



## ผลเฉลยและการวิเคราะห์ผลเฉลย

เนื้อหาในส่วนนี้ จะกล่าวถึงผลเฉลยและการวิเคราะห์ผลเฉลยที่ได้จากอัลกอริทึมฮิวริสติกที่ได้ออกแบบไว้ในเนื้อหาบทที่ 3 รวมทั้งเปรียบเทียบผลเฉลยดังกล่าวกับผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำเสนอไว้ใน [16] ในแง่ของต้นทุนของโครงข่ายและเวลาในการหาผลเฉลย

### 5.1 ผลเฉลยและการวิเคราะห์ผลเฉลยจากอัลกอริทึมฮิวริสติกที่อยู่บนพื้นฐานการค้นหาแบบทาบ

ในหัวข้อนี้ จะนำเสนอผลเฉลยที่ได้จากอัลกอริทึมฮิวริสติกที่อยู่บนพื้นฐานของการค้นหาแบบทาบ ทั้งในกรณีโครงข่ายสามารถและไม่สามารถทำการแก้ไขปัญหาเมื่อหนึ่งข่ายเชื่อมโยงเสียหายได้ ซึ่งโครงข่ายที่นำไปใช้ในการหาผลเฉลยนั้น เป็นโครงข่ายตามที่แสดงในรูป 4.1 (ก) (ข) และ (ค) และรองรับปริมาณทราฟฟิก ดังแสดงในรูป 4.2 ตามลำดับ

อนึ่ง การหาผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป CPLEX6.6 [30] ซึ่งทำงานอยู่บนระบบ ปฏิบัติการวินโดวส์ XP) และอัลกอริทึมฮิวริสติกที่ออกแบบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ดังตารางที่ 5 จะใช้คอมพิวเตอร์เครื่อง Pentium 4 ความเร็ว 2.8 GHz หน่วยความจำ 512 MB

สำหรับผลเฉลยที่ได้จากอัลกอริทึมฮิวริสติกที่อยู่บนพื้นฐานของการค้นหาแบบทาบ ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 5.1-5.5 และรูปที่ 5.1-5.3 จะถูกนำมาวิเคราะห์ โดยแบ่งพิจารณาตามหัวข้อดังต่อไปนี้

- การเปรียบเทียบจำนวนเส้นใยนำแสงสำรองที่ใช้การปกป้องโครงข่าย
- การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาที่ได้จากอัลกอริทึมฮิวริสติกที่ได้จากการออกแบบกับแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้ ILP เป็นเครื่องมือในการหาคำตอบ
- การเปรียบเทียบในเชิงจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดที่โครงข่ายต้องการ

## 5.2 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบจำนวนเส้นใยนำแสงสำรองและเวลาที่ใช้ในการปกป้องโครงข่าย

เมื่อพิจารณา ตารางที่ 5.1- 5.4 พบว่าที่ค่า  $M \geq 32$  ของโครงข่าย 8N\_14L และที่ทุกค่า  $M$  ของโครงข่าย 10N\_21L และโครงข่าย 14N\_21L ของทุกกลยุทธ์การปกป้องโครงข่าย ไม่สามารถหาจำนวนเส้นใยนำแสงสำรองได้ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพราะเนื่องจากที่  $M$  สูงๆ หรือโครงข่ายขนาดใหญ่หลายๆ ความซับซ้อนของแบบจำลองคณิตศาสตร์จะสูงขึ้นจนไม่สามารถหาจำนวนเส้นใยนำแสงสำรองได้ ในขณะที่อัลกอริทึมฮิวริสติกที่อยู่บนพื้นฐานการค้นหาแบบทาบตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 สามารถหาจำนวนเส้นใยนำแสงสำรองให้กับโครงข่ายเมื่อเกิดความเสียหายหนึ่งสายเชื่อมโยงได้ในทุกกลยุทธ์การปกป้องโครงข่าย

การเปรียบเทียบในตารางที่ 5.1 แสดงถึงจำนวนเส้นใยนำแสงสำรองที่ได้จากแบบจำลองคณิตศาสตร์และอัลกอริทึมฮิวริสติกที่ได้ออกแบบ เมื่อใช้กลยุทธ์การปกป้องโครงข่ายแบบ LR\_VLT ซึ่งในส่วนของอัลกอริทึมฮิวริสติกนั้นจะพิจารณาการหาเส้นใยนำแสงสำรองโดยเมื่อ tabu list เป็นแบบคงที่ และเป็นแบบพลวัต โดยใช้โครงสร้างผลเฉลยข้างเคียง 3 แบบ ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 เพื่อที่จะใช้ในการตัดสินใจเลือกรูปแบบโครงสร้างผลเฉลยข้างเคียงที่เหมาะสมสำหรับการจัดสรรความจุสำรองเมื่อเกิดความเสียหายขึ้นภายในโครงข่าย ซึ่งจากการพิจารณาจำนวนเส้นใยนำแสงสำรองที่โครงข่ายต้องการพบว่า ไม่ว่าโครงสร้างผลเฉลยข้างเคียงจะเป็นแบบ 1 Diff neighborhood  $n$  VerticalDiff neighborhood หรือ  $L$  HorizontalDiff neighborhood จำนวนเส้นใยนำแสงสำรองที่เมื่อใช้ tabu list เป็นแบบคงที่ จะให้จำนวนเส้นใยนำแสงสำรองที่มากกว่าหรือเท่ากับ เมื่อจำนวนเส้นใยนำแสงสำรองที่เมื่อใช้ tabu list เป็นแบบพลวัตในขณะที่เวลาในการใช้หาค่าคำตอบมีค่าไม่ต่างกันมาก

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนเส้นใยนำแสงสำรองที่โครงสร้างผลเฉลยต่างกัน พบว่า การนำโครงสร้างผลเฉลยข้างเคียงแบบ 1 Diff neighborhood มาใช้ในกระบวนการหาค่าตอบจะให้ค่าเส้นใยนำแสงสำรองน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับการใช้โครงสร้างผลเฉลยข้างเคียงในอีก 2 แบบที่เหลือ เพราะการเปลี่ยนแปลงดรรชนีการเข้ารหัสที่ต่างกันทีละตัว ทำให้โครงข่ายค่อยๆปรับเปลี่ยนคำตอบ ส่งผลให้การเลือกเส้นใยนำแสงสำรองใกล้เคียงกับจำนวนเส้นใยนำแสงสำรองต่ำสุดมีความเป็นไปได้มากขึ้น ขณะที่อัลกอริทึมฮิวริสติกใช้โครงสร้างผลเฉลยข้างเคียงแบบ  $n$  VerticalDiff neighborhood และ  $L$  HorizontalDiff neighborhood เส้นใยนำแสงสำรองกลับมีค่ามากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงจำนวนดรรชนีการเข้ารหัสที่ต่างกันมากเกินไป จนทำให้โอกาสในการเลือกเส้นใยนำแสงสำรองต่ำสุดมีมากตามไปด้วย ดังนั้นกลยุทธ์การปกป้องโครงข่าย

แบบอื่นในวิทยานิพนธ์นี้ จะใช้ tabu list แบบพลวัต และโครงสร้างผลเฉลยข้างเคียงแบบ 1 Diff neighborhood เป็นพารามิเตอร์สำหรับการจัดสรรความจุสำรองให้กับโครงข่ายในกลยุทธ์การปกป้องโครงข่าย

ตารางที่ 5.1 จำนวนเส้นใยนำแสงในสภาวะปกติและจำนวนเส้นใยนำแสงสำรอง ในกรณีที่มีการปกป้องโครงข่ายแบบ LR และมีการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ VLT โดยใช้ (ก) 1 Diff neighborhood (ข)  $n$  VerticalDiff neighborhood (ค)  $L$  HorizontalDiff neighborhood

Topology		M	NO	ILP		Heuristic Algorithm based on Tabu Search			
						Fixed tabu list size		Dynamic tabu list size	
N	L			spare fibers	time	spare fibers	time	spare fibers	time
8	14	1	46	19	1.70s	23	22.64s	20	43.14s
		2	23	10	3.14s	14	22.80s	11	1m 4.74s
		4	13	6	0.97s	8	22.55s	6	1m 1.76s
		8	7	3	3.33s	7	22.16s	6	1m 0.33s
		16	6	4	0.13s	7	21.45s	7	59.38s
		32	6	4	0.22s	6	21.59s	5	59.39s
		64	6	n/a	n/a	5	21.73s	4	59.11s
		128	6	n/a	n/a	5	21.54s	4	59.19s
10	21	1	51	n/a	n/a	15	1m 19.23s	12	1m 17.49s
		2	27	n/a	n/a	14	1m 15.45s	12	1m 15.72s
		4	15	n/a	n/a	14	1m 15.64s	10	1m 15.16s
		8	10	n/a	n/a	11	1m 12.59s	10	1m 13.73s
		16	9	n/a	n/a	12	1m 13.71s	11	1m 13.16s
		32	9	n/a	n/a	11	1m 13.62s	11	1m 13.83s
		64	9	n/a	n/a	11	1m 13.89s	11	1m 13.92s
		128	9	n/a	n/a	11	1m 14.03s	11	1m 13.74s
14	21	1	63	n/a	n/a	16	41.85s	15	41.92s
		2	33	n/a	n/a	9	41.85s	6	42.91s
		4	18	n/a	n/a	6	43.51s	5	42.69s
		8	11	n/a	n/a	8	38.53s	8	38.98s
		16	9	n/a	n/a	9	37.37s	8	39.97s
		32	9	n/a	n/a	9	39.40s	8	37.73s
		64	9	n/a	n/a	8	38.90s	8	38.06s
		128	9	n/a	n/a	8	39.03s	8	38.24s

(ก)

Topology		M	NO	ILP		Heuristic Algorithm based on Tabu Search			
						Fixed tabu list size		Dynamic tabu list size	
N	L			spare fibers	time	spare fibers	time	spare fibers	time
8	14	1	46	19	1.70s	24	30.56s	21	41.36s
		2	23	10	3.14s	12	31.37s	11	40.98s
		4	13	6	0.97s	8	31.39s	7	40.74s
		8	7	3	3.33s	8	26.15s	6	33.81s
		16	6	4	0.13s	8	29.61s	7	39.27s
		32	6	4	0.22s	7	29.78s	6	40.22s
		64	6	n/a	n/a	6	29.83s	6	39.50s
		128	6	n/a	n/a	6	29.80s	4	39.69s
10	21	1	51	n/a	n/a	15	1m 40.38s	13	1m 28.78s
		2	27	n/a	n/a	21	1m 36.81s	13	1m 26.93s
		4	15	n/a	n/a	14	1m 35.83s	10	1m 26.19s
		8	10	n/a	n/a	11	1m 33.95s	10	1m 18.30s
		16	9	n/a	n/a	12	1m 29.91s	11	1m 17.28s
		32	9	n/a	n/a	12	1m 34.99s	12	1m 24.33s
		64	9	n/a	n/a	14	1m 34.63s	12	1m 24.52s
		128	9	n/a	n/a	12	1m 35.19s	12	1m 23.78s
14	21	1	63	n/a	n/a	18	53.37s	18	48.14s
		2	33	n/a	n/a	9	54.34s	6	47.73s
		4	18	n/a	n/a	7	55.50s	6	49.84s
		8	11	n/a	n/a	11	49.09s	8	41.98s
		16	9	n/a	n/a	9	38.00s	9	44.56s
		32	9	n/a	n/a	10	32.83s	9	35.64s
		64	9	n/a	n/a	8	49.38s	8	45.77s
		128	9	n/a	n/a	8	49.98s	8	44.78s

Topology		M	NO	ILP		Heuristic Algorithm based on Tabu Search			
						Fixed tabu list size		Dynamic tabu list size	
N	L			spare fibers	time	spare fibers	time	spare fibers	time
8	14	1	46	19	1.70s	31	1m 4.18s	28	1m 4.77s
		2	23	10	3.14s	11	1m 2.88s	12	1m 3.50s
		4	13	6	0.97s	10	1m 5.16s	6	1m 6.00s
		8	7	3	3.33s	7	1m 4.47s	7	1m 4.82s
		16	6	4	0.13s	8	1m 4.03s	7	1m 4.81s
		32	6	4	0.22s	7	1m 4.98s	5	1m 4.62s
		64	6	n/a	n/a	7	1m 4.09s	5	1m 4.66s
		128	6	n/a	n/a	6	1m 4.00s	5	1m 4.45s
10	21	1	51	n/a	n/a	16	4m 3.03s	16	5m 28.28s
		2	27	n/a	n/a	16	4m 1.47s	13	4m 59.25s
		4	15	n/a	n/a	10	3m 59.89s	10	4m 5.68s
		8	10	n/a	n/a	11	4m 0.86s	10	4m 2.14s
		16	9	n/a	n/a	12	43m 54.17s	11	43m 31.07s
		32	9	n/a	n/a	12	4m 3.36s	12	4m 2.81s
		64	9	n/a	n/a	14	4m 1.48s	11	4m 2.59s
		128	9	n/a	n/a	12	4m 0.63s	12	4m 1.97s
14	21	1	63	n/a	n/a	18	2m 26.61s	19	2m 22.38s
		2	33	n/a	n/a	8	2m 24.56s	12	2m 24.08s
		4	18	n/a	n/a	7	2m 17.92s	7	2m 23.44s
		8	11	n/a	n/a	11	2m 23.86s	8	2m 23.28s
		16	9	n/a	n/a	10	2m 20.91s	9	42m 16.34s
		32	9	n/a	n/a	9	2m 23.75s	10	2m 16.06s
		64	9	n/a	n/a	8	2m 21.31s	12	2m 20.81s
		128	9	n/a	n/a	8	2m 21.39s	8	2 m 20.66s

(A)

I 22963327

ตารางที่ 5.2 จำนวนเส้นใยนำแสงในสภาวะปกติและจำนวนเส้นใยนำแสงสำรอง ในกรณีที่มีการปกป้องโครงข่ายแบบ LIR และมีการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ VLT

Topology		M	NO	ILP		Heuristic Algorithm based on Tabu Search			
						Fixed tabu list size		Dynamic tabu list size	
N	L			spare fibers	time	spare fibers	time	spare fibers	time
8	14	1	46	23	0.03s	27	1m 22.06s	26	3m 16.53s
		2	23	16	0.15s	17	1m 19.24s	17	3m 34.78s
		4	13	11	6.08s	10	1m 19.88s	9	3m 36.72s
		8	7	6	0.28s	7	1m 21.31s	7	3m 40.14s
		16	6	n/a	n/a	7	1m 21.52s	7	3m 40.72s
		32	6	n/a	n/a	7	1m 21.38s	7	3m 57.61s
		64	6	n/a	n/a	6	1m 21.56s	6	3m 51.31s
		128	6	n/a	n/a	7	1m 21.88s	6	3m 41.59s
10	21	1	51	n/a	n/a	28	4m 56.53s	28	4m 49.05s
		2	27	n/a	n/a	24	4m 56.74s	23	4m 50.53s
		4	15	n/a	n/a	15	4m 56.84s	15	4m 51.06s
		8	10	n/a	n/a	11	4m 58.50s	11	4m 52.47s
		16	9	n/a	n/a	12	4m 58.36s	12	4m 53.00s
		32	9	n/a	n/a	12	4m 58.14s	11	4m 53.66s
		64	9	n/a	n/a	11	4m 58.77s	11	4m 57.20s
		128	9	n/a	n/a	11	4m 57.75s	11	4m 50.22s
14	21	1	63	n/a	n/a	27	3m 15.21s	25	6m 34.19s
		2	33	n/a	n/a	16	2m 40.12s	15	6m 59.49s
		4	18	n/a	n/a	11	3m 27.56s	11	7m 24.13s
		8	11	n/a	n/a	10	3m 10.32s	10	6m 52.34s
		16	9	n/a	n/a	12	3m 43.05s	11	7m 15.45s
		32	9	n/a	n/a	12	3m 42.82s	12	7m 9.92s
		64	9	n/a	n/a	11	2m 37.06s	11	7m 5.52s
		128	9	n/a	n/a	11	2m 15.11s	11	9m 17.56s

ตารางที่ 5.3 จำนวนเส้นใยนำแสงในสภาวะปกติและจำนวนเส้นใยนำแสงสำรอง ในกรณีที่มีการปกป้องโครงข่ายแบบ LR และมีการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ LT

Topology		M	NO	ILP		Heuristic Algorithm based on Tabu Search			
						Fixed tabu list size		Dynamic tabu list size	
N	L			spare fibers	time	spare fibers	time	spare fibers	time
8	14	1	46	21	0.72s	21	2m 39.08s	21	1m 31.16s
		2	23	9	10.88s	14	3m 54.91s	13	2m 6.67s
		4	8	5	11m 48.33s	10	4m 11.43s	10	2m 20.59s
		8	6	n/a	n/a	9	4m 52.97s	9	2m 39.31s
		16	6	n/a	n/a	9	5m 21.34s	9	2m 55.59s
		32	6	n/a	n/a	10	10m 11.30s	9	5m 27.05s
		64	6	n/a	n/a	8	14m 54.30s	8	7m 3.16s
		128	6	n/a	n/a	7	26m 48.25s	7	16m 51.72s
10	21	1	51	n/a	n/a	14	5m 25.12s	14	4m 3.47s
		2	27	n/a	n/a	12	8m 47.64s	12	5m 44.59s
		4	15	n/a	n/a	12	8m 16.72s	12	6m 2.03s
		8	10	n/a	n/a	12	8m 25.27s	11	6m 19.55s
		16	9	n/a	n/a	12	8m 18.49s	12	9m 3.16s
		32	10	n/a	n/a	13	19m 36.66s	13	13m 10.25s
		64	10	n/a	n/a	13	14m 6.85s	12	25m 10.39s
		128	10	n/a	n/a	12	1h 14m 26s	12	49m 44.92s
14	21	1	63	n/a	n/a	18	1m 46.23s	18	48.19S
		2	33	n/a	n/a	9	2m 08.65s	9	1m 47.97S
		4	19	n/a	n/a	12	2m 37.06s	12	2m 25.70s
		8	11	n/a	n/a	14	3m 42.25s	14	3m 45.14S
		16	9	n/a	n/a	14	4m 2.18s	14	4m 18.78s
		32	9	n/a	n/a	14	9m 4.58s	14	7m 8.94S
		64	9	n/a	n/a	14	18m 19.09s	14	13m 59.38s
		128	9	n/a	n/a	14	31m 37s	14	26m 49.77s



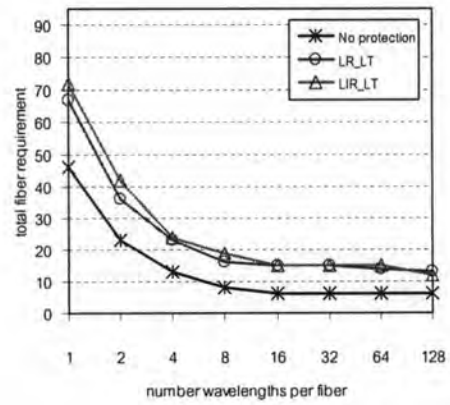
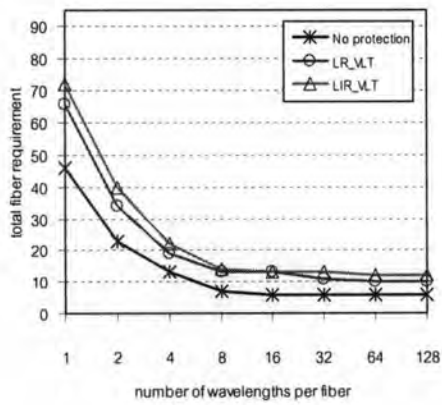
ตารางที่ 5.4 จำนวนเส้นใยนำแสงในสภาวะปกติและจำนวนเส้นใยนำแสงสำรอง ในกรณีที่มีการปกป้องโครงข่ายแบบ LIR และมีการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ LT

Topology		M	NO	ILP		Heuristic Algorithm based on Tabu Search			
						Fixed tabu list size		Dynamic tabu list size	
N	L			spare fibers	time	spare fibers	time	spare fibers	time
8	14	1	46	23	0.03s	26	18.44s	26	30.11s
		2	23	19	0.09s	21	29.19s	19	30.06s
		4	8	11	0.06s	11	35.02s	11	33.47s
		8	6	10	0.05s	11	40.33s	11	37.33s
		16	6	9	0.08s	9	50.95s	9	47.86s
		32	6	9	0.09s	9	1m 12.11s	9	1m 7.61s
		64	6	6	0.22s	8	1m 53.81s	9	1m 48.33s
		128	6	6	0.3s	9	3m 22.05s	6	3m 11.12s
10	21	1	51	n/a	n/a	34	32.17s	34	1m 9.86s
		2	27	n/a	n/a	24	1m 49.70s	24	1m 17.13s
		4	15	n/a	n/a	18	1m 54.42s	17	1m 25.48s
		8	10	n/a	n/a	14	1m 43.02s	13	1m 40.11s
		16	9	n/a	n/a	14	1m 24.44s	14	2m 11.03s
		32	10	n/a	n/a	14	2m 4.30s	14	3m 8.41s
		64	10	n/a	n/a	13	6m 45.41s	13	5m 6.58s
		128	10	n/a	n/a	13	10m 56.44s	13	7m 51.28s
14	21	1	63	n/a	n/a	33	33.94s	30	28.41s
		2	33	n/a	n/a	23	59.33s	22	53.34s
		4	19	n/a	n/a	19	1m 6.59s	18	1m 6.64s
		8	11	n/a	n/a	18	1m 8.05s	18	1m 18.78s
		16	9	n/a	n/a	14	1m 21.39s	14	1m 43.49s
		32	9	n/a	n/a	16	2m 0.31s	14	2m 33.49s
		64	9	n/a	n/a	16	3m 20.70s	14	5m 6.87s
		128	9	n/a	n/a	16	5m 58.78s	14	9m 3.15s

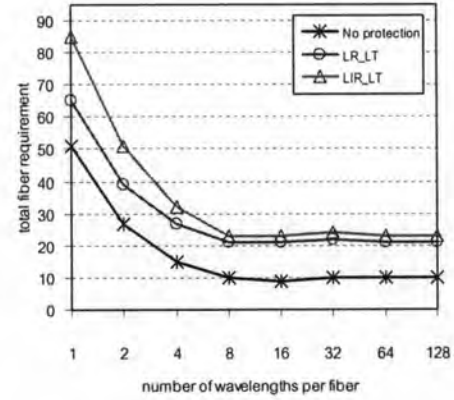
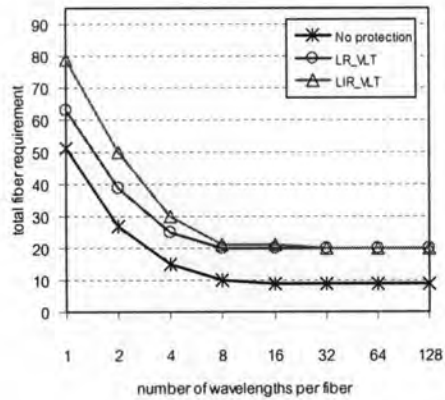


ตารางที่ 5.5 เวลาที่ใช้ในการหาจำนวนเส้นใยนำแสงสำรองในแต่ละกลยุทธ์ของการปกป้องโครงข่าย เมื่อมีจัดสรรความยาวคลื่นแบบ VLT และ LT เมื่อความยาวของ tabu list เป็นแบบพลวัต

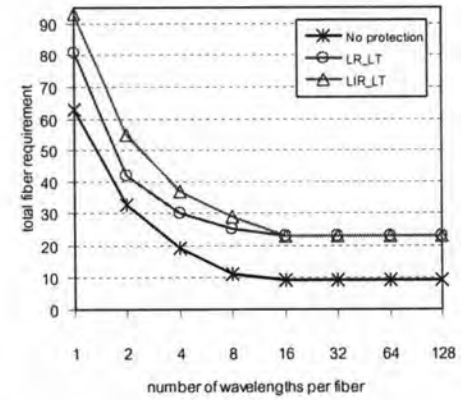
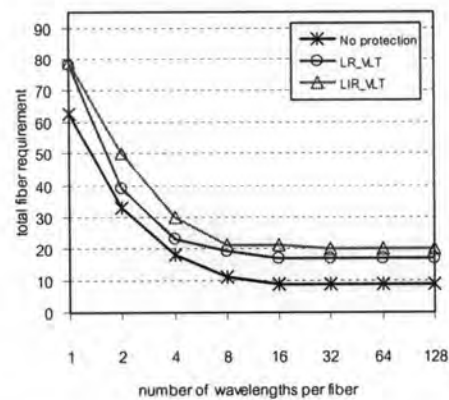
Topology		M	LR_VLT		LR_LT		LIR_VLT		LIR_LT	
N	L		ILP	TS	ILP	TS	ILP	TS	ILP	TS
8	14	1	1.70s	43.14s	0.72s	1m 31.16s	0.03s	3m 16.53s	0.03	30.11s
		2	3.14s	1m 4.74s	10.88s	2m 6.67s	0.15s	3m 34.78s	0.09	30.06s
		4	0.97s	1m 1.76s	11m 48.33s	2m 20.59s	6.08s	3m 36.72s	0.06	33.47s
		8	3.33s	1m 0.33s	n/a	2m 39.31s	0.28s	3m 40.14s	0.05	37.33s
		16	0.13s	59.38s	n/a	2m 55.59s	n/a	3m 40.72s	0.08	47.86s
		32	0.22s	59.39s	n/a	5m 27.05s	n/a	3m 57.61s	0.09	1m 7.61s
		64	n/a	59.11s	n/a	7m 3.16s	n/a	3m 51.31s	0.22	1m 48.33s
		128	n/a	59.19s	n/a	16m 51.72s	n/a	3m 41.59s	0.30	3m 11.12s
10	21	1	n/a	1m 17.49s	n/a	4m 3.47s	n/a	4m 49.05s	n/a	1m 9.86s
		2	n/a	1m 15.72s	n/a	5m 44.59s	n/a	4m 50.53s	n/a	1m 17.13s
		4	n/a	1m 15.16s	n/a	6m 2.03s	n/a	4m 51.06s	n/a	1m 25.48s
		8	n/a	1m 13.73s	n/a	6m 19.55s	n/a	4m 52.47s	n/a	1m 40.11s
		16	n/a	1m 13.16s	n/a	9m 3.16s	n/a	4m 53.00s	n/a	2m 11.03s
		32	n/a	1m 13.83s	n/a	13m 10.25s	n/a	4m 53.66s	n/a	3m 8.41s
		64	n/a	1m 13.92s	n/a	25m 10.39s	n/a	4m 57.20s	n/a	5m 6.58s
		128	n/a	1m 13.74s	n/a	49m 44.92s	n/a	4m 50.22s	n/a	7m 51.28s
14	21	1	n/a	41.92s	n/a	48.19s	n/a	6m 34.19s	n/a	28.41s
		2	n/a	42.91s	n/a	1m 47.97s	n/a	6m 59.49s	n/a	53.34s
		4	n/a	42.69s	n/a	2m 25.70s	n/a	7m 24.13s	n/a	1m 6.64s
		8	n/a	38.98s	n/a	3m 45.14s	n/a	6m 52.34s	n/a	1m 18.78s
		16	n/a	39.97s	n/a	4m 18.78s	n/a	7m 15.45s	n/a	1m 43.49s
		32	n/a	37.73s	n/a	7m 8.94s	n/a	7m 9.92s	n/a	2m 33.49s
		64	n/a	38.06s	n/a	13m 59.38s	n/a	7m 5.52s	n/a	5m 6.87s
		128	n/a	38.24s	n/a	26m 49.77s	n/a	9m 17.56s	n/a	9m 3.15s



(ก)



(ข)



(ค)

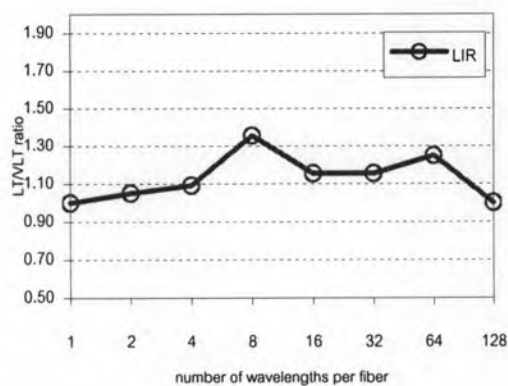
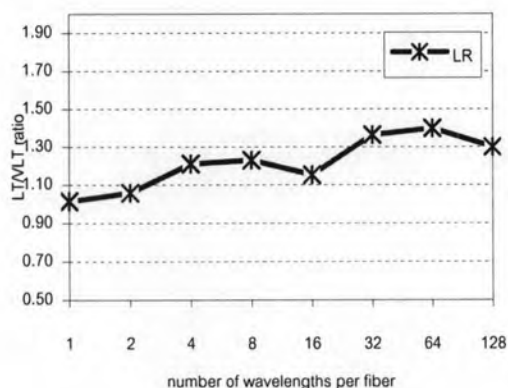
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดที่ (ก) โครงข่าย 8N\_14L (ข) โครงข่าย 10N\_21L และ (ค) โครงข่าย 14N\_21L ต้องการ ในแต่ละกลยุทธ์ของการปกป้องโครงข่าย เมื่อการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ VLT และ LT ตามลำดับ

### 5.3 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบจำนวนเส้นใยนำแสงโดยรวมที่แต่ละกลยุทธ์การปกป้องโครงข่ายต้องการ

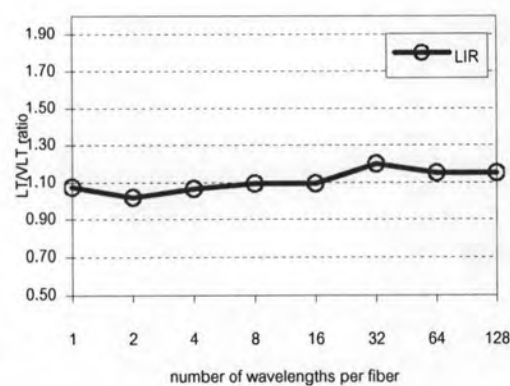
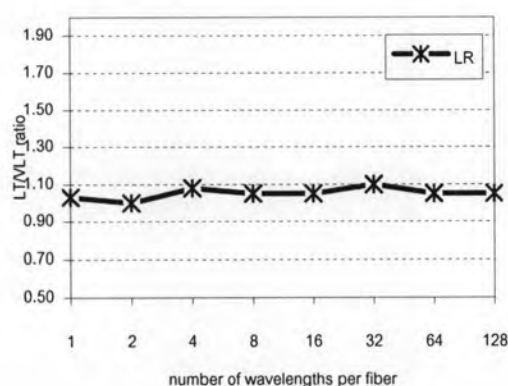
#### 5.3.1 ผลของกลยุทธ์การปกป้องโครงข่าย ที่มีต่อจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดที่โครงข่ายต้องการ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดที่แต่ละโครงข่ายต้องการระหว่างกลยุทธ์การปกป้องโครงข่ายแบบ LR และ LIR ได้ผลดังรูปที่ 5.1

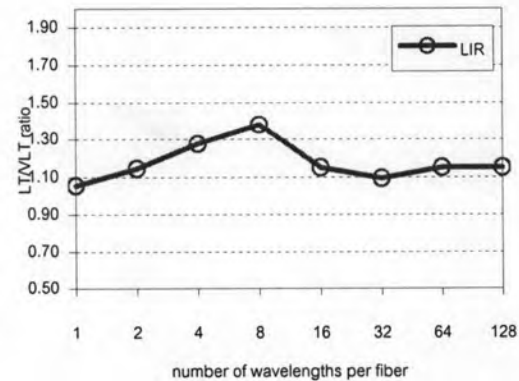
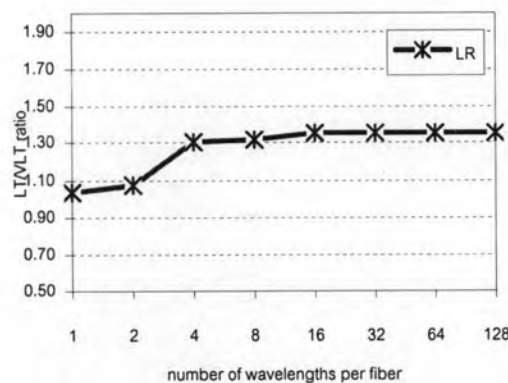
จากรูปที่ 5.1 เมื่อทำการพิจารณาจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดที่โครงข่าย 8N\_14L โครงข่าย 10N\_21L และโครงข่าย 14N\_21L ต้องการ โดยใช้กลยุทธ์การปกป้องโครงข่ายแบบ LR และ LIR พบว่า จำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดมีค่าลดลงเมื่อ  $M$  มีค่าสูงขึ้น โดยจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงที่ค่าความยาวคลื่นสูงสุดค่าน้อย ๆ ( $M = 4$ ) และจะค่อยลดลงทีละน้อยจนถึงช่วงที่  $M = 8$  และเริ่มมีค่าคงที่ตั้งแต่  $M = 8$  เป็นต้นไป สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากการที่ค่า  $M$  เพิ่มขึ้นนั้นจำนวนช่องสัญญาณในแต่ละเส้นใยนำแสงก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย การที่จำนวนช่องสัญญาณในเส้นใยนำแสงมีค่าเพิ่มมากขึ้นนี้ จะทำให้จำนวนของเส้นใยนำแสงที่ต้องทำการติดตั้งมีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อ  $M$  มีค่ามากขึ้นจนถึงระดับหนึ่งแล้วพบว่าจำนวนเส้นใยนำแสงจะไม่สามารถลดลงได้อีก นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาแต่ละกลยุทธ์การปกป้องโครงข่าย ในขณะที่มีการจัดสรรความยาวคลื่นเช่นเดียวกัน พบว่า จำนวนเส้นใยนำแสงโดยรวมเมื่อมีการปกป้องโครงข่ายโดยใช้กลยุทธ์การปกป้องแบบ LR จะมีค่าน้อยกว่าเมื่อใช้กลยุทธ์การปกป้องแบบ LIR เสมอ ทั้งนี้เนื่องการ เมื่อเกิดความเสียหายขึ้น ช่องสัญญาณทั้งหมดของต้นไม้เชิงแสงในสถานะปกติทั้งที่ได้รับและที่ไม่ได้รับผลกระทบ สามารถที่จะนำมาใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณใหม่ให้กับโครงข่ายได้ ในขณะที่กลยุทธ์ LIR นั้นช่องสัญญาณที่สามารถนำมาจัดสรรช่องสัญญาณให้ใหม่นั้น จะเป็นช่องสัญญาณในสถานะปกติในส่วนของต้นไม้เชิงแสงที่ได้รับผลกระทบเท่านั้น ดังนั้นหากการจัดสรรใหม่มีการใช้เส้นทางหรือช่องสัญญาณซ้ำกับต้นไม้เชิงแสงที่ไม่ได้รับผลกระทบ โครงข่ายจะต้องวางเส้นใยนำแสงเพิ่มเข้าไปในโครงข่าย ซึ่งมีผลทำให้การปกป้องแบบ LIR จะให้จำนวนเส้นใยนำแสงโดยรวมมากกว่าการปกป้องแบบ LR อย่างไรก็ตามแม้ว่าการปกป้องแบบ LR จะใช้เส้นใยนำแสงในการปกป้องโครงข่ายน้อยกว่า LIR อีกทั้งยังมีความยืดหยุ่นในการจัดการโครงข่ายมากกว่าแต่ กลยุทธ์การปกป้องแบบ LR กลับไม่ค่อยนิยมในทางปฏิบัติ เพราะเกิดความซับซ้อนในการจัดการภายในโครงข่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดการระบบสัญญาณ (signaling) เพื่อที่จะจัดสรรเส้นทางให้กับโครงข่ายใหม่ทั้งหมด [16]



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนจำนวนเส้นใยนำแสงของ (ก) โครงข่าย 8N\_14L (ข) โครงข่าย 10N\_21L และ (ค) โครงข่าย 14N\_21L ที่มีการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ LT ต่อจำนวนเส้นใยนำแสงของโครงข่ายที่มีการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ VLT (LT/VLT ratio) กับจำนวนความยาวคลื่นสูงสุดที่มัลติเพลกซ์ได้ในเส้นใยนำแสง ( $M$ ) ในแต่ละกลยุทธ์การปกป้องโครงข่าย ตามลำดับ

### 5.3.2 ผลของอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นที่มีต่อจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดที่ โครงข่ายต้องการ

ในหัวข้อนี้จะศึกษาผลของอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นที่มีต่อต้นทุนของโครงข่ายที่  
กรณีโครงข่ายสามารถแก้ไขปัญหาหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความขัดข้องได้ ด้วยกลยุทธ์การปกป้อง  
โครงข่ายแบบ LR และ LIR โดยจะใช้โครงข่าย 8N\_14L โครงข่าย 10N\_21L และ โครงข่าย  
14N\_21L ที่มีลักษณะการวางเส้นใยนำแสงสำรองแบบ SW + WW + SR

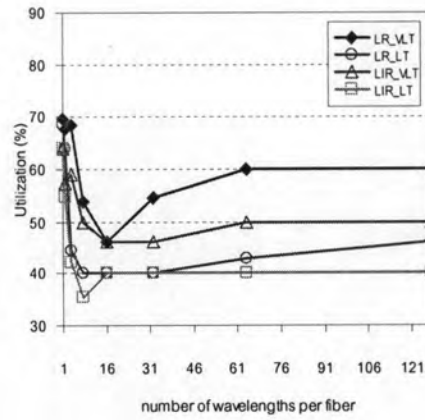
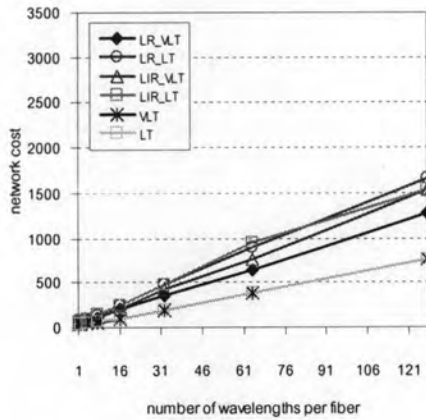
จากรูปที่ 5.2 พบว่าที่ทุกค่า  $M$  อัตราส่วนจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดของโครงข่ายที่มี  
การปกป้องแบบ LT ต่อโครงข่ายที่มีการปกป้องแบบ VLT จะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1 เสมอ นั้น  
หมายความว่า อุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นจะมีผลต่อจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดของ  
โครงข่าย โดยอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นจะส่งผลให้จำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดของ  
โครงข่ายมีค่าลดลง กล่าวคือ ในกรณีที่ปกป้องโครงข่ายแบบ LR จำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดของ  
โครงข่าย 8N\_14L จะมีค่าลดลงประมาณ 3.3-30.0% ส่วนกรณีที่ปกป้องโครงข่ายแบบ LIR  
8N\_14L จะมีค่าลดลงประมาณ 0-16.7% ในทำนองเดียวกัน โครงข่าย 10N\_21L สำหรับกรณีที่  
การปกป้องโครงข่ายแบบ LR จำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดจะมีค่าลดลงประมาณ 0-11.6% ส่วน  
กรณีที่การปกป้องโครงข่ายแบบ LIR จำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดจะมีค่าลดลงประมาณ 2.3-  
11.4% เมื่อพิจารณาโครงข่าย 14N\_21L พบว่า ในกรณีที่ปกป้องโครงข่ายแบบ LR จำนวน  
เส้นใยนำแสงทั้งหมดจะมีค่าลดลงประมาณ 13.3-45.7% ส่วนกรณีที่ปกป้องโครงข่ายแบบ LIR  
จำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดจะมีค่าลดลงประมาณ 6.1-23.3%

### 5.4 การเปรียบเทียบเชิงต้นทุนของโครงข่ายและประสิทธิภาพของโครงข่าย

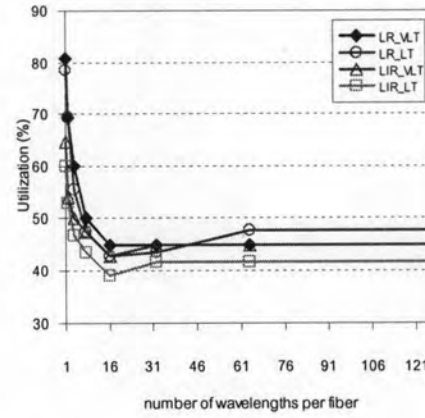
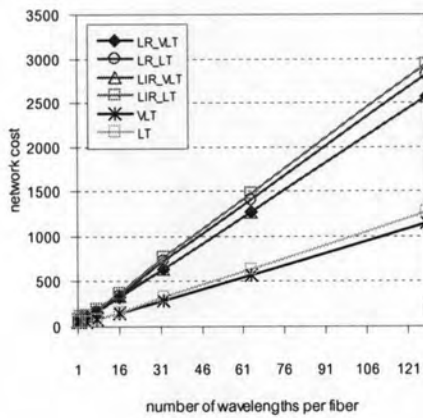
ต้นทุนของโครงข่าย (Network cost) ที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้จะนิยามให้มีค่าเท่ากับ  
ผลคูณของจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดที่โครงข่ายต้องการกับจำนวนความยาวคลื่นสูงสุดที่  
สามารถมัลติเพลกซ์ได้ในเส้นใยนำแสง ( $M$ )

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

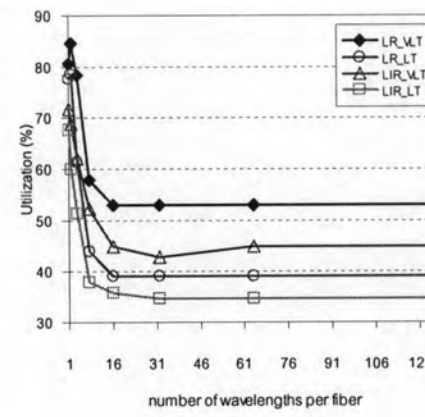
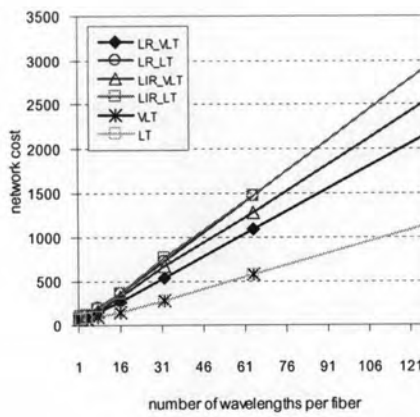
ส่วนประสิทธิภาพของโครงข่าย (Utilization) จะนิยามให้มีค่าเท่ากับอัตราส่วนร้อยละของ  
จำนวนเส้นใยนำแสงสำรองต่อจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดในโครงข่าย



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 5.3 การเปรียบเทียบต้นทุนของโครงข่ายและประสิทธิภาพการใช้เส้นใยนำแสงของ(ก) โครงข่าย 8N\_14L (ข) โครงข่าย 10N\_21L และ (ค) โครงข่าย 14N\_21L ในแต่ละกลยุทธ์การปกป้องโครงข่าย เมื่อแต่ละกลยุทธ์การปกป้องโครงข่ายมีการจัดสรรความยาวคลื่นแบบ VLT และ LT ตามลำดับ

จากรูปที่ 5.3 พบว่าต้นทุนของแต่ละโครงข่ายจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่า  $M$  โดยการปกป้องโครงข่ายแบบ LR\_VLT จะมีต้นทุนของโครงข่ายต่ำสุดและต้นทุนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นตามค่า  $M$  ส่วนกลยุทธ์การป้องกันแบบ LIR\_VLT LR\_LT และ LIR\_LT จะเป็นกลยุทธ์การป้องกันที่ต้องการต้นทุนมากกว่ากลยุทธ์ LR\_VLT ตามลำดับจากน้อยไปมาก

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้เส้นใยนำแสงของแต่ละโครงข่าย ในรูปที่ 5.3 พบว่า ที่แต่ละกลยุทธ์การปกป้องโครงข่ายที่มีการจัดสรรความยาวคลื่นแบบเดียวกัน การปกป้องโครงข่ายแบบ LR มีประสิทธิภาพการใช้เส้นใยนำแสงมากกว่าการปกป้องโครงข่ายแบบ LIR และจะมีประสิทธิภาพการใช้เส้นใยนำแสงลดลงตามค่า  $M$  ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแนวโน้มในการลดลงของประสิทธิภาพการใช้เส้นใยนำแสงนั้น จะลดลงอย่างรวดเร็วที่  $M$  มีค่าน้อยๆ และจะค่อยลดลงจนคงที่เมื่อค่า  $M$  มีค่าสูงขึ้นจนถึงค่าหนึ่ง และการที่โครงข่ายมีประสิทธิภาพการใช้เส้นใยนำแสงลดลงตามค่า  $M$  ที่เพิ่มขึ้นนั้น เนื่องจากโครงข่ายมีช่องสัญญาณสำหรับรองรับทราฟฟิกเป็นจำนวนมาก ถ้าช่องสัญญาณดังกล่าวมีจำนวนมากขึ้นเกินกว่าความต้องการใช้งานจริง ก็จะทำให้เกิดช่องสัญญาณที่ไม่ถูกใช้งานเป็นจำนวนมากในระบบ ดังนั้นประสิทธิภาพการใช้เส้นใยนำแสงของโครงข่ายจึงมีค่าลดลง