# บทที่ 2

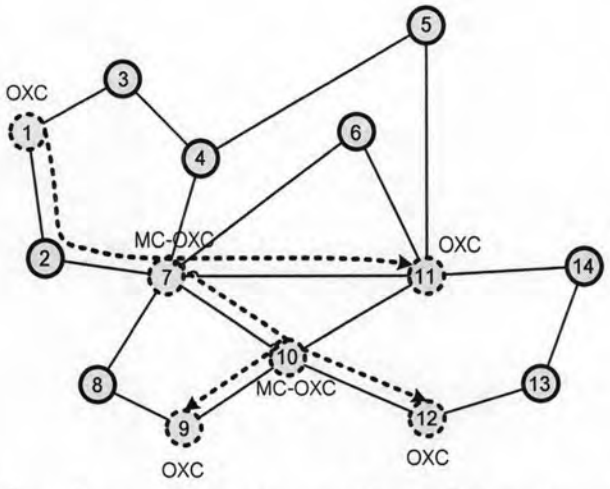
# แนวทางในการจัดสรรความจุสำรองของโครงข่าย DWDM เพื่อรองรับมัลติคาสต์ทราฟฟิกที่คำนึงถึงกรณีที่หนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหาย

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างพื้นฐานของโครงข่าย DWDM การพิจารณาค่าต้นทุนของโครงข่ายจากจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดที่ต้องทำการติดตั้งให้กับโครงข่าย และการปกป้องโครงข่ายจากความเสียหาย โดยจะกล่าวถึงหลักการพื้นฐานโดยทั่วไปที่เป็นความรู้เบื้องต้นในการออกแบบโครงข่ายอันประกอบไปด้วย ลักษณะและโครงสร้างของโครงข่าย DWDM รายละเอียดเกี่ยวกับคุณลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ และการจัดสรรเส้นทางการรับส่งข้อมูลให้กับทราฟฟิกภายในโครงข่าย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากโครงข่าย DWDM เป็นโครงข่ายเชิงแสง ดังนั้นแต่ละเส้นทางที่ได้รับการจัดสรรภายในโครงข่ายจะต้องได้รับการจัดสรรค่าความยาวคลื่นให้กับเส้นทางดังกล่าวด้วย นอกจากนี้ แต่ละเส้นทางที่ได้รับการจัดสรรจะต้องสามารถเปลี่ยนไปใช้เส้นทางใหม่ได้เมื่อโครงข่ายได้รับความเสียหายที่หนึ่งข่ายเชื่อมโยงในโครงข่าย

## 2.1 โครงข่าย DWDM

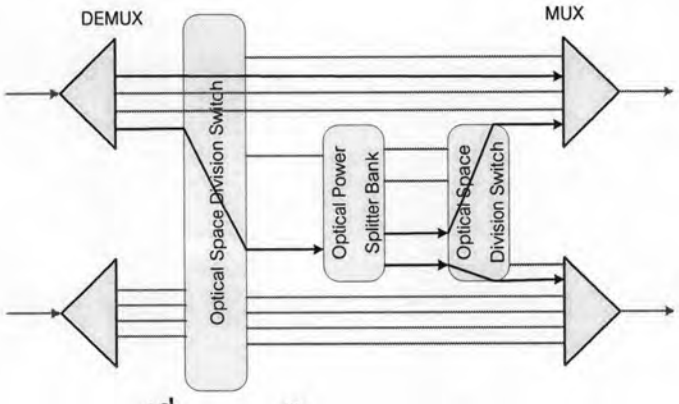
โครงสร้างพื้นฐานของโครงข่าย DWDM ประกอบด้วยโนดจำนวนหนึ่งที่ต่อเชื่อมโยงกันด้วยข่ายเชื่อมโยง โดยจัดและกำหนดให้มีลักษณะที่เหมาะสมกับสภาพภูมิศาสตร์ และการกระจายของปริมาณทราฟฟิกในพื้นที่การให้บริการ โนดมีหน้าที่ติดต่อกับแหล่งกำเนิดทราฟฟิกเพื่อรวบรวมข้อมูลของผู้ใช้ที่จะส่งออก และในทางกลับกันก็ส่งผ่านทราฟฟิกไปยังจุดหมายปลายทาง ข่ายเชื่อมโยงทำหน้าที่เชื่อมต่อโนด และเป็นตัวกลางในการส่งผ่านสัญญาณระหว่างโนดภายในโครงข่าย โครงสร้างของโนดประกอบด้วย วงจรมัลติเพลกซ์ความยาวคลื่น (Wavelength Multiplexer, WM) วงจรดีมัลติเพลกซ์ความยาวคลื่น (Wavelength Demultiplexer, WD) และสวิตซ์เว้นระยะห่าง (Space Switch) ซึ่งทำหน้าที่ร่วมกันเป็นตัวกำหนดเส้นทางที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างโนดต้นทางกับโนดปลายทางของโครงข่าย อุปกรณ์ทั้งหมดภายในโนดของโครงข่ายเรียกว่า ออปติคอลครอสคอนเนกต์ (Optical Cross Connect, OXCs) นอกจากนี้โนดในโครงข่ายอาจจะมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (Wavelength Converter, WC) เพิ่มเติม เพื่อทำหน้าที่ในการเปลี่ยนค่าความยาวคลื่นให้กับช่องสัญญาณ ซึ่งจะทำให้การจัดสรรช่องสัญญาณทำได้ง่ายขึ้น

เพื่อที่จะรองรับทราฟฟิกแบบมัลติคาสต์ โครงสร้างแบบต้นไม้ (tree) จะถูกนำมาใช้ในบนโครงข่าย ซึ่งโครงสร้างแบบต้นไม้ที่อยู่บนโครงข่าย DWDM ทางเทคนิคจะเรียกว่า light-tree ดังรูปที่ 2




**รูปที่** 2.1 โครงข่าย DWDM แบบมัลติคาสต์ กับ light-tree [4]

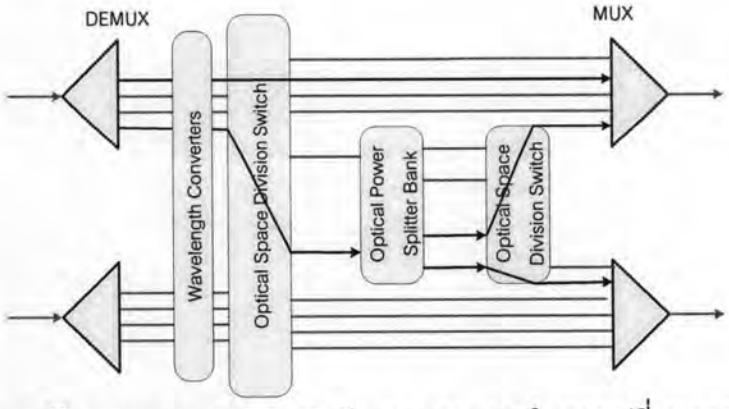
อุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับสร้าง light-tree บนโครงข่ายคือตัวแยกกำลังทางแสง (Optical Power Splitter) ซึ่งจะถูกนำมาติดตั้งในออปติคอลครอสคอนเนกต์ของโครงข่าย สำหรับออปติคอลครอสคอนเนกต์ที่ติดตั้งตัวแยกกำลังทางแสง จะเรียกว่า ออปติคอลครอสคอนเนกต์ที่มีความสามารถรองรับทราฟฟิกแบบมัลติคาสต์ หรือ (Multicast-Capable OXCs, MC-OXCs) ที่ MC-OXCs ส่วนที่เป็นตัวแยกกำลังทางแสงมีความสามารถที่จะทำสำเนาและแยกสัญญาณทางแสงที่เข้ามาทางอุปกรณ์รับข้อมูลและส่งต่อไปยังกลุ่มทางออกของสัญญาณ โดยทั่วไปตัวแยกกำลังทางแสงที่นำมาใช้ในทางปฏิบัติจะมีการกำหนดจำนวนระดับขั้นของการแยกสัญญาณสูงสุด หรือ $\Delta$ (fanout parameter) เพราะ $\Delta$ จะเป็นฟังก์ชันสำคัญในการกำหนดรูปร่างของ light-tree อีกทั้งยังมีผลกระทบโดยตรงต่อวิธีการออกแบบการปกป้องโครงข่ายสำหรับ light-tree




**รูปที่** 2.2 สถาปัตยกรรมของ MC-OXC

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าข้อมูลที่มาถึงด้านอินพุทของ MC-OXC จะถูกดีมัลติเพลกซ์ให้ความยาวคลื่นแยกออกจากกัน แต่ละความยาวคลื่นที่แยกออกจากกันนั้นจะบรรจุสัญญาณแตกต่างกัน ถ้าสัญญาณใดไม่ได้ถูกนำไปใช้สำหรับการส่งข่าวสารแบบมัลติคาสต์ สัญญาณดังกล่าวจะส่งตรงไปยังด้านเอาท์พุท ในทางตรงกันข้ามถ้าสัญญาณใดที่ถูกนำไปใช้สำหรับการส่งข่าวสารแบบมัลติคาสต์ สัญญาณดังกล่าวจะถูกส่งไปยังด้านอินพุทของตัวแยกกำลังทางแสง ซึ่งจะทำสำเนาของสัญญาณและส่งต่อสัญญาณไปยังสวิตช์เว้นระยะห่างเชิงแสง (Optical Space Switch) เพื่อที่จะส่งออกไปยังด้านเอาท์พุทที่เหมาะสม แต่เนื่องจากสัญญาณที่ผ่านตัวแยกกำลังทางแสงกำลังงานจะลดลง ดังนั้นอาจจะต้องนำวงจรขยายทางแสง (Optical Amplifier) ไปติดตั้งภายในตัวแยกแสง (Optical Splitter) เพื่อที่จะขยายสัญญาณให้ดีขึ้น

สถาปัตยกรรมของ MC-OXC อีกแบบหนึ่งจะมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นที่ MC-OXC ด้านอินพุท ดังรูปที่ 2.3 จุดมุ่งหมายหลักในการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นที่ MC-OXC คือเพื่อที่จะลดการชนกันของความยาวคลื่น ซึ่งเป็นผลมาจากสองสัญญาณแสงที่ใช้ความยาวคลื่นเดียวกันจำเป็นต้องออกจากเอาท์พุทของเส้นใยนำแสงเดียวกัน ดังนั้นการใช้อุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นจะทำให้ลดการชนกันของความยาวคลื่น และลดจำนวนเส้นใยนำแสงที่ใช้เชื่อมต่อกับ MC-OXCs ด้วยเหตุผลข้างต้น ส่งผลให้จำนวนเส้นใยนำแสงสำหรับการรองรับความต้องการทราฟฟิกในโครงข่ายทั้งหมดลดลง




**รูปที่** 2.3 สถาปัตยกรรมของ MC-OXC กับความสามารถในการเปลี่ยนความยาวคลื่น

### 2.2 การจัดสรรเส้นทางและความยาวคลื่นบนโครงข่าย DWDM

วิทยานิพนธ์นี้จะจัดสรรเส้นทางให้โครงข่ายมีโครงสร้างแบบ light-tree เพื่อที่จะใช้รองรับทราฟฟิกแบบมัลติคาสต์ และยอมให้ข่ายเชื่อมโยงที่เชื่อมต่อระหว่างคู่โนดสามารถที่จะประกอบด้วยกลุ่มของเส้นใยแสง หรือกล่าวได้ว่าเป็นการเชื่อมต่อบนระบบหลายเส้นใย แทนที่จะพิจารณาแบบระบบเส้นใยเดียว (single-fiber system) ซึ่งพบในงานวิจัยทั่วไป [16] เพราะ

โครงข่าย DWDM ที่พิจารณาแบบระบบหลายเส้นใย มีข้อดีในแง่ของการใช้ประโยชน์จากเส้นใยแสงภายใต้โหลดของ ทราฟฟิกชนิดเดียวกัน การจัดการดูแลรักษาโครงข่าย [17, 18] อีกทั้งยังง่ายต่อการออกแบบสัญญาณของโครงข่าย [15] นอกจากนี้เส้นใยแสงจะมีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากความยาวคลื่น (wavelength utilization)ได้มากขึ้นอีกด้วย [19, 20]

ส่วนการจัดสรรความยาวคลื่น รูปแบบการจัดสรรความยาวคลื่นให้แต่ละ light-tree ที่จะนำมาศึกษามีอยู่ 2 รูปแบบ [16] คือ

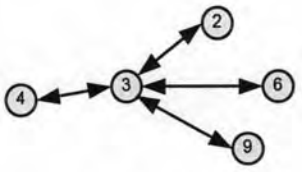
1. วิธีการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ light–tree ( Light-Tree Wavelength Allocation Method, LT)

การจัดสรรความยาวคลื่นให้กับโครงข่ายในรูปแบบนี้ OXCs ทั้งหมดในโครงข่ายไม่จำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น เพราะสำหรับวิธีนี้เราจะเลือกใช้เพียงหนึ่งความยาวคลื่นต่อหนึ่ง light-tree เมื่อเกิดความเสียหายหนึ่งข่ายเชื่อมโยง light-tree ที่ได้รับผลกระทบจะได้รับการจัดสรรเส้นทางใหม่ โดยที่จะกำหนดให้ความยาวคลื่นที่จัดสรรให้กับ light-tree ที่จัดสรรใหม่ต้องเป็นความยาวคลื่นเดียวกับ light-tree เดิม ดังรูปที่ 2.4 (ก)

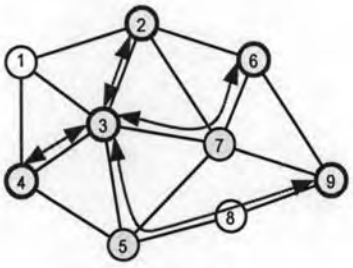
2. วิธีการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ light–tree เสมือน (Virtual Light–Tree Wavelength Allocation Method, VLT)

สำหรับรูปแบบนี้แต่ละข่ายเชื่อมโยงทางกายภาพของ light-tree สามารถที่จะถูกจัดสรรความยาวคลื่นค่าแตกต่างกันได้ เมื่อเกิดความเสียหายหนึ่งข่ายเชื่อมโยงและ light-tree ได้รับผลกระทบ โครงข่ายมีความสามารถที่จะจัดสรรความยาวคลื่นใหม่ให้กับเส้นทางที่ได้รับการจัดสรรใหม่ของ light-tree ดังกล่าว โดยที่ความยาวคลื่นที่จัดสรรให้ใหม่นั้นไม่จำเป็นที่จะต้องเหมือนกันกับความยาวคลื่นที่ได้รับการจัดสรรในภาวะปกติ ดังนั้น OXCs ของโครงข่ายที่มีการจัดสรรความยาวคลื่นลักษณะนี้จะต้องมีความสามารถที่จะแปลงผันได้ทุกความยาวคลื่น ดังรูปที่ 2.4 (ข)

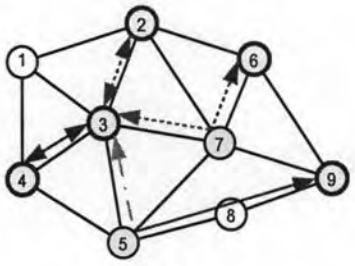
จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น การเชื่อมต่อโครงข่ายทางแสงที่ใช้รองรับทราฟฟิกแบบมัลติคาสต์หรือ กลุ่มของโนดที่ใช้รองรับทราฟฟิกแบบมัลติคาสต์ (multicast session) จะใช้โครงสร้างแบบ light-tree [16] ได้ให้คำจำกัดความของ light-tree ว่า light-tree คือ กลุ่มของ optical branch ซึ่ง optical branch คือ เส้นทางแสง (lightpath) ที่เชื่อมต่อระหว่างโนดคู่โนดซึ่งเป็นสมาชิกของมัลติคาสต์เซสชัน และทุกสมาชิกของมัลติคาสต์เซสชันจะถูกจัดให้อยู่ในรูปของ light-tree รูปที่ 6 (ก) แสดงการเชื่อมต่อของโครงข่ายทางแสงที่ใช้โครงสร้างแบบ 2 light-tree ในสภาวะปกติ แต่ละ light-tree จะประกอบด้วยกลุ่มของ optical branch จะเห็นว่า light-tree แรกจะประกอบด้วยโนดที่ 2-3-4-6 ซึ่งมี 3 optical branch ในขณะที่ light-tree ที่สองจะประกอบด้วยโนดที่ 5-7-9 ซึ่งมี 2 optical branch




(ก) light-tree




(ข) LT




(ค) VLT

**รูปที่** 2.4 รูปแบบการจัดสรรความยาวคลื่นให้แต่ละ light-tree

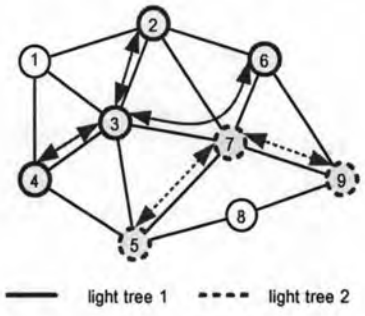
## 2.3 การจัดสรรเส้นทางใหม่เมื่อหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหาย

### 2.3.1 วิธีการปกป้อง Light-tree แบบกำหนดเส้นทางใหม่ทั้งหมด (Light-Tree Reconfiguration, LR)

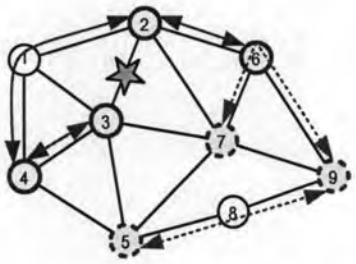
สำหรับวิธีการปกป้อง light-tree แบบกำหนดเส้นทางใหม่ทั้งหมด หรือ LR นี้ เมื่อเกิดความเสียหายหนึ่งข่ายเชื่อมโยง light-tree ทั้งหมดจะถูกปลดและจะได้รับการจัดสรรเส้นทางและความยาวคลื่นใหม่ทั้งหมดเพื่อหลีกเลี่ยงจากข่ายเชื่อมโยงที่เสียหาย แม้ว่าจะมีบาง light-tree ที่ไม่ได้รับผลกระทบจากข่ายเชื่อมโยงที่เสียหายแต่ light-tree เหล่านั้นก็จะต้องได้รับการจัดสรรเส้นทางใหม่ทั้งหมดเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 2.5 (ข)

### 2.3.2 วิธีการปกป้อง Light-tree แบบกำหนดเส้นทางใหม่เฉพาะ light-tree ที่ได้รับผลกระทบ (Light-Tree-Interrupted Reconfiguration, LIR)

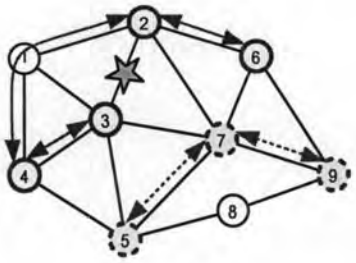
สำหรับวิธีการปกป้อง light-tree แบบ LIR นี้ วิธีการปกป้องโครงข่ายจะมีลักษณะเหมือนกับ LR แต่ LIR จะจัดสรรเส้นทางและความยาวคลื่นใหม่ให้เฉพาะ light-tree ที่ได้รับผลกระทบจากความเสียหายหนึ่งข่ายเชื่อมโยงเท่านั้น ดังรูปที่ 2.5 (ค)




(ก) การเชื่อมต่อในสภาวะปกติ



(ข) LR



(ค) LIR

**รูปที่** 2.5 รูปแบบการปกป้อง light-tree สำหรับมัลติคาสต์ทราฟฟิกบนโครงข่าย DWDM

## 2.4 ลักษณะการวางเส้นใยนำแสงสำรอง

วิทยานิพนธ์นี้ใช้เทคนิคการวางเส้นใยนำแสงสำรองที่เรียกว่า SW+WW+SR (Spare Wavelength Channel + Working Wavelength Channel Method with Stub Release) ซึ่งการวางเส้นใยนำแสงสำรองในลักษณะนี้ เมื่อมีความเสียหายเกิดขึ้นในโครงข่าย ช่องสัญญาณที่เคยใช้เป็นช่องสัญญาณในสภาวะปกติของกิ่งเชิ่งแสงที่ได้รับผลกระทบ สามารถที่จะนำมาใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณใหม่ให้กับโครงข่ายได้

**ตารางที่** 2.1 ตัวย่อของวิธีการจัดสรรเส้นทางและความยาวคลื่นของจัดสรรความจุสำรองสำหรับการปกป้องโครงข่าย

| ลักษณะการกำหนดความยาวคลื่น | โครงข่ายไม่สามารถแก้ไขปัญหาหนึ่งข่าย-เชื่อมโยงขัดข้อง | กลยุทธ์การปกป้องโครงข่าย | |
|---|---|---|---|
| | | แบบกำหนดเส้นทางใหม่ทั้งหมด | แบบกำหนดเส้นทางใหม่เฉพาะ light-tree ที่กระทบ |
| วิธีโครงสร้างต้นไม้เชิงแสง | LT | LR_LT | LIR_LT |
| วิธีโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงเสมือน | VLT | LR_VLT | LIR_VLT |