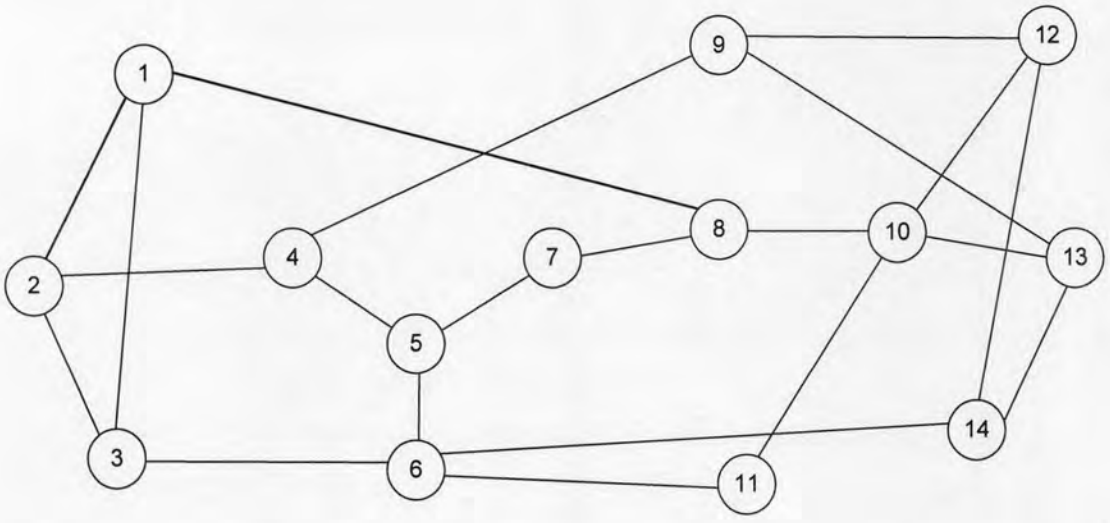
บทที่ 4

ผลเฉลยและการวิเคราะห์ผลเฉลย

เนื้อหาในส่วนนี้ จะเป็นการกล่าวถึงผลเฉลยและการวิเคราะห์ผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำเสนอไว้ในเนื้อหาบทที่ 3 ทั้งในกรณีโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติและโครงข่ายเกิดความเสียหายขึ้นหนึ่งโนด

4.1 ผลเฉลยและการวิเคราะห์ผลเฉลยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในหัวข้อนี้ จะเป็นการวิเคราะห์ที่หาได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำเสนอไว้ทั้งในกรณีโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติและโครงข่ายเกิดความเสียหายขึ้นหนึ่งโนด ซึ่งในการวิเคราะห์ จะใช้โครงข่ายที่มีการใช้งานอยู่จริงของอเมริกา(NFSnet) เป็นโครงข่าย 14โนด 21 ข่ายเชื่อมโยง ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครงข่ายที่ใช้ในการวิเคราะห์ 14 โนด 21 ข่ายเชื่อมโยง

ในการกำหนดการใช้งานของการสื่อสารข้อมูลของทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดการใช้งานทั้งหมด 56 เซสชั่น ซึ่งแต่ละโนดจะเป็นต้นทาง 4 เซสชัน โดยแต่ละเซสชันจะมีกลุ่มของโนดปลายทาง 4 โนด และกำหนดให้ปริมาณทราฟฟิกคงที่ของแต่ละเซสชันเท่ากับ 1 และเลือกใช้เส้นทางระหว่างคู่โนดทุกคู่โนด 5 เส้นทาง โดยมีการใช้งานดังตารางต่อไปนี้

เซสชัน	ปริมาณทราฟฟิก	โนดต้นทาง	โนดปลายทาง
1	1	1	2,3,4,5
2	1	1	6,7,8,9
3	1	1	9,10,12,13
4	1	1	6,10,11,14
5	1	2	1,8,9,10
6	1	2	3,5,7,11
7	1	2	4,12,13,14
8	1	2	6,8,10,12
9	1	3	1,9,12,13
10	1	3	2,8,10,14
11	1	3	4,5,7,11
12	1	3	6,8,12,14
13	1	4	1,8,9,10
14	1	4	2,6,11,14
15	1	4	3,5,7,12
16	1	4	8,9,13,14
17	1	5	1,2,3,4
18	1	5	6,10,11,14
19	1	5	7,8,9,12
20	1	5	10,12,13,14
21	1	6	1,2,3,4
22	1	6	8,12,13,14
23	1	6	5,7,9,10
24	1	6	8,11,12,13
25	1	7	1,2,3,4
26	1	7	5,9,12,13
27	1	7	1,6,11,14
28	1	7	8,10,12,13

รูปที่ 4.2 ทราฟฟิกที่ใช้สำหรับหาผลเฉลย

เซสชัน	ปริมาณทราฟฟิก	โนดต้นทาง	โนดปลายทาง
29	1	8	1,2,3,5
30	1	8	4,6,9,10
31	1	8	6,7,11,14
32	1	8	10,12,13,14
33	1	9	1,2,3,5
34	1	9	4,6,7,11
35	1	9	10,12,13,14
36	1	9	8,10,11,13
37	1	10	1,2,3,7
38	1	10	9,12,13,14
39	1	10	4,5,7,8
40	1	10	3,4,6,11
41	1	11	1,2,3,6
42	1	11	4,5,7,8
43	1	11	10,12,13,14
44	1	11	1,4,9,14
45	1	12	1,2,3,4
46	1	12	5,6,7,8
47	1	12	10,11,13,14
48	1	12	1,4,9,10
49	1	13	10,11,12,14
50	1	13	1,2,3,5
51	1	13	4,5,6,7
52	1	13	4,6,8,9
53	1	14	10,11,12,13
54	1	14	1,2,3,9
55	1	14	6,7,8,9
56	1	14	4,5,6,8

รูปที่ 4.2 ทราฟฟิกที่ใช้สำหรับหาผลเฉลย (ต่อ)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป CPLEX6.6 ซึ่งทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการวินโดว์ XP ในการคำนวณค่าผลเฉลยจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานคือ เครื่องPentium 4 ความเร็ว 2.66 กิกะเฮิรตซ์ และมีหน่วยความจำเท่ากับ 512 เมกะไบต์

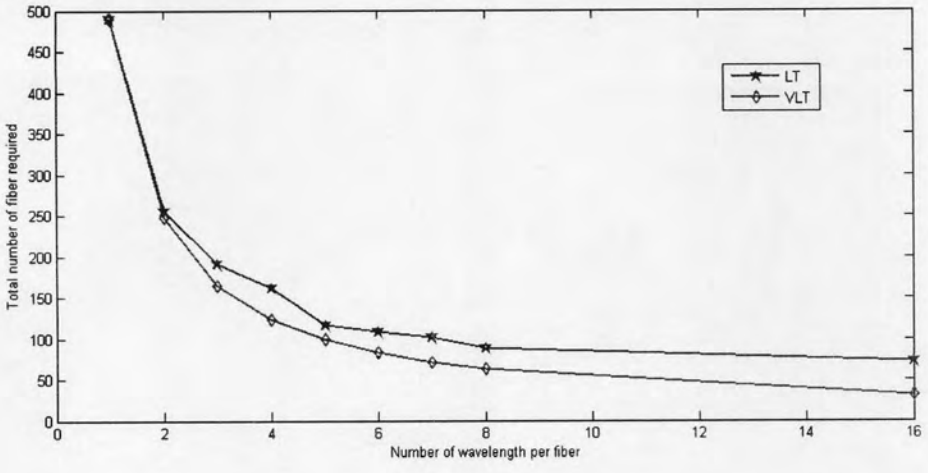
4.2 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดที่โครงข่ายต้องการ

ในส่วนนี้จะเป็นการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดที่โครงข่ายต้องการ โดยจะแสดงกราฟจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งในกรณีโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติและกรณีที่โครงข่ายมีความเสียหายหนึ่งโนด

เนื่องจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้เทคนิควิธีการวางเส้นใยนำแสงทั้งหมดแบบ Optimized Spare Capacity Assignment สำหรับการป้องกันโครงข่ายเมื่อเกิดความเสียหายหนึ่งโนด จึงต้องมีการจัดเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นในสภาวะการทำงานปกติก่อนโดยอาศัยโครงสร้างต้นไม้เชิงแสงสำหรับทราฟฟิกชนิดมัลติคาสต์ แล้วจึงออกแบบการจัดสรรเส้นทางใหม่เมื่อโครงข่ายเกิดความเสียหายหนึ่งโนด โดยการนำเส้นทางและความยาวคลื่นของสภาวะการทำงานปกติมาพิจารณาร่วมกัน

4.2.1 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดในกรณีโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติ

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงผลเฉลยของการจัดสรรเส้นทางและการกำหนดความยาวคลื่นในสภาวะปกติ โดยจะแปรค่าจำนวนความยาวคลื่นสูงสุดที่สามารถมัลติเพล็กซ์ลงในเส้นใยนำแสงหรือค่า M จำนวน 9 ค่า ได้แก่ 1 2 3 4 5 6 7 8 และ 16 และเปรียบเทียบจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นและในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบจำนวนเส้นใยนำแสงในกรณีโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติ

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบจำนวนเส้นใยนำแสงในสภาวะการใช้งานปกติ

จำนวนเส้นใยนำแสง		
M	VLT	LT
1	490	490
2	247	256
3	165	191
4	124	162
5	99	117
6	83	109
7	71	102
8	63	89
16	32	73

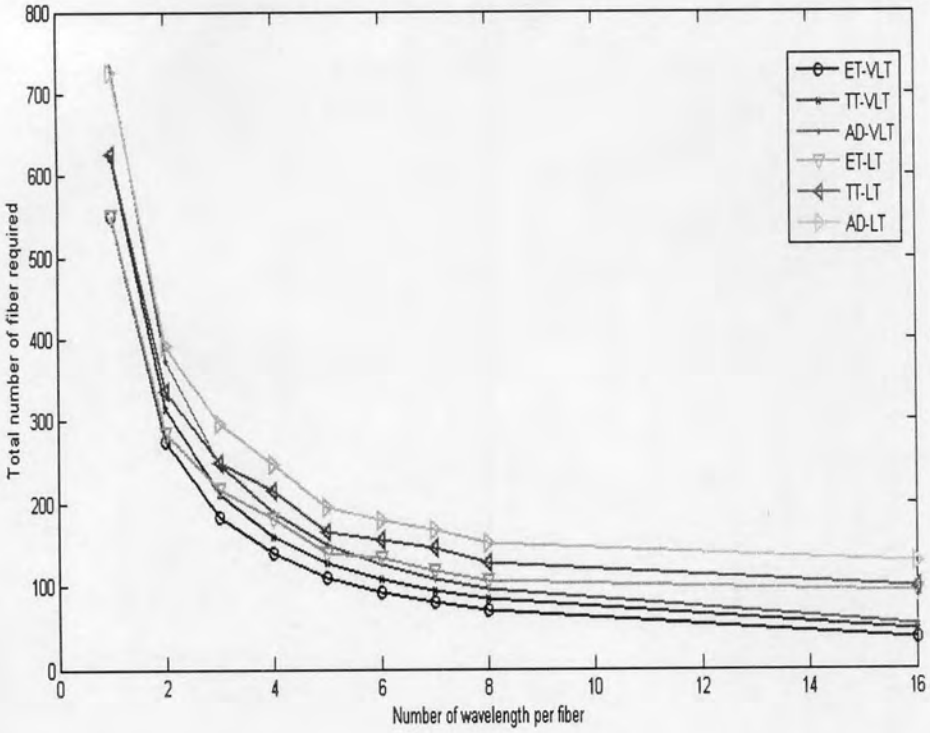
เมื่อพิจารณาจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น และในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นของโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติ จะพบว่า จำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดที่โครงข่ายต้องการจะมีค่าลดลงเมื่อ M มีค่าเพิ่มขึ้นโดยจำนวนเส้นใยนำแสงจะลดลงอย่างมากเมื่อ M มีค่าน้อยๆ (1 2

3 4) และเมื่อ M มีค่ามากขึ้น (5 6 7 8 16) จำนวนเส้นใยนำแสงจะลดลงน้อยกว่า เนื่องมาจากเมื่อ M มีค่ามากขึ้นจะทำให้แต่ละเส้นใยนำแสงมีช่องสัญญาณเป็นจำนวนมากขึ้นด้วย จึงทำให้จำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดที่โครงข่ายต้องการลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดที่โครงข่ายต้องการที่ M มีค่าต่ำกว่า เช่น จำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดที่โครงข่ายต้องการเมื่อ M มีค่าเท่ากับ 2 จะประมาณเป็นครึ่งหนึ่งของจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดที่โครงข่ายต้องการเมื่อ M มีค่าเท่ากับ 1

เมื่อพิจารณาจำนวนเส้นใยนำแสงเปรียบเทียบกันระหว่างโครงข่ายที่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น และโครงข่ายที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น จะพบว่าจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดที่โครงข่ายต้องการจะมีค่าลดลงเมื่อ M มีค่าเพิ่มขึ้น โดยโครงข่ายที่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นจะมีจำนวนเส้นใยนำแสงลดลงมากกว่า เนื่องจากกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นระหว่างทุกคู่โนดสามารถเปลี่ยนไปใช้ความยาวคลื่นค่าใดก็ได้ ส่วนกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น ทั้งเซสชันนั้นจะต้องใช้ความยาวคลื่นค่าเดียวกันและค่าความยาวคลื่นนี้ซึ่งอาจไปซ้ำกันกับเซสชันอื่น จึงเป็นเหตุให้ต้องใช้จำนวนเส้นใยนำแสงเพิ่มขึ้น

4.2.2 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดในกรณีโครงข่ายมีความเสียหายหนึ่งโนด

หลังจากที่ได้ผลเฉลยของการจัดเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นในกรณีโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติ ผลเฉลยนี้จะถูกนำมาใช้ในการออกแบบการจัดสรรเส้นทางใหม่เมื่อโครงข่ายมีความเสียหายหนึ่งโนด ทั้งในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นและในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น ซึ่งผลเฉลยของการจัดสรรเส้นทางใหม่เมื่อแต่ละโนดเสียหายทั้งหมด 14 โนด แสดงในรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบจำนวนเส้นใยนำแสงในกรณีโครงข่ายมีความเสียหายหนึ่งโนด

ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบจำนวนเส้นใยนำแสงในกรณีโครงข่ายมีความเสียหายหนึ่งโนด

จำนวนเส้นใยนำแสงเมื่อโนดเสียหายในโครงข่าย						
M	VLT			LT		
	ET	TT	AD	ET	TT	AD
1	550	622	734	550	626	726
2	275	315	375	285	337	393
3	183	212	248	217	250	297
4	140	160	189	182	215	248
5	111	128	149	140	166	196
6	92	109	127	134	155	180
7	80	94	109	119	145	167
8	71	84	97	106	129	151
16	37	47	52	92	113	129

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบจำนวนเส้นใยนำแสงระหว่างวิธีการจัดเส้นทางใหม่ 3 วิธี ET TT และ AD ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.2 จะพบว่าวิธีการจัดสรรเส้นทางใหม่แบบ ET ใช้จำนวนเส้นใยนำแสงน้อยกว่าวิธี TT และ AD ทั้งในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น และในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น เนื่องจากวิธีการจัดเส้นทางใหม่แบบ ET จะทำการปลดสภาวะการทำงานทุกมัลติคาสต์เซสชันออกและทำการจัดสรรเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นใหม่ให้กับเส้นทางสำรอง โดยไม่พิจารณาว่าเซสชันนั้นจะมีโนดที่เสียหายอยู่ในเส้นทางหรือไม่ จึงทำให้วิธีนี้มีความยืดหยุ่นในการจัดเส้นทางมากกว่าวิธี TT และ AD ที่ทำการจัดสรรเส้นทางใหม่ให้กับเซสชันที่มีเส้นทางผ่านโนดที่เสียหายและเซสชันที่มีโนดระหว่างทางเชื่อมต่อมายังโนดที่เสียหาย ดังนั้นวิธีการจัดเส้นทางใหม่แบบ ETจึงเป็นวิธีที่ใช้เส้นใยนำแสงน้อยที่สุด

และเมื่อเปรียบเทียบจำนวนเส้นใยนำแสงระหว่างวิธีการจัดเส้นทางใหม่วิธี TT และ AD ทั้งในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น และในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น จะพบว่าวิธีการจัดสรรเส้นทางใหม่แบบ TT ใช้จำนวนเส้นใยนำแสงน้อยกว่าวิธี AD เนื่องจากวิธี TT จะจัดเส้นทางใหม่ให้เฉพาะเส้นทางหลักที่ผ่านโนดที่เสียหาย แต่วิธี AD นั้นนอกจากจัดเส้นทางใหม่ให้กับเส้นทางหลักที่ผ่านโนดที่เสียหายแล้วยังจัดเส้นทางใหม่ให้กับเส้นทางหลักที่มีโนดระหว่างทางเชื่อมต่อมายังโนดที่เสียหายด้วย เพื่อเป็นการกระจายทราฟฟิกออกจากโนดที่เสียหาย จึงเป็นเหตุผลที่วิธี AD ใช้จำนวนเส้นใยนำแสงมากกว่าวิธี TT

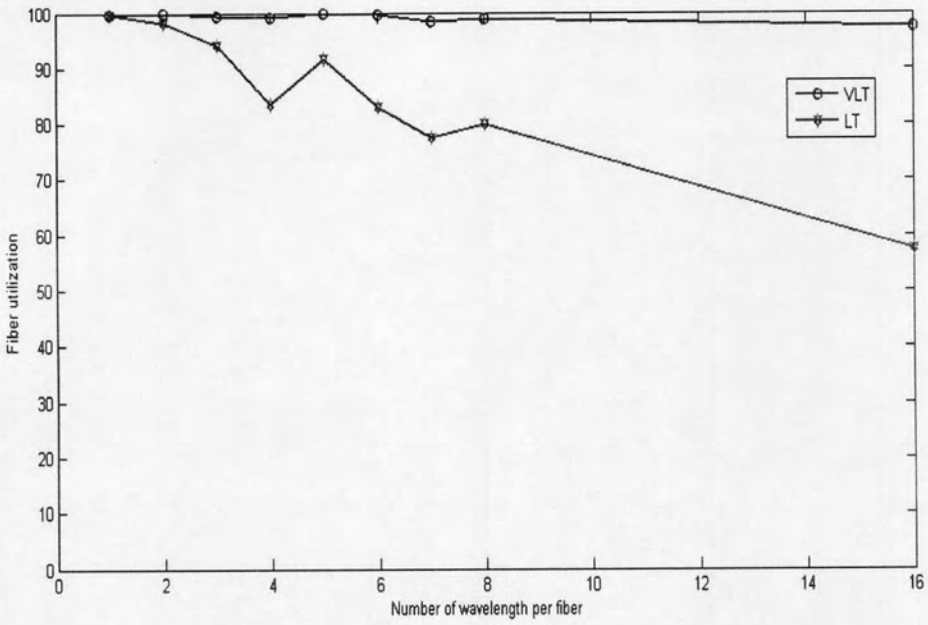
จากการวิเคราะห์ผลการทดลองข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า วิธีการจัดสรรเส้นทางใหม่แบบ ET เป็นวิธีการจัดสรรเส้นทางใหม่ที่โครงข่ายต้องการเส้นใยนำแสงน้อยที่สุด ถัดมาได้แก่วิธีการจัดสรรเส้นทางใหม่แบบ TT ส่วนวิธีการจัดสรรเส้นทางใหม่แบบ AD เป็นวิธีที่ใช้เส้นใยนำแสงมากที่สุด

4.3 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่าย

ประสิทธิภาพที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนิยามให้มีค่าเท่ากับอัตราร้อยละของช่องสัญญาณที่ถูกใช้งานต่อจำนวนช่องสัญญาณทั้งหมดในโครงข่าย

4.3.1 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่ายในกรณีโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่ายในสภาวะการทำงานปกติ ทั้งในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น และในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.5และตารางที่ 4.3 จะพบว่ากรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นประสิทธิภาพของโครงข่ายจะลดลงไม่มากนักเมื่อ M มีค่ามากขึ้นเนื่องจากโครงข่ายประเภท VLTจะกำหนดให้ระหว่างทุกคู่โนดสามารถเปลี่ยนไปใช้ความยาวคลื่นค่าใดก็ได้ แต่ในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นจะกำหนดให้ใช้ความยาวคลื่นเดียวกันตลอดทั้งเส้นทาง ซึ่งอาจจะไปซ้ำกับเซสชั่นก่อนหน้านี้ จึงต้องเพิ่มจำนวนเส้นใยนำแสงขึ้นในโครงข่ายสำหรับเซสชั่นหลังอันนี้จึงทำให้มีช่องสัญญาณในเส้นใยนำแสงเหลือเพิ่มขึ้น จึงทำให้เนื่องจากจำนวนเส้นใยนำแสงที่ใช้งานจริงในแต่ละค่าของ M มีจำนวนใกล้เคียงกัน แต่เมื่อ M มีค่าเพิ่มขึ้นทำให้จำนวนเส้นใยนำแสงที่คำนวณออกมาเพิ่มขึ้น จึงทำให้อัตราส่วนการใช้งานจริงต่อการคำนวณได้ลดลงประสิทธิภาพของโครงข่ายประเภทLTลดลง



รูปที่ 4.5ประสิทธิภาพของโครงข่ายในกรณีโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติ

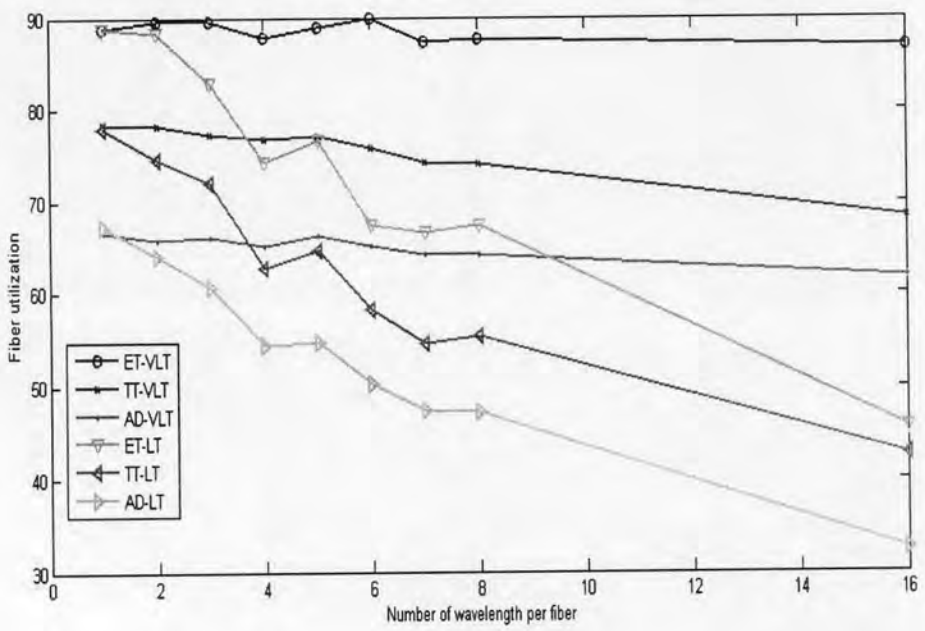
ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพของโครงข่ายในกรณีโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติ

ประสิทธิภาพของโครงข่าย(%)		
M	VLT	LT
1	99.59	99.59
2	99.78	98.24
3	99.40	94.24
4	99.14	83.49
5	99.80	91.80
6	99.60	82.89
7	98.40	77.59
8	98.80	80.10
16	97.34	57.45

4.3.2 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่ายในกรณีโครงข่ายมีความเสียหายหนึ่งโนด

จากการพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่ายในกรณีโครงข่ายมีความเสียหายหนึ่งโนด ทั้งในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น และในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นก่อนหน้านี้ จะพบว่าประสิทธิภาพของโครงข่ายประเภท VLT จะมากกว่าประเภท LT เนื่องจากโครงข่ายประเภท VLT จะกำหนดให้ระหว่างทุกคู่โนดสามารถเปลี่ยนไปใช้ความยาวคลื่นค่าใดก็ได้แต่โครงข่ายประเภท LTจะกำหนดให้ใช้ความยาวคลื่นเดียวกันตลอดทั้งเส้นทาง

ก่อนที่จะพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่ายระหว่างวิธีการจัดเส้นทางใหม่ 3 วิธี ET TT และ AD ทั้งในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นและในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.4 พบว่าหลังจากการจัดสรรเส้นทางใหม่แล้วจำนวนเส้นใยนำแสงที่ใช้งานจริงทั้ง3วิธีมีจำนวนใกล้เคียงกัน แต่จำนวนเส้นใยนำแสงที่ต้องใช้ในแต่ละวิธีนั้น ET ใช้น้อยที่สุด และ AD ใช้มากที่สุด จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพของโครงข่ายที่หาจากอัตราส่วนจำนวนเส้นใยนำแสงที่ใช้งานจริงต่อจำนวนเส้นใยนำแสงที่คำนวณได้ในแต่ละวิธี จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพของโครงข่ายของวิธีการจัดเส้นทางใหม่ แบบET มีค่าสูงที่สุด ตามมาด้วย TT และ AD



รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพของโครงข่ายในกรณีโครงข่ายมีความเสียหายหนึ่งโนด

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพของโครงข่ายในกรณีโครงข่ายมีความเสียหายหนึ่งโนด

ประสิทธิภาพของโครงข่ายเมื่อโนดเสียหาย(%)						
M	VLT			LT		
	ET	TT	AD	ET	TT	AD
1	88.73	78.46	66.49	88.73	77.96	67.23
2	89.64	78.26	65.73	88.25	74.63	64.00
3	89.62	77.36	66.13	82.95	72.00	60.61
4	87.86	76.86	65.08	74.18	62.79	54.44
5	89.01	77.19	66.31	76.71	64.70	54.80
6	89.86	75.84	65.09	67.41	58.28	50.19
7	87.32	74.32	64.09	66.51	54.58	47.39
8	87.67	74.11	64.18	67.33	55.33	47.27
16	86.82	68.35	61.78	45.58	42.79	32.51

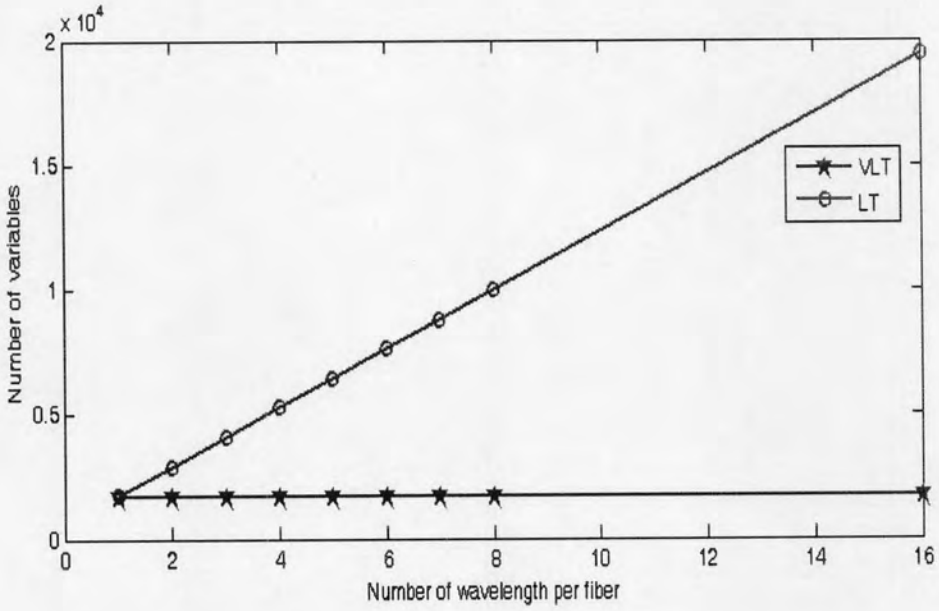
4.4 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบความซับซ้อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการออกแบบเพื่อให้ได้โครงข่ายที่สามารถจัดสรรเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นได้อย่างเหมาะสมนั้น ปัจจัยที่ใช้เปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของแต่ละวิธีนอกจากจำนวนเส้นใยนำแสงที่ต้องจัดสรรให้กับโครงข่ายแล้วแล้ว ความซับซ้อนของวิธีที่ใช้ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการพิจารณา เนื้อหาในส่วนนี้จะใช้กราฟแสดงจำนวนสมการและจำนวนตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในกรณีโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติและในกรณีโครงข่ายมีความเสียหายหนึ่งโนดด้วยวิธีการจัดสรรเส้นทางใหม่ทั้ง 3 วิธี

4.4.1 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบความซับซ้อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในกรณีโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติ

ในส่วนนี้จะเป็นการวิเคราะห์และเปรียบเทียบความซับซ้อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น และในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นของโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติ จะพบว่ากรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น จำนวนตัวแปร

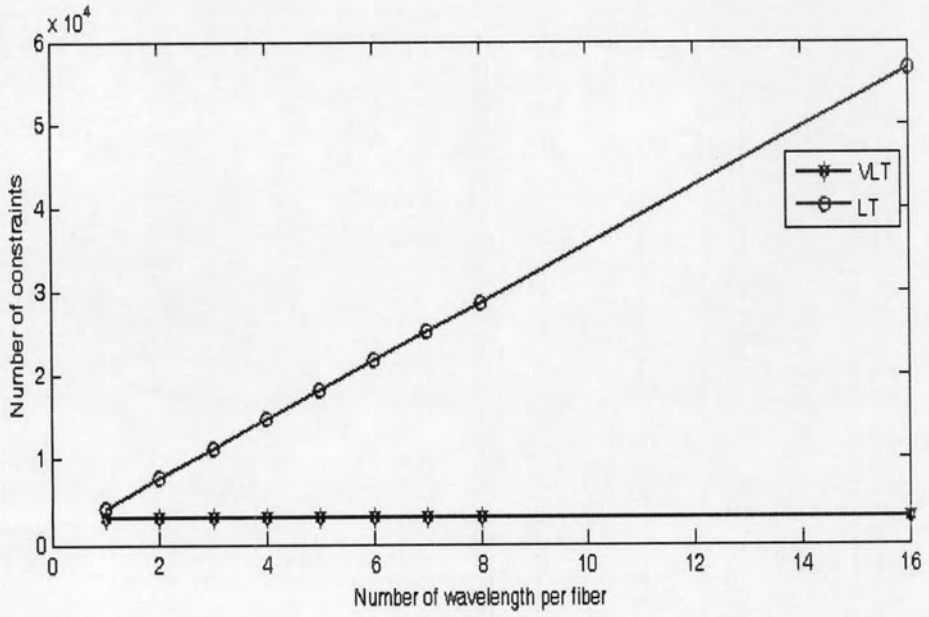
และจำนวนสมการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนความยาวคลื่นที่สามารถมัลติเพลกซ์ได้ในเส้นใยนำแสง (M) ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.7 ถึงรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.5 ถึง ตารางที่ 4.6 จะมีจำนวนตัวแปรเท่ากับ 1701 และจำนวนสมการเท่ากับ 3066 แต่เมื่อพิจารณาในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น พบว่าจำนวนตัวแปรและจำนวนสมการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะเพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้นตามค่า M ที่เพิ่มขึ้น เช่น ที่ M =2 จะมีจำนวนตัวแปรเท่ากับ 2933 และจำนวนสมการเท่ากับ7791 ที่ M =16 จะมีจำนวนตัวแปรเท่ากับ 19397 และจำนวนสมการเท่ากับ 56693



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบจำนวนตัวแปรในกรณีโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติ

ตารางที่ 4.5 จำนวนตัวแปรในกรณีโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติ

จำนวนตัวแปรในสภาวะทำงานปกติ		
M	VLT	LT
1	1,701	1,753
2	1,701	2,933
3	1,701	4,109
4	1,701	5,285
5	1,701	6,461
6	1,701	7,637
7	1,701	8,813
8	1,701	9,989
16	1,701	19,397



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบจำนวนสมการในกรณีโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติ

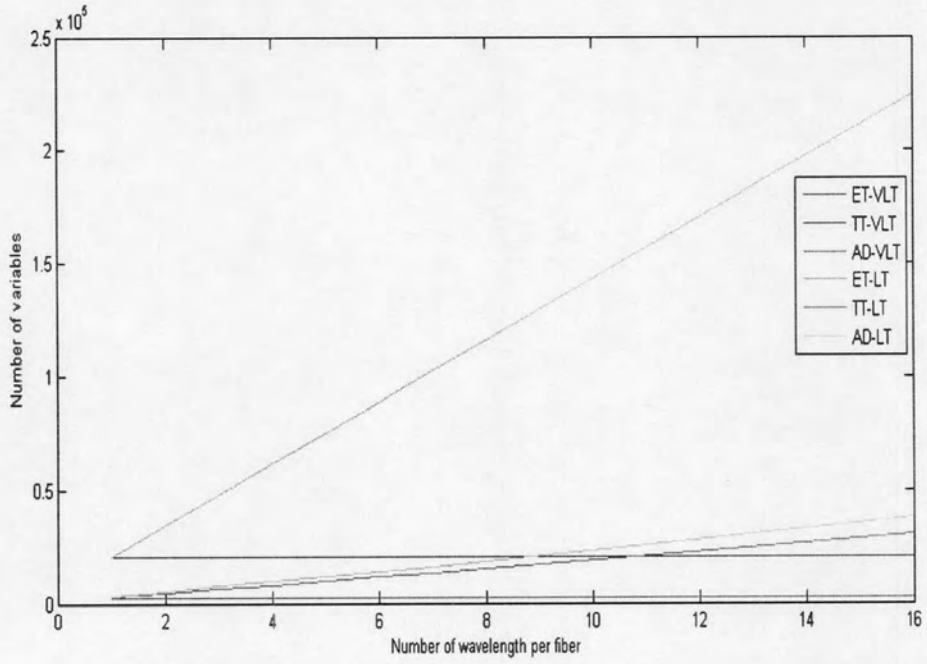
ตารางที่ 4.6 จำนวนสมการในกรณีโครงข่ายทำงานในสภาวะปกติ

จำนวนสมการในสภาวะทำงานปกติ		
M	VLT	LT
1	784	4,298
2	784	7,791
3	784	11,284
4	784	14,777
5	784	18,270
6	784	21,463
7	784	25,256
8	784	28,749
16	784	56,693

4.4.2 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบความซับซ้อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในกรณีโครงข่ายมีความเสียหายหนึ่งโนด

เมื่อพิจารณาจำนวนตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสภาวะโครงข่ายเกิดความเสียหายหนึ่งโนด โครงข่ายระหว่างวิธีการจัดเส้นทางใหม่ 3 วิธี ET TT และ AD ทั้งในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น และในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.9 และตารางที่ 4.7 จะพบว่ากรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นจำนวนตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะไม่ขึ้นกับค่า M แต่ขึ้นอยู่กับจำนวนเซสชั่นที่ต้องจัดสรรเส้นทางใหม่ ซึ่งวิธี ETจะมีเซสชั่นที่ต้องจัดสรรเส้นทางใหม่ทุกค่า M 52 เซสชั่นจึงมีจำนวนตัวแปรเท่ากับ 20601 แต่วิธีTT และ AD จะมีจำนวนตัวแปรไม่คงนี่เนื่องจากแต่ละค่าของMมีจำนวนเซสชั่นที่ต้องจัดสรรเส้นทางใหม่ไม่เท่ากัน แต่ในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น จะมีจำนวนตัวแปรของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้นตามค่า M และจำนวนเซสชั่นที่ต้องจัดสรรเส้นทางใหม่ ทั้ง3วิธีการจัดสรรเส้นทางใหม่

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างวิธีการจัดเส้นทางใหม่ 3 วิธี ET TT และ AD ทั้งในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น และในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นจะพบว่า ET มีจำนวนเซสชั่นที่ต้องจัดสรรเส้นทางใหม่มากที่สุด รองลงมา คือ AD และTT ตามลำดับจึงทำให้จำนวนตัวแปรของ ET มากที่สุด รองลงมา คือ AD และTT ตามลำดับ



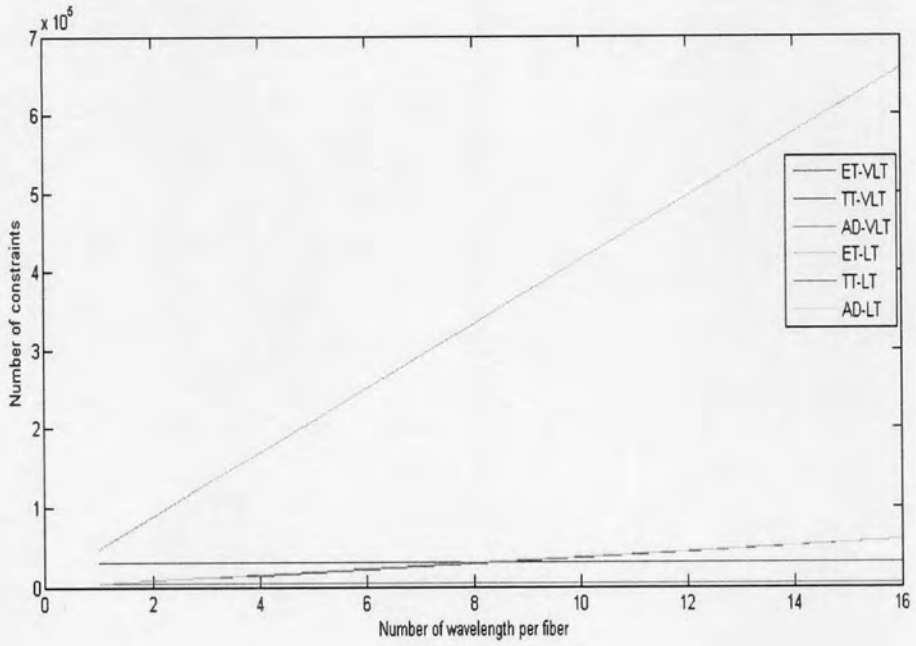
รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบจำนวนตัวแปรในกรณีโครงข่ายมีความเสียหายหนึ่งโนด

ตารางที่ 4.7 จำนวนตัวแปรในกรณีโครงข่ายมีความเสียหายหนึ่งโนด

จำนวนตัวแปรเมื่อโนดเสียหายในโครงข่าย						
M	VLT			LT		
	ET	TT	AD	ET	TT	AD
1	20,601	2,142	2,583	20,653	2,741	3,144
2	20,601	2,112	2,583	34,215	4,320	5,188
3	20,601	2,172	2,553	47,777	6,085	7,387
4	20,601	2,112	2,583	61,339	7,726	9,462
5	20,601	2,112	2,523	74,901	9,522	11,692
6	20,601	2,142	2,553	88,463	11,380	13,412
7	20,601	2,112	2,553	102,025	13,083	15,904
8	20,601	2,112	2,583	115,587	15,034	18,204
16	20,601	2,142	2,553	224,083	30,394	37,338

เมื่อพิจารณาจำนวนสมการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสภาวะโครงข่ายเกิดความเสียหายหนึ่งโนด โครงข่ายระหว่างวิธีการจัดเส้นทางใหม่ 3 วิธี ET TT และ AD ทั้งในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น และในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.8 จะพบว่ากรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่นจำนวนสมการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะไม่ขึ้นกับค่า M แต่ขึ้นอยู่กับจำนวนเซสชั่นที่ต้องจัดสรรเส้นทางใหม่ ซึ่งวิธี ETจะมีเซสชั่นที่ต้องจัดสรรเส้นทางใหม่ทุกค่า M 52 เซสชั่นจึงมีจำนวนสมการเท่ากับ 31456 แต่วิธีTT และ AD จะมีจำนวนสมการไม่คงนี่เนื่องจากแต่ละค่าของ M มีจำนวนเซสชั่นที่ต้องจัดสรรเส้นทางใหม่ไม่เท่ากัน แต่ในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น จะมีจำนวนสมการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้นตามค่า M และจำนวนเซสชั่นที่ต้องจัดสรรเส้นทางใหม่ ทั้ง3วิธีการจัดสรรเส้นทางใหม่

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างวิธีการจัดเส้นทางใหม่ 3 วิธี ET TT และ AD ทั้งในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น และในกรณีที่ทุกโนดในโครงข่ายไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงผันความยาวคลื่น จะพบว่าETมีจำนวนเซสชั่นที่ต้องจัดสรรเส้นทางใหม่มากที่สุด รองลงมา คือ AD และTT ตามลำดับจึงทำให้จำนวนสมการของ ET มากที่สุด รองลงมา คือ AD และTT ตามลำดับ



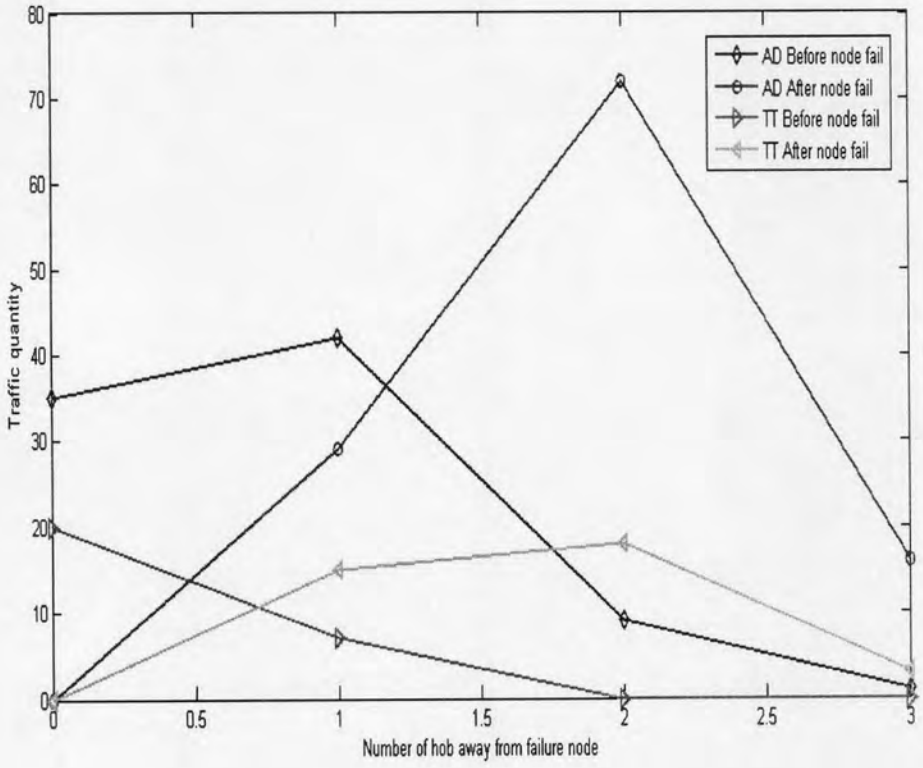
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบจำนวนสมการในกรณีโครงข่ายมีความเสียหายหนึ่งโนด

ตารางที่ 4.8 จำนวนสมการในกรณีโครงข่ายมีความเสียหายหนึ่งโนด

จำนวนเงื่อนไขบังคับเมื่อโนดเสียหายในโครงข่าย						
M	VLT			LT		
	ET	TT	AD	ET	TT	AD
1	31,456	4,228	5,348	47,767	4,319	4,410
2	31,456	4,148	5,348	88,422	7,833	8,029
3	31,456	4,308	5,268	129,077	11,389	11,683
4	31,456	4,148	5,348	169,732	14,917	15,309
5	31,456	4,148	5,188	210,387	18,480	18,970
6	31,456	4,228	5,268	251,042	22,057	22,561
7	31,456	4,148	5,268	291,697	25,599	26,236
8	31,456	4,148	5,348	332,352	29,197	29,925
16	31,456	4,228	5,268	657,952	57,925	59,493

4.5 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการจัดสรรเส้นทางที่นำเสนอ

จากการพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายทราฟฟิกออกจากบริเวณที่เสียหายของโครงข่ายระหว่างวิธีการจัดเส้นทางใหม่ที่นำเสนอวิธี TT และ AD ดังแสดงในรูปที่ 4.11 จะพบว่าวิธี AD จะกระจายทราฟฟิกออกจากบริเวณที่โนดเสียหายภายในโครงข่ายมากกว่าวิธี TT เนื่องจากวิธี AD จะทำการจัดสรรใหม่ให้กับเซสชันที่มีเส้นทางผ่านโนดที่เสียหายและเซสชันที่มีโนดระหว่างทางเชื่อมต่อมายังโนดที่เสียหาย แต่วิธี TTจะทำการจัดสรรใหม่ให้กับเฉพาะเซสชันที่มีเส้นทางผ่านโนดที่เสียหายเท่านั้น จึงเป็นสาเหตุที่วิธีการจัดสรรเส้นทางใหม่แบบ AD เป็นวิธีที่ใช้เส้นใยนำแสงมากที่สุด



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบการกระจายทราฟฟิกออกจากบริเวณที่เสียหายของโครงข่ายระหว่างวิธีการจัดเส้นทางใหม่ที่นำเสนอวิธี TT และ AD