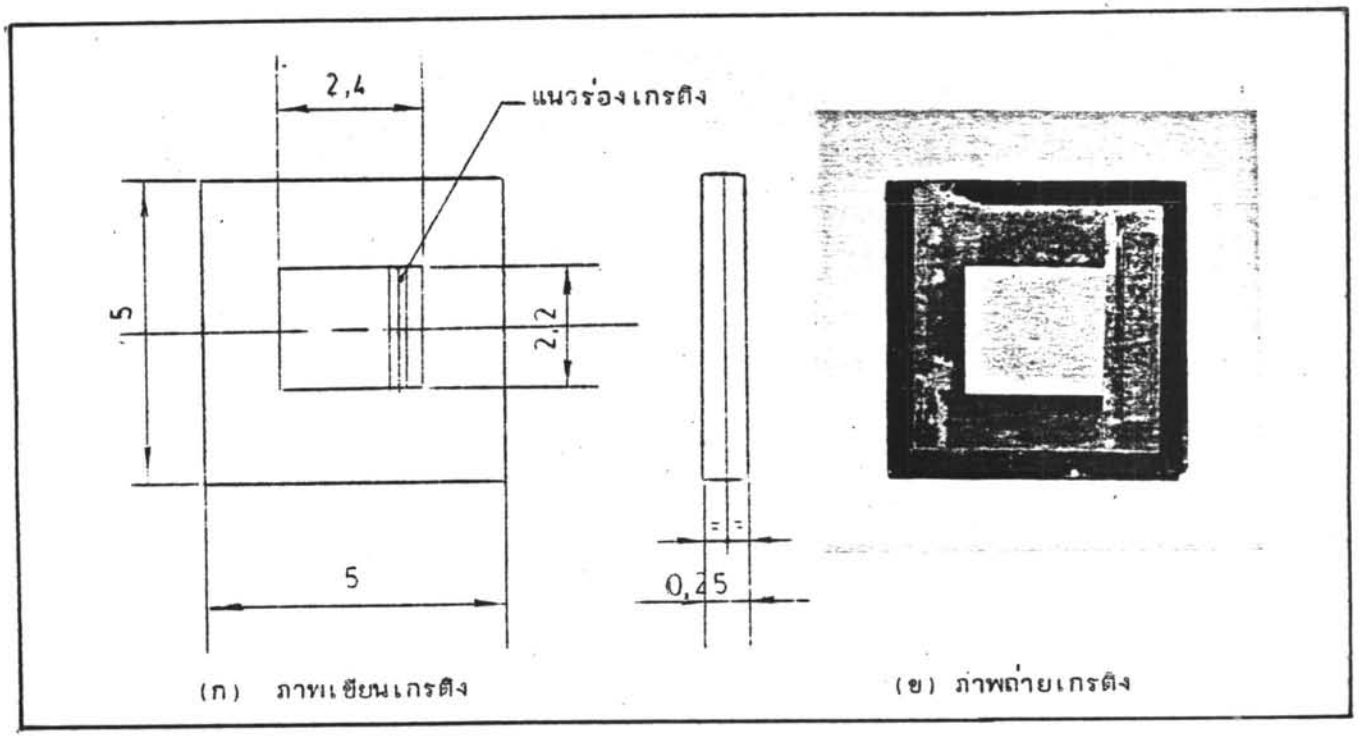
บทที่ 6

การทดลองเครื่องเอกรงค์ที่สร้างขึ้น

เมื่อประกอบส่วนต่าง ๆ ที่สร้างขึ้นเป็นเครื่องเอกรงค์ และปรับเครื่องเอกรงค์ตามหัวข้อที่ 4 ในบทที่ 5 แล้ว จึงนำเครื่องเอกรงค์ที่สร้างขึ้นไปทดลองโดยใช้ตัวกระจายแสงเป็นเกรติงชนิดแสงผ่าน (transmission grating) ปรับให้แนวแกนมุขยสำคัญของกล้องคอลลิเมเตอร์และของกล้องโทรทัศน์เป็นแนวเดียวกัน เมื่อกล้องโทรทัศน์อยู่ที่ตำแหน่งสเกล 33.0 องศา และกล้องคอลลิเมเตอร์อยู่ที่ตำแหน่งสเกล 180 องศา จะได้กล่าวถึงการทดลองในลำดับต่อไป

1. ลักษณะของเกรติงที่ใช้ในการทดลอง

เกรติงชนิดแสงผ่านที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วยแผ่นกระจกใส 2 แผ่น ขนาดโดยเฉลี่ย 5.0 x 5.0 x 0.125 เซนติเมตร ประกบแนบทางด้านหน้าและด้านหลังของเกรติงด้านละแผ่น ขนาดความหนาของเกรติงไม่สามารถวัดได้ ปิดกระดาษดำให้มีช่องเปิดสำหรับแสงผ่านเกรติงขนาดของช่องเปิดโดยเฉลี่ย 2.2 x 2.4 เซนติเมตร แสดงรูปร่างของเกรติงที่ใช้ในการทดลอง ดังรูปที่ 6.1



(ก) ภาพเขียนเกรติง (ข) ภาพถ่ายเกรติง

รูปที่ 6.1 รูปร่างของเกรติงที่ใช้ในการทดลอง

ร่อง (groove) ที่ขีดบนแผ่นเกรติงเป็นแนวยาวขนานกับด้านกว้างของช่องเปิดสำหรับแสงผ่าน เกรติงมีจำนวนร่อง 10,000 ร่อง ต่อ 2.54 เซนติเมตร หรือ 10,000 เส้น ต่อ 2.54 เซนติเมตร คำนวณหาจำนวนเส้นของเกรติงที่ใช้นี้ได้ 9449 ต่อ 2.4 เซนติเมตร จากสมการ (1.26)

$$R = \frac{\lambda}{d\lambda} = mN \qquad \text{.....(1.26)}$$

คำนวณหาค่ากำลังแยกของเกรติงนี้ สำหรับการเลี้ยวเบนอันดับที่หนึ่งได้ 9449 และสำหรับอันดับต่อ ๆ ไป ค่ากำลังแยกจะเป็นจำนวนเท่าของอันดับที่หนึ่งตามลำดับ ถ้าใช้เกรติงนี้สำหรับการเลี้ยวเบนอันดับที่หนึ่ง ความยาวคลื่นสองค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ๆ จะแยกจากกันได้พอดี ถ้าค่าความยาวคลื่นเฉลี่ยของความยาวคลื่นทั้งสองดังกล่าวมีค่า 9449 เท่า ของผลต่างของความยาวคลื่นสองค่านั้น หรือนั่นคือ $\lambda = 9449d\lambda$ ถ้าพิจารณาแสงเหลืองจากหลอดโซเดียม ความยาวคลื่นสองค่าที่ใกล้เคียงกัน คือ 589.0 นาโนเมตร และ 589.6 นาโนเมตร จะแยกจากกันได้พอดีสำหรับการเลี้ยวเบนอันดับที่หนึ่ง เมื่อใช้เกรติงที่มีกำลังแยกเป็น 980 ดังนั้น สำหรับเกรติงที่ใช้ในการทดลองนี้ จะสามารถแยกความยาวคลื่นทั้งสองออกได้เห็นชัดเจน

ถ้าพิจารณาว่าเส้นสเปกตรัมเส้นหนึ่ง ๆ อาจมีความยาวคลื่นที่ใกล้เคียงกันมากปะปนอยู่ จะถือว่าเส้นสเปกเส้นนั้นมีความบริสุทธิ์น้อยลง ในทางทฤษฎีอาจใช้สมการ (1.26) หาช่วงของความยาวคลื่นในเส้นสเปกตรัมเส้นนั้นโดยพิจารณาหาค่า $\pm d\lambda$ ซึ่งเท่ากับ λ/R ผลของการคำนวณหาค่า $\pm d\lambda$ ของแต่ละความยาวคลื่น สำหรับการแทรกสอดอันดับที่ 1 แสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ค่าความไม่บริสุทธิ์ของแสงในทางทฤษฎี

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	$\pm d\lambda = \lambda/9449$ ($\times 10^{-2}$ นาโนเมตร)	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	$\pm d\lambda = \lambda/9449$ ($\times 10^{-2}$ นาโนเมตร)
434.1	4.594	546.1	5.779
435.8	4.612	579.1	6.129
447.2	4.733	587.6	6.219
471.3	4.988	589.3	6.237
486.1	5.144	656.3	6.946
492.2	5.209	667.8	7.067

สำหรับในการทดลองเพื่อจะหาความบริสุทธิ์ของแสง จะได้กล่าวในหัวข้อที่ 5 ของบทที่ 6 ในลำดับต่อไป

2. การทดลองเครื่องเอกรงค์กับแหล่งกำเนิดแสงต่าง ๆ

ปรับเครื่องเอกรงค์ตามหัวข้อที่ 4 ในบทที่ 5 กล่าวคือ แนวแกนของกล้องคอลลิเมเตอร์ร่วมกันกับแนวแกนของกล้องโทรทัศน์ โดยที่แนวแกนของกล้องโทรทัศน์อยู่ที่ตำแหน่งสเกลสูญองศา (ถ้าอ่านจากเวอร์เนียร์สเกลกล้องโทรทัศน์จะอยู่ที่ตำแหน่งสเกล 33.0 องศา) และแนวแกนของกล้องคอลลิเมเตอร์อยู่ที่ตำแหน่งสเกล 180 องศา ปรับระนาบของเกรตติงให้ตั้งได้ฉากกับแกนมุขยลำศัญ ช่องแคบเปิดแสงเข้าอยู่ที่ตำแหน่งโฟกัสของเลนส์คอลลิเมเตอร์ และช่องแคบเปิดแสงออกอยู่ที่ตำแหน่งโฟกัสของเลนส์โทรทัศน์ ใช้หลอดสเปกตรัมต่าง ๆ ในการทดลองคือ หลอดโซเดียม หลอดฮีเลียม หลอดปรอท และหลอดไฮโดรเจน เป็นแหล่งกำเนิดแสง จัดวางหลอดสเปกตรัมให้ห่างจากช่องแคบเปิดแสงเข้าเป็นระยะ 76.3 เซนติเมตร ให้แสงจากหลอดสเปกตรัมในแต่ละครั้งที่ทดลองผ่านเลนส์รวมแสงซึ่งวางห่างจากช่องแคบเปิดแสงเข้าเป็นระยะ 46.0 เซนติเมตร โฟกัสไปตกบนช่องแคบเปิดแสงเข้า มองด้วยตาเปล่าผ่านช่องแคบเปิดแสงออก และใช้เลนส์ใกล้ตาช่วยในลำดับต่อไปจะเห็นเส้นสเปกตรัมเมื่อใช้แหล่งกำเนิดแสงต่างๆดังตารางที่ 6.2 โดยช่องแคบเปิดแสงเข้าเปิดให้กว้าง 0.025 เซนติเมตร ยาว 0.69 เซนติเมตร ช่องแคบเปิดแสงออกเปิดให้กว้าง 0.023 เซนติเมตร ยาว 0.65 เซนติเมตร

ตารางที่ 6.2 เส้นสเปกตรัมจากการทดลองเครื่องเอกรงค์ ตัวอักษรหน้าความยาวคลื่น หมายถึงชื่อของเส้นสเปกตรัม, ตัวอักษรหลังความยาวคลื่น คือ s, m และ w บอกความเข้มของเส้นสเปกตรัมมากปานกลางและน้อยตามลำดับ

ตำแหน่งกล้องคอลลิเมเตอร์ที่สเกล 180.0 องศา						
แหล่งกำเนิดแสง	สีเส้นสเปกตรัม	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ตำแหน่งกล้องโทรทัศน์ (องศา)			
			การแทรกสอดอันดับที่ 1		การแทรกสอดอันดับที่ 2	
			ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา
โซเดียม	เหลือง	589.3	46.4	19.6	60.6	5.4
ฮีเลียม	ม่วง	442.2 s	43.2	22.8	53.6	12.4
	คราม	471.3 m	43.7	22.3	54.8	11.2
	เขียว	492.2 m	44.2	21.8	55.8	10.2
	เหลือง	D_3 587.6 s	46.4	19.6	60.6	5.3
	ม่วงแดง	667.8 m	48.3	17.7	64.7	1.3
ปรอท	ม่วง	435.8 s	42.9	23.1	53.1	12.9
	เขียว	546.1 s	45.4	20.6	58.5	7.5
	เหลือง	579.1 s	46.2	19.8	60.1	5.9
ไฮโดรเจน	ม่วง	G′ 434.1 w	42.8	23.2	53.0	12.9
	น้ำเงิน	F 486.1 m	44.0	22.0	55.5	10.5
	แดง	C 656.3 s	48.0	18.0	64.1	1.9

กราฟระหว่างความยาวคลื่นกับตำแหน่งสเกลที่อ่านได้ทางด้านซ้ายของกล้องโทรทัศน์ สำหรับการแทรกลอดอันดับที่หนึ่ง โดยให้ความยาวคลื่นเป็นแกนนอนและตำแหน่งสเกลเป็นแกนตั้ง จะได้กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 6.2 คำนวณด้วยเครื่องฮิวเลทท์ - แพกคาร์ด ได้สมการเส้นตรงที่ดีที่สุดเฉพาะในการทดลองนี้เป็น

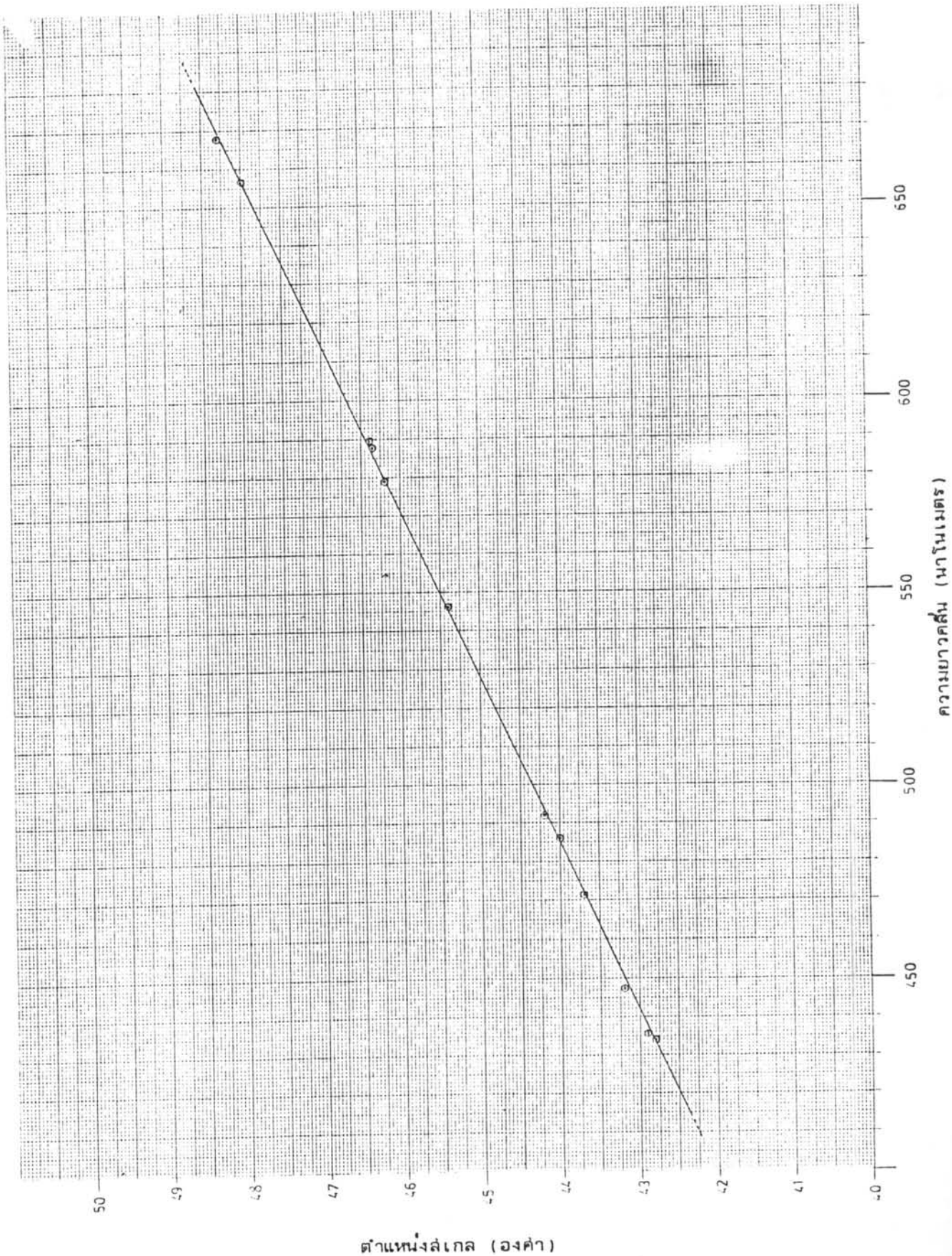
$$\theta = (2.3067 \times 10^{-2})\lambda + 32.832 \quad \text{.....} \quad (6.1)$$

เมื่อ θ เป็นตำแหน่งสเกล (องศา) อ่านได้จากเวอร์เนียร์สเกล สำหรับการแทรกลอดอันดับที่หนึ่ง ทางด้านซ้ายของกล้องโทรทัศน์

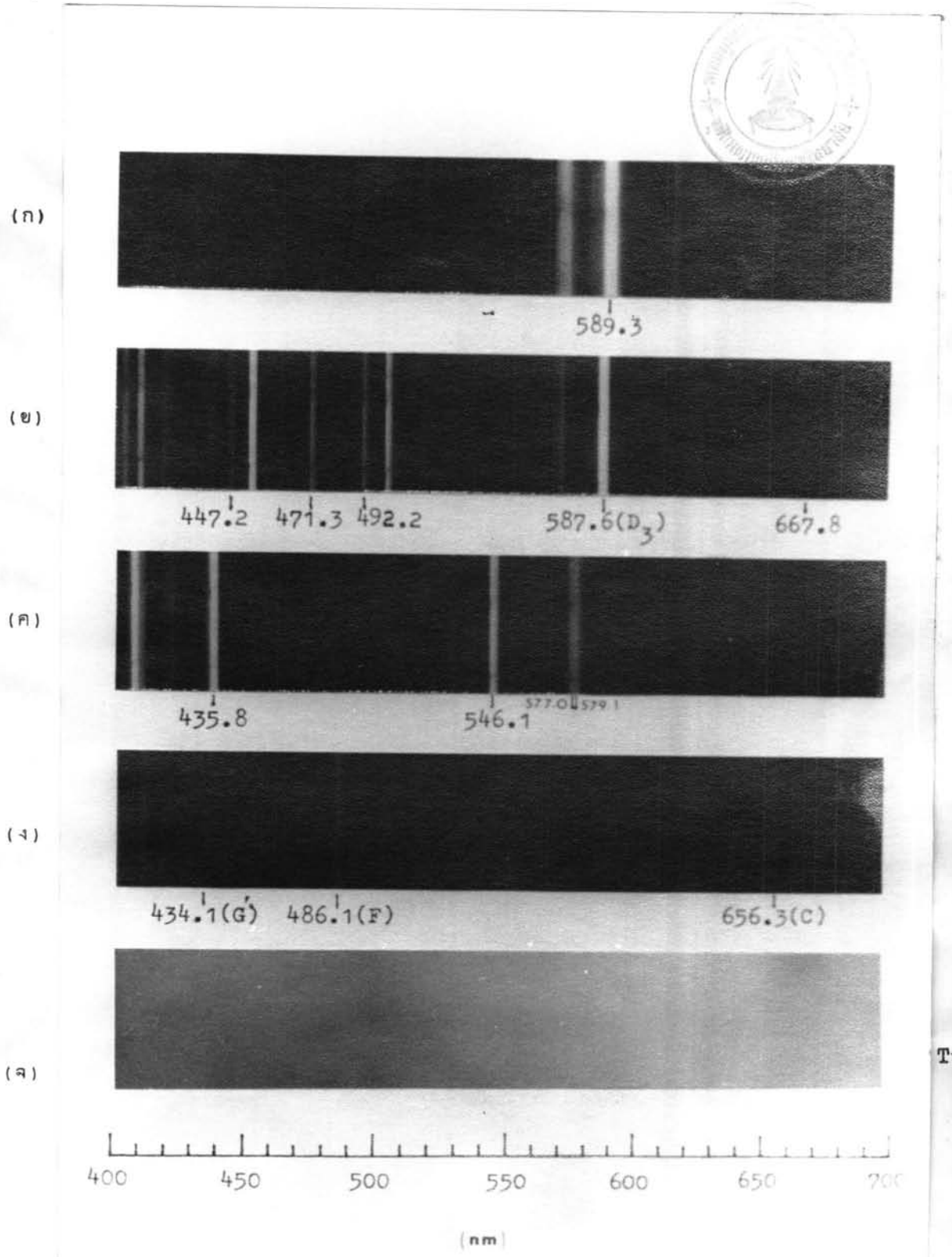
และ λ เป็นความยาวคลื่นแสง (นาโนเมตร)

ในสมการ (6.1) ใช้เลขนัยสำคัญ 5 ตัว ทั้งนี้เพื่อให้ผลการคำนวณมีความละเอียดถูกต้องมากขึ้น ในกรณีที่ต้องการใช้ความยาวคลื่นหนึ่ง ๆ อาจใช้ตารางที่ 6.2 หรือใช้สมการ (6.1) คำนวณหาตำแหน่งสเกล (θ) ของกล้องโทรทัศน์ได้ โดยที่จะต้องปรับเครื่องเอกรงค์ตามที่ได้กล่าวแล้ว

ทำการทดลองบันทึกภาพเส้นสเปกตรัมลงบนฟิล์มสำหรับการแทรกลอดอันดับที่หนึ่ง ของแหล่งกำเนิดแสงต่าง ๆ ดังกล่าวแล้วข้างต้น วิธีบันทึกภาพลงบนฟิล์ม ใช้กล้องถ่ายรูปรีเฟลกซ์แบบเลนส์เดี่ยว ถอดเลนส์ของกล้องออก เปลี่ยนช่องแคบเปิดแสงออกเป็นฟิล์มถ่ายรูป โดยจัดวางกล้องถ่ายรูปแทนที่ตัวจับช่องแคบเปิดแสงออก แสงที่ผ่านเลนส์โทรทัศน์จะโฟกัสบนฟิล์มของกล้องโดยตรง ใช้ฟิล์มถ่ายรูปอิรา (ERA) บันทึกภาพ เมื่อแหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดโซเดียม หลอดฮีเลียม หลอดปรอทและหลอดไฮโดรเจน ใช้เวลาบันทึกภาพลงบนฟิล์ม 2 นาที 5 นาที 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ ล้างฟิล์มด้วยน้ำยา ดี - 76 ของบริษัทโกดักเป็นเวลา 12 นาที บันทึกภาพลงบนกระดาษอัดรูปด้วยเวลา 20 วินาที ใช้น้ำยา ดี - 72 ของบริษัทโกดักล้างกระดาษอัดรูปเป็นเวลา 30 วินาที ได้ภาพดังรูปที่ 6.3 ซึ่งมีขนาดขยาย 4 เท่า ของภาพบนฟิล์ม



รูปที่ 6.2 กราฟระหว่างตำแหน่งของสเกลกับความยาวคลื่นจากการทดลองเครื่องเอกรงค์



รูปที่ 6.3 ภาพถ่ายเส้นสเปกตรัมและแถบสเปกตรัมของการ

เมื่อใช้แหล่งกำเนิดแสงขาวจากหลอดทังสเทน - ฮาโลเจน 24 โวลต์ 150 วัตต์ โดยจัดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง เลนส์รวมแสง จัดขนาดของช่องแคบเปิดแสงเข้า และขนาดของช่องแคบเปิดแสงออกของเครื่องเอกรงค์เช่นเดียวกับการทดลองใช้หลอดสเปกตรัม ทำการถ่ายภาพสเปกตรัมต่อเนื่องสำหรับการแทรกล่อดอันดับที่ 1 โดยใช้เวลาบันทึกภาพลงบนฟิล์ม 10 วินาที การล้างฟิล์ม การล้างกระดาษอัดรูป และขนาดขยายของภาพเป็นเช่นเดียวกับการถ่ายภาพเส้นสเปกตรัม ภาพถ่ายสเปกตรัมต่อเนื่องนี้แสดงในรูปที่ 6.3 (จ)

3. การตรวจสอบความยาวคลื่นที่ได้จากเครื่องเอกรงค์

การตรวจสอบความยาวคลื่นที่ผ่านช่องแคบเปิดแสงออกของเครื่องเอกรงค์ ซึ่งมีหลอดทังสเตน-ฮาโลเจนเป็นแหล่งกำเนิดแสง ทำโดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ที่มีสเกลอ่านได้ละเอียดที่สุด 1 ลิบดา หรือ 1/60 องศา มีเกรติงระนาบขนิดแสงผ่าน 14,500 เส้น ต่อ 2.54 เซนติเมตร เป็นตัวกระจายแสง ทำการปรับ (calibrate) เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ โดยทดลองกับหลอดไฟมาตรฐานที่ให้เส้นสเปกตรัมต่าง ๆ เช่นเดียวกับที่ใช้ทดลองเครื่องเอกรงค์ โดยเวอร์เนียร์สเกลของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อ่านค่ามุมสำหรับการแทรกล่อดอันดับที่สูญ (ศูนย์กลางของการแทรกล่อด) ได้ 35 องศา 2 ลิบดา และอ่านค่ามุมสำหรับการแทรดล่อดอันดับที่หนึ่งของเส้นสเปกตรัมต่าง ๆ ที่อยู่ทางด้านซ้ายของกล้องโทรทัศน์ของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ได้ดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 ตำแหน่งสเกลของเส้นสเปกตรัมจากหลอดไฟมาตรฐาน ซึ่งอ่านได้จากเวอร์เนียร์ของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ตำแหน่งสเกล (องศา-ลิบดา)	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ตำแหน่งสเกล (องศา-ลิบดา)
434.1	$49^{o}\ 23'$	546.1	$53^{o}\ 12'$
435.8	$49^{o}\ 26'$	579.1	$54^{o}\ 20'$
447.2	$49^{o}\ 49'$	587.6	$54^{o}\ 38'$
471.3	$50^{o}\ 38'$	589.3	$54^{o}\ 41'$
486.1	$51^{o}\ 9'$	656.3	$57^{o}\ 2'$
492.2	$52^{o}\ 21'$	667.8	$57^{o}\ 26'$

นำผลจากตารางที่ 6.3 ไปเขียนกราฟระหว่างความยาวคลื่นกับตำแหน่งสเกลจะได้กราฟดังรูปที่ 6.4 และเมื่อนำผลที่ได้นี้ไปคำนวณด้วยเครื่อง ฮิวเลทท์-แพกคาร์ด เพื่อหาเส้นตรงที่ดีที่สุดในกราฟรูปที่ 6.4 ด้วยวิธีกำลังสองที่น้อยที่สุด (least square method) จะได้ดังสมการ (6.2)

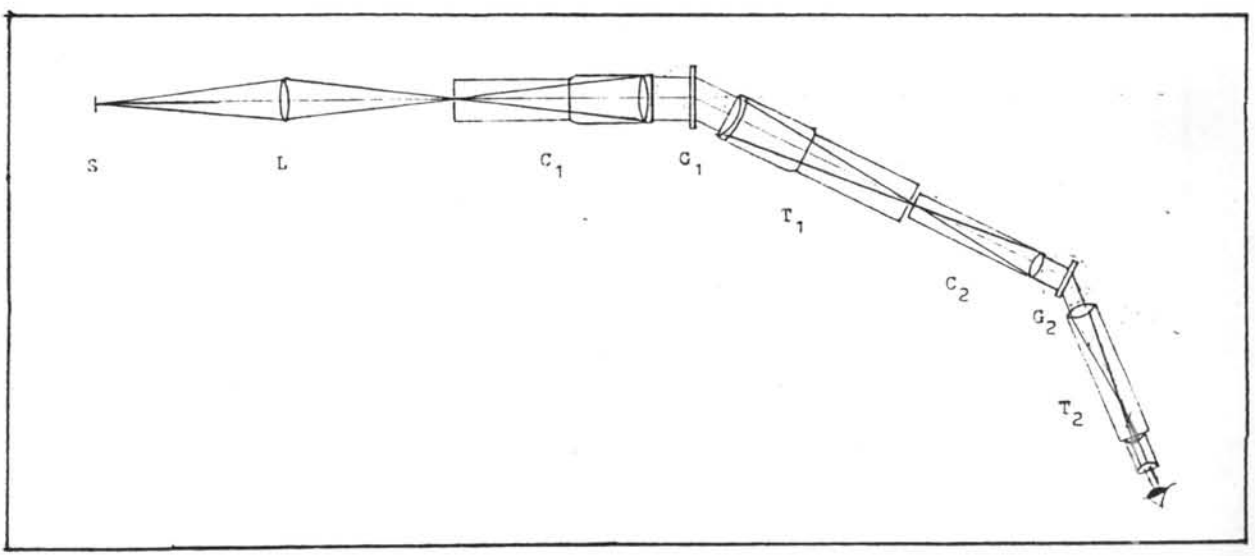
$$\theta = (3.4447 \times 10^{-2})\lambda + 34.409 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6.2)$$

เมื่อ θ เป็นตำแหน่งสเกล(องศา) อ่านได้จากเวอร์เนียร์ของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ สำหรับการแทรกสอดอันดับที่หนึ่งทางด้านซ้ายของกล้องโทรทัศน์

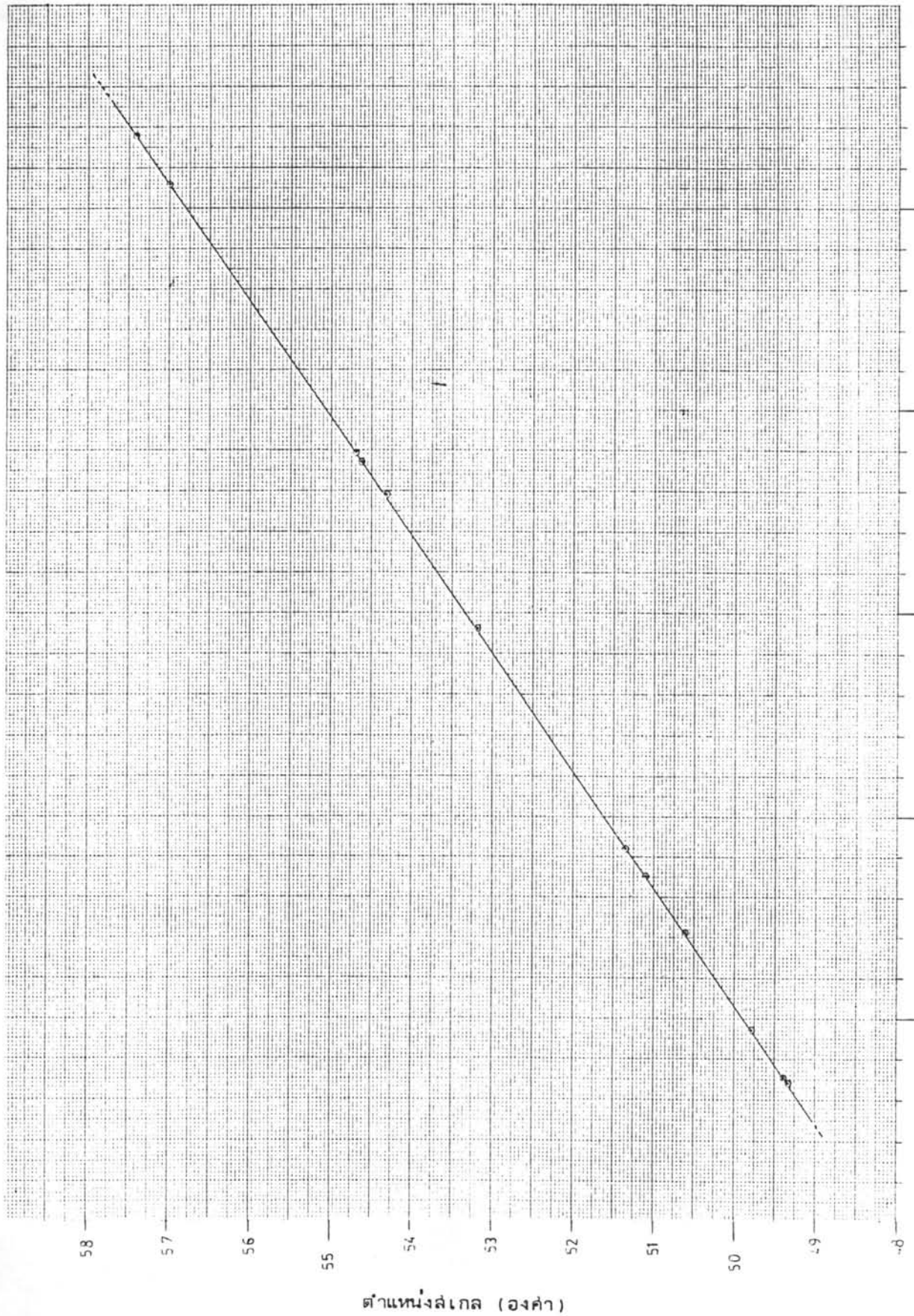
และ λ เป็นความยาวคลื่นแสง (นาโนเมตร)

ในสมการ (6.2) ให้มีเลขนัยสำคัญ 5 ตัว เพื่อให้ผลการคำนวณจะเที่ยงตรงถูกต้อง

จากนั้นนำเครื่องสเปกโตรมิเตอร์นี้ไปตรวจสอบความยาวคลื่นของแสงที่ออกมาจากช่องแคบเปิดแสงออกของเครื่องเอกรงค์ โดยจัดอุปกรณ์ตรวจสอบดังรูปที่ 6.5 เมื่อ S เป็นแหล่งกำเนิดแสงขาว L เป็นเลนส์รวมแสง C_1, G_1, T_1 และ C_2, G_2, T_2 เป็นกล้องคอลลิเมเตอร์ เกรติงระนาบ ชนิดแสงผ่าน กล้องโทรทัศน์ของเครื่องเอกรงค์ และของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ตามลำดับ ใช้สมการ



รูปที่ 6.5 แสดงการจัดอุปกรณ์ทดสอบความยาวคลื่น



รูปที่ 6.4 กราฟระหว่างตำแหน่งของสเกลกับความยาวคลื่นจากการทดลองเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

(6.1) คำนวณหามุม θ ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ในตารางที่ 6.1 แล้วเลื่อน T_1 ให้เวอร์เนียร์ของเครื่องเอกรงค์อ่านสเกลได้ค่ามุมตามที่คำนวณได้ครั้งละหนึ่งค่า แล้วเลื่อน T_2 ให้เวอร์เนียร์ของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ อ่านสเกลได้ค่ามุมซึ่งแสดงตำแหน่งของเส้นสเปกตรัมต่าง ๆ สำหรับการแทรกสอดอันดับที่หนึ่งที่สอดคล้องกับเส้นสเปกตรัมที่ออกมาจากช่องแคบเปิดแสงออกของเครื่องเอกรงค์ ทั้งนี้ช่องแคบเปิดแสงออกของเครื่องเอกรงค์จะทำหน้าที่เป็นช่องแคบเปิดแสงเข้าของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ผลการตรวจสอบความยาวคลื่นของแสง แสดงในตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ผลการตรวจสอบความยาวคลื่น

θ_m = มุมที่อ่านได้จากเวอร์เนียร์ของเครื่องเอกรงค์

θ_s = มุมที่อ่านได้จากเวอร์เนียร์ของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

λ_m = ความยาวคลื่นจากการคำนวณด้วยสมการ (6.1)

λ_s = ความยาวคลื่นจากการคำนวณด้วยสมการ (6.2)

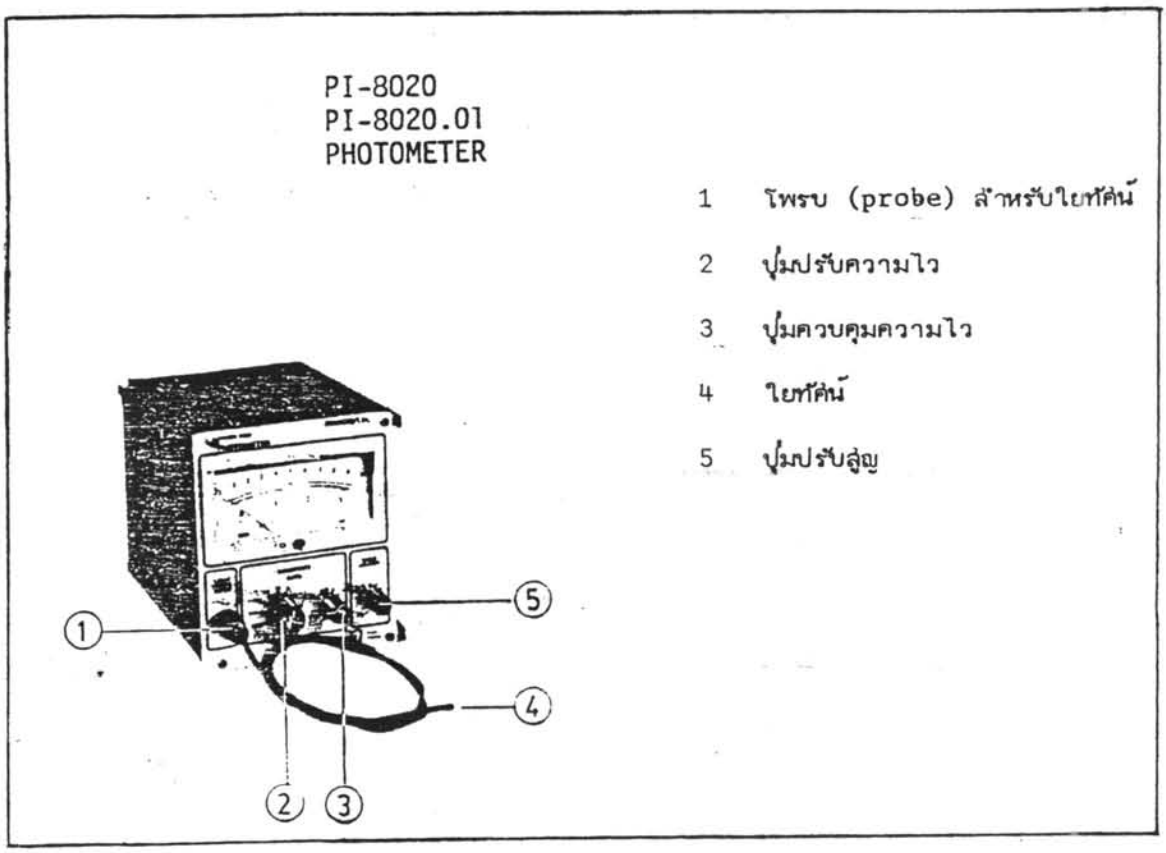
λ'_s = ความยาวคลื่นจากการคำนวณด้วยสมการ $\lambda'_s = \dfrac{2.54\sin(\theta_s - 35^\circ 2')}{14500}$

θ_m (องศา)	λ_m (นาโนเมตร)	θ_s (องศา)	λ_s (นาโนเมตร)	λ'_s (นาโนเมตร)
42.8	434.1	49.367	434.2	433.7
42.9	435.8	49.416	435.7	435.1
43.1	447.2	49.817	447.3	447.0
43.7	471.3	50.633	471.0	471.1
44.0	486.1	51.150	486.0	486.3
44.2	492.2	51.367	492.3	492.6
45.4	546.1	53.217	546.0	546.7
46.2	579.1	54.350	579.0	579.5
46.4	587.6	54.650	587.6	588.1
46.4	589.3	54.700	589.0	589.5
48.0	656.3	57.017	656.3	655.7
48.2	667.8	57.417	667.9	667.1

จากผลการทดลองในตารางที่ 6.3 จะเห็นว่า ความยาวคลื่นที่ตรวจสอบด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ใกล้เคียงกับที่ได้จากเครื่องเอกรงค์ จึงถือว่า ความยาวคลื่นที่ได้จากเครื่องเอกรงค์เมื่อตั้งสเกลที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามสมการ (6.1) ถูกต้องพอใช้ได้

4. การทดลองวัดแสง

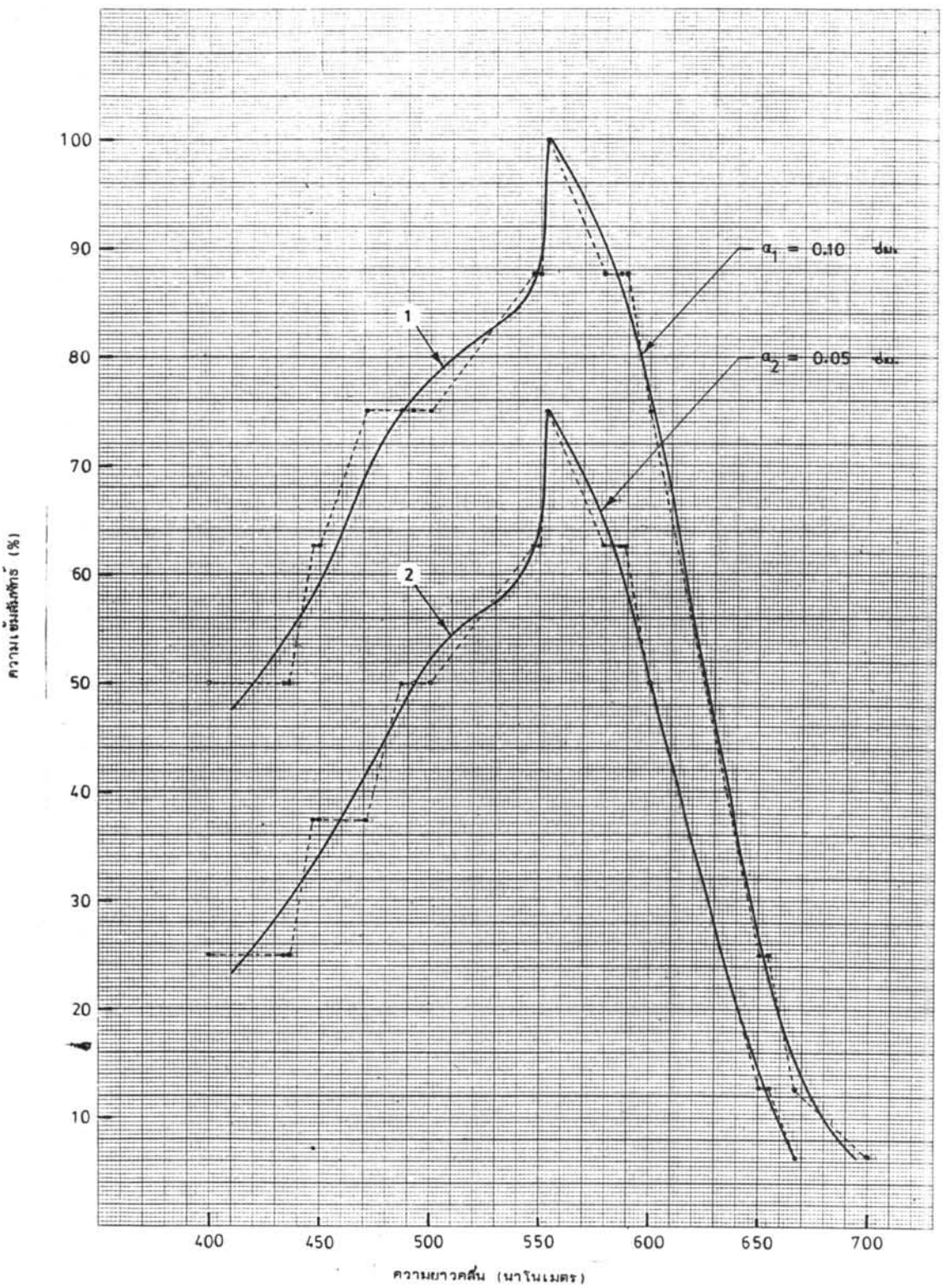
อุปกรณ์ที่ใช้วัดแสงคือ โฟโตมิเตอร์ (photometer) โมเดล (model) 8020 ผลิตโดย บริษัท ปาสโก ไซเอ็นทิฟิค (Pasco Scientific) บอกผลการวัดแสงบนแผงหน้าปัดเป็นการส่องสว่าง มีหน่วยเป็น ลักซ์ (lux) มีช่วงรับแสงตั้งแต่ 0 ลักซ์ ถึง 10,000 ลักซ์ ปรับความไวได้ในช่วง x 0.1 ลักซ์ ถึง x 1,000 ลักซ์ ส่วนรับแสงเป็น ซีลีเนียม (selenium) และใช้ใยทัศน์ (fiber optic) เป็นตัวกลางนำแสงไปตกบนซีลีเนียม แสดงโฟโตมิเตอร์ที่ใช้ทดลองนี้ดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 โฟโตมิเตอร์โมเดล 8020

ถ้าให้ I และ E คือความเข้มของแสงและการส่องสว่างของแสงที่ระยะ r จากจุดกำเนิดแสง ความสัมพันธ์ของ I และ E คือ $I = Er^2$ ถ้าระยะ r คงที่ ความเข้ม I จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการส่องสว่าง การทดลองวัดแสงในที่นี้ระยะ r จะคงที่ตลอดการทดลอง เพราะระยะจากหลอดไฟทังสเตน-ฮาโลเจน ถึง ช่องแคบเปิดแสงออกของเครื่องเอกรงค์ไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงถือว่า ความเข้มสัมพัทธ์มีค่าเท่ากันกับการส่องสว่างสัมพัทธ์ และในการทดลองนี้จะวัดการส่องสว่างของแสง ในบางตอนจะกล่าวถึงความเข้มและในบางตอนจะกล่าวถึงการส่องสว่าง ทั้งนี้เพื่อความสะดวกและเหมาะสมในตอนนั้น ๆ

ในการวัดการส่องสว่าง ช่องแคบเปิดแสงเข้าและช่องแคบเปิดแสงออก ของเครื่องเอกรงค์จะเปิดให้กว้างและยาวเป็นไปตามอัตราส่วน $a'/a = f'/f = b'/b = 0.942$ เมื่อ a, b และ f เป็นความกว้าง ความยาว ของช่องแคบเปิดแสงเข้า และทางยาวโฟกัสของเลนส์คอลลิเมเตอร์ a', b' และ f' เป็นความกว้าง ความยาวของช่องแคบเปิดแสงออก และทางยาวโฟกัสของเลนส์โทรทัศน์ ตามลำดับ วัดขนาดความกว้างและความยาวของช่องแคบทั้งสองนี้ด้วยกล้องจุลทัศน์แบบเลื่อน ให้ความยาวของช่องแคบเปิดแสงเข้าเป็น 0.69 เซนติเมตร ซึ่งจะทำให้ความยาวของช่องแคบเปิดแสงออกเป็น 0.65 เซนติเมตร ตลอดการทดลอง ให้ไยทัศน์เป็นตัวกลางนำแสงโดยจ่อปลายรับแสงของไยทัศน์ไปที่ช่องแคบเปิดแสงออกของเครื่องเอกรงค์ วัดการส่องสว่างของแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ โดยปรับกล้องโทรทัศน์ให้เวอร์เนียร์ของเครื่องเอกรงค์อ่านค่ามุมที่สอดคล้องกับความยาวคลื่นนั้น ๆ ตามสมการ (6.1) หรือตามตารางที่ 6.4 และในกรณีที่วัดการส่องสว่างที่มากที่สุดในสเปกตรัมต่อเนื่องนี้ กระทำโดยค่อย ๆ เลื่อนกล้องโทรทัศน์แบบลุ่มก่อน จนทราบตำแหน่งที่มีการส่องสว่างมากที่สุดแล้ว จึงเลื่อนกล้องโทรทัศน์อย่างละเอียดไปยังตำแหน่งที่ต้องการนี้ และได้ตำแหน่งตรงกันทุก ๆ ค่าความกว้างของช่องแคบซึ่งอ่านจากเวอร์เนียร์ของเครื่องเอกรงค์ได้ 45.6 องศา เมื่อแทนค่ามุมนี้ในสมการ (6.1) จะคำนวณหาความยาวคลื่นที่ให้การส่องสว่างมากที่สุดได้เป็น 553.5 นาโนเมตร ผลการทดลองวัดการส่องสว่างแสดงได้ดังรูปที่ 6.7 ก ซึ่งเป็นกราฟระหว่างความเข้มสัมพัทธ์ที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์กับความยาวคลื่นในหน่วยนาโนเมตร กราฟ (1) และกราฟ (2) เป็นผลที่ได้เมื่อช่องแคบเปิดแสงเข้ากว้าง 0.1 เซนติเมตร และ 0.05 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยกราฟ (2) เป็นกราฟความเข้มสัมพัทธ์เมื่อคิดเทียบความเข้มของแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ กับความเข้มที่มากที่สุดในกราฟเส้นเดียวกัน แล้วคิดเทียบกับความเข้มที่มากที่สุดของกราฟ (1)



รูปที่ 6.7 ก กราฟระหว่างความเข้มสัมพัทธ์กับความยาวคลื่น

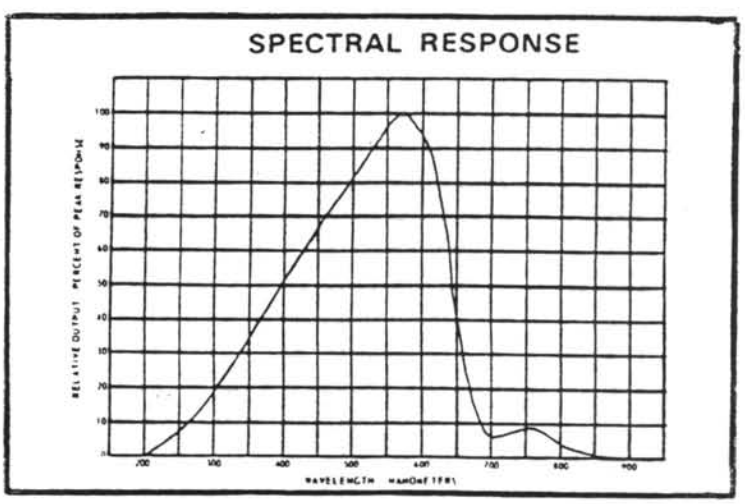
- เส้นประในรูปเป็นเส้นเชื่อมโยงระหว่างจุดกราฟ
- เส้นทึบเป็นเส้นกราฟเฉลี่ยของเส้นประ

จากกราฟรูปที่ 6.7 ก จะเห็นว่าความเข้มของแสงจะมากขึ้นเมื่อช่องแคบเปิดกว้างขึ้น และความเข้มลดลงเมื่อความกว้างของช่องแคบมีขนาดลดลง อาจกล่าวได้ว่าความเข้มของแสงขึ้นกับขนาดของช่องแคบเปิดแสงเข้าและขนาดของช่องแคบเปิดแสงออกของเครื่องเอกรงค์ และถ้าช่องแคบเปิดกว้างน้อยกว่า 0.05 เซนติเมตร จะไม่สามารถวัดแสงในเส้นสเปกตรัมต่อเนื่องได้ เพราะความไวของเครื่องโฟโตมิเตอร์ที่ใช้ทดลองนี้ไม่เพียงพอ

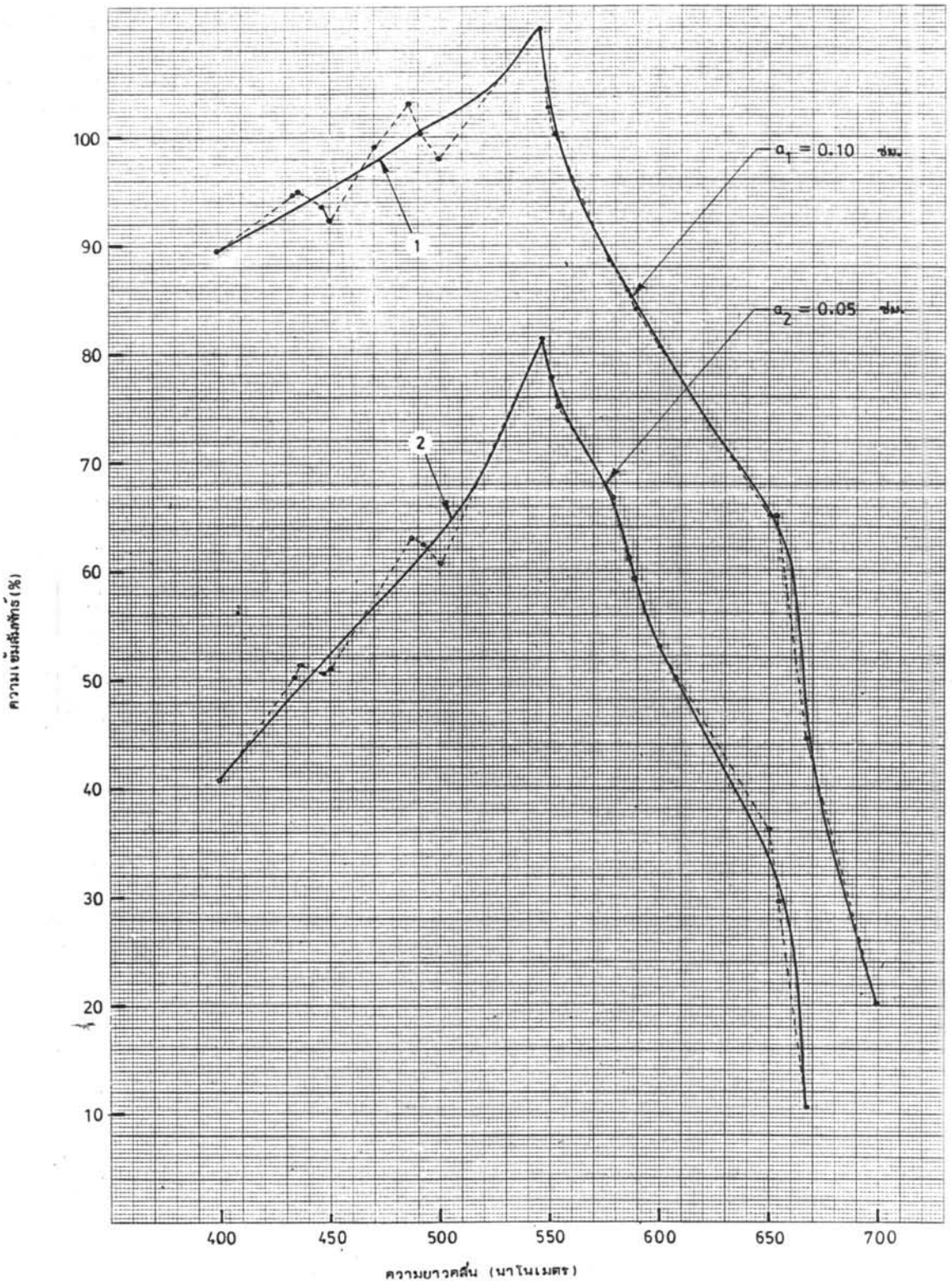
การส่องสว่างรวมที่จุดศูนย์กลางในขณะที่แนวแกนของกล้องคอลลิเมเตอร์ และของกล้องโทรทัศน์ของเครื่องเอกรงค์เป็นแนวเดียวกัน จะวัดได้ 154.1 ± 0.1 ลักซ์ 120.1 ± 0.1 ลักซ์ และ 96.1 ± 0.1 ลักซ์ ในขณะที่การส่องสว่างมากที่สุดของสเปกตรัมต่อเนื่องที่ความยาวคลื่น 553.5 นาโนเมตร วัดได้ 0.016±0.001 ลักซ์ 0.012±0.001 ลักซ์ และ 0.008± .001 ลักซ์ เมื่อช่องแคบเปิดแสงเข้ากว้าง 0.1, 0.05 และ 0.025 เซนติเมตรตามลำดับ เมื่อคิดเป็นเปอร์เซนต์จะได้ประมาณ 0.01 %, 0.01 % , และ 0.008 % ของการส่องรวมที่จุดศูนย์กลางตามลำดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาที่การส่องสว่างช่องแคบของเครื่องเอกรงค์ควรมีความกว้างไม่น้อยกว่า 0.025 เซนติเมตร แต่ถ้าช่องแคบเปิดกว้างเกินไปจะทำให้ความบริสุทธิ์ของแสงลดลงซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

อย่างไรก็ตามการส่องสว่างของแสงที่วัดได้ขึ้นกับความสามารถในการตอบสนอง (response) ต่อความยาวคลื่นหนึ่ง ๆ ของสารซีสเนียม ซึ่งอยู่ในเครื่องโฟโตมิเตอร์ที่ใช้ทดลองนี้ รูปที่ 6.7 ข เป็นกราฟการตอบสนองต่อความยาวคลื่นของสารซีสเนียม เนื่องจากกราฟรูปที่ 6.7 ข ไม่มีความละเอียดเพียงพอ จึงจะใช้ค่าโดยประมาณจากกราฟนี้ไปแก้ไขกราฟรูปที่ 6.7 ก โดยอนุมานว่าที่ทุก ๆ ค่าความยาวคลื่นในรูปที่ 6.7 ข กราฟจะให้ความเข้มสัมพัทธ์เท่ากัน นั่นคือ ทุกค่าความยาวคลื่น ถือว่า

มีความเข้มสัมพัทธ์เป็น 100 % วิธีแก้ไขกระทำโดยสมมุติให้ y_i % และ z_i % เป็นค่าความเข้มสัมพัทธ์ และเป็นค่าการตอบสนองสัมพัทธ์ (relative output percent of peak response) ที่ความยาวคลื่น λ_i ในกราฟรูปที่ 6.7 ก และรูปที่ 6.7 ข ตามลำดับ เมื่อถือว่าที่ทุก ๆ ค่า λ_i ซึ่งมีการตอบสนองสัมพัทธ์ z_i % ความเข้มสัมพัทธ์ให้เป็น 100 % แล้ว ดังนั้นถ้าค่าความเข้มสัมพัทธ์ในรูป 6.7 ก เป็น y_i % จะมีความเข้มสัมพัทธ์ที่แท้จริงเป็น $(\frac{y_i}{z_i})$ x 100 % ตัวอย่างเช่น ที่ความยาวคลื่น 553.5 นาโนเมตร (λ_i = 553.5 นาโนเมตร) อนุมานจากกราฟรูปที่ 6.7 ข ได้ค่า z_i = 100 % และจากกราฟ (1) รูปที่ 6.7 ก ได้ y_i = 100 % ดังนั้นความเข้มสัมพัทธ์ที่แท้จริง คือ 100 % และจากกราฟ (2) รูปที่ 6.7 ก ได้ y_i = 80 % ดังนั้นความเข้มสัมพัทธ์ที่แท้จริงคือ $(\frac{80}{100})$ x 100 % ซึ่งเท่ากับ 80 % เป็นต้น กราฟที่แก้ไขแล้วแล้วดง ดังรูปที่ 6.7 ค ซึ่งจะเห็นว่ากราฟที่ได้นี้ไม่เป็นเส้นตรงทั้งนี้เพราะแสงที่วัดมีความเข้มน้อยมาก และเล่กลของเครื่องโฟโตมิเตอร์ไม่ละเอียดพอ และอีกประการหนึ่ง การแก้ไขจากกราฟรูปที่ 6.7 ก ให้เป็นกราฟรูปที่ 6.7 ค กระทำโดยใช้ค่าประมาณจากกราฟรูปที่ 6.7 ข เท่านั้น



รูปที่ 6.7 ข กราฟความสามารถในการตอบสนองของซีลีเนียมต่อความยาวคลื่นต่าง ๆ ของเครื่องโฟโตมิเตอร์ โมเดล 8020



รูปที่ 6.7 ค กราฟความเข้มสัมพัทธ์ที่แก้ไขจากกราฟรูปที่ 6.7 ก ด้วยกราฟรูปที่ 6.7 ข

- เส้นประในรูปเป็นเส้นเชื่อมโยงระหว่างจุดกราฟ
- เส้นทึบเป็นเส้นกราฟเฉลี่ยของเส้นประ

5. การหาความบริสุทธิ์ของแสง

ต้นกำเนิดแสงของเครื่องเอกรงค์เป็นแสงขาวซึ่งประกอบด้วยคลื่นที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ ดังนั้นภาพจากช่องแคบเปิดแสงเข้าของเครื่องเอกรงค์จะปรากฏเป็นสเปกตรัมต่อเนื่อง (continuous spectrum) ที่ตำแหน่งช่องแคบเปิดแสงออก เมื่อช่องแคบเปิดแสงเข้าของเครื่องเอกรงค์เปิดกว้าง ภาพของช่องแคบซึ่งเกิดจากความยาวคลื่นต่าง ๆ จะซ้อนกันมาก แต่ถ้าสามารถลดความกว้างของช่องแคบนี้ให้เล็กลงมาก ๆ จนทำให้ที่แต่ละจุดบนสเปกตรัมต่อเนื่องนั้นเกิดจากความยาวคลื่นแต่ละค่า เพียงค่าเดียวได้แล้ว กล่าวได้ว่า แสงที่ได้จากแต่ละจุดบริสุทธิ์[3] (pure) นอกจากนี้ขณะที่นำเครื่องเอกรงค์มาใช้งานช่องแคบเปิดแสงออกของเครื่องเอกรงค์ ซึ่งสามารถเลื่อนไปได้ตามแนวสเปกตรัมจะทำหน้าที่เป็นต้นกำเนิดแสงที่เข้าสู่ระบบทัศน์ใด ๆ แสงที่ออกจากต้นกำเนิดแสงใหม่นี้จะบริสุทธิ์หรือไม่จะขึ้นกับความกว้างของช่องแคบเปิดแสงออกของเครื่องเอกรงค์ด้วย ซึ่งในหัวข้อนี้จะบอกความไม่บริสุทธิ์ของแสงโดยใช้ค่าครึ่งความกว้าง (half - width) ของแสงที่ออกจากช่องแคบเปิดแสงออกของเครื่องเอกรงค์ เมื่อช่องแคบนี้มีขนาดต่าง ๆ กัน

เมื่อให้แสงผ่านเกรติง ตำแหน่งภาพของช่องเปิดแสงจะหาได้จากสมการ

$$d \sin \theta = m\lambda \qquad \text{.....(6.3)}$$

เมื่อ d เป็นระยะระหว่างร่องที่ติดกันของเกรติง

θ เป็นมุมเบี่ยงเบนของภาพของช่องเปิดอันดับที่ m

m เป็นอันดับที่ของการแทรกสอด ($m = 0,1,2,...$)

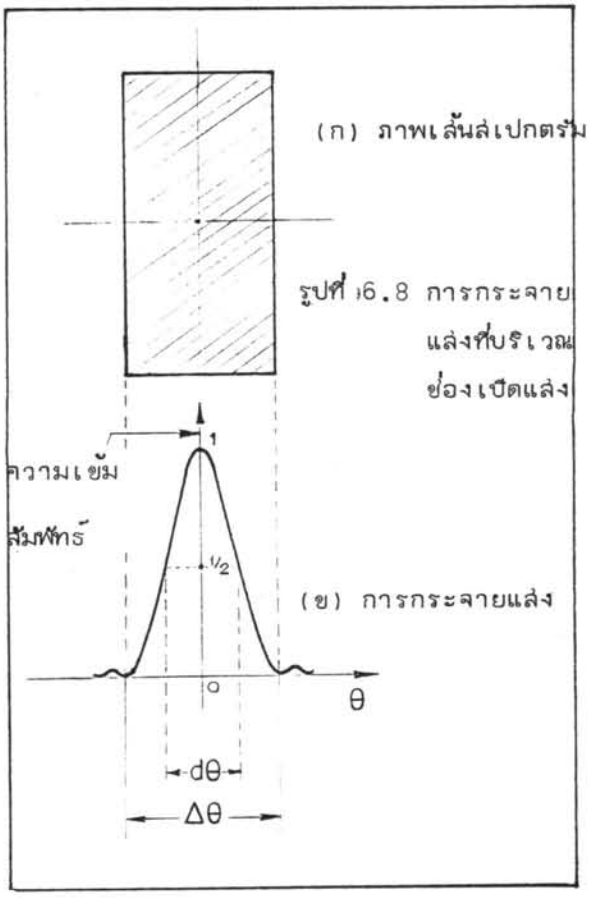
และ λ เป็นความยาวคลื่นแสงที่ทำให้เกิดภาพอันดับที่ m

สำหรับมุม θ ที่เปลี่ยนไปเล็กน้อยเป็น $d\theta$ เรเดียน เมื่อความยาวคลื่นเปลี่ยนไป $d\lambda$ จะได้

$$d \cos \theta \, (d\theta) = m(d\lambda) \qquad \text{.....(6.4)}$$

นั่นก็คือ ถ้าตำแหน่งภาพเปลี่ยนไปเป็นมุมเล็กน้อย ($d\theta$) ย่อมหมายถึงแสงที่มาถึงตำแหน่งนั้นจะมีความยาวคลื่นเปลี่ยนไปเป็น $d\lambda$

การกระจายของแสงที่บริเวณของช่องเปิดแสง จะเป็นดังแสดงในรูปที่ 6.8 ตำแหน่งกึ่งกลางของช่องเปิดคือ θ ครึ่งความกว้างของแสงที่ออกจากช่องแคบคือ dλ ซึ่งจะหาได้จากการวัดมุม Δθ โดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ซึ่ง Δθ = 2 dθ และหาค่า dλ ด้วยสมการ (6.4) เกรตติงที่ใช้กับสเปกโตรมิเตอร์ต้องมีกำลังแยกดีกว่าเกรตติงที่ใช้ในเครื่องเอกรงค์ ในการทดลองนี้เกรตติงที่ใช้ในสเปกโตรมิเตอร์มีความยาวเฉลี่ย 2.54 เซนติเมตร โดยมีจำนวนร่อง 14500ร่อง ต่อ 2.54 เซนติเมตร ในขณะที่เกรตติงในเครื่องเอกรงค์มีความยาวเฉลี่ย 2.4 เซนติเมตร และ มีจำนวนร่อง 10000 ร่อง ต่อ 2.54 เซนติเมตร จัดอุปกรณ์ทดลองดังรูปที่ 6.5 โดยที่ช่องแคบเปิดแสงเข้าของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์เปิดให้แคบเท่าที่อุปกรณ์ทดลองทำงานได้ดี ซึ่งวัดด้วยกล้องจุลทัศน์แบบเลื่อนได้ 0.015 เซนติเมตร สำหรับความกว้างของช่องแคบเปิดแสงเข้าและของช่องแคบเปิดแสงออกของเครื่องเอกรงค์ จะปรับให้ได้ขนาดที่สอดคล้องกันเช่นเดียวกับการทดลองวัดแสง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 6.4 โดย ช่องแคบเปิดแสงเข้าของเครื่องเอกรงค์เปิดให้กว้างขนาดต่าง ๆกัน 9 ค่า ตัวอักษร a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8 และ a_9 แทนขนาดความกว้างของช่องแคบเปิดแสงเข้าของเครื่องเอกรงค์ และค่า a_1 ถึง a_9 แสดงไว้ในตารางที่ 6.5 เมื่อนำค่า a ต่าง ๆ และค่าเฉลี่ยของ dλ จากตารางที่ 6.5 ไปเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 6.9 และจากการทดลองสังเกตได้ว่า ถ้าช่องแคบมีความกว้างน้อยลง ภาพของเส้นสเปกตรัมไม่คมชัด แต่จากกราฟจะเห็นว่า แสงมีความบริสุทธิ์มากขึ้น



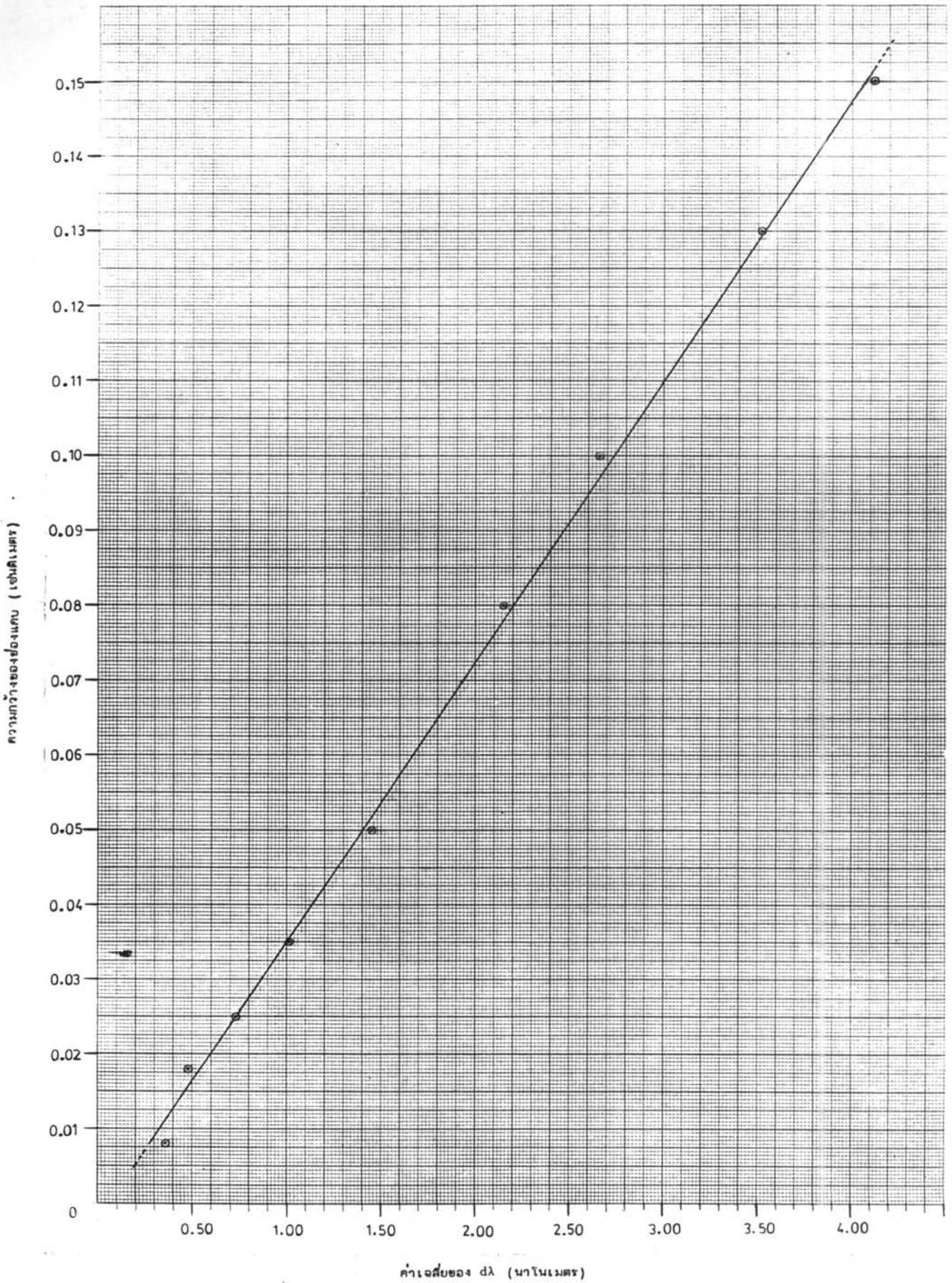
รูปที่ 6.8 การกระจายแสงที่บริเวณช่องเปิดแสง

จากการพิจารณาความเข้มของแสง และความบริสุทธิ์ของแสง พอสรุปได้ว่า ช่องแคบเปิดแสงเข้าที่จะให้ผลเลิศสำหรับเครื่องเอกรงค์นี้ ควรเปิดกว้างในช่วง 0.018 เซนติเมตร ถึง 0.05 เซนติเมตร ดังนั้นในการทดลองเครื่องเอกรงค์กับหลอดไฟมาตรฐานและกับหลอดทังสเตน-ฮาโลเจน จึงเปิดช่องแคบเปิดแสงเข้าให้กว้าง 0.025 เซนติเมตร โดยช่องแคบเปิดแสงออกเปิดกว้าง 0.023 เซนติเมตร เพื่อให้เป็นไปตามอัตราส่วนของทางยาวโฟกัสดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อที่ 4 ของบทที่ 6

ตารางที่ 6.5 ผลการหาความยาวคลื่นของแสง

a_1 = 0.15 ซม. a_4 = 0.08 ซม. a_7 = 0.025 ซม.
a_2 = 0.13 ซม. a_5 = 0.05 ซม. a_8 = 0.018 ซม.
a_3 = 0.10 ซม. a_6 = 0.035 ซม. a_9 = 0.008 ซม.

λ (นาโนเมตร)	θ (องศา)	$d\theta = \Delta\theta/2$ (ลิบดา)									$d\lambda = 2.54(\cos\theta)(d\theta)/14500$ (นาโนเมตร)								
		a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
434.1	14.33	8.5	7.25	5.5	4.5	3.0	2.0	1.5	1.0	0.75	4.20	3.58	2.72	2.22	1.48	0.99	0.74	0.49	0.37
435.8	14.38	8.5	7.25	5.5	4.5	2.75	2.0	1.5	1.0	0.75	4.20	3.58	2.71	2.22	1.35	0.99	0.74	0.49	0.37
447.2	14.78	8.5	7.25	5.75	4.5	3.0	2.0	1.5	1.0	0.75	4.19	3.57	2.83	2.22	1.48	0.99	0.74	0.49	0.37
471.3	15.59	8.5	7.25	5.5	4.25	3.0	2.0	1.5	1.0	0.75	4.17	3.56	2.70	2.08	1.47	0.98	0.74	0.49	0.37
486.2	16.12	8.5	7.25	5.5	4.5	3.25	2.25	1.5	1.0	0.75	4.16	3.55	2.69	2.20	1.59	1.10	0.73	0.49	0.37
492.2	16.33	8.5	7.25	5.2	4.5	3.25	2.0	1.5	1.0	0.75	4.16	3.54	2.57	2.20	1.59	0.98	0.73	0.49	0.37
546.1	18.18	8.5	7.25	5.5	4.25	3.0	2.25	1.5	1.0	0.75	4.11	3.51	2.66	2.06	1.45	1.09	0.73	0.48	0.36
579.1	19.32	8.5	7.25	5.75	4.25	3.0	2.0	1.5	1.0	0.75	4.09	3.49	2.76	2.04	1.44	0.96	0.72	0.48	0.36
587.6	19.62	8.5	7.25	5.5	4.5	3.0	2.0	1.5	1.0	0.75	4.08	3.48	2.64	2.16	1.44	0.96	0.72	0.48	0.36
589.3	19.67	8.5	7.25	5.5	4.5	3.25	2.0	1.5	1.0	0.75	4.08	3.48	2.64	2.16	1.56	0.96	0.72	0.48	0.36
656.3	21.97	8.5	7.25	5.25	4.5	2.75	2.25	1.5	1.0	0.75	4.02	3.43	2.48	2.13	1.42	1.06	0.71	0.47	0.35
667.8	22.38	8.5	7.25	5.5	4.5	3.0	2.25	1.5	1.0	0.75	4.00	3.42	2.59	2.12	1.41	1.06	0.71	0.47	0.35
ค่าเฉลี่ย											4.12	3.52	2.66	2.15	1.47	1.01	0.73	0.48	0.36



รูปที่ 6.9 กราฟระหว่างความกว้างของช่องแคบและค่าเฉลี่ยของ dλ