมตร คือ ฟิลเตอร์นี้จะยอมให้แสงที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 495 นาโนเมตรขึ้นไปผ่านได้และจะกั้นไม่ให้แสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 495 นาโนเมตรผ่านออกมาเป็นต้น



รูปที่ 3.3 ฟิลเตอร์แสงชนิด long pass ของบริษัท Thorlabs

3. แท่นจับยึดไมโครฟลูอิดิกเซนแนลจะทำหน้าที่จับยึดไมโครฟลูอิดิกเซนแนล ซึ่งจะประกอบด้วย 3 ส่วนได้แก่ 1.ช่องสำหรับใส่แหล่งกำเนิดแสง 2.ช่องให้แสงผ่าน 3.ช่องใส่ไมโครฟลูอิดิกเซนแนลและฟิลเตอร์แสงดังรูปที่ 3.4

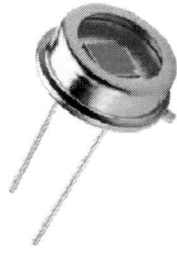




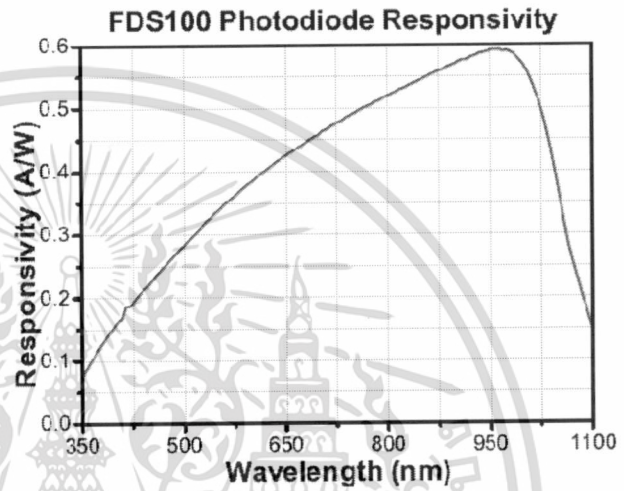
รูปที่ 3.4 แทนจับยึดไมโครฟลูอิดิกเซนแนล

4. ตัวตรวจวัดแสงทำหน้าที่ตัวตรวจวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์ ในงานวิจัยนี้จะใช้โฟโตไดโอดที่ทำมาจากวัสดุซิลิกอนของบริษัท Roithner Laser รุ่น SPD900-9P มีย่านการตอบสนองอยู่ในช่วง 400 – 1100 นาโนเมตร พีคการตอบสนองสูงสุด 900 นาโนเมตร และโฟโตไดโอดซิลิกอนของบริษัท Thorlabs รุ่น SM05PD1A มีย่านการตอบสนองอยู่ในช่วง 350 – 1100 นาโนเมตร (รูปที่ 3.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 โฟโตไดโอดซิลิกอนของบริษัท Roithner Laser



(ก)

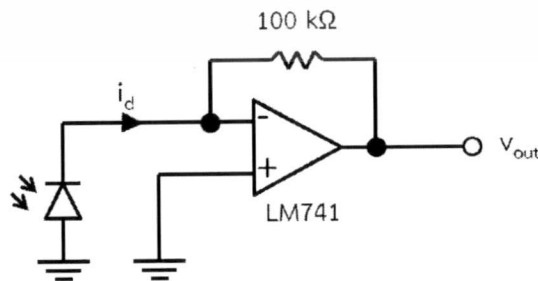
(ข)

รูปที่ 3.6 โฟโตไดโอดและกราฟการตอบสนองต่อแสงกับความยาวคลื่น

(ก) โฟโตไดโอดของบริษัท Thorlabs รุ่น SM05PD1A

(ข) กราฟการตอบสนองของโฟโตไดโอดของบริษัท Thorlabs รุ่น SM05PD1A

5. วงจรขยายสัญญาณจะทำหน้าที่แปลงกระแสเป็นแรงดันและขยายสัญญาณให้มีค่าสูงขึ้น วงจรขยายสัญญาณที่ใช้คือ ออปแอมป์ LM 741 แสดงดังรูปที่ (3.7)



รูปที่ 3.7 วงจรขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Syringe pump จะทำหน้าที่เป็นตัวฉีดสารเข้าไปในไมโครแชนแนลโดย Syringe pump ที่ใช้ใน งานวิจัยนี้เป็นรุ่น NE-300 Just Infusion™

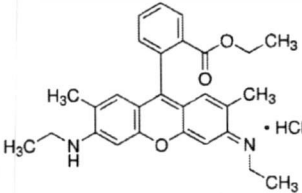


รูปที่ 3.8 Syringe pump รุ่น NE-300 Just Infusion

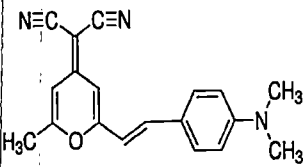
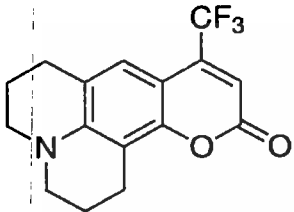
3.2 สมบัติสารสีย้อมที่ใช้การทดลอง

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยทำการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองทางแสงของระบบไมโครฟลูอิดิกที่สร้างขึ้นกับความเข้มข้นของสารสีย้อมเรืองแสง โดยผู้วิจัยได้ทดลองใช้สารสีย้อมเรืองแสงในกลุ่มของสารอินทรีย์ (Organic dyes) เนื่องจากมีราคาถูก และมีประสิทธิภาพในการปลดปล่อยแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่สูง สารสีย้อมเรืองแสงที่ได้นำมาศึกษามีด้วยกัน 3 ชนิด คือสาร Rhodamine 6G (Rh 6 G) สาร 4-(Dicyanomethylene)-2-methyl-6-(4-dimethylaminostyryl)-4H-pyran (DCM) และสาร Coumarin 153 (C 153) ซึ่งมีสมบัติดังตารางที่ 3.1

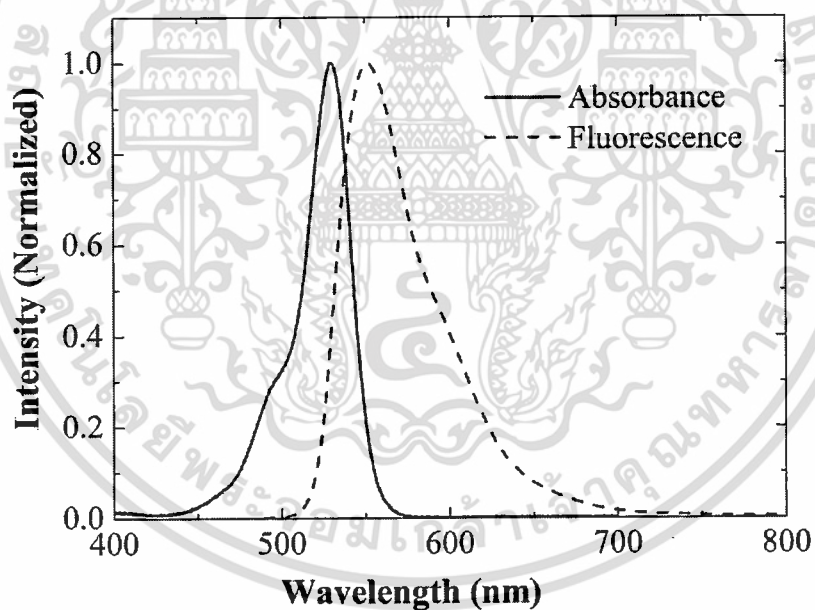
ตารางที่ 3.1 สมบัติพื้นฐานของสารสีย้อมเรืองแสง Rh 6 G DCM และ Coumarin 153

ชื่อสาร	น้ำหนักโมเลกุล (กรัม/โมล)	ค่า ϕ_F	ความยาวคลื่นที่เกิด การดูดกลืนแสงสูงสุด (นาโนเมตร)	ความยาวคลื่นที่เกิด การเปล่งแสงสูงสุด (นาโนเมตร)
1. Rhodamine 6 G  $C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$	497.02	0.98	525	555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

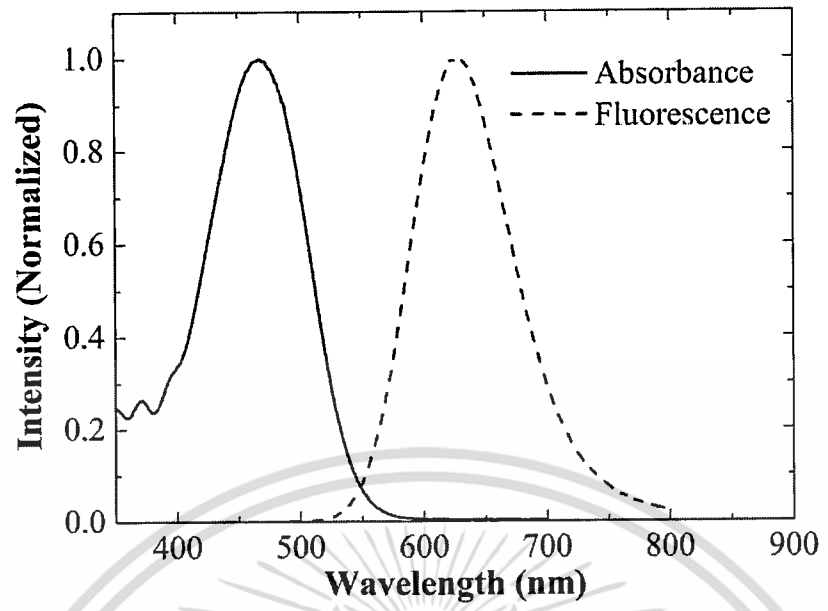
2. DCM  $C_{19}H_{17}N_3O$	303.06	0.6	458	625
3. Coumarin 153  $C_{16}H_{14}F_3NO_2$	309.28	0.58	422	530

แหล่งที่มาข้อมูลจากบริษัท Sigma-Aldrich (<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product>)

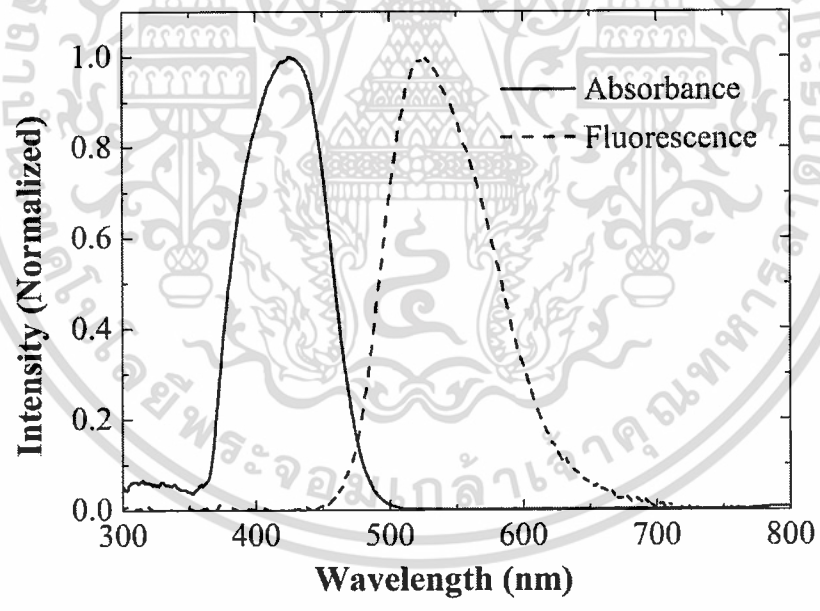


รูปที่ 3.9 กราฟแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปล่งแสง
ของสาร Rhodamine 6 G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปล่งแสงของสาร DCM



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปล่งแสงของสาร Coumarin 153

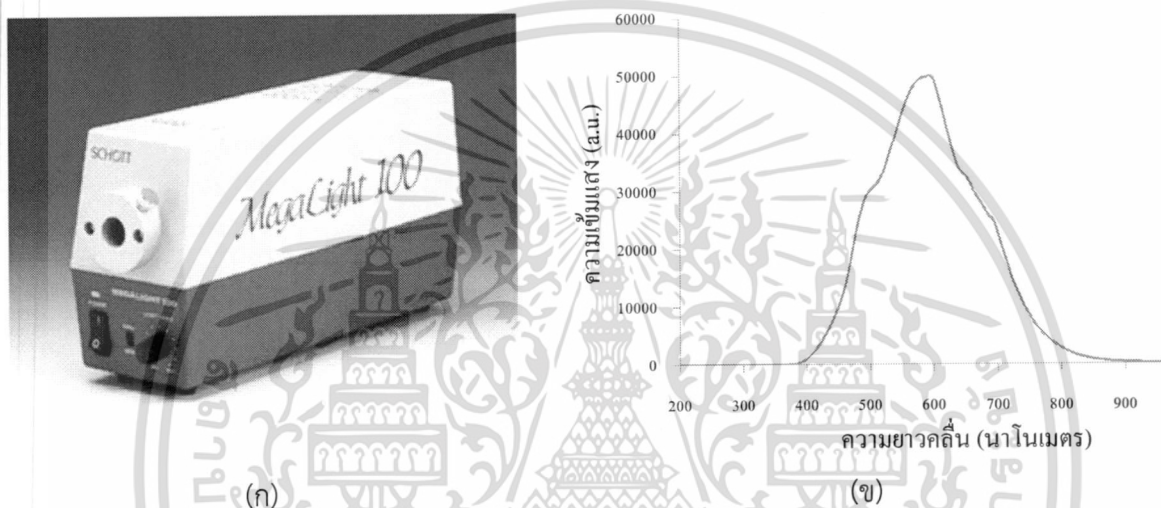
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เครื่องมือและระบบการวัดที่เกี่ยวข้อง

3.3.1 ระบบการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง

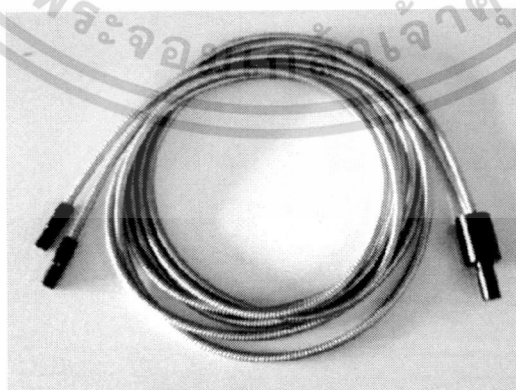
ระบบการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารสียอมเรืองแสงที่ใช้ทดสอบในคิวเวทและไมโครฟลูอิดิกมีส่วนประกอบของระบบการวัดดังนี้

ก. แหล่งกำเนิดแสงจะใช้แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟทั้งสแตน (Schott Megalight 100) ใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 12 โวลต์ และใช้กระแสไฟฟ้าขนาด 0.19 แอมแปร์ ซึ่งสเปกตรัมแสงที่ได้จากการวัดเป็นดังรูปที่ 3.12 ให้แสงในย่านความยาวคลื่น 400-900 นาโนเมตร



รูปที่ 3.12 (ก) เครื่องฉายแสงจากหลอดไฟทั้งสแตน (ข) สเปกตรัมแสงของหลอดไฟทั้งสแตน

ข. สายใยแก้วนำแสงใช้สำหรับนำส่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังคิวเวทและไมโครฟลูอิดิก ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.13 โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของสายใยแก้วนำแสงทั้งหมดมีขนาด 6 มิลลิเมตร

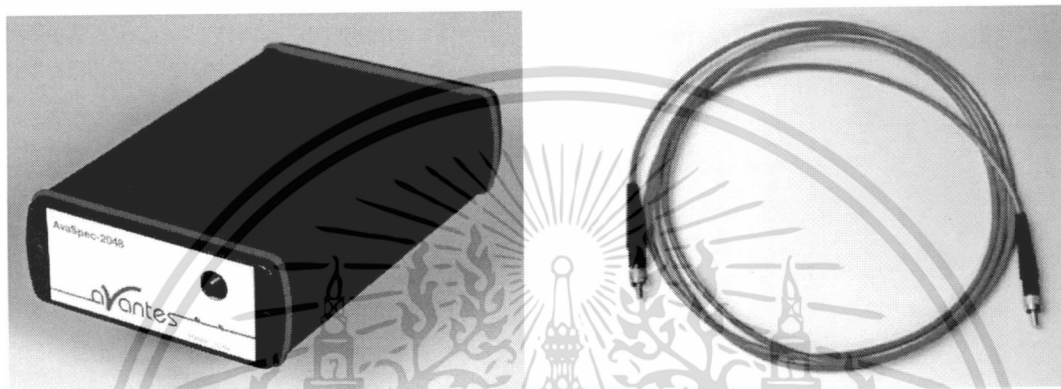


รูปที่ 3.13 สายใยแก้วนำแสงสำหรับนำส่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสง

ไปยังคิวเวทและไมโครฟลูอิดิก

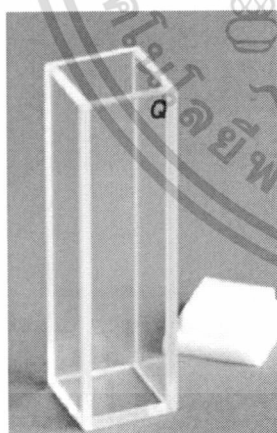
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (UV-Vis spectrometer Avantesavaspec-EDU) พร้อมสายใยแก้วนำแสง (Avantes FC-UV200-2) ลักษณะดังรูปที่ 3.14 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ทำหน้าที่ในการวัดแสง ซึ่งสามารถวัดแสงได้ในย่านความยาวคลื่น 200 – 1100 นาโนเมตรและสายใยแก้วนำแสงทำหน้าที่ในการนำส่งแสงที่ผ่านควิเวทและไมโครฟลูอิดิกเข้าสู่เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ สายใยแก้วนำแสงมีขนาดความยาว 2 เมตรและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 ไมโครเมตร โดยในการทดลองที่เกี่ยวกับการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนจะใช้สเปกโตรมิเตอร์และสายใยแก้วนำแสงเดิมทุกครั้ง



(ก) (ข)
รูปที่ 3.14 (ก) เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (ข) สายใยแก้วนำแสง

ง. อุปกรณ์สำหรับใส่สารสียอมเรืองแสงที่ใช้ในการทดลองจะมี 2 แบบ คือ 1. ควิเวททำจากวัสดุควอทซ์ซึ่งมีขนาดพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรและสูง 4.5 เซนติเมตร 2. อุปกรณ์ไมโครฟลูอิดิกที่สร้างขึ้น



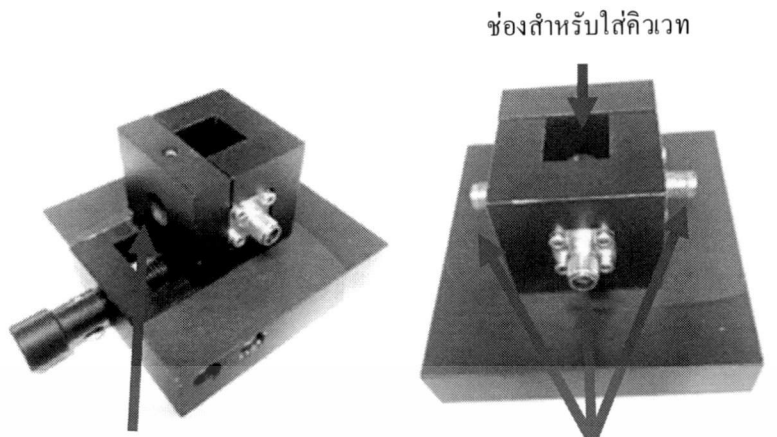
(ก)



(ข)

รูปที่ 3.15 (ก) ควิเวทควอทซ์ (ข) อุปกรณ์ไมโครฟลูอิดิก

จ. อุปกรณ์สำหรับยึดสายใยแก้วนำแสงจะประกอบไปด้วยช่องสำหรับใส่สายใยแก้วนำแสงและใส่อุปกรณ์สำหรับใส่สารละลาย ในการทดลองนี้มีด้วยกัน 2 แบบ คือ 1. แบบใส่ควิเวท และ 2. แบบใส่ไมโครฟลูอิดิกนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ช่องรับแสงจากแหล่งกำเนิดแสง
ผ่านสายใยแก้วนำแสง

จุดเชื่อมต่อสายใยแก้วนำแสง
สำหรับให้แสงผ่านเข้าสู่สเปกโตรมิเตอร์

(ก) อุปกรณ์สำหรับยึดสายใยแก้วนำแสงและใส่คีมเวท



ช่องรับแสงจากแหล่งกำเนิดแสง
ผ่านสายใยแก้วนำแสง

ช่องจับยึดอุปกรณ์ไมโครฟลูอิดิก

ช่องสำหรับใส่ท่อไมโครฟลูอิดิก

จุดเชื่อมต่อสายใยแก้วนำแสง
สำหรับให้แสงผ่านเข้าสู่สเปกโตรมิเตอร์

(ข) อุปกรณ์สำหรับยึดสายใยแก้วนำแสงและใส่ไมโครฟลูอิดิก

รูปที่ 3.16 อุปกรณ์จับยึดยึดสายใยแก้วนำแสงและใส่ที่บรรจุสารละลาย

ส่วนประกอบทั้ง 5 ส่วนจะถูกนำมาจัดเป็นระบบวัดสมบัติการดูดกลืนแสงดังแผนภาพรูปที่ 3.17 และ 3.18 ซึ่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะเดินทางผ่านสายใยแก้วนำแสงตกกระทบกับสารสีย้อมเรืองแสงและแสงที่สามารถส่องผ่านสารสีย้อมเรืองแสงออกมาได้จะเดินทางเข้าสู่สายใยแก้วนำแสงอีกเส้นหนึ่งเพื่อนำแสงไปยังเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ แสงที่ถูกนำส่งเข้าสู่เครื่องสเปกโตรมิเตอร์จะถูกวิเคราะห์และส่งผ่านเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ถูกเชื่อมต่อกับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ผ่านสาย USB และทำการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงโดยโปรแกรม Avasoft รุ่น 7.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

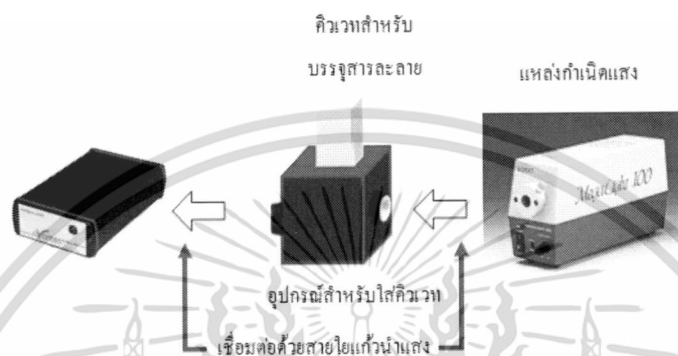
$$A = -\log (P/P_0)$$

เมื่อ

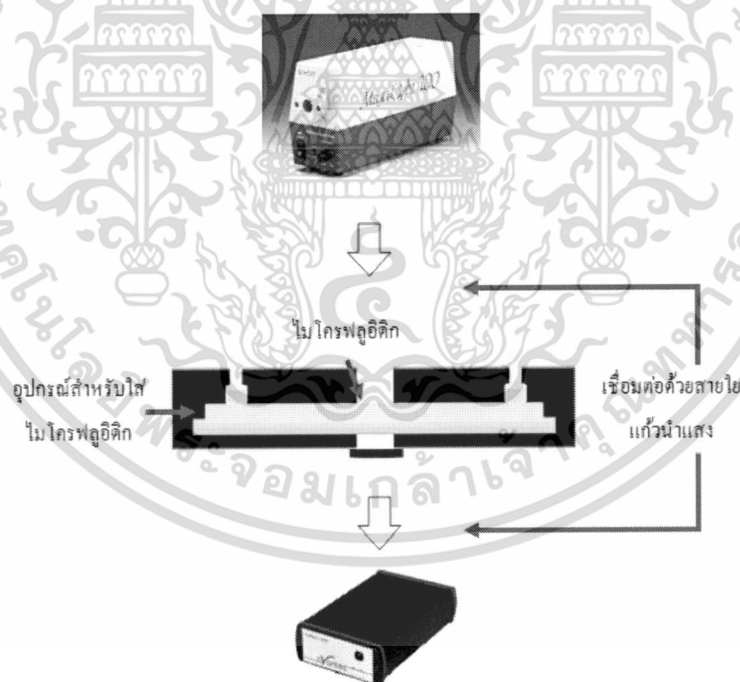
A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสียอมเรืองแสง

P₀ คือ ความเข้มแสงอ้างอิงซึ่งมาจากการวัดความเข้มแสงที่ผ่านเอทานอล

P คือ ความเข้มแสงซึ่งมาจากการวัดความเข้มแสงที่ผ่านสารสียอมเรืองแสง



รูปที่ 3.17 ระบบการวัดสมบัติการดูดกลืนแสงของสารสียอมเรืองแสงในคิวเวท



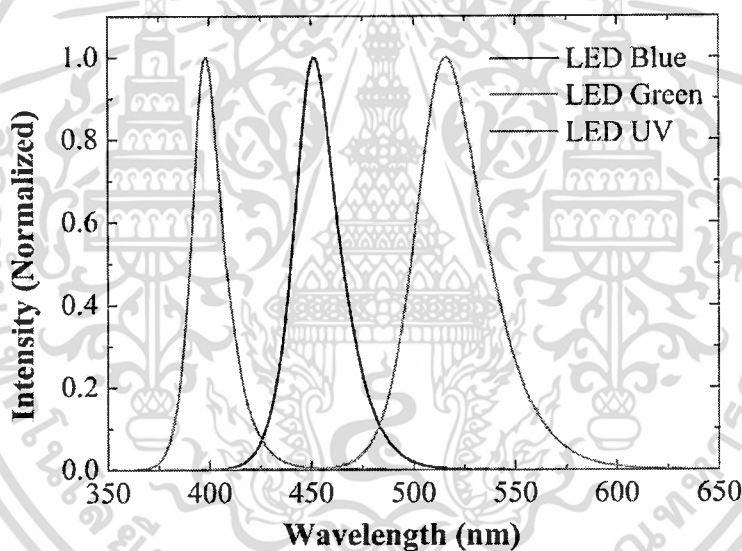
รูปที่ 3.18 ระบบการวัดสมบัติการดูดกลืนแสงของสารสียอมเรืองแสงในไมโครฟลูอิดิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ระบบวัตสเปกตรัมแสงฟลูออเรสเซนซ์

ระบบวัตสเปกตรัมแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสารสีย้อมเรืองแสงที่ใช้ทดสอบในคิวเวทและไมโครฟลูอิดิกมีส่วนประกอบของระบบการวัดดังนี้

ก. แหล่งกำเนิดแสงสำหรับการกระตุ้นสารเรืองแสง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ไดโอดเปล่งแสงกำลังสูง (High Power Light Emitting Diode: LED) ขนาด 3 วัตต์เป็นตัวกระตุ้นและไดโอดเปล่งแสง ในการวัดสเปกตรัมแสงฟลูออเรสเซนซ์ผู้วิจัยจะเลือกใช้ไดโอดเปล่งแสงที่ให้สเปกตรัมแสงสอดคล้องกับสเปกตรัมการดูดกลืนของสารสีย้อมเรืองแสงทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ในการทดสอบ คือ 1.สาร Rhodamine 6 G จะใช้ไดโอดเปล่งแสงสีเขียวที่มีความยาวคลื่นในย่านประมาณ 447 – 627 นาโนเมตรและมีความเข้มแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 515.77 นาโนเมตร 2.สาร DCM จะใช้ไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงินที่มีความยาวคลื่นในย่านประมาณ 409 – 516 นาโนเมตรและมีความเข้มแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 451.26 นาโนเมตรและ 3.สาร Coumarin 153 จะใช้ไดโอดเปล่งแสงสีม่วงที่มีความยาวคลื่นในย่านประมาณ 363 – 472 นาโนเมตรและมีความเข้มแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 398.63 นาโนเมตร



รูปที่ 3.19 สเปกตรัมแสงของไดโอดเปล่งแสงที่ปลดปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่นสูงสุด 515.77 นาโนเมตร (เส้นสีเขียว) 451.26 นาโนเมตร (เส้นสีน้ำเงิน) และ 398.63 นาโนเมตร (เส้นสีม่วง)

ข. สเปกโตรมิเตอร์และสายใยแก้วนำแสง

ค. อุปกรณ์สำหรับใส่สารสีย้อมเรืองแสงที่ใช้ในการทดลองจะมี 2 แบบ คือ 1. คิวเวททำจากวัสดุควอทซ์ และ 2. อุปกรณ์ไมโครฟลูอิดิก

ง. สายใยแก้วนำแสงสำหรับนำส่งแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังสารละลาย

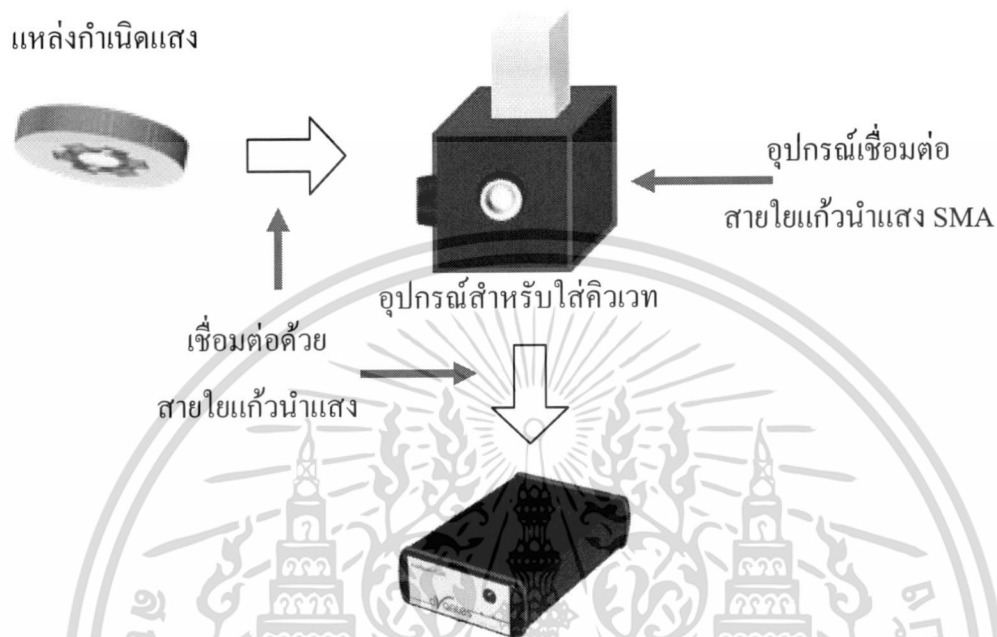
จ. อุปกรณ์เชื่อมต่อสายใยแก้วนำแสง

ฉ. ฟิลเตอร์กรองแสงทำหน้าที่เป็นตัวกรองแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไม่ให้ผ่านเข้าไปใน สเปกโตรมิเตอร์

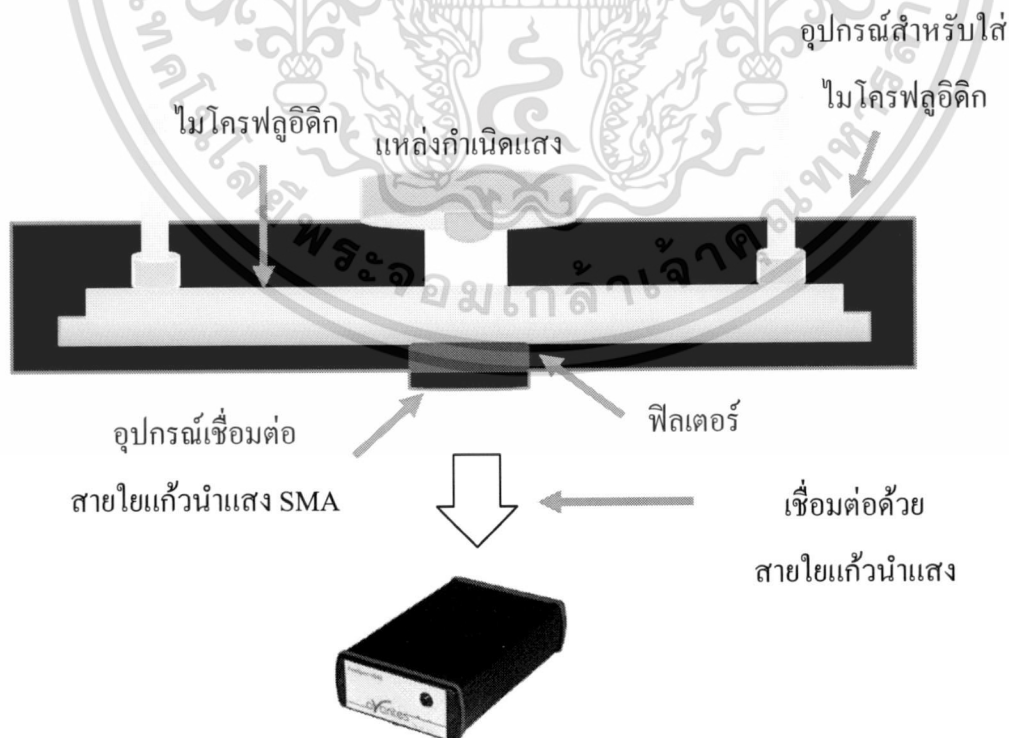
ฟิลเตอร์แสงที่ถูกนำมาใช้ในระบบวัดที่จัดเตรียมขึ้น คือ ฟิลเตอร์แสงชนิด long pass (long pass filter) ของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริษัท Thorlabs โดยเลือกฟิลเตอร์ที่มี cut-on wavelength สอดคล้องกับสเปกตรัมของแหล่งกำเนิด คือ ไดโอดเปล่งแสงสีเขียวและสีม่วงจะใช้ฟิลเตอร์ที่มี cut-on wavelength 570 นาโนเมตร และไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงินจะใช้ฟิลเตอร์ที่มี cut-on wavelength 495 นาโนเมตร

คิวเวทสำหรับบรรจุสารละลาย



รูปที่ 3.20 ระบบการวัดสมบัติการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสารเรืองแสงในคิวเวท



รูปที่ 3.21 ระบบวัดสมบัติการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสารเรืองแสงในไมโครฟลูอิดิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสารเรืองแสงจะถูกวัดในรูปของความเข้มแสง แสงจากไดโอดเปล่งแสงจะตกกระทบกับสารเรืองแสง แสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะถูกรวบรวมโดยสายใยแก้วนำแสงที่เชื่อมต่ออยู่กับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ซึ่งในการวัดสมบัติการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่วัดในบริเวณตำแหน่งของสายใยแก้วนำแสงที่จะเข้าสู่สเปกโตรมิเตอร์จะทำมุม 90° กับตำแหน่งสายใยแก้วนำแสงของแหล่งกำเนิดแสงเพื่อหลีกเลี่ยงแสงที่มาจากแหล่งกำเนิดผ่านเข้าไปยังสเปกโตรมิเตอร์ สำหรับการวัดสเปกตรัมแสงฟลูออเรสเซนซ์ในไมโครฟลูอิดิกตำแหน่งของสายใยแก้วนำแสงที่จะเข้าสู่สเปกโตรมิเตอร์จะอยู่ตรงกับตำแหน่งสายใยแก้วนำแสงของแหล่งกำเนิดแสงแต่จะมีฟิลเตอร์มาช่วยกรองแสงแหล่งกำเนิดไม่ให้ผ่านเข้าไปยังสเปกโตรมิเตอร์และแสงที่ถูกนำส่งเข้าสู่เครื่องสเปกโตรมิเตอร์จะถูกระบุวิเคราะห์ความเข้มแสงโดยโปรแกรม Avasoft 7.4

3.3.3 ระบบวัดสมบัติทางไฟฟ้า

ในการทดลองนี้ ผู้วิจัยจะทำการวัดทั้งค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสที่ผลิตได้จากโฟโตไดโอด ซึ่งระบบการวัดนี้จะเป็นระบบที่ผู้วิจัยจะใช้ในการพัฒนาให้เป็นระบบการตรวจวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์ต้นแบบดังรูป 3.1 ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น การจัดระบบจะคล้ายกับระบบการวัดสมบัติการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสารสีย้อมเรืองแสงในไมโครฟลูอิดิกแต่จะต่างกันตรงที่ระบบนี้จะใช้โฟโตไดโอดต่อเข้ากับวงจรรขยายสัญญาณออปแอมป์ 741 แล้วต่อเข้ากับมัลติมิเตอร์ 6 หลัก ยี่ห้อ Agilent รุ่น 34401A เพื่อแสดงค่าแทนการใช้สเปกโตรมิเตอร์ การจัดชุดอุปกรณ์การวัดจะแสดงได้ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ระบบการวัดสมบัติทางไฟฟ้าในไมโครฟลูอิดิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทดลอง

3.4.1 การศึกษาและเปรียบเทียบระบบวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์รูปแบบต่างๆ ของสารละลายสีย้อมเรืองแสง

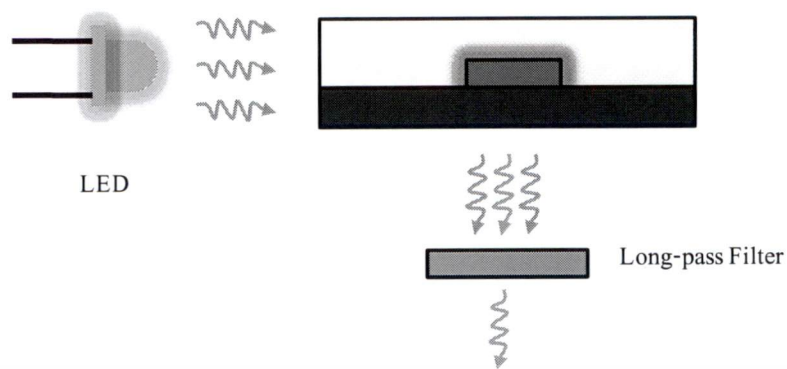
ในการทดลองนี้ ทำการศึกษาระบบการวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์ทั้งหมด 3 รูปแบบ ซึ่งโดยปกติแล้ว จะจัดแนวทางเดินแสงให้ตัวตรวจวัดแสงทำมุม 90 องศากับแนวแสงตกกระทบจากแหล่งกำเนิดแสง (รูปแบบที่ 1 และ 2) อย่างไรก็ตาม รูปแบบดังกล่าวมีสัญญาณเอาท์พุทน้อยมาก ซึ่งทำให้ยากต่อการวัดปริมาณความเข้มข้นของสารน้อยๆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงทำการศึกษาระบบที่ตัวตรวจวัดแสงอยู่ในแนวเดียวกันกับทิศทางของแสงตกกระทบ (รูปแบบที่ 3) โดยใช้ฟิลเตอร์ long pass ช่วยในการตัดแสงจากแหล่งกำเนิดไม่ให้รบกวนสัญญาณเอาท์พุทของตัวตรวจวัดแสง โดยจะทำการในไมโครฟลูอิดิกที่มีขนาด 500 ไมโครเมตร ใช้สารละลาย Rhodamine 6 G ที่มีความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. เตรียมสารละลาย Rhodamine 6 G ที่ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ โดยทำละลายในเอทานอล
2. นำสารละลายที่เตรียมในข้อ 1. มาวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์โดยใช้เครื่อง syringe pump ที่อัตราเร็ว 1 มิลลิลิตร/นาที่ฉีดสารละลายเข้าไปในไมโครฟลูอิดิกขนาด 500 ไมโครเมตร โดยจัดระบบให้เปลี่ยนตำแหน่งแหล่งกำเนิดแสงและตำแหน่งสายใยแก้วนำแสงที่ต่อกับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ดังรูปที่ 3.23 แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้คือไดโอดเปล่งแสงสีเขียวและฟิลเตอร์ที่ใช้เป็นฟิลเตอร์แสงชนิด long pass ของบริษัท Thorlabs ที่มี cut-on wavelength 570 นาโนเมตร

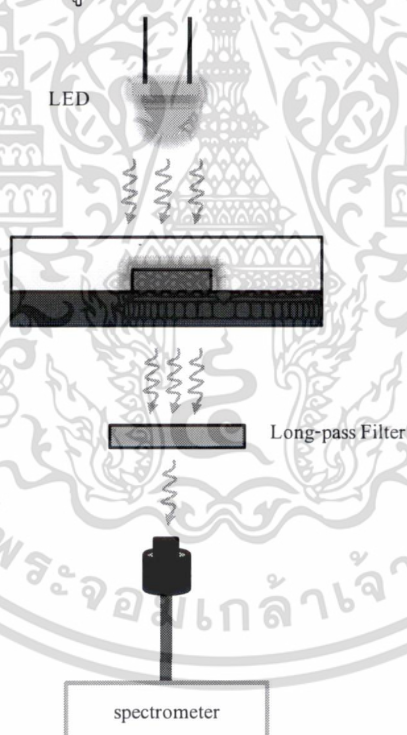


แบบที่ 1 สายใยแก้วนำแสงอยู่ด้านข้างและแหล่งกำเนิดแสงอยู่ด้านบนไมโครฟลูอิดิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แบบที่ 2 สายใยแก้วนำแสงอยู่ด้านล่างและแหล่งกำเนิดแสงอยู่ด้านข้างไมโครฟลูอิดิก



แบบที่ 3 สายใยแก้วนำแสงอยู่ด้านล่างและแหล่งกำเนิดแสงอยู่ด้านบนไมโครฟลูอิดิก

รูปที่ 3.23 ระบบวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์โดยมีการจัดตำแหน่งแหล่งกำเนิดแสงและตำแหน่งสายใยแก้วนำแสง 3 รูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การศึกษาสเปกตรัมที่ตรวจวัดได้เมื่อบรรจุสารละลายเรืองแสงในคิวเวทและไมโครฟลูอิดิก

ในการทดลองนี้ผู้วิจัยได้ทำการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนและการเปล่งแสงของสารละลายที่บรรจุใน คิวเวทและไมโครฟลูอิดิก ทั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแตกต่างของสเปกตรัมที่ได้จากการบรรจุสารในภาชนะทั้ง 2 ชนิดโดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. เตรียมสารละลาย Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 ที่มีความเข้มข้น 10^{-7} - 5×10^{-3} โมลาร์ โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

2. นำสารละลายที่เตรียมในข้อ 1. มาวัดสเปกตรัมการดูดกลืนและสเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์สำหรับวัดในคิวเวทจะจัดระบบการวัดดังรูปที่ 3.17 และ 3.20 ส่วนการวัดในไมโครฟลูอิดิกจะใช้เครื่อง syringe pump ที่อัตราเร็ว 1 มิลลิลิตร/นาที่ ฉีดสารละลายเข้าไปในไมโครฟลูอิดิกระบบการวัดจะจัดดังรูปที่ 3.18 และ 3.21 ตามลำดับ


3.4.3 การศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลายเรืองแสงในไมโครฟลูอิดิกที่มีขนาดต่างๆ

ในการทดลองนี้จะทำการวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลายที่บรรจุในไมโครฟลูอิดิกที่มีขนาดต่างกันตามตารางที่ 3.2 เพื่อศึกษาความแตกต่างของสเปกตรัมแสงที่วัดในไมโครฟลูอิดิกแขนแนลขนาดต่างๆกัน โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้



1. เตรียมสารละลาย Rhodamine 6 G ที่ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ โดยทำละลายในเอทานอล

2. นำสารละลายที่เตรียมในข้อ 1. มาวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์โดยใช้เครื่อง syringe pump ฉีดสารละลายเข้าไปในไมโครฟลูอิดิกด้วยอัตราเร็ว 1 มิลลิลิตร/นาที่ ระบบการวัดจะจัดตามรูปที่ 3.21 แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้คือไดโอดเปล่งแสงสีเขียว และฟิลเตอร์ที่ใช้เป็นฟิลเตอร์แสงชนิด long pass ของบริษัท Thorlabs ที่มี cut-on wavelength 570 นาโนเมตร

ตารางที่ 3.2 รูปทรงและขนาดของหลอดไมโครฟลูอิดิกที่ใช้ในการทดลอง

รูปทรง	ขนาดของแขนแนล		เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)
	ความกว้าง (ไมโครเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	
	250		3
	500	50	
	1000		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	250		
	500	50	3
	1000		
	250		
	500	50	3
	1000		

3.4.4 การศึกษาการตอบสนองต่อแสงของโฟโตไดโอด

ในการทดลองนี้ จะทำการวัดปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์ออกเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า ด้วยซิลิกอนโฟโตไดโอด 2 รุ่น คือ 1.โฟโตไดโอดซิลิกอนของบริษัท Roithner Laser รุ่น SPD900-9P และ 2. โฟโตไดโอดของบริษัท Thorlabs รุ่น SM05PD1A เพื่อศึกษาการตอบสนองต่อแสงของโฟโตไดโอดทั้ง 2 รุ่น ระบบวัดจะแสดงดังรูปที่ 3.22 โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. เตรียมสารละลาย Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 ที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์ โดยทำละลายในเอทานอล
2. นำสารละลายที่เตรียมได้ในข้อ 1. ฉีดสารละลายเข้าไปในไมโครฟลูอิดิกขนาด 500 ไมโครเมตรด้วยเครื่อง syring pump ที่อัตราเร็ว 1 มิลลิลิตร/นาที่ แล้วทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าผ่านวงจรขยายสัญญาณและค่ากระแสไฟฟ้าด้วยเครื่องมัลติมิเตอร์ แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้คือไดโอดเปล่งแสงสีเขียว สีม่วง สีน้ำเงินและฟิลเตอร์ที่ใช้เป็นฟิลเตอร์แสงชนิด long pass ของบริษัท Thorlabs ที่มี cut-on wavelength 570 และ 495 นาโนเมตร สำหรับสาร Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาและเปรียบเทียบระบบวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์รูปแบบต่างๆของสารละลายสี้อมเรืองแสง

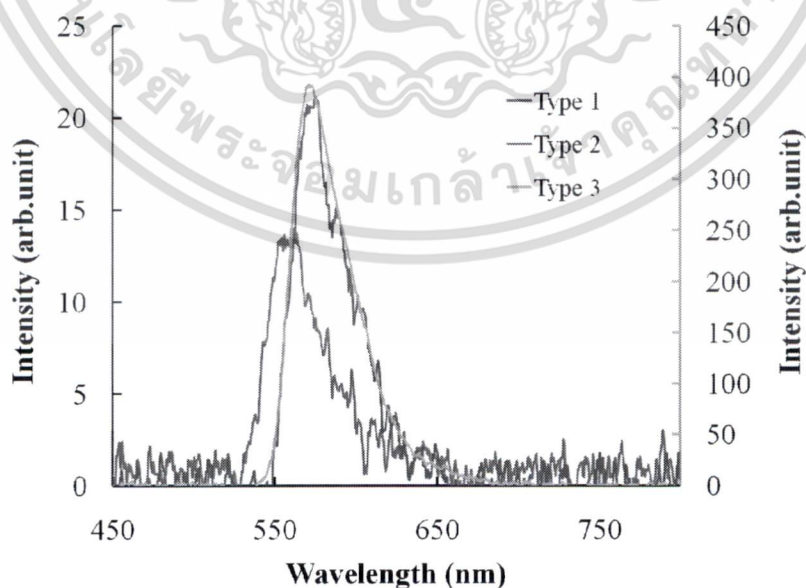
จากการทดลองวัดสเปกตรัมแสงฟลูออเรสเซนซ์ในไมโครฟลูอิดิกโดยจัดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงและสายใยแก้วนำแสงที่เข้าเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ต่างกัน ได้แก่

แบบที่ 1 สายใยแก้วนำแสงอยู่ด้านข้างและแหล่งกำเนิดแสงอยู่ด้านบนไมโครฟลูอิดิก

แบบที่ 2 สายใยแก้วนำแสงอยู่ด้านล่างและแหล่งกำเนิดแสงอยู่ด้านข้างไมโครฟลูอิดิก

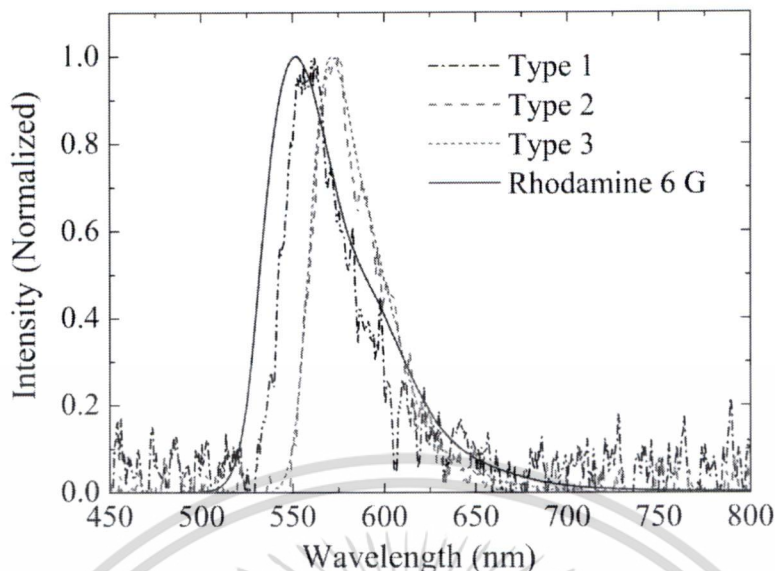
แบบที่ 3 สายใยแก้วนำแสงอยู่ด้านล่างและแหล่งกำเนิดแสงอยู่ด้านบนไมโครฟลูอิดิก

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 จะพบว่าสเปกตรัมการเปล่งแสงของการวัดแบบที่ 1 และ 2 จะให้สัญญาณการเปล่งแสงน้อย มีสัญญาณรบกวนค่อนข้างเยอะโดยสังเกตได้จากเส้นสเปกตรัมจะมีลักษณะหยักๆ ไม่เรียบ ส่วนแบบที่ 3 จะให้สัญญาณการเปล่งแสงที่มากกว่า มีสัญญาณรบกวนค่อนข้างน้อย โดยสังเกตได้จากเส้นสเปกตรัมจะมีลักษณะค่อนข้างเรียบ โดยวิธีการวัดทั้งสามแบบจะไม่มีสเปกตรัมแสงของแหล่งกำเนิดเข้ามารบกวน แต่จะสังเกตเห็นว่าสเปกตรัมแสงของการวัดแบบที่ 2 และ 3 ความยาวคลื่นจะที่ 550 นาโนเมตร เนื่องจากการวัดแบบที่ 2 และ 3 ใช้ฟิลเตอร์ที่มี cut on ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตรจึงทำให้สเปกตรัมแสงเลื่อนมาเริ่มที่ความยาวคลื่นดังกล่าว และสเปกตรัมการเปล่งแสงของการวัดทั้งสามแบบอยู่ในช่วงความยาวคลื่นเดียวกัน เมื่อเทียบกับสเปกตรัมการเปล่งแสงของสาร Rhodamine 6 G อ้างอิง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้การวัดแบบที่ 3 เพราะให้สัญญาณมาก มีสัญญาณรบกวนน้อย และไม่มีสเปกตรัมแสงของแหล่งกำเนิดแสงมารบกวน



รูปที่ 4.1 กราฟสเปกตรัมการเปล่งแสงของสาร Rhodamine 6 G ที่มีความเข้มข้น

10^{-4} โมลาร์ โดยเปลี่ยนตำแหน่งอุปกรณ์การวัดในรูปแบบต่างๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



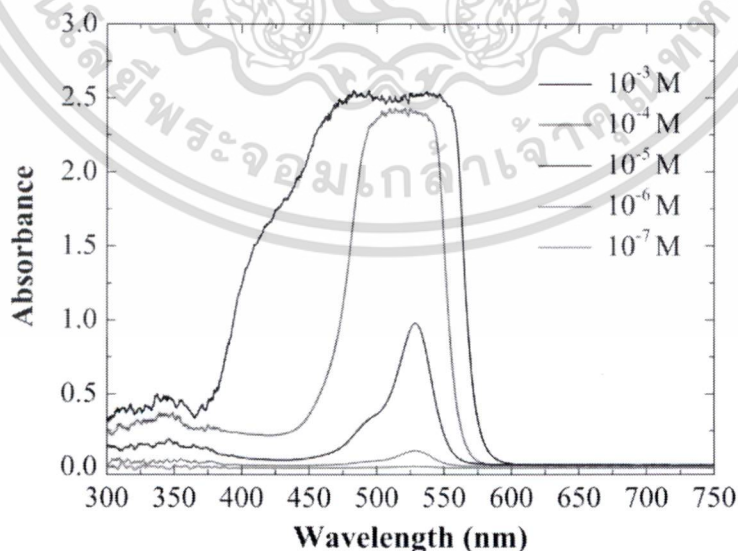
รูปที่ 4.2 กราฟนอร์มอลไลซ์สเปกตรัมการเปล่งแสงของสาร Rhodamine 6 G ที่มีความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ โดยเปลี่ยนตำแหน่งอุปกรณ์การวัดในรูปแบบต่างๆ

4.2 ผลการศึกษาสเปกตรัมที่ตรวจวัดได้เมื่อบรรจุสารละลายเรืองแสงในควิวทและไมโครฟลูอิดิก

จากการทดลองการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสารละลาย Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 ที่มีความเข้มข้น 10^{-7} - 5×10^{-3} โมลาร์ในควิวทและไมโครฟลูอิดิกขนาด 500 ไมโครเมตร ได้ผลดังต่อไปนี้

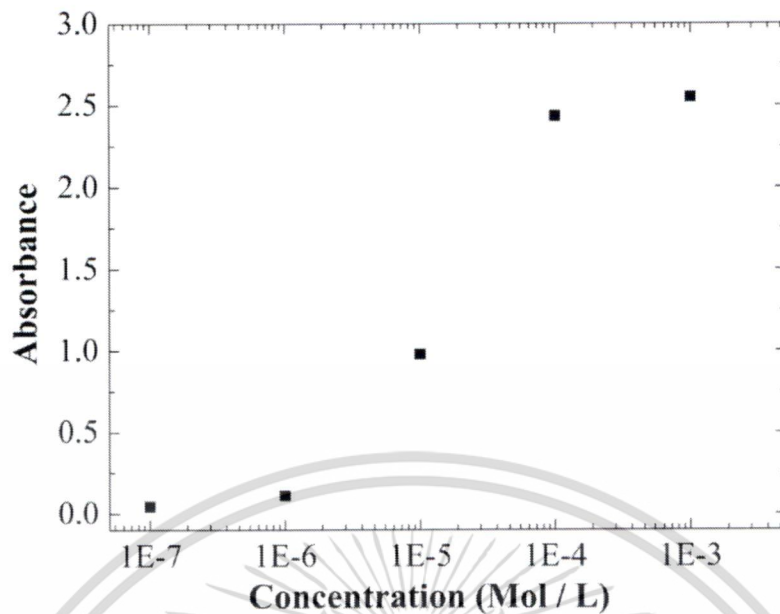
4.2.1 สารละลาย Rhodamine 6 G

- สเปกตรัมการดูดกลืนแสง

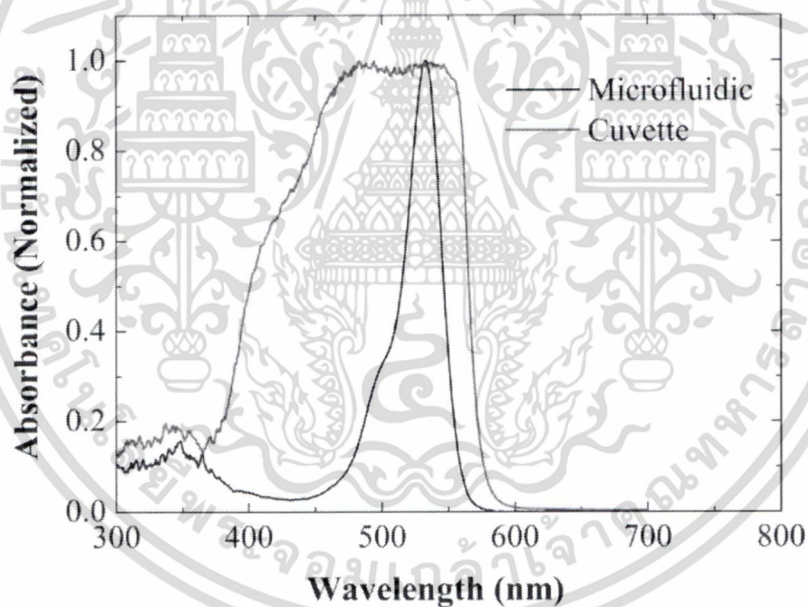


รูปที่ 4.3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสาร Rhodamine 6 G ในควิวท ที่มีความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



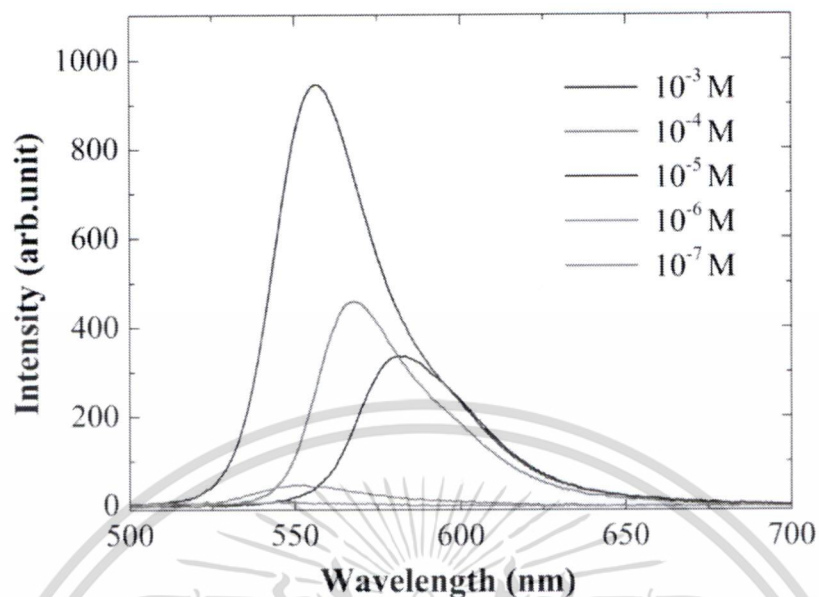
รูปที่ 4.4 ค่าพีการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์ของสาร Rhodamine 6 G ในควิวเวท



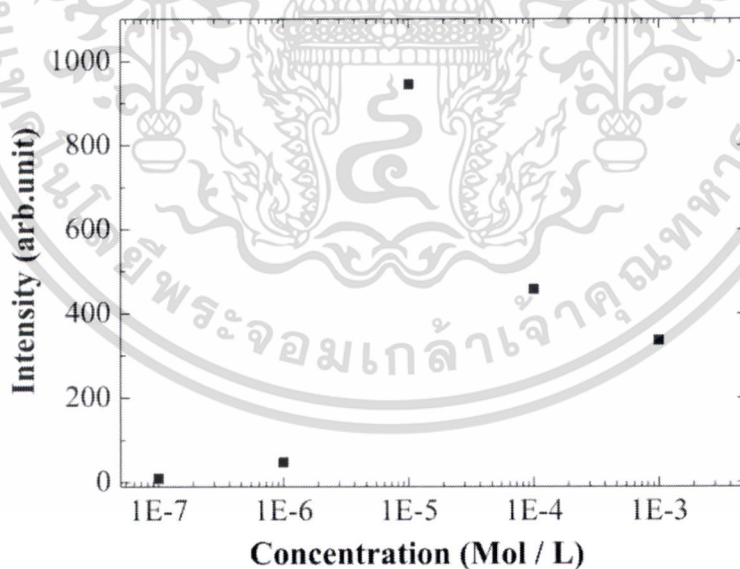
รูปที่ 4.5 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสาร Rhodamine 6 G ที่มีความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ ที่วัดในควิวเวทและไมโครฟลูอิดิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์

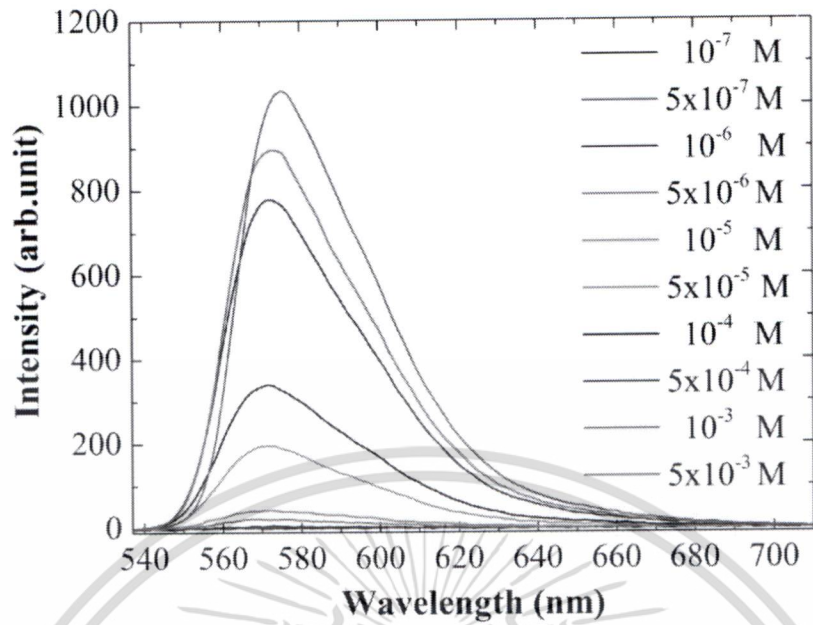


รูปที่ 4.6 สเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสาร Rhodamine 6 G ในควิวเวทที่มีความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์

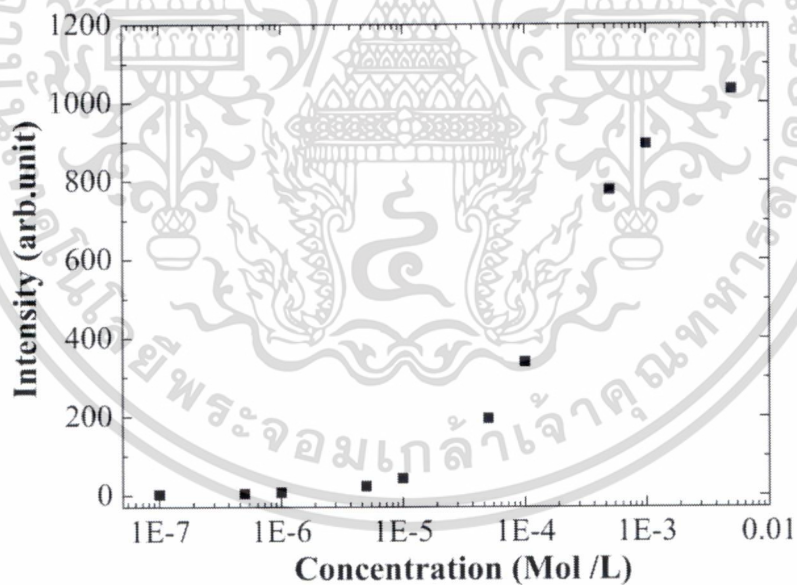


รูปที่ 4.7 ค่าพีคการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่มีความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์ของสาร Rhodamine 6 G ในควิวเวท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 สเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสาร Rhodamine 6 G ในไมโครฟลูอิดิกที่มีความเข้มข้น 10^{-7} – 5×10^{-3} โมลาร์

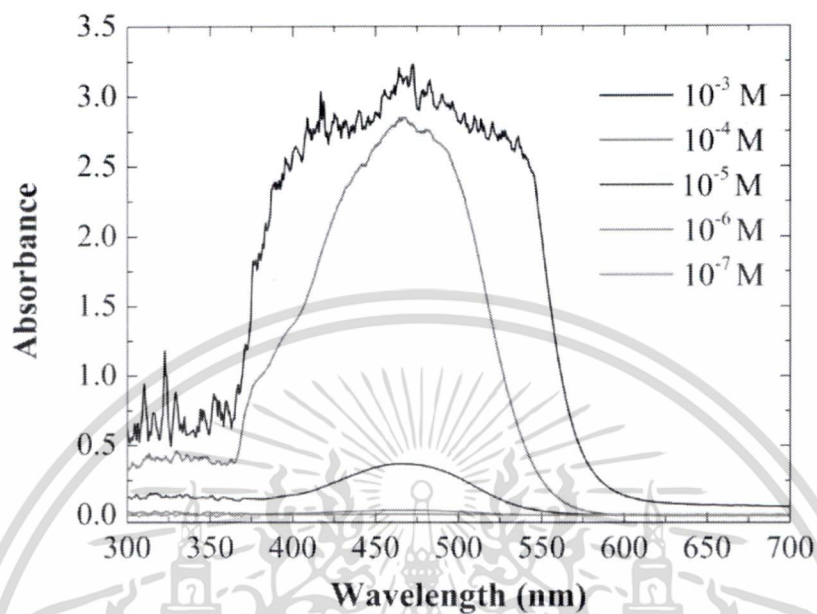
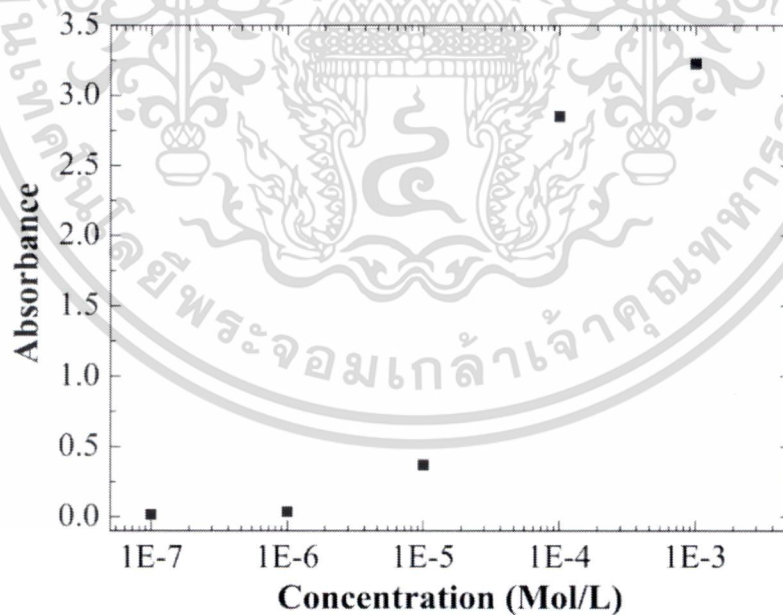


รูปที่ 4.9 ค่าพีคการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่มีความเข้มข้น 10^{-7} – 5×10^{-3} โมลาร์ของสาร Rhodamine 6 G ในไมโครฟลูอิดิก

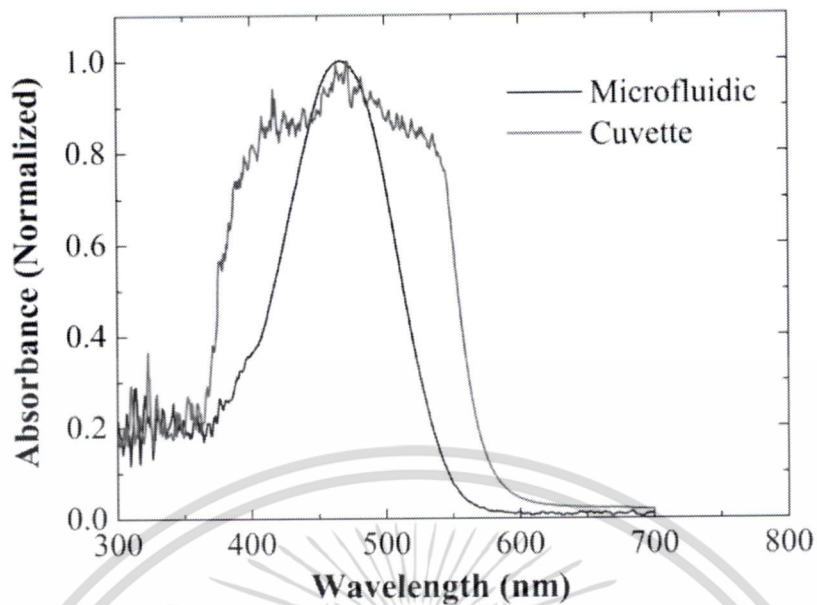
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 สารละลาย DCM

- สเปกตรัมการดูดกลืนแสง

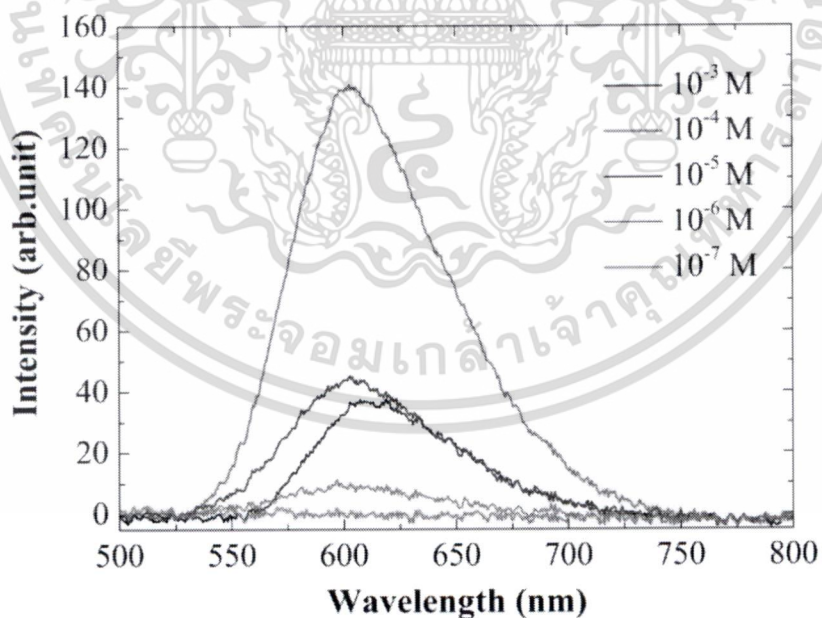
รูปที่ 4.10 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสาร DCM ในบริเวณที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์รูปที่ 4.11 ค่าพีการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์ ของสาร DCM ในบริเวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



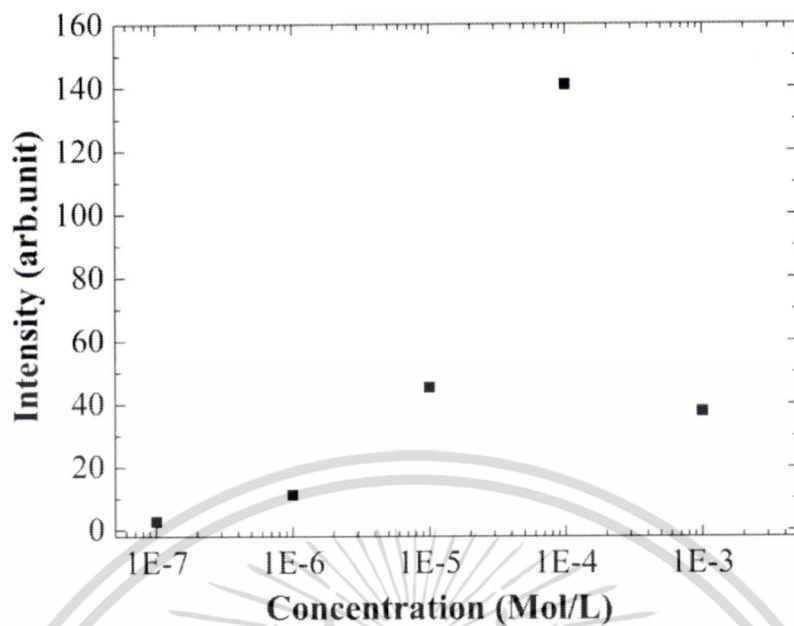
รูปที่ 4.12 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสาร DCM ที่ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ ที่วัดในคิวเวทและไมโครฟลูอิดิก

-สเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์

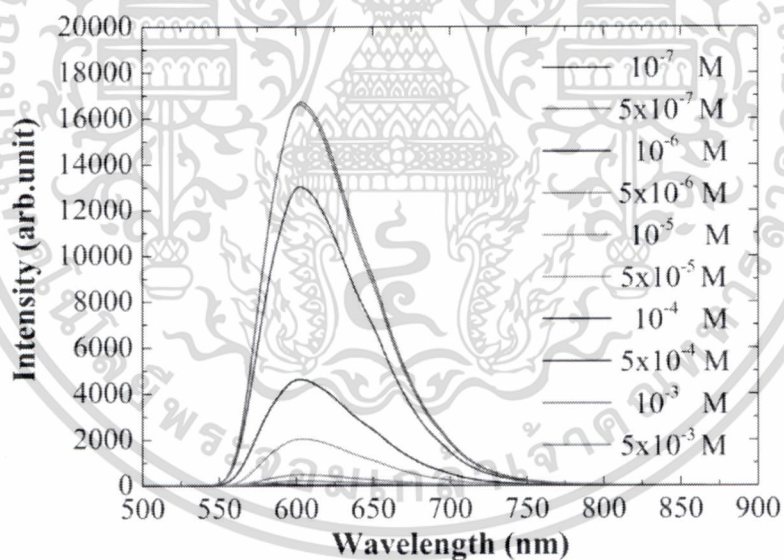


รูปที่ 4.13 สเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสาร DCM ในคิวเวทที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

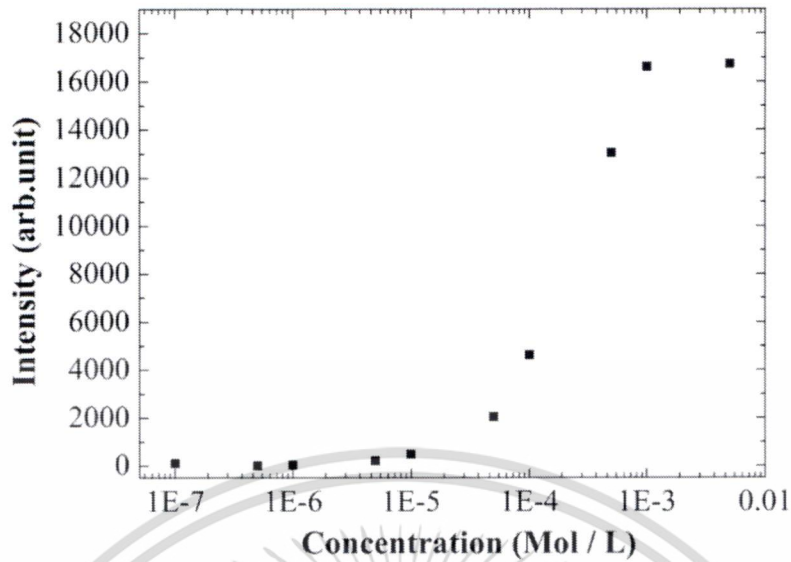


รูปที่ 4.14 ค่าพีคการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์
ของสาร DCM ในคิวเวท



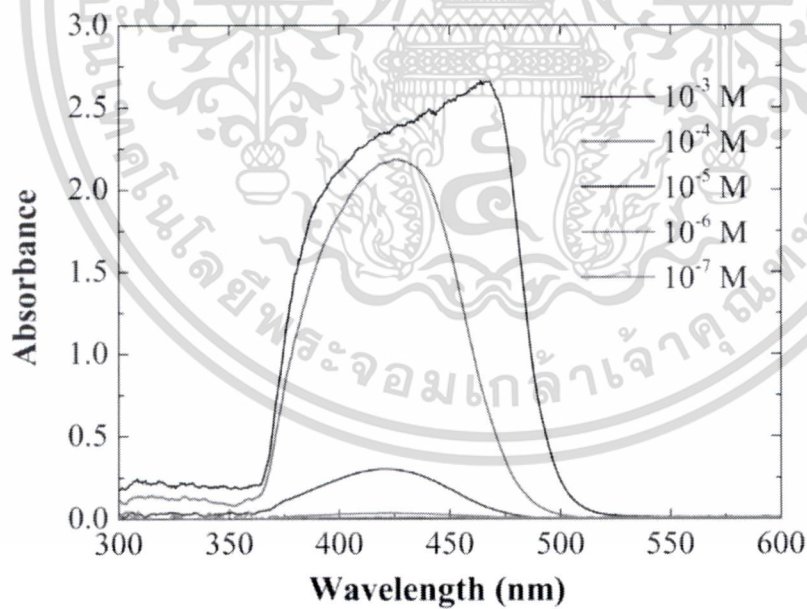
รูปที่ 4.15 สเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสาร DCM
ในไมโครฟลูอิดิกที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 5×10^{-3} โมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



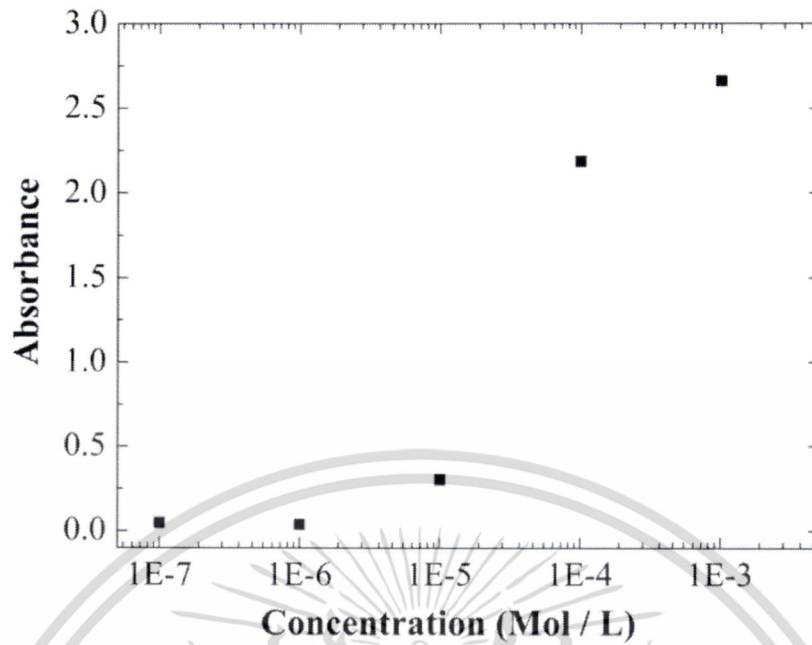
รูปที่ 4.16 ค่าที่ผลการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 5×10^{-3} โมลาร์
ของสาร DCM ในไมโครฟลูอิดิก

4.2.3 สารละลาย Coumarin 153 - สเปกตรัมการดูดกลืนแสง

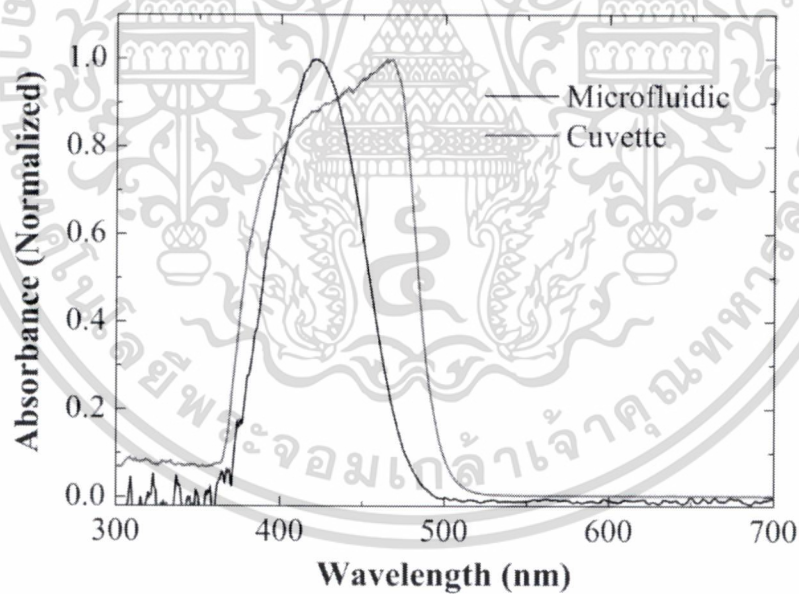


รูปที่ 4.17 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสาร Coumarin 153
ในคิวเวทที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



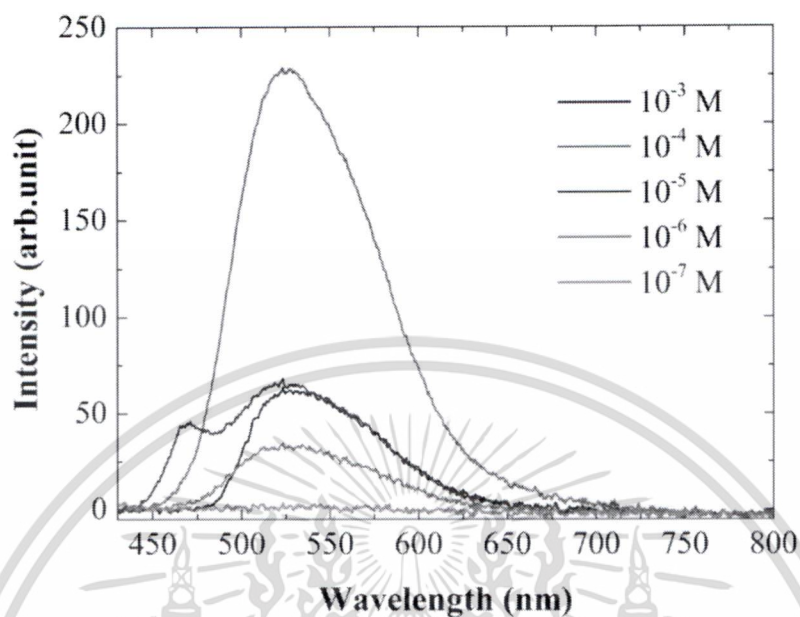
รูปที่ 4.18 ค่าพีคการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์
ของสาร Coumarin 153 ในคิวเวท



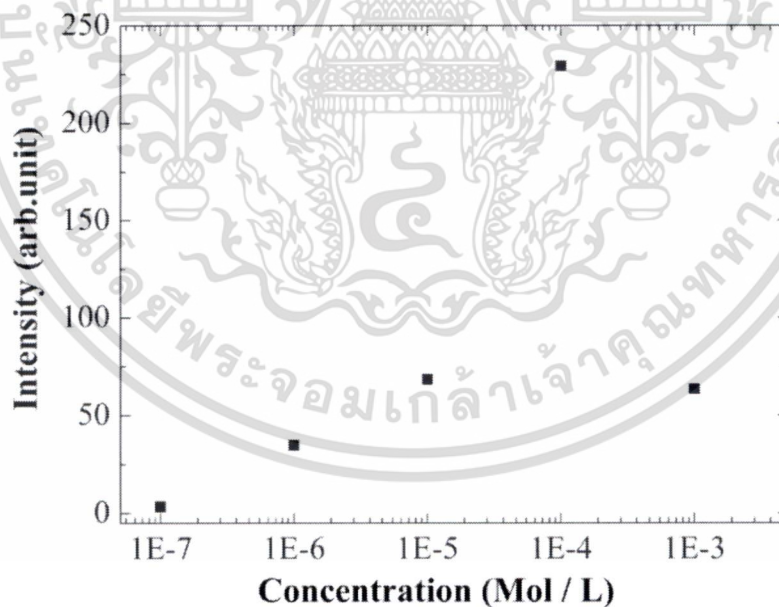
รูปที่ 4.19 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสาร Coumarin 153 ที่ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์
ที่วัดในคิวเวทและไมโครฟลูอิดิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์

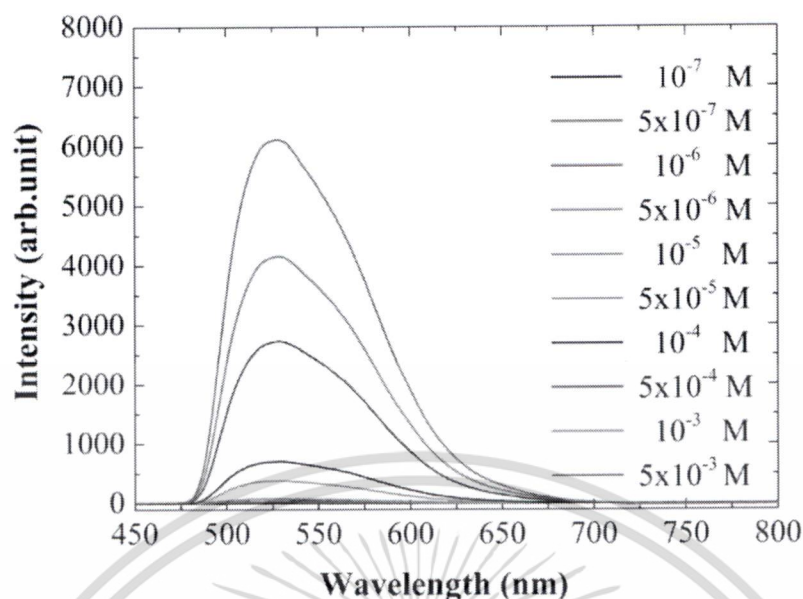


รูปที่ 4.20 สเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสาร Coumarin 153 ในควิวเวทที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์

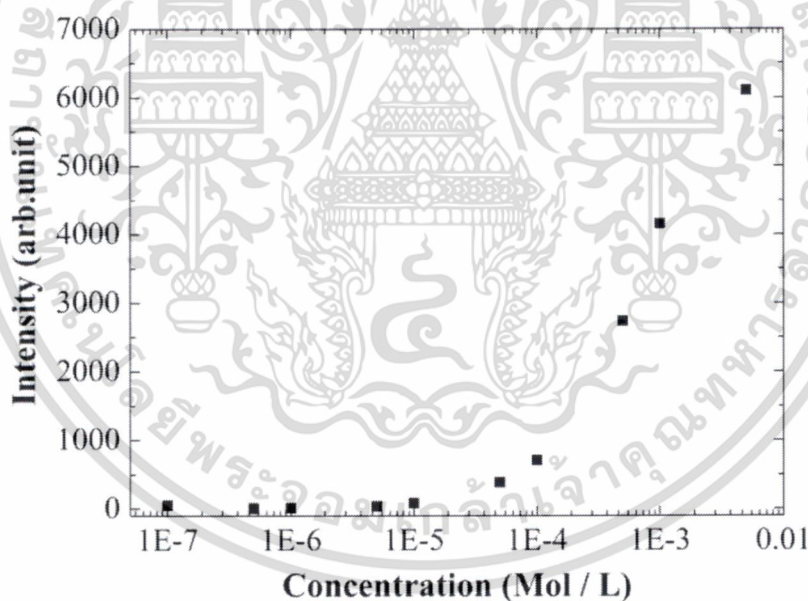


รูปที่ 4.21 ค่าพีคการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์ของสาร Coumarin 153 ในควิวเวท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 สเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสาร Coumarin 153 ในเมทิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10^{-7} – 5×10^{-3} โมลาร์



รูปที่ 4.23 ค่าพิคการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ความเข้มข้น 10^{-7} – 5×10^{-3} โมลาร์ของสาร Coumarin 153 ในเมทิลแอลกอฮอล์

จากการทดลองผู้วิจัยได้ทำการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสาร Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 ในคิวเวทและเมทิลแอลกอฮอล์ พบว่าผลการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสาร Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 ในคิวเวทแสดงดังรูปที่ 4.3 4.10 4.17 ตามลำดับ ค่าการดูดกลืนแสงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามรูปทรงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสเปกตรัมที่วัดได้ที่ความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ จะมีความเพี้ยนไปจากผลการวัดที่วัดได้จากสารที่มีความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ลงไป ทั้งนี้เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงๆ สารมีความทึบแสงมากขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลให้แสงที่ฉายเข้ามาไม่สามารถถูกส่งผ่านออกมายังตัวรับแสงได้ (เกิดปรากฏการณ์ inner filter effect) ผู้วิจัยจึงได้ทำการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสาร Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 ในไมโครฟลูอิดิก ผลปรากฏว่าพีคที่ได้ไม่มีความผิดเพี้ยนเหมือนกับกรณีที่วัดในคิวเวท แสดงดังรูปที่ 4.5 4.6 และ 4.19 ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากอุปกรณ์ไมโครฟลูอิดิกเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กและความหนาของวัสดุที่ใช้สร้างไม่หนามาก จึงไม่มีผลต่อการเดินทางของแสงที่ฉายเข้ามาแล้วผ่านออกมายังตัวรับแสงได้จึงไม่เกิดปรากฏการณ์ inner filter effect ขึ้น และผลการวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสาร Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 ในคิวเวทแสดงดังรูปที่ 4.6 4.13 และ 4.20 ตามลำดับ จะพบว่าพีคการเปล่งแสงของสาร Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 ที่แต่ละความเข้มข้นสอดคล้องกับการดูดกลืนคือ สารที่ดูดกลืนมากจะเปล่งแสงมากเช่นกัน แต่จะมีสารที่มีความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ จะไม่สอดคล้องกับพีคการดูดกลืน คือ สารเกิดการดูดกลืนมากแต่กลับเปล่งแสงออกมาน้อยเนื่องจากพีคการดูดกลืนแสงของสารเกิดปรากฏการณ์ inner filter effect ทำให้พีคที่ได้ผิดเพี้ยนจึงส่งผลให้พีคการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ผิดเพี้ยนและลดลงตามไปด้วยเนื่องมาจากการเกิด re-absorption แต่เมื่อนำสาร Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 มาวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ในไมโครฟลูอิดิก พบว่าค่าการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้นและไม่มีปรากฏการณ์ inner filter effect และ re-absorption มารบกวนซึ่งจะต่างกับกรณีที่วัดในคิวเวท และสามารถวัดสารที่มีความเข้มข้นต่ำสุดได้ถึง 5×10^{-5} โมลาร์ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากระบบการวัดในคิวเวทแล้วพบว่าค่าการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์มีค่าสูงกว่าและใช้สารในปริมาณที่น้อยกว่า ดังแสดงในรูปที่ 4.8 4.15 และ 4.22 ตามลำดับ

4.3 ผลการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลายเรืองแสงในไมโครฟลูอิดิกที่มีขนาดของแชนแนลต่างๆ กัน

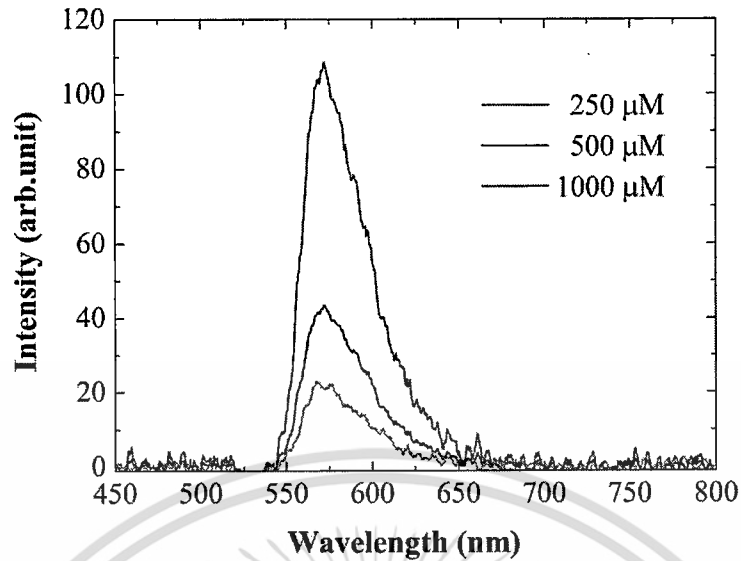
จากการทดลองการวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ของสารละลาย Rhodamine 6 G ที่ความเข้มข้น 10^{-4} โมลาร์ ในไมโครฟลูอิดิกที่สร้างขึ้นในบอทที่ 3 ขนาด 250 500 และ 1000 ไมโครเมตร ตามลำดับ โดยใช้ไมโครฟลูอิดิกทั้งหมด 3 รูปแบบ ได้แก่

4.3.1 ไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 1



รูปที่ 4.24 ไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

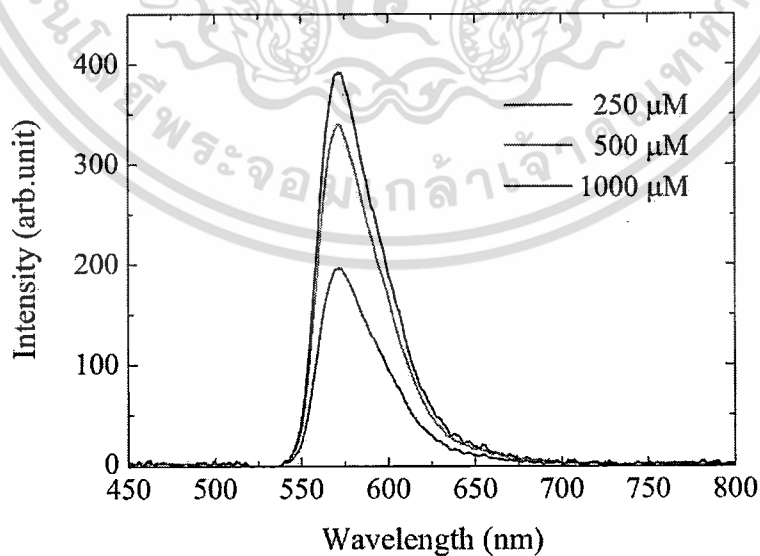


รูปที่ 4.25 กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่วัดในไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 1 ขนาด 250 500 และ 1000 ไมโครเมตร ใช้ฟิลเตอร์ long pass ที่มีความยาวคลื่น cut on เท่ากับ 570 นาโนเมตร

4.3.2 ไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 2



รูปที่ 4.26 ไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 2



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่วัดในไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 2 ขนาด 250 500 และ

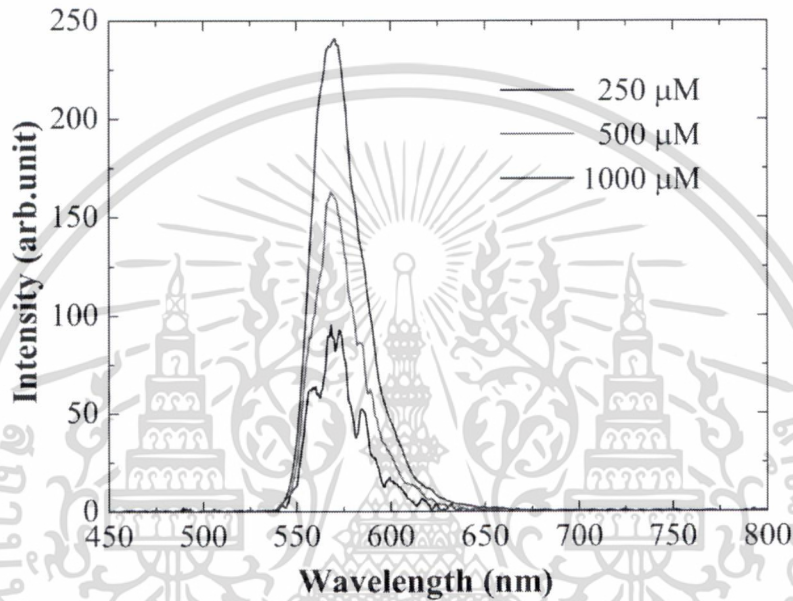
1000 ไมโครเมตร ใช้ฟิลเตอร์ long pass ที่มีความยาวคลื่น cut on เท่ากับ 570 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 3



รูปที่ 4.28 ไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 3



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่วัดในไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 3 ขนาด 250 500 และ 1000 ไมโครเมตร ใช้ฟิลเตอร์ long pass ที่มีความยาวคลื่น cut on เท่ากับ 570 นาโนเมตร

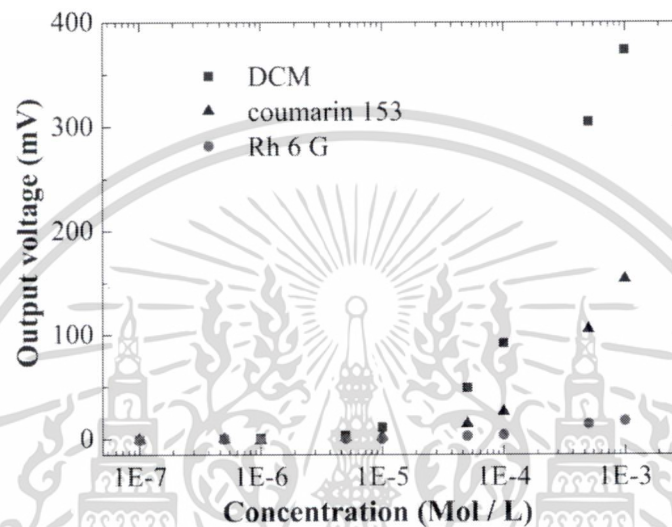
จากผลการทดลองวัดค่าการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่วัดในไมโครฟลูอิดิกทั้ง 3 แบบ พบว่าเมื่อขนาด แชนแนลของอุปกรณ์ไมโครฟลูอิดิกมีขนาดใหญ่ขึ้น ความเข้มของแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่วัดได้ก็จะมีขนาดมากขึ้นตามไปด้วย สังเกตได้จากพีคแอมพลิจูดของสัญญาณที่วัดได้ (รูปที่ 4.25 4.27 และ 4.29) จากกราฟการทดลองยังพบอีกว่า สัญญาณฟลูออเรสเซนซ์จะยิ่งมากขึ้น เมื่อพื้นที่รับแสงมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 2 ให้สัญญาณเอ้าท์พุทที่มีความเข้มสูงสุด รองลงมาจะเป็นไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 3 และไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 1 ตามลำดับ ดังนั้นไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 2 ขนาด 500 ไมโครเมตร จึงถูกเลือกมาใช้ในการวิจัย เนื่องจากให้สัญญาณฟลูออเรสเซนซ์ที่พอเหมาะและเป็นขนาดที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

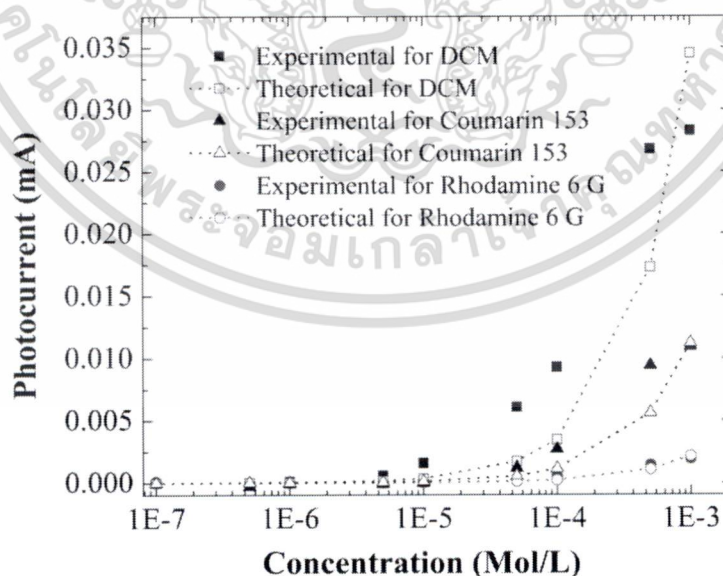
4.4 ผลการศึกษาการตอบสนองต่อแสงของโฟโตไดโอด

ในการทดลองนี้ศึกษาการตอบสนองของโฟโตไดโอดต่อแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ความเข้มข้นของสารละลายต่าง ๆ กัน โดยใช้ photodiode ทั้งหมด 2 รุ่น ได้แก่ รุ่น SPD900-9P และ รุ่น SM05PD1A ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าพร้อมทั้งคำนวณค่าทฤษฎีตามสมการที่ 4.18 ได้ผลการทดลองดังนี้

4.4.1 ผลการวัดปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์โดยใช้ซิลิกอนโฟโตไดโอดรุ่น SPD900-9P



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้จากโฟโตไดโอด รุ่น SPD900-9P ของสาร Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 ที่มีความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} M



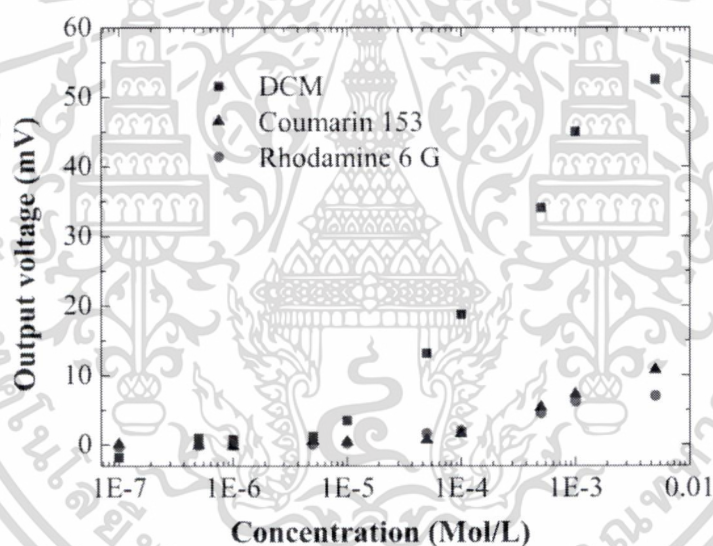
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าจากทฤษฎีและการทดลองด้วยโฟโตไดโอดรุ่น SPD900-9P ของสาร Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 ที่มีความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ทฤษฎีของสาร Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 ด้วยโฟโตไดโอดรุ่น SPD900-9P บริษัท Roithner Laser

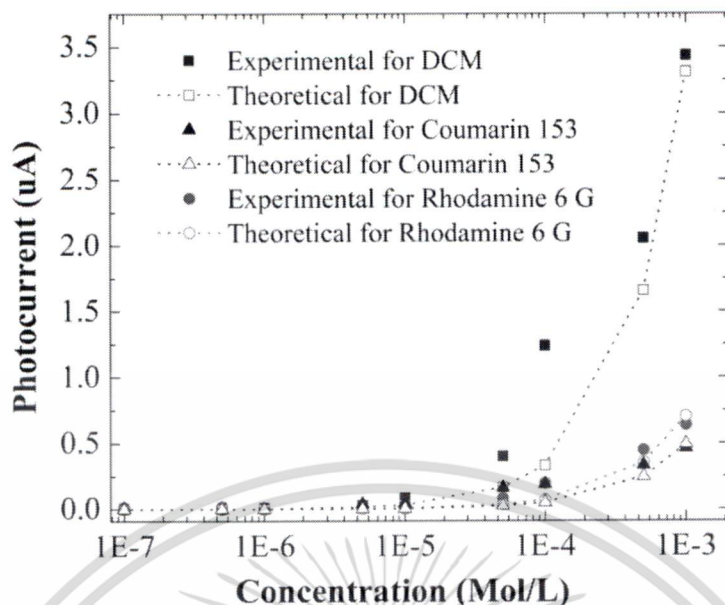
สารสีย้อม	ค่ากระแสไฟฟ้า		
	K	$\epsilon(\times 10^5)$	R^2
Coumarin 153	8	0.2	0.885
DCM	11	0.449	0.825
Rh 6 G	0.262	1.16	0.922

4.4.2 ผลการวัดปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์โดยใช้ซิลิกอนโฟโตไดโอดของบริษัท Thorlabs รุ่น SM05PD1A



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้จากโฟโตไดโอด รุ่น SM05PD1A บริษัท Thorlabs ของสาร Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 ที่มีความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าจากทฤษฎีและการทดลองด้วยโฟโตไดโอด รุ่น SM05PD1A บริษัท Thorlabs ของสาร Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 ที่มีความเข้มข้น 10^{-7} - 10^{-3} โมลาร์

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ทฤษฎีของสาร Rhodamine 6 G DCM และ Coumarin 153 ด้วยโฟโตไดโอด รุ่น SM05PD1A บริษัท Thorlabs

สารสีย้อม	ค่ากระแสไฟฟ้า		
	K	$\mathcal{E}(\times 10^5)$	R^2
Coumarin 153	350	0.2	0.772
DCM	1055	0.449	0.910
Rh 6 G	87	1.16	0.926

จากการทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าจากโฟโตไดโอดของบริษัท Roithner Laser รุ่น SPD900-9P และบริษัท Thorlabs รุ่น SM05PD1A โดยใช้สารทดสอบ Rhodamine 6 G, DCM และ Coumarin 153 ที่มีความเข้มข้น 10^{-7} - 5×10^{-3} โมลาร์ โดยใช้อัตราการไหล 1 มิลลิลิตร/นาที ในการฉีดสารเข้าในไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 2 (หัวข้อ 4.5.3.2) ขนาด 500 ไมโครเมตร จะพบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จะแปรผันตรงกับค่าความเข้มข้นของสาร ค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดโดยโฟโตไดโอดของบริษัท Roithner Laser รุ่น SPD900-9P และโฟโตไดโอดของบริษัท Thorlabs รุ่น SM05PD1A จะตอบสนองได้ดีต่อสาร DCM ดังแสดงในรูปที่ 4.30 4.31 4.32 และ 4.33 ตามลำดับ แล้วทำการเทียบกับทฤษฎีโดยกำหนดค่า K ให้ได้ค่า R^2 มีค่าใกล้ 1 ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

4.5.1 การศึกษาและเปรียบเทียบระบบวัตแสงฟลูออเรสเซนซ์รูปแบบต่างๆ ของสารละลายสีย้อมเรืองแสง

ในการศึกษาสมบัติของสารละลายสีย้อมเรืองแสงในรูปแบบการวัดทั้ง 3 แบบ คือ 1.สายใยแก้วนำแสงอยู่ด้านข้างและแหล่งกำเนิดแสงอยู่ด้านบนไมโครฟลูอิดิก 2.สายใยแก้วนำแสงอยู่ด้านล่างและแหล่งกำเนิดแสงอยู่ด้านข้างไมโครฟลูอิดิก และ 3.สายใยแก้วนำแสงอยู่ด้านล่างและแหล่งกำเนิดแสงอยู่ด้านบนไมโครฟลูอิดิก พบว่าแบบที่ 3 จะให้สัญญาณแสงฟลูออเรสเซนซ์มากที่สุด มีสัญญาณรบกวนน้อย

4.5.2 การศึกษาสเปกตรัมที่ตรวจวัดได้เมื่อบรรจุสารละลายเรืองแสงในคิวเวทและไมโครฟลูอิดิก

ในการศึกษาสมบัติการดูดกลืนและการเปล่งแสงของสารละลายสีย้อมเรืองแสงในภาชนะบรรจุต่างกัน คือ คิวเวทและไมโครฟลูอิดิก พบว่าผลการวัดสมบัติเชิงแสงในคิวเวททิศของการดูดกลืนแสงมีความผิดพลาดที่สารละลายสีย้อมเรืองแสงความเข้มข้น 10^{-3} โมลาร์ และทิศของการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ไม่สอดคล้องกับทิศการดูดกลืน คือ เกิดการดูดกลืนมากแต่กลับเปล่งแสงออกมาน้อยเนื่องจากเกิดปรากฏการณ์ inner filter effect และ re-absorption ส่วนการวัดสมบัติเชิงแสงในไมโครฟลูอิดิกทิศของการดูดกลืนแสงไม่มีความผิดพลาด และทิศของการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์สอดคล้องกับทิศการดูดกลืน คือ เกิดการดูดกลืนมากเปล่งแสงออกมามาก เนื่องจากไม่มีปรากฏการณ์ inner filter effect และ re-absorption ดังนั้นการวัดสมบัติเชิงแสงในไมโครฟลูอิดิกจึงเหมาะแก่การนำไปใช้

4.5.3 การศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลายเรืองแสงในไมโครฟลูอิดิกที่มีขนาดของแขนแนลต่างๆ กัน

ในการศึกษาสมบัติการเปล่งแสงของสารละลายสีย้อมเรืองแสงในไมโครฟลูอิดิกทั้ง 3 แบบที่มีขนาด 250, 500 และ 1000 ไมโครเมตร พบว่าไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 2 ให้ค่าการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ได้มากที่สุดโดยค่าการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์จะแปรผันตรงกับพื้นที่ของไมโครฟลูอิดิก ซึ่งไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 2 มีพื้นที่มากที่สุด รองลงมาแบบที่ 3 และสุดท้ายแบบที่ 1 ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้ไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 2 ขนาด 500 ไมโครเมตรเนื่องให้ค่าการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่เหมาะสม

4.5.4 การศึกษาการตอบสนองต่อแสงของโฟโตไดโอด

ในการศึกษาการตอบสนองต่อแสงของโฟโตไดโอด 2 รุ่น คือโฟโตไดโอดซิลิกอนของบริษัท Roithner Laser รุ่น SPD900-9P และโฟโตไดโอดของบริษัท Thorlabs รุ่น SM05PD1A ทำการวัดปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์ออกเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า พบว่าโฟโตไดโอดของบริษัท Roithner Laser รุ่น SPD900-9P จะตอบสนองต่อแสงได้ดีกว่าโฟโตไดโอดของบริษัท Thorlabs รุ่น SM05PD1A เนื่องจากให้ค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและแนวทางการพัฒนา

5.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการพัฒนาชุดทดลองสำหรับวัดปริมาณแสงฟลูออเรสเซนซ์พกพา โดยระบบการวัดจะแสดงผลออกมาในรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงทางสเปกตรัมและทางไฟฟ้า ซึ่งมีจุดประสงค์ของการจัดทำความสะดวกต่อการพกพาไปใช้งานในสถานที่ต่างๆ โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและออกแบบชุดทดลองสำหรับวัดสมบัติการเรืองแสงของสารสีย้อม 3 ชนิดคือ Rhodamine 6G, Coumarin 153 และ DCM โดยผลการศึกษาทั้งหมดในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ในการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนและการเปล่งแสงของสารละลายเรืองแสงโดยจัดเตรียม ระบบวัด 3 รูปแบบ คือ 1.สายใยแก้วนำแสงอยู่ด้านข้างและแหล่งกำเนิดแสงอยู่ด้านบนไมโครฟลูอิดิก 2.สายใยแก้วนำแสงอยู่ด้านล่างและแหล่งกำเนิดแสงอยู่ด้านข้างไมโครฟลูอิดิก และ 3. สายใยแก้วนำแสงอยู่ด้านล่างและแหล่งกำเนิดแสงอยู่ด้านบนไมโครฟลูอิดิก ได้พบว่าการวัดแบบที่สามจะให้ค่าสัญญาณการเปล่งแสงที่มากกว่าและมีสัญญาณรบกวนน้อยกว่าแบบที่หนึ่งและสอง
2. ในการศึกษาสมบัติการดูดกลืนและการเปล่งแสงของสารละลายสีย้อมเรืองแสงในคิวเวทและไมโครฟลูอิดิก ได้พบว่าการวัดในคิวเวทพิคของการดูดกลืนแสงมีความผิดพลาดที่ความเข้มข้นสารมากและพิคของการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์แปรผกผันกับพิคการดูดกลืน คือ เกิดการดูดกลืนมากแต่กลับเปล่งแสงออกมาน้อย ส่วนการวัดในไมโครฟลูอิดิกพิคของการดูดกลืนแสงไม่มีความผิดพลาดและพิคของการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์แปรผันตรงกับพิคการดูดกลืน
3. ในการศึกษาสมบัติการเปล่งแสงของสารละลายสีย้อมเรืองแสงในไมโครฟลูอิดิกทั้ง 3 แบบที่มีขนาด 250, 500 และ 1000 ไมโครเมตร ได้พบว่าไมโครฟลูอิดิกแบบที่ 2 ขนาด 1000 ไมโครเมตร ให้ค่าการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์ได้มากที่สุด โดยค่าการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนซ์จะแปรผันตรงกับพื้นที่ของไมโครฟลูอิดิก
4. ในการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าโดยใช้โฟโตไดโอด 2 ชนิด คือโฟโตไดโอดซิลิกอนของบริษัท Roithner Laser รุ่น SPD900-9P และโฟโตไดโอดของบริษัท Thorlabs รุ่น SM05PD1A ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า โดยใช้สาร Rhodamine 6 G DCM Coumarin 153 ได้พบว่าโฟโตไดโอดของบริษัท Roithner Laser รุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.oceanoptics.com/products/lightoverview.asp>
- [2] <http://www.ledlights.ca/led%20news%201.php>
- [3] www.ims.ut.ee/~alar/microtech/Ch1
- [4] X. Wang, O. Hofmann, J. Huang, E.M. Barrett, R. Das, A.J. deMello, J.C. deMello, D.D.C. Bradley, Proc. SPIE 6036 (2006).
- [5] <http://itswell.en.ecplaza.net/trade-leads/-lamp-type-led-5mm--318191-7996505.html>
- [6] <http://topled.manufacturer.globalsources.com/si/6008818855135/pdtl/WhiteSMD/1040906939/Surface-Mount-Type-LED.htm>
- [7] http://www.sptc.ac.th/prapruet/devicesweb/books/book_15.htm
- [8] A. Bange, H.B. Halsall, W.R. Heineman, Biosensors Bioelectron 20, 2488 (2005).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้