

การพัฒนาอุปกรณ์ติดตามระดับแอมโมเนียในน้ำ
Device development for monitoring of ammonia level in water

โดย
นายอติวิชญ์ สันติกุล

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563

โครงการ การพัฒนาอุปกรณ์ติดตามระดับแอมโมเนียในน้ำ

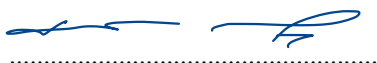
โดย นายอติวิชญ์ สันติกุล

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

- | | |
|--|------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.คณศ วงษ์ระวี | ประธานกรรมการ |
| 2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาค อนุตรศักดิ์ดา | กรรมการ |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ์ วรานุศุภากุล | อาจารย์ที่ปรึกษา |

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี



(รองศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ์ วรานุศุภากุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา



(รองศาสตราจารย์ ดร. วรวิทย์ โฮเวณ)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

วันที่ 27 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2564

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเพราะได้รับความกรุณาให้การช่วยเหลืออย่างดีจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ปกรณ์ วรานุศุภากุล ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องมาโดยตลอด

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.คณศ วงษ์ระวี ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือตัวตรวจวัดแสงสำหรับการ วิเคราะห์และที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบการวิจัยอีกทั้งตรวจแก้ไขรายงานให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาค อนุตรศักดิ์ ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบการวิจัยอีก ทั้งตรวจแก้ไขรายงานให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัสสรพล งามอุโฆษ ที่ให้คำแนะนำในการทดลองและการอธิบาย ผลการทดลอง

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ให้ ความรู้และประสบการณ์ และขอขอบคุณพี่ๆ ในห้องวิจัยทุกคนที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับกระบวนการทำงาน จนสามารถดำเนินงานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

อติวิชญ์ สันติกุล

ผู้วิจัย

สารบัญ

บทคัดย่อ	ค
Abstract.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.5 ทฤษฎี.....	4
1.5.1 เส้นใยนำแสง.....	4
1.5.2 สเปกโทรเมตรี.....	5
1.5.3 Evanescent wave กับเส้นใยนำแสง	5
1.5.4 SPR กับเส้นใยนำแสง.....	6
บทที่ 2 การทดลอง	7
2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	7
2.1.1 เครื่องมือ	7
2.1.2 อุปกรณ์.....	7
2.2 สารเคมี.....	7
2.2.1 สารเคมีสำหรับการลอกชั้นฟิล์มหุ้มของเส้นใยนำแสงพลาสติก.....	7
2.2.2 สารเคมีสำหรับการทดสอบคุณสมบัติเชิงแสงของเส้นใยนำแสงพลาสติก.....	7
2.3 วิธีการทดลอง	8
2.3.1 การทดสอบการเชื่อมเส้นใยนำแสงพลาสติกและการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อม	8
2.3.2 การลอกชั้นฟิล์มหุ้มของเส้นใยนำแสงพลาสติก	9
2.3.3 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแสงที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกันเข้าสู่เส้นใยนำแสงพลาสติก	9
บทที่ 3 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	11
3.1 ผลการทดสอบการวางตำแหน่งอุปกรณ์.....	11

3.1.1	การทดสอบการวางตำแหน่งโดยใช้หัวต่อ SMA เชื่อมกับเส้นใยนำแสงพลาสติก	11
3.1.2	การทดสอบการวางตำแหน่งโดยใช้ Bare fiber terminator SMA เชื่อมกับเส้นใยนำแสง พลาสติก	12
3.2	ผลการลอกชั้นฟิล์มหุ้มของเส้นใยนำแสงพลาสติก.....	13
3.2.1	การลอกชั้นฟิล์มหุ้มโดยวิธีที่ 1	13
3.2.2	การลอกชั้นฟิล์มหุ้มโดยวิธีที่ 2.....	14
3.2.3	การลอกชั้นฟิล์มหุ้มโดยวิธีที่ 3.....	15
3.3	การทดสอบการเคลื่อนที่ของแสงที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกันเข้าสู่เส้นใยนำแสงพลาสติก	16
3.3.1	ตัวกลางอากาศ.....	16
3.3.2	ตัวกลางน้ำกลั่น	17
3.3.3	การทดสอบระบบที่มีสารละลายสีแดง.....	18
3.3.4	ตัวกลางสารละลายโรดามีน บี.....	19
3.3.5	การเปรียบเทียบทั้งสามตัวกลาง	20
3.3.6	การเปรียบเทียบเมื่อแสงผ่านตัวกลางสารละลายโรดามีน บีโดยใช้ integration time แตกต่างกัน	21
บทที่ 4	สรุปผลการทดลอง.....	22
	เอกสารอ้างอิง	23
	ภาคผนวก.....	25
	ประวัติผู้วิจัย.....	26

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1	ชั้นต่างๆของเส้นใยนำแสง ^[15]	4
รูปที่ 1.2	การหักเหของแสงจาก Snell's law ^[15]	5
รูปที่ 1.3	ลักษณะภายในของเครื่องสเปกโทรเมเตอร์ USB-2000 ^[18]	5
รูปที่ 1.4	Evanescent wave ในเส้นใยนำแสง ^[19]	6
รูปที่ 1.5	การนำ SPR มาใช้ร่วมกับเส้นใยนำแสง ^[20a]	6
รูปที่ 2.1	เส้นใยนำแสงพลาสติกที่เชื่อมกับหัว SMA.....	8
รูปที่ 2.2	Bare fiber terminator.....	9
รูปที่ 2.3	เส้นใยนำแสงพลาสติกที่เชื่อมกับ bare fiber terminator.....	9
รูปที่ 2.4	ส่วนล่างของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ใส่ของเหลวและเส้นใยนำแสงพลาสติก.....	10
รูปที่ 2.5	ส่วนบนของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ใส่ของเหลวและเส้นใยนำแสงพลาสติก.....	10
รูปที่ 2.6	เส้นใยนำแสงพลาสติกที่ถูกประกอบเข้ากับอุปกรณ์ที่นำมาใช้ทดสอบคุณสมบัติเชิงแสงของเส้นใยนำแสงพลาสติก.....	10
รูปที่ 3.1	ผลการวัดโหมด transmission ของเส้นใยนำแสงพลาสติกที่ทำการเชื่อมกับหัว SMA.....	11
รูปที่ 3.2	ผลการวัดโหมด transmission ของเส้นใยนำแสงพลาสติกที่ทำการเชื่อมกับ bare fiber terminator.....	12
รูปที่ 3.3	แสงที่ผ่านบริเวณที่ลอกฟิล์มหุ้มของวิธีที่ 1.....	13
รูปที่ 3.4	เส้นใยนำแสงพลาสติกธรรมดาที่มีแสงอยู่ข้างใน.....	13
รูปที่ 3.5	รูปขยาย40เท่า บริเวณที่ลอกฟิล์มหุ้มโดยวิธีที่ 1.....	14
รูปที่ 3.6	แสงที่ผ่านบริเวณที่ลอกฟิล์มหุ้มของวิธีที่ 2.....	14
รูปที่ 3.7	รูปขยาย40เท่า บริเวณที่ลอกฟิล์มหุ้มโดยวิธีที่ 2.....	15
รูปที่ 3.8	รูปขยาย40เท่าบริเวณรอยต่อของบริเวณที่ลอกชั้นฟิล์มหุ้มและไม่ลอกชั้น.....	15
รูปที่ 3.9	กราฟปริมาณโฟตอนแต่ละความยาวคลื่นที่ผ่านตัวกลางอากาศ.....	16
รูปที่ 3.10	กราฟปริมาณโฟตอนแต่ละความยาวคลื่นที่ผ่านตัวกลางน้ำกลั่น.....	17
รูปที่ 3.11	excitation band และ emission band ของ oxazine 170 perchlorate ^[13]	18
รูปที่ 3.12	กราฟปริมาณโฟตอนแต่ละความยาวคลื่นที่ผ่านตัวกลางสีผสมอาหารสีแดง.....	18
รูปที่ 3.13	กราฟปริมาณโฟตอนแต่ละความยาวคลื่นที่ผ่านตัวกลางสารละลายโรดามีน บี.....	19
รูปที่ 3.14	excitation band และ emission band ของโรดามีน บี ^[15]	19
รูปที่ 3.15	กราฟการเปรียบเทียบความเข้มของแสงเมื่อผ่านตัวกลางทั้งสามชนิด.....	20
รูปที่ 3.16	กราฟการเปรียบเทียบค่าความเข้มของแสงเมื่อผ่านตัวกลางสารละลายโรดามีน บีและใช้ integration time ที่แตกต่างกัน.....	21
รูปที่ g1	สเปกตรัมของเส้นใยนำแสงพลาสติกธรรมดาที่ปิดแหล่งกำเนิดแสง DH-2000 และเปิดไฟฉาย.....	25

รูปที่ ก2 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับการทดลองที่ 3	25
---	----

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ปริมาตรของอะซีโตน และ น้ำกลั่นที่ใช้ในการลอกชั้นฟิล์มหุ้ม.....	9
---	---

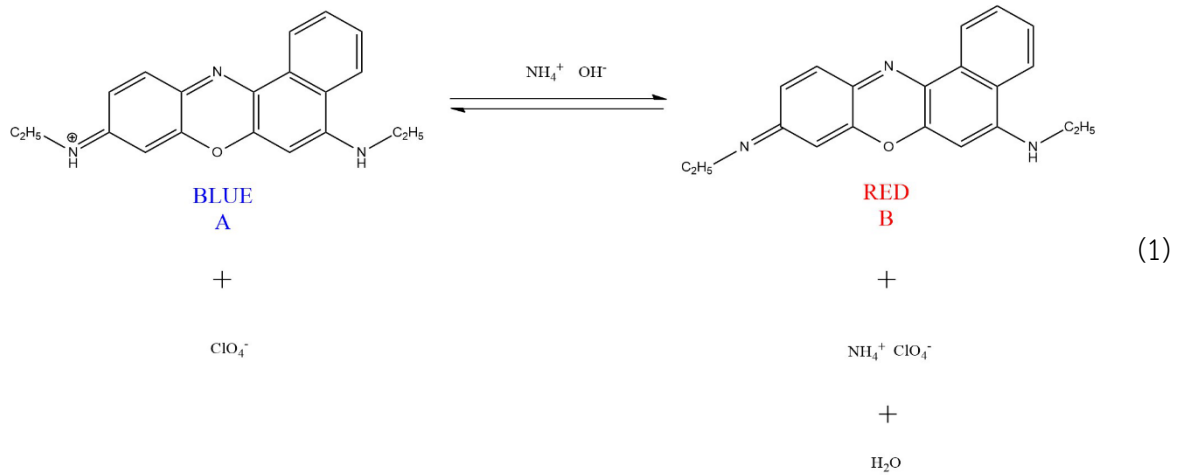
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

การประมงเป็นธุรกิจที่มีขนาดใหญ่และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นทุกปี^[1] ไม่ว่าจะเป็นการเพาะเลี้ยงหรือการประมงทางธรรมชาติ ในการทำประมงในรูปแบบของการเพาะเลี้ยงนั้นจะมีการใช้น้ำในระบบหมุนเวียนและระบบบ่อดิน ในการเพาะเลี้ยงในรูปแบบของระบบน้ำหมุนเวียนนั้นมีการควบคุมในด้านของ อุณหภูมิ ความเค็ม รวมถึงมีการกำจัดสารที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำคือ แอมโมเนีย (ammonia) ทั้งในรูปแบบของระบบน้ำหมุนเวียนและระบบบ่อดินนั้นความสามารถในการควบคุมระดับของแอมโมเนียนั้นมีไม่มากพอ ซึ่งปลาต่างชนิดก็มีความสามารถในการทนต่อแอมโมเนียแตกต่างกัน^[2] หากมีระดับแอมโมเนียที่สูงขึ้นสัตว์น้ำจะมีความอยากอาหารและการเจริญเติบโตลดลงและตายในที่สุด^[3] และองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ได้ให้คำแนะนำว่าควรมีระดับแอมโมเนียอยู่ในช่วง 1-100 ng/mL ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของสัตว์น้ำ^[4]

จากการศึกษาวิจัยก่อนหน้าพบว่าอุปกรณ์ตรวจวัดระดับแอมโมเนียนั้นมีข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น เป็นอุปกรณ์ขนาดใหญ่ ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้^[5] ทำให้ในอุตสาหกรรมการประมงบางที่นั้นต้องส่งตัวอย่างมาที่ห้องวิจัยรวมถึงจุดประสงค์ในการนำไปติดตามระดับแอมโมเนียซึ่งเป็นข้อจำกัดของวิธีข้างต้น รวมถึงจากงานวิจัยก่อนหน้าพบว่ามีการพัฒนาอุปกรณ์สำหรับทำการตรวจวัดและติดตามแอมโมเนียในรูปแบบซีวอเล็คโทรดซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ราคาสูง และมีค่าบำรุงรักษาที่แพง^[6] นักวิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาอุปกรณ์สำหรับติดตามระดับแอมโมเนียที่ผู้ประกอบการสามารถเข้าถึงได้ง่าย หนึ่งในอุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมในการรับส่งสัญญาณคือ optical fiber หรือเส้นใยนำแสงที่มีคุณสมบัติทั้งด้านความคงทน, ความไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และมีราคาที่ไม่สูงผู้วิจัยจึงได้สนใจที่จะนำเส้นใยนำแสงมาพัฒนาเป็นอุปกรณ์เพื่อตรวจวัดและติดตามระดับแอมโมเนีย^[7] เส้นใยนำแสงเป็นเพียงอุปกรณ์หรือหัววัดที่ใช้นำส่งแสงเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแสง และนำไปสู่การแปลผลข้อมูล การตรวจวัดสารที่สนใจจึงจำเป็นต้องมีการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแสงหรือสี ซึ่งอาจเป็นการเกิดปฏิกิริยากับสารหรือรีเอเจนต์ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสี, มีการเปลี่ยนแปลงของสีหรือมีการเปล่งแสงเป็นต้น ในงานวิจัยนี้การตรวจวัดแอมโมเนียจะใช้การเปลี่ยนแปลงของสีของฟลูออเรสเซนต์ oxazine 170 perchlorate ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีน้ำเงินเป็นสีแดงเมื่อสารละลายมีความเป็นเบสหรือมีไฮดรอกไซด์ไอออนจากแอมโมเนียมากขึ้นดังสมการที่ (1) โดยสามารถติดตามการวางแสงได้ที่ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร ซึ่งจะแปลผลเป็นระดับแอมโมเนียในน้ำได้^[8] ผู้วิจัยจะศึกษาการเตรียมเส้นใยนำแสงเพื่อใช้เป็นหัววัดในการรับสัญญาณแสง และนำไปทดสอบวัดสัญญาณแสงจากการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย



1.2 วัตถุประสงค์

พัฒนาอุปกรณ์ด้วยเส้นใยนำแสงสำหรับตรวจและติดตามระดับแอมโมเนียในน้ำ

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดระดับแอมโมเนียในน้ำ ปี ค.ศ. 1981 Yvonne M. Fraticelli และ M. E. Meyerhoff^[6a] ได้ทำการสร้างขั้วอิเล็กโทรดที่ใช้สำหรับการตรวจวัดปริมาณของแก๊สแอมโมเนียผ่านการไหลผ่านของแก๊สแอมโมเนียเข้าสู่ชั้นสารละลายบัฟเฟอร์ที่อยู่ข้างในแล้วจะเกิดเป็นสารแอมโมเนียมไอออนขึ้นจากนั้นจึงทำการตรวจวัดปริมาณของแอมโมเนียผ่านค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งสามารถตรวจวัดได้ในช่วง 10^{-6} - 10^{-3} mol/L และในปี ค.ศ. 2015 Yu Chen และคณะ^[9] ได้ทำการสร้างอุปกรณ์ฐานกระดาษที่ใช้สำหรับตรวจวัดปริมาณของแอมโมเนียในน้ำซึ่งใช้สาร cresol red ion pair, pyranine ion pair, Zn-TPP และ methyl red เป็นตัวตรวจวัด จากนั้นจึงทำการ calibrate และประมวลผลผ่านระบบ RGB ของสีซึ่งสามารถตรวจวัดระดับของแอมโมเนียได้ต่ำสุดคือ 17 ppm

การนำเส้นใยนำแสงมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดในรูปแบบต่างๆ ในปี ค.ศ. 2005 Wenqing Cao และ Yixiang^[10] ได้ทำการทดลองโดยนำเส้นใยนำแสงมาพัฒนาเพื่อตรวจวัดระดับของแอมโมเนียในอากาศมีการเปลี่ยนชั้นฟิล์มหุ้ม (cladding) เป็น sol-gel และใช้ bromocresol purple (BCP) เป็นตัวตรวจวัด โดยตรวจวัดผ่านเทคนิค evanescent wave absorption ซึ่งสามารถวัดปริมาณของแอมโมเนียได้ในช่วง 5-100 ppm ปี ค.ศ. 2021 Fei Lu และคณะ^[11] ได้นำเส้นใยนำแสง มานำชั้นแกนกลาง (core) ออกแล้วแทนที่ด้วยสาร SiO₂ หรือ Au-SiO₂ มาเคลือบบริเวณที่ชั้นแกนกลางแล้วนำไปตรวจวัดค่า pH ผ่าน transmission mode ในเทคนิคสเปกโทรเมตรีและสามารถวัดค่า pH ได้ในช่วง 8-12.5 และในปี ค.ศ. 2021 Tran Van Tam และคณะ^[12] ได้นำสาร a-GQDs/PBA หรือ Aniline functionalized graphene quantum dots/phenyl boric acid ซึ่งเป็นสารที่ใช้ตรวจวัดปริมาณของกลูโคสผลพบว่าเมื่อนำสาร a-GQDs/PBA มาทำการวิเคราะห์ร่วมกับเส้นใยนำแสงจะทำให้ detection limit ของการวัดปริมาณของกลูโคสมีค่าต่ำลงอยู่ที่ 2.1 μM

การนำสาร oxazine 170 perchlorate มาประยุกต์ใช้กับเส้นใยนำแสงในปี ค.ศ. 1983 J.F. Giuliani และ T.W. Barrett ได้ทำการค้นพบว่าสาร oxazine 170 perchlorate^[8] เมื่อเกิดการ deprotonation จะเกิดการ

เปลี่ยนแปลงของ electronic band และจะเห็นสารเปลี่ยนสีแบบย้อนกลับได้จากสีน้ำเงินเป็นสีแดงจากนั้นจึงนำไปทดสอบกับสารแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ก็ค้นพบถึงการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมและในท้ายสุดของผลการทดลองก็ค้นพบว่าสาร oxazine 170 perchlorate สามารถตรวจจับปริมาณของแก๊สแอมโมเนียที่ความเข้มข้นต่ำได้ ในปี ค.ศ. 2017 Piotr Miluski^[13] ได้นำสาร oxazine 170 perchlorate มาเคลือบบริเวณชั้น PMMA หรือชั้นแกนกลางของเส้นใยนำแสงพลาสติกและค้นพบว่าแสงฟลูออเรสเซนส์จะเกิดการ red shift เมื่อความยาวของเส้นใยนำแสงพลาสติกเพิ่มมากขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบแล้วสัญญาณฟลูออเรสเซนส์จะเกิด red shift 4.6 นาโนเมตร ต่อความยาว 1 cm ของเส้นใยนำแสงพลาสติก และในปี ค.ศ. 2020 Arnaldo G. Leal-Junior, Anselmo Frizera และ Carlos Marques^[14] นำเส้นใยนำแสงพลาสติก (Plastic Optical Fiber หรือ POF) มาลอกชั้นฟิล์มหุ้มและเคลือบด้วย oxazine 170 perchlorate โดยทำให้อยู่ในลักษณะของโพรบที่สามารถถอดเปลี่ยนได้นำมาต่อเข้ากับ Y coupler ฝั่งด้านที่มีสายเดี่ยว ส่วนอีกฝั่งที่มีสองสายแต่ละสายต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดแสงและเครื่องสเปกโตรเมเตอร์ใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นเลเซอร์ 650 นาโนเมตร จากการนำไปใช้ในฟาร์มปลาพบว่าสามารถวัดความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำได้ต่ำสุดคือ 100 ppb

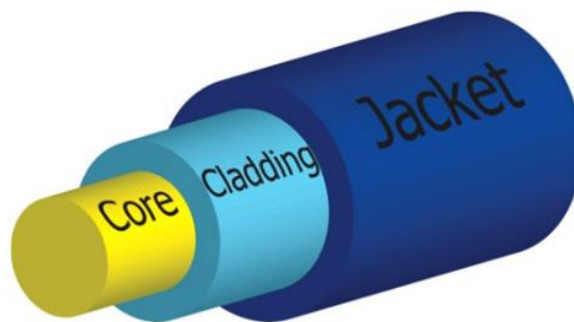
1.4 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็น Ocean Optics DH-2000 และ ไฟฉายร่วมกับเส้นใยนำแสงพลาสติกยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น ESKA CK40 และใช้เครื่องสเปกโตรเมเตอร์ Ocean Optics USB2000

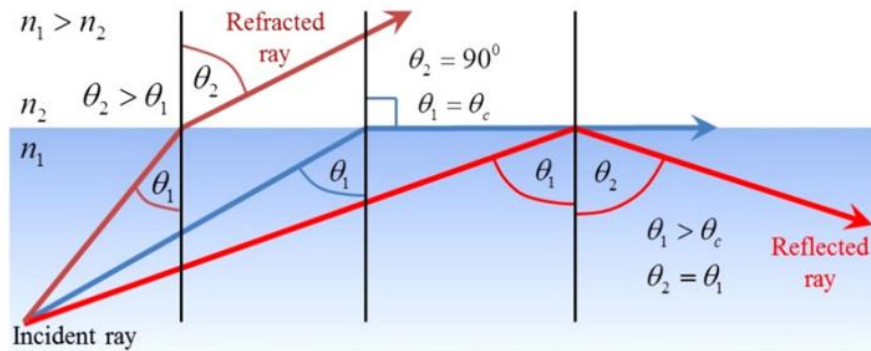
1.5 ทฤษฎี

1.5.1 เส้นใยนำแสง

เส้นใยนำแสงที่ใช้ในการนำสัญญาณ พฤติกรรมของการแพร่กระจายของแสงภายในเส้นใยนำแสงส่งต่อจากต้นกำเนิดไปยังจุดหมายปลายทางเส้นใยนำแสงหลักๆจะประกอบด้วยกันทั้งหมดสามชั้นดัง รูปที่ 1.1 ชั้นเปลือกหุ้ม (Jacket) เป็นชั้นที่เพิ่มความยืดหยุ่นให้เส้นใยนำแสงและแสงจะเคลื่อนที่อยู่ในชั้นแกนกลางสาเหตุที่แสงสามารถเคลื่อนที่อยู่ในชั้นแกนกลางเป็นผลมาจาก Snell's law ซึ่งขึ้นอยู่กับดัชนีหักเหแสงของชั้นแกนกลางและฟิล์มหุ้มซึ่งสามารถอธิบายได้ผ่านรูปที่ 1.2 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเส้นใยนำแสงจะได้ว่า n_1 คือดัชนีการหักเหของแสงในชั้นแกนกลางส่วน n_2 คือดัชนีการหักเหของแสงในชั้นฟิล์มหุ้มซึ่งลักษณะกลไกจะเป็นดังรูปที่ 1.2 การที่จะทำให้แสงสามารถอยู่ในชั้นแกนกลางได้นั้นองศาของการตกกระทบของแสงภายในชั้นแกนกลางต้องอยู่ในช่วง $90^\circ > \theta_1 > \theta_2$ โดยที่ θ_1 คือมุมตกกระทบของแสงภายในชั้นแกนกลาง และ θ_2 คือมุมที่แสงสะท้อนออกไปสู่ชั้นฟิล์มหุ้ม ดังนั้นหากเส้นใยนำแสงปราศจากชั้นฟิล์มหุ้มสิ่งที่ตามมาก็คือค่า n_2 ของ Snell's law จะถูกแทนด้วยค่า n_{air} และค่า θ_2 จะถูกแทนด้วย θ_c โดยที่ θ_c คือมุมที่แสงสะท้อนออกไปสู่ชั้นอากาศ ซึ่งค่า n_{air} นั้นมีปริมาณที่น้อยกว่าค่าของ n_2 ทำให้การเกิด $\theta_c > \theta_1$ นั้นสูงขึ้นจึงทำให้แสงในบริเวณที่ไม่มีชั้นฟิล์มหุ้มจะสามารถเข้าและออกจากภายนอกได้^[15] โดยปกติเส้นใยนำแสงจะมีวัสดุเป็นแก้วในชั้นแกนกลางและฟิล์มหุ้มแต่มีการพัฒนาให้ชั้นแกนกลางและฟิล์มหุ้มมีความทนทานเพิ่มมากขึ้นโดยเปลี่ยนวัสดุเป็นพลาสติกหรือพอลิเมอร์ โดยวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในชั้นแกนกลางส่วนใหญ่จะเป็น polymethyl methacrylate resin (PMMA) และวัสดุในชั้นฟิล์มหุ้มส่วนใหญ่คือ fluorinated polymer^[16] โดยที่เส้นใยนำแสงประเภทนี้จะปราศจากชั้นเปลือกหุ้มและถูกเรียกว่าเส้นใยนำแสงพลาสติก



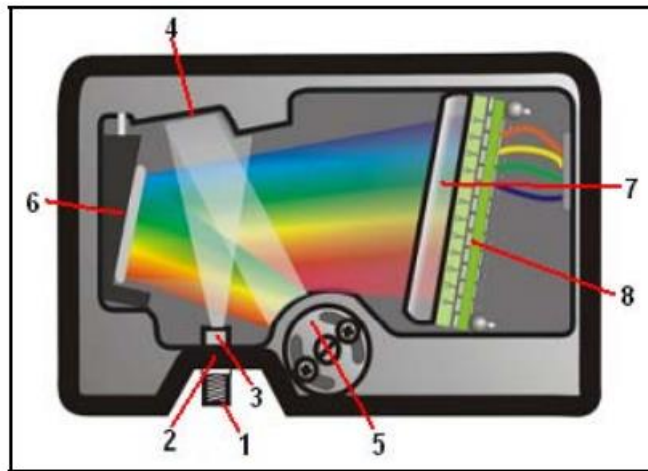
รูปที่ 1.1 ชั้นต่างๆของเส้นใยนำแสง^[15]



รูปที่ 1.2 การหักเหของแสงจาก Snell's law^[15]

1.5.2 สเปกโตรเมตรี

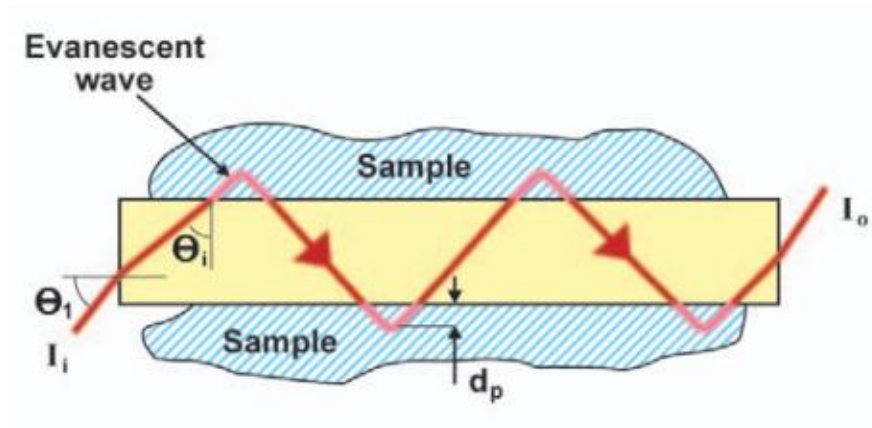
สเปกโตรเมตรีคือการวัดปฏิสัมพันธ์ระหว่างแสงและสสารผ่านค่าความเข้มแสงและความยาวคลื่น^[17] อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดเรียกว่าเครื่องสเปกโตรเมเตอร์ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 1.3 เมื่อแสงเข้าสู่เครื่องสเปกโตรเมเตอร์จะถูกทำการสะท้อนไปยังเกรตติงซึ่งทำหน้าที่เป็นการแยกแสงแต่ละความยาวคลื่นจากนั้นจึงจะเข้าสู่ตัวตรวจวัด (detector) แต่ละฟิสิกเซลบนตัวตรวจวัดจะตอบสนองกับความยาวคลื่นที่ตกกระทบจากนั้นเครื่องสเปกโตรเมเตอร์จะส่งสัญญาณดิจิทัลไปยังแอปพลิเคชันต่อไป^[18] ซึ่งแอปพลิเคชันจะแสดงผลในรูปแบบปริมาณของโฟตอนในแต่ละความยาวคลื่น



รูปที่ 1.3 ลักษณะภายในของเครื่องสเปกโตรเมเตอร์ USB-2000^[18]

1.5.3 Evanescent wave กับเส้นใยนำแสง

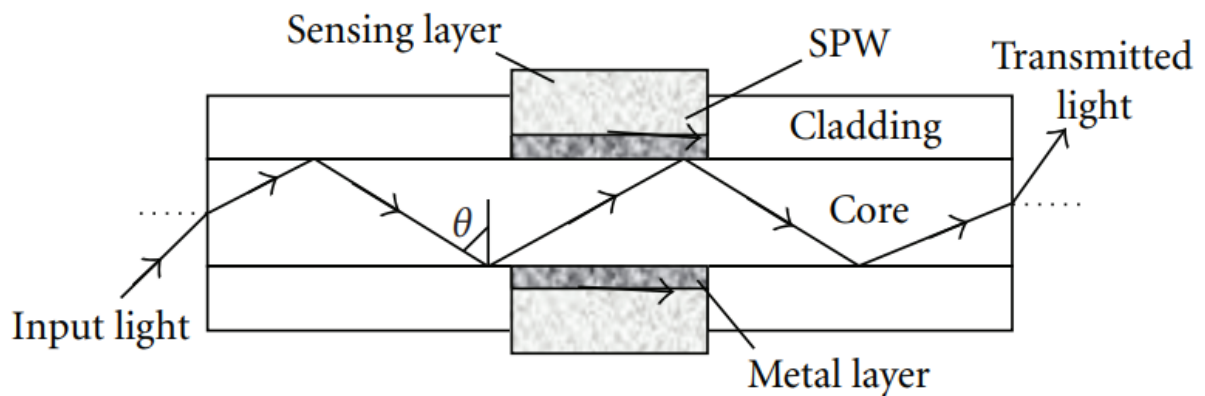
Evanescent wave เป็นหนึ่งในทฤษฎีที่ถูกใช้งานในการวิเคราะห์ร่วมด้วยกับเส้นใยนำแสงมีลักษณะดังรูปที่ 1.4 เนื่องจากการเคลื่อนที่ของแสงจากแหล่งกำเนิดเมื่อเข้าสู่เส้นใยนำแสงจะมีลักษณะกระจายออกหลายทิศทางทำให้เกิดองศาที่แตกต่างกันเมื่อกระทบกับบริเวณขอบของชั้นแกนกลางของเส้นใยนำแสงและเมื่อมีการกระทบที่เกินมุมวิกฤตจะทำให้แสงนั้นออกมาจากชั้นแกนกลางถ้าหากบริเวณนั้นถูกเคลือบด้วยสีย้อมหรือสารเรืองแสงจะสามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัม^[19]



รูปที่ 1.4 Evanescent wave ในเส้นใยนำแสง^[19]

1.5.4 SPR กับเส้นใยนำแสง

จากการที่มี evanescent wave ได้มีผู้วิจัยนำหลักการ surface plasmon resonance มาใช้ร่วมกับเส้นใยนำแสง โดยการนำอนุภาคนาโนของโลหะที่สามารถเกิด surface plasmon resonance ได้มาทำการเคลือบบริเวณที่ลอกชั้นฟิล์มหุ้มของเส้นใยนำแสงดังรูปที่ 1.5 เมื่อโลหะนั้นถูกกระตุ้นให้เกิด surface plasmon resonance จะเกิดการส่ง surface plasmon wave ไปยัง sensing layer เมื่อดูผ่าน transmission mode ในเทคนิค spectroscopy จะสังเกตเห็นการลดลงของความเข้มของแสง (intensity) ที่ความยาวคลื่นซึ่งเกิด surface plasmon resonance^[20]



รูปที่ 1.5 การนำ SPR มาใช้ร่วมกับเส้นใยนำแสง^[20a]

บทที่ 2

การทดลอง

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 เครื่องมือ

2.1.1.1 เส้นใยนำแสงพลาสติก (plastic optical fiber) เส้นผ่านศูนย์กลาง 1000 μm , แกนกลาง 980 μm , ESKA CK40

2.1.1.2 แหล่งกำเนิดแสง Ocean Optics DH-2000, ไฟฉาย

2.1.1.3 เครื่องสเปกโตรเมเตอร์ Ocean Optics USB2000

2.1.1.4 หัว SMA905 connector stainless steel ferrule 1.0 x 2.2mm, FiberFin USA

2.1.1.5 bare fiber terminator SMA905 multimode connector 850 μm , Thorlabs

2.1.1.6 Chula smartlens 40x

2.1.2 อุปกรณ์

2.1.2.1 Dropper

2.1.2.2 บีกเกอร์ขนาด 50 mL

2.1.2.3 กระจกยทชชช

2.2 สารเคมี

2.2.1 สารเคมีสำหรับการลอกชั้นฟิล์มหุ้มของเส้นใยนำแสงพลาสติก

2.2.1.1 อะซีโตน (acetone)

2.2.1.2 น้ำกลั่น

2.2.2 สารเคมีสำหรับการทดสอบคุณสมบัติเชิงแสงของเส้นใยนำแสงพลาสติก

2.2.2.1 โรดามีน บี (Rhodamine B)

2.2.2.2 สีส้มอาหารสีแดง

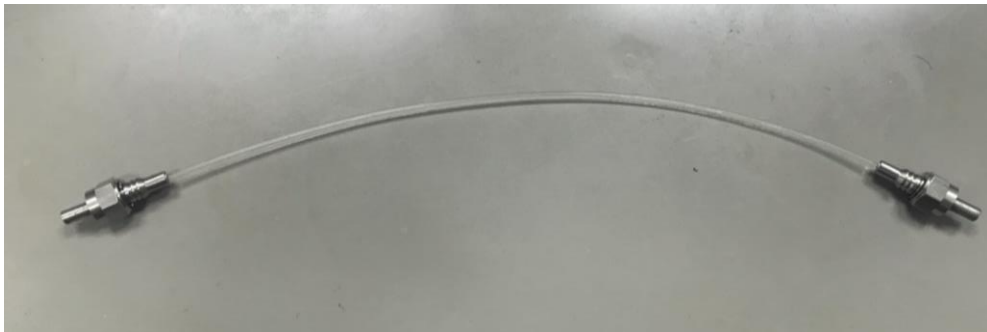
2.2.2.3 น้ำกลั่น

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การทดสอบการเชื่อมเส้นใยนำแสงพลาสติกและการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อม

2.3.1.1 การวางตำแหน่งของสายเส้นใยนำแสงพลาสติกที่ทำการเชื่อมกับหัวต่อ SMA

นำเส้นใยนำแสงพลาสติกมาทำการเชื่อมต่อกับหัว SMA โดยใช้เครื่องมือ crimpers ทำการยึดระหว่างหัว SMA, ferrule และเส้นใยนำแสงพลาสติกจะได้เส้นใยนำแสงพลาสติกที่มีลักษณะดังรูปที่ 2.1 ซึ่งการเชื่อมหัวในลักษณะนี้จะทำให้หัว SMA 1 หัวจะสามารถใช้ได้เพียงครั้งเดียว จากนั้นจึงนำเส้นใยนำแสงพลาสติกที่ทำการเชื่อมกับหัว SMA แล้วมาติดตั้งเข้ากับแหล่งกำเนิดแสง DH-2000 และสเปกโตรเมเตอร์ USB-2000 แล้วจึงทำการวัดปริมาณโฟตอนแต่ละความยาวคลื่นผ่านโหมด transmission ทำการทดลองซ้ำ 10 ครั้งเพื่อทดสอบความแม่นยำของการวางตำแหน่งของการใช้เส้นใยนำแสงพลาสติกที่ทำการเชื่อมกับหัว SMA



รูปที่ 2.1 เส้นใยนำแสงพลาสติกที่เชื่อมกับหัว SMA

2.3.1.2 การวางตำแหน่งของเส้นใยนำแสงพลาสติกที่ทำการเชื่อมต่อกับหัว SMA ผ่าน bare fiber terminator

Bare fiber terminator คืออุปกรณ์ที่สามารถนำสายเส้นใยนำแสงพลาสติกมาเชื่อมต่อกับหัว SMA ได้ซึ่งสามารถนำมาใช้ซ้ำได้มีลักษณะดังรูปที่ 2.2 จะนำสายเส้นใยนำแสงพลาสติกมาเชื่อมต่อกับ bare fiber terminator เมื่อทำการเชื่อมเสร็จจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.3 จากนั้นจึงมาติดตั้งเข้ากับแหล่งกำเนิดแสง DH-2000 และ สเปกโตรเมเตอร์ USB-2000 แล้วจึงทำการวัดปริมาณโฟตอนแต่ละความยาวคลื่นผ่านโหมด transmission ทำการทดลองซ้ำ 10 ครั้งเพื่อทดสอบความแม่นยำของการวางตำแหน่งของการใช้อุปกรณ์ bare fiber terminator



รูปที่ 2.2 Bare fiber terminator



รูปที่ 2.3 เส้นใยนำแสงพลาสติกที่เชื่อมกับ bare fiber terminator

2.3.2 การลอกชั้นฟิล์มหุ้มของเส้นใยนำแสงพลาสติก

เนื่องจากเส้นใยนำแสงพลาสติกมีชั้นฟิล์มหุ้มคือฟลูออโรพอลิเมอร์และมีชั้นแกนกลางคือ PMMA ซึ่งทั้งฟลูออโรพอลิเมอร์และ PMMA สามารถละลายได้โดยใช้สารอะซิโตนจึงได้ใช้อะซิโตนมาทำการลอกชั้นฟิล์มหุ้มของเส้นใยนำแสงพลาสติกซึ่งจะทำการควบคุมปริมาตรของอะซิโตนและน้ำกลั่นที่ใช้ โดยนำเส้นใยนำแสงพลาสติกที่เตรียมไว้แล้วมากำหนดบริเวณที่จะลอกชั้นฟิล์มหุ้มโดยใช้กระดาษทิชชูหุ้มบริเวณนั้นจากนั้นจึงนำอะซิโตนมาใส่บริเวณกระดาษทิชชูให้ชุ่ม ทิ้งไว้เป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นจึงนำน้ำกลั่นมาใส่บริเวณเดียวกันและถูบริเวณทิชชูให้สัมผัสกับเส้นใยนำแสงพลาสติกอย่างเบามือ โดยปริมาตรของอะซิโตนและน้ำกลั่น เป็นไปตาม ตารางที่ 2.1

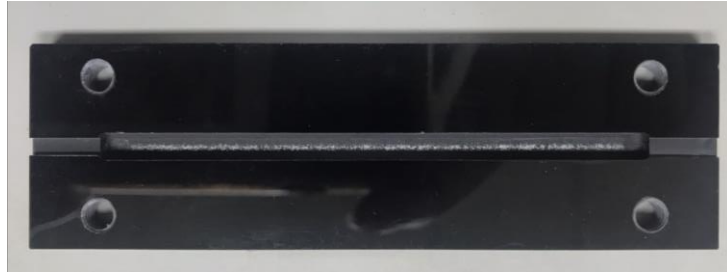
ตารางที่ 2.1 ปริมาตรของอะซิโตน และ น้ำกลั่นที่ใช้ในการลอกชั้นฟิล์มหุ้ม

	ปริมาตรอะซิโตน (mL)	ปริมาตรน้ำกลั่น (mL)
การทดลองที่ 1	1.0	0
การทดลองที่ 2	1.0	1.0
การทดลองที่ 3	2.0	1.0

เมื่อทำการลอกชั้นฟิล์มหุ้มออกจากเส้นใยนำแสงพลาสติกแล้วจะทำการยืนยันผลการลอกชั้นฟิล์มหุ้มโดยการส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์เพื่อสังเกตการหายไปของชั้นฟิล์มหุ้มและสามารถทดสอบได้ด้วยตาเปล่าผ่านการมองเห็นแสงที่เล็ดลอดออกมาจากเส้นใยนำแสงพลาสติก

2.3.3 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแสงที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกันเข้าสู่เส้นใยนำแสงพลาสติก

การทดลองนี้จะทดสอบการเคลื่อนที่เข้าไปของแสงที่เข้าไปบริเวณที่ชั้นฟิล์มหุ้มถูกลอกออกไปโดยจะทำการเปลี่ยนตัวกลางที่แสงเคลื่อนที่ก่อนที่จะเข้าไปยังเส้นใยนำแสงพลาสติกโดยตัวกลางที่ใช้ในการทดสอบมี 4 ชนิด คือ อากาศ, สารละลายใสไม่มีสีในนี้จะใช้เป็นน้ำกลั่น, สารละลายใสไม่มีสีในนี้จะใช้เป็นสีผสมอาหารสีแดง และ สารละลายโรดามีน บี ซึ่งในการทดลองนี้จะจัดทำอุปกรณ์ขึ้นมาชนิดหนึ่งเพื่อใช้ในการนำตัวกลางที่เป็นของเหลวมาอยู่บริเวณรอบๆของเส้นใยนำแสงพลาสติก โดยจะมีลักษณะดัง รูปที่ 2.4 และ รูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 ส่วนล่างของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ใส่ของเหลวและเส้นใยนำแสงพลาสติก



รูปที่ 2.5 ส่วนบนของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ใส่ของเหลวและเส้นใยนำแสงพลาสติก

จาก รูปที่ 2.4 จะสังเกตว่าจะมีบริเวณที่สามารถวางเส้นใยนำแสงพลาสติกได้และจะมีความลึกสองระดับจะทำการบรรจุของเหลวชนิดต่างๆไว้บริเวณนั้นและเส้นใยนำแสงพลาสติกที่ลอกชั้นฟิล์มหุ้มออกแล้วจะถูกวางให้สัมผัสกับของเหลวที่บรรจุและจาก รูปที่ 2.5 จะสังเกตเห็นรูบริเวณตรงกลางซึ่งจะเป็นช่องทางการให้แสงผ่านไฟฉาย เมื่ออุปกรณ์ชนิดนี้ประกอบเข้ากับเส้นใยนำแสงพลาสติกแล้วจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.6 ซึ่งบริเวณปลายสายของเส้นใยนำแสงพลาสติกจะทำการเชื่อมกับ bare fiber terminator เพื่อใช้ในการต่อเข้ากับเครื่องสเปกโทรเมเตอร์



รูปที่ 2.6 เส้นใยนำแสงพลาสติกที่ถูกประกอบเข้ากับอุปกรณ์ที่นำมาใช้ทดสอบคุณสมบัติเชิงแสงของเส้นใยนำแสงพลาสติก

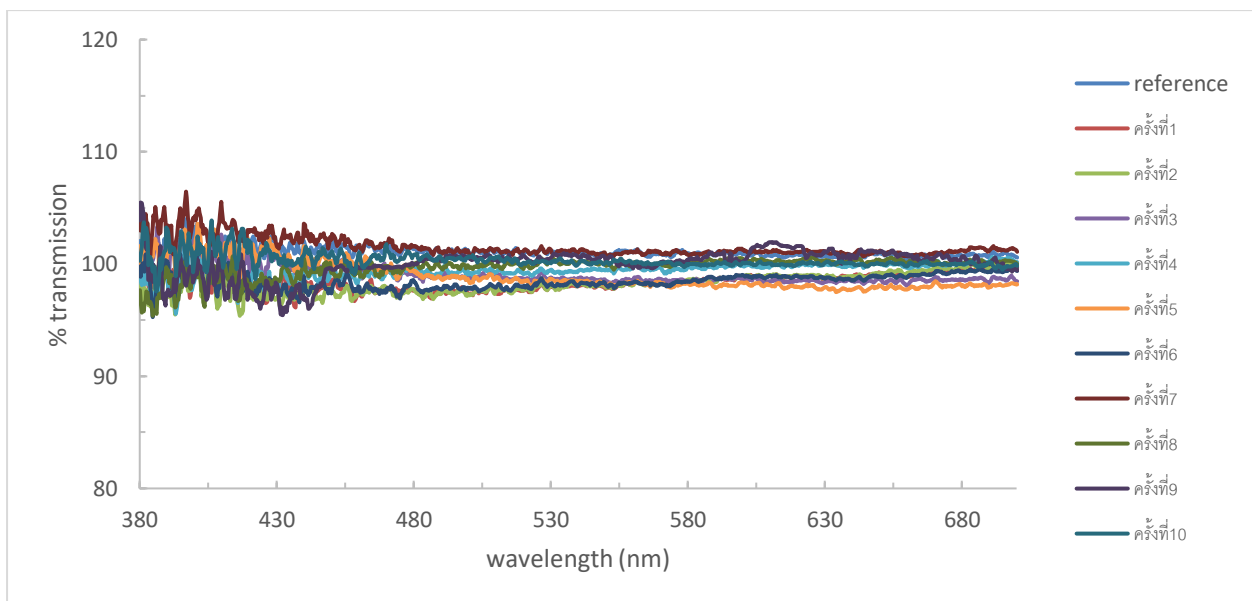
บทที่ 3

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ผลการทดสอบการวางตำแหน่งอุปกรณ์

3.1.1 การทดสอบการวางตำแหน่งโดยใช้หัวต่อ SMA เชื่อมกับเส้นใยนำแสงพลาสติก

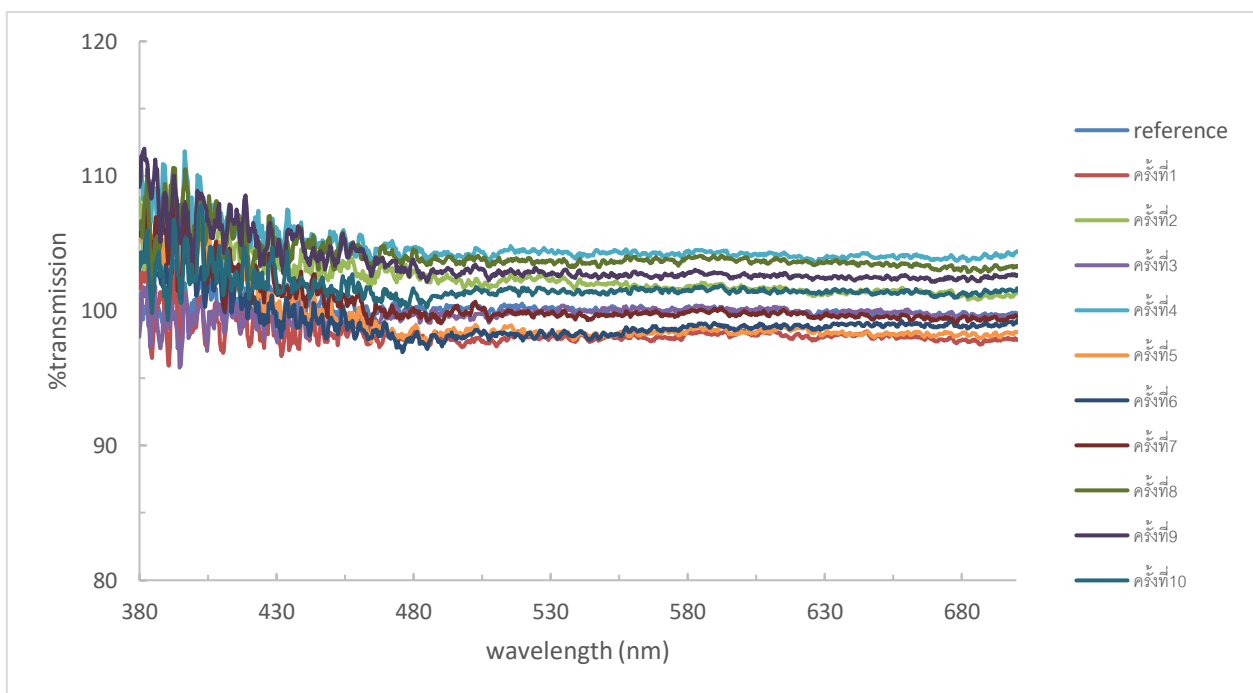
จากการนำเส้นใยนำแสงพลาสติกที่เชื่อมกับหัว SMA ไปตรวจสอบการวางตำแหน่งโดยการวัดในโหมด transmission โดยมีเทคนิคในการตั้งค่า blank คือการปิดแหล่งกำเนิดแสงรวมถึงกับควมคุมทั้งตำแหน่งและองศาของการจัดวางอุปกรณ์ เมื่อสังเกตผลในช่วง visible light เมื่ออ้างอิงจากการทดลองที่เป็น reference จะพบว่าการวางตำแหน่งทั้งสิบครั้งมี %transmission ที่ใกล้เคียงและเกาะกลุ่มกันอยู่ในช่วง 97% – 103% มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ $\pm 3\%$ ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนที่น้อยเป็นผลมาจากการที่ยึดเส้นใยนำแสงพลาสติกกับ SMA จะมีการเชื่อมที่แน่นหนาผ่านตัว ferrule ส่งผลให้เส้นใยนำแสงพลาสติกจะไม่มีการบิดเบือนขององศาการออกของแสง ทำให้ปริมาณแสงที่ได้มีความคงที่และคลาดเคลื่อนน้อย



รูปที่ 3.1 ผลการวัดโหมด transmission ของเส้นใยนำแสงพลาสติกที่ทำการเชื่อมกับหัว SMA

3.1.2 การทดสอบการวางตำแหน่งโดยใช้ Bare fiber terminator SMA เชื่อมกับเส้นใยนำแสงพลาสติก

จากการนำเส้นใยนำแสงพลาสติกที่เชื่อมกับ bare fiber terminator ไปตรวจสอบการวางตำแหน่งโดยการวัดในโหมด transmission และดูผลในช่วง visible light เมื่ออ้างอิงจากการทดลองที่เป็น reference ในการทดลอง 10 ครั้งนั้นจะพบว่าการใช้ bare fiber terminator จะมี %transmission อยู่ในช่วง 97% - 105% ดังรูปที่ 3.2 และผลการทดลองจะไม่เกาะกลุ่มกันเหมือนการนำเส้นใยนำแสงพลาสติกมาเชื่อมต่อกับหัว SMA เป็นผลมาจากการใช้ bare fiber terminator นั้นไม่ได้ผ่านการยึดเหมือนการเชื่อมเส้นใยนำแสงพลาสติกกับหัว SMA แต่เป็นเพียงการนำเส้นใยนำแสงพลาสติกมาหนีบไว้กับตัว bare fiber terminator เพียงเท่านั้นจึงทำให้เส้นใยนำแสงพลาสติกที่ใช้ในแต่ละการทดลองจะถูกบิดทำให้อยู่ในองศาที่แตกต่างกัน^[21] ดังนั้นการเคลื่อนที่ของแสงเมื่อออกจาก bare fiber terminator จะมีองศาของแสงที่แตกต่างกันทำให้ผลการทดลองมีความไม่เกาะกลุ่มกัน แต่เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนที่อยู่ในช่วงการยอมรับได้ รวมถึงการเชื่อมเส้นใยนำแสงพลาสติกกับ bare fiber terminator นั้นเป็นเพียงแค่การหนีบสายทำให้สามารถนำ bare fiber terminator ไปใช้กับเส้นใยนำแสงพลาสติกเส้นอื่นได้ทำให้การทดลองในขั้นต่อไปนั้นสามารถใช้ bare fiber terminator ในการทดแทนการเชื่อมเส้นใยนำแสงพลาสติกกับหัว SMA ได้



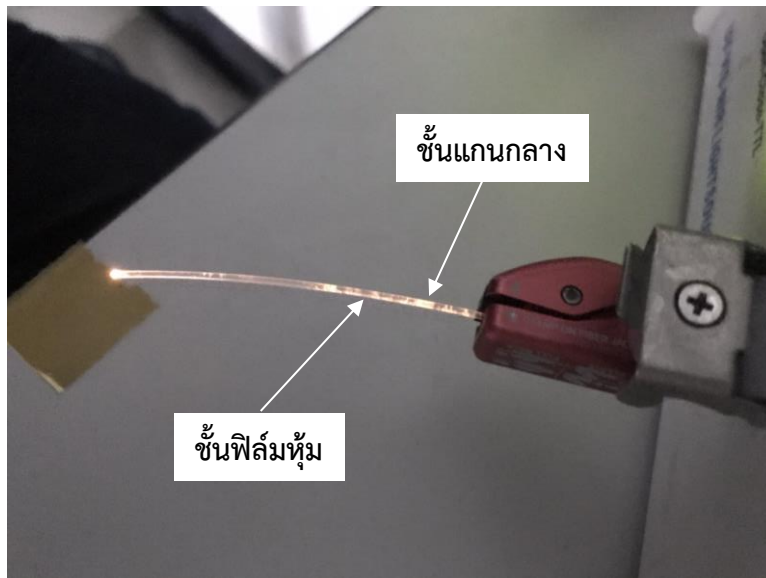
รูปที่ 3.2 ผลการวัดโหมด transmission ของเส้นใยนำแสงพลาสติกที่ทำการเชื่อมกับ bare fiber terminator

3.2 ผลการลอกชั้นฟิล์มหุ้มของเส้นใยนำแสงพลาสติก

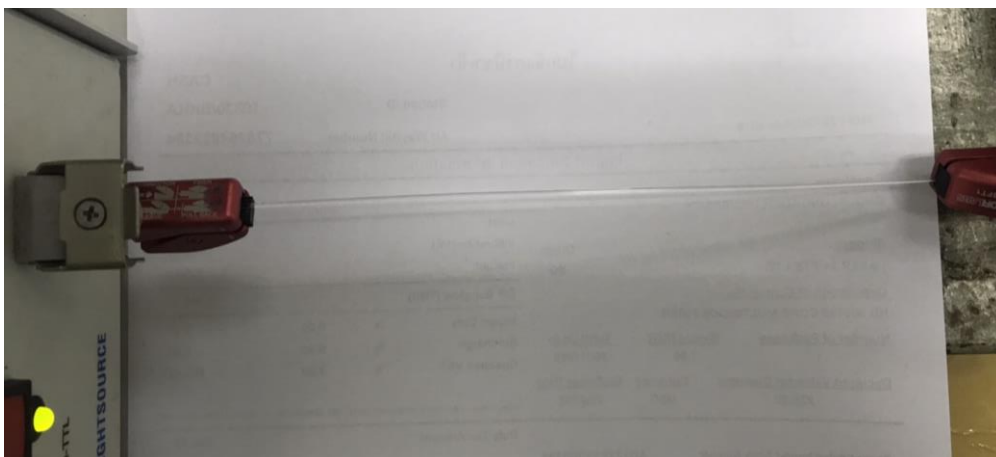
จากตารางที่ 2.1 จะทดลองการลอกชั้นฟิล์มหุ้มทั้งหมด 3 วิธี

3.2.1 การลอกชั้นฟิล์มหุ้มโดยวิธีที่ 1

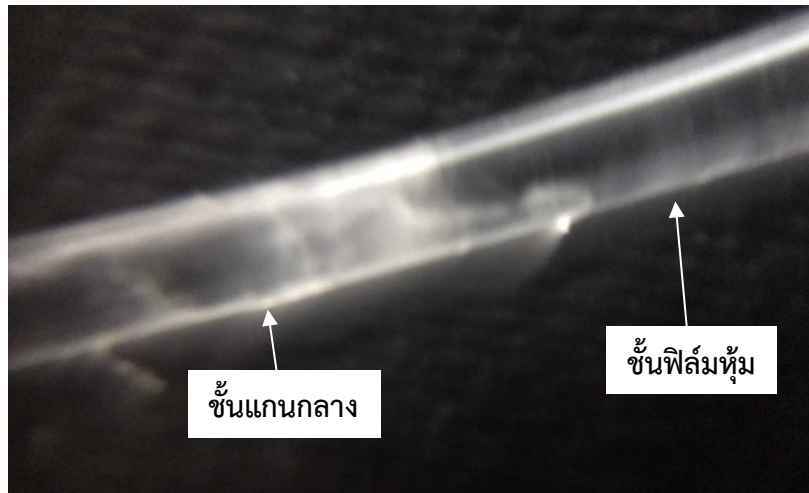
การลอกชั้นฟิล์มหุ้มโดยวิธีที่ 1 จะทำการใช้อะซิโตนเพียงอย่างเดียว โดยใช้ปริมาตรของอะซิโตนที่ 1.0 มิลลิลิตร จากผลการทดลองจะพบว่าชั้นฟิล์มหุ้มของเส้นใยนำแสงพลาสติกจะมีลักษณะที่ถูกลอกแต่ไม่สมบูรณ์ จากรูปที่ 3.3 จะสังเกตเห็นว่าแสงสีส้มที่ออกมาจากเส้นใยนำแสงพลาสติกมีการขาดช่วงซึ่งบริเวณที่แสงขาดช่วงคือบริเวณที่ยังมีชั้นฟิล์มหุ้มอยู่ สามารถเปรียบเทียบได้กับเส้นใยนำแสงพลาสติกธรรมดาที่ไม่ได้ลอกชั้นฟิล์มหุ้มดังรูปที่ 3.4 และเมื่อนำเส้นใยนำแสงพลาสติกชิ้นนี้ไปถ่ายด้วยกำลังขยายสี่สิบเท่าบริเวณที่ลอกชั้นฟิล์มหุ้มรูปที่ 3.5 จะสังเกตเห็นว่าทางด้านซ้ายของรูปที่มีแสงสว่างกว่าบริเวณนั้นคือเส้นใยนำแสงพลาสติกที่ปราศจากฟิล์มหุ้มส่วนบริเวณที่มีดกว่าคือบริเวณที่ยังมีชั้นฟิล์มหุ้มอยู่ทำให้ทราบว่า การลอกฟิล์มหุ้มโดยวิธีนี้ยังไม่สมบูรณ์



รูปที่ 3.3 แสงที่ผ่านบริเวณที่ลอกฟิล์มหุ้มของวิธีที่ 1



รูปที่ 3.4 เส้นใยนำแสงพลาสติกธรรมดาที่มีแสงอยู่ข้างใน



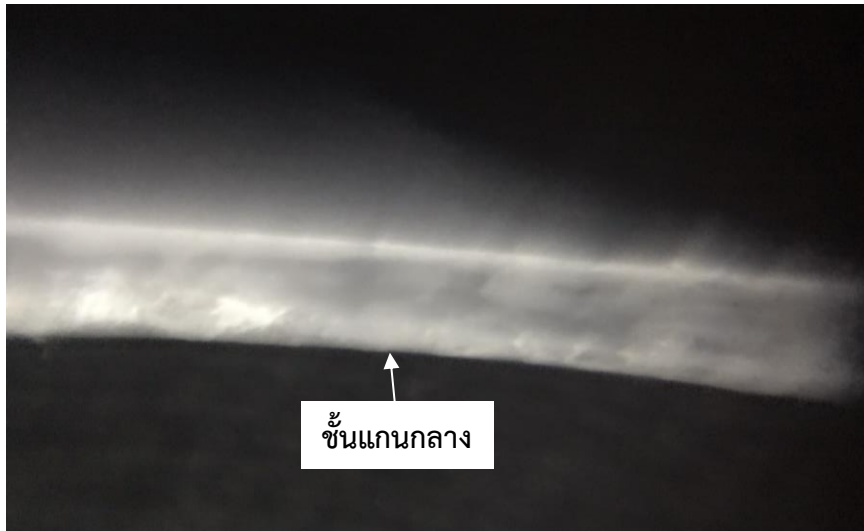
รูปที่ 3.5 รูปขยาย40เท่า บริเวณที่ลอกฟิล์มหุ้มโดยวิธีที่ 1

3.2.2 การลอกชั้นฟิล์มหุ้มโดยวิธีที่ 2

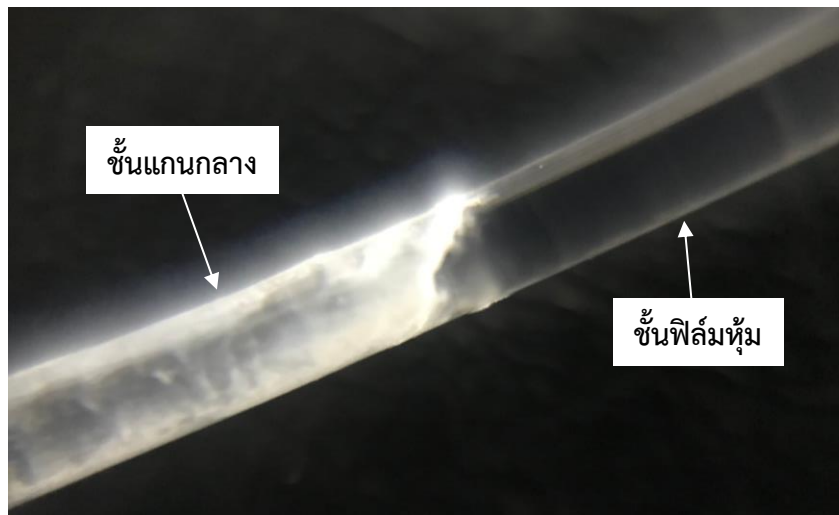
การลอกชั้นฟิล์มหุ้มโดยวิธีที่ 2 จะทำการใช้อะซิโตนและน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:1 โดยใช้ปริมาตรของอะซิโตนและน้ำกลั่นที่ 1.0 มิลลิลิตร ผลการทดลองพบว่าการลอกชั้นฟิล์มหุ้มโดยวิธีนี้ชั้นฟิล์มหุ้มจะถูกลอกออกโดยสมบูรณ์เมื่อสังเกตรูปที่ 3.6 พบว่าจะแสงที่ออกมาจากเส้นใยนำแสงพลาสติกจะไม่ขาดช่วงเหมือนการลอกชั้นฟิล์มหุ้มโดยวิธีที่ 1 และเมื่อนำเส้นใยนำแสงพลาสติกสายนี้ไปถ่ายที่กำลังขยายสี่สิบเท่าดังรูปที่ 3.7 เป็นการยืนยันว่าชั้นฟิล์มหุ้มถูกลอกออกไปโดยสมบูรณ์แล้วและจากรูปที่ 3.8 คือบริเวณรอยต่อระหว่างพื้นที่ที่ลอกชั้นฟิล์มหุ้มและพื้นที่ที่ไม่ได้ลอกชั้นฟิล์มหุ้มจะสังเกตเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนคือบริเวณด้านซ้ายของรูปคือ เส้นใยนำแสงพลาสติกที่ปราศจากชั้นฟิล์มหุ้มส่วนด้านขวาของรูป คือ เส้นใยนำแสงพลาสติกที่ยังมีชั้นฟิล์มหุ้มอยู่



รูปที่ 3.6 แสงที่ผ่านบริเวณที่ลอกฟิล์มหุ้มของวิธีที่ 2



รูปที่ 3.7 รูปขยาย40เท่า บริเวณที่ลอกฟิล์มหุ้มโดยวิธีที่ 2



รูปที่ 3.8 รูปขยาย40เท่าบริเวณรอยต่อของบริเวณที่ลอกชั้นฟิล์มหุ้มและไม่ลอกชั้น

3.2.3 การลอกชั้นฟิล์มหุ้มโดยวิธีที่ 3

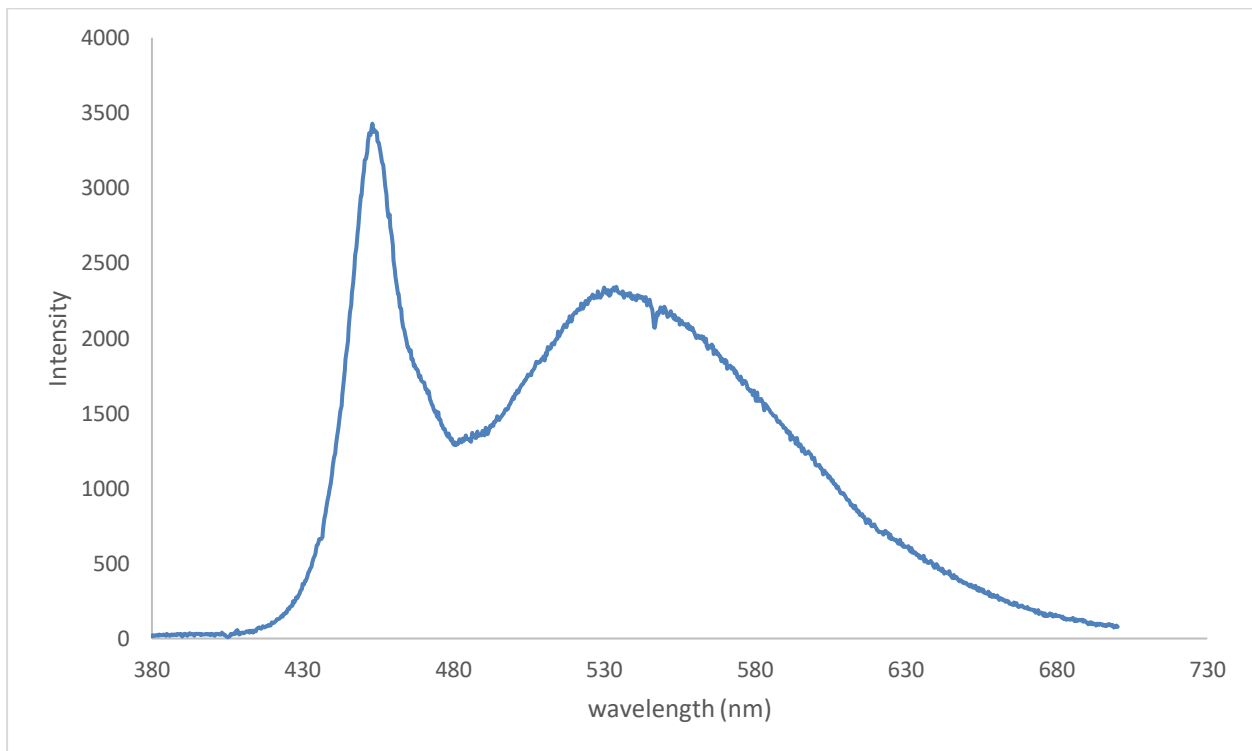
การลอกชั้นฟิล์มหุ้มโดยวิธีที่ 3 จะทำการใช้อะซิโตนและน้ำกลั่นในอัตราส่วน 2:1 โดยใช้ปริมาตรของอะซิโตน 2.0 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 1.0 มิลลิลิตร ผลการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณของอะซิโตนเยอะเกินไปจะส่งผลให้ชั้นแกนกลางของเส้นใยนำแสงพลาสติกที่มีวัสดุคือ PMMA โดนทำลายไปด้วย^[22] ส่งผลให้เส้นใยนำแสงพลาสติกเกิดการแตกหัก จึงทำให้การทดลองนี้นำไปใช้ต่อไม่ได้

3.3 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแสงที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกันเข้าสู่เส้นใยนำแสงพลาสติก

ในการทดลองนี้ได้นำอุปกรณ์ดังรูปที่ 2.4 และ รูปที่ 2.5 มาใช้และมีการเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงเป็นไฟฉาย เพื่อทดสอบการเคลื่อนที่ของแสงที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดเมื่อเข้าสู่เส้นใยนำแสงพลาสติกในบริเวณที่ไม่มีชั้นฟิล์มหุ้ม

3.3.1 ตัวกลางอากาศ

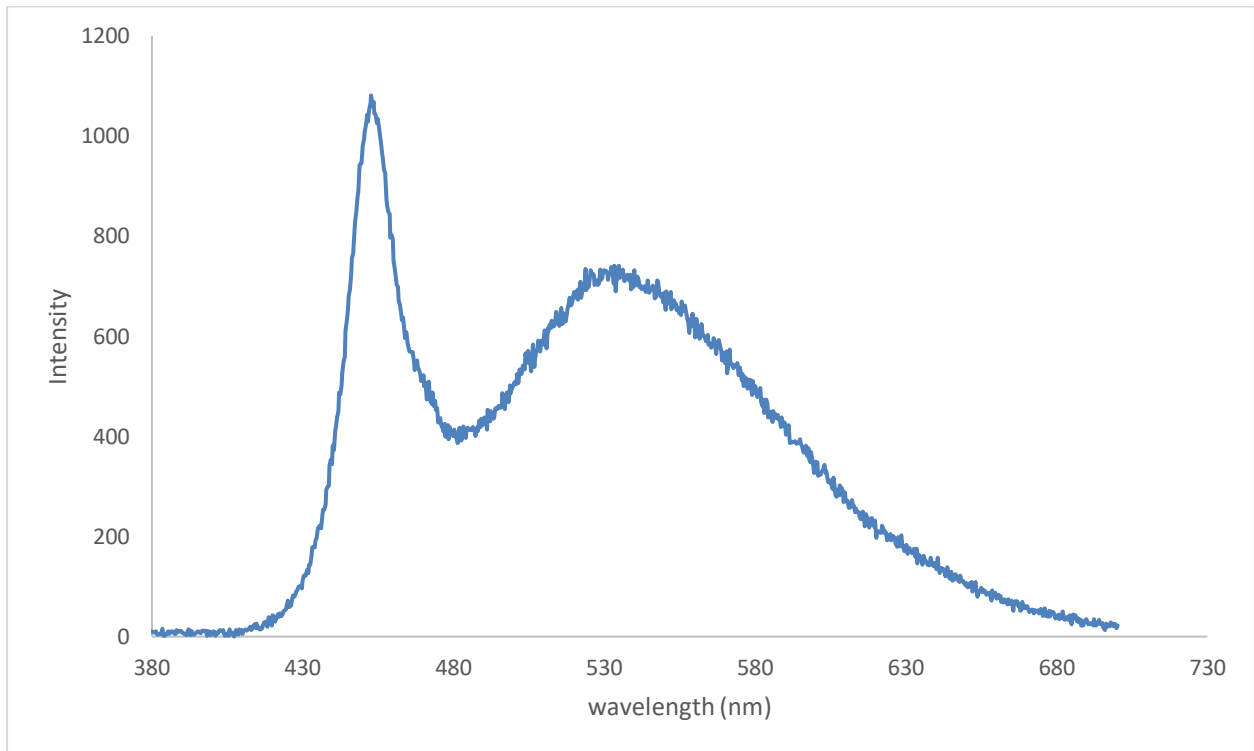
จากการนำอุปกรณ์ที่สามารถบรรจุของเหลวและเส้นใยนำแสงพลาสติกได้นั้นมาทำการทดสอบโดยการเปลี่ยนตัวกลางของแสงก่อนที่แสงจะเข้าสู่เส้นใยนำแสงพลาสติกบริเวณที่ลอกชั้นฟิล์มหุ้มเพื่อเป็นการยืนยันว่าแสงสามารถเข้าไปในบริเวณนี้ได้จึงทดลองให้เส้นใยนำแสงพลาสติกอยู่ในอุปกรณ์นั้นแต่ไม่ได้บรรจุของเหลวได้ผลดังรูปที่ 3.9 สาเหตุที่ทำให้สเปกตรัมมีลักษณะแบบนี้คาดว่ามาจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีค่า λ_{max} ประมาณ 454 นาโนเมตร และ 534 นาโนเมตร จากผลการทดลองจะสามารถยืนยันได้ว่าแสงสามารถที่จะเข้ามาภายในเส้นใยนำแสงพลาสติกจากบริเวณที่ลอกชั้นฟิล์มหุ้มได้



รูปที่ 3.9 กราฟปริมาณโฟตอนต่อความยาวคลื่นที่ผ่านตัวกลางอากาศ

3.3.2 ตัวกลางน้ำกลั่น

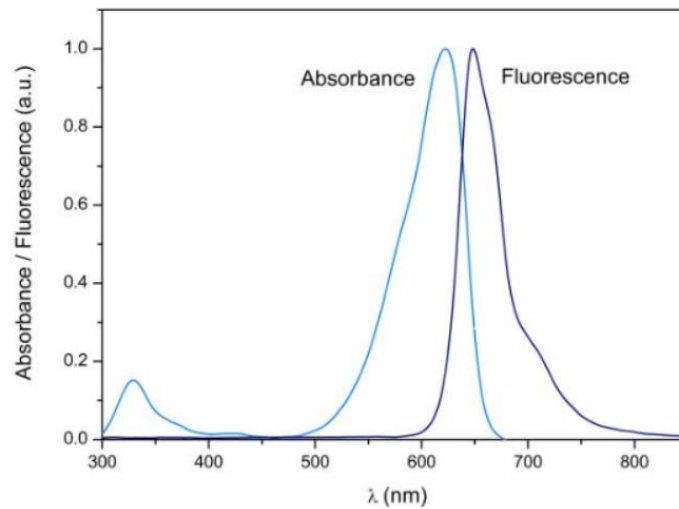
เนื่องจากจุดประสงค์คือการตรวจวัดระดับแอมโมเนียที่อยู่น้ำจึงทำการทดลองเพื่อเปลี่ยนตัวกลางของแสงให้อยู่ในรูปแบบของน้ำได้ผลการทดลองดังรูปที่ 3.10 ผลที่ได้คือจะมีลักษณะเหมือนตัวกลางที่เป็นอากาศเพียงแต่ความเข้มของแสงของแต่ละความยาวคลื่นจะลดลงคาดว่า เป็นผลมาจากแสงจะสูญเสียพลังงานไปในการเคลื่อนที่ผ่านน้ำ



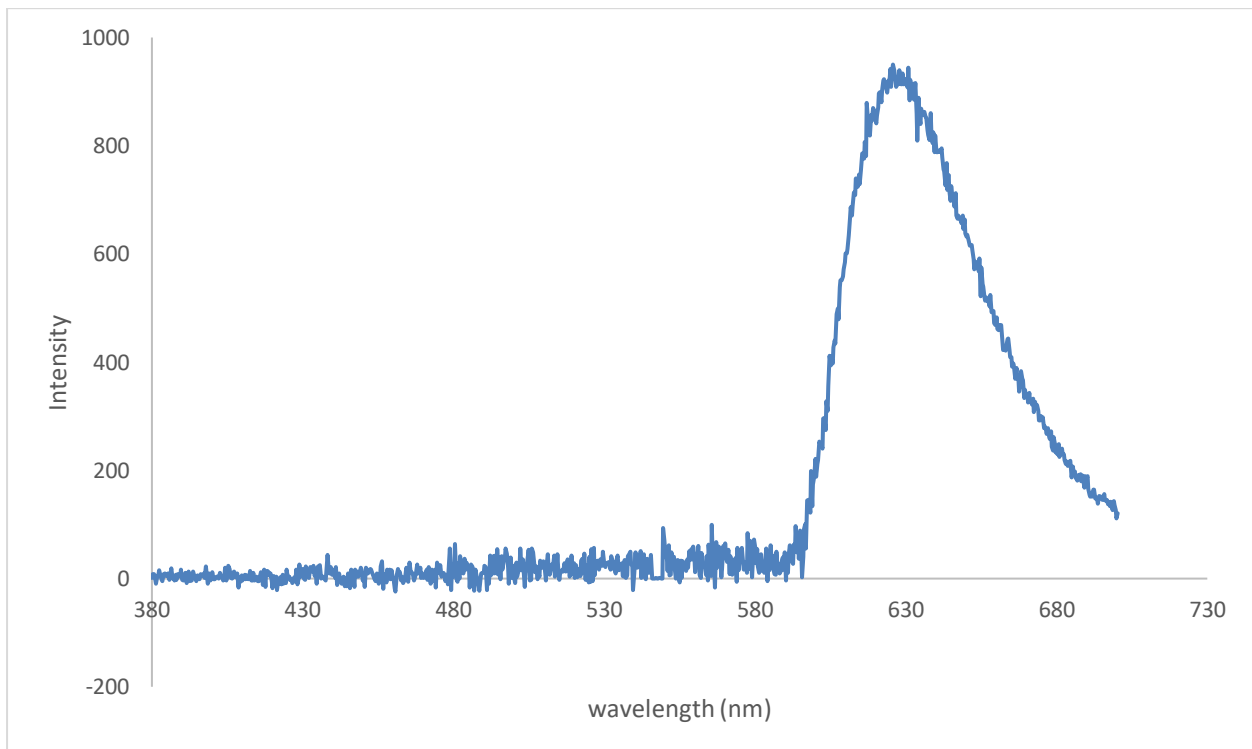
รูปที่ 3.10 กราฟปริมาณโฟตอนแต่ละความยาวคลื่นที่ผ่านตัวกลางน้ำกลั่น

3.3.3 การทดสอบระบบที่มีสารละลายสีแดง

เนื่องจาก oxazine 170 perchlorate มีช่วงการดูดกลืนและวาวแสงดังรูปที่ 3.11 ที่มีค่า λ_{max} ของการ excitation อยู่ที่ 593.5 นาโนเมตรและ λ_{max} ของการ emission อยู่ที่ 650 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงแสงที่มีสีแดง จึงทำการทดลองด้วยการใช้ตัวกลางเป็นสารละลายสีแดงเพื่อเป็นการทดสอบระบบ ได้ผลดังรูปที่ 3.12 ซึ่งมีค่า λ_{max} ที่ประมาณ 630 นาโนเมตรจึงทำให้ทราบว่าถ้าหากสภาพแวดล้อมที่นำเส้นใยนำแสงพลาสติกไปตรวจวัดจะสามารถเกิดการผิดพลาดได้จากสิ่งแวดล้อมในระบบหากน้ำในระบบมีความเข้มข้นของสีแดงที่สูง



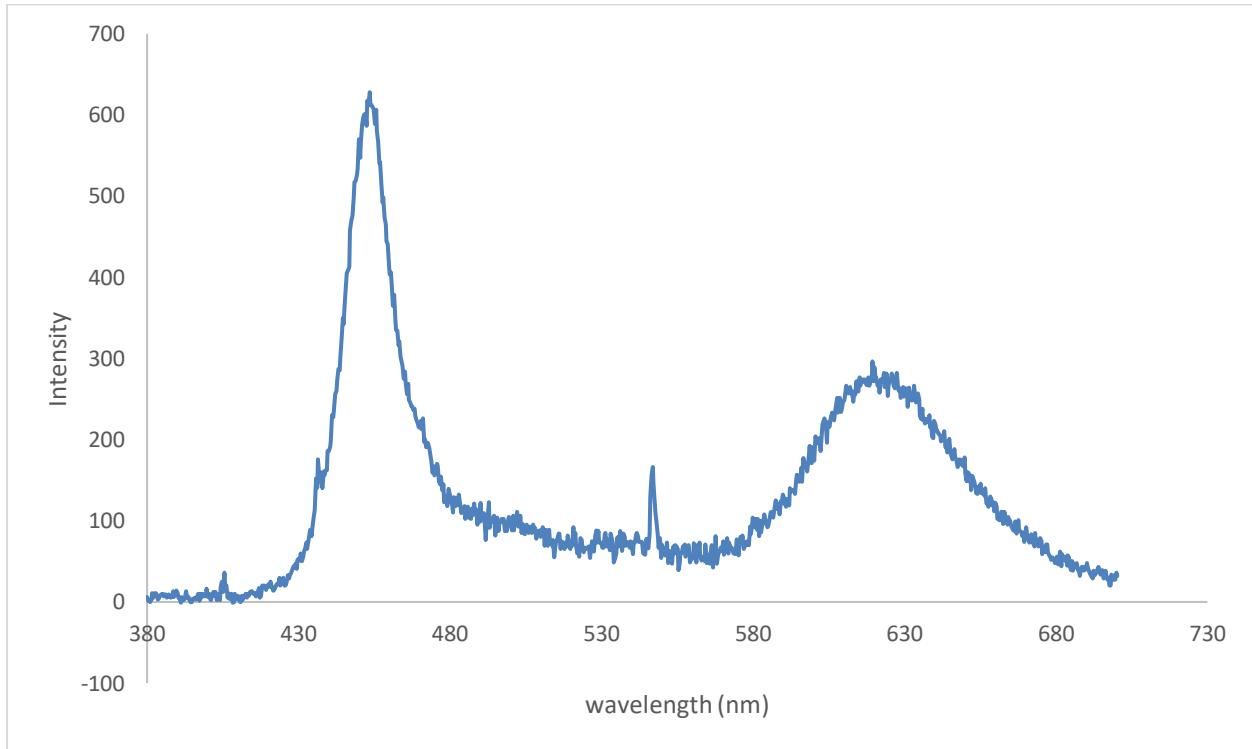
รูปที่ 3.11 excitation band และ emission band ของ oxazine^[13]



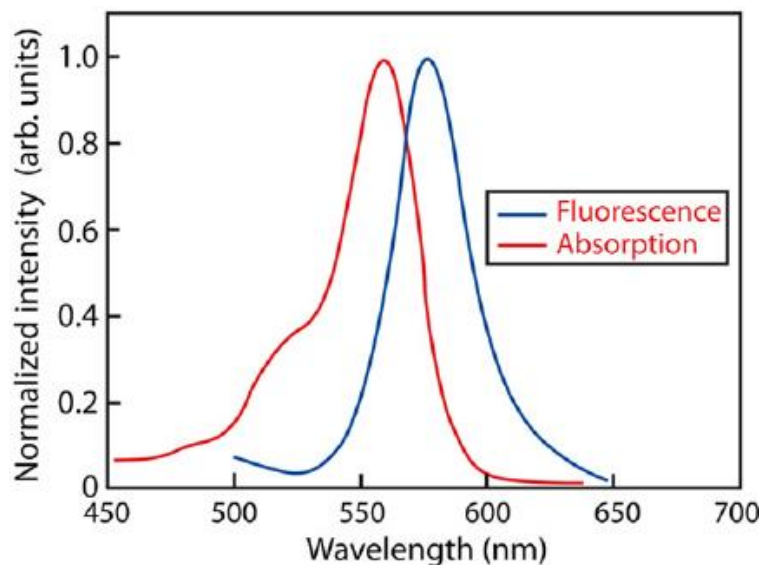
รูปที่ 3.12 กราฟปริมาณโฟตอนต่อความยาวคลื่นที่ผ่านตัวกลางสีผสมอาหารสีแดง

3.3.4 ตัวกลางสารละลายโรดามีน บี

เพื่อเป็นการทดสอบว่าการตรวจวัดโดยเทคนิคนี้ที่ใช้เส้นใยนำแสงพลาสติกกับสารที่เป็นสารเรืองแสงได้จึงทำการทดสอบโดยใช้เป็นสารละลายโรดามีน บี ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 3.13 จะสังเกตการหายไปของความเข้มของแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 480 – 570 นาโนเมตรซึ่งอยู่ในช่วง excitation band ของสารโรดามีน บีและที่ประมาณ 580 – 670 นาโนเมตรจะมีความเข้มของแสงที่สูงเนื่องจากเป็น emission band ของสารโรดามีน บีดังรูปที่ 3.14 ^[15]



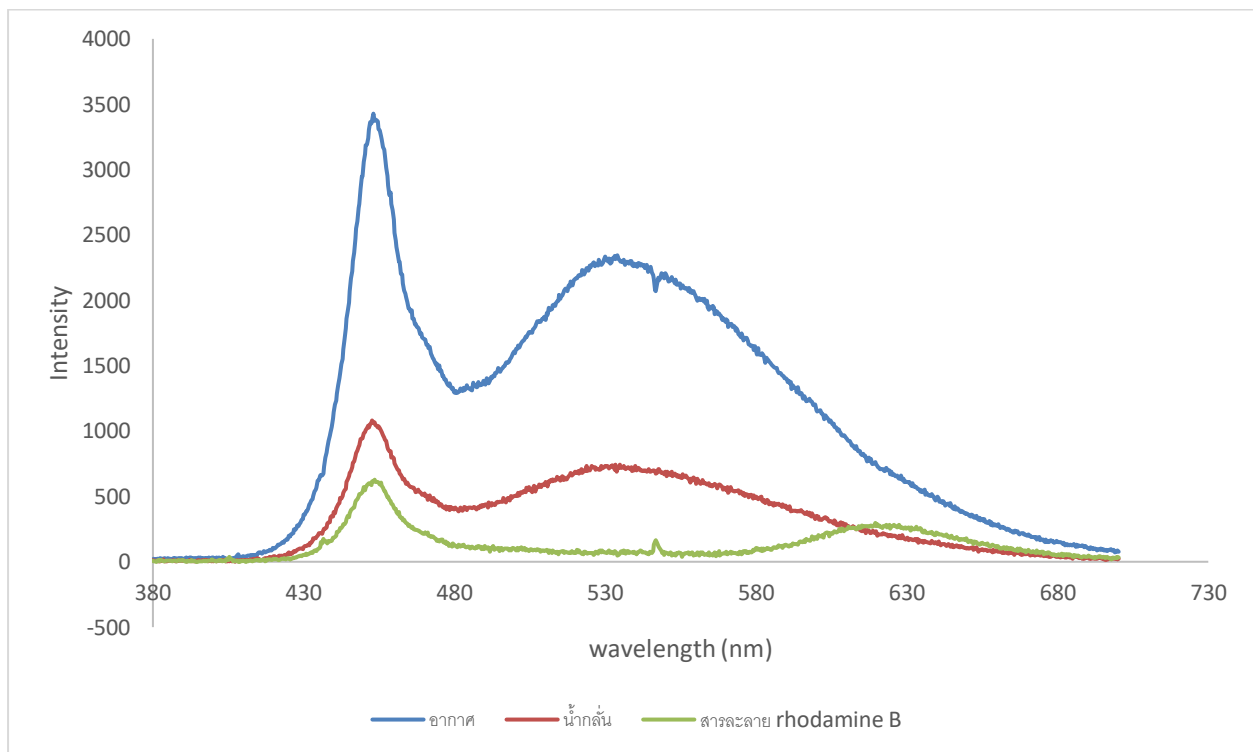
รูปที่ 3.13 กราฟปริมาณโฟตอนแต่ละความยาวคลื่นที่ผ่านตัวกลางสารละลายโรดามีน บี



รูปที่ 3.14 excitation band และ emission band ของโรดามีน บี^[15]

3.3.5 การเปรียบเทียบทั้งสามตัวกลาง

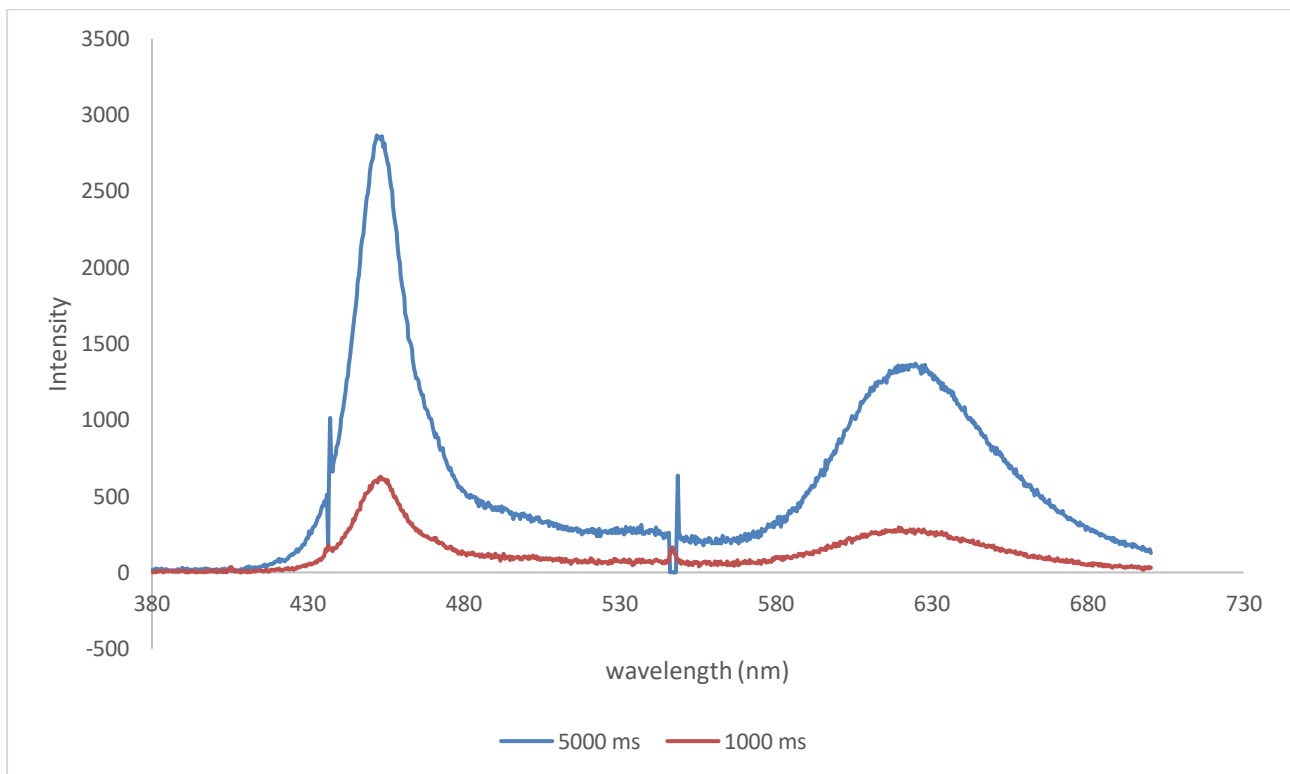
เมื่อนำกราฟทั้งสามผลการทดลองก่อนหน้ามาเปรียบเทียบกันดังรูปที่ 3.15 จะสังเกตเห็นได้ชัดเจนว่าที่ความยาวคลื่นประมาณ 480 – 570 นาโนเมตรแสงที่ผ่านสารละลายโรดามีน บี เมื่อเข้าสู่เส้นใยนำแสงพลาสติกนั้น ความเข้มของแสงจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากเป็นช่วง excitation band ของสารโรดามีน บี และที่ 580 – 670 นาโนเมตร ความเข้มของแสงก็จะเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นช่วง emission band ของสารโรดามีน บี



รูปที่ 3.15 กราฟการเปรียบเทียบความเข้มของแสงเมื่อผ่านตัวกลางทั้งสามชนิด

3.3.6 การเปรียบเทียบเมื่อแสงผ่านตัวกลางสารละลายโรดามีน บีโดยใช้ integration time ต่างกัน

เนื่องจากการตรวจวัดในการทดลองก่อนหน้าซึ่งใช้ integration time อยู่ที่ 1000 ms จะสังเกตเห็นค่าความเข้มของแสงที่น้อยจึงทำการทดลองเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการตรวจวัด เมื่อลองเปลี่ยน integration time เป็น 5000 ms พบว่าค่าความเข้มของแสงที่ได้เพิ่มขึ้นและมีลักษณะแนวโน้มใกล้เคียงกับการตรวจวัดที่ 1000 ms ที่มีลักษณะของการหายไปของสเปกตรัมช่วง 480 - 570 นาโนเมตรซึ่งเป็นช่วง excitation band ของสารโรดามีน บี และมีการเพิ่มขึ้นของสเปกตรัมช่วง 580 - 670 นาโนเมตรซึ่งเป็นช่วง emission band ของสารโรดามีน บี ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 กราฟการเปรียบเทียบค่าความเข้มของแสงเมื่อผ่านตัวกลางสารละลายโรดามีน บีและใช้ integration time ที่แตกต่างกัน

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า การทดสอบประสิทธิภาพของเส้นใยนำแสงพลาสติกนั้นสามารถใช้ bare fiber terminator ทดแทนการใช้การเชื่อมกับหัว SMA ได้ และการลอกชั้นฟิล์มหุ้มของเส้นใยนำแสงพลาสติกที่ได้ ประสิทธิภาพที่สุดคือการใช้ปริมาณของอะซีโตนและน้ำในอัตราส่วน 1:1 และไม่ใช้ปริมาณของอะซีโตนมากเกินไป เนื่องจากอะซีโตนจะไปทำลายชั้นแกนกลางของเส้นใยนำแสงพลาสติกและจากการทดสอบการเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง แต่ละชนิดเพื่อเข้าสู่เส้นใยนำแสงพลาสติกพบว่าเส้นใยนำแสงพลาสติกสามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งความยาวคลื่นและความเข้มแสงได้เป็นผลให้การนำ oxazine 170 perchlorate มาใช้ในการตรวจวัดระดับแอมโมเนียในน้ำร่วมกับเส้นใยนำแสงพลาสติกจะทำให้สามารถตรวจวัดและติดตามระดับแอมโมเนียในน้ำได้

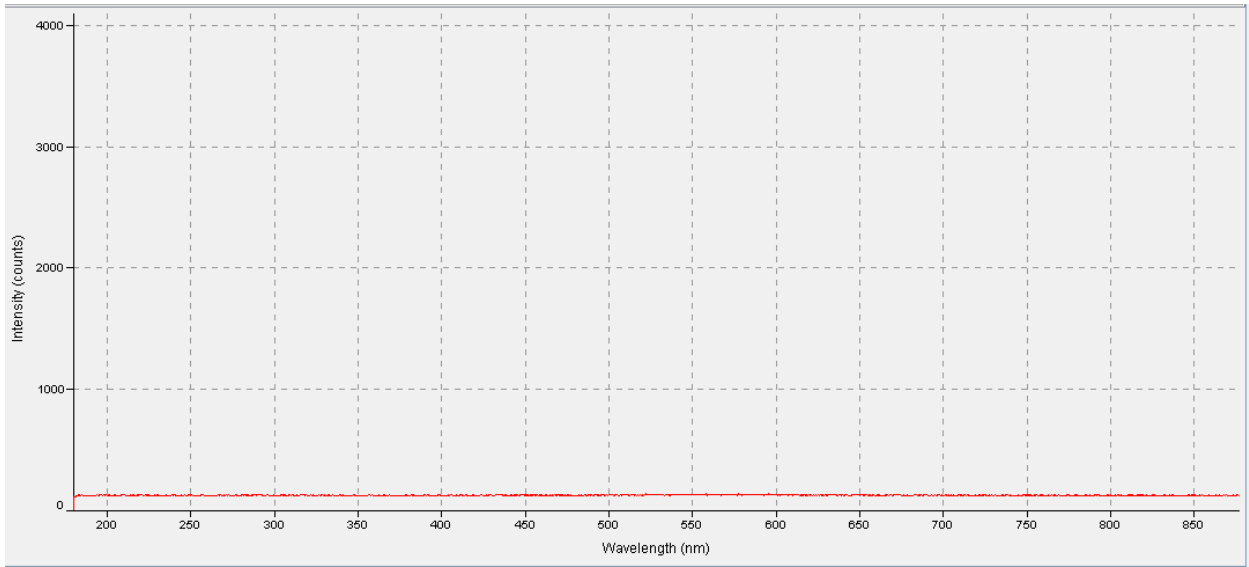
เอกสารอ้างอิง

- [1] F. a. A. O. o. t. U. Nations in *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018*, Vol. 2021 **2018**.
- [2] P. A. Wright and C. M. Wood, *Respir Physiol Neurobiol* **2012**, 184, 231-240.
- [3] R. V. Rodrigues, M. H. Schwarz, B. C. Delbos and L. s. A. Sampaio, *Aquaculture* **2007**, 271, 553-557.
- [4] J. Bregnballe in *A Guide to Recirculation Aquaculture An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems*, Vol. 2015 **2015**.
- [5] B. Timmer, W. Olthuis and A. v. d. Berg, *Sensors and Actuators B: Chemical* **2005**, 107, 666-677.
- [6] a) Y. M. Fraticelli and M. E. Meyerhoff, *Analytical Chemistry* **1981**, 53, 992-997; b) M. Mascini and C. Cremisini, *Analytica Chimica Acta* **1977**, 92, 277-283.
- [7] L. Alwis, T. Sun and K. T. V. Grattan, *Optics & Laser Technology* **2016**, 78, 62-66.
- [8] J. Giuliani and T. Barrett, *Spectroscopy Letters - SPECTROSC LETT* **1983**, 16, 555-563.
- [9] Y. Chen, Y. Zilberman, P. Mostafalu and S. R. Sonkusale, *Biosensors and Bioelectronics* **2015**, 67, 477-484.
- [10] W. Cao and Y. Duan, *Sensors and Actuators B: Chemical* **2005**, 110, 252-259.
- [11] F. Lu, R. Wright, P. Lu, P. C. Cvetic and P. R. Ohodnicki, *Sensors and Actuators B: Chemical* **2021**, 340, 129853.
- [12] T. V. Tam, S. H. Hur, J. S. Chung and W. M. Choi, *Sensors and Actuators B: Chemical* **2021**, 329, 129250.
- [13] P. Miluski, *Fibers* **2017**, 5, 15.
- [14] A. Leal Junior, A. Frizera and C. Marques, *Remote Sensing* **2020**, 12, 1439.
- [15] N. Ioannides, E. Chunga, A. Bachmatiuk, I. Gonzalez Martinez, B. Trzebicka, D. Adebimpe, D. Kalymnios and M. Rümmeli, *Materials Research Express* **2014**, 1, 032002.
- [16] L. Mitsubishi Rayon Co. in *ESKATM Plastic Optical Fiber: CK40*, **2010**.
- [17] A. s. instruments in *SPECTROMETRY AND SPECTROSCOPY: WHAT'S THE DIFFERENCE?*, Vol. 2021 **2020**.
- [18] O. O. Inc. in *USB2000 Fiber Optic Spectrometer*, **2010**.
- [19] Y. Raichlin and A. Katzir, *Applied Spectroscopy* **2008**, 62, 55A-72A.
- [20] a) B. D. Gupta and R. K. Verma, *Journal of Sensors* **2009**, 2009, 979761; b) L. Zeni, C. Perri, N. Cennamo, F. Arcadio, G. D'Agostino, M. Salmona, M. Beeg and M. Gobbi, *Scientific Reports* **2020**, 10, 11154.

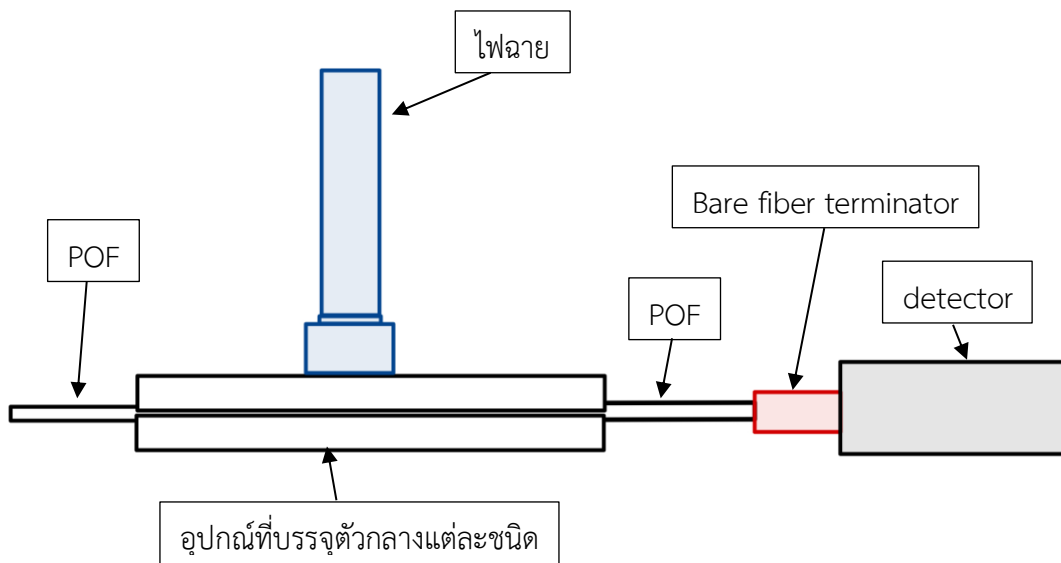
[21] G. Annasamy and R. S. V V, *Sensors and Actuators B: Chemical* **2016**, 230.

[22] A. R. Abd Rashid, A. Nasution, A. Suranin, N. Taib, W. M. Mukhtar, K. Dasuki and A. Ehsan, *EPJ Web of Conferences* **2017**, 162, 01015.

ภาคผนวก



รูปที่ ก1 สเปกตรัมของเส้นใยนำแสงพลาสติกธรรมดาที่ปิดแหล่งกำเนิดแสง DH-2000 และเปิดไฟฉาย



รูปที่ ก2 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับการทดลองที่ 3

ประวัติผู้วิจัย

ข้าพเจ้านายอติวิชญ์ สันติกุล เกิดเมื่อวันที่ 5 เดือนมกราคม พ.ศ.2542 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนทวีธาภิเศก จังหวัดกรุงเทพฯ เมื่อปีการศึกษา 2559 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2560 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 67/622 หมู่บ้านพระปิ่น3 ต.บางแม่นาง อ.บางใหญ่ จ.นนทบุรี 11140 อีเมล babelhor@gmail.com