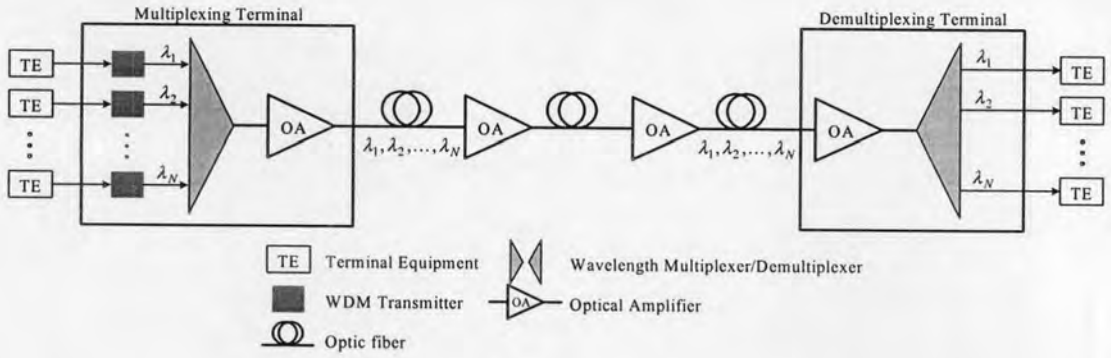
บทที่ 2

การออกแบบโครงข่าย WDM เพื่อรองรับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์

ในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างพื้นฐานของโครงข่าย WDM การพิจารณาถึงต้นทุนของโครงข่ายจากจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดที่ต้องติดตั้งให้กับโครงข่าย และการป้องกันโครงข่ายจากความขัดข้องหนึ่งโนด โดยจะกล่าวถึงหลักการพื้นฐานทั่วไปที่เป็นความรู้เบื้องต้นในการออกแบบโครงข่ายอันประกอบไปด้วย ลักษณะและโครงสร้างของโครงข่าย WDM รายละเอียดเกี่ยวกับคุณลักษณะของอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องในโครงข่าย และการจัดสรรเส้นทางในการรองรับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ในโครงข่าย เนื่องจากโครงข่าย WDM เป็นโครงข่ายเชิงแสง ดังนั้นการจัดสรรเส้นทางภายในโครงข่ายจะต้องกำหนดค่าความยาวคลื่นให้กับเส้นทางนั้นด้วย และแต่ละเส้นทางที่ได้รับการจัดสรรนี้จะต้องสามารถเปลี่ยนไปใช้เส้นทางใหม่ได้ เมื่อโครงข่ายมีความเสียหายหนึ่งโนด

2.1 โครงข่าย WDM

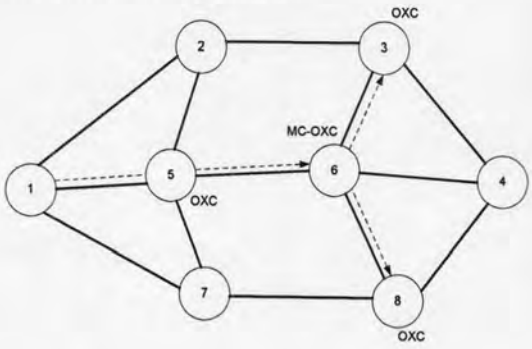
โครงสร้างพื้นฐานของโครงข่าย WDM ประกอบด้วยโนดจำนวนหนึ่งที่ต่อเชื่อมโยงกันด้วยข่ายเชื่อมโยง โดยจัดและกำหนดให้มีลักษณะที่เหมาะสมกับสภาพภูมิศาสตร์ และ การกระจายของปริมาณทราฟฟิกในพื้นที่ของการให้บริการ โนดมีหน้าที่ติดต่อกับแหล่งกำเนิดทราฟฟิกเพื่อรวบรวมข้อมูลของผู้ใช้ที่จะส่งออก และในทางกลับกันก็ส่งผ่านทราฟฟิกไปยังจุดหมายปลายทาง ข่ายเชื่อมโยงทำหน้าที่เชื่อมต่อโนดและเป็นตัวกลางในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างโนดภายในโครงข่าย อุปกรณ์ภายในโนดของโครงข่ายประกอบไปด้วยตัวมัลติเพลกซ์ทางความยาวคลื่น (Wavelength Multiplexer) ตัวดีมัลติเพลกซ์ทางความยาวคลื่น (Wavelength Demultiplexer) และสวิตช์ (Switch) ซึ่งทำหน้าที่ร่วมกันเป็นตัวกำหนดเส้นทางในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างโนดต้นทางกับโนดปลายทางของโครงข่าย อุปกรณ์ทั้งหมดภายในโนดของโครงข่ายจะเรียกรวมกันว่า OXCs (Optical Cross Connect) นอกจากนี้ ในบางโครงข่ายอาจจะมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นให้กับ OXCs เพื่อทำหน้าที่แปลงผันค่าความยาวคลื่นให้กับช่องสัญญาณสื่อสารที่วิ่งผ่านโนดของโครงข่ายซึ่งจะทำให้การจัดเส้นทางง่ายขึ้น โดยระบบการส่งข้อมูลด้วยการมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่นจะมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น

ในภาคส่งของระบบประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง และ เครื่องส่งสัญญาณแบบ WDM (WDM Transmitter) ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณข้อมูลของผู้ใช้ให้เป็นสัญญาณแสงแต่ละความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน จากนั้นสัญญาณแสงแต่ละความยาวคลื่นจะถูกมัลติเพลกซ์ให้เป็นลำแสงเดียวกันโดยอาศัยตัวมัลติเพลกซ์ทางความยาวคลื่น ซึ่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพลกซ์นี้จะถูกส่งไปยังเส้นใยนำแสง โดยในระหว่างที่ส่งสัญญาณอาจจะต้องมีการขยายสัญญาณด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณทางแสง (Optical Amplifier) เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการลดทอนพลังงานของสัญญาณ ส่วนที่ภาครับของระบบจะประกอบด้วยตัวดีมัลติเพลกซ์ทางความยาวคลื่น ซึ่งทำหน้าที่แยกสัญญาณแสงที่รับได้ให้เป็นสัญญาณแต่ละความยาวคลื่นก่อนที่จะแปลงกลับเป็นสัญญาณข้อมูลของผู้ใช้ดังเดิม

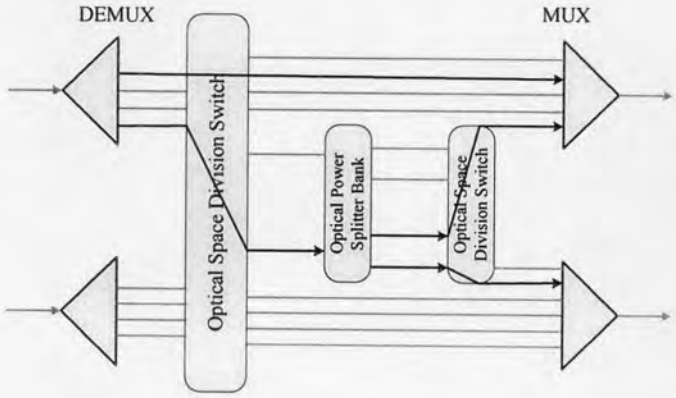
ในการนำโครงข่าย WDM มาใช้รองรับการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์นั้น โครงสร้างแบบต้นไม้เชิงแสงจะถูกนำมาใช้ในโครงข่ายดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงข่าย WDM แบบมัลติคาสต์กับต้นไม้เชิงแสง

โครงข่ายจำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์ที่สามารถส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ได้ นั่นคือ โนดที่ทำหน้าที่คัดลอก และแยกสัญญาณแสงจะต้องมีอุปกรณ์ที่สามารถคัดลอก และ แยกสัญญาณแสงเพื่อส่งข้อมูลไปยังโนดปลายทางจำนวนมากพร้อมกันได้ ซึ่งในโครงข่าย WDM ที่รองรับทราฟฟิก

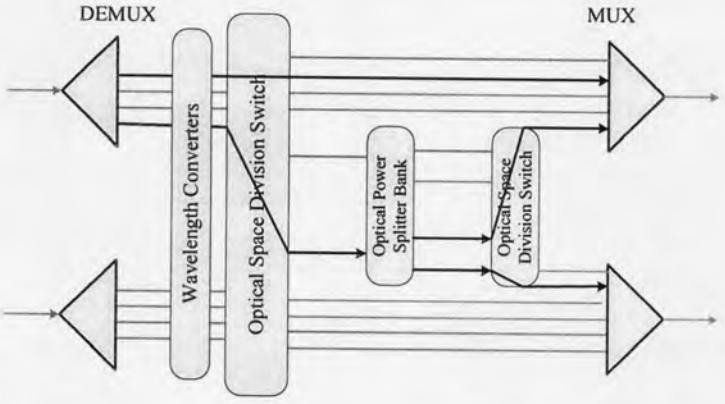
แบบมัลติคาสต์จะใช้สวิตช์ (Multicast-Capable OXCs, MC-OXCs) ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.3 [22] เข้ามาทำหน้าที่ดังกล่าว



รูปที่ 2.3 สถาปัตยกรรมของ MC-OXC

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าข้อมูลที่มาถึงด้านอินพุทของ MC-OXC จะถูกดีมัลติเพลกซ์ให้ความยาวคลื่นแยกออกจากกัน แต่ละความยาวคลื่นที่แยกออกจากกันนั้นจะบรรจุสัญญาณแตกต่างกัน ถ้าสัญญาณใดไม่ได้ถูกนำไปใช้สำหรับการส่งข่าวสารแบบมัลติคาสต์ สัญญาณดังกล่าวจะถูกส่งตรงไปยังด้านเอาท์พุท แต่ถ้าสัญญาณใดที่ถูกนำไปใช้สำหรับการส่งข่าวสารแบบมัลติคาสต์ สัญญาณดังกล่าวจะถูกส่งไปยังด้านอินพุทของตัวแยกกำลังทางแสง ซึ่งจะทำสำเนาของสัญญาณและส่งต่อสัญญาณไปยังสเปซสวิตซ์เชิงแสง (Optical Space Switch) เพื่อที่จะส่งออกไปยังด้านเอาท์พุทที่เหมาะสม แต่เนื่องจากสัญญาณที่ผ่านตัวแยกกำลังทางแสงกำลังงานจะลดลง ดังนั้นจำเป็นต้องนำวงจรขยายทางแสง (Optical Amplifier) ไปติดตั้งภายในตัวแยกแสง (Optical Splitter) เพื่อที่จะขยายสัญญาณให้ดีขึ้น

สถาปัตยกรรมของ MC-OXC อีกแบบหนึ่งจะมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นที่ MC-OXC ด้านอินพุท ดังรูปที่ 2.4 จุดมุ่งหมายหลักในการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นที่ MC-OXC คือเพื่อที่จะลดการชนกันของความยาวคลื่น ซึ่งเป็นผลมาจากสองสัญญาณแสงที่ใช้ความยาวคลื่นเดียวกันจำเป็นต้องออกจากเอาท์พุทของเส้นใยนำแสงเดียวกัน ดังนั้นการใช้อุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นจะทำให้ลดการชนกันของความยาวคลื่นและลดจำนวนเส้นใยนำแสงที่ใช้เชื่อมต่อกับ MC-OXCs ด้วยเหตุผลดังกล่าวส่งผลให้จำนวนเส้นใยนำแสงสำหรับการรองรับทราฟฟิกในโครงข่ายทั้งหมดลดลง



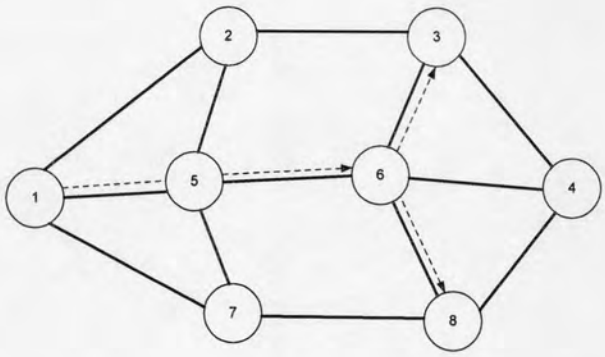
รูปที่ 2.4 สถาปัตยกรรมของ MC-OXC กับความสามารถในการเปลี่ยนความยาวคลื่น

2.2 การจัดเส้นทางและการกำหนดความยาวคลื่นให้กับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์บนโครงข่าย WDM

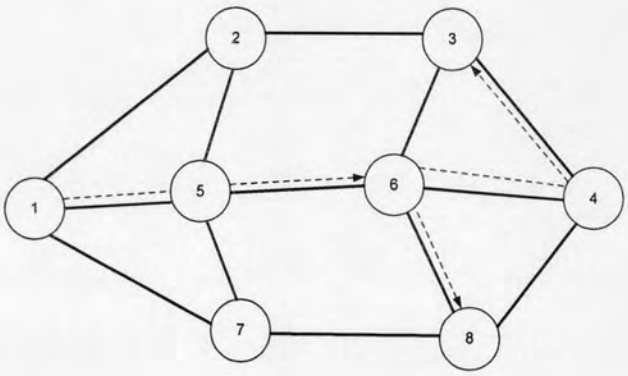
การจัดเส้นทางและการกำหนดความยาวคลื่นบนโครงข่าย WDM จะเป็นการสร้างวิถี (Path) ข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนดต่าง ๆ ในโครงข่ายที่ต้องการติดต่อถึงกันในระบบที่ใช้ช่องสัญญาณ WDM เพื่อให้สามารถรองรับปริมาณทราฟฟิกของผู้ใช้ในระบบได้ทั้งหมด ในการสร้างวิถีดังกล่าวจะต้องมีการกำหนดเส้นทาง และ ช่องสัญญาณให้กับทราฟฟิกแต่ละทราฟฟิกด้วย โดยในกรณีนี้แต่ละช่องสัญญาณในเส้นใยนำแสงจะถูกกำหนดเป็นค่าความยาวคลื่นในเส้นใยนำแสง ดังนั้น การกำหนดเส้นทาง และ ช่องสัญญาณให้กับทราฟฟิกในโครงข่ายจึงถูกเรียกเป็นการจัดเส้นทางและการกำหนดความยาวคลื่น (Routing and Wavelength Assignment, RWA) และหากทราฟฟิกที่พิจารณาเป็นชนิดมัลติคาสต์ จะเรียกการกำหนดเส้นทาง และ ช่องสัญญาณให้กับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ว่า การจัดเส้นทางและการกำหนดความยาวคลื่นให้กับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ (Multicast Routing and Wavelength Assignment, MC-RWA) ซึ่งเงื่อนไขบังคับในการกำหนดช่องสัญญาณคือ หากเส้นทางมากกว่าหนึ่งเส้นทางมีการใช้งานข่ายเชื่อมโยงร่วมกัน เส้นทางนั้นจะต้องใช้ค่าความยาวคลื่นที่ไม่ซ้ำกัน เงื่อนไขบังคับนี้ทำให้จำนวนความยาวคลื่นที่ใช้ในโครงข่ายมีความสำคัญ หากในโครงข่ายมีปริมาณทราฟฟิกมากก็จำเป็นที่จะต้องใช้จำนวนความยาวคลื่นมากตามไปด้วย ซึ่งหากจำนวนความยาวคลื่นมีไม่เพียงพอ จะทำให้โครงข่ายไม่สามารถรองรับปริมาณ ทราฟฟิกที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้

2.2.1 การจัดเส้นทาง (Routing Assignment)

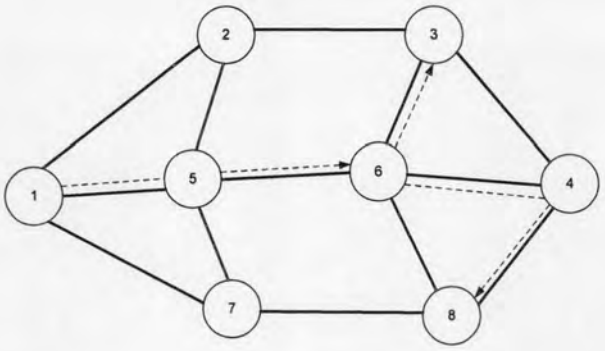
การจัดเส้นทางจะอยู่บนพื้นฐานของโครงสร้างต้นไม้เชิงแสง นั่นคือโนดสมาชิกในมัลติคาสต์เซสชันเดียวกันทุกโนดจะต้องเชื่อมต่อถึงกันในลักษณะที่ไม่ทำให้เกิดวงปิด และ เส้นทางข่ายเชื่อมโยงต้องมีทิศทางออกจากโนดต้นทางไปสิ้นสุดยังกลุ่มโนดปลายทาง โดยเรียกข่ายเชื่อมโยงระหว่างคู่โนดใดๆในกลุ่มมัลติคาสต์เดียวกันว่า กิ่งเชิงแสง (Optical Branch) [21, 22] ลักษณะโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงสำหรับโครงข่ายตัวอย่างสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5-2.7



รูปที่ 2.5 ลักษณะการจัดเส้นทางบนโครงข่าย WDM โดยอยู่บนพื้นฐานของโครงสร้างต้นไม้เชิงแสง



รูปที่ 2.6 ลักษณะการจัดเส้นทางบนโครงข่าย WDM โดยอยู่บนพื้นฐานของโครงสร้างต้นไม้เชิงแสง



รูปที่ 2.7 ลักษณะการจัดเส้นทางบนโครงข่าย WDM โดยอยู่บนพื้นฐานของโครงสร้างต้นไม้เชิงแสง

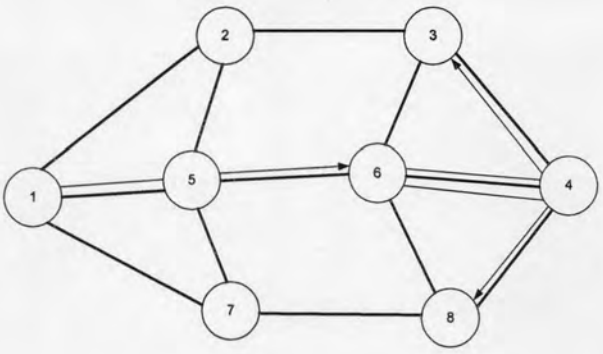
รูปที่ 2.5 เป็นการจัดเส้นทางสำหรับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ที่มีโนด 1 เป็นโนดต้นทาง และมีโนด 3 6 และ 8 เป็นโนดปลายทาง โดยโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงที่เลือกจะประกอบด้วยกิ่งเชิงแสง 3 กิ่งคือ กิ่งเชิงแสงจากโนด 1 ไปโนด 6 กิ่งเชิงแสงจากโนด 6 ไปโนด 3 และ กิ่งเชิงแสงจากโนด 6 ไปโนด 8 และเนื่องจากในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้โนดที่สามารถติดตั้งอุปกรณ์แยกสัญญาณได้ต้องเป็นสมาชิกของกลุ่มมัลติคาสต์เท่านั้น ดังนั้น ในตัวอย่างนี้จึงอนุญาตให้โนด 6 ติดตั้งอุปกรณ์แยกสัญญาณได้ และจากรูปที่ 6 จะพบว่า โครงสร้างต้นไม้เชิงแสงที่เลือกสามารถมีเส้นทางทางกายภาพที่เป็นไปได้มากกว่า 1 เส้นทางดังรูปที่ 2.5 ถึง 2.7

2.2.2 การกำหนดความยาวคลื่น (Wavelength Assignment)

การกำหนดความยาวคลื่นให้กับโครงข่าย WDM ที่รองรับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์นั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี [22] ดังนี้

2.2.2.1 วิธีโครงสร้างต้นไม้เชิงแสง (Light-Tree method, LT)

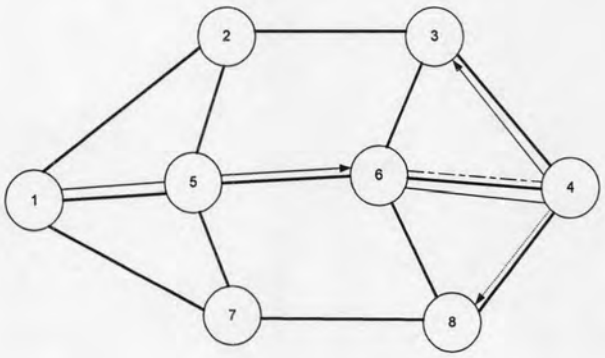
วิธีนี้ความยาวคลื่นที่ถูกกำหนดให้กับกิ่งเชิงแสงทุกกิ่งในโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงจะเป็นความยาวคลื่นค่าเดียวกัน นั่นคือ จำนวนความยาวคลื่นที่ใช้จะเท่ากับจำนวนโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะการกำหนดความยาวคลื่นบนโครงข่าย WDMแบบวิธีโครงสร้างต้นไม้เชิงแสง

2.2.2.2 วิธีโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงเสมือน (Virtual Light-Tree method, VLT)

วิธีนี้การกำหนดความยาวคลื่นจะพิจารณาแยกแต่ละข่ายเชื่อมโยง นั่นคือความยาวคลื่นที่ถูกกำหนดให้กับโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงในแต่ละข่ายเชื่อมโยงทางกายภาพนั้นสามารถมีค่าแตกต่างกันได้ ดังนั้นวิธีนี้จึงอนุญาตให้ทุกโนดของโครงข่ายสามารถติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นได้ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะการกำหนดความยาวคลื่นบนโครงข่าย WDMแบบวิธีโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงเสมือน

2.3 การจัดเส้นทางใหม่เพื่อความอยู่รอดของโครงข่าย (Reconfiguration for Network Survival)

ความต้องการในการติดต่อสื่อสารข้อมูลที่มากขึ้นในปัจจุบัน และความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วนั้น ส่งผลให้โครงข่ายสื่อสารมีบทบาทสำคัญในการดำเนินชีวิต

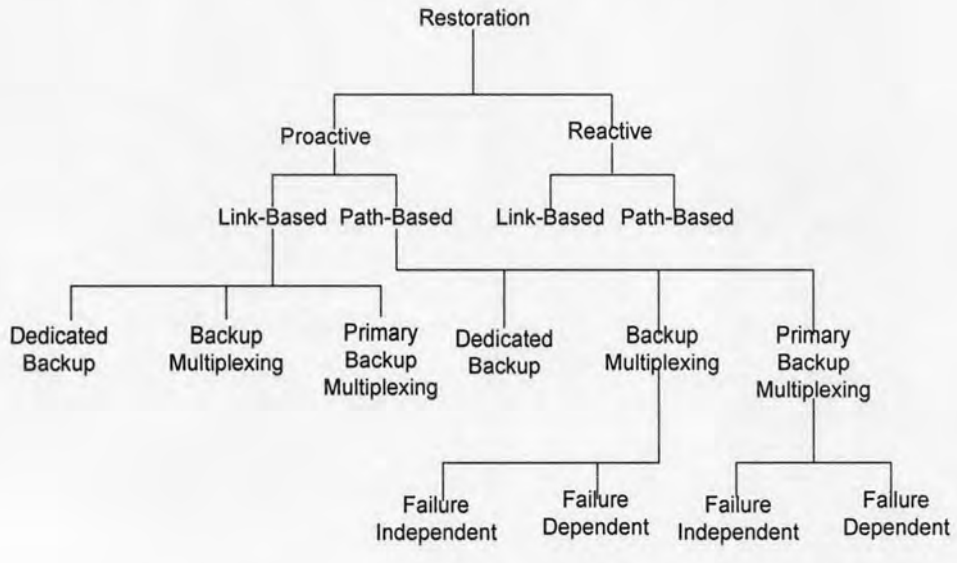
ของมนุษย์ การออกแบบโครงข่ายให้สามารถรองรับกับปริมาณความต้องการของผู้ใช้บริการอย่างเพียงพอเป็นหน้าที่ของผู้ออกแบบโครงข่าย แต่สิ่งสำคัญอีกสิ่งหนึ่งที่ผู้ออกแบบโครงข่ายจำเป็นต้องพิจารณาควบคู่ไปด้วย คือความน่าเชื่อถือได้ของโครงข่ายสื่อสาร เพราะผู้ใช้บริการต้องการความต่อเนื่องของการติดต่อสื่อสารข้อมูล ถึงแม้ในกรณีที่อุปกรณ์ของโครงข่ายเกิดความเสียหายหรือชำรุดขึ้น ก็ยังสามารถใช้บริการต่อได้โดยที่คุณภาพการบริการไม่ได้ลดลง ความสามารถในการให้บริการได้ของโครงข่ายหลังจากเกิดความเสียหายนี้เรียกว่า Network Survivability [2]
ในโครงข่ายความเร็วสูง (High Speed Network) เมื่อมีอุปกรณ์ของโครงข่ายได้รับความเสียหาย จะส่งผลกระทบต่อปริมาณข้อมูลจำนวนมาก ดังนั้นการออกแบบโครงข่ายที่ดีต้องทำให้โครงข่ายมีความทนทานต่อความเสียหายที่เกิดขึ้น (Fault-Tolerant Network)

ความเสียหายในโครงข่ายสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี

1) กรณีที่ข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหาย (Link Failure) โดยส่วนมากจะเป็นความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ เส้นใยนำแสง ซึ่งอาจจะเกิดจากภัยธรรมชาติหรือถูกตัดขาดจากการขุดเจาะถนน

2) กรณีที่โนดเกิดความเสียหาย (Node Failure) ซึ่งจะเกิดจากความเสียหายของอุปกรณ์ภายในโนดหรือ Optical Cross Connect (OXC)

ดังนั้นวิธีการจัดเส้นทางใหม่มื่อโครงข่ายมีความเสียหายเกิดขึ้น จะต้องมีการบูรณะ (Restoration) ความเสียหายนี้ โดยการสร้างเส้นทางสำรอง (Backup Path) ไว้รองรับทราฟฟิกที่เส้นทางหลัก (Primary Path) ที่ได้รับผลกระทบจากความเสียหายภายในโครงข่าย



รูปที่ 2.10 แสดงวิธีการบูรณะความเสียหายภายในโครงข่าย

จากรูปที่ 2.10 วิธีการบูรณะความเสียหายแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ

1) วิธีการบูรณะความเสียหายแบบReactive ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและเร็วเมื่อเกิดความเสียหายในโครงข่าย

การบูรณะความเสียหายจะเริ่มต้นหาเส้นทางใหม่ที่ไม่ได้ใช้ในงานอุปกรณ์ที่เสียหายในโครงข่าย อย่างไรก็ตาม วิธีการบูรณะความเสียหายแบบReactive ไม่รับประกันว่าสามารถบูรณะความเสียหายได้สำเร็จเนื่องจากทรัพยากรในโครงข่ายไม่เพียงพอจะทำการบูรณะภายในเวลาที่ กำหนดได้

2) วิธีการบูรณะความเสียหายแบบProactive วิธีการนี้จะเป็นการเตรียมเส้นทางสำรองไว้รองรับความ

เสียหายที่เกิดขึ้นในโครงข่าย 2 แบบ

2.1) การเตรียมเส้นทางสำรองไว้รองรับระดับเส้นทาง (Path Based)

2.2) การเตรียมเส้นทางสำรองไว้รองรับระดับการเชื่อมต่อ (Link Based)

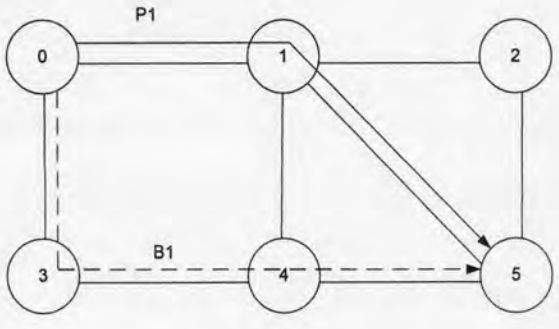
ซึ่งเส้นทางสำรองทั้งสองระดับนี้จะแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท

1) เส้นทางสำรองที่เส้นทางอื่นไม่สามารถใช้งานร่วมกันได้ (Dedicated Backup)

2) เส้นทางสำรองที่เส้นทางสำรองอื่นสามารถใช้งานร่วมกันได้ (Backup Multiplexing)

3) เส้นทางสำรองที่เส้นทางหลักหรือเส้นทางสำรองอื่นสามารถใช้งานร่วมกันได้ (Primary- Backup Multiplexing)

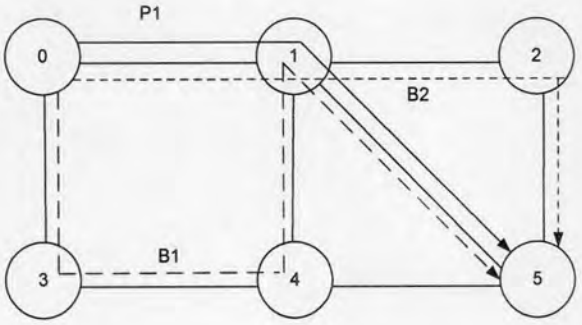
การเตรียมเส้นทางสำรองไว้รองรับระดับเส้นทางที่แสดงในรูปที่11 จะกำหนดให้ P_1 หมายถึง เส้นทางหลักที่หนึ่ง B_1 หมายถึง เส้นทางสำรองที่หนึ่ง จะเห็นได้ว่าเส้นทางสำรองที่หนึ่งถูกจัดเตรียมไว้ระหว่างโนดต้นทางและโนดปลายทาง



รูปที่ 2.11 การเตรียมเส้นทางสำรองไว้รองรับระดับเส้นทาง

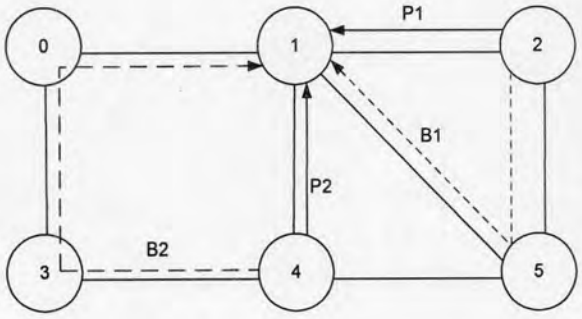
การเตรียมเส้นทางสำรองไว้รองรับระดับการเชื่อมต่อที่แสดงในรูปที่2.12 จะกำหนดให้ P_1 หมายถึง เส้นทางหลักที่หนึ่ง B_1 และ B_2 หมายถึง เส้นทางสำรองที่หนึ่งและเส้นทางสำรองที่สอง

เมื่อข่ายเชื่อมโยง $0 \rightarrow 1$ เกิดความเสียหาย เส้นทางสำรองที่หนึ่งจะถูกใช้งานซึ่งมีเส้นทางอยู่รอบข่ายเชื่อมโยง $0 \rightarrow 1$ และเมื่อข่ายเชื่อมโยง $1 \rightarrow 5$ เกิดความเสียหายเส้นทางสำรองที่สองจะถูกใช้งานซึ่งมีเส้นทางอยู่รอบข่ายเชื่อมโยง $1 \rightarrow 5$



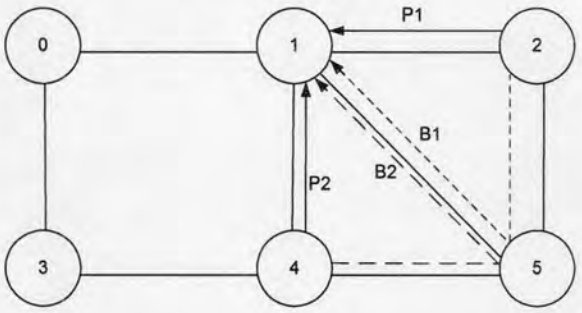
รูปที่ 2.12 การเตรียมเส้นทางสำรองไว้รองรับระดับการเชื่อมต่อ

เส้นทางสำรองที่เส้นทางอื่นไม่สามารถใช้งานร่วมกันได้ที่แสดงในรูปที่ 2.13 จะกำหนดให้ P_1 และ P_2 หมายถึง เส้นทางหลักที่หนึ่งและเส้นทางหลักที่สอง B_1 และ B_2 หมายถึง เส้นทางสำรองที่หนึ่งและเส้นทางสำรองที่สอง จากรูปจะเห็นได้ว่าเส้นทางสำรองที่หนึ่งและเส้นทางสำรองที่สองไม่ได้ใช้เส้นทางร่วมกัน



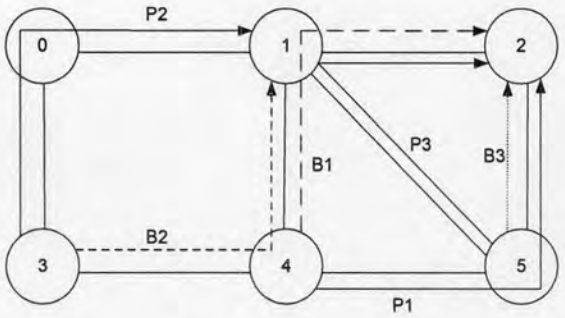
รูปที่ 2.13 เส้นทางสำรองที่เส้นทางอื่นไม่สามารถใช้งานร่วมกันได้

สำหรับการใช้งานทรัพยากรที่มีอยู่ในโครงข่ายให้เกิดประโยชน์มากที่สุด ในกรณีที่เส้นทางหลักไม่ได้เสียหายในเวลาเดียวกัน เทคนิคการมัลติเพลกซ์ (Multiplexing Technique) จะถูกนำมาใช้เพื่อให้เส้นทางสำรองสามารถใช้งานร่วมกันได้ในเวลาที่ต่างกัน (Backup Multiplexing) ดังแสดงในรูปที่ 2.14 และ เส้นทางหลักสามารถใช้งานร่วมกับเส้นทางหลักและเส้นทางสำรองเส้นอื่นได้ในเวลาที่ต่างกัน (Primary-Backup Multiplexing) ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 เส้นทางสำรองสามารถใช้งานร่วมกันได้ในเวลาที่ต่างกัน

ในรูปที่ 2.14 จะกำหนดให้ P_1 และ P_2 หมายถึง เส้นทางหลักที่หนึ่งและเส้นทางหลักที่สอง B_1 และ B_2 หมายถึง เส้นทางสำรองที่หนึ่งและเส้นทางสำรองที่สอง เส้นทางหลักที่หนึ่งและเส้นทางหลักที่สองเป็นเส้นทางที่ไม่ซ้ำกันและเสียหายในเวลาที่ต่างกัน ดังนั้นเส้นทางสำรองที่หนึ่งและเส้นทางสำรองที่สองสามารถใช้งานร่วมกันในข่ายเชื่อมโยง $5 \rightarrow 1$ ได้ เส้นทางสำรองที่หนึ่งจะถูกใช้งานเมื่อข่ายเชื่อมโยง $2 \rightarrow 1$ เกิดความเสียหาย และเส้นทางสำรองที่สองจะถูกใช้งานเมื่อข่ายเชื่อมโยง $4 \rightarrow 1$ เกิดความเสียหาย



รูปที่ 2.15 เส้นทางหลักสามารถใช้งานร่วมกับเส้นทางหลักและเส้นทางสำรองเส้นอื่น

ในรูปที่ 2.15 จะกำหนดให้ P_1, P_2 และ P_3 หมายถึง เส้นทางหลักที่หนึ่ง เส้นทางหลักที่สอง และเส้นทางหลักที่สามตามลำดับ B_1, B_2 และ B_3 หมายถึง เส้นทางสำรองที่หนึ่ง เส้นทางสำรองที่สอง และเส้นทางสำรองที่สามตามลำดับ เส้นทางสำรองที่หนึ่งและเส้นทางสำรองที่สองสามารถใช้งานร่วมกันในข่ายเชื่อมโยง $4 \rightarrow 1$ เมื่อเส้นทางหลักที่หนึ่งและเส้นทางหลักที่สองไม่ได้ใช้เส้นทางร่วมกัน ข่ายเชื่อมโยง $1 \rightarrow 2$ จะเป็นการใช้งานร่วมกันระหว่างเส้นทางหลักที่สามและเส้นทางสำรองที่หนึ่ง และ ข่ายเชื่อมโยง $5 \rightarrow 2$ จะเป็นการใช้งานร่วมกันระหว่างเส้นทางหลักที่หนึ่งและเส้นทางสำรองที่สาม

การเตรียมเส้นทางสำรองไว้รองรับระดับเส้นทางที่มีการนำเทคนิคการมัลติเพลกซ์มาใช้จะแบ่งความเสียหายออกเป็น 2 ประเภท

1) Failure Dependent เมื่อเส้นทางหลักมีความเสียหายเกิดขึ้น เส้นทางสำรองจะถูกนำมาใช้งาน โดยเส้นทางสำรองสามารถใช้งานได้ทุกเส้นทางที่ได้จัดเตรียมไว้รวมทั้งการใช้งานของเส้นทางหลักแต่จะหลีกเลี่ยงในข่ายเชื่อมโยงหลักที่เกิดความเสียหาย

2) Failure Independent เมื่อเส้นทางหลักมีความเสียหายเกิดขึ้น เส้นทางสำรองจะถูกนำมาใช้งาน เส้นทางที่เส้นทางสำรองใช้งานจะไม่ซ้ำกันกับเส้นทางหลัก เส้นทางสำรองนี้จะไม่พิจารณาว่าข่ายเชื่อมโยงใดเกิดความเสียหายในเส้นทาง โนดต้นทางจึงไม่จำเป็นต้องรู้ว่าเกิดความเสียหายที่ข่ายเชื่อมโยงใด เส้นทางสำรองอื่นจะไม่สามารถใช้งานข่ายเชื่อมโยงที่ไม่เสียหายในเส้นทางนี้ได้ ซึ่งเป็นการใช้ทรัพยากรในโครงข่ายแบบไม่คุ้มค่า

2.4 การจัดเส้นทางใหม่เมื่อเกิดความขัดข้องขึ้นหนึ่งโนดภายในโครงข่าย

ในการออกแบบโครงข่ายให้มีความน่าเชื่อถือ (Reliability) และมีความอยู่รอด (Survivability) ในสภาวะที่มีความเสียหายเกิดขึ้น โครงข่ายที่ถูกออกแบบจะต้องมีความสามารถในการแก้ไขปัญหาที่เกิดจากอุปกรณ์บางส่วนของโครงข่ายเช่น โนดและเส้นใยนำแสงได้รับความเสียหาย มาตรการที่ใช้ป้องกันความเสียหายของโครงข่าย (Protection) คือ การจัดเส้นทางใหม่ให้กับทราฟฟิกในโครงข่าย กล่าวคือ เมื่อโนดได้รับความเสียหายไม่สามารถใช้งานได้ เส้นทางหลักของทราฟฟิกที่ผ่านโนดที่เสียหายจะต้องเปลี่ยนไปใช้เส้นทางใหม่เพื่อหลีกเลี่ยงโนดที่เสียหาย เรียกเส้นทางที่โครงข่ายจัดสรรให้ใหม่นี้ว่าเส้นทางสำรอง ดังนั้นการจัดเส้นทางใหม่เมื่อมีความเสียหายเกิดขึ้นจำเป็นที่จะต้องมีการเผื่อความจุเพิ่มให้กับโครงข่ายเพื่อใช้รองรับเส้นทางสำรอง เรียกความจุนี้ว่า ความจุสำรอง (Spare Capacity) และเนื่องจากมีการเผื่อความจุสำรองให้กับโครงข่าย ดังนั้นต้นทุนของโครงข่ายที่สามารถจัดเส้นทางใหม่เมื่อโครงข่ายได้รับความเสียหายจึงสูงกว่าต้นทุนของโครงข่ายที่ไม่สามารถจัดเส้นทางใหม่ได้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเสนอวิธีการจัดเส้นทางสำรองให้กับมัลติคาสต์เมื่อเกิดความเสียหายหนึ่งโนดในโครงข่าย โดยจัดเส้นทางให้โครงข่ายสามารถบูรณะความเสียหายได้ทั้งหมดและมีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด วิธีการจัดเส้นทางในโครงข่าย WDM เพื่อรองรับทราฟฟิกแบบมัลติคาสต์เมื่อเกิดความเสียหายหนึ่งโนดมี 3 วิธีคือ

1) Reconfiguration of entire network

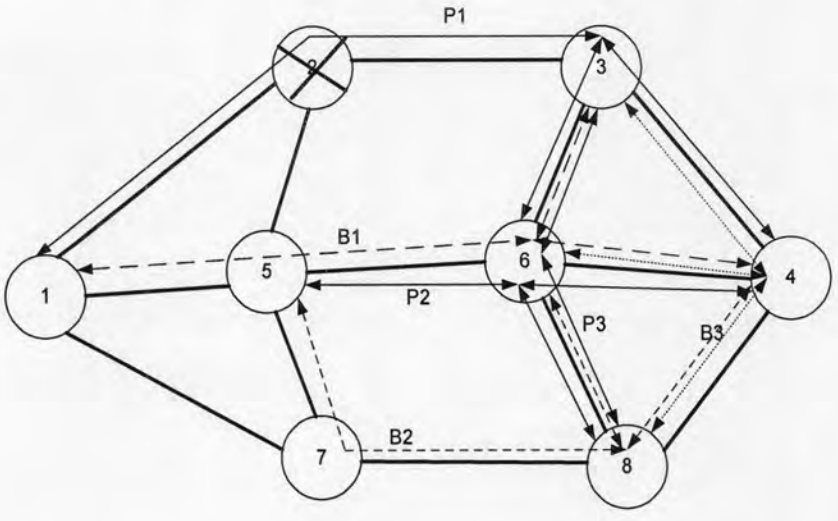
2) Reconfiguration of traffic traversing through failure node

3) Reconfiguration of traffic adjacent to failure node

ในการจัดเส้นทางในโครงข่ายที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นการจัดเส้นทางในโครงข่าย WDM เพื่อรองรับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ ซึ่งทราฟฟิกที่พิจารณาจะเป็นทราฟฟิกแบบคงที่ ซึ่งการจัดเส้นทางสำรองในโครงข่ายจะพิจารณาการจัดเส้นทางและการกำหนดความยาวคลื่นให้กับโครงข่ายเพื่อให้จำนวนเส้นใยนำแสงที่ต้องจัดสรรให้โครงข่ายมีค่าน้อยที่สุด ปัญหาในการออกแบบโครงข่ายจะถูกจำลองด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) และเงื่อนไขบังคับ (Constraint) โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งการจัดเส้นทางใหม่ในโครงข่าย WDM ออกเป็น 2 กรณีคือ 1) กรณีที่โครงข่ายมีอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น และ 2) กรณีที่โครงข่ายไม่มีอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

2.4.1 Reconfiguration of entire network

สำหรับวิธีการจัดเส้นทางเมื่อเกิดความเสียหายที่โนดแบบ Reconfiguration of entire network
นี้ ต้นไม้เชิงแสงของทุกเซสชันจะถูกปลดออกและจะได้รับการจัดเส้นทางใหม่หมดเพื่อหลีกเลี่ยงโนดที่เสียหาย ถึงแม้ว่าบางเซสชันจะไม่ได้ใช้เส้นทางที่ผ่านโนดที่เสียหายด้วยก็ตาม ต้นไม้เชิงแสงทุกเซสชันจะต้องได้รับการจัดเส้นทางใหม่ดังแสดงในรูปที่ 2.16

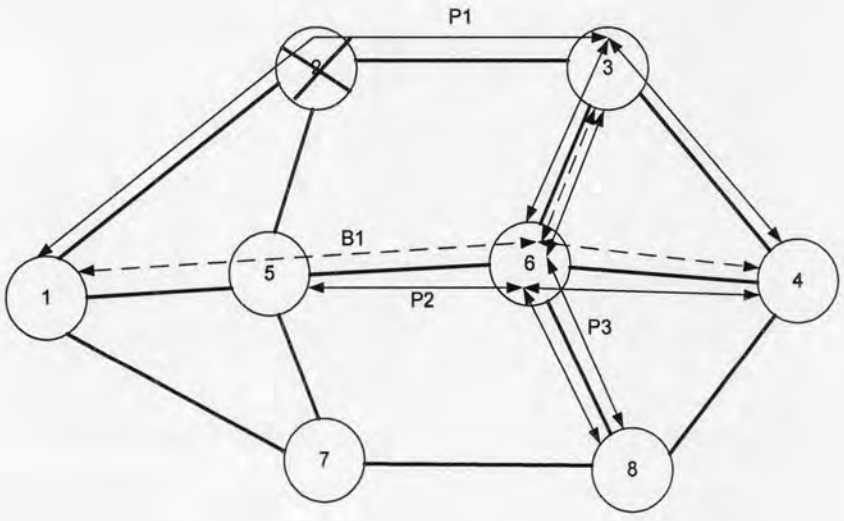


รูปที่ 2.16 การจัดเส้นทางใหม่เมื่อเกิดความเสียหายที่โนดแบบ Reconfiguration of entire network

จากรูปที่ 2.16 จะกำหนดให้ P_1, P_2 และ P_3 หมายถึง เส้นทางหลักที่หนึ่ง เส้นทางหลักที่สอง และเส้นทางหลักที่สามตามลำดับ B_1, B_2 และ B_3 หมายถึง เส้นทางสำรองที่หนึ่ง เส้นทางสำรองที่สอง และเส้นทางสำรองที่สามตามลำดับ โครงข่ายรองรับการใช้งานแบบมัลติคาสต์ 3 เซสชัน โดยกำหนดให้ต้นไม้เชิงแสงของเซสชันที่หนึ่งใช้เส้นทางหลัก $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 6,4$ ต้นไม้เชิงแสงของเซสชันที่สองใช้เส้นทางหลัก $5 \rightarrow 6 \rightarrow 4,8$ และต้นไม้เชิงแสงของเซสชันที่สามใช้เส้นทางหลัก $8 \rightarrow 6 \rightarrow 3$ เมื่อโนด 2 เกิดความเสียหายขึ้น ต้นไม้เชิงแสงทุกเซสชันจะถูกปลดออกและได้รับการจัดเส้นทางใหม่เพื่อหลีกเลี่ยงโนดที่เสียหาย โดยให้ต้นไม้เชิงแสงของเซสชันที่หนึ่งใช้เส้นทางสำรอง $1 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 3,4$ ต้นไม้เชิงแสงของเซสชันที่สองใช้เส้นทางสำรอง $5 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 4,6$ และต้นไม้เชิงแสงของเซสชันที่สามใช้เส้นทางสำรอง $8 \rightarrow 4 \rightarrow 3,6$

2.4.2 Reconfiguration of traffic traversing through failure node

สำหรับการจัดเส้นทางเมื่อเกิดความเสียหายที่โนดแบบ Reconfiguration of failure nodes นี้จะทำการจัดสรรเส้นทางใหม่ให้เฉพาะต้นไม้เชิงแสงของเซสชันที่มีเส้นทางที่ผ่านโนดที่เสียหายจะถูกปลดออกและได้รับการจัดเส้นทางใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การจัดเส้นทางใหม่เมื่อเกิดความเสียหายที่โนดแบบ Reconfiguration of traffic traversing through failure node

จากรูปที่ 2.17 จะกำหนดให้ P_1, P_2 และ P_3 หมายถึง เส้นทางหลักที่หนึ่ง เส้นทางหลักที่สอง และเส้นทางหลักที่สามตามลำดับ B_1 หมายถึง เส้นทางสำรองที่หนึ่ง โครงข่ายรองรับการใช้งานแบบมัลติคาสต์ 3 เซสชัน โดยกำหนดให้ต้นไม้เชิงแสงของเซสชันที่หนึ่งใช้เส้นทาง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

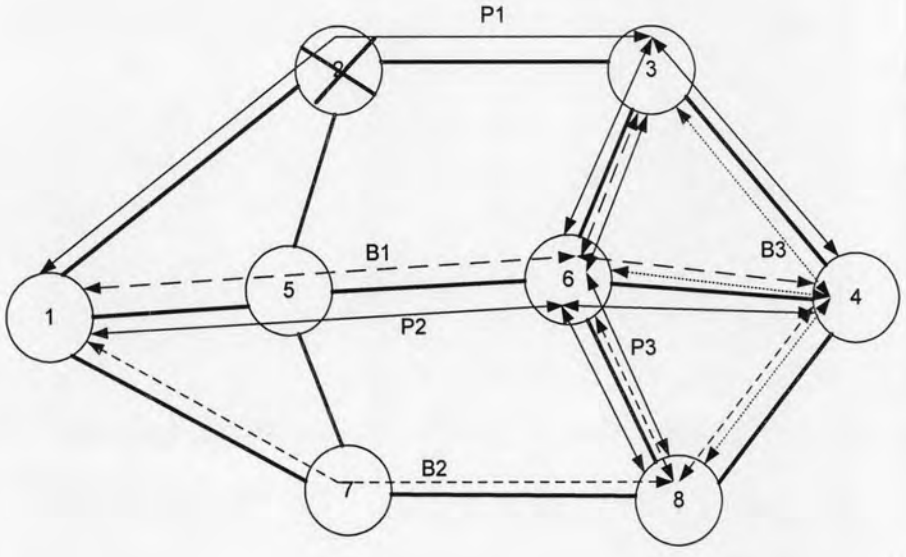
หลัก1 → 2 → 3 → 4,6 ต้นไม้เชิงแสงของเซสชันที่สองใช้เส้นทางหลัก 5 → 6 → 4,8และ ต้นไม้เชิงแสงของเซสชันที่สามใช้เส้นทางหลัก 8 → 6 → 3 เมื่อโนด 2 เกิดความเสียหายขึ้น ซึ่งมีผลกระทบเฉพาะเซสชันที่หนึ่ง ดังนั้นต้นไม้เชิงแสงของเซสชันที่หนึ่งจะถูกปลดออกและได้รับการจัดเส้นทางใหม่เพื่อหลีกเลี่ยงโนดที่เสียหาย โดยให้ต้นไม้เชิงแสงของเซสชันที่หนึ่งใช้เส้นทางสำรอง1 → 5 → 6 → 3,4

2.4.3 Reconfiguration of traffic adjacent to failure node

สำหรับวิธีการจัดเส้นทางเมื่อเกิดความเสียหายที่โนดแบบ Reconfiguration of traffic adjacent to failure node นี้ จะมีการการจัดเส้นทางใหม่ 2 กรณี

1) ต้นไม้เชิงแสงของเซสชันที่มีเส้นทางผ่านโนดที่เสียหายจะถูกปลดออกและได้รับการจัดเส้นทางใหม่

2) ต้นไม้เชิงแสงของเซสชันที่มีโนดระหว่างทางเชื่อมต่อมายังโนดที่เสียหายจะได้รับการจัดเส้นทางใหม่ด้วย



รูปที่ 2.18 การจัดเส้นทางใหม่เมื่อเกิดความเสียหายที่โนดแบบ Reconfiguration of traffic adjacent to failure node

จากรูปที่ 2.18 จะกำหนดให้ P_1 , P_2 และ P_3 หมายถึง เส้นทางหลักที่หนึ่ง เส้นทางหลักที่สอง และเส้นทางหลักที่สามตามลำดับ B_1 และ B_2 หมายถึง เส้นทางสำรองที่หนึ่งและ เส้นทางสำรองที่สอง โครงข่ายรองรับการใช้งานแบบมัลติคาสต์ 3 เซสชัน โดยกำหนดให้ต้นไม้เชิงแสงของเซสชันที่หนึ่งใช้เส้นทางหลัก $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4,6$ ต้นไม้เชิงแสงของเซสชันที่สองใช้เส้นทางหลัก $1 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 4,8$ และต้นไม้เชิงแสงของเซสชันที่สามใช้เส้นทางหลัก $8 \rightarrow 6 \rightarrow 3$ เมื่อโนด 2 เกิดความเสียหายขึ้น ต้นไม้เชิงแสงจะถูกปลดออกและได้รับการจัดเส้นทางใหม่เพื่อหลีกเลี่ยงโนดที่เสียหาย โดยให้ต้นไม้เชิงแสงของเซสชันที่หนึ่งใช้เส้นทางสำรอง $1 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 3,4$ และจากการที่โนด 5 มีข่ายเชื่อมโยงไปยังโนด 2 ซึ่งมีผลให้ต้นไม้เชิงแสงของเซสชันที่สองจะถูกปลดออกและได้รับการจัดเส้นทางใหม่ด้วย โดยให้ต้นไม้เชิงแสงของเซสชันที่สองใช้เส้นทางสำรอง $1 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 4,6$ ส่วนต้นไม้เชิงแสงของเซสชันที่สามใช้เส้นทางเดิม $8 \rightarrow 6 \rightarrow 3$