

## บทที่ 6

### การหาช่วงความยาวคลื่นใหม่ที่สามารถส่งได้โดยไม่ต้องลดขนาดโครงข่าย

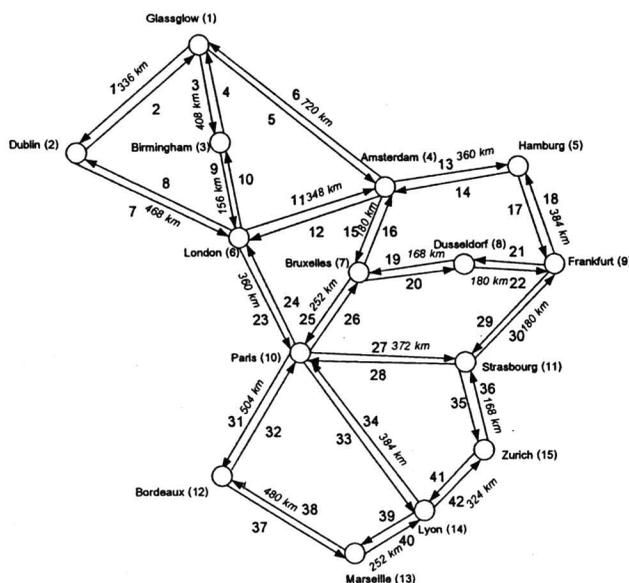
ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในโครงข่ายแบบเมช (mesh network) คือวิธีการหาช่วงความยาวคลื่นค่าใหม่ที่สามารถส่งบนโครงข่ายได้โดยไม่ต้องลดขนาดโครงข่าย และหาความเป็นไปได้ในการชดเชยดิสเพอร์ชันสะสมที่โหนดต้นทางและปลายทางเพื่อหลีกเลี่ยงการลดขนาดโครงข่าย

#### 6.1 ระเบียบขั้นตอนในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง

1. คำนวณหากราฟพิกของโหนดต่างๆ โดยใช้ระเบียบวิธีหาเส้นทางแบบสั้นที่สุด (shortest path) ระหว่างคูโหนดกราฟพิกนี้ได้ รวมถึงหาข่ายเชื่อมโยงที่เกี่ยวข้องในท เพื่อนำมาคิดหาค่าพารามิเตอร์  $R$
2. หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์  $R$  กับ ค่าความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) เพื่อหาช่วงของความยาวคลื่น และช่วงของค่าดิสเพอร์ชันเริ่มต้นของช่องสัญญาณทั้งหมด ที่ทำให้พารามิเตอร์  $R$  มีค่าระหว่าง 0.1 – 1
3. คำนวณหาช่วงในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในแต่ละกราฟพิก
4. นำตำแหน่งในข้อที่ 3 มาคิดหาตำแหน่งที่เหมาะสมในแต่ละข่ายเชื่อมโยง โดยใช้วิธีซ้อนทับกัน(intersection) ทุกกราฟพิก
5. ตรวจสอบผลของการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง

#### 6.2 ตัวอย่างการคำนวณบนโครงข่าย ERNet

โครงข่ายตัวอย่างในบทนี้ ใช้เส้นใยแสงแบบโมดคลื่นเดี่ยว (single-mode fiber : SMF, ITU-T G.652) โดยมีค่าดิสเพอร์ชันเท่ากับ 16.5 ps/km/nm และความชันของค่าดิสเพอร์ชันที่ 0.05 ps/nm<sup>2</sup>/km ที่ 1550 nm



รูปที่ 6.1 โครงข่าย ERNet

6.2.1 คำนวณหากราฟฟิกของโหนดต่างๆ โดยใช้ระเบียบวิธีหาเส้นทางแบบสั้นที่สุด(shortest path) ระหว่างคูโหนดใดๆ ซึ่งจะได้ผลดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 กราฟฟิกและระยะทางทั้งหมดของโครงข่าย ERNet

(ก) โหนด 1 – 3

โหนด 1	ระยะทาง	ข่ายเชื่อมโยง	โหนด 2	ระยะทาง	ข่ายเชื่อมโยง	โหนด 3	ระยะทาง	ข่ายเชื่อมโยง
2	336	1	1	336	2	1	408	4
3	408	3	3	624	7,10	2	624	9,8
4	720	5	4	816	7,11	4	504	9,11
5	1080	5,13	5	1176	7,11,13	5	864	9,11,13
6	564	3,9	6	468	7	6	156	9
7	900	5,15	7	996	7,11,15	7	684	9,11,15
8	1068	5,15,20	8	1164	7,11,15,20	8	852	9,11,15,20
9	1248	5,15,20,22	9	1344	7,11,15,20,22	9	1032	9,11,15,20,22
10	924	3,9,23	10	828	7,23	10	516	9,23
11	1296	3,9,23,27	11	1200	7,23,27	11	888	9,23,27
12	1428	3,9,23,31	12	1332	7,23,31	12	1020	9,23,31
13	1560	3,9,23,33,39	13	1464	7,23,33,39	13	1152	9,23,33,39
14	1308	3,9,23,33	14	1212	7,23,33	14	900	9,23,33
15	1464	3,9,23,27,35	15	1368	7,23,27,35	15	1056	9,23,27,35

(ข) โหนด 4 – 6

โหนด 4	ระยะทาง	ข่ายเชื่อมโยง	โหนด 5	ระยะทาง	ข่ายเชื่อมโยง	โหนด 6	ระยะทาง	ข่ายเชื่อมโยง
1	720	6	1	1080	14,6	1	564	10,4
2	816	12,8	2	1176	14,12,8	2	468	8
3	504	12,10	3	864	14,12,10	3	156	10
5	360	13	4	360	14	4	348	11
6	348	12	6	708	14,12	5	708	11,13
7	180	15	7	540	14,15	7	528	11,15
8	348	15,20	8	564	17,21	8	696	11,15,20
9	528	15,20,22	9	384	17	9	876	11,15,20,22

10	432	15,25	10	792	14,15,25	10	360	23
11	708	15,20,22,29	11	564	17,29	11	732	23,27
12	936	15,25,31	12	1296	14,15,25,31	12	864	23,31
13	1068	15,25,33,39	13	1308	17,29,35,41,39	13	996	23,33,39
14	816	15,25,33	14	1056	17,29,35,41	14	744	23,33
15	876	15,20,22,29,35	15	732	17,29,35	15	900	23,27,35

(ค) โหนด 7 - 9

โหนด 7	ระยะทาง	ข่ายเชื่อมโยง	โหนด 8	ระยะทาง	ข่ายเชื่อมโยง	โหนด 9	ระยะทาง	ข่ายเชื่อมโยง
1	900	16,6	1	1068	19,16,6	1	1248	21,19,16,6
2	996	16,12,8	2	1164	19,16,12,8	2	1344	21,19,16,12,8
3	684	16,12,10	3	852	19,16,12,10	3	1032	21,19,16,12,10
4	180	16	4	348	19,16	4	528	21,19,16
5	540	16,13	5	564	22,18	5	384	18
6	528	16,12	6	696	19,16,12	6	876	21,19,16,12
8	168	20	7	168	19	7	348	21,19
9	348	20,22	9	180	22	8	180	21
10	252	25	10	420	19,25	10	552	29,28
11	528	20,22,29	11	360	22,29	11	180	29
12	756	25,31	12	924	19,25,31	12	1056	29,28,31
13	888	25,33,39	13	1056	19,25,33,39	13	924	29,35,41,39
14	636	25,33	14	804	19,25,33	14	672	29,35,41
15	696	20,22,29,35	15	528	22,29,35	15	348	29,35

(ง) โหนด 10 - 12

โหนด 10	ระยะทาง	ข่ายเชื่อมโยง	โหนด 11	ระยะทาง	ข่ายเชื่อมโยง	โหนด 12	ระยะทาง	ข่ายเชื่อมโยง
1	924	24,10,4	1	1296	28,24,10,4	1	1428	32,24,10,4
2	828	24,8	2	1200	28,24,8	2	1332	32,24,8
3	516	24,10	3	888	28,24,10	3	1020	32,24,10
4	432	26,16	4	708	30,21,19,16	4	936	32,26,16
5	792	26,16,13	5	564	30,18	5	1296	32,26,16,13
6	360	24	6	732	28,24	6	864	32,24
7	252	26	7	528	30,21,19	7	756	32,26

8	420	26,20	8	360	30,21	8	924	32,26,20
9	552	27,30	9	180	30	9	1056	32,27,30
11	372	27	10	372	28	10	504	32
12	504	31	12	876	28,31	11	876	32,27
13	636	33,39	13	744	35,41,39	13	480	37
14	384	33	14	492	35,41	14	732	37,40
15	540	27,35	15	168	35	15	1044	32,27,35

(จ) โหนด 13 - 15

โหนด 13	ระยะทาง	ข่ายเชื่อมโยง	โหนด 14	ระยะทาง	ข่ายเชื่อมโยง	โหนด 15	ระยะทาง	ข่ายเชื่อมโยง
1	1560	40,34,24,10,4	1	1308	34,24,10,4	1	1464	36,28,24,10,4
2	1464	40,34,24,8	2	1212	34,24,8	2	1368	36,28,24,8
3	1152	40,34,24,10	3	900	34,24,10	3	1056	36,28,24,10
4	1068	40,34,26,16	4	816	34,26,16	4	876	36,30,21,19,16
5	1308	40,42,36,30,18	5	1056	42,36,30,18	5	732	36,30,18
6	996	40,34,24	6	744	34,24	6	900	36,28,24
7	888	40,34,26	7	636	34,26	7	696	36,30,21,19
8	1056	40,34,26,20	8	804	34,26,20	8	528	36,30,21
9	924	40,42,36,30	9	672	42,36,30	9	348	36,30
10	636	40,34	10	384	34	10	540	36,28
11	744	40,42,36	11	492	42,36	11	168	36
12	480	38	12	732	39,38	12	1044	36,28,31
14	252	40	13	252	39	13	576	41,39
15	576	40,42	15	324	42	14	324	41

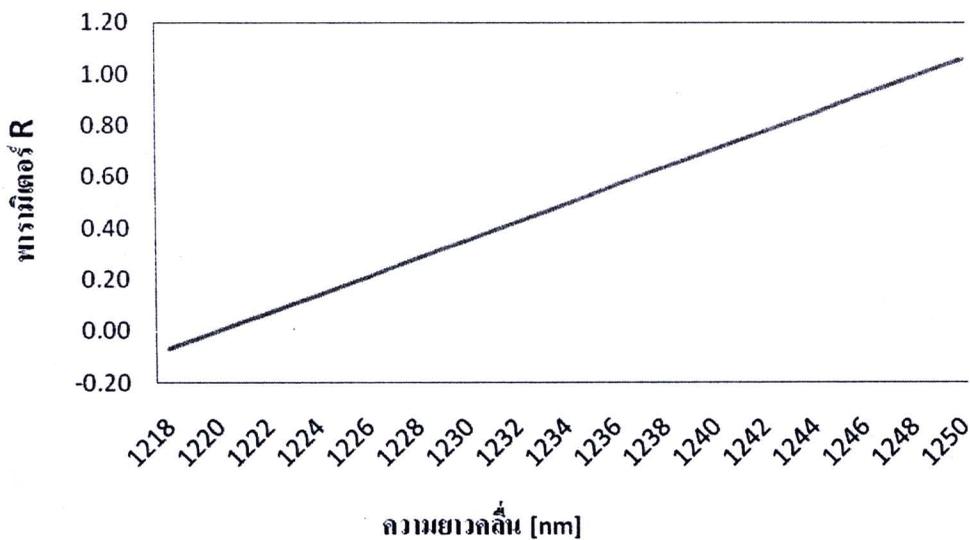
6.2.2 หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวคลื่นกับพารามิเตอร์  $R$  ได้ผลดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 พารามิเตอร์  $R$  ของโครงข่าย ERNet

โหนดต้นทาง-โหนดปลายทาง	กราฟฟิก [km]	$X_{-1}$ [km]	$R$	โหนดต้นทาง-โหนดปลายทาง	กราฟฟิก [km]	$X_{-1}$ [km]	$R$
1 - 9	1248	720	-0.14	9 - 2	1344	180	0.88

1 - 15	1464	408	0.58	9 - 12	1056	180	-0.17
2 - 13	1464	468	0.47	10 - 1	924	360	0.18
3 - 13	1152	156	0.75	10 - 5	792	252	0.26
4 - 13	1068	180	0.68	10 - 13	636	384	-0.12
5 - 13	1308	384	0.48	11 - 4	708	180	0.31
6 - 9	876	348	0.16	11 - 13	744	168	0.36
6 - 13	996	360	0.25	12 - 1	1428	504	0.37
7 - 2	996	180	0.57	12 - 14	732	480	-0.2
7 - 13	888	252	0.34	13 - 1	1560	252	0.94
7 - 15	696	168	0.32	14 - 1	1308	384	0.48
8 - 2	1164	168	0.74	14 - 5	1056	324	0.36
8 - 15	564	180	0.15	15 - 1	1464	168	1

จากตารางที่ 6.2 พบว่าที่กราฟฟิกจากโนด 15 ไปโนด 1 ให้ค่าพารามิเตอร์  $R$  ที่มากที่สุด ดังนั้นเราจึงใช้กราฟฟิกนี้



ในการ  
คำนวณหา  
ช่วงความ  
ยาวคลื่นที่ทำ  
ให้  
พารามิเตอร์  
 $R$  มีค่า  
ระหว่าง 0.1  
- 1 เมื่อ  
นำมาพล็อต  
กราฟได้ผล  
ดังรูปที่ 6.2

รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์  $R$  กับความยาวคลื่น

ที่  $R = 1$  จะได้ความยาวคลื่น 1248.51 nm

$$\text{มีค่าดิสเพอร์ชันสะสมคือ } 16.5 + 0.05(1248.51 - 1550) = 1.43 \text{ ps/nm/km}$$

ที่  $R = 0.1$  จะได้ความยาวคลื่น 1220.21 nm

$$\text{มีค่าดิสเพอร์ชันสะสมคือ } 16.5 + 0.05(1220.21 - 1550) = 0.01 \text{ ps/nm/km}$$

Longest path Origin-Destination	Length [km]	Dispersion value [ps/km/nm]	Wavelength [nm]	$R$
------------------------------------	----------------	--------------------------------	--------------------	-----

เมื่อได้ช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมแล้ว จะเห็นได้ว่าช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวไม่ใช่ช่วงความยาวคลื่นที่นิยมใช้กันในระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแสงในปัจจุบัน ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะนำไปใช้ในทางปฏิบัติ เพื่อให้นำไปใช้ได้จริง ช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวสามารถนำไปคำนวณหาช่วงของค่าดิสเพอร์ชันเริ่มต้นของแต่ละช่องสัญญาณได้ ซึ่งก็จะเป็นการเลือกใช้ชนิดของเส้นใยแสงที่ให้ค่าดิสเพอร์ชันเริ่มต้นแก่ช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการนำมาใช้สัญญาณได้

ตารางที่ 6.3 แสดงช่วงของค่าดิสเพอร์ชันเริ่มต้นและช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมเมื่อไม่ลดขนาดของโครงข่ายเปรียบเทียบกับเมื่อลดขนาดของโครงข่ายลง 12 เท่าเพื่อให้ช่วงความยาวคลื่นในช่วง C band ใช้งานได้

ตารางที่ 6.3 ช่วงของค่าดิสเพอร์ชันเริ่มต้นและช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมเมื่อไม่ลดขนาดของโครงข่าย เปรียบเทียบกับเมื่อลดขนาดของโครงข่ายลง 12 เท่าเพื่อให้ช่วงความยาวคลื่นในช่วง C band ใช้งานได้

15-1	1464	-1.43 to 1.43	1294.45- 1325.54	1
15-1	1464	15.44 to 17	1528.77- 1560.61	12

6.2.3 คำนวณหาช่วงในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงในแต่ละทราฟฟิก ได้ผลดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ช่วงในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงในแต่ละทราฟฟิก

(ก) โหนด 1 – 4

โหนด 1	ระยะทาง	OPC_L	OPC_R	โหนด 2	ระยะทาง	OPC_L	OPC_R
2	336	-393.21	729.21	1	336	-393.21	729.21
3	408	-357.21	765.21	3	624	-249.21	873.21
4	720	-201.21	921.21	4	816	-153.21	969.21
5	1080	-21.21	1101.21	5	1176	26.79	1149.21
6	564	-279.21	843.21	6	468	-327.21	795.21
7	900	-111.21	1011.21	7	996	-63.21	1059.21
8	1068	-27.21	1095.21	8	1164	20.79	1143.21
9	1248	62.79	1185.21	9	1344	110.79	1233.21
10	924	-99.21	1023.21	10	828	-147.21	975.21
11	1296	86.79	1209.21	11	1200	38.79	1161.21
12	1428	152.79	1275.21	12	1332	104.79	1227.21
13	1560	218.79	1341.21	13	1464	170.79	1293.21

14	1308	92.79	1215.21	14	1212	44.79	1167.21
15	1464	170.79	1293.21	15	1368	122.79	1245.21
โนต 3	ระยะทาง	OPC_L	OPC_R	โนต 4	ระยะทาง	OPC_L	OPC_R
1	408	-357.21	765.21	1	720	-201.21	921.21
2	624	-249.21	873.21	2	816	-153.21	969.21
4	504	-309.21	813.21	3	504	-309.21	813.21
5	864	-129.21	993.21	5	360	-381.21	741.21
6	156	-483.21	639.21	6	348	-387.21	735.21
7	684	-219.21	903.21	7	180	-471.21	651.21
8	852	-135.21	987.21	8	348	-387.21	735.21
9	1032	-45.21	1077.21	9	528	-297.21	825.21
10	516	-303.21	819.21	10	432	-345.21	777.21
11	888	-117.21	1005.21	11	708	-207.21	915.21
12	1020	-51.21	1071.21	12	936	-93.21	1029.21
13	1152	14.79	1137.21	13	1068	-27.21	1095.21
14	900	-111.21	1011.21	14	816	-153.21	969.21
15	1056	-33.21	1089.21	15	876	-123.21	999.21

(๗) โนต 5 - 8

โนต 5	ระยะทาง	OPC_L	OPC_R	โนต 6	ระยะทาง	OPC_L	OPC_R
1	1080	-21.21	1101.21	1	564	-279.21	843.21
2	1176	26.79	1149.21	2	468	-327.21	795.21
3	864	-129.21	993.21	3	156	-483.21	639.21
4	360	-381.21	741.21	4	348	-387.21	735.21
6	708	-207.21	915.21	5	708	-207.21	915.21
7	540	-291.21	831.21	7	528	-297.21	825.21
8	564	-279.21	843.21	8	696	-213.21	909.21
9	384	-369.21	753.21	9	876	-123.21	999.21
10	792	-165.21	957.21	10	360	-381.21	741.21
11	564	-279.21	843.21	11	732	-195.21	927.21
12	1296	86.79	1209.21	12	864	-129.21	993.21

13	1308	92.79	1215.21	13	996	-63.21	1059.21
14	1056	-33.21	1089.21	14	744	-189.21	933.21
15	732	-195.21	927.21	15	900	-111.21	1011.21
โนด 7	ระยะทาง	OPC_L	OPC_R	โนด 8	ระยะทาง	OPC_L	OPC_R
1	900	-111.21	1011.21	1	1068	-27.21	1095.21
2	996	-63.21	1059.21	2	1164	20.79	1143.21
3	684	-219.21	903.21	3	852	-135.21	987.21
4	180	-471.21	651.21	4	348	-387.21	735.21
5	540	-291.21	831.21	5	564	-279.21	843.21
6	528	-297.21	825.21	6	696	-213.21	909.21
8	168	-477.21	645.21	7	168	-477.21	645.21
9	348	-387.21	735.21	9	180	-471.21	651.21
10	252	-435.21	687.21	10	420	-351.21	771.21
11	528	-297.21	825.21	11	360	-381.21	741.21
12	756	-183.21	939.21	12	924	-99.21	1023.21
13	888	-117.21	1005.21	13	1056	-33.21	1089.21
14	636	-243.21	879.21	14	804	-159.21	963.21
15	696	-213.21	909.21	15	528	-297.21	825.21

(ค) โหนด 9 - 12

โนด 9	ระยะทาง	OPC_L	OPC_R	โนด 10	ระยะทาง	OPC_L	OPC_R
1	1248	62.79	1185.21	1	924	-99.21	1023.21
2	1344	110.79	1233.21	2	828	-147.21	975.21
3	1032	-45.21	1077.21	3	516	-303.21	819.21
4	528	-297.21	825.21	4	432	-345.21	777.21
5	384	-369.21	753.21	5	792	-165.21	957.21
6	876	-123.21	999.21	6	360	-381.21	741.21
7	348	-387.21	735.21	7	252	-435.21	687.21
8	180	-471.21	651.21	8	420	-351.21	771.21
10	552	-285.21	837.21	9	552	-285.21	837.21
11	180	-471.21	651.21	11	372	-375.21	747.21
12	1056	-33.21	1089.21	12	504	-309.21	813.21

13	924	-99.21	1023.21	13	636	-243.21	879.21
14	672	-225.21	897.21	14	384	-369.21	753.21
15	348	-387.21	735.21	15	540	-291.21	831.21
โนด 11	ระยะทาง	OPC_L	OPC_R	โนด 12	ระยะทาง	OPC_L	OPC_R
1	1296	86.79	1209.21	1	1428	152.79	1275.21
2	1200	38.79	1161.21	2	1332	104.79	1227.21
3	888	-117.21	1005.21	3	1020	-51.21	1071.21
4	708	-207.21	915.21	4	936	-93.21	1029.21
5	564	-279.21	843.21	5	1296	86.79	1209.21
6	732	-195.21	927.21	6	864	-129.21	993.21
7	528	-297.21	825.21	7	756	-183.21	939.21
8	360	-381.21	741.21	8	924	-99.21	1023.21
9	180	-471.21	651.21	9	1056	-33.21	1089.21
10	372	-375.21	747.21	10	504	-309.21	813.21
12	876	-123.21	999.21	11	876	-123.21	999.21
13	744	-189.21	933.21	13	480	-321.21	801.21
14	492	-315.21	807.21	14	732	-195.21	927.21
15	168	-477.21	645.21	15	1044	-39.21	1083.21

(ง) โหนด 13 - 15

โนด 13	ระยะทาง	OPC_L	OPC_R	โนด 14	ระยะทาง	OPC_L	OPC_R
1	1560	218.79	1341.21	1	1308	92.79	1215.21
2	1464	170.79	1293.21	2	1212	44.79	1167.21
3	1152	14.79	1137.21	3	900	-111.21	1011.21
4	1068	-27.21	1095.21	4	816	-153.21	969.21
5	1308	92.79	1215.21	5	1056	-33.21	1089.21
6	996	-63.21	1059.21	6	744	-189.21	933.21
7	888	-117.21	1005.21	7	636	-243.21	879.21
8	1056	-33.21	1089.21	8	804	-159.21	963.21
9	924	-99.21	1023.21	9	672	-225.21	897.21
10	636	-243.21	879.21	10	384	-369.21	753.21

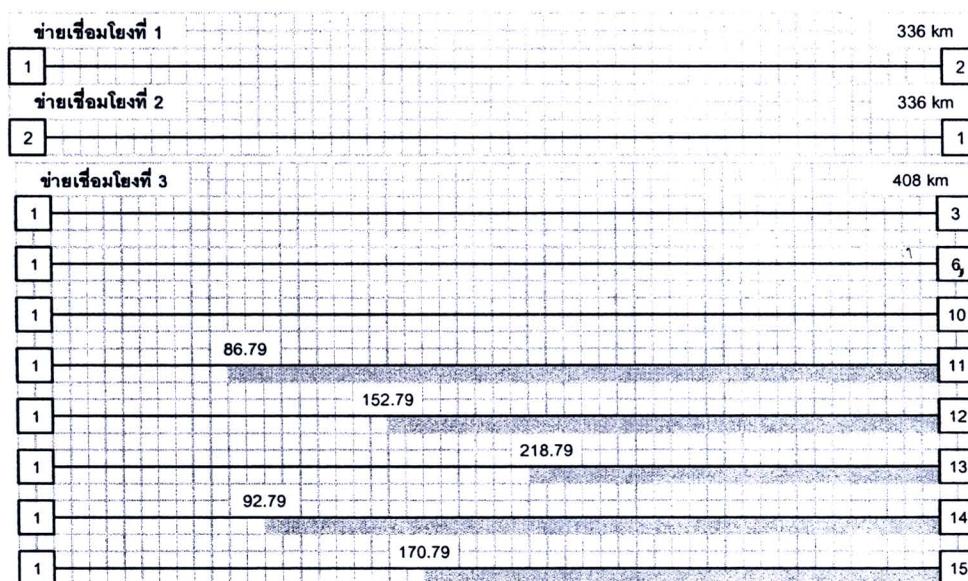
11	744	-189.21	933.21	11	492	-315.21	807.21
12	480	-321.21	801.21	12	732	-195.21	927.21
14	252	-435.21	687.21	13	252	-435.21	687.21
15	576	-273.21	849.21	15	324	-399.21	723.21
โนด 15	ระยะทาง	OPC_L	OPC_R				
1	1464	170.79	1293.21				
2	1368	122.79	1245.21				
3	1056	-33.21	1089.21				
4	876	-123.21	999.21				
5	732	-195.21	927.21				
6	900	-111.21	1011.21				
7	696	-213.21	909.21				
8	528	-297.21	825.21				
9	348	-387.21	735.21				
10	540	-291.21	831.21				
11	168	-477.21	645.21				
12	1044	-39.21	1083.21				
13	576	-273.21	849.21				
14	324	-399.21	723.21				

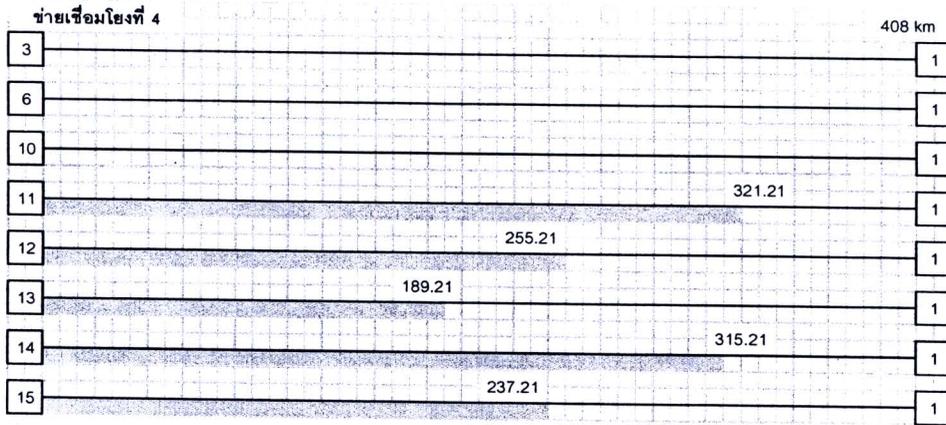
ค่าที่อยู่ในตารางที่ 6.4 ในช่อง OPC\_L และ OPC\_R เช่น ทราฟฟิกจากโนด 15 ไปยังโนด 13 นั้น ค่าในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงจะอยู่ในช่วงนอกความยาวทราฟฟิกหมายถึงช่วงในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงนั้นวางตรงไหนก็ได้ตลอดทราฟฟิก หรือในอีกความหมายก็คือทราฟฟิกนั้นไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องส่งยุคเฟสแสง เนื่องจากระยะทางที่มากที่สุดที่จะต้องใช้เครื่องส่งยุคเฟสแสงแล้วดิสเพอร์ชันสะสมที่ปลายทางไม่เกิน 1600 ps/nm ก็คือ

$$\frac{1600}{1.43} = 1118.88 \text{ km}$$

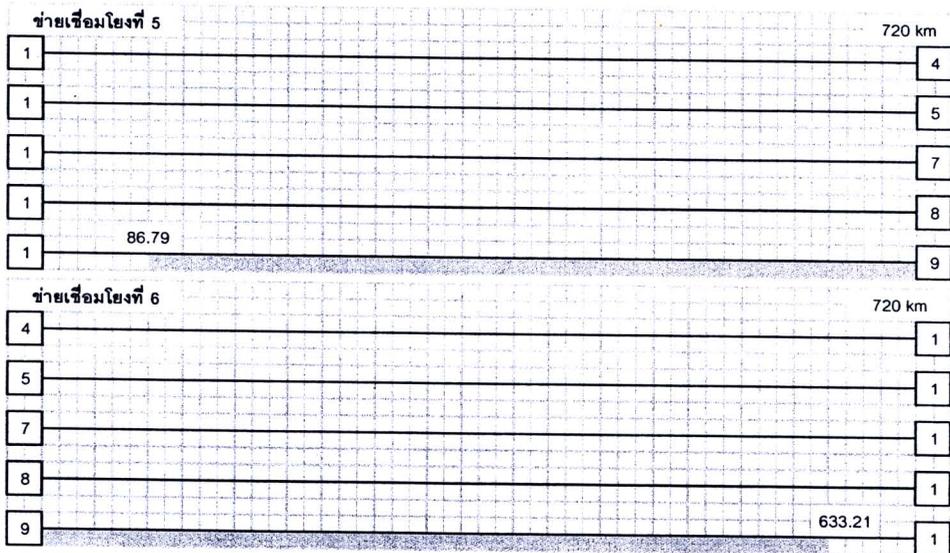
ดังนั้นถ้าทราฟฟิกไหนมีระยะทางไม่เกิน 1118.88 km ก็แสดงว่าไม่จำเป็นต้องมีเครื่องส่งยุคเฟสแสงก็ได้

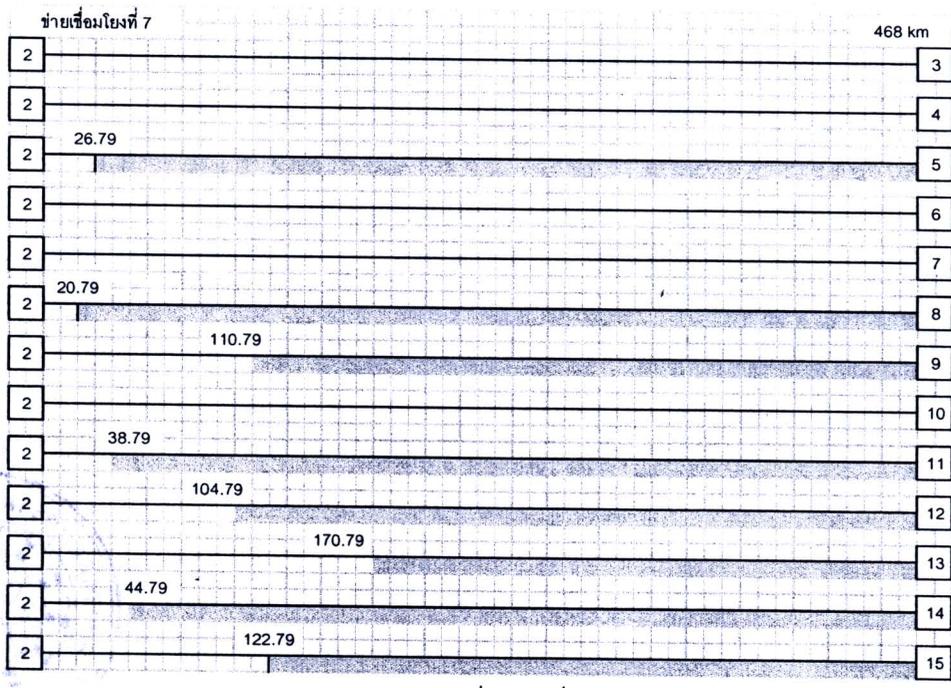
6.2.4 หาช่วงชั้นทับในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงแต่ละข่ายเชื่อมโยง





(ก) ข่ายเชื่อมโยงที่ 1 - 4

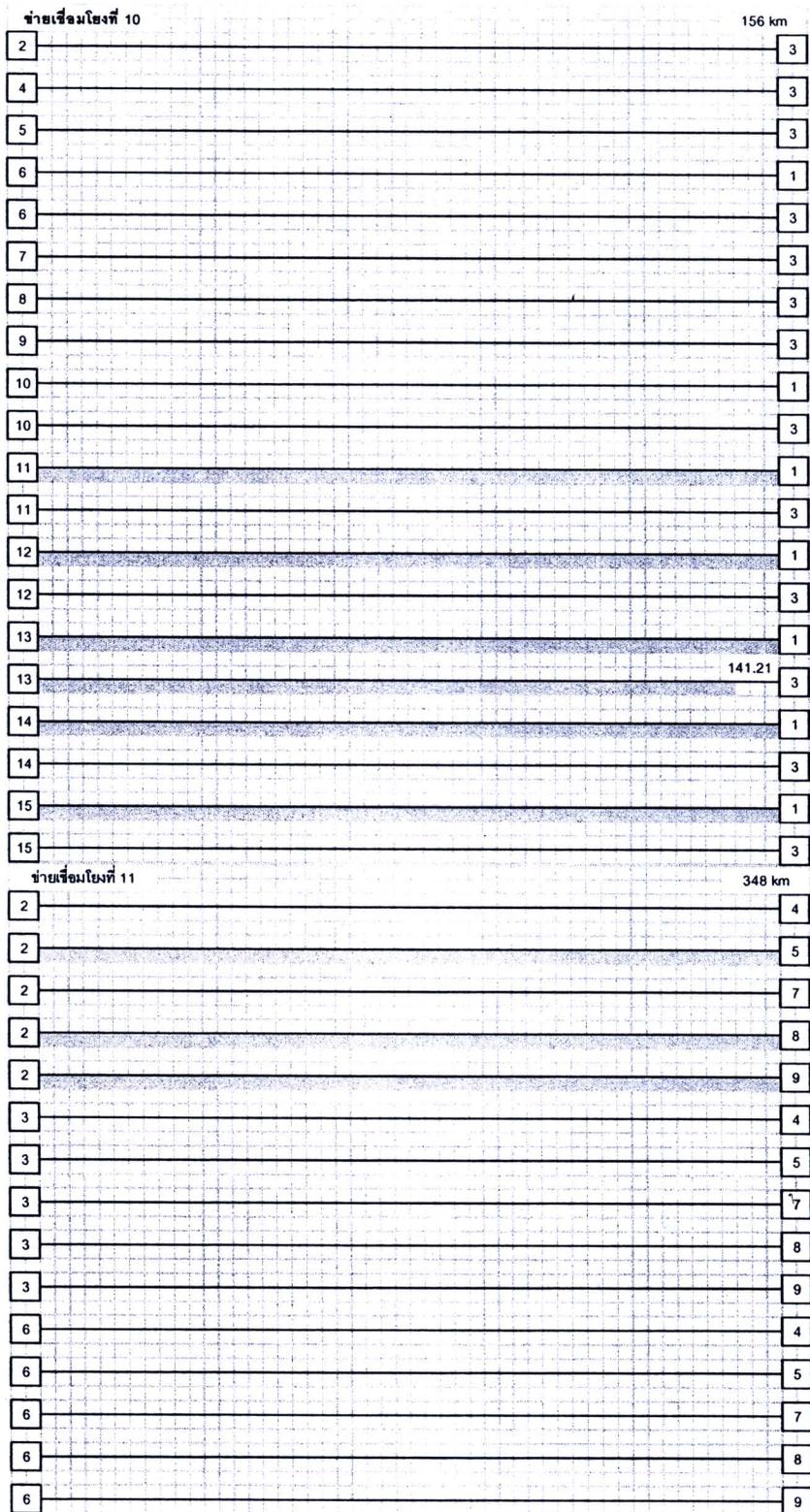




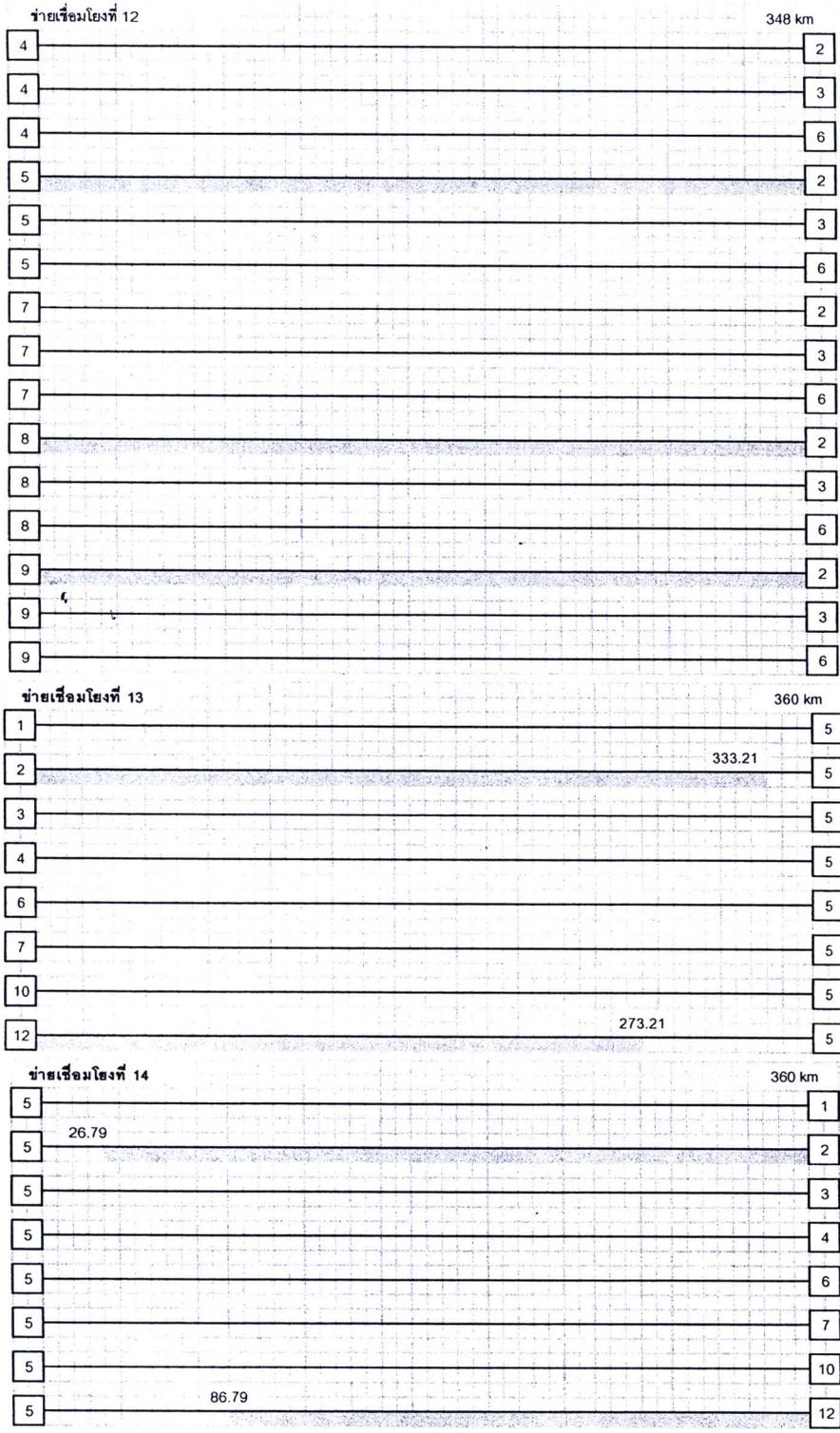
(ข) ข่ายเชื่อมโยงที่ 5 - 7

ข่ายเชื่อมโยงที่ 8		468 km
3		2
4		2
5	441.21	2
6		2
7		2
8	447.21	2
9	357.2	2
10		2
11	429.21	2
12	363.2	2
13	297.20	2
14	423.21	2
15	345.2	2
ข่ายเชื่อมโยงที่ 9		156 km
1		6
1		10
1		11
1		12
1		13
1		14
1		15
3		2
3		4
3		5
3		6
3		7
3		8
3		9
3		10
3		11
3		12
3	14.79	13
3		14
3		15

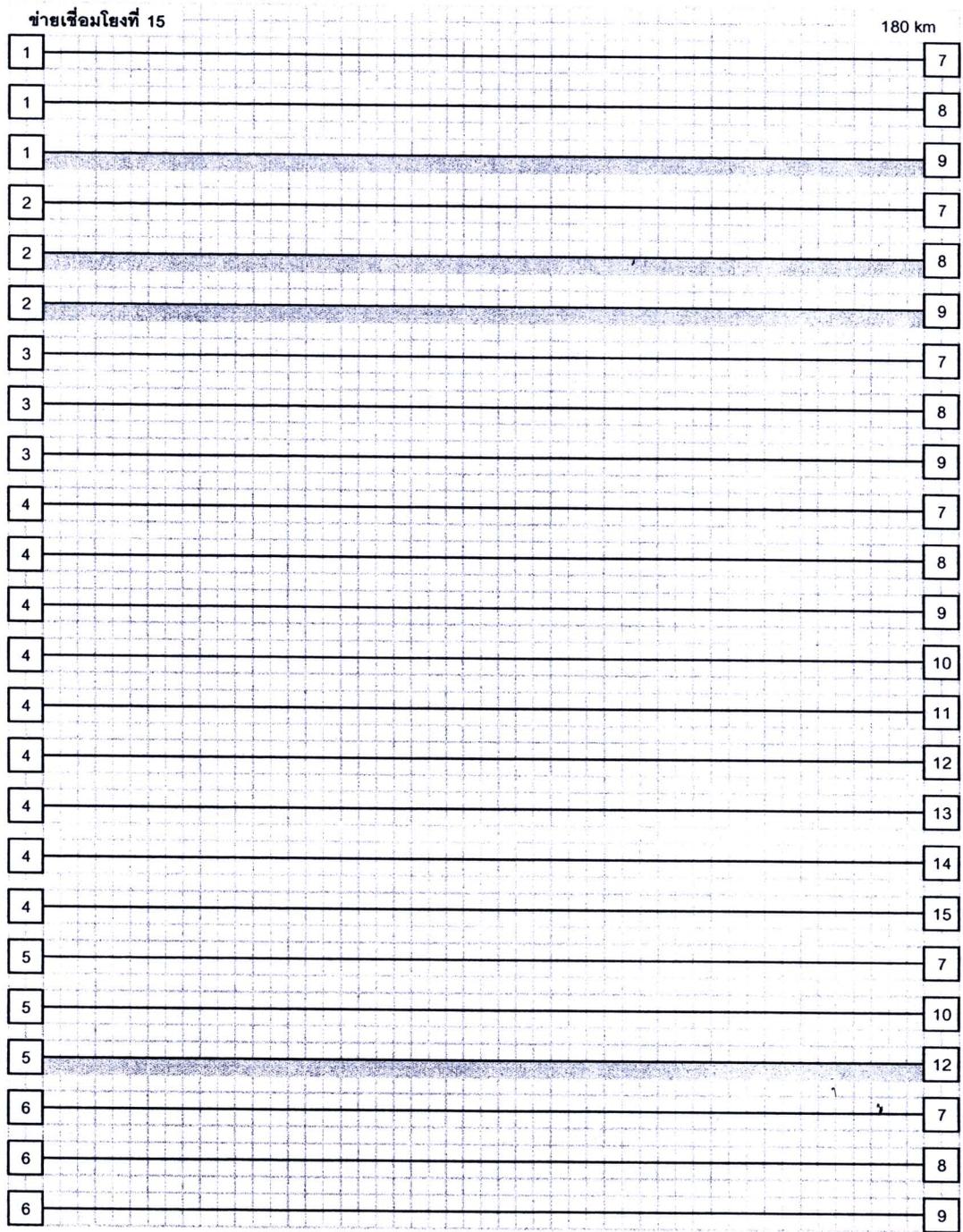
(ค) ข่ายเชื่อมโยงที่ 8 - 9



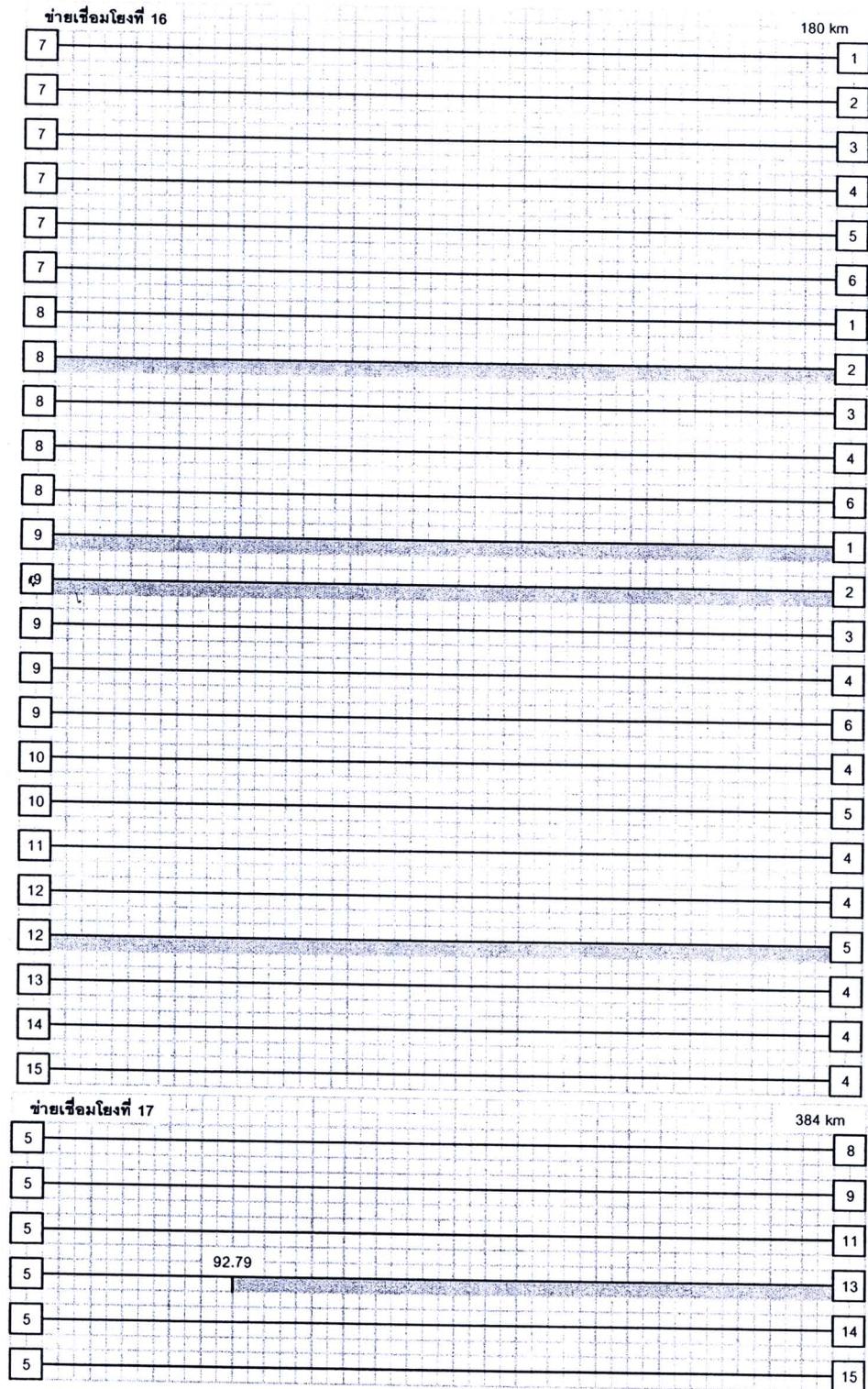
(ง) ข่ายเชื่อมโยงที่ 10 - 11



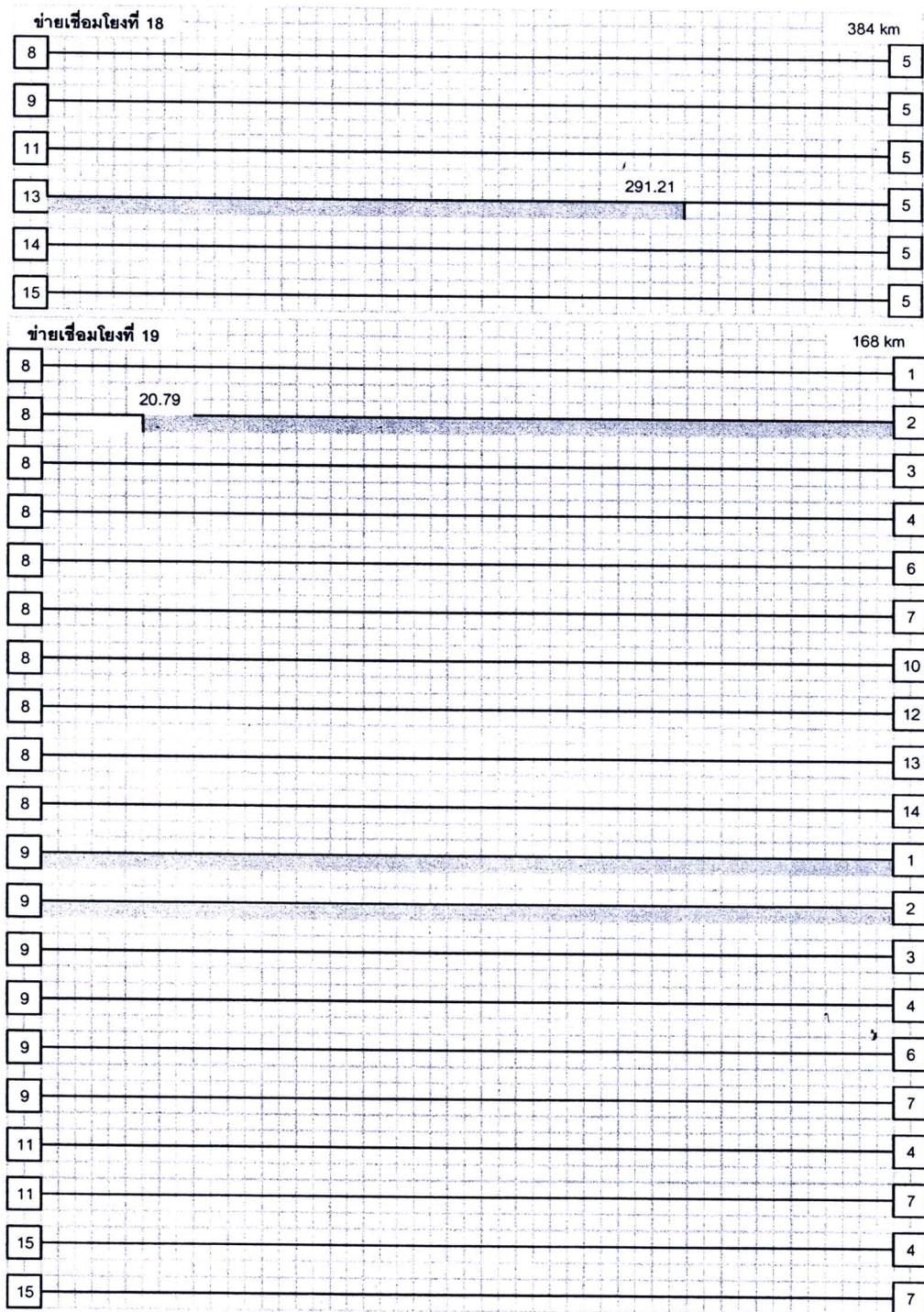
(จ) ข้ายเชื่อมโยงที่ 12 - 14



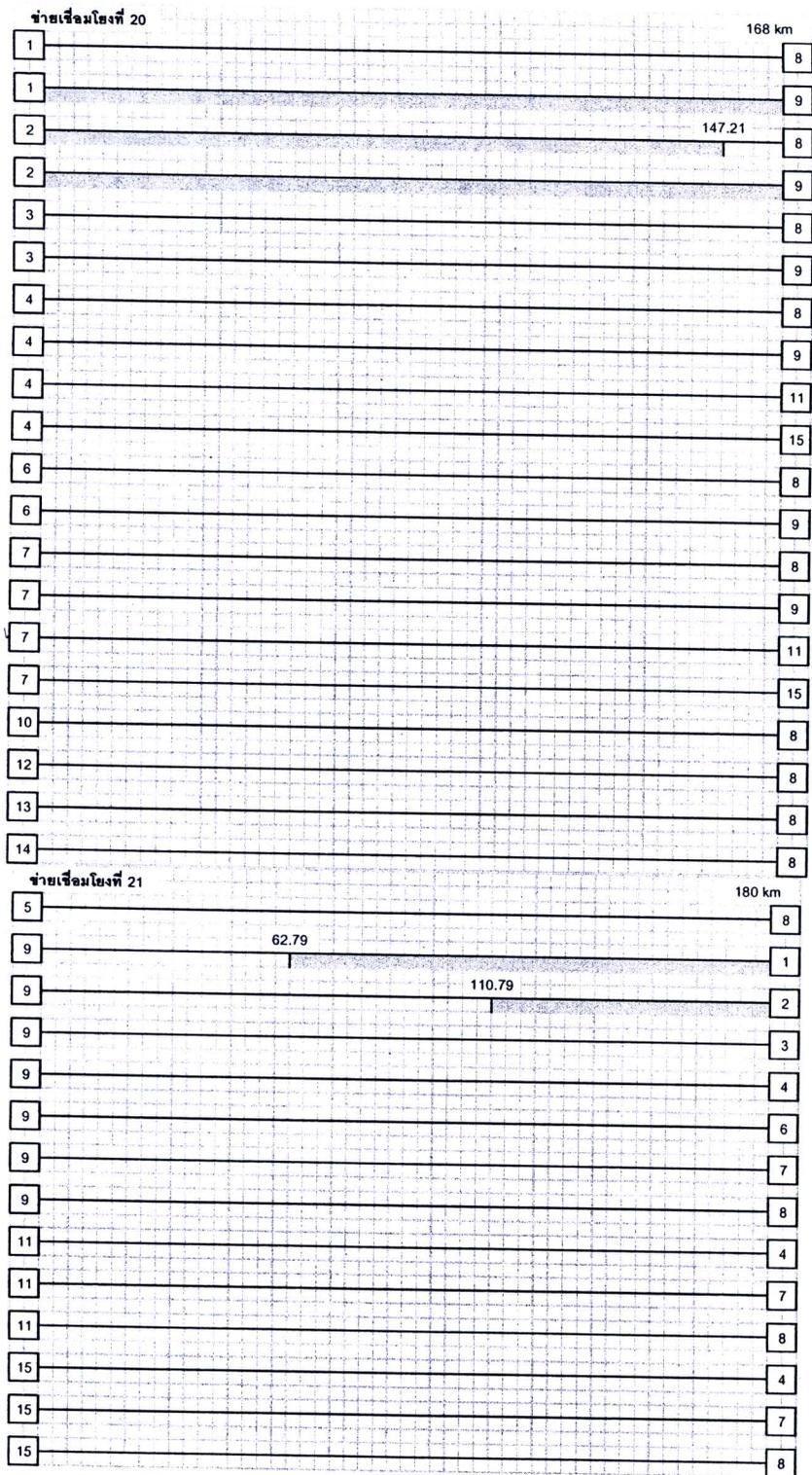
(ค) ข่ายเชื่อมโยงที่ 15



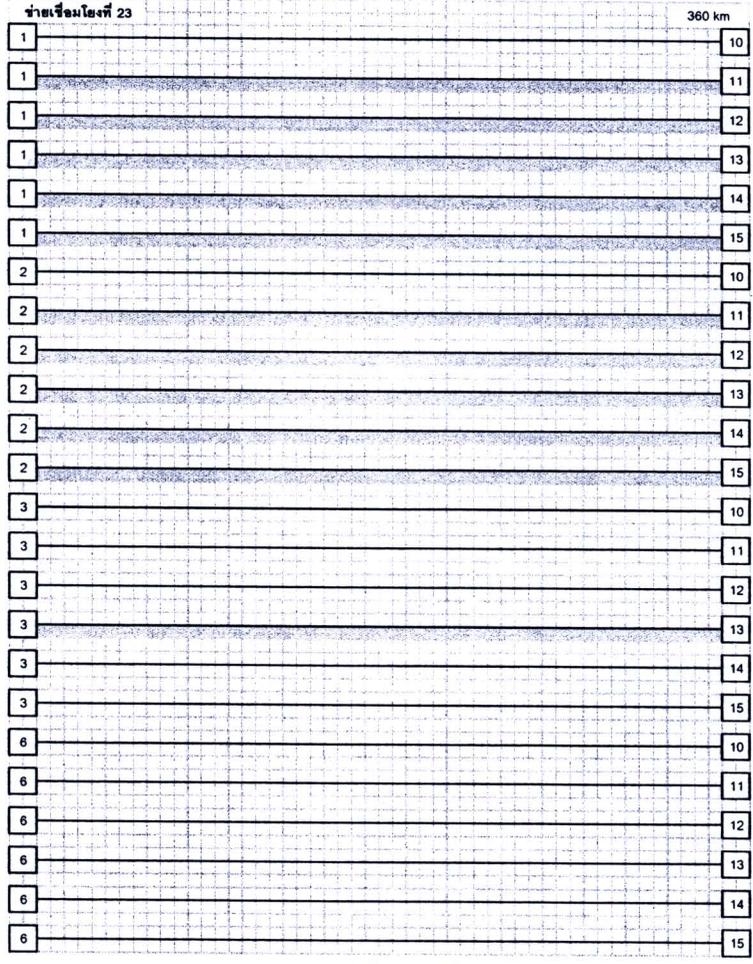
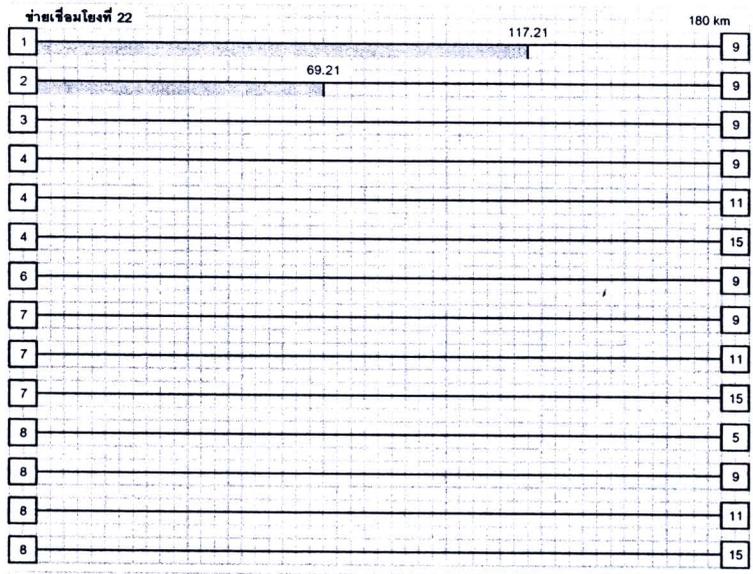
(ข) ข่ายเชื่อมโยงที่ 16 - 17



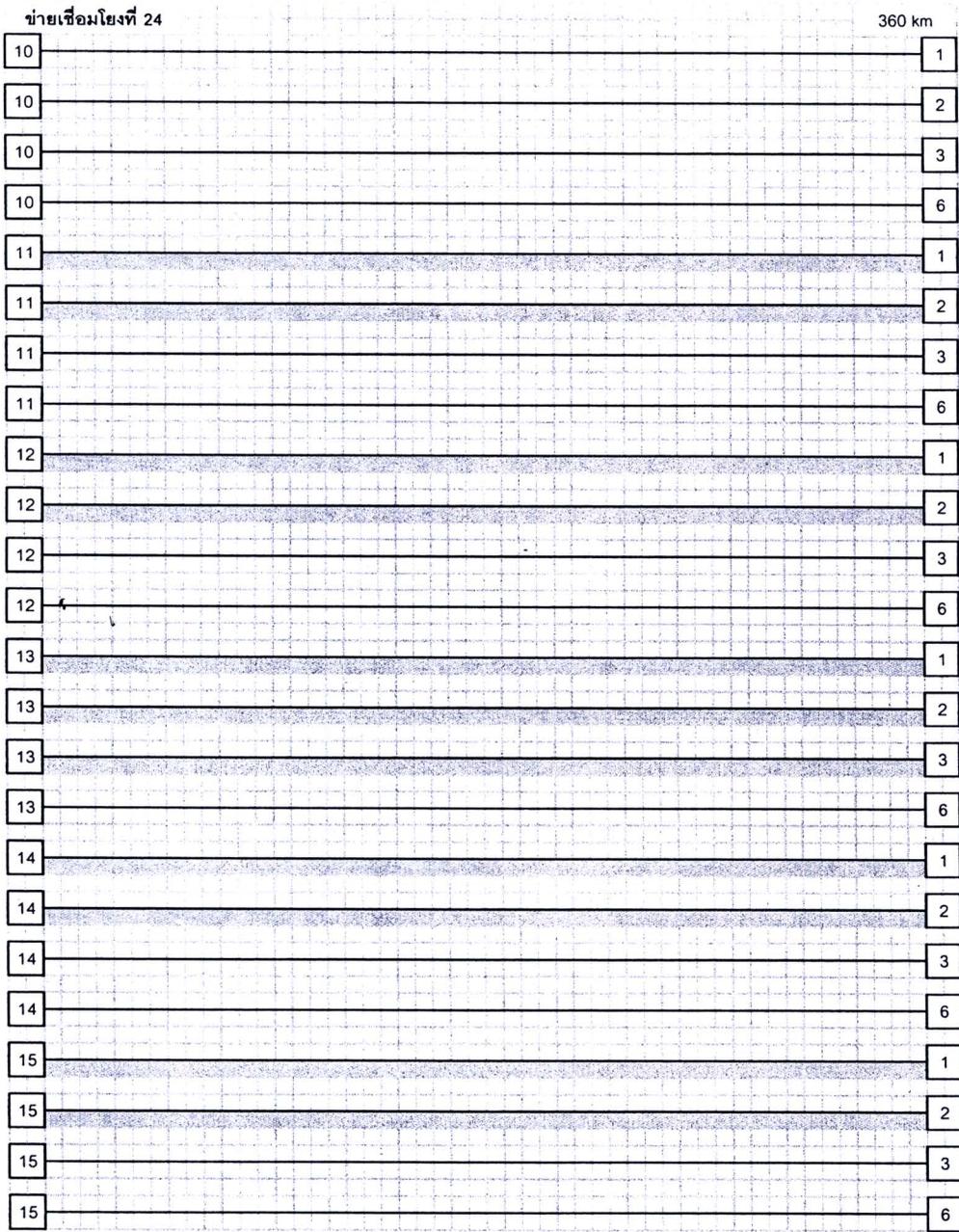
(จ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 18 - 19



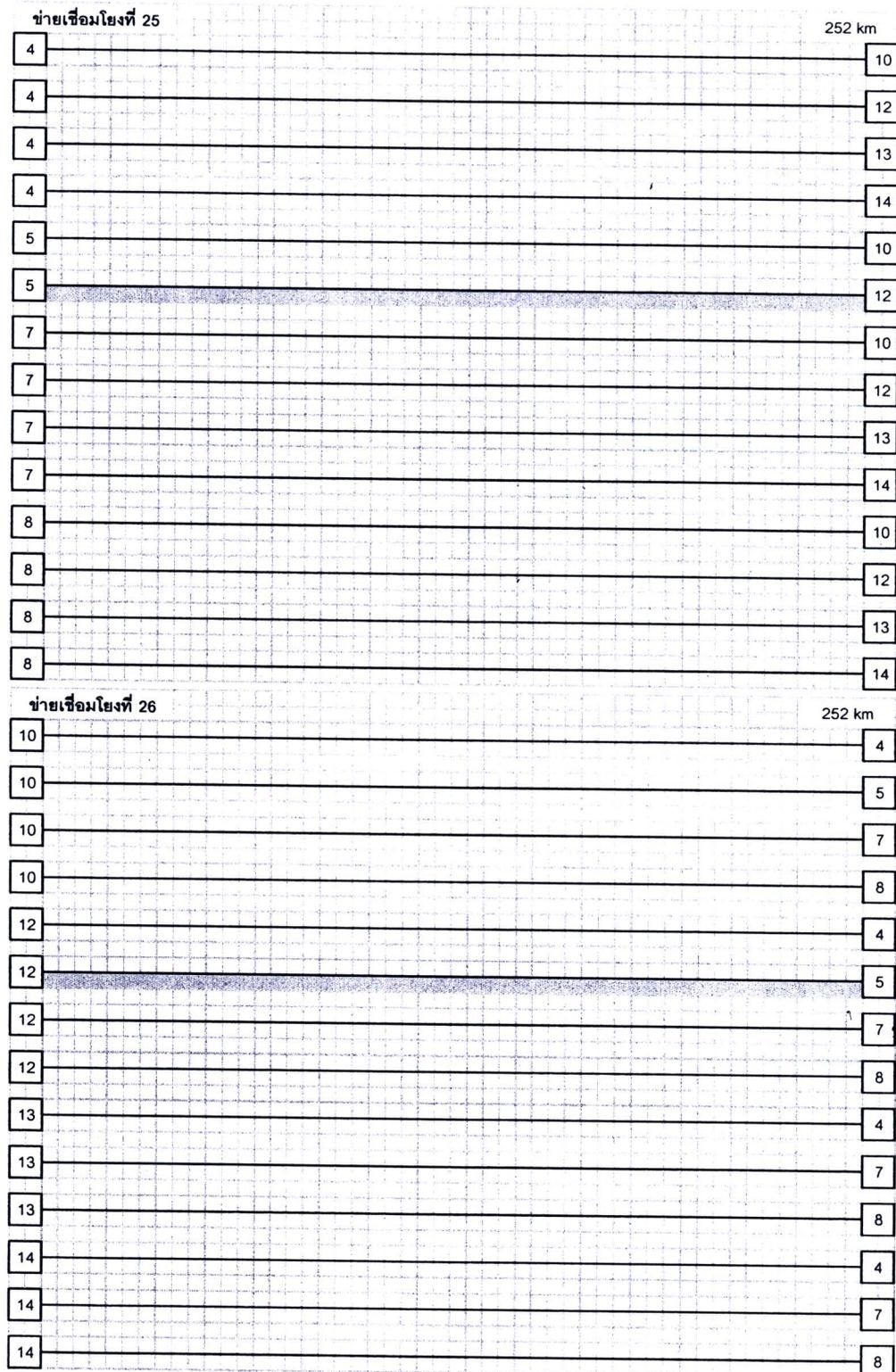
(ณ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 20 - 21



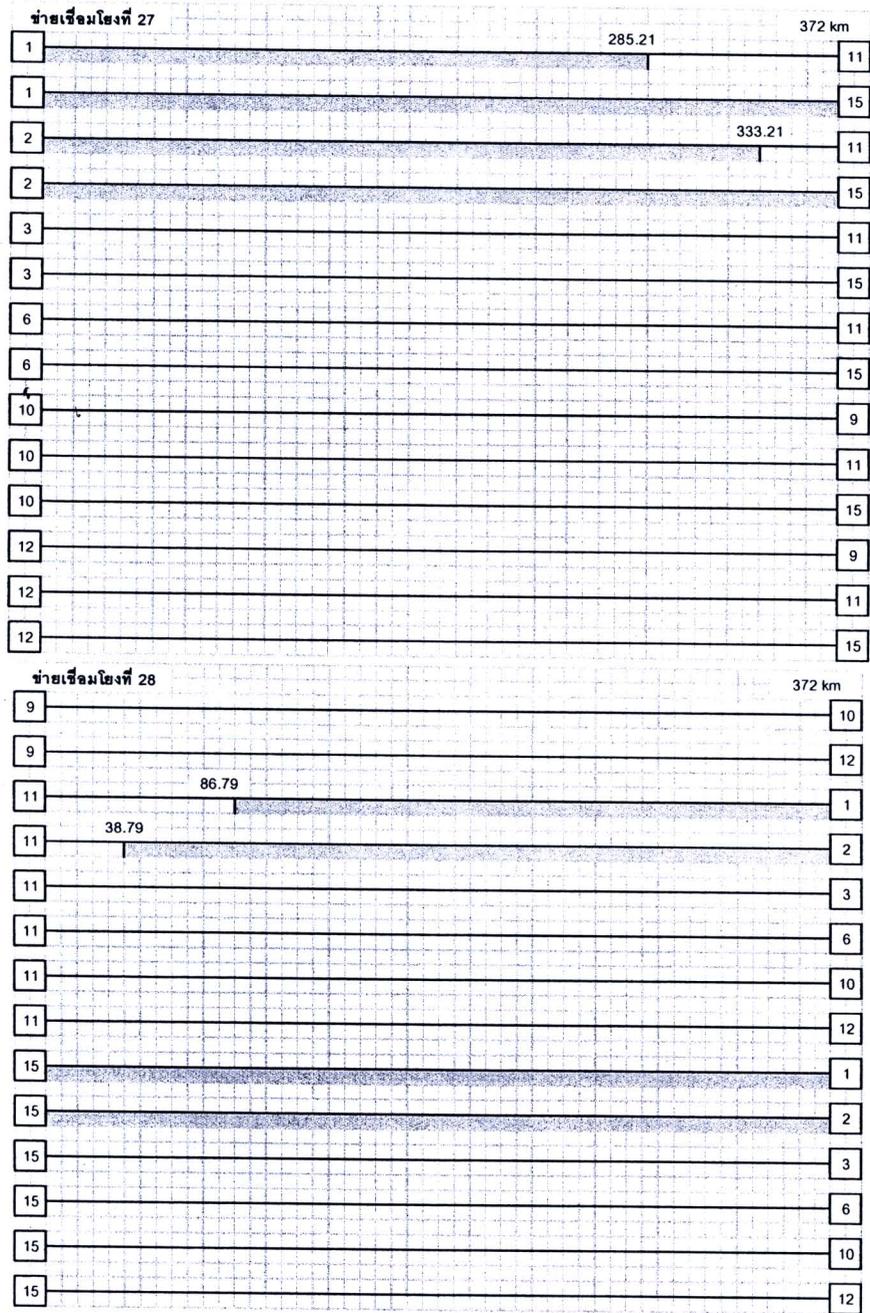
(ญ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 22 - 23



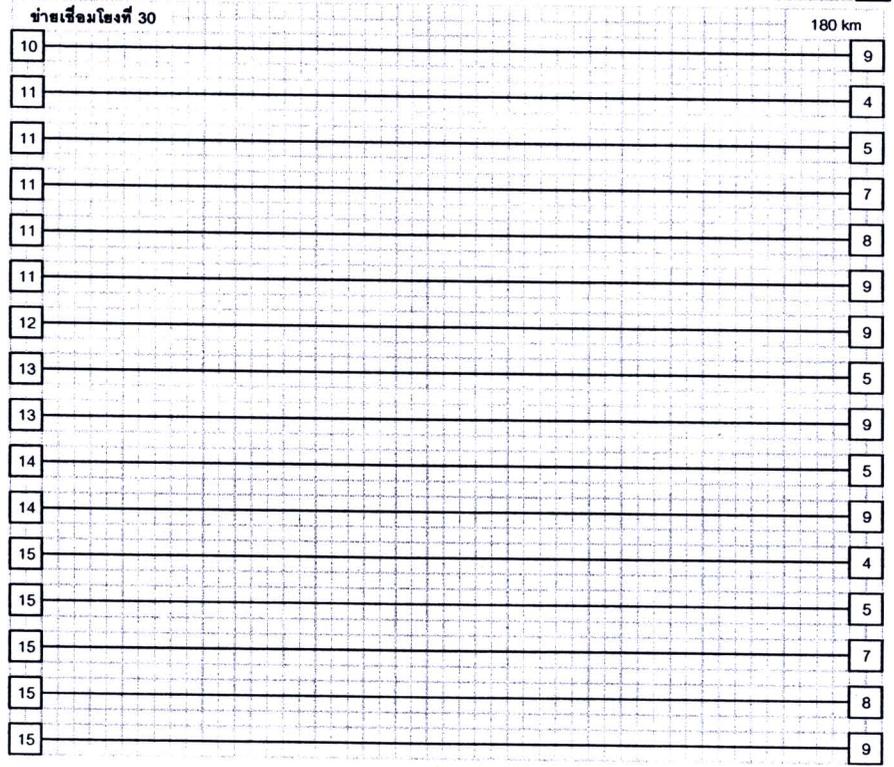
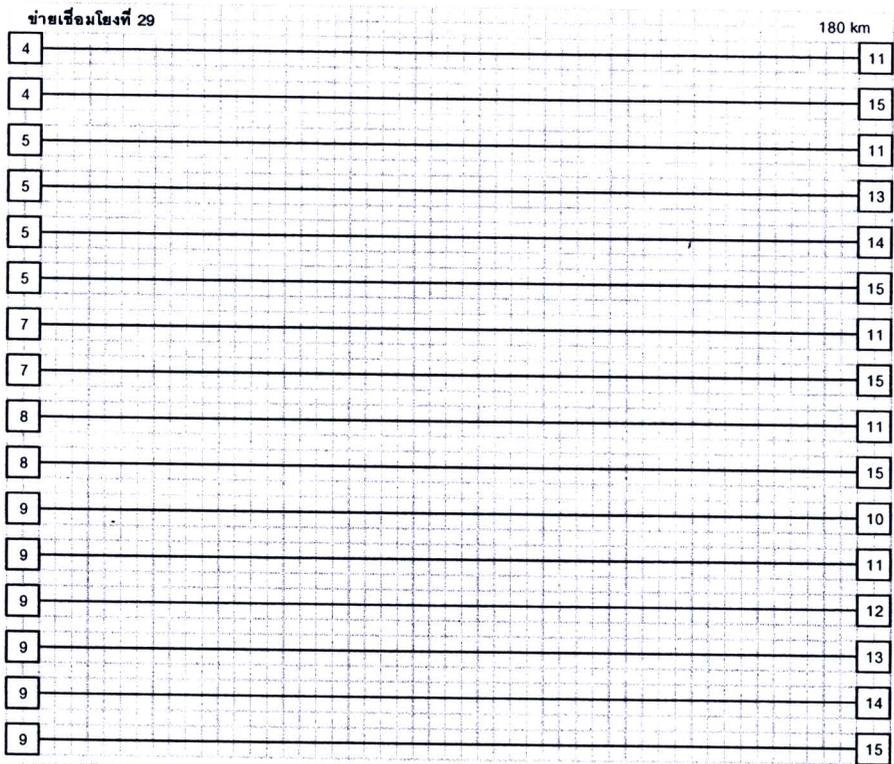
(ก) ข่ายเชื่อมโยงที่ 24



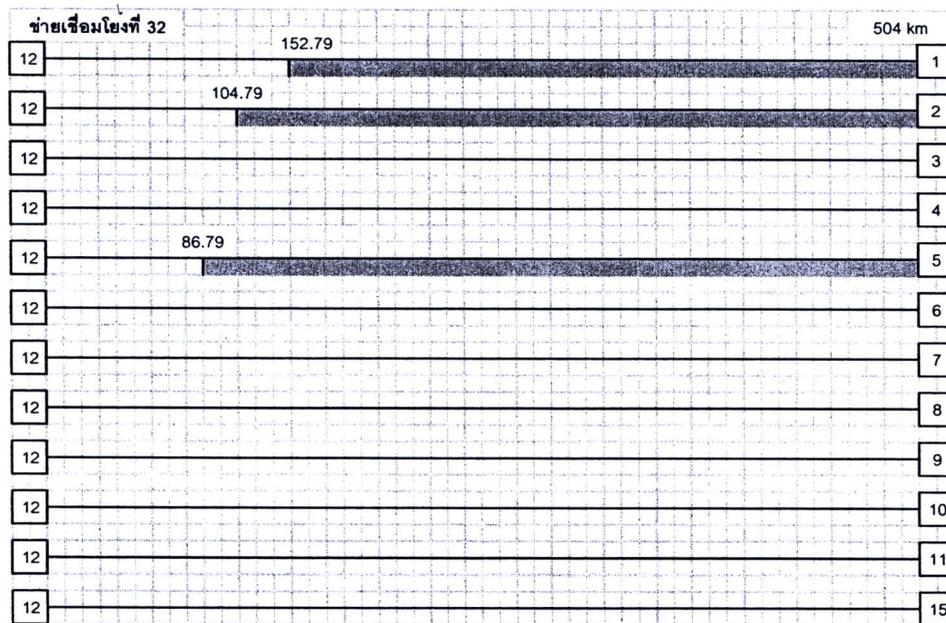
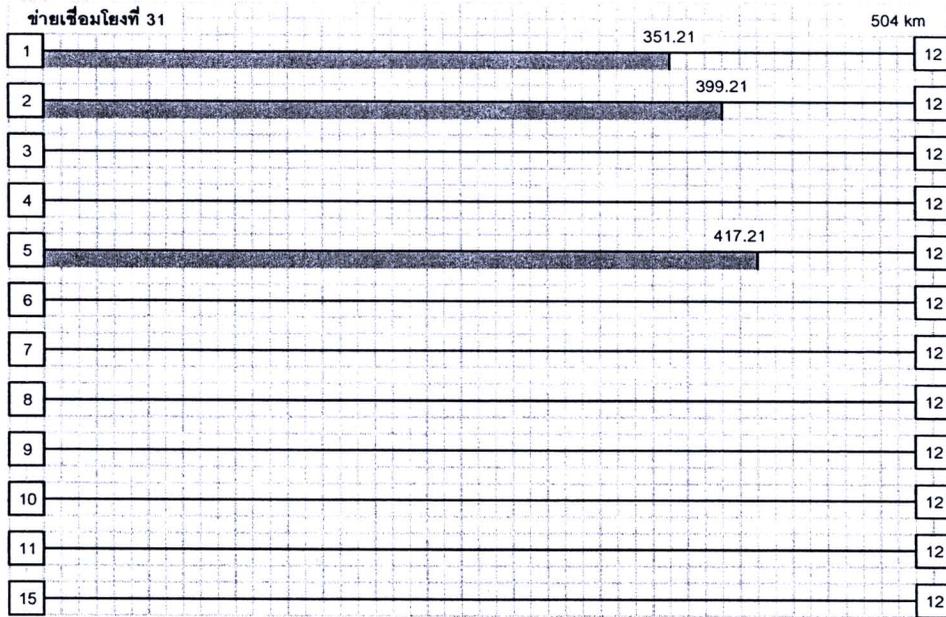
(ฎ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 25 - 26



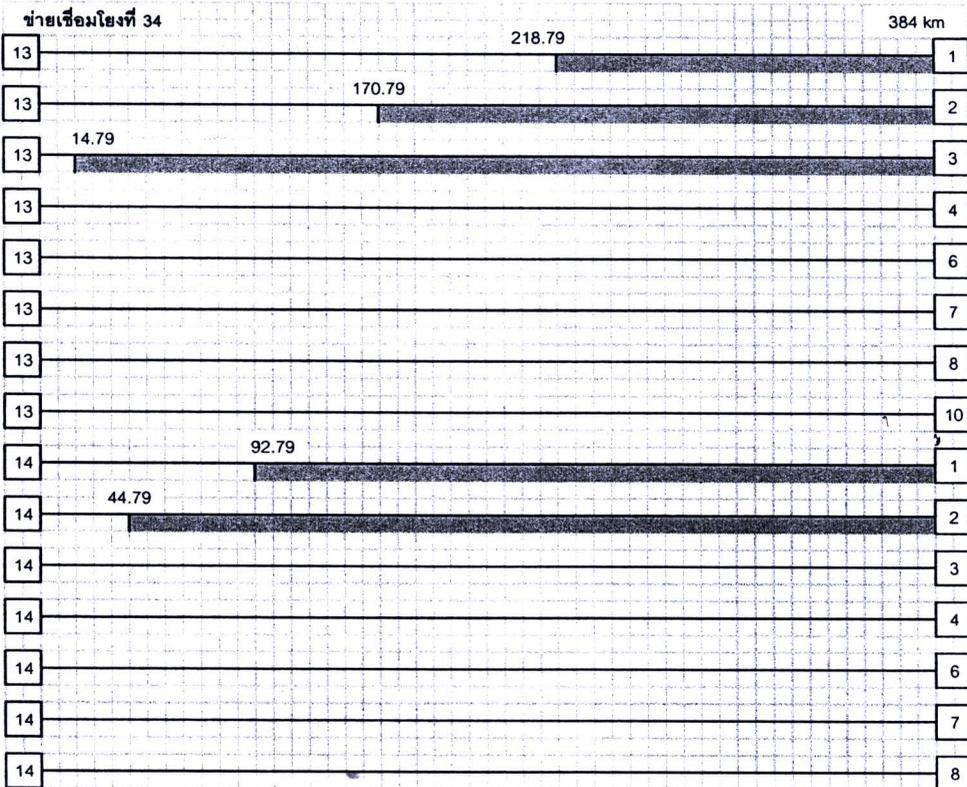
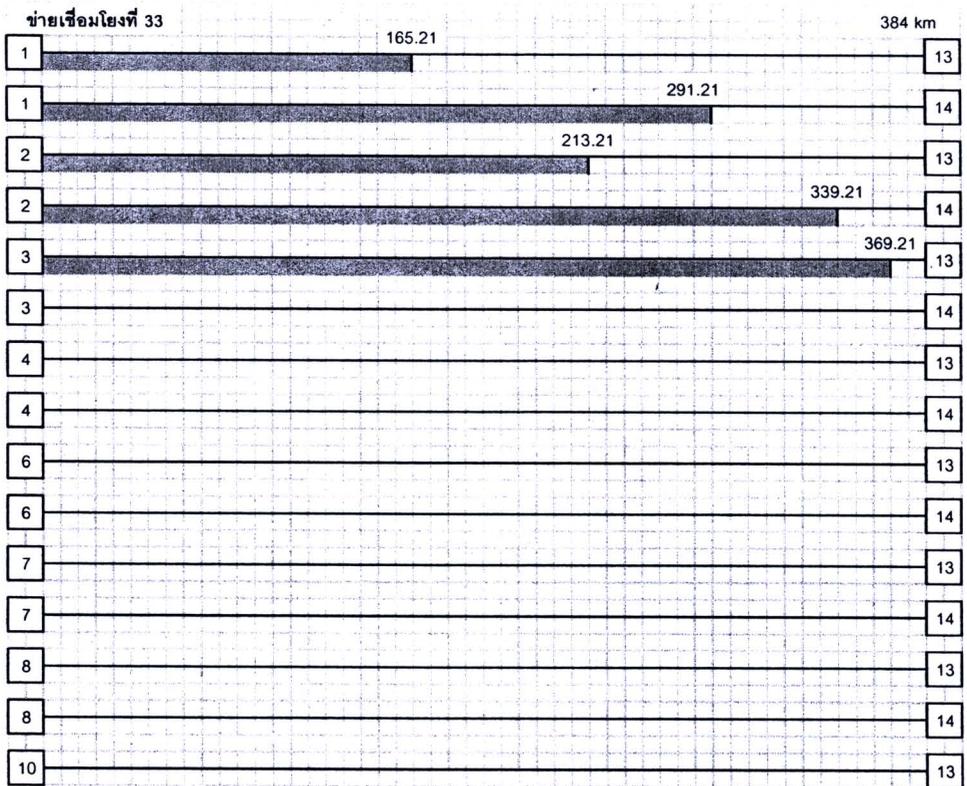
(ฐ) ข้ายเชื่อมโยงที่ 27 - 28



(จ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 29 - 30



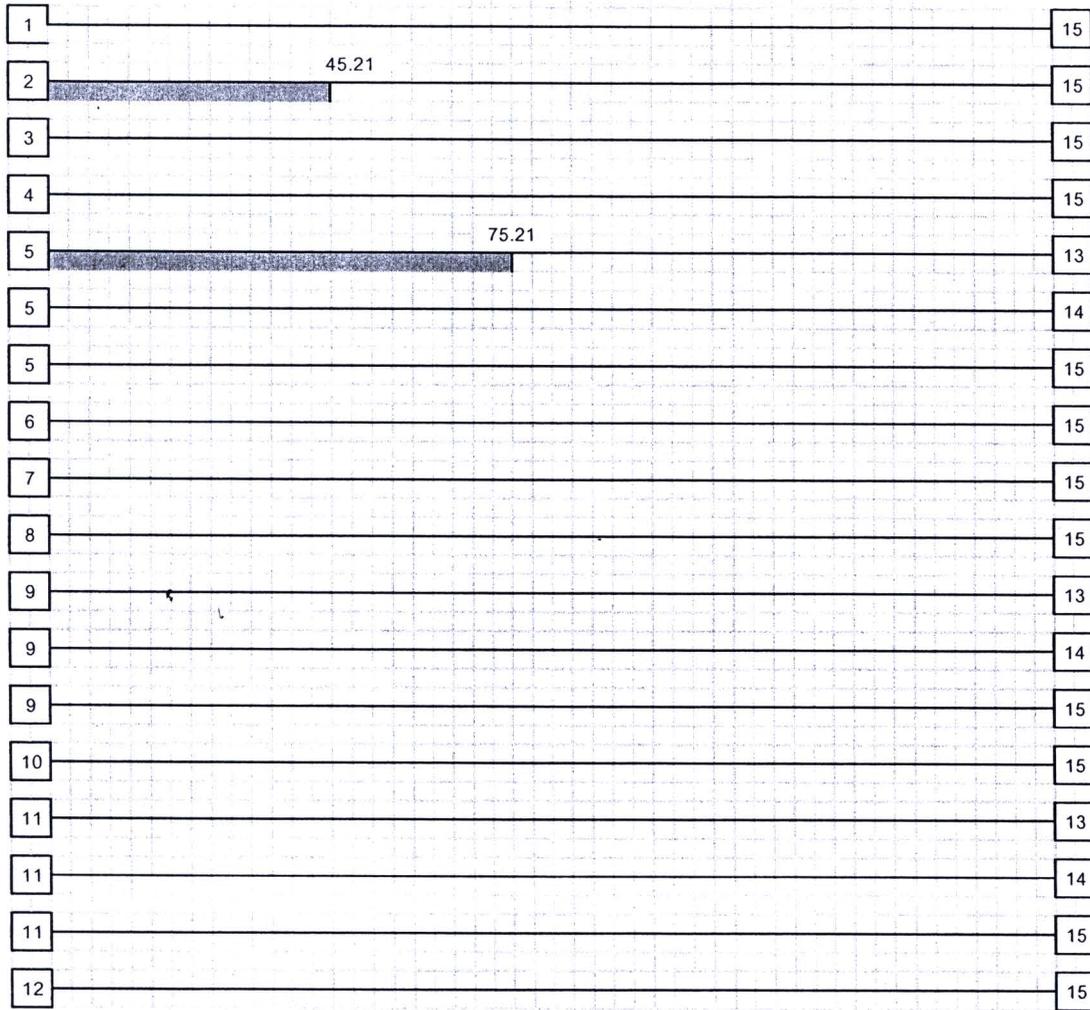
(ค) ข่ายเชื่อมโยงที่ 31 - 32



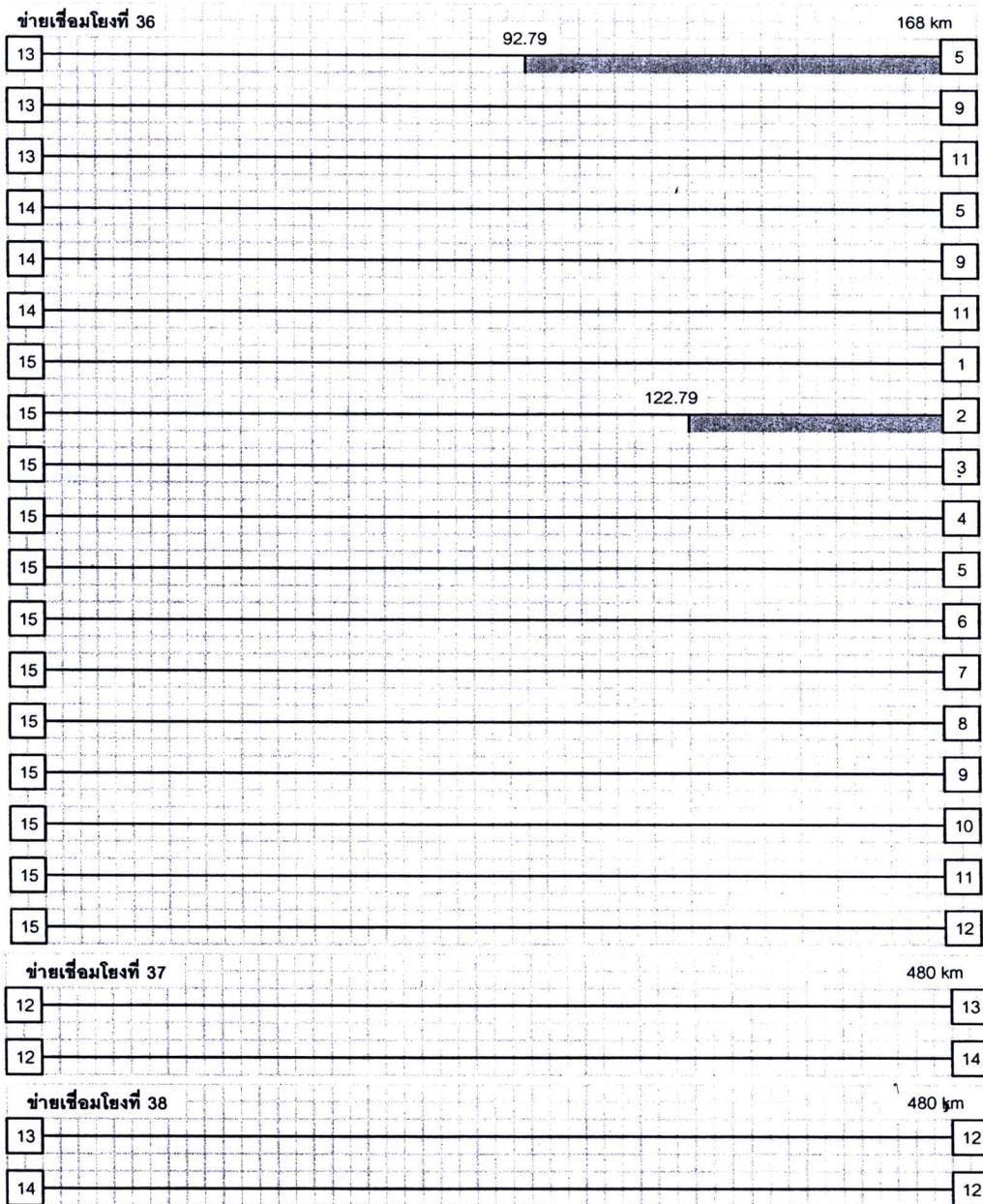
(ณ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 33 - 34

ข่ายเชื่อมโยงที่ 35

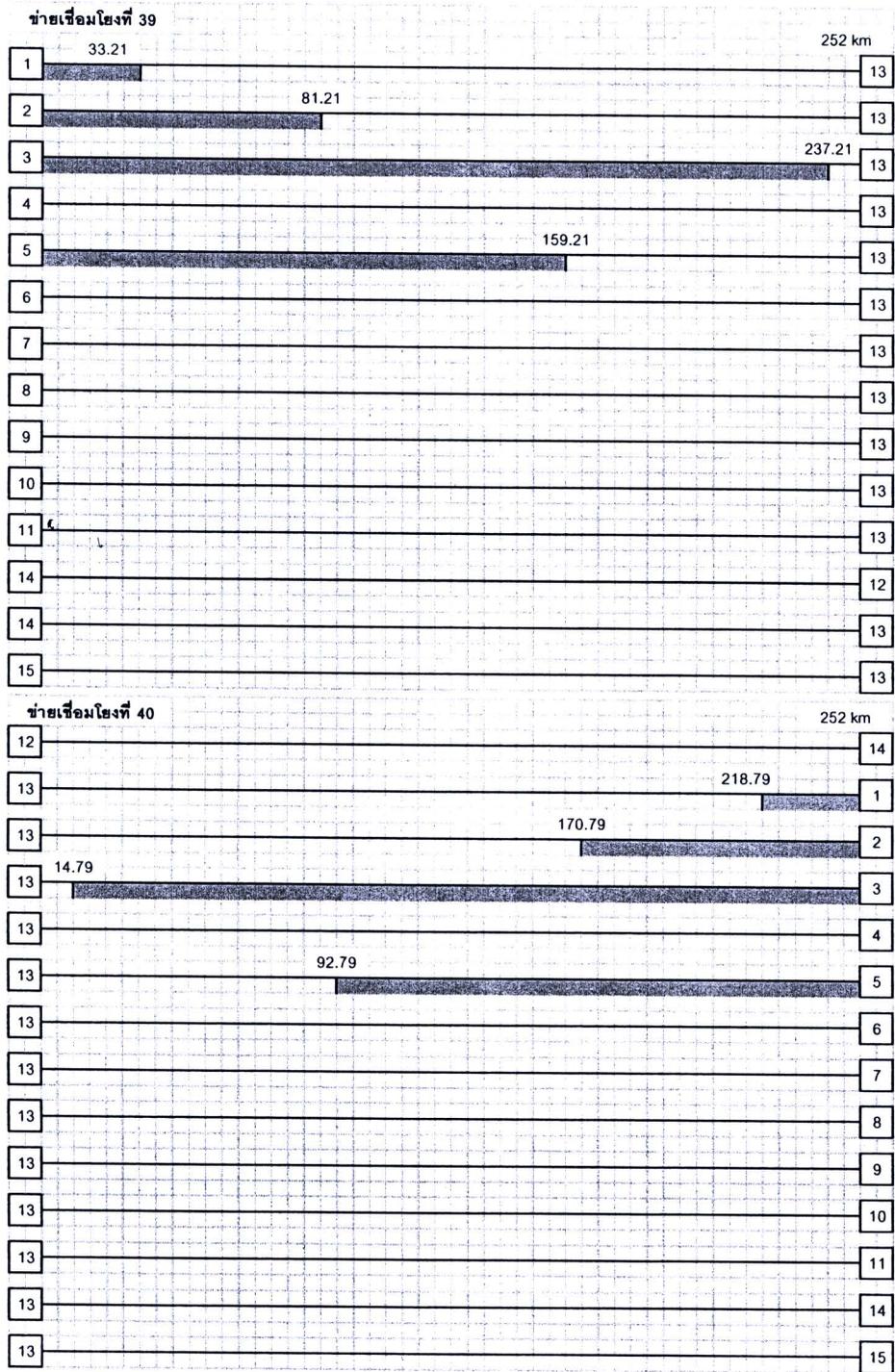
168 km



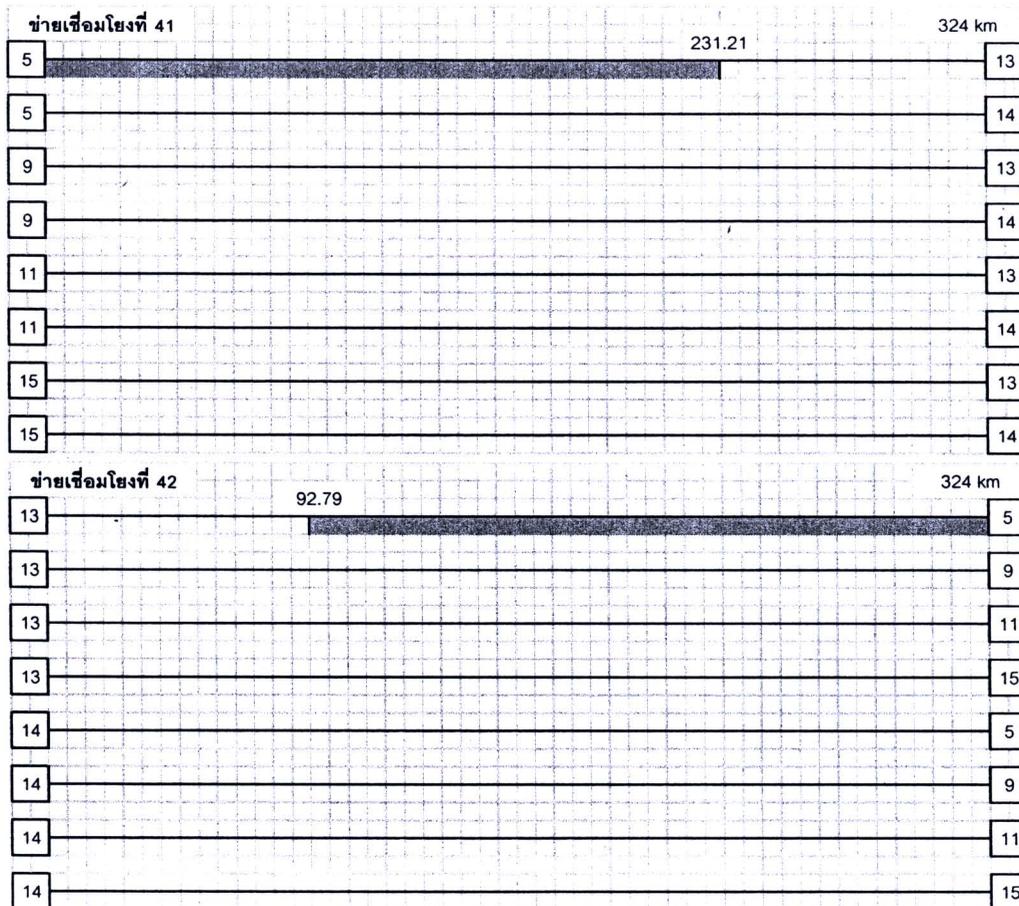
(ค) ข่ายเชื่อมโยงที่ 35



(ค) ข่ายเชื่อมโยงที่ 36 - 38



(ด) ข่ายเชื่อมโยงที่ 39 - 40



(ท) สายเคเบิล 41 - 42

รูปที่ 6.3 ทราฟฟิกและตำแหน่งของเครื่องส่งยุคเฟสแสงของโครงข่าย ERNet

### 6.2.5 ระบุตำแหน่งวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงบนโครงข่าย

- พิจารณาสายเคเบิลที่มีจำนวนทรานส์ฟอรม์มากที่สุดเป็นลำดับแรกในที่นี้ก็คือสายเคเบิล 23 และ 24 มีทั้งหมด 11 ทรานส์ฟอรม์
- หาช่วงในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงจากสายเคเบิลที่หาได้จากข้อ 1. จะได้ตำแหน่งเครื่องส่งยุคเฟสแสงจากการซ้อนทับเท่ากับ 0 - 360 km
- ให้ตัดทรานส์ฟอรม์ที่มีความเกี่ยวข้องกับสายเคเบิลที่พิจารณาในข้อ 1 ซึ่งมีสายเคเบิลดังนี้ ทรานส์ฟอรม์ที่เชื่อมโยงกับสาย 23 คือ

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 =  $2 - 2 = 0$  ทราฟฟิก

ข่ายเชื่อมโยงที่ 39 เหลือทราฟฟิก =  $4 - 3 = 1$  ทราฟฟิก

ตัดทราฟฟิกที่ความเชื่อมโยงกับข่าย 24 คือ

ข่ายเชื่อมโยงที่ 4 เหลือทราฟฟิก =  $5 - 5 = 0$  ทราฟฟิก

ข่ายเชื่อมโยงที่ 8 เหลือทราฟฟิก =  $8 - 5 = 3$  ทราฟฟิก

ข่ายเชื่อมโยงที่ 10 เหลือทราฟฟิก =  $6 - 6 = 0$  ทราฟฟิก

ข่ายเชื่อมโยงที่ 28 เหลือทราฟฟิก =  $4 - 4 = 0$  ทราฟฟิก

ข่ายเชื่อมโยงที่ 32 เหลือทราฟฟิก =  $3 - 2 = 1$  ทราฟฟิก

ข่ายเชื่อมโยงที่ 34 เหลือทราฟฟิก =  $5 - 5 = 0$  ทราฟฟิก

ข่ายเชื่อมโยงที่ 36 เหลือทราฟฟิก =  $2 - 2 = 0$  ทราฟฟิก

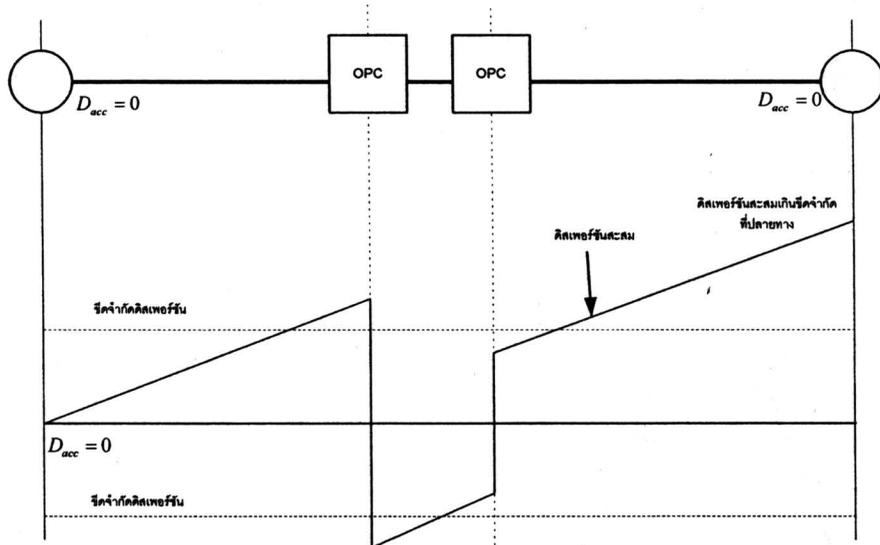
ข่ายเชื่อมโยงที่ 40 เหลือทราฟฟิก =  $4 - 3 = 1$  ทราฟฟิก

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

5. ถ้าเหลือทราฟฟิกเท่ากันในทุกข่ายเชื่อมโยงที่เหลือ ให้พิจารณาโดยยึดหลักที่ว่า

5.1 พิจารณาทราฟฟิกที่ยังไม่ได้วางเครื่องส่งยุคเฟสแสงแต่ยังมีผลจากดิสเพอร์ชัน ซึ่งก็คือ ทราฟฟิกที่ไม่เกี่ยวข้องกับข่ายเชื่อมโยงที่พิจารณามาแล้วในข้อ 1 - ข้อ 4 ที่นี้ก็คือข่ายเชื่อมโยงที่ 7 กับ 8

5.2 พิจารณาข่ายเชื่อมโยงที่ยังไม่ได้ทำการตัดทิ้งจากข้อ 1-4 ซึ่งในที่นี้ก็คือข่ายเชื่อมโยงที่ 31 , 32 , 41 42 , 17 และ 18 เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาค่าดิสเพอร์ชันสะสมเกินขีดจำกัดจากการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง 2 ตัวดังรูปที่ 4.4 นั่นคือถ้าวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง 2 ตัว ระยะทางในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงไม่ควรใกล้เกินไป



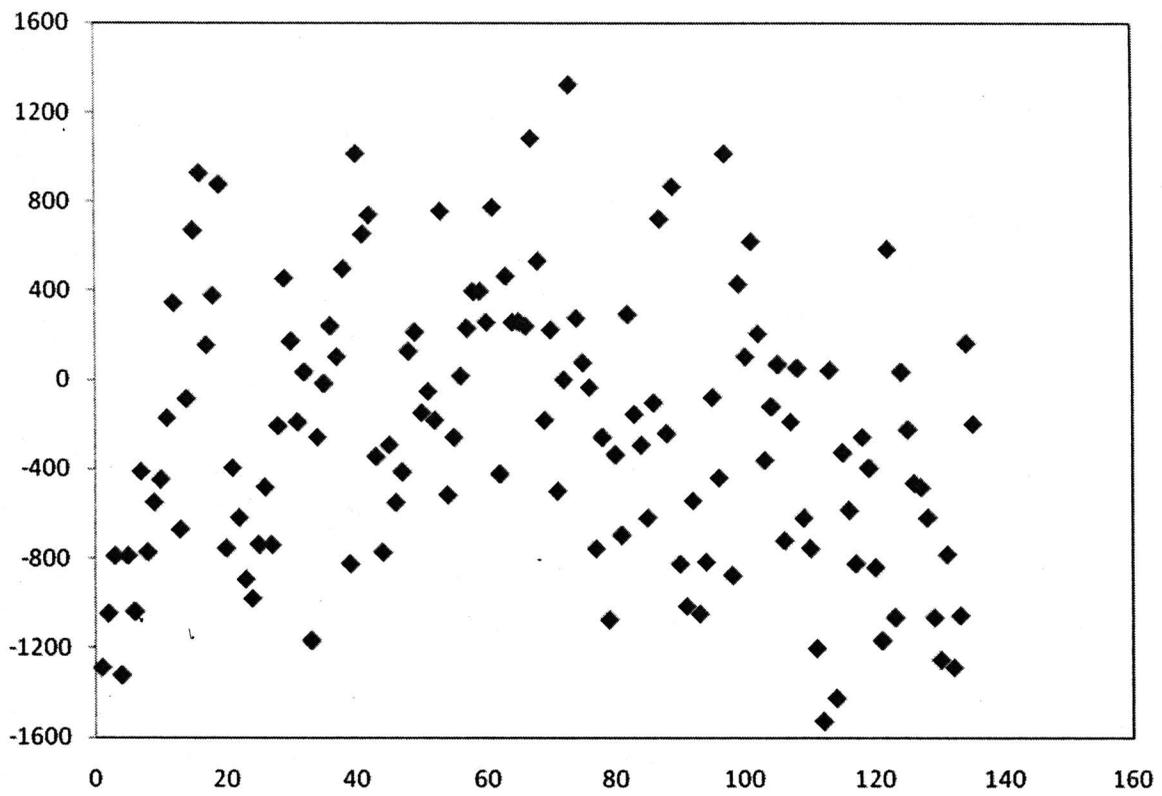
รูปที่ 6.4 ปัญหาระยะทางในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงไกลเกินไป

จากหลักการพิจารณา 5 ข้อดังกล่าวจะได้ตำแหน่งเครื่องส่งยุคเฟสแสงดังนี้

- ข่ายเชื่อมโยงที่ 7 (170.79 – 468 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 8 (0 – 297.20 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 15 และ 16 (0 – 180 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 17 (92.79 - 384 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 18 (0 – 291.21 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 23 และ 24 (0 - 360 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 31 (0 – 351.21 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 32 (152.79 – 504 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 41 (0 – 231.21 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 42 (92.79 – 324 km)

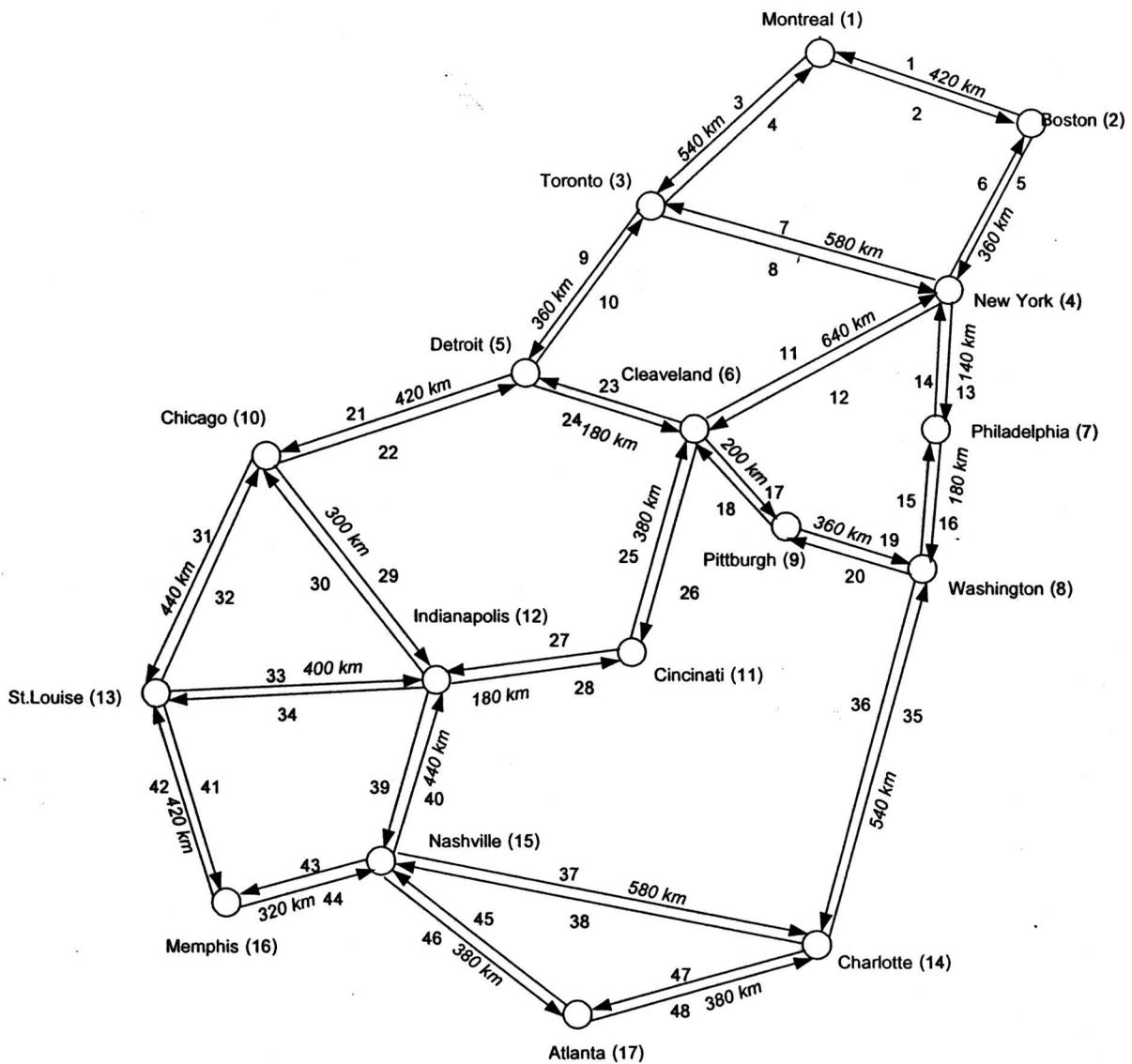
#### 6.2.6 การตรวจสอบการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง

รูปที่ 6.5 เป็นการตรวจสอบดีสเพอร์ชันสะสมหลังจากวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง คำนวณหาดีสเพอร์ชันสะสมของทุกกราฟฟิก พบว่าที่ค่าดีสเพอร์ชันสะสมที่ปลายทางมีค่าไม่เกินขีดจำกัดดีสเพอร์ชัน ดังนั้นที่ภาครับสามารถตรวจจับสัญญาณได้ไม่ผิดพลาด



รูปที่ 6.5 ดิสเพอร์ชันสะสมของทุกทราฟฟิกในโครงข่าย ERNet

### 6.3 ตัวอย่างการคำนวณบนโครงข่าย NARNet (North-American Reference Network)



รูปที่ 6.6 โครงข่าย NARNet

6.3.1 คำนวณหากราฟพิกของโหนดต่างๆ โดยใช้ระเบียบวิธีหาเส้นทางแบบสั้นที่สุด (shortest path) ระหว่างคูโหนดใดๆ ซึ่งจะได้ผลดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 ทราฟฟิกและระยะทางทั้งหมดของโครงข่าย NARNet

ก) โหนด 1-4

โหนด 1	ระยะทาง (km)	ข่ายเชื่อมต่อ (km)	โหนด 2	ระยะทาง (km)	ข่ายเชื่อมต่อ (km)	โหนด 3	ระยะทาง (km)	ข่ายเชื่อมต่อ (km)	โหนด 4	ระยะทาง (km)	ข่ายเชื่อมต่อ (km)
2	420	2	1	420	1	1	540	4	1	780	6,1
3	540	3	3	940	5,7	2	940	8,6	2	360	6
4	780	2,5	4	360	5	4	580	8	3	580	7
5	900	3,9	5	1180	5,12,23	5	360	9	5	820	12,23
6	1080	3,9,24	6	1000	5,12	6	540	9,24	6	640	12
7	920	2,5,13	7	500	5,13	7	720	8,13	7	140	13
8	1100	2,5,13,16	8	680	5,13,16	8	900	8,13,16	8	320	13,16
9	1280	3,9,24,17	9	1040	5,13,16,20	9	740	9,24,17	9	680	13,16,20
10	1320	3,9,21	10	1600	5,12,23,21	10	780	9,21	10	1240	12,23,21
11	1460	3,9,24,26	11	1380	5,12,26	11	920	9,24,26	11	1020	12,26
12	1620	3,9,21,29	12	1560	5,12,26,27	12	1080	9,21,29	12	1200	12,26,27
13	1760	3,9,21,31	13	1960	5,12,26,27,34	13	1220	9,21,31	13	1600	12,26,27,34
14	1640	2,5,13,16,36	14	1220	5,13,16,36	14	1440	8,13,16,36	14	860	13,16,36
15	2060	3,9,21,29,39	15	1800	5,13,16,36,38	15	1520	9,21,29,39	15	1440	13,16,36,38
16	2180	3,9,21,31,41	16	2120	5,13,16,36,38,43	16	1640	9,21,31,41	16	1760	13,16,36,38,43
17	2020	2,5,13,16,36,47	17	1600	5,13,16,36,47	17	1820	8,13,16,36,47	17	1240	13,16,36,47

ข) โหนด 5-8

โหนด 5	ระยะทาง (km)	ข่าย เชื่อมต่อ (km)	โหนด 6	ระยะทาง (km)	ข่าย เชื่อมต่อ (km)	โหนด 7	ระยะทาง (km)	ข่ายเชื่อมต่อ (km)	โหนด 8	ระยะทาง (km)	ข่ายเชื่อมต่อ (km)
1	900	10,4	1	1080	23,10,4	1	920	14,6,1	1	1100	15,14,6,1
2	1180	24,11,6	2	1000	11,6	2	500	14,6	2	680	15,14,6
3	360	10	3	540	23,10	3	720	14,7	3	900	15,14,7
4	820	24,11	4	640	11	4	140	14	4	320	15,14
6	180	24	5	180	23	5	920	16,20,18,23	5	740	20,18,23
7	920	24,17,19,15	7	740	17,19,15	6	740	16,20,18	6	560	20,18
8	740	24,17,19	8	560	17,19	8	180	16	7	180	15
9	380	24,17	9	200	17	9	540	16,20	9	360	20
10	420	21	10	600	23,21	10	1340	16,20,18,23,21	10	1160	20,18,23,21
11	560	24,26	11	380	26	11	1120	16,20,18,26	11	940	20,18,26
12	720	21,29	12	560	26,27	12	1300	16,20,18,26,27	12	1120	20,18,26,27
13	860	21,31	13	960	26,27,34	13	1700	16,20,18,26,27,34	13	1520	20,18,26,27,34
14	1280	24,17,19,36	14	1100	17,19,36	14	720	16,36	14	540	36
15	1160	21,29,39	15	1000	26,27,39	15	1300	16,36,38	15	1120	36,38

16	1280	21,31,41	16	1320	26,27,39,43	16	1620	16,36,38,43	16	1440	36,38,43
17	1540	21,29,39,46	17	1380	26,27,39,46	17	1100	16,36,47	17	920	36,47

ค) โหนด 9-12

โหนด 9	ระยะทาง (km)	ข่ายเชื่อมโยง (km)	โหนด 10	ระยะทาง (km)	ข่ายเชื่อมโยง (km)	โหนด 11	ระยะทาง (km)	ข่ายเชื่อมโยง (km)	โหนด 12	ระยะทาง (km)	ข่ายเชื่อมโยง (km)
1	1280	18,23,10,4	1	1320	22,10,4	1	1460	25,23,10,4	1	1620	30,22,10,4
2	1040	19,15,14,6	2	1600	22,24,11,6	2	1380	25,11,6	2	1560	28,25,11,6
3	740	18,23,10	3	780	22,10	3	920	25,23,10	3	1080	30,22,10
4	680	19,15,14	4	1240	22,24,11	4	1020	25,11	4	1200	28,25,11
5	380	18,23	5	420	22	5	560	25,23	5	720	30,22
6	200	18	6	600	22,24	6	380	25	6	560	28,25
7	540	19,15	7	1340	22,24,17,19,15	7	1120	25,17,19,15	7	1300	28,25,17,19,15
8	360	19	8	1160	22,24,17,19	8	940	25,17,19	8	1120	28,25,17,19
10	800	18,23,21	9	800	22,24,17	9	580	25,17	9	760	28,25,17
11	580	18,26	11	480	29,28	10	480	27,30	10	300	30
12	760	18,26,27	12	300	29	12	180	27	11	180	28
13	1160	18,26,27,34	13	440	31	13	580	27,34	13	400	34
14	900	19,36	14	1320	29,39,37	14	1200	27,39,37	14	1020	39,37
15	1200	18,26,27,39	15	740	29,39	15	620	27,39	15	440	39
16	1520	18,26,27,39,43	16	860	31,41	16	940	27,39,43	16	760	39,43
17	1280	19,36,47	17	1120	29,39,46	17	1000	27,39,46	17	820	39,46

ง) โหนด 13-16

โหนด 13	ระยะทาง (km)	ข่ายเชื่อมโยง (km)	โหนด 14	ระยะทาง (km)	ข่ายเชื่อมโยง (km)	โหนด 15	ระยะทาง (km)	ข่ายเชื่อมโยง (km)	โหนด 16	ระยะทาง (km)	ข่ายเชื่อมโยง (km)
1	1760	32,22,10,4	1	1640	35,15,14,6,1	1	2060	40,30,22,10,4	1	2180	42,32,22,10,4
2	1960	33,28,25,11,6	2	1220	35,15,14,6	2	1800	37,35,15,14,6	2	2120	44,37,35,15,14,6
3	1220	32,22,10	3	1440	35,15,14,7	3	1520	40,30,22,10	3	1640	42,32,22,10
4	1600	33,28,25,11	4	860	35,15,14	4	1440	37,35,15,14	4	1760	44,37,35,15,14
5	860	32,22	5	1280	35,20,18,23	5	1160	40,30,22	5	1280	42,32,22
6	960	33,28,25	6	1100	35,20,18	6	1000	40,28,25	6	1320	44,40,28,25
7	1700	33,28,25,17,19,15	7	720	35,15	7	1300	37,35,15	7	1620	44,37,35,15
8	1520	33,28,25,17,19	8	540	35	8	1120	37,35	8	1440	44,37,35
9	1160	33,28,25,17	9	900	35,20	9	1200	40,28,25,17	9	1520	44,40,28,25,17
10	440	32	10	1320	38,40,30	10	740	40,30	10	860	42,32
11	580	33,28	11	1200	38,40,28	11	620	40,28	11	940	44,40,28
12	400	33	12	1020	38,40	12	440	40	12	760	44,40

14	1320	41,44,37	13	1320	38,43,42	13	740	43,42	13	420	42
15	740	41,44	15	580	38	14	580	37	14	900	44,37
16	420	41	16	900	38,43	16	320	43	15	320	44
17	1120	41,44,46	17	380	47	17	380	46	17	700	44,46

จ) โหนด 17

โหนด 17	ระยะทาง (km)	สายเชื่อมโยง (km)
1	2020	48,35,15,14,6,1
2	1600	48,35,15,14,6
3	1820	48,35,15,14,7
4	1240	48,35,15,14
5	1540	45,40,30,22
6	1380	45,40,28,25
7	1100	48,35,15
8	920	48,35
9	1280	48,35,20
10	1120	45,40,30
11	1000	45,40,28
12	820	45,40
13	1120	45,43,42
14	380	48
15	380	45
16	700	45,43



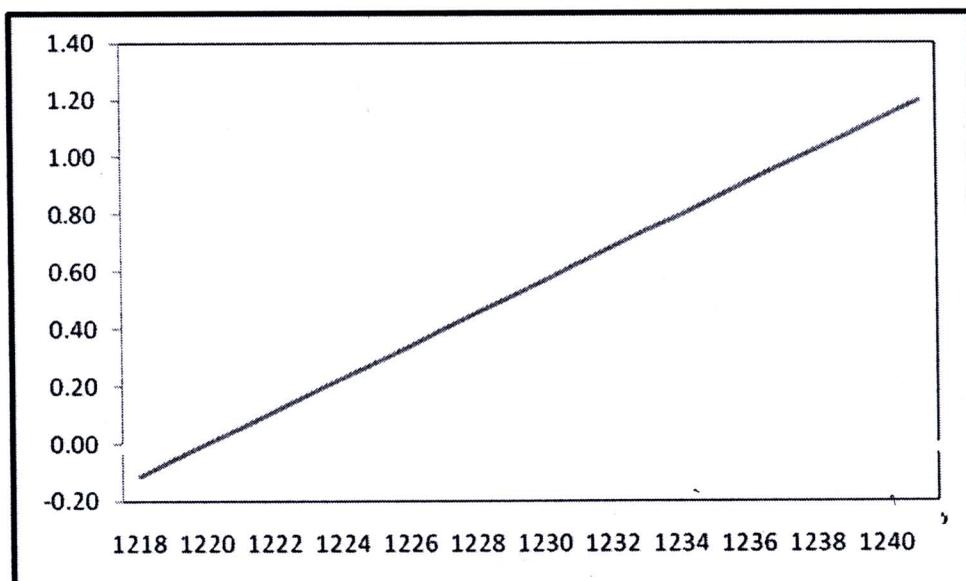
6.3.2 หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวคลื่นกับพารามิเตอร์ R

ตารางที่ 6.6 พารามิเตอร์ R ของโครงข่าย NARNet

โหนดต้นทาง-โหนดปลายทาง	ทราฟฟิก [km]	X <sub>1</sub> [km]	R	โหนดต้นทาง-โหนดปลายทาง	ทราฟฟิก [km]	X <sub>1</sub> [km]	R
5-17	1540	420	0.38	13-2	540	400	-0.14
6-1	1080	180	0.39	14-1	420	540	-0.36
6-2	1000	640	-0.15	14-10	1380	580	0.12

6-14	1100	200	0.38	15-1	540	440	-0.19
6-17	1380	380	0.34	15-2	1800	580	6.81
7-1	420	140	0.08	16-1	2180	420	-0.03
7-13	1760	180	0.77	16-2	2120	320	-0.15
7-16	2180	180		17-1	2020	380	0.08
8-13	1960	360	0.68	17-5	1540	380	-0.32
8-16	2120	540	0.57	17-16	1540	380	0.43

จากตารางที่ 6.6 พบว่าที่กราฟฟิกจากโนด 7 ไปโนด 16 ให้ค่าพารามิเตอร์ R ที่มากที่สุด ดังนั้นเราจึงใช้กราฟฟิกนี้ ในการคำนวณหาช่วงความยาวคลื่นที่ทำให้พารามิเตอร์ R มีค่าระหว่าง 0.1 – 1 เมื่อนำมาพล็อตกราฟได้ผลดังรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ R กับความยาวคลื่น

ที่  $R = 1$  จะได้ความยาวคลื่น 1237.5 nm ซึ่งจะมีค่าดิสเพอร์ชันคือ  $16.5 + 0.05 * (1237.5 - 1550) = 0.875$  ps/nm/km

ที่  $R = 0.1$  จะได้ความยาวคลื่น 1220.2 nm ซึ่งจะมีค่าดิสเพอร์ชันคือ  $16.5 + 0.05 * (1220.2 - 1550) = 0.01$  ps/nm/km

6.3.3 คำนวณหาช่วงในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในแต่ละทราฟฟิก ได้ผลดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 ช่วงในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในแต่ละทราฟฟิก

(จ) โหนด 1 – 4

โหนด 1	ระยะทาง(km)	OPC_L	OPC_R	โหนด 2	ระยะทาง(km)	OPC_L	OPC_R
2	420	-704.39	1124.39	1	420	704.39	1124.39
3	540	-644.39	1184.39	3	940	444.39	1384.39
4	780	-524.39	1304.39	4	360	734.39	1094.39
5	900	-464.39	1364.39	5	1180	324.39	1504.39
6	1080	-374.39	1454.39	6	1000	414.39	1414.39
7	920	-454.39	1374.39	7	500	664.39	1164.39
8	1100	-364.39	1464.39	8	680	574.39	1254.39
9	1280	-274.39	1554.39	9	1040	394.39	1434.39
10	1320	-254.39	1574.39	10	1600	114.39	1714.39
11	1460	-184.39	1644.39	11	1380	224.39	1604.39
12	1620	-104.39	1724.39	12	1560	-	1694.39

						134.39	
13	1760	-34.39	1794.39	13	1960	65.71	1894.39
14	1640	-94.39	1734.39	14	1220	304.39	1524.39
15	2060	115.71	1944.39	15	1800	-14.39	1814.39
16	2180	175.71	2004.39	16	2120	145.71	1974.39
17	2020	95.71	1924.39	17	1600	114.39	1714.39
<b>โหนด 3</b>	<b>ระยะทาง(km)</b>	<b>OPC_L</b>	<b>OPC_R</b>	<b>โหนด 4</b>	<b>ระยะทาง(km)</b>	<b>OPC_L</b>	<b>OPC_R</b>
1	540	-644.39	1184.39	1	780	524.39	1304.39
2	940	-444.39	1384.39	2	360	734.39	1094.39
4	580	-624.39	1204.39	3	580	624.39	1204.39
5	360	-734.39	1094.39	5	820	504.39	1324.39
6	540	-644.39	1184.39	6	640	594.39	1234.39
7	720	-554.39	1274.39	7	140	844.39	984.39
8	900	-464.39	1364.39	8	320	754.39	1074.39
9	740	-544.39	1284.39	9	680	574.39	1254.39
10	780	-524.39	1304.39	10	1240	294.39	1534.39
11	920	-454.39	1374.39	11	1020	404.39	1424.39
12	1080	-374.39	1454.39	12	1200	314.39	1514.39
13	1220	-304.39	1524.39	13	1600	114.39	1714.39
14	1440	-194.39	1634.39	14	860	484.39	1344.39
15	1520	-154.39	1674.39	15	1440	194.39	1634.39

16	1640	-94.39	1734.39	16	1760	-34.39	1794.39
17	1820	-4.39	1824.39	17	1240	294.39	1534.39

ข) โหนด 5 - 8

โหนด 5	ระยะทาง(km)	OPC_L	OPC_R	โหนด 6	ระยะทาง (km)	OPC_L	OPC_R
1	900	464.39	1364.39	1	1080	374.39	1454.39
2	1180	324.39	1504.39	2	1000	414.39	1414.39
3	360	734.39	1094.39	3	540	644.39	1184.39
4	820	504.39	1324.39	4	640	594.39	1234.39
6	180	824.39	1004.39	5	180	824.39	1004.39
7	920	454.39	1374.39	7	740	544.39	1284.39
8	740	544.39	1284.39	8	560	634.39	1194.39
9	380	724.39	1104.39	9	200	814.39	1014.39
10	420	704.39	1124.39	10	600	614.39	1214.39
11	560	634.39	1194.39	11	380	724.39	1104.39
12	720	554.39	1274.39	12	560	634.39	1194.39
13	860	484.39	1344.39	13	960	434.39	1394.39
14	1280	274.39	1554.39	14	1100	364.39	1464.39
15	1160	334.39	1494.39	15	1000	414.39	1414.39

16	1280	274.39	1554.39	16	1320	254.39	1574.39
17	1540	144.39	1684.39	17	1380	224.39	1604.39
<b>โน้ต 7</b>	<b>ระยะทาง(km)</b>	<b>OPC_L</b>	<b>OPC_R</b>	<b>โน้ต 8</b>	<b>ระยะทาง(km)</b>	<b>OPC_L</b>	<b>OPC_R</b>
1	920	454.39	1374.39	1	1100	364.39	1464.39
2	500	664.39	1164.39	2	680	574.39	1254.39
3	720	554.39	1274.39	3	900	464.39	1364.39
4	140	844.39	984.39	4	320	754.39	1074.39
5	920	454.39	1374.39	5	740	544.39	1284.39
6	740	544.39	1284.39	6	560	634.39	1194.39
8	180	824.39	1004.39	7	180	824.39	1004.39
9	540	644.39	1184.39	9	360	734.39	1094.39
10	1340	244.39	1584.39	10	1160	334.39	1494.39
11	1120	354.39	1474.39	11	940	444.39	1384.39
12	1300	264.39	1564.39	12	1120	354.39	1474.39
13	1700	64.39	1764.39	13	1520	154.39	1674.39
14	720	554.39	1274.39	14	540	644.39	1184.39
15	1300	264.39	1564.39	15	1120	354.39	1474.39
16	1620	104.39	1724.39	16	1440	194.39	1634.39
17	1100	364.39	1464.39	17	920	454.39	1374.39

ค) โหนด 9 - 12

โหนด 9	ระยะทาง(km)	OPC_L	OPC_R	โหนด 10	ระยะทาง(km)	OPC_L	OPC_R
1	1280	- 274.39	1554.39	1	1320	- 254.39	1574.39
2	1040	- 394.39	1434.39	2	1600	- 114.39	1714.39
3	740	- 544.39	1284.39	3	780	- 524.39	1304.39
4	680	- 574.39	1254.39	4	1240	- 294.39	1534.39
5	380	- 724.39	1104.39	5	420	- 704.39	1124.39
6	200	- 814.39	1014.39	6	600	- 614.39	1214.39
7	540	- 644.39	1184.39	7	1340	- 244.39	1584.39
8	360	- 734.39	1094.39	8	1160	- 334.39	1494.39
10	800	- 514.39	1314.39	9	800	- 514.39	1314.39
11	580	- 624.39	1204.39	11	480	- 674.39	1154.39
12	760	- 534.39	1294.39	12	300	- 764.39	1064.39
13	1160	- 334.39	1494.39	13	440	- 694.39	1134.39
14	900	- 464.39	1364.39	14	1320	- 254.39	1574.39
15	1200	- 314.39	1514.39	15	740	- 544.39	1284.39
16	1520	- 154.39	1674.39	16	860	- 484.39	1344.39
17	1280	- 274.39	1554.39	17	1120	- 354.39	1474.39
โหนด 11	ระยะทาง(km)	OPC_L	OPC_R	โหนด 12	ระยะทาง(km)	OPC_L	OPC_R
1	1460	-	1644.39	1	1620	-	1724.39

		184.39				104.39	
2	1380	- 224.39	1604.39	2	1560	- 134.39	1694.39
3	920	- 454.39	1374.39	3	1080	- 374.39	1454.39
4	1020	- 404.39	1424.39	4	1200	- 314.39	1514.39
5	560	- 634.39	1194.39	5	720	- 554.39	1274.39
6	380	- 724.39	1104.39	6	560	- 634.39	1194.39
7	1120	- 354.39	1474.39	7	1300	- 264.39	1564.39
8	940	- 444.39	1384.39	8	1120	- 354.39	1474.39
9	580	- 624.39	1204.39	9	760	- 534.39	1294.39
10	480	- 674.39	1154.39	10	300	- 764.39	1064.39
12	180	- 824.39	1004.39	11	180	- 824.39	1004.39
13	580	- 624.39	1204.39	13	400	- 714.39	1114.39
14	1200	- 314.39	1514.39	14	1020	- 404.39	1424.39
15	620	- 604.39	1224.39	15	440	- 694.39	1134.39
16	940	- 444.39	1384.39	16	760	- 534.39	1294.39
17	1000	- 414.39	1414.39	17	820	- 504.39	1324.39

ง) โหนด 13 - 16

โหนด 13	ระยะทาง(km)	OPC_L	OPC_R	โหนด 14	ระยะทาง(km)	OPC_L	OPC_R
1	1760	-34.39	1794.39	1	1640	-94.39	1734.39
2	1960	65.71	1894.39	2	1220	-	1524.39

						304.39	
3	1220	304.39	1524.39	3	1440	194.39	1634.39
4	1600	114.39	1714.39	4	860	484.39	1344.39
5	860	484.39	1344.39	5	1280	274.39	1554.39
6	960	434.39	1394.39	6	1100	364.39	1464.39
7	1700	-64.39	1764.39	7	720	554.39	1274.39
8	1520	154.39	1674.39	8	540	644.39	1184.39
9	1160	334.39	1494.39	9	900	464.39	1364.39
10	440	694.39	1134.39	10	1320	254.39	1574.39
11	580	624.39	1204.39	11	1200	314.39	1514.39
12	400	714.39	1114.39	12	1020	404.39	1424.39
14	1320	254.39	1574.39	13	1320	254.39	1574.39
15	740	544.39	1284.39	15	580	624.39	1204.39
16	420	704.39	1124.39	16	900	464.39	1364.39
17	1120	354.39	1474.39	17	380	724.39	1104.39
<b>โนด 15</b>	<b>ระยะทาง(km)</b>	<b>OPC_L</b>	<b>OPC_R</b>	<b>โนด 16</b>	<b>ระยะทาง(km)</b>	<b>OPC_L</b>	<b>OPC_R</b>
1	2060	115.71	1944.39	1	2180	175.71	2004.39
2	1800	-14.39	1814.39	2	2120	145.71	1974.39
3	1520	154.39	1674.39	3	1640	-94.39	1734.39
4	1440	194.39	1634.39	4	1760	-34.39	1794.39
5	1160	-	1494.39	5	1280	-	1554.39

		334.39				274.39	
6	1000	414.39	1414.39	6	1320	254.39	1574.39
7	1300	264.39	1564.39	7	1620	104.39	1724.39
8	1120	354.39	1474.39	8	1440	194.39	1634.39
9	1200	314.39	1514.39	9	1520	154.39	1674.39
10	740	544.39	1284.39	10	860	484.39	1344.39
11	620	604.39	1224.39	11	940	444.39	1384.39
12	440	694.39	1134.39	12	760	534.39	1294.39
13	740	544.39	1284.39	13	420	704.39	1124.39
14	580	624.39	1204.39	14	900	464.39	1364.39
16	320	754.39	1074.39	15	320	754.39	1074.39
17	380	724.39	1104.39	17	700	564.39	1264.39

ก) โคนด 17

โคนด 17	ระยะทาง(km)	OPC_L	OPC_R
1	2020	95.71	1924.39
2	1600	114.39	1714.39
3	1820	4.39	1824.39
4	1240	294.39	1534.39
5	1540	-	1684.39

		144.39	
6	1380	224.39	1604.39
7	1100	364.39	1464.39
8	920	454.39	1374.39
9	1280	274.39	1554.39
10	1120	354.39	1474.39
11	1000	414.39	1414.39
12	820	504.39	1324.39
13	1120	354.39	1474.39
14	380	724.39	1104.39
15	380	724.39	1104.39
16	700	564.39	1264.39

ค่าที่อยู่ในตารางในช่อง OPC\_L และ OPC\_R ที่เป็นสีเข้มเช่น ทราฟฟิกจากโนด 15 ไปยังโนด 13 นั้น ค่าในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงจะอยู่ในช่วงนอกความยาวทราฟฟิก หมายถึงช่วงในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงนั้นวางตรงไหนก็ได้ตลอดทราฟฟิก หรือในอีกความหมายก็คือ ทราฟฟิกนั้นไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องส่งยุคเฟสแสง เพราะ ระยะทางที่มากที่สุดที่จะต้องใช้เครื่องส่งยุคเฟสแสงแล้วดิสเพอร์ชันสะสมที่ปลายทางไม่เกิน 1600 ps/nm ก็คือ

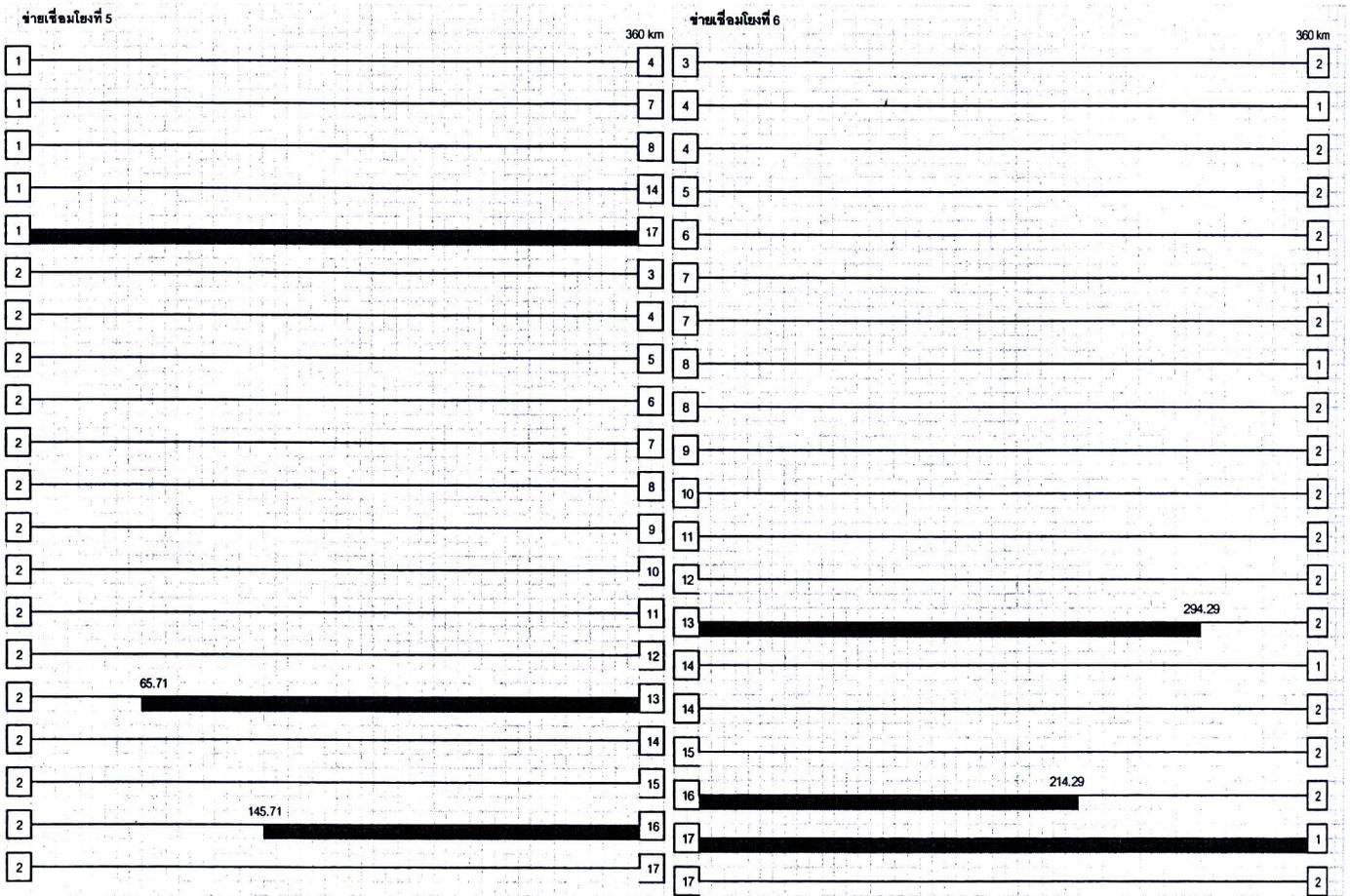
$$\frac{1600}{0.875} = 1828.57 \text{ km}$$

ดังนั้นถ้าทราฟฟิกไหนมีระยะทางไม่เกิน 1828.57 km ก็แสดงว่าไม่จำเป็นต้องมีเครื่องส่งยุคเฟส

#### 6.3.4 คำนวณหาช่วงซ้อนทับของการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงแต่ละข่ายเชื่อมโยง

รูปที่ 6.8 ทราฟฟิกและตำแหน่งของเครื่องส่งยุคเฟสแสงของโครงข่าย NARNet (บางส่วน)

ก) ข่ายเชื่อมโยงที่ 5-6



ข) ข่ายเชื่อมโยงที่ 9-10

ข่ายเชื่อมโยงที่ 9		360 km	ข่ายเชื่อมโยงที่ 10		360 km
1		5	5		1
1		6	5		3
1		9	6		1
1		10	6		3
1		11	9		1
1		12	9		3
1		13	10		1
1		15	10		3
1		16	11		1
3		5	11		3
3		6	12		1
3		9	12		3
3		10	13		1
3		11	13		3
3		12	15		1
3		13	15		3
3		15	16		1
3		16	16		3

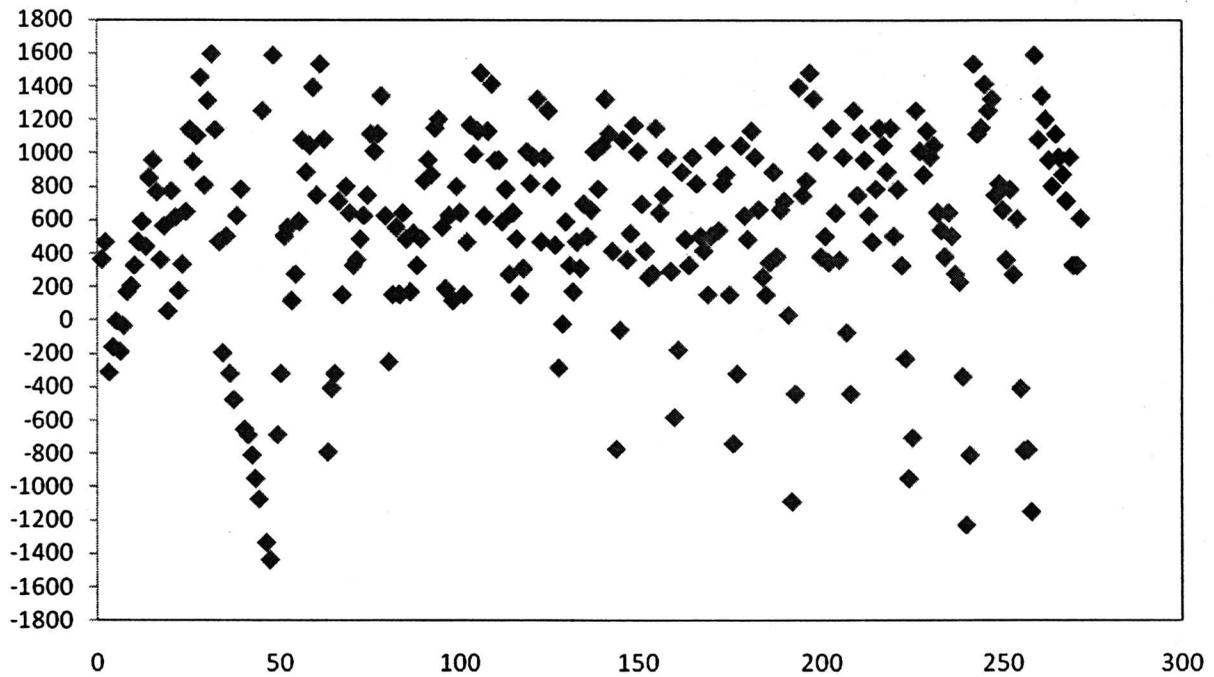
6.3.5 ระบุตำแหน่งการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงบนโครงข่าย

พิจารณาหาตำแหน่งของเครื่องส่งยุคเฟสแสงได้โดยใช้หลักการเดิมจากตัวอย่างของโครงข่าย NARNet โดยข่ายเชื่อมโยงแรกที่ต้องพิจารณาคือ ข่ายเชื่อมโยงที่ 5 และ 6 หลังจากกระทำการหาช่วงในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงทั้งหมดแล้ว จะใช้เครื่องส่งยุคเฟสแสงทั้งหมด 4 ตัวบน 4 โครงข่าย และได้ตำแหน่งหรือช่วงการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงดังนี้

- ข่ายเชื่อมโยงที่ -ข่ายเชื่อมโยงที่ ) 5145.71 - 360 km(
- ข่ายเชื่อมโยงที่ ) 60 - 214.39 km(
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 9)0-360 km(
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 10) 0-360 km(

### 6.3.6 การตรวจสอบการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง

รูปที่ 6.9 เป็นการตรวจสอบดิสเพอร์ชันหลังจากวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง ซึ่งพบว่ามิต่ำดิสเพอร์ชันสะสมที่ปลายทางมีค่าไม่เกินขีดจำกัดดิสเพอร์ชัน



รูปที่ 6.9 ดิสเพอร์ชันสะสมของทุกทราฟฟิกในโครงข่าย NARNet

#### 6.4 ความเป็นไปได้ในการใช้ดิสเพอร์ชันสะสมที่โนดต้นทางเพื่อหลีกเลี่ยงการลดขนาดโครงข่าย

วิธีนี้เราจะพิจารณาที่ความยาวคลื่นในช่วง 1528.51 – 1560.61 nm เมื่อพิจารณาจากสมการหาค่าดิสเพอร์ชันในแต่ ละช่องสัญญาณแล้วพบว่า ที่ความยาวคลื่น 1560.61 nm จะได้ค่าดิสเพอร์ชันมากที่สุดเท่ากับ

$$D_\lambda = 16.5 + 0.05 * (1560.61 - 1550) = 17.03 \quad \text{ps/km/nm}$$

จากนั้นเราจะกำหนดให้ทุกทราฟฟิกส่งความยาวคลื่นนี้ทุกโนด เพราะว่าค่าดิสเพอร์ชันจากความยาวคลื่นอื่น ๆ นั้นมี คำน้อยกว่า ดังนั้นถ้าค่าดิสเพอร์ชันที่มากที่สุดสามารถวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงและผ่านค่าขีดจำกัดดิสเพอร์ชันได้ ความยาว คลื่นค่าอื่นๆ ก็สามารถผ่านได้เช่นกัน

จากสมการ

$$R = \frac{D_\lambda * (LP - 2X1) + D_i}{1600}$$

โดยที่  $D_i$  คือค่าชดเชยดิสเพอร์ชันที่โนดเริ่มต้น

ถ้าไม่ทำการลดขนาดต้องกำหนดให้พารามิเตอร์  $R$  มีค่าเท่ากับ 1

$$1 = \frac{17.03 * (1464 - (2 * 168)) + D_i}{1600}$$

จะได้  $D_i = -17,609.84 \text{ ps/km/nm}$  ซึ่งมีค่าดิสเพอร์ชันสะสมมีค่ามากเกินไป เป็นวิธีที่ไม่เหมาะสม

#### 6.5 ความเป็นไปได้ในการใช้ดิสเพอร์ชันสะสมที่โนดปลายทางเพื่อหลีกเลี่ยงการลดขนาดโครงข่าย

วิธีนี้เราใช้ dispersion compensation unit (DCU) ซึ่งเป็นเครื่องที่สามารถชดเชยดิสเพอร์ชันได้ ทำให้ที่ดิสเพอร์ชัน สะสมที่ปลายทางสามารถมีค่ามากกว่าค่าขีดจำกัดดิสเพอร์ชันสะสม

$$R = \frac{D_\lambda \cdot (LP - 2X_1)}{y}$$

จากสมการ

โดย  $y$  คือค่าชดเชยดิสเพอร์ชันที่ปลายทางโดยใช้ DCU

ถ้าไม่ทำการลดขนาดต้องกำหนดให้พารามิเตอร์  $R$  มีค่าเท่ากับ 1 จะได้

ps/km/nm

ซึ่งค่าดิสเพอร์ชันที่เราต้องชดเชยมีค่ามากเกินไปเช่นเดียวกับวิธีที่แล้ว เป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมเช่นกัน