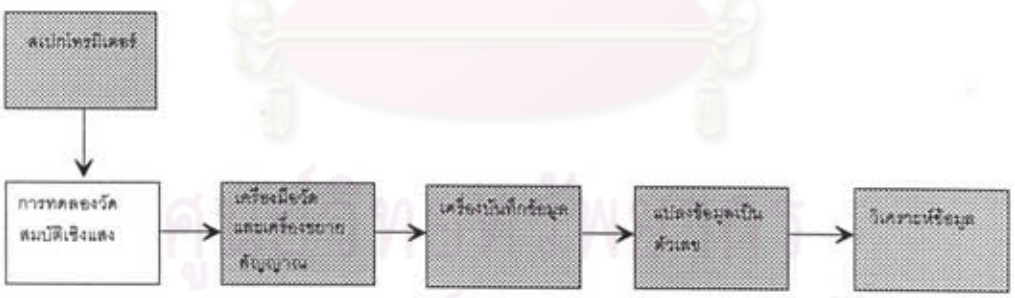
บทที่ 3

ระบบวัดสมบัติเชิงแสงแบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

ในบทนี้จะกล่าวถึงระบบวัดที่ได้สร้างขึ้นรายละเอียดของเครื่องมือที่ใช้การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมควบคุมการทำงาน

แนวความคิดพื้นฐานของระบบวัด

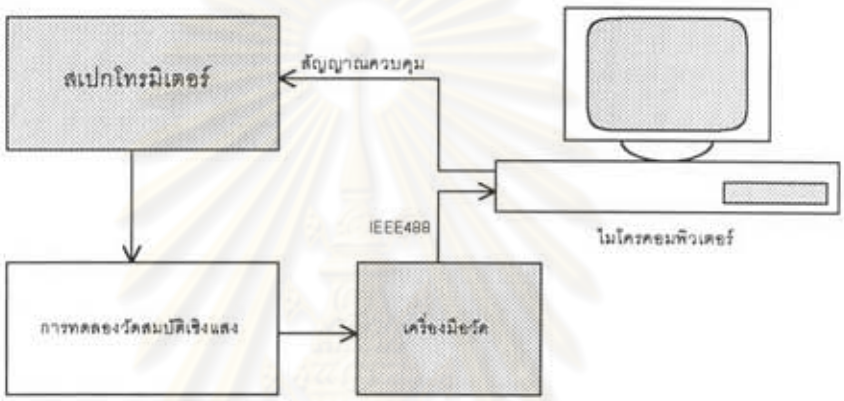
เครื่องมือวัดที่ใช้ในการศึกษาสมบัติเชิงแสงของสารกึ่งตัวนำโดยทั่วไปประกอบ ด้วย หัววัด(Detector) เครื่องขยายสัญญาณลอกอิน (Lock-In Amplifier) เครื่องสเปกโทรมิเตอร์ แหล่งกำเนิดแสง และเครื่องแสดงผล (x-y recoder)เครื่องมือเหล่านี้จะถูกนำมาใช้งานในหน้าที่ต่างๆกัน ขึ้นอยู่กับเทคนิคในการวัดคุณสมบัติเชิงแสงในแต่ละแบบ เมื่อผู้วิจัยได้ข้อมูลจากการวัดแล้วจะนำมาวิเคราะห์เชิงตัวเลขแต่เพราะว่าข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดนั้นเป็นข้อมูลเชิงเส้น ดังนั้นจึงต้องมีการแปลงข้อมูลเชิงเส้นให้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขเสียก่อน แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานในระบบวัดแบบเดิมแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงระบบวัดและวิเคราะห์ข้อมูลสมบัติเชิงแสงแบบเดิม ส่วนที่มีสีทึบคือส่วนที่ใช้คนควบคุมการทำงานตลอดการทดลอง

การวัดสมบัติเชิงแสงในระบบเดิมจะได้ข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้อผิดพลาดของผู้ทดลอง(human error)ทั้งในขณะควบคุมสเปกโทรมิเตอร์และขณะแปลงข้อมูลเชิงเส้นเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขโดยการพัฒนาเทคโนโลยีในปัจจุบันที่ออกแบบให้คอมพิวเตอร์สามารถคำนวณได้ถูกต้องรวดเร็วและมีความสามารถในการทำงานแบบซ้ำกันได้

อย่างแม่นยำ จากคุณสมบัติดังกล่าวเราจึงนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในส่วนของการควบคุม สเปก-โทรมิเตอร์ การบันทึกข้อมูล การแสดงผล และการวิเคราะห์ข้อมูล แผนภาพแสดงการ ทำงานของระบบวัดที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์แสดงในรูปที่ 3.2 ระบบนี้สามารถนำไปประยุกต์ ใช้ได้กับการทดลองวัดสมบัติเชิงแสงในหลายเทคนิคเช่น การวัดสมบัติการดูดกลืนแสง(optical absorption) การทดลองโฟโตรีเฟลกแทนซ์ (photoreflectance) การทดลองโฟโตลูมิเนสเซนส์ (photoluminescene) เป็นต้น



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงระบบวัดสมบัติเชิงแสงแบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะเก็บข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดผ่านทางพอร์ทขนาน (IEEE488) และส่งสัญญาณควบคุมการทำงานของสเปกโทรมิเตอร์

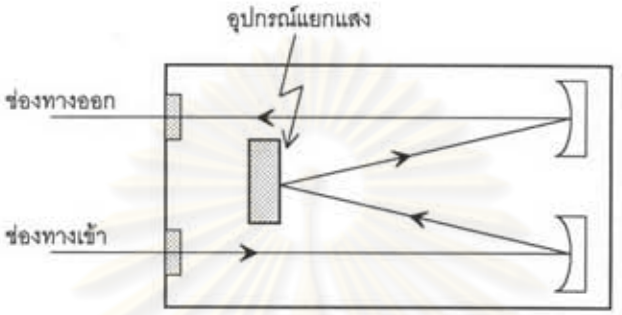
ในส่วนต่อไปเราจะศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่จะนำมาเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ เพื่อสร้างเป็นระบบควบคุมและวัดสมบัติเชิงแสงแบบอัตโนมัติ

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองต่างๆเราจำเป็นต้องศึกษาให้เข้าใจถึงหลักการทำงานพื้นฐานและการใช้งานโดยละเอียดเพื่อที่จะนำเครื่องมือเหล่านั้นมาประยุกต์ใช้ใน การทดลองได้เหมาะสมและถูกต้องกับหน้าที่การทำงานของมันซึ่งจะทำให้เกิดความมั่นใจกับข้อมูลต่างๆ ที่ได้

1.เครื่องกำเนิดแสงเอกรงค์ (Monochromator)

เครื่องกำเนิดแสงเอกรงค์เป็นเครื่องที่ใช้แยกแสงที่มีความยาวคลื่นแบบต่อเนื่อง จะให้แสงออกมาเป็นแสงสีเดียว(monochromatic light)มีองค์ประกอบหลักได้แก่



รูปที่ 3.3 แสดงองค์ประกอบหลักของเครื่องกำเนิดแสงเอกรงค์

1.ช่องทางเข้า(entrance aperture)

2.อุปกรณ์รวมแสง(collimating element)

3.อุปกรณ์แยกแสง(dispersing element)

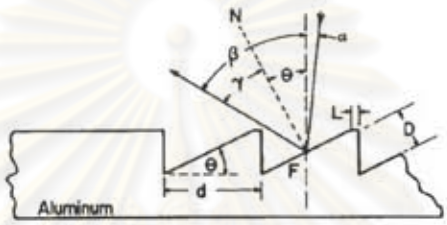
4.อุปกรณ์โฟกัสแสง(focusing element)

5.ช่องทางออก(exit aperture)

อุปกรณ์ที่ใช้แยกแสงอาจจะเป็นปริซึ่มหักเห (refraction prism) เกรทติงเลี้ยวเบน (diffraction grating) หรืออาจจะใช้ทั้งสองชนิดผสมกัน ส่วนอุปกรณ์รวมแสงอาจจะเป็นเลนส์กระจกเว้าหรืออาจจะรวมอุปกรณ์แยกแสงเป็นชิ้นเดียวกันเช่นในกรณีของ Fery-prism spectrometer นอกจากองค์ประกอบต่างๆของเครื่องกำเนิดแสงเอกรงค์แล้วความสามารถในการแยกแสง(ResolvingPower) และความส่องสว่าง(Luminosity)ก็เป็นอีกส่วนที่เราจะต้องพิจารณาในการใช้งานในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงเครื่อง กำเนิดแสงเอกรงค์แบบที่ใช้เกรทติงเป็นตัวแยกแสงซึ่งมีระบบควบคุมที่สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้

เครื่องกำเนิดแสงเอกรงค์แบบที่ใช้เกรทติงเป็นตัวแยกแสง

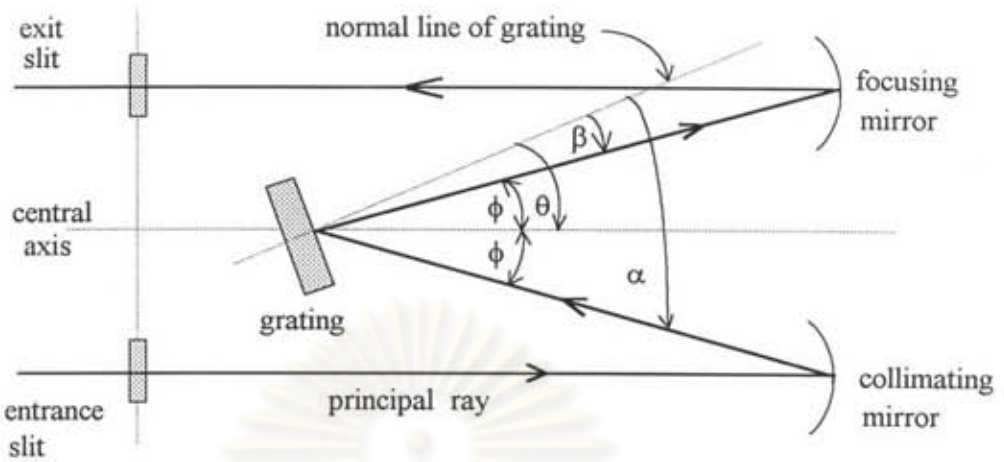
เกรทติงที่ใช้งานมีหลายรูปแบบ เช่น เกรทติงแบบระนาบ (plane grating) แบบโค้ง (concave grating) ทั้งสองแบบอาจถูกออกแบบให้เป็นเกรทติงแบบส่องผ่าน (transmission grating) หรือแบบสะท้อนแสง (reflaction grating) พิจารณาเกรทติงแบบสะท้อนแสงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของเกรทติงแบบสะท้อนแสง

เมื่อมีลำแสงมาตกกระทบทำมุม α เทียบกับเส้นปกติที่ตั้งฉากกับผิวสะท้อนแสงของเกรทติงซึ่งมีระยะห่างระหว่างร่องของเกรทติงเท่ากับ d ดังรูปที่ 3.4 [6] ระยะห่างของลำแสงตกกระทบ(path difference) บนร่อง (groove) ซึ่งอยู่ติดกัน คือ $d\sin\alpha$ เมื่อลำแสงนี้เลี้ยวเบนจากผิวของเกรทติงทำมุม β กับเส้นปรกติจะมีระยะห่างระหว่างแนวลำแสงเลี้ยวเบนเท่ากับ $d\sin\beta$ ดังนั้นเราจะได้ระยะห่างระหว่างลำแสงตกกระทบและลำแสงเลี้ยวเบนเป็นผลรวมเชิงพีชคณิตเท่ากับ $d(\sin\alpha \pm \sin\beta)$ เครื่องหมายบวกแสดงว่าลำแสงทั้งสองอยู่ด้านเดียวกับเส้นปกติ ในทางตรงกันข้ามเครื่องหมายลบแสดงว่าแนวลำแสงทั้งสองอยู่คนละด้านกัน

ในส่วนต่อไปจะนำสมการพื้นฐานของเกรทติไปใช้ในการคำนวณเพื่อสร้างเป็นสเปกโทรมิเตอร์



รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของแสงตกกระทบ (α)
มุมของแสงที่เลี้ยวเบน (β)ออกจากเกรทติง
มุมระหว่างเส้นปกติของเกรทติงกับเส้นแกนกลางเครื่อง (θ)และ
มุมระหว่างเส้นแกนกลางกับแสงตกกระทบและแสงเลี้ยวเบน (ϕ)

สมการพื้นฐานของการแยกแสงด้วยเกรทติง[7]

$$m\lambda = d(\sin\alpha + \sin\beta) \qquad (3.1)$$

m คือ ลำดับที่ของการเลี้ยวเบน

λ คือ ค่าความยาวคลื่น

d คือ ระยะห่างระหว่างช่องของเกรทติง (grating spacing)

α คือ มุมของแสงตกกระทบ

β คือ มุมของแสงเลี้ยวเบน (angle of diffraction)

เนื่องจาก

$$\alpha = \theta + \phi \qquad (3.2)$$

$$\beta = \theta - \phi \qquad (3.3)$$

แทนค่าสมการที่(3.2)และ(3.3)ลงในสมการที่ (3.1)

$$m\lambda = d(\sin(\theta + \phi) + \sin(\theta - \phi))$$

$$= d(\sin\theta\cos\phi + \cos\theta\sin\phi + \sin\theta\cos\phi - \cos\theta\sin\phi)$$

จะได้สมการสุดท้ายดังนี้

$$m\lambda = 2d(\sin\theta\cos\phi) \quad (3.4)$$

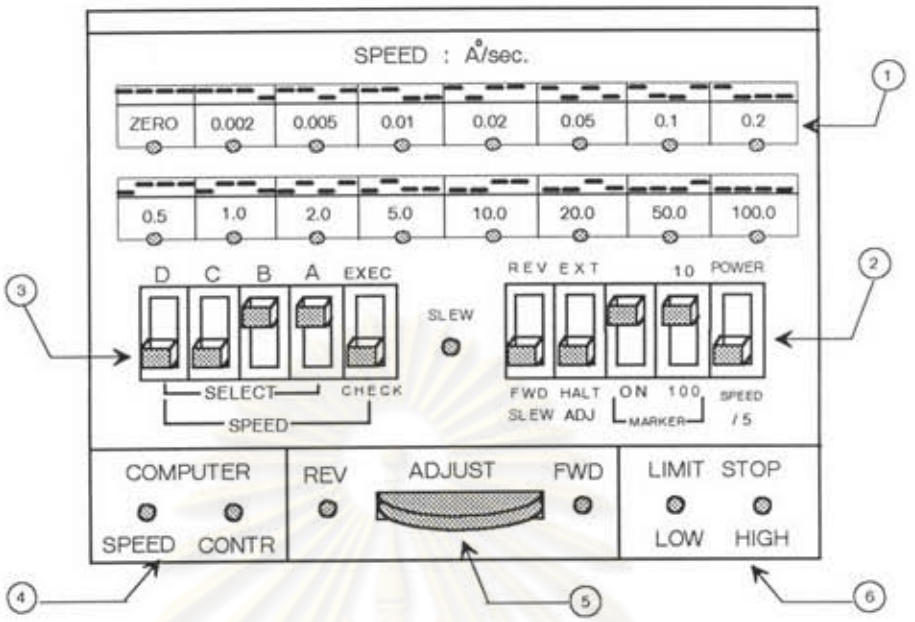
ซึ่งเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวคลื่น (λ) กับมุม(θ)ระหว่างเส้นปกติของเกรทติงกับเส้นแกนกลางของเครื่องกำเนิดแสงเอกรงค์

เครื่องกำเนิดแสงเอกรงค์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นเครื่องของบริษัท SPEX Industries, Inc. model 1702 มีระยะจากเกรทติงถึงกระจกสะท้อนแสงเท่ากับ 3/4 เมตรและมีค่ามุม ϕ เท่ากับ 6° 51'30" และ $\cos\phi$ เท่ากับ 0.9928 เกรทติงที่ใช้เป็นแบบสะท้อนแสงมีค่า 600 gr/mm และมีค่า d เท่ากับ 1.7 μm แทนค่า $\cos\phi$ ลงในสมการที่ 3.4 จะได้

$$m\lambda = 1.9856d\sin\theta \quad (3.5)$$

เครื่องควบคุมการทำงานของสเปกโทรมิเตอร์ (SPEX Compudrive)[7]

เครื่องควบคุมการทำงานของสเปกโทรมิเตอร์สามารถกำหนดความเร็วในการเปลี่ยนความยาวคลื่นได้หลายระดับ กำหนดทิศทางเพิ่มหรือลดค่าความยาวคลื่นได้ และยังสามารถส่งสัญญาณ maker ที่ทุกๆค่าความยาวคลื่นตามที่กำหนดไว้เพื่อเป็นการตรวจสอบตำแหน่งค่าความยาวคลื่นที่เปลี่ยนไป นอกจากนั้นยังมีพอร์ทสำหรับใช้การควบคุมจากอุปกรณ์ภายนอกได้ ลักษณะของเครื่องและส่วนการควบคุมต่างๆแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของเครื่องควบคุมสเปกโทรมิเตอร์ (SPEX Compudrive)

ส่วนต่างๆของเครื่องประกอบไปด้วย

1.ตารางแสดงสถานะความเร็วของการเปลี่ยนความยาวคลื่นอยู่ในหน่วย A/sec.

2.กลุ่มของสวิทช์ควบคุมการทำงาน

สวิทช์ Power สวิทช์นี้ถ้าเลื่อนขึ้นบนจะอยู่ในโหมดความเร็วสูง แต่ถ้าเลื่อนลงล่างจะอยู่ในโหมดความเร็วต่ำค่าความเร็วที่แสดงในตารางข้อหนึ่งจะถูกหารด้วย 5

สวิทช์ Marker เมื่ออยู่ในตำแหน่ง on จะส่งสัญญาณออกมาทุก 10 หรือ 100 อังสตรอม(ในกรณีที่อยู่ในโหมดความเร็วต่ำจะเป็น 2 และ 10 ตามลำดับ)ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของสวิทช์

สวิทช์เลือกการควบคุมจากภายนอกเมื่อเลื่อนขึ้น (EXT)หรือเมื่อเลื่อนลง (HALT ADJ)จะหยุดการทำงานแล้วอยู่ในโหมดการเลื่อนความยาวคลื่นแบบละเอียด

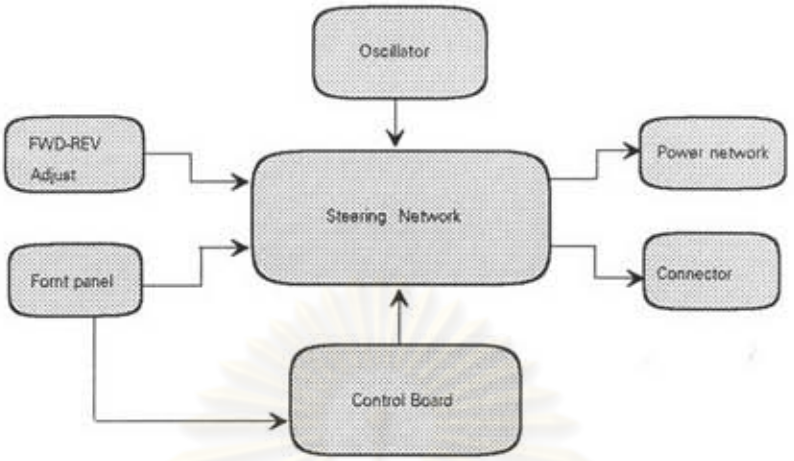
สวิทช์เลือกการเดินหน้าหรือถอยหลังของความยาวคลื่นด้วยความเร็วสูงสุด

3.กลุ่มของสวิทช์กำหนดความเร็ว(ดูการจัดสวิทช์ตามข้อหนึ่ง)

4.ไฟแสดงสถานะการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

5.แป้นเลื่อนความยาวคลื่นทั้งเดินหน้าและถอยหลังอย่างละเอียด

6.ไฟแสดงสถานะของระบบป้องกันการหมุนของเกรทติงที่ตำแหน่งของมุมบิดสูงสุด (high limit)หรือที่ตำแหน่งมุมบิดต่ำสุด (low imit)



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรหลักส่วนต่างๆของเครื่องควบคุมสเปกโทรมิเตอร์

เพื่อที่จะควบคุมการทำงานของเครื่องควบคุมสเปกโทรมิเตอร์โดยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เราจำเป็นต้องศึกษาลักษณะการทำงานของวงจรควบคุมซึ่งมีส่วนของวงจรหลักดังรูปที่ 3.9 จากการศึกษาวงจรควบคุมการทำงานทำให้ทราบว่าเราสามารถที่จะควบคุมการทำงานในทุกฟังก์ชันที่กล่าวแล้วข้างต้นโดยคอมพิวเตอร์ได้

การเชื่อมต่อเครื่องควบคุมการทำงานของสเปกโทรมิเตอร์กับไมโครคอมพิวเตอร์

เนื่องจากจำนวนสัญญาณที่ใช้ในการควมคุมมีมากดังนั้นเราจึงเลือกใช้การควบคุมเป็นแบบพอร์ทขนานและเลือกใช้ 8255 card ซึ่งเป็นพอร์ทขนานที่ง่ายต่อการใช้งาน การเชื่อมต่อระหว่างเครื่องควบคุมสเปกโทรมิเตอร์กับ 8255 card แสดงในตารางที่ 1

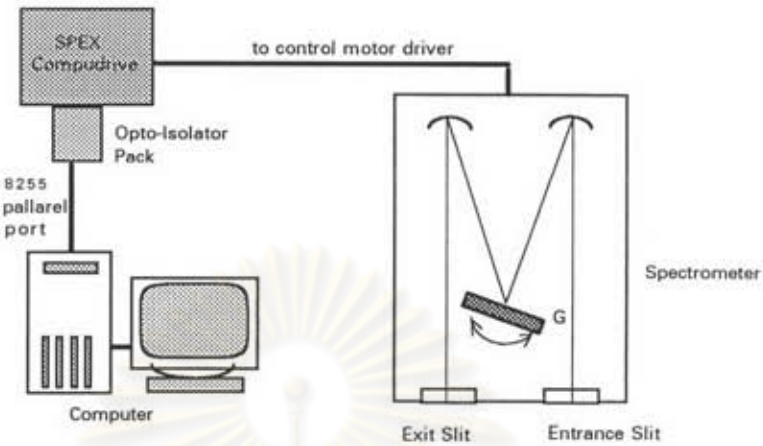
เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกันในกรณีที่เกิดข้อบกพร่องกับระบบใดระบบหนึ่งแล้วส่งผลให้เกิดความเสียหายกับอีกระบบที่เหลืออยู่ จึงได้ออกแบบให้ใช้แสงในการส่งสัญญาณ โดยใช้ Opto-Isolator pack ต่อระหว่างเครื่องควบคุมสเปกโทรมิเตอร์กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 3.8 (a) และวงจรภายในของ Opto-Isolator pack แสดงดังรูปที่ 3.8 (b) สำหรับหนึ่งสายสัญญาณ

ตารางที่ 1 แสดงการเชื่อมต่อของ SPEX Compudrive กับ Pallarel 8255 card

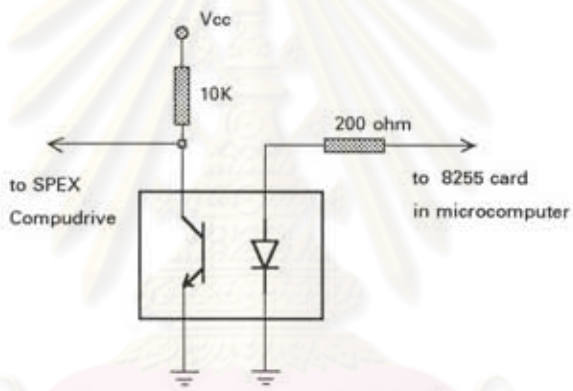
SPEX Compudrive		Pallarel 8255 card	8255 chip	
pin	description	connector pin	pin	description
1	COMP EXE	8	4	PA0
2	COMP SELECT	5	3	PA1
3	A	6	2	PA2
4	B	4	1	PA3
5	C	18	40	PA4
6	D	17	39	PA5
7	COMP SIGNAL IN	20	38	PA6
8	COMP DIR IN	19	37	PA7
9	COMP SLEW	32	18	PB0
10	COMP LOCK	34	19	PB1
11	-	-	-	-
12	+5V	37	26	VCC
13	GND	1,2	7	GND
14	COMP DIR OUT	26	14	PC0
15	SIGNAL OUT	25	15	PC1
16	5kHz OUT	-	-	-
17	COMP ADJ	36	20	PB2
18	-	-	-	-
19	TTL MARKER OUT	28	16	PC2
20	-	-	-	-
21	2000 cm^{-1} IND	-	-	-
22	4000 cm^{-1} IND	-	-	-
23	-	-	-	-
24	LIMIT LOW	-	-	-
25	LIMIT HIGH	-	-	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

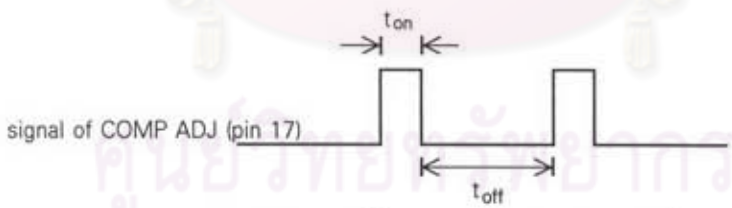
I17009572



a) แสดงการเชื่อมต่อเครื่องควบคุมสเปกโทรมิเตอร์กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์



b) วงจรภายในของ Opto-Isolator pack สำหรับหนึ่งสายสัญญาณ



c) ลักษณะสัญญาณที่ใช้กำหนดความเร็วในการเปลี่ยนความยาวคลื่น

รูปที่ 3.8 (a)แสดงการเชื่อมเครื่องควบคุมสเปกโทรมิเตอร์กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ทขนาน โดยมี(b)เป็น Opto-Isolator pack แยกสัญญาณการควบคุมไม่ให้สัญญาณต่อกันโดยตรงทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายที่จากระบบใดระบบหนึ่งแล้วจะส่งผลกับอีกระบบที่เชื่อมต่อกันอยู่ และ(c)เป็นสัญญาณที่ใช้ในการกำหนดความเร็วของการเปลี่ยนความยาวคลื่นซึ่งจะป้อนเข้าไปที่ขา 17 (COMP ADJ) ของเครื่องควบคุมสเปกโทรมิเตอร์

สัญญาณที่ใช้ในการควบคุมหลักได้แก่สัญญาณสั่งให้หยุดการทำงาน (StopSPEX) สัญญาณสำหรับการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์(CompCtrl) สัญญาณสำหรับการควบคุมจากแผงหน้าปัทม์ด้านหน้า(ManCtrl) และสัญญาณที่ใช้ในการเปลี่ยนความยาวคลื่นซึ่งจะป้อนเข้าที่ขา COMP ADJ (ขา17) สัญญาณนี้จะส่งเป็นลักษณะพัลส์(pulse signal)อย่างต่อเนื่อง ลักษณะของสัญญาณแสดงในรูปที่ 3.8 (c) โดยมีช่วงเวลาเปิด (t_{on})เป็น 30 μs ตารางที่ 2 แสดงการควบคุมเครื่องสเปกโทมิเตอร์ด้วยฟังก์ชันต่างๆ และสถานะของขาสัญญาณของเครื่อง

ตารางที่ 2 แสดงฟังก์ชันที่ใช้ควบคุมการทำงานและสัญญาณที่ขาของ SPEX

Control Function	SPEX pin										
	a	b	c	d	comp exe	comp select	comp signal	comp dir	comp slew	comp adj	comp lock
CompCtrl	x	x	x	x	1	0	0	0	1	0	1
ManCtrl	x	x	x	x	0→1	0→1	0→1	1	1	1	0→1
Pulse Gen	0	0	0	0	1	0	0	1	1	⎍	1
StopSPEX	x	x	x	x	1	0	1	1	1	0	0

หมายเหตุ

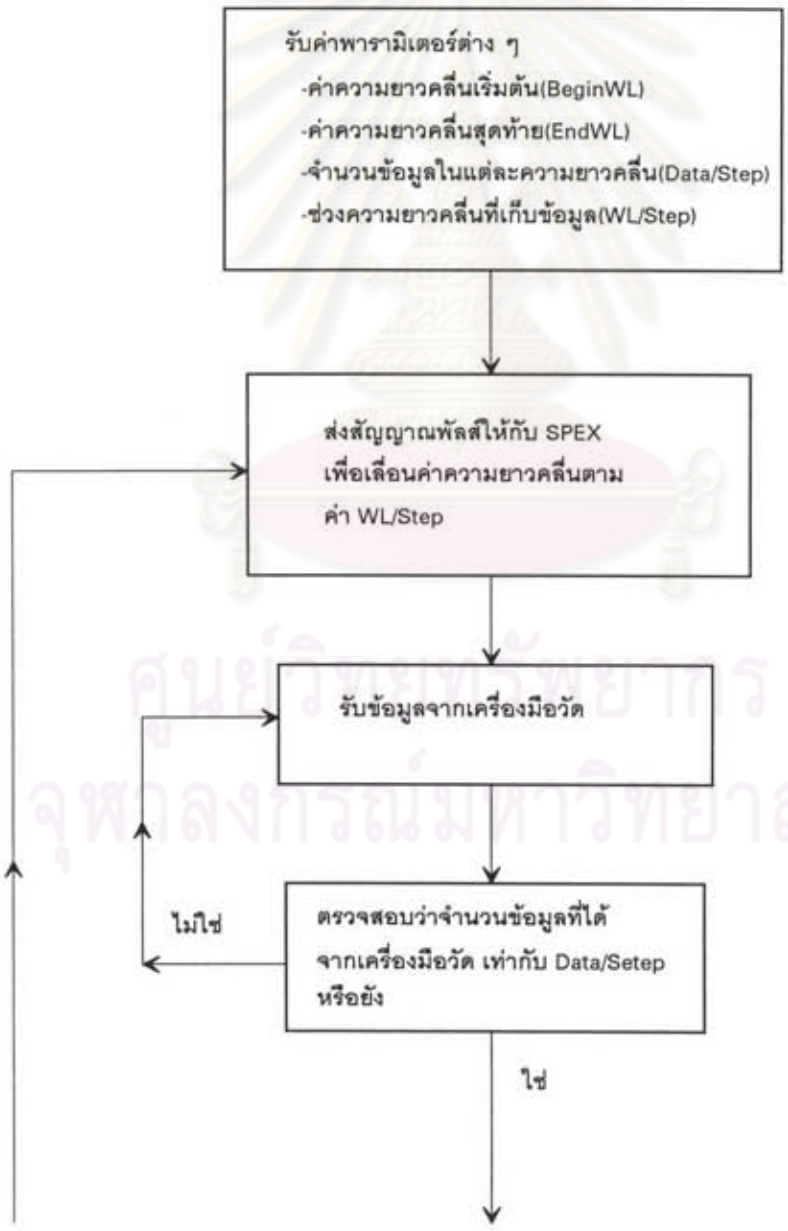
1. เครื่องหมาย 1 แสดงระดับสัญญาณสูง
2. เครื่องหมาย 0 แสดงระดับสัญญาณต่ำ
3. เครื่องหมาย x แสดงการไม่กำหนดระดับสัญญาณ

2.เครื่องมือวัด

เครื่องมือวัดที่มีใช้ในระบบได้แก่ ลอกอินแอมปลิฟลาย (Lock-in amplifier) ของบริษัท EG&G โมเดล 5210 ทำหน้าที่วัดสัญญาณที่สอดคล้องกับค่าความถี่อ้างอิง (reference frequency) และดิจิตอลมัลติมิเตอร์ของบริษัท Keithley โมเดล 196 วัดสัญญาณ DC (direct current) เครื่องวัดทั้ง 2 ชนิดได้รับการออกแบบให้สามารถเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางพอร์ทขนาน IEEE488 ทำให้ทุกฟังก์ชันที่มีบนเครื่องทั้งสองสามารถควบคุมผ่านทางไมโครคอมพิวเตอร์

โปรแกรมควบคุมการวัดและบันทึกผล

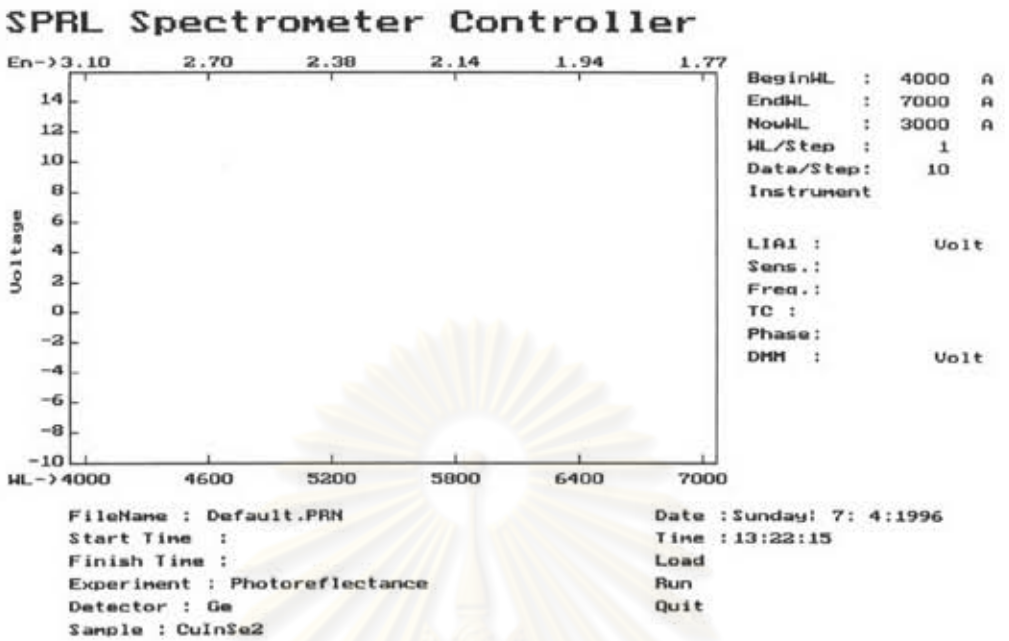
โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นจะทำหน้าที่ควบคุมการเลื่อนความยาวคลื่นของเครื่องควบคุมสเปกโทรมิเตอร์ (SPEX) พร้อมกับบันทึกข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดโดยมีลำดับขั้นการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.9 นอกจากนั้นในโปรแกรมนี้ยังมีฟังก์ชันที่จะช่วยลดสัญญาณรบกวนแบบสุ่ม (random noise) โดยจะทำการวัดข้อมูลในแต่ละความยาวคลื่นหลายๆ ค่าแล้วนำมาคำนวณเฉลี่ยหาตัวแทนข้อมูล (Data/Step) และยังมีฟังก์ชันที่สามารถกำหนดช่วงของความยาวคลื่นที่ต้องการวัดได้ (WL/Step) ลักษณะหน้าจอของโปรแกรมที่ได้สร้างขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.10



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.9 แสดงผังลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมระบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.10 แสดงหน้าจอของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย