

บทที่ 3

เครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนดังนี้

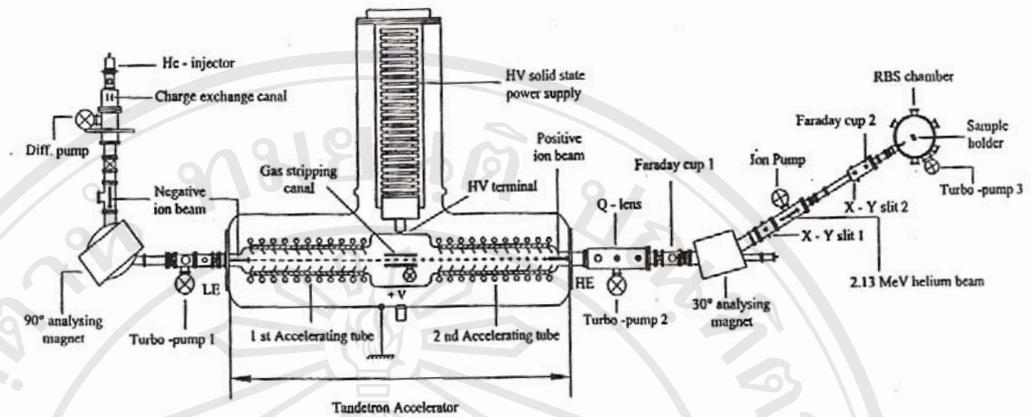
3.1 ส่วนผลิตลำอนุภาค

ส่วนผลิตลำอนุภาค ได้แก่ เครื่องเร่งอนุภาคแทนเดตรอน (Tandetron) เป็นเครื่องเร่งอนุภาคที่สามารถสร้างศักย์ไฟฟ้าได้สูงสุดถึง 1.7 MV สามารถเร่งอนุภาคให้มีพลังงานในเรือนของเมกะอิเล็กตรอนโวลต์ มีประโยชน์มากในด้านของการวิเคราะห์วัสดุโดยเทคนิคการวิเคราะห์โดยลำไอออน (Ion Beam Analysis) ปัจจุบันเครื่องเร่งอนุภาคแทนเดตรอนตั้งอยู่ในอาคารเทคโนโลยีไอออนบีม ภายใต้การควบคุมดูแลของศูนย์วิจัยนิวตรอนพลังงานสูง ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เครื่องเร่งอนุภาคนี้ได้รับการบริจาคจากภาควิชาฟิสิกส์ของ Chalmers University of Technology (CTH) เมือง Gothenburg ประเทศสวีเดน โดยการประสานงานผ่านทาง International Program in the Physical Sciences (IPPS) มหาวิทยาลัยอุพซาลา ประเทศสวีเดน

เครื่องเร่งอนุภาคแทนเดตรอนที่ตั้งอยู่ที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ 4 ส่วน ตามหน้าการทำงานได้ดังนี้ (สุเมธ ชัยชนะ, 2547)

- ion injector หรือ ion source เป็นแบบ Duoplasmatron ion source
- ส่วนเร่งอนุภาค มีการออกแบบเป็นแบบ tandem
- ส่วนควบคุม และตรวจสอบลำไอออน
- Analysis station

ในปัจจุบันสามารถสร้างระบบเทคนิคการวิเคราะห์ทางลำอนุภาคได้หลายวิธี ได้แก่ RBS, RBS channeling, PIXE และ IBIL หรือ IL แผนภาพส่วนต่างๆ ของเครื่องเร่งอนุภาคแทนเดตรอน แสดงดังรูป 3.1



รูป 3.1 แผนภาพเครื่องเร่งอนุภาคแทนเดตรอน (ธีรศักดิ์ คำวรรณะ, 2547 อ้างใน สุขเมธ ชัยชนะ, 2547)

3.2 ส่วนการนำสเปกตรัมที่เกิดขึ้นไปยังเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

3.2.1 ลักษณะเฉพาะของเส้นใยนำแสงที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนการนำสเปกตรัมของแสงที่เกิดขึ้นไปยังเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ได้แก่ เส้นใยนำแสง (optical fiber) ของบริษัท Ocean Optics ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นแบบ passive fibers เนื่องจากทำหน้าที่เพียงนำแสงจากจุดหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่งเท่านั้น โดยมีลักษณะเฉพาะตามตาราง 3.1

3.2.2 พิบัติของเส้นใยนำแสง

เส้นใยนำแสงที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแบบ passive คือสามารถรับและส่งผ่านแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งเท่านั้น ไม่มีการเปล่งแสงในตัวเอง ส่วนประกอบของเส้นใยนำแสงโดยทั่วไป จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนด้วยกันได้แก่

1) ส่วนแกนกลางหรือที่เรียกว่า core โดยมากจะทำมาจาก ซิลิกา หรือพลาสติกบางชนิดที่สามารถส่งผ่านแสงได้ดี มีค่าดัชนีหักเหที่มากกว่าส่วนที่จะนำมาหุ้ม เพื่อที่จะทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมดของแสง เมื่อแสงจะเกิดการหักเหออกจากเส้นใยนำแสง

ตาราง 3.1 คุณสมบัติของเส้นใยนำแสงที่ใช้ในการทดลอง

รายการ	คุณลักษณะ
ความยาว	1.5 m
เส้นผ่านศูนย์กลางของแกน (core diameter)	1000 μm
Jacket	Nylon (temperature range -40 to 100 $^{\circ}\text{C}$)
Sheathing /cabling	PVC
Connector	SMA 905
Fiber core	Pure fused silica
Cladding	Doped fused silica
Fiber profile	Step-index multi-mode
Operating wavelengths	UV-VIS (200-750 nm)
Numerical aperture	0.22
Recommended minimum bend radius	- momentary = 20 cm - long term = 40 cm

2) ส่วนที่ห่อหุ้มแกนกลาง หรือที่เรียกว่า cladding เป็นส่วนสำคัญที่ป้องกันไม่ให้แสงหักเหออกจากเส้นใยนำแสงทางด้านข้าง ทำมาจากสารจำพวกซิลิกาที่ทำการ โด๊ปพิเศษหรือพลาสติก ตัว cladding นี้จะต้องมีดัชนีหักเหที่น้อยกว่า core

3) ส่วนที่ห่อหุ้มภายนอก ทำมาจากสารจำพวก PVC เพื่อป้องกันเส้นใยนำแสงจากสิ่งต่างๆ รอบข้าง

หลักการการทำงานของเส้นใยนำแสงอาศัยหลักการพื้นฐานทางแสงมาอธิบายโดยจะเกี่ยวข้องกับการหักเหและการสะท้อนของแสง เริ่มจากเมื่อแสงผ่านตัวกลางต่างชนิดกันจะมีการหักเหเกิดขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกฎของสเนลล์ (Snell's law)

$$\frac{\sin \phi_1}{\sin \phi_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (3.1)$$

เมื่อ ϕ_1 คือ มุมตกกระทบ
 ϕ_2 คือ มุมหักเห
 n_1 คือ ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 1
 n_2 คือ ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 2

จากสมการพบว่า ตัวแปรที่มีผลต่อมุมของการหักเห ได้แก่ ค่าดัชนีหักเหของแสงซึ่งเป็นค่าเฉพาะของตัวกลางชนิดต่างๆ หาได้จากสมการ 3.2

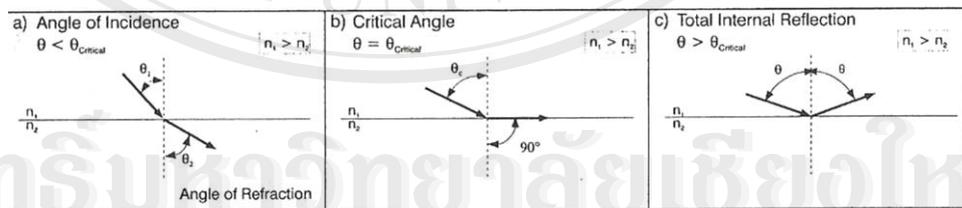
$$n = \frac{c}{v} \quad (3.2)$$

เมื่อ	n	คือ	ค่าดัชนีหักเห
	c	คือ	ความเร็วของแสงในสุญญากาศ
	v	คือ	ความเร็วของแสงในตัวกลางใดๆ

พิจารณาตามรูป 3.2 พบว่าแสงจะไม่เกิดการหักเหผ่านตัวกลางที่ 2 ก็ต่อเมื่อมีมุมตกกระทบมากกว่าหรือเท่ากับมุมวิกฤต และดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 2 จะต้องน้อยกว่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 1 จากหลักการนี้เองนำไปสร้างเป็นเส้นใยนำแสง นอกเหนือแล้วมีค่าตัวแปรที่สำคัญของเส้นใยนำแสงที่บอกถึงความสามารถในการรวมแสงของเส้นใยนำแสง ได้แก่ ค่า numerical aperture (NA) หาได้จากสมการที่ 3.3

$$NA = \sin \alpha = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (3.1)$$

เมื่อ	α	คือ	มุมของรังสีตกกระทบของแสงที่ตกกระทบกับเส้นใยนำแสง
	n_1	คือ	ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 1
	n_2	คือ	ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 2

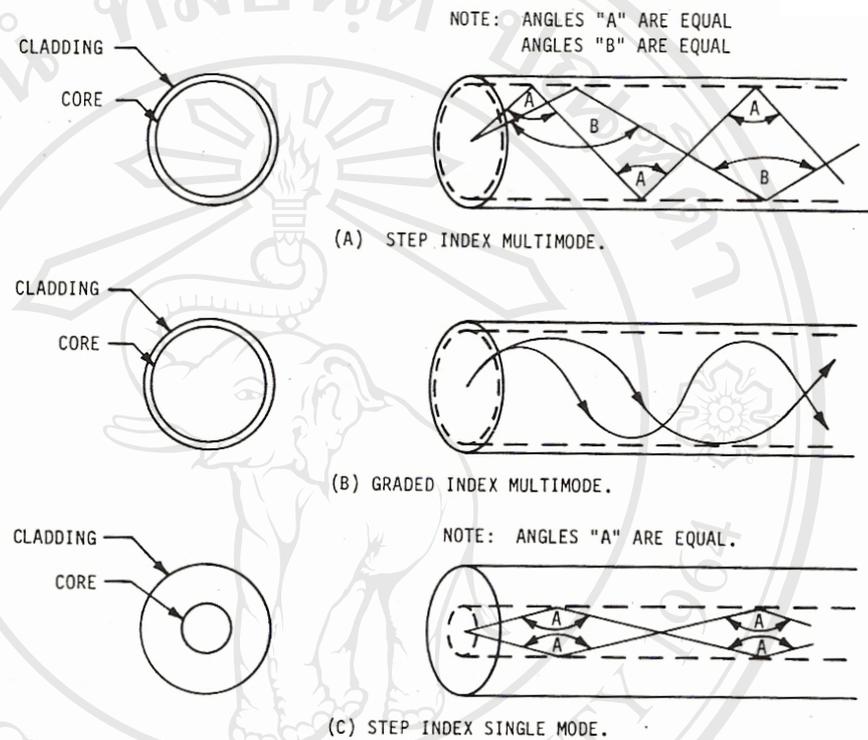


รูป 3.2 เส้นรังสีของแสงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลาง 2 ชนิดที่มุมตกกระทบต่างๆ (Goff, 1996)

เส้นใยนำแสงสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามลักษณะของเส้นรังสีของแสงที่ผ่านเข้าไปในเส้นใยนำแสง หรือที่เรียกว่า mode ได้แก่

- 1) single mode fiber คือ มีเส้นรังสีของแสงผ่านเข้าไปในเส้นใยนำแสงเพียงเส้นเดียว

2) multimode fiber คือ มีเส้นรังสีของแสงผ่านเข้าไปในเส้นใยนำแสงในหลายทิศทาง multimode fiber นี้ ยังแบ่งย่อยได้อีก 2 ชนิดคือ step-index multimode fiber และ multimode graded-index fiber ดังแสดงในรูป 3.3



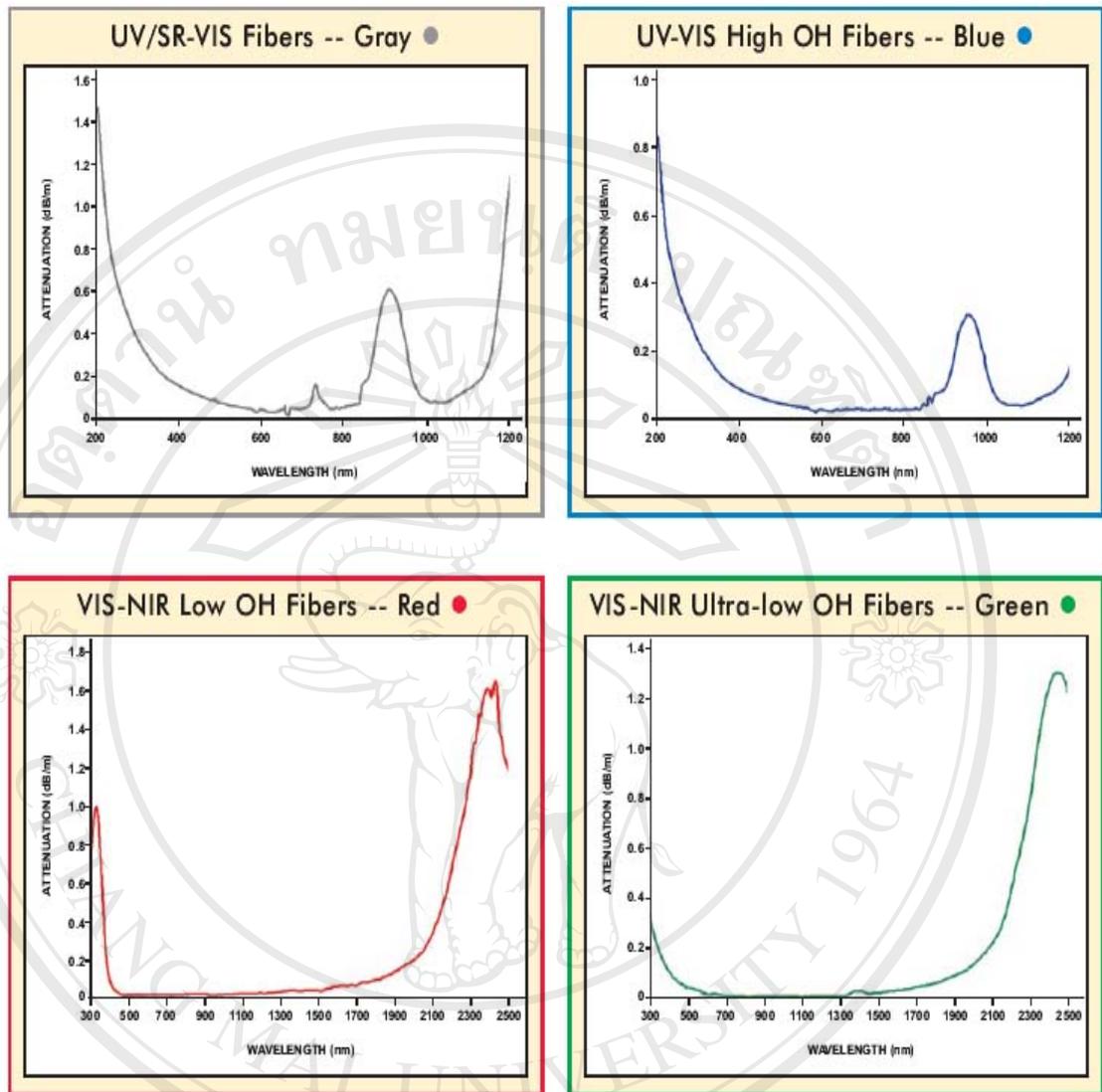
รูป 3.3 Mode ต่างๆ ของเส้นใยนำแสง (Seippel, 1984)

3.2.3 การเลือกเส้นใยนำแสงให้เหมาะกับช่วงที่ต้องการวัดสเปกตรัม

เส้นใยนำแสงที่มีขายตามท้องตลาดนั้น มีหลายชนิด หลายขนาด และหลายคุณภาพ มีทั้งที่ผลิตมาเพื่อใช้ในทางระบบสื่อสารหรือผลิตมาเพื่อการทดลอง ซึ่งจะให้วัสดุที่นำมาทำเป็นตัวแกนกลางและ cladding ต่างกันออกไป เป็นผลให้ความสามารถในการนำสเปกตรัมได้ไม่เท่ากัน ในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ในที่นี้จะยกตัวอย่างของการเลือกเส้นใยนำแสงที่ผลิตมาเพื่อการทดลอง โดยเฉพาะของบริษัท Ocean Optics ดังแสดงในตาราง 3.2 และ รูป 3.4

ตาราง 3.2 คุณสมบัติของเส้นใยนำแสงของบริษัท Ocean Optics

Fiber & Probe Assemblies	Fiber Type	Core Size Diameter	Cladding Thickness	Buffer Thickness	Buffer Material	Maximum OD Total	Operating Temperature	Long Bend Radius	Short Bend Radius
8 μm assemblies	● ● ●	9 μm +/-0.5 μm	58 μm +/-3 μm	60 μm +/-5 μm	Acrylate	250 μm	-50 to 85 °C	4 cm	2 cm
50 μm assemblies	● ● ●	50 μm +/-5 μm	35 μm +/-5 μm	17 μm +/-3 μm	Polyimide	155 μm	-65 to 300 °C	4 cm	2 cm
100 μm assemblies	● ● ●	100 μm +/-3 μm	12 μm +/-5 μm	17 μm +/-3 μm	Polyimide	155 μm	-65 to 300 °C	4 cm	2 cm
200 μm Assemblies	●	200 μm +/-4 μm	10 μm +/-3 μm	45 μm +/-21 μm	Aluminum	331 μm	-269 to 400 °C	4 cm	2 cm
200 μm assemblies	● ● ●	200 μm +/-4 μm	10 μm +/-4 μm	10 μm +/-5 μm	Polyimide	243 μm	-65 to 300 °C	8 cm	4 cm
300 μm assemblies	●	300 μm +/-6 μm	15 μm +/-7 μm	20 μm +/-10 μm	Polyimide	380 μm	-65 to 300 °C	12 cm	6 cm
300 μm Assemblies	●	300 μm +/-6 μm	15 μm +/-3 μm	45 μm +/-21 μm	Aluminum	441 μm	-269 to 400 °C	6 cm	3 cm
400 μm Assemblies	●	400 μm +/-8 μm	20 μm +/-3 μm	45 μm +/-21 μm	Aluminum	551 μm	-269 to 400 °C	8 cm	4 cm
400 μm Assemblies	● ● ●	400 μm +/-8 μm	20 μm +/-3 μm	20 μm +/-7 μm	Polyimide	487 μm	-65 to 300 °C	16 cm	8 cm
500 μm assemblies	● ● ●	500 μm +/-10 μm	25 μm +/-3 μm	20 μm +/-10 μm	Polyimide	600 μm	-65 to 300 °C	20 cm	10 cm
600 μm assemblies	● ● ●	600 μm +/-10 μm	30 μm +/-3 μm	25 μm +/-10 μm	Polyimide	720 μm	-65 to 300 °C	24 cm	12 cm
1000 μm assemblies	●	1000 μm +/-20 μm	25 μm +/-3 μm	50 μm +/-40 μm	Acrylate	1065 μm	-50 to 85 °C	30 cm	15 cm
1000 μm assemblies	●	1000 μm +/-20 μm	50 μm +/-3 μm	50 μm +/-40 μm	Acrylate	1120 μm	-50 to 85 °C	30 cm	15 cm



รูป 3.4 ความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับ attenuation ของสเปกตรัมที่ผ่านเส้นใยนำแสง

ปัจจัยที่ต้องมาพิจารณาในการเลือกใช้เส้นใยนำแสง

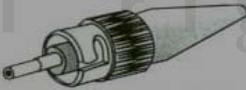
- ขนาดของเส้นใยนำแสงที่นำมาใช้ ต้องพิจารณาว่าสเปกตรัมที่จะนำไปวัดนั้นมีความเข้มมากน้อยเพียงใด ยิ่งสเปกตรัมมีความเข้มน้อยก็จะต้องใช้เส้นใยแสงที่มีขนาดใหญ่เพื่อที่จะทำให้มีผิวหน้ารับแสงมากขึ้น
- ช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการวัดเพราะเส้นใยนำแสงแต่ละชนิดที่ผลิตจากวัสดุต่างกันจะนำแสงได้ดีในช่วงความยาวคลื่นต่างกันดังแสดงในรูป 3.4

เมื่อใช้หลักการพิจารณาดังกล่าวมาแล้วนั้นในการทดลองนี้จึงใช้เส้นใยนำแสงขนาดใหญ่ คือ มีเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนกลาง 1000 μm เพราะต้องการได้สเปกตรัมที่มีความเข้มมากที่สุด จากนั้นเลือกใช้ UV-VIS High OH Fibers—Blue เนื่องจากมีความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับ attenuation ที่เป็นเส้นตรงในช่วงที่ต้องการนำสเปกตรัมในช่วงนั้น ไปศึกษา

3.2.4 ลักษณะของ connector ของเส้นใยนำแสงที่มีอยู่ในปัจจุบัน

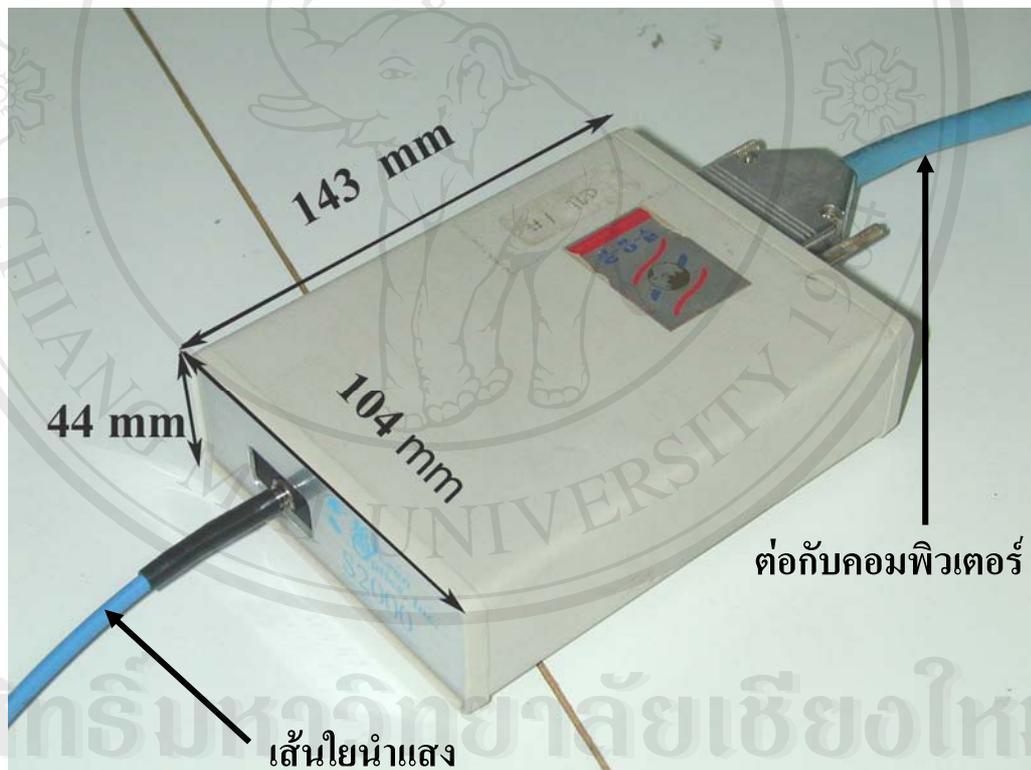
ลักษณะของ connector ของเส้นใยนำแสงนั้นมีมากมายขึ้นอยู่กับว่าจะนำไปใช้ในเรื่องใด ดังแสดงในตาราง 3.3 ยกตัวอย่างเช่น connector แบบ SMA 905 เป็น connector ที่เหมาะกับเส้นใยนำแสงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ ใช้เกี่ยวกับทางแสงมากกว่านำไปใช้ในทางด้านการสื่อสาร connector แบบ biconic เหมาะกับเส้นใยนำแสงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยๆ เส้นใยนำแสงจำพวก single-mode ใช้เกี่ยวกับการสื่อสาร

ตาราง 3.3 connector แบบต่างๆของเส้นใยนำแสงและการนำไปใช้ (Goff, 1996)

CONNECTOR	INSERTION LOSS	REPEATABILITY	FIBER TYPE	APPLICATIONS
 BICONIC	0.60-1.00 dB	0.20 dB	SM, MM	Telecommunications
 D4	0.20-0.50 dB	0.20 dB	SM, MM	Telecommunications
 EC/RACE	0.10-0.30 dB	0.10 dB	SM	High-speed Datacom
 ESCON	0.20-0.70 dB	0.20 dB	MM	Fiber Optic Networks
 FC	0.50-1.00 dB	0.20 dB	SM, MM	Datacom, Telecommunications
 FDDI	0.20-0.70 dB	0.20 dB	SM, MM	Fiber Optic Networks
 HMS-10	0.10-0.30 dB	0.10 dB	SM	Test Equipment
 SC	0.20-0.45 dB	0.10 dB	SM, MM	Telecommunications
 SC DUPLEX	0.2-0.45 dB	0.10 dB	SM, MM	Datacom
 SMA	0.40-0.80 dB	0.30 dB	MM	Military
 ST	Typ. 0.40 dB (SM) Typ. 0.50 dB (MM)	Typ. 0.40 dB (SM) Typ. 0.20 dB (MM)	SM, MM	Inter-/Intra- Building, Security, Navy

3.3 ส่วนของการประมวลผลและแสดงผลของสเปกตรัมที่ได้

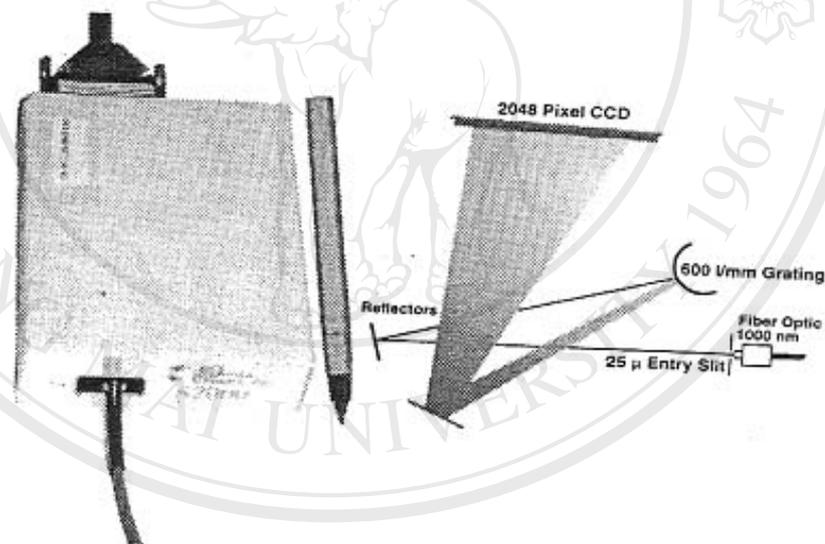
ส่วนของการประมวลผลและแสดงผลของสเปกตรัมที่ได้ ได้แก่ เครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000 ของบริษัท Ocean Optics สหรัฐอเมริกา และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรม OOIBase 32 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ถูกออกแบบมาเฉพาะใช้กับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ของบริษัท Ocean Optics เครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000 นี้มีข้อดีคือ มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีความไวต่อแสงสูง ราคาไม่แพงมากนัก สามารถวัดสเปกตรัมได้ตั้งแต่ 200 – 1,000 nm ตามที่เกรตติงสามารถแยกสเปกตรัมออกมาได้ เกรตติงที่ใช้เป็นแบบรีเฟลกชันเกรตติงและใช้ซีซีดี 2048 พิกเซล ในการวัดความเข้มของสเปกตรัม สามารถปรับเวลาวัดได้ตั้งแต่ 3 ms จนถึง 60 s ดังรูป 3.5



รูป 3.5 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000 ของบริษัท Ocean Optics

3.3.1 หลักการทำงานของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000

การทำงานของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000 คือเมื่อแสงออกจากเส้นใยนำแสงมาจะผ่านสลิตขนาด $25\ \mu\text{m}$ ตรงไปยังกระจกสะท้อนแสงตัวที่ 1 ตามรูป 3.6 แสงสะท้อนตรงไปยังรีเฟลคชันเกรตติงที่มีจำนวนร่อง 600 ร่องต่อมิลลิเมตร รีเฟลคชันเกรตติงทำหน้าที่กระจายแสงและสะท้อนแสงไปยังกระจกตัวที่ 2 แสงที่แยกออกมาเป็นสเปกตรัมในแต่ละความยาวคลื่นที่มีความเข้มต่างกันจะถูกสะท้อนไปยังซีซีดีซึ่งทำด้วยสารกึ่งตัวนำ เมื่อโค่นแสงหรือโฟตอน อะตอมจะถูกไอออนไนซ์เกิดเป็นไอออนและอิเล็กตรอนอิสระ จะมีจำนวนมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสงหรือปริมาณโฟตอน เมื่อให้ความต่างศักย์สูงระหว่างขั้วจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า กระแสไฟฟ้างี้จะถูกขยายโดยวงจรขยายและส่งไปยัง A/D convertor เพื่อเปลี่ยนสัญญาณที่ได้เป็นดิจิทัลและแสดงผลในโปรแกรม OOIBase 32 เป็นกราฟบนจอคอมพิวเตอร์



รูป 3.6 แผนภาพการกระจายแสงออกเป็นความยาวคลื่นต่างๆ ภายในเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000 (Rhodes, *et al.*, 2000)

3.3.2 ลักษณะเฉพาะของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000

เครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000 มีลักษณะเฉพาะ ดังตาราง 3.4

ตาราง 3.4 คุณลักษณะของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น S2000

รายการ	คุณลักษณะ
ขนาด	143x104x44 mm (ยาว-กว้าง-สูง)
น้ำหนัก	200 g
Power supply	130 mA 5.5 V
แบบ	Asymmetric crossed Czerny-Turner
Input fiber connector	SMA 905
เกรตติง	600 lines mm blazed
สลิตขาเข้า	25 μ m
Detector	Sony ILX511 CCD
เวลาในการวัด	3 ms – 60 s
Dynamic range	2×10^8
Signal-to-Noise	250:1 single acquisition
Readout noise (single dark spectrum)	3.5 counts RMS, 20 counts peak-to-peak
Resolution(FWHM)	0.3-10.0 nm
Stray light	<0.05 % at 600 nm; <0.10% at 435 nm
Temperature	-30 °C - +70 °C for storage -10 °C - +60 °C for operation

3.3.3 หลักการทำงานของซีซีดี (CCD) และการทำงานของรีเฟล็กซ์เกรตติง

(Reflection Grating)

1) หลักการทำงานของซีซีดี (CCD)

ซีซีดี ย่อมาจาก Charge Couple Device เป็นอุปกรณ์ตรวจจับแสงที่มีประสิทธิภาพสูง มีความไวต่อแสงสูงมาก ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ ภายในซีซีดีจะแบ่งพื้นที่ออกเป็นส่วนเล็กๆ จำนวนมาก ซึ่งแต่ละชิ้นเล็กๆ นั้นจะเรียกว่า พิกเซล (pixel) ภายในแต่ละพิกเซล มีหลักการการตรวจจับสเปกตรัม คือ เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดตกกระทบบนซีซีดี ทำให้อะตอมถูกไอออนไนซ์โดยโฟตอนเกิดเป็นไอออนและอิเล็กตรอนอิสระ จำนวนไอออนและอิเล็กตรอนอิสระจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณโฟตอนจากแหล่งกำเนิดแสง เมื่อให้ความต่างศักย์สูงระหว่างขั้ว จะทำให้เกิด

กระแสไฟฟ้า กระแสไฟฟ้านี้จะถูกขยายโดยวงจรขยาย (Amplifier) แล้วถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัล โดย A/D converter เพื่อแสดงผลของสเปกตรัมบนจอคอมพิวเตอร์

องค์ประกอบสัญญาณที่ได้จากซีซีดีมีดังนี้

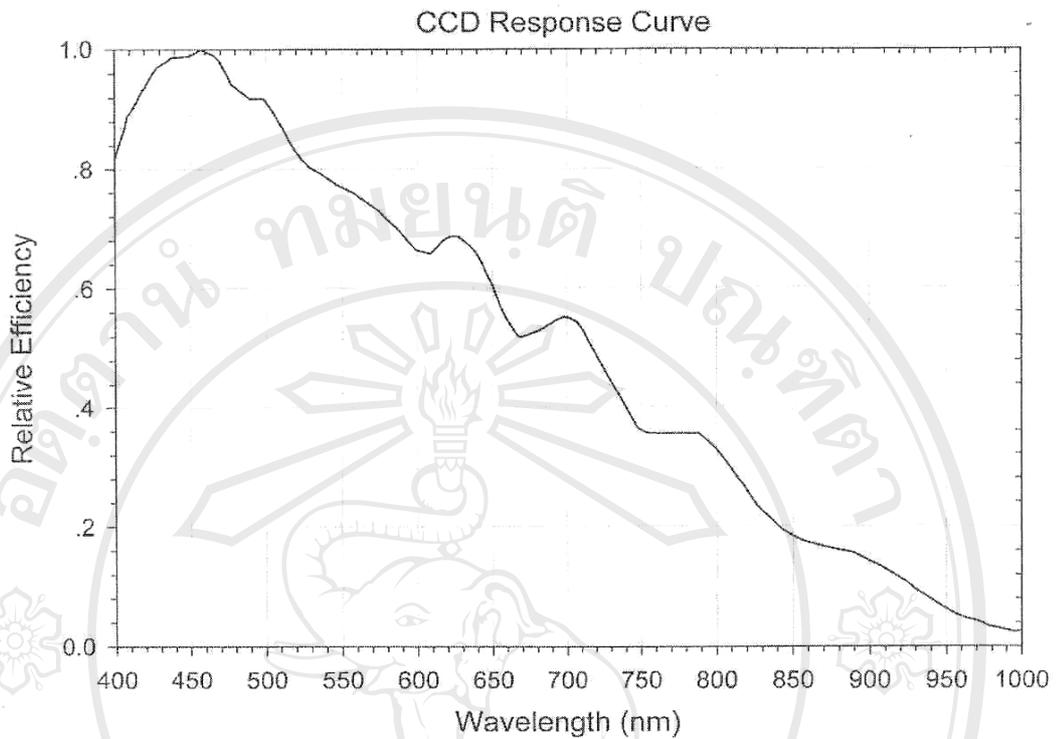
- Target Signal เป็นสัญญาณแสงจากแหล่งกำเนิดที่ต้องการวัด
- Bias Signal เป็นสัญญาณเริ่มต้น เนื่องมาจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ก่อนที่จะได้รับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ต้องการวัด
- Thermal Signal เป็นสัญญาณที่เกิดขึ้นเนื่องจากตัวซีซีดีซึ่งเป็น semiconductor มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอน (dark current thermal electrons) แต่สามารถที่จะลด thermal signal ได้โดยใช้ระบบทำความเย็น ลดอุณหภูมิของซีซีดีลงให้มากที่สุด

นอกจากนี้เนื่องจาก ซีซีดีมีความไวต่อแสงมากผลที่วัดได้ค่อนข้างจะมีความละเอียดสูง ซึ่งผลที่ได้นั้นจะมีสัญญาณรบกวนเข้ามาด้วย สัญญาณรบกวนที่เข้ามามีสาเหตุมาจาก

- Thermal Noise เป็นสัญญาณรบกวนเนื่องมาจากการเกิด Thermal signal ที่ส่งผลให้จำนวนอิเล็กตรอนที่ได้มีค่าไม่คงที่
- Readout Noise เป็นสัญญาณรบกวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนในการแปลงสัญญาณของ CCD chip
- Quantization Noise เป็นสัญญาณรบกวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล
- Sensitivity Variation Noise เป็นสัญญาณรบกวนเนื่องจากสมบัติการไวแสงของ photosite ไม่คงที่ ในการถ่ายโอนข้อมูลจาก photosite หนึ่งไปยังอีก photosite บน CCD chip

โดยซีซีดีที่ติดตั้งอยู่ในเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000 ของบริษัท Ocean Optics ที่ใช้

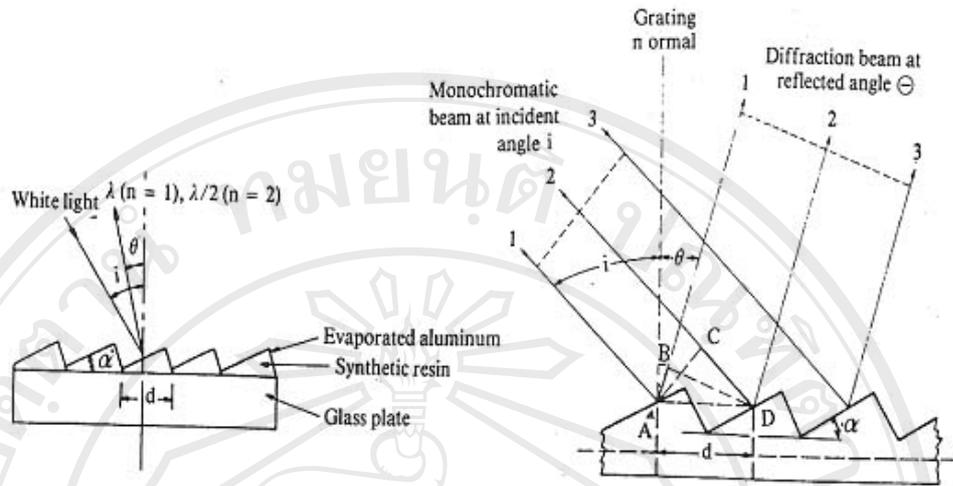
ในการวัดสเปกตรัมของการวิจัยในครั้งนี้มี CCD response curve ตามรูป 3.7



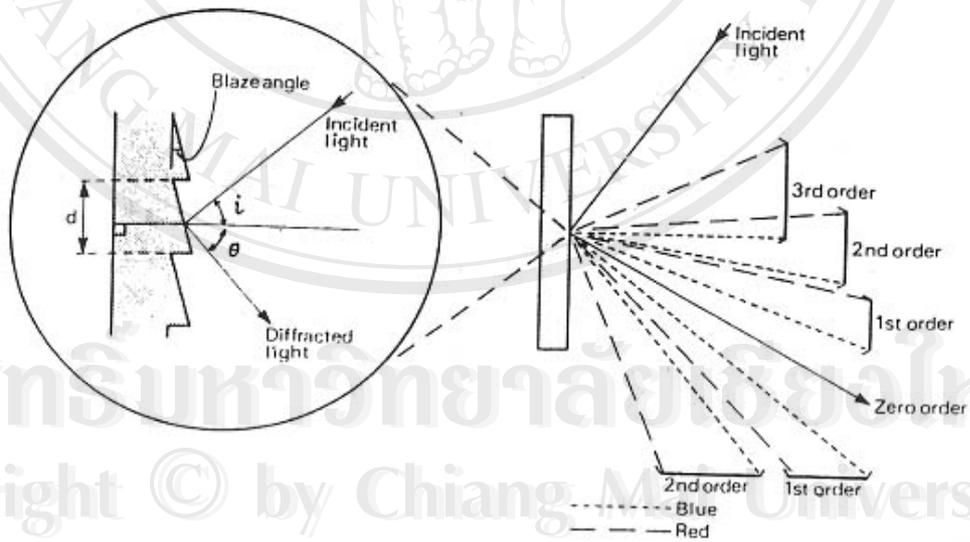
รูป 3.7 ความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับประสิทธิภาพในการวัดสเปกตรัม
(Ocean Optics Inc., 2005)

2) การทำงานของรีเฟลคชันเกรตติง (reflection grating)

รีเฟลคชันเกรตติงเป็นเกรตติงที่ใช้หลักการสะท้อนของแสง ดังนั้นผิวหน้าของร่องวัสดุที่ใช้ทำจะต้องเรียบและสะท้อนได้ดี เกรตติงที่ใช้ในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและช่วงที่ตามองเห็นควรจะต้องมีจำนวนร่อง 300 - 2000 ร่องต่อมิลลิเมตร แต่ที่ใช้กันทั่วไปจะอยู่ในราว 1200 ร่องต่อมิลลิเมตร เนื่องจากการทำร่องซึ่งต้องให้เหมือนกันทุกร่องและขนานกัน ซึ่งในสมัยก่อนทำได้ยาก จึงมีราคาแพง แต่ในปัจจุบันได้ใช้เทคนิคทางโฮโลกราฟีค และใช้วัสดุจำพวกพลาสติกหรือเรซินหล่อจากต้นแบบแล้วฉาบด้วยอะลูมิเนียมบางๆ จึงทำได้ง่ายและราคาถูกลง ดังแสดงในรูป 3.8



รูป 3.8 ลักษณะรีเฟลกชันเกรตติง (แมน อมรสิทธิ์, 2534)



รูป 3.9 การกระจายแสงด้วยดิฟแฟรคชันเกรตติง (แมน อมรสิทธิ์, 2534)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright © by Chiang Mai University
 All rights reserved

โดยทั่วไปจะทำเป็นร่องสามเหลี่ยม เป็นมุม α ซึ่งเรียกว่า blaze angle การกระจายแสงของเกรตติงแสดงได้ด้วยสมการ

$$n\lambda = d(\sin i + \sin \theta) \quad (3.4)$$

เมื่อ	n	คือ	ตัวเลขที่แสงอันดับการเลี้ยวเบนของแสง
	λ	คือ	ความยาวคลื่น
	i	คือ	มุมของแสงตกกระทบ
	θ	คือ	มุมของแสงเลี้ยวเบน
	d	คือ	ระยะระหว่างร่อง

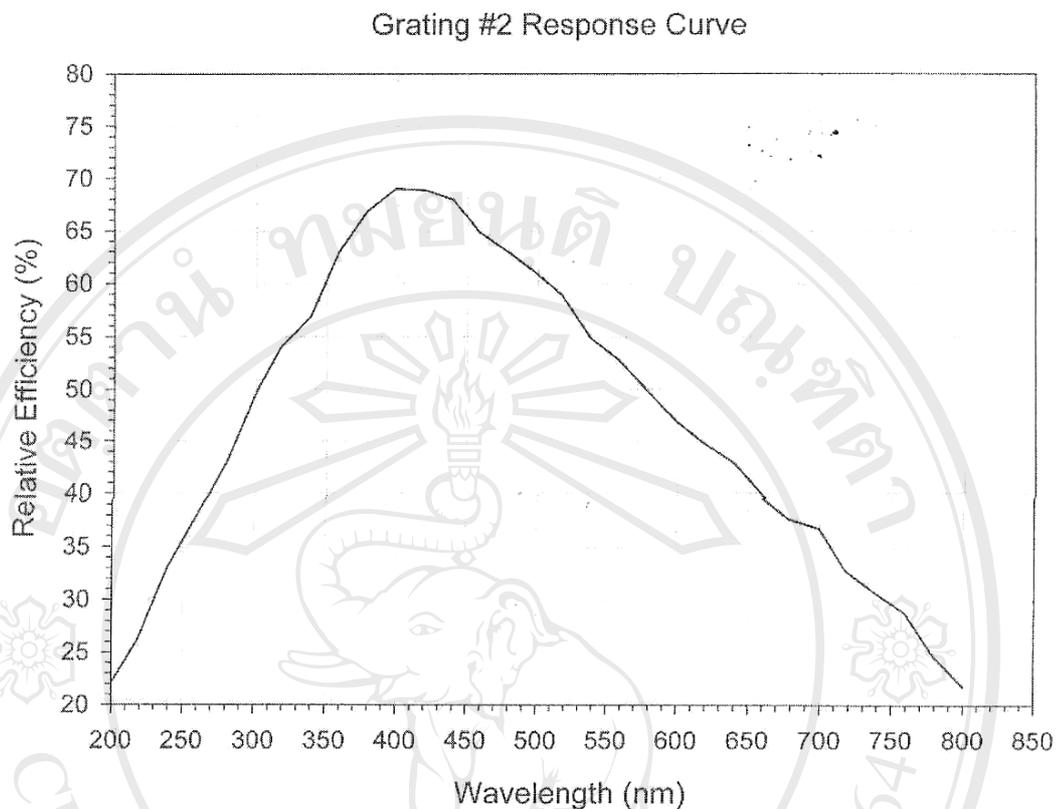
กำลังการแยกแสงของโมโนโครมิเตอร์ (resolving power) เป็นความสามารถของโมโนโครมิเตอร์ที่จะสามารถแยกแสงที่มีความยาวคลื่นใกล้เคียงกันออกจากกันได้ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = nN \quad (3.5)$$

เมื่อ	λ	คือ	ความยาวคลื่นเฉลี่ยของสเปกตรัม 2 ค่าที่อยู่ติดกัน
	$\Delta\lambda$	คือ	ความยาวคลื่นที่ต่างกันของสเปกตรัม 2 ค่าที่อยู่ติดกัน
	n	คือ	อันดับดิฟแฟรกชัน
	N	คือ	จำนวนร่อง (blazes) ที่แสงตกกระทบ

สำหรับเกรตติงที่ใช้ในการทดลองนี้มีความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับประสิทธิภาพ

ในการกระจายแสงดังแสดงในรูป 3.10



รูป 3.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับประสิทธิภาพในการกระจายแสง
(Ocean Optics Inc., 2005)

3.3.4 การเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมที่ได้จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000 กับ แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน

ก่อนที่จะนำเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ไปใช้ในการวัดในระบบ Ionoluminescence ได้ทำการทดสอบเครื่องสเปกโตรมิเตอร์กับต้นกำเนิดแสงที่ทราบค่าสเปกตรัมแน่นอน เพื่อเป็นการทดสอบระบบการใช้งานของสเปกโตรมิเตอร์ หาความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ และทำการcalibrate เครื่อง

โดยแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐานที่ใช้มีทั้งหมด 4 ชนิดดังแสดงในรูป 3.11 และ 3.12 ได้แก่

- 1) HG-1 Mercury Argon Calibration Source ของบริษัทOcean Optics
- 2) หลอดไอปรอท
- 3) หลอดแคดเมียม
- 4) หลอดนีออน

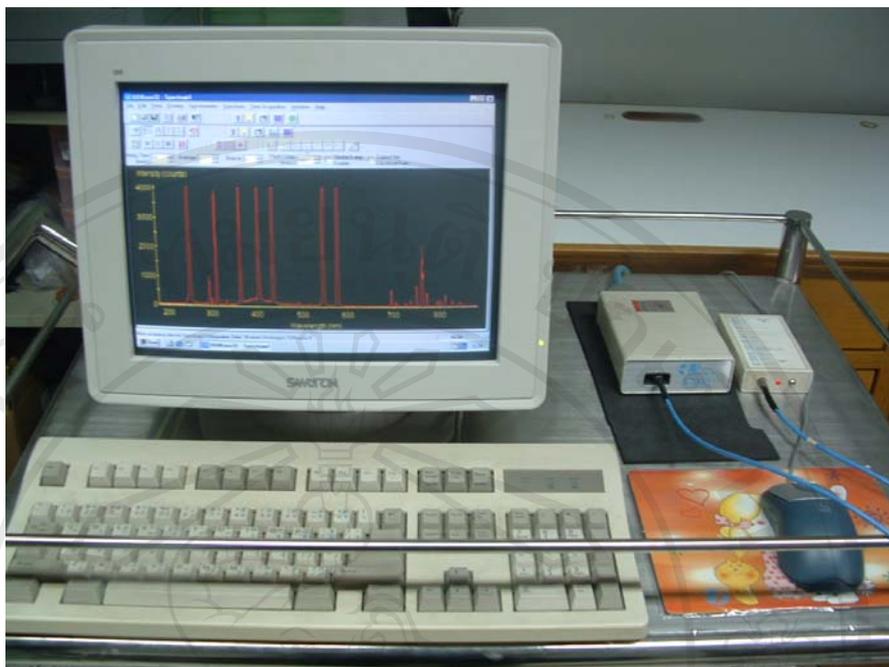
โดยแหล่งกำเนิดแสงทั้งหมดให้สเปกตรัมที่เป็นเส้นที่แน่นอนและครอบคลุมช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการศึกษาในกระบวนการ Ionoluminescence ได้ผลดังต่อไปนี้



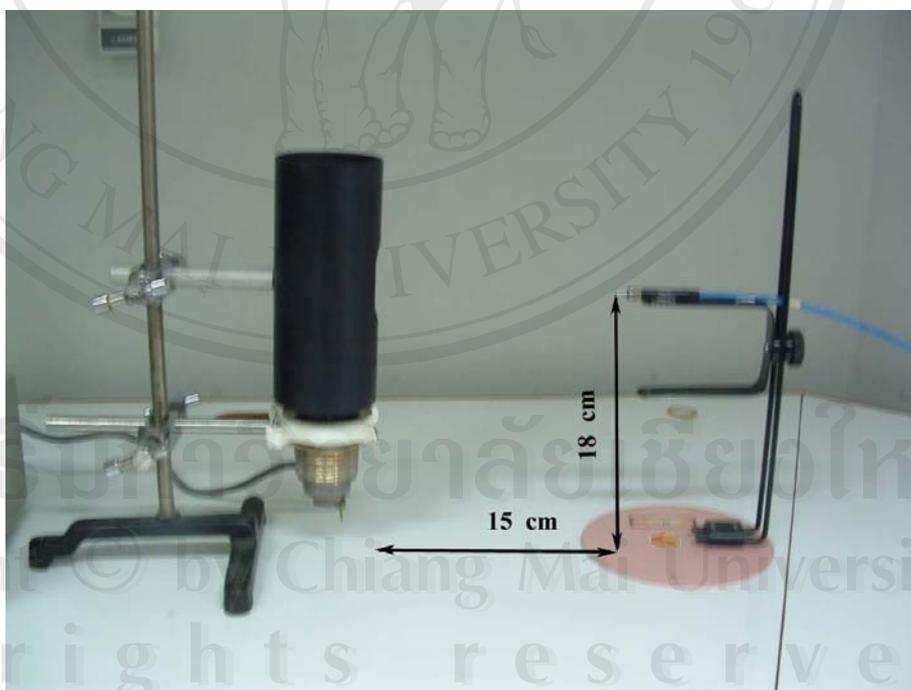
รูป 3.11 HG-1 Mercury Argon Calibration Source



รูป 3.12 หลอดแคดเมียม หลอดนีออน หลอดไอปรอท และหลอดโซเดียม ตามลำดับ



รูป 3.13 การเตรียมการวัดสเปกตรัมของ HG-1 Mercury Argon Calibration Source



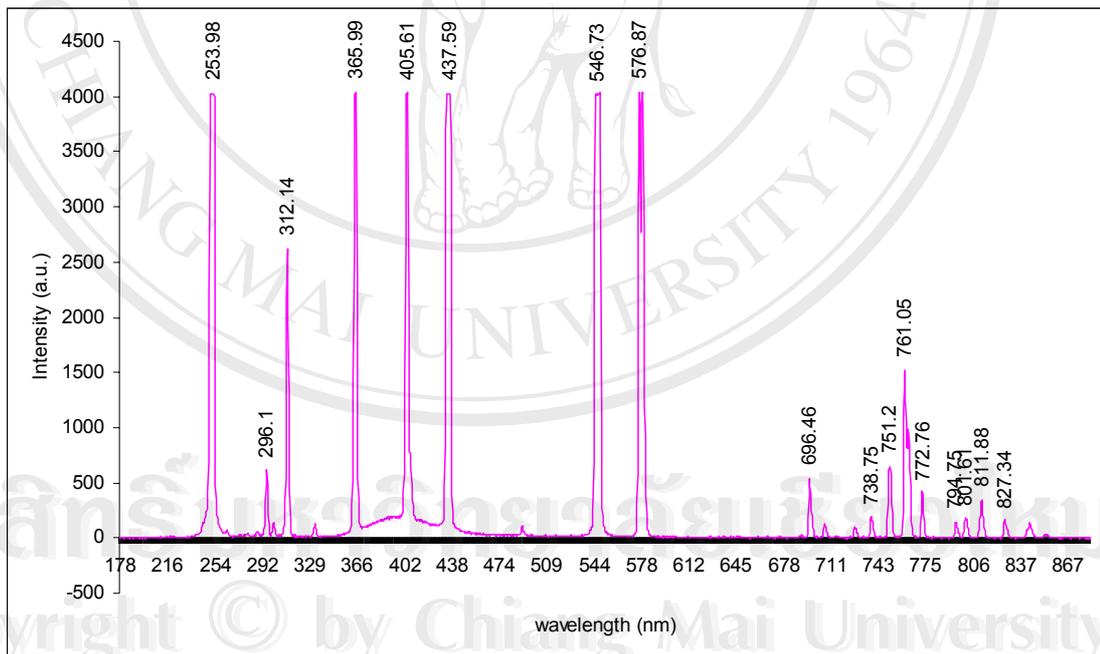
รูป 3.14 การเตรียมการวัดสเปกตรัมของหลอดไอปรอท หลอดแคดเมียมและหลอดนีออนตามลำดับ

วิธีการวัดสเปกตรัมทำได้ดังต่อไปนี้

- 1) ทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ตามรูป 3.13 และ 3.14
- 2) ทำการเปิดคอมพิวเตอร์แล้วเปิดโปรแกรม OOIBase 32
- 3) ทำการเปิดหลอดที่ต้องวัดสเปกตรัมซึ่งขั้นตอนนี้จะต้องมีการรอประมาณ 15 - 20 นาที เพื่อให้ได้สเปกตรัมที่ได้จากหลอดมีความเสถียร
- 4) ทำการวัดสเปกตรัมโดยการปรับเวลาในการแสดงผลให้เหมาะสมกับความเข้มที่ได้คือ ความเข้มที่ได้ไม่ควรเกินสเกลของความเข้ม
- 5) เมื่อทำการเปลี่ยนหลอดต้องกลับไปทำตามข้อ 3

ผลการวัดสเปกตรัมให้ผลดังต่อไปนี้

- 1) ใช้ HG- 1 Mercury Argon Calibration Source ได้ผลดังรูป 3.15 และตาราง 3.5 พบว่าเมื่อนำไปคำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนได้อยู่ในช่วง 0.01 - 0.39 เปอร์เซ็นต์

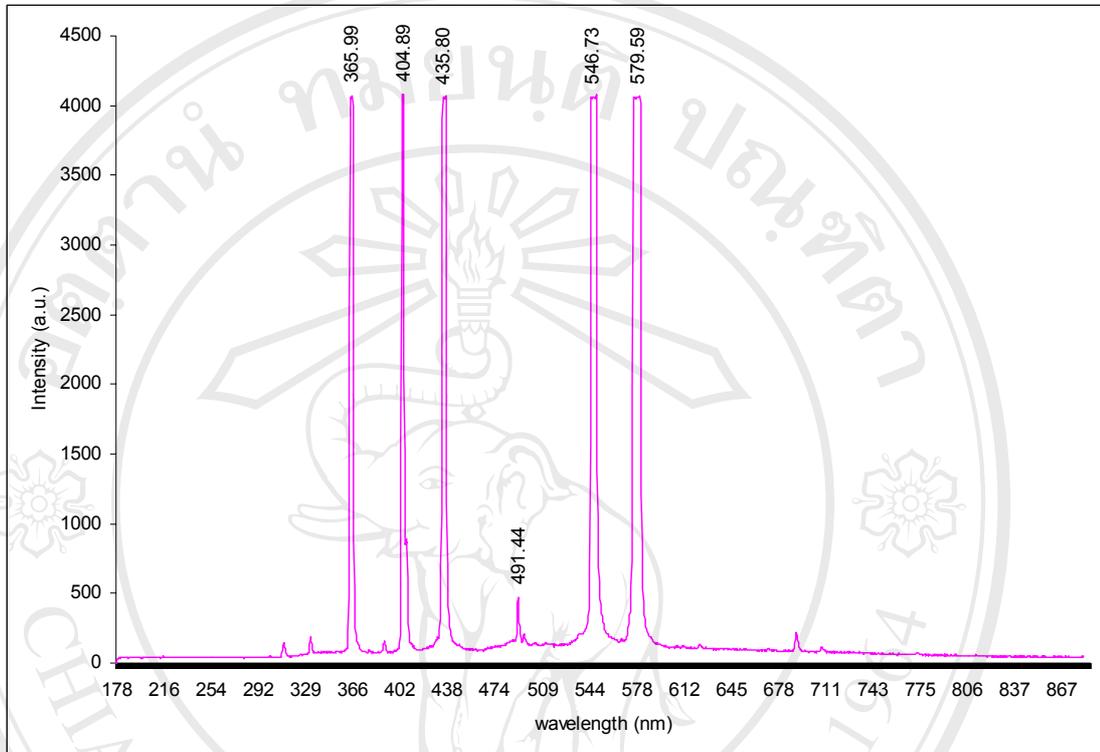


รูป 3.15 กราฟสเปกตรัมของ HG-1 Mercury Argon Calibration Source

ตาราง 3.5 ความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่นมาตรฐานของ Hg และ Ar กับค่าที่ได้จากการวัด
โดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น S2000

ความยาวคลื่นมาตรฐาน (nm)	ความยาวคลื่นจากการวัด (nm)	ความคลาดเคลื่อน (%)	
Hg	253.65	253.98	0.13
	296.73	296.10	0.21
	302.15	302.08	0.02
	313.16	312.14	0.32
	334.15	334.01	0.04
	365.01	365.99	0.26
	404.66	405.61	0.23
	435.84	437.56	0.39
	546.08	546.73	0.11
	576.96	576.87	0.01
Ar	696.54	696.46	0.01
	738.40	738.75	0.04
	750.36	751.20	0.11
	772.40	772.76	0.04
	794.82	794.75	0.01
	800.62	801.61	0.12
	811.53	811.88	0.04
	826.45	827.34	0.11

2) ใช้หลอดไอปรอท ได้ผลดังรูป 3.16 และตาราง 3.6 พบว่าเมื่อนำไปคำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนได้อยู่ในช่วง 0.01 – 0.27 เปอร์เซ็นต์

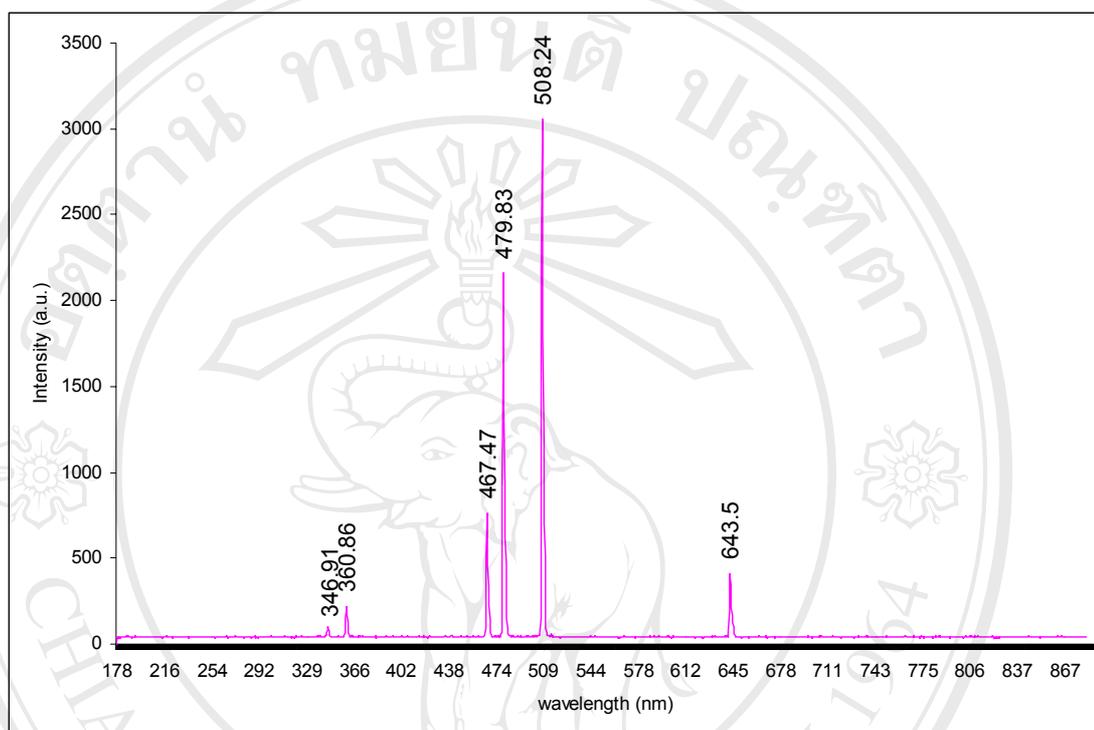


รูป 3.16 กราฟสเปกตรัมของหลอดไอปรอท

ตาราง 3.6 ความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่นมาตรฐานของหลอดไอปรอทกับค่าที่ได้จากการวัดโดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น S2000

ความยาวคลื่นมาตรฐาน (nm)	ความยาวคลื่นจากการวัด (nm)	ความคลาดเคลื่อน (%)
365.01	365.99	0.27
404.66	404.89	0.06
435.84	435.80	0.01
546.08	546.73	0.12
579.07	579.59	0.09

3) ใช้หลอดแคดเมียมได้ผลดังรูปที่ 3.17 และตารางที่ 3.7 พบว่าเมื่อนำไปคำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนได้อยู่ในช่วง 0.03 – 0.08 เปอร์เซ็นต์

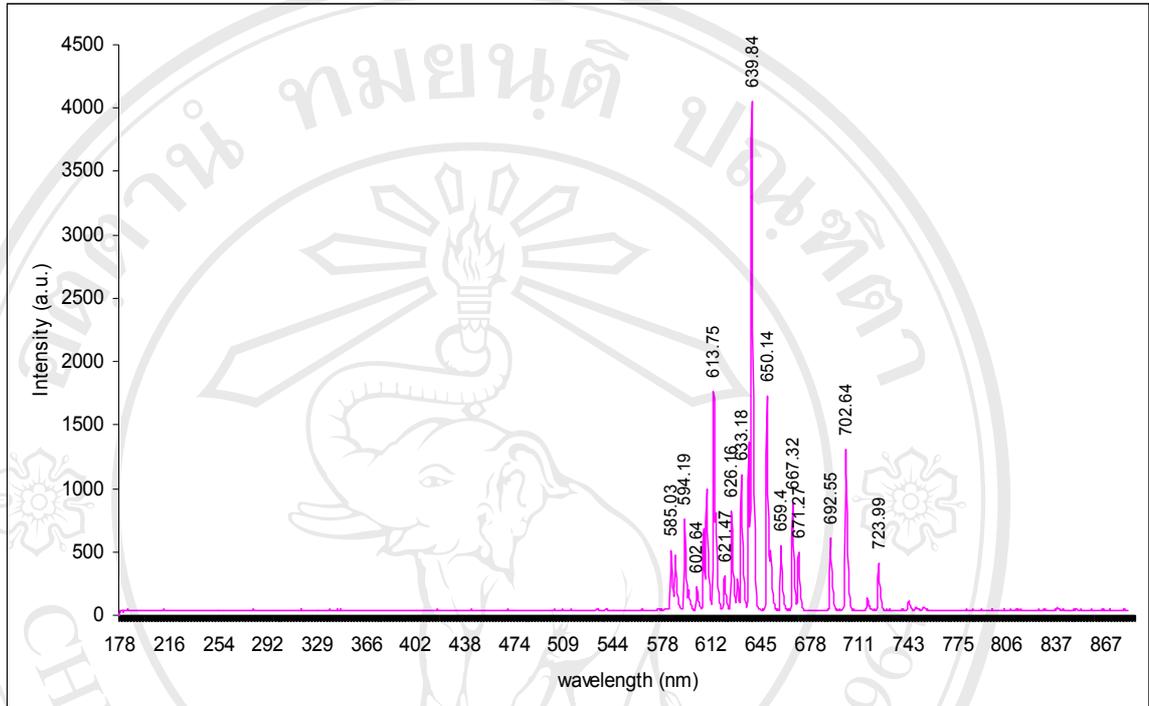


รูป 3.17 กราฟสเปกตรัมของแคดเมียม

ตาราง 3.7 ความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่นมาตรฐานของหลอดแคดเมียมกับค่าที่ได้จากการวัดโดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รุ่น S2000

ความยาวคลื่นมาตรฐาน (nm)	ความยาวคลื่นจากการวัด (nm)	ความคลาดเคลื่อน (%)
467.63	467.47	0.03
479.99	479.83	0.03
508.65	508.24	0.08
643.85	643.50	0.05

4) ใช้หลอดนีออนได้ผลดังรูป 3.18 และตาราง 3.8 พบว่าเมื่อนำไปคำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนได้อยู่ในช่วง 0.03 - 1.02 เปอร์เซ็นต์

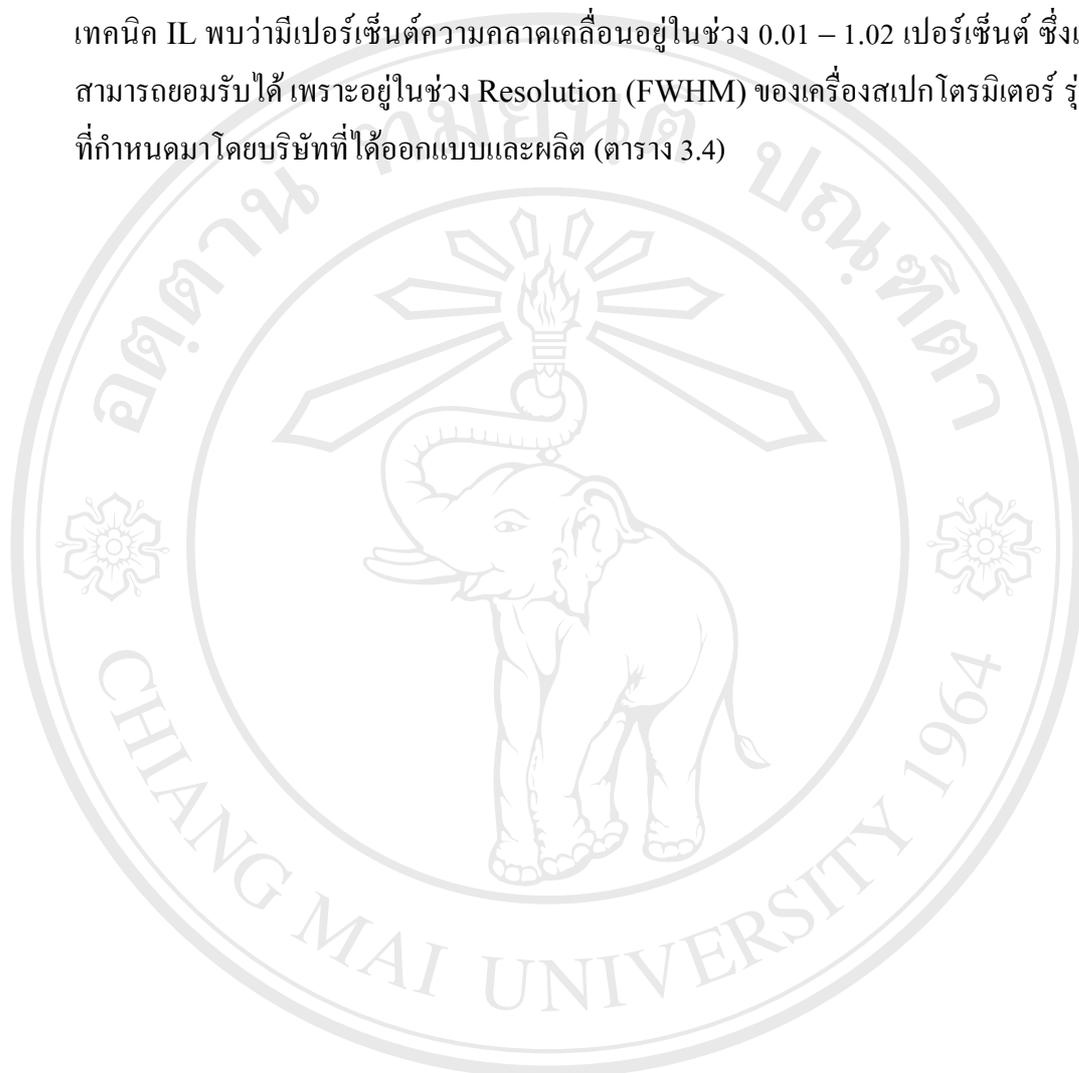


รูป 3.18 กราฟสเปกตรัมของนีออน

ตาราง 3.8 ความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่นมาตรฐานของหลอดนีออนกับค่าที่ได้จากการวัดโดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น S2000

ความยาวคลื่นมาตรฐาน (nm)	ความยาวคลื่นจากการวัด (nm)	ความคลาดเคลื่อน (%)
585.2	585.03	0.03
588.2	594.19	1.02
603.0	602.64	0.06
616.4	613.75	0.43
621.7	621.47	0.04
626.6	626.16	0.07
633.4	633.18	0.03
638.3	639.84	0.24
650.6	650.14	0.07
659.9	659.40	0.07
692.9	692.55	0.05
703.2	702.64	0.08

จากผลการทดสอบวัดความยาวคลื่นของสเปกตรัมจากแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐานที่ทราบความยาวคลื่นที่แน่นอน ในช่วงความยาวคลื่นที่จะนำไปศึกษาการเปล่งแสงของของแข็งโดยเทคนิค IL พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 0.01 – 1.02 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นช่วงที่สามารถยอมรับได้ เพราะอยู่ในช่วง Resolution (FWHM) ของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น S2000 ที่กำหนดมาโดยบริษัทที่ได้ออกแบบและผลิต (ตาราง 3.4)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved