บทที่ 5

ผลเฉลยและการวิเคราะห์ผลเฉลย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลเฉลยและการวิเคราะห์ผลเฉลยที่ได้จากอัลกอริทึมฮิวริสติกแต่ละแบบ ทั้งในสภาวะที่โครงข่ายอยู่ในสภาวะทำงานปกติและสภาวะเมื่อหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหาย โดยเปรียบเทียบจำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสง ระยะเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ และสมรรถนะของการใช้อัลกอริทึมฮิวริสติกแต่ละวิธี ได้แก่ อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ LS, SA และ TS เพื่อพิจารณาหาอัลกอริทึมฮิวริสติกที่เหมาะสมกับการออกแบบโครงข่ายแบบหนึ่ง ๆ มากที่สุด

5.1 สมมุติฐานที่ใช้ในการทดลอง

สมมุติฐานที่ใช้ในการทดลองจะใช้โทโพโลยีโครงข่ายและทราฟฟิกชุดเดียวกับในบทที่ 4 คือ โครงข่ายที่ใช้อัลกอริทึมฮิวริสติก 3 อัลกอริทึม ในการทดลองมี 4 โครงข่ายโดยแบ่งเป็นประเภทโครงข่ายทดสอบ ได้แก่ โครงข่าย 5 โนด 7 ข่ายเชื่อมโยง (5N_7L) โครงข่าย 8 โนด 14 ข่ายเชื่อมโยง (8N_14L) โครงข่าย 10 โนด 21 ข่ายเชื่อมโยง (10N_21L) และโครงข่ายที่มีใช้งานจริง ได้แก่ โครงข่าย NSFNet ขนาด 14 โนด 21 ข่ายเชื่อมโยง แสดงดังรูปที่ 4.1 (ก) - (ง) ตามลำดับ

ทราฟฟิกของโนดสมาชิกในแต่ละมัลติคาสต์เซสชันที่ใช้ทดสอบ นิยามให้เป็นความต้องการช่องสัญญาณเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลจากโนดหนึ่งไปยังโนดปลายทางกลุ่มหนึ่ง และมีลักษณะคงตัวไม่แปรเปลี่ยนไปตามเวลา ลักษณะโครงข่าย WDM ที่ใช้หาจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดที่โครงข่ายต้องการถูกแทนด้วย กราฟที่ไม่มีทิศทาง โดยมีชุดทราฟฟิกที่ใช้ทดสอบสำหรับโทโพโลยีโครงข่ายแต่ละแบบดังตารางที่ 4.1 และมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ ต้องการค้นหาผลเฉลยที่มีการใช้เส้นใยนำแสงน้อยที่สุดสำหรับการออกแบบในแต่ละโครงข่าย

เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้อาศัยเทคนิควิธีการวางเส้นใยนำแสงทั้งหมดแบบ Optimized Spare Capacity Assignment สำหรับการป้องกันโครงข่าย จึงมีความจำเป็นต้องมีการจัดสรรเส้นทางและความยาวคลื่นในสภาวะทำงานปกติเป็นอันดับแรกโดยอาศัยโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงสำหรับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ แล้วจึงออกแบบการป้องกันโครงข่ายในสภาวะหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหาย (กลยุทธ์การป้องกันแบบ PBF และ OMP) โดยการนำเส้นทางและความยาว

คลื่นของวิถีทำงาน รวมทั้งความจุทำงานในสภาวะปกติมาพิจารณาร่วมกับความจุสำรองที่ได้ออกแบบจากอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบต่าง ๆ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

อนึ่งวิทยานิพนธ์นี้ใช้คอมพิวเตอร์ Pentium 4 ความเร็ว 2.8 กิกะเฮิรตซ์ และมีหน่วยความจำเท่ากับ 512 เมกะไบต์ ในการประมวลผล

5.2 ผลเฉลยของการจัดสรรเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นในสภาวะทำงานปกติ

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลเฉลยของการจัดสรรเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นในสภาวะทำงานปกติ โดยทำการทดสอบ 5 การทดลอง และจะแปรค่าจำนวนความยาวคลื่นสูงสุดที่สามารถมัลติเพลกซ์ได้ในเส้นใยนำแสงหรือ M จำนวน 8 ค่า ได้แก่ 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 และ 128 แล้วนำมาหาค่าที่เหมาะที่สุดในแต่ละอัลกอริทึมฮิวริสติก และเปรียบเทียบความต้องการใช้จำนวนเส้นใยทำงานกับผลเฉลยทางคณิตศาสตร์หรือวิธี ILP โดยจะแยกพิจารณาเป็น 2 กรณี คือ กรณีมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น และ กรณีไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น แสดงดังตารางที่ 5.1 – 5.8

ตารางที่ 5.1 (ก) และ (ข) แสดงผลเฉลยของจำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำหรับโครงข่าย 5N_7L ในสภาวะการทำงานปกติเมื่อระบบมีการติดตั้งและไม่ติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นตามลำดับ โดยจะเปรียบเทียบจำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงระหว่างผลเฉลยของอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ LS, SA และ TS กับผลเฉลยทางคณิตศาสตร์หรือ ILP จะเห็นว่าผลเฉลยอัลกอริทึมฮิวริสติกทั้ง 3 แบบจะให้ค่าคำตอบมากกว่าหรือเท่ากับผลเฉลยของวิธี ILP ทุก ๆ ค่า M เมื่อพิจารณาที่ค่า M มีค่าน้อย ๆ คือ M เป็น 1 และ 2 ของกรณี VLT ผลเฉลยที่ได้จะใช้จำนวนเส้นใยนำแสงเท่ากันทั้งผลเฉลยของอัลกอริทึมฮิวริสติกทั้ง 3 แบบและผลเฉลย ILP แต่เมื่อค่า M สูงขึ้นคือ 4, 8 และ 16 จะเห็นว่าผลเฉลยของอัลกอริทึมฮิวริสติกจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับผลเฉลย ILP โดยอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ LS จะให้ผลเฉลยเท่ากับผลเฉลย ILP ที่ค่า M เป็น 4 และ 16 คือ 7 และ 4 เส้น ตามลำดับ ขณะที่ผลเฉลยที่ได้จากอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ SA และ TS ให้ผลเฉลยมากกว่าวิธี ILP คิดเป็น 15% และ 25% ตามลำดับ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกระบวนการของอัลกอริทึมฮิวริสติกจะอาศัยการสุ่มหาผลเฉลย ซึ่งค่าคำตอบย่อมมีโอกาสค้นพบผลเฉลยที่เท่ากับผลเฉลย ILP หรือไม่พบก็เป็นได้ จึงให้ค่าคำตอบออกมาใกล้เคียงคำตอบที่เหมาะที่สุด และเมื่อพิจารณาที่ M เป็น 32, 64 และ 128 ผลเฉลยที่ได้จากอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ TS จะให้ค่าคำตอบเท่ากับ ILP ที่ค่า M เป็น 64 และ 128 ใช้เส้นใยนำแสงเท่ากับ 4 เส้น แต่อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ LS และ SA จะให้ผลเฉลยที่มากกว่าวิธี ILP หรือคิดเป็น 25%

เมื่อพิจารณาผลของค่า M ของตารางที่ 5.1 (ก) และ (ข) เมื่อค่า M มีค่าน้อย ๆ คือ 1, 2, และ 4 จะพบว่าความต้องการใช้เส้นใยนำแสงจะมีจำนวนลดลงเป็นเท่าตัว เนื่องจากเมื่อค่า M มีค่าสูงขึ้น ย่อมมีช่องสัญญาณให้ใช้งานเพิ่มมากขึ้นด้วยจึงสามารถลดจำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงลงได้ แต่เมื่อค่า M เป็น 8 จะพบว่าจำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงเริ่มลดลงจากเดิมเพียงเล็กน้อย และจะเริ่มคงตัวเมื่อ $M \geq 16$

พิจารณากรณีที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นหรือ LT ของตารางที่ 5.1 (ข) จะเห็นว่า ทุก ๆ ค่า M จะให้ผลเฉลยที่เท่ากันกับกรณี VLT แต่จะใช้เส้นใยนำแสงมากกว่าที่ M เป็น 4 โดยใช้เส้นใยนำแสงจำนวน 8 เส้น จึงอาจกล่าวได้ว่าการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นสามารถลดจำนวนเส้นใยนำแสงลงได้เพียงบางค่าของ M เท่านั้น

เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบในตารางที่ 5.2 (ก) และ (ข) พบว่าเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบของอัลกอริทึมฮิวริสติกทั้ง 3 แบบ จะใช้เวลามากกว่าเมื่อเทียบกับวิธี ILP สำหรับกรณี VLT จะอยู่ในช่วงระหว่าง 6 – 42 วินาที แต่วิธี ILP จะใช้เวลาไม่เกิน 0.03 วินาที แม้ว่าค่า M จะมีค่าต่างกัน ก็ไม่ส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการค้นหามากนัก เนื่องจากความซับซ้อนในการคำนวณไม่สูงมาก [11] แต่ในกรณี LT ความซับซ้อนในการคำนวณของวิธี ILP จะขึ้นอยู่กับค่า M จึงส่งผลให้เมื่อค่า M มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ก็ยิ่งกินเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบนานเช่นกัน ดังตารางที่ 5.2 (ข) ที่ M เป็น 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 อัลกอริทึมฮิวริสติกจะใช้เวลาในการค้นหาระหว่าง 11 – 101 วินาที ซึ่งนานกว่าวิธี ILP ที่ใช้เวลาไม่เกิน 29 วินาที แต่เมื่อค่า M เป็น 64 และ 128 อัลกอริทึมฮิวริสติกจะใช้เวลาน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัดคือช่วง 22 – 151 วินาที แต่วิธี ILP ใช้เวลานานถึง 532.5 วินาทีหรือประมาณ 8 นาที และ 2904.67 วินาที หรือ ประมาณ 49 นาที ตามลำดับ เนื่องจากการกำหนดความยาวคลื่นในวิธีนี้ต้องทำการกำหนดค่าความยาวคลื่นเป็นค่าเดียวกันตลอดทั้งเส้นทางนั่นเอง แต่เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบระหว่างอัลกอริทึมฮิวริสติกทั้ง 3 แบบ พบว่าอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ LS จะใช้เวลาโดยเฉลี่ยน้อยที่สุดในขณะที่รองลงมาได้แก่อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ SA และแบบ TS จะใช้เวลาในการค้นหานานที่สุด เนื่องจากอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ LS เป็นการสุ่มคำตอบแล้วนำมาพิจารณาว่ายอมรับคำตอบได้หรือไม่เท่านั้น ซึ่งไม่มีความซับซ้อนมากนัก ในขณะที่อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ SA มีความซับซ้อนมากกว่าในส่วนของกระบวนการตัดสินใจยอมรับคำตอบที่ด้อยดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 จึงส่งผลให้ใช้เวลาในการค้นหานานมากขึ้น และอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ TS ใช้เวลาค้นหานานที่สุดเนื่องจากกระบวนการตัดสินใจยอมรับคำตอบมีการเข้าถึงหน่วยความจำใน Tabu list เพื่อไม่ให้การสุ่มหาคำตอบมีการเลือกผลเฉลยลักษณะซ้ำซ้อนในช่วงระยะเวลาหนึ่ง จึงมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบเป็นอย่างมาก

และเนื่องจากทำการทดลอง 5 ครั้งในแต่ละโครงข่าย การคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะสามารถช่วยวัดสมรรถนะของการใช้อัลกอริทึมฮิวริสติกทั้ง 3 แบบ ได้อีกวิธีหนึ่ง ซึ่งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานนี้เป็นตัวชี้ให้เห็นถึงค่าคำตอบที่ได้จากทุก ๆ การทดลองว่ามีการแกว่งตัวของคำตอบต่างกันมากน้อยเพียงใด โดยพบว่าในกรณี VLT อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ LS จะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0 – 0.447 ซึ่งมีช่วงน้อยกว่าอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ SA และ TS มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0 – 0.548 และกรณี LT อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ LS และ TS มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0 – 0.548 และอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ SA มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 0 – 0.837

ตารางที่ 5.3 – 5.8 แสดงผลเฉลยของจำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงและเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย 8N_14L, 10N_21L และ NSFNet ในสภาวะการทำงานปกติ เมื่อระบบมีการติดตั้งและไม่ติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น พบว่าเมื่อโครงข่ายมีขนาดใหญ่ขึ้นสามารถกล่าวโดยสรุปเป็นภาพรวมในแต่ละส่วนได้ว่าการค้นหาคำตอบโดยอัลกอริทึมฮิวริสติกเริ่มมีความแตกต่างในส่วนของจำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงจากวิธี ILP มากขึ้นสำหรับทุก ๆ ค่า M แต่ก็มีบางโครงข่ายเช่นกันที่ให้ค่าคำตอบเท่ากันหรือใกล้เคียงกับวิธี ILP ในบางค่า M เท่านั้น และเมื่อลองพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างอัลกอริทึมฮิวริสติกทั้ง 3 แบบ พบว่าค่าคำตอบที่ให้ค่าความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสามารถเรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้ คือ $TS \leq SA \leq LS$ ทั้งกรณีที่มีและไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นทุก ๆ โครงข่าย เนื่องจากอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ LS มีโอกาสพบค่าที่เหมาะที่สุดเฉพาะที่ (Local optimum) มากกว่าแบบ SA และ TS นั่นเอง แต่เมื่อพิจารณาถึงเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบพบว่าสามารถเรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้ คือ $LS \leq SA \leq TS$ สำหรับกรณี VLT แต่กรณี LT จะใช้เวลาเป็น $SA \leq LS \leq TS$ จึงอาจกล่าวได้ว่าเมื่อปัญหามีความซับซ้อนไม่มากนักการใช้อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ LS จะมีความรวดเร็วในการค้นหาคำตอบมากที่สุด แต่เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความซับซ้อนมากขึ้นการใช้อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ SA จะมีความรวดเร็วในการค้นหาคำตอบมากที่สุด และเมื่อนำมาเทียบกับวิธี ILP จะเห็นได้ว่าในบางโครงข่าย เช่น ตารางที่ 5.5 (ข) โครงข่าย 10N_21L กรณี LT ที่ M เป็น 128 ไม่สามารถหาคำตอบได้เลย และยังพบอีกว่าเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบของวิธี ILP จะใช้เวลาค่อนข้างเร็วในการค้นหาคำตอบสำหรับกรณี VLT แต่จะใช้เวลานานมากสำหรับกรณี LT ทุก ๆ โครงข่าย ที่ M มีค่าสูง ๆ เช่น ตารางที่ 5.8 (ข) สำหรับโครงข่าย NSFNet เมื่อ M มีค่าเป็น 128 จะใช้เวลาค้นหาคำตอบนานถึง 91418.3 วินาทีหรือประมาณ 26 ชั่วโมง ซึ่งมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันกับตารางที่ 5.2 (ก) และ (ข) ดังที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น และส่วนสุดท้ายที่จะวิเคราะห์คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่าเมื่อโครงข่ายมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ปริภูมิการค้นหาคำตอบมีจำนวนมากเช่นกัน ดังนั้นจากที่อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ LS

มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด ก็จะกลายเป็นมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากที่สุดเนื่องจากกระบวนการตัดสินใจยอมรับคำตอบไม่ซับซ้อนมากนัก คำตอบจึงค่อนข้างแกว่ง ในขณะที่อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ SA และ TS มีกระบวนการตัดสินใจยอมรับคำตอบที่ซับซ้อนมากกว่า ดังนั้นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจึงมีค่าน้อยกว่า ซึ่งสามารถสรุปเป็นภาพรวมได้โดยเรียงลำดับจากน้อยไปหามากดังนี้ $TS \leq SA \leq LS$ สังเกตได้ชัดจากตารางที่ 5.7 (ก) และ (ข)

ตารางที่ 5.1 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำหรับโครงข่าย 5N_7L ในสภาวะการทำงานปกติ (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

จำนวนเส้นใยนำแสง (VLT)				
M	LS	SA	TS	ILP
1	27	27	27	27
2	14	14	14	14
4	7	8	8	7
8	5	5	5	5
16	4	5	5	4
32	5	5	5	4
64	5	5	4	4
128	5	5	4	4
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0-0.447	0-0.548	0-0.548	-

(ก)

จำนวนเส้นใยนำแสง (LT)				
M	LS	SA	TS	ILP
1	27	27	27	27
2	14	14	14	14
4	8	8	8	8
8	6	6	5	5
16	4	5	4	4
32	5	5	4	4
64	5	4	5	4
128	4	5	4	4
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0-0.548	0-0.837	0-0.548	-

(ข)

ตารางที่ 5.2 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย 5N_7L ในสภาวะการทำงานปกติ (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, VLT)				
M	LS	SA	TS	ILP
1	9	9	26	0.03
2	6	15	24	0.02
4	12	9	26	0.02
8	8	13	30	0.02
16	15	11	25	0.02
32	8	12	25	0.02
64	7	13	30	0.02
128	10	11	42	0.02

(ก)

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, LT)				
M	LS	SA	TS	ILP
1	16	14	71	0.03
2	11	16	76	0.03
4	12	15	100	0.3
8	20	13	97	0.69
16	27	16	77	9.61
32	22	17	101	29
64	22	33	103	532.5
128	59	20	151	2904.67

(ข)

ตารางที่ 5.3 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำหรับโครงข่าย 8N_14L ในสภาวะการทำงานปกติ (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

จำนวนเส้นใยนำแสง (VLT)				
M	LS	SA	TS	ILP
1	47	47	46	46
2	25	24	25	23
4	14	15	15	13
8	9	9	9	7
16	8	9	8	6
32	9	9	9	6
64	9	8	8	6
128	9	9	8	6
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.528-1.924	0-1.517	0-0.894	-

(ก)

จำนวนเส้นใยนำแสง (LT)				
M	LS	SA	TS	ILP
1	47	46	46	46
2	28	26	26	23
4	17	18	17	13
8	13	11	11	8
16	9	9	8	6
32	9	9	8	6
64	9	9	8	6
128	8	9	7	6
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.447-1.483	0.447-1.483	0.447-0.894	-

(ข)

ตารางที่ 5.4 **เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย** 8N_14L **ในสภาวะการทำงานปกติ** (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, VLT)				
M	LS	SA	TS	ILP
1	13	49	75	0.02
2	17	24	51	0
4	25	24	32	0.05
8	19	14	37	0.05
16	16	21	59	0.06
32	17	27	44	0.11
64	10	23	65	0.13
128	18	24	57	0.13

(ก)

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, LT)				
M	LS	SA	TS	ILP
1	38	72	107	0.06
2	33	61	159	0.06
4	33	20	112	3.03
8	15	31	135	13.78
16	23	36	192	240.45
32	22	23	145	8977.95
64	40	26	268	2102.67
128	39	34	252	26390.39

(ข)

ตารางที่ 5.5 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำหรับโครงข่าย 10N_21L ในสภาวะการทำงานปกติ (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

จำนวนเส้นใยนำแสง (VLT)				
M	LS	SA	TS	ILP
1	55	54	52	51
2	32	32	30	27
4	20	18	18	15
8	14	13	13	10
16	11	12	11	9
32	12	12	11	9
64	13	13	11	9
128	13	11	11	9
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.447-0.894	0.447-1.304	0.447-1.304	-

(ก)

จำนวนเส้นใยนำแสง (LT)				
M	LS	SA	TS	ILP
1	54	53	52	51
2	32	34	31	27
4	21	23	22	15
8	16	16	14	10
16	12	12	11	9
32	12	13	12	10
64	13	13	11	11
128	12	13	12	หาค่าไม่ได้
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.447-0.894	0.447-1.304	0.447-1.304	-

(ข)

ตารางที่ 5.6 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย 10N_21L ในสภาวะการทำงานปกติ (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, VLT)				
M	LS	SA	TS	ILP
1	13	24	102	0.06
2	15	35	45	0.36
4	8	29	50	0.5
8	9	30	35	3.39
16	15	28	29	9.53
32	13	22	36	18.28
64	9	25	36	25.84
128	12	28	32	30.45

(ก)

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, LT)				
M	LS	SA	TS	ILP
1	32	36	275	0.23
2	54	52	141	5.14
4	43	46	95	175.36
8	41	28	304	7009.17
16	33	24	218	13857
32	31	23	190	5023.59
64	37	29	175	21555.44
128	53	34	250	หาค่าไม่ได้

(ข)

ตารางที่ 5.7 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำหรับโครงข่าย NSFNet ในสภาวะการทำงานปกติ (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

จำนวนเส้นใยนำแสง (VLT)				
M	LS	SA	TS	ILP
1	63	63	63	63
2	35	33	34	33
4	21	19	19	18
8	13	14	12	11
16	11	11	10	9
32	11	10	11	9
64	11	11	11	9
128	11	10	10	9
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0-1.141	0.447-1.517	0-0.894	-

(ก)

จำนวนเส้นใยนำแสง (LT)				
M	LS	SA	TS	ILP
1	64	64	63	63
2	36	36	34	33
4	21	23	22	19
8	14	14	13	11
16	11	11	11	9
32	11	11	11	9
64	11	11	10	9
128	11	11	11	9
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0-2.074	0.447-1.14	0-1.871	-

(ข)

ตารางที่ 5.8 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย NSFNet **ในสภาวะการทำงานปกติ** (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, VLT)				
M	LS	SA	TS	ILP
1	9	24	52	0.09
2	8	22	35	0.05
4	15	17	35	0.03
8	11	13	56	0.09
16	7	14	42	0.06
32	8	27	52	0.13
64	8	13	49	0.16
128	9	39	37	0.11

(ก)

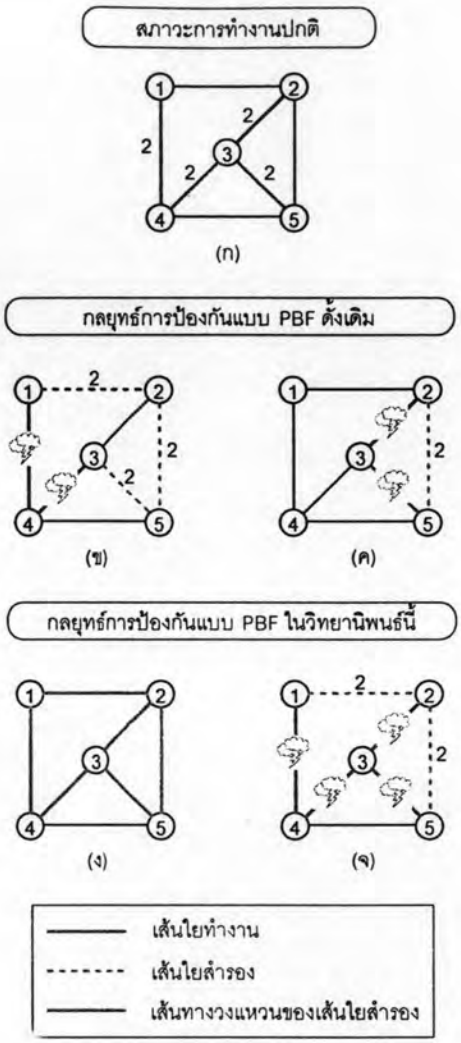
เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, LT)				
M	LS	SA	TS	ILP
1	38	16	91	0.06
2	42	25	139	0.11
4	29	24	106	7.05
8	19	23	123	17.18
16	22	20	125	468.19
32	22	21	141	41415.78
64	35	31	173	166216.4
128	44	34	261	91418.28

(ข)

5.3 ผลเฉลยของการป้องกันโครงข่ายเมื่อหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหาย

หลังจากที่ได้ผลเฉลยของการจัดสรรเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นเมื่อโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติในหัวข้อที่ผ่านมา ผลเฉลยดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ในการออกแบบร่วมกับกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF และ OMP โดยจะนำผลเฉลยที่ได้จากวิธี ILP เป็นผลเฉลยตั้งต้นสำหรับกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายทั้ง 2 แบบ ทั้งกรณี VLT และ LT เนื่องจากการค้นหาคำตอบด้วยวิธี ILP ให้ค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดนั่นเอง

ในวิทยานิพนธ์นี้จะอาศัยพื้นฐานกลยุทธ์การป้องกันแบบ PBF และ OMP [11] ที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบสำหรับอัลกอริทึมฮิวริสติกจึงขออธิบายวิธีการที่ใช้ในการเลือกโครงสร้างวงแหวนที่นำมาครอบคลุมทุกโนดสมาชิกและข่ายเชื่อมโยงในสภาวะทำงาน ซึ่งแตกต่างจาก [11] ที่อาศัยการค้นหาวงแหวนที่ครอบคลุมทีละหนึ่งข่ายเชื่อมโยงที่ได้รับความเสียหายเท่านั้น และกำหนดจำนวนโครงสร้างวงแหวนที่ประกอบร่วมกันมีจำนวนไม่เกิน 2 วงแหวน เพื่อกำเนิดปริภูมิการค้นหาผลเฉลยสำหรับกลยุทธ์การป้องกันทั้ง 2 กลยุทธ์ โดยแสดงตัวอย่างการหาจำนวนเส้นใยนำแสงสำรองดังรูปที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ

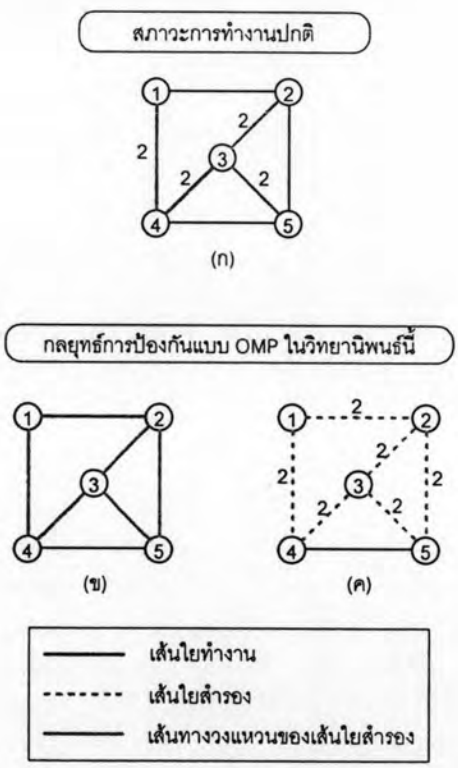


รูปที่ 5.1 วิธีหาเส้นใยนำแสงสำรองของกลยุทธ์การป้องกันแบบ PBF เดิมและที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้

รูปที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการหาเส้นใยนำแสงสำรองของกลยุทธ์การป้องกันแบบ PBF เดิมและที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ โดยการหาโครงสร้างวงแหวนที่เป็นไปได้ที่ครอบคลุมข่ายเชื่อมโยงของเส้นใยทำงานและโนดสมาชิกของแต่ละมัลติคาสต์เซสชัน รูปที่ 5.1 (ก) แสดงวิถีทำงานในสภาวะการทำงานปกติที่มีเส้นใยทำงาน 1-4, 4-3, 3-2 และ 3-5 ที่รองรับปริมาณทราฟฟิกขนาดเท่ากับ 2 จะเห็นว่าแต่ละข่ายเชื่อมโยงใช้เส้นใยนำแสงจำนวนเท่ากับ 2 ในสภาวะการเกิดความเสียหายที่ข่ายเชื่อมโยง การหาเส้นใยสำรองของกลยุทธ์การป้องกันแบบ PBF แบบเดิม จะมีการหาเส้นทางสำรองในลักษณะวงแหวน 2 วง ได้แก่ วงแหวน 1-2-5-3-4-1 และ 2-5-3-2 ดังรูปที่ 5.1 (ข) และ (ค) ตามลำดับ วิธีนี้จะทำการหาวงแหวนของเส้นใยสำรองเพื่อรองรับเส้นใยทำงานทีละข่ายเชื่อมโยงแสดงดังรูปที่ 5.1 (ข) จะเห็นว่ามีการใช้เส้นใยสำรองที่ข่ายเชื่อมโยง 1-2, 2-5 และ 5-3 จำนวนเท่ากับ 6 เพื่อรองรับข่ายเชื่อมโยงของเส้นใยทำงาน 1-4 หรือ 4-3 เมื่อเกิดความเสียหาย รูปที่ 5.1 (ค) มีการใช้เส้นใยสำรองที่ข่ายเชื่อมโยง 2-5 จำนวนเท่ากับ 2 เพื่อรองรับข่ายเชื่อมโยงของเส้นใยทำงาน 2-3 หรือ 3-5 เมื่อเกิดความเสียหาย แล้วนำมาคำนวณหาเส้นใยสำรองทั้งหมด

จะได้เส้นใยสำรองทั้งหมดเท่ากับ 8 ในขณะที่การหาเส้นใยสำรองของกลยุทธ์การป้องกันแบบ PBF ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการหาเส้นทางสำรองในลักษณะวงแหวนที่เป็นไปได้ดังรูปที่ 5.1 (ง) มีการใช้ข่ายเชื่อมโยงของวงแหวน 1-2-5-3-4-1 และ 2-5-3-2 ประกอบกัน โดยกำหนดให้แต่ละข่ายเชื่อมโยงมีการใช้เส้นใยสำรองจำนวนเท่ากับ 2 แล้วนำมาคำนวณหาเส้นใยสำรองจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 5.1 (จ) จะเห็นว่ามีการใช้เส้นใยสำรองทั้งหมดเท่ากับ 4 ที่ข่ายเชื่อมโยง 1-2 และ 2-5 เพื่อรองรับข่ายเชื่อมโยงของเส้นใยทำงาน 1-4, 4-3, 3-2 หรือ 3-5 เมื่อเกิดความเสียหาย ซึ่งมีการใช้เส้นใยสำรองน้อยกว่าการหาเส้นใยสำรองของกลยุทธ์การป้องกันแบบ PBF แบบเดิม และง่ายต่อการออกแบบกับอัลกอริทึมฮิวริสติก

กลยุทธ์การป้องกันแบบ OMP จะอาศัยหลักการหาเส้นใยนำแสงที่ใช้ในลักษณะเดียวกับกลยุทธ์การป้องกันแบบ PBF ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ด้วยเช่นกัน แต่จะพิจารณาวิถีทำงานในข่ายเชื่อมโยงสภาวะทำงานปกติของกลยุทธ์การป้องกันแบบ PBF เป็นวิถีสำรองที่ใช้ในกลยุทธ์การป้องกันแบบ OMP แสดงดังรูปที่ 5.2 (ก) – (ค)



รูปที่ 5.2 วิธีหาเส้นใยนำแสงสำรองของกลยุทธ์การป้องกันแบบ OMP ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

ตารางที่ 5.9 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองสำหรับโครงข่าย 5N_7L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

จำนวนเส้นใยนำแสง (VLT)			
M	LS	SA	TS
1	24	24	24
2	9	9	9
4	7	7	7
8	6	6	6
16	3	3	3
32	3	3	3
64	3	3	3
128	3	3	3
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0	0	0

(ก)

จำนวนเส้นใยนำแสง (LT)			
M	LS	SA	TS
1	24	24	24
2	10	10	10
4	7	7	7
8	6	6	6
16	3	3	3
32	3	3	3
64	3	3	3
128	3	3	3
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0	0	0

(ข)

ตารางที่ 5.10 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย 5N_7L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, VLT)			
M	LS	SA	TS
1	9	14	35
2	10	14	34
4	10	14	33
8	9	15	32
16	9	15	32
32	10	14	32
64	10	15	32
128	9	15	33

(ก)

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, LT)			
M	LS	SA	TS
1	11	10	37
2	13	12	48
4	18	17	65
8	20	16	68
16	21	17	69
32	22	17	73
64	24	19	80
128	26	23	92

(ข)

ตารางที่ 5.11 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองสำหรับโครงข่าย 5N_7L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

จำนวนเส้นใยนำแสง (VLT)			
M	LS	SA	TS
1	51	51	51
2	23	23	23
4	14	14	14
8	10	10	10
16	6	6	6
32	6	6	6
64	6	6	6
128	6	6	6
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0	0	0

(ก)

จำนวนเส้นใยนำแสง (LT)			
M	LS	SA	TS
1	51	51	51
2	24	24	23
4	14	14	14
8	9	9	9
16	5	5	5
32	5	5	5
64	7	7	6
128	6	6	5
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0	0	0

(ข)

ตารางที่ 5.12 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย 5N_7L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, VLT)			
M	LS	SA	TS
1	10	13	32
2	10	13	32
4	9	11	33
8	10	14	32
16	10	18	32
32	9	15	32
64	10	19	33
128	10	20	33

(ก)

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, LT)			
M	LS	SA	TS
1	11	10	37
2	13	12	48
4	18	16	67
8	21	18	67
16	18	16	70
32	20	18	73
64	23	22	84
128	31	24	94

(ข)

ตารางที่ 5.13 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองสำหรับโครงข่าย 8N_14L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

จำนวนเส้นใยนำแสง (VLT)			
M	LS	SA	TS
1	36	36	36
2	18	18	18
4	14	14	14
8	7	7	7
16	4	4	4
32	5	4	5
64	5	4	4
128	4	4	4
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0-0.447	0-0.837	0

(ก)

จำนวนเส้นใยนำแสง (LT)			
M	LS	SA	TS
1	36	36	36
2	23	23	22
4	19	19	19
8	12	11	11
16	6	5	5
32	6	5	5
64	7	7	7
128	5	5	5
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.447-1.483	0.447-1.483	0.447-0.894

(ข)

ตารางที่ 5.14 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย 8N_14L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, VLT)			
M	LS	SA	TS
1	10	12	34
2	10	12	33
4	10	12	34
8	10	13	34
16	10	13	34
32	17	18	33
64	10	23	32
128	11	15	32

(ก)

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, LT)			
M	LS	SA	TS
1	11	11	39
2	20	18	66
4	22	20	79
8	26	21	94
16	24	22	96
32	30	23	102
64	31	26	116
128	44	33	145

(ข)

ตารางที่ 5.15 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองสำหรับโครงข่าย 8N_14L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

จำนวนเส้นใยนำแสง (VLT)			
M	LS	SA	TS
1	82	82	82
2	41	41	41
4	27	27	27
8	14	14	14
16	8	8	8
32	8	8	8
64	8	8	8
128	9	10	9
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0-0.837	0-0.837	0-0.837

(ก)

จำนวนเส้นใยนำแสง (LT)			
M	LS	SA	TS
1	82	82	82
2	46	46	47
4	32	32	31
8	19	19	19
16	9	9	8
32	11	11	11
64	11	11	11
128	10	10	10
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.447-1.483	0.447-1.483	0.447-0.894

(ข)

ตารางที่ 5.16 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย 8N_14L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, VLT)			
M	LS	SA	TS
1	10	11	33
2	10	13	34
4	10	10	33
8	10	14	35
16	10	18	33
32	13	15	33
64	11	19	35
128	11	21	33

(ก)

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, LT)			
M	LS	SA	TS
1	11	10	39
2	19	19	65
4	20	19	78
8	24	21	92
16	25	22	94
32	27	23	99
64	31	26	114
128	41	36	149

(ข)

ตารางที่ 5.17 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองสำหรับโครงข่าย 10N_21L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

จำนวนเส้นใยนำแสง (VLT)			
M	LS	SA	TS
1	39	39	39
2	22	22	22
4	14	14	14
8	8	8	8
16	8	8	8
32	8	8	8
64	7	7	7
128	8	8	8
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0-0.548	0-1.643	0-0.548

(ก)

จำนวนเส้นใยนำแสง (LT)			
M	LS	SA	TS
1	39	42	39
2	25	25	24
4	19	19	19
8	12	11	9
16	13	11	10
32	13	12	11
64	12	11	10
128	*	*	*
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.447-1.643	0.447-0.894	0.447-0.894

(ข)

หมายเหตุ * หมายถึงไม่สามารถหาผลเฉลยได้เนื่องจากไม่มีผลเฉลยตั้งต้นจากวิธี ILP

ตารางที่ 5.18 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย 10N_21L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, VLT)			
M	LS	SA	TS
1	10	17	33
2	13	12	33
4	11	12	38
8	11	18	34
16	15	20	34
32	12	12	33
64	11	16	34
128	10	15	38

(ก)

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, LT)			
M	LS	SA	TS
1	11	10	56
2	18	26	58
4	23	20	68
8	28	18	73
16	28	18	86
32	31	22	85
64	30	23	100
128	*	*	*

(ข)

หมายเหตุ * หมายถึงไม่สามารถหาผลเฉลยได้เนื่องจากไม่มีผลเฉลยตั้งต้นจากวิธี ILP

ตารางที่ 5.19 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองสำหรับโครงข่าย 10N_21L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

จำนวนเส้นใยนำแสง (VLT)			
M	LS	SA	TS
1	90	90	90
2	49	49	49
4	29	29	29
8	16	16	16
16	13	13	13
32	13	13	13
64	14	14	14
128	13	13	13
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0-0.837	0-0.548	0-0.548

(ก)

จำนวนเส้นใยนำแสง (LT)			
M	LS	SA	TS
1	90	90	90
2	51	51	52
4	36	34	34
8	20	22	18
16	16	15	14
32	18	17	17
64	18	18	18
128	*	*	*
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.447-1.304	0.447-1.304	0.447-0.894

(ข)

หมายเหตุ * หมายถึงไม่สามารถหาผลเฉลยได้เนื่องจากไม่มีผลเฉลยตั้งต้นจากวิธี ILP

ตารางที่ 5.20 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย 10N_21L ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, VLT)			
M	LS	SA	TS
1	10	11	34
2	10	13	34
4	10	12	33
8	11	14	35
16	18	18	65
32	11	17	34
64	23	26	50
128	22	24	37

(ก)

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, LT)			
M	LS	SA	TS
1	10	15	41
2	16	22	58
4	20	21	66
8	22	19	73
16	20	27	75
32	25	24	85
64	28	23	99
128	*	*	*

(ข)

หมายเหตุ * หมายถึงไม่สามารถหาผลเฉลยได้เนื่องจากไม่มีผลเฉลยตั้งต้นจากวิธี ILP

ตารางที่ 5.21 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองสำหรับโครงข่าย NSFNet ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

จำนวนเส้นใยนำแสง (VLT)			
M	LS	SA	TS
1	64	64	64
2	35	35	35
4	22	22	22
8	13	13	13
16	11	11	10
32	10	10	10
64	9	9	9
128	9	9	9
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.447-1.095	0-1.095	0-0.548

(ก)

จำนวนเส้นใยนำแสง (LT)			
M	LS	SA	TS
1	66	64	64
2	42	42	41
4	26	28	26
8	22	21	20
16	14	14	14
32	13	12	12
64	17	16	16
128	15	14	14
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0-2.074	0.447-1.14	0-0.874

(ข)

ตารางที่ 5.22 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย NSFNet ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, VLT)			
M	LS	SA	TS
1	16	19	37
2	10	16	46
4	12	19	40
8	11	17	46
16	16	16	65
32	16	20	45
64	12	14	37
128	15	18	36

(ก)

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, LT)			
M	LS	SA	TS
1	21	21	43
2	18	24	79
4	27	22	74
8	28	23	73
16	27	18	75
32	30	20	86
64	34	24	94
128	41	35	135

(ข)

ตารางที่ 5.23 จำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองสำหรับโครงข่าย NSFNet ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

จำนวนเส้นใยนำแสง (VLT)			
M	LS	SA	TS
1	127	127	127
2	68	68	68
4	39	39	39
8	21	21	21
16	16	16	16
32	16	16	16
64	16	16	16
128	16	16	16
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.447-1.095	0-0.548	0-0.548

(ก)

จำนวนเส้นใยนำแสง (LT)			
M	LS	SA	TS
1	127	129	127
2	74	74	74
4	46	46	45
8	33	31	29
16	18	18	18
32	19	18	18
64	20	20	20
128	18	18	18
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.447-2.074	0.447-1.14	0-0.873

(ข)

ตารางที่ 5.24 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย NSFNet ของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP (ก) เมื่อระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) เมื่อระบบไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, VLT)			
M	LS	SA	TS
1	17	19	43
2	15	17	37
4	16	19	39
8	13	17	34
16	11	16	50
32	12	20	43
64	12	14	40
128	14	18	35

(ก)

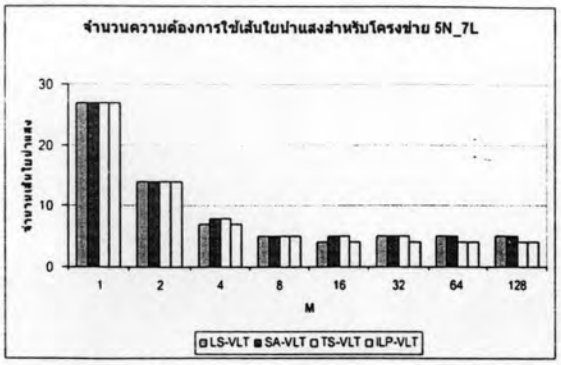
เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที, LT)			
M	LS	SA	TS
1	24	12	57
2	19	19	77
4	23	19	70
8	22	20	71
16	20	19	75
32	23	20	85
64	28	24	96
128	38	33	141

(ข)

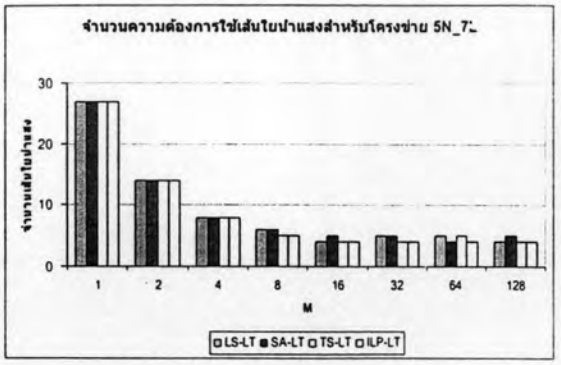
ตารางที่ 5.9 – 5.24 แสดงผลเฉลยของจำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองและเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับโครงข่าย 5N_7L, 8N_14L, 10N_21L และ NSFNet ในสภาวะเมื่อหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหายของกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF และ OMP เมื่อระบบมีการติดตั้งและไม่ติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น พบว่าแนวโน้มของค่าคำตอบของการใช้เส้นใยนำแสงสำรองสำหรับกรณี VLT ทั้ง 3 อัลกอริทึมจะให้ค่าไม่ต่างกันมากนักเมื่อโครงข่ายมีขนาดเล็ก แต่เมื่อโครงข่ายมีขนาดใหญ่ขึ้นสามารถสรุปได้ว่า $TS \leq SA \leq LS$ ส่วนกรณี LT ซึ่งมีความซับซ้อนของโครงข่ายมากกว่ากรณี VLT สามารถสรุปได้ว่า $TS \leq SA \leq LS$ เช่นกัน ทางด้านเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบสามารถสรุปได้ว่าในกรณี VLT ใช้เวลาเป็นดังนี้ $LS \leq SA \leq TS$ แต่ในกรณี LT จะใช้เวลาเป็นดังนี้ $SA \leq LS \leq TS$ และการวิเคราะห์ในส่วนสุดท้ายคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่า $TS \leq SA \leq LS$ ทั้งกรณี VLT และ LT ซึ่งบทสรุปทั้งหมดนี้ให้แนวโน้มทางด้านความต้องการใช้จำนวนเส้นใยนำแสง เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในลักษณะเช่นเดียวกับผลเฉลยของการออกแบบการจัดสรรและกำหนดความยาวคลื่นสำหรับการทำงานปกติในหัวข้อที่ผ่านมา

การเปรียบเทียบกันระหว่างกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF และ OMP พบว่าความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองสำหรับแบบ OMP จะมีค่ามากกว่าแบบ PBF ที่ทุก ๆ ค่า M เนื่องจากกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP มีการวางเส้นใยสำรองที่วิถีทำงานปกติเพิ่มด้วยนั่นเอง

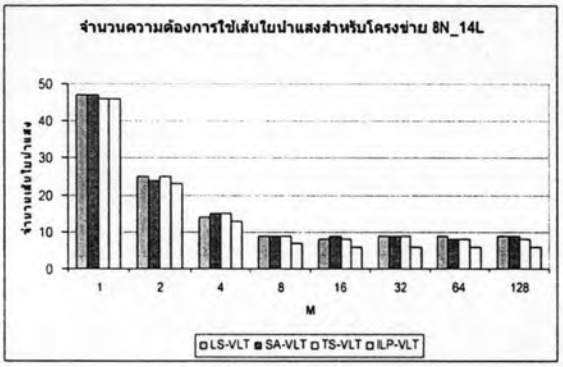
เพื่อให้เห็นภาพรวมของการหาผลเฉลยความต้องการใช้เส้นใยนำแสงของแต่ละโครงข่ายทั้งการจัดสรรเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นในสภาวะการทำงานปกติ ที่ได้จากตารางที่ 5.1 – 5.8 และกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF และ OMP ที่ได้จากตารางที่ 5.9 - 5.24 กรณีที่มีและไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น สามารถนำผลการทดลองดังกล่าวมาแสดงอีกครั้งเป็นแผนภูมิแท่งได้ดังรูปที่ 5.3, 5.4 และ 5.5 ตามลำดับ



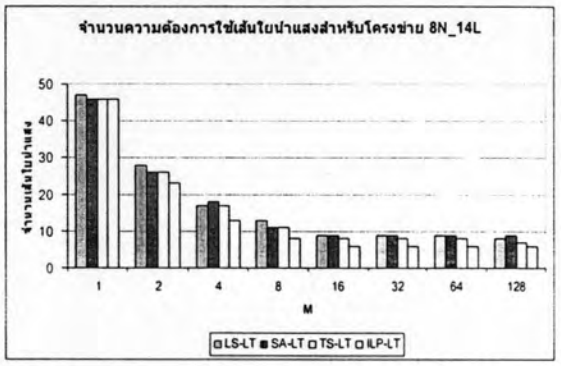
(ก)



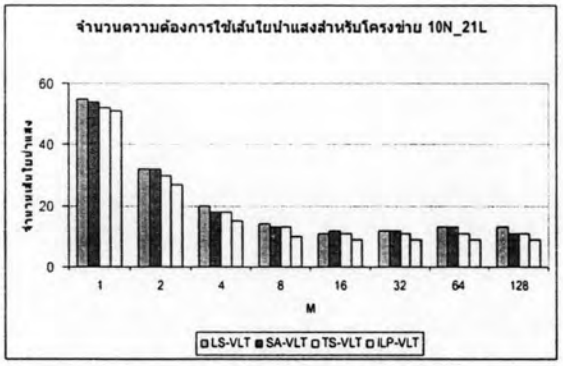
(ข)



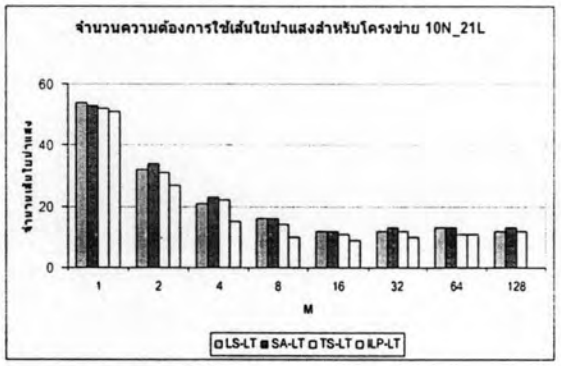
(ค)



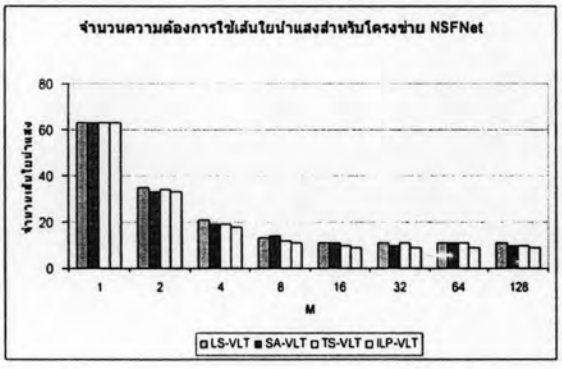
(ง)



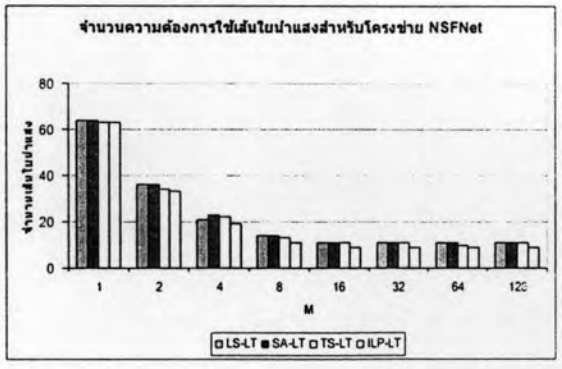
(จ)



(ฉ)

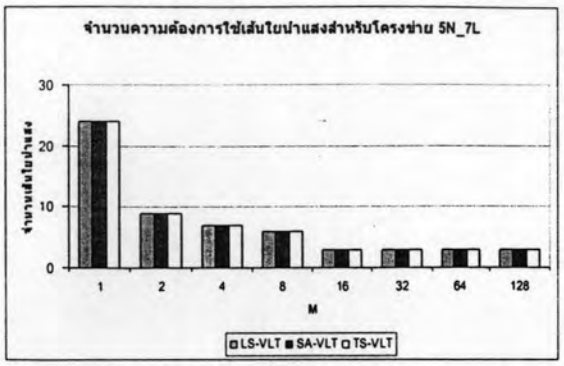


(ช)

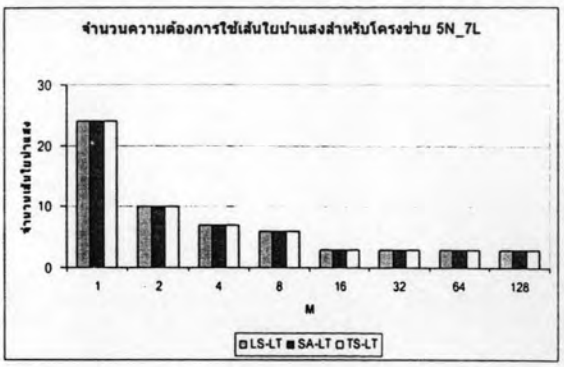


(ซ)

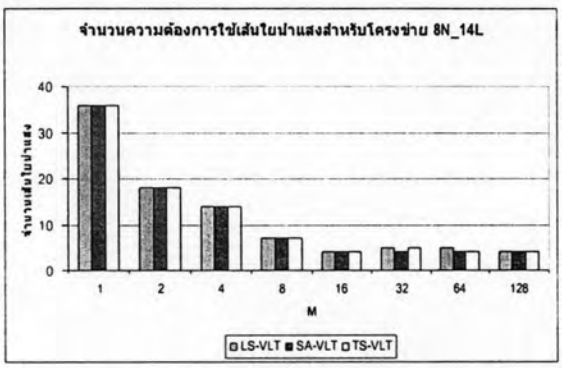
รูปที่ 5.3 แผนภูมิแสดงจำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงเมื่อโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติทั้งกรณี VLT และ LT



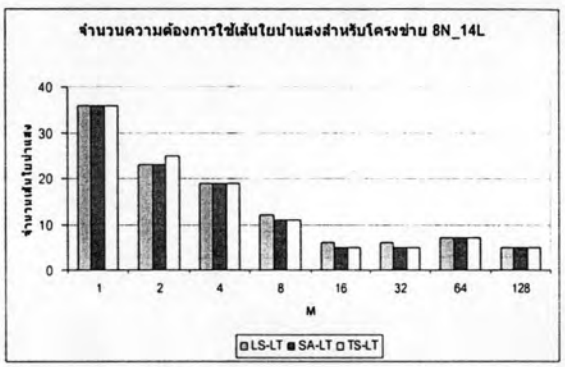
(ก)



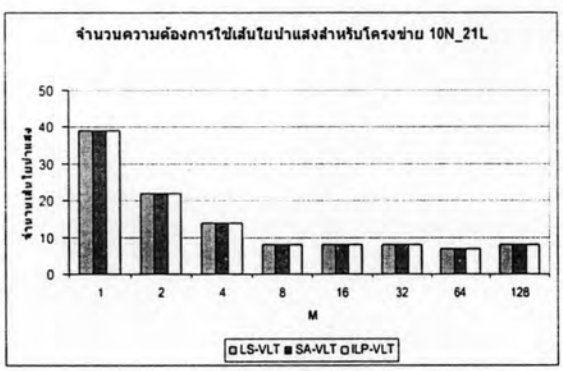
(ข)



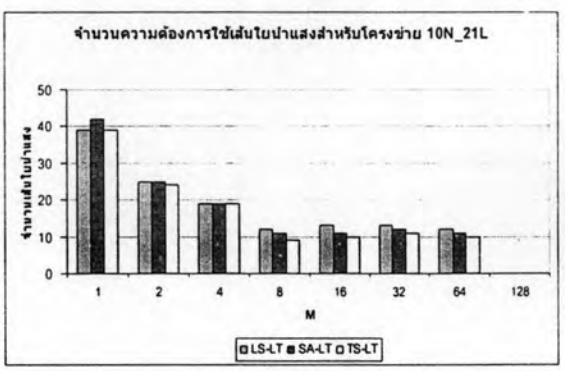
(ค)



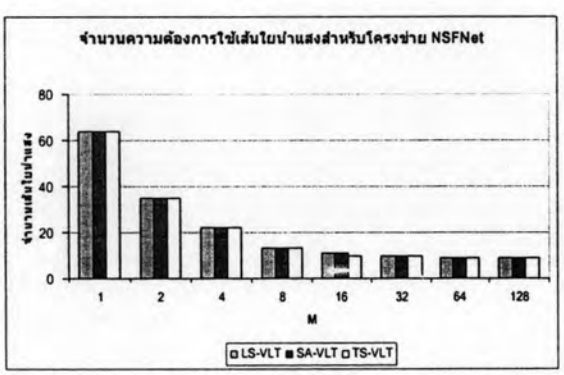
(ง)



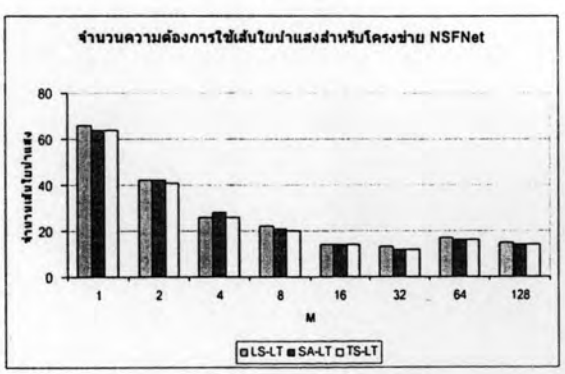
(จ)



(ฉ)

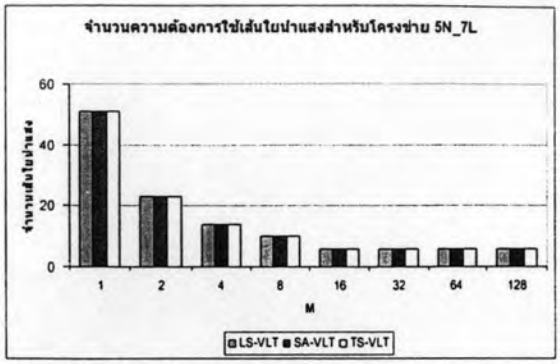


(ช)

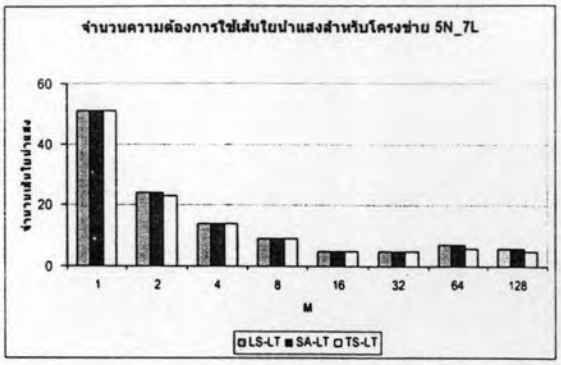


(ซ)

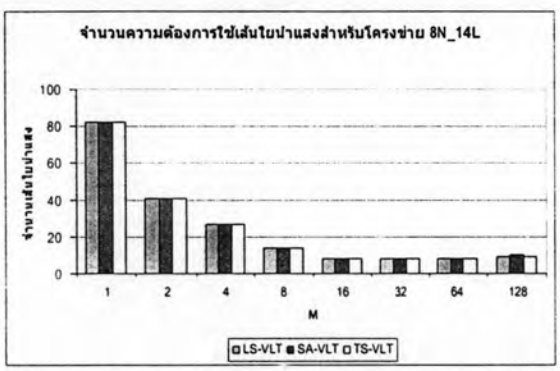
รูปที่ 5.4 แผนภูมิแสดงจำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองเมื่อหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหายสำหรับกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ PBF ทั้งกรณี VLT และ LT



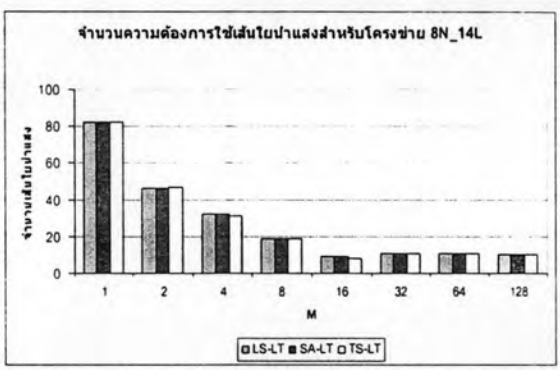
(ก)



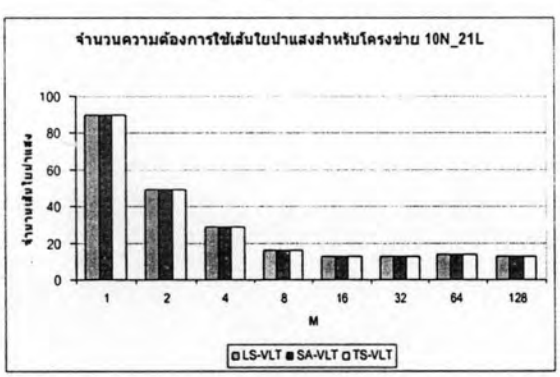
(ข)



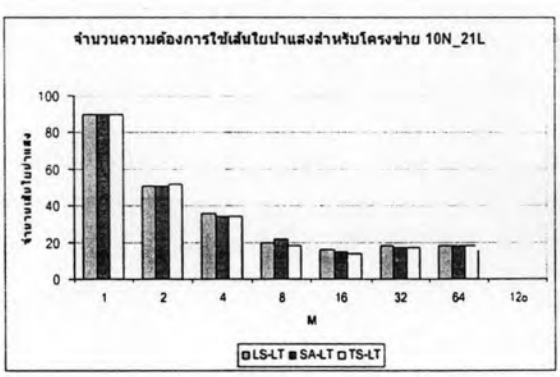
(ค)



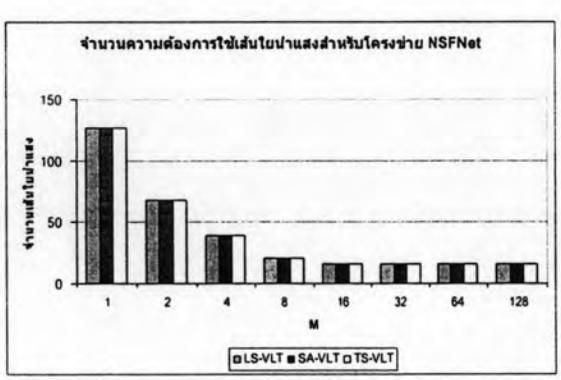
(ง)



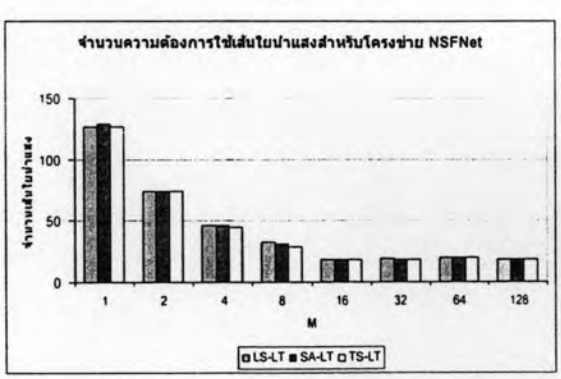
(จ)



(ฉ)



(ช)



(ซ)

รูปที่ 5.5 แผนภูมิแสดงจำนวนความต้องการใช้เส้นใยนำแสงสำรองเมื่อหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหายสำหรับกลยุทธ์การป้องกันโครงข่ายแบบ OMP ทั้งกรณี VLT และ LT