

การออกแบบโครงข่าย WDM สำหรับโทรคมนาคมยุคใหม่โดยใช้โทโปโลยีแบบวงแหวนที่สามารถ  
ปกป้องความเสียหายของหนึ่งข่ายเชื่อมโยง



นายอนุชิต จตุรงค์ปัญญา

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

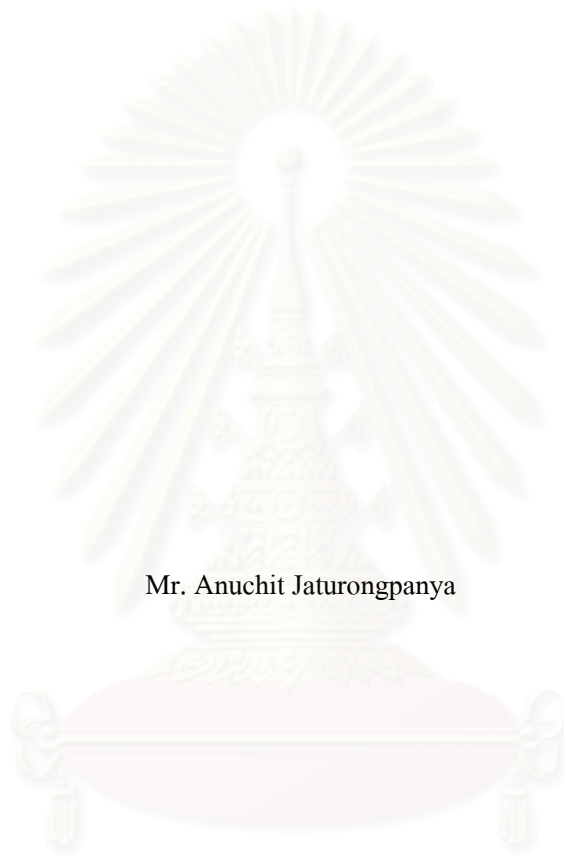
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-5434-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DESIGN OF WDM NETWORKS FOR MULTICAST TRAFFIC USING RING TOPOLOGY  
WITH SINGLE LINK FAILURE PROTECTION CAPABILITY



Mr. Anuchit Jaturongpanya

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement  
For the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-5434-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การออกแบบโครงข่าย WDM สำหรับกราฟิกมัลติคาสต์โดยใช้  
โทโปโลยีแบบวงแหวนที่สามารถปกป้องความเสียหายของหนึ่ง  
ข่ายเชื่อมโยง

โดย

นายอนุชิต จตุรงค์ปัญญา

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญจนกร วุฒิสีทธิกุลกิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญจนกร วุฒิสีทธิกุลกิจ)

.....กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. ชัยเชษฐ สหายวิจิตร)

อนุชิต จตุรงค์ปัญญา : การออกแบบโครงข่าย WDM สำหรับทราฟฟิกมัลติคาสต์โดยใช้โทโปโลยีแบบวงแหวนที่สามารถปกป้องความเสียหายของหนึ่งขั้วเชื่อมโยง (DESIGN OF WDM NETWORKS FOR MULTICAST TRAFFIC USING RING TOPOLOGY WITH SINGLE LINK FAILURE PROTECTION CAPABILITY) อ.ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญจกร วุฒิสัทติกุลกิจ, 60 หน้า. ISBN 974-17-5434-5.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ศึกษาการออกแบบโครงข่าย WDM แบบมัลติคาสต์ที่สามารถปกป้องความเสียหายได้เมื่อขั้วเชื่อมโยงหนึ่งขั้วได้รับความเสียหาย ด้วยลักษณะของวงแหวนแบบวงแหวนเดี่ยว (Single Light-Ring, SLR) และแบบวงแหวนหลายวง (Multi Light-Ring, MLR) โดยมีระดับการแบ่งปันการใช้งานแบบ Non-Sharing , Partial Sharing และ Full Sharing วัตถุประสงค์ของการศึกษา คือการพิจารณาและเปรียบเทียบต้นทุนที่จะต้องใช้ในการออกแบบโครงข่าย เพื่อให้โครงข่ายสามารถปกป้องความเสียหายได้เมื่อขั้วเชื่อมโยงหนึ่งขั้วได้รับความเสียหาย โดยต้นทุนที่ใช้ในการออกแบบโครงข่ายนั้นจะพิจารณาตามวิธีการออกแบบโครงข่ายแต่ละวิธีที่ได้กล่าวไว้ รวมทั้งจะเปรียบเทียบระหว่างวิธีการออกแบบโครงข่ายแต่ละวิธีในด้านของความสะดวกในการจัดการควบคุมโครงข่ายและความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้ วิทยานิพนธ์นี้ยังมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของความยาวคลื่นสูงสุดที่สามารถมัลติเพลกซ์ได้ในเส้นใยแก้วนำแสงหนึ่งเส้นว่ามีผลอย่างไรต่อต้นทุนโครงข่ายขั้นต้น Integer Linear Programming (ILP) จะถูกใช้เป็นเทคนิคในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้เวลาในการคำนวณหาผลเฉลยค่อนข้างนานแม้ว่าโครงข่ายนั้นจะเป็นโครงข่ายขนาดเล็ก ดังนั้น วิทยานิพนธ์นี้จึงได้ออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมของวิธีการออกแบบโครงข่ายแต่ละชนิดเพื่อให้สามารถใช้งานต้นทุนของโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่ได้ และท้ายสุดวิทยานิพนธ์นี้ยังได้เสนอวิธีการอย่างง่ายในการหาค่าขอบเขตล่างของต้นทุนโครงข่าย เพื่อประโยชน์ในการประมาณต้นทุนโครงข่าย

จากการวิเคราะห์ผลเฉลยสามารถสรุปได้ว่า วิธีการออกแบบโครงข่ายแบบ SLR ที่มีระดับการแบ่งปันช่องสัญญาณแบบ Partial Sharing และ Full Sharing เป็นระดับการแบ่งปันช่องสัญญาณที่ต้องการต้นทุนที่จะต้องใช้ในการออกแบบโครงข่ายเท่ากันและเป็นต้นทุนที่ต่ำสุด แต่อย่างไรก็ตาม ระดับการแบ่งปันช่องสัญญาณแบบ Full Sharing ไม่เหมาะสมกับการใช้งานทางปฏิบัติเพราะวิธีการนี้มีความซับซ้อนในการคำนวณสูง และให้ผลที่ไม่แตกต่างจาก Partial Sharing และรวมถึงการออกแบบโครงข่ายแบบ SLR มีข้อจำกัดในขนาดของวง ซึ่งวิธีการที่น่าจะเหมาะสมกับทางปฏิบัติสำหรับโครงข่ายขนาดเล็กคือ SLR ซึ่งมีต้นทุนน้อยกว่า แต่การออกแบบโครงข่ายแบบ MLR จะเหมาะกับโครงข่ายขนาดใหญ่ โดยที่จำนวนความยาวคลื่นที่สามารถมัลติเพลกซ์ได้ในเส้นใยแก้วนำแสงหนึ่งเส้นมีมากขึ้น ค่าต้นทุนที่ใช้ก็จะใกล้เคียงกับ SLR โดยที่มีโอกาสที่จะปกป้องโครงข่ายจากความเสียหายที่มากกว่าหนึ่งขั้วเชื่อมโยง

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่อนิสิต.....  
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
 ปีการศึกษา.....2546.....

## 4470635521 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: WDM / LIGHT-RING / SLR / MLR / TaC / SaD

ANUCHIT JATURONGPANYA : DESIGN OF WDM NETWORKS FOR MULTICAST TRAFFIC USING RING TOPOLOGY WITH SINGLE LINK FAILURE PROTECTION CAPABILITY : ASSOC. PROF. LUNCHAKORN WUTTISITTIKULKIJ. Ph.D. pp. 60 ISBN 974-17-5434-5.

This thesis studies two designing schemes with single link failure protection capability for wavelength division multiplexed (WDM) mesh networks, namely, single light-ring (SLR) and multi light-ring (MLR) that have three sharing methods, non-sharing; partial sharing and full sharing. Key aspects that are taken into consideration and comparison of the designs include a total capacity requirement, ease of operation and practical feasibility. Moreover, in this thesis, the number of wavelengths multiplexed in a fiber on the system designs is also analyzed. First, the mathematical models based on integer linear programming (ILP) are using as a solution technique for obtaining the total capacity requirement of each designing schemes. Since the ILP formulations are computational expensive even for the small size networks, heuristic algorithms have been designed and developed to perform in large-scale networks. Finally, in this thesis, a lower bound on network cost is discussed.

Based on the simulation results, the single light-ring with sharing method as partial sharing and full sharing designing schemes can accomplish the lowest total cost requirement, but the full sharing method has very much more complexity than the other one with total cost equal. Thus the single light-ring with partial sharing method is the best scheme but in the large-scale networks it has the problem that the ring in one session cannot be larger than a specific number. So the multi light-ring with partial sharing method is the practical scheme and in the large-scale networks it has the total cost very similar with the single light-ring with partial sharing method one and has a better chance to protect the network with more than one link failure.

Department Electrical Engineering  
 Field of Study Electrical Engineering  
 Academic Year 2003

Student's.....Signature

Advisor's.....Signature

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญจกร วุฒิสิริทกุลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในการทำวิจัย รวมทั้งเพื่อน ๆ ในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร ชั้น 13 ตึก 4 ทุกท่าน โดยเฉพาะเพื่อนๆในกลุ่มงานวิจัยเรื่องเดียวกัน ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดที่ดีมาโดยตลอด

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และทุกๆท่านในครอบครัวผู้วิจัยที่ให้ความสนับสนุนทางการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมาจนสามารถสำเร็จการศึกษา



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญรูป .....	ฎ
บทที่	
1    บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	5
1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	5
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
2    ลักษณะของวงแหวน และระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง.....	8
2.1 ลักษณะของวงแหวน.....	8
2.1.1 Single Light-Ring (SLR).....	8
2.1.2 Multi Light-Ring (MLR).....	9
2.2 ลักษณะการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง ของ SLR และ MLR .....	10
2.2.1 Non-Sharing Method.....	10
2.2.2 Partial Sharing Method.....	11
2.2.3 Full Sharing Method.....	12
3    แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	14
3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกรณี SLR .....	15
3.1.1 ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง.....	15
3.1.2 ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน.....	15
3.1.3 ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงอย่างสมบูรณ์.....	16
3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกรณี MLR.....	16
3.2.1 ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง.....	16



## สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3.2.2 ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน.....	17
3.2.3 ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงอย่างสมบูรณ์.....	17
3.3 การประเมินความซับซ้อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	18
4 ฮิวริสติกอัลกอริทึม.....	20
4.1 อัลกอริทึมในการหาวงแหวนหลายวง (MLR) .....	20
4.2 อัลกอริทึมในการหาระดับการแบ่งปันแบบต่างๆ .....	21
4.2.1 อัลกอริทึมในการหาระดับการแบ่งปันระดับที่ไม่มีการแบ่งปัน การใช้เส้นใยแก้วนำแสง.....	22
4.2.2 อัลกอริทึมในการหาระดับการแบ่งปันระดับที่มีการแบ่งปัน การใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน.....	23
5 ผลเฉลยและการวิเคราะห์ผลเฉลย.....	26
5.1 ผลเฉลยและผลการวิเคราะห์ผลเฉลยจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	26
5.1.1 การวิเคราะห์ผลเฉลยและความซับซ้อน.....	28
5.2 ผลเฉลยและการเปรียบเทียบผลเฉลยของฮิวริสติก อัลกอริทึม กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	46
5.3 การวิเคราะห์ผลเฉลยในแง่ของต้นทุน โครงข่าย และประสิทธิภาพในการใช้เส้นใยแก้ว นำแสง.....	50
5.3.1 การวิเคราะห์ต้นทุน โครงข่าย.....	50
5.3.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้เส้นใยแก้วนำแสง.....	53
6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	56
6.1 บทสรุป.....	56
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	57
รายการอ้างอิง.....	58
ประวัติผู้วิทยานิพนธ์.....	60



## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 3.1	ตัวแปร และพารามิเตอร์ ที่ต้องกำหนดให้ และที่เป็นผลเฉลยทั้งหมดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	18
ตารางที่ 3.2	จำนวนตัวแปร (number of variables, $N_v$ ) และจำนวน constrain (number of constrains, $N_c$ ) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	19
ตารางที่ 5.1	กราฟฟิคของมัลติคาสต์เซสชัน	27
ตารางที่ 5.2	สมาชิกของมัลติคาสต์เซสชันของกราฟฟิคทดสอบของโครงข่าย 8N_13L	27
ตารางที่ 5.3	สมาชิกของมัลติคาสต์เซสชันของกราฟฟิคทดสอบของ NFSNet	27
ตารางที่ 5.4	จำนวน constrain ( $N_c$ ) และจำนวนตัวแปร ( $N_v$ ) ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย 8N_13L	29
ตารางที่ 5.5	เวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลย (run time) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย 8N_13L เวลาที่เป็น 0 ในตารางหมายถึงใช้เวลาน้อยกว่า 0.01 sec (ก) กรณี SLR (ข) กรณี MLR	30
ตารางที่ 5.6	จำนวน constrain ( $N_c$ ) และจำนวนตัวแปร ( $N_v$ ) ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย NFSNet	33
ตารางที่ 5.7	เวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลย (run time) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย NFSNet เวลาที่เป็น 0 ในตารางหมายถึงใช้เวลาน้อยกว่า 0.01 sec (ก) กรณี SLR (Non-Sharing) (ข) กรณี SLR (Partial Sharing) (ค) กรณี SLR (Full Sharing) (ง) กรณี MLR (Non-Sharing) (จ) กรณี MLR (Partial Sharing)	33
ตารางที่ 5.8	จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง (no. fiber) ที่ต้องการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณี SLR ของโครงข่าย 8N_13L	37
ตารางที่ 5.9	จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง (no. fiber) ที่ต้องการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณี MLR ของโครงข่าย 8N_13L	38
ตารางที่ 5.10	จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง (no. fiber) ที่ต้องการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย NFSNet (ก) กรณี SLR (Non-Sharing) (ข) กรณี SLR (Partial Sharing) (ค) กรณี SLR (Full Sharing) (ง) กรณี MLR (Non-Sharing) (จ) กรณี MLR (Partial Sharing)	39

## สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1.1	โครงสร้างภายใน โหนดของโครงข่าย WDM (ก) กรณีที่ไม่มีอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (ข) กรณีที่มี อุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น	1
รูปที่ 1.2	MC-OXCs ขนาด $N \times N$ ที่ติดตั้ง TaC	3
รูปที่ 1.3	โครงสร้างของ TCM	4
รูปที่ 1.4	SaD สวิตช์ขนาด $P \times P$	4
รูปที่ 1.5	MC-OXC ขนาด $3 \times 3$ บนพื้นฐานของ SaD สวิตช์	5
รูปที่ 2.1	การมัลติคาสต์แบบวงแหวนเดี่ยว (SLR)	8
รูปที่ 2.2	การจัดเส้นทางการใช้งานจริงในแบบของ SLR	9
รูปที่ 2.3	การมัลติคาสต์แบบวงแหวนหลายวง (MLR)	9
รูปที่ 2.4	การจัดเส้นทางการใช้งานจริงในแบบของ MLR	10
รูปที่ 2.5	ระดับที่ไม่มีการแข่งขันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง	11
รูปที่ 2.6	ระดับที่มีการแข่งขันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน	11
รูปที่ 2.7	ระดับที่มีการแข่งขันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงอย่างสมบูรณ์	12
รูปที่ 4.1	ผังงานในการหาวงแหวนหลายวง	21
รูปที่ 4.2	ผังงานของการแข่งขันการใช้งานระดับที่ไม่มีการแข่งขันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง	23
รูปที่ 4.3	ผังงานของการแข่งขันการใช้งานระดับที่มีการแข่งขันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน	25
รูปที่ 5.1	โครงข่ายที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ก) โครงข่าย 8N_13L (ข) โครงข่าย NFSNet	26
รูปที่ 5.2	จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงโครงข่าย 8N_13L กรณี SLR	47
รูปที่ 5.3	จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงโครงข่าย 8N_13L กรณี MLR	47
รูปที่ 5.4	จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงโครงข่าย NFSNet กรณี SLR ระดับที่ไม่มีการแข่งขันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง	48
รูปที่ 5.5	จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงโครงข่าย NFSNet กรณี SLR ระดับที่มีการแข่งขันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน	48
รูปที่ 5.6	จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงโครงข่าย NFSNet กรณี MLR ระดับที่ไม่มีการแข่งขันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง	49
รูปที่ 5.7	จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงโครงข่าย NFSNet กรณี MLR ระดับที่มีการแข่งขันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน	49
รูปที่ 5.8	ต้นทุนโครงข่าย 8N_13L กรณี SLR และ MLR	50

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.9	51
ต้นทุนโครงข่าย 8N_13L (ก) เปรียบเทียบระหว่างกรณี SLR และ MLR (จ) ผลต่างของต้นทุนโครงข่ายกรณี SLR และ MLR ที่ทราฟฟิก 4 โนค และ 6 โนค	
รูปที่ 5.10	52
ต้นทุนโครงข่าย NFSNet (ก) กรณี SLR ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้น ใยแก้วนำแสง(ข) กรณี SLR ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง บางส่วน (ค) กรณี MLR ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง (ง) กรณี MLR ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน (จ) ผลต่างของต้นทุนโครงข่ายกรณี SLR และ MLR ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการ ใช้เส้นใยแก้วนำแสง (ฉ) ผลต่างของต้นทุนโครงข่ายกรณี SLR และ MLR ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน	
รูปที่ 5.11	53
ประสิทธิภาพการใช้งานโครงข่าย (ก) โครงข่าย 8N_13L กรณี SLR (ข) โครงข่าย 8N_13L กรณี MLR (ค) โครงข่าย NFSNet กรณี SLR ระดับที่ไม่ มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง (ง) โครงข่าย NFSNet กรณี SLR ระดับ ที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน (จ) โครงข่าย NFSNet กรณี MLR ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง (ฉ) โครงข่าย NFSNet กรณี MLR ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน (ช) ผลต่างของต้นทุนโครงข่ายกรณี SLR และ MLR ระดับที่ไม่มีการแบ่งปัน การใช้เส้นใยแก้วนำแสงของโครงข่าย NFSNet (ซ) ผลต่างของต้นทุน โครงข่ายกรณี SLR และ MLR ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง บางส่วน โครงข่าย NFSNet	

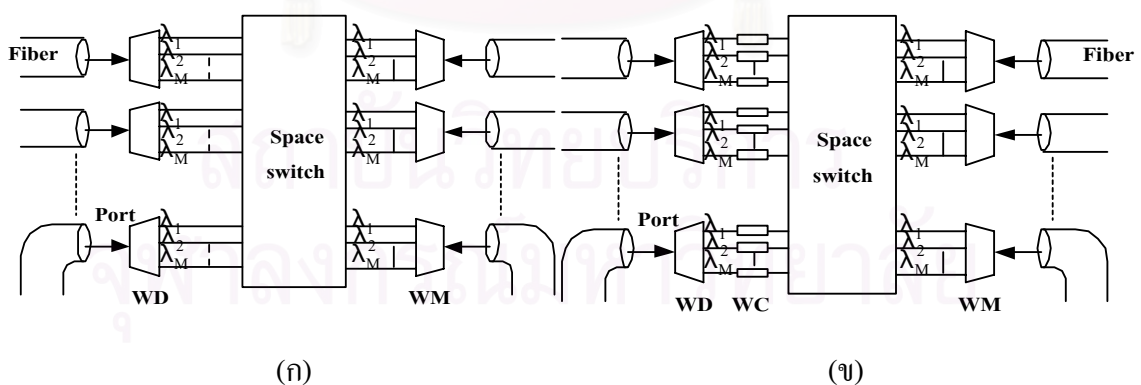
# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาโครงข่ายทางแสง (optical network) [1-3] บนพื้นฐานการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น (Wavelength Division Multiplexing : WDM) ได้ถูกติดตั้งลงบนโครงข่ายพื้นฐานของโครงข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อรองรับความต้องการแบนด์วิดท์ที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เทคโนโลยี WDM ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความจุ (capacity) ของการเชื่อมโยงแบบจุดต่อจุด (point-to-point) ซึ่งทำให้เกิดโครงข่ายทางแสงแบบไม่สมบูรณ์ ซึ่งสัญญาณจะถูกเปลี่ยนจากแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าและเปลี่ยนกลับเป็นแสงอีกครั้งหนึ่งที่ทุกๆ โหนดทางผ่าน (intermediate node) หลังจากที่อยู่อุปกรณ์ต่าง ๆ ถูกพัฒนาขึ้น เช่น การที่ Optical cross Connects (OXC) สามารถใช้งานได้ ในทางปฏิบัติทำให้สามารถที่จะออกแบบ และติดตั้งโครงข่ายทางแสงที่สมบูรณ์ ซึ่งไม่มีการสร้างสัญญาณใหม่ในทุก ๆ โหนดทางผ่าน

โครงสร้างพื้นฐานของ OXC ประกอบด้วย wavelength multiplexer (WM), wavelength demultiplexer (WD) และ space switch และอาจมีอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น (wavelength converter) เพื่อเปลี่ยนค่าความยาวคลื่นของช่องสัญญาณที่ส่งผ่าน โหนดในโครงข่าย ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 : โครงสร้างภายในโหนดของโครงข่าย WDM

(ก) กรณีที่ไม่มีอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

(ข) กรณีที่มี อุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น

การส่งข้อมูลภายในโครงข่ายแบบ point-to-point จะเรียกว่า lightpath [4-6] ซึ่งก็คือเส้นทางที่แสงเดินทางผ่านโหนดต่าง ๆ ในโครงข่ายจากต้นทางไปปลายทาง ซึ่งการที่ใช้คำว่าโครงข่ายทางแสงที่สมบูรณ์เนื่องจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น อัตราบิต โพรโทคอล และความอิสระของรูปแบบในการส่ง จะสามารถใช้งานแบนวิธของเส้นทางได้อย่างเต็มที่โดยไม่คิดผลของการที่ต้องส่งผ่านครั้งละโหนด

ความก้าวหน้าในเทคโนโลยีการสื่อสารในปัจจุบัน ทำให้ลักษณะของข้อมูลที่มีการส่งในเครือข่ายมีความหลากหลายมากขึ้น ซึ่งหนึ่งในลักษณะของข้อมูลที่มีอัตราการเติบโตที่สูงก็คือ ลักษณะข้อมูลแบบมัลติคาสต์ เช่น การให้บริการในรูปแบบของ การศึกษาทางไกล (distance learning) การประชุมทางไกล (teleconference) การส่งข้อมูลวิดีโอ ไปยังผู้รับที่ร้องขอ (video on demand) ซึ่งจะต้องนำ lightpath มาพัฒนาต่อเพื่อให้เหมาะสมกับการส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ ซึ่งจะทำให้ประหยัดจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงในระบบได้เนื่องจากว่าถ้าใช้ lightpath ต่อระหว่างผู้ส่งไปยังผู้รับทุกคนจะทำให้เกิดข้อมูลซ้ำซ้อนในระบบเป็นอันมาก

วิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอการทำมัลติคาสต์บนโครงข่าย WDM โดยอาศัยเทคโนโลยีพื้นฐานของโทโปโลยีแบบวงแหวนมาเพื่อพัฒนาให้ lightpath กลายเป็น Light-Ring โดย Light-Ring ก็คือวงแหวนที่ประกอบด้วยข่ายเชื่อมโยงที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดที่เป็นสมาชิกทุกโหนดของมัลติคาสต์ และอาจมีโหนดทางผ่าน (intermediate node) เพื่อให้ประกอบเป็นวงแหวนที่สมบูรณ์ ซึ่งการใช้โทโปโลยีแบบวงแหวนทำให้ได้ข้อดีของโทโปโลยีมาด้วย เช่น ความเรียบง่ายในการจัดสรรเส้นทาง การป้องกันการผิดพลาดได้ในกรณีที่หนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหายโดยการเลือกใช้เส้นทางในอีกด้านหนึ่งของวงแหวนซึ่งยังไม่ได้ใช้ โดยลักษณะของการมัลติคาสต์ที่นำเสนอ จะมีทั้งในลักษณะของวงแหวนเดี่ยว (Single Light-Ring, SLR) ซึ่ง โหนดต้นทาง (source node) กลุ่มโหนดทางผ่าน และกลุ่มโหนดปลายทาง (destination nodes) ทุกตัวอยู่บนวงแหวนวงเดียวกัน และลักษณะของวงแหวนหลายวง (Multi Light-Ring, MLR) ซึ่งประกอบขึ้นจากวงแหวนเดี่ยวหลาย ๆ วง โดยโหนดต้นทาง กลุ่มโหนดทางผ่าน และกลุ่มโหนดปลายทางทุกตัวกระจายกันอยู่ในกลุ่มวงแหวนนั้น ซึ่ง MLR จะทำให้การเลือกวงแหวนมีความยืดหยุ่นขึ้น และเนื่องจาก MLR ประกอบขึ้นจากวงแหวนเดี่ยวหลายวงทำให้โครงข่ายได้รับการปกป้องมากขึ้น โดยที่ใช้เส้นใยแก้วนำใกล้เคียง SLR และจะต้องมีการเลือกเส้นทางที่ใช้ภายในวงแหวนทั้ง 2 แบบให้เหมาะสมเพื่อให้สามารถใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงให้น้อยที่สุด

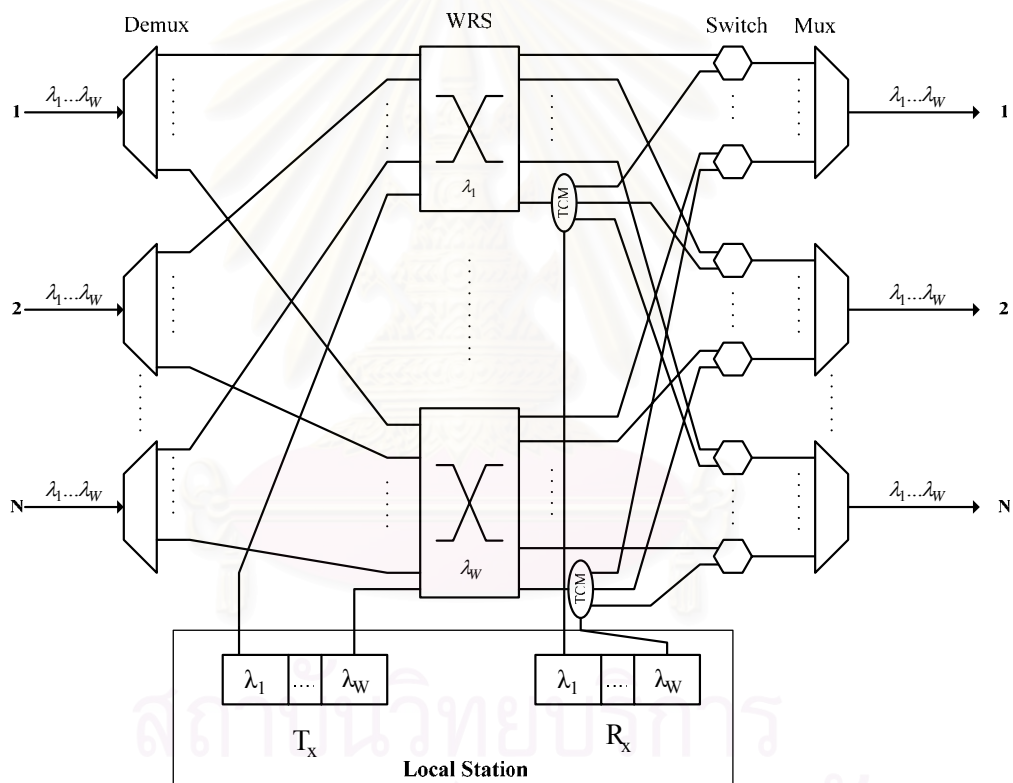
โครงข่าย WDM จะสามารถส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ได้โดยอาศัยอุปกรณ์เพิ่มเติมจากโครงข่ายแบบยูนิคาสต์ ซึ่งเพื่อความไม่ซับซ้อนวิทยานิพนธ์นี้จะให้อุปกรณ์เหล่านี้จะถูกติดตั้งอยู่ในทุก ๆ โหนดในโครงข่าย ซึ่ง OXCs ในโครงข่ายที่ติดตั้งอุปกรณ์เหล่านี้แล้วจะเรียกว่า Multicast-Capable OXCs ซึ่งลักษณะของ MC-OXCs สำหรับ SLR และ MLR จะใช้หลักการที่ต่างกันซึ่งทั้ง 2 แบบจะมีหลักการทำงานดังนี้



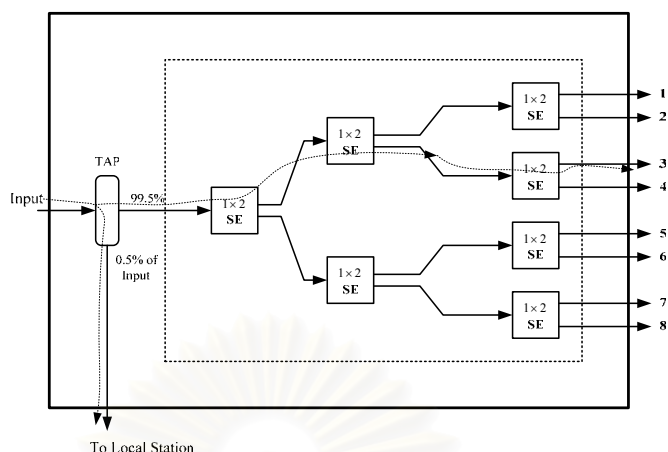
## โครงสร้างของ MC-OXC สำหรับ Light-Ring ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้

### 1. Single Light-Ring

จะอาศัยหลักการของ Tap-and-Continue (TaC) [7] โดยที่ OXCs ติดตั้งอุปกรณ์ที่เรียกว่า Tap-and-Continue Module (TCM) เพิ่มเข้าไป เพื่อทำหน้าที่ดึง (tap) สัญญาณบางส่วนออกมา และส่งส่วนที่เหลือไปตามทางต่อไป ซึ่งสัญญาณจะถูกดึงออกมาเพียงเล็กน้อยให้พอแก่ได้รับข้อมูลที่ถูกต้อง โดยอาจถูกดึง ออกมาเพียงแค่ 0.1-0.5% เท่านั้น โดยลักษณะของ MC-OXCs แบบนี้จะเป็นดังรูปที่ 1.2 และ TaC จะมีโครงสร้างเป็นดังรูปที่ 1.3



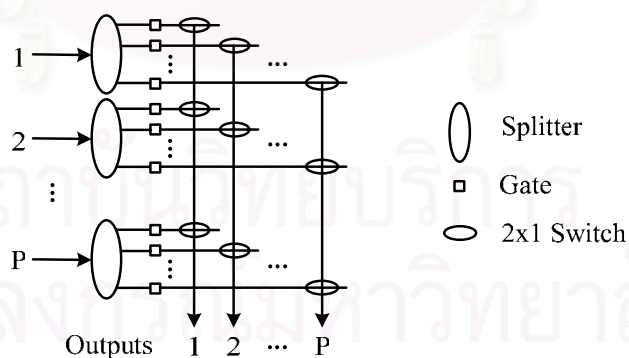
รูปที่ 1.2 : MC-OXCs ขนาด  $N \times N$  ที่ติดตั้ง TaC



รูปที่ 1.3 : โครงสร้างของ TCM

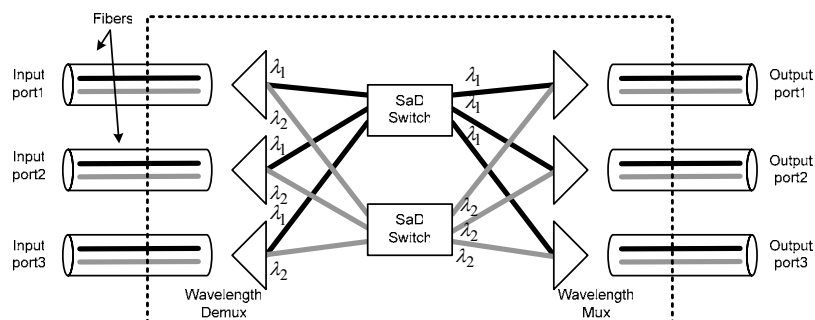
## 2. Multi Light-Ring

จะอาศัยหลักการของ Splitter-and-Delivery (SaD) [8] โดยมี SaD สวิตช์ทำหน้าที่แตกสัญญาณ และส่งผ่านข้อมูลไปในเส้นทางที่ต้องการทั้งหมด โดยจะต้องมีตัวขยายสัญญาณ (amplifier) เข้าช่วยเพื่อขยายสัญญาณให้สามารถส่งต่อไปได้อย่างถูกต้อง โดย SaD สวิตช์มีโครงสร้างดังรูปที่ 1.4 และ MC-OXCs ที่ใช้ SaD สวิตช์จะมีโครงสร้างดังรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.4 : SaD สวิตช์ขนาด  $P \times P$





รูปที่ 1.5 : MC-OXCs ขนาด 3 x 3 บนพื้นฐานของ SaD สวิตช์ [9]

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงให้สูงที่สุด และสามารถปกป้องโครงข่ายกรณีที่มีการเสียหายของหนึ่งข่ายเชื่อมโยง โดยศึกษาการทำมัลติคาสต์โดยอาศัยโทโปโลยีแบบวงแหวน 2 แบบได้แก่ วงแหวนเดี่ยว (Single Light-Ring) และวงแหวนหลายวง (Multi Light-Ring) รวมถึงศึกษาจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้ในโครงข่าย และศึกษาเส้นทางการเดินของสัญญาณข้อมูลจริงเพื่อลดจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงให้น้อยที่สุด และศึกษาระดับการแบ่งปันการใช้ช่องสัญญาณ 3 ระดับคือ ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง (Non-Sharing Method) ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน (Partial Sharing Method) และระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงอย่างสมบูรณ์ (Full Sharing Method) รวมทั้งการออกแบบ และพัฒนาฮิวริสติกอัลกอริทึมเพื่อให้สามารถใช้กับโครงข่ายขนาดใหญ่ได้

## 1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematics model) ที่ใช้ Integer Linear Programming (ILP) เป็นเทคนิคในการสร้างแบบจำลอง เพื่อหาจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องจัดสรรให้กับโครงข่าย WDM เพื่อรองรับทราฟฟิกแบบมัลติคาสต์ โดยสามารถปกป้องโครงข่ายกรณีที่มีการเสียหายของหนึ่งข่ายเชื่อมโยงของกรณี SLR และ MLR โดยมีระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงแบบ Non-Sharing Method แบบ Partial Sharing Method และแบบ Full Sharing Method
2. เสนออัลกอริทึมฮิวริสติกที่ใช้หาจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องจัดสรรให้กับโครงข่าย WDM เพื่อรองรับ ทราฟฟิกแบบมัลติคาสต์ โดยสามารถปกป้องโครงข่ายกรณีที่มีการเสียหายของหนึ่งข่ายเชื่อมโยงของกรณี SLR และ MLR โดยมีระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงแบบ Non-Sharing Method แบบ Partial Sharing Method และแบบ Full Sharing Method

3. ศึกษาการหาค่าขอบเขตล่างของจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องจัดสรรให้กับโครงข่ายเพื่อประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้ในการประมาณจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องจัดสรรให้กับโครงข่าย
4. ศึกษาผลดีและผลเสียในแง่ของจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องจัดสรรให้กับโครงข่าย และความซับซ้อนของโครงข่ายในกรณีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 3 แบบ

#### 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาบทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
  - 1.1) ศึกษาบทความที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี WDM
  - 1.2) ศึกษาการทำมัลติคาสต์บนโครงข่าย WDM
  - 1.3) ศึกษาโทโปโลยีแบบวงแหวนในลักษณะต่าง ๆ
  - 1.4) ศึกษาบทความที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบจัดสรรเส้นทางใหม่เมื่อเกิดความเสียหายหนึ่งข่ายเชื่อมโยง
2. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematics model) เพื่อหาจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องจัดสรรให้กับโครงข่ายที่สามารถปกป้องโครงข่ายกรณีที่มีการเสียหายของหนึ่งข่ายเชื่อมโยง
  - 2.1) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องจัดสรรให้กับโครงข่ายที่สามารถปกป้องโครงข่ายกรณีที่มีการเสียหายของหนึ่งข่ายเชื่อมโยง โดยมีระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงแบบ Non-Sharing Method แบบ Partial Sharing Method และแบบ Full Sharing Method ซึ่งต้องมองถึงเส้นทางการใช้งานจริงของเส้นใยแก้วนำแสงด้วยเพื่อลดจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงให้น้อยที่สุด
  - 2.2) ทดสอบผลเฉลยที่หาได้จากแบบจำลองที่เสนอไว้ในข้อ 2.1 ว่าให้ผลเฉลยที่ถูกต้องจริงหรือไม่ เพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้สามารถหาจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องจัดสรรให้กับโครงข่ายได้อย่างถูกต้อง
  - 2.3) ทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโครงข่ายและทราฟฟิกหลาย ๆ รูปแบบ และทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบ
  - 2.4) ศึกษาการหาค่าขอบเขตล่างของจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องจัดสรรให้กับโครงข่าย
  - 2.5) เปรียบเทียบค่าขอบเขตล่างของจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องจัดสรรให้กับโครงข่ายกับจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องจัดสรรให้กับโครงข่ายที่หาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เสนอไว้ในหัวข้อ 2.1 และทำการวิเคราะห์ผล

3. ออกแบบและทดสอบฮิวริสติกอัลกอริทึมเพื่อหาจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องจัดสรรให้กับโครงข่ายที่สามารถปกป้องโครงข่ายกรณีที่มีการเสียหายของหนึ่งข่ายเชื่อมโยง
  - 3.1) ออกแบบและพัฒนาฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ใช้หาจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องจัดสรรให้กับโครงข่ายที่สามารถปกป้องโครงข่ายกรณีที่มีการเสียหายของหนึ่งข่ายเชื่อมโยงโดยมีระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงแบบ Non-Sharing Method แบบ Partial Sharing Method และแบบ Full Sharing Method ซึ่งต้องมองถึงเส้นทางการใช้งานจริงของเส้นใยแก้วนำแสงด้วยเพื่อลดจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงให้น้อยที่สุด
  - 3.2) เปรียบเทียบผลเฉลยที่หาจากฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ออกแบบไว้ในข้อ 3.1 กับผลเฉลยที่หาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของอัลกอริทึม
  - 3.3) เปรียบเทียบจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องจัดสรรให้กับโครงข่ายของระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 3 ระดับ และทำการวิเคราะห์ผล
  - 3.4) ทดสอบอัลกอริทึมด้วยโครงข่ายและทราฟฟิกหลาย ๆ รูปแบบ และทำการวิเคราะห์ผล
4. รวบรวมและสรุปผลการวิจัย เพื่อเขียนวิทยานิพนธ์

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้หาจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องจัดสรรให้กับโครงข่าย WDM ที่สามารถปกป้องโครงข่ายกรณีที่มีการเสียหายของหนึ่งข่ายเชื่อมโยง โดยมีระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงแบบ Non-Sharing Method แบบ Partial Sharing Method และแบบ Full Sharing Method
2. สามารถออกแบบฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ใช้หาจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องจัดสรรให้กับโครงข่าย WDM ที่สามารถปกป้องโครงข่ายกรณีที่มีการเสียหายของหนึ่งข่ายเชื่อมโยง โดยมีระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงแบบ Non-Sharing Method แบบ Partial Sharing Method และแบบ Full Sharing Method
3. ทำให้ทราบถึงข้อดีข้อเสียของระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงแต่ละวิธี เพื่อให้สามารถนำไปใช้ประกอบการพิจารณาออกแบบโครงข่ายอย่างเหมาะสมได้
4. สามารถนำเอาวิธีการหาค่าขอบเขตล่างของจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องจัดสรรให้กับโครงข่าย มาประยุกต์ใช้ในการประมาณจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องจัดสรรให้กับโครงข่าย เพื่อประโยชน์ในการออกแบบโครงข่าย

## บทที่ 2

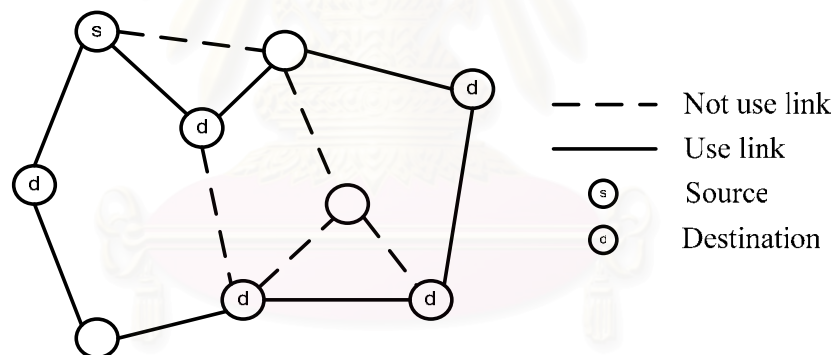
### ลักษณะของวงแหวน และระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง

วิทยานิพนธ์นี้ออกแบบโทโปโลยีเป็นลักษณะของวงแหวน โดยการจองช่องสัญญาณของวงแหวนทั้งสองทิศทางเพื่อประโยชน์ในการปกป้องโครงข่ายในกรณีที่มีการเสียหายของหนึ่งข่ายเชื่อมโยง โดยข้อมูลสามารถส่งในทิศทางตรงข้ามได้ทันทีที่เกิดความเสียหาย ทำให้มีความต่อเนื่องในการส่งข้อมูล และไม่มีกระบวนการในการเลือกเส้นทางใหม่ทำให้ทำงานได้ในทันทีที่เกิดความเสียหาย

#### 2.1 ลักษณะของวงแหวน

ในวิทยานิพนธ์นี้แบ่งการออกแบบวงแหวนออกเป็น 2 ลักษณะคือ

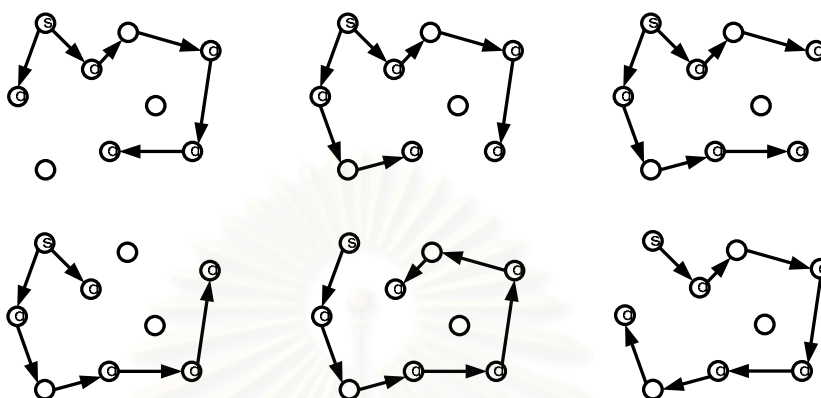
##### 2.1.1 Single Light-Ring (SLR)



รูปที่ 2.1 : การมัลติคาสต์แบบวงแหวนเดี่ยว (SLR)

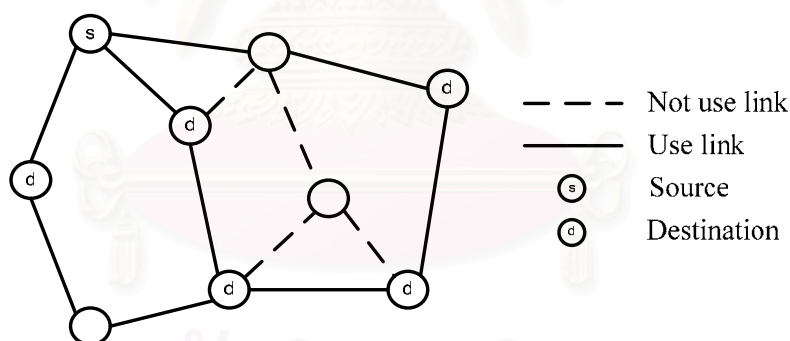
ลักษณะของการมัลติคาสต์จะเป็นวงแหวนเพียงวงเดียว โดยที่โหนดต้นทาง กลุ่มโหนดทางผ่าน และกลุ่มโหนดปลายทางอยู่บนวงแหวนเดียวกันดังรูปที่ 2.1 การเลือกวงแหวนเพื่อที่จะทำการมัลติคาสต์นั้น โดยปกติแล้วจะเลือกวงแหวนที่ทำให้ทั้งโครงข่ายมีใช้จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงต่ำที่สุด โดยอัลกอริทึมที่ใช้ในการหาวงแหวนทั้งหมดในโครงข่ายมาจากงานวิจัยในรายการอ้างอิง [10]

โดย SLR จะมีอัลกอริทึมในการจัดเส้นทางที่ใช้จริงภายในวงแหวนที่เลือกใช้เพื่อกำหนดระดับการแบ่งปันการใช้ช่องสัญญาณ (sharing) เพื่อลดจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงให้น้อยที่สุด ลักษณะของการเลือกเส้นทางที่ใช้จริงจะเป็นดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 : การจัดเส้นทางการใช้งานจริงในแบบของ SLR

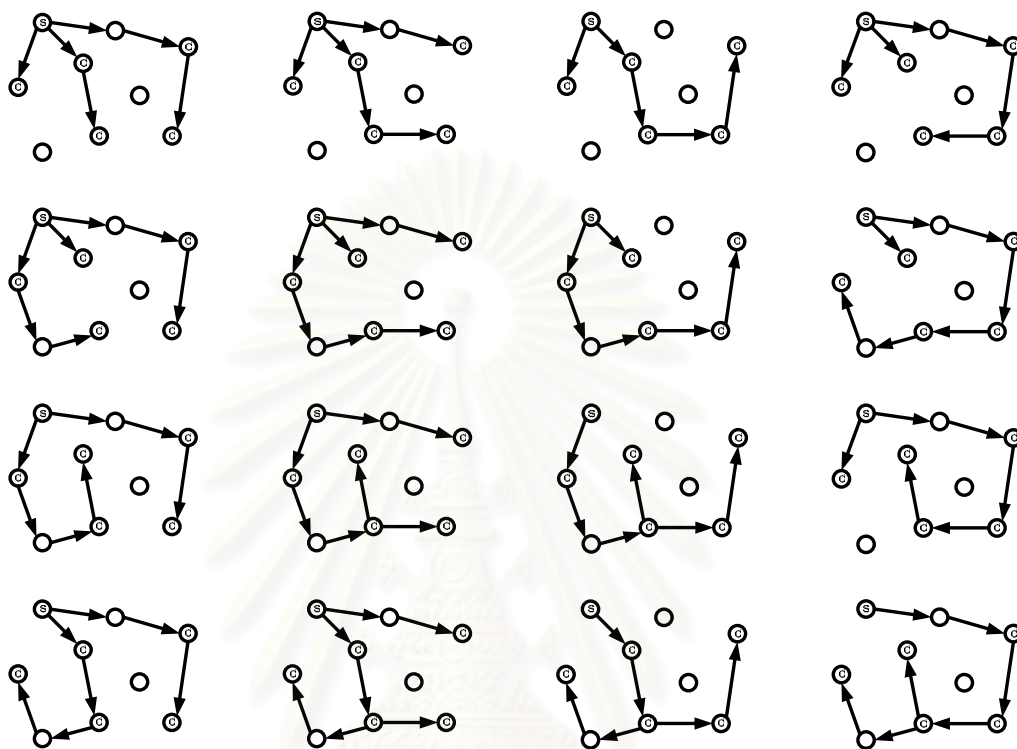
### 2.1.2 Multi Light-Ring ( MLR )



รูปที่ 2.3 : การมัลติคาสต์แบบวงแหวนหลายวง (MLR)

ลักษณะของการมัลติคาสต์จะเป็นวงแหวนหลายวงประกอบเข้าด้วยกัน โดยที่โหนดต้นทาง โหนดทางผ่าน และกลุ่มโหนดปลายทางกระจายอยู่บนวงแหวนเหล่านั้นดังรูปที่ 2.3 การเลือกกลุ่มของวงแหวนเพื่อที่จะทำการมัลติคาสต์นั้นมีทางเลือกหลายทาง เช่น เลือกกลุ่มของวงแหวนที่มีจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงต่ำที่สุด เลือกกลุ่มของวงแหวนที่มีจำนวนวงน้อยเพื่อให้ง่ายในการจัดเส้นทาง หรือเลือกให้มีวงแหวนมากเพื่อการป้องกันที่สูงขึ้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นไปที่การเลือกให้มีเส้นใยแก้วนำแสงต่ำที่สุด โดยที่จะมีการพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อใช้ในการจัดเลือกกลุ่มของวงแหวนขึ้นมาใช้ด้วย

ลักษณะการใช้เส้นทางจริงของ MLR มีความยืดหยุ่นกว่า SLR มาก จะเห็นได้จากรูปที่ 2.4 ว่าเส้นทางการใช้งานจริงของ MLR นั้นจะมีลักษณะเป็นต้นไม้ (tree) ซึ่งมีเส้นทางให้เลือกเป็นจำนวนมาก



รูปที่ 2.4 : การจัดเส้นทางการใช้งานจริงในแบบของ MLR

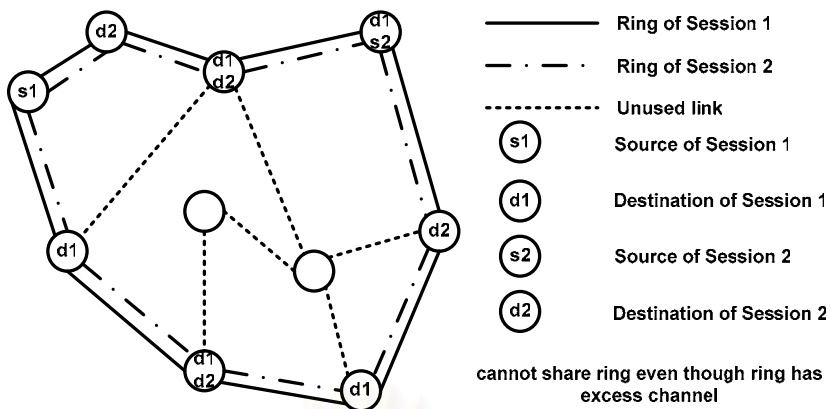
## 2.2 ลักษณะการ แบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงของ SLR และ MLR

แบ่งระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงออกเป็น 3 ระดับ คือ

### 2.2.1 ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง (Non-Sharing Method)

ระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงระดับนี้ ไม่อนุญาตให้แต่ละเซสชันของมัลติคาสต์ใช้วงแหวนร่วมกัน แม้ว่าจะยังมีความยาวคลื่นเหลืออยู่ในเส้นใยแก้วนำแสงบ้างก็ตาม ซึ่งลักษณะการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงระดับนี้มีข้อดีโดยที่ถ้ามีเส้นใยแก้วนำแสงเส้นใดเส้นหนึ่งเสียหายจะทำให้มีผลกระทบต่อเซสชันของการมัลติคาสต์เพียงเซสชันเดียวเท่านั้น ลักษณะของการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงเป็นดังรูปที่ 2.5

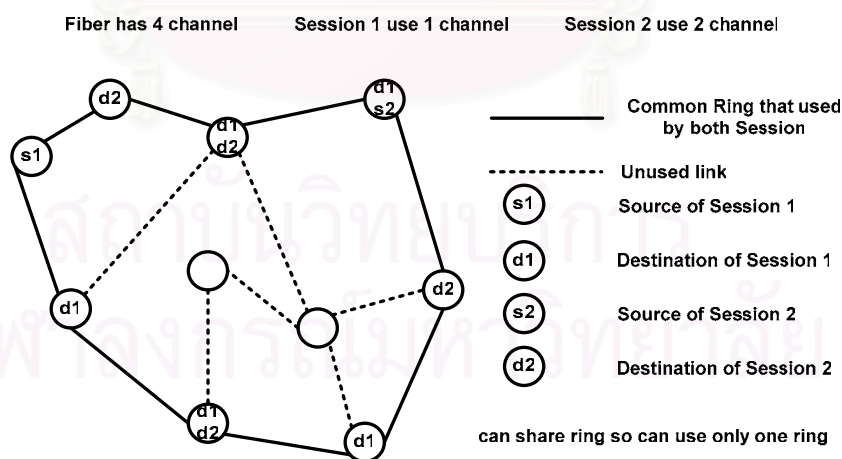




รูปที่ 2.5 : ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง

2.2.2 ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน (Partial Sharing Method)

ในระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงระดับนี้ จะอนุญาตให้แต่ละเซสชันของมัลติคาสต์ใช้ข่ายเชื่อมโยงร่วมกันได้ แต่ว่าแต่ละเซสชันจะไม่สามารถใช้ความยาวคลื่นร่วมกันได้ ซึ่งลักษณะการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงระดับนี้มีข้อดีโดยที่ถ้าเส้นใยแก้วนำแสงเส้นที่แต่ละเซสชันมีการใช้งานร่วมกันยังใช้ความยาวคลื่นไม่หมดทำให้สามารถใช้ความยาวคลื่นที่เหลืออยู่ในเส้นใยแก้วนำแสงได้คุ้มค่ามากขึ้น และช่วยลดปริมาณเส้นใยแก้วนำแสงลง ลักษณะของการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงระดับนี้เป็นดังรูปที่ 2.6

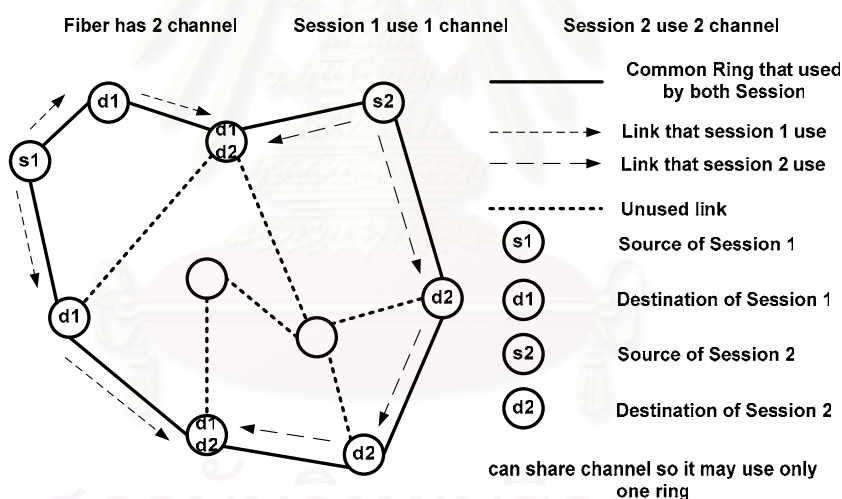


รูปที่ 2.6 : ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน



### 2.2.3 ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงอย่างสมบูรณ์ (Full Sharing Method)

ระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงในระดับนี้ จะอนุญาตให้แต่ละเซสชันของมัลติคาสต์ใช้ข่ายเชื่อมโยง และความยาวคลื่นร่วมกันได้อย่างสมบูรณ์ โดยในระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงระดับนี้จะมองถึงเส้นทางในการใช้งานจริงของวงแหวนในแต่ละเซสชันด้วย ซึ่งลักษณะการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงระดับนี้มีข้อดีตรงที่การมัลติคาสต์ของแต่ละเซสชันนั้นในความจริงไม่ได้ใช้ความยาวคลื่นที่มีในวงแหวนครบทั้งวงทำให้เราสามารถนำความยาวคลื่นที่เหลืออยู่มาใช้ได้อย่างเต็มที่ทำให้ปริมาณเส้นใยแก้วนำแสงในโครงข่ายลดน้อยลงจากวิธีอื่น แต่ลักษณะการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง ในระดับนี้จะเกิดความยุ่งยากกว่าแบบที่ผ่านมาในขั้นตอนการจัดเส้นทาง และการจัดเส้นทางกรณีเกิดความเสียหายของหนึ่งข่ายเชื่อมโยงซึ่งต้องจัดให้เป็นวงตามลักษณะของวงแหวนด้วย ลักษณะของการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง จะเป็นดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 : ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงอย่างสมบูรณ์

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างลักษณะของวงแหวน 2 แบบ ที่เสนอไว้ข้างต้น เราสามารถพิจารณาได้ว่า ในสภาวะการทำงานปกติ SLR ควรจะใช้จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงน้อยกว่าแบบ MLR โดยที่ MLR มีความสามารถปกป้องโครงข่ายได้มากกว่า โดยที่โครงข่ายขนาดใหญ่ MLR ควรจะมีการใช้จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงได้ใกล้เคียงกับ SLR มากขึ้นเพราะมีเส้นทางให้เลือกมากกว่า SLR มาก และจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงระดับต่าง ๆ ใช้ สามารถเรียงลำดับการใช้เส้นใยแก้วนำแสงจากระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำ

แสงอย่างสมบูรณ์ซึ่งจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงน้อยที่สุด ไปหารระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใย  
แก้วนำแสงซึ่งมากที่สุด โดยนำเสนอจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องใช้ในโครงข่ายแบบต่าง ๆ ใน  
บทที่ 5



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### บทที่ 3

#### แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ออกแบบมาให้ใช้กับโครงข่ายมัลติคาสต์ที่มีกราฟฟิกแบบคงที่เท่านั้น โดยแบบจำลองจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) และฟังก์ชันข้อบังคับ (constrain function) ซึ่งวัตถุประสงค์ของแบบจำลองคือการออกแบบโครงข่ายให้ใช้จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงต่ำที่สุด โดยในแบบจำลองจะประกอบด้วยตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

$M$	จำนวนค่าความยาวคลื่นบนเส้นใยแก้วนำแสง
$N$	เซตของมัลติคาสต์เซสชัน
$R_i$	จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงของวงแหวนที่ $i$
$l_i$	จำนวนขั้วเชื่อมโยงของวงแหวนหรือวงแหวนหลายวงที่ $i$
$L$	เซตของวงแหวนหรือวงแหวนหลายวงที่พิจารณาทั้งหมด
$d_{sg}$	กราฟฟิกของมัลติคาสต์เซสชันที่ $sg$
$r_{sg,i}$	วงแหวนที่ $i$ ของมัลติคาสต์เซสชันที่ $sg$
$\delta_{sg,i}$	มีค่าเป็น 1 เมื่อวงแหวนหรือวงแหวนหลายวงที่ $i$ ครอบคลุมโนดทั้งหมดของมัลติคาสต์เซสชันที่ $sg$
$pr_{sg,i,j}$	เส้นทางที่ $j$ ของวงแหวนที่ $i$ ซึ่งครอบคลุมโนดทั้งหมดของมัลติคาสต์เซสชันที่ $sg$
$MR_i$	จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงของวงแหวนหลายวงที่ $i$
$mr_{sg,i}$	วงแหวนหลายวงที่ $i$ ของมัลติคาสต์เซสชันที่ $sg$
$pmr_{sg,i,j}$	เส้นทางที่ $j$ ของวงแหวนหลายวงที่ $i$ ซึ่งครอบคลุมโนดทั้งหมดของมัลติคาสต์เซสชันที่ $sg$
$P_i$	จำนวนเส้นทางทั้งหมดของวงแหวนหรือวงแหวนหลายวงที่ $i$

### 3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกรณี SLR

#### 3.1.1 ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง คือ

$$\min \left( \sum_{sg=1}^N \sum_{i=1}^L l_i r_{sg,i} \right) \quad (3.1)$$

สมการที่ (3.1) จะเป็นผลรวมของเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมดที่ใช้ในโครงข่าย ซึ่งเป็นผลรวมของจำนวนขั้วเชื่อมโยงของวงแหวนของทุกเซสชัน และทุกวง

ฟังก์ชันข้อบังคับของแบบจำลองคือ

$$\sum_{i=1}^L [M \times r_{sg,i}] \delta_{sg,i} = d_{sg} \quad \forall sg = 1, 2, \dots, N \quad (3.2)$$

$$r_{sg,i} \in \{0, 1, 2, \dots\} \quad \forall sg = 1, 2, \dots, N, \forall i = 1, 2, \dots, L \quad (3.3)$$

สมการที่ (3.2) แสดงถึงข้อบังคับที่ว่าวงแหวนที่เลือกทุกวงเมื่อคิดความยาวคลื่นแล้วจะต้องสามารถรองรับทราฟฟิกของมัลติคาสต์เซสชันนั้นๆ ได้ และสมการที่ (3.3) แสดงว่า  $r_{sg,i}$  เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ (negative integer)

#### 3.1.2 ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง คือ

$$\min \left( \sum_{i=1}^L l_i R_i \right) \quad (3.4)$$

สมการที่ (3.4) จะเป็นผลรวมของเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมดที่ใช้ในโครงข่าย ซึ่งเป็นผลรวมของจำนวนขั้วเชื่อมโยงของวงแหวนคูณกับจำนวนวงที่ใช้

ฟังก์ชันข้อบังคับของแบบจำลองคือ

$$\sum_{i=1}^L r_{sg,i} \delta_{sg,i} = d_{sg} \quad \forall sg = 1, 2, \dots, N \quad (3.5)$$

$$M \times R_i - \sum_{sg=1}^N r_{sg,i} \geq 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, L \quad (3.6)$$

$$r_{sg,i}, R_i \in \{0, 1, 2, \dots\} \quad \forall sg = 1, 2, \dots, N, \forall i = 1, 2, \dots, L \quad (3.7)$$

สมการที่ (3.5) แสดงถึงข้อบังคับที่ว่าวงแหวนที่เลือกทุกวงเมื่อรวมกันแล้วจะต้องสามารถรองรับทราฟฟิกของมัลติคาสต์เซสชันนั้นๆ ได้ และสมการที่ (3.6) จะเป็นข้อบังคับที่ว่าจำนวนขั้วเชื่อมโยงของวงแหวนหนึ่งๆ เมื่อคูณกับจำนวนความยาวคลื่นของเส้นใยแก้วนำแสงแล้วจะต้องรองรับมัลติคาสต์ทราฟฟิกในทุกเซสชันที่เลือกใช้งานวงแหวนนั้นได้

### 3.1.3 ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงอย่างสมบูรณ์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง คือ

$$\min: \left( \sum_{i=1}^L l_i R_i \right) \quad (3.8)$$

สมการที่ (3.8) จะเป็นผลรวมของเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมดที่ใช้ในโครงข่าย ซึ่งเป็นผลรวมของจำนวนขั้วเชื่อมโยงของวงแหวนคูณกับจำนวนวงที่ใช้

ฟังก์ชันข้อบังคับของแบบจำลองคือ

$$\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{P_i} pr_{sg,i,j} \delta_{sg,i} = d_{sg} \quad \forall sg = 1, 2, \dots, N \quad (3.9)$$

$$r_{sg,i} - \sum_{j=1}^P pr_{sg,i,j} \geq 0 \quad \forall sg = 1, 2, \dots, N, \forall i = 1, 2, \dots, L \quad (3.10)$$

$$M \times R_i - \sum_{sg=1}^N r_{sg,i} \geq 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, L \quad (3.11)$$

$$pr_{sg,i,j}, r_{sg,i}, R_i \in \{0, 1, 2, \dots\} \quad \forall sg = 1, 2, \dots, N, \forall i = 1, 2, \dots, L, \forall j = 1, 2, \dots, P_i \quad (3.12)$$

สมการที่ (3.9) แสดงถึงข้อบังคับที่ว่าเส้นทางใช้งานทุกเส้นทางของวงแหวนที่เลือกทุกวง เมื่อรวมกันแล้วจะต้องสามารถรองรับทราฟฟิกของมัลติคาสต์เซสชันนั้น ๆ ได้ สมการที่ (3.10) จะเป็นข้อบังคับว่าวงแหวนที่เลือกทุกวงจะต้องรองรับเส้นทางใช้งานของตนเองได้ และสมการที่ (3.11) จะเป็นข้อบังคับที่ว่าจำนวนขั้วเชื่อมโยงของวงแหวนหนึ่ง ๆ เมื่อคูณกับจำนวนความยาวคลื่นของเส้นใยแก้วนำแสงแล้วจะต้องรองรับมัลติคาสต์ทราฟฟิกในทุกเซสชันที่เลือกใช้งานวงแหวนนั้นได้

## 3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกรณี MLR

### 3.2.1 ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง คือ

$$\min \left( \sum_{sg=1}^N \sum_{i=1}^L l_i mr_{sg,i} \right) \quad (3.13)$$

สมการที่ (3.13) จะเป็นผลรวมของเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมดที่ใช้ในโครงข่าย ซึ่งเป็นผลรวมของจำนวนขั้วเชื่อมโยงของวงแหวนหลายวงของทุกเซสชัน และทุกชุดของวงแหวนหลายวง

ฟังก์ชันข้อบังคับของแบบจำลองคือ

$$\sum_{i=1}^L [M \times mr_{sg,i}] \delta_{sg,i} = d_{sg} \quad \forall sg = 1, 2, \dots, N \quad (3.14)$$

$$mr_{sg,i} \in \{0, 1, 2, \dots\} \quad \forall sg = 1, 2, \dots, N, \forall i = 1, 2, \dots, L \quad (3.15)$$

สมการที่ (3.14) แสดงถึงข้อบังคับที่ว่าวงแหวนหลายวงที่เลือกทุกชุดเมื่อคิดความยาวคลื่นแล้วจะต้องสามารถรองรับทราฟฟิกของมัลติคาสต์เซสชันนั้น ๆ ได้ และสมการที่ (3.15) แสดงว่า  $mr_{sg,i}$  เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นจำนวนเต็มลบ

### 3.2.2 ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง คือ

$$\min \left( \sum_{i=1}^L l_i MR_i \right) \quad (3.16)$$

สมการที่ (3.16) จะเป็นผลรวมของเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมดที่ใช้ในโครงข่าย ซึ่งเป็นผลรวมของจำนวนขั้วเชื่อมโยงของวงแหวนหลายวงคูณกับจำนวนชุดของวงแหวนหลายวงที่ใช้

ฟังก์ชันข้อบังคับของแบบจำลองคือ

$$\sum_{i=1}^L mr_{sg,i} \delta_{sg,i} = d_{sg} \quad \forall sg = 1, 2, \dots, N \quad (3.17)$$

$$M \times MR_i - \sum_{sg=1}^N mr_{sg,i} \geq 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, L \quad (3.18)$$

$$mr_{sg,i}, MR_i \in \{0, 1, 2, \dots\} \quad \forall sg = 1, 2, \dots, N, \forall i = 1, 2, \dots, L \quad (3.19)$$

สมการที่ (3.17) แสดงถึงข้อบังคับที่ว่าวงแหวนหลายวงที่เลือกทุกชุดเมื่อรวมกันแล้วจะต้องสามารถรองรับทราฟฟิกของมัลติคาสต์เซสชันนั้น ๆ ได้ และสมการที่ (3.18) จะเป็นข้อบังคับที่ว่าจำนวนขั้วเชื่อมโยงของวงแหวนหลายวงชุดหนึ่ง ๆ เมื่อคูณกับจำนวนความยาวคลื่นของเส้นใยแก้วนำแสงแล้วจะต้องรองรับมัลติคาสต์ทราฟฟิกในทุกเซสชันที่เลือกใช้วงแหวนหลายวงชุดนั้นได้

### 3.2.3 ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงอย่างสมบูรณ์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง คือ

$$\min \left( \sum_{i=1}^L l_i MR_i \right) \quad (3.20)$$

สมการที่ (3.20) จะเป็นผลรวมของเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมดที่ใช้ในโครงข่าย ซึ่งเป็นผลรวมของจำนวนขั้วเชื่อมโยงของวงแหวนหลายวงคูณกับจำนวนชุดของวงแหวนหลายวงที่ใช้

ฟังก์ชันข้อบังคับของแบบจำลองคือ

$$\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{P_i} pmr_{sg,i,j} \delta_{sg,i} = d_{sg} \quad \forall sg = 1, 2, \dots, N \quad (3.21)$$

$$mr_{sg,i} - \sum_{j=1}^P pmr_{sg,i,j} \geq 0 \quad \forall sg = 1, 2, \dots, N, \forall i = 1, 2, \dots, L \quad (3.22)$$



$$M \times MR_i - \sum_{sg=1}^N mr_{sg,i} \geq 0 \quad \forall i=1,2,\dots,L \quad (3.23)$$

$$pmr_{sg,i,j}, mr_{sg,i}, MR_i \in \{0,1,2,\dots\} \quad \forall sg=1,2,\dots,N, \quad \forall i=1,2,\dots,L, \quad \forall j=1,2,\dots,P_i \quad (3.24)$$

สมการที่ (3.21) แสดงถึงข้อบังคับที่ว่าเส้นทางใช้งานทุกเส้นทางของวงแหวนหลายวงที่เลือกทุกชุดเมื่อรวมกันแล้วจะต้องสามารถรองรับกราฟฟิกของมัลติคาสต์เซตชั้นนั้น ๆ ได้ สมการที่ (3.22) จะเป็นข้อบังคับว่าวงแหวนหลายวงที่เลือกทุกชุดจะต้องรองรับเส้นทางใช้งานของตนเองได้ และสมการที่ (3.23) จะเป็นข้อบังคับที่ว่าจำนวนขายเชื่อมโยงของวงแหวนหลายวงชุดหนึ่ง ๆ เมื่อคูณกับจำนวนความยาวคลื่นของเส้นใยแก้วนำแสงแล้วจะต้องรองรับมัลติคาสต์กราฟฟิกในทุกเซตชั้นที่เลือกใช้งานวงแหวนหลายวงชุดนั้นได้

### 3.3 การประเมินความซับซ้อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

วิทยานิพนธ์นี้จะมีการเปรียบเทียบความซับซ้อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในแบบต่าง ๆ โดยการเปรียบเทียบจำนวนตัวแปร (number of variables,  $N_v$ ) และจำนวนฟังก์ชันข้อบังคับ (number of constraints,  $N_c$ ) ของแต่ละแบบจำลอง ตารางที่ 3.1 ได้สรุปตัวแปร และพารามิเตอร์ ที่ต้องกำหนดให้ และที่เป็นผลเฉลยทั้งหมดของแต่ละแบบจำลอง ส่วนตารางที่ 3.2 ได้แสดงจำนวนตัวแปร และจำนวนฟังก์ชันข้อบังคับของแต่ละแบบจำลอง

**ตารางที่ 3.1 :** ตัวแปร และพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนดให้ และที่เป็นผลเฉลยทั้งหมดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Sharing Method	Designing Schemes			
	SLR		MLR	
	Input	Output	Input	Output
Non-Sharing	$li, M, d_{sg}, \delta_{sg,i}$	$r_{sg,i}$	$li, M, d_{sg}, \delta_{sg,i}$	$mr_{sg,i}$
Partial Sharing	$li, M, d_{sg}, \delta_{sg,i}$	$r_{sg,i}, R_i$	$li, M, d_{sg}, \delta_{sg,i}$	$mr_{sg,i}, MR_i$
Full Sharing	$li, M, d_{sg}, \delta_{sg,i}$	$pr_{sg,i,j}, r_{sg,i}, R_i$	$li, M, d_{sg}, \delta_{sg,i}$	$pmr_{sg,i}, mr_{sg,i}, MR_i$



ตารางที่ 3.2 : จำนวนตัวแปร (number of variables,  $N_v$ ) และจำนวนฟังก์ชันข้อบังคับ (number of constrains,  $N_c$ ) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Sharing Method	$N_v$		$N_c$	
	SLR	MLR	SLR	MLR
Non-Sharing	$NL$	$NL$	$N$	$N$
Partial Sharing	$NL + L$	$NL + L$	$N + L$	$N + L$
Full Sharing	$NL \sum_{i=1}^L P_i + NL + L$	$NL \sum_{i=1}^L P_i + NL + L$	$N + L + NL$	$N + L + NL$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ฮิวริสติกอัลกอริทึม (Heuristic Algorithms)

จากลักษณะการทำงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ ILP สรุปได้ว่า การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาต้นทุนโครงข่ายมีความเหมาะสมกับโครงข่ายที่มีความเหมาะสมกับโครงข่ายที่มีขนาดเล็กเท่านั้น เพราะเมื่อนำวิธีการนี้ไปใช้กับโครงข่ายขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการคำนวณหาผลเฉลย (computational time) นานมาก ซึ่งในบางโครงข่ายอาจใช้เวลามากกว่า 1 วันในการคำนวณหาผลเฉลย ดังนั้น บทนี้จึงพัฒนาวิธีการใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึมแทนการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้สามารถหาต้นทุนของโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่ได้

อัลกอริทึมในการหาวงแหวนที่เป็นไปได้ทั้งหมดในโครงข่าย จะใช้จาก [10] และโดยจะนำอัลกอริทึมดังกล่าวมาใช้งาน เพื่อหาวงแหวนทั้งหมดป้อนให้กับอัลกอริทึมในการหาวงแหวนหลายวงทั้งหมดในโครงข่าย

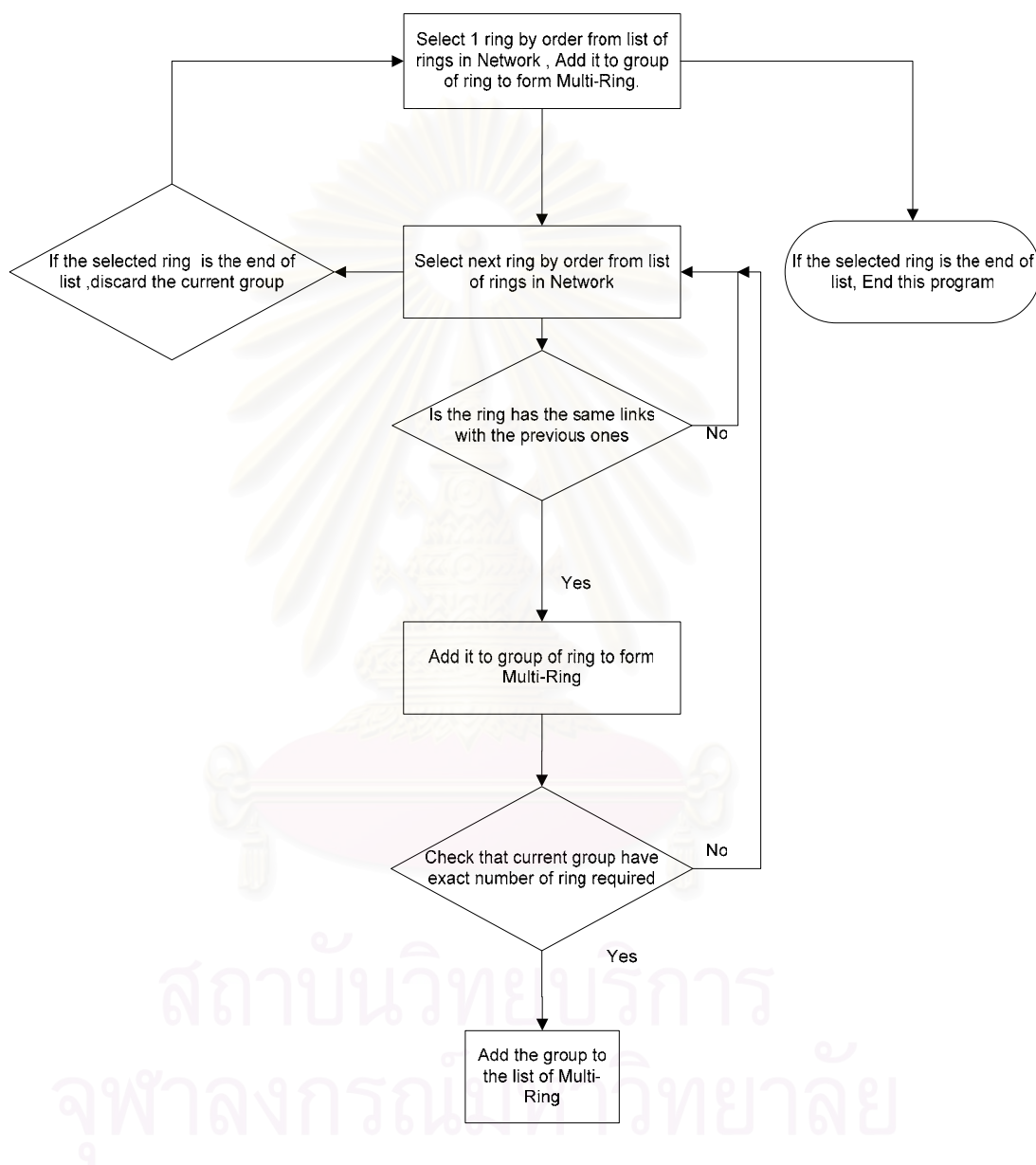
#### 4.1 อัลกอริทึมในการหาวงแหวนหลายวง (MLR)

จากอัลกอริทึมในการหาวงแหวนดังที่กล่าวมาแล้ว วิทยานิพนธ์นี้จะนำลำดับของวงแหวนที่ได้มาใช้ในการหาวงแหวนหลายวง (MLR) ซึ่งมีอัลกอริทึมแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 เลือกวงแหวนจากวงแหวนทั้งหมดที่ได้จากอัลกอริทึมในการหาวงแหวนมา 1 วง ตามลำดับของวงแหวน แล้วนำมาเพิ่มเข้าไปในกลุ่มของวงแหวนที่จะประกอบเป็นวงแหวนหลายวง ถ้าวางแหวนที่เลือกเป็นวงแหวนลำดับสุดท้ายของอัลกอริทึมให้จบการทำงานของโปรแกรม

ขั้นที่ 2 เลือกวงแหวนลำดับถัดไป และตรวจสอบว่าวงแหวนที่เลือกมานั้นมีชายเชื่อม โยงอย่างน้อย 1 ชายเหมือนกับชายเดิมกับวงแหวนในกลุ่มที่เลือกมาแล้วหรือไม่ ถ้ามีชายเหมือนชายเดิมให้เพิ่มวงแหวนใหม่นี้ลงในกลุ่มของวงแหวนที่จะประกอบเป็นวงแหวนหลายวง ถ้าไม่มีชายที่เหมือนชายเดิมให้เริ่มขั้นที่ 2 ใหม่ ถ้าวางแหวนที่เลือกเป็นวงแหวนลำดับสุดท้าย แต่ยังไม่ครบจำนวนวงที่กำหนดของ Multi-Ring แสดงว่า Multi-Ring กลุ่มนี้ไม่สมบูรณ์ ให้ตัดกลุ่มนี้ทิ้งไป

**ขั้นที่ 3** ตรวจสอบกลุ่มที่หาได้ในข้อที่ 2 ถ้ากลุ่มนี้ครบตามจำนวนวงที่กำหนด ให้เพิ่มกลุ่มนี้เข้าในกลุ่มของลำดับของวงแหวนหลายวงที่ต้องการหา และกลับไปเริ่มข้อที่ 1 ใหม่จนครบจำนวนในวงแหวนทั้งหมดในลำดับ



**รูปที่ 4.1 :** ผังงานในการหาวงแหวนหลายวง

#### 4.2 อัลกอริทึมในการหาระดับการแบ่งป็นแบบต่าง ๆ

จากการสังเกต และวิเคราะห์ผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่คำนวณได้จาก ILP พบว่าการจองช่องสัญญาณ (จองเป็นวงแหวนเดี่ยว หรือวงแหวนหลายวง) ของมัลติคาสต์เซส

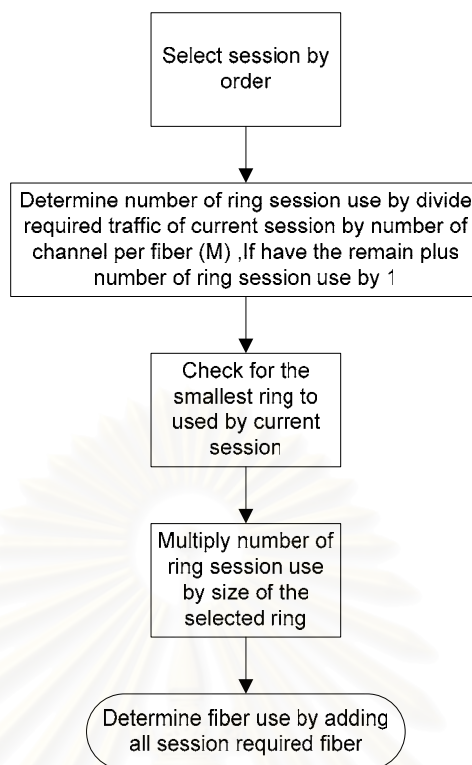
ชั้นแต่ละเซสชันนั้นจะมีพฤติกรรมในการจองช่องสัญญาณที่แน่นอนสามารถกำหนดได้ ซึ่งอิวิริสติกอัลกอริทึมที่นำเสนอต่อไปนี้จะใช้พฤติกรรมที่แท้จริงในการจองช่องสัญญาณมาพัฒนาออกแบบขึ้นทำให้สามารถลดขั้นตอนการทำงานโดยตัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออกไป ทำให้เวลาที่ใช้เร็วกว่าในกรณีของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาก

อัลกอริทึมที่ออกแบบขึ้นในบทนี้จะไม่มีการออกแบบในกรณีที่ระดับการแบ่งปันเป็นระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงสมบูรณ์ เพราะเมื่อวิเคราะห์ถึงผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการแบ่งปันระดับนี้แล้วพบว่าจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้เท่ากับกรณีการแบ่งปันระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วนในทุกกรณี ซึ่งอิวิริสติกอัลกอริทึมที่คำนึงถึงเส้นทางการใช้งานจริงด้วยนั้นจะมีความซับซ้อนมากและไม่ได้ประโยชน์

#### 4.2.1 อัลกอริทึมในการหาระดับการแบ่งปันระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง

จากการสังเกตผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่ากราฟฟิกแต่ละเซสชันจะเลือกช่องสัญญาณที่เล็กที่สุดที่เพียงพอที่จะรองรับสมาชิกทั้งหมดของเซสชันนั้น ๆ ได้ โดยไม่สนใจการเลือกของเซสชันอื่น โดยช่องสัญญาณที่ใช้จะมีขนาดใหญ่กว่า หรือเท่ากับกราฟฟิกที่เซสชันนั้น ๆ ต้องการ โดยมีขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม ดังนี้

- ขั้นที่ 1 เลือกเซสชันมาครั้งละเซสชันตามลำดับ
- ขั้นที่ 2 หาว่าเซสชันที่เลือกมาใช้วงแหวน หรือวงแหวนหลายวงจำนวนกี่ชุดโดยการหารกราฟฟิกที่เซสชัน ต้องการด้วยจำนวนความยาวคลื่นสูงสุดที่สามารถมัลติเพล็กซ์ได้ในเส้นใยแก้วนำแสงหนึ่งเส้น (M) โดยให้ปัดเศษขึ้นเป็นจำนวนเต็มบวกที่น้อยที่สุด
- ขั้นที่ 3 หาวงแหวนที่เล็กที่สุดที่มีโนดต้นทางและปลายทางทั้งหมดอยู่ครบ
- ขั้นที่ 4 คำนวณจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่เซสชันต้องการ โดยการคูณขนาดของวงแหวนที่เซสชันใช้ด้วยจำนวนชุดของวงแหวน หรือวงแหวนหลายวงที่ Session ใช้
- ขั้นที่ 5 คำนวณเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมดที่ใช้โดยบวกเส้นใยแก้วนำแสงของแต่ละเซสชันใช้ ทุกเซสชัน



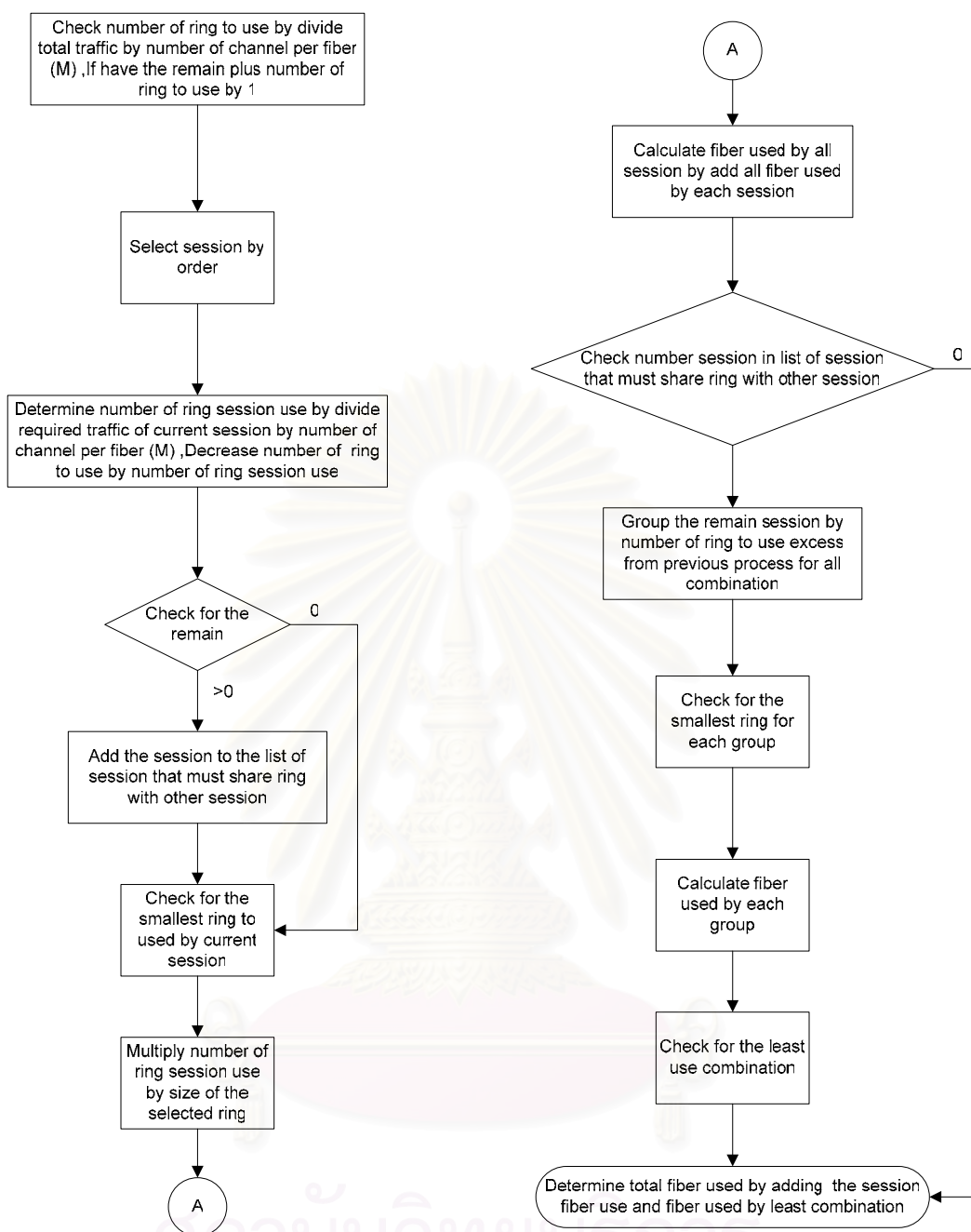
รูปที่ 4.2 : ฟังงานของการแบ่งปันการใช้งานระดับที่ไม่มี การแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง

#### 4.2.2 อัลกอริทึมในการหาระดับการแบ่งปันระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน

การเลือกใช้ช่องสัญญาณของการแบ่งปันการใช้งานระดับนี้ ทราฟฟิกของแต่ละเซสชันจะเลือกช่องสัญญาณของตัวเอง โดยเลือกช่องสัญญาณที่เล็กที่สุดที่จะเพียงพอรองรับสมาชิกทั้งหมดของเซสชันนั้น ๆ ได้ ส่วนทราฟฟิกที่เหลือจากการเลือกช่องสัญญาณนั้น (ทราฟฟิกส่วนที่ใช้ช่องสัญญาณไม่เต็มจำนวนความยาวคลื่นที่มัลติเพลกซ์ได้) จะมาจับรวมกันเพื่อเลือกช่องสัญญาณที่มีขนาดวงใหญ่ขึ้นเพื่อรองรับสมาชิกของทุกเซสชันที่มารวมกันได้ สังเกตว่าจำนวนช่องสัญญาณที่ใช้จะเท่ากับทราฟฟิกทั้งหมดของทราฟฟิกทดสอบหารด้วยจำนวนความยาวคลื่นสูงสุดที่สามารถมัลติเพลกซ์ได้ในเส้นใยแก้วนำแสงหนึ่งเส้น และใช้อีกหนึ่งเส้นสำหรับทราฟฟิกที่ใช้ไม่เต็มความยาวคลื่นที่มีอาศัยพฤติกรรมดังกล่าวสามารถออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึม โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

ขั้นที่ 1 หาจำนวนวงแหวน หรือวงแหวนหลายวงทั้งหมดที่ต้องใช้ โดยการหารทราฟฟิกทั้งหมดด้วยจำนวนความยาวคลื่นสูงสุด ที่สามารถมัลติเพลกซ์ได้ในเส้นใยแก้วนำแสง 1 เส้น (M) โดยให้ปัดเศษขึ้นเป็นค่าจำนวนเต็มบวกที่น้อยที่สุด

- ขั้นที่ 2 เลือกเซตชั้นมาทีละเซตชั้นตามลำดับ
- ขั้นที่ 3 หาจำนวนวงแหวนหรือวงแหวนหลายวงที่เซตชั้นใช้ โดยการหารกราฟฟิคที่เซตชั้นใช้ ด้วยจำนวนความยาวคลื่นสูงสุด ที่สามารถผลิตเพลทซ์ได้ในเส้นใยแก้วนำแสง 1 เส้น (M) นำจำนวนวงแหวนที่ใช้ไปลบออกจากจำนวนวงแหวนทั้งหมดที่ต้องใช้ที่คำนวณได้จากขั้นที่ 1
- ขั้นที่ 4 ถ้าเศษของการหารมากกว่า 0 ให้เพิ่มเซตชั้นปัจจุบันเข้าไปในลำดับของเซตชั้นที่ต้องใช้งานวงแหวนร่วมกันกับเซตชั้นอื่น และเก็บจำนวนเศษไว้ด้วย
- ขั้นที่ 5 หาวงแหวนที่เล็กที่สุดที่มีโนดต้นทางและปลายทางทั้งหมดอยู่ครบ
- ขั้นที่ 6 คำนวณจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่เซตชั้นใช้ โดยการคูณขนาดของวงแหวนที่เซตชั้นใช้ ด้วยจำนวนซุคของวงแหวน หรือวงแหวนหลายวงที่เซตชั้นใช้
- ขั้นที่ 7 คำนวณเส้นใยแก้วนำแสงของส่วนที่แต่ละเซตชั้นที่ไม่ได้แบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงกับเซตชั้นอื่นใช้ โดยบวกเส้นใยแก้วนำแสงที่แต่ละเซตชั้นใช้ทุกเซตชั้น
- ขั้นที่ 8 ตรวจสอบจำนวนวงแหวนที่เหลือ ถ้ามากกว่า 0 ให้นำเซตชั้นจากลำดับของเซตชั้นที่ต้องใช้งานวงแหวนร่วมกันกับเซตชั้นอื่น มาแบ่งเป็นกลุ่มโดยมีจำนวนกลุ่มเท่ากับจำนวนวงแหวนที่เหลือ โดยจัดกลุ่มตามรูปแบบทุกรูปแบบที่เป็นไปได้
- ขั้นที่ 9 หาวงแหวนที่เล็กที่สุดที่มีโนดต้นทาง และปลายทางทั้งหมดของทุกเซตชั้นที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน
- ขั้นที่ 10 คำนวณจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมดที่ทุกกลุ่มใช้ โดยการบวกขนาดของวงแหวนที่แต่ละกลุ่มเลือก
- ขั้นที่ 11 คำนวณจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมดที่ต้องใช้ โดยการบวกจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมดของเซตชั้นที่ไม่ได้แบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงกับเซตชั้นอื่นที่ได้จากขั้นที่ 6 กับจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมดที่ทุกกลุ่มใช้ ที่ได้จากขั้นที่ 10



รูปที่ 4.3 : ผังงานของการแบ่งปันการใช้งานระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน

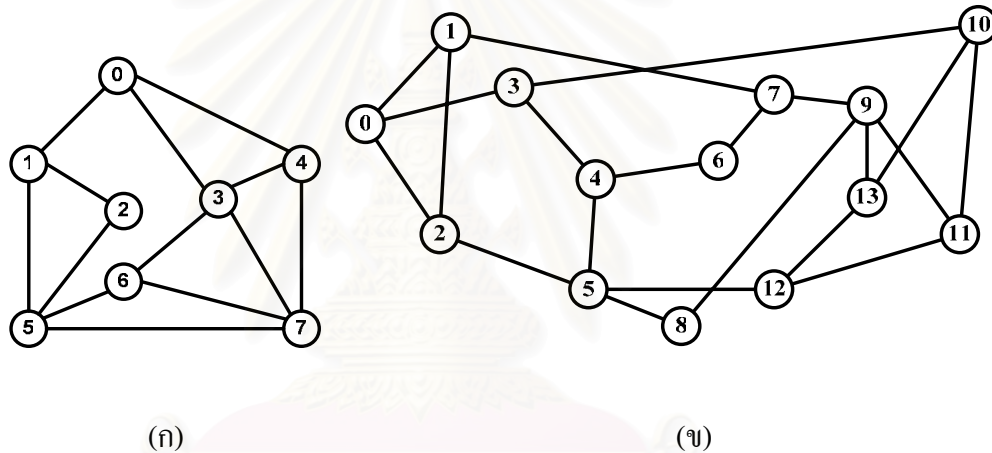


## บทที่ 5

### ผลเฉลยและการวิเคราะห์ผลเฉลย

#### 5.1 ผลเฉลยและผลการวิเคราะห์ผลเฉลยจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์ความซับซ้อน (complexity) และผลเฉลยที่หาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3 ซึ่งในการวิเคราะห์ จะใช้โครงข่ายขนาดเล็ก 1 โครงข่ายที่แสดงในรูปที่ 5.1 (ก) และโครงข่ายขนาดกลาง 1 โครงข่ายคือ NFSNet 14 โหนด 21 ข่ายเชื่อมโยงแสดงในรูปที่ 5.1 (ข) โดยทั้งสองโครงข่ายจะมีลักษณะทางกายภาพ และปริมาณกราฟิกดังนี้



รูปที่ 5.1 : โครงข่ายที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ก) โครงข่าย 8N\_13L (ข) โครงข่าย NFSNet

1. โครงข่ายรูป 5.1 (ก) เป็นโครงข่ายที่มีจำนวนโหนดทั้งหมด (node) 8 โหนด และมีจำนวนข่ายเชื่อมโยง (link) ทั้งหมด 13 ข่ายเชื่อมโยง ให้กราฟฟิคทดสอบ และสมาชิกของแต่ละเซตชั้นซึ่งสมมุติให้มีทั้งหมด 5 เซตชั้นมีลักษณะตามตารางที่ 5.1 และ 5.2 เพื่อความสะดวกในการอ้างอิงต่อไปขอเรียกโครงข่ายนี้ว่า โครงข่าย 8N\_13L

2. โครงข่ายรูป 5.1 (ข) เป็นโครงข่าย NFSNet ที่มีจำนวนโหนดทั้งหมด (node) 14 โหนด และมีจำนวนข่ายเชื่อมโยง (link) ทั้งหมด 21 ข่ายเชื่อมโยง โดยสมมุติให้กราฟฟิคของโครงข่ายมีลักษณะตามตารางที่ 5.1 และ 5.3

ตารางที่ 5.1 : ทราฟฟิกของมัลติคาสต์เซสชัน

เซสชัน	ทราฟฟิก
1	3
2	1
3	2
4	5
5	4

ตารางที่ 5.2 : สมาชิกของมัลติคาสต์เซสชันของทราฟฟิกทดสอบของโครงข่าย 8N\_13L

กลุ่มมัลติคาสต์โหนดในแต่ละมัลติคาสต์เซสชัน		
เซสชัน	4 node	6 node
1	0, 3, 6, 7	0, 1, 2, 4, 5, 7
2	1, 2, 4, 5	1, 2, 3, 4, 6, 7
3	0, 1, 2, 7	0, 3, 4, 5, 6, 7
4	3, 4, 5, 7	0, 1, 3, 4, 5, 6
5	0, 2, 5, 6	0, 1, 2, 3, 5, 6

ตารางที่ 5.3 : สมาชิกของมัลติคาสต์เซสชันของทราฟฟิกทดสอบของ NFSNet

กลุ่มมัลติคาสต์โหนดในแต่ละมัลติคาสต์เซสชัน					
เซสชัน	4 node	6 node	8 node	10 node	12 node
1	3, 4, 6, 7	0, 2, 4, 6, 7, 8	0, 1, 2, 3 5, 8, 11, 13	0, 1, 2, 3, 4 6, 7, 9, 10, 11	0, 1, 2, 4, 6, 7, 8 9, 10, 11, 12, 13
2	1, 6, 8, 10	1, 6, 8, 9, 11, 12	0, 1, 2, 3 4, 6, 7, 10	1, 2, 3, 4, 5 7, 9, 10, 11, 13	0, 1, 2, 3, 5, 7, 8 9, 10, 11, 12, 13
3	2, 4, 10, 12	0, 1, 2, 3, 6, 9	0, 1, 3, 4 7, 8, 9, 12	1, 2, 5, 6, 7 8, 9, 10, 11, 12	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12

ตารางที่ 5.3 : สมาชิกของมัลติคาสต์เซสชันของกราฟฟิกลทดสอบของ NFSNet

กลุ่มมัลติคาสต์โหนดในแต่ละมัลติคาสต์เซสชัน					
เซสชัน	4 node	6 node	8 node	10 node	12 node
4	0, 5, 7, 12	1, 3, 4, 7, 8, 10	2, 3, 5, 6 7, 8, 9, 13	1, 2, 3, 5, 6 7, 8, 9, 10, 12	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13
5	3, 5, 11, 13	0, 1, 2, 3, 4, 5	0, 3, 6, 8 9, 10, 11, 12	0, 2, 4, 5, 6 7, 8, 10, 11, 13	0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12

อนึ่ง ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่ชื่อ CPLEX 6.6.0 [11] ในการคำนวณหาจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมดที่โครงข่ายต้องการจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งคอมพิวเตอร์ที่ใช้รันโปรแกรมดังกล่าวคือ เครื่อง PC Intel Celeron 2.2GHz โดยมี RAM เท่ากับ 512 MB สำหรับโครงข่าย 8N\_13L เครื่อง PC Intel Pentium 4 2.66GHz โดยมี RAM เท่ากับ 448 MB สำหรับ NFSNet

### 5.1.1 การวิเคราะห์ผลเฉลยและความซับซ้อน

ตารางที่ 5.4 แสดงถึงความซับซ้อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้หาจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมดที่โครงข่าย 8N\_13L ต้องการ ซึ่งความซับซ้อนของแบบจำลองจะแสดงในรูปของจำนวนฟังก์ชันข้อบังคับ (หรือ จำนวนสมการ,  $N_c$ ) และจำนวนตัวแปรทั้งหมด ( $N_v$ ) ที่ใช้สร้างแบบจำลอง และในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย 8N\_13L นี้ จำนวนวงแหวน และวงแหวนหลายวงที่ใช้ไม่ได้จำกัดจำนวนไว้แต่อย่างใด โดยจะทำการหาวงแหวนและวงแหวนหลายวงทั้งหมดที่เป็นไปได้ในโครงข่ายเนื่องจากโครงข่ายดังกล่าวเป็นโครงข่ายที่มีขนาดเล็กซึ่งผลของการไม่จำกัดจำนวนเส้นทางให้กับแบบจำลองส่งผลให้จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมดที่โครงข่ายต้องการที่ซึ่งคำนวณได้จากแบบจำลองเป็นจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต่ำที่สุดที่โครงข่าย 8N\_13L ต้องการ

ตารางที่ 5.4 : จำนวนฟังก์ชันข้อบังคับ ( $N_c$ ) และจำนวนตัวแปร ( $N_v$ ) ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย 8N\_13L

Designing Schemes	Non-Sharing		Partial Sharing		Full Sharing	
	$N_v$	$N_c$	$N_v$	$N_c$	$N_v$	$N_c$
SLR	185	5	222	42	39590	227
MLR	1370	5	1644	279	-	-

เมื่อพิจารณาความซับซ้อนในกรณีการออกแบบโครงข่ายแบบ SLR ที่สามารถปกป้องความเสียหายของหนึ่งข่ายเชื่อมโยง ซึ่งสร้างจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากสมการ 3.1 - 3.12 จากตารางที่ 5.4 ของโครงข่าย 8N\_13L จะพบว่าจำนวนฟังก์ชันข้อบังคับจะเพิ่มมากขึ้นตามระดับการแบ่งปันที่อนุญาตให้มีการแบ่งปันมากขึ้นที่ระดับการแบ่งปันระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงจำนวนฟังก์ชันข้อบังคับจะเท่ากับจำนวนเซตชั้นของกราฟฟิคทดสอบเท่านั้น เช่นจากตารางที่ 5.4 จะพบว่าเท่ากับ 5 ซึ่งเป็นระดับที่มีความซับซ้อนน้อย และจะเพิ่มฟังก์ชันข้อบังคับขึ้นมาอีกชุด เมื่อระดับการแบ่งปันการใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงเพิ่มเป็นระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน โดยจะเพิ่มฟังก์ชันข้อบังคับอีกเท่ากับจำนวนวงแหวนทั้งหมดในโครงข่ายที่พิจารณา ซึ่งจากตารางที่ 5.4 จะเพิ่มขึ้นอีก 37 เป็น 42 ซึ่งฟังก์ชันข้อบังคับ ชุดนี้จะมีอัตราการเพิ่มตามขนาดของโครงข่ายที่พิจารณาโดยจำนวนข่ายเชื่อมโยงจะมีผลกับจำนวนฟังก์ชันข้อบังคับชุดนี้มากกว่า และที่ระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงสมบูรณ์จะมีฟังก์ชันข้อบังคับเพิ่มขึ้นอีก 1 ชุด คือชุดของการเลือกเส้นทางที่ใช้งานจริงของกราฟฟิค ทดสอบโดย จำนวนฟังก์ชันข้อบังคับจะเพิ่มขึ้นเท่ากับ จำนวนเซตชั้นของกราฟฟิคทดสอบคูณกับจำนวนวงแหวนทั้งหมดในโครงข่ายเช่นในตารางที่ 5.4 มีค่าเท่ากับ 227 ได้จาก  $5+37+(37 \times 5)$  โดยฟังก์ชันข้อบังคับชุดที่เพิ่มเข้ามาจะมีปริมาณสูงมากถ้าเทียบกับฟังก์ชันข้อบังคับที่มีอยู่เดิมในระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วบางส่วน โดยในส่วนของวิเคราะห์ผลเฉลย เราจะพิจารณาว่าจำนวนฟังก์ชันข้อบังคับที่เพิ่มเข้ามาชุดนี้มีประโยชน์ในการช่วยลดเส้นใยแก้วนำแสงของโครงข่ายได้มากน้อยเพียงใด

ในทางเดียวกันเมื่อพิจารณาจำนวนตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย 8N\_13L ตัวแปรจะเพิ่มขึ้นตามระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงที่มากขึ้น โดยที่ระดับการแบ่งปันระดับที่ไม่มีการแบ่งปันเส้นใยแก้วนำแสง มีตัวแปรเพียงชุดเดียวคือ  $r_{sg,i}$  ซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวนเซตชั้นของกราฟฟิคทดสอบคูณกับจำนวนวงแหวนทั้งหมดในโครงข่าย จากตารางที่ 5.4 พบว่า  $N_v = 185$  และเมื่อเพิ่มระดับการแบ่งปันมากขึ้นเป็นระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน ตัวแปรจะเพิ่มจาก 185 เป็น 222 โดยมีตัวแปรเพิ่มเข้ามาอีกชุด คือชุดของ  $R_i$  ซึ่ง

เท่ากับจำนวนวงแหวนทั้งหมดในโครงข่าย ซึ่งมีปริมาณ ไม่มากถ้าเทียบกับของเดิมที่มีอยู่ในระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง และที่ระดับที่มีการแบ่งปันเส้นใยแก้วนำแสงสมบูรณ์ จะมีตัวแปรเพิ่มมาอีก 1 ชุด คือชุดของ  $pr_{sg,i,j}$  ซึ่งมีปริมาณสูงมากถ้าเทียบกับจำนวนตัวแปรเดิมที่มีในระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน โดยจำนวนที่เพิ่มเข้ามาก็คือจำนวนเส้นทางทั้งหมดของทุกวงแหวนรวมกันคูณกับจำนวนวงแหวนทั้งหมด และคูณกับจำนวนเซสชันของทราฟฟิกทดสอบ  $N_v = 39590$  (จำนวนเส้นทางทั้งหมดของทุกวงแหวน = 1333) ซึ่งในส่วนการวิเคราะห์ผลเฉลยจะวิเคราะห์ถึงความคุ้มค่าของการเพิ่มตัวแปรในส่วนนี้เข้าไป

เมื่อพิจารณาความซับซ้อนในกรณีการออกแบบโครงข่ายแบบ MLR ที่สามารถปกป้องความเสียหายของหนึ่งข่ายเชื่อมโยงจะมีแนวโน้มเดียวกับกรณีของ SLR เพียงแต่กรณีของ MLR จะมีค่าสูงกว่ามาก เนื่องจากจำนวนวงแหวนหลายวงมีจำนวนชุดมากกว่าวงแหวนเดี่ยวเพราะประกอบมาจากวงแหวนเดี่ยวหลาย ๆ วงมาประกอบกัน ซึ่งผลเฉลยทั้งหมดที่ได้ในวิทยานิพนธ์นี้ให้จำนวนวงแหวนเดี่ยวที่มาประกอบเป็นวงแหวนหลายวงเท่ากับ 3 ตัวอย่างเช่น ในโครงข่าย 8N\_13L เราได้จำนวนวงแหวนหลายวงทั้งหมด 274 ชุด จะเห็นได้ว่าในกรณี MLR ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงจำนวนฟังก์ชันข้อบังคับจะเท่ากับกรณี SLR แต่กรณีของระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วนเนื่องจากจำนวนวงแหวนหลายวงที่ได้กล่าวไป สำหรับจำนวนตัวแปรที่เพิ่มขึ้นมานั้นมาจากการที่จำนวนวงแหวนหลายวงต้องนำไปคูณกับจำนวนเซสชัน ส่วนสาเหตุที่ไม่มีค่าในกรณีระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงสมบูรณ์จะอธิบายในส่วนต่อไป

**ตารางที่ 5.5 :** เวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลย (run time) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย 8N\_13L เวลาที่เป็น 0 ในตารางหมายถึงใช้เวลาน้อยกว่า 0.01 sec (ก) กรณี SLR (ข) กรณี MLR

M	Run time (sec)					
	4 node			6 node		
	Non-Sharing	Partial Sharing	Full Sharing	Non-Sharing	Partial Sharing	Full Sharing
1	0	0	0.01	0	0.01	0.01
2	0	0.1	0.27	0.1	0.19	0.27
3	0	0.01	0.02	0	0.01	0.02
4	0.01	0.02	0.02	0	0.02	0.03

(ก)

ตารางที่ 5.5 : เวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลย (run time) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย 8N\_13L เวลาที่เป็น 0 ในตารางหมายถึงใช้เวลาน้อยกว่า 0.01 sec (ก) กรณี SLR (ข) กรณี MLR (ต่อ)

M	Run time (sec)					
	4 node			6 node		
	Non-Sharing	Partial Sharing	Full Sharing	Non-Sharing	Partial Sharing	Full Sharing
5	0	0.01	0.03	0.17	0.01	0.03
6	0	0.03	0.06	0	0.03	0.06
7	0	0.03	0.1	0	0.04	0.11
8	0	0.01	0.04	0	0.02	0.04
9	0	0.01	0.05	0	0.01	0.05
10	0	0.01	0.05	0	0.01	0.04
11	0	0.02	0.05	0	0.01	0.06
12	0	0.01	0.05	0	0.01	0.05
13	0	0.02	0.05	0	0.01	0.05
14	0	0.01	0.05	0	0.01	0.05
15	0	0	0.02	0	0.01	0.02

สถาบันวิทยบริการ  
(ก)  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 5.5 : เวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลย (run time) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย 8N\_13L เวลาที่เป็น 0 ในตารางหมายถึงใช้เวลาต่ำกว่า 0.01 sec (ก) กรณี SLR (ข) กรณี MLR (ต่อ)

M	Run time (sec)			
	4 node		6 node	
	Non-Sharing	Partial Sharing	Non-Sharing	Partial Sharing
1	0.03	0.09	0.09	0.06
2	0.02	758.28	0.01	1243.66
3	0.02	2.07	0.02	1.12
4	0.02	0.96	0.02	1.04
5	0.02	0.36	0.02	0.45
6	0.02	44.04	0.01	112.05
7	0.02	57.90	0.01	156.33
8	0.02	0.56	0.01	0.16
9	0.02	1.27	0.01	1.36
10	0.02	1.24	0.01	0.9
11	0.02	1.65	0.01	7.71
12	0.02	2.69	0.01	1.84
13	0.02	12.82	0.01	1.52
14	0.02	1.93	0.01	2.33
15	0.02	0.11	0.01	0.08

(ข)

เวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยของโครงข่าย 8N\_13L จากตารางที่ 5.5 (ก) และ (ข) จะเห็นว่าค่าที่มีผลกับการใช้เวลาในการหาผลเฉลยนั้น ได้แก่ ค่า M คือความยาวคลื่นทั้งหมดที่สามารถผลิตเพลกซ์ได้ในเส้นใยแก้วนำแสงหนึ่งเส้น และจำนวนสมาชิกของแต่ละเซตชั้นของทราฟฟิกทดสอบ เห็นได้ว่าเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นไปตามแนวโน้มของความซับซ้อนของแบบจำลองตามที่ได้วิเคราะห์ที่ผ่านมา โดยที่กรณี MLR และ SLR ระดับที่ไม่มีมีการ

แบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงมีความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยไม่มากนักเนื่องจากจำนวนฟังก์ชันข้อบังคับเท่ากัน และโครงข่ายมีขนาดเล็ก มีจำนวนตัวแปรไม่มาก ส่วนที่ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วนจะเห็นว่ากรณี MLR ใช้เวลามากเนื่องจากมีจำนวนฟังก์ชันข้อบังคับขึ้นมาอีกมากพอสมควร และพบว่าค่า  $M$  ที่เท่ากับ 2, 6, 7 จะมีการใช้เวลามากเนื่องจากที่ค่า  $M$  ต่าง ๆ เหล่านี้มีการเลือกเส้นทางได้หลายรูปแบบตามแนวโน้มการจองช่องสัญญาณที่ได้เคยกล่าวไว้ในบทที่ 4 ที่ผ่านมา

**ตารางที่ 5.6 :** จำนวนฟังก์ชันข้อบังคับ ( $N_c$ ) และจำนวนตัวแปร ( $N_v$ ) ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย NFSNet

Designing Schemes	Non-Sharing		Partial Sharing		Full Sharing	
	$N_v$	$N_c$	$N_v$	$N_c$	$N_v$	$N_c$
SLR	695	5	834	144	927269	839
MLR	24590	5	29508	4923	-	-

**ตารางที่ 5.7 :** เวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลย (run time) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย NFSNet เวลาที่เป็น 0 ในตารางหมายถึงใช้เวลาน้อยกว่า 0.01 sec ส่วนเวลาที่เป็น 12 hours ในตารางคือ หยุดหาผลเฉลยที่ 12 ชั่วโมง และใช้ค่าที่ได้เป็นค่าสุดท้าย (ก) กรณี SLR (Non-Sharing) (ข) กรณี SLR (Partial Sharing) (ค) กรณี SLR (Full Sharing) (ง) กรณี MLR (Non-Sharing) (จ) กรณี MLR (Partial Sharing)

$M$	Runtime (sec)				
	4 Node	6 Node	8 Node	10 Node	12 Node
1	0	0	0	0.01	0.01
2	0	0	0	0.12	0.2
3	0	0	0	0.1	0.12
4	0	0	0	0.1	0.15
5	0	0	0	0.13	0.17

(ก)

ตารางที่ 5.7 : เวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลย (run time) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย NFSNet เวลาที่เป็น 0 ในตารางหมายถึงใช้เวลาน้อยกว่า 0.01 sec ส่วนเวลาที่เป็น 12 hours ในตารางคือ หยุดหาผลเฉลยที่ 12 ชั่วโมง และใช้ค่าที่ได้เป็นค่าสุดท้าย (ก) กรณี SLR (Non-Sharing) (ข) กรณี SLR (Partial Sharing) (ค) กรณี SLR (Full Sharing) (ง) กรณี MLR (Non-Sharing) (จ) กรณี MLR (Partial Sharing) (ต่อ)

$M$	Run time (sec)				
	4 Node	6 Node	8 Node	10 Node	12 Node
1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
2	0.07	0.12	0.2	0.53	2.06
3	0.01	0.02	0.03	0.11	0.24
4	0.01	0.02	0.04	0.13	0.37
5	0.01	0.02	0.02	0.09	0.22
6	0.05	0.08	0.17	0.21	1.59
7	0.06	0.09	0.15	0.32	1.78
8	0.01	0.04	0.07	0.15	0.21
9	0.01	0.03	0.03	0.13	0.19
10	0.01	0.01	0.02	0.09	0.15
11	0.01	0.01	0.02	0.07	0.17
12	0.01	0.01	0.02	0.08	0.18
13	0.01	0.01	0.02	0.05	0.15
14	0.01	0.01	0.02	0.03	0.16
15	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

(ข)

ตารางที่ 5.7 : เวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลย (run time) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย NFSNet เวลาที่เป็น 0 ในตารางหมายถึงใช้เวลาน้อยกว่า 0.01 sec ส่วนเวลาที่เป็น 12 hours ในตารางคือ หุดหาผลเฉลยที่ 12 ชั่วโมง และใช้ค่าที่ได้เป็นค่าสุดท้าย (ก) กรณี SLR (Non-Sharing) (ข) กรณี SLR (Partial Sharing) (ค) กรณี SLR (Full Sharing) (ง) กรณี MLR (Non-Sharing) (จ) กรณี MLR (Partial Sharing) (ต่อ)

$M$	Run time (sec)				
	4 Node	6 Node	8 Node	10 Node	12 Node
1	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05
2	0.15	0.31	0.45	1.21	2.78
3	0.04	0.11	0.21	0.31	0.49
4	0.06	0.24	0.22	0.42	0.58
5	0.02	0.06	0.16	0.21	0.26
6	0.09	0.27	0.37	0.55	1.89
7	0.07	0.22	0.4	0.68	1.78
8	0.02	0.11	0.12	0.19	0.31
9	0.02	0.12	0.11	0.17	0.29
10	0.02	0.1	0.09	0.11	0.28
11	0.02	0.13	0.09	0.12	0.27
12	0.02	0.09	0.07	0.1	0.25
13	0.02	0.08	0.08	0.09	0.24
14	0.02	0.08	0.06	0.09	0.23
15	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ค)

ตารางที่ 5.7 : เวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลย (run time) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย NFSNet เวลาที่เป็น 0 ในตารางหมายถึงใช้เวลาน้อยกว่า 0.01 sec ส่วนเวลาที่เป็น 12 hours ในตารางคือ หุดหาผลเฉลยที่ 12 ชั่วโมง และใช้ค่าที่ได้เป็นค่าสุดท้าย (ก) กรณี SLR (Non-Sharing) (ข) กรณี SLR (Partial Sharing) (ค) กรณี SLR (Full Sharing) (ง) กรณี MLR (Non-Sharing) (จ) กรณี MLR (Partial Sharing) (ต่อ)

$M$	Runtime (sec)				
	4 Node	6 Node	8 Node	10 Node	12 Node
1	0	0	0	0.01	0.01
2	0	0	0	0.12	0.2
3	0	0	0	0.1	0.12
4	0	0	0	0.1	0.15
5	0	0	0	0.13	0.17

(ง)

$M$	Run time (sec)				
	4 Node	6 Node	8 Node	10 Node	12 Node
1	24.89	10.68	3.76	3.93	1.49
2	12 hours	12 hours	12 hours	12 hours	12 hours
3	449.90	125.71	5.14	120.70	5.91
4	12 hours	12 hours	12 hours	12 hours	12 hours
5	42.17	30.17	49.31	7.69	1.84
6	12 hours	12 hours	12 hours	12 hours	12 hours
7	12 hours	12 hours	12 hours	12 hours	12 hours
8	639.27	378.45	205.37	5.06	116.13
9	12 hours	18309.48	4538.28	240.76	6969.68
10	12 hours	4769.30	1457.37	363.99	238.93
11	12 hours	12 hours	12 hours	8738.76	5192.58

(จ)

ตารางที่ 5.7 : เวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลย (run time) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย NFSNet เวลาที่เป็น 0 ในตารางหมายถึงใช้เวลาน้อยกว่า 0.01 sec ส่วนเวลาที่เป็น 12 hours ในตารางคือ หยุดหาผลเฉลยที่ 12 ชั่วโมง และใช้ค่าที่ได้เป็นค่าสุดท้าย (ก) กรณี SLR (Non-Sharing) (ข) กรณี SLR (Partial Sharing) (ค) กรณี SLR (Full Sharing) (ง) กรณี MLR (Non-Sharing) (จ) กรณี MLR (Partial Sharing) (ต่อ)

$M$	Run time (sec)				
	4 Node	6 Node	8 Node	10 Node	12 Node
12	12 hours	12 hours	27856.37	4756.73	2463.82
13	12 hours	29467.13	19567.23	5397.45	1349.17
14	12 hours	17345.83	8590.64	3649.28	1889.31
15	95.19	19.27	5.98	5.62	1.28

(จ)

จากตารางที่ 5.7 (ก) (ข) (ค) (ง) และ (จ) เห็นได้ว่าความซับซ้อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพิ่มขึ้นเป็นแนวโน้มเดียวกับกรณีโครงข่ายเป็น 8N\_13L แต่จะใช้เวลาามากขึ้นมาก โดยที่ค่าที่มีผลกับเวลาก็คือค่า  $M$  และจำนวนสมาชิกในเซตชั้นเช่นเดิม และสังเกตว่า MLR จะใช้เวลาน้อยลงมาก

ตารางที่ 5.8 : จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง (no. fiber) ที่ต้องการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณี SLR ของโครงข่าย 8N\_13L

$M$	No. Fiber					
	4 node			6 node		
	Non-Sharing	Partial Sharing	Full Sharing	Non-Sharing	Partial Sharing	Full Sharing
1	82	82	82	92	92	92
2	49	45	45	56	50	50
3	39	30	30	44	33	33
4	33	23	23	38	26	26



ตารางที่ 5.8 : จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง (no. fiber) ที่ต้องการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณี SLR ของโครงข่าย 8N\_13L

$M$	No. Fiber					
	4 node			6 node		
	Non-Sharing	Partial Sharing	Full Sharing	Non-Sharing	Partial Sharing	Full Sharing
5	28	19	19	32	22	22
6	28	19	19	32	20	20
7	28	17	17	32	20	20
8	28	13	13	32	15	15
9	28	13	13	32	15	15
10	28	13	13	32	14	14
11	28	13	13	32	14	14
12	28	13	13	32	14	14
13	28	13	13	32	14	14
14	28	13	13	32	14	14
15	28	8	8	32	8	8

ตารางที่ 5.9 : จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง (no. fiber) ที่ต้องการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณี MLR ของโครงข่าย 8N\_13L

$M$	No. Fiber			
	4 node		6 node	
	Non-Sharing	Partial Sharing	Non-Sharing	Partial Sharing
1	97	97	107	107
2	58	53	65	58
3	46	35	51	38
4	39	27	44	30
5	33	22	37	25
6	33	22	37	23

ตารางที่ 5.9 : จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง (no. fiber) ที่ต้องการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณี MLR ของโครงข่าย 8N\_13L

$M$	No. Fiber			
	4 node		6 node	
	Non-Sharing	Partial Sharing	Non-Sharing	Partial Sharing
7	33	20	37	23
8	33	15	37	17
9	33	15	37	17
10	33	15	37	16
11	33	15	37	16
12	33	15	37	16
13	33	15	37	16
14	33	15	37	16
15	33	9	37	9

ตารางที่ 5.10 : จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง (no. fiber) ที่ต้องการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย NFSNet (ก) กรณี SLR (Non-Sharing) (ข) กรณี SLR (Partial Sharing) (ค) กรณี SLR (Full Sharing) (ง) กรณี MLR (Non-Sharing) (จ) กรณี MLR (Partial Sharing)

$M$	No. Fiber				
	4 Node	6 Node	8 Node	10 Node	12 Node
1	121	139	177	191	205
2	73	86	105	113	123
3	59	66	83	89	96
4	51	60	70	75	82
5	43	49	59	62	69

(ก)

ตารางที่ 5.10 : จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง (no. fiber) ที่ต้องการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย NFSNet (ก) กรณี SLR (Non-Sharing) (ข) กรณี SLR (Partial Sharing) (ค) กรณี SLR (Full Sharing) (ง) กรณี MLR (Non-Sharing) (จ) กรณี MLR (Partial Sharing) (ต่อ)

$M$	No Fiber				
	4 Node	6 Node	8 Node	10 Node	12 Node
1	121	139	177	191	205
2	67	75	95	102	109
3	46	49	60	65	69
4	36	40	49	51	55
5	31	35	38	41	41
6	29	29	36	38	41
7	27	29	36	38	41
8	23	24	28	27	28
9	23	23	26	27	28
10	21	23	25	27	27
11	21	20	25	27	27
12	20	20	25	25	27
13	20	20	25	25	27
14	20	20	25	25	27
15	14	14	14	14	14

(ข)

$M$	No Fiber				
	4 Node	6 Node	8 Node	10 Node	12 Node
1	121	139	177	191	205
2	67	75	95	102	109
3	46	49	60	65	69

(ค)

ตารางที่ 5.10 : จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง (no. fiber) ที่ต้องการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย NFSNet (ก) กรณี SLR (Non-Sharing) (ข) กรณี SLR (Partial Sharing) (ค) กรณี SLR (Full Sharing) (ง) กรณี MLR (Non-Sharing) (จ) กรณี MLR (Partial Sharing) (ต่อ)

$M$	No Fiber				
	4 Node	6 Node	8 Node	10 Node	12 Node
4	36	40	49	51	55
5	31	35	38	41	41
6	29	29	36	38	41
7	27	29	36	38	41
8	23	24	28	27	28
9	23	23	26	27	28
10	21	23	25	27	27
11	21	20	25	27	27
12	20	20	25	25	27
13	20	20	25	25	27
14	20	20	25	25	27
15	14	14	14	14	14

(ค)

$M$	No Fiber				
	4 Node	6 Node	8 Node	10 Node	12 Node
1	131	147	178	191	207
2	80	90	106	113	124
3	63	69	83	89	96
4	55	62	70	75	82
5	46	51	58	62	69
6	46	51	58	62	69

(ง)

ตารางที่ 5.10 : จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง (no. fiber) ที่ต้องการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย NFSNet (ก) กรณี SLR (Non-Sharing) (ข) กรณี SLR (Partial Sharing) (ค) กรณี SLR (Full Sharing) (ง) กรณี MLR (Non-Sharing) (จ) กรณี MLR (Partial Sharing) (ต่อ)

$M$	No Fiber				
	4 Node	6 Node	8 Node	10 Node	12 Node
7	46	51	58	62	69
8	46	51	58	62	69
9	46	51	58	62	69
10	46	51	58	62	69
11	46	51	58	62	69
12	46	51	58	62	69
13	46	51	58	62	69
14	46	51	58	62	69
15	46	51	58	62	69

(ง)

$M$	No Fiber				
	4 Node	6 Node	8 Node	10 Node	12 Node
1	131	147	178	191	207
2	72	80	96	103	111
3	49	52	62	67	71
4	39	42	50	52	57
5	33	35	40	41	43
6	30	31	37	40	42
7	30	31	37	38	42
8	25	25	28	27	30
9	24	24	27	27	29

(จ)

ตารางที่ 5.10 : จำนวนเส้นใยแก้วนำแสง (no. fiber) ที่ต้องการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่าย NFSNet (ก) กรณี SLR (Non-Sharing) (ข) กรณี SLR (Partial Sharing) (ค) กรณี SLR (Full Sharing) (ง) กรณี MLR (Non-Sharing) (จ) กรณี MLR (Partial Sharing) (ต่อ)

$M$	No Fiber				
	4 Node	6 Node	8 Node	10 Node	12 Node
10	23	24	27	27	28
11	22	21	27	27	28
12	22	21	26	26	28
13	22	21	26	26	28
14	22	21	26	26	28
15	15	14	15	15	15

(จ)

เรื่องต่อไปที่จะทำการวิเคราะห์คือ การวิเคราะห์จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมดที่โครงข่ายต้องการ (total number of fibers requirement) เมื่อพิจารณากรณีโครงข่าย 8N\_13L ซึ่งได้แสดงผลเฉลยไว้ในตารางที่ 5.8 จากตารางเมื่อพิจารณาจะเห็นได้ว่าจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการจะลดลงเมื่อ  $M$  มีค่าสูงขึ้น เมื่อพิจารณากรณีที่แต่ละระดับการแบ่งปันเส้นใยแก้วนำแสงระดับต่าง ๆ พบว่าที่ระดับที่ไม่มีมีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง เมื่อ  $M$  ลดลงสู่ค่าหนึ่งจะทำให้จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการไม่มีการลดลง ซึ่งค่านั้นก็คือ จำนวนเซสชันทั้งหมดของกราฟฟิกทดสอบ เพราะแต่ละเซสชันของกราฟฟิกทดสอบไม่สามารถใช้เส้นใยแก้วนำแสงเดียวกันได้ โดยแนวโน้มในการลดลงจะสัมพันธ์กับจำนวนวงแหวนทั้งหมดที่โครงข่ายใช้ เช่น ที่  $M = 1$  โครงข่ายใช้จำนวนวงแหวนเท่ากับ 15 ทำให้ที่กราฟฟิกที่แต่ละเซสชันมี 4 โหนด แต่ละวงแหวนมีขนาดประมาณ 5 (82/15) ที่  $M = 2$  เซสชันที่ 1 ใช้วงแหวน 2 วง (3/2) เซสชันที่ 2 ใช้วงแหวน 1 วง (1/2) เซสชันที่ 3 ใช้วงแหวน 1 วง (2/2) เซสชันที่ 4 ใช้วงแหวน 3 วง (5/2) และเซสชันที่ 5 ใช้วงแหวน 2 วง (4/2) รวมแล้วใช้วงแหวน 9 วง (2+1+1+3+2) แต่ละวงมีขนาดประมาณ 5 (49/9) ที่  $M = 3$  เซสชันที่ 1 ใช้วงแหวน 1 วง (3/3) เซสชันที่ 2 ใช้วงแหวน 1 วง (1/3) เซสชันที่ 3 ใช้วงแหวน 1 วง (2/3) เซสชันที่ 4 ใช้วงแหวน 2 วง (5/3) และเซสชันที่ 5 ใช้วงแหวน 2 วง (4/3) รวมแล้วใช้วงแหวน 7 วง (1+1+1+2+2) แต่ละวงมีขนาดประมาณ 5 (39/7) ซึ่งเป็นเช่นเดียวกันกับ  $M = 4$  และ  $M = 5$



เมื่อพิจารณาที่ระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วนพบว่าเมื่อ  $M$  มีค่ามากขึ้นเรื่อย ๆ จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการก็ลดลงไปเรื่อย ๆ แต่จะลดลงชัดเจนที่  $M$  เท่ากับ 2, 3, 4, 5, 8, 15 ซึ่งที่ค่า  $M$  ต่าง ๆ เหล่านี้เป็นจุดที่มีการใช้จำนวนวงแหวนลดลง ตัวอย่างเช่น ที่  $M = 1$  แต่ละเซสชันจะใช้จำนวนวงแหวนเท่ากับขนาดทราฟฟิกที่เซสชันนั้น ๆ ต้องการ ซึ่งรวมแล้วทั้งหมดจะต้องการ 15 วง ส่วนที่  $M = 2$  ทุก ๆ 2 หน่วยของขนาดทราฟฟิกที่ต้องการจะใช้ 1 วง ทำให้จำนวนวงแหวนที่ต้องการทั้งหมดเท่ากับ 8 วง ส่วนที่ค่า  $M$  อื่น ๆ จำนวนวงแหวนที่ต้องการจะเรียงลำดับดังนี้ 5, 4, 3, 2, 1 ซึ่งที่  $M = 15$  หรือ  $M$  เท่ากับจำนวนทราฟฟิกทั้งหมดของทราฟฟิกทดสอบนั้นจะต้องการวงแหวนเพียงวงเดียวเพื่อรองรับเซสชันทั้งหมดเท่านั้น และถ้ามีการเพิ่ม  $M$  ขึ้นอีกก็จะไม่ช่วยให้จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการลดลง ส่วนการที่จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการลดลงไม่เป็นอัตราส่วนกับจำนวนวงแหวนที่ต้องการนั้นเพราะที่  $M$  สูงขึ้นทำให้แต่ละเซสชันต้องมาใช้วงแหวนร่วมกันทำให้งวงแหวนที่เลือกใช้ต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นตามลำดับ โดยที่  $M = 15$  วงแหวนจะต้องใช้วงแหวนที่ครอบคลุมสมาชิกทุกตัวในโครงข่ายซึ่งมีขนาดอย่างน้อยเท่ากับจำนวน โหนดในโครงข่าย และที่  $M$  มีค่าสูงขึ้นความแตกต่างของจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการระหว่างทราฟฟิกที่เซสชันมีสมาชิกเซสชันละ 4 โหนด กับเซสชันที่มีสมาชิกเซสชันละ 6 โหนดยิ่งเข้าใกล้กันมากขึ้นจนที่  $M = 15$  พบว่าจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการเท่ากันคือ เท่ากับวงแหวนที่เล็กที่สุดที่สามารถครอบคลุมโหนดทุกโหนดในโครงข่าย

เมื่อพิจารณาที่ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงอย่างสมบูรณ์พบว่าจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการ ไม่มีความแตกต่างจากระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน เพราะเนื่องจากว่าแม้จะมีการอนุญาตให้ใช้ช่องสัญญาณเดียวกันได้ก็ตาม แต่เส้นทางแต่ละเส้นทางที่เลือกก็ต้องมีการจองเส้นทางอีกฝั่งของวงแหวนเพื่อใช้ในกรณีที่มีการเสียหายของหนึ่งข้างเชื่อมโยง กรณีที่วงแหวนมีขนาดใหญ่มากจนเส้นทาง 2 เส้นทางลงไปใช้ได้ก็ตาม แต่เส้นทางทั้ง 2 ก็อาจจะจองส่วนของวงแหวนเล็ก ๆ เพื่อมาเติมเต็มให้ตนเองครบวง ก็กลายเป็นว่า ต่างก็จองวงแหวนเล็ก ๆ คนละวงแยกกันใช้ ซึ่งก็จะเข้ากับกรณีที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วนนั่นเอง

ส่วนในกรณีของ MLR นั้น พิจารณาจากผลเฉลยที่แสดงไว้ในตารางที่ 5.9 แล้ว พบว่าจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการของกรณี MLR จะสูงกว่ากรณี SLR เสมอ แต่จะเข้าใกล้กันในกรณีที่  $M$  มีค่ามากขึ้นหรือกรณีที่ทราฟฟิกแต่ละเซสชันมีจำนวนโหนดมากขึ้น ซึ่งอาจจะพิจารณาได้ดีขึ้นในโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งจะวิเคราะห์เพิ่มเติมในส่วนของโครงข่าย NFSNet และเราจะไม่พิจารณาในกรณีระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงสมบูรณ์ เพราะการวิเคราะห์ซับซ้อนมากและให้ผลที่ได้ไม่ต่างจากในกรณีระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน

เมื่อพิจารณาผลเฉลี่ยของโครงข่าย NSFNet กรณี SLR ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงดังแสดงในตารางที่ 5.10 (ก) พบว่าปริมาณความต้องการเส้นใยแก้วนำแสงยังคงมีแนวโน้มเหมือนกับกรณีโครงข่ายแบบ 8N\_13L โดยเมื่อ  $M$  เพิ่มขึ้นจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการจะลดลงเรื่อย ๆ จนหยุดลดลงที่  $M$  เท่ากับจำนวนเซสชันทั้งหมดในกราฟฟิคทดสอบโดยแนวโน้มในการลดลงจะสัมพันธ์กับจำนวนวงแหวนทั้งหมดที่โครงข่ายใช้ตามที่วิเคราะห์ไปแล้วในโครงข่าย 8N\_13L แต่โครงข่าย NFSNet ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้เห็นแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นเมื่อแต่ละเซสชันของกราฟฟิคทดสอบมีจำนวนสมาชิกมากขึ้นว่ามีแนวโน้มในการเพิ่มที่ลดลง ตัวอย่างเช่น สมาชิกเพิ่มขึ้น 100 % จาก 4 เป็น 8 จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงต้องการเพิ่มขึ้นเพียง 37.2% (16/43) และจาก 4 เป็น 12 ที่สมาชิกเพิ่มขึ้น 200% จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงต้องการเพิ่มขึ้นเพียง 60.5% (26/43) เท่านั้น ซึ่งหมายความว่าจำนวนสมาชิกในเซสชันที่มากขึ้นทำให้เราใช้เส้นใยแก้วนำแสงได้คุ้มค่าขึ้น

เมื่อพิจารณาต่อมาที่ตารางที่ 5.10 (ข) พบว่ามีแนวโน้มเหมือนกับในกรณีโครงข่าย 8N\_13L เราสามารถมองผลเฉลี่ยได้ชัดเจนขึ้นเนื่องจากเป็นโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่กว่า พบว่าที่ค่า  $M$  น้อย เช่น ที่  $M = 1$  ความแตกต่างของจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้ระหว่างกราฟฟิคที่มีจำนวนสมาชิกในเซสชันไม่เท่ากันมีค่ามาก จากตารางพบว่า การที่สมาชิกในเซสชันเพิ่มจาก 4 โหนด เป็น 8 โหนดต้องการเส้นใยแก้วนำแสงเพิ่มขึ้น 46.3% (56/121) และการเพิ่มจาก 4 โหนด เป็น 12 โหนดต้องการเส้นใยแก้วนำแสงเพิ่มขึ้น 69.4% (84/121) ที่  $M = 2$  ความแตกต่างของจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้ระหว่างกราฟฟิคที่มีจำนวนสมาชิกในเซสชันไม่เท่ากันมีลดลง จากตารางพบว่า การที่สมาชิกในเซสชันเพิ่มจาก 4 โหนด เป็น 8 โหนดต้องการเส้นใยแก้วนำแสงเพิ่มขึ้น 41.8% (28/67) และการเพิ่มจาก 4 โหนด เป็น 12 โหนดต้องการเส้นใยแก้วนำแสงเพิ่มขึ้น 62.7% (42/67) ที่  $M = 5$  ความแตกต่างของจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้ระหว่างกราฟฟิคที่มีจำนวนสมาชิกในเซสชันไม่เท่ากันมีลดลงอีก จากตารางพบว่า การที่สมาชิกในเซสชันเพิ่มจาก 4 โหนด เป็น 8 โหนดต้องการเส้นใยแก้วนำแสงเพิ่มขึ้น 22.6% (7/31) และการเพิ่มจาก 4 โหนด เป็น 12 โหนดต้องการเส้นใยแก้วนำแสงเพิ่มขึ้น 32.3% (10/31) ที่  $M = 15$  พบว่าไม่มีความแตกต่างของจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้ระหว่างกราฟฟิคที่มีจำนวนสมาชิกในเซสชันไม่เท่ากัน

เมื่อดูผลเฉลี่ยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากตารางที่ 5.10 (ค) ทำให้เรามั่นใจมากขึ้นว่าการเพิ่มระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงจากระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน เป็นระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงสมบูรณ์ ไม่ได้ช่วยลดปริมาณเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการได้ และยังเป็นการทำใหแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความซับซ้อนเกินความจำเป็น

เมื่อพิจารณาผลเฉลี่ยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณี MLR ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงตามตารางที่ 5.10 (ง) พบว่าเมื่อโครงข่ายมีขนาดใหญ่ขึ้นมีบางกรณีที่ MLR

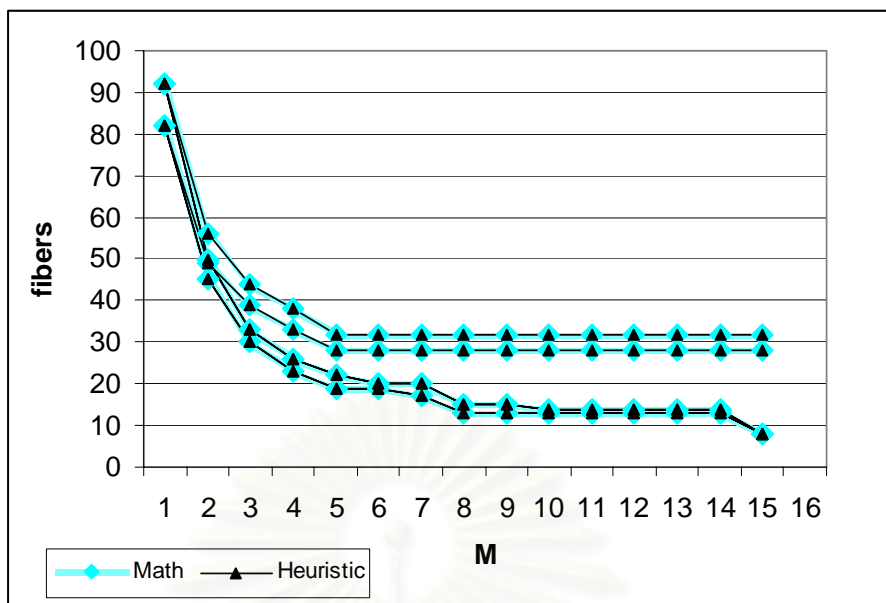
จะใช้จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงน้อยกว่า SLR เช่น กรณีที่ทราฟฟิกทดสอบมีจำนวนสมาชิกในแต่ละเซสชันเป็น 8 และที่  $M = 5$  MLR ใช้จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงเท่ากับ 58 ส่วน SLR ใช้จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงเท่ากับ 59 จากการวิเคราะห์เข้าไปดูถึงวงแหวนที่แต่ละกรณีเจอแล้วพบว่าสาเหตุเกิดจาก NFSNet เป็นโครงข่ายที่มีความหนาแน่นไม่มากทำให้การจำกัดให้ทั้งเซสชันใช้วงแหวนเพียงวงเดียวทำให้วงแหวนมีขนาดใหญ่ขึ้นโดยอ้อมผ่าน โหนดที่ไม่เกี่ยวข้องมากขึ้นส่วน MLR สามารถหาข่ายเชื่อมโยงมาต่อวงแหวนที่เล็กกว่าให้กลายเป็นวงแหวนหลายวง และสามารถครอบคลุมโหนดทั้งหมดได้ ซึ่งเหตุการณ์ลักษณะนี้อาจเกิดขึ้นได้กับโครงข่ายที่มีความหนาแน่นไม่มาก และจำนวนสมาชิกในแต่ละทราฟฟิกไม่มากหรือน้อยเกินไป เพราะถ้ามากจำนวนโหนดที่ไม่เกี่ยวข้องจะน้อยลงส่วนถ้าน้อยไปวงแหวนหลายวงจะมีข่ายเชื่อมโยงที่เกินความจำเป็นมากกว่า และพบว่าจำนวนสมาชิกในแต่ละเซสชันของทราฟฟิกทดสอบที่เพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการของกรณี MLR และ SLR มีค่าเข้าใกล้กันมากขึ้น

เมื่อพิจารณาผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณี MLR ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วนตามตารางที่ 5.10 (จ) พบว่ามีแนวโน้มนั้นเป็นเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ที่ผ่านมาทั้งหมด แต่สังเกตความผิดปกติของผลเฉลยที่จำนวนสมาชิกในแต่ละเซสชันของทราฟฟิกทดสอบเท่ากับ 6 และ  $M$  มีค่ามาก ๆ จะมีจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการน้อยกว่าที่จำนวนสมาชิกในแต่ละเซสชันของทราฟฟิกทดสอบเท่ากับ 4 เมื่อตรวจสอบความผิดปกติแล้วพบว่าทราฟฟิกทดสอบที่มีจำนวนสมาชิกในแต่ละเซสชันเท่ากับ 6 นั้นเมื่อรวมสมาชิกของทุกเซสชันเข้าด้วยกันแล้วพบว่าขาดไป 1 โหนดนั่นคือ โหนดที่ 13 ทำให้วงแหวนหลายวงที่เลือกใช้ในกรณีนี้สามารถเลือกชุดที่เล็กกว่าทราฟฟิกทดสอบที่มีจำนวนสมาชิกในแต่ละเซสชันเท่ากับ 4 ได้

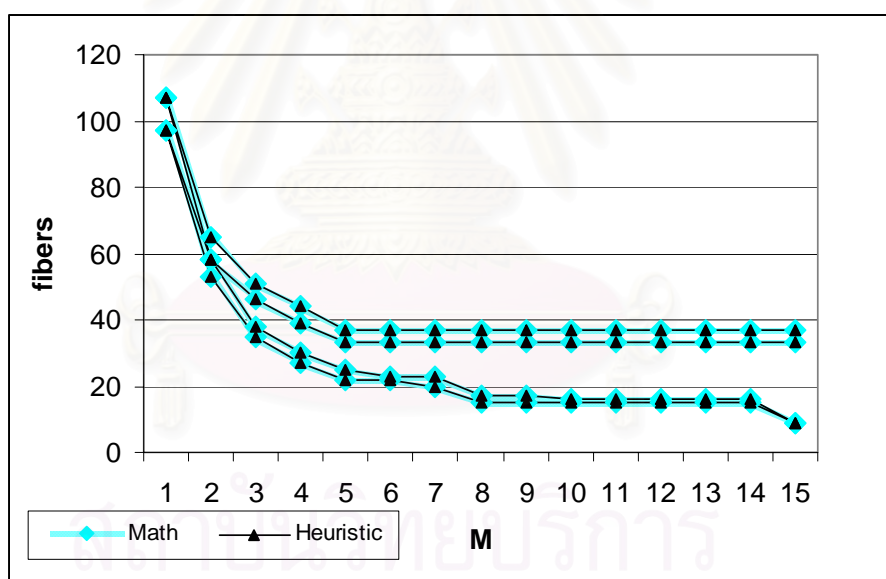
## 5.2 ผลเฉลยและการเปรียบเทียบผลเฉลยของฮิวริสติกอัลกอริทึมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกอัลกอริทึมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยจะวาดกราฟเทียบให้ดูในทุกกรณี

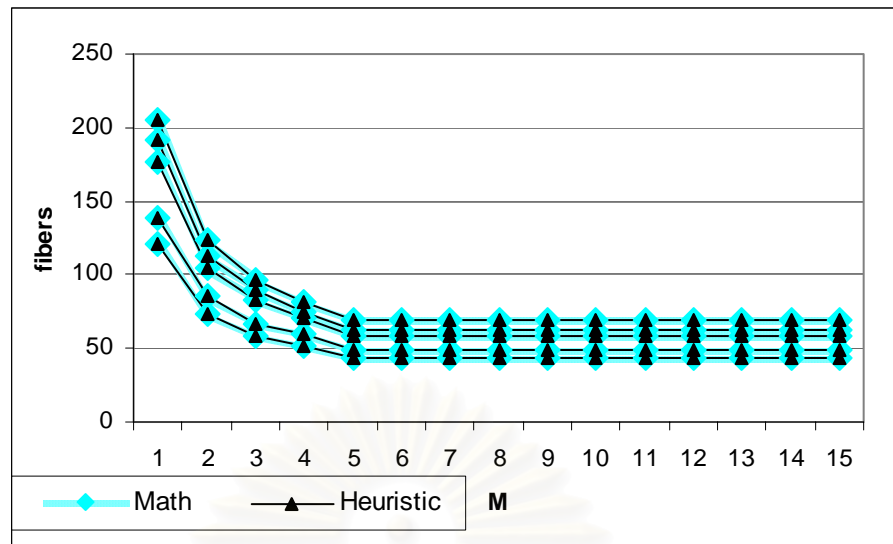
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



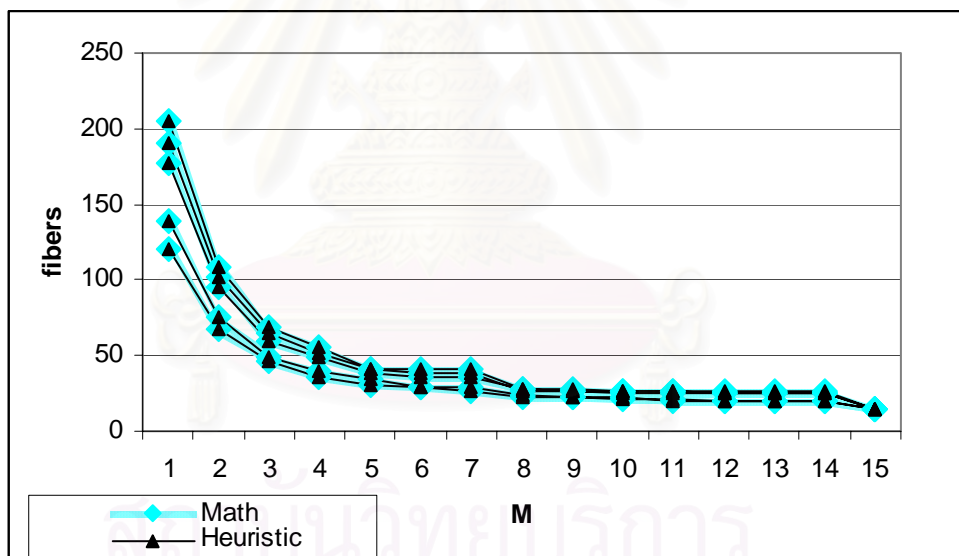
รูปที่ 5.2 : จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงโครงข่าย 8N\_13L กรณี SLR



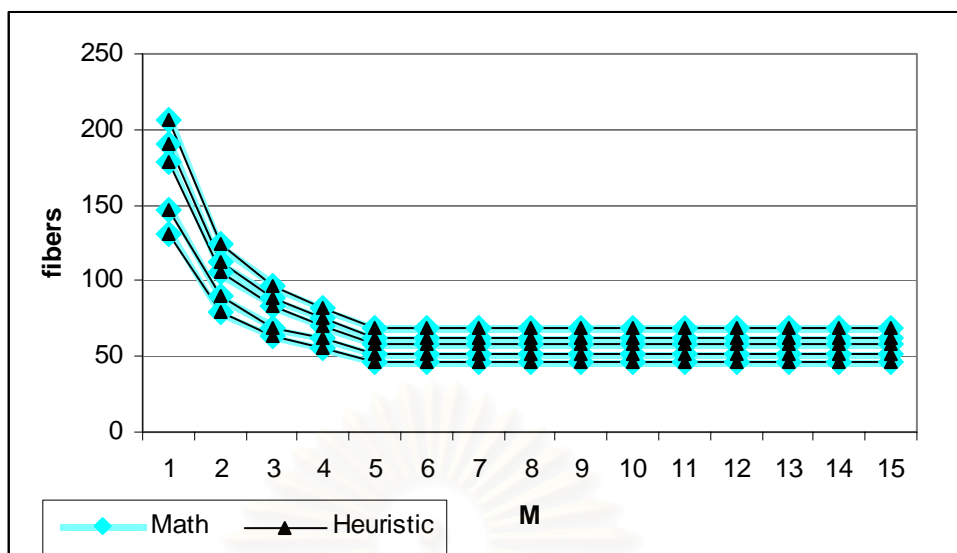
รูปที่ 5.3 : จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงโครงข่าย 8N\_13L กรณี MLR



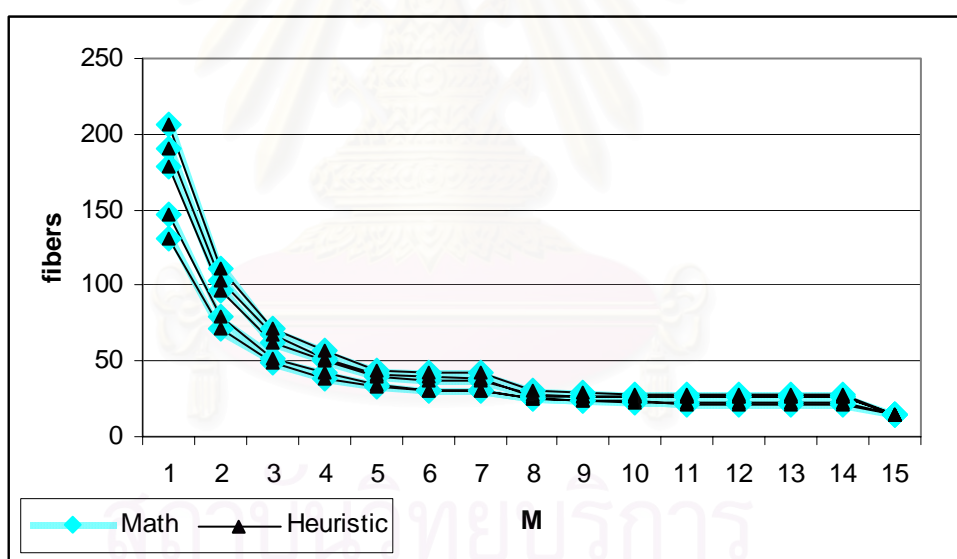
รูปที่ 5.4 : จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงโครงข่าย NFSNet กรณี SLR ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง



รูปที่ 5.5 : จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงโครงข่าย NFSNet กรณี SLR ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน



รูปที่ 5.6 : จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงโครงข่าย NFSNet กรณี MLR ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง



รูปที่ 5.7 : จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงโครงข่าย NFSNet กรณี MLR ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน

ในหัวข้อนี้จะไม่มีการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกอัลกอริทึม เพราะว่าที่ทุก ๆ กรณีทั้ง SLR และ MLR ทุกระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง ทุกค่าของ  $M$  ฮิวริสติกอัลกอริทึมให้ผลเฉลยที่เท่ากับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทุกประการ เพราะฉะนั้นทำให้สมมุติฐานการจองช่องสัญญาณที่



นำเสนอไว้ในบทที่ 4 เป็นจริง โดยเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยของฮิวริสติกอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอไว้มีค่าไม่เกิน 30 sec ในทุกโครงข่ายที่ทำการทดสอบ

### 5.3 การวิเคราะห์ผลเฉลยในแง่ของต้นทุนโครงข่าย และประสิทธิภาพในการใช้เส้นใยแก้วนำแสง

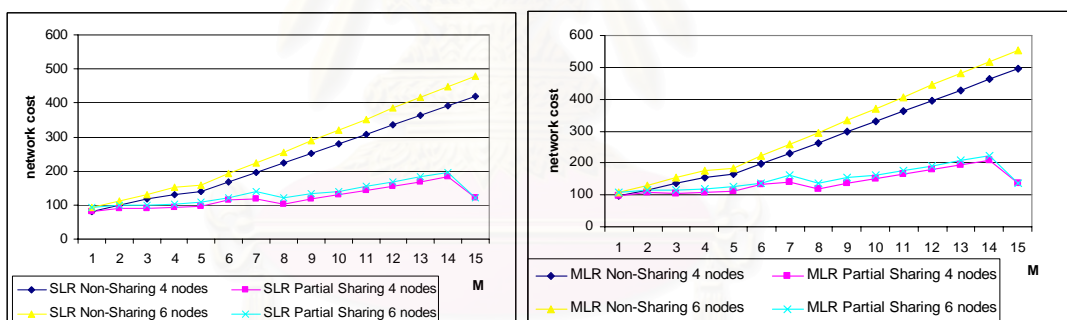
วิทยานิพนธ์นี้จะนิยามต้นทุนโครงข่าย (network cost) คือ ผลคูณของจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมดที่โครงข่ายต้องการกับจำนวนความยาวคลื่นสูงสุดที่สามารถมัลติเพลกซ์ได้ในเส้นใยแก้วนำแสง ( $M$ )

$$\text{Network cost} = \text{Total number of fiber requirement} \times M$$

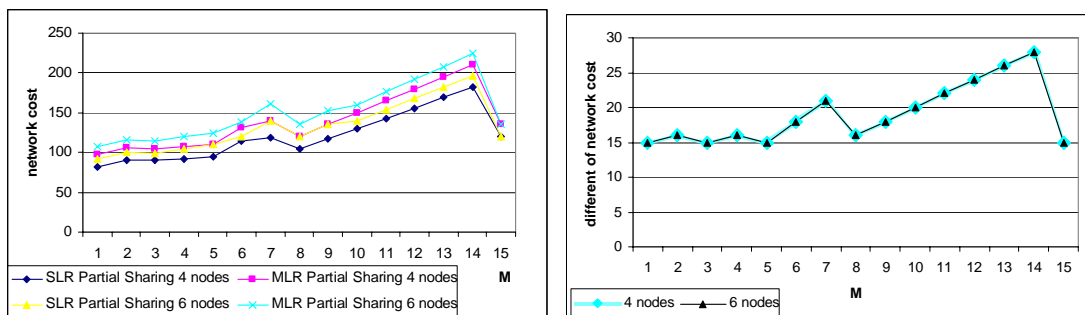
ส่วนประสิทธิภาพในการใช้เส้นใยแก้วนำแสงนั้นจะวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยให้ที่  $M = 1$  มีค่า 100%

$$\text{Utilization } (M) = \text{Network cost } (1) / \text{Network cost } (M)$$

#### 5.3.1 การวิเคราะห์ต้นทุนโครงข่าย



รูปที่ 5.8 : ต้นทุนโครงข่าย 8N\_13L กรณี SLR และ MLR

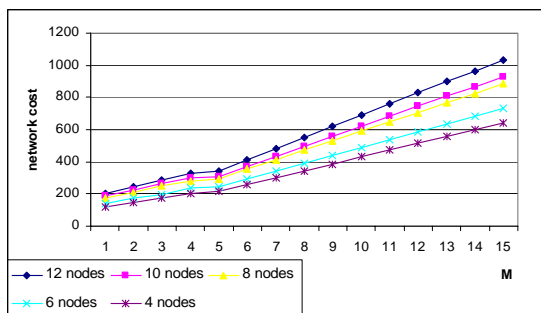


(ก)

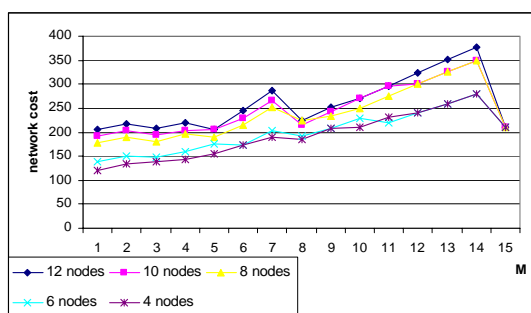
(ข)

รูปที่ 5.9 : ต้นทุนโครงข่าย 8N\_13L (ก) เปรียบเทียบระหว่างกรณี SLR และ MLR (ข) ผลต่างของต้นทุนโครงข่ายกรณี SLR และ MLR ที่ทราฟฟิก 4 โหนด และ 6 โหนด

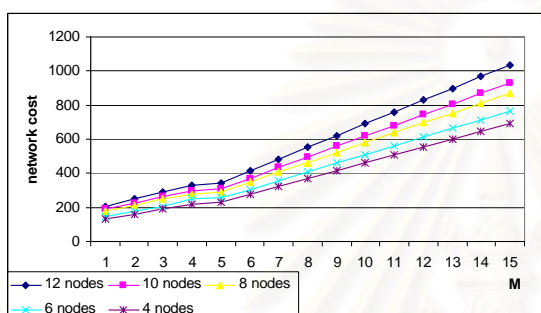
เมื่อเราพิจารณาต้นทุนโครงข่าย 8N\_13L จากรูปที่ 5.8 (ก) และ (ข) พบว่าต้นทุนโครงข่ายของระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงมีการเพิ่มขึ้นเพียงอย่างเดียว โดยจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ไม่สูงมากในช่วงที่  $M = 1$  ถึง 5 และที่ตั้งแต่  $M = 5$  เป็นต้นไปจะมีการอัตราการเพิ่มเป็นเชิงเส้น เนื่องจากทราฟฟิกทดสอบนั้นเซสชันที่มีขนาดใหญ่ที่สุดมีค่าเท่ากับ 5 ทำให้การเพิ่มค่า  $M$  ขึ้นไปอีกก็จะไม่ช่วยให้จำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต้องการลดลง ทำให้ต้นทุนโครงข่ายที่มาจากการคูณจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงด้วยค่า  $M$  มีการอัตราการเพิ่มเป็นเชิงเส้น ส่วนต้นทุนโครงข่ายของระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วนมีแนวโน้มไม่เหมือนกับระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง โดยที่ต้นทุนโครงข่ายมีการตกลงเป็นระยะที่  $M = 3, 5, 8$  และ 15 เนื่องจากที่ค่า  $M$  เหล่านี้มีการใช้ช่องสัญญาณในโครงข่ายเต็มหรือเกือบเต็ม 100% ทำให้เมื่อมีการเทียบค่ากับค่า  $M$  ก่อนหน้าต้นทุนโครงข่ายมีการลดลง และเมื่อพิจารณาที่ค่า  $M = 15$  ต้นทุนโครงข่ายของกรณีสมาชิกของแต่ละเซสชันมี 4 โหนด และ 6 โหนดมีค่าเท่ากัน และเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนโครงข่ายระหว่าง ทราฟฟิก 4 โหนด และ 6 โหนดดังผลในรูปที่ 5.9 (ก) พบว่า MLR จะมีต้นทุนสูงกว่า SLR ในทุกค่า และผลต่างของต้นทุนจะมีแนวโน้มเดียวกับต้นทุนโครงข่าย และผลต่างระหว่างกรณี SLR และ MLR ทั้งกรณีแต่ละเซสชันสมาชิก 4 โหนด และ 6 โหนดมีค่าเท่ากันในทุกค่า  $M$  ดังตารางที่ 5.9 (ข)



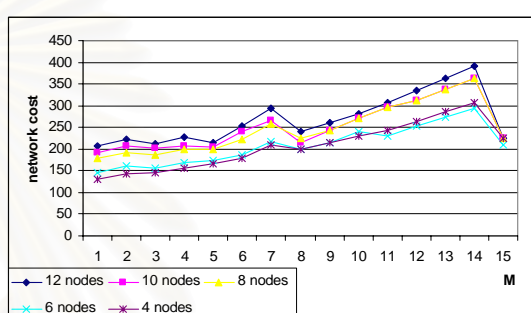
(ก)



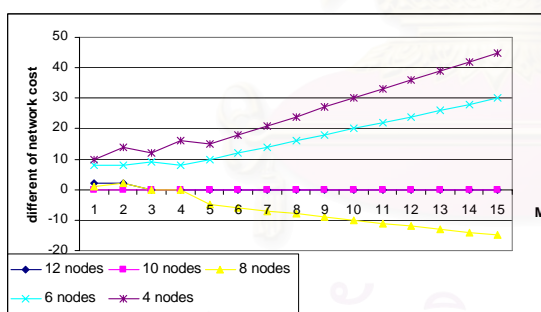
(ข)



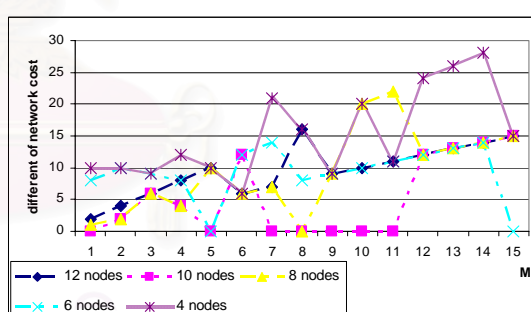
(ค)



(ง)



(จ)

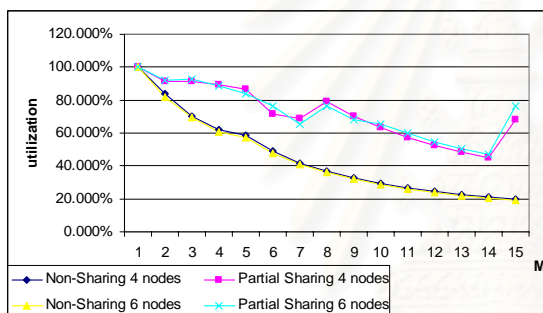


(ฉ)

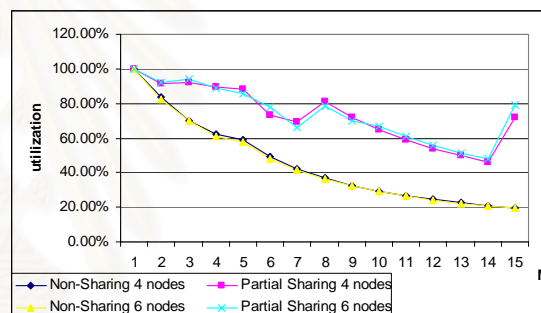
รูปที่ 5.10 : ต้นทุนโครงข่าย NFSNet (ก) กรณี SLR ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง (ข) กรณี SLR ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน (ค) กรณี MLR ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง (ง) กรณี MLR ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน (จ) ผลต่างของต้นทุนโครงข่ายกรณี SLR และ MLR ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง (ฉ) ผลต่างของต้นทุนโครงข่ายกรณี SLR และ MLR ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน

เมื่อเราพิจารณาต้นทุนโครงข่าย NFSNet จากรูปที่ 5.10 (ก) (ข) (ค) และ (ง) พบว่าต้นทุนโครงข่ายของระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงมีการเพิ่มขึ้นเพียงอย่างเดียวเหมือนที่วิเคราะห์ไปแล้วในกรณีโครงข่าย 8N\_13L ส่วนต้นทุนโครงข่ายของระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วนมีแนวโน้มเหมือนกับที่วิเคราะห์ไปแล้วเช่นกัน แต่จะเห็นลักษณะความแตกต่างได้ดียิ่งขึ้น เพราะโครงข่ายมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยที่ต้นทุนโครงข่ายมีการตกลงเป็นระยะที่  $M = 3, 5, 8$  และ  $15$  อย่างชัดเจน ส่วนรูปที่ 5.10 (จ) และ (ฉ) พบว่ามีความแตกต่างจากกรณีโครงข่าย 8N\_13L อย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าที่โครงข่ายขนาดใหญ่ขึ้น MLR สามารถมีต้นทุนโครงข่ายได้ใกล้เคียงกับ SLR มากขึ้นเรื่อย ๆ หรือบางครั้งอาจทำได้ดีกว่า เช่นในกรณีระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงที่แต่ละกราฟฟิคทดสอบมี 8 โหนด

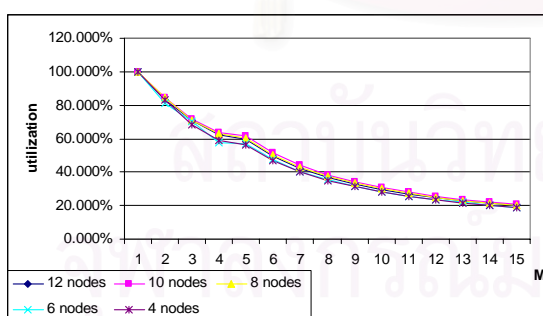
### 5.3.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้เส้นใยแก้วนำแสง



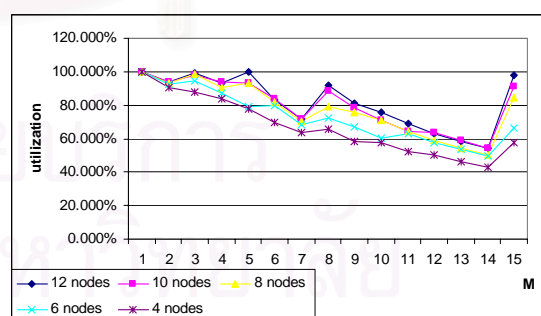
(ก)



(ข)

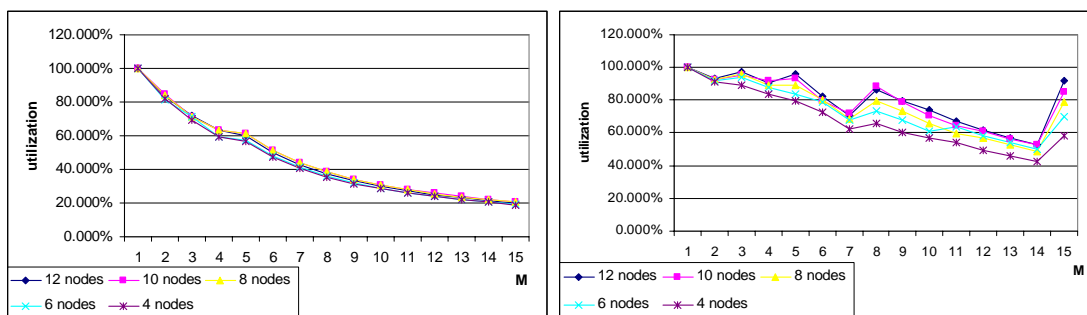


(ค)



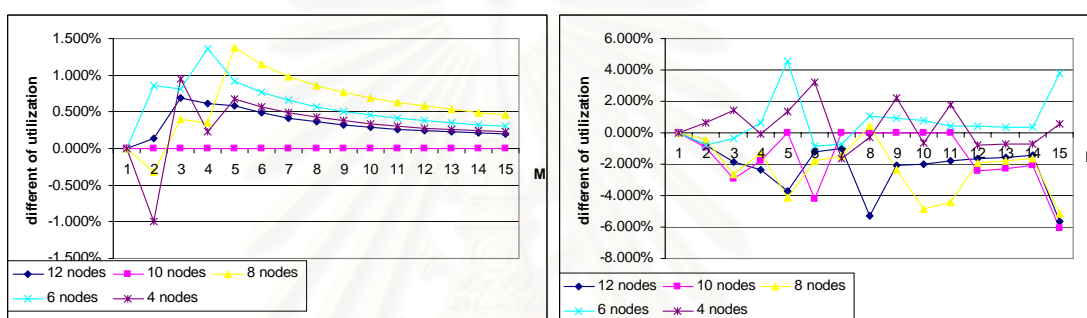
(ง)

รูปที่ 5.11 : ประสิทธิภาพการใช้งานโครงข่าย (ก) โครงข่าย 8N\_13L กรณี SLR (ข) โครงข่าย 8N\_13L กรณี MLR (ค) โครงข่าย NFSNet กรณี SLR ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง (ง) โครงข่าย NFSNet กรณี SLR ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน



(จ)

(ข)



(ค)

(ด)

รูปที่ 5.11 : ประสิทธิภาพการใช้งานโครงข่าย (จ) โครงข่าย NFSNet กรณี MLR ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง (ข) โครงข่าย NFSNet กรณี MLR ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน (ค) ผลต่างของต้นทุนโครงข่ายกรณี SLR และ MLR ระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงของโครงข่าย NFSNet (ด) ผลต่างของต้นทุนโครงข่ายกรณี SLR และ MLR ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน โครงข่าย NFSNet (ต่อ)

เมื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงของโครงข่าย 8N\_13L จากรูปที่ 5.11 (ก) และ (ข) พบว่าที่ระดับการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงระดับเดียวกัน ประสิทธิภาพที่ได้จากกราฟที่ทดสอบที่มีจำนวนสมาชิกในแต่ละเซสชันเป็น 4 และ 6 แทบจะไม่มีแตกต่างกัน และกรณี SLR และ MLR ก็ให้ผลที่เหมือนกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างกันเล็กน้อย และแนวโน้มของประสิทธิภาพเมื่อ  $M$  เพิ่มขึ้นจะเป็นสัดส่วนผกผันกับต้นทุนโครงข่าย

เมื่อเราดูประสิทธิภาพการใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงของโครงข่าย NFSNet จากรูปที่ 5.11 (ค) (ง) (จ) (ข) และ (ด) จะพบว่าเมื่อโครงข่ายมีขนาดใหญ่ขึ้น ประสิทธิภาพในการใช้เส้นใยแก้วนำแสงของระดับที่ไม่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงไม่มีการเปลี่ยนแปลง คือเมื่อ  $M$

เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพลดลงจาก 100% ลงเป็น 20% เหมือนกัน แต่กรณีระดับที่มีการแบ่งปันการใช้  
เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน พบว่าที่กราฟฟิกของแต่ละเซสชันมีจำนวนสมาชิกมากขึ้นประสิทธิภาพ  
การใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงจะสูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกรณี SLR และ MLR พบว่าการที่สมาชิก  
ในแต่ละเซสชันมีมากทำให้ประสิทธิภาพในการใช้เส้นใยแก้วนำแสงโดยรวมของกรณี MLR จะมี  
ค่าสูงกว่ากรณี SLR



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 6

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์นี้ ศึกษาวิธีการออกแบบโครงข่ายของโครงข่ายแบบมัลติคาสต์ที่สามารถแก้ไขปัญหาคือได้เมื่อมีหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหาย โดยอาศัยลักษณะการออกแบบโครงข่ายมัลติคาสต์เป็นแบบวงแหวน โดยจะมีการนำเสนอเป็นสองลักษณะ คือ วงแหวนเดี่ยว (SLR) และวงแหวนหลายวง (MLR) โดยแบ่งปันลักษณะการใช้งานวงแหวนออกเป็น 3 ลักษณะคือ ระดับที่ไม่มีมีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน และระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงอย่างสมบูรณ์โดยวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์คือ พิจารณาหาต้นทุนที่ต้องจัดสรรให้กับโครงข่ายตามแต่ละวิธีการออกแบบเครือข่ายใหม่ รวมทั้งทำการเปรียบเทียบแต่ละวิธีการออกแบบโครงข่ายในด้านของต้นทุนที่ต้องใช้

นอกจากวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้หาต้นทุนโครงข่ายของวิธีการออกแบบโครงข่ายแบบ SLR และ MLR ที่มีระดับการแบ่งปันการใช้งานระดับที่ไม่มีมีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสง ระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วน และระดับที่มีการแบ่งปันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงอย่างสมบูรณ์ โดยมีวิเคราะห์ความซับซ้อนในการหาผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในทุก ๆ กรณีด้วย พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณี MLR จะมีความซับซ้อนมากกว่า กรณี SLR มาก โดยเฉพาะในกรณีที่โครงข่ายมีขนาดใหญ่ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณี MLR นั้น อาจใช้เวลาในการคำนวณมากกว่า 12 ชั่วโมง ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงเหมาะกับโครงข่ายขนาดเล็กเท่านั้น

แม้ว่าข้อดีของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้หาต้นทุนโครงข่ายคือต้นทุนที่หาได้จะเป็นต้นทุนที่ต่ำที่สุด แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้หาต้นทุนโครงข่ายยังมีข้อเสียคือใช้เวลาในการคำนวณหาผลเฉลยค่อนข้างนานวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอฮิวริสติกอัลกอริทึมเพื่อใช้ในการหาผลเฉลยแทนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยอัลกอริทึมที่นำเสนอพัฒนาขึ้นมาจากการวิเคราะห์การจองช่องสัญญาณใช้งานจริงของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำให้อัลกอริทึมที่ได้มีความสามารถในการหาต้นทุนที่ต่ำที่สุดได้เช่นเดียวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และยังลดความซับซ้อนในการคำนวณที่ไม่จำเป็นออกไปทำให้สามารถทำงานได้เร็วขึ้นมาก และจากการที่ฮิวริสติก อัลกอริทึมทำงานได้ดีจึงได้ตัดวัตถุประสงค์ในการหาค่าขอบเขตล่างของต้นทุนโครงข่ายออกไป



จากการศึกษาอิทธิพลของจำนวนความยาวคลื่นสูงสุดที่สามารถผลิตเพลกซ์ได้ในเส้นใยแก้วนำแสง ( $M$ ) ที่มีต่อต้นทุนโครงข่าย สามารถสรุปผลการศึกษได้ว่าที่ระดับที่ไม่มีการแข่งขันเส้นใยแก้วนำแสงต้นทุนโครงข่ายจะเพิ่มขึ้นตามค่า  $M$  ที่สูงขึ้น แต่ในทางกลับกันจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมดที่โครงข่ายต้องการกลับลดลงเมื่อ  $M$  มีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อ  $M$  มีค่าสูงขึ้นโครงข่ายจะมีช่องสัญญาณที่ไว้สำหรับรองรับทราฟฟิกเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงที่โครงข่ายต้องการจึงสามารถลดลงได้ แต่อย่างไรก็ตามการที่ค่า  $M$  ของเส้นใยแก้วนำแสงมีค่าสูงขึ้นนั้นจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้เส้นใยแก้วนำแสง (utilization) ของโครงข่ายลดลงตามค่า  $M$  ที่สูงขึ้นด้วย ส่วนระดับที่มีการแข่งขันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วนนั้นทำให้แต่ละเซสชันของทราฟฟิกทดสอบสามารถใช้เส้นใยแก้วนำแสงร่วมกันได้ทำให้ต้นทุนโครงข่ายมีการขึ้นลงเมื่อค่า  $M$  เพิ่มขึ้นทำให้สามารถเลือกจุดใช้งานจริงได้ตามค่าต้นทุนและประสิทธิภาพที่ต้องการ ส่วนระดับที่มีการแข่งขันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงสมบูรณ์วิเคราะห์แล้วว่าให้ผลที่ได้ไม่ต่างจากระดับที่มีการแข่งขันการใช้เส้นใยแก้วนำแสงบางส่วนจึงไม่เหมาะจะนำมาพิจารณาในการออกแบบจริง

เมื่อพิจารณาถึงวิธีที่ได้นำเสนอทั้ง 2 วิธีแล้วที่โครงข่ายขนาดใหญ่ และมีจำนวนสมาชิกในแต่ละเซสชันมาก ๆ การใช้การออกแบบลักษณะ MLR จะให้ต้นทุนโครงข่ายที่ใกล้เคียงกับ SLR แต่ประสิทธิภาพในการใช้เส้นใยแก้วนำแสงดีกว่าเล็กน้อยรวมทั้งมีการปกป้องโครงข่ายที่สูงกว่า

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยขั้นต่อไปที่น่าสนใจ คือ

1. การนำเอาหลักการของวิธี SLR และ MLR มาประยุกต์ใช้ด้วยกันในโครงข่ายเดียว โดยอาจเลือกใช้ MLR ในเซสชันที่ทั้ง 2 วิธีใช้เส้นใยแก้วนำแสงเท่ากันเพื่อให้มีการปกป้องโครงข่ายที่สูงขึ้น หรืออาจกำหนดความสำคัญของแต่ละเซสชันและใช้ MLR กับเซสชันที่มีความสำคัญสูงกว่า
2. นำ lighttree เข้ามาผสมกับ Light-Ring เพื่อความยืดหยุ่นในการจัดสรรโครงข่าย และอาจจำแนกทราฟฟิกออกเป็นหลายประเภท เช่น ทราฟฟิกที่ไม่ต้องการการปกป้องจากโครงข่ายและทราฟฟิกที่ต้องการการปกป้องจากโครงข่ายมากขึ้นเป็นลำดับ โดยอาจใช้ lighttree กับทราฟฟิกที่ไม่ต้องการการปกป้อง และใช้ Light-Ring ระดับต่าง ๆ กับโครงข่ายที่ต้องการการปกป้องจากโครงข่ายมากน้อยต่างกัน
3. นำฮิวริสติกอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้ไปปรับใช้กับโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อหาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลกระทบในการออกแบบโครงข่าย เช่น ความหนาแน่นของโครงข่าย ขนาดของเซสชันของมัลติคลาสต์ทราฟฟิก เพื่อเลือกวิธีการออกแบบให้เหมาะกับโครงข่ายมากที่สุด

## รายการอ้างอิง

- 1 Wagner, R. E., et al. MONET: Multi-Wavelength Optical Networking. IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology 14 (June 1996): 1341-1348.
- 2 Kaminow, I. P., et al. A Wideband All-Optical WDM Network. IEEE Journal on Selected Areas in Communications 14 (1996): 780-799.
- 3 Garrett, L. D., et al. The MONET New Jersey Network Demonstration. IEEE Journal on Selected Areas in Communications 16 (Sept 1998): 1199-1219.
- 4 Eilam, T. ; Moran, S. ;and Zakes, S. Lightpath Arrangement in Survivable Rings to Minimize the Switching Cost. IEEE Journal on Selected Areas in Communication 20 (Jan 2002): 172-182.
- 5 Ramaswami, R. ;and Segall, A. Distributed Network Control for Wavelength Routed Optical Networks. Proc. INFOCOM '96 1 (Mar 1996): 138-147.
- 6 Chalamtac, I. ;Farago, A. ;and Zhang, T. Efficient Routing of Lightpaths. Proc. IEEE MILCOM '96 1 (Oct 1996): 108-117.
- 7 Ali, M. ;and Deogun, J.S. Cost-Effective Implementation of Multicasting in Wavelength-Routed Networks. IEEE Journal of Lightwave Technology 18 (Dec 2000): 1628-1638.
- 8 Rouskas, G. N. Optical Layer Multicast: Rationale, Building Blocks, and Challenges,. IEEE Network. 17(Feb 2003): 60-65.
- 9 Xin, Y. ; Rouskas, G. N. ;and Perros, H. G. Light-Tree Routing Under Optical Layer Power Budget Constraints. Infocom submission. (2003): 1-11.

- 10 รัชพร เอี่ยมวสันต์ การออกแบบโครงข่าย WDM บนพื้นฐานของโครงข่ายแบบวงแหวนหลายวงโดยใช้วิธีสติกอัลกอริทึม วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2543).
- 11 ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม CPLEX สามารถหาได้จาก [WWW.CPLEX.COM](http://WWW.CPLEX.COM)



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอนุชิต จตุรงค์ปัญญา เกิดวันที่ 29 ธันวาคม พ.ศ. 2521 ที่เขตบางรัก กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2543 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2544



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย