# บทที่ 1

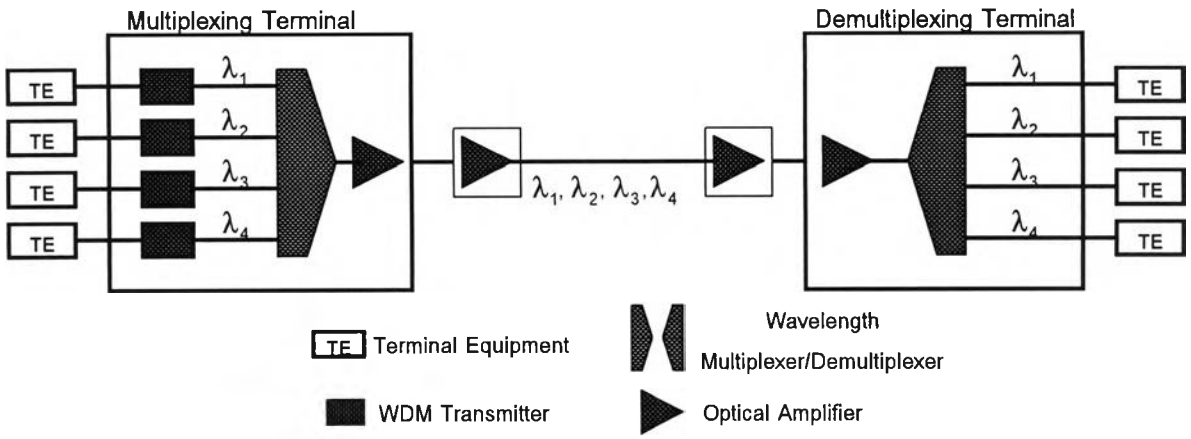
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในหลายปีที่ผ่านมา ปริมาณการใช้แบนด์วิดท์ในระบบสื่อสารข้อมูลมีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทั้งในส่วนของระบบอินเทอร์เนต (Internet) และระบบโทรคมนาคมแบบอื่น ๆ จึงได้เกิดความต้องการที่จะพัฒนาโครงข่ายความจุสูงเพื่อใช้ในการรองรับปริมาณการใช้ที่เพิ่มขึ้นมากนี้ เส้นใยแสง (Optical Fiber) เป็นตัวกลาง (Media) ชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพสูงในการใช้เป็นสื่อนำสัญญาณในโครงข่ายความจุสูงดังกล่าว

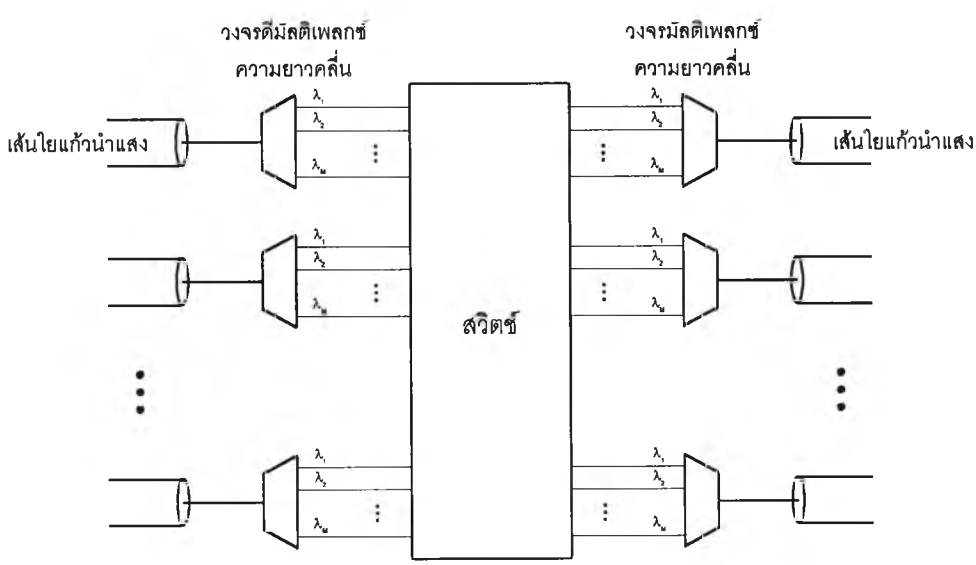
ระบบมัลติเพลกซ์แบบหนึ่งที่ได้รับความสนใจอย่างมากในการนำมาใช้กับโครงข่ายทางแสง (Optical Network) คือ ระบบมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น (Wavelength Division Multiplexing: WDM) ระบบมัลติเพลกซ์แบบนี้มีจุดเด่นตรงที่สามารถเข้าใช้ประโยชน์ของแบนด์วิดท์ของเส้นใยแสงอย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยหลักการ คือ มัลติเพลกซ์ช่องสัญญาณแสงจำนวนหนึ่งรวมกันโดยอาศัยคลื่นพาห์ที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันเพื่อส่งไปในเส้นใยแสงเส้นเดียวกัน เนื่องจากการมัลติเพลกซ์แบบ WDM นี้อาศัยช่องสัญญาณบนคลื่นพาห์หลายความยาวคลื่นแทนเพื่อให้ได้ความจุสูงตามต้องการ จึงมีข้อได้เปรียบกว่าการมัลติเพลกซ์แบบ TDM ตรงที่ช่องสัญญาณแต่ละช่องไม่ต้องส่งที่อัตราสูง อุปกรณ์แต่ละส่วนจึงมีความยุ่งยากซับซ้อนน้อยลง ระบบมัลติเพลกซ์แบบ WDM จึงเหมาะสำหรับใช้ในการออกแบบโครงข่ายความเร็วสูงในอนาคตอย่างมาก ในปัจจุบันมีงานวิจัยที่มุ่งให้ความสนใจในการออกแบบโครงข่าย WDM นี้จำนวนมาก [1]-[4]

รูปที่ 1.1 แสดงตัวอย่างของระบบการส่งแบบจุดต่อจุดในระบบมัลติเพลกซ์แบบ WDM ในภาคส่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงและเครื่องส่งสัญญาณ (WDM Transmitter) ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณข้อมูลของผู้ใช้ให้เป็นสัญญาณแสงแต่ละความยาวคลื่น จากนั้นจะถูกมัลติเพลกซ์ให้เป็นลำแสงเดียวกันเพื่อส่งไปในเส้นใยแสง โดยอาศัยตัวมัลติเพลกซ์ (Wavelength Multiplexer) ระหว่างการส่งไปในเส้นใยแสงอาจต้องมีการขยายสัญญาณด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณแสง (Optical Amplifier) ในภาครับประกอบด้วยตัวดีมัลติเพลกซ์ (Wavelength Demultiplexer) ซึ่งทำหน้าที่แยกสัญญาณแสงเป็นสัญญาณแต่ละความยาวคลื่น ก่อนที่จะแปลงกลับเป็นสัญญาณข้อมูลของผู้ใช้ดังเดิม



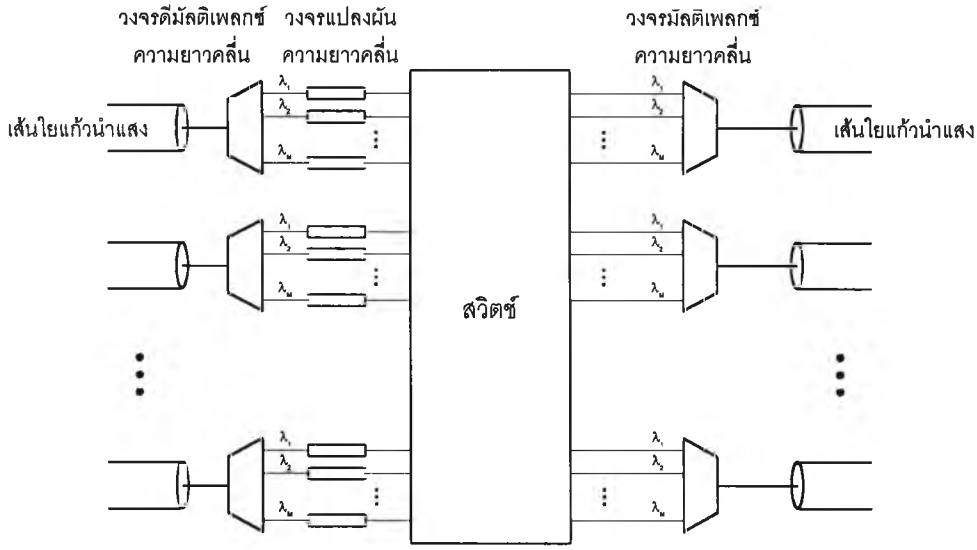

รูปที่ 1.1 ระบบมัลติเพลกซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น [5]

โครงสร้างพื้นฐานของโครงข่าย WDM ประกอบด้วยโนด (Node) จำนวนหนึ่งซึ่งมีหน้าที่ทั้งรวบรวมข้อมูลเพื่อส่งออกและในขณะเดียวกัน ก็ส่งผ่านข้อมูลไปยังโนดอื่น ๆ ผ่านทางข่ายเชื่อมโยง (link) รูปที่ 1.2 (ก) แสดงตัวอย่างโครงสร้างของโนดแบบหนึ่ง ที่เรียกว่า Optical Cross-connect (OXC) [6] ซึ่งประกอบด้วยวงจรดีมัลติเพลกซ์ความยาวคลื่น, วงจรมัลติเพลกซ์ความยาวคลื่น และสวิตช์แบบแบ่งเส้นทาง (Space Switch) ที่โนดอาจมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (Wavelength Converter) เพิ่มเติม เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนค่าความยาวคลื่นของช่องสัญญาณที่วิ่งผ่านโนด โครงสร้างของโนดที่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นเพิ่มเติม แสดงดังในรูปที่ 1.2 (ข) อาศัยการเชื่อมต่อโนดที่มีโครงสร้างดังกล่าว จะสามารถสร้างโครงข่ายที่มีโทโพโลยีทางกายภาพ (Physical Topology) ต่าง ๆ กันได้




(ก) ไม่มีอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

รูปที่ 1.2 โครงสร้างของโนดในโครงข่าย WDM [6]



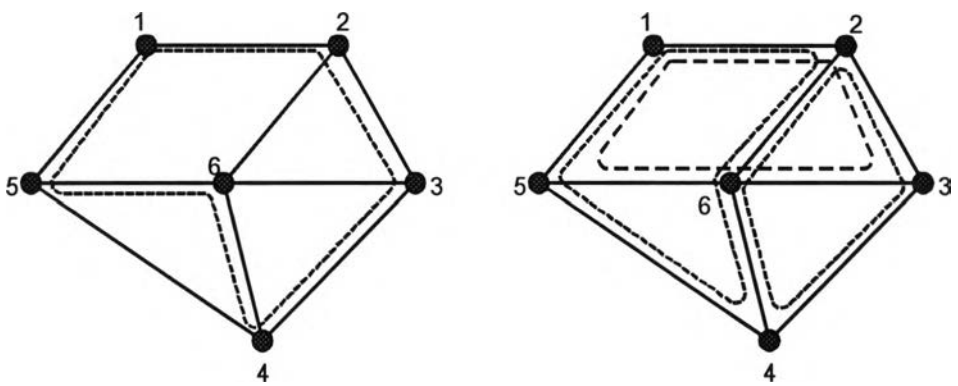

(ข) มีอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

รูปที่ 1.2 (ต่อ) โครงสร้างของโนดในโครงข่าย WDM [6]

การออกแบบโครงข่าย WDM ส่วนใหญ่ในปัจจุบันใช้โครงสร้างแบบเมช (Mesh) [7]-[9] เนื่องจากโครงสร้างแบบเมชเป็นโครงสร้างที่มีสภาพการต่อ (Connectivity) สูงจึงสามารถใช้ทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่าและใช้เส้นใยแสงจำนวนน้อย แต่อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงสร้างแบบเมชเป็น Optical Cross-connect ซึ่งมีความซับซ้อน การควบคุมและจัดการโครงข่ายโดยเฉพาะเมื่อเกิดความเสียหาย (Failure) จึงกระทำได้ยุ่งยากและช้า L. Wuttisittikulkij และ M. J. O'Mahony [10] จึงได้เสนอแนวความคิดในการออกแบบโครงข่ายโดยใช้โครงสร้างแบบวงแหวน

โครงสร้างวงแหวนเป็นโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน และเป็นระเบียบชัดเจน อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงสร้างแบบวงแหวนเป็นเพียง Add-drop Multiplexers ซึ่งมีความซับซ้อนน้อยกว่าอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงสร้างแบบเมช ทำให้ลดความยุ่งยากที่เกิดขึ้นในการควบคุมและจัดการโครงข่าย ทั้งในสภาวะการส่งข้อมูลปกติและโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเกิดความเสียหายของโครงข่าย การกู้ทราฟฟิกกลับคืนมา (Restoration) สามารถทำได้โดยอัตโนมัติผ่านสวิตช์ที่ไม่ซับซ้อนนักและทำได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม โครงสร้างวงแหวนก็มีข้อด้อย คือเป็นโครงสร้างที่มีประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรต่ำกว่าโครงสร้างแบบเมช (Mesh) เส้นใยแสงของโครงสร้างชนิดนี้ไม่ได้ถูกวางเพื่อรองรับทราฟฟิกแต่ละคู่โนดเหมือนในโครงสร้างแบบเมชเท่านั้น แต่เส้นใยแสงจะต้องถูกวางเป็นรูปวงแหวน โดยจำนวนเส้นใยแสงที่ต้องวางทุกข่ายเชื่อมโยง (Link) ในวงแหวนต้องมีค่าเท่ากัน ซึ่งเท่ากับจำนวนเส้นใยแสงบนข่ายเชื่อมโยงที่มีทราฟฟิกหนาแน่นที่สุด ทำให้ความจุบางส่วนในระบบอาจไม่ได้ใช้ประโยชน์ ดังนั้นจึงได้เกิดแนวคิดที่จะออกแบบโครงข่ายโดยใช้โครงสร้างแบบวงแหวนให้มีประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรสูงได้ทัดเทียมกับโครงสร้างแบบเมช

ในการออกแบบโครงข่ายรูปวงแหวน ต้องออกแบบให้วงแหวนแต่ละวงรองรับทราฟฟิกของคู่โนดได้มากกว่า 1 คู่โนด จึงจะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรในวงแหวนวงนั้นให้สูงขึ้นได้ ในการเลือกวงแหวนเพื่อรองรับทราฟฟิก หากเลือกวงแหวนมาเพียงวงเดียวเพื่อรองรับทราฟฟิกทั้งหมด วงแหวนวงนั้นจะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะครอบคลุมโนดทุกโนด ทำให้เส้นทางที่รองรับทราฟฟิกส่วนใหญ่มีระยะทางไกล ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรต่ำและต้นทุนสูง บทความ [10] ได้มีการเสนอแนวคิดการออกแบบโครงข่ายโดยใช้วงแหวนที่มีขนาดเล็กลงจำนวนหลาย ๆ วงมาเพื่อรองรับทราฟฟิก ซึ่งทำให้ต้นทุนของโครงข่ายลดลงและประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรสูงกว่าการเลือกวงแหวนวงเดียว ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้มุ่งเน้นไปที่การออกแบบโดยใช้วงแหวนหลาย ๆ วงเพื่อรองรับทราฟฟิกทั้งหมดของโครงข่าย รูปที่ 1.3 เปรียบเทียบตัวอย่างการเลือกวงแหวนทั้ง 2 วิธีบนโครงข่ายหนึ่งที่มีขนาด 6 โนด




(ก) การเลือกวงแหวนวงเดียว (ข) การเลือกวงแหวนหลาย ๆ วง

รูปที่ 1.3 การออกแบบโดยการเลือกวงแหวนทั้ง 2 วิธี

ในรูปที่ 1.3 (ก) หากเลือกวงแหวนวงใหญ่มาเพียงวงเดียวเพื่อรองรับทราฟฟิกทั้งหมด เส้นใยแสงที่รองรับทราฟฟิกของแต่ละคู่โนดจะต้องถูกวางบนเส้นทางที่ยาว เช่น ทราฟฟิกระหว่างคู่โนด 2 และ 6 จะต้องใช้เส้นทาง 2-1-5-6 หรือ 2-3-4-6 เท่านั้น แต่หากเลือกวงแหวนหลายวงในการรองรับทราฟฟิกทั้งหมดดังรูปที่ 1.3 (ข) จะมีวงแหวนที่เป็นตัวเลือกให้คู่โนดมากขึ้นและวงแหวนแต่ละวงมีขนาดเล็กลง ทำให้สามารถเลือกวางเส้นใยแสงบนเส้นทางที่สั้นกว่ากรณีแรกได้ ซึ่งจะทำให้ต้นทุนของโครงข่ายต่ำลง

แต่เนื่องจากแนวทางการออกแบบโครงข่ายใน [10] เป็นเพียงแนวทางในการเลือกวงแหวนเบื้องต้นและแสดงการเปรียบเทียบผลเชิงขนาดและจำนวนวงแหวนที่เลือกเพื่อใช้ในการออกแบบเท่านั้น ไม่มีกระบวนการปรับปรุงการออกแบบให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ปรับปรุงขั้นตอนการเลือกวงแหวนเบื้องต้น และได้เพิ่มเติมขั้นตอนการออกแบบในส่วนการปรับปรุงประสิทธิภาพการออกแบบให้ดีขึ้น โดยจะนำฮิวริสติกอัลกอริทึม (Heuristic Algorithm) มาใช้ทั้งหมด เพื่อให้สามารถ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


ออกแบบโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่ได้ ภายในเวลาที่เหมาะสม ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวถึงในบทที่ 2 และบทที่ 3 ต่อไป

นอกจากนั้น ในการประยุกต์โครงข่าย WDM ในงานสื่อสารข้อมูล หากเกิดความเสียหายที่โครงข่ายจะทำให้เกิดการสูญหายของข้อมูลของผู้ใช้จำนวนมาก เพื่อให้โครงข่ายมีความน่าเชื่อถือ (Reliability) มาตรการหนึ่งที่จะใช้ในการป้องกันความเสียหายของโครงข่าย (Protection) คือ การเผื่อความจุสำรองส่วนหนึ่ง (Spare Capacity) สำหรับรองรับทราฟฟิกที่ถูกรบกวนจากความเสียหายนั้น โดยความเสียหายประเภทที่พบได้มากและสามารถป้องกันได้ในโครงข่ายรูปวงแหวน คือ ความเสียหายที่ข่ายเชื่อมโยงหนึ่ง (Single-link Failure) วิทยานิพนธ์นี้จึงมีขั้นตอนการจัดสรรความจุสำรอง เพื่อป้องกันความเสียหายชนิดนี้ให้แก่โครงข่ายที่ได้ออกแบบด้วย ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวถึงในบทที่ 5 ต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบอัลกอริทึมในการออกแบบโครงข่ายทางแสงที่ใช้เทคนิคมัลติเพลกซ์แบบ WDM โดยใช้กรรมวิธีโครงสร้างแบบวงแหวนหลายวง เพื่อให้สามารถรองรับความต้องการทราฟฟิกของระบบได้เพียงพอทั้งในสภาวะการใช้งานปกติ และสภาวะที่เกิดความเสียหายที่ข่ายเชื่อมโยงหนึ่ง (Single-link Failure) ให้ใช้ทรัพยากรซึ่งหมายถึงเส้นใยแสงของระบบอย่างมีประสิทธิภาพทัดเทียมกับการออกแบบโดยใช้โครงสร้างแบบเมช

## 1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมที่ใช้ในการออกแบบโครงข่าย WDM ฮิวริสติกที่ใช้ในอัลกอริทึมมี 3 แบบ คือ Local Search, Simulated Annealing และ Tabu Search ทั้งนี้ จะใช้ต้นทุนของเส้นใยแสงเป็นตัววัดสมรรถนะของอัลกอริทึม

2. พัฒนาอัลกอริทึมการจัดสรรความจุสำรอง เพื่อป้องกันโครงข่ายจากความเสียหายที่ข่ายเชื่อมโยงหนึ่ง การป้องกันโครงข่ายที่จะใช้มี 2 วิธี คือ Path Protection และ Span Protection และการสำรองความจุที่ใช้มี 2 วิธี คือ สำรองบนเส้นใยแสงอีกชุดหนึ่งและสำรองบนความยาวคลื่นค่าอื่นในเส้นใยแสงชุดเดิมก่อน

3. ศึกษาผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในฮิวริสติกอัลกอริทึม และผลกระทบของตัวแปรอื่น ๆ ที่มีในโครงข่าย เช่น ลักษณะและปริมาณทราฟฟิก, จำนวนความยาวคลื่นที่มัลติเพลกซ์กันในเส้นใยแสง, Connectivity ของโครงข่าย และอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น ที่มีต่อต้นทุนที่ได้จาก

การออกแบบโครงข่าย ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะที่เกิดความเสียหายที่ข่ายเชื่อมโยงหนึ่ง โดยจะมีการเปรียบเทียบต้นทุนของการออกแบบที่ได้จากการใช้โครงสร้างแบบวงแหวนหลายวงกับต้นทุนของการออกแบบที่ใช้โครงสร้างแบบเมช

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

   1.1 ศึกษาบทความที่เกี่ยวกับเทคโนโลยีโครงข่าย WDM

   1.2 ศึกษาบทความที่เกี่ยวกับการออกแบบโครงข่าย โดยใช้โครงสร้างแบบวงแหวนและแบบเมช

   1.3 ศึกษาบทความที่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ฮิวริสติกทั้ง 3 แบบ

   1.4 ศึกษาบทความที่เกี่ยวกับการจัดวิถีภายในวงแหวนเดี่ยว 1 วง

   1.5 ศึกษาบทความที่เกี่ยวกับการป้องกันโครงข่ายรูปวงแหวน

2. ออกแบบและพัฒนาฮิวริสติกอัลกอริทึม เพื่อใช้ออกแบบโครงข่าย WDM ให้สามารถรองรับความต้องการทราฟฟิกของระบบได้อย่างเพียงพอทั้งในสภาวะปกติ และสภาวะที่เกิดความเสียหายที่ข่ายเชื่อมโยงหนึ่ง

   2.1 ออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมที่ใช้ในการเลือกวงแหวนเบื้องต้น

   2.2 ออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมในการปรับปรุงการออกแบบโครงข่ายให้ดีขึ้น ด้วยฮิวริสติก 3 ชนิด คือ Local Search, Tabu Search และ Simulated Annealing

   2.3 ปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ได้พัฒนา ให้สามารถออกแบบได้ค่าต้นทุนของโครงข่ายที่ต่ำ

   2.4 ออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมการจัดสรรความจุสำรอง เพื่อป้องกันโครงข่ายจากความเสียหายที่ข่ายเชื่อมโยงหนึ่ง

3. ศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบจากตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อการออกแบบ

   3.1 ศึกษาผลของลักษณะและปริมาณของทราฟฟิก, จำนวนความยาวคลื่นที่มัลติเพลกซ์กันในเส้นใยแสง, Connectivity ของโครงข่าย ที่มีต่อการออกแบบโครงข่ายและต้นทุนของโครงข่าย โดยจะเปรียบเทียบต้นทุนที่ได้จากการใช้โครงสร้างแบบวงแหวนหลายวงกับต้นทุนของการออกแบบที่ใช้โครงสร้างแบบเมช

3.2 ศึกษาประโยชน์ของอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นที่มีต่อต้นทุนของโครงข่าย

4. สรุปผลการออกแบบและเขียนวิทยานิพนธ์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. อัลกอริทึมที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ในการออกแบบโครงข่าย WDM ด้วยกรรมวิธีโครงสร้างแบบวงแหวนหลายวง ให้มีประสิทธิภาพทัดเทียมกับการออกแบบโดยใช้โครงสร้างแบบเมช ภายในเวลาที่เหมาะสมได้

2. การศึกษาและการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ใช้ในฮิวริสติกอัลกอริทึมแบบ Local Search, Simulated Annealing และ Tabu Search ทำให้ทราบข้อดีข้อเสียของฮิวริสติกอัลกอริทึมแต่ละแบบ เพื่อนำไปประกอบการพิจารณาเลือกวิธีที่เหมาะสมกับปัญหาการออกแบบโครงข่ายหนึ่ง ๆ มากที่สุดได้

3. อัลกอริทึมการจัดสรรความจุสำรองในโครงข่ายรูปวงแหวนที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการเผื่อความจุสำรองเพื่อป้องกันโครงข่ายจากความเสียหายที่ข่ายเชื่อมโยงหนึ่งได้

4. การศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ทำให้ทราบผลกระทบจากตัวแปรต่าง ๆ เช่น ทราฟฟิก, จำนวนความยาวคลื่นที่มัลติเพลกซ์ในเส้นใยแสง, Connectivity ของโครงข่าย ที่มีต่อการออกแบบโครงข่าย WDM บนพื้นฐานของโครงสร้างแบบวงแหวนหลายวง

5. ทำให้ทราบถึงประโยชน์ของอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นที่มีต่อต้นทุนของโครงข่าย