บทที่ 7

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาฮิวริสติกอัลกอริทึมสำหรับใช้ในการออกแบบโครงข่าย WDM บนพื้นฐานของโครงสร้างแบบวงแหวนหลายวง เพื่อให้สามารถรองรับความต้องการทราฟฟิกของระบบได้เพียงพอทั้งในสภาวะการใช้งานปกติและสภาวะที่เกิดความเสียหายที่ข่ายเชื่อมโยงหนึ่ง เป้าหมายของการออกแบบ คือ การคิดค้นและหากรรมวิธีในการจัดสรรและใช้ทรัพยากรเส้นใยแสงของระบบอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อให้ได้ระบบที่มีต้นทุนของโครงข่ายต่ำ ซึ่งองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปแยกตามแต่ละบทได้ดังนี้

ในบทที่ 2 ได้นำการค้นหาคำตอบแบบ Exhaustive Search มาใช้ในการออกแบบโครงข่ายบนพื้นฐานของโครงสร้างแบบวงแหวนหลายวง วิธีนี้จะค้นหาคำตอบทุกกรณีที่เป็นไปได้เพื่อหาคำตอบที่ให้ต้นทุนต่ำที่สุดอย่างแท้จริง จากผลการทดสอบพบว่าวิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบโครงข่ายที่มีขนาดเล็กเท่านั้น ไม่สามารถใช้ในการออกแบบโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่ได้ วิธีนี้จึงมีประโยชน์ในการวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการออกแบบโครงข่าย โดยจะพบว่าในการเลือกวงแหวนเพื่อรองรับทราฟฟิกทั้งหมดของโครงข่าย จะต้องเลือกวงแหวนหลาย ๆ วงมากกว่าวงแหวนเพียงวงเดียวที่มีขนาดใหญ่ และยิ่งโครงข่ายมี Connectivity สูงจะส่งผลทำให้ต้นทุนของโครงข่ายลดต่ำลงได้

ในการออกแบบโครงข่ายด้วยโครงสร้างแบบวงแหวนหลายวง โดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึมแบ่งเป็นหลายขั้นตอน คือ การเลือกวงแหวนเบื้องต้น, การกระจายทราฟฟิก, การจัดเส้นทาง และการจัดสรรความยาวคลื่น ในบทที่ 2 ยังได้วิเคราะห์วิธีการที่ใช้เลือกวงแหวนเบื้องต้น คือ วิธีการเลือกวงแหวนแบบสุ่ม และนำเสนอการเลือกวงแหวนโดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึมแบบ SRSR จากการวิเคราะห์พบว่า ต้นทุนของโครงข่ายมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับปริมาณทราฟฟิกและค่าจำนวนความยาวคลื่นที่มัลติเพลกซ์ในเส้นใยแสง (ค่า M) และอัลกอริทึมแบบ SRSR เลือกวงแหวนขนาดเล็กและจำนวนน้อยกว่า ต้นทุนจึงมีค่าต่ำกว่าแบบสุ่ม

ในบทที่ 3 เสนอฮิวริสติกอัลกอริทึมที่จะใช้ในขั้นตอนการปรับปรุงการออกแบบจากที่ได้ออกแบบไว้ในขั้นตอนการออกแบบโครงข่ายเบื้องต้นให้ดีขึ้น อัลกอริทึมที่นำเสนอ ได้แก่ ฮิวริสติกอัลกอริทึมแบบ Local Search (LS), Simulated Annealing (SA), Tabu Search (TS) และแบบ Tabu Search ที่ประยุกต์ร่วมกับแบบ Local Search (TabuLS) แต่ละแบบมีความแตกต่างกันที่กระบวนการตัดสินใจเพื่อยอมรับคำตอบใหม่ ความแตกต่างนี้ส่งผลต่าง ๆ กันต่อลักษณะและความหลากหลายของชุดคำตอบที่ค้นพบ ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนสุดท้ายที่ได้จากการออกแบบโครงข่าย

ในบทที่ 4 เป็นส่วนวิเคราะห์ผลของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในอัลกอริทึมแต่ละแบบ ผลจากการทดสอบกับโครงข่าย EUROCore พบว่า ในฮิวริสติกอัลกอริทึมแบบ SA ค่าพารามิเตอร์มีส่วนสำคัญทำให้ความน่าจะเป็นที่จะยอมรับคำตอบที่ด้อยมีลักษณะการลดลงที่แตกต่างกันไป โดยการใช้พารามิเตอร์ค่าสูง ๆ ทำให้ได้คำตอบที่ดี แต่จะทำให้กระบวนการค้นหาคำตอบกินเวลานาน ส่วนการใช้พารามิเตอร์ที่มีค่าต่ำ แม้ว่าจะสามารถให้คำตอบที่ต่ำได้ภายในเวลาอันรวดเร็ว แต่จะทำให้การค้นหาคำตอบที่คล้ายกับในอัลกอริทึมแบบ LS ต้นทุนที่ได้จึงมีค่าสูง และจากการทดสอบกับโครงข่ายหลาย ๆ แบบ พบว่าการเลือกค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับโครงข่ายแบบหนึ่ง ๆ ต้องอาศัยการทดสอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมแบบ LS พบว่าคำตอบที่ได้ส่วนใหญ่จากอัลกอริทึมแบบ SA ยังคงให้ต้นทุนที่ดีกว่าอัลกอริทึมแบบ LS

ส่วนอัลกอริทึมแบบ TS แม้ว่าจะทำให้ได้คำตอบที่หลากหลาย แต่ผลเฉลยที่ได้จะมีค่าไม่ลู่เข้าหาค่าที่ต่ำ และมีคำตอบที่ด้อยกว่าวิธีอื่น ๆ จึงไม่เหมาะสมกับการค้นหาคำตอบ และยังพบว่าการมี Tabu List ไม่ได้เอื้อประโยชน์ในด้านต้นทุนเท่าใดนัก อัลกอริทึมแบบสุดท้าย คือ TabuLS เกิดจากการนำข้อดีของอัลกอริทึมแบบ TS กับแบบ LS มาประยุกต์ใช้ร่วมกัน เพื่อลดความซับซ้อนในการปรับค่าพารามิเตอร์และลดระยะเวลาในการค้นหาคำตอบ คำตอบที่ได้จะดีกว่าทั้งแบบ TS และแบบ LS แต่ยังคงด้อยกว่าแบบ SA ที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ให้สูง

ในบทที่ 5 เป็นการจัดเส้นทางและจัดสรรความยาวคลื่นสำรองสำหรับการป้องกันโครงข่ายจากความเสียหายที่ข่ายเชื่อมโยงหนึ่ง วิธีจัดเส้นทางสำรองที่ได้ศึกษามี 2 วิธี ได้แก่ Path Protection และ Span Protection สำหรับการจัดสรรความยาวคลื่นในวงแหวน ได้ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการสำรองความจุบนความจุที่เหลือบนเส้นใยแสงทำงานก่อนกับวิธีการสำรองความจุบนเส้นใยแสงอีกชุดหนึ่งต่างหาก จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อทราฟฟิกเป็นแบบ Uniform วิธีสำรองบนความจุที่เหลือบนเส้นใยแสงทำงานก่อนจะสามารถประหยัดเส้นใยแสงสำรองได้มากกว่าวิธีสำรองบนเส้นใยแสงอีกชุดหนึ่งต่างหาก โดยเฉพาะที่ M ค่าสูงยิ่งขึ้น วิธีนี้ยิ่งสามารถเพิ่ม

ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรในเส้นใยแสงที่ต่ำให้ดีขึ้นได้ และเมื่อเปรียบเทียบการจัดเส้นทางสำรองระหว่างวิธี Path Protection กับ Span Protection พบว่าวิธีจัดเส้นทางแบบ Path Protection จะให้ระยะทางที่สัญญาณข้อมูลจะต้องส่งในสภาวะที่เกิดความเสียหายสั้นกว่าวิธี Span Protection และในบางกรณียังต้องการความจุน้อยกว่าอีกด้วย โดยเฉพาะเมื่อมีอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น ในท้ายบทยังได้วิเคราะห์ถึงความสำคัญของอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น พบว่าอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นจะมีความสำคัญในการลดจำนวนเส้นใยแสงสำรองได้เฉพาะในการสำรองความจุบนเส้นใยแสงทำงานก่อน แต่อย่างไรก็ตาม หากในเส้นใยแสงทำงานไม่มีความจุเหลือในการรองรับเส้นทางสำรอง อุปกรณ์ชนิดนี้จะไม่สามารถช่วยลดจำนวนเส้นใยแสงที่ต้องการในวิธีจัดเส้นทางแบบ Path Protection ได้

ในบทที่ 6 เป็นการวิเคราะห์ผลของตัวแปรซึ่งมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของอัลกอริทึม ได้แก่ ทราฟฟิก, Connectivity ของโครงข่าย, จำนวนความยาวคลื่นที่มัลติเพลกซ์ในเส้นใยแสง (ค่า M) และอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น โดยจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการออกแบบโครงข่ายบนพื้นฐานของโครงสร้างแบบวงแหวนกับการออกแบบโครงข่ายบนพื้นฐานของโครงสร้างแบบเมช พบว่า การออกแบบโครงข่ายบนพื้นฐานของโครงสร้างแบบวงแหวนจะให้ต้นทุนของโครงข่ายต่ำพอ ๆ กับโครงสร้างแบบเมชในสภาวะปกติ และปริมาณทราฟฟิกส่งผลให้ต้นทุนของโครงข่ายเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมื่อมีการเผื่อความจุสำรองและโครงข่ายมี Connectivity สูง แต่ความแตกต่างนี้จะลดลงในโครงข่ายที่มี Connectivity ต่ำ โครงสร้างแบบวงแหวนจึงมีจุดเด่นที่สามารถออกแบบโครงข่ายที่มี Connectivity ต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพทัดเทียมกับโครงสร้างแบบเมช

ในส่วนของการศึกษาผลกระทบของทั้งปริมาณทราฟฟิกและจำนวนความยาวคลื่นที่มัลติเพลกซ์ในเส้นใยแสง (M) ที่มีต่อการออกแบบโครงข่ายบนพื้นฐานของโครงสร้างแบบวงแหวน พบว่า ทั้งค่าต้นทุน, เปอร์เซ็นต์การใช้ประโยชน์ในเส้นใยแสง, จำนวนวงแหวนและขนาดของวงแหวนเฉลี่ยจะมีค่าเปลี่ยนไปขึ้นกับปริมาณทราฟฟิกและค่า M โดยพบข้อสังเกตหลายข้อ คือ ทราฟฟิกค่าคี่จะให้เปอร์เซ็นต์การใช้ประโยชน์ในเส้นใยแสงต่ำกว่าทราฟฟิกค่าคู่เสมอ และการใช้ M ค่าสูงจะให้เปอร์เซ็นต์การใช้ประโยชน์ต่ำและต้นทุนสูงกว่าการใช้ M ค่าต่ำ ซึ่งความไม่มีประสิทธิภาพนี้อาจลดลงได้หากปริมาณทราฟฟิกมีค่าสูงขึ้น และพบว่า จำนวนและขนาดเฉลี่ยของวงแหวนที่เลือกจะมีค่าไม่คงที่ เนื่องจากอัลกอริทึมการออกแบบโครงข่ายจะปรับชุดของวงแหวนให้เหมาะสมกับค่าทราฟฟิกและค่า M ในแต่ละกรณี เพื่อให้ต้นทุนของโครงข่ายมีค่าต่ำและเปอร์เซ็นต์การใช้ประโยชน์ในเส้นใยแสงมีค่าสูงใกล้เคียง 1 อยู่เสมอ

นอกจากนี้ในบทที่ 6 ยังได้วิเคราะห์ผลของทราฟฟิก Non-uniform 3 รูปแบบที่มีต่อการออกแบบโครงข่าย ได้แก่ ทราฟฟิกที่มีทราฟฟิกของคู่โนดที่ติดกันจำนวนมาก (Near), ทราฟฟิกที่มีทราฟฟิกของคู่โนดที่ไม่ติดกันจำนวนมาก (Far), ทราฟฟิกที่มีทราฟฟิกไปสู่โนดใดโนดหนึ่งมากเป็นพิเศษ (Central) จากผลการทดสอบพบว่า การใช้ทราฟฟิกที่มีลักษณะแตกต่างกันไปจะทำให้ผลการออกแบบทั้งต้นทุนของโครงข่าย, จำนวนวงแหวนที่เลือก, เปอร์เซ็นต์การใช้ประโยชน์ และขนาดของวงแหวนเฉลี่ยมีค่าแตกต่างกันไป ลักษณะของทราฟฟิกที่ให้ค่าต้นทุนต่ำ คือ แบบ Near ซึ่งตรงข้ามกับแบบ Far ที่ให้ต้นทุนของคำตอบสูง สำหรับทราฟฟิกแบบ Central จะมีต้นทุนอยู่ระหว่างแบบ Near และแบบ Far เหมือนกับแบบ Uniform ทั้งนี้ สำหรับทราฟฟิกแบบ Central เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งของโนดศูนย์กลางไป ต้นทุนจะแตกต่างกันไปขึ้นกับความยาวของเส้นทางระหว่างคู่โนดเป็นสำคัญ

เรื่องสุดท้ายที่ได้วิเคราะห์ คือ ความสำคัญของอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นที่มีต่อต้นทุนของโครงข่าย จากผลการทดสอบกับทราฟฟิกปริมาณต่าง ๆ และ M ค่าต่าง ๆ กัน พบว่าอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นไม่ส่งผลต่อต้นทุนของโครงข่ายในสภาวะปกติ แต่จะส่งผลเล็กน้อยต่อต้นทุนของโครงข่ายเมื่อมีการเผื่อความจุสำรองในบางกรณี ดังนั้นอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นจึงเป็นอุปกรณ์ที่ไม่มีความจำเป็นสำหรับการออกแบบโครงข่ายบนพื้นฐานของโครงสร้างแบบวงแหวนหลายวง

7.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการแก้ปัญหาการออกแบบโครงข่ายด้วยฮิวริสติกอัลกอริทึมอาจทำให้คำตอบที่ได้ไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดอย่างแท้จริง (Optimal Solution) งานวิจัยในขั้นตอนต่อไปควรสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ให้สามารถแก้ปัญหาการออกแบบโครงข่ายบนพื้นฐานวงแหวนหลายวงได้
2. ในวิทยานิพนธ์นี้ ขั้นตอนการจัดสรรความจุสำรองเป็นขั้นตอนที่ทำหลังจากได้จัดสรรความจุที่ใช้รองรับทราฟฟิกในสภาวะปกติเรียบร้อยแล้ว งานวิจัยในขั้นตอนต่อไปควรพัฒนาอัลกอริทึมให้สามารถจัดสรรความจุสำรองได้ควบคู่ไปกับการจัดสรรความจุให้ทราฟฟิกในสภาวะปกติได้ จึงอาจทำให้จำนวนเส้นใยแสงที่ต้องการและต้นทุนของโครงข่ายลดลง