

## บทที่ 4

### การทดสอบประสิทธิภาพของตัวส่งสัญญาณทางแสงต้นแบบ

การทดสอบประสิทธิภาพของตัวส่งสัญญาณทางแสงต้นแบบพร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) การทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมอุณหภูมิ และ (2) การทดสอบระบบ DWDM 3 ช่องสัญญาณ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของตัวส่งสัญญาณทางแสงต้นแบบในการส่งข้อมูลบนระบบ DWDM โดยมีรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

#### 4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมอุณหภูมิ

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมอุณหภูมิ เป็นการทดสอบความสามารถของวงจรควบคุมพีไอดีที่ได้ทำการออกแบบทางด้าน (1) ความเร็วในการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิรวมทั้งความยาวคลื่นของช่องสัญญาณ และ (2) การคงความนิ่งของสเปกตรัมของเลเซอร์ เพราะการรับส่งข้อมูลแบบ DWDM ต้องการความคงที่ของช่องสัญญาณให้เป็นไปตามค่ามาตรฐาน มิฉะนั้นจะก่อให้เกิดปัญหาสัญญาณรบกวนระหว่างช่องสัญญาณได้ (Interchannel Crosstalk)

ในท้ายที่สุดตัวส่งสัญญาณทางแสงต้นแบบพร้อมระบบควบคุมอุณหภูมินี้ จะนำไปทดสอบเพื่อส่งข้อมูลแบบ DWDM ระยะห่างช่องสัญญาณ 25 GHz ซึ่งมีรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.2 แต่เลเซอร์ EML ที่มีอยู่แต่ละมีค่าระยะห่าง 100 GHz (0.8 nm) ดังในแถวแรกของตารางที่ 4.1 ดังนั้นถ้าต้องการให้เลเซอร์ระยะห่างช่องสัญญาณ 25 GHz (0.2 nm) จึงต้องปรับเปลี่ยนอุณหภูมิให้กับเลเซอร์ดังกล่าวในแถวขวาสุดของตาราง

ตารางที่ 4.1 การกำหนดช่องสัญญาณให้กับตัวส่งสัญญาณทางแสง

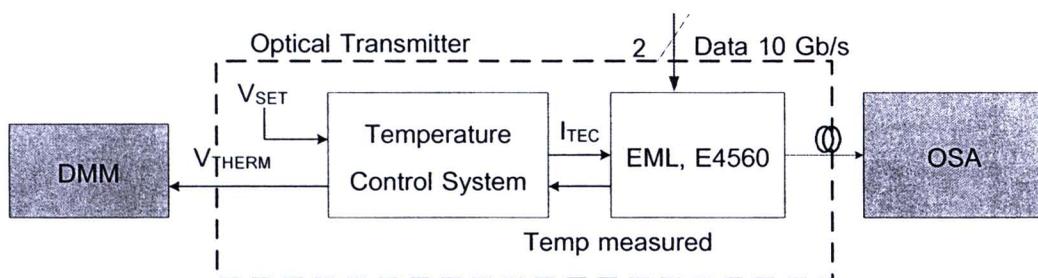
TX	$\lambda$ In 100 GHz DWDM(nm)	$\lambda$ in 25 GHz DWDM (nm)	Laser's temp in 100 GHz DWDM (°C)	Laser's temp in 25 GHz DWDM (°C)
1	1550.92	1551.52	30.04	36.87
2	1551.72	1551.72	28.77	28.77
3	1552.52	1551.92	29.12	22.11

จากตารางที่ 4.1 จะสังเกตได้ว่าเลเซอร์แต่ละตัวทำงานที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องทำการทดสอบเสถียรภาพของความยาวคลื่นเลเซอร์ ภายในตัวส่งสัญญาณทางแสงทั้งสามตัวเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ITU-T G.692 (Frequency Deviation) ซึ่งกำหนดให้การส่งข้อมูลแบบ DWDM ระยะห่างช่องสัญญาณ 25 GHz ด้วยอัตราข้อมูลแต่ละช่องสัญญาณ 10 Gb/s ต้องมีความยาวคลื่นคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ตั้งไว้ไม่เกิน  $\pm 10$  pm [15] ตลอดช่วงเวลาการทำงานของเลเซอร์ ดังนั้นการทดสอบนี้เลเซอร์แต่ละตัวจึงต้องมีการมอดูเลตข้อมูลตลอดเวลา ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ Bit Error Rate Tester (BERT) เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณข้อมูลทางไฟฟ้าอัตรา 10 Gb/s สำหรับการวัดทดสอบแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ (1) การวัดความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเทอร์มิสเตอร์กับความยาวคลื่นเลเซอร์, (2) การตั้งค่าอุณหภูมิและความยาวคลื่น, และ (3) การวัดความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่นเลเซอร์ โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดในหัวข้อ 4.1.1 ถึง 4.1.3 ตามลำดับ

#### 4.1.1 การวัดความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเทอร์มิสเตอร์กับความยาวคลื่นเลเซอร์

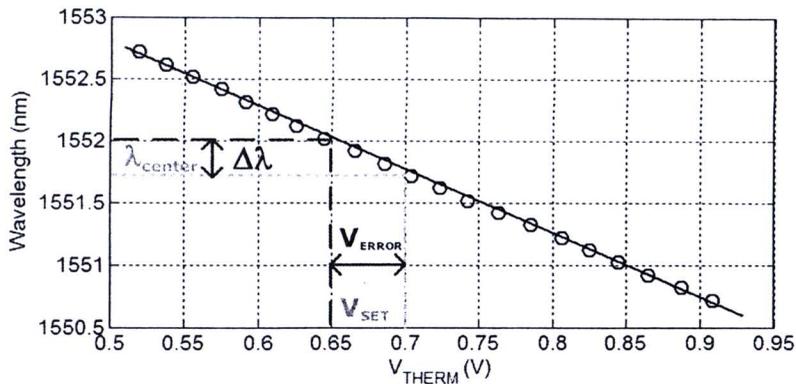
การทดสอบนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำความสัมพันธ์ที่ได้มาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมอุณหภูมิในการตั้งค่าอุณหภูมิและความยาวคลื่นในหัวข้อที่ 4.1.2 และผลการวัดความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่นเลเซอร์ในหัวข้อที่ 5.3.2 โดยข้อมูลที่จะนำไปใช้นั้นเป็นความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{THERM}$  กับ  $\lambda$

ความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{THERM}$  กับ  $\lambda$  วัดได้โดยตั้งค่าอุณหภูมิให้เลเซอร์จากแรงดันตั้งค่า ( $V_{SET}$ ) ให้ความยาวคลื่นเลื่อนไปจากช่องสัญญาณเดิม ( $\lambda_{CENTER}$ )  $\pm 0.2$  nm โดยปรับ  $V_{SET}$  ให้ความยาวคลื่นเลื่อนไปค่าละ 0.1 nm เพราะเทอร์มิสเตอร์มีคุณลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งได้กล่าวไปในหัวข้อที่ 2.2.2.1 ดังนั้นจึงต้องการบันทึกข้อมูลในช่วงแคบๆที่สามารถประมาณออกมาเป็นเชิงเส้นได้ โดยบันทึกค่า  $V_{THERM}$  ด้วยดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter, DMM) และแสดงสเปกตรัมด้วยเครื่อง OSA ซึ่งมีแผนภาพการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 4.1 และมีความสัมพันธ์ตัวอย่างระหว่าง  $V_{THERM}$  กับ  $\lambda$  แสดงดังรูปที่ 4.2 เมื่อวัดค่าความชันของเส้นกราฟนี้ได้ค่าประมาณ -5 nm/v



รูปที่ 4.1 การวัดความสัมพันธ์ของแรงดันเทอร์มิสเตอร์กับความยาวคลื่นเลเซอร์





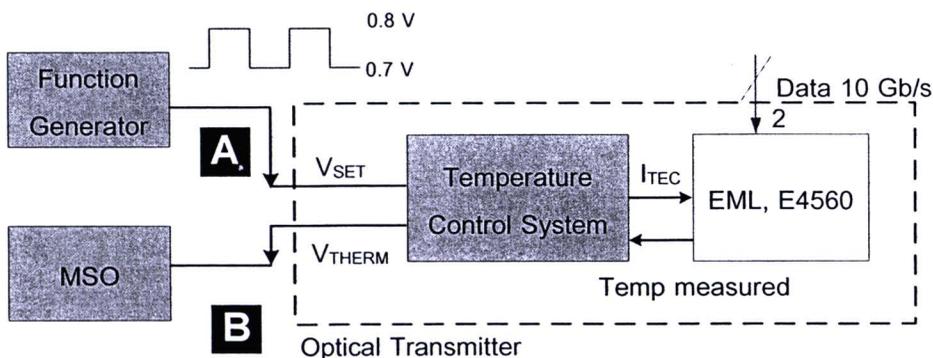
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเทอร์มิสเตอร์กับความยาวคลื่น

#### 4.1.2 การตั้งค่าอุณหภูมิและความยาวคลื่น

การวัดทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์  $V_{THERM}$  กับ  $\lambda$  ของเลเซอร์ มีจุดประสงค์เพื่อทดสอบความเร็วและความแม่นยำของวงจรควบคุมอุณหภูมิ ในการทำให้ระบบควบคุมอุณหภูมิตอบสนองตามสัญญาณตั้งค่า ( $V_{SET}$ ) ได้ โดยมีแผนภาพการเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อตั้งค่าดังรูปที่ 4.3 ในการทดสอบกำหนดสัญญาณ  $V_{SET}$  เป็นสัญญาณขาเข้าชนิดสัญญาณขั้นบันได (Step) ขนาด 0.7 V-0.8 V ที่ตำแหน่ง A เพื่อสังเกตการตอบสนองอุณหภูมิของเลเซอร์จากค่า  $V_{THERM}$  ที่ตำแหน่ง B ในการลดและเพิ่มอุณหภูมิ จากสัญญาณ  $V_{SET}$  ที่เป็นสัญญาณขั้นบันไดขาขึ้นและขาลง ตามลำดับ โดยรายละเอียดของ  $V_{SET}$  มีค่าอุณหภูมิและความยาวคลื่นแสดงตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดของสัญญาณ  $V_{SET}$  ที่ใช้ในการตั้งค่าอุณหภูมิและความยาวคลื่น

$V_{SET}$ (V)	Set Temperature (°C)	Set $\lambda$ (nm)
0.7	29	1551.72
0.8	23	1551.22



รูปที่ 4.3 แผนภาพการทดสอบการตั้งค่าอุณหภูมิและความยาวคลื่น

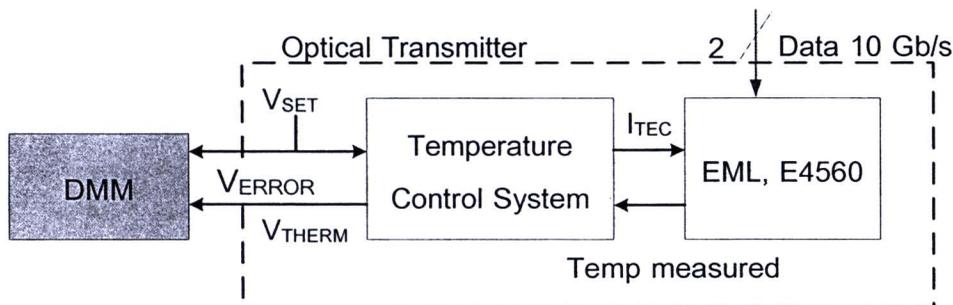
### 4.1.3 การวัดความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่นเลเซอร์

การทดสอบความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่นเลเซอร์ ( $\Delta\lambda$ ) เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของวงจรควบคุมอุณหภูมิ ในเรื่องเสถียรภาพในการควบคุมความยาวคลื่น เพราะอุณหภูมิจะส่งผลต่อความยาวคลื่นโดยตรงดังรูปที่ 4.2 และมีแผนภาพการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.4 สำหรับค่า  $\Delta\lambda(t)$  คำนวณได้ตามสมการที่ (4.1) โดยการนำค่า  $V_{ERROR}(t)$  ที่เป็นผลต่างระหว่างอุณหภูมิที่ตั้งค่า กับอุณหภูมิของเลเซอร์แต่ละเวลาที่อยู่ในรูปของแรงดันซึ่งเป็นค่า  $V_{SET}(t)$  และ  $V_{THERM}(t)$  ตามลำดับ มาคูณกับความชัน ( $\frac{d\lambda}{dV}$ ) ที่คำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{THERM}$  กับ  $\lambda$  จากหัวข้อที่ 4.1.1 จากนั้นบันทึกค่า  $V_{ERROR}(t)$  ต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลาช่วงหนึ่งจะสามารถพิจารณาแนวโน้มของค่า  $\Delta\lambda$  ได้ ซึ่งค่าดังกล่าวจะสะท้อนเสถียรภาพของวงจรควบคุมอุณหภูมิ

ค่า  $\Delta\lambda$  ที่คำนวณได้จะนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน  $\pm 10$  pm ของ ITU-T G.692 (Frequency Deviation) โดยทดสอบค่า  $\Delta\lambda$  ของสามช่องสัญญาณ คือ 1550.92 nm, 1551.72 nm และ 1551.92 nm ทั้งนี้ค่า  $\Delta\lambda$  ไม่สามารถวัดได้โดยตรงจากเครื่อง OSA เนื่องจากความละเอียดของเครื่องไม่เพียงพอ (0.06 nm) ซึ่ง  $\Delta\lambda$  ของเลเซอร์มีค่าที่ต่ำกว่ามาก

$$\Delta\lambda(t) = V_{ERROR}(t) \times \left(\frac{d\lambda}{dV}\right) \tag{4.1}$$

- โดยที่  $\Delta\lambda(t)$  คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่นเลเซอร์แต่ละเวลา  
 $V_{ERROR}(t)$  คือ ผลต่างระหว่าง  $V_{SET}(t)$  กับ  $V_{THERM}(t)$  แต่ละเวลา  
 $\frac{d\lambda}{dV}$  คือ ความชันของความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{THERM}$  กับ  $\lambda$  ในแต่ละช่องสัญญาณ



รูปที่ 4.4 แผนภาพการวัดความคลาดเคลื่อนความยาวคลื่นของเลเซอร์

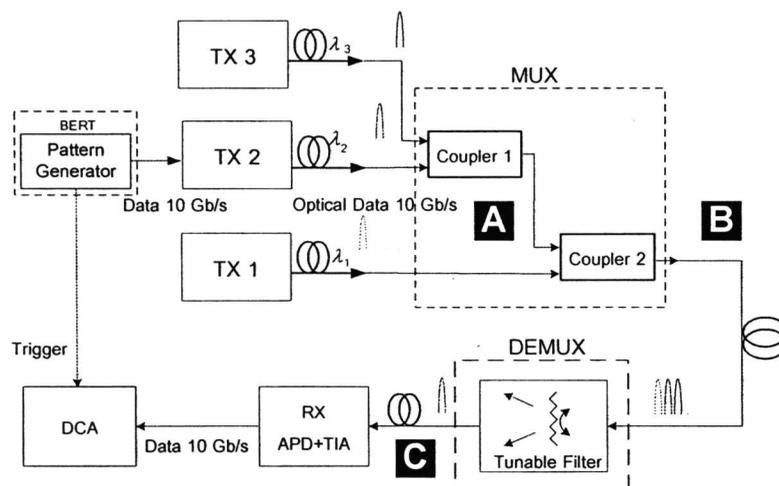
## 4.2 การทดสอบระบบ DWDM 3 ช่องสัญญาณ

การทดสอบการรับส่งข้อมูลบนระบบ DWDM 3 ช่องสัญญาณระยะห่างช่องสัญญาณ 25 GHz หรือเท่ากับ 0.2 nm ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 1550 nm ซึ่งเป็นระยะห่างที่แคบมากกว่าค่ามาตรฐานที่ใช้งานในปัจจุบันที่ 100 GHz (0.8 nm) และ 50 GHz (0.4 nm) สำหรับช่องสัญญาณที่อยู่ใกล้กันมาก ๆ นั้น ตามที่ได้กล่าวไปแล้วจะมีปัญหา Interchannel Crosstalk เกิดขึ้น ดังนั้นทางภาคส่งสัญญาณมีหน้าที่ทำให้ความยาวคลื่นในแต่ละช่องสัญญาณมีความนิ่งมากที่สุด ส่วนทางภาครับจะต้องใช้ตัวแยกสัญญาณทางแสงเป็นเครื่องมือหลักในการจำกัดสัญญาณ Interchannel Crosstalk จากช่องสัญญาณข้างเคียง เพื่อที่จะทำให้ตัวรับสัญญาณทางแสงในแต่ละช่องสัญญาณมีค่าอัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Rate, BER) ที่ดีขึ้น โดยจะแสดงการทดสอบวัดค่า Interchannel Crosstalk และ BER นี้เปรียบเทียบกับระหว่างระบบ DWDM ระยะห่างช่องสัญญาณ 25 GHz กับ 50 GHz ในหัวข้อที่ 5.4.2 และ 5.4.3 ตามลำดับ

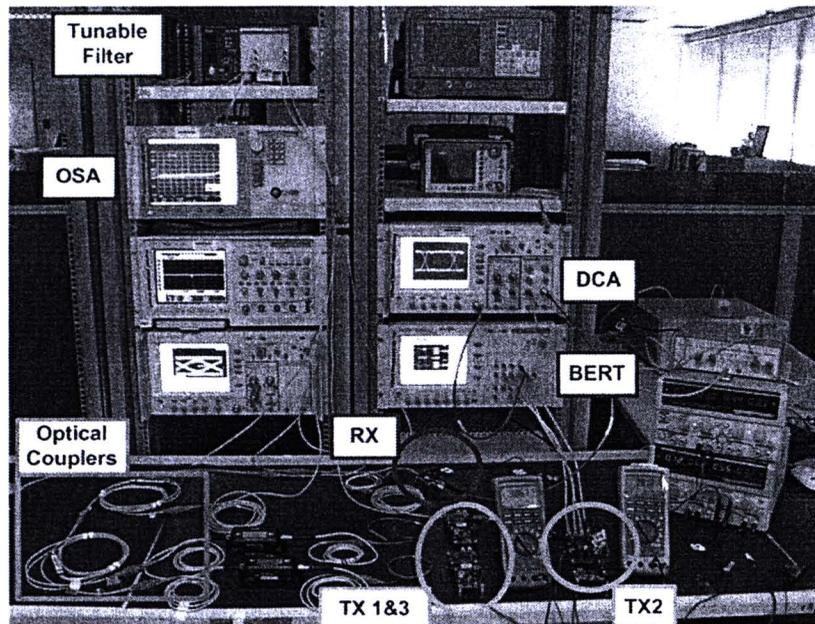
ในการทดสอบระบบ DWDM มีแผนภาพการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.5 และมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 4.6 ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ (1) ภาคส่ง และ (2) ภาครับ มีรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.2.1 และ 4.2.2 ตามลำดับ โดยทั้งสองส่วนเชื่อมต่อกันด้วยเส้นใยนำแสงระยะสั้นๆ

### 4.2.1 ภาคส่ง

ภาคส่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ (1) ตัวส่งสัญญาณทางแสง และ (2) ตัวรวมสัญญาณทางแสง โดยที่ตัวส่งสัญญาณทางแสงต้นแบบแต่ละตัวจะมีระบบควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้แสงความยาวคลื่นเป็นไปตามช่องสัญญาณ DWDM มาตรฐาน ITU-T G.694.1[8] จากนั้นแสงแต่ละช่องสัญญาณจะถูกมัลติเพล็กซ์รวมกัน ด้วยตัวรวมสัญญาณทางแสงสำหรับในกรณีนี้คือ ตัวคู่ต่อทางแสง (Fiber Coupler) ซึ่งมีแผนภาพการเชื่อมต่อดังรูปที่ 4.5 โดยแต่ละองค์ประกอบมีรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.2.1.1 และ 4.2.1.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 การเชื่อมต่อระบบเพื่อทดสอบการรับส่งข้อมูลบนระบบ DWDM



รูปที่ 4.6 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการรับส่งข้อมูลบนระบบ DWDM

#### 4.2.1.1 ตัวส่งสัญญาณทางแสง

ตัวส่งสัญญาณทางแสงต้นแบบที่ใช้ทำการทดสอบบนระบบ DWDM นี้มีทั้งสิ้น 3 ตัว โดยแต่ละตัวมีการปรับความยาวคลื่นไว้ที่ 1551.52 nm (TX1), 1551.72 nm (TX2) และ 1551.92 nm (TX3) สำหรับระบบ 25 GHz DWDM ส่วนระบบ 50 GHz DWDM จะตั้งความยาวคลื่นไว้ที่ 1551.32 nm (TX1), 1551.72 nm (TX2) และ 1552.12 nm (TX3)

เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดข้อมูลทางไฟฟ้าจากเครื่อง BERT เพียงตัวเดียวจึงทำการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลทางไฟฟ้า 10 Gb/s เฉพาะความยาวคลื่น 1551.72 nm ซึ่งเป็นช่องสัญญาณกลาง เพื่อศึกษาการรบกวนจากสองช่องสัญญาณข้างเคียง โดยสัญญาณข้อมูลจากเครื่อง BERT ใช้เป็นสัญญาณแบบผลต่าง CML ที่มีรูปแบบข้อมูลเป็นลำดับข้อมูลสุ่มเทียม (Pseudo-Random Binary Sequence, PRBS)  $2^{31}-1$  polynomial

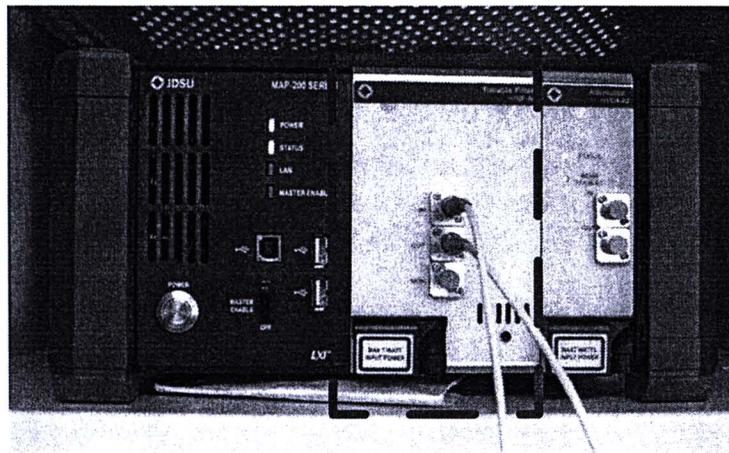
#### 4.2.1.2 ตัวรวมสัญญาณทางแสง

ตัวรวมสัญญาณทางแสงเลือกใช้เป็นตัวคู่ต่อทางแสง (Fiber Coupler) ซึ่งเป็นชนิด 2X1 คือ จะรวมสัญญาณแสงขาเข้าสองช่องสัญญาณเข้าด้วยกันออกเป็นสัญญาณแสงรวมกันพอร์ตเดียว โดยมีข้อดี คือ สามารถรวมสัญญาณแสงที่มีระยะห่างช่องสัญญาณใดๆ ได้ ในการทดสอบระบบ DWDM นี้ใช้ตัวคู่ต่อทางแสงจำนวน 2 ตัว โดยตัวแรกจะรวมแสงช่องสัญญาณ TX3 กับ TX2 และตัวคู่ต่อทางแสงตัวที่สองจะรวมช่องสัญญาณ TX1 กับสองช่องสัญญาณแรกได้เป็นแสง DWDM 3 ช่องสัญญาณ

## 4.2.2 ภาครับ

ภาครับประกอบด้วย 2 ส่วน คือ (1) ตัวแยกสัญญาณทางแสง และ (2) ตัวรับสัญญาณทางแสงแสดงแผนภาพการเชื่อมต่อดังรูปที่ 4.5 แต่ละส่วนมีรายละเอียดในหัวข้อ 4.2.2.1 และ 4.2.2.2ตามลำดับ ตัวแยกสัญญาณทางแสงเป็นตัวกรองสัญญาณแสงแบบปรับได้ (Tunable Filter) ซึ่งจะแยกเฉพาะช่องสัญญาณ 1551.72 nm ออกมา จากนั้นข้อมูลจะถูกตรวจจับด้วยตัวรับสัญญาณทางแสงที่มีตัวตรวจจับแสงชนิด APD อยู่ภายใน

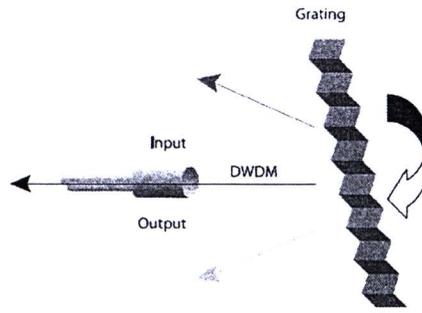
### 4.2.2.1 ตัวแยกสัญญาณทางแสง



รูปที่ 4.7 ตัวกรองสัญญาณทางแสงแบบปรับได้โมดูล mTVF-A1 โมเดล G ของบริษัท JDSU

ตัวแยกสัญญาณทางแสงที่เลือกใช้เป็นตัวกรองสัญญาณทางแสงแบบปรับได้ (Tunable Filter) โมดูล mTVF-A1 โมเดล G อยู่ภายในแพลตฟอร์ม MAP-200 ของบริษัท JDSU แสดงดังรูปที่ 4.7 โมดูลนี้สามารถแยกสัญญาณทางแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 1420 nm ถึง 1630 nm ได้ โดยใช้หลักการทำมุมของเกรตติงซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.8 [47] เพื่อสะท้อนความยาวคลื่นต่างๆ ตามที่ต้องการออกมา

โมดูล mTVF-A1 มีคุณลักษณะการสะท้อนสัญญาณทางแสงเป็นการกระจายแบบเกาส์เซียน โดยมีค่า  $-3$  dB แบนด์วิดท์  $0.25 \text{ nm} \pm 15\%$  ซึ่งแคบพอที่จะแยกสัญญาณทางแสงแบบ DWDM ซึ่งมีระยะห่าง 25 GHz หรือ 0.2 nm ได้ โดยที่ Tunable Filter นี้มีค่า Insertion Loss อย่างน้อย 5.8 dB ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง ในช่วงความยาวคลื่น 1520 nm ถึง 1610 ดังนั้นควรนำมาใช้งานร่วมกับตัวตรวจจับแสงชนิด APD

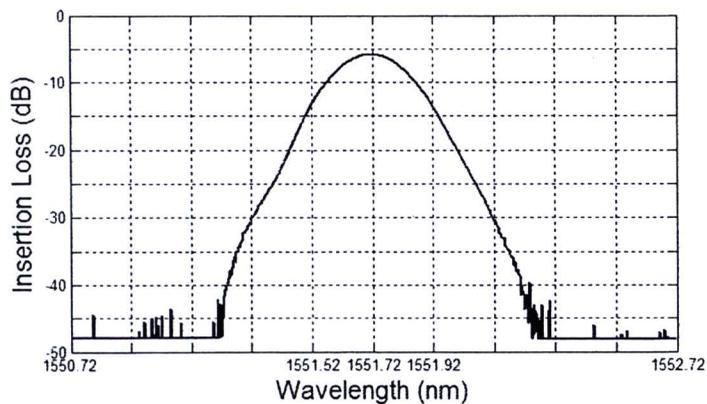


รูปที่ 4.8 หลักการทำงานของ Tunable Filter

การใช้ Tunable Filter ในระบบ DWDM เพื่อแยกช่องสัญญาณกลาง (1551.72 nm) ออกจากช่องสัญญาณข้างเคียง (1551.52 nm และ 1551.92 nm) สำหรับระบบ 25 GHz DWDM และ (1551.32 nm และ 1552.12 nm) สำหรับระบบ 50 GHz DWDM จากคุณลักษณะการแยกสัญญาณทางแสงของ Tunable Filter ที่วัดได้แสดงดังรูปที่ 4.9 ค่า Insertion Loss ที่วัดแสดงในตารางที่ 4.3 ดังนั้นจะสามารถแยกช่องสัญญาณกลางให้มีระดับกำลังแสงแตกต่างจากช่องสัญญาณข้างเคียงได้สูงสุด  $-5.867 - (-13.201) = 7.334$  dB สำหรับระบบ 25 GHz และ  $-5.867 - (-29.94) = 24.073$  dB สำหรับระบบ 50 GHz DWDM ซึ่งค่าผลต่างระดับกำลังแสงที่คำนวณได้นี้จะเป็นค่า Interchannel Crosstalk จากช่องสัญญาณข้างเคียง

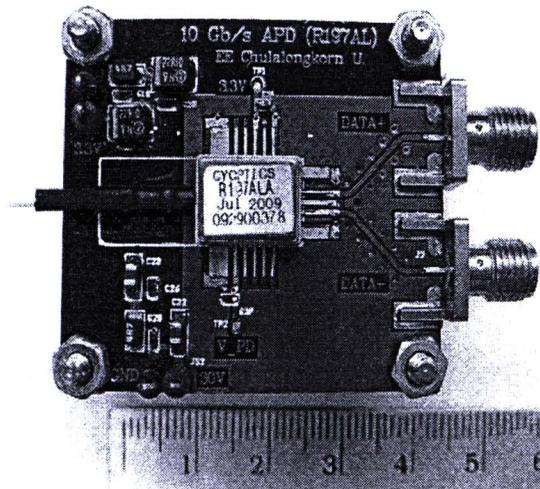
ตารางที่ 4.3 ค่า Insertion Loss ของช่องสัญญาณต่างๆ เมื่อผ่าน Tunable Filter

$\lambda$ in 25-GHz DWDM (nm)	Insertion Loss (dB)	$\lambda$ in 50-GHz DWDM (nm)	Insertion Loss (dB)
1551.52	-13.201	1551.32	-29.94
1551.72	-5.867	1551.72	-5.867
1551.92	-13.584	1552.12	-30.607



รูปที่ 4.9 คุณลักษณะการแยกแสงของ Tunable Filter

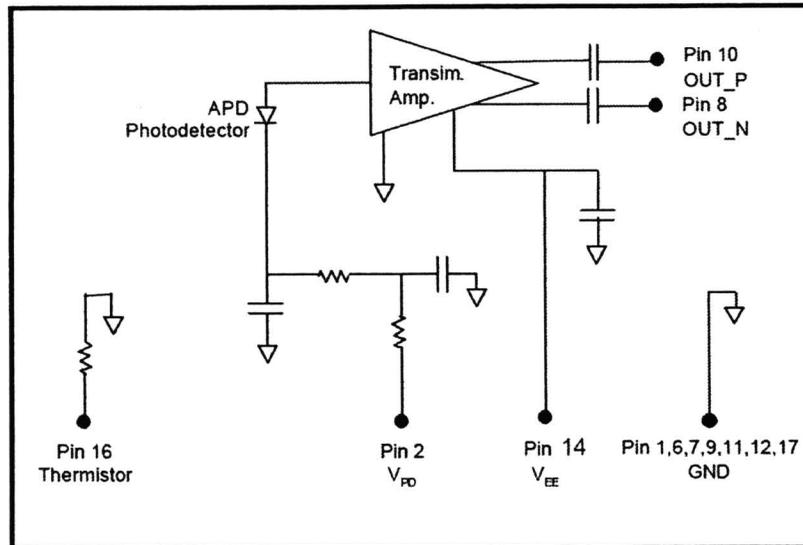
#### 4.2.2.2 ตัวรับสัญญาณทางแสง



รูปที่ 4.10 รูปตัวรับสัญญาณทางแสงที่ใช้ตัวตรวจจับแสงชนิด APD

ตัวรับสัญญาณทางแสงที่เลือกใช้ ภายในใช้ตัวตรวจจับแสง APD โมดูล R197AL ของบริษัท CyOptics แสดงดังรูปที่ 4.10 เนื่องจาก APD มีค่า Power Sensitivity ที่ดี (-26.5 dBm) [48] จึงสามารถนำมาใช้ตรวจจับแสงที่มีกำลังแสงระดับต่ำๆ เช่น ผลของสัญญาณ Crosstalk เพื่อศึกษาการรบกวนกันของช่องสัญญาณข้างเคียงได้ ซึ่งถ้าใช้ตัวตรวจจับแสงชนิด PIN อาจจะไม่เห็นผลกระทบของปรากฏการณ์ดังกล่าวได้ชัดเจน นอกจากนั้นภายในโมดูลมี TIA ทำหน้าที่ขยายสัญญาณไฟฟ้าที่ออกจากตัวตรวจจับแสงได้ APD นี้สามารถตรวจจับแสงได้ในช่วงความยาวคลื่น 1280-1610 nm ขณะรับข้อมูลอัตรา 9.953 Gb/s (OC-192/STM-64)

วงจรภายในของ APD โมดูล R197AL แสดงดังรูปที่ 4.11 [48] เมื่อ APD ตรวจจับแสงแล้วจะแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามค่า Responsivity ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.7-1.2 A/W โดย APD ต้องการไฟเลี้ยง ( $V_{PD}$ ) สำหรับการไบแอสย้อนกลับอยู่ในช่วง 25-37 V จากนั้น TIA จะทำการแปลงกระแสแสงและขยายออกมาอยู่ในรูปของแรงดันผลต่างที่ขา 10 และ 8 โดยมีค่าอัตราการแปลง Transimpedance ( $Z_T$ ) เท่ากับ 7 k $\Omega$  ทำให้ได้เป็นแรงดันผลต่างอยู่ในช่วง 50-500 mV<sub>p-p</sub> โดยที่ TIA ต้องการไฟเลี้ยง ( $V_{EE}$ ) 3.14-3.37 V จากนั้นจะบัดกรีเชื่อมต่อแรงดันผลต่างจาก APD มายังหัวต่อ SMA ที่ขา DATA+ และ DATA- ในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.11 วงจรภายในของตัวตรวจจับแสงชนิด APD โมดูล R197A

สิ่งสำคัญในการตรวจจับแสงสำหรับตัวรับสัญญาณทางแสง คือ การตั้งค่า  $V_{PD}$  ให้เหมาะสมที่ค่า  $-29.5\text{ V}$  [49] เพื่อที่จะทำให้ APD ตรวจจับแสงได้เต็มประสิทธิภาพ เนื่องจากระดับแรงดันขาออกของ APD ขึ้นกับค่า  $V_{PD}$  โดยตรง ดังนั้นเมื่อจ่ายแรงดัน  $V_{PD}$  มาก ระดับแรงดันขาออกจะมากตาม พร้อมทั้งมีสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสัญญาณรบกวนจะส่งผลต่อการตัดสินใจจะก่อให้เกิดความผิดพลาดในการรับสัญญาณ

การทดสอบการรับส่งข้อมูลบนระบบ DWDM 3 ช่องสัญญาณนี้ จะแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อ คือ (1) ผลการวัดทดสอบสเปกตรัมของสัญญาณทางแสงในตำแหน่ง A-C ตามแผนภาพในรูปที่ 4.5, (2) ผลการวัดทดสอบ Interchannel Crosstalk จากการวัดและวิเคราะห์ด้วยแผนภาพรูปตา และ (3) การวัดอัตราความผิดพลาดบิตของตัวส่งสัญญาณทางแสงในการรับส่งข้อมูลบนระบบ DWDM สำหรับผลการวัดและวิเคราะห์ของทั้ง 3 หัวข้อ จะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อที่ 5.4.1 ถึง 5.4.3 ตามลำดับ