

บทที่ 4

การวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในโครงข่ายแบบเมฆ

บทที่ 3 ได้กล่าวถึงระเบียบขั้นตอนวิธีในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในโครงข่ายแบบแพร์และเลือกสัญญาณ ซึ่งได้ผลสรุปออกมาว่าต้องลดขนาดของโครงข่ายลงมา 20.20 เท่าถึงจะวางได้ ในบทนี้จะประยุกต์ใช้ระเบียบขั้นตอนวิธีในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงกับโครงข่ายแบบเมฆ แต่จะมีข้อแตกต่างกันคือ เพิ่มหลักการคิดในการเลือกเส้นทาง เพราะว่าโครงข่ายแบบเมฆนั้นสามารถเลือกเส้นทางไปได้หลายเส้นทาง ตลอดจนถึงการกำหนดค่าดีสเพอร์ชัน ซึ่งเราจะเลือกใช้เพียงความยาวคลื่นเดียว ต่างกับโครงข่ายแบบแพร์และเลือกสัญญาณที่จะกำหนดความยาวคลื่นให้ในแต่ละสถานี

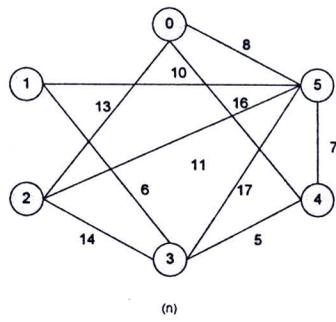
4.1 ระเบียบขั้นตอนวิธีในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง

1. คำนวณหากราฟฟิกของโหนดต่างๆ โดยใช้ระเบียบวิธีหาเส้นทางแบบสั้นที่สุด(shortest path) ระหว่างโหนดใดๆ รวมถึงหาชายเชื่อมโยงที่เกี่ยวข้องในกราฟฟิกนั้น เพื่อนำมาคิดหาค่า R
2. ประเมินโครงข่ายว่าสามารถวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงให้เหมาะสมที่สุด โดยใช้พารามิเตอร์ R เป็นตัวตัดสินซึ่งค่า R จะเป็นตัวตัดสินว่า ควรจะใช้การวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงแบบไหนระหว่างการวางที่จุดกึ่งกลางชายเชื่อมโยงหรือวางโดยใช้ระเบียบขั้นตอนวิธีนี้
3. คำนวณหาช่วงในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในแต่ละทราฟฟิก
4. นำตำแหน่งที่จะวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในข้อ 3. มาคิดหาตำแหน่งที่เหมาะสมในแต่ละชายเชื่อมโยงโดยใช้วิธีซ้อนทับ (intersection) ของทุกๆ ทราฟฟิก
5. ตรวจสอบผลของการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง

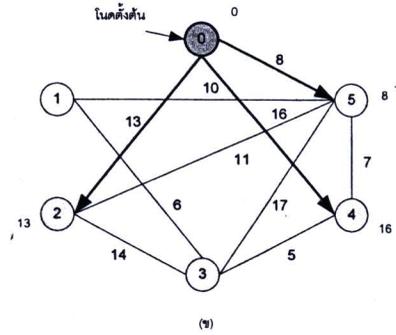
4.2 วิธีการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด

สิ่งที่สำคัญในโครงข่ายแบบเมฆคือ การหาเส้นทางที่สั้นที่สุด (shortest path) ซึ่งวิธีการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดนั้นมีอยู่หลายระเบียบขั้นตอนวิธี แต่ระเบียบขั้นตอนวิธีที่เราใช้ในการศึกษาค้างนี้ คือ ระเบียบขั้นตอนวิธีของ Dijkstra(Dijkstra's algorithm) ซึ่งเป็นวิธีที่เข้าใจง่าย และรวดเร็ว

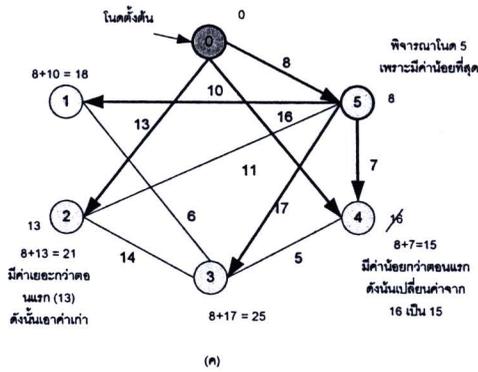
เพื่อความเข้าใจ จะใช้รูปที่ 4.1 ประกอบการอธิบาย



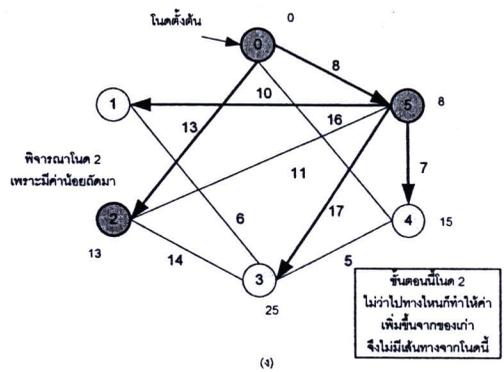
(ก)



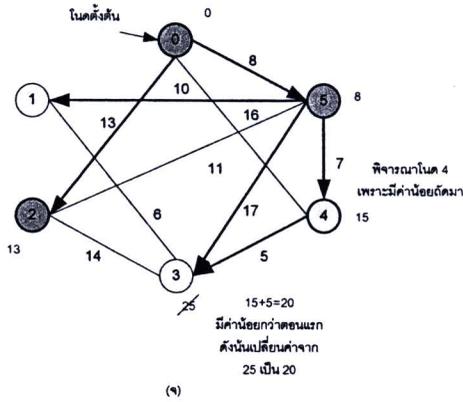
(ข)



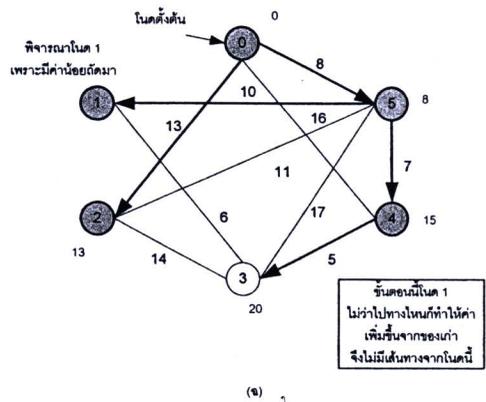
(ค)



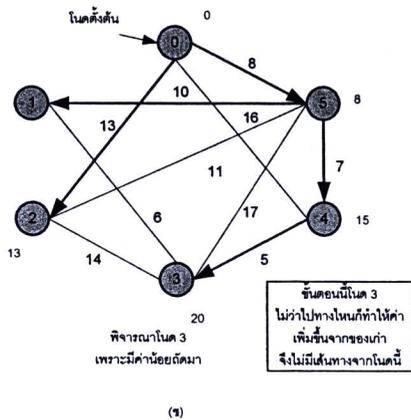
(ง)



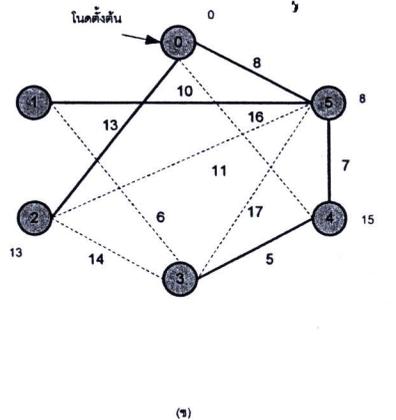
(จ)



(ฉ)



(ช)



(ซ)

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างวิธีการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยระเบียบขั้นตอนวิธีของ Dijkstra

2. จากโนด 0 จะมีเส้นทางไปหาโนด 2 4 และ 5 ให้เอาค่าของข่ายเชื่อมโยงไปเก็บไว้ที่ปลายทางได้ดังนี้ โนด2 มีค่าเท่ากับ 13 โนด 4 มีค่าเท่ากับ 16 และโนด 5 มีค่าเท่ากับ 8 ดังรูปที่ 4.1(ข)
3. พิจารณาโนดที่มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งก็คือโนด 5 จะพบว่ามีเส้นทางไปหาโนด 1 โนด 2 โนด 3 และโนด 4 โดยจะไม่พิจารณาย้อนกลับไปหาโนดที่พิจารณาแล้ว คือโนด 0 จากนั้นก็เปลี่ยนแปลงค่าปลายทางของโนดต่างๆ โดยให้บวกค่าที่โนดที่พิจารณาอยู่กับค่าของข่ายเชื่อมโยง ดังรูปที่ 4.1(ค) ที่โนด1 จะมีค่า $8+10 = 18$ โนด 2 มีค่าเท่ากับ $8+ 13 = 21$ ซึ่งมีความมากกว่าค่าเก่าที่พิจารณาจากโนด 0 จึงไม่เลือกเส้นทางนี้ โนด 3 มีค่าเท่ากับ $8 + 17 = 25$ สุดท้ายโนด 4 มีค่าเท่ากับ $8 + 7 = 15$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าเก่า คือ 16 ดังนั้นเลือกเส้นทางนี้และตัดเส้นทางเก่าทิ้งจากโนด 0
4. พิจารณาโนด 2 ซึ่งมีค่าของโนดน้อยที่สุดในบรรดาโนดที่ต้องพิจารณาที่เหลือ ซึ่งพบว่าไม่ว่าเส้นทางไหนก็มีค่าของโนดเพิ่มขึ้นจากของเก่า ดังนั้นไม่มีเส้นทางต่อจากโนดนี้ ดังรูปที่ 4.1(ง)
5. รูปที่ 4.1(จ) พิจารณาโนด 4 ซึ่งพิจารณาเช่นเดียวกับข้อ 3. จะได้ว่า เปลี่ยนแปลงค่าจากโนด 4 ไปโนด 3 เป็น $15 + 5 = 20$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าของเก่า จึงเลือกเส้นทางนี้
6. รูปที่ 4.1(ฉ) และ 4.1(ช) ไม่มีเส้นทางพิจารณาจากโนด 1 และ โนด 3 เพราะมีค่ามากกว่าของเก่า
7. รูปที่ 4.1(ซ) แสดงเส้นทางที่สั้นที่สุดของแต่ละคูโนด

ในรูปที่ 4.1(ซ) จะได้โครงข่ายที่มีเส้นทางที่สั้นที่สุดซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับโครงข่ายในบทที่ 3 จะเห็นได้ว่า ระเบียบขั้นตอนวิธีนี้ จะทำให้ได้ค่าที่น้อยที่สุดในแต่ละเส้นทางคูโนดใดๆ เราจะประยุกต์ใช้ระเบียบขั้นตอนวิธีนี้กับโครงข่ายตัวอย่าง ซึ่งค่าประจำข่ายเชื่อมโยงก็คือระยะทาง ดังจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

4.3 ตัวอย่างการคำนวณ

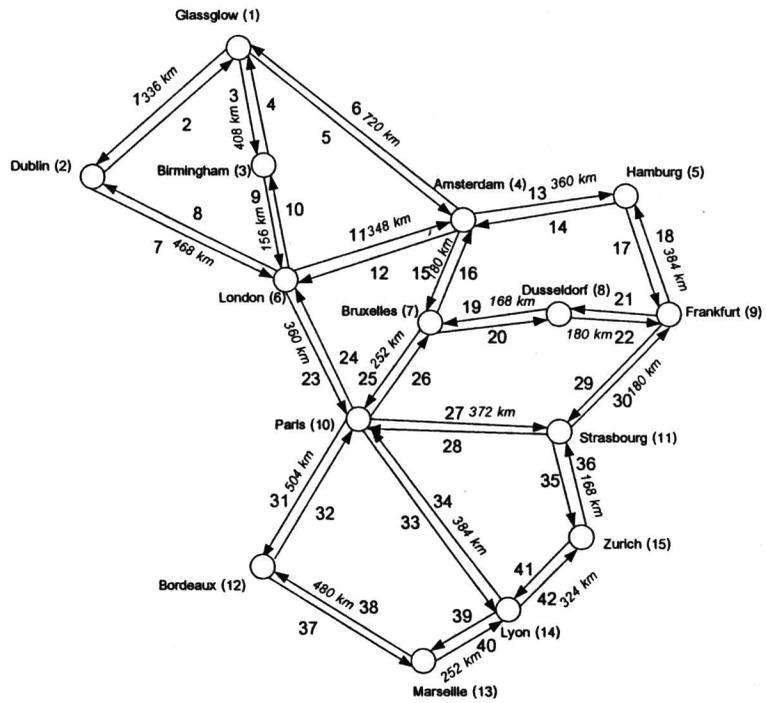
โครงข่ายตัวอย่างในบทนี้ ใช้เส้นใยแสงแบบโมดคลื่นเดียว (single-mode fiber : SMF, ITU-T G.652) โดยมีความถี่ของแสงเท่ากับ 16.5 ps/km/nm และความชันของค่าดิสเพอร์ชันที่ 0.05 ps/nm²/km ที่ 1550 nm ความยาวคลื่นที่ใช้ นำมาจาก ITU-T G.692 [38] ซึ่งมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 1528.77 – 1560.61 nm โดยมีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ (channel spacing) เท่ากับ 100 GHz เมื่อพิจารณาจากสมการที่จะหาค่าดิสเพอร์ชันในแต่ละช่องสัญญาณแล้วพบว่า ที่ความยาวคลื่น 1560.61 nm จากสมการที่(3.8)จะได้ค่าดิสเพอร์ชันมากที่สุดเท่ากับ

$$16.50 + 0.05(1560.61 - 1550.00) = 17.03 \text{ ps/km/nm} \quad (4.1)$$

จากนั้นเราจะกำหนดให้โนดเลือกความยาวคลื่นนี้ทุกโนด เพราะว่าค่าดิสเพอร์ชันจากความยาวคลื่นอื่น ๆ นั้นจะมีค่าน้อยกว่า ค่าจากสมการที่ (4.1) ดังนั้นถ้าค่าดิสเพอร์ชันที่มากที่สุดสามารถวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงและผ่านค่าดิสเพอร์ชันลิมิตได้ ความยาวคลื่นค่าอื่นๆ ก็สามารถผ่านได้เช่นกัน

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างประกอบ

ตัวอย่างที่ 1 โครงข่ายตัวอย่างที่ 1 เป็นส่วนหนึ่งจาก ERNet (European Reference Network) ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 โครงข่าย ERNet

แสดงวิธีทำเป็นขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้

1. หาเส้นทางที่สั้นที่สุดและตำแหน่งของเครื่องส่งยุคเฟสแสงเราจะประยุกต์ใช้ระเบียบขั้นตอนของ Dijkstra มาใช้ และหาตำแหน่งของเครื่องส่งยุคเฟสแสงดังสมการที่ (3.3) และ (3.4) ซึ่งจะได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ทราฟฟิกและระยะทางทั้งหมดของโครงข่าย ERNet

(ก) โหนดที่ 1 - 4

โหนด 1	ระยะทาง [km]	สายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 2	ระยะทาง [km]	สายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
2	336	1	121.02	214.98	1	336	2	121.02	214.98
3	408	3	157.02	250.98	3	624	7,10	265.02	358.98
4	720	5	313.02	406.98	4	816	7,11	361.02	454.98
5	1080	5,13	493.02	586.98	5	1176	7,11,13	541.02	634.98
6	564	3,9	235.02	328.98	6	468	7	187.02	280.98
7	900	5,15	403.02	496.98	7	996	7,11,15	451.02	544.98
8	1068	5,15,20	487.02	580.98	8	1164	7,11,15,20	535.02	628.98
9	1248	5,15,20,22	577.02	670.98	9	1344	7,11,15,20,22	625.02	718.98
10	924	3,9,23	415.02	508.98	10	828	7,23	367.02	460.98
11	1296	3,9,23,27	601.02	694.98	11	1200	7,23,27	553.02	646.98
12	1428	3,9,23,31	667.02	760.98	12	1332	7,23,31	619.02	712.98
13	1560	3,9,23,33,39	733.02	826.98	13	1464	7,23,33,39	685.02	778.98
14	1308	3,9,23,33	607.02	700.98	14	1212	7,23,33	559.02	652.98
15	1464	3,9,23,27,35	685.02	778.98	15	1368	7,23,27,35	637.02	730.98
โหนด 3	ระยะทาง [km]	สายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 4	ระยะทาง [km]	สายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
1	408	4	157.02	250.98	1	720	6	313.02	406.98
2	624	9,8	265.02	358.98	2	816	12,8	361.02	454.98
4	504	9,11	205.02	298.98	3	504	12,10	205.02	298.98
5	864	9,11,13	385.02	478.98	5	360	13	133.02	226.98
6	156	9	31.02	124.98	6	348	12	127.02	220.98
7	684	9,11,15	295.02	388.98	7	180	15	43.02	136.98
8	852	9,11,15,20	379.02	472.98	8	348	15,20	127.02	220.98
9	1032	9,11,15,20,22	469.02	562.98	9	528	15,20,22	217.02	310.98
10	516	9,23	211.02	304.98	10	432	15,25	169.02	262.98
11	888	9,23,27	397.02	490.98	11	708	15,20,22,29	307.02	400.98
12	1020	9,23,31	463.02	556.98	12	936	15,25,31	421.02	514.98
13	1152	9,23,33,39	529.02	622.98	13	1068	15,25,33,39	487.02	580.98
14	900	9,23,33	403.02	496.98	14	816	15,25,33	361.02	454.98
15	1056	9,23,27,35	481.02	574.98	15	876	15,20,22,29,35	391.02	484.98

(ข) โหนดที่ 5 - 8

โหนด 5	ระยะทาง [km]	ซ้ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 6	ระยะทาง [km]	ซ้ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
1	1080	14,6	493.02	586.98	1	564	10,4	235.02	328.98
2	1176	14,12,8	541.02	634.98	2	468	8	187.02	280.98
3	864	14,12,10	385.02	478.98	3	156	10	31.02	124.98
4	360	14	133.02	226.98	4	348	11	127.02	220.98
6	708	14,12	307.02	400.98	5	708	11,13	307.02	400.98
7	540	14,15	223.02	316.98	7	528	11,15	217.02	310.98
8	564	17,21	235.02	328.98	8	696	11,15,20	301.02	394.98
9	384	17	145.02	238.98	9	876	11,15,20,22	391.02	484.98
10	792	14,15,25	349.02	442.98	10	360	23	133.02	226.98
11	564	17,29	235.02	328.98	11	732	23,27	319.02	412.98
12	1296	14,15,25,31	601.02	694.98	12	864	23,31	385.02	478.98
13	1308	17,29,35,41,39	607.02	700.98	13	996	23,33,39	451.02	544.98
14	1056	17,29,35,41	481.02	574.98	14	744	23,33	325.02	418.98
15	732	17,29,35	319.02	412.98	15	900	23,27,35	403.02	496.98
โหนด 7	ระยะทาง [km]	ซ้ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 8	ระยะทาง [km]	ซ้ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
1	900	16,6	403.02	496.98	1	1068	19,16,6	487.02	580.98
2	996	16,12,8	451.02	544.98	2	1164	19,16,12,8	535.02	628.98
3	684	16,12,10	295.02	388.98	3	852	19,16,12,10	379.02	472.98
4	180	16	43.02	136.98	4	348	19,16	127.02	220.98
5	540	16,13	223.02	316.98	5	564	22,18	235.02	328.98
6	528	16,12	217.02	310.98	6	696	19,16,12	301.02	394.98
8	168	20	37.02	130.98	7	168	19	37.02	130.98
9	348	20,22	127.02	220.98	9	180	22	43.02	136.98
10	252	25	79.02	172.98	10	420	19,25	163.02	256.98
11	528	20,22,29	217.02	310.98	11	360	22,29	133.02	226.98
12	756	25,31	331.02	424.98	12	924	19,25,31	415.02	508.98
13	888	25,33,39	397.02	490.98	13	1056	19,25,33,39	481.02	574.98
14	636	25,33	271.02	364.98	14	804	19,25,33	355.02	448.98
15	696	20,22,29,35	301.02	394.98	15	528	22,29,35	217.02	310.98

(ค) โหนดที่ 9 - 12

โหนด 9	ระยะทาง [km]	ชายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 10	ระยะทาง [km]	ชายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
1	1248	21,19,16,6	577.02	670.98	1	924	24,10,4	415.02	508.98
2	1344	21,19,16,12,8	625.02	718.98	2	828	24,8	367.02	460.98
3	1032	21,19,16,12,10	469.02	562.98	3	516	24,10	211.02	304.98
4	528	21,19,16	217.02	310.98	4	432	26,16	169.02	262.98
5	384	18	145.02	238.98	5	792	26,16,13	349.02	442.98
6	876	21,19,16,12	391.02	484.98	6	360	24	133.02	226.98
7	348	21,19	127.02	220.98	7	252	26	79.02	172.98
8	180	21	43.02	136.98	8	420	26,20	163.02	256.98
10	552	29,28	229.02	322.98	9	552	27,30	229.02	322.98
11	180	29	43.02	136.98	11	372	27	139.02	232.98
12	1056	29,28,31	481.02	574.98	12	504	31	205.02	298.98
13	924	29,35,41,39	415.02	508.98	13	636	33,39	271.02	364.98
14	672	29,35,41	289.02	382.98	14	384	33	145.02	238.98
15	348	29,35	127.02	220.98	15	540	27,35	223.02	316.98
โหนด 11	ระยะทาง [km]	ชายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 12	ระยะทาง [km]	ชายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
1	1296	28,24,10,4	601.02	694.98	1	1428	32,24,10,4	667.02	760.98
2	1200	28,24,8	553.02	646.98	2	1332	32,24,8	619.02	712.98
3	888	28,24,10	397.02	490.98	3	1020	32,24,10	463.02	556.98
4	708	30,21,19,16	307.02	400.98	4	936	32,26,16	421.02	514.98
5	564	30,18	235.02	328.98	5	1296	32,26,16,13	601.02	694.98
6	732	28,24	319.02	412.98	6	864	32,24	385.02	478.98
7	528	30,21,19	217.02	310.98	7	756	32,26	331.02	424.98
8	360	30,21	133.02	226.98	8	924	32,26,20	415.02	508.98
9	180	30	43.02	136.98	9	1056	32,27,30	481.02	574.98
10	372	28	139.02	232.98	10	504	32	205.02	298.98
12	876	28,31	391.02	484.98	11	876	32,27	391.02	484.98
13	744	35,41,39	325.02	418.98	13	480	37	193.02	286.98
14	492	35,41	199.02	292.98	14	732	37,40	319.02	412.98
15	168	35	37.02	130.98	15	1044	32,27,35	475.02	568.98

(ง) โหนดที่ 13 - 15

โหนด 13	ระยะทาง [km]	ข่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 14	ระยะทาง [km]	ข่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
1	1560	40,34,24,10,4	733.02	826.98	1	1308	34,24,10,4	607.02	700.98
2	1464	40,34,24,8	685.02	778.98	2	1212	34,24,8	559.02	652.98
3	1152	40,34,24,10	529.02	622.98	3	900	34,24,10	403.02	496.98
4	1068	40,34,26,16	487.02	580.98	4	816	34,26,16	361.02	454.98
5	1308	40,42,36,30,18	607.02	700.98	5	1056	42,36,30,18	481.02	574.98
6	996	40,34,24	451.02	544.98	6	744	34,24	325.02	418.98
7	888	40,34,26	397.02	490.98	7	636	34,26	271.02	364.98
8	1056	40,34,26,20	481.02	574.98	8	804	34,26,20	355.02	448.98
9	924	40,42,36,30	415.02	508.98	9	672	42,36,30	289.02	382.98
10	636	40,34	271.02	364.98	10	384	34	145.02	238.98
11	744	40,42,36	325.02	418.98	11	492	42,36	199.02	292.98
12	480	38	193.02	286.98	12	732	39,38	319.02	412.98
14	252	40	79.02	172.98	13	252	39	79.02	172.98
15	576	40,42	241.02	334.98	15	324	42	115.02	208.98
โหนด 15	ระยะทาง [km]	ข่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R					
1	1464	36,28,24,10,4	685.02	778.98					
2	1368	36,28,24,8	637.02	730.98					
3	1056	36,28,24,10	481.02	574.98					
4	876	36,30,21,19,16	391.02	484.98					
5	732	36,30,18	319.02	412.98					
6	900	36,28,24	403.02	496.98					
7	696	36,30,21,19	301.02	394.98					
8	528	36,30,21	217.02	310.98					
9	348	36,30	127.02	220.98					
10	540	36,28	223.02	316.98					
11	168	36	37.02	130.98					
12	1044	36,28,31	475.02	568.98					
13	576	41,39	241.02	334.98					
14	324	41	115.02	208.98					

2. คำนวณค่า R ซึ่งจะเป็นตัวที่บอกว่าโครงข่ายนี้ต้องการลดขนาดโครงข่ายหรือไม่ จากการคำนวณจากสมการ (3.7) จะได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า R ของโครงข่าย ERNet

โหนดต้นทาง-โหนดปลายทาง	ทราฟฟิก [km]	X_1 [km]	R	โหนดต้นทาง-โหนดปลายทาง	ทราฟฟิก[km]	X_1 [km]	R
1-9	1248	720	-2.04	9-2	1344	180	10.47
1-15	1464	408	6.90	9-12	1056	180	7.41
2-13	1464	468	5.62	10-1	924	360	2.17
3-13	1152	156	8.94	10-5	792	252	3.07
4-3	504	348	-2.04	10-9	552	372	-2.04
4-13	1068	180	7.54	10-13	636	384	-1.40
5-12	1296	360	6.13	11-1	1296	372	5.88
5-13	1308	384	5.75	11-4	708	180	3.70
6-9	876	348	1.92	11-13	744	168	4.34
6-13	996	360	2.94	12-1	1428	504	4.47
7-2	996	180	6.77	12-14	732	480	-2.43
7-13	888	252	4.09	13-1	1560	252	11.24
7-15	696	168	3.83	14-1	1308	384	5.75
8-2	1164	168	8.81	14-5	1056	324	4.34
8-5	564	180	2.17	15-1	1464	168	12.01

* ค่า X_1 คือ ความยาวของข่ายเชื่อมโยงแรกของทราฟฟิก

จากตารางที่ 4.2 จะสรุปได้ว่าค่า R ที่มากที่สุดคือ 12.01 หรือลดขนาดลงมา 12.01 เท่า จึงจะสามารถวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงได้โดยไม่เกิดปัญหาดังหัวข้อ 3.2.2 ตารางที่ 4.3 เป็นตารางแสดงทราฟฟิกและตำแหน่งการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงหลังจากลดขนาดโครงข่ายแล้ว ส่วนรูปที่ 4.3 เป็นภาพโครงข่าย ERNet ที่ลดขนาดโครงข่ายลงมา รูปที่ 4.4 เป็นวิธีการพิจารณาหาตำแหน่งเครื่องส่งยุคเฟสแสง ซึ่งในแต่ละข่ายเชื่อมโยงจะประกอบไปด้วยทราฟฟิกที่เกี่ยวข้องทั้งหมดในโครงข่าย ซึ่งจะต้องดูรูปโครงข่ายประกอบในการพิจารณาด้วย

ตารางที่ 4.3 ทราฟฟิกและระยะทางทั้งหมดของโครงข่ายERNet (ลดขนาดโครงข่าย)

(ก) โหนดที่ 1 - 4

โหนด 1	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง[km]	ข่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 2	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง[km]	ข่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
2	27.98	336	1	-32.99	60.96	1	27.98	336	2	-32.99	60.96
3	33.97	408	3	-29.99	63.96	3	51.96	624	7,10	-21.00	72.95
4	59.95	720	5	-17.00	76.95	4	67.94	816	7,11	-13.00	80.95
5	89.93	1080	5,13	-2.01	91.94	5	97.92	1176	7,11,13	1.98	95.94
6	46.96	564	3,9	-23.50	70.46	6	38.97	468	7	-27.49	66.46
7	74.94	900	5,15	-9.51	84.44	7	82.93	996	7,11,15	-5.51	88.44
8	88.93	1068	5,15,20	-2.51	91.44	8	96.92	1164	7,11,15,20	1.48	95.44
9	103.91	1248	5,15,20,22	4.98	98.93	9	111.91	1344	7,11,15,20,22	8.98	102.93
10	76.94	924	3,9,23	-8.51	85.44	10	68.94	828	7,23	-12.50	81.45
11	107.91	1296	3,9,23,27	6.98	100.93	11	99.92	1200	7,23,27	2.98	96.93
12	118.90	1428	3,9,23,31	12.47	106.43	12	110.91	1332	7,23,31	8.48	102.43
13	129.89	1560	3,9,23,33,39	17.97	111.92	13	121.90	1464	7,23,33,39	13.97	107.93
14	108.91	1308	3,9,23,33	7.48	101.43	14	100.92	1212	7,23,33	3.48	97.43
15	121.90	1464	3,9,23,27,35	13.97	107.93	15	113.91	1368	7,23,27,35	9.98	103.93
โหนด 3	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง[km]	ข่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 4	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง[km]	ข่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
1	33.97	408	4	-29.99	63.96	1	59.95	720	6	-17.00	76.95
2	51.96	624	9,8	-21.00	72.95	2	67.94	816	12,8	-13.00	80.95
4	41.97	504	9,11	-25.99	67.96	3	41.97	504	12,10	-25.99	67.96
5	71.94	864	9,11,13	-11.01	82.95	5	29.98	360	13	-31.99	61.96
6	12.99	156	9	-40.48	53.47	6	28.98	348	12	-32.49	61.46
7	56.95	684	9,11,15	-18.50	75.45	7	14.99	180	15	-39.48	54.47
8	70.94	852	9,11,15,20	-11.51	82.45	8	28.98	348	15,20	-32.49	61.46
9	85.93	1032	9,11,15,20,22	-4.01	89.94	9	43.96	528	15,20,22	-24.99	68.96
10	42.96	516	9,23	-25.49	68.46	10	35.97	432	15,25	-28.99	64.96
11	73.94	888	9,23,27	-10.01	83.95	11	58.95	708	15,20,22,29	-17.50	76.45
12	84.93	1020	9,23,31	-4.51	89.44	12	77.94	936	15,25,31	-8.01	85.94
13	95.92	1152	9,23,33,39	0.98	94.94	13	88.93	1068	15,25,33,39	-2.51	91.44
14	74.94	900	9,23,33	-9.51	84.44	14	67.94	816	15,25,33	-13.00	80.95
15	87.93	1056	9,23,27,35	-3.01	90.94	15	72.94	876	15,20,22,29,35	-10.51	83.45

(ข) โหนดที่ 5 - 8

โหนด 5	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง[km]	ขายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 6	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง[km]	ขายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
1	89.93	1080	14,6	-2.01	91.94	1	46.96	564	10,4	-23.50	70.46
2	97.92	1176	14,12,8	1.98	95.94	2	38.97	468	8	-27.49	66.46
3	71.94	864	14,12,10	-11.01	82.95	3	12.99	156	10	-40.48	53.47
4	29.98	360	14	-31.99	61.96	4	28.98	348	11	-32.49	61.46
6	58.95	708	14,12	-17.50	76.45	5	58.95	708	11,13	-17.50	76.45
7	44.96	540	14,15	-24.49	69.46	7	43.96	528	11,15	-24.99	68.96
8	46.96	564	17,21	-23.50	70.46	8	57.95	696	11,15,20	-18.00	75.95
9	31.97	384	17	-30.99	62.96	9	72.94	876	11,15,20,22	-10.51	83.45
10	65.95	792	14,15,25	-14.00	79.95	10	29.98	360	23	-31.99	61.96
11	46.96	564	17,29	-23.50	70.46	11	60.95	732	23,27	-16.50	77.45
12	107.91	1296	14,15,25,31	6.98	100.93	12	71.94	864	23,31	-11.01	82.95
13	108.91	1308	17,29,35,41,39	7.48	101.43	13	82.93	996	23,33,39	-5.51	88.44
14	87.93	1056	17,29,35,41	-3.01	90.94	14	61.95	744	23,33	-16.00	77.95
15	60.95	732	17,29,35	-16.50	77.45	15	74.94	900	23,27,35	-9.51	84.44
โหนด 7	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง[km]	ขายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 8	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง[km]	ขายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
1	74.94	900	16,6	-9.51	84.44	1	88.93	1068	19,16,6	-2.51	91.44
2	82.93	996	16,12,8	-5.51	88.44	2	96.92	1164	19,16,12,8	1.48	95.44
3	56.95	684	16,12,10	-18.50	75.45	3	70.94	852	19,16,12,10	-11.51	82.45
4	14.99	180	16	-39.48	54.47	4	28.98	348	19,16	-32.49	61.46
5	44.96	540	16,13	-24.49	69.46	5	46.96	564	22,18	-23.50	70.46
6	43.96	528	16,12	-24.99	68.96	6	57.95	696	19,16,12	-18.00	75.95
8	13.99	168	20	-39.98	53.97	7	13.99	168	19	-39.98	53.97
9	28.98	348	20,22	-32.49	61.46	9	14.99	180	22	-39.48	54.47
10	20.98	252	25	-36.48	57.47	10	34.97	420	19,25	-29.49	64.46
11	43.96	528	20,22,29	-24.99	68.96	11	29.98	360	22,29	-31.99	61.96
12	62.95	756	25,31	-15.50	78.45	12	76.94	924	19,25,31	-8.51	85.44
13	73.94	888	25,33,39	-10.01	83.95	13	87.93	1056	19,25,33,39	-3.01	90.94
14	52.96	636	25,33	-20.50	73.45	14	66.94	804	19,25,33	-13.50	80.45
15	57.95	696	20,22,29,35	-18.00	75.95	15	43.96	528	22,29,35	-24.99	68.96

(ค) โหนดที่ 9 - 12

โหนด 9	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง[km]	ชายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 10	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง[km]	ชายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
1	103.91	1248	21,19,16,6	4.98	98.93	1	76.94	924	24,10,4	-8.51	85.44
2	111.91	1344	21,19,16,12,8	8.98	102.93	2	68.94	828	24,8	-12.50	81.45
3	85.93	1032	21,19,16,12,10	-4.01	89.94	3	42.96	516	24,10	-25.49	68.46
4	43.96	528	21,19,16	-24.99	68.96	4	35.97	432	26,16	-28.99	64.96
5	31.97	384	18	-30.99	62.96	5	65.95	792	26,16,13	-14.00	79.95
6	72.94	876	21,19,16,12	-10.51	83.45	6	29.98	360	24	-31.99	61.96
7	28.98	348	21,19	-32.49	61.46	7	20.98	252	26	-36.48	57.47
8	14.99	180	21	-39.48	54.47	8	34.97	420	26,20	-29.49	64.46
10	45.96	552	29,28	-24.00	69.96	9	45.96	552	27,30	-24.00	69.96
11	14.99	180	29	-39.48	54.47	11	30.97	372	27	-31.49	62.46
12	87.93	1056	29,28,31	-3.01	90.94	12	41.97	504	31	-25.99	67.96
13	76.94	924	29,35,41,39	-8.51	85.44	13	52.96	636	33,39	-20.50	73.45
14	55.95	672	29,35,41	-19.00	74.95	14	31.97	384	33	-30.99	62.96
15	28.98	348	29,35	-32.49	61.46	15	44.96	540	27,35	-24.49	69.46
โหนด 11	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง[km]	ชายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 12	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง[km]	ชายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
1	107.91	1296	28,24,10,4	6.98	100.93	1	118.90	1428	32,24,10,4	12.47	106.43
2	99.92	1200	28,24,8	2.98	96.93	2	110.91	1332	32,24,8	8.48	102.43
3	73.94	888	28,24,10	-10.01	83.95	3	84.93	1020	32,24,10	-4.51	89.44
4	58.95	708	30,21,19,16	-17.50	76.45	4	77.94	936	32,26,16	-8.01	85.94
5	46.96	564	30,18	-23.50	70.46	5	107.91	1296	32,26,16,13	6.98	100.93
6	60.95	732	28,24	-16.50	77.45	6	71.94	864	32,24	-11.01	82.95
7	43.96	528	30,21,19	-24.99	68.96	7	62.95	756	32,26	-15.50	78.45
8	29.98	360	30,21	-31.99	61.96	8	76.94	924	32,26,20	-8.51	85.44
9	14.99	180	30	-39.48	54.47	9	87.93	1056	32,27,30	-3.01	90.94
10	30.97	372	28	-31.49	62.46	10	41.97	504	32	-25.99	67.96
12	72.94	876	28,31	-10.51	83.45	11	72.94	876	32,27	-10.51	83.45
13	61.95	744	35,41,39	-16.00	77.95	13	39.97	480	37	-26.99	66.96
14	40.97	492	35,41	-26.49	67.46	14	60.95	732	37,40	-16.50	77.45
15	13.99	168	35	-39.98	53.97	15	86.93	1044	32,27,35	-3.51	90.44

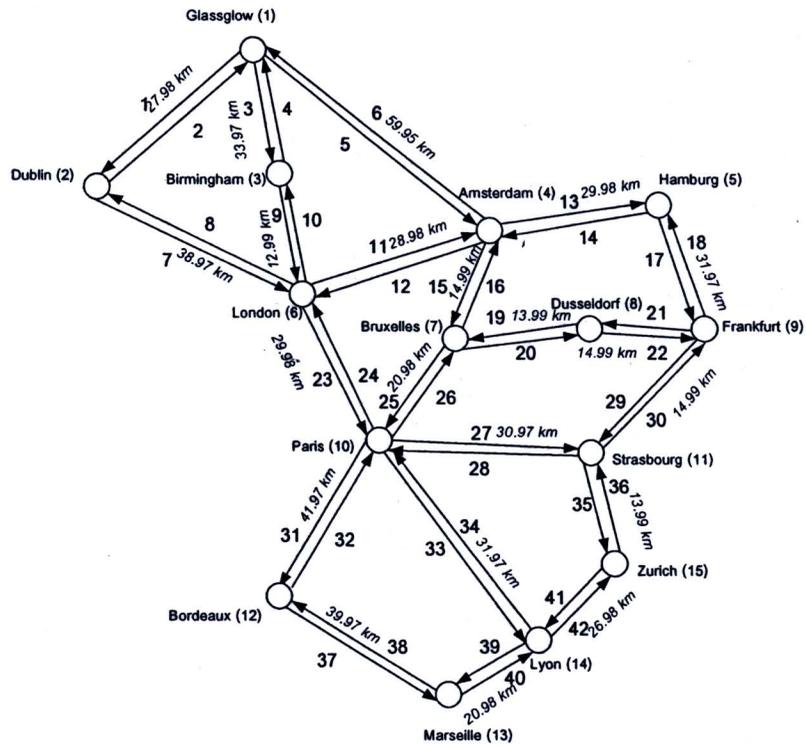
(ง) โหนดที่ 13 - 15

โหนด	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง[km]	ข่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง[km]	ข่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
1	129.89	1560	40,34,24,10,4	17.97	111.92	1	108.91	1308	34,24,10,4	7.48	101.43
2	121.90	1464	40,34,24,8	13.97	107.93	2	100.92	1212	34,24,8	3.48	97.43
3	95.92	1152	40,34,24,10	0.98	94.94	3	74.94	900	34,24,10	-9.51	84.44
4	88.93	1068	40,34,26,16	-2.51	91.44	4	67.94	816	34,26,16	-13.00	80.95
5	108.91	1308	40,42,36,30,18	7.48	101.43	5	87.93	1056	42,36,30,18	-3.01	90.94
6	82.93	996	40,34,24	-5.51	88.44	6	61.95	744	34,24	-16.00	77.95
7	73.94	888	40,34,26	-10.01	83.95	7	52.96	636	34,26	-20.50	73.45
8	87.93	1056	40,34,26,20	-3.01	90.94	8	66.94	804	34,26,20	-13.50	80.45
9	76.94	924	40,42,36,30	-8.51	85.44	9	55.95	672	42,36,30	-19.00	74.95
10	52.96	636	40,34	-20.50	73.45	10	31.97	384	34	-30.99	62.96
11	61.95	744	40,42,36	-16.00	77.95	11	40.97	492	42,36	-26.49	67.46
12	39.97	480	38	-26.99	66.96	12	60.95	732	39,38	-16.50	77.45
14	20.98	252	40	-36.48	57.47	13	20.98	252	39	-36.48	57.47
15	47.96	576	40,42	-23.00	70.96	15	26.98	324	42	-33.49	60.46
โหนด	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง[km]	ข่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R						
1	121.90	1464	36,28,24,10,4	13.97	107.93						
2	113.91	1368	36,28,24,8	9.98	103.93						
3	87.93	1056	36,28,24,10	-3.01	90.94						
4	72.94	876	36,30,21,19,16	-10.51	83.45						
5	60.95	732	36,30,18	-16.50	77.45						
6	74.94	900	36,28,24	-9.51	84.44						
7	57.95	696	36,30,21,19	-18.00	75.95						
8	43.96	528	36,30,21	-24.99	68.96						
9	28.98	348	36,30	-32.49	61.46						
10	44.96	540	36,28	-24.49	69.46						
11	13.99	168	36	-39.98	53.97						
12	86.93	1044	36,28,31	-3.51	90.44						
13	47.96	576	41,39	-23.00	70.96						
14	26.98	324	41	-33.49	60.46						

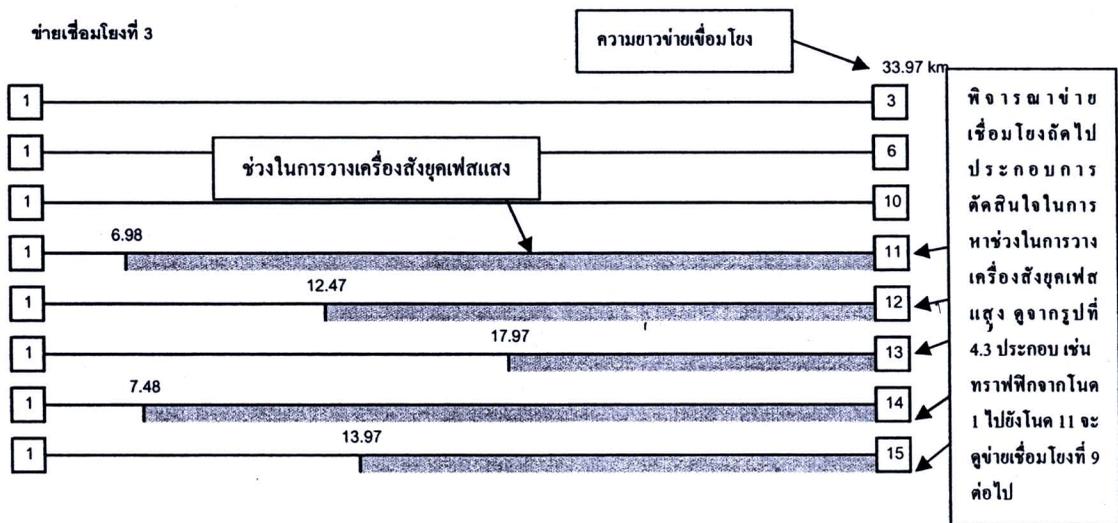
ค่าที่อยู่ในตารางในช่อง OPC_L และ OPC_R ที่เป็นสีเทาเช่น ทราฟฟิกจากโหนด 15 ไปยังโหนด 3 นั้น ค่าในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงจะอยู่ในช่วงนอกความยาวทราฟฟิก หมายถึงช่วงในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงนั้นวางตรงไหนก็ได้ตลอดทราฟฟิก หรือในอีกความหมายก็คือ ทราฟฟิกนั้นไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องส่งยุคเฟสแสงเพราะ ระยะทางที่มากที่สุดที่จะต้องใช้เครื่องส่งยุคเฟสแสงแล้วดิสเพอร์ชันสะสมที่ปลายทางไม่เกิน 1600 ps/nm ก็คือ

$$\frac{1600}{17.03} = 93.95 \text{ km} \quad (4.2)$$

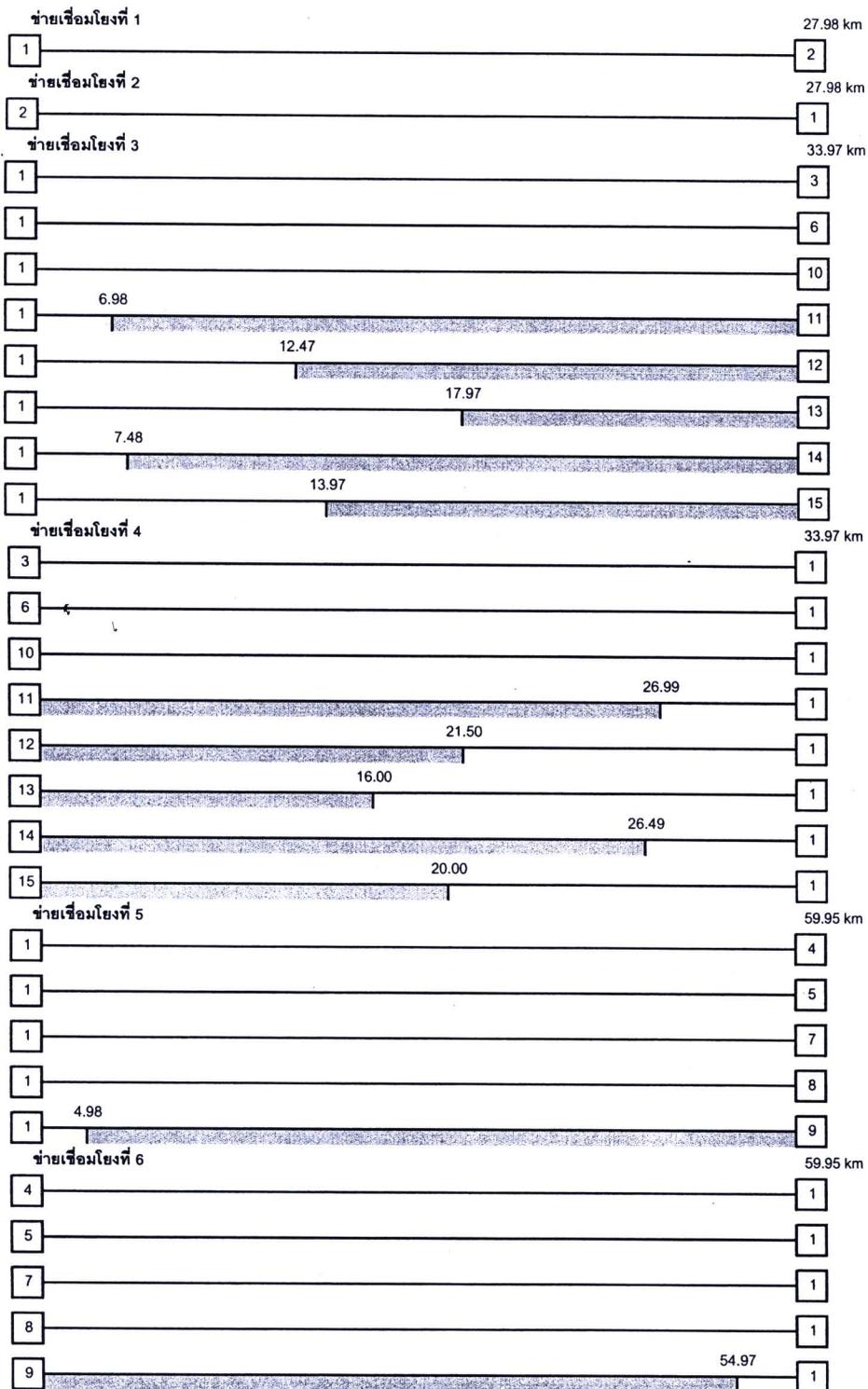
ดังนั้นถ้าทราฟฟิกไหนมีระยะทางไม่เกิน 93.95 km ก็แสดงว่าไม่จำเป็นต้องมีเครื่องส่งยุคเฟสแสงก็ได้ ในรูปที่ 4.5 จะไม่แสดงช่วงในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงที่ทราฟฟิกกระยะทางไม่เกิน 93.95 km เพื่อสะดวกในการคำนวณหาช่วงในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง และใช้วิธีพิจารณาเช่นเดียวกับบทที่ 3



รูปที่ 4.3 โครงข่าย ERNet ที่ได้รับการลดขนาดลงมา

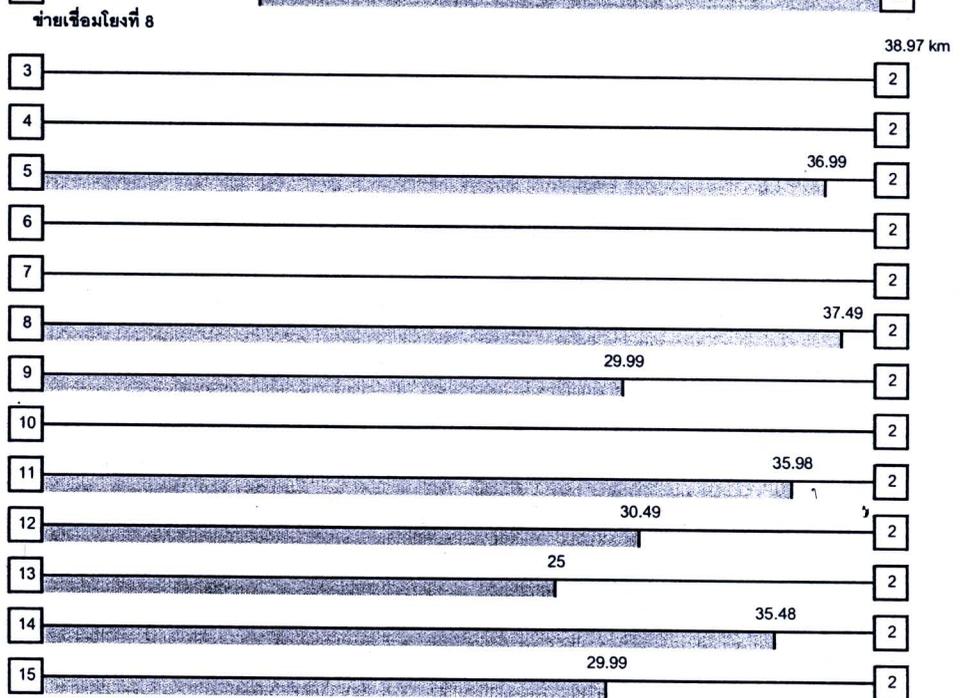
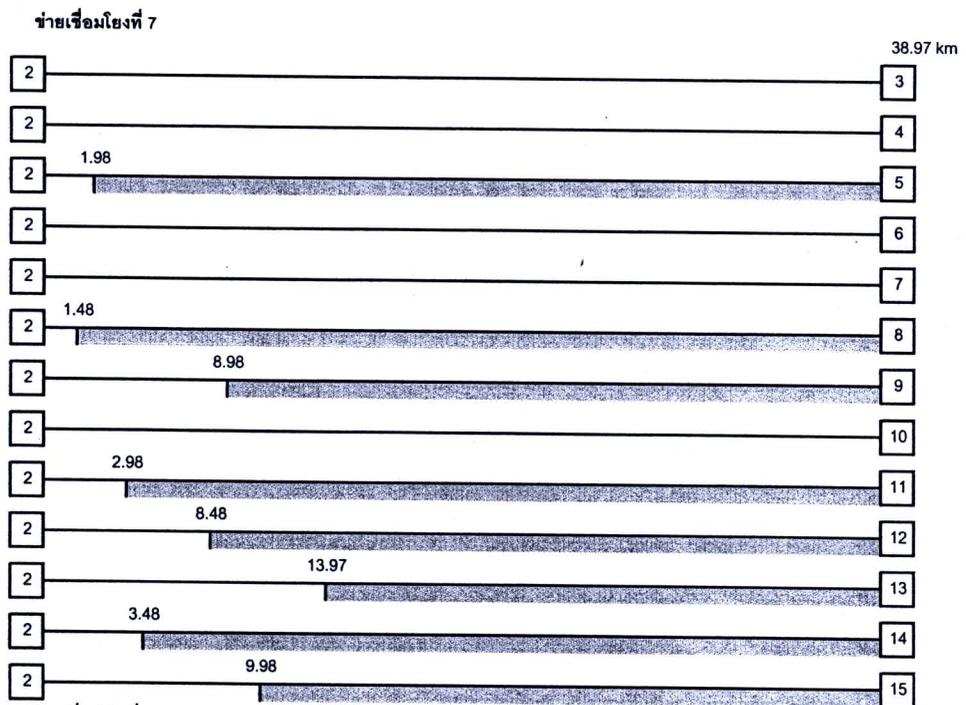


รูปที่ 4.4 วิธีการพิจารณาข่ายเชื่อมโยง



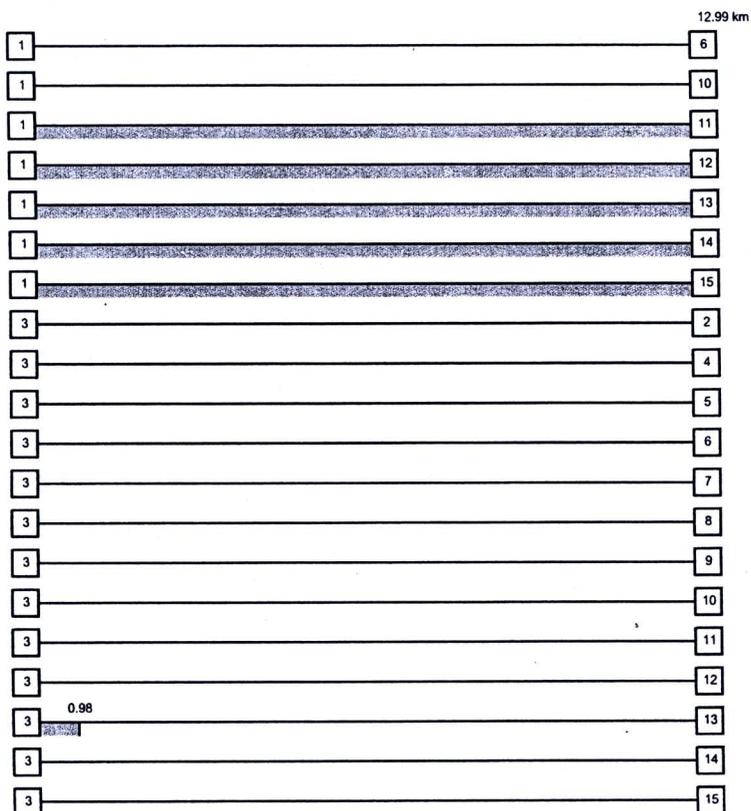
(ก) ข่ายเชื่อมโยงที่ 1-6

รูปที่ 4.5 ทราฟฟิกและตำแหน่งของเครื่องส่งยุคเฟสแสงของโครงข่าย ERNet

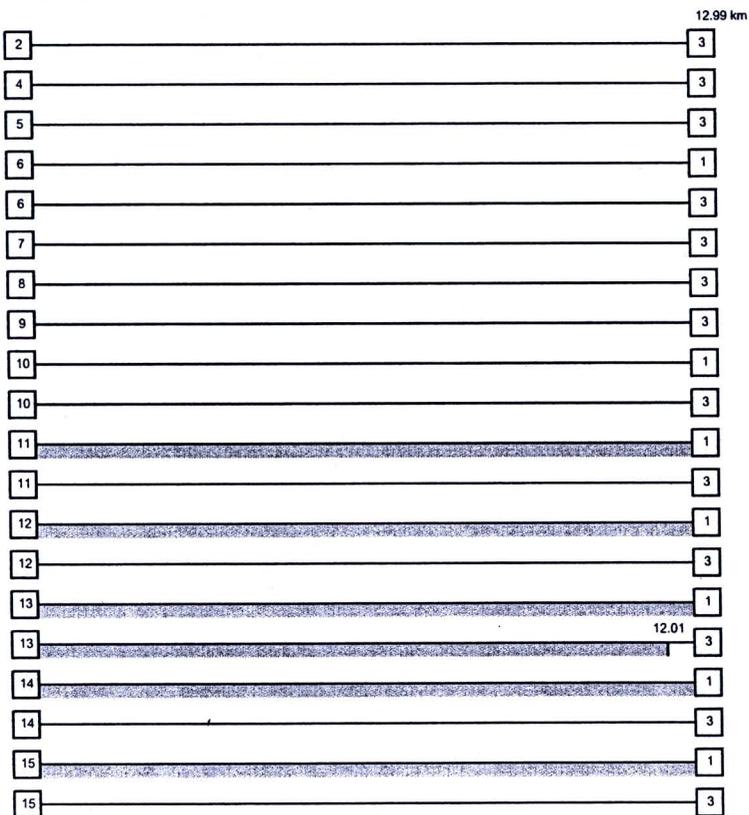


(๗) ข่ายเชื่อมโยงที่ 7-8

ข่ายเชื่อมโยงที่ 9

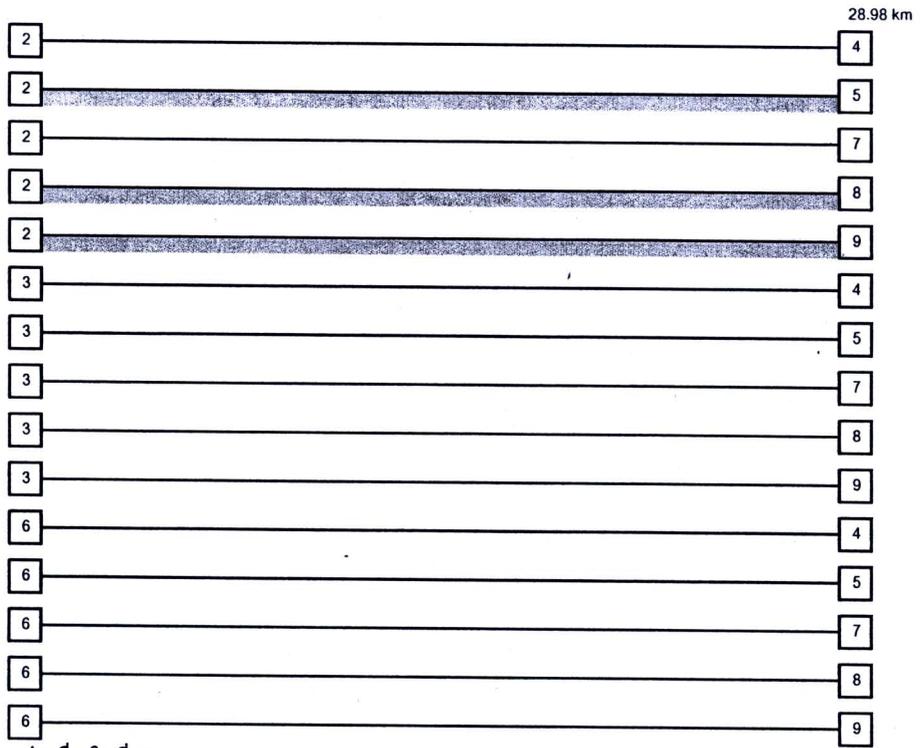


ข่ายเชื่อมโยงที่ 10



(ค) ข่ายเชื่อมโยงที่ 9-10

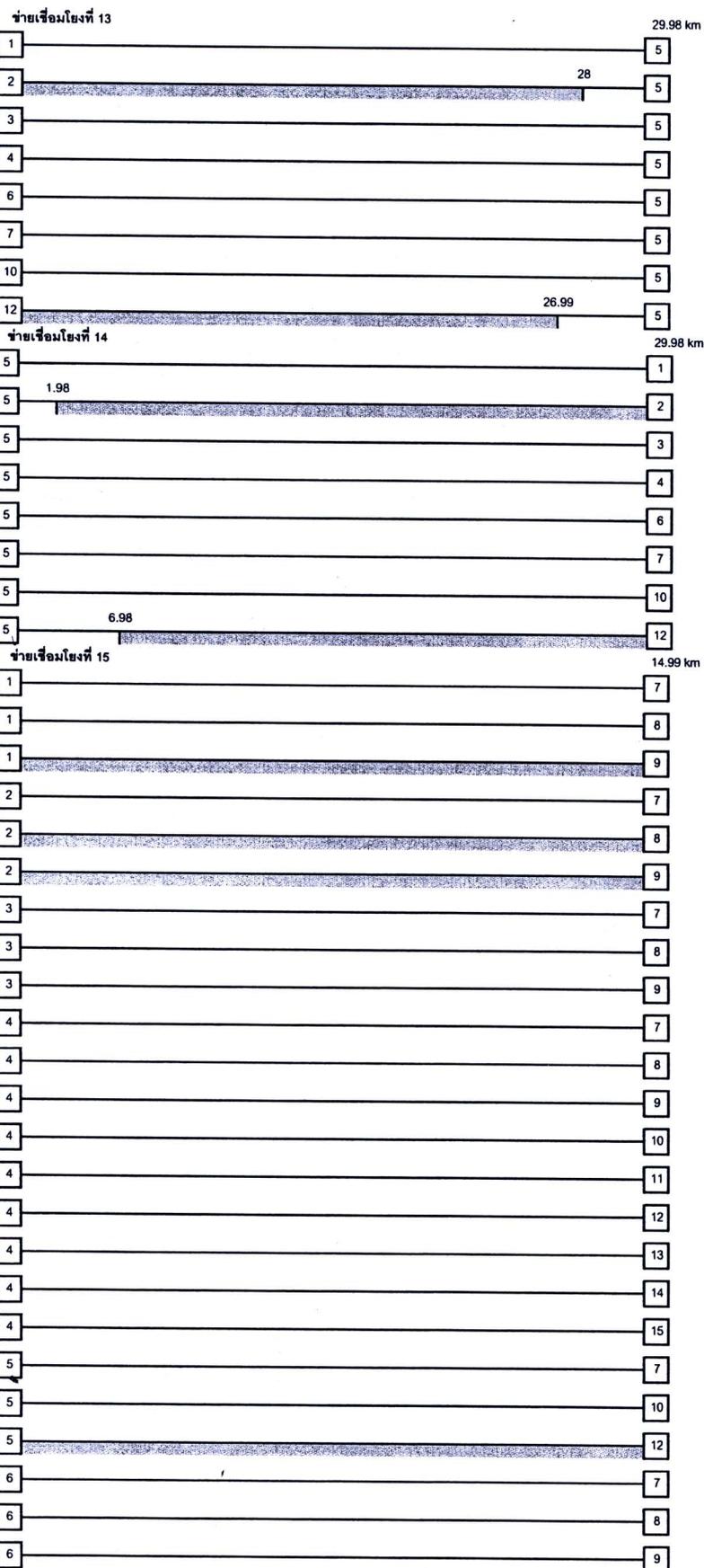
ข่ายเชื่อมโยงที่ 11



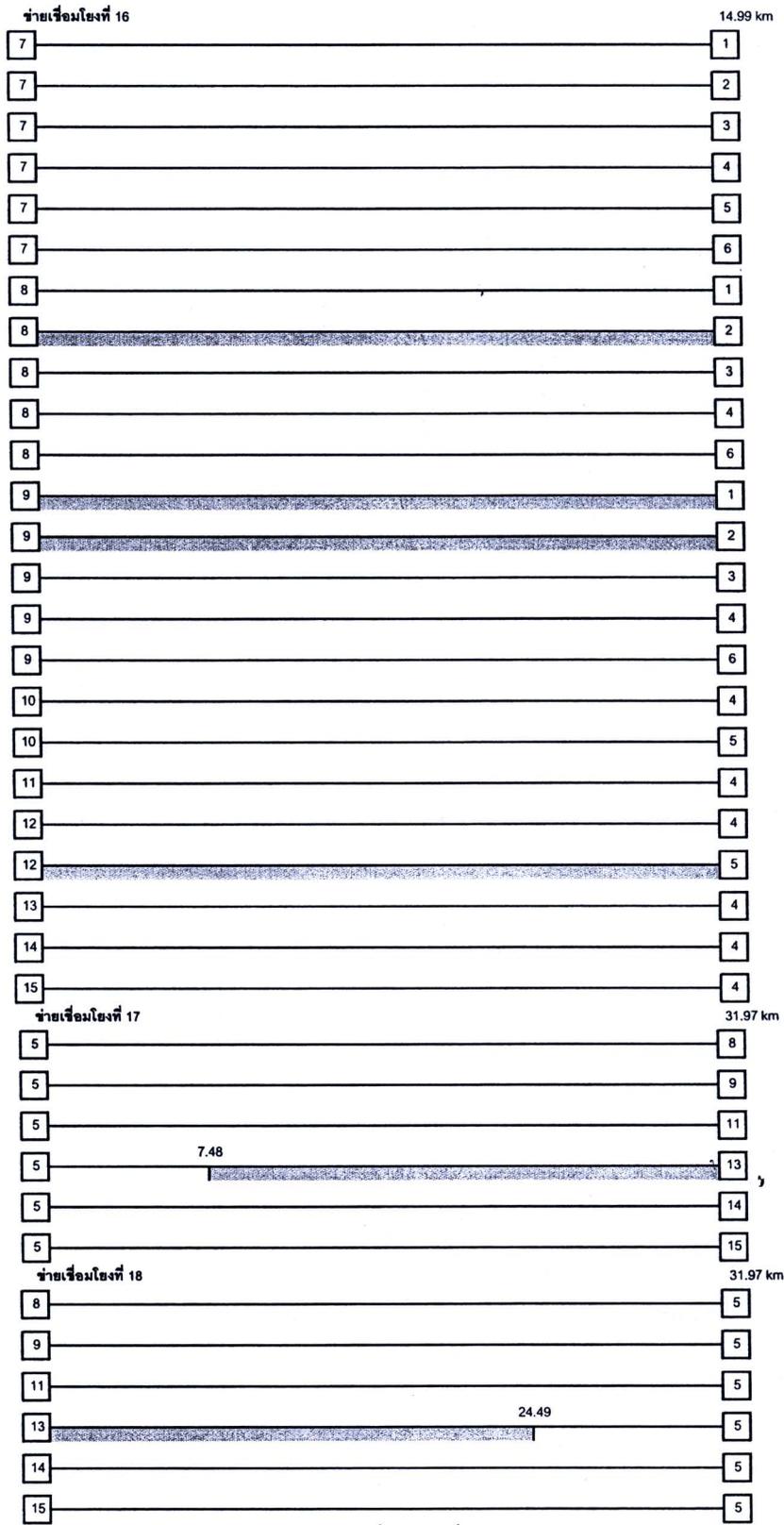
ข่ายเชื่อมโยงที่ 12



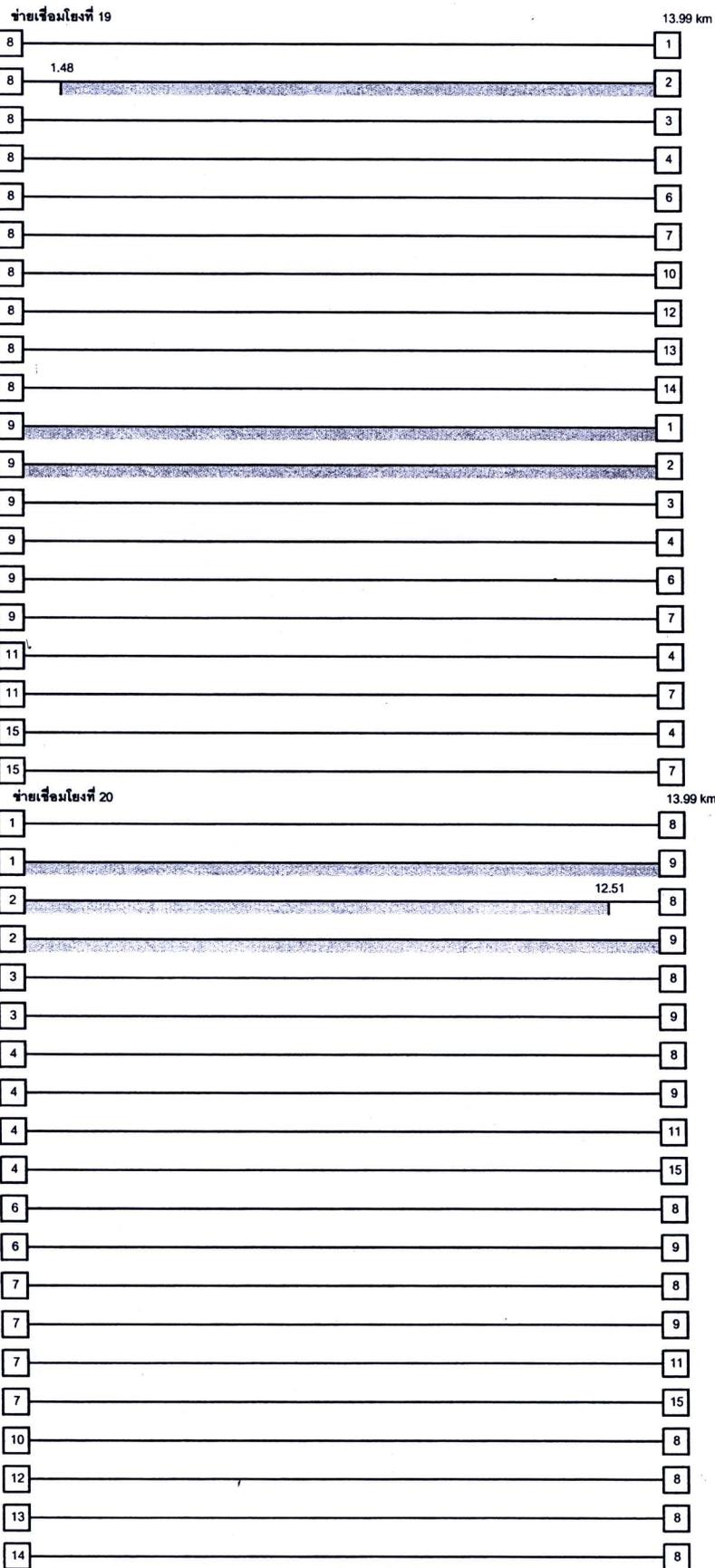
(ง) ข่ายเชื่อมโยงที่ 11-12



(จ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 13-15

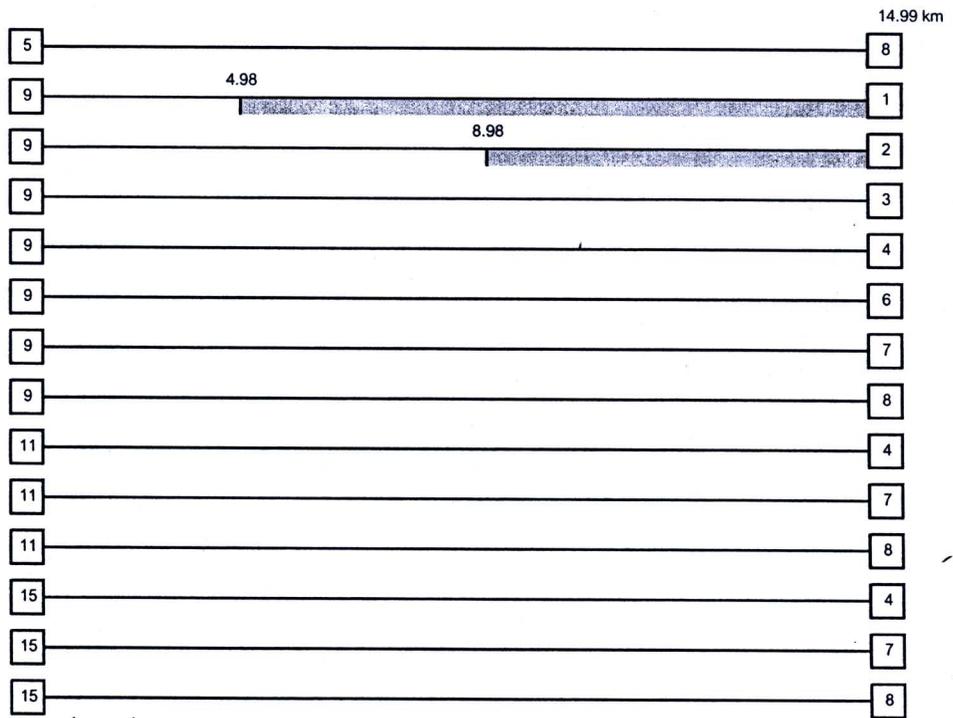


(จ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 16-18

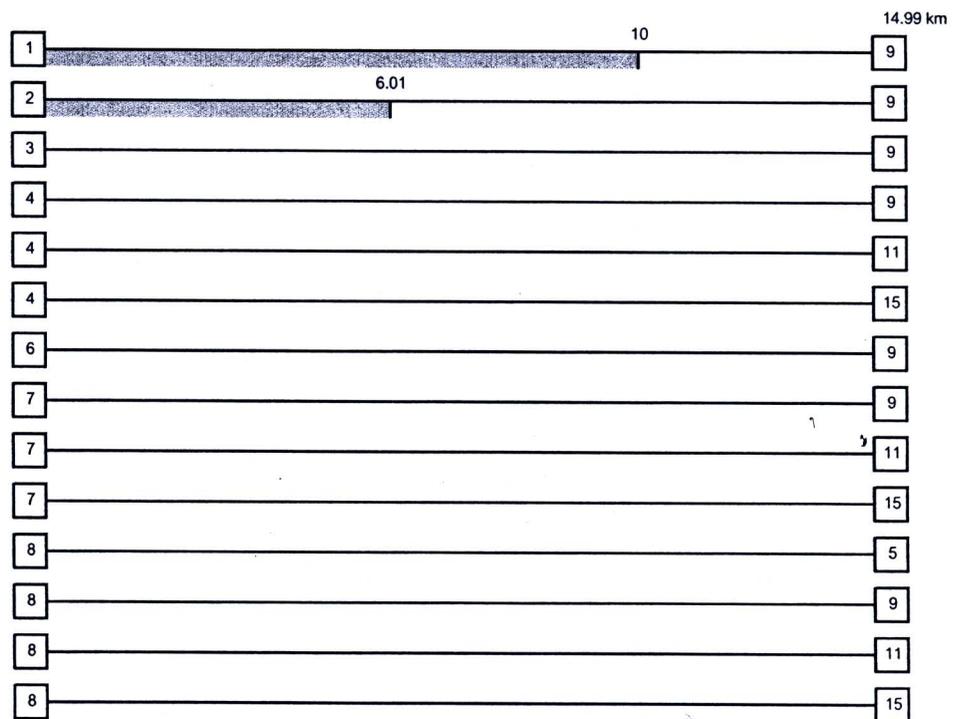


(ข) ข่ายเชื่อมโยงที่ 19-20

ข่ายเชื่อมโยงที่ 21



ข่ายเชื่อมโยงที่ 22



(ข) ข่ายเชื่อมโยงที่ 21-22

ข่ายเชื่อมโยงที่ 23

29.98 km

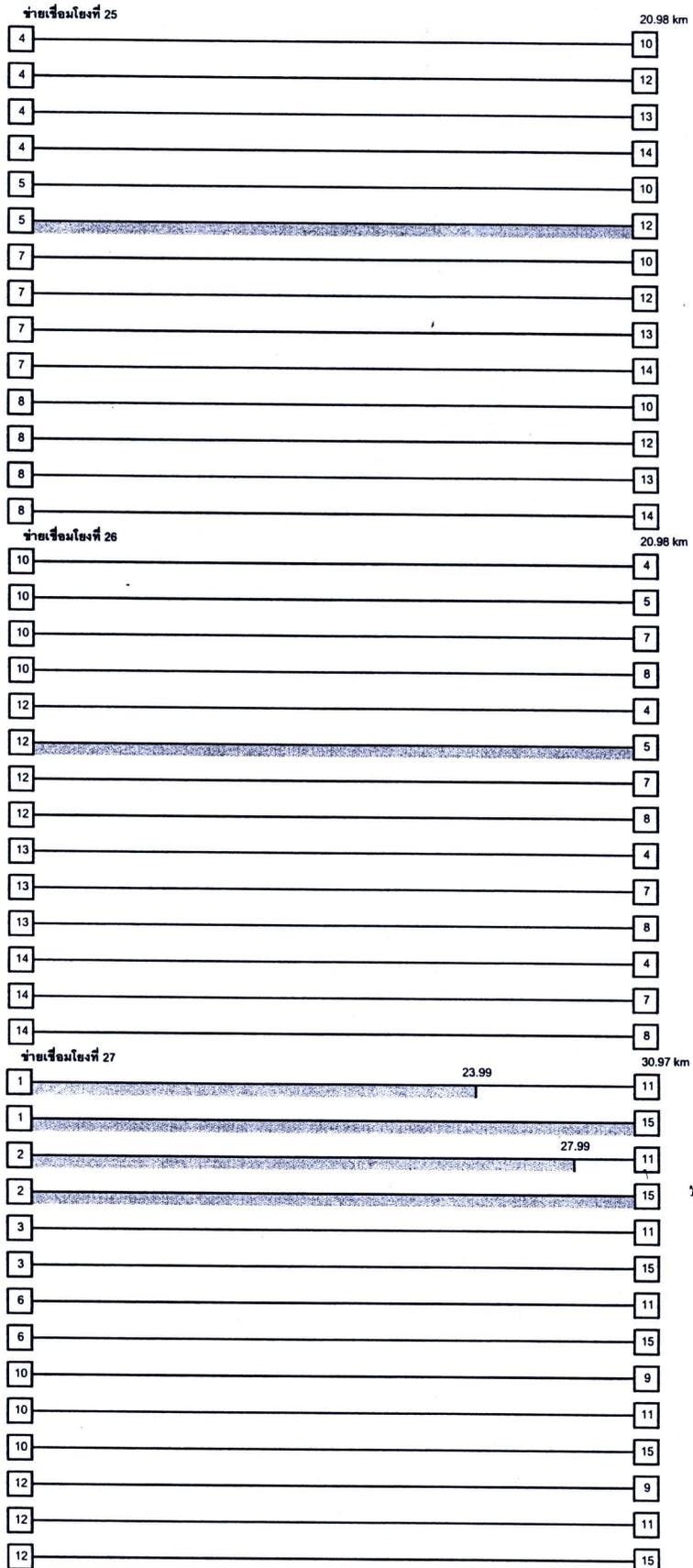
1	10
1	11
1	12
1	13
1	14
1	15
2	10
2	11
2	12
2	13
2	14
2	15
3	10
3	11
3	12
3	13
3	14
3	15
6	10
6	11
6	12
6	13
6	14
6	15

ข่ายเชื่อมโยงที่ 24

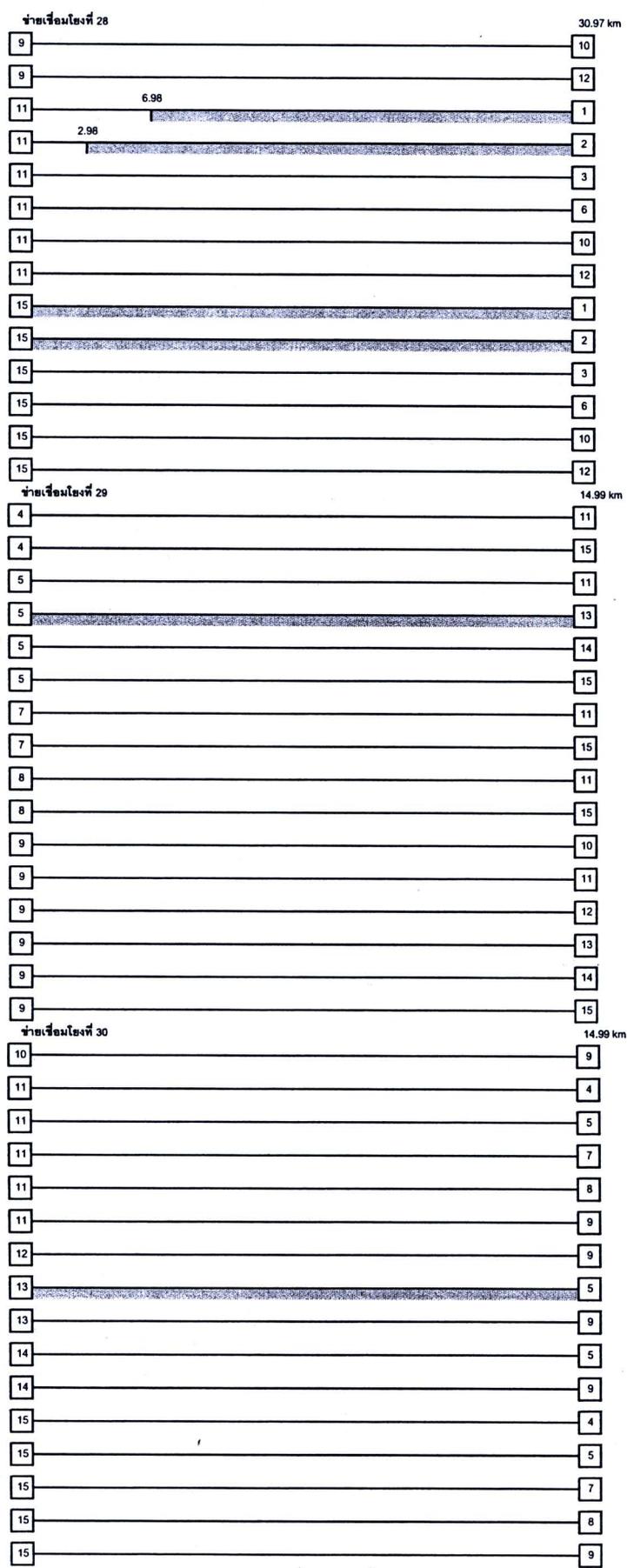
29.98 km

10	1
10	2
10	3
10	6
11	1
11	2
11	3
11	6
12	1
12	2
12	3
12	6
13	1
13	2
13	3
13	6
14	1
14	2
14	3
14	6
15	1
15	2
15	3
15	6

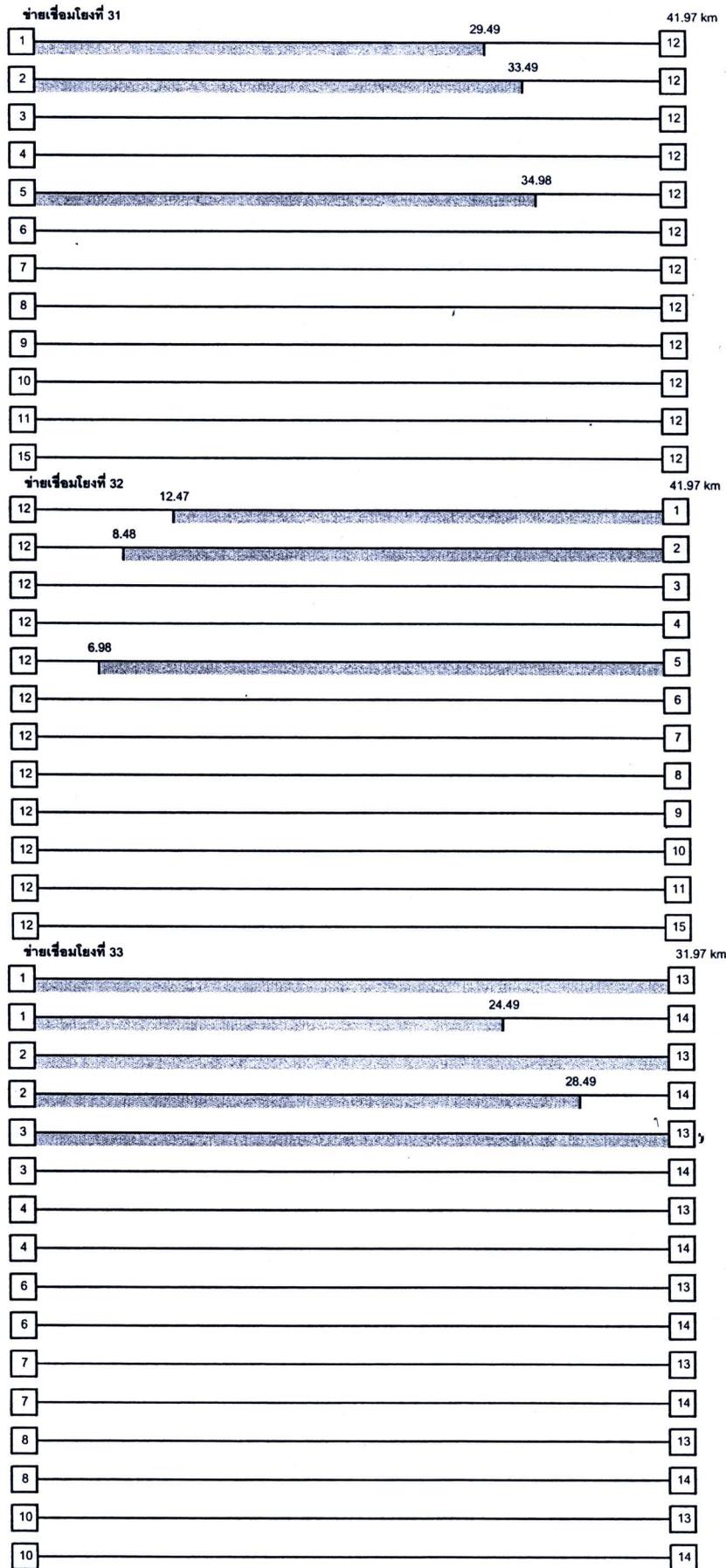
(ณ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 23-24



(ญ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 25-27



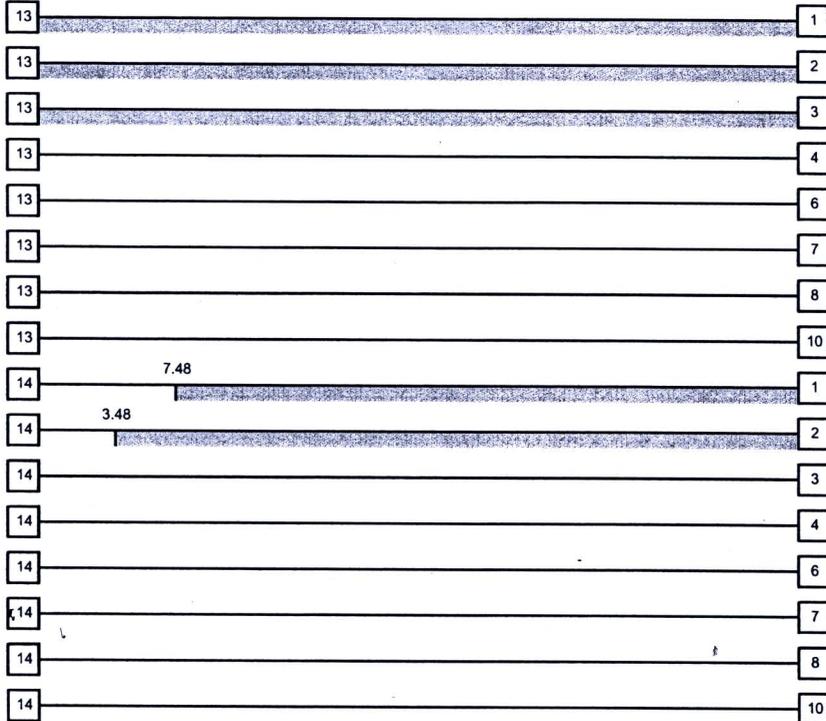
(ฎ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 28-30



(ฎ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 31-33

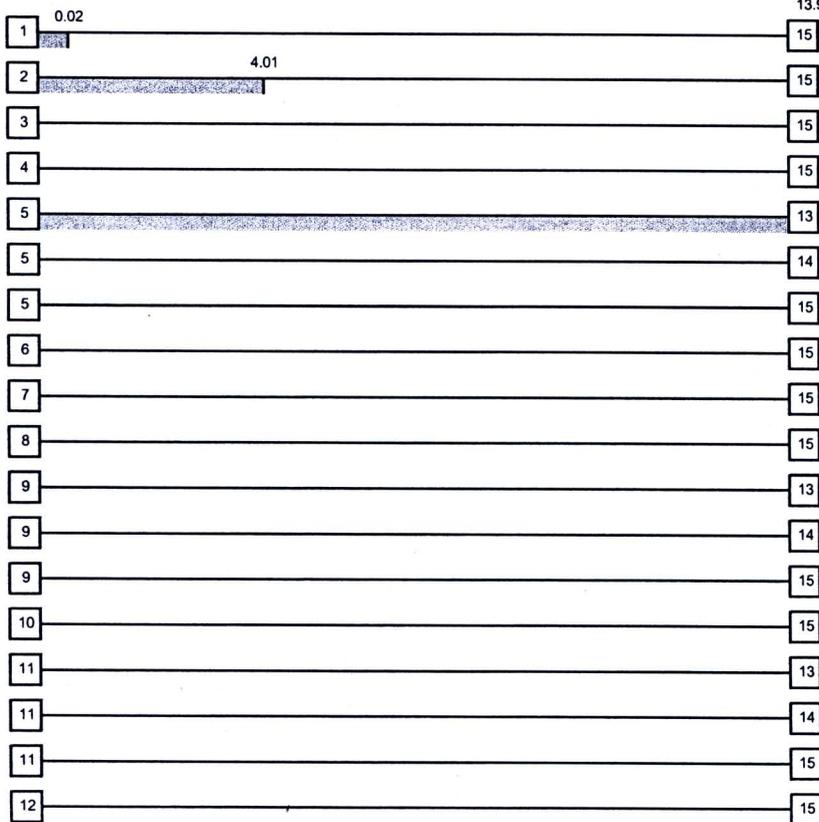
ข่ายเชื่อมโยงที่ 34

31.97 km



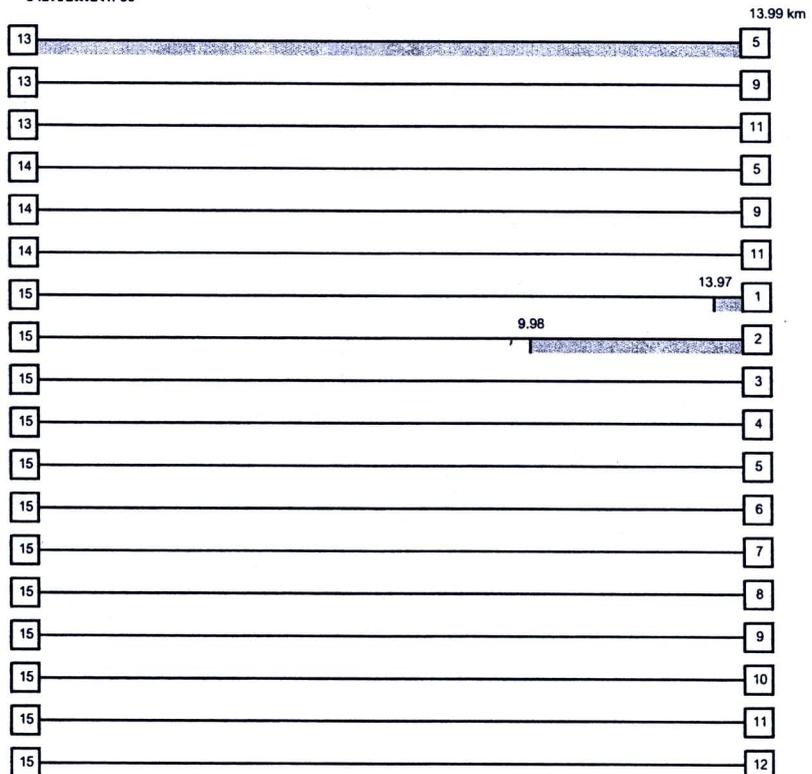
ข่ายเชื่อมโยงที่ 35

13.99 km

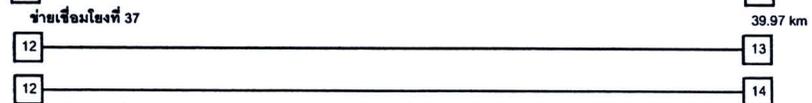


(รูป) ข่ายเชื่อมโยงที่ 34-35

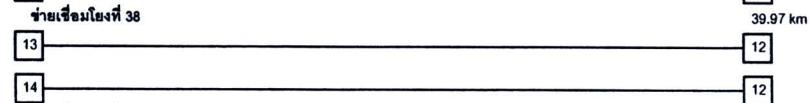
ข่ายเชื่อมโยงที่ 36



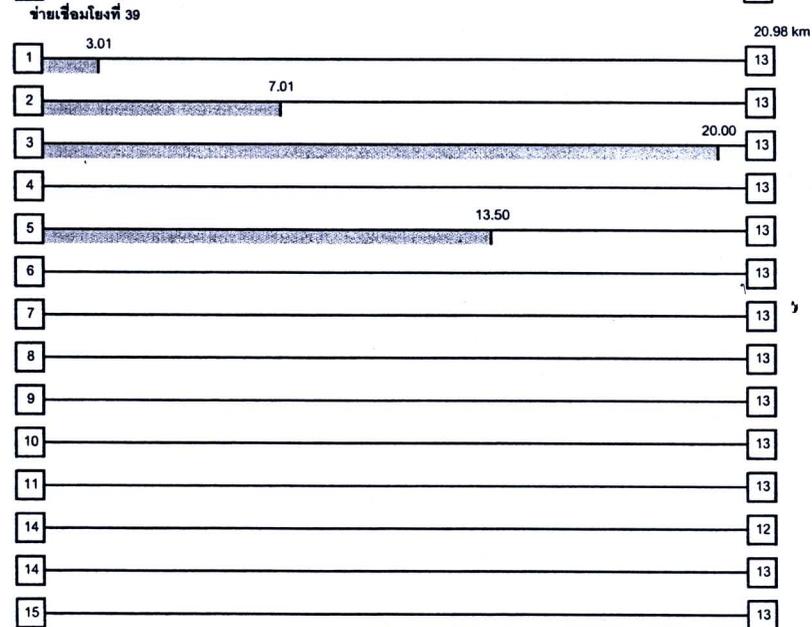
ข่ายเชื่อมโยงที่ 37



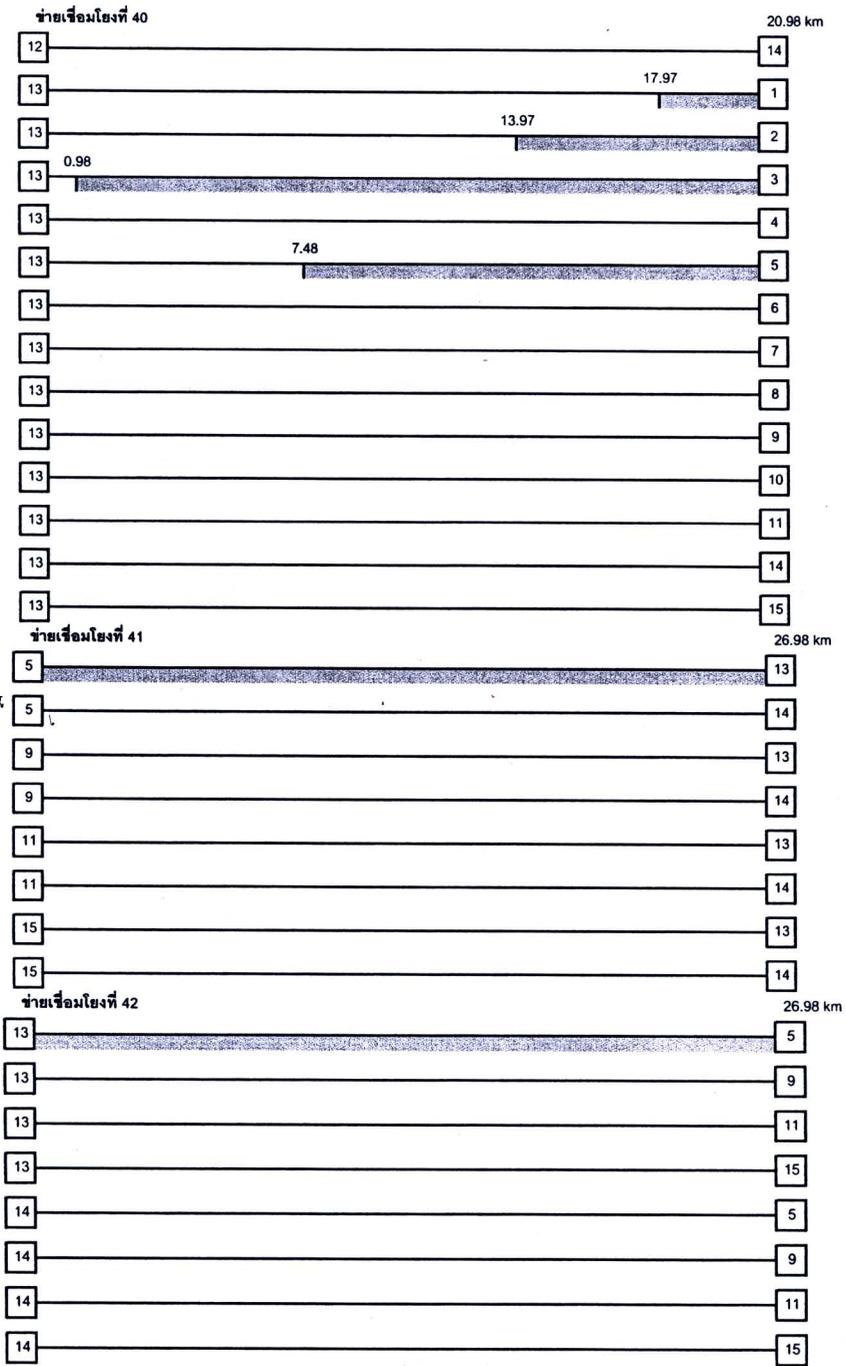
ข่ายเชื่อมโยงที่ 38



ข่ายเชื่อมโยงที่ 39



(จ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 36-39



(ตม) ข่ายเชื่อมโยงที่ 37-42

3. พิจารณาหาตำแหน่งวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง จากรูปที่ 4.5(ก)-(ค) และตารางที่ 4.3 จะนำมาพิจารณาหาตำแหน่งของเครื่องส่งยุคเฟสแสงได้ โดยจะพิจารณาเป็นขั้นๆ ดังนี้

1. หาจำนวนทราฟฟิกในแต่ละข่ายเชื่อมโยง ดูว่าข่ายไหนมีจำนวนทราฟฟิก (แถบสีเทา) มากที่สุด พิจารณาข่ายเชื่อมโยงนั้นเป็นอันดับแรก ในที่นี้ก็คือข่ายเชื่อมโยงที่ 23 และ 24 มีทั้งหมด 11 ทราฟฟิก

2. หาช่วงในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงจากข่ายเชื่อมโยงที่หาได้จากข้อ 1. จากรูปที่ 4.5(ข) จะได้ตำแหน่งเครื่องส่งยุคเฟสแสงจากการซ้อนทับ เท่ากับ 0 – 29.98 km

3. ให้ตัดทราฟฟิกที่มีความเกี่ยวข้องกับข่ายเชื่อมโยงที่พิจารณาในข้อ 1. และข้อ 2. ข่ายเชื่อมโยงที่ 23 จะเชื่อมโยงกับข่ายเชื่อมโยงที่ 3 (5ทราฟฟิก) 7 (8 ทราฟฟิก) 9 (6 ทราฟฟิก) 27 (4 ทราฟฟิก) 31 (3 ทราฟฟิก) 33 (5 ทราฟฟิก) 35 (3 ทราฟฟิก) 39 (4 ทราฟฟิก) หลังจากตัดทราฟฟิกที่เกี่ยวข้องกับข่ายเชื่อมโยงที่ 23 แล้ว แต่ละข่ายจะเหลือทราฟฟิกที่ต้องพิจารณาต่อไป ดังนี้

ข่ายเชื่อมโยงที่ 3 เหลือทราฟฟิก = 5 – 5 = 0 ทราฟฟิก

ข่ายเชื่อมโยงที่ 7 เหลือทราฟฟิก = 8 – 5 = 3 ทราฟฟิก

ข่ายเชื่อมโยงที่ 9 เหลือทราฟฟิก = 6 – 6 = 0 ทราฟฟิก

ข่ายเชื่อมโยงที่ 27 เหลือทราฟฟิก = 4 – 4 = 0 ทราฟฟิก

ข่ายเชื่อมโยงที่ 31 เหลือทราฟฟิก = 3 – 2 = 1 ทราฟฟิก

ข่ายเชื่อมโยงที่ 33 เหลือทราฟฟิก = 5 – 5 = 0 ทราฟฟิก

ข่ายเชื่อมโยงที่ 35 เหลือทราฟฟิก = 3 – 2 = 1 ทราฟฟิก

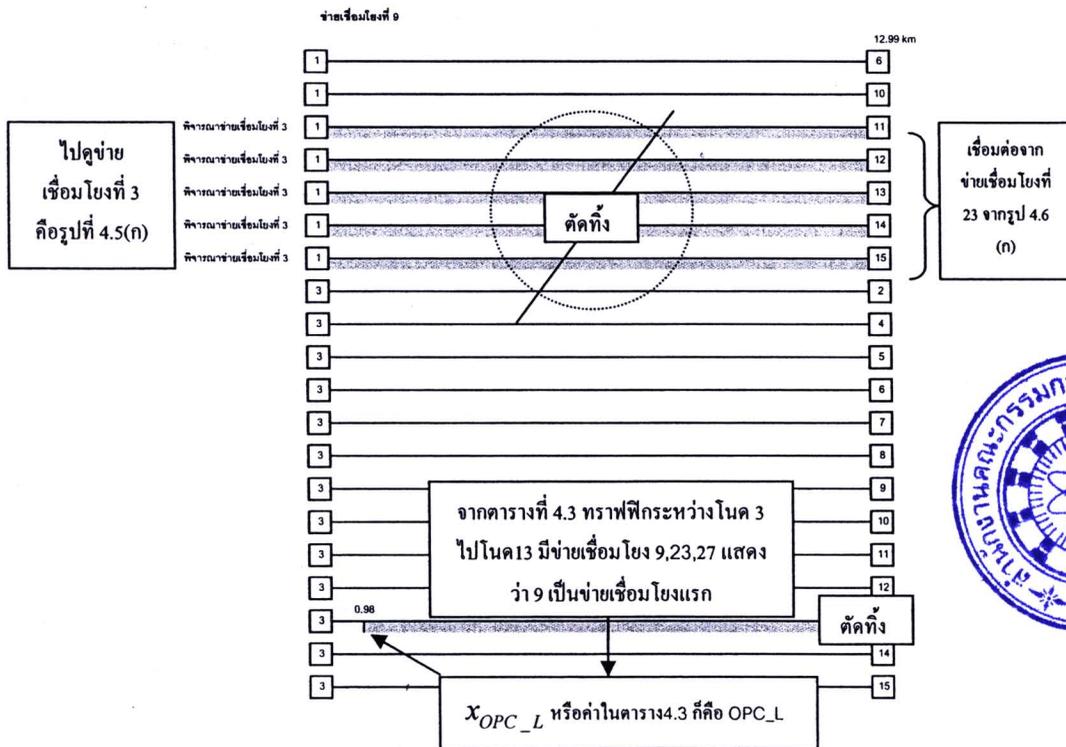
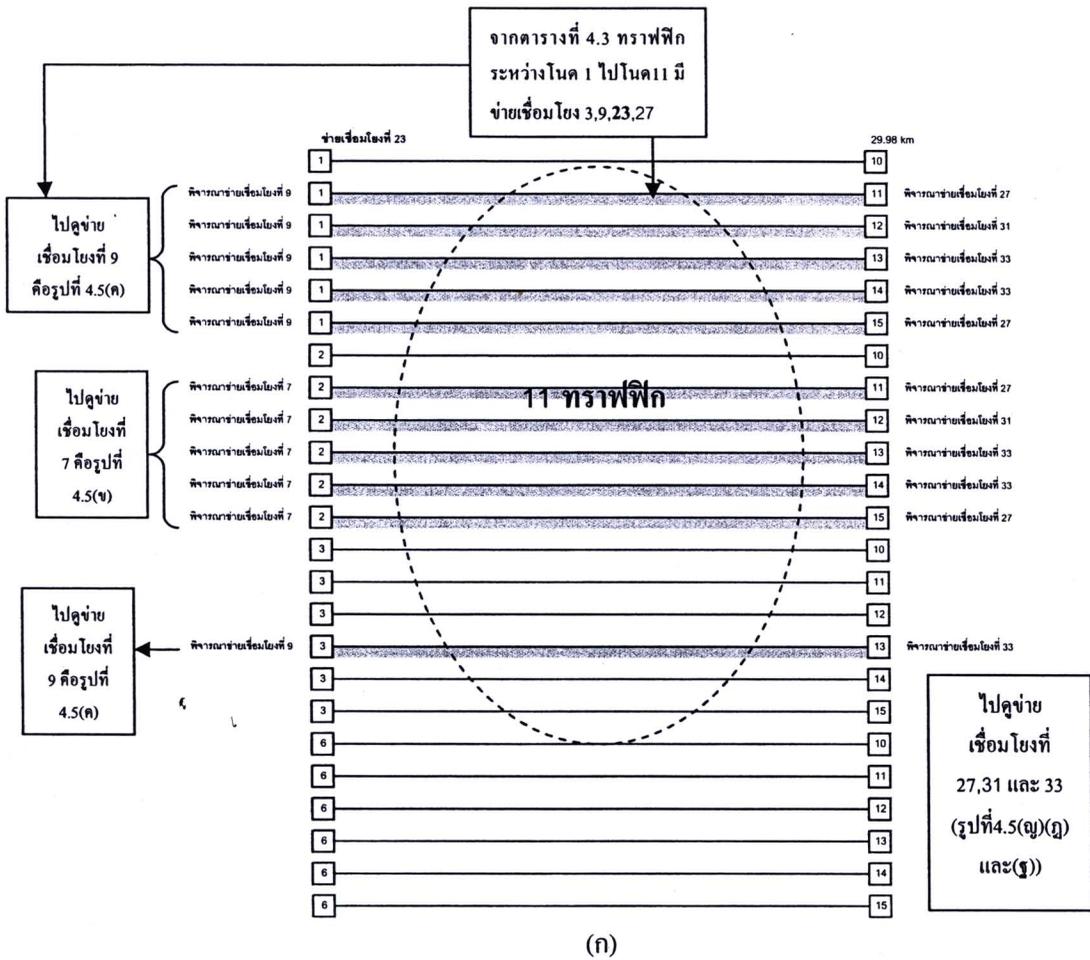
ข่ายเชื่อมโยงที่ 39 เหลือทราฟฟิก = 4 – 3 = 1 ทราฟฟิก

ข่ายเชื่อมโยงที่ยังเหลือทราฟฟิก จะนำไปพิจารณาต่อไป ให้ทำเช่นเดียวกันกับข่ายเชื่อมโยงที่ 24 จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 ประกอบ

4. หลังจากทำข้อ 3. เสร็จแล้ว ให้พิจารณาข่ายเชื่อมโยงที่มีทราฟฟิกเหลือมากที่สุดข่ายต่อไป และทำซ้ำข้อ 1. ถึงข้อ 3. ซึ่งก็คือข่ายเชื่อมโยงที่ 15 และ 16

5. ถ้าเหลือทราฟฟิกเท่ากันในทุกข่ายเชื่อมโยงที่เหลือ ให้พิจารณาโดยยึดหลักที่ว่า

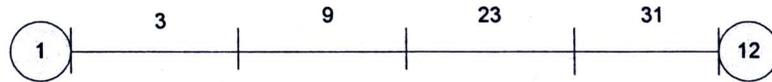
5.1 พิจารณาทราฟฟิกที่ยังไม่ได้วางเครื่องส่งยุคเฟสแสงแต่ยังมีผลจากดิสเพอร์ชัน ซึ่งก็คือ ทราฟฟิกที่ไม่ได้มีข่ายเชื่อมโยงที่ 23 ข่ายเชื่อมโยงที่ 24 ข่ายเชื่อมโยงที่ 15 และข่ายเชื่อมโยงที่ 16 โดยตำแหน่งเครื่องส่งยุคเฟสแสงที่ได้มาคือ ข่ายเชื่อมโยงที่ 23 และ 24 (0-29.98 km) ข่ายเชื่อมโยงที่ 15 และ 16 (0 -14.99 km) ให้เอาผลที่ได้ไปดูในตารางที่ 4.3 แล้วดูว่า ทราฟฟิกไหนที่ไม่มีข่ายเชื่อมโยงที่ 15, 16 ,23 และ 24 ประกอบ ให้พิจารณาข่ายนั้น ในที่นี้ก็คือทราฟฟิกจากโนด 2 ไปโนด 5, โนด 5 ไปโนด 2, โนด 5 ไปโนด 13, และ โนด 13 ไปโนด 5



รูปที่ 4.6 วิธีการคิดช่วงในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง



โนด	ข่ายเชื่อมโยง [km]
12	3,9,23,31



รูปที่ 4.7 วิธีการดูข่ายเชื่อมโยงในตาราง

5.2 พิจารณาข่ายเชื่อมโยงที่ยังคงไม่ได้คิดพิจารณาจากข้อ 1 – 4 หรือข่ายเชื่อมโยงที่ยังไม่ได้ทำการตัดทิ้งจากข้อ 1-4 ซึ่งในที่นี้ก็คือข่ายเชื่อมโยงที่ 29, 30, 41 และ 42 ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาค่าดิสเพอร์ชันสะสมเกินขีดจำกัดดังรูปที่ 4.8 เพราะว่าทราฟฟิกที่ตัดทิ้งไปแล้วก็คือทราฟฟิกที่ได้พิจารณาวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงไปแล้ว ซึ่งถ้าวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง 2 ตัว ระยะทางในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงไม่ควรไกลเกินไป ดังนั้นเราควรจะให้เครื่องส่งยุคเฟสแสง 1 ตัวต่อ 1 ทราฟฟิกหรือไม่ก็ให้มีระยะห่างที่พอสมควร เพื่อเป็นการป้องกันการเกิดปัญหาเช่นนี้ขึ้น

5.3 เลือกข่ายเชื่อมโยงที่มีจำนวนทราฟฟิกที่ไม่มีทราฟฟิกที่วางเครื่องส่งยุคเฟสแสงไปแล้ว ซึ่งก็คือข่ายเชื่อมโยงที่ 41 และ 42 ทำตามข้อ 3.

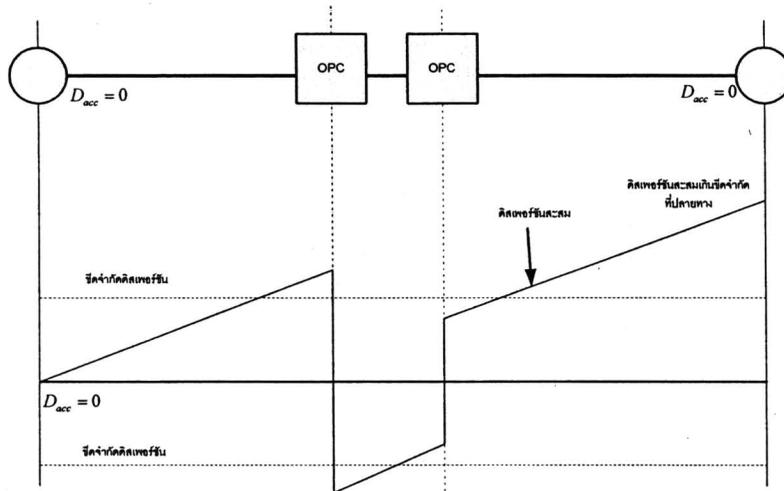
5.4 ถ้ายังเหลือทราฟฟิกให้พิจารณา ให้ทำตามข้อ 5.3 ซึ่งก็คือข่ายเชื่อมโยงที่ 13 และ 14

6. พิจารณาว่าตำแหน่งเครื่องส่งยุคเฟสแสงที่มีตำแหน่งเริ่มต้นเท่ากับศูนย์(ที่โนด) ให้ดูว่าเป็นข่ายเชื่อมโยงที่เริ่มต้นของทราฟฟิกหรือไม่ โดยดูจากตารางที่ 4.3 ประกอบ ถ้าเป็น ให้ปรับตำแหน่งจากศูนย์มายังตำแหน่งที่ทำให้ค่าดิสเพอร์ชันไม่เกินปลายทาง ในที่นี้ก็คือทราฟฟิกจากโนด 5 ไปยัง โนด 2 ซึ่งมีตำแหน่งเครื่องส่งยุคเฟสแสงที่ 0- 29.98 km (ข่ายเชื่อมโยงที่ 14) แต่ที่ปลายทางนั้นจะมีค่าดิสเพอร์ชันเท่ากับ $17.03(97.92) = 1667.58 \text{ ps/km/nm}$ ดังนั้นเราจะปรับตำแหน่งเครื่องส่งยุคเฟสแสงใหม่จาก 0- 29.98 km เป็น 1.98-29.98 km ซึ่งจะได้ค่าดิสเพอร์ชันเท่ากับ 1600 ps/km/nm พอดี

จากหลักการพิจารณา 6 ข้อดังกล่าวจะได้ตำแหน่งเครื่องส่งยุคเฟสแสงดังนี้

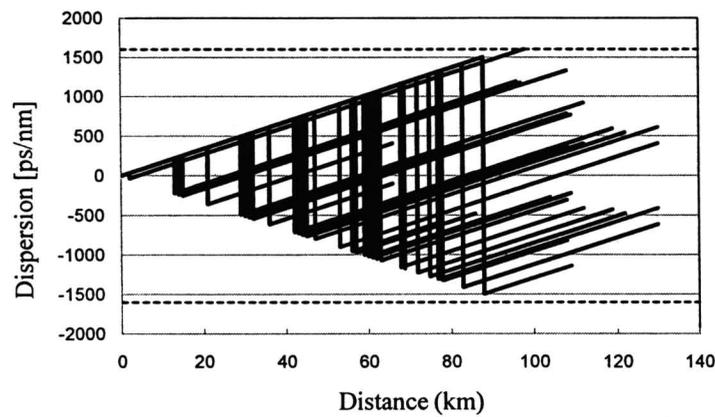
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 13 (0 -29.98 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 14 (1.98 -29.98 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 15 และ 16 (0 -14.99 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 23 และ 24 (0-29.98 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 41 และ 42 (0-26.98 km)

รูปที่ 4.10 เป็นแผนภาพผังงาน(flowchart diagram) ของการหาช่วงในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง

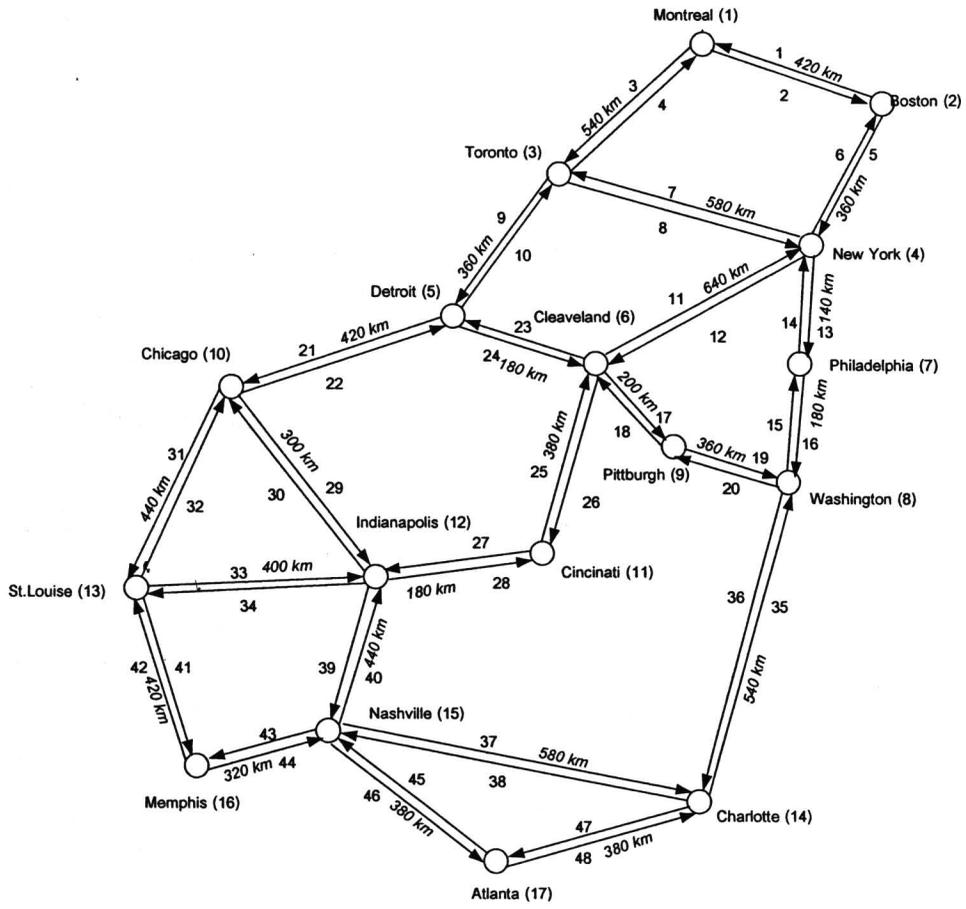


รูปที่ 4.8 ปัญหาระยะทางในการวางเครื่องสั่งยุคเฟสแสงใกล้เคียงเกินไป

4. ตรวจสอบผลจากการวางเครื่องสั่งยุคเฟสแสง รูปที่ 4.9 เป็นการตรวจสอบดิสเพอร์ชันสะสมหลังจากวางเครื่องสั่งยุคเฟสแสง โดยใช้สมการที่ (3.1) และ (3.9) ในการคำนวณหาดิสเพอร์ชันสะสมของทุกทราฟฟิก



รูปที่ 4.9 ดิสเพอร์ชันสะสมของทุกทราฟฟิกในโครงข่ายERNet



1.หาเส้นทางที่สั้นที่สุดและตำแหน่งของเครื่องส่งยุคเฟสแสง ได้ผลตามตารางที่ 4.4

2.หาค่า R และลดขนาดโครงข่าย ตารางที่ 4.5 แสดงผลการหาค่า R จากโครงข่าย NARNet ซึ่งสรุปได้ว่าค่า R ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 15.75 ซึ่งก็คือลดขนาดโครงข่ายลงมา 15.75 เท่า ตารางที่ 4.6 แสดงกราฟฟิกและตำแหน่งการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงหลังจากลดขนาดโครงข่ายแล้ว ส่วนรูปที่ 4.12 เป็นรูปโครงข่าย NARNet ที่ลดขนาดลงมาแล้ว รูปที่ 4.13แสดงตำแหน่งของเครื่องส่งยุคเฟสแสงลงบนข่ายเชื่อมโยง

ตารางที่ 4.4 ทราฟฟิกและระยะทางทั้งหมดของโครงข่าย NARNet

(ก) โหนดที่ 1 - 4

โหนด 1	ระยะทาง [km]	ข่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 2	ระยะทาง [km]	ข่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
2	420	2	163.02	256.98	1	420	1	163.02	256.98
3	540	3	223.02	316.98	3	940	5,7	423.02	516.98
4	780	2,5	343.02	436.98	4	360	5	133.02	226.98
5	900	3,9	403.02	496.98	5	1180	5,12,23	543.02	636.98
6	1080	3,9,24	493.02	586.98	6	1000	5,12	453.02	546.98
7	920	2,5,13	413.02	506.98	7	500	5,13	203.02	296.98
8	1100	2,5,13,16	503.02	596.98	8	680	5,13,16	293.02	386.98
9	1280	3,9,24,17	593.02	686.98	9	1040	5,13,16,20	473.02	566.98
10	1320	3,9,21	613.02	706.98	10	1600	5,12,23,21	753.02	846.98
11	1460	3,9,24,26	683.02	776.98	11	1380	5,12,26	643.02	736.98
12	1620	3,9,21,29	763.02	856.98	12	1560	5,12,26,27	733.02	826.98
13	1760	3,9,21,31	833.02	926.98	13	1960	5,12,26,27,34	933.02	1026.98
14	1640	2,5,13,16,36	773.02	866.98	14	1220	5,13,16,36	563.02	656.98
15	2060	3,9,21,29,39	983.02	1076.98	15	1800	5,13,16,36,38	853.02	946.98
16	2180	3,9,21,31,41	1043.02	1136.98	16	2120	5,13,16,36,38,43	1013.02	1106.98
17	2020	2,5,13,16,36,47	963.02	1056.98	17	1600	5,13,16,36,47	753.02	846.98
โหนด 3	ระยะทาง [km]	ข่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 4	ระยะทาง [km]	ข่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
1	540	4	223.02	316.98	1	780	6,1	343.02	436.98
2	940	8,6	423.02	516.98	2	360	6	133.02	226.98
4	580	8	243.02	336.98	3	580	7	243.02	336.98
5	360	9	133.02	226.98	5	820	12,23	363.02	456.98
6	540	9,24	223.02	316.98	6	640	12	273.02	366.98
7	720	8,13	313.02	406.98	7	140	13	23.02	116.98
8	900	8,13,16	403.02	496.98	8	320	13,16	113.02	206.98
9	740	9,24,17	323.02	416.98	9	680	13,16,20	293.02	386.98
10	780	9,21	343.02	436.98	10	1240	12,23,21	573.02	666.98
11	920	9,24,26	413.02	506.98	11	1020	12,26	463.02	556.98
12	1080	9,21,29	493.02	586.98	12	1200	12,26,27	553.02	646.98
13	1220	9,21,31	563.02	656.98	13	1600	12,26,27,34	753.02	846.98
14	1440	8,13,16,36	673.02	766.98	14	860	13,16,36	383.02	476.98
15	1520	9,21,29,39	713.02	806.98	15	1440	13,16,36,38	673.02	766.98
16	1640	9,21,31,41	773.02	866.98	16	1760	13,16,36,38,43	833.02	926.98
17	1820	8,13,16,36,47	863.02	956.98	17	1240	13,16,36,47	573.02	666.98

(๗) โหนดที่ 5 - 8

โหนด 5	ระยะทาง [km]	จ่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 6	ระยะทาง [km]	จ่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
1	900	10,4	403.02	496.98	1	1080	23,10,4	493.02	586.98
2	1180	24,11,6	543.02	636.98	2	1000	11,6	453.02	546.98
3	360	10	133.02	226.98	3	540	23,10	223.02	316.98
4	820	24,11	363.02	456.98	4	640	11	273.02	366.98
6	180	24	43.02	136.98	5	180	23	43.02	136.98
7	920	24,17,19,15	413.02	506.98	7	740	17,19,15	323.02	416.98
8	740	24,17,19	323.02	416.98	8	560	17,19	233.02	326.98
9	380	24,17	143.02	236.98	9	200	17	53.02	146.98
10	420	21	163.02	256.98	10	600	23,21	253.02	346.98
11	560	24,26	233.02	326.98	11	380	26	143.02	236.98
12	720	21,29	313.02	406.98	12	560	26,27	233.02	326.98
13	860	21,31	383.02	476.98	13	960	26,27,34	433.02	526.98
14	1280	24,17,19,36	593.02	686.98	14	1100	17,19,36	503.02	596.98
15	1160	21,29,39	533.02	626.98	15	1000	26,27,39	453.02	546.98
16	1280	21,31,41	593.02	686.98	16	1320	26,27,39,43	613.02	706.98
17	1540	21,29,39,46	723.02	816.98	17	1380	26,27,39,46	643.02	736.98
โหนด 7	ระยะทาง [km]	จ่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 8	ระยะทาง [km]	จ่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
1	920	14,6,1	413.02	506.98	1	1100	15,14,6,1	503.02	596.98
2	500	14,6	203.02	296.98	2	680	15,14,6	293.02	386.98
3	720	14,7	313.02	406.98	3	900	15,14,7	403.02	496.98
4	140	14	23.02	116.98	4	320	15,14	113.02	206.98
5	920	16,20,18,23	413.02	506.98	5	740	20,18,23	323.02	416.98
6	740	16,20,18	323.02	416.98	6	560	20,18	233.02	326.98
8	180	16	43.02	136.98	7	180	15	43.02	136.98
9	540	16,20	223.02	316.98	9	360	20	133.02	226.98
10	1340	16,20,18,23,21	623.02	716.98	10	1160	20,18,23,21	533.02	626.98
11	1120	16,20,18,26	513.02	606.98	11	940	20,18,26	423.02	516.98
12	1300	16,20,18,26,27	603.02	696.98	12	1120	20,18,26,27	513.02	606.98
13	1700	16,20,18,26,27,34	803.02	896.98	13	1520	20,18,26,27,34	713.02	806.98
14	720	16,36	313.02	406.98	14	540	36	223.02	316.98
15	1300	16,36,38	603.02	696.98	15	1120	36,38	513.02	606.98
16	1620	16,36,38,43	763.02	856.98	16	1440	36,38,43	673.02	766.98
17	1100	16,36,47	503.02	596.98	17	920	36,47	413.02	506.98

(ค) โหนดที่ 9 - 12

โนด 9	ระยะทาง [km]	จ่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โนด 10	ระยะทาง [km]	จ่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
1	1280	18,23,10,4	593.02	686.98	1	1320	22,10,4	613.02	706.98
2	1040	19,15,14,6	473.02	566.98	2	1600	22,24,11,6	753.02	846.98
3	740	18,23,10	323.02	416.98	3	780	22,10	343.02	436.98
4	680	19,15,14	293.02	386.98	4	1240	22,24,11	573.02	666.98
5	380	18,23	143.02	236.98	5	420	22	163.02	256.98
6	200	18	53.02	146.98	6	600	22,24	253.02	346.98
7	540	19,15	223.02	316.98	7	1340	22,24,17,19,15	623.02	716.98
8	360	19	133.02	226.98	8	1160	22,24,17,19	533.02	626.98
10	800	18,23,21	353.02	446.98	9	800	22,24,17	353.02	446.98
11	580	18,26	243.02	336.98	11	480	29,28	193.02	286.98
12	760	18,26,27	333.02	426.98	12	300	29	103.02	196.98
13	1160	18,26,27,34	533.02	626.98	13	440	31	173.02	266.98
14	900	19,36	403.02	496.98	14	1320	29,39,37	613.02	706.98
15	1200	18,26,27,39	553.02	646.98	15	740	29,39	323.02	416.98
16	1520	18,26,27,39,43	713.02	806.98	16	860	31,41	383.02	476.98
17	1280	19,36,47	593.02	686.98	17	1120	29,39,46	513.02	606.98
โนด 11	ระยะทาง [km]	จ่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โนด 12	ระยะทาง [km]	จ่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
1	1460	25,23,10,4	683.02	776.98	1	1620	30,22,10,4	763.02	856.98
2	1380	25,11,6	643.02	736.98	2	1560	28,25,11,6	733.02	826.98
3	920	25,23,10	413.02	506.98	3	1080	30,22,10	493.02	586.98
4	1020	25,11	463.02	556.98	4	1200	28,25,11	553.02	646.98
5	560	25,23	233.02	326.98	5	720	30,22	313.02	406.98
6	380	25	143.02	236.98	6	560	28,25	233.02	326.98
7	1120	25,17,19,15	513.02	606.98	7	1300	28,25,17,19,15	603.02	696.98
8	940	25,17,19	423.02	516.98	8	1120	28,25,17,19	513.02	606.98
9	580	25,17	243.02	336.98	9	760	28,25,17	333.02	426.98
10	480	27,30	193.02	286.98	10	300	30	103.02	196.98
12	180	27	43.02	136.98	11	180	28	43.02	136.98
13	580	27,34	243.02	336.98	13	400	34	153.02	246.98
14	1200	27,39,37	553.02	646.98	14	1020	39,37	463.02	556.98
15	620	27,39	263.02	356.98	15	440	39	173.02	266.98
16	940	27,39,43	423.02	516.98	16	760	39,43	333.02	426.98
17	1000	27,39,46	453.02	546.98	17	820	39,46	363.02	456.98

(ง) โหนดที่ 13 - 16

โหนด 13	ระยะทาง [km]	จ่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 14	ระยะทาง [km]	จ่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
1	1760	32,22,10,4	833.02	926.98	1	1640	35,15,14,6,1	773.02	866.98
2	1960	33,28,25,11,6	933.02	1026.98	2	1220	35,15,14,6	563.02	656.98
3	1220	32,22,10	563.02	656.98	3	1440	35,15,14,7	673.02	766.98
4	1600	33,28,25,11	753.02	846.98	4	860	35,15,14	383.02	476.98
5	860	32,22	383.02	476.98	5	1280	35,20,18,23	593.02	686.98
6	960	33,28,25	433.02	526.98	6	1100	35,20,18	503.02	596.98
7	1700	33,28,25,17,19,15	803.02	896.98	7	720	35,15	313.02	406.98
8	1520	33,28,25,17,19	713.02	806.98	8	540	35	223.02	316.98
9	1160	33,28,25,17	533.02	626.98	9	900	35,20	403.02	496.98
10	440	32	173.02	266.98	10	1320	38,40,30	613.02	706.98
11	580	33,28	243.02	336.98	11	1200	38,40,28	553.02	646.98
12	400	33	153.02	246.98	12	1020	38,40	463.02	556.98
14	1320	41,44,37	613.02	706.98	13	1320	38,43,42	613.02	706.98
15	740	41,44	323.02	416.98	15	580	38	243.02	336.98
16	420	41	163.02	256.98	16	900	38,43	403.02	496.98
17	1120	41,44,46	513.02	606.98	17	380	47	143.02	236.98
โหนด 15	ระยะทาง [km]	จ่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 16	ระยะทาง [km]	จ่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
1	2060	40,30,22,10,4	983.02	1076.98	1	2180	42,32,22,10,4	1043.02	1136.98
2	1800	37,35,15,14,6	853.02	946.98	2	2120	44,37,35,15,14,6	1013.02	1106.98
3	1520	40,30,22,10	713.02	806.98	3	1640	42,32,22,10	773.02	866.98
4	1440	37,35,15,14	673.02	766.98	4	1760	44,37,35,15,14	833.02	926.98
5	1160	40,30,22	533.02	626.98	5	1280	42,32,22	593.02	686.98
6	1000	40,28,25	453.02	546.98	6	1320	44,40,28,25	613.02	706.98
7	1300	37,35,15	603.02	696.98	7	1620	44,37,35,15	763.02	856.98
8	1120	37,35	513.02	606.98	8	1440	44,37,35	673.02	766.98
9	1200	40,28,25,17	553.02	646.98	9	1520	44,40,28,25,17	713.02	806.98
10	740	40,30	323.02	416.98	10	860	42,32	383.02	476.98
11	620	40,28	263.02	356.98	11	940	44,40,28	423.02	516.98
12	440	40	173.02	266.98	12	760	44,40	333.02	426.98
13	740	43,42	323.02	416.98	13	420	42	163.02	256.98
14	580	37	243.02	336.98	14	900	44,37	403.02	496.98
16	320	43	113.02	206.98	15	320	44	113.02	206.98
17	380	46	143.02	236.98	17	700	44,46	303.02	396.98

(จ) โหนดที่ 17

โหนด 17	ระยะทาง [km]	ข่ายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
1	2020	48,35,15,14,6,1	963.02	1056.98
2	1600	48,35,15,14,6	753.02	846.98
3	1820	48,35,15,14,7	863.02	956.98
4	1240	48,35,15,14	573.02	666.98
5	1540	45,40,30,22	723.02	816.98
6	1380	45,40,28,25	643.02	736.98
7	1100	48,35,15	503.02	596.98
8	920	48,35	413.02	506.98
9	1280	48,35,20	593.02	686.98
10	1120	45,40,30	513.02	606.98
11	1000	45,40,28	453.02	546.98
12	820	45,40	363.02	456.98
13	1120	45,43,42	513.02	606.98
14	380	48	143.02	236.98
15	380	45	143.02	236.98
16	700	45,43	303.02	396.98

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า R ของโครงข่ายNARNet

โหนดต้นทาง-โหนดปลายทาง	กราฟที่ก [km]	X ₁ [km]	R	โหนดต้นทาง-โหนดปลายทาง	กราฟที่ก [km]	X ₁ [km]	R
1-16	2180	540	11.71	9-16	1520	200	11.92
1-17	2020	420	12.56	9-17	1280	360	5.96
2-16	2120	360	14.90	10-2	1600	420	8.09
3-16	1640	360	9.79	10-14	1320	300	7.66
3-17	1820	580	7.02	11-1	1460	380	7.45
4-1	780	360	0.64	11-14	1200	180	8.94
4-13	1600	640	3.41	12-1	1620	300	10.86
4-16	1760	140	15.75	12-2	1560	180	12.77
5-1	900	360	1.92	12-14	1020	440	1.49
5-14	1280	180	9.79	13-1	1760	440	9.37
5-17	1540	420	7.45	13-2	1960	400	12.35
6-1	1080	180	7.66	14-1	1640	540	5.96
6-2	1000	640	-2.98	14-10	1320	580	1.70
6-14	1100	200	7.45	15-1	2060	440	12.56
6-17	1380	380	6.60	15-2	1800	580	6.81
7-1	920	140	6.81	16-1	2180	420	14.26
7-13	1700	180	14.26	16-2	2120	320	15.75
8-1	1100	180	7.88	17-1	2020	380	13.41
8-13	1520	360	8.52	17-5	1540	380	8.30
8-16	1440	540	3.83				

ตารางที่ 4.6 ทราฟฟิกและระยะทางทั้งหมดของโครงข่าย NARNet (ลดขนาดโครงข่าย)

(ก) โหนดที่ 1 - 4

โหนด 1	ระยะทาง/R[km]	ระยะทาง [km]	ขายเชื่อมโคง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 2	ระยะทาง/R[km]	ระยะทาง [km]	ขายเชื่อมโคง [km]	OPC_L	OPC_R
2	26.67	420	2	-33.64	60.31	1	26.67	420	1	-33.64	60.31
3	34.29	540	3	-29.83	64.12	3	59.68	940	5,7	-17.13	76.82
4	49.52	780	2,5	-22.21	71.74	4	22.86	360	5	-35.55	58.40
5	57.14	900	3,9	-18.40	75.55	5	74.92	1180	5,12,23	-9.52	84.44
6	68.57	1080	3,9,24	-12.69	81.26	6	63.49	1000	5,12	-15.23	78.72
7	58.41	920	2,5,13	-17.77	76.18	7	31.75	500	5,13	-31.10	62.85
8	69.84	1100	2,5,13,16	-12.06	81.90	8	43.17	680	5,13,16	-25.39	68.56
9	81.27	1280	3,9,24,17	-6.34	87.61	9	66.03	1040	5,13,16,20	-13.96	79.99
10	83.81	1320	3,9,21	-5.07	88.88	10	101.59	1600	5,12,23,21	3.82	97.77
11	92.70	1460	3,9,24,26	-0.63	93.33	11	87.62	1380	5,12,26	-3.17	90.79
12	102.86	1620	3,9,21,29	4.45	98.40	12	99.05	1560	5,12,26,27	2.55	96.50
13	111.75	1760	3,9,21,31	8.90	102.85	13	124.44	1960	5,12,26,27,34	15.25	109.20
14	104.13	1640	2,5,13,16,36	5.09	99.04	14	77.46	1220	5,13,16,36	-8.25	85.71
15	130.79	2060	3,9,21,29,39	18.42	112.37	15	114.29	1800	5,13,16,36,38	10.17	104.12
16	138.41	2180	3,9,21,31,41	22.23	116.18	16	134.60	2120	5,13,16,36,38,43	20.33	114.28
17	128.25	2020	2,5,13,16,36,47	17.15	111.10	17	101.59	1600	5,13,16,36,47	3.82	97.77
โหนด 3	ระยะทาง/R[km]	ระยะทาง [km]	ขายเชื่อมโคง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 4	ระยะทาง/R[km]	ระยะทาง [km]	ขายเชื่อมโคง [km]	OPC_L	OPC_R
1	34.29	540	4	-29.83	64.12	1	49.52	780	6,1	-22.21	71.74
2	59.68	940	8,6	-17.13	76.82	2	22.86	360	6	-35.55	58.40
4	36.83	580	8	-28.56	65.39	3	36.83	580	7	-28.56	65.39
5	22.86	360	9	-35.55	58.40	5	52.06	820	12,23	-20.94	73.01
6	34.29	540	9,24	-29.83	64.12	6	40.63	640	12	-26.66	67.29
7	45.71	720	8,13	-24.12	69.83	7	8.89	140	13	-42.53	51.42
8	57.14	900	8,13,16	-18.40	75.55	8	20.32	320	13,16	-36.82	57.13
9	46.98	740	9,24,17	-23.48	70.47	9	43.17	680	13,16,20	-25.39	68.56
10	49.52	780	9,21	-22.21	71.74	10	78.73	1240	12,23,21	-7.61	86.34
11	58.41	920	9,24,26	-17.77	76.18	11	64.76	1020	12,26	-14.59	79.36
12	68.57	1080	9,21,29	-12.69	81.26	12	76.19	1200	12,26,27	-8.88	85.07
13	77.46	1220	9,21,31	-8.25	85.71	13	101.59	1600	12,26,27,34	3.82	97.77
14	91.43	1440	8,13,16,36	-1.26	92.69	14	54.60	860	13,16,36	-19.67	74.28
15	96.51	1520	9,21,29,39	1.28	95.23	15	91.43	1440	13,16,36,38	-1.26	92.69
16	104.13	1640	9,21,31,41	5.09	99.04	16	111.75	1760	13,16,36,38,43	8.90	102.85
17	115.56	1820	8,13,16,36,47	10.80	104.75	17	78.73	1240	13,16,36,47	-7.61	86.34

(ข) โหนดที่ 5 - 8

โนด 5	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง (km)	ขายเชื่อมโคง (km)	OPC_L	OPC_R	โนด 6	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง (km)	ขายเชื่อมโคง (km)	OPC_L	OPC_R
1	57.14	900	10,4	-18.40	75.55	1	68.57	1080	23,10,4	-12.69	81.26
2	74.92	1180	24,11,6	-9.52	84.44	2	63.49	1000	11,6	-15.23	78.72
3	22.86	360	10	-35.55	58.40	3	34.29	540	23,10	-29.83	64.12
4	52.06	820	24,11	-20.94	73.01	4	40.63	640	11	-26.66	67.29
6	11.43	180	24	-41.26	52.69	5	11.43	180	23	-41.26	52.69
7	58.41	920	24,17,19,15	-17.77	76.18	7	46.98	740	17,19,15	-23.48	70.47
8	46.98	740	24,17,19	-23.48	70.47	8	35.56	560	17,19	-29.20	64.75
9	24.13	380	24,17	-34.91	59.04	9	12.70	200	17	-40.63	53.33
10	26.67	420	21	-33.64	60.31	10	38.10	600	23,21	-27.93	66.02
11	35.56	560	24,26	-29.20	64.75	11	24.13	380	26	-34.91	59.04
12	45.71	720	21,29	-24.12	69.83	12	35.56	560	26,27	-29.20	64.75
13	54.60	860	21,31	-19.67	74.28	13	60.95	960	26,27,34	-16.50	77.45
14	81.27	1280	24,17,19,36	-6.34	87.61	14	69.84	1100	17,19,36	-12.06	81.90
15	73.65	1160	21,29,39	-10.15	83.80	15	63.49	1000	26,27,39	-15.23	78.72
16	81.27	1280	21,31,41	-6.34	87.61	16	83.81	1320	26,27,39,43	-5.07	88.88
17	97.78	1540	21,29,39,46	1.91	95.86	17	87.62	1380	26,27,39,46	-3.17	90.79
โนด 7	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง (km)	ขายเชื่อมโคง (km)	OPC_L	OPC_R	โนด 8	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง (km)	ขายเชื่อมโคง (km)	OPC_L	OPC_R
1	58.41	920	14,6,1	-17.77	76.18	1	69.84	1100	15,14,6,1	-12.06	81.90
2	31.75	500	14,6	-31.10	62.86	2	43.17	680	15,14,6	-25.39	68.56
3	45.71	720	14,7	-24.12	69.83	3	57.14	900	15,14,7	-18.40	75.55
4	8.89	140	14	-42.53	51.42	4	20.32	320	15,14	-36.82	57.13
5	58.41	920	16,20,18,23	-17.77	76.18	5	46.98	740	20,18,23	-23.48	70.47
6	46.98	740	16,20,18	-23.48	70.47	6	35.56	560	20,18	-29.20	64.75
8	11.43	180	16	-41.26	52.69	7	11.43	180	15	-41.26	52.69
9	34.29	540	16,20	-29.83	64.12	9	22.86	360	20	-35.55	58.40
10	85.08	1340	16,20,18,23,21	-4.44	89.52	10	73.65	1160	20,18,23,21	-10.15	83.80
11	71.11	1120	16,20,18,26	-11.42	82.53	11	59.68	940	20,18,26	-17.13	76.82
12	82.54	1300	16,20,18,26,27	-5.71	88.25	12	71.11	1120	20,18,26,27	-11.42	82.53
13	107.94	1700	16,20,18,26,27,34	6.99	100.94	13	96.51	1520	20,18,26,27,34	1.28	95.23
14	45.71	720	16,36	-24.12	69.83	14	34.29	540	36	-29.83	64.12
15	82.54	1300	16,36,38	-5.71	88.25	15	71.11	1120	36,38	-11.42	82.53
16	102.86	1620	16,36,38,43	4.45	98.40	16	91.43	1440	36,38,43	-1.26	92.69
17	69.84	1100	16,36,47	-12.06	81.90	17	58.41	920	36,47	-17.77	76.18

(ค) โหนดที่ 9 - 12

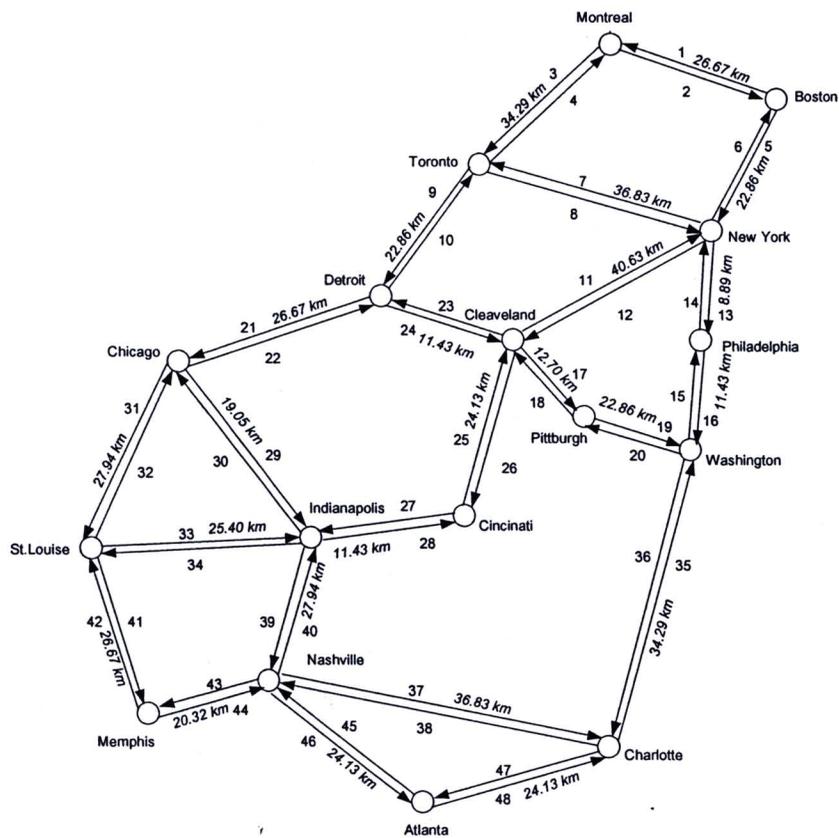
โหนด 9	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง [km]	พิกัดโหนด [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 10	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง [km]	พิกัดโหนด [km]	OPC_L	OPC_R
1	81.27	1280	18,23,10,4	-6.34	87.61	1	83.81	1320	22,10,4	-5.07	88.88
2	66.03	1040	19,15,14,6	-13.96	79.99	2	101.59	1600	22,24,11,6	3.82	97.77
3	46.98	740	18,23,10	-23.48	70.47	3	49.52	780	22,10	-22.21	71.74
4	43.17	680	19,15,14	-25.39	68.56	4	78.73	1240	22,24,11	-7.61	86.34
5	24.13	380	18,23	-34.91	59.04	5	26.67	420	22	-33.64	60.31
6	12.70	200	18	-40.63	53.33	6	38.10	600	22,24	-27.93	66.02
7	34.29	540	19,15	-29.83	64.12	7	85.08	1340	22,24,17,19,15	-4.44	89.52
8	22.86	360	19	-35.55	58.40	8	73.65	1160	22,24,17,19	-10.15	83.80
10	50.79	800	18,23,21	-21.58	72.37	9	50.79	800	22,24,17	-21.58	72.37
11	36.83	580	18,26	-28.56	65.39	11	30.48	480	29,28	-31.74	62.21
12	48.25	760	18,26,27	-22.85	71.10	12	19.05	300	29	-37.45	56.50
13	73.65	1160	18,26,27,34	-10.15	83.80	13	27.94	440	31	-33.01	60.94
14	57.14	900	19,36	-18.40	75.55	14	83.81	1320	29,39,37	-5.07	88.88
15	76.19	1200	18,26,27,39	-8.88	85.07	15	46.98	740	29,39	-23.48	70.47
16	96.51	1520	18,26,27,39,43	1.28	95.23	16	54.60	860	31,41	-19.67	74.28
17	81.27	1280	19,36,47	-6.34	87.61	17	71.11	1120	29,39,46	-11.42	82.53
โหนด 11	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง [km]	พิกัดโหนด [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 12	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง [km]	พิกัดโหนด [km]	OPC_L	OPC_R
1	92.70	1460	25,23,10,4	-0.63	93.33	1	102.86	1620	30,22,10,4	4.45	98.40
2	87.62	1380	25,11,6	-3.17	90.79	2	99.05	1560	28,25,11,6	2.55	96.50
3	58.41	920	25,23,10	-17.77	76.18	3	68.57	1080	30,22,10	-12.69	81.26
4	64.76	1020	25,11	-14.59	79.36	4	76.19	1200	28,25,11	-8.88	85.07
5	35.56	560	25,23	-29.20	64.75	5	45.71	720	30,22	-24.12	69.83
6	24.13	380	25	-34.91	59.04	6	35.56	560	28,25	-29.20	64.75
7	71.11	1120	25,17,19,15	-11.42	82.53	7	82.54	1300	28,25,17,19,15	-5.71	88.25
8	59.68	940	25,17,19	-17.13	76.82	8	71.11	1120	28,25,17,19	-11.42	82.53
9	36.83	580	25,17	-28.56	65.39	9	48.25	760	28,25,17	-22.85	71.10
10	30.48	480	27,30	-31.74	62.21	10	19.05	300	30	-37.45	56.50
12	11.43	180	27	-41.26	52.69	11	11.43	180	28	-41.26	52.69
13	36.83	580	27,34	-28.56	65.39	13	25.40	400	34	-34.28	59.67
14	76.19	1200	27,39,37	-8.88	85.07	14	64.76	1020	39,37	-14.59	79.36
15	39.37	620	27,39	-27.29	66.66	15	27.94	440	39	-33.01	60.94
16	59.68	940	27,39,43	-17.13	76.82	16	48.25	760	39,43	-22.85	71.10
17	63.49	1000	27,39,46	-15.23	78.72	17	52.06	820	39,46	-20.94	73.01

(ง) โหนดที่ 13 - 16

โหนด 13	ระยะทาง/R[km]	ระยะทาง [km]	ชายฝั่ง/อง [km]	OPC L	OPC R	โหนด 14	ระยะทาง/R[km]	ระยะทาง [km]	ชายฝั่ง/อง [km]	OPC L	OPC R
1	111.75	1760	32,22,10,4	8.90	102.85	1	104.13	1640	35,15,14,6,1	5.09	99.04
2	124.44	1960	33,28,25,11,6	15.25	109.20	2	77.46	1220	35,15,14,6	-8.25	85.71
3	77.46	1220	32,22,10	-8.25	85.71	3	91.43	1440	35,15,14,7	-1.26	92.69
4	101.59	1600	33,28,25,11	3.82	97.77	4	54.60	860	35,15,14	19.67	74.28
5	54.60	860	32,22	-19.67	74.28	5	81.27	1280	35,20,18,23	-6.34	87.61
6	60.95	960	33,28,25	-16.50	77.45	6	69.84	1100	35,20,18	-12.06	81.90
7	107.94	1700	33,28,25,17,19,15	6.99	100.94	7	45.71	720	35,15	-24.12	69.83
8	96.51	1520	33,28,25,17,19	1.28	95.23	8	34.29	540	35	-29.83	64.12
9	73.65	1160	33,28,25,17	-10.15	83.80	9	57.14	900	35,20	-18.40	75.55
10	27.94	440	32	-33.01	60.94	10	83.81	1320	38,40,30	-5.07	88.88
11	36.83	580	33,28	-28.56	65.39	11	76.19	1200	38,40,28	-8.88	85.07
12	25.40	400	33	-34.28	59.67	12	64.76	1020	38,40	-14.59	79.36
13	83.81	1320	41,44,37	-5.07	88.88	13	83.81	1320	38,43,42	-5.07	88.88
14	46.98	740	41,44	-23.48	70.47	14	36.83	580	38	-28.56	65.39
15	26.67	420	41	-33.64	60.31	15	57.14	900	38,43	-18.40	75.55
16	71.11	1120	41,44,46	-11.42	82.53	16	24.13	380	47	-34.91	59.04
โหนด 15	ระยะทาง/R[km]	ระยะทาง [km]	ชายฝั่ง/อง [km]	OPC L	OPC R	โหนด 16	ระยะทาง/R[km]	ระยะทาง [km]	ชายฝั่ง/อง [km]	OPC L	OPC R
1	130.79	2060	40,30,22,10,4	18.42	112.37	1	138.41	2180	42,32,22,10,4	22.23	116.18
2	114.29	1800	37,35,15,14,6	10.17	104.12	2	134.60	2120	44,37,35,15,14,6	20.33	114.28
3	96.51	1520	40,30,22,10	1.28	95.23	3	104.13	1640	42,32,22,10	5.09	99.04
4	91.43	1440	37,35,15,14	-1.26	92.69	4	111.75	1760	44,37,35,15,14	8.90	102.85
5	73.65	1160	40,30,22	-10.15	83.80	5	81.27	1280	42,32,22	-6.34	87.61
6	63.49	1000	40,28,25	-15.23	78.72	6	83.81	1320	44,40,28,25	-5.07	88.88
7	82.54	1300	37,35,15	-5.71	88.25	7	102.86	1620	44,37,35,15	4.45	98.40
8	71.11	1120	37,35	-11.42	82.53	8	91.43	1440	44,37,35	-1.26	92.69
9	76.19	1200	40,28,25,17	-8.88	85.07	9	96.51	1520	44,40,28,25,17	1.28	95.23
10	46.98	740	40,30	-23.48	70.47	10	54.60	860	42,32	-19.67	74.28
11	39.37	620	40,28	-27.29	66.66	11	59.68	940	44,40,28	-17.13	76.82
12	27.94	440	40	-33.01	60.94	12	48.25	760	44,40	-22.85	71.10
13	46.98	740	43,42	-23.48	70.47	13	26.67	420	42	-33.64	60.31
14	36.83	580	37	-28.56	65.39	14	57.14	900	44,37	-18.40	75.55
15	20.32	320	43	-36.82	57.13	15	20.32	320	44	-36.82	57.13
16	24.13	380	46	-34.91	59.04	16	44.44	700	44,46	-24.75	69.20

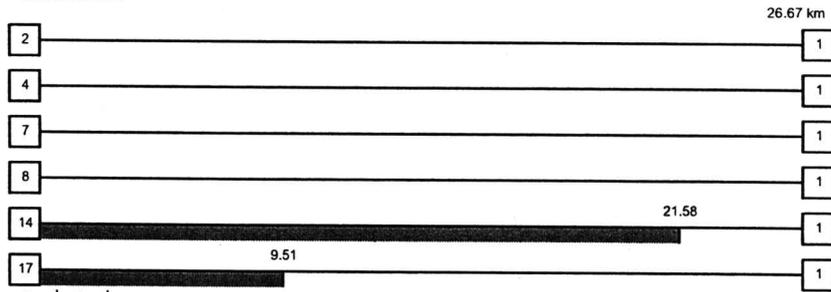
(จ) โหนดที่ 17

โหนด 17	ระยะทาง/R[km]	ระยะทาง [km]	ขายเชื่อมโยง [km]	OPC_L	OPC_R
1	128.25	2020	48,35,15,14,6,1	17.15	111.10
2	101.59	1600	48,35,15,14,6	3.82	97.77
3	115.56	1820	48,35,15,14,7	10.80	104.75
4	78.73	1240	48,35,15,14	-7.61	86.34
5	97.78	1540	45,40,30,22	1.91	95.86
6	87.62	1380	45,40,28,25	-3.17	90.79
7	69.84	1100	48,35,15	-12.06	81.90
8	58.41	920	48,35	-17.77	76.18
9	81.27	1280	48,35,20	-6.34	87.61
10	71.11	1120	45,40,30	-11.42	82.53
11	63.49	1000	45,40,28	-15.23	78.72
12	52.06	820	45,40	-20.94	73.01
13	71.11	1120	45,43,42	-11.42	82.53
14	24.13	380	48	-34.91	59.04
15	24.13	380	45	-34.91	59.04
16	44.44	700	45,43	-24.75	69.20

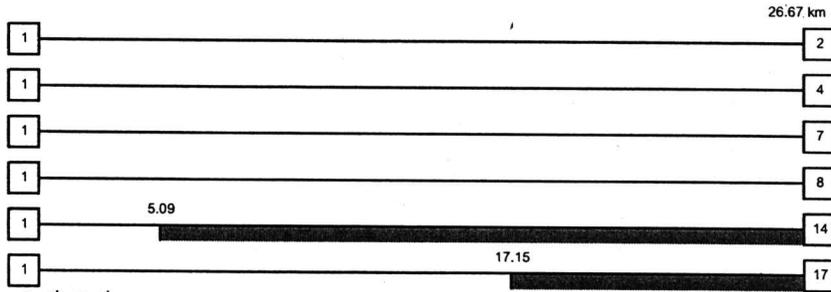


รูปที่ 4.12 โครงข่าย NARNet ที่ได้รับการลดขนาดลงมา 15.75 เท่า

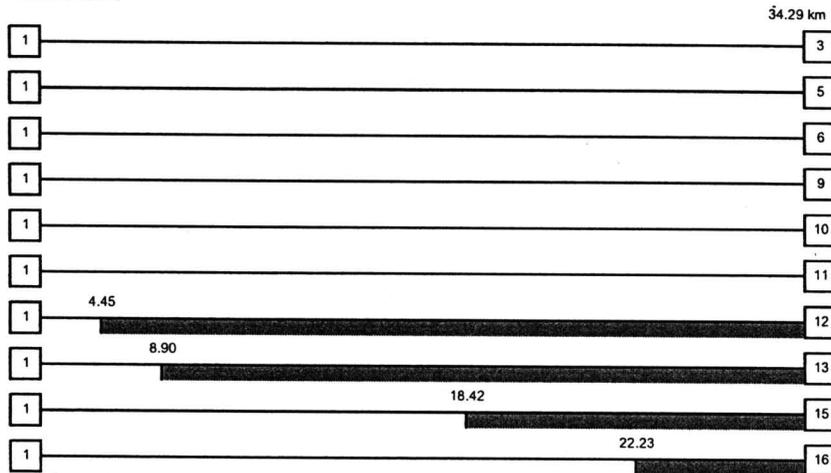
ข่ายเชื่อมโยงที่ 1



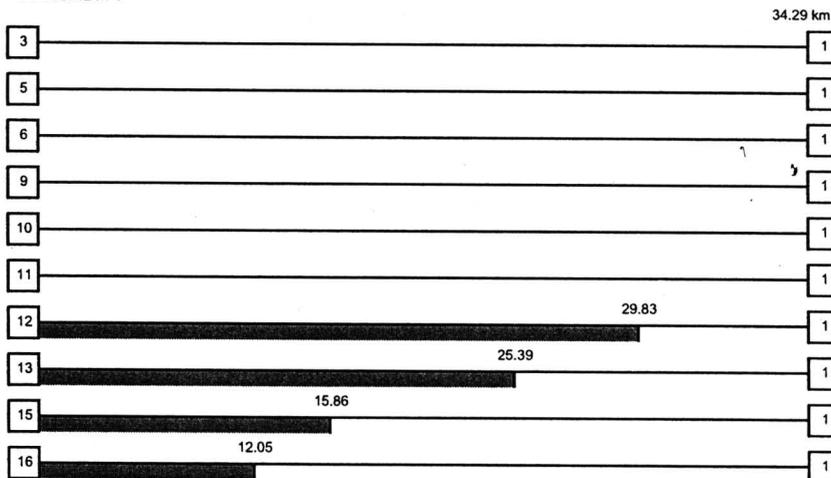
ข่ายเชื่อมโยงที่ 2



ข่ายเชื่อมโยงที่ 3



ข่ายเชื่อมโยงที่ 4

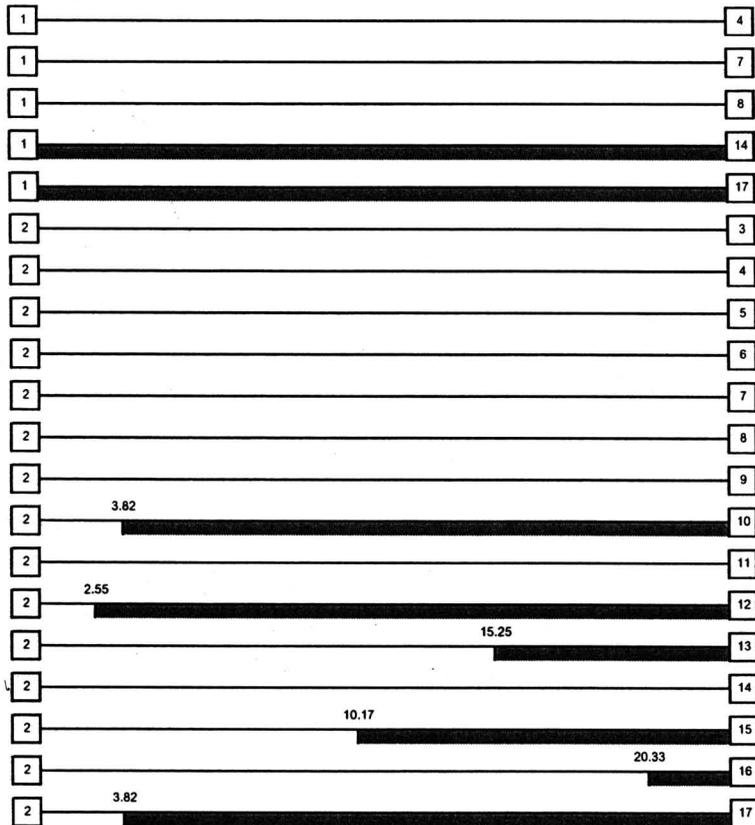


(ก) ข่ายเชื่อมโยงที่ 1-4

รูปที่ 4.13 ทราฟฟิกและตำแหน่งของเครื่องส่งยุคเฟสแสงของโครงข่าย NARNet

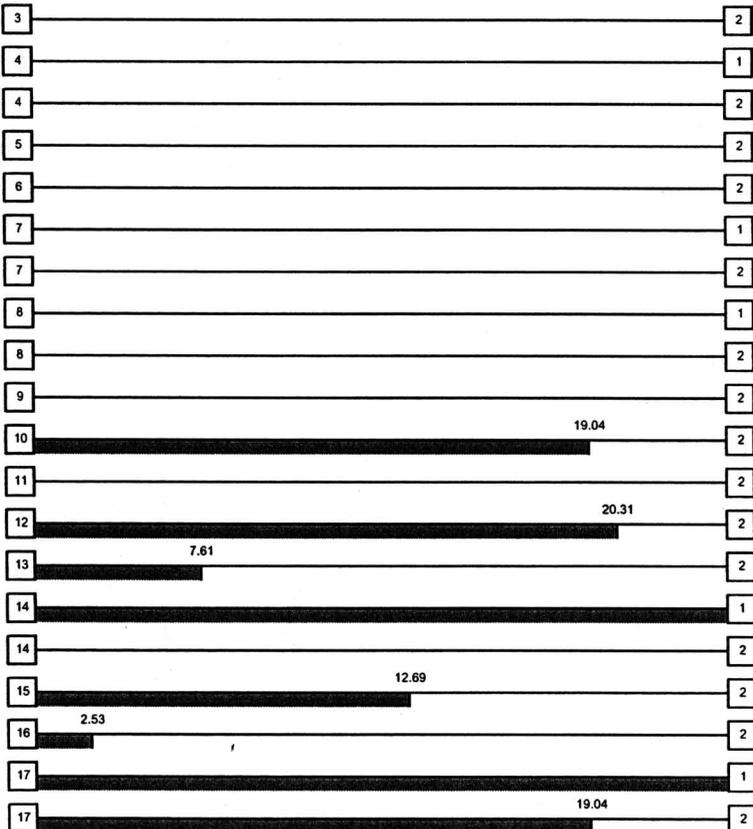
ข่ายเชื่อมโยงที่ 5

22.86 km

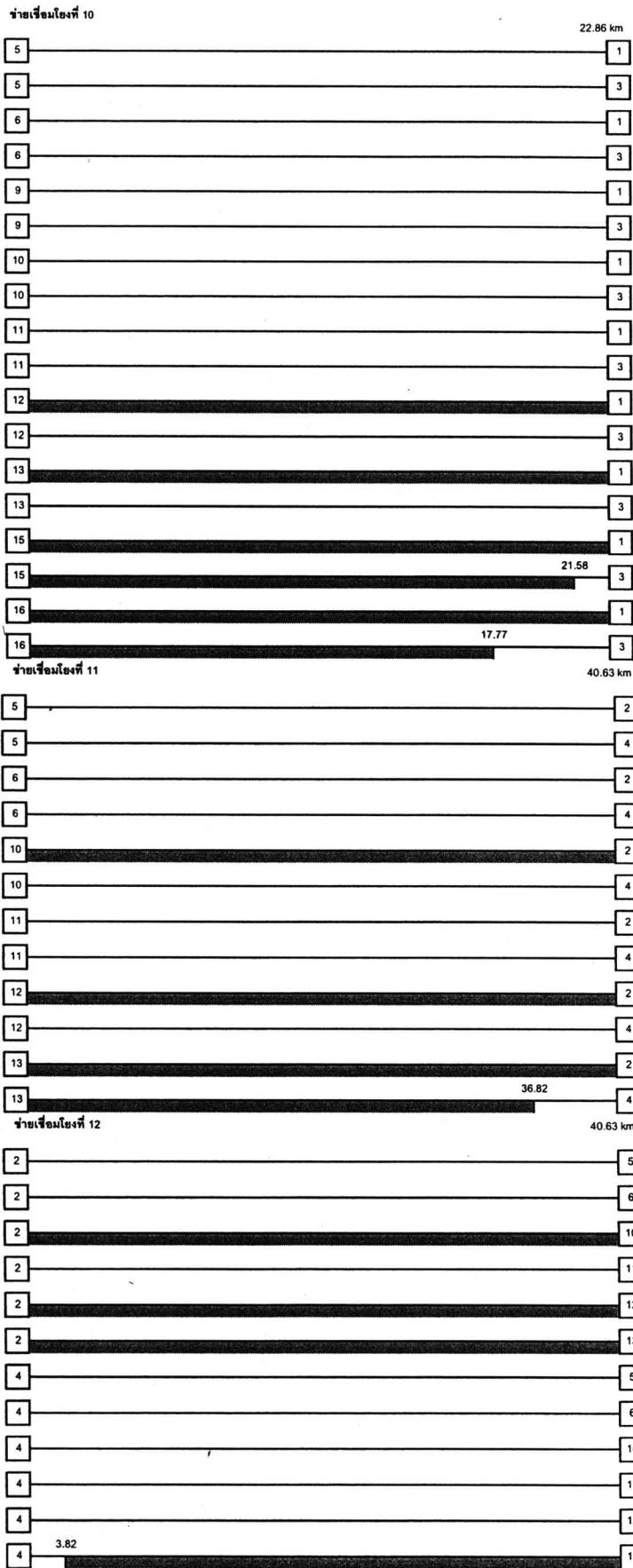


ข่ายเชื่อมโยงที่ 6

22.86 km



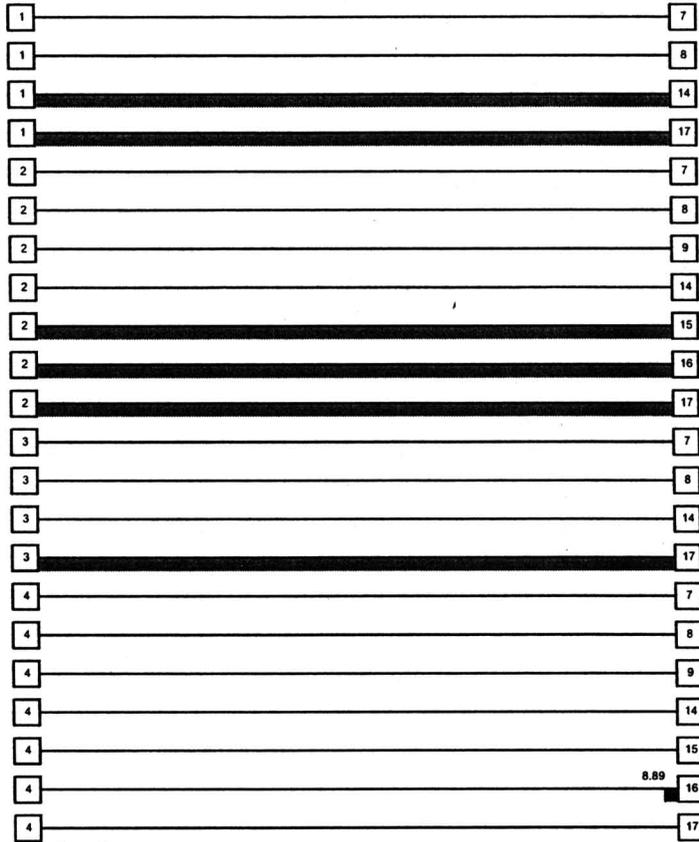
(ข) ข่ายเชื่อมโยงที่ 5-6



(ง) ข่ายเชื่อมโยงที่ 10-12

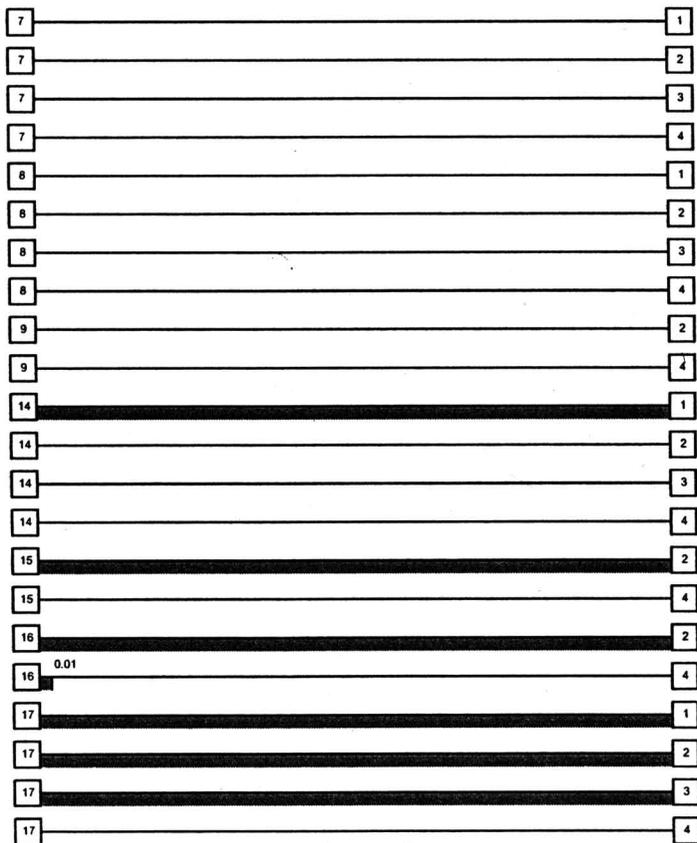
ข่ายเชื่อมโยงที่ 13

8.89 km

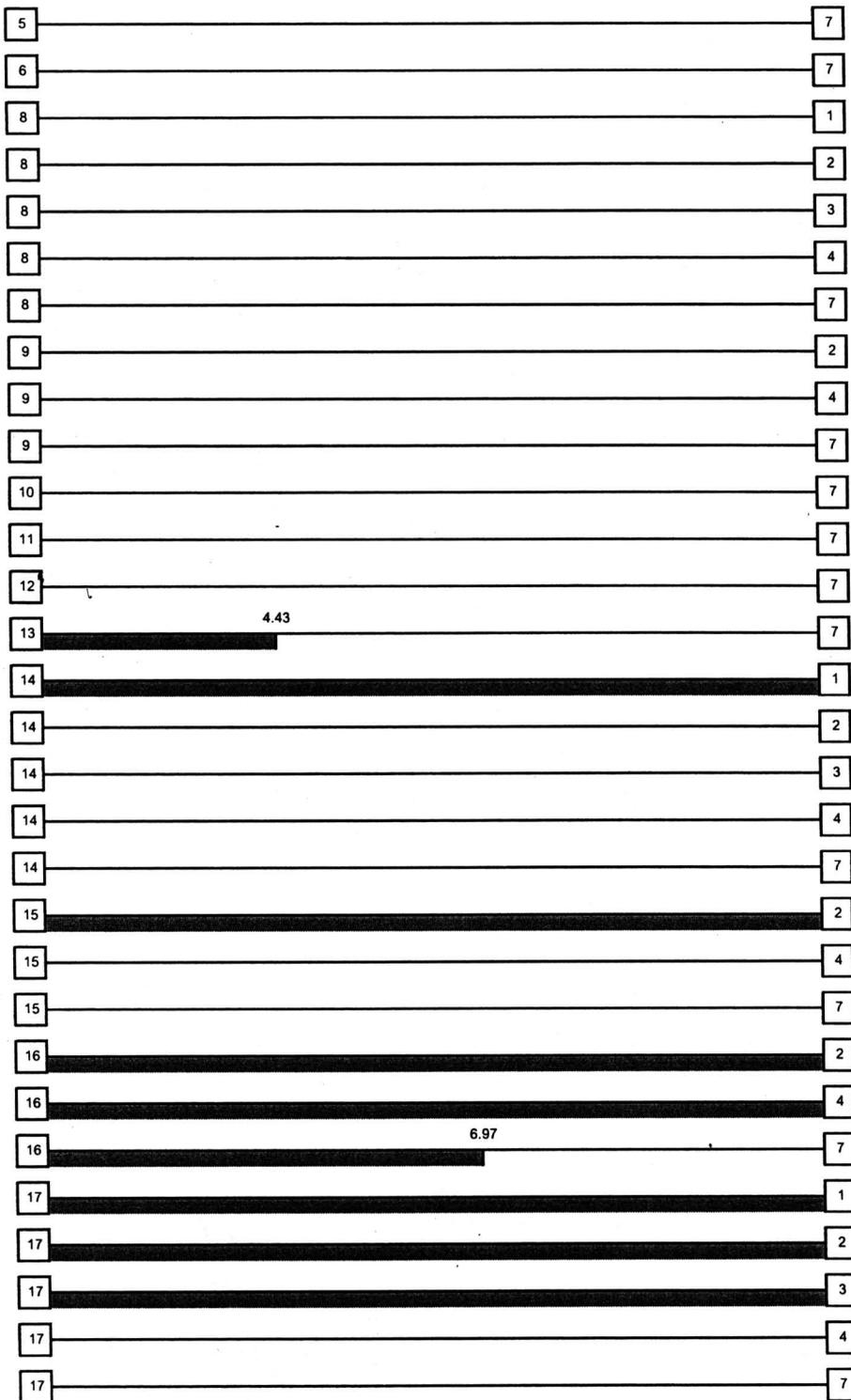


ข่ายเชื่อมโยงที่ 14

8.89 km



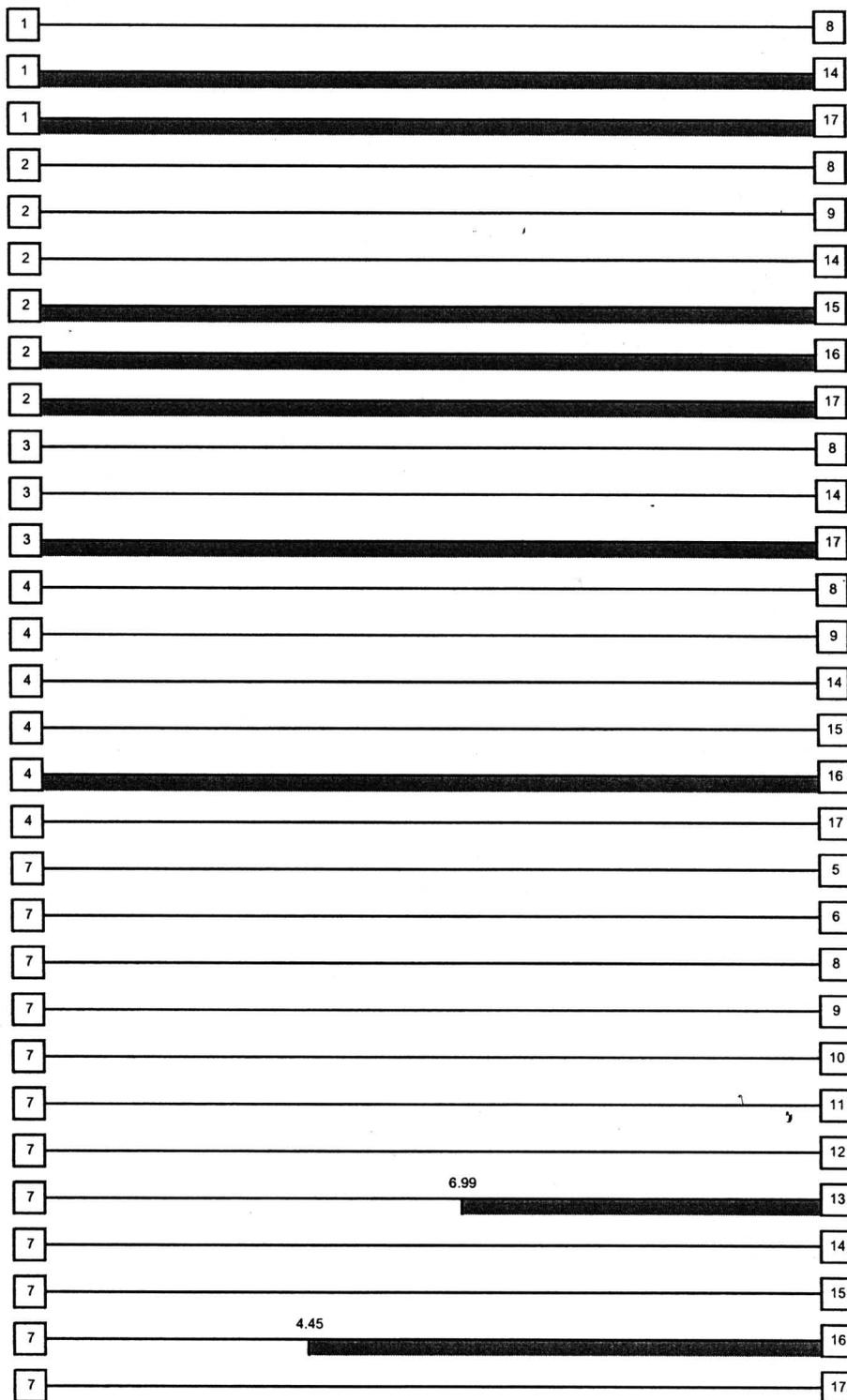
(จ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 13-14



(จ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 15

ข่ายเชื่อมโยงที่ 16

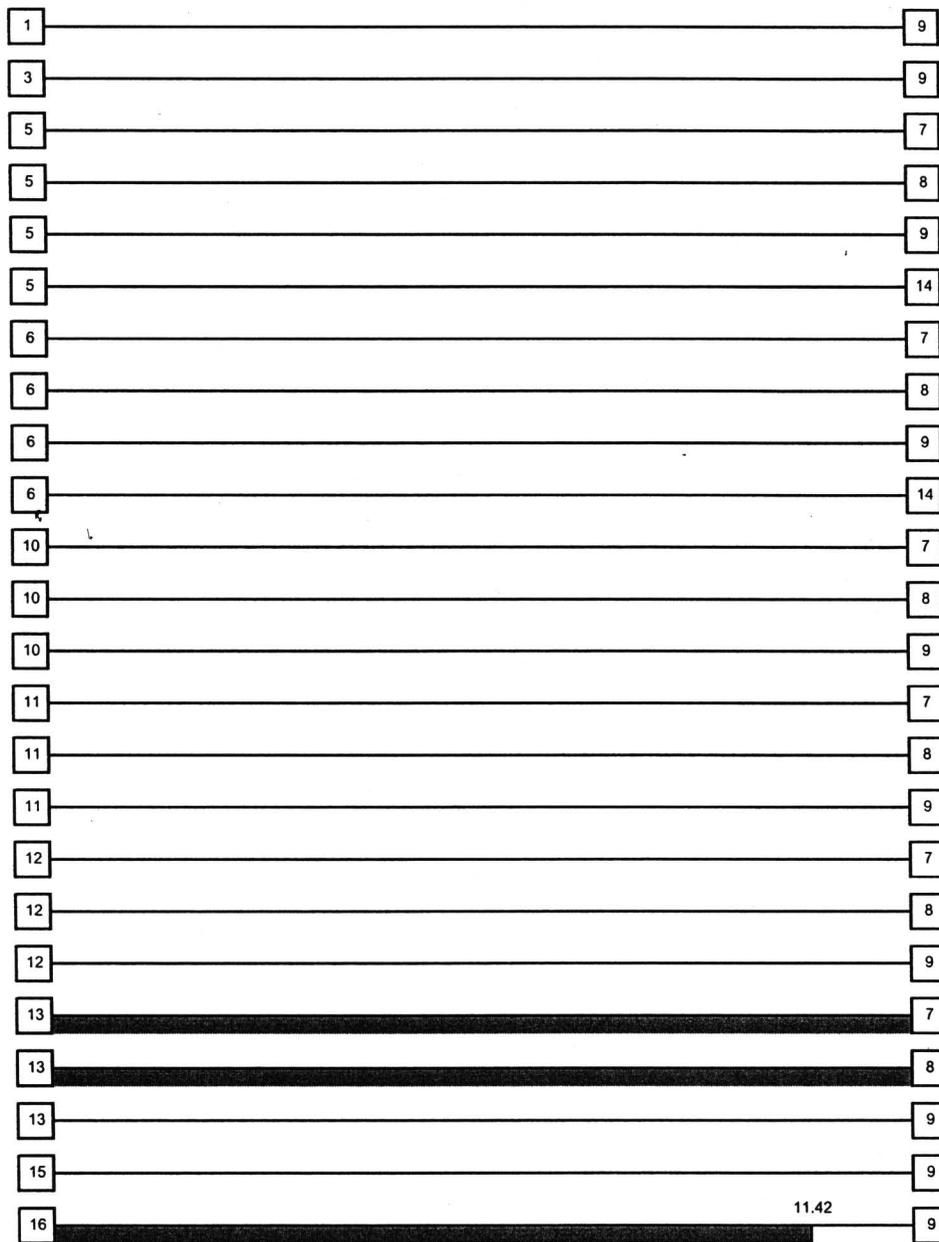
11.43 km



(ข) ข่ายเชื่อมโยงที่ 16

ข่ายเชื่อมโยงที่ 17

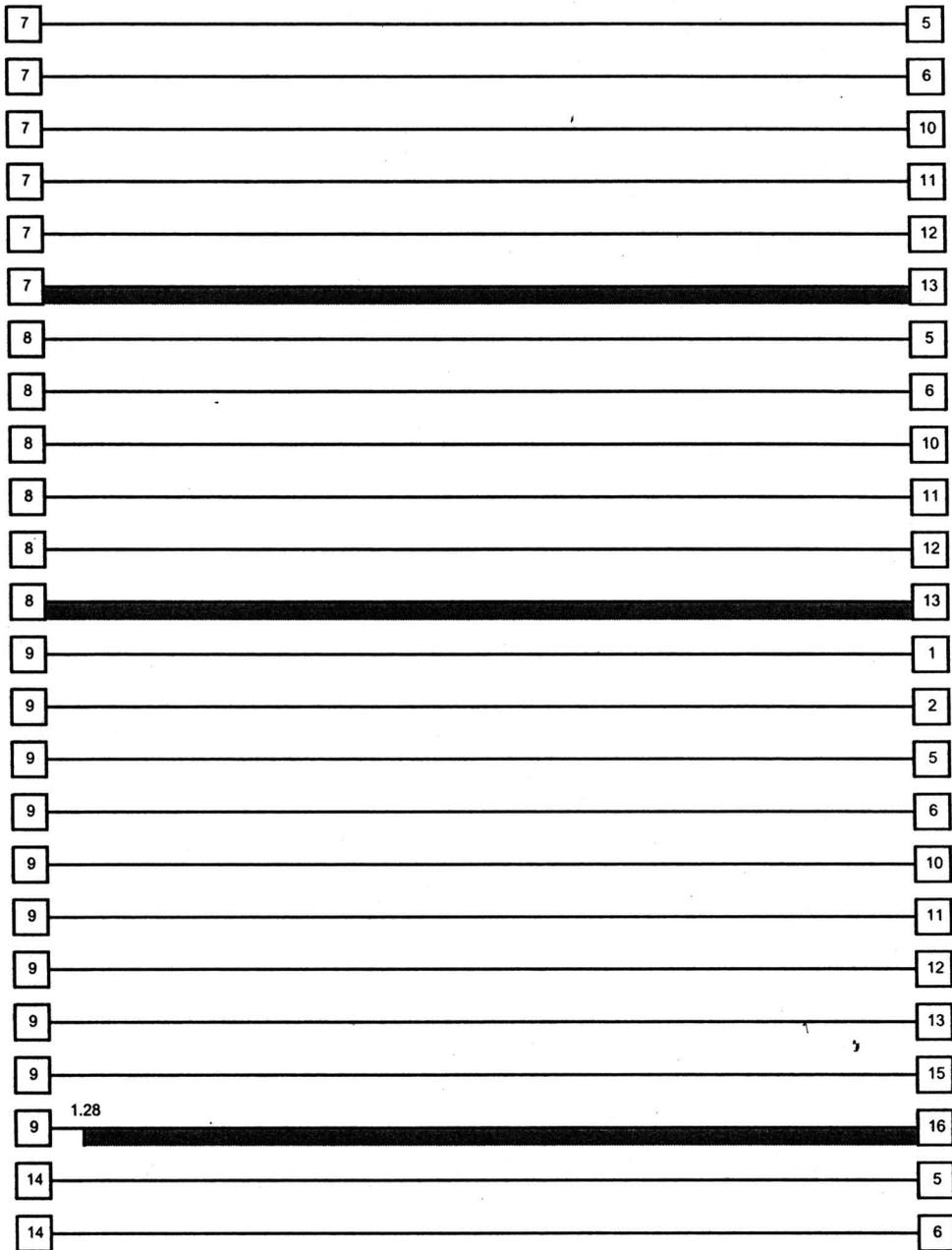
12.70 km



(ข) ข่ายเชื่อมโยงที่ 17

ข่ายเชื่อมโยงที่ 18

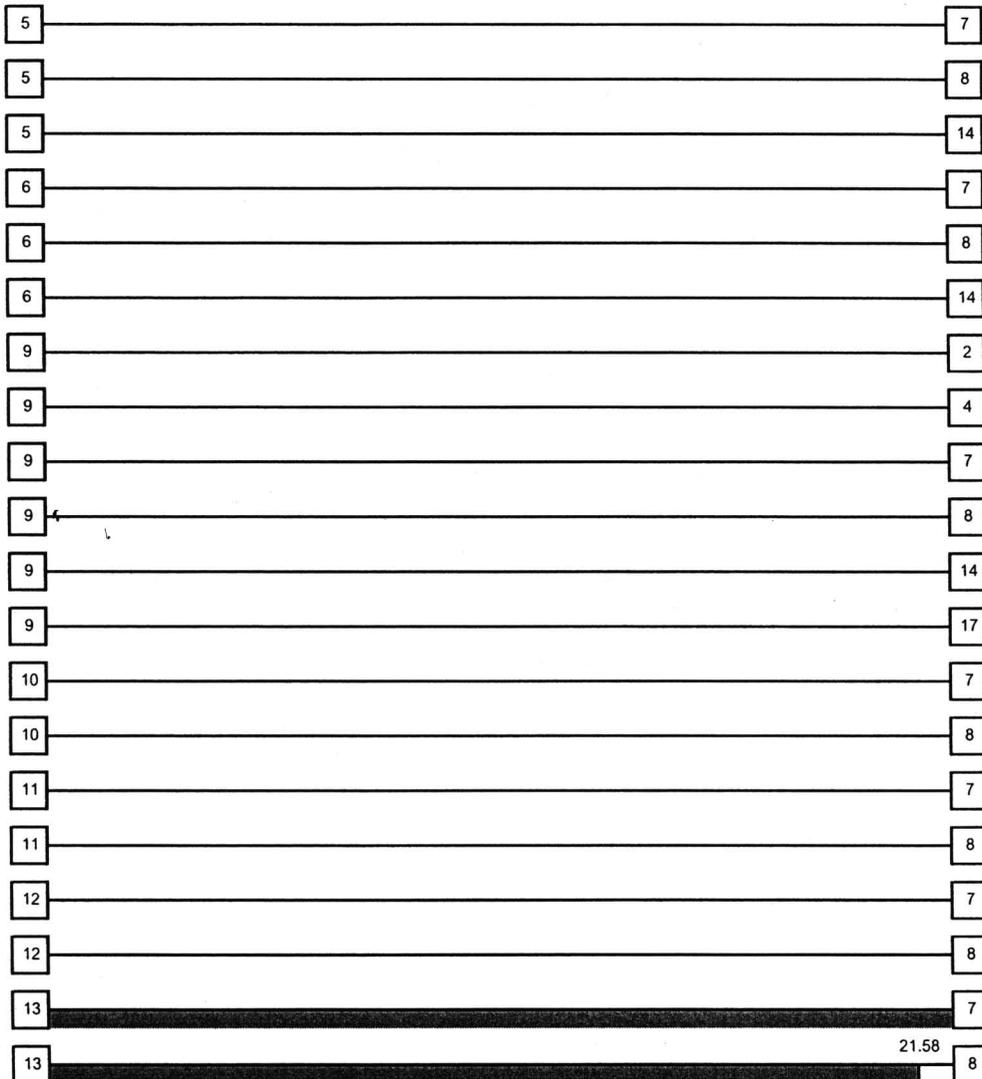
12.70 km



(ณ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 18

ข่ายเชื่อมโยงที่ 19

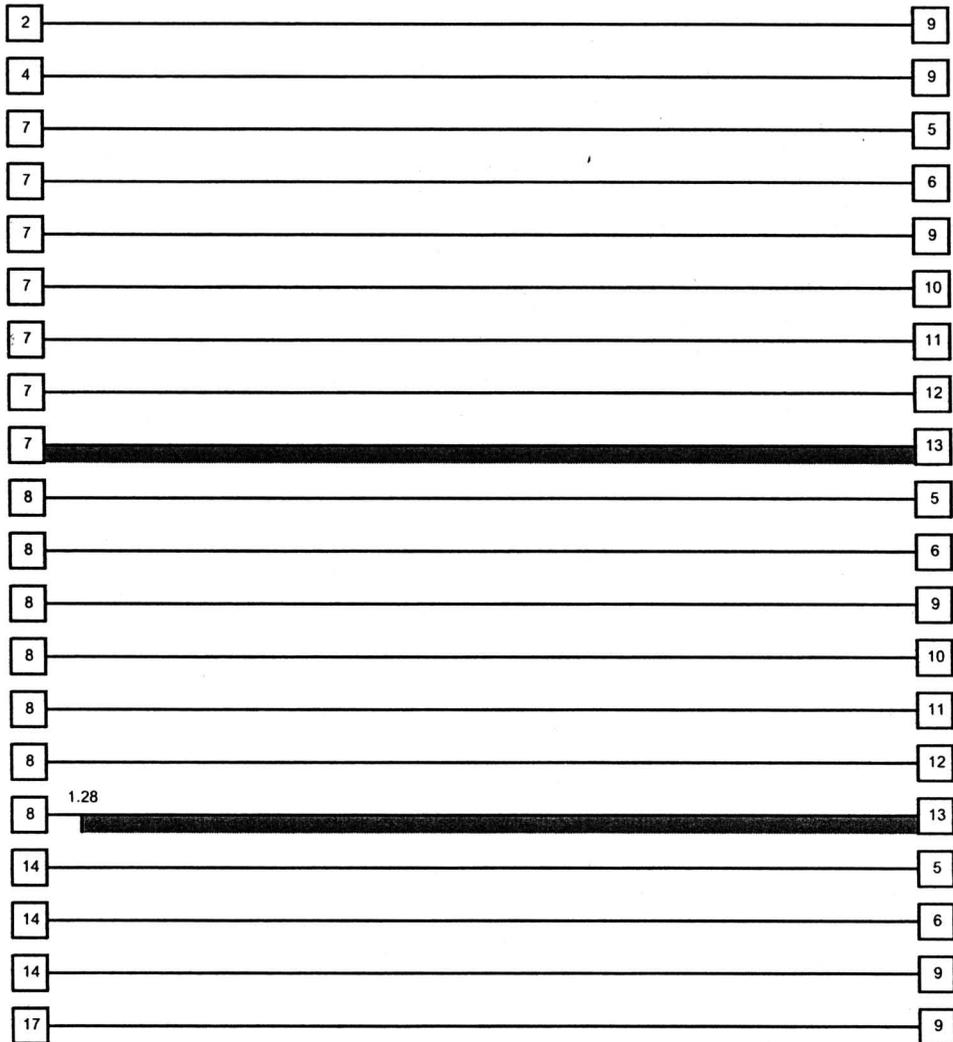
22.86 km



(ญ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 19

ชายเชื่อมโยงที่ 20

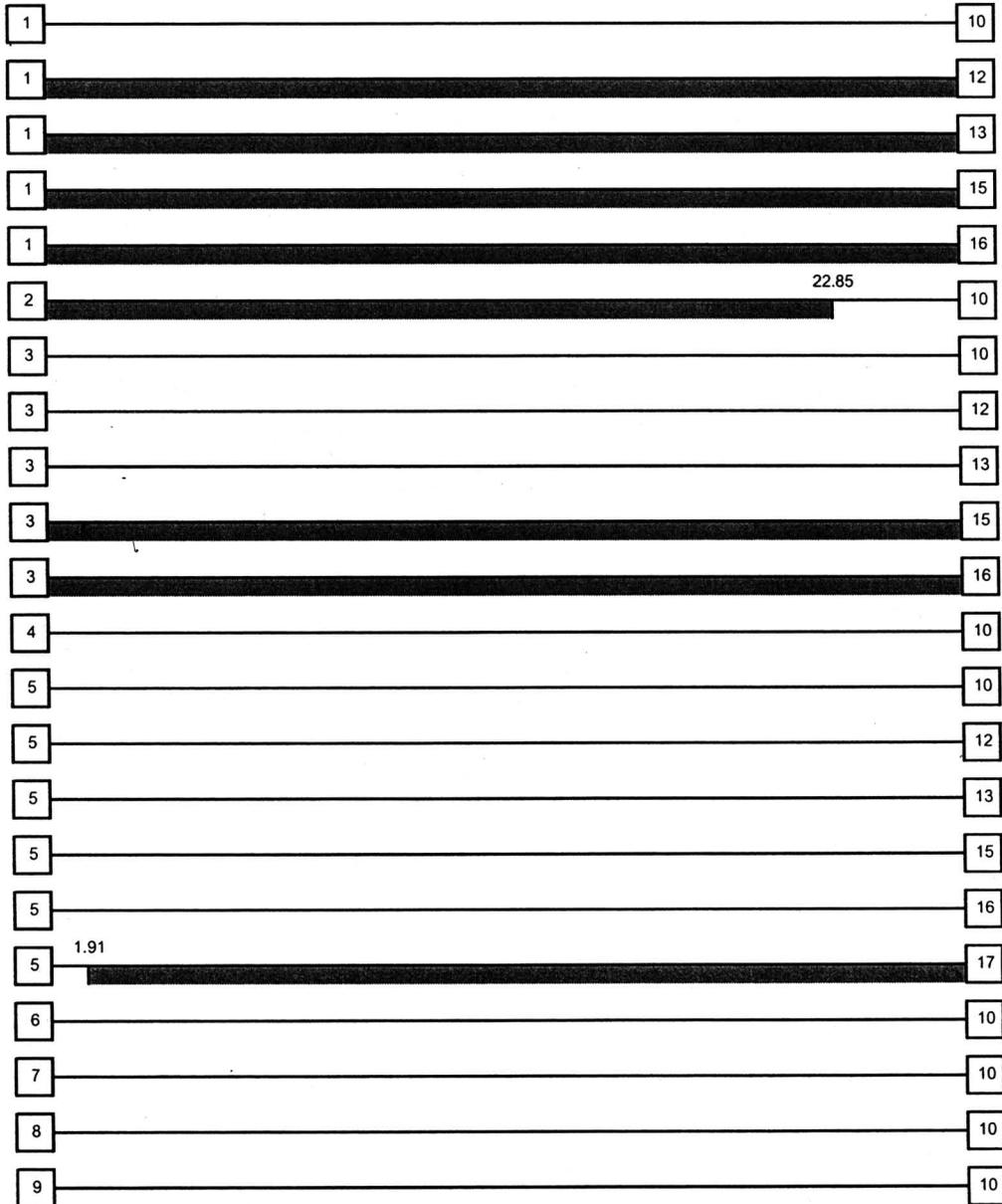
22.86 km



(ก) ชายเชื่อมโยงที่ 20

ข่ายเชื่อมโยงที่ 21

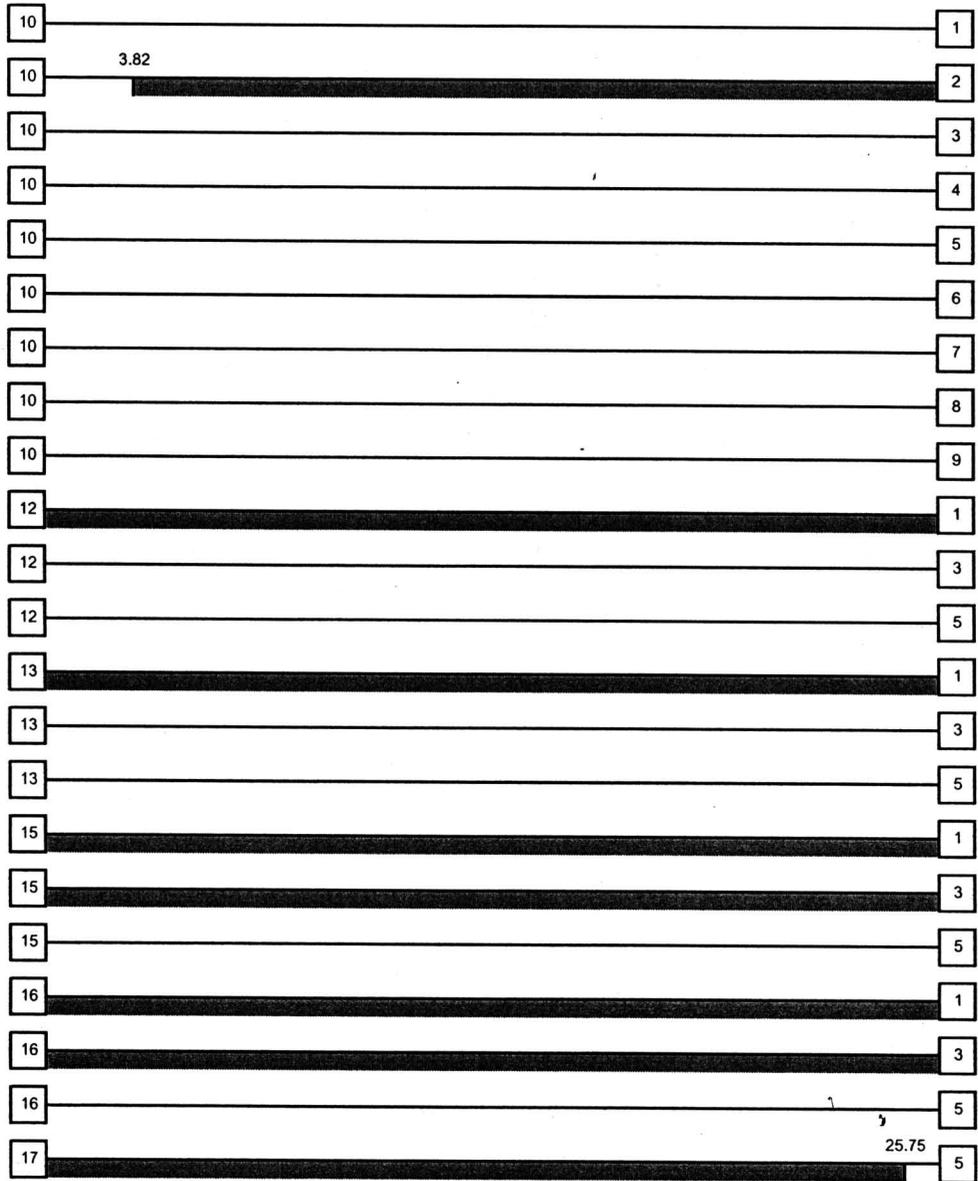
26.67 km



(ฎ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 21

ข่ายเชื่อมโยงที่ 22

26.67 km



(ฐ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 22

ข่ายเชื่อมโยงที่ 23

11.43 km

2	5
2	10
4	5
4	10
6	1
6	3
6	5
6	10
7	5
7	10
8	5
8	10
9	1
9	3
9	5
9	10
11	1
11	3
11	5
14	5

ข่ายเชื่อมโยงที่ 24

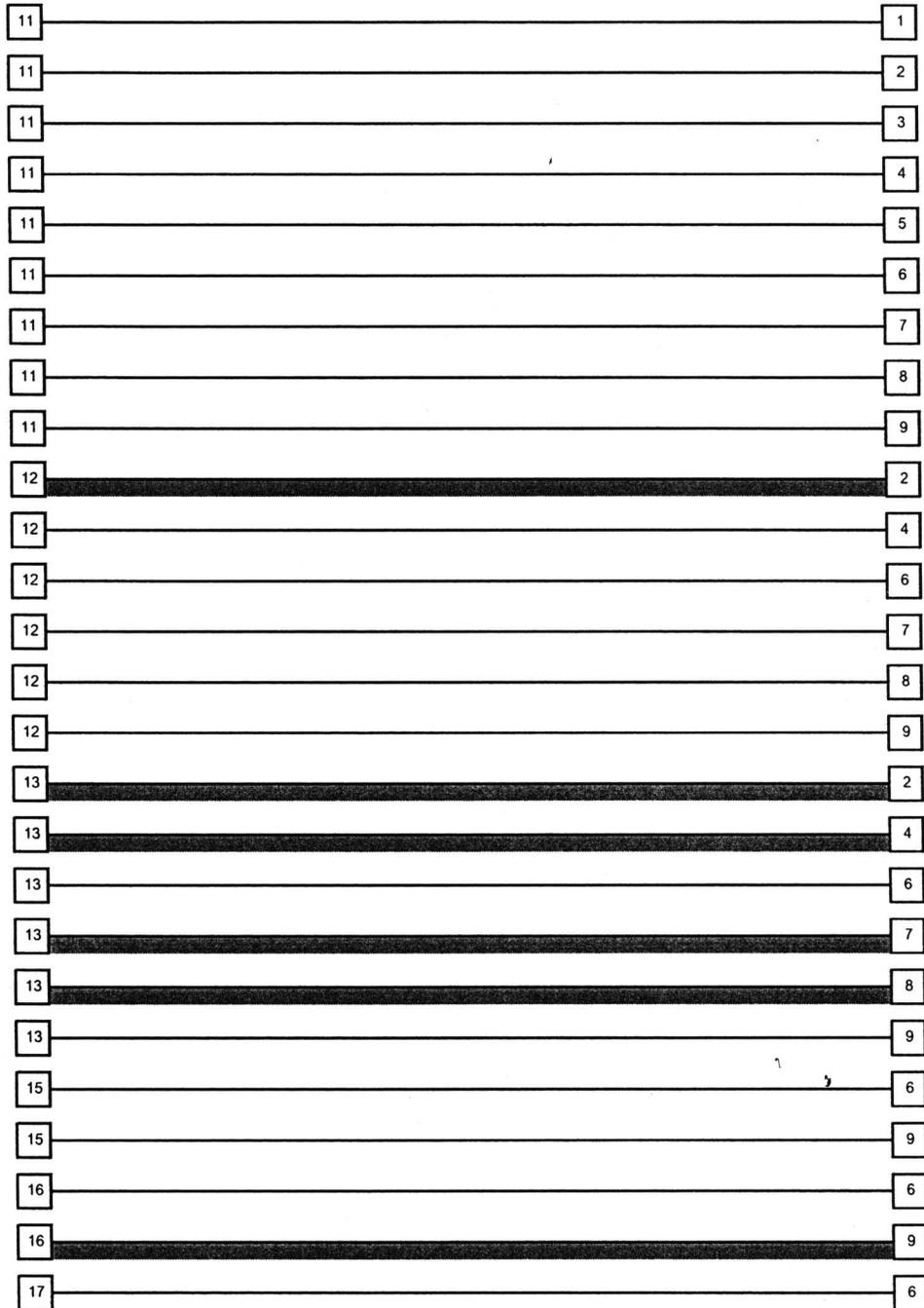
11.43 km

1	6
1	9
1	11
3	6
3	9
3	11
5	2
5	4
5	6
5	7
5	8
5	9
5	11
5	14
10	2
10	4
10	6
10	7
10	8
10	9

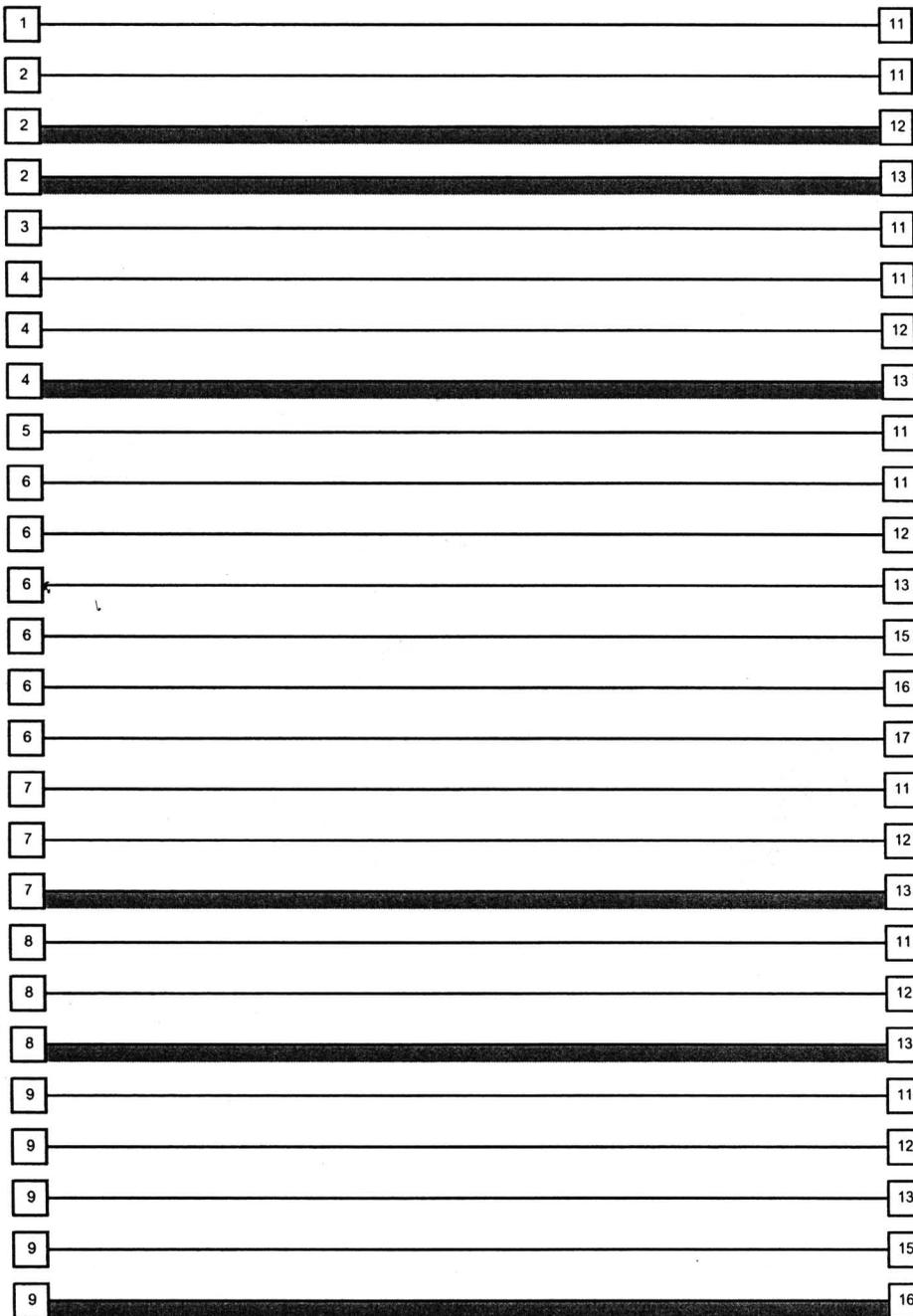
(ท) ข่ายเชื่อมโยงที่ 23-24

ข่ายเชื่อมโยงที่ 25

24.13 km



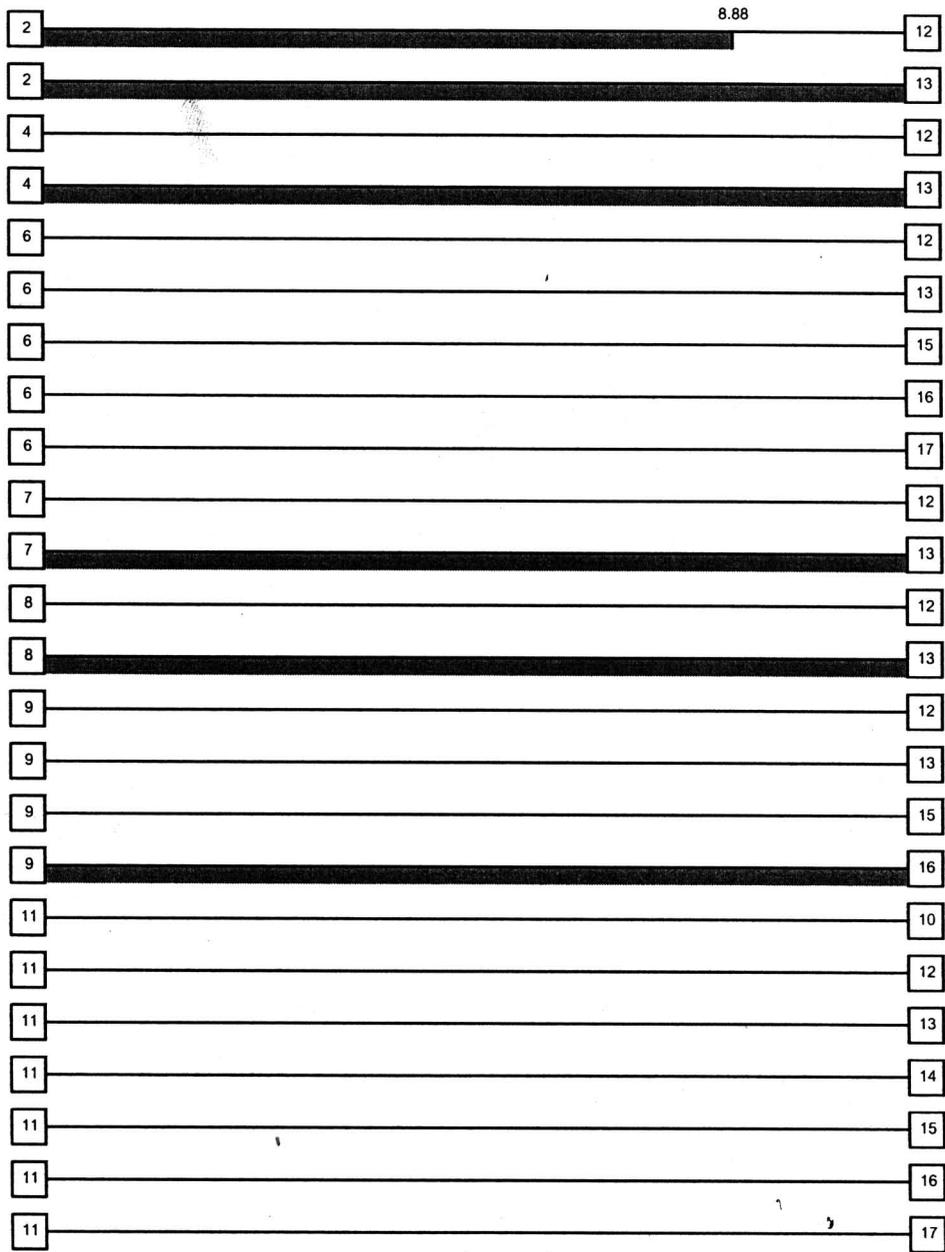
(ค) ข่ายเชื่อมโยงที่ 25



(ณ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 26

ข่ายเชื่อมโยงที่ 27

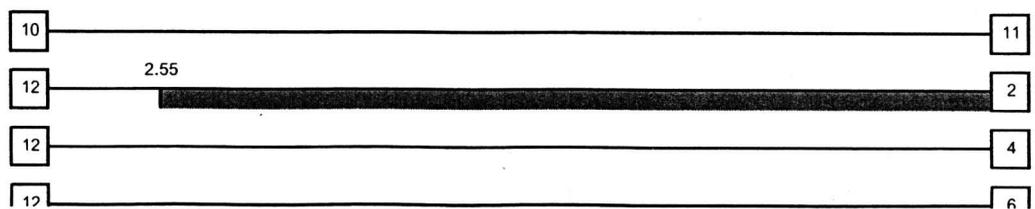
11.43 km



(ด) ข่ายเชื่อมโยงที่ 27

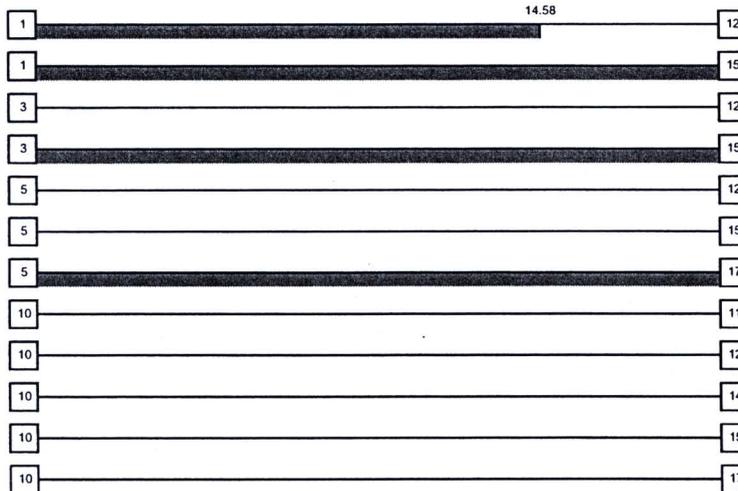
ข่ายเชื่อมโยงที่ 28

11.43 km



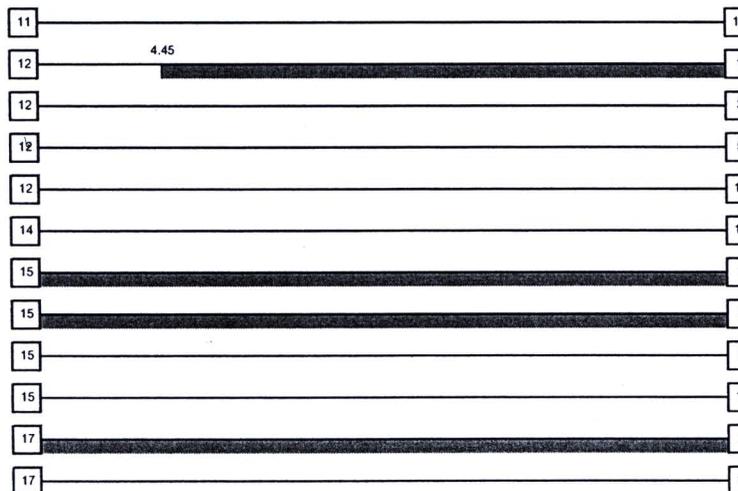
ข่ายเชื่อมโยงที่ 29

19.05 km



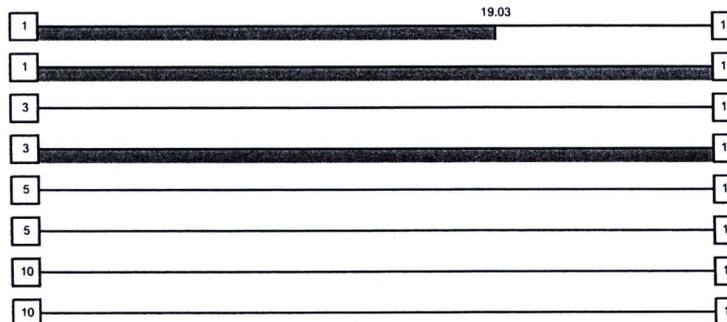
ข่ายเชื่อมโยงที่ 30

19.05 km



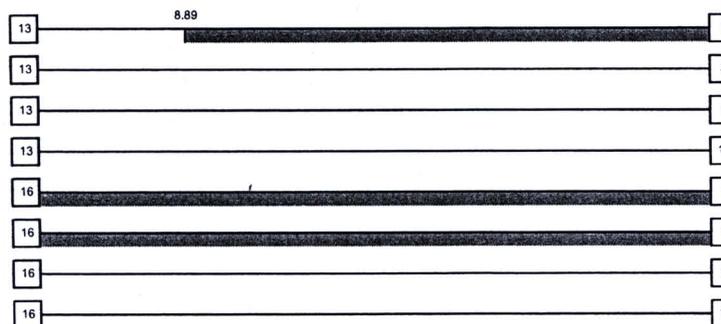
ข่ายเชื่อมโยงที่ 31

27.94 km



ข่ายเชื่อมโยงที่ 32

27.94 km

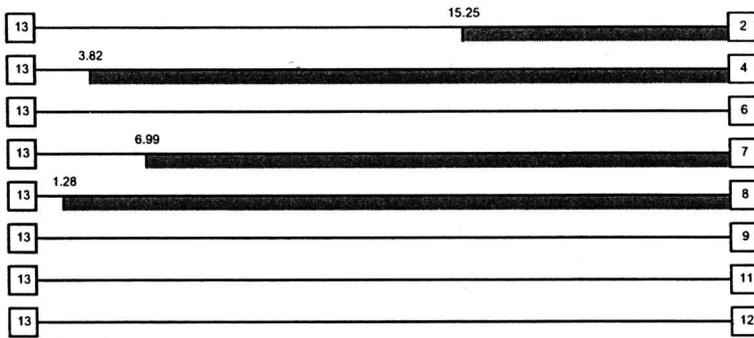


(ด) ข่ายเชื่อมโยงที่ 29-32



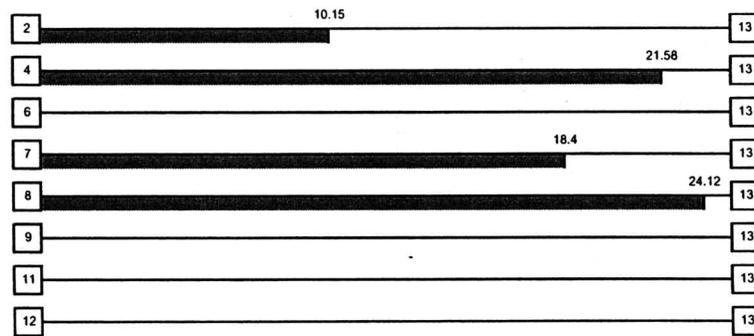
ข่ายเชื่อมโยงที่ 33

25.40 km



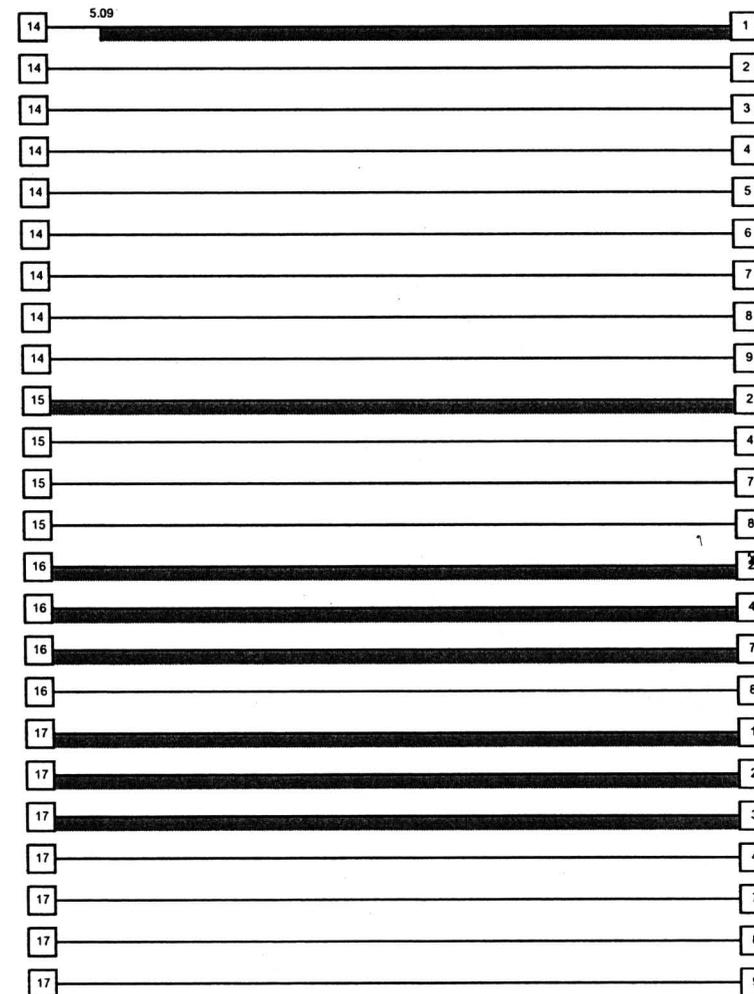
ข่ายเชื่อมโยงที่ 34

25.40 km



ข่ายเชื่อมโยงที่ 35

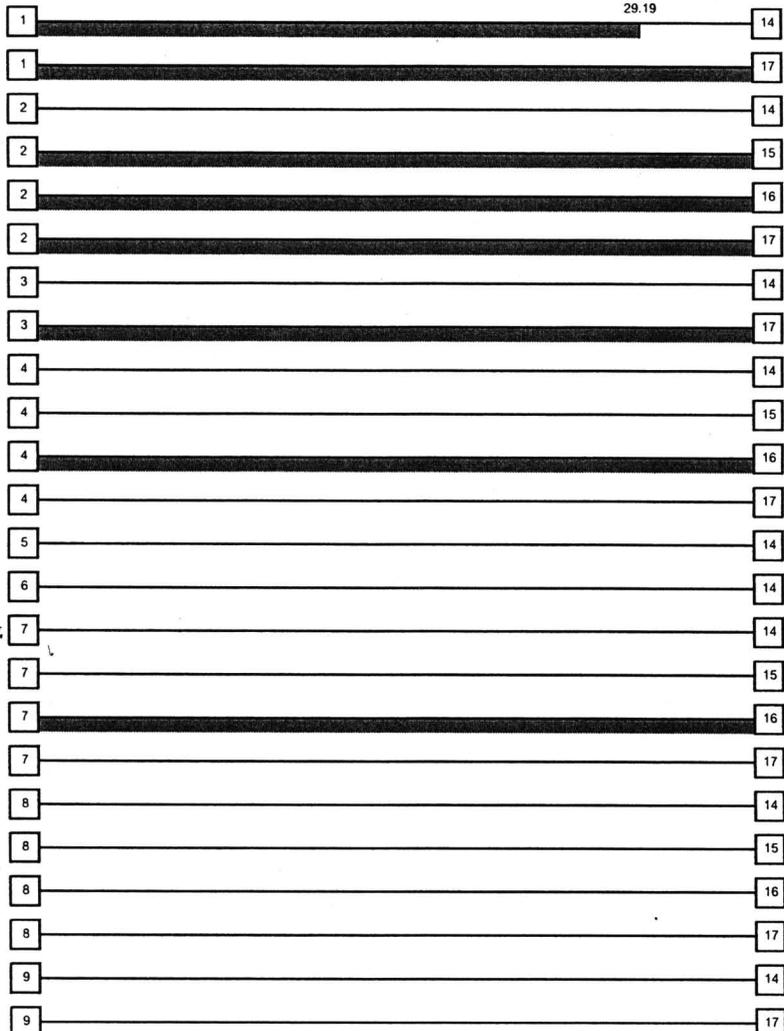
34.29 km



(ท) ข่ายเชื่อมโยงที่ 33-35

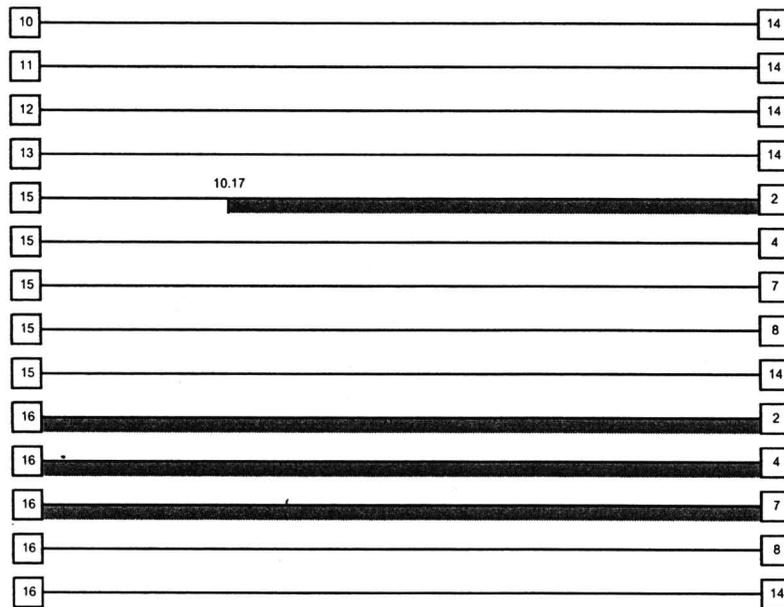
ข่ายเชื่อมโยงที่ 36

34.29 km



ข่ายเชื่อมโยงที่ 37

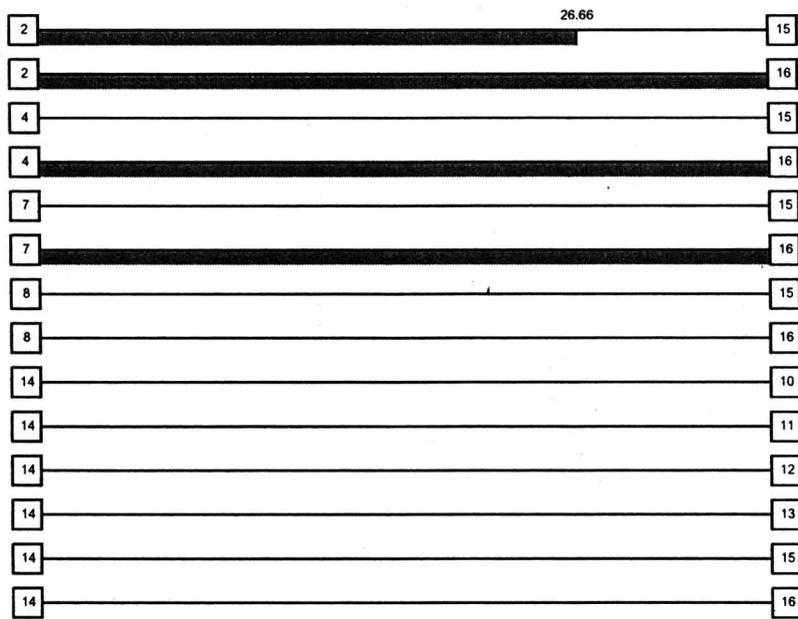
36.83 km



(ค) ข่ายเชื่อมโยงที่ 36-37

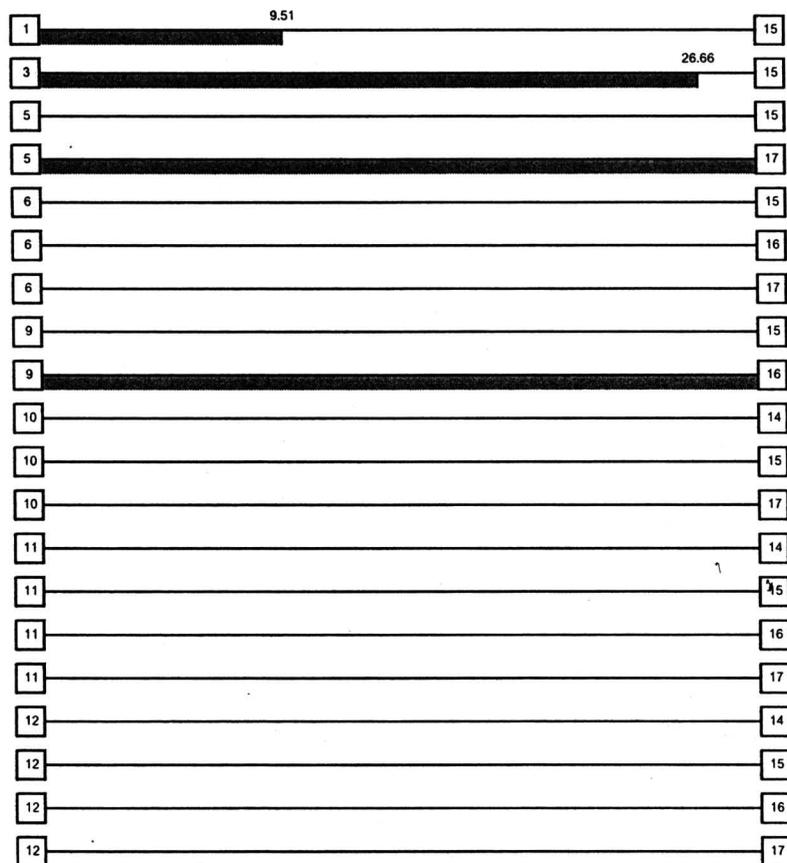
ข่ายเชื่อมโยงที่ 38

36.83 km



ข่ายเชื่อมโยงที่ 39

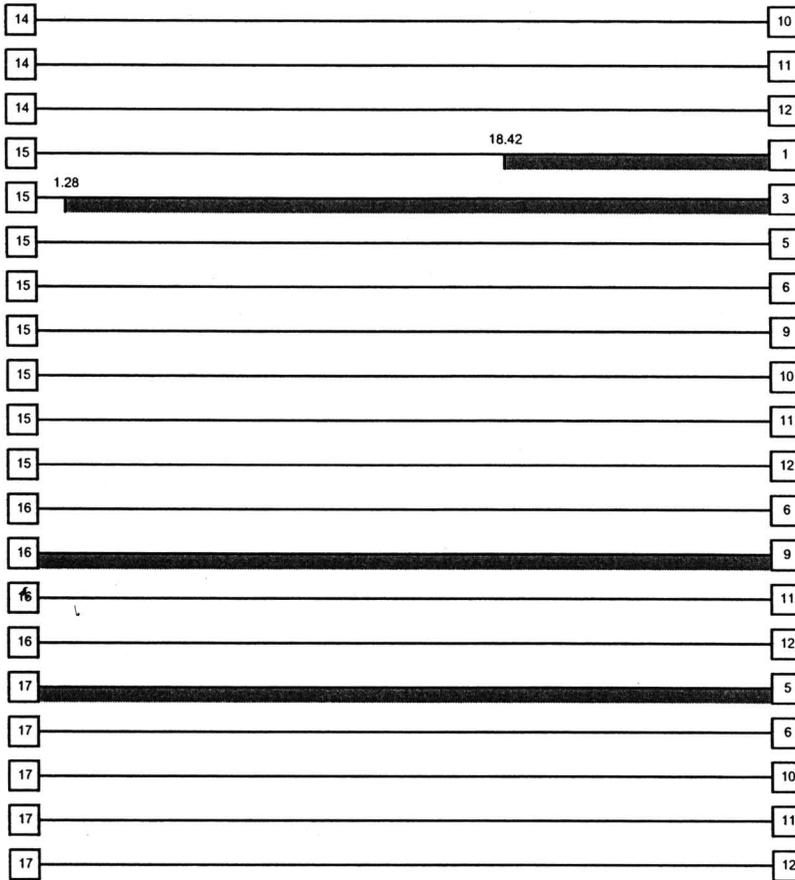
27.94 km



(น) ข่ายเชื่อมโยงที่ 38-39

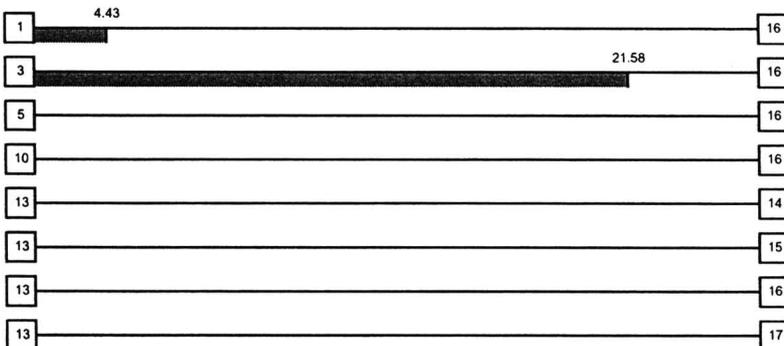
ข่ายเชื่อมโยงที่ 40

27.94 km



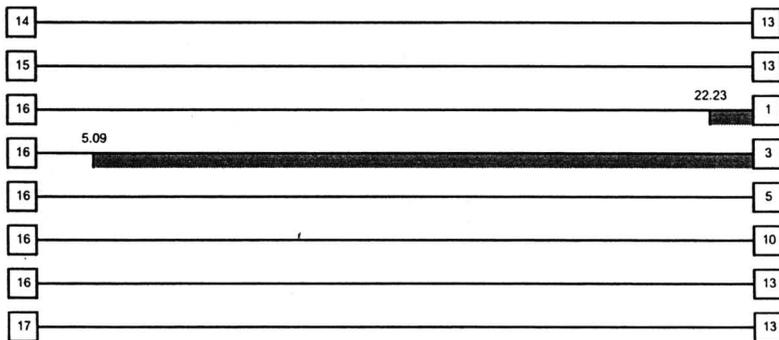
ข่ายเชื่อมโยงที่ 41

26.67 km



ข่ายเชื่อมโยงที่ 42

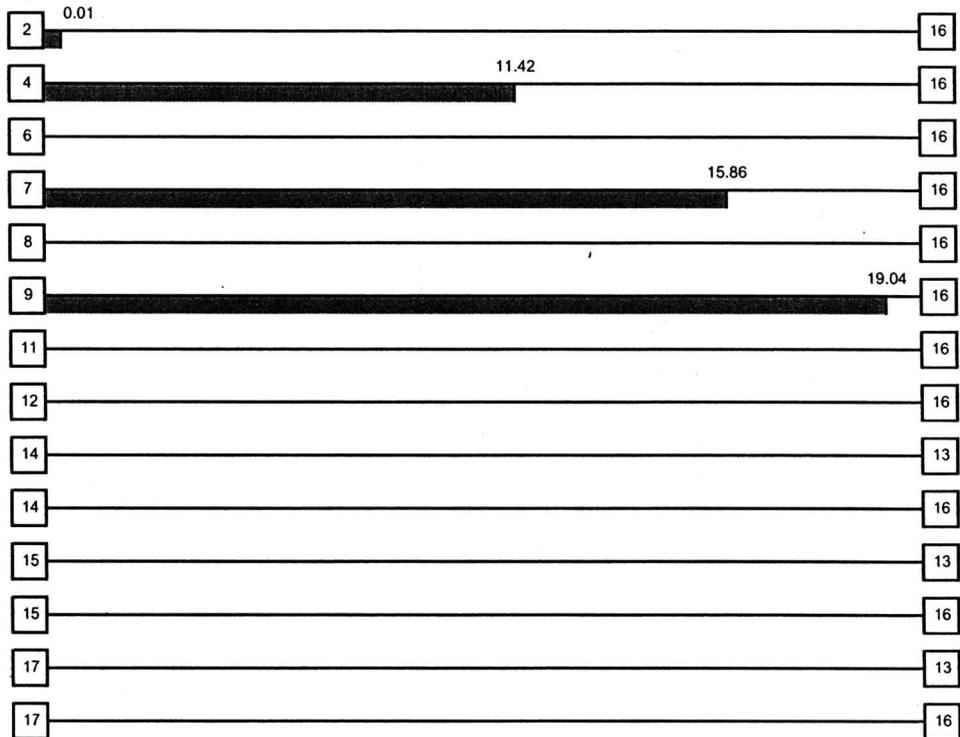
26.67 km



(บ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 40-42

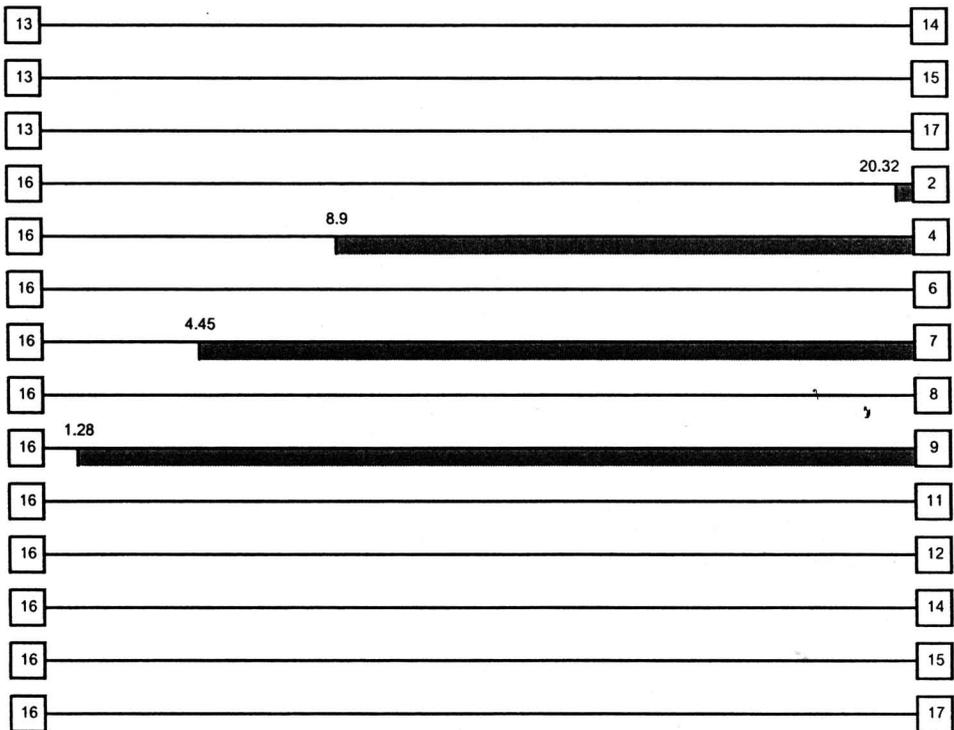
ข่ายเชื่อมโยงที่ 43

20.32 km

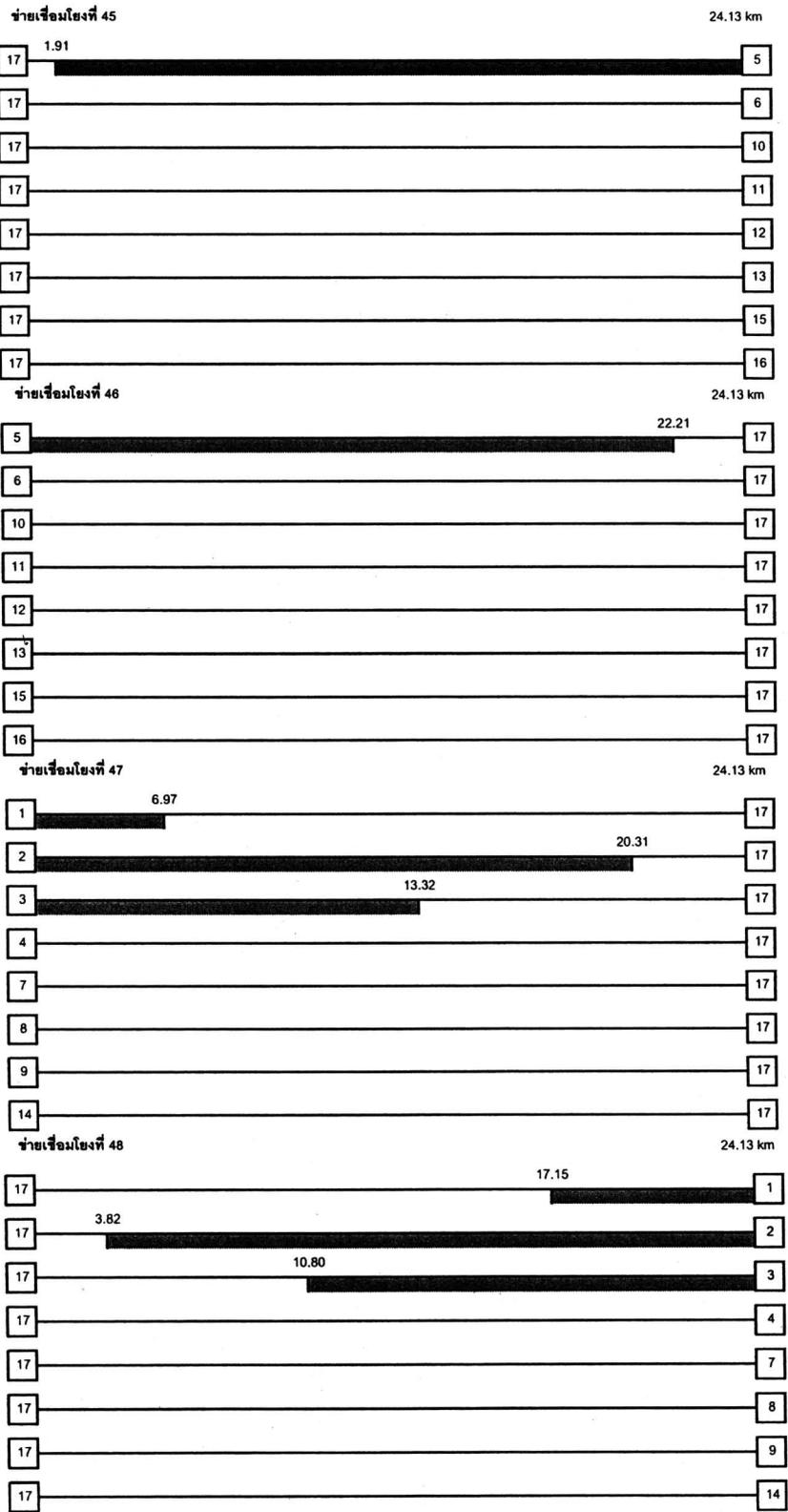


ข่ายเชื่อมโยงที่ 44

20.32 km



(ป) ข่ายเชื่อมโยงที่ 43-44



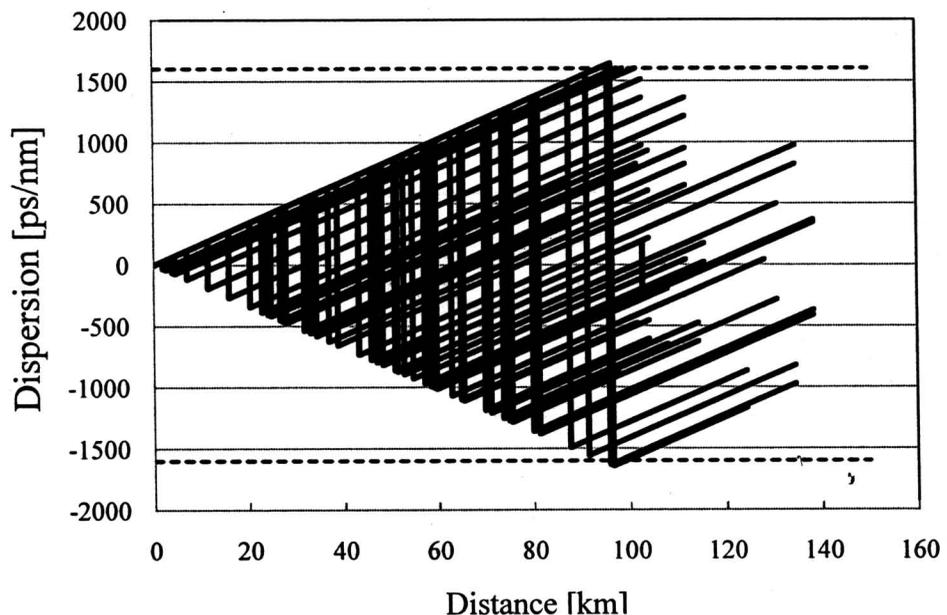
(ผ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 45-48

3. พิจารณาหาตำแหน่งวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง จากรูปที่ 4.13(ก)-(ง) จะพิจารณาหาตำแหน่งของเครื่องส่งยุคเฟสแสงได้โดยใช้หลักการเดิมจากตัวอย่างที่ 1 โดยย้ายเชื่อมโยงแรกที่ต้องพิจารณาคือ ข่ายเชื่อมโยงที่ 15 และ 16 หลังจากกระทำการหาช่วงในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงทั้งหมดแล้ว จะใช้เครื่องส่งยุคเฟสแสงทั้งหมด 6 ตัว และได้ตำแหน่งหรือช่วงการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงดังนี้

- ข่ายเชื่อมโยงที่ 15 (0 - 4.43 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 16 (6.99 - 11.43 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 21 (1.91 - 22.85 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 22 (3.82 - 24.75 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 27 (0 - 8.88 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 28 (2.55 - 11.43 km)

(ปรับตำแหน่งของข่ายเชื่อมโยงที่ 21 จาก 0 เป็น 1.91 เนื่องจากว่ากราฟฟิกของโนด 5 -17 ไม่ผ่านเพราะข่ายเชื่อมโยงที่ 21 เป็นข่ายแรกของกราฟฟิก)

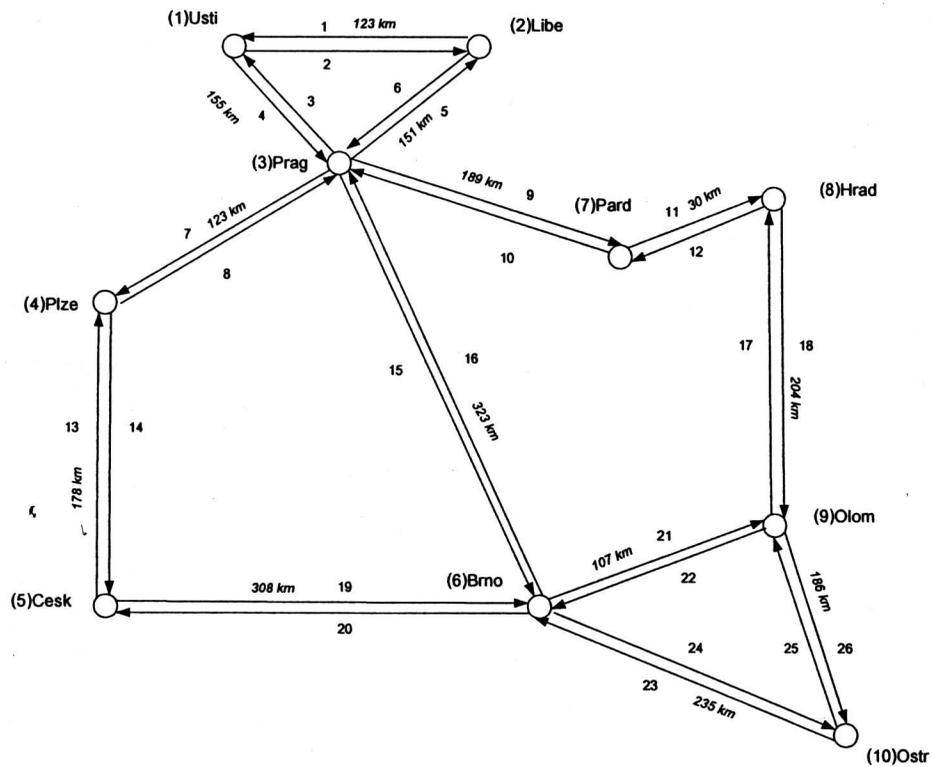
4. ตรวจสอบดิสเพอร์ชันของทุกกราฟฟิก รูปที่ 4.14 เป็นการตรวจสอบดิสเพอร์ชันหลังจากวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง



รูปที่ 4.14 ผลการตรวจสอบดิสเพอร์ชันหลังจากวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง

จากรูปที่ 4.38 จะเห็นว่าที่ปลายทางค่าดิสเพอร์ชันสะสมจะไม่เกินค่าที่กำหนด (± 1600 ps/nm) ไว้ แต่ระหว่างทางการสื่อสาร ค่าดิสเพอร์ชันอาจจะเกินค่าที่กำหนดไว้ก็ได้

ตัวอย่างที่ 3 โครงข่าย OPEN (Optical Pan European Network) ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 โครงข่าย OPEN

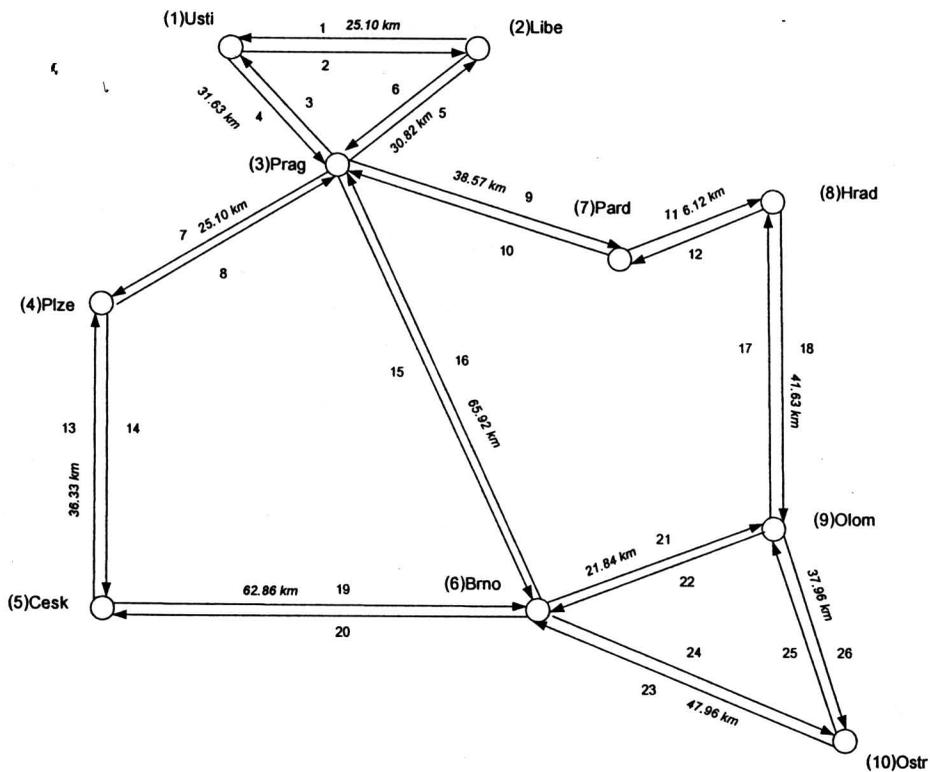
- 1.หาเส้นทางที่สั้นที่สุดและตำแหน่งของเครื่องส่งยุคเฟสแสง ได้ผลตามตารางที่ 4.7
- 2.หาค่า R และลดขนาดโครงข่าย ตารางที่ 4.8 แสดงผลการหาค่า R จากโครงข่าย OPEN ซึ่งสรุปได้ว่าค่า R ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.90 หรือลดขนาดโครงข่ายลงมา 4.90 เท่า รูปที่ 4.16 แสดงโครงข่าย OPEN ที่ได้รับการลดขนาดลงมาแล้ว ตารางที่ 4.9 แสดงกราฟฟิคและตำแหน่งการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงหลังจากลดขนาดโครงข่ายแล้ว ส่วนรูปที่ 4.17 แสดงตำแหน่งของเครื่องส่งยุคเฟสแสงลงบนข่ายเชื่อมโยง

ตารางที่ 4.7 ทราฟฟิกและระยะทางทั้งหมดของโครงข่าย OPEN

1	ระยะทาง [km]	ขายเชื่อมโง [km]	OPC_L	OPC_R	2	ระยะทาง [km]	ขายเชื่อมโง [km]	OPC_L	OPC_R	3	ระยะทาง [km]	ขายเชื่อมโง [km]	OPC_L	OPC_R
2	123	2	14.52	108.48	1	123	1	14.52	108.48	1	155	3	30.52	124.48
3	155	4	30.52	124.48	3	151	6	28.52	122.48	2	151	5	28.52	122.48
4	278	4,7	92.02	185.98	4	274	6,7	90.02	183.98	4	123	7	14.52	108.48
5	456	4,7,14	181.02	274.98	5	452	6,7,14	179.02	272.98	5	301	7,14	103.52	197.48
6	478	4,15	192.02	285.98	6	474	6,15	190.02	283.98	6	323	15	114.52	208.48
7	344	4,9	125.02	218.98	7	340	6,9	123.02	216.98	7	189	9	47.52	141.48
8	374	4,9,11	140.02	233.98	8	370	6,9,11	138.02	231.98	8	219	9,11	62.52	156.48
9	578	4,9,11,18	242.02	335.98	9	574	6,9,11,18	240.02	333.98	9	423	9,11,18	164.52	258.48
10	713	4,15,24	309.52	403.48	10	709	6,15,24	307.52	401.48	10	558	15,24	232.02	325.98
4	ระยะทาง [km]	ขายเชื่อมโง [km]	OPC_L	OPC_R	5	ระยะทาง [km]	ขายเชื่อมโง [km]	OPC_L	OPC_R	6	ระยะทาง [km]	ขายเชื่อมโง [km]	OPC_L	OPC_R
1	278	8,3	92.02	185.98	1	456	13,8,3	181.02	274.98	1	478	16,3	192.02	285.98
2	274	8,5	90.02	183.98	2	452	13,8,5	179.02	272.98	2	474	16,5	190.02	283.98
3	123	8	14.52	108.48	3	301	13,8	103.52	197.48	3	323	16	114.52	208.48
5	178	14	42.02	135.98	4	178	13	42.02	135.98	4	446	16,7	176.02	269.98
6	446	8,15	176.02	269.98	6	308	19	107.02	200.98	5	308	20	107.02	200.98
7	312	8,9	109.02	202.98	7	490	13,8,9	198.02	291.98	7	341	21,17,12	123.52	217.48
8	342	8,9,11	124.02	217.98	8	520	13,8,9,11	213.02	306.98	8	311	21,17	108.52	202.48
9	546	8,9,11,18	226.02	319.98	9	415	19,21	160.52	254.48	9	107	21	6.52	100.48
10	681	8,15,24	293.52	387.48	10	543	19,24	224.52	318.48	10	235	24	70.52	164.48
7	ระยะทาง [km]	ขายเชื่อมโง [km]	OPC_L	OPC_R	8	ระยะทาง [km]	ขายเชื่อมโง [km]	OPC_L	OPC_R	9	ระยะทาง [km]	ขายเชื่อมโง [km]	OPC_L	OPC_R
1	344	10,3	125.02	218.98	1	374	12,10,3	140.02	233.98	1	578	17,12,10,3	242.02	335.98
2	340	10,5	123.02	216.98	2	370	12,10,5	138.02	231.98	2	574	17,12,10,5	240.02	333.98
3	189	10	47.52	141.48	3	219	12,10	62.52	156.48	3	423	17,12,10	164.52	258.48
4	312	10,7	109.02	202.98	4	342	12,10,7	124.02	217.98	4	546	17,12,10,7	226.02	319.98
5	490	10,7,14	198.02	291.98	5	520	12,10,7,14	213.02	306.98	5	415	22,20	160.52	254.48
6	341	11,18,22	123.52	217.48	6	311	18,22	108.52	202.48	6	107	22	6.52	100.48
8	30	11	-31.98	61.98	7	30	12	-31.98	61.98	7	234	17,12	70.02	163.98
9	234	11,18	70.02	163.98	9	204	18	55.02	148.98	8	204	17	55.02	148.98
10	420	11,18,26	163.02	256.98	10	390	18,26	148.02	241.98	10	186	26	46.02	139.98
10	ระยะทาง [km]	ขายเชื่อมโง [km]	OPC_L	OPC_R										
1	123	23,16,3	14.52	108.48										
2	155	23,16,5	30.52	124.48										
3	278	23,16	92.02	185.98										
4	456	23,16,7	181.02	274.98										
5	478	23,20	192.02	285.98										
6	340	23	123.02	216.98										
7	374	25,17,12	140.02	233.98										
8	578	25,17	242.02	335.98										
9	713	25	309.52	403.48										

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า R ของโครงข่ายตัวอย่างที่ 3

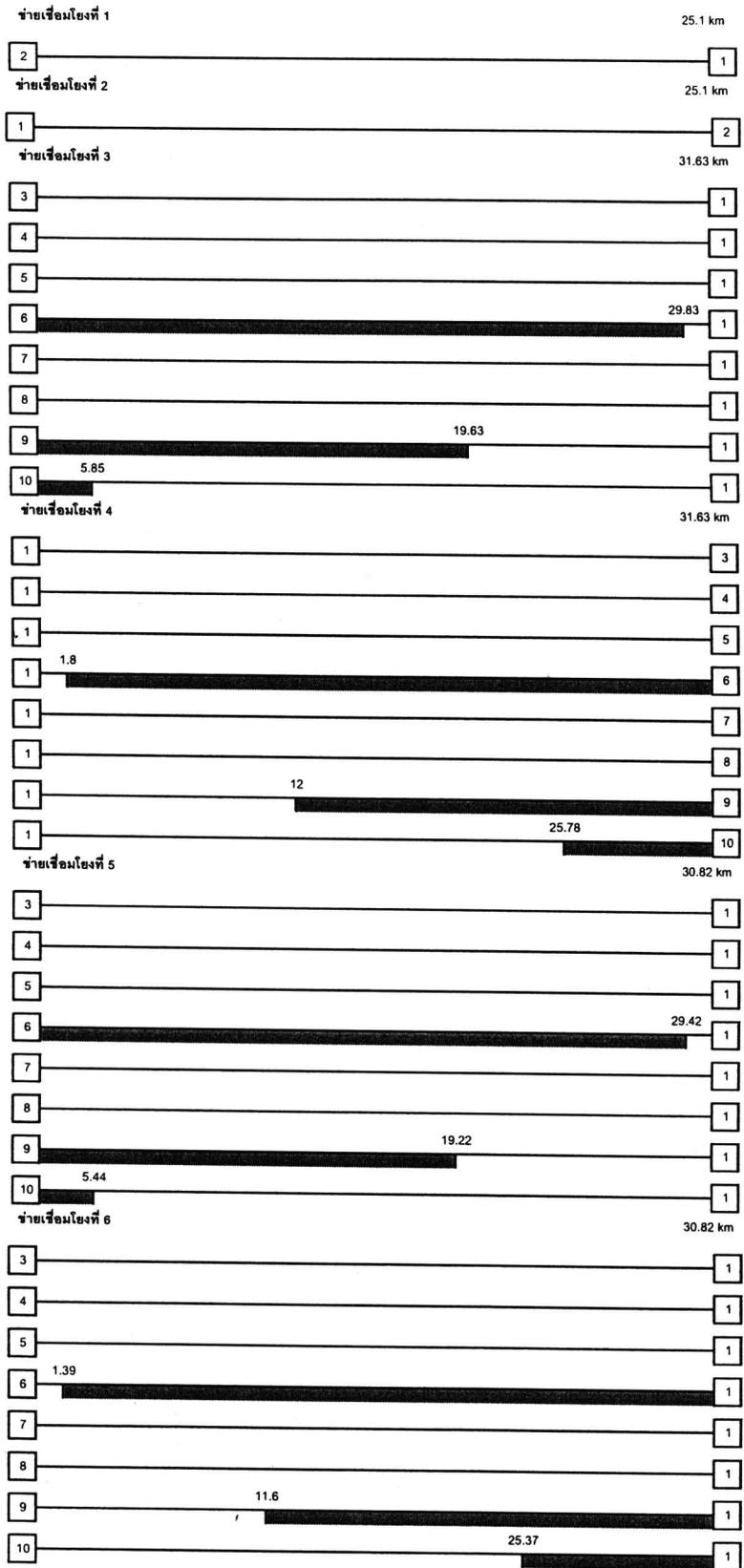
โหนดต้นทาง-โหนดปลายทาง	ทราบที่ก [km]	X ₁ [km]	R	โหนดต้นทาง-โหนดปลายทาง	ทราบที่ก [km]	X ₁ [km]	R
1-10	713	155	4.29	6-7	341	107	1.35
2-10	709	151	4.33	7-5	490	189	1.19
3-5	301	123	0.59	7-10	420	30	3.83
3-9	423	189	0.48	8-5	520	30	4.90
3-10	558	323	-0.94	8-10	390	204	-0.19
4-10	681	123	4.63	9-1	578	204	1.81
5-8	520	178	1.75	9-5	415	107	2.14
5-10	543	308	-0.78	10-5	478	235	0.09
6-1	478	323	-1.79	10-8	578	186	2.19



รูปที่ 4.16 โครงข่าย OPEN ที่ได้รับการลดขนาดโครงข่ายลงมา 4.90 เท่า

ตารางที่ 4.9 ทราฟฟิกและระยะทางทั้งหมดของโครงข่าย OPEN (ลดขนาดโครงข่าย)

ระยะทาง/R (km)	ระยะทาง (km)	จำนวนโหนด (km)	OPC_L	OPC_R	ระยะทาง/R (km)	ระยะทาง (km)	จำนวนโหนด (km)	OPC_L	OPC_R	ระยะทาง/R (km)	ระยะทาง (km)	จำนวนโหนด (km)	OPC_L	OPC_R
25.10	123	2	34.42	59.53	25.10	123	1	34.42	59.53	31.63	155	3	31.16	62.79
31.63	155	4	31.16	62.79	30.82	151	6	31.57	62.38	30.82	151	5	31.57	62.38
56.73	278	4.7	18.61	75.34	55.92	274	6.7	19.02	74.94	25.10	123	7	34.42	59.53
93.06	456	4.7,14	0.45	93.51	92.24	452	6.7,14	0.65	93.10	61.43	301	7.14	18.26	77.89
97.55	478	4.15	1.80	95.75	96.73	474	6.15	1.39	95.34	65.92	323	15	14.02	79.94
70.20	344	4.9	11.67	82.08	69.39	340	6.9	12.26	81.67	38.57	189	9	27.69	66.26
76.33	374	4.9,11	5.61	85.14	75.51	370	6.9,11	8.22	84.73	44.69	219	9.11	24.63	68.32
117.96	578	4.9,11,18	12.00	105.96	117.14	574	6.9,11,18	11.60	105.55	86.33	423	9.11,18	3.81	90.14
145.51	713	4.15,24	25.78	119.73	144.69	709	6.15,24	25.37	119.32	113.88	558	15,24	9.96	103.91
56.73	278	8.3	18.61	75.34	93.06	456	13.8,3	0.45	93.51	97.55	478	16.3	1.80	95.75
55.92	274	8.5	19.02	74.94	92.24	452	13.8,5	0.65	93.10	96.73	474	16.5	1.39	95.34
25.10	123	8	34.42	59.53	61.43	301	13.8	18.26	77.89	65.92	323	16	14.02	79.94
36.33	178	14	26.81	65.14	36.33	178	13	26.81	65.14	91.02	446	16.7	1.47	92.49
91.02	446	8.15	1.47	92.49	62.86	308	19	15.55	71.40	62.86	308	20	15.55	71.40
63.67	312	8.9	15.14	78.81	100.00	490	13.8,9	3.02	96.98	69.59	341	21.17,12	12.18	81.77
69.80	342	8.9,11	12.08	81.87	106.12	520	13.8,9,11	6.09	100.04	63.47	311	21.17	15.24	78.71
111.43	546	8.9,11,18	8.74	102.69	84.69	415	19.21	4.63	89.32	21.84	107	21	36.06	57.89
138.98	681	8.15,24	22.51	116.47	110.82	543	19.24	8.43	102.38	47.96	235	24	23.00	70.96
70.20	344	10.3	11.67	82.08	76.33	374	12.10,3	5.61	85.14	117.96	578	17.12,10.3	12.00	105.96
69.39	340	10.5	12.26	81.67	75.51	370	12.10,5	8.22	84.73	117.14	574	17.12,10.5	11.60	105.55
38.57	189	10	27.69	66.26	44.69	219	12.10	24.63	68.32	86.33	423	17.12,10	3.81	90.14
63.67	312	10.7	15.14	78.81	69.80	342	12.10,7	12.08	81.87	111.43	546	17.12,10.7	8.74	102.69
100.00	490	10.7,14	3.02	96.98	106.12	520	12.10,7,14	6.09	100.04	84.69	415	22.20	4.63	89.32
69.59	341	11.18,22	12.18	81.77	63.47	311	18.22	15.24	78.71	21.84	107	22	36.06	57.89
6.12	30	11	43.91	50.04	6.12	30	12	43.91	50.04	47.76	234	17.12	23.10	70.85
47.76	234	11.18	23.10	70.85	41.63	204	18	26.16	67.79	41.63	204	17	26.16	67.79
85.71	420	11.18,26	4.12	89.83	79.59	390	18.26	7.18	86.77	37.96	186	26	26.00	65.96
145.51	713	23.16,3	25.78	119.73	144.69	709	23.16,5	25.37	119.32	113.88	558	23.16	9.96	103.91
144.69	709	23.16,5	25.37	119.32	113.88	558	23.16	9.96	103.91	138.98	681	23.16,7	22.51	116.47
113.88	558	23.16	9.96	103.91	138.98	681	23.20	8.43	102.38	110.82	543	23	23.00	70.96
138.98	681	23.16,7	22.51	116.47	110.82	543	23.20	8.43	102.38	47.96	235	23	23.00	70.96
110.82	543	23.20	8.43	102.38	47.96	235	23	23.00	70.96	85.71	420	25.17,12	4.12	89.83
47.96	235	23	23.00	70.96	85.71	420	25.17,12	4.12	89.83	79.59	390	25.17	7.18	86.77
85.71	420	25.17,12	4.12	89.83	79.59	390	25.17	7.18	86.77	37.96	186	25	26.00	65.96
79.59	390	25.17	7.18	86.77	37.96	186	25	26.00	65.96					
37.96	186	25	26.00	65.96										

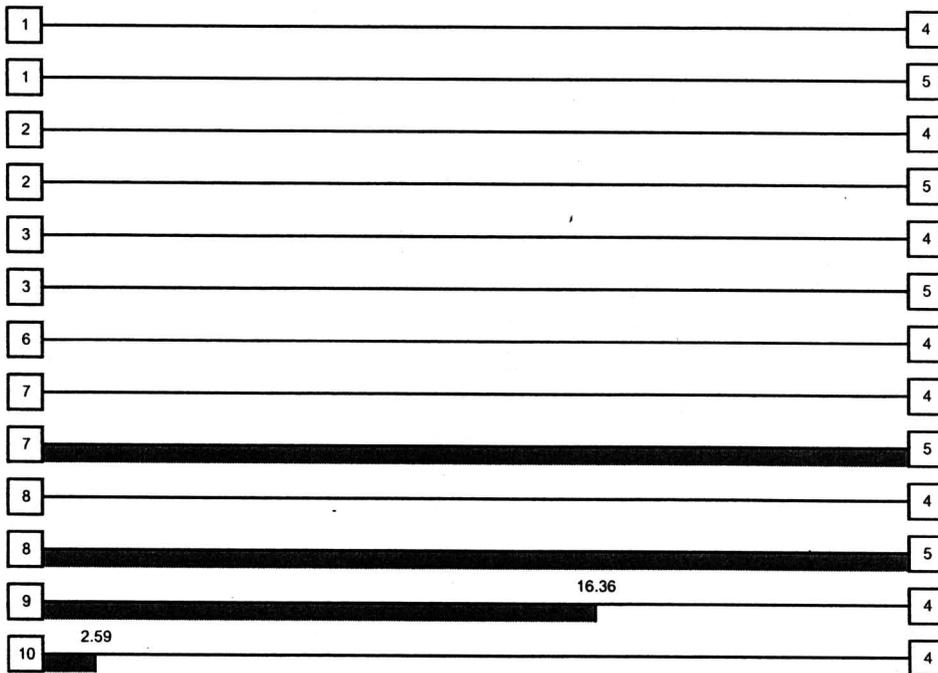


(ก) ขั้วเชื่อมโยงที่ 1-6

รูปที่ 4.17 ทราฟฟิกและตำแหน่งของเครื่องส่งยุคเฟสแสงของโครงข่าย OPEN

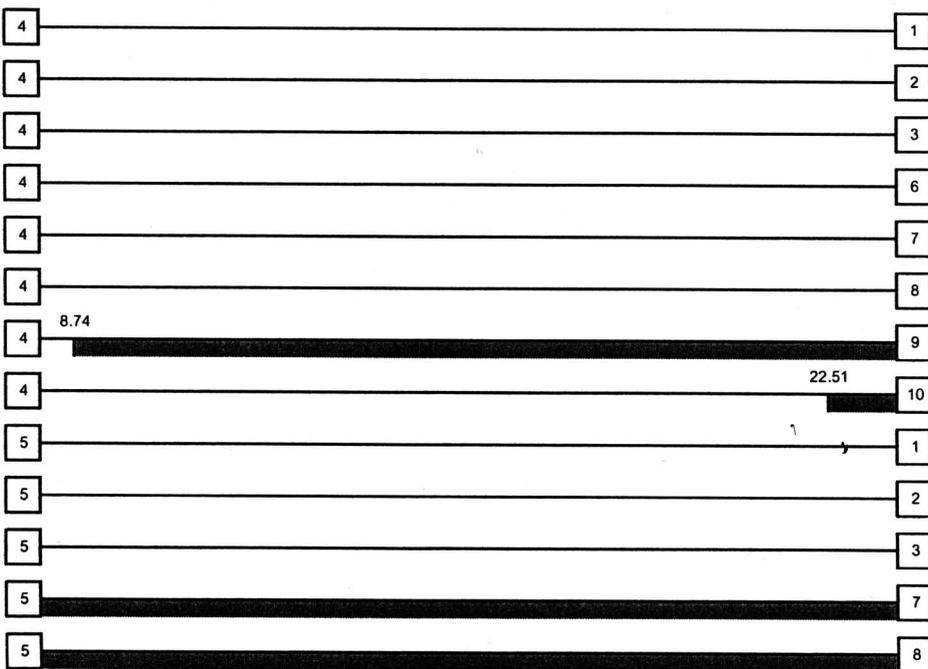
ข่ายเชื่อมโยงที่ 7

25.10 km



ข่ายเชื่อมโยงที่ 8

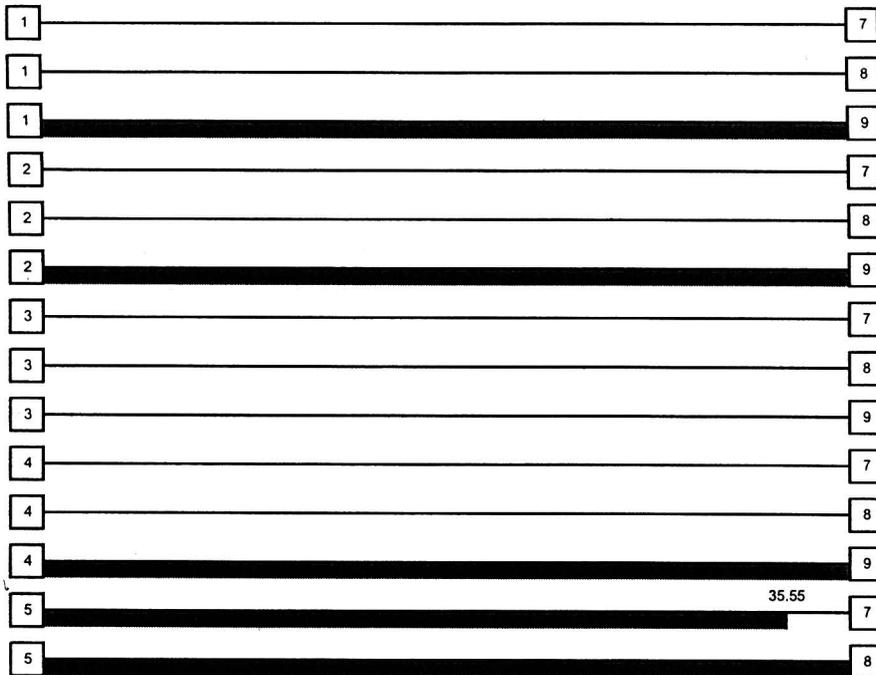
25.10 km



(ข) ข่ายเชื่อมโยงที่ 7-8

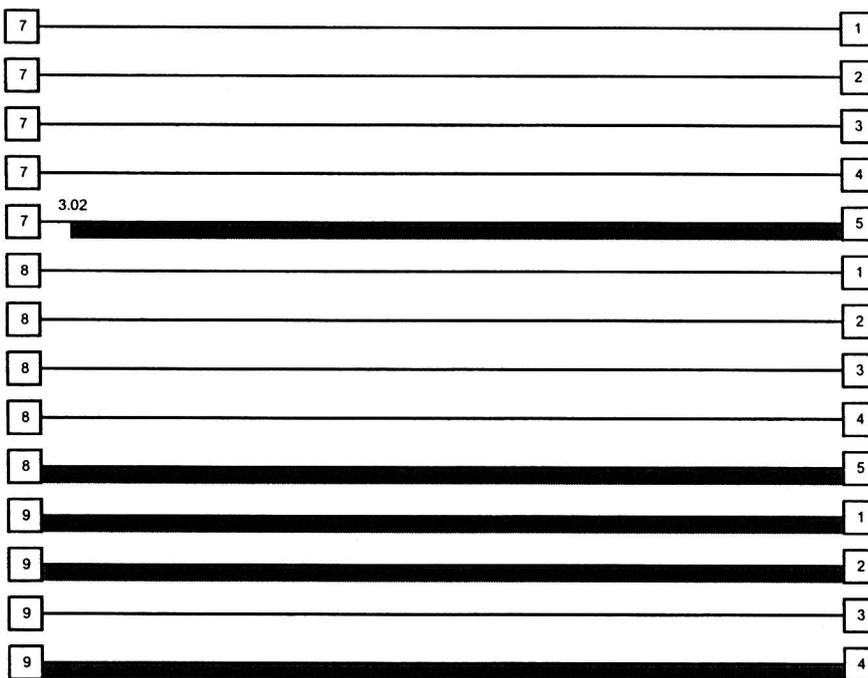
ข่ายเชื่อมโยงที่ 9

38.57 km

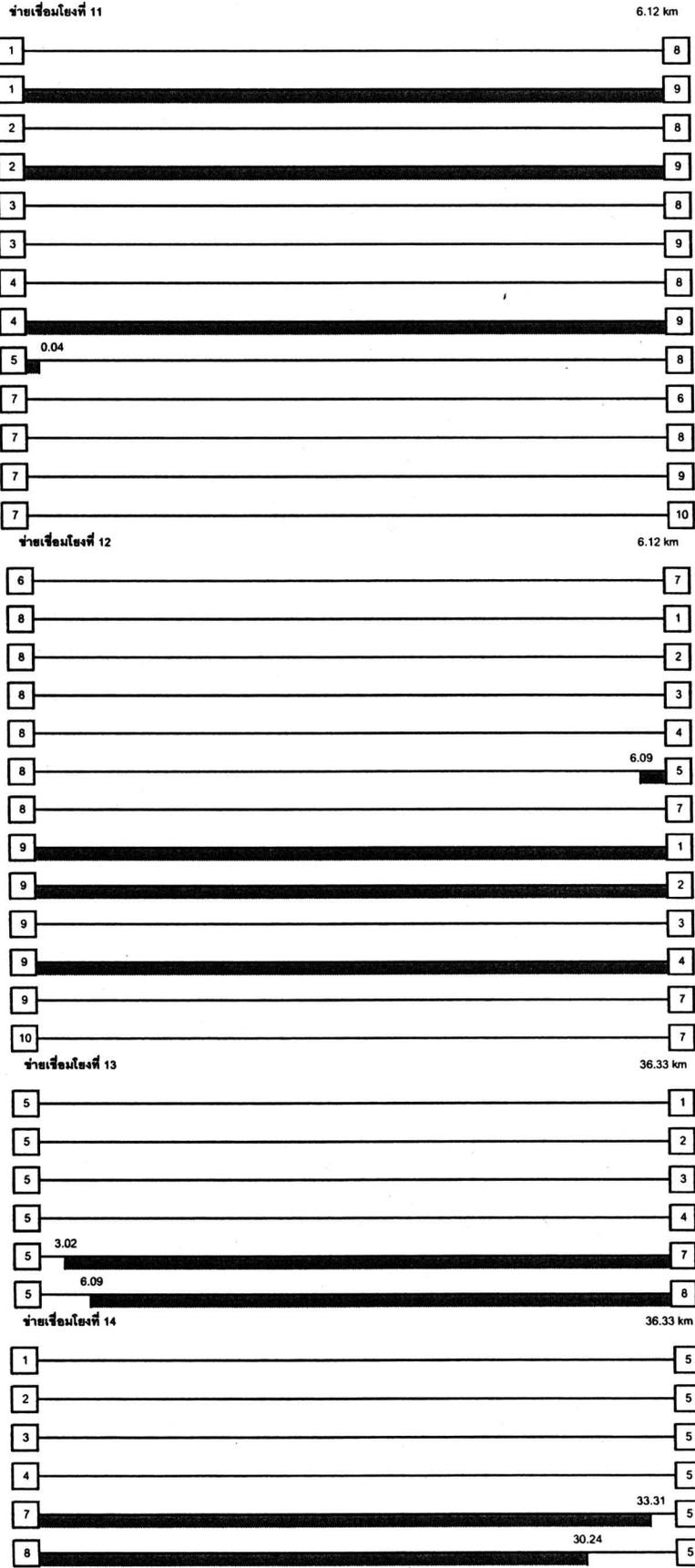


ข่ายเชื่อมโยงที่ 10

38.57 km



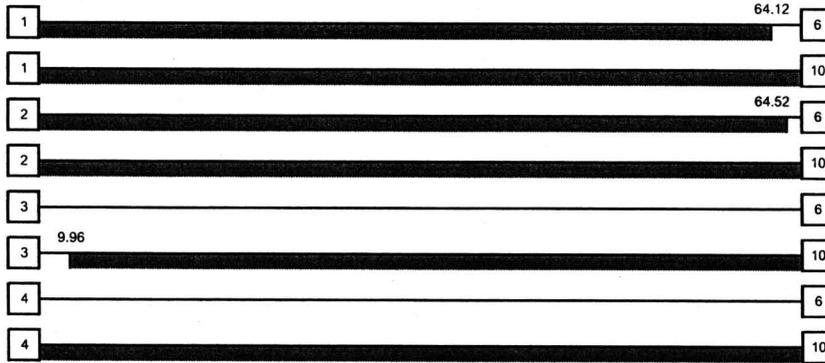
(ค) ข่ายเชื่อมโยงที่ 9-10



(ง) ข่ายเชื่อมโยงที่ 11-14

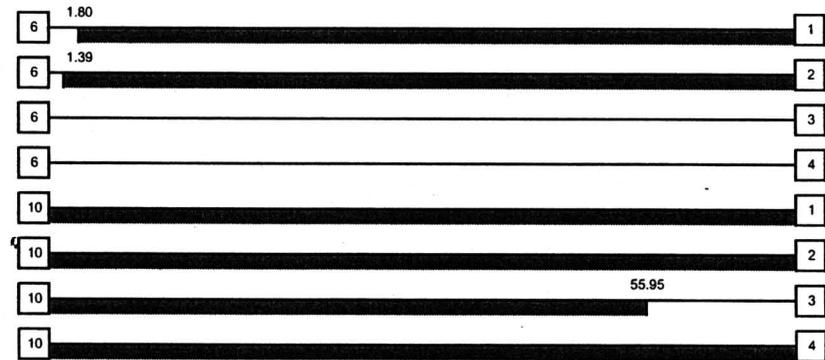
ข่ายเชื่อมโยงที่ 15

36.33 km



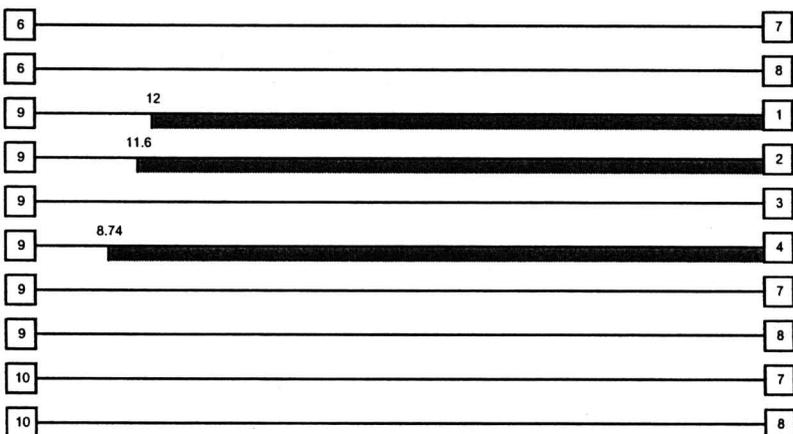
ข่ายเชื่อมโยงที่ 16

36.33 km



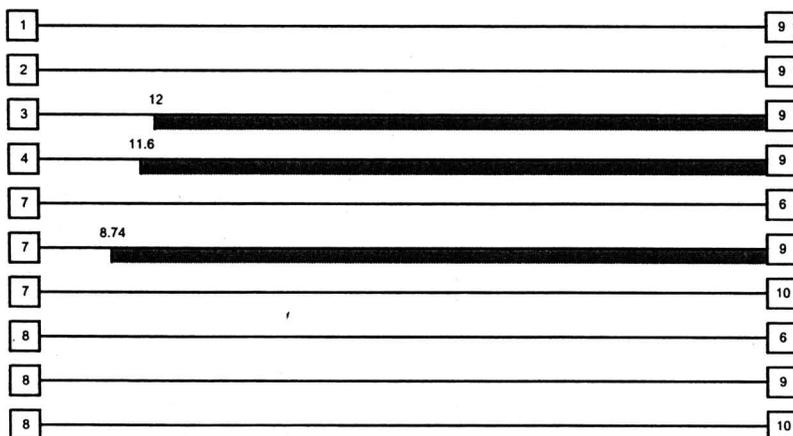
ข่ายเชื่อมโยงที่ 17

41.63 km

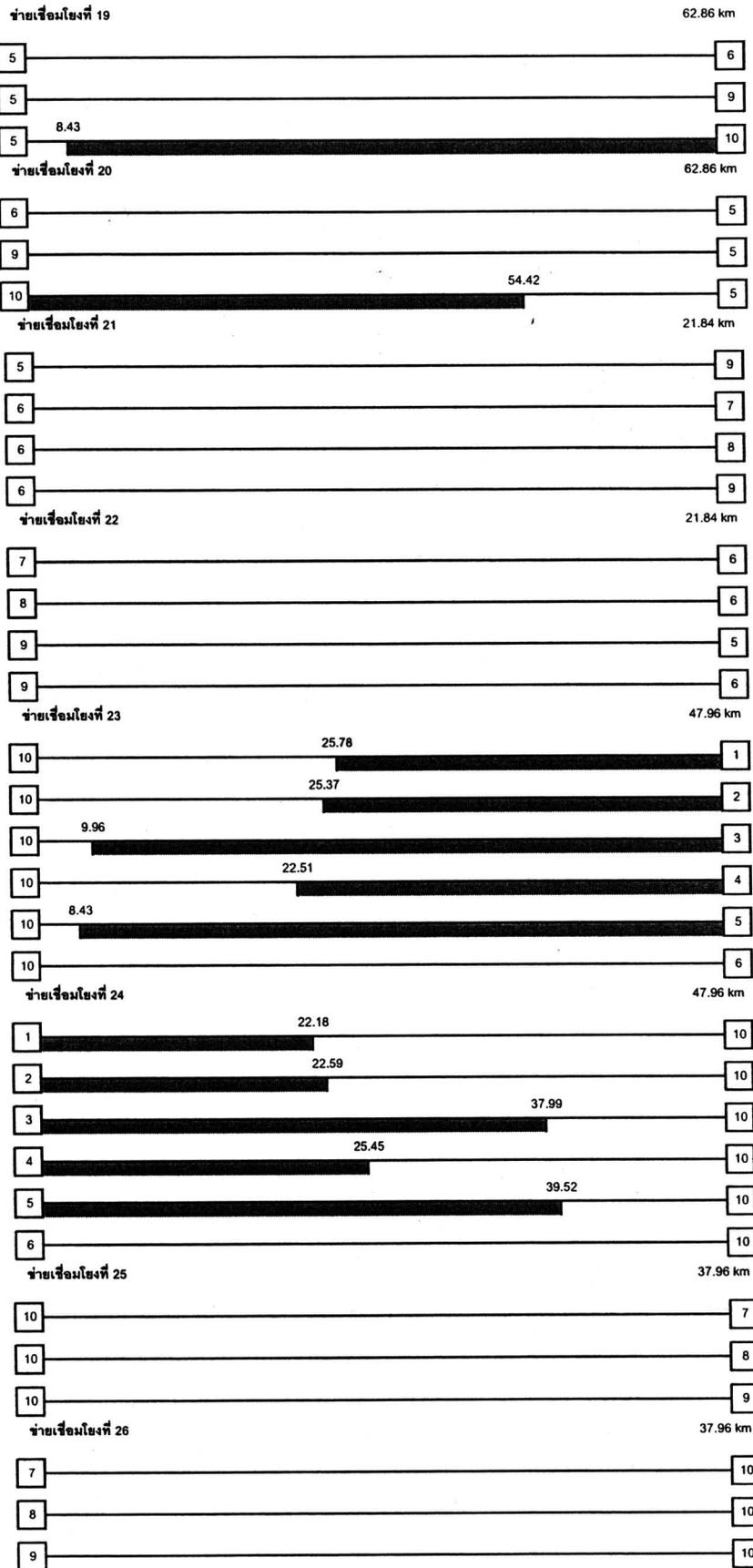


ข่ายเชื่อมโยงที่ 18

41.63 km



(จ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 15-18

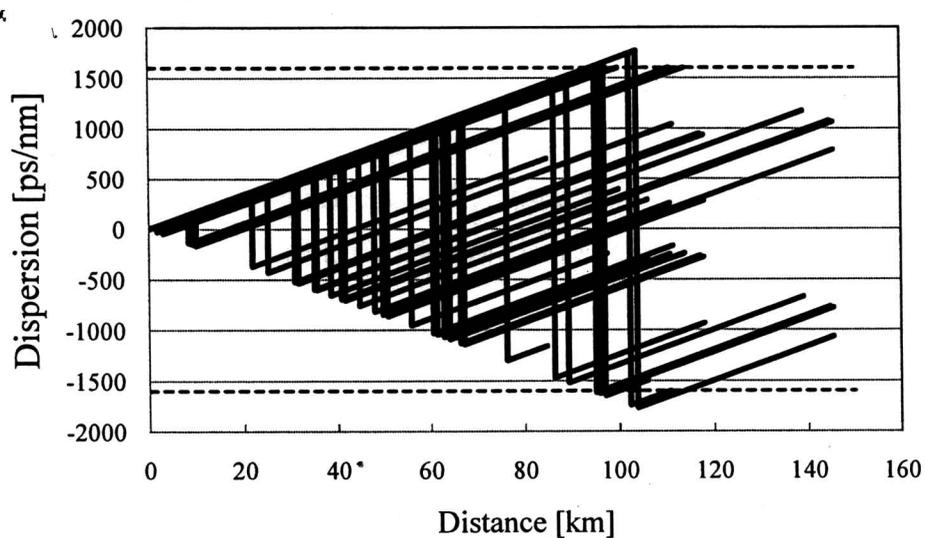


(จ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 19-26

3. พิจารณาหาตำแหน่งวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง จากรูปที่ 4.17 จะหาช่วงในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงโดยใช้หลักการเดียวกับตัวอย่างที่ 1 จะได้จำนวนเครื่องส่งยุคเฟสแสงทั้งหมด 6 ตัว ดังนี้

- ข่ายเชื่อมโยงที่ 9 (0.00 - 35.55 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 10 (3.02 - 38.57 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 15 (9.96 - 64.12 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 16 (1.80 - 55.95 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 19 (8.43 - 62.86 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 20 (0.00 - 54.42 km)

4. ตรวจสอบดิสเพอร์ชันของทุกกราฟฟิก รูปที่ 4.18 เป็นการตรวจสอบดิสเพอร์ชันหลังจากวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงของทุกๆกราฟฟิกในโครงข่าย OPEN



รูปที่ 4.18 ดิสเพอร์ชันสะสมของทุกกราฟฟิกในโครงข่าย OPEN