

บทที่ 5

การวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในโครงข่ายแบบเมช กรณีที่ข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหายและการวิเคราะห์ OSNR

การวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในกรณีที่ข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหายนั้น เราจะมีเงื่อนไขว่าข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหายได้ไม่เกิน 1 ข่ายเชื่อมโยง(single-link failure) และมีกลไกการกู้คืนสัญญาณแบบใช้วิถีร่วมกัน (shared path protection) ซึ่งการกู้คืนสัญญาณแบบนี้ ข่ายเชื่อมโยงที่ใช้ในการกู้คืนสัญญาณสามารถใช้ร่วมกันได้ในหลายๆทราฟฟิก

ส่วนการวิเคราะห์ OSNR นั้น เมื่อเราวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงเข้าไปในโครงข่าย จะทำให้กำลังสัญญาณที่ได้จากเครื่องส่งยุคเฟสแสงลดลงเนื่องจากปรากฏการณ์ FWM ทำให้สัญญาณคอนจูเกตที่เกิดขึ้น มีพลังงานน้อยกว่าสัญญาณที่เข้าไปในเครื่องส่งยุคเฟสแสง เราจึงใส่เครื่องขยายสัญญาณเพิ่มเติมจากเดิม ซึ่งเครื่องขยายสัญญาณนั้น นอกจากจะขยายสัญญาณข้อมูลแล้ว ยังขยายสัญญาณรบกวนด้วย เป็นผลทำให้ค่า OSNR ของระบบลดลง[36]

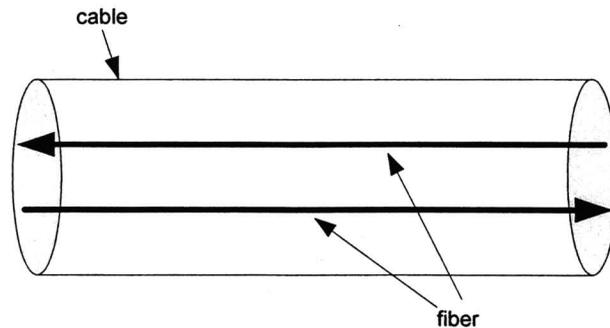
ในบทนี้เราจะศึกษาว่า การวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในกรณีที่ข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหาย ว่าใช้หลักวิธีอะไร รวมถึงการวิเคราะห์ OSNR ของระบบด้วย ว่ามีความเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

5.1 การวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงในกรณีที่ข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหาย

หลักการในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง เมื่อข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหายไม่เกิน 1 ข่ายเชื่อมโยงนั้น จะหาเส้นทางใหม่ที่ไม่ใช่เส้นทางเดิม โดยเส้นทางใหม่นั้น จะไม่ใช่ท่อเส้นใยแสงเดิมด้วย เพราะเมื่อข่ายเชื่อมโยงขาด หมายถึงขาดทั้งเคเบิล ซึ่งภายในมีข่ายเชื่อมโยงหลายๆเส้น ดังรูปที่ 5.1 ในตัวอย่างที่ผ่านมา จะคิดว่าเส้นใยแสงมี 2 เส้นต่อ 1 เคเบิล การคิดคำนวณหาเส้นทางใหม่ที่ไม่ใช่เส้นทางเดิม จะใช้วิธีของ Dijkstra (Dijkstra's algorithm)เช่นเดียวกัน

เราจะกำหนดเงื่อนไขของการกู้คืนสัญญาณดังนี้

1. กำหนดให้ข่ายเชื่อมโยงแต่ละข่ายมีเส้นใยแสง 4 เส้น เป็นเส้นใยแสงหลัก(working fiber)2 เส้น เส้นใยแสงสำรอง(protection fiber) 2 เส้น
2. กำหนดให้ความยาวคลื่นมีใช้ไม่จำกัด ซึ่งจะทำให้ไม่เกิดการชนกันของความยาวคลื่นเดียวกันใน protection fiber
3. สมมติให้ทราฟฟิกในกรณีที่มีการกู้คืนสัญญาณ ยังคงใช้ความยาวคลื่นเดียวกันกับกรณีปกติ



รูปที่ 5.1 เคเบิลและเส้นใยแสง

5.1.1 วิธีการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในกรณีข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหาย

การหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในกรณีข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหายไม่เกิน 1 ข่ายเชื่อมโยงนั้น เราจะกู้คืนสัญญาณแบบใช้วิธีร่วมกัน (shared path protection) และต้องไม่ใช่ข่ายเชื่อมโยงเดิมด้วย (link-disjoint) ดังรูปที่ 5.2 เป็นตัวอย่างการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในกรณีข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหายของกราฟฟิกจากโหนด 1 ไปยังโหนด 10 เส้นทางเดิมคือ 3-9-21 แต่เมื่อข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหาย เราจะเปลี่ยนทั้งเส้นทางเพราะว่าเราจะไม่หาเส้นทางสำรองที่ใช้ข่ายเชื่อมโยงซ้ำกัน(link-disjoint) ดังนั้น เราจะไม่เอาข่ายเชื่อมโยงที่ 3 ข่ายเชื่อมโยงที่ 9 และข่ายเชื่อมโยงที่ 21 มาคิดคำนวณในการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในกรณีข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหาย ซึ่งจะได้เส้นทางใหม่จากโหนด 1 ไปยังโหนด 10 คือ 2-5-12-26-27-30 ดังรูปที่ 5.2(ข)

5.1.2 ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 1 โครงข่าย NARNet จากบทที่ 4 ตัวอย่างที่ 2 (NARNet) รูปที่ 5.2(ก) แสดงโครงข่าย NARNet จะแสดงวิธีทำได้ดังนี้

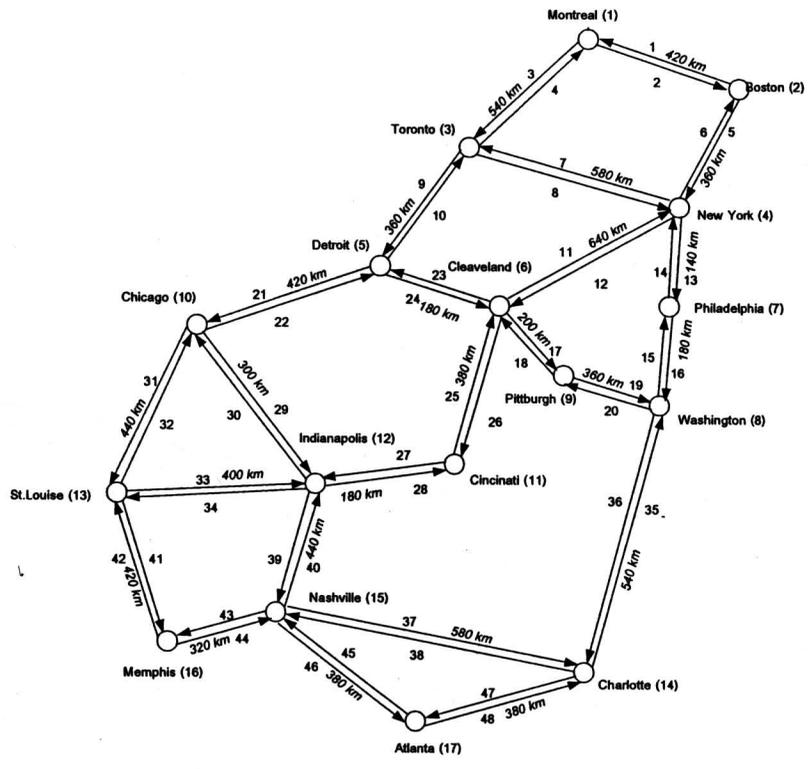
1.หาเส้นทางที่สั้นที่สุดในกรณีข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหายและตำแหน่งของเครื่องส่งยุคเฟสแสง ด้วยวิธีของ Dijkstra

2.หาค่า R พร้อมทั้งลดขนาดโครงข่าย ตารางที่ 5.1 แสดงผลของการหาค่า R จากโครงข่าย NARNet ซึ่งสรุปได้ว่าค่า R ที่มากที่สุดเท่ากับ 28.53 หรือต้องลดขนาดโครงข่ายลงมา 28.53 เท่า ตารางที่ 5.2 แสดงกราฟฟิกและระยะทางทั้งหมดของโครงข่ายและระยะทางที่ได้รับการลดขนาดโครงข่ายจากค่า R ในกรณีที่ทำงานปกติที่ R เท่ากับ 28.53 ตารางที่ 5.3 แสดงกราฟฟิกและระยะทางทั้งหมดของโครงข่ายและระยะทางที่ได้รับการลดขนาดโครงข่ายจากค่า R ในกรณีที่เกิดความเสียหาย จะเห็นได้ว่าค่า R มีค่ามากกว่าค่า R ในกรณีที่โครงข่ายทำงานปกติ ดังนั้น ถ้าเราจะคิดถึงกรณีที่ข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหายด้วยนั้น เราจะใช้ค่า R ที่หาได้เท่ากับ 28.53 ในการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงทั้งในเวลาทำงานปกติและเวลาที่ข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหาย

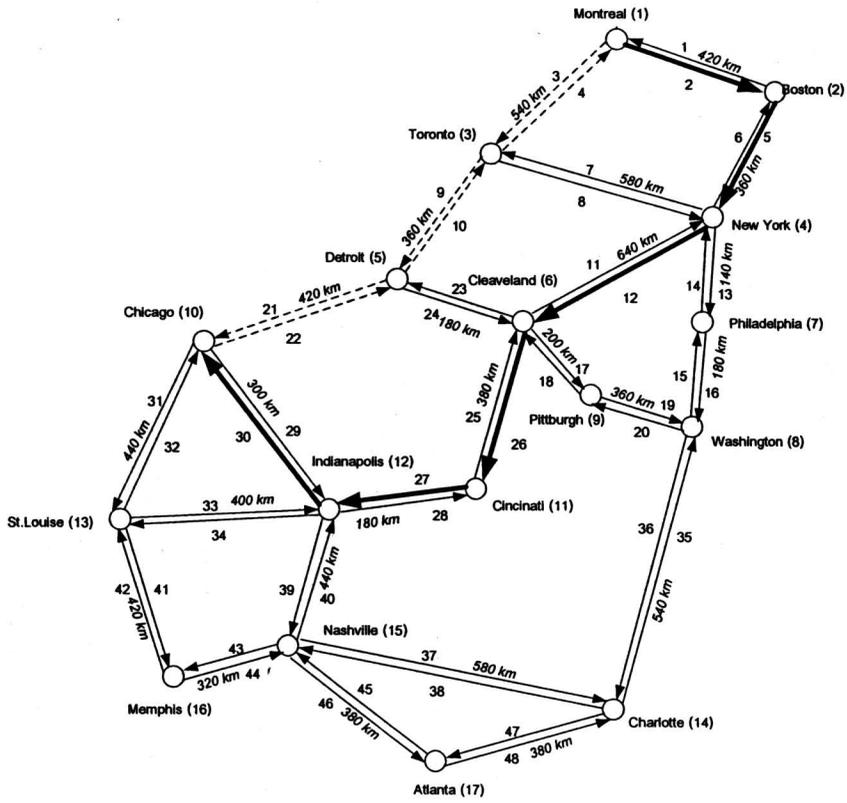
จากตารางที่ 5.2 จะพบว่ากรณีทำงานปกตินั้น ไม่จำเป็นต้องวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงก็ได้ ซึ่งค่าตำแหน่งของเครื่องส่งยุคเฟสแสง (OPC_L และ OPC_R) นั้นเป็นแถบแรงจูงสีเทาหมด ซึ่งหมายความว่าช่วงในการวางนั้นมีระยะทางที่ยาวกว่ากราฟฟิกนั้นๆ

ตารางที่ 5.1 แสดงค่า R ของโครงข่าย NARNet กรณีที่ข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหาย

โหนดต้นทาง-โหนดปลายทาง	ความถี่(kHz)	X _{ij} (กม)	R _{ij}	โหนดต้นทาง-โหนดปลายทาง	ความถี่(kHz)	X _{ij} (กม)	R _{ij}
1-7	1820	540	7.88	9-17	1580	200	12.56
1-11	2840	420	21.29	10-2	3280	300	28.53
2-1	1480	360	8.09	10-15	1180	440	3.19
2-10	3280	420	25.97	10-17	2080	420	13.20
3-11	2640	580	15.75	11-1	2840	180	26.40
3-17	1900	360	12.56	11-15	2060	380	13.84
4-10	1740	140	15.54	12-1	1980	180	17.24
4-11	1840	580	7.24	12-2	2040	300	15.33
4-14	2220	640	10.01	12-17	2040	180	17.88
5-9	1620	360	9.58	13-1	2380	400	16.82
5-14	1740	420	9.58	13-2	2180	440	13.84
5-15	1860	180	15.97	13-9	2220	420	14.69
6-9	1320	640	0.43	14-2	3060	580	20.22
6-14	1580	380	8.73	14-10	1800	540	7.66
6-15	1680	200	13.62	14-16	2180	380	15.11
7-2	2240	180	20.01	15-1	2220	580	11.28
7-14	2360	140	22.14	15-2	2480	440	17.03
8-10	1820	180	15.54	16-1	2740	320	22.35
8-13	1860	540	8.30	16-9	2780	420	20.65
8-14	2140	360	15.11	17-2	2860	380	22.35
9-16	2780	360	21.93	17-16	2220	380	15.54



(ก) โครงข่ายเดิม



(ข) เมื่อเกิดขั้วเชื่อมโยงเกิดความเสียหายของกราฟพีระหว่างโหนด 1 ไปโหนด 10 รูปที่ 5.2 การหาเส้นทางที่สั้นที่สุดโนกรณีที่ขั้วเชื่อมโยงเกิดความเสียหาย

ตารางที่ 5.2 ทราฟฟิกและระยะทางทั้งหมดของโครงข่าย NARNet กรณีทำงานปกติภายใต้เงื่อนไขที่คิดกรณีข่าย
เชื่อมโยงเกิดความเสียหายสัญญาณ(R เท่ากับ28.53)

(ก) โหนดที่ 1 - 4

โหนด 1	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	สายเชื่อมโยง (km)	OPC_L	OPC_R	โหนด 2	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	สายเชื่อมโยง (km)	OPC_L	OPC_R
2	14.72	420	2	-39.62	54.34	1	14.72	420	1	-39.62	54.34
3	18.93	540	3	-37.51	56.44	3	32.95	940	5,7	-30.50	63.45
4	27.34	780	2,5	-33.31	60.65	4	12.62	360	5	-40.67	53.29
5	31.55	900	3,9	-31.20	62.75	5	41.36	1180	5,12,23	-26.30	67.66
6	37.85	1080	3,9,24	-28.05	65.90	6	35.05	1000	5,12	-29.45	64.50
7	32.25	920	2,5,13	-30.85	63.10	7	17.53	500	5,13	-38.21	55.74
8	38.56	1100	2,5,13,16	-27.70	66.25	8	23.83	680	5,13,16	-35.06	58.89
9	44.87	1280	3,9,24,17	-24.54	69.41	9	36.45	1040	5,13,16,20	-28.75	65.20
10	46.27	1320	3,9,21	-23.84	70.11	10	56.08	1600	5,12,23,21	-18.94	75.02
11	51.17	1460	3,9,24,26	-21.39	72.56	11	48.37	1380	5,12,26	-22.79	71.16
12	56.78	1620	3,9,21,29	-18.58	75.37	12	54.68	1560	5,12,26,27	-19.64	74.32
13	61.69	1760	3,9,21,31	-16.13	77.82	13	68.70	1960	5,12,26,27,34	-12.63	81.33
14	57.48	1640	2,5,13,16,36	-18.23	75.72	14	42.76	1220	5,13,16,36	-25.59	68.36
15	72.20	2060	3,9,21,29,39	-10.87	83.08	15	63.09	1800	5,13,16,36,38	-15.43	78.52
16	76.41	2180	3,9,21,31,41	-8.77	85.18	16	74.31	2120	5,13,16,36,38,43	-9.82	84.13
17	70.80	2020	2,5,13,16,36,47	-11.57	82.38	17	56.08	1600	5,13,16,36,47	-18.94	75.02
โหนด 3	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	สายเชื่อมโยง (km)	OPC_L	OPC_R	โหนด 4	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	สายเชื่อมโยง (km)	OPC_L	OPC_R
1	18.93	540	4	-37.51	56.44	1	27.34	780	6,1	-33.31	60.65
2	32.95	940	8,6	-30.50	63.45	2	12.62	360	6	-40.67	53.29
4	20.33	580	8	-36.81	57.14	3	20.33	580	7	-36.81	57.14
5	12.62	360	9	-40.67	53.29	5	28.74	820	12,23	-32.61	61.35
6	18.93	540	9,24	-37.51	56.44	6	22.43	640	12	-35.76	58.19
7	25.24	720	8,13	-34.36	59.59	7	4.91	140	13	-44.52	49.43
8	31.55	900	8,13,16	-31.20	62.75	8	11.22	320	13,16	-41.37	52.58
9	25.94	740	9,24,17	-34.01	59.94	9	23.83	680	13,16,20	-35.06	58.89
10	27.34	780	9,21	-33.31	60.65	10	43.46	1240	12,23,21	-25.24	68.71
11	32.25	920	9,24,26	-30.85	63.10	11	35.75	1020	12,26	-29.10	64.85
12	37.85	1080	9,21,29	-28.05	65.90	12	42.06	1200	12,26,27	-25.95	68.01
13	42.76	1220	9,21,31	-25.59	68.36	13	56.08	1600	12,26,27,34	-18.94	75.02
14	50.47	1440	8,13,16,36	-21.74	72.21	14	30.14	860	13,16,36	-31.90	62.05
15	53.28	1520	9,21,29,39	-20.34	73.61	15	50.47	1440	13,16,36,38	-21.74	72.21
16	57.48	1640	9,21,31,41	-18.23	75.72	16	61.69	1760	13,16,36,38,43	-16.13	77.82
17	63.79	1820	8,13,16,36,47	-15.08	78.87	17	43.46	1240	13,16,36,47	-25.24	68.71

(ข) โหนดที่ 5 - 8

โหนด 5	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ชายเชื่อมโคง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 6	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ชายเชื่อมโคง [km]	OPC_L	OPC_R
1	31.55	900	10,4	-31.20	62.75	1	37.85	1080	23,10,4	-28.05	65.90
2	41.36	1180	24,11,6	-26.30	67.66	2	35.05	1000	11,6	-29.45	64.50
3	12.62	360	10	-40.67	53.29	3	18.93	540	23,10	-37.51	56.44
4	28.74	820	24,11	-32.61	61.35	4	22.43	640	11	-35.76	58.18
6	6.31	180	24	-43.82	50.13	5	6.31	180	23	-43.82	50.13
7	32.25	920	24,17,19,15	-30.85	63.10	7	25.94	740	17,19,15	-34.01	59.94
8	25.94	740	24,17,19	-34.01	59.94	8	19.63	560	17,19	-37.16	56.79
9	13.32	380	24,17	-40.32	53.64	9	7.01	200	17	-43.47	50.48
10	14.72	420	21	-39.62	54.34	10	21.03	600	23,21	-36.46	57.49
11	19.63	560	24,26	-37.16	56.79	11	13.32	380	26	-40.32	53.64
12	25.24	720	21,29	-34.36	59.59	12	19.63	560	26,27	-37.16	56.79
13	30.14	860	21,31	-31.90	62.05	13	33.65	960	26,27,34	-30.15	63.80
14	44.87	1280	24,17,19,36	-24.54	69.41	14	38.56	1100	17,19,36	-27.70	66.25
15	40.66	1160	21,29,39	-26.65	67.31	15	35.05	1000	26,27,39	-29.45	64.50
16	44.87	1280	21,31,41	-24.54	69.41	16	46.27	1320	26,27,39,43	-23.84	70.11
17	53.98	1540	21,29,39,46	-19.99	73.97	17	48.37	1380	26,27,39,46	-22.79	71.16
โหนด 7	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ชายเชื่อมโคง [km]	OPC_L	OPC_R	โหนด 8	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ชายเชื่อมโคง [km]	OPC_L	OPC_R
1	32.25	920	14,6,1	-30.85	63.10	1	38.56	1100	15,14,6,1	-27.70	66.25
2	17.53	500	14,6	-38.21	55.74	2	23.83	680	15,14,6	-35.06	58.89
3	25.24	720	14,7	-34.36	59.59	3	31.55	900	15,14,7	-31.20	62.75
4	4.91	140	14	-44.52	49.43	4	11.22	320	15,14	-41.37	52.58
5	32.25	920	16,20,18,23	-30.85	63.10	5	25.94	740	20,18,23	-34.01	59.94
6	25.94	740	16,20,18	-34.01	59.94	6	19.63	560	20,18	-37.16	56.79
8	6.31	180	16	-43.82	50.13	7	6.31	180	15	-43.82	50.13
9	18.93	540	16,20	-37.51	56.44	9	12.62	360	20	-40.67	53.29
10	46.97	1340	16,20,18,23,21	-23.49	70.46	10	40.66	1160	20,18,23,21	-26.65	67.31
11	39.26	1120	16,20,18,26	-27.35	66.60	11	32.95	940	20,18,26	-30.50	63.45
12	45.57	1300	16,20,18,26,27	-24.19	69.76	12	39.26	1120	20,18,26,27	-27.35	66.60
13	59.59	1700	16,20,18,26,27,34	-17.18	76.77	13	53.28	1520	20,18,26,27,34	-20.34	73.61
14	25.24	720	16,36	-34.36	59.59	14	18.93	540	36	-37.51	56.44
15	45.57	1300	16,36,38	-24.19	69.76	15	39.26	1120	36,38	-27.35	66.60
16	56.78	1620	16,36,38,43	-18.58	75.97	16	50.47	1440	36,38,43	-21.74	72.21
17	38.56	1100	16,36,47	-27.70	66.25	17	32.25	920	36,47	-30.85	63.10

(ข) โหนดที่ 9 - 12

โหนด 9	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ชายเชื่อมโคง (km)	OPC_L	OPC_R	โหนด 10	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ชายเชื่อมโคง (km)	OPC_L	OPC_R
1	44.87	1280	18,23,10,4	-24.54	69.41	1	46.27	1320	22,10,4	-23.84	70.11
2	36.45	1040	19,15,14,6	-28.75	65.20	2	56.08	1600	22,24,11,6	-19.94	75.02
3	25.94	740	18,23,10	-34.01	59.94	3	27.34	780	22,10	-33.31	60.65
4	23.83	680	19,15,14	-35.06	58.89	4	43.46	1240	22,24,11	-25.24	68.71
5	13.32	380	18,23	-40.32	53.64	5	14.72	420	22	-39.62	54.34
6	7.01	200	18	-43.47	50.48	6	21.03	600	22,24	-36.46	57.49
7	18.93	540	19,15	-37.51	56.44	7	46.97	1340	22,24,17,19,15	-23.49	70.46
8	12.62	360	19	-40.67	53.29	8	40.66	1160	22,24,17,19	-26.65	67.31
10	28.04	800	18,23,21	-32.96	61.00	9	28.04	800	22,24,17	-32.96	61.00
11	20.33	580	18,26	-36.81	57.14	11	16.82	480	29,28	-38.56	55.39
12	26.64	760	18,26,27	-33.66	60.30	12	10.52	300	29	-41.72	52.23
13	40.66	1160	18,26,27,34	-26.65	67.31	13	15.42	440	31	-39.26	54.69
14	31.55	900	19,36	-31.20	62.75	14	46.27	1320	29,39,37	-23.84	70.11
15	42.06	1200	18,26,27,39	-25.95	68.01	15	25.94	740	29,39	-34.01	59.94
16	53.28	1520	18,26,27,39,43	-20.34	73.61	16	30.14	860	31,41	-31.90	62.05
17	44.87	1280	19,36,47	-24.54	69.41	17	39.26	1120	29,39,46	-27.35	66.60
โหนด 11	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ชายเชื่อมโคง (km)	OPC_L	OPC_R	โหนด 12	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ชายเชื่อมโคง (km)	OPC_L	OPC_R
1	51.17	1460	25,23,10,4	-21.39	72.56	1	56.78	1620	30,22,10,4	-18.58	75.37
2	48.37	1380	25,11,6	-22.79	71.16	2	54.68	1560	28,25,11,6	-19.64	74.32
3	32.25	920	25,23,10	-30.85	63.10	3	37.85	1080	30,22,10	-28.05	65.90
4	35.75	1020	25,11	-29.10	64.85	4	42.06	1200	28,25,11	-25.95	68.01
5	19.63	560	25,23	-37.16	56.79	5	25.24	720	30,22	-34.36	59.59
6	13.32	380	25	-40.32	53.64	6	19.63	560	28,25	-37.16	56.79
7	39.26	1120	25,17,19,15	-27.35	66.60	7	45.57	1300	28,25,17,19,15	-24.19	69.76
8	32.95	940	25,17,19	-30.50	63.45	8	39.26	1120	28,25,17,19	-27.35	66.60
9	20.33	580	25,17	-36.81	57.14	9	26.64	760	28,25,17	-33.66	60.30
10	16.82	480	27,30	-38.56	55.39	10	10.52	300	30	-41.72	52.23
12	6.31	180	27	-43.82	50.13	11	6.31	180	28	-43.82	50.13
13	20.33	580	27,34	-36.81	57.14	13	14.02	400	34	-39.97	53.99
14	42.06	1200	27,39,37	-25.95	68.01	14	35.75	1020	39,37	-29.10	64.85
15	21.73	620	27,39	-36.11	57.84	15	15.42	440	39	-39.26	54.69
16	32.95	940	27,39,43	-30.50	63.45	16	26.64	760	39,43	-33.66	60.30
17	35.05	1000	27,39,46	-29.45	64.50	17	28.74	820	39,46	-32.61	61.35

(ข) โหนดที่ 13 - 17

โหนด 13	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ขายเชื่อมโคง (km)	OPC L	OPC R	โหนด 14	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ขายเชื่อมโคง (km)	OPC L	OPC R
1	61.69	1760	32,22,10,4	-16.13	77.62	1	57.48	1640	35,15,14,6,1	-18.23	75.72
2	68.70	1960	33,28,25,11,6	-12.63	81.33	2	42.76	1220	35,15,14,6	-25.59	68.36
3	42.76	1220	32,22,10	-25.59	68.36	3	50.47	1440	35,15,14,7	-21.74	72.21
4	56.08	1600	33,28,25,11	-18.94	75.02	4	30.14	860	35,15,14	-31.90	62.05
5	30.14	860	32,22	-31.90	62.05	5	44.87	1280	35,20,18,23	-24.54	69.41
6	33.65	960	33,28,25	-30.15	63.80	6	38.56	1100	35,20,18	-27.70	66.25
7	59.59	1700	33,28,25,17,19,15	-17.18	76.77	7	25.24	720	35,15	-34.36	59.59
8	53.28	1520	33,28,25,17,19	-20.34	73.61	8	18.93	540	35	-37.51	56.44
9	40.66	1160	33,28,25,17	-26.65	67.31	9	31.55	900	35,20	-31.20	62.75
10	15.42	440	32	-39.26	54.69	10	46.27	1320	38,40,30	-23.84	70.11
11	20.33	580	33,28	-36.81	57.14	11	42.06	1200	38,40,28	-25.95	68.01
12	14.02	400	33	-39.97	53.99	12	35.75	1020	38,40	-29.10	64.85
14	46.27	1320	41,44,37	-23.84	70.11	13	46.27	1320	38,43,42	-23.84	70.11
15	25.94	740	41,44	-34.01	59.94	15	20.33	580	38	-36.81	57.14
16	14.72	420	41	-39.62	54.34	16	31.55	900	38,43	-31.20	62.75
17	39.26	1120	41,44,46	-27.35	66.60	17	13.32	380	47	-40.32	53.64
โหนด 15	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ขายเชื่อมโคง (km)	OPC L	OPC R	โหนด 16	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ขายเชื่อมโคง (km)	OPC L	OPC R
1	72.20	2060	40,30,22,10,4	-10.87	83.08	1	76.41	2180	42,32,22,10,4	-8.77	85.18
2	63.09	1800	37,35,15,14,6	-15.43	78.52	2	74.31	2120	44,37,35,15,14,6	-9.82	84.13
3	53.28	1520	40,30,22,10	-20.34	73.61	3	57.48	1640	42,32,22,10	-18.23	75.72
4	50.47	1440	37,35,15,14	-21.74	72.21	4	61.69	1760	44,37,35,15,14	-16.13	77.82
5	40.66	1160	40,30,22	-26.65	67.31	5	44.87	1280	42,32,22	-24.54	69.41
6	35.05	1000	40,28,25	-29.45	64.50	6	46.27	1320	44,40,28,25	-23.84	70.11
7	45.57	1300	37,35,15	-24.19	69.76	7	56.78	1620	44,37,35,15	-18.58	75.37
8	39.26	1120	37,35	-27.35	66.60	8	50.47	1440	44,37,35	-21.74	72.21
9	42.06	1200	40,28,25,17	-25.95	68.01	9	53.28	1520	44,40,28,25,17	-20.34	73.61
10	25.94	740	40,30	-34.01	59.94	10	30.14	860	42,32	-31.90	62.05
11	21.73	620	40,28	-36.11	57.84	11	32.95	940	44,40,28	-30.50	63.45
12	15.42	440	40	-39.26	54.69	12	26.64	760	44,40	-33.66	60.30
13	25.94	740	43,42	-34.01	59.94	13	14.72	420	42	-39.62	54.34
14	20.33	580	37	-36.81	57.14	14	31.55	900	44,37	-31.20	62.75
16	11.22	320	43	-41.37	52.58	15	11.22	320	44	-41.37	52.58
17	13.32	380	46	-40.32	53.64	17	24.54	700	44,46	-34.71	59.24
โหนด 17	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ขายเชื่อมโคง (km)	OPC L	OPC R						
1	70.80	2020	48,35,15,14,6,1	-11.57	82.38						
2	56.08	1600	48,35,15,14,6	-18.94	75.02						
3	63.79	1820	48,35,15,14,7	-15.08	78.87						
4	43.46	1240	48,35,15,14	-25.24	68.71						
5	53.98	1540	45,40,30,22	-19.99	73.97						
6	48.37	1380	45,40,28,25	-22.79	71.16						
7	38.56	1100	48,35,15	-27.70	66.25						
8	32.25	920	48,35	-30.85	63.10						
9	44.87	1280	48,35,20	-24.54	69.41						
10	39.26	1120	45,40,30	-27.35	66.60						
11	35.05	1000	45,40,28	-29.45	64.50						
12	28.74	820	45,40	-32.61	61.35						
13	39.26	1120	45,43,42	-27.35	66.60						
14	13.32	380	48	-40.32	53.64						
15	13.32	380	45	-40.32	53.64						
16	24.54	700	45,43	-34.71	59.24						

ตารางที่ 5.3 ทราฟฟิกและระยะทางทั้งหมดของโครงข่าย NARNet กรณีข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหายพร้อมทั้งลด

ขนาดโครงข่าย

(ก) โหนดที่ 1 - 4

โหนด 1	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	สายเชื่อมโคง (km)	OPC_L	OPC_R	โหนด 2	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	สายเชื่อมโคง (km)	OPC_L	OPC_R
2	51.88	1480	3,8,6	-21.04	72.91	1	51.88	1480	5,7,4	-21.04	72.91
3	47.67	1360	2,5,7	-23.14	70.81	3	33.65	960	1,3	-30.15	63.80
4	39.26	1120	3,8	-27.35	66.60	4	53.98	1540	1,3,8	-19.99	73.97
5	56.08	1600	2,5,12,23	-18.94	75.02	5	46.27	1320	1,3,9	-23.84	70.11
6	49.77	1420	2,5,12	-22.09	71.86	6	52.58	1500	1,3,9,24	-20.69	73.26
7	63.79	1820	3,9,24,17,19,15	-15.08	78.87	7	78.51	2240	1,3,9,24,17,19,15	-7.72	86.23
8	57.48	1640	3,9,24,17,19	-18.23	75.72	8	72.20	2060	1,3,9,24,17,19	-10.87	83.08
9	51.17	1460	2,5,13,16,20	-21.39	72.56	9	59.59	1700	1,3,9,24,17	-17.18	76.77
10	79.92	2280	2,5,12,26,27,30	-7.02	86.93	10	114.97	3280	1,3,8,13,16,20,18,26,27,30	10.51	104.46
11	99.54	2840	2,5,13,16,36,38,40,28	2.80	96.75	11	77.81	2220	1,3,9,21,29,28	-8.07	85.88
12	69.40	1980	2,5,12,26,27	-12.28	81.68	12	71.50	2040	1,3,9,21,29	-11.22	82.73
13	83.42	2380	2,5,12,26,27,34	-5.27	88.69	13	76.41	2180	1,3,9,21,31	-8.77	85.18
14	92.53	2640	3,9,21,29,39,37	-0.71	93.24	14	107.26	3060	1,3,9,21,29,39,37	6.65	100.60
15	77.81	2220	2,5,13,16,36,38	-8.07	85.88	15	86.93	2480	1,3,9,21,29,39	-3.51	90.44
16	96.04	2740	2,5,12,26,27,39,43	1.04	95.00	16	91.13	2600	1,3,9,21,31,41	-1.41	92.54
17	85.52	2440	3,9,21,29,39,46	-4.21	89.74	17	100.25	2860	1,3,9,21,29,39,46	3.15	97.10
โหนด 3	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	สายเชื่อมโคง (km)	OPC_L	OPC_R	โหนด 4	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	สายเชื่อมโคง (km)	OPC_L	OPC_R
1	47.67	1360	8,6,1	-23.14	70.81	1	39.26	1120	7,4	-27.35	66.60
2	33.65	960	4,2	-30.15	63.80	2	53.98	1540	7,4,2	-19.99	73.97
3	41.36	1180	9,24,11	-26.30	67.66	3	41.36	1180	12,23,10	-26.30	67.66
4	49.07	1400	8,12,23	-22.44	71.51	4	32.95	940	7,9	-30.50	63.45
5	42.76	1220	8,12	-25.59	68.36	5	30.84	880	13,16,20,18	-31.55	62.40
6	44.87	1280	9,24,17,19,15	-24.54	69.41	6	48.37	1380	12,17,19,15	-22.79	71.16
7	38.56	1100	9,24,17,19	-27.70	66.25	7	42.06	1200	12,17,19	-25.95	68.01
8	44.16	1260	8,13,16,20	-24.89	69.06	8	29.44	840	12,17	-32.25	61.70
9	72.91	2080	8,12,26,27,30	-10.52	83.43	9	60.99	1740	13,16,20,18,25,27,30	-16.48	77.47
10	92.53	2640	8,13,16,36,38,40,28	-0.71	93.24	10	64.49	1840	7,9,21,29,28	-14.73	79.22
11	62.39	1780	8,12,26,27	-15.78	78.17	11	58.18	1660	7,9,21,29	-17.88	76.07
12	76.41	2180	8,12,26,27,34	-8.77	85.18	12	63.09	1800	7,9,21,31	-15.43	78.52
13	73.61	2100	9,21,29,39,37	-10.17	83.78	13	77.81	2220	12,26,27,39,37	-8.07	85.88
14	70.80	2020	8,13,16,36,38	-11.57	82.38	14	57.48	1640	12,26,27,39	-18.23	75.72
15	82.02	2340	8,13,16,36,38,43	-5.97	87.99	15	70.80	2020	12,26,27,34,41	-11.57	82.38
16	66.60	1900	9,21,29,39,46	-13.68	80.27	16	70.80	2020	12,26,27,39,46	-11.57	82.38

(ข) โหนดที่ 5 - 8

โหนด 5	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ชายฝั่ง/โหนด (km)	OPC L	OPC R	โหนด 6	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ชายฝั่ง/โหนด (km)	OPC L	OPC R
1	56.08	1600	24,11,6,1	-18.94	75.02	1	49.77	1420	11,6,1	-22.09	71.86
2	46.27	1320	10,4,2	-23.84	70.11	2	52.58	1500	23,10,4,2	-20.69	73.26
3	49.07	1400	24,11,7	-22.44	71.51	3	42.76	1220	11,7	-25.59	68.36
4	32.95	940	10,8	-30.50	63.45	4	30.84	880	17,19,15,14	-31.55	62.40
5	44.87	1280	21,29,28,25	-24.54	69.41	5	44.87	1280	26,27,30,22	-24.54	69.41
7	37.85	1080	10,8,13	-28.05	65.90	7	27.34	780	11,13	-33.31	60.65
8	44.16	1260	10,8,13,16	-24.89	69.06	8	33.65	960	11,13,16	-30.15	63.80
9	56.78	1620	10,8,13,16,20	-18.58	75.37	9	46.27	1320	11,13,16,20	-23.84	70.11
10	36.45	1040	24,26,27,30	-28.75	65.20	10	30.14	860	26,27,30	-31.90	62.05
11	31.55	900	21,29,28	-31.20	62.75	11	37.85	1080	23,21,29,28	-28.05	65.90
12	25.94	740	24,26,27	-34.01	59.94	12	31.55	900	23,21,29	-31.20	62.75
13	39.96	1140	24,26,27,34	-27.00	66.95	13	36.45	1040	23,21,31	-28.75	65.20
14	60.99	1740	21,29,39,37	-16.48	77.47	14	55.38	1580	26,27,39,37	-19.29	74.67
15	65.19	1860	24,17,19,36,38	-14.38	79.57	15	58.89	1680	17,19,36,38	-17.53	76.42
16	52.58	1500	24,26,27,39,43	-20.69	73.26	16	51.17	1460	23,21,31,41	-21.39	72.66
17	58.18	1660	24,17,19,36,47	-17.88	76.07	17	51.88	1480	17,19,36,47	-21.04	72.91
โหนด 7	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ชายฝั่ง/โหนด (km)	OPC L	OPC R	โหนด 8	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ชายฝั่ง/โหนด (km)	OPC L	OPC R
1	63.79	1820	16,20,18,23,10,4	-15.08	78.87	1	57.48	1640	20,18,23,10,4	-18.23	75.72
2	78.51	2240	16,20,18,23,10,4,2	-7.72	86.23	2	72.20	2060	20,18,23,10,4,2	-10.67	83.08
3	44.87	1280	16,20,18,23,10	-24.54	69.41	3	38.56	1100	20,18,23,10	-27.70	66.25
4	48.37	1380	16,20,18,11	-22.79	71.16	4	42.06	1200	20,18,11	-25.95	68.01
5	37.85	1080	14,7,9	-28.05	65.90	5	44.16	1260	15,14,7,9	-24.89	69.06
6	27.34	780	14,12	-33.31	60.65	6	33.65	960	15,14,12	-30.15	63.80
8	46.97	1340	14,12,17,19	-23.49	70.46	8	46.97	1340	20,18,11,13	-23.49	70.46
9	34.35	980	14,12,17	-29.80	64.15	9	40.66	1160	15,14,12,17	-26.65	67.31
10	57.48	1640	14,12,26,27,30	-18.23	75.72	10	63.79	1820	15,14,12,26,27,30	-15.08	78.87
11	65.19	1860	14,12,23,21,29,28	-14.38	79.57	11	60.99	1740	36,38,40,28	-16.48	77.47
12	58.89	1680	14,12,23,21,29	-17.53	76.42	12	54.68	1560	36,38,40	-19.64	74.32
13	63.79	1820	14,12,23,21,31	-15.08	78.87	13	65.19	1860	36,38,43,42	-14.38	79.57
14	82.72	2360	14,12,26,27,39,37	-5.62	88.34	14	75.01	2140	20,18,26,27,39,37	-9.47	84.48
15	62.39	1780	14,12,26,27,39	-15.78	78.17	15	54.68	1560	20,18,26,27,39	-19.64	74.32
16	75.71	2160	14,12,26,27,34,41	-9.12	84.83	16	68.00	1940	20,18,26,27,34,41	-12.98	80.98
17	70.80	2020	14,12,26,27,39,46	-11.57	82.38	17	68.00	1940	20,18,26,27,39,46	-12.98	80.98

(ค) โหนดที่ 9 - 12

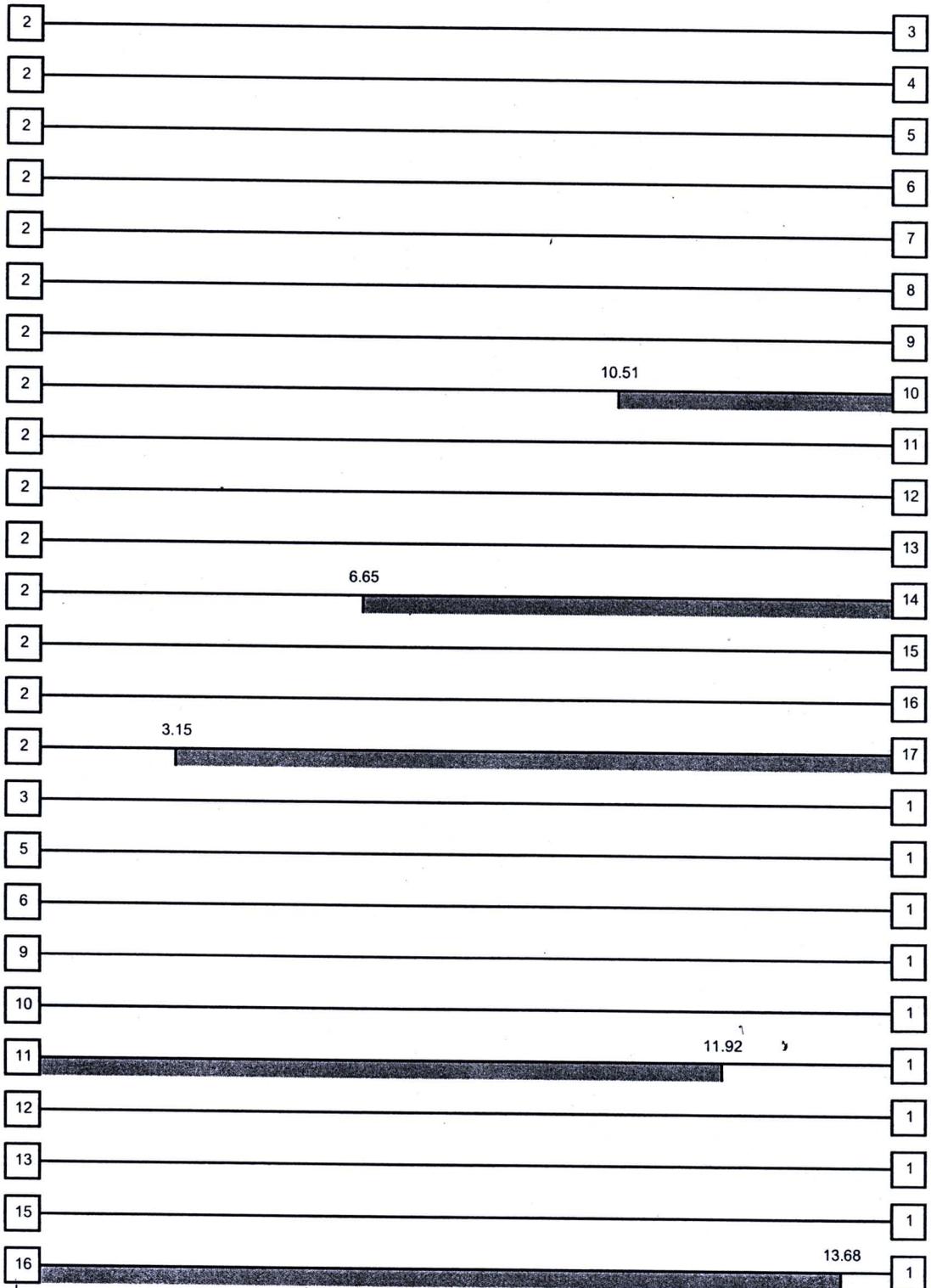
โหนด 9	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ชายเชื่อมโคง (km)	OPC L	OPC R	โหนด 10	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ชายเชื่อมโคง (km)	OPC L	OPC R
1	51.17	1460	19,15,14,6,1	-21.38	72.56	1	79.92	2280	29,28,25,11,6,1	-7.02	86.93
2	59.59	1700	18,23,10,4,2	-17.18	76.77	2	114.97	3280	29,28,25,17,19,15,14,7,4,2	10.51	104.46
3	44.16	1260	19,15,14,7	-24.89	69.06	3	72.91	2080	29,28,25,11,7	-10.52	83.43
4	29.44	840	18,11	-32.25	61.70	4	60.99	1740	29,28,25,17,19,15,14	-16.48	77.47
5	56.78	1620	19,15,14,7,9	-18.58	75.37	5	36.45	1040	29,28,25,23	-28.75	65.20
6	46.27	1320	19,15,14,12	-23.84	70.11	6	30.14	860	29,28,25	-31.90	62.05
7	34.35	980	18,11,13	-29.80	64.15	7	57.48	1640	29,28,25,11,13	-18.23	75.72
8	40.66	1160	18,11,13,16	-26.65	67.31	8	63.79	1820	29,28,25,11,13,16	-15.08	78.87
10	77.81	2220	19,15,14,12,26,27,30	-8.07	85.88	9	76.41	2180	29,28,25,11,13,16,20	-8.77	85.18
11	73.61	2100	19,36,38,40,28	-10.17	83.78	11	34.35	980	22,24,26	-29.80	64.15
12	67.30	1920	19,36,38,40	-13.33	80.62	12	29.44	840	31,33	-32.25	61.70
13	77.81	2220	19,36,38,43,42	-8.07	85.88	13	24.54	700	29,34	-34.71	59.24
14	62.39	1780	18,26,27,39,37	-15.78	78.17	14	59.59	1700	22,24,17,19,36	-17.18	76.77
15	51.88	1480	19,36,38	-21.04	72.91	15	41.36	1180	31,41,44	-26.30	67.66
16	97.44	2780	19,15,14,12,23,21,31,41	1.74	95.70	16	37.15	1060	29,39,43	-28.40	65.55
17	55.38	1580	18,26,27,39,46	-19.29	74.67	17	72.91	2080	22,24,17,19,36,47	-10.52	83.43
โหนด 11	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ชายเชื่อมโคง (km)	OPC L	OPC R	โหนด 12	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ชายเชื่อมโคง (km)	OPC L	OPC R
1	99.54	2840	27,39,37,35,15,14,6,1	2.80	96.75	1	69.40	1980	28,25,11,6,1	-12.28	81.68
2	77.81	2220	27,30,22,10,4,2	-8.07	85.88	2	71.50	2040	30,22,10,4,2	-11.22	82.73
3	92.53	2640	27,39,37,35,15,14,7	-0.71	93.24	3	62.39	1780	28,25,11,7	-15.78	78.17
4	64.49	1840	27,30,22,10,8	-14.73	79.22	4	58.18	1660	30,22,10,8	-17.88	76.07
5	31.55	900	27,30,22	-31.20	62.75	5	25.94	740	28,25,23	-34.01	59.94
6	37.85	1080	27,30,22,24	-28.05	65.90	6	31.55	900	30,22,24	-31.20	62.75
7	65.19	1860	27,30,22,24,11,13	-14.38	79.57	7	58.89	1680	30,22,24,11,13	-17.53	76.42
8	60.99	1740	27,39,37,35	-16.48	77.47	8	54.68	1560	39,37,35	-19.84	74.32
9	73.61	2100	27,39,37,35,20	-10.17	83.78	9	67.30	1920	39,37,35,20	-13.33	80.62
10	34.35	980	25,23,21	-29.80	64.15	10	29.44	840	34,32	-32.25	61.70
12	44.87	1280	25,23,21,29	-24.54	69.41	11	44.87	1280	30,22,24,26	-24.54	69.41
13	49.77	1420	25,23,21,31	-22.09	71.86	13	25.94	740	30,31	-34.01	59.94
14	51.88	1480	25,17,19,36	-21.04	72.91	14	58.18	1660	28,25,17,19,36	-17.88	76.07
15	72.20	2060	25,17,19,36,38	-10.87	83.08	15	39.96	1140	34,41,44	-27.00	66.95
16	64.49	1840	25,23,21,31,41	-14.73	79.22	16	28.74	820	34,41	-32.61	61.35
17	65.19	1860	25,17,19,36,47	-14.38	79.57	17	71.50	2040	28,25,17,19,36,47	-11.22	82.73

(ง) โหนดที่ 13 - 17

โนด 13	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ชายเชื่อมโคง (km)	OPC L	OPC R	โนด 14	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ชายเชื่อมโคง (km)	OPC L	OPC R
1	83.42	2380	33,28,25,11,6,1	-5.27	86.69	1	92.53	2640	38,40,30,22,10,4	-0.71	93.24
2	76.41	2180	32,22,10,4,2	-8.77	85.18	2	107.26	3060	38,40,30,22,10,4,2	6.65	100.60
3	76.41	2180	33,28,25,11,7	-8.77	85.18	3	73.61	2100	38,40,30,22,10	-10.17	83.78
4	63.09	1800	32,22,10,8	-15.43	78.52	4	77.81	2220	38,40,28,25,11	-8.07	85.88
5	39.96	1140	33,28,25,23	-27.00	66.95	5	60.99	1740	38,40,30,22	-16.48	77.47
6	36.45	1040	32,22,24	-28.75	65.20	6	55.38	1580	38,40,28,25	-19.29	74.67
7	63.79	1820	32,22,24,11,13	-15.08	78.87	7	82.72	2360	38,40,28,25,11,13	-5.62	88.34
8	65.19	1860	41,44,37,35	-14.38	79.57	8	75.01	2140	38,40,28,25,17,19	-9.47	84.48
9	77.81	2220	41,44,37,35,20	-8.07	85.88	9	62.39	1780	38,40,28,25,17	-15.76	78.17
10	24.54	700	33,30	-34.71	59.24	10	59.59	1700	35,20,18,23,21	-17.18	76.77
11	49.77	1420	32,22,24,26	-22.09	71.86	11	51.88	1480	35,20,18,26	-21.04	72.91
12	25.94	740	32,29	-34.01	59.94	12	58.18	1660	35,20,18,26,27	-17.88	76.07
14	56.08	1600	33,39,46,48	-18.94	75.02	13	56.08	1600	47,45,40,34	-18.94	75.02
15	29.44	840	33,39	-32.25	61.70	15	26.64	760	47,45	-33.66	60.30
16	40.66	1160	33,39,48	-26.65	67.31	16	70.80	2020	47,45,40,34,41	-11.57	82.38
17	63.09	1800	33,39,37,47	-15.43	78.52	17	33.65	960	38,46	-30.15	63.80
โนด 15	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ชายเชื่อมโคง (km)	OPC L	OPC R	โนด 16	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ชายเชื่อมโคง (km)	OPC L	OPC R
1	77.81	2220	37,35,15,14,6,1	-8.07	85.88	1	96.04	2740	44,40,28,25,11,6,1	1.04	95.00
2	86.93	2480	40,30,22,10,4,2	-3.51	90.44	2	91.13	2600	42,32,22,10,4,2	-1.41	92.54
3	70.80	2020	37,35,15,14,7	-11.57	82.38	3	82.02	2340	44,37,35,15,14,7	-5.97	87.99
4	57.48	1640	40,28,25,11	-18.23	75.72	4	70.80	2020	42,33,28,25,11	-11.57	82.38
5	65.19	1860	37,35,20,18,23	-14.38	79.57	5	52.58	1500	44,40,28,25,23	-20.69	73.26
6	58.89	1680	37,35,20,18	-17.53	76.42	6	51.17	1460	42,32,22,24	-21.39	72.56
7	62.39	1780	40,28,25,11,13	-15.78	78.17	7	75.71	2160	42,33,28,25,11,13	-9.12	84.83
8	54.68	1560	40,28,25,17,19	-19.64	74.32	8	68.00	1940	42,33,28,25,17,19	-12.98	80.98
9	51.88	1480	37,35,20	-21.04	72.91	9	97.44	2780	42,32,22,24,11,13,16,20	1.74	95.70
10	41.36	1180	43,42,32	-26.30	67.66	10	37.15	1060	44,40,30	-28.40	65.55
11	72.20	2060	37,35,20,18,26	-10.87	83.08	11	64.49	1840	42,32,22,24,26	-14.73	79.22
12	39.96	1140	43,42,33	-27.00	66.95	12	28.74	820	42,33	-32.61	61.35
13	29.44	840	40,34	-32.25	61.70	13	40.66	1160	44,40,34	-26.65	67.31
14	26.64	760	46,48	-33.66	60.30	14	70.80	2020	42,33,39,46,48	-11.57	82.38
16	44.16	1260	40,34,41	-24.89	69.06	15	44.16	1260	42,33,39	-24.89	69.06
17	33.65	960	37,47	-30.15	63.80	17	77.81	2220	42,33,39,37,47	-8.07	85.88
โนด 17	ระยะทาง/R(km)	ระยะทาง(km)	ชายเชื่อมโคง (km)	OPC L	OPC R						
1	85.52	2440	45,40,30,22,10,4	-4.21	89.74						
2	100.25	2860	45,40,30,22,10,4,2	3.15	97.10						
3	66.60	1900	45,40,30,22,10	-13.68	80.27						
4	70.80	2020	45,40,28,25,11	-11.57	82.38						
5	58.18	1660	48,35,20,18,23	-17.88	76.07						
6	51.88	1480	48,35,20,18	-21.04	72.91						
7	70.80	2020	45,40,28,25,11,13	-11.57	82.38						
8	68.00	1940	45,40,28,25,17,19	-12.98	80.98						
9	55.38	1580	45,40,28,25,17	-19.29	74.67						
10	72.91	2080	48,35,20,18,23,21	-10.52	83.43						
11	65.19	1860	48,35,20,18,26	-14.38	79.57						
12	71.50	2040	48,35,20,18,26,27	-11.22	82.73						
13	63.09	1800	48,38,40,34	-15.43	78.52						
14	33.65	960	45,37	-30.15	63.80						
15	33.65	960	48,38	-30.15	63.80						
16	77.81	2220	48,38,40,34,41	-8.07	85.88						

ข่ายเชื่อมโยงที่ 1

14.72 km

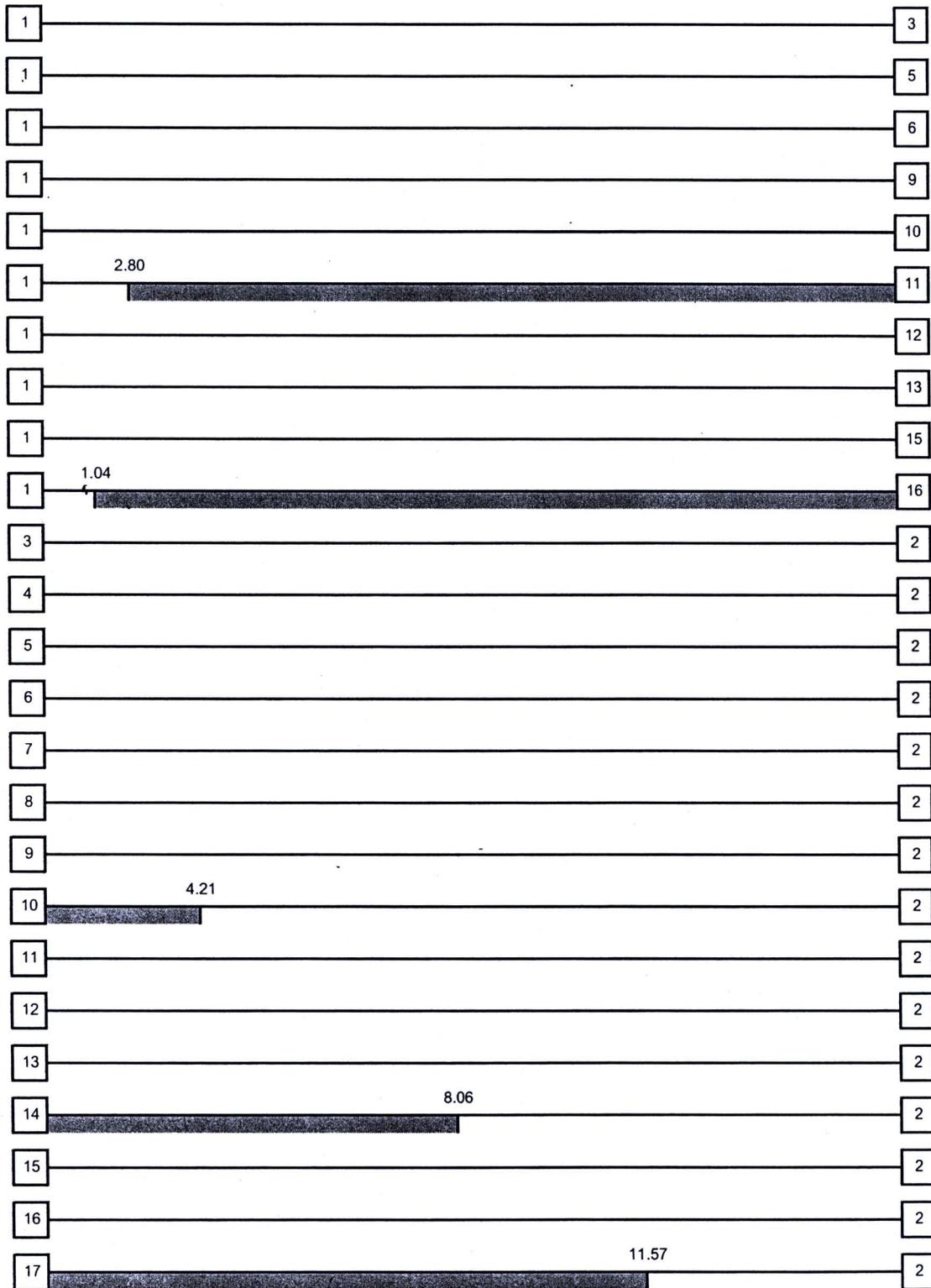


รูปที่ 5.3 ทราฟฟิกและตำแหน่งของเครื่องส่งยุคเฟสแสงของโครงข่าย NARNet กรณีข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหาย

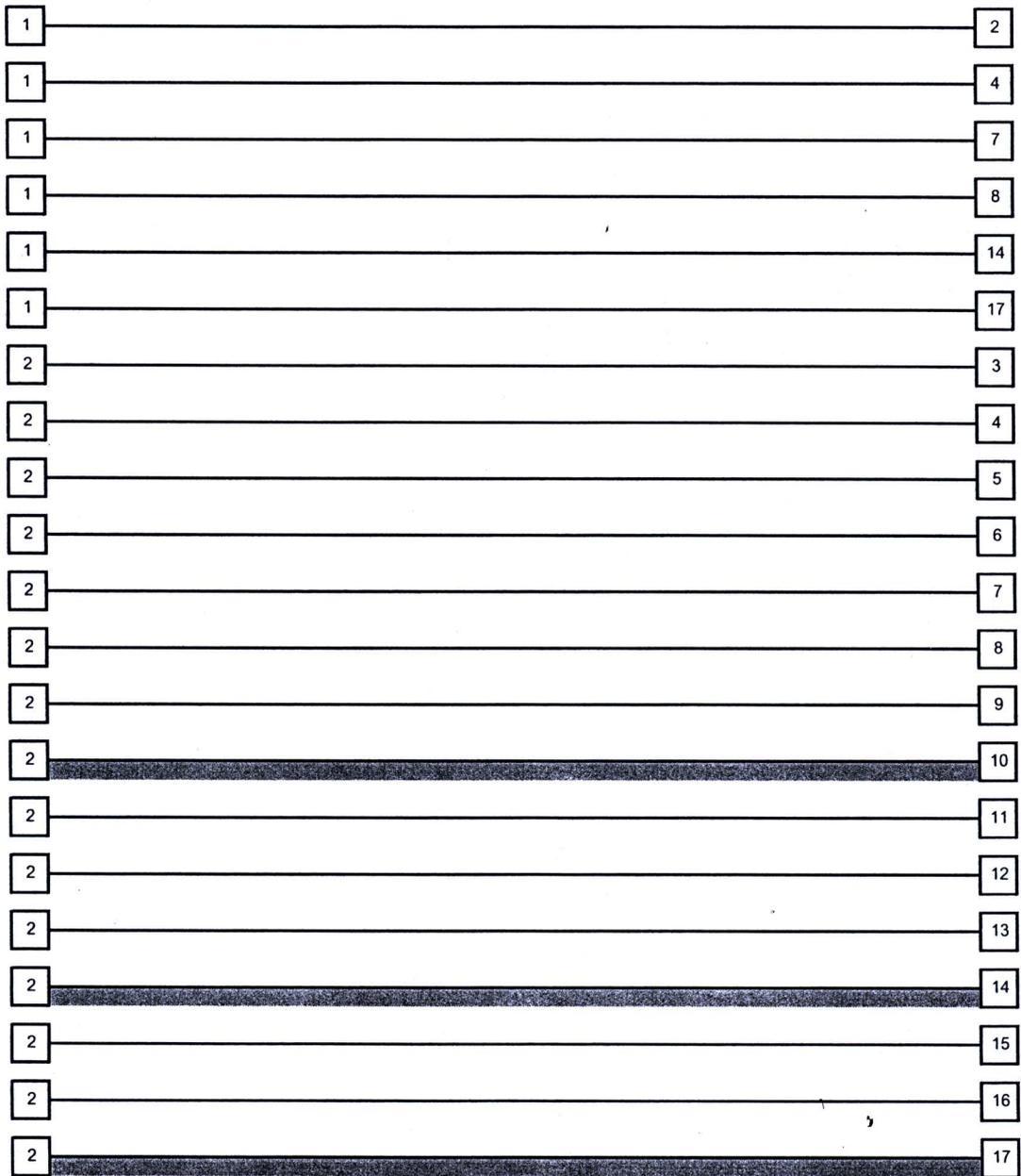
(ก) ข่ายเชื่อมโยงที่ 1

ข่ายเชื่อมโยงที่ 2

14.72 km



(ข) ข่ายเชื่อมโยงที่ 2



(ค) ข่ายเชื่อมโยงที่ 3

ข่ายเชื่อมโยงที่ 4

18.93 km

2	1
3	2
4	1
4	2
5	2
6	2
7	1
7	2
8	1
8	2
9	2
10	2
11	2
12	2
13	2
14	1
14	2
15	2
16	2
17	1
17	2

(ง) ข่ายเชื่อมโยงที่ 4



ข่ายเชื่อมโยงที่ 5

12.62 km



ข่ายเชื่อมโยงที่ 6

12.62 km



(จ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 5 - 6



ข่ายเชื่อมโยงที่ 7

20.33 km

1	3
2	1
4	1
4	2
4	5
4	11
4	12
4	13
5	3
6	3
7	5
8	5
9	3
9	5
10	2
10	3
11	3
12	3
13	3
15	3
16	3

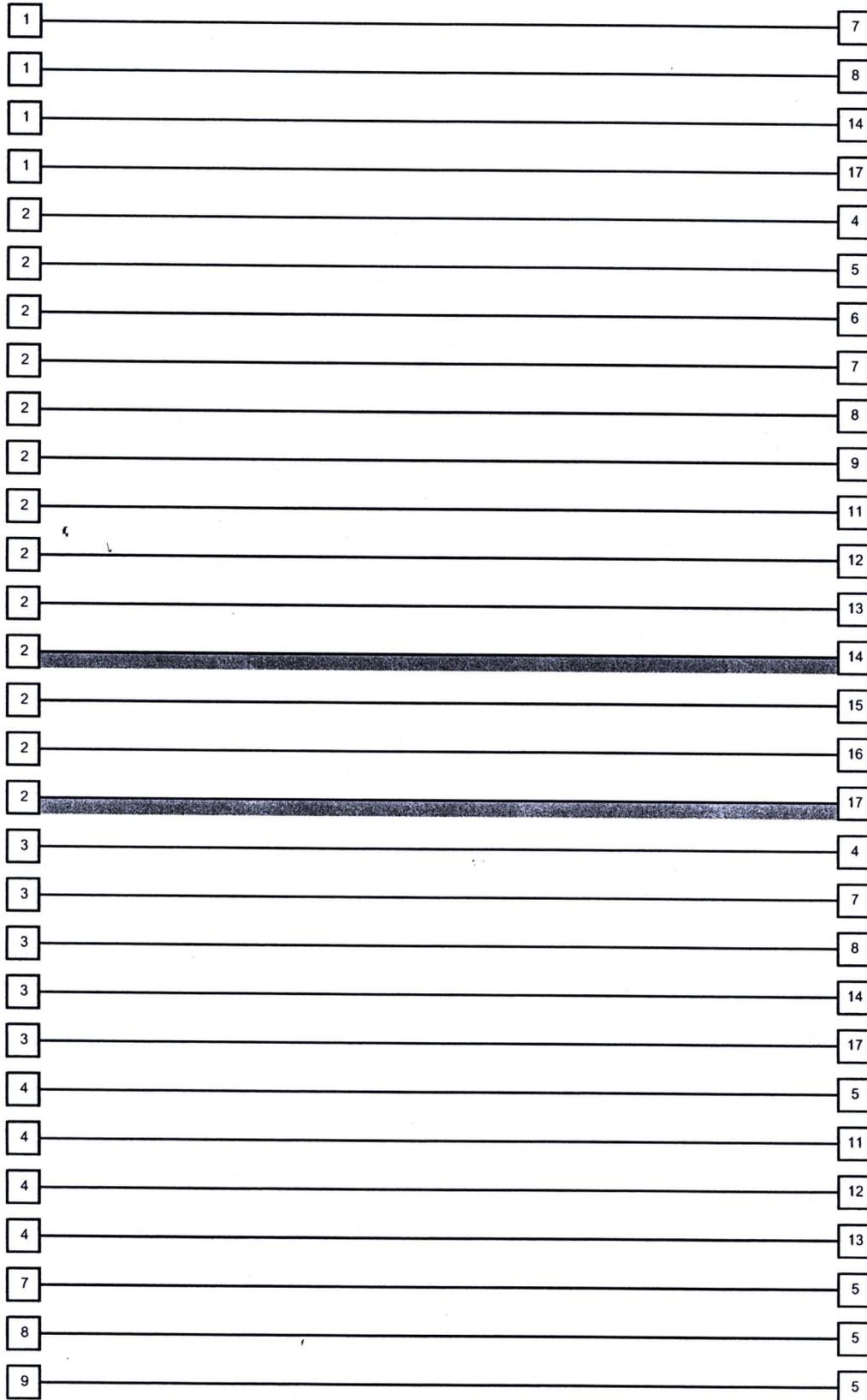
(จ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 7

ข่ายเชื่อมโยงที่ 8

20.33 km



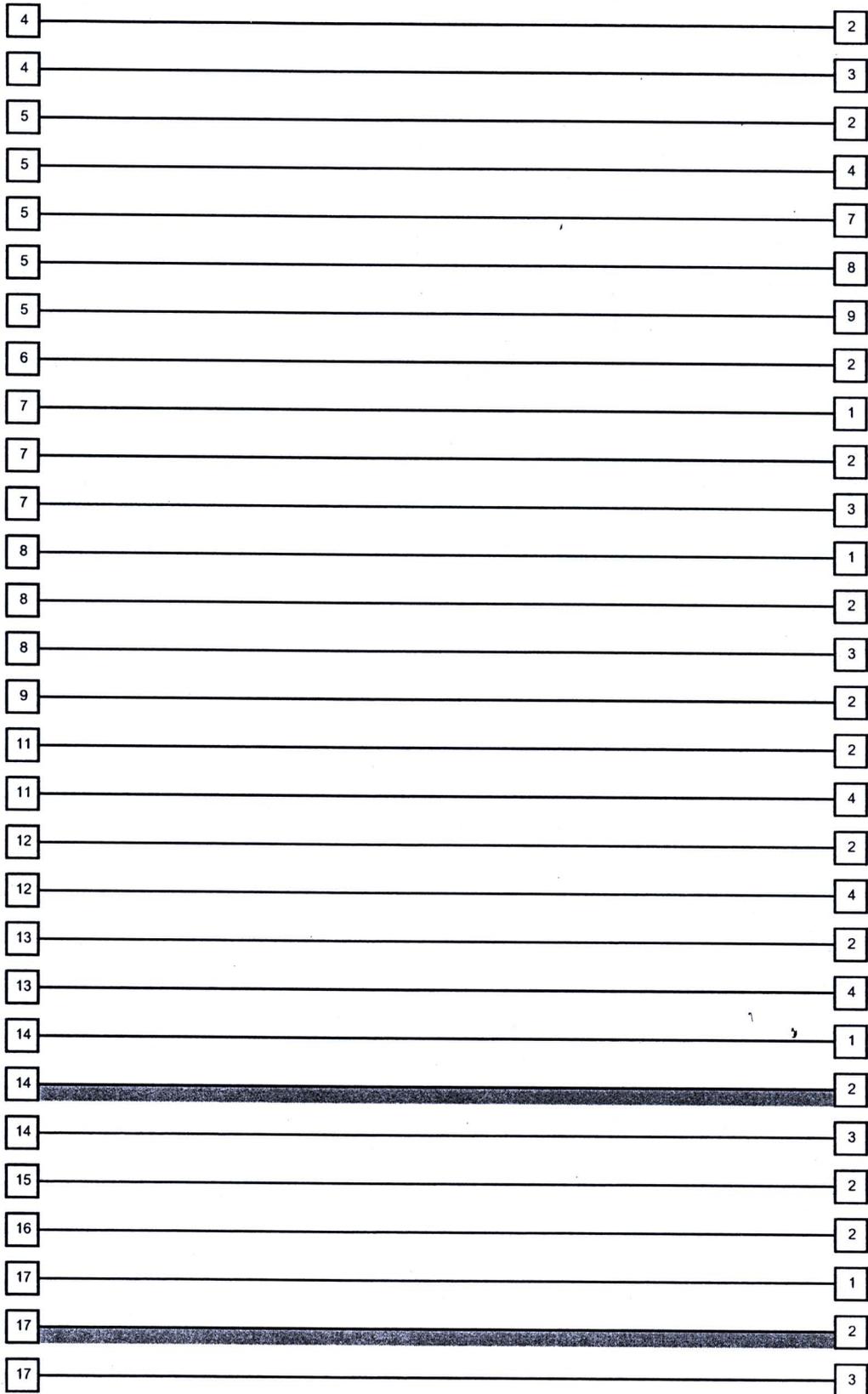
(๗) ข่ายเชื่อมโยงที่ 8



(ข) ข่ายเชื่อมโยงที่ 9

ข่ายเชื่อมโยงที่ 10

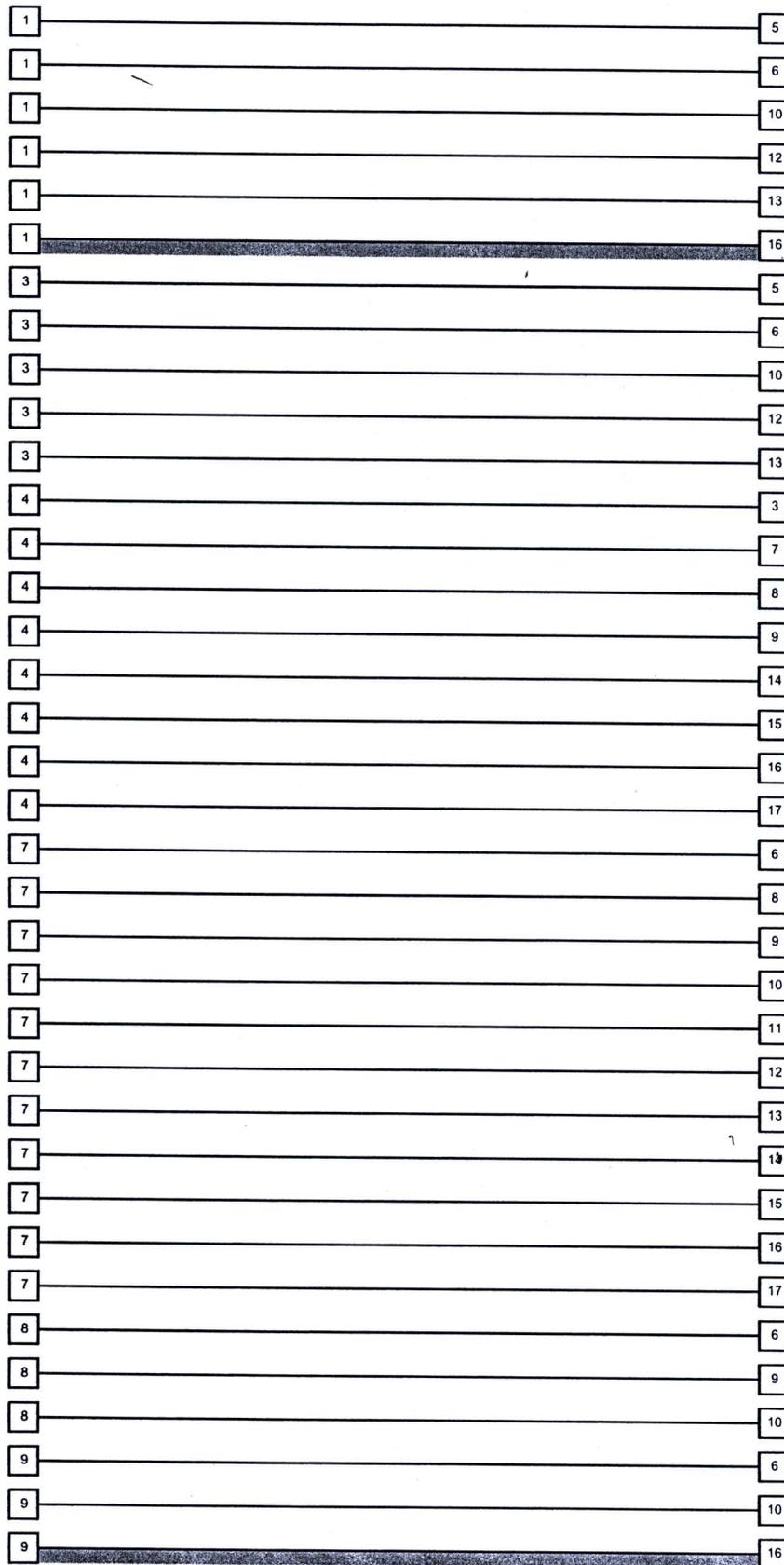
20.33 km



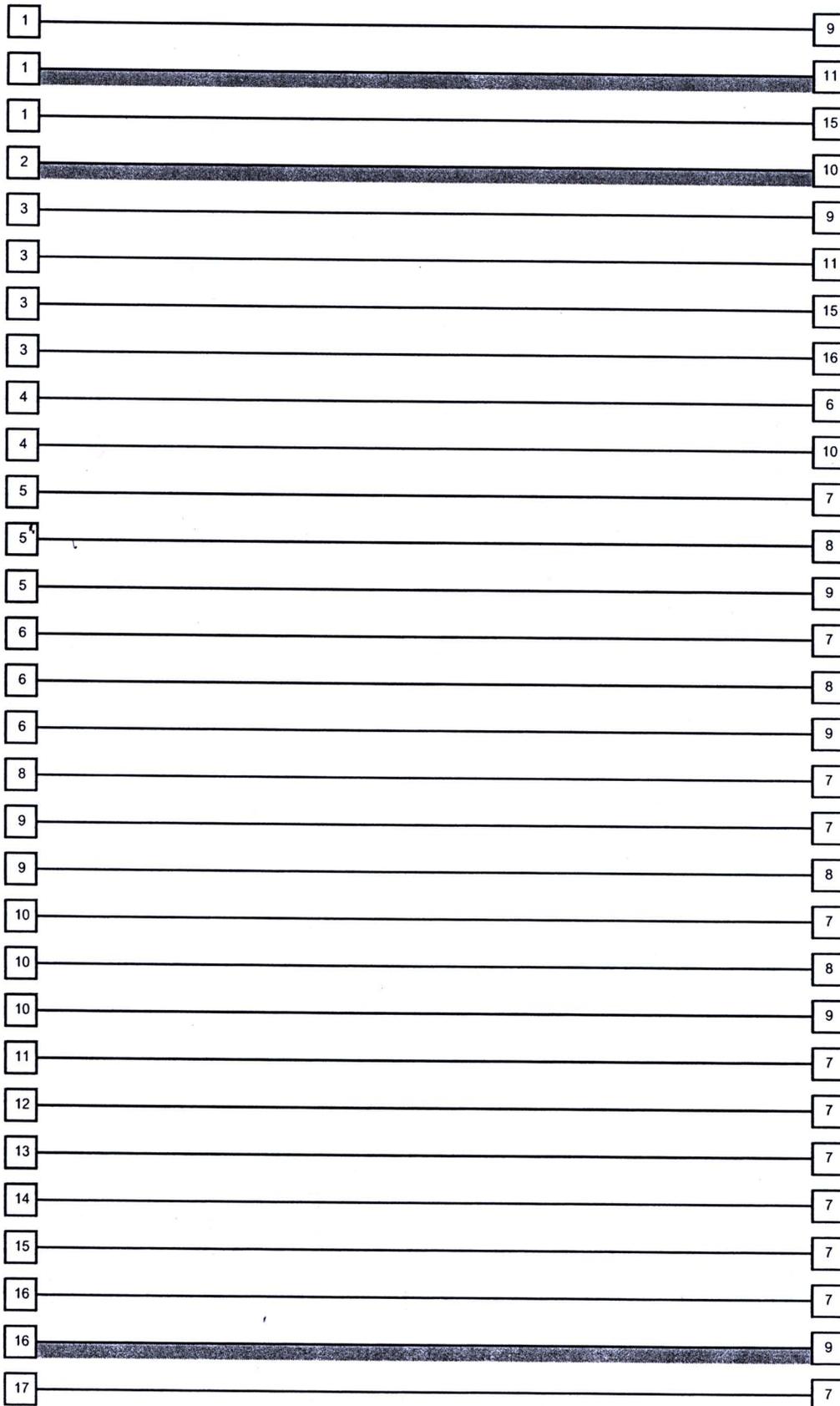
(ณ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 10

3	4
5	1
5	3
6	1
6	3
6	7
6	8
6	9
7	4
8	4
8	7
9	4
9	7
9	8
10	1
10	3
10	7
10	8
10	9
11	7
12	1
12	3
12	7
13	1
13	3
13	7
14	4
14	7
15	4
15	7
16	1
16	4
16	7
16	9
17	4
17	7

(ญ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 11



(ง) ข่ายเชื่อมโยงที่ 12



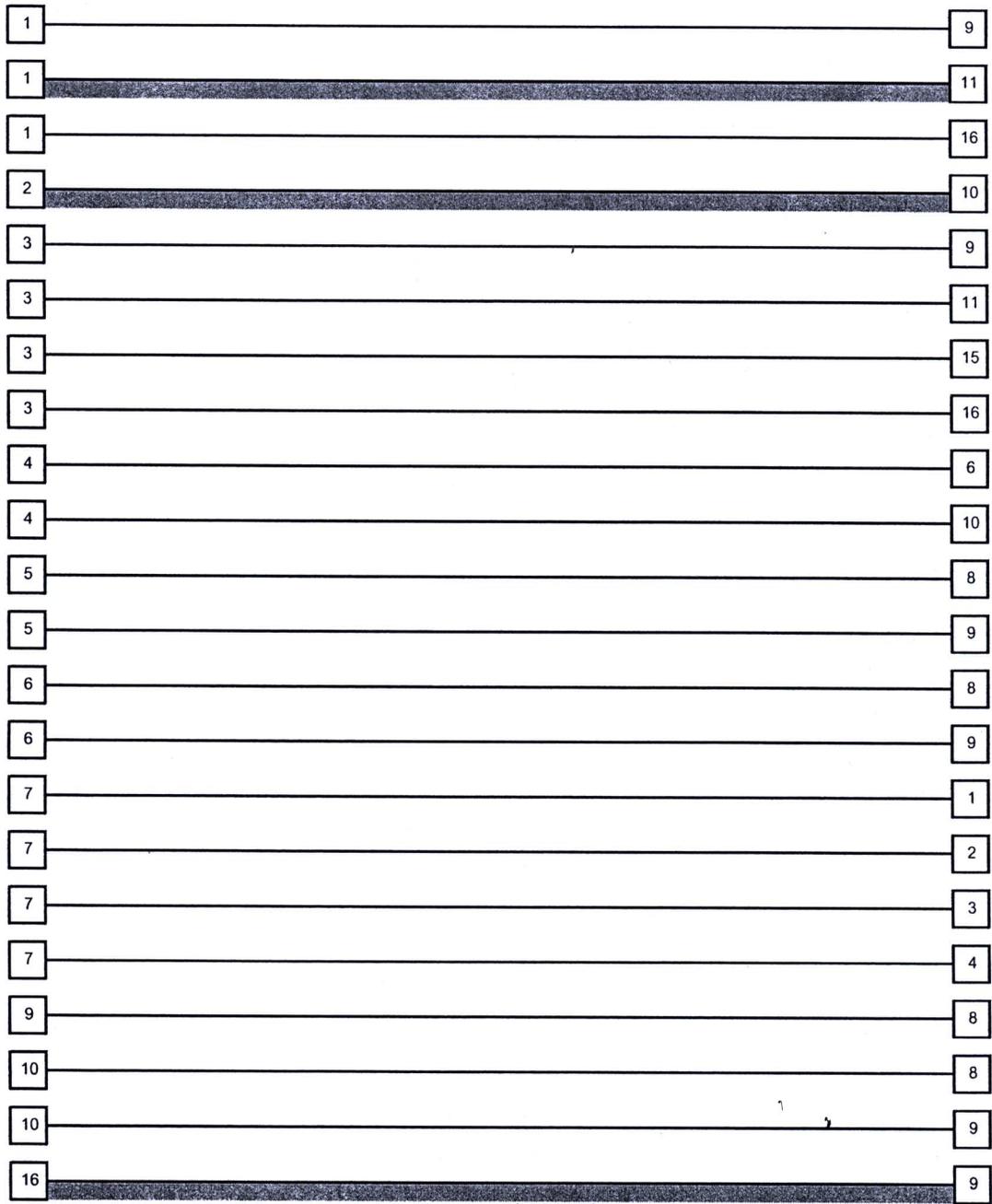
(ก) ข่ายเชื่อมโยงที่ 13

ข่ายเชื่อมโยงที่ 15

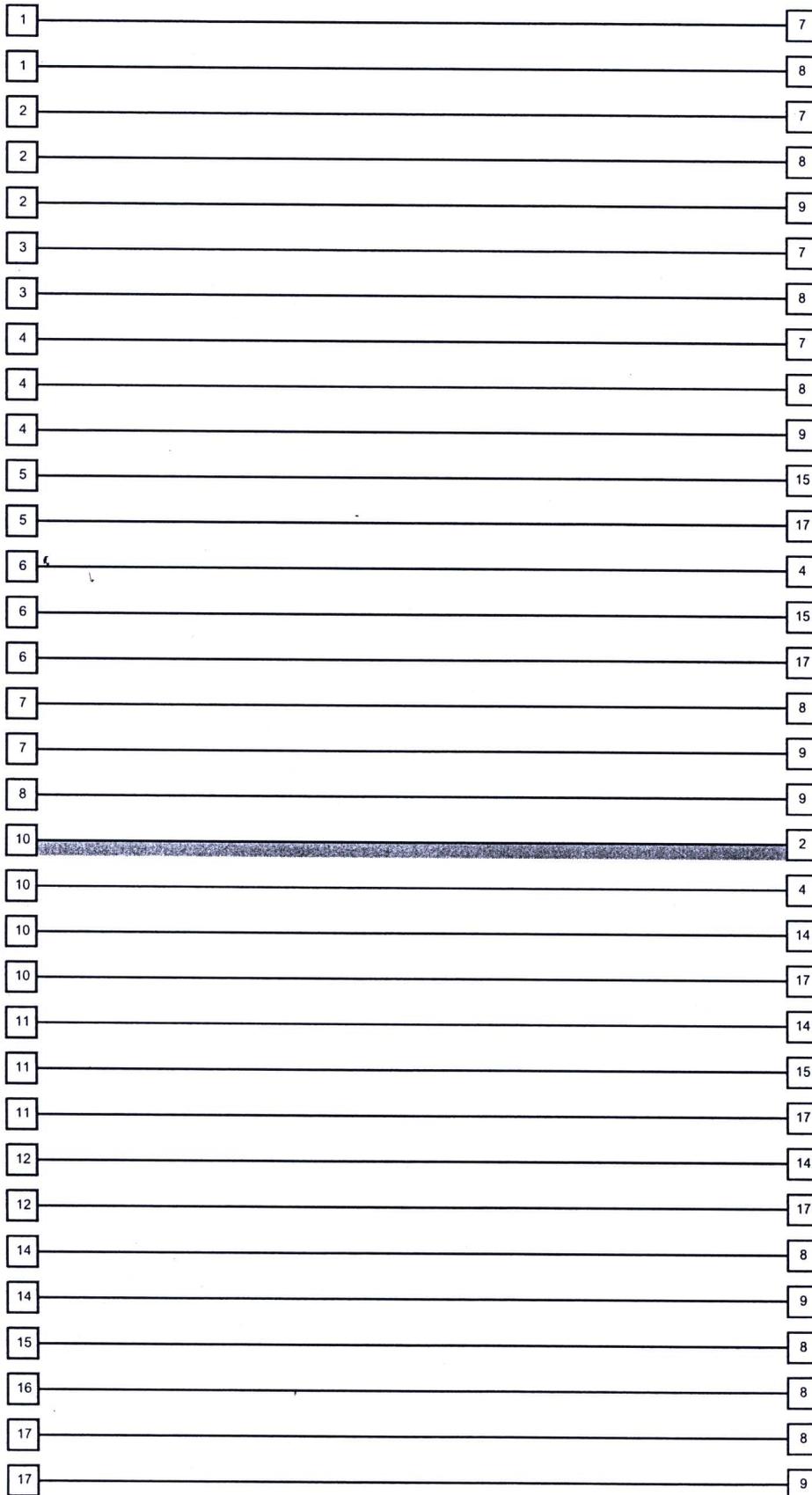
6.31 km

1	7
2	7
3	7
4	7
6	4
8	5
8	6
8	9
8	10
9	1
9	3
9	5
9	6
9	10
9	16
10	2
10	4
11	1
11	3
15	1
15	3
16	3

(๓) ข่ายเชื่อมโยงที่ 15



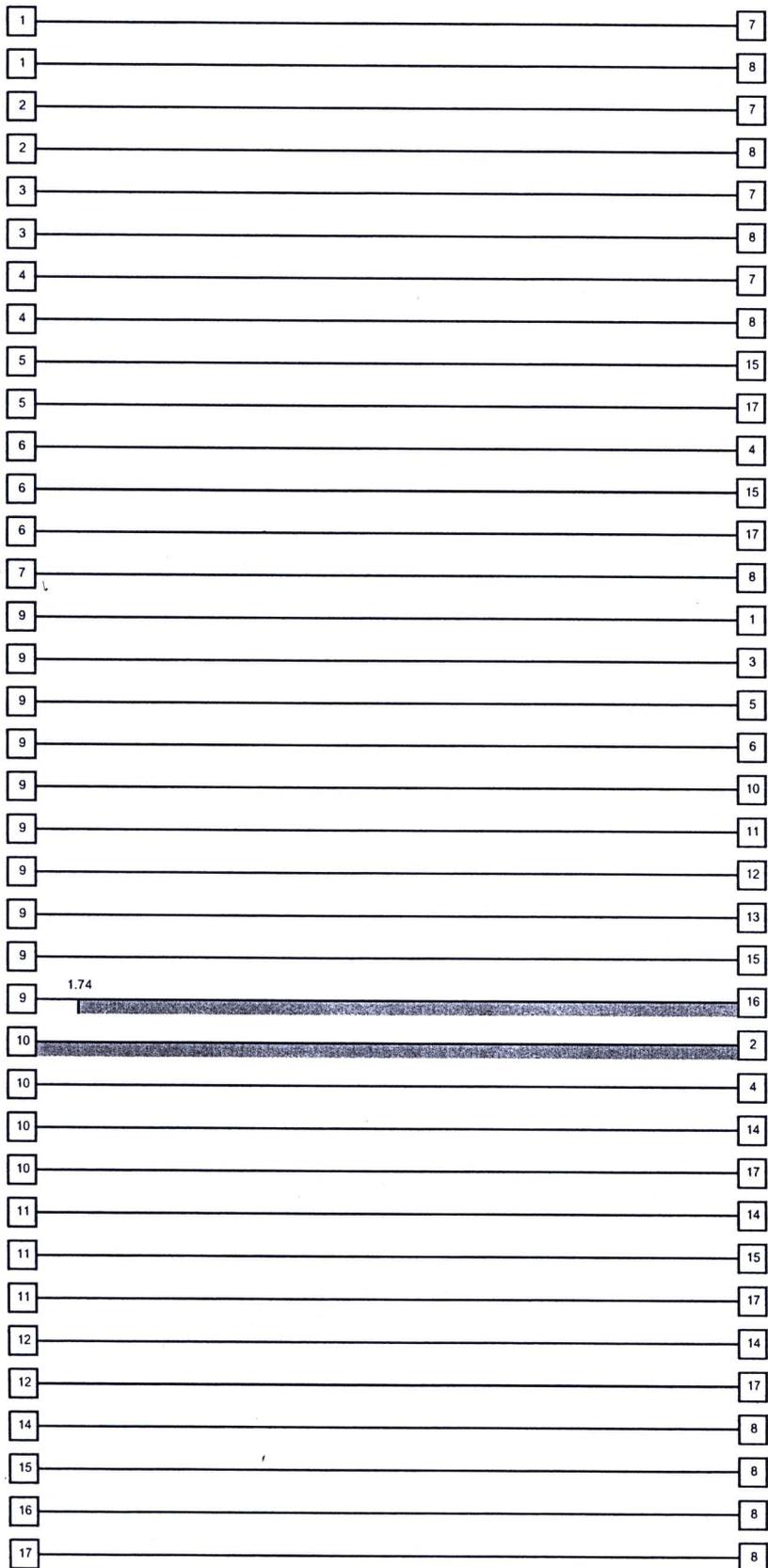
(ตม) ข่ายเชื่อมโยงที่ 16



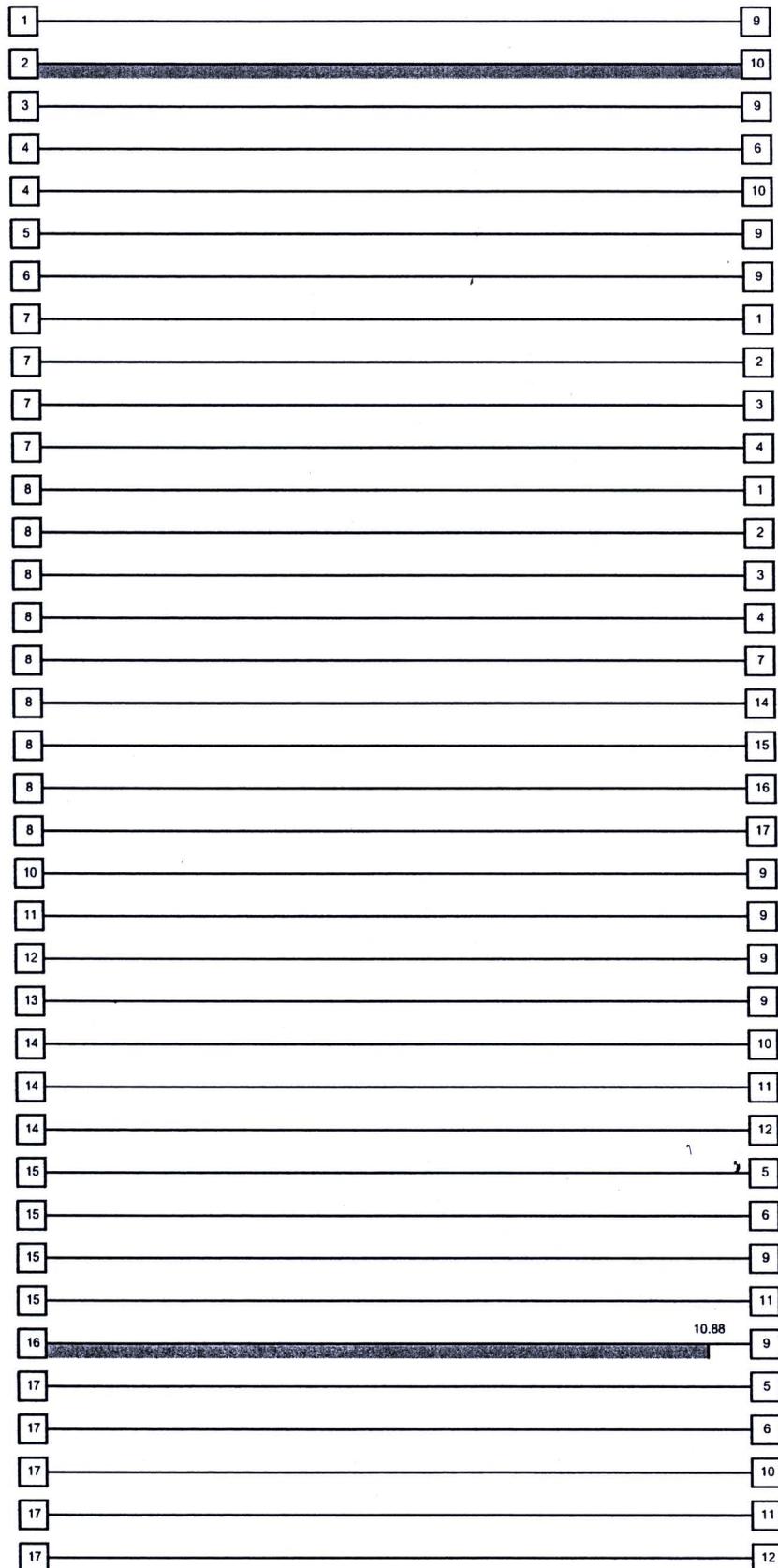
(ณ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 17

2	10
4	6
4	10
7	1
7	2
7	3
7	4
8	1
8	2
8	3
8	4
8	7
8	14
8	15
8	16
8	17
9	2
9	4
9	7
9	8
9	14
9	17
14	10
14	11
14	12
15	5
15	6
15	11
17	5
17	6
17	10
17	11
17	12

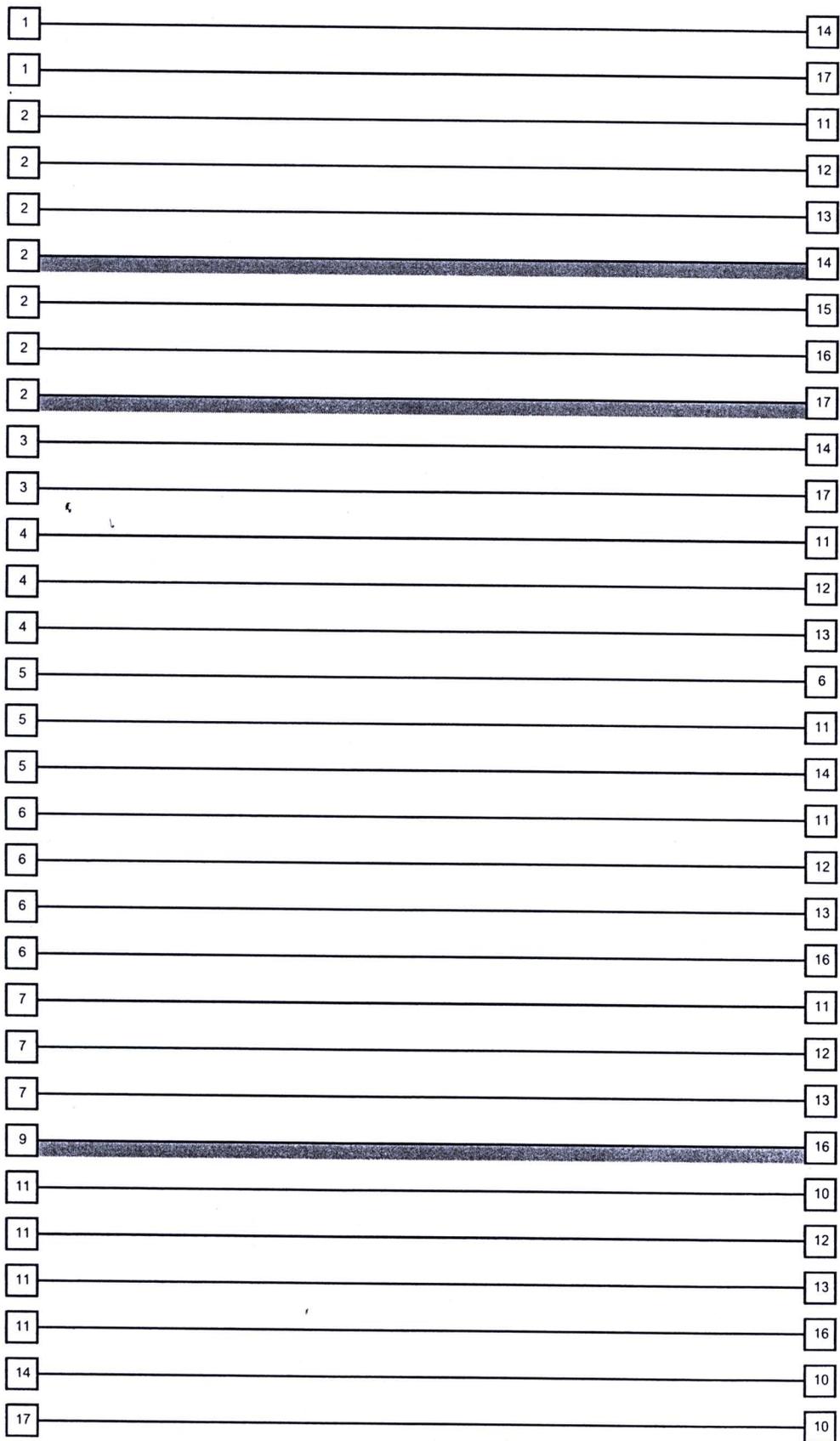
(ด) ข่ายเชื่อมโยงที่ 18

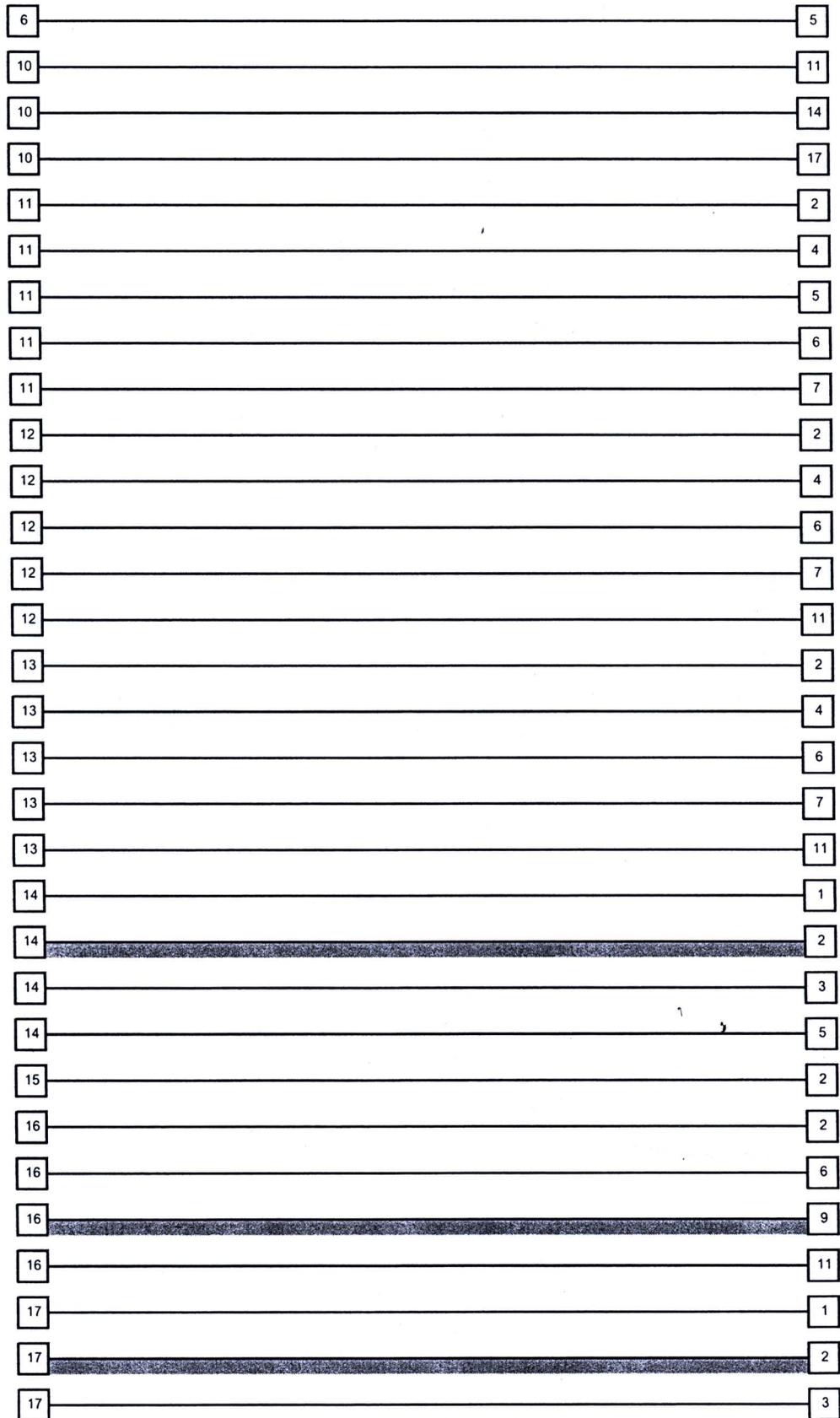


(ต) ข่ายเชื่อมโยงที่ 19



(ก) ข่ายเชื่อมโยงที่ 20





(ด) ข่ายเชื่อมโยงที่ 22

1	5
3	5
4	3
6	2
6	11
6	12
6	13
6	16
7	1
7	2
7	3
7	11
7	12
7	13
8	1
8	2
8	3
9	2
9	16
10	5
11	10
11	12
11	13
11	16
12	16
13	5
14	10
15	5
16	5
17	5
17	10

(น) ข่ายเชื่อมโยงที่ 23

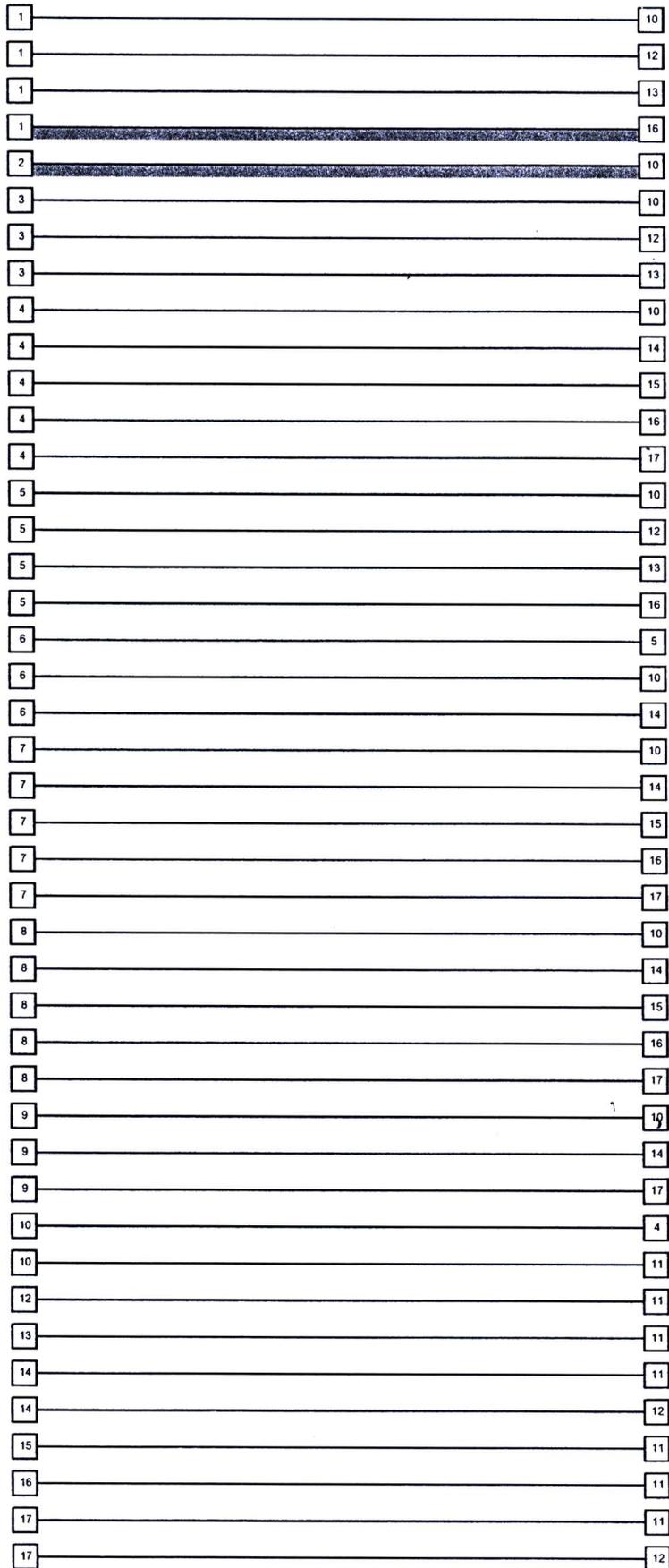


1	7
1	8
2	6
2	7
2	8
2	9
3	4
3	7
3	8
5	1
5	3
5	10
5	12
5	13
5	15
5	16
5	17
10	11
10	14
10	17
11	6
11	7
12	6
12	7
12	11
13	6
13	7
13	11
16	6
16	9
16	11

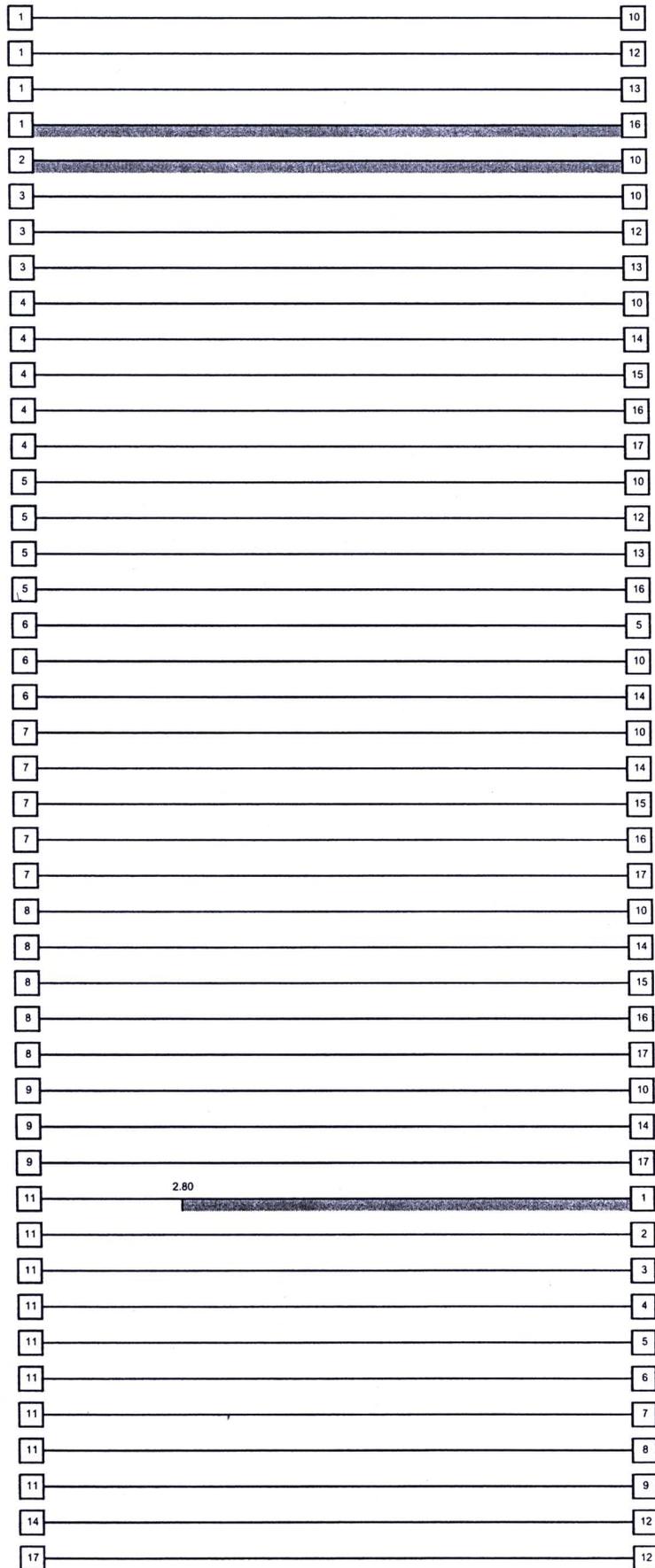
(บ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 24

ข่ายเชื่อมโยงที่ 26

13.32 km



(ผ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 26

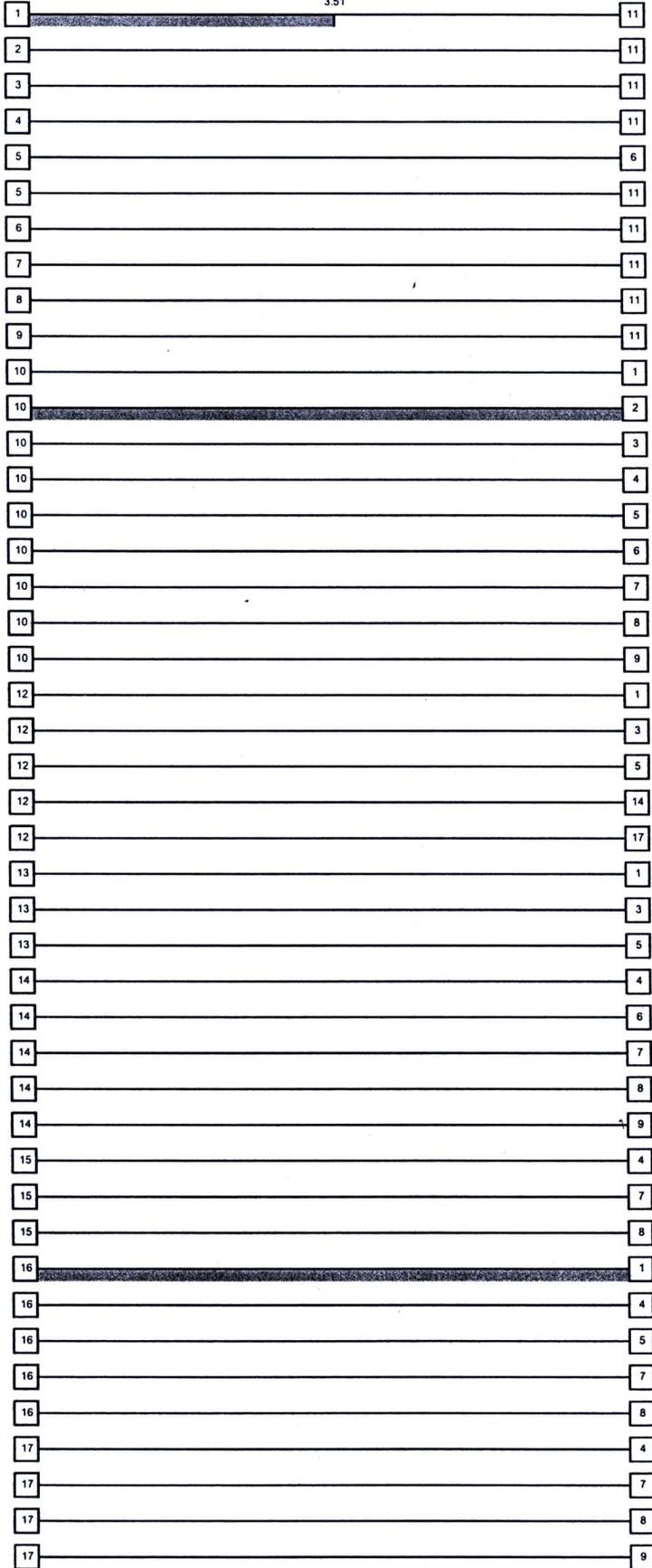


(ผ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 27

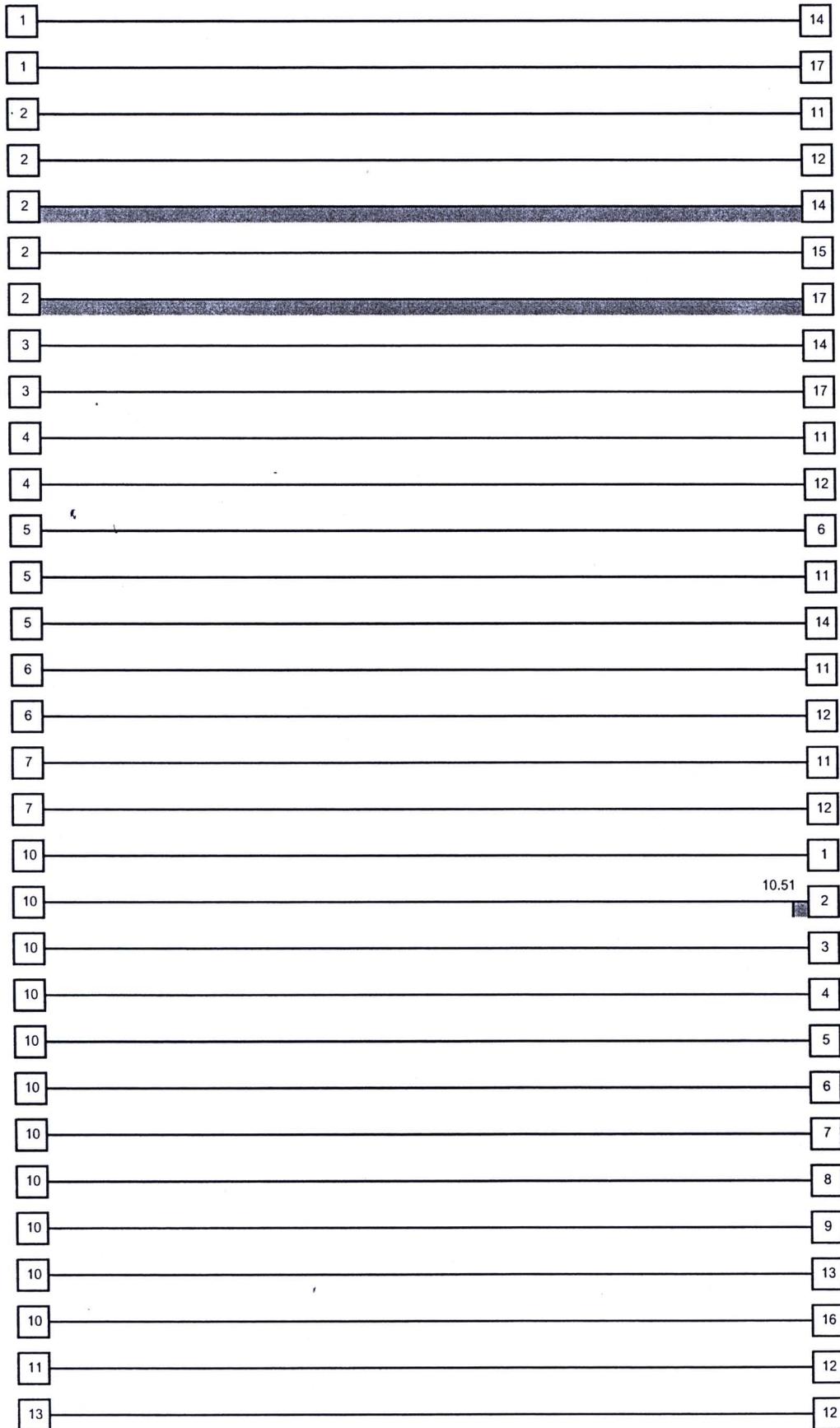
ข่ายเชื่อมโยงที่ 28

6.31 km

3.51



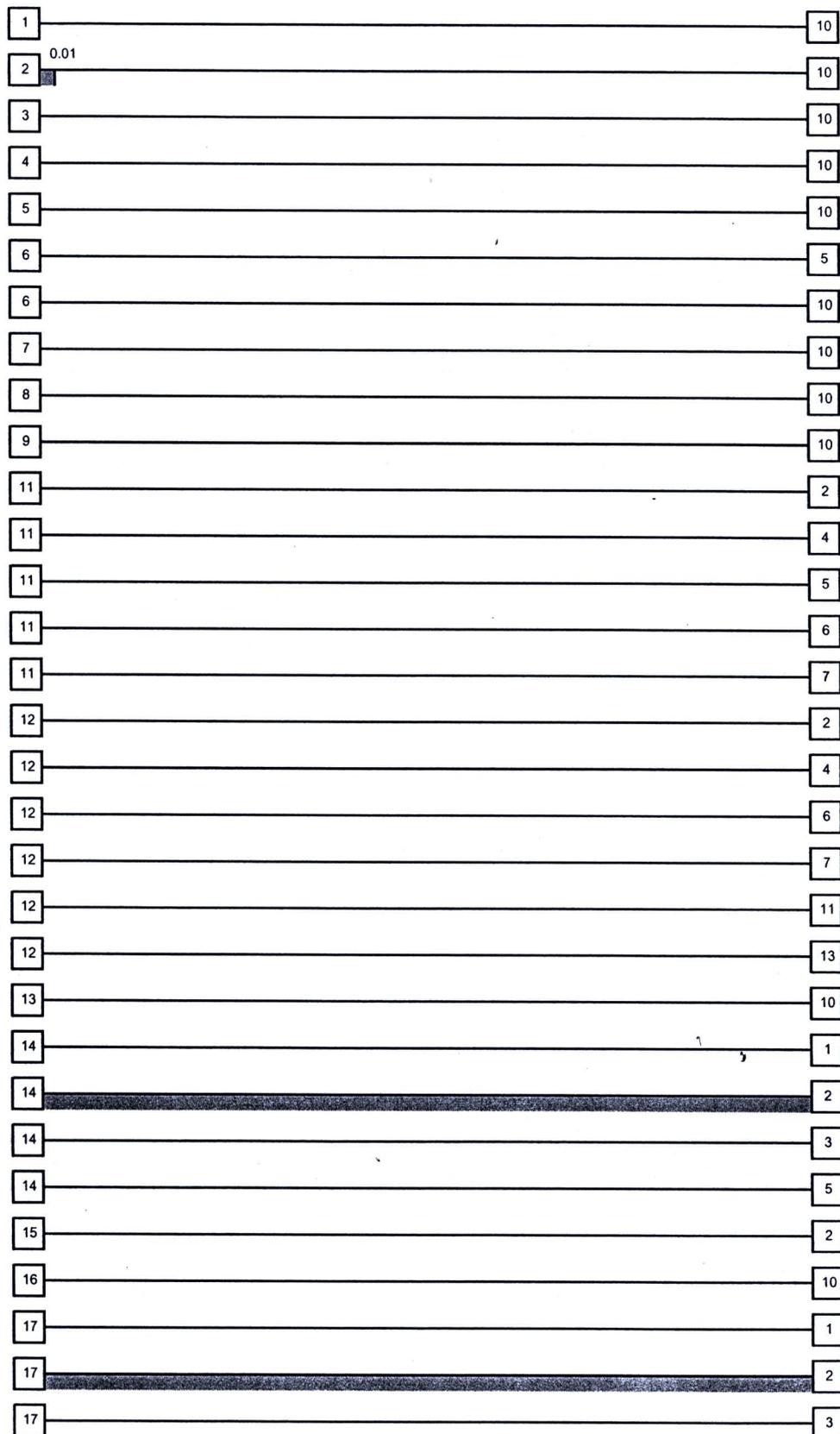
(พ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 28



(พ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 29

ข่ายเชื่อมโยงที่ 30

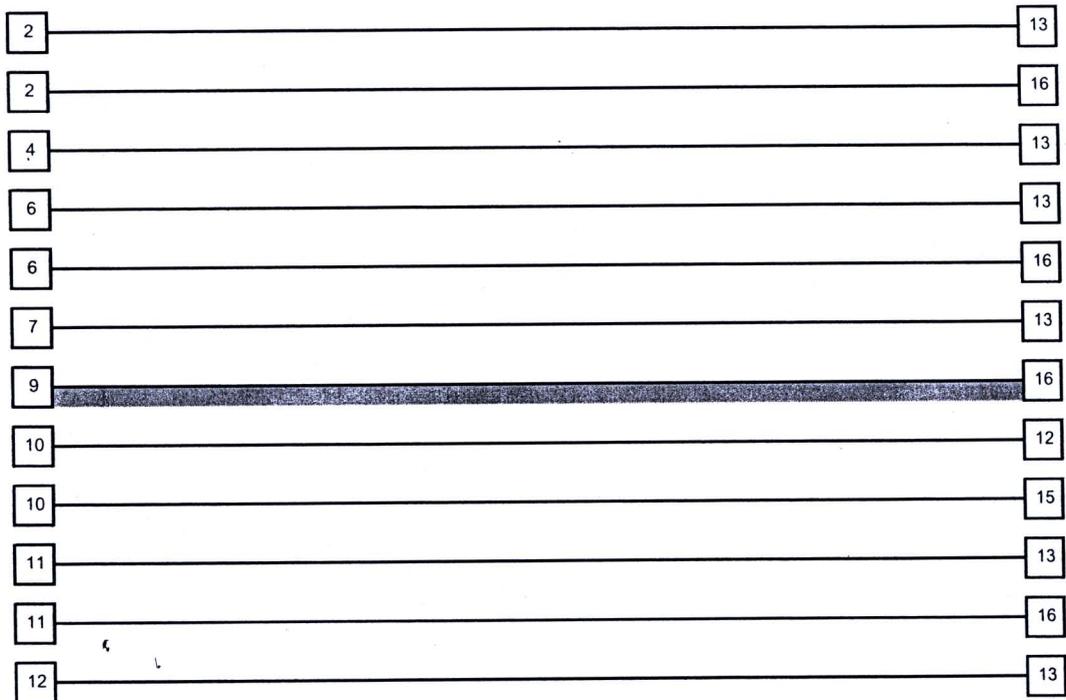
10.52 km



(ก) ข่ายเชื่อมโยงที่ 30

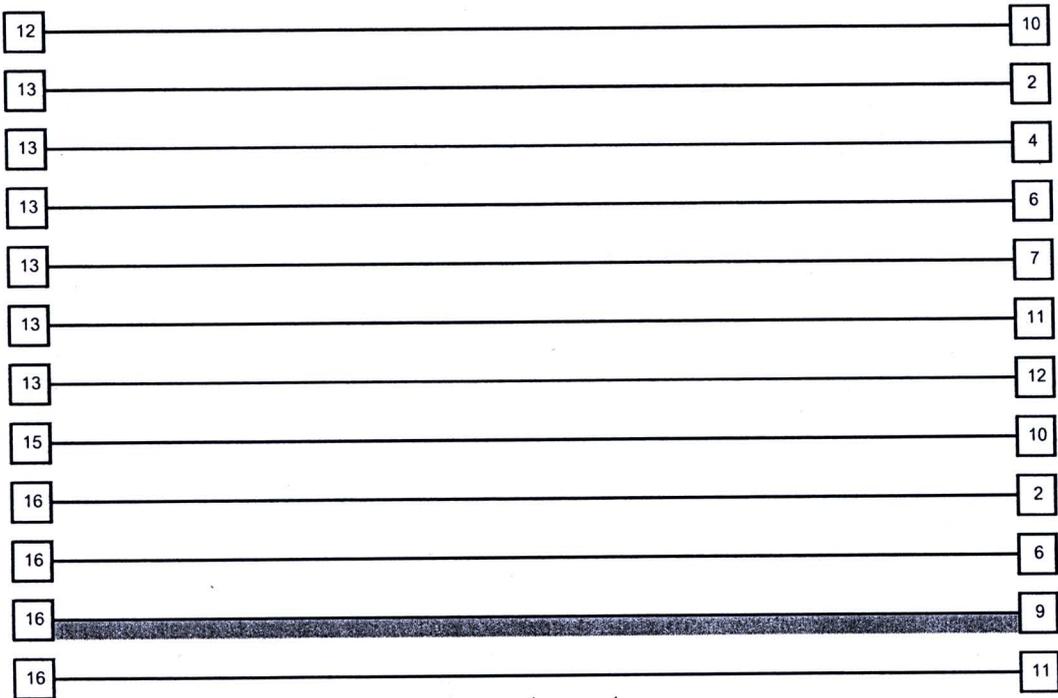
ข่ายเชื่อมโยงที่ 31

15.42 km



ข่ายเชื่อมโยงที่ 32

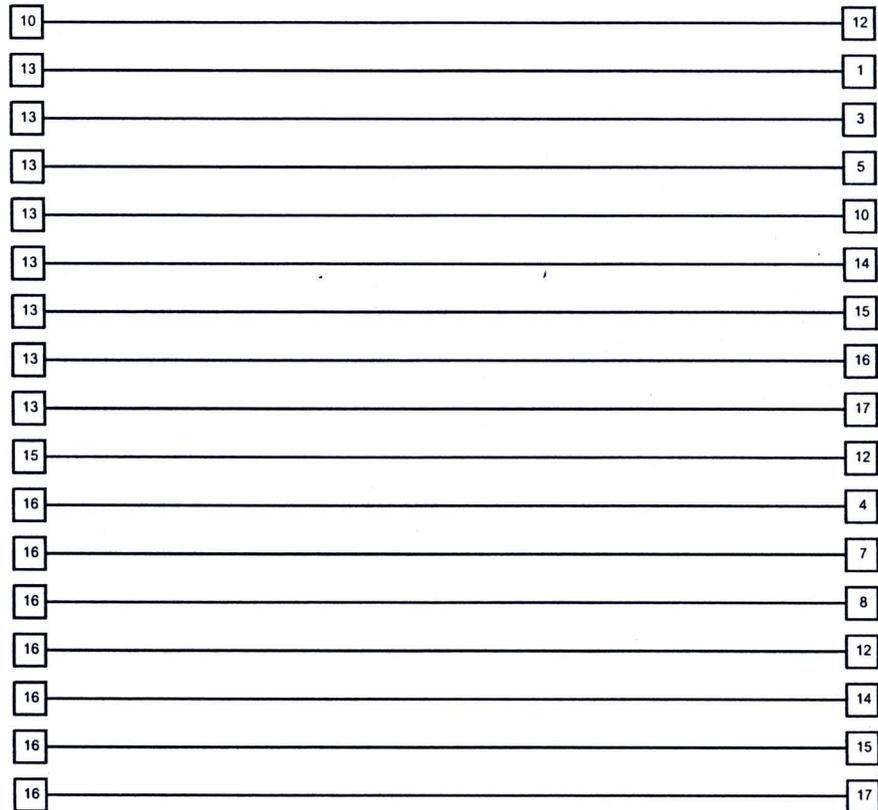
15.42 km



(ม) ข่ายเชื่อมโยงที่ 31 - 32

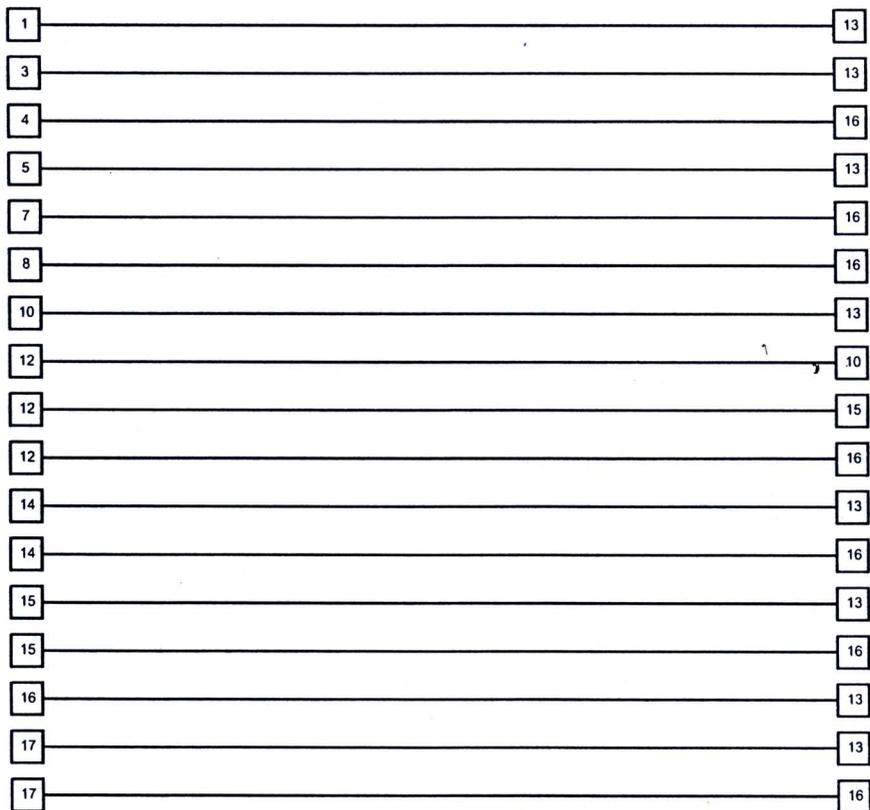
ข่ายเชื่อมโยงที่ 33

14.02 km



ข่ายเชื่อมโยงที่ 34

14.02 km



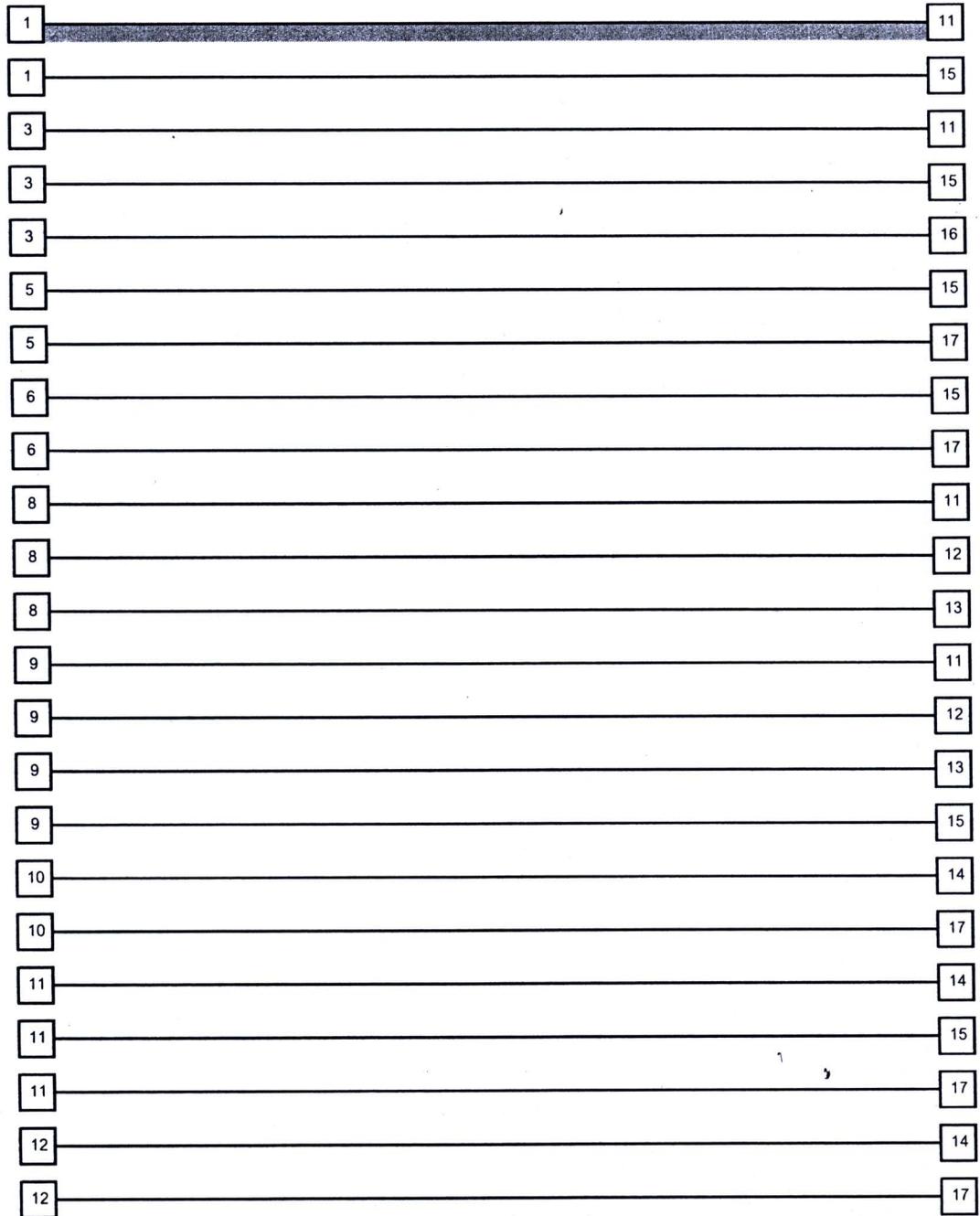
(ย) ข่ายเชื่อมโยงที่ 33 - 34

11	1
11	3
11	8
11	9
12	8
12	9
13	8
13	9
14	10
14	11
14	12
15	1
15	3
15	5
15	6
15	9
15	11
16	3
17	5
17	6
17	10
17	11
17	12

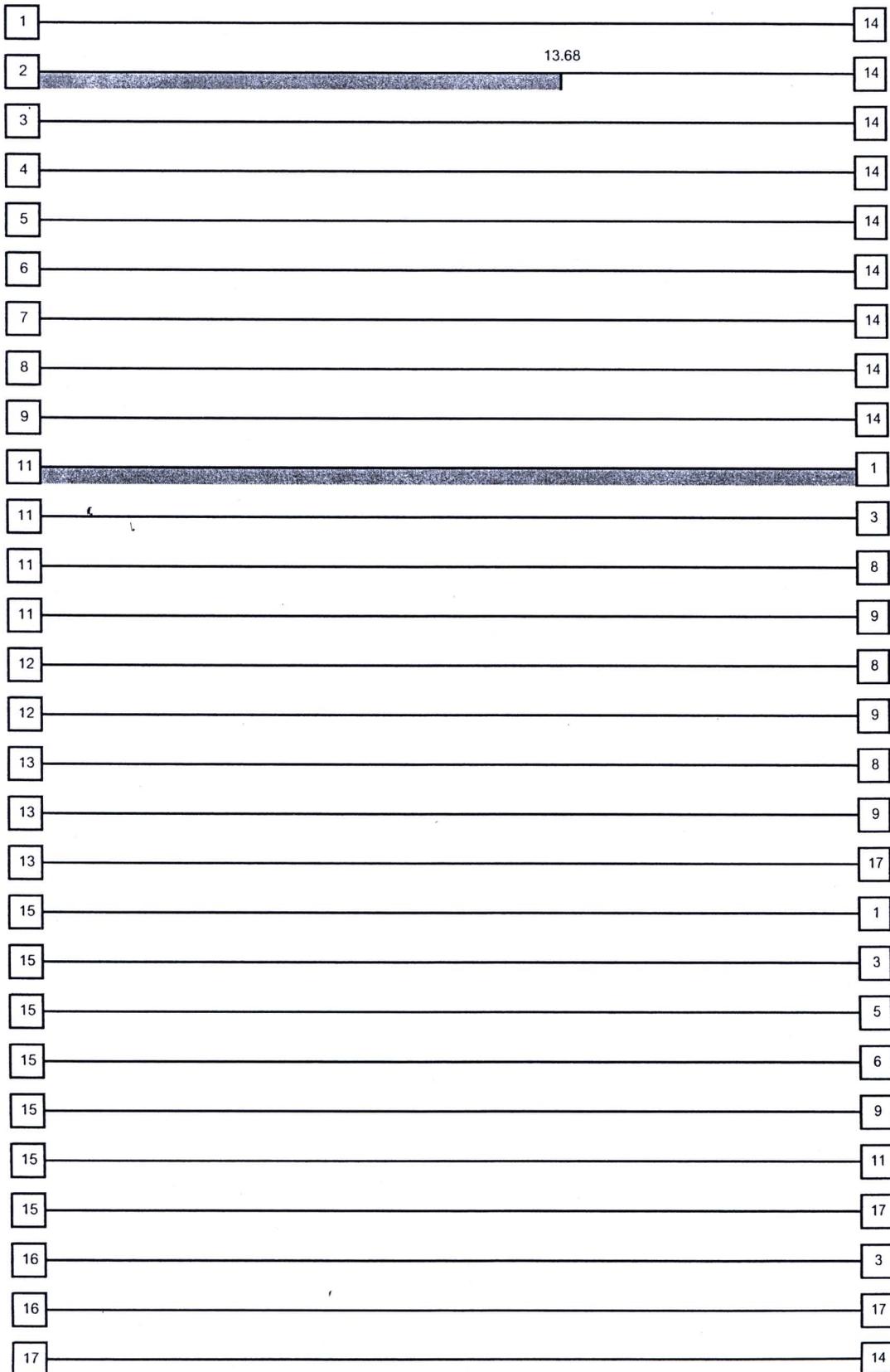
(จ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 35

ข่ายเชื่อมโยงที่ 36

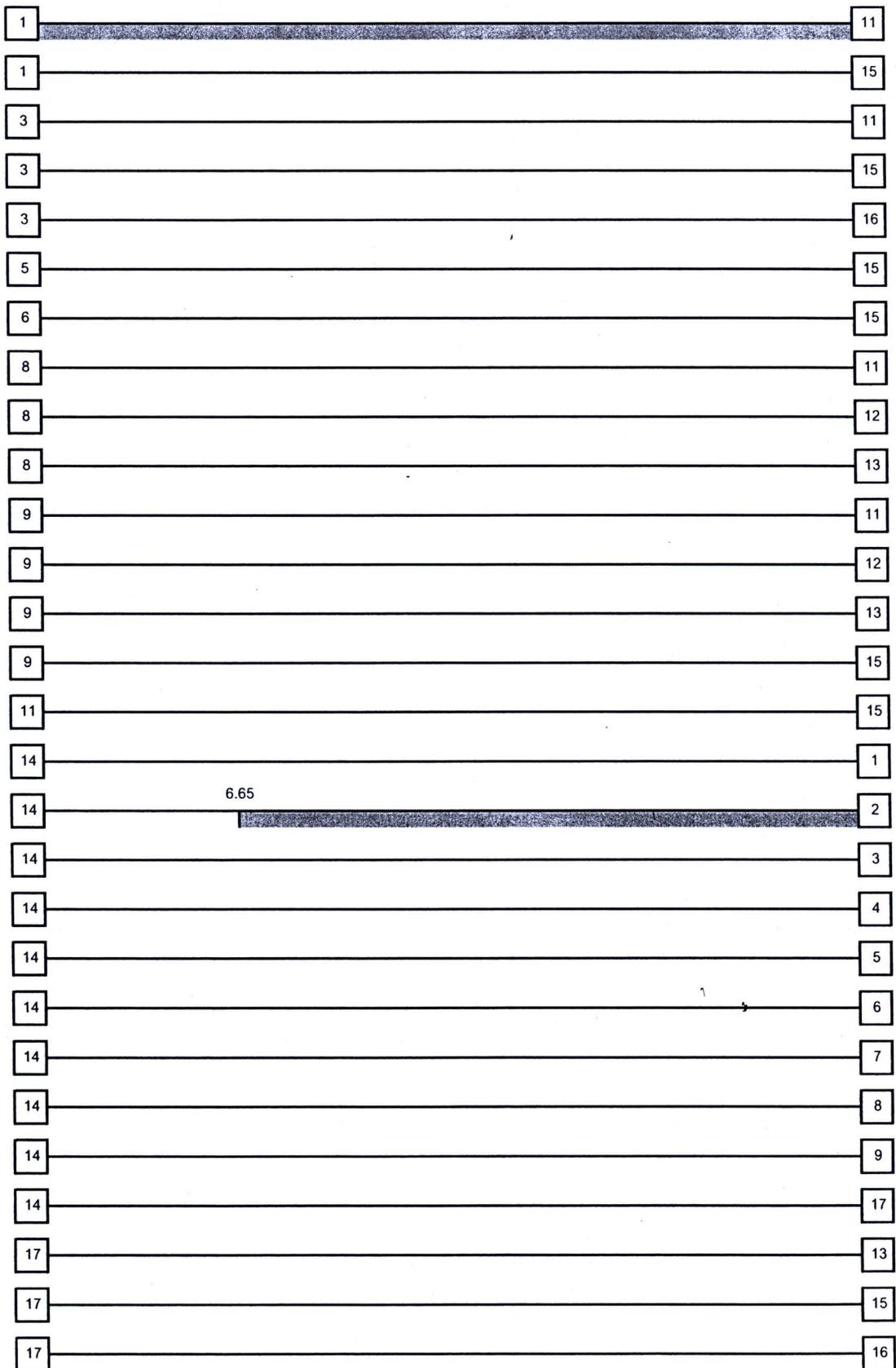
18.93 km



(ค) ข่ายเชื่อมโยงที่ 36



(จ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 37



(ค) ข่ายเชื่อมโยงที่ 38

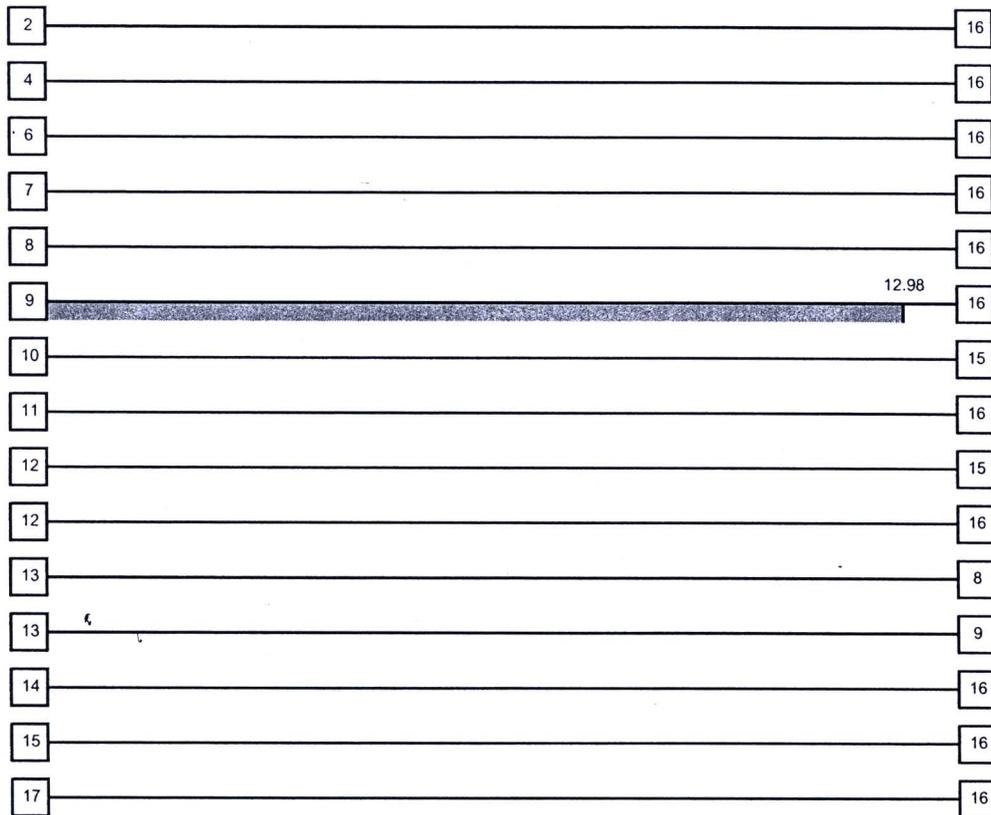
1	14
1	16
1	17
2	14
2	15
2	17
3	14
3	17
4	14
4	15
4	17
5	14
5	16
6	14
7	14
7	15
7	17
8	14
8	15
8	17
9	14
9	17
10	16
11	1
11	3
11	8
11	9
12	8
12	9
13	14
13	15
13	16
13	17
16	14
16	15
16	17

(๒) ข่ายเชื่อมโยงที่ 39

1	11
3	11
8	11
8	12
9	11
9	12
14	1
14	2
14	3
14	4
14	5
14	6
14	7
14	8
14	9
14	13
14	16
15	2
15	4
15	7
15	8
15	13
15	16
16	1
16	5
16	10
16	13
17	1
17	2
17	3
17	4
17	7
17	8
17	9
17	13
17	16

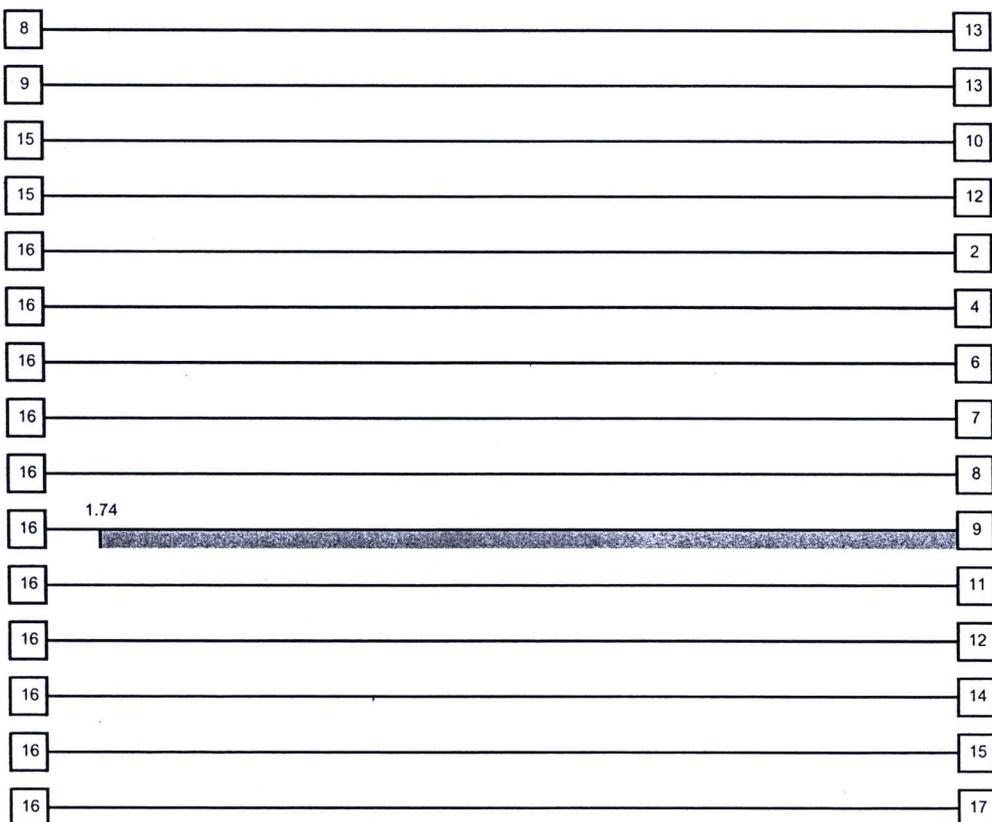
ข่ายเชื่อมโยงที่ 41

14.72 km



ข่ายเชื่อมโยงที่ 42

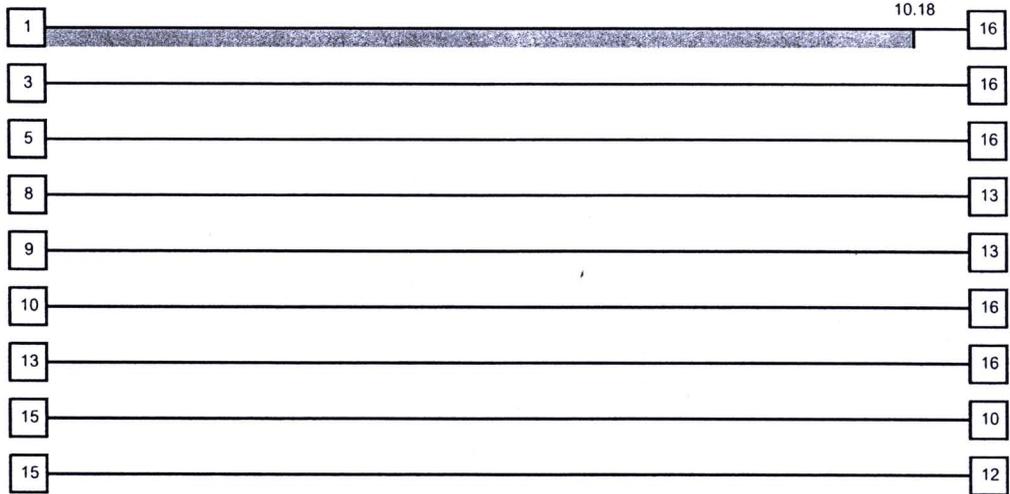
14.72 km



(น) ข่ายเชื่อมโยงที่ 41 - 42

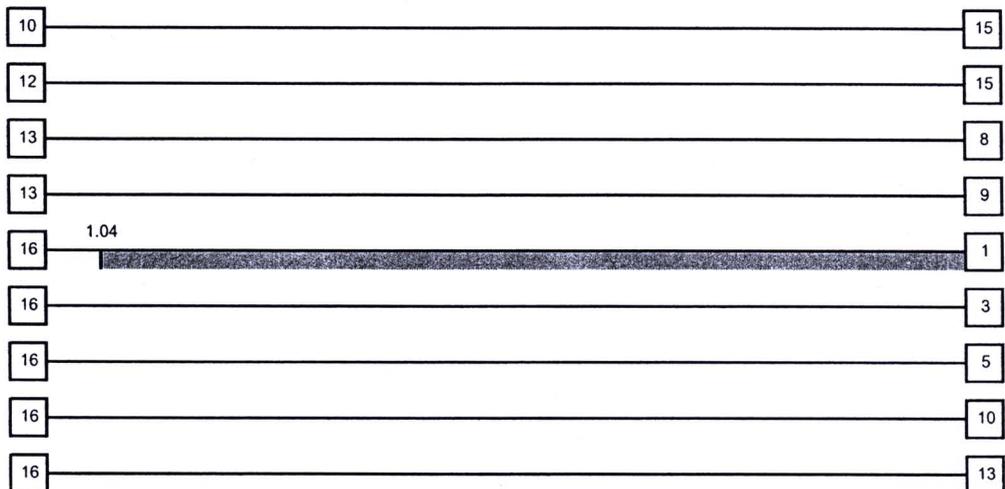
ข่ายเชื่อมโยงที่ 43

11.22 km



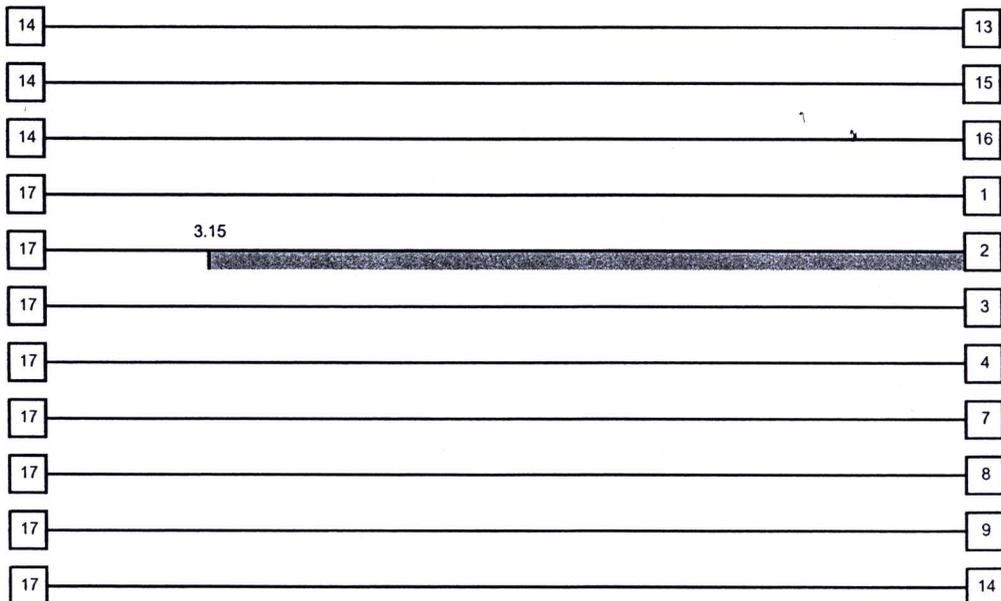
ข่ายเชื่อมโยงที่ 44

11.22 km



ข่ายเชื่อมโยงที่ 45

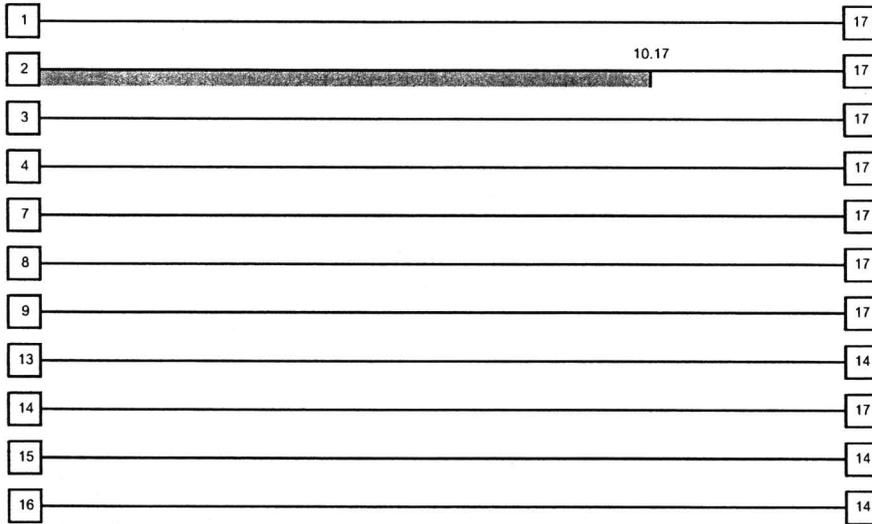
13.32 km



(พ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 43 - 45

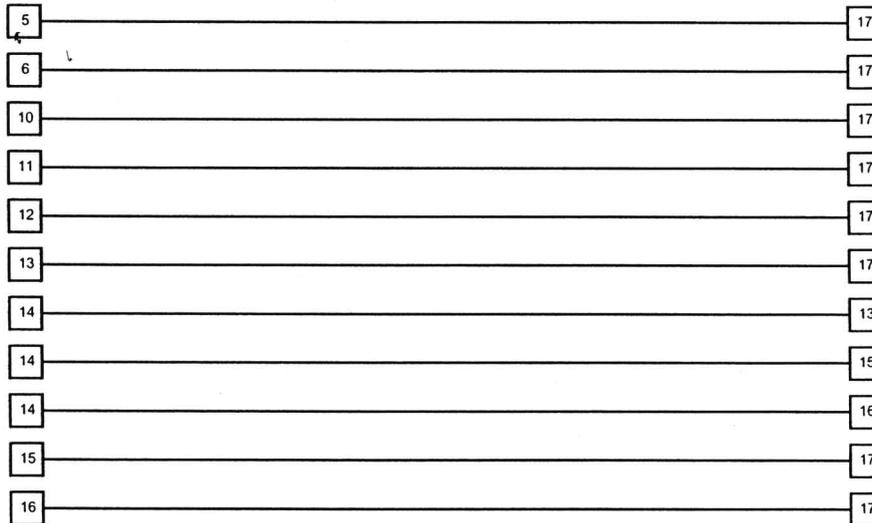
ข่ายเชื่อมโยงที่ 46

13.32 km



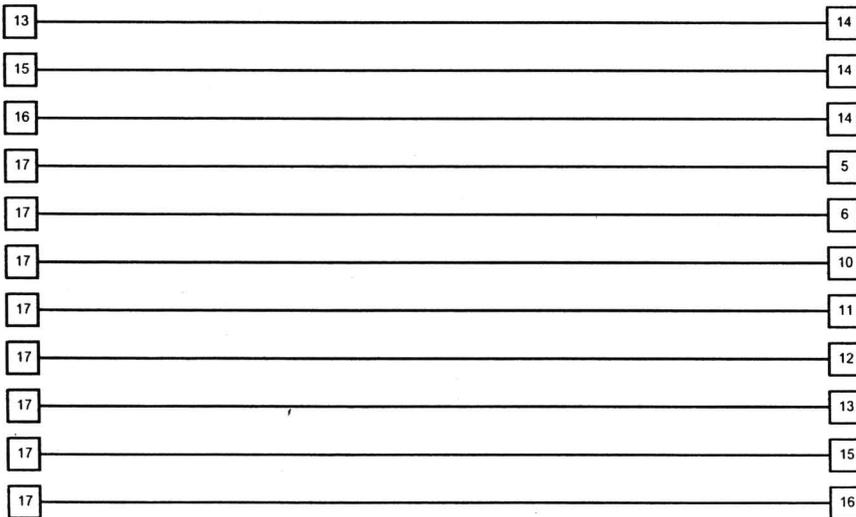
ข่ายเชื่อมโยงที่ 47

13.32 km



ข่ายเชื่อมโยงที่ 48

13.32 km



(อ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 46 - 48

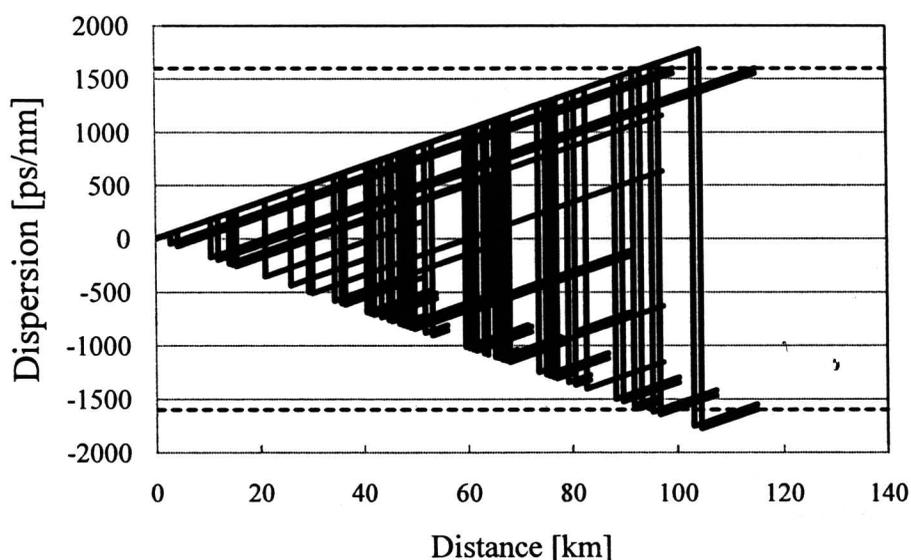
3. พิจารณาหาตำแหน่งวางเครื่องส่งยุคเฟสแสง จากรูปที่ 5.3(ก)-(อ) จะพิจารณาโดยยึดตามหลักการในบทที่ 4 ข่ายเชื่อมโยงที่มีทราฟฟิกในข่ายนั้นมากที่สุดคือ ข่ายเชื่อมโยงที่ 1(10.51 – 11.92 km) และ 2 (2.80 - 4.21 km) จากนั้นจะพิจารณาข่ายต่อไปหลังจากตัดข่ายเชื่อมโยงที่เกี่ยวข้องกับข่ายเชื่อมโยงที่ 1และ 2 ทั้ง คือ ข่ายเชื่อมโยงที่ 31 และ 32 ซึ่งข่ายเชื่อมโยงอื่นๆ ต่างก็เหลือทราฟฟิกเพียง 1 ข่ายเชื่อมโยง แต่ข่ายเชื่อมโยงที่ 31 และ 32 จะมีผลกระทบต่อทราฟฟิกอื่นๆ ที่วางเครื่องส่งยุคเฟสแสงไปแล้ว สรุปจะได้จำนวนเครื่องส่งยุคเฟสแสงที่ต้องวาง 4 ตัว

- ข่ายเชื่อมโยงที่ 1 (10.51-11.92 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 2 (2.80-4.21 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 31 (0-15.42 km)
- ข่ายเชื่อมโยงที่ 32 (0-15.42 km)

เมื่อคิดถึงกรณีทำงานปกติแล้วจะสรุปได้ว่า

- จำนวนเครื่องส่งยุคเฟสแสงที่ใช้ในเส้นใยแสงหลัก (working fiber) = 0 ตัว
- จำนวนเครื่องส่งยุคเฟสแสงที่ใช้ในเส้นใยแสงสำรอง (protection fiber) = 4 ตัว

4. ตรวจสอบดิสเพอร์ชันของทุกทราฟฟิก รูปที่ 5.4 เป็นผลแสดงดิสเพอร์ชันสะสมของทุกทราฟฟิกในโครงข่าย NARNet กรณีมีการกู้คืนสัญญาณแล้ว



รูปที่ 5.4 ดิสเพอร์ชันสะสมของทุกทราฟฟิกในโครงข่าย NARNet กรณีมีการกู้คืนสัญญาณ

5.2 การวิเคราะห์ผล OSNR ของโครงข่ายที่วางเครื่องส่งยุคเฟสแสง

เมื่อเราวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงเข้าไปในโครงข่าย จะทำให้กำลังสัญญาณที่ได้จากเครื่องส่งยุคเฟสแสงลดลงเนื่องจากปรากฏการณ์ FWM ทำให้สัญญาณคอนจูเกตที่ได้ มีพลังงานน้อยกว่าสัญญาณที่เข้าไปในเครื่องส่งยุคเฟสแสง จึงต้องใส่เครื่องขยายสัญญาณเพิ่มเติมจากเดิม ซึ่งเครื่องขยายสัญญาณนี้ นอกจากจะขยายสัญญาณข้อมูลแล้ว ยังขยายสัญญาณรบกวนอีกด้วย เป็นผลทำให้ค่าของ OSNR ของระบบลดลง ในหัวข้อนี้ จะทำการศึกษาว่าการวางเครื่องส่งยุคเฟสแสงจะทำให้ค่า OSNR เปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

5.2.1 การคำนวณหาค่า OSNR ของระบบ

OSNR คือ อัตราส่วนของสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณรบกวน ดังสมการที่ (5.1)

$$OSNR = \frac{P_{in}}{2n_{sp}(G-1) \cdot hf \cdot \Delta f} \quad (5.1)$$

เมื่อ	P_{in}	คือ กำลังของสัญญาณเข้า (power input)
	n_{sp}	คือ spontaneous emission factor
	G	คือ อัตราขยายของตัวขยายสัญญาณ (amplifier gain)
	hf	คือ ค่าคงที่ของ Plank (Plank's constant) มีค่าเท่ากับ 6.62×10^{-34}
	Δf	คือ แบนด์วิดท์ของการวัด (bandwidth of measurement) มีค่าเท่ากับ 12.5 GHz

แต่ในการศึกษาครั้งนี้ เราจะพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่าง OSNR ของโครงข่ายที่วางเครื่องส่งยุคเฟสแสง และโครงข่ายที่ไม่ได้วางเครื่องส่งยุคเฟสแสง ดังสมการที่ (5.2)

$$\frac{OSNR_{new}}{OSNR_{old}} = 10 \log \frac{(G_{link} - n)}{(G_{link} - n) + n(G_{OPC} - 1)} \quad (5.2)$$

เมื่อ	G_{link}	คือ อัตราขยายทั้งหมดของเครื่องขยายสัญญาณที่ต้องใช้ในการส่งข้อมูล (dB)
	G_{OPC}	คือ อัตราขยายของเครื่องขยายสัญญาณที่นำมาชดเชยสัญญาณที่ลดลงจากเครื่องส่งยุคเฟสแสง
	n	คือ จำนวนเครื่องส่งยุคเฟสแสง

เราสามารถหาค่าอัตราขยายสัญญาณก่อนเข้าเครื่องส่งยุคเฟสแสงโดยคำนวณจากสมการที่ (5.3)

$$G = \alpha \times L \quad (5.3)$$

เมื่อ	G	คือ อัตราขยายสัญญาณ (dB)
	α	คือ attenuation coefficient มีค่าเท่ากับ 0.275 dB/km [41]
	L	คือ ระยะทาง (km)

5.2.2 ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 1 จากโครงข่ายตัวอย่างแบบแพร่และเลือกสัญญาณในบทที่ 3

1. หากำลังขยายของทุกทราฟฟิก เราจะหาค่าอัตราขยายก่อนเข้าเครื่องส่งยุคเฟสแอสได้จากสมการที่ (5.3) เช่น กำลังขยายจากสถานีที่ 1 ไปยังสถานีที่ 2 มีค่าเท่ากับ

$$G = 0.275 \times 4.95 = 1.36 \text{ dB}$$

ตารางที่ 5.4 แสดงกำลังขยายทุกทราฟฟิก โดยจะพิจารณาเฉพาะโครงข่ายที่ลดขนาดมาแล้ว

2. คำนวณหาอัตราส่วน OSNR จากสมการที่ (5.2) แทนค่า G_{OPC} เท่ากับ 15.3 dB [26][36][54] และนำค่าจากตารางที่ 5.4 ไปคำนวณ อัตราส่วนระหว่าง OSNR ของโครงข่ายที่วางเครื่องส่งยุคเฟสแอสและโครงข่ายที่ไม่ได้วางเครื่องส่งยุคเฟสแอส เช่น

อัตราส่วน OSNR ของทราฟฟิกระหว่างสถานีที่ 1 ไปยังสถานีที่ 5 คือ

$$\frac{OSNR_{new}}{OSNR_{old}} = 10 \log \frac{(27.23 - 1)}{(27.23 - 1) + (1)(15.3 - 1)} \text{ dB}$$

$$\frac{OSNR_{new}}{OSNR_{old}} = -1.890 \text{ dB}$$

ตารางที่ 5.5 แสดงอัตราส่วนระหว่าง OSNR ของโครงข่ายที่วางเครื่องส่งยุคเฟสแอสและโครงข่ายที่ไม่ได้วางเครื่องส่งยุคเฟสแอส ในโครงข่ายแบบแพร่และเลือกสัญญาณ ของทุกทราฟฟิก

ตารางที่ 5.4 กำลังขยายทั้งหมดในการส่งข้อมูลและจำนวนเครื่องส่งยุคเฟสแอสที่ใช้

สถานีที่ 1	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	สถานีที่ 4	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]
สถานีที่ 2	4.95	100	1.36	0	สถานีที่ 1	43.32	875	11.91	0
สถานีที่ 3	43.32	875	11.91	0	สถานีที่ 2	43.32	875	11.91	0
สถานีที่ 4	43.32	875	11.91	0	สถานีที่ 3	7.43	150	2.04	0
สถานีที่ 5	99.01	2000	27.23	1	สถานีที่ 5	102.72	2075	28.25	1
สถานีที่ 6	99.01	2000	27.23	1	สถานีที่ 6	102.72	2075	28.25	1
สถานีที่ 2	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	สถานีที่ 5	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]
สถานีที่ 1	4.95	100	1.36	0	สถานีที่ 1	99.01	2000	27.23	1
สถานีที่ 3	43.32	875	11.91	0	สถานีที่ 2	99.01	2000	27.23	1
สถานีที่ 4	43.32	875	11.91	0	สถานีที่ 3	102.72	2075	28.25	1
สถานีที่ 5	99.01	2000	27.23	1	สถานีที่ 4	102.72	2075	28.25	1
สถานีที่ 6	99.01	2000	27.23	1	สถานีที่ 6	9.90	200	2.72	0
สถานีที่ 3	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	สถานีที่ 6	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]
สถานีที่ 1	43.32	875	11.91	0	สถานีที่ 1	99.01	2000	27.23	1
สถานีที่ 2	43.32	875	11.91	0	สถานีที่ 2	99.01	2000	27.23	1
สถานีที่ 4	7.43	150	2.04	0	สถานีที่ 3	102.72	2075	28.25	1
สถานีที่ 5	102.72	2075	28.25	1	สถานีที่ 4	102.72	2075	28.25	1
สถานีที่ 6	102.72	2075	28.25	1	สถานีที่ 5	9.90	200	2.72	0

ตารางที่ 5.5 อัตราส่วนระหว่าง OSNR ของโครงข่ายที่วางเครื่องส่งยุคเฟสแสงและโครงข่ายที่ไม่ได้วางเครื่องส่งยุคเฟสแสง ในโครงข่ายแบบแพร่และเลือกสัญญาณ

สถานีที่ 1	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	สถานีที่ 4	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
สถานีที่ 2	4.95	100	1.36	0	0.000	สถานีที่ 1	43.32	875	11.91	0	0.000
สถานีที่ 3	43.32	875	11.91	0	0.000	สถานีที่ 2	43.32	875	11.91	0	0.000
สถานีที่ 4	43.32	875	11.91	0	0.000	สถานีที่ 3	7.43	150	2.04	0	0.000
สถานีที่ 5	99.01	2000	27.23	1	-1.890	สถานีที่ 5	102.72	2075	28.25	1	-1.832
สถานีที่ 6	99.01	2000	27.23	1	-1.890	สถานีที่ 6	102.72	2075	28.25	1	-1.832
สถานีที่ 2	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	สถานีที่ 5	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
สถานีที่ 1	4.95	100	1.36	0	0.000	สถานีที่ 1	99.01	2000	27.23	1	-1.890
สถานีที่ 3	43.32	875	11.91	0	0.000	สถานีที่ 2	99.01	2000	27.23	1	-1.890
สถานีที่ 4	43.32	875	11.91	0	0.000	สถานีที่ 3	102.72	2075	28.25	1	-1.832
สถานีที่ 5	99.01	2000	27.23	1	-1.890	สถานีที่ 4	102.72	2075	28.25	1	-1.832
สถานีที่ 6	99.01	2000	27.23	1	-1.890	สถานีที่ 6	9.90	200	2.72	0	0.000
สถานีที่ 3	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	สถานีที่ 6	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
สถานีที่ 1	43.32	875	11.91	0	0.000	สถานีที่ 1	99.01	2000	27.23	1	-1.890
สถานีที่ 2	43.32	875	11.91	0	0.000	สถานีที่ 2	99.01	2000	27.23	1	-1.890
สถานีที่ 4	7.43	150	2.04	0	0.000	สถานีที่ 3	102.72	2075	28.25	1	-1.832
สถานีที่ 5	102.72	2075	28.25	1	-1.832	สถานีที่ 4	102.72	2075	28.25	1	-1.832
สถานีที่ 6	102.72	2075	28.25	1	-1.832	สถานีที่ 5	9.90	200	2.72	0	0.000

จากตารางที่ 5.5 อัตราส่วน OSNR ที่มีค่ามากที่สุดเท่ากับ -1.890 dB จะเห็นได้ว่า การใช้เครื่องส่งยุค
เฟสแสงเข้าไปในโครงข่าย จะทำให้ OSNR ของระบบมีค่าลดลง

ต่อไป จะลองหาค่าอัตราส่วน OSNR ของโครงข่ายแบบเมช รวมทั้งกรณีข่ายเชื่อมโยงเกิดความ
เสียหายไม่เกิน 1 ข่ายเชื่อมโยงด้วย

ตัวอย่างที่ 2 โครงข่าย OPEN

ตารางที่ 5.6 แสดงอัตราส่วนระหว่าง OSNR ของโครงข่ายที่วางเครื่องส่งยุคเฟสแสงและโครงข่ายที่
ไม่ได้วางเครื่องส่งยุคเฟสแสง ในโครงข่าย OPEN จากการคำนวณตามสมการที่(5.2) และ (5.3)

จากตารางที่ 5.6 อัตราส่วน OSNR ที่มากที่สุดได้เท่ากับ -5.863 dB

ตัวอย่างที่ 3 โครงข่าย ERNet

ตารางที่ 5.7 แสดงอัตราส่วนระหว่าง OSNR ของโครงข่ายที่วางเครื่องส่งยุคเฟสแสงและโครงข่ายที่ไม่ได้วาง
เครื่องส่งยุคเฟสแสง ในโครงข่าย ERNet

ตารางที่ 5.6 อัตราส่วนระหว่าง OSNR ของโครงข่ายที่วางเครื่องส่งยุคเฟสแสงและโครงข่ายที่ไม่ได้วางเครื่องส่งยุคเฟสแสง ในโครงข่าย OPEN

1	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	2	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
2	25.10	123	6.90	0	0.000	1	25.10	123	6.90	0	0.000
3	31.63	155	8.70	0	0.000	3	30.82	151	8.47	0	0.000
4	56.73	278	15.60	0	0.000	4	55.92	274	15.38	0	0.000
5	93.06	456	25.59	0	0.000	5	92.24	452	25.37	0	0.000
6	97.55	478	26.83	1	-1.914	6	96.73	474	26.60	1	-1.927
7	70.20	344	19.31	1	-2.507	7	69.39	340	19.08	1	-2.531
8	76.33	374	20.99	1	-2.344	8	75.51	370	20.77	1	-2.364
9	117.96	578	32.44	1	-1.628	9	117.14	574	32.21	1	-1.638
10	145.51	713	40.02	1	-1.356	10	144.69	709	39.79	1	-1.363
3	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	4	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	31.63	155	8.70	0	0.000	1	56.73	278	15.60	0	0.000
2	30.82	151	8.47	0	0.000	2	55.92	274	15.38	0	0.000
4	25.10	123	6.90	0	0.000	3	25.10	123	6.90	0	0.000
5	61.43	301	16.89	0	0.000	5	36.33	178	9.99	0	0.000
6	65.92	323	18.13	1	-2.636	6	91.02	446	25.03	1	-2.028
7	38.57	189	10.61	1	-3.959	7	63.67	312	17.51	1	-2.709
8	44.69	219	12.29	1	-3.554	8	69.80	342	19.19	1	-2.519
9	86.33	423	23.74	1	-2.119	9	111.43	546	30.64	1	-1.710
10	113.88	558	31.32	1	-1.678	10	138.98	681	38.22	1	-1.412
5	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	6	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	93.06	456	25.59	0	0.000	1	97.55	478	26.83	1	-1.914
2	92.24	452	25.37	0	0.000	2	96.73	474	26.60	1	-1.927
3	61.43	301	16.89	0	0.000	3	65.92	323	18.13	1	-2.636
4	36.33	178	9.99	0	0.000	4	91.02	446	25.03	1	-2.028
6	62.86	308	17.29	1	-2.737	5	62.86	308	17.29	1	-2.737
7	100.00	490	27.50	1	-1.874	7	69.59	341	19.14	1	-2.525
8	106.12	520	29.18	1	-1.782	8	63.47	311	17.45	1	-2.716
9	84.69	415	23.29	1	-2.152	9	21.84	107	6.01	1	-5.863
10	110.82	543	30.47	1	-1.718	10	47.96	235	13.19	0	0.000
7	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	8	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	70.20	344	19.31	1	-2.507	1	76.33	374	20.99	1	-2.344
2	69.39	340	19.08	1	-2.531	2	75.51	370	20.77	1	-2.364
3	38.57	189	10.61	1	-3.959	3	44.69	219	12.29	1	-3.554
4	63.67	312	17.51	1	-2.709	4	69.80	342	19.19	1	-2.519
5	100.00	490	27.50	1	-1.874	5	106.12	520	29.18	1	-1.782
6	69.59	341	19.14	0	0.000	6	63.47	311	17.45	0	0.000
8	6.12	30	1.68	0	0.000	7	6.12	30	1.68	0	0.000
9	47.76	234	13.13	0	0.000	9	41.63	204	11.45	0	0.000
10	85.71	420	23.57	0	0.000	10	79.59	390	21.89	0	0.000
9	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	10	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	117.96	578	32.44	1	-1.628	1	145.51	713	40.02	1	-1.356
2	117.14	574	32.21	1	-1.638	2	144.69	709	39.79	1	-1.363
3	86.33	423	23.74	1	-2.119	3	113.88	558	31.32	1	-1.678
4	111.43	546	30.64	1	-1.710	4	138.98	681	38.22	1	-1.412
5	84.69	415	23.29	1	-2.152	5	110.82	543	30.47	1	-1.718
6	21.84	107	6.01	0	0.000	6	47.96	235	13.19	0	0.000
7	47.76	234	13.13	0	0.000	7	85.71	420	23.57	0	0.000
8	41.63	204	11.45	0	0.000	8	79.59	390	21.89	0	0.000
10	37.96	186	10.44	0	0.000	9	37.96	186	10.44	0	0.000

ตารางที่ 5.7 อัตราส่วนระหว่าง OSNR ของโครงข่ายที่วางเครื่องส่งยุคเฟสแสงและโครงข่ายที่ไม่ได้วางเครื่องส่งยุคเฟสแสง
ในโครงข่าย ERNet

(ก) โหนดที่ 1 - 4

โหนด 1	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด 2	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
2	27.98	336	7.69	0	0.000	1	27.98	336	7.69	0	0.000
3	33.97	408	9.34	0	0.000	3	51.96	624	14.29	0	0.000
4	59.95	720	16.49	0	0.000	4	67.94	816	18.68	0	0.000
5	89.93	1080	24.73	1	-2.048	5	97.92	1176	26.93	1	-1.908
6	46.96	564	12.91	0	0.000	6	38.97	468	10.72	0	0.000
7	74.94	900	20.61	1	-2.379	7	82.93	996	22.81	1	-2.190
8	88.93	1068	24.45	1	-2.067	8	96.92	1164	26.65	1	-1.924
9	103.91	1248	28.58	1	-1.814	9	111.91	1344	30.77	1	-1.703
10	76.94	924	21.16	1	-2.328	10	68.94	828	18.96	1	-2.544
11	107.91	1296	29.68	1	-1.757	11	99.92	1200	27.48	1	-1.875
12	118.90	1428	32.70	1	-1.617	12	110.91	1332	30.50	1	-1.717
13	129.89	1560	35.72	1	-1.498	13	121.90	1464	33.52	1	-1.583
14	108.91	1308	29.95	1	-1.743	14	100.92	1212	27.75	1	-1.860
15	121.90	1464	33.52	1	-1.583	15	113.91	1368	31.32	1	-1.678
โหนด 3	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด 4	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	33.97	408	9.34	0	0.000	1	59.95	720	16.49	0	0.000
2	51.96	624	14.29	0	0.000	2	67.94	816	18.68	0	0.000
4	41.97	504	11.54	0	0.000	3	41.97	504	11.54	0	0.000
5	71.94	864	19.78	1	-2.458	5	29.98	360	8.24	1	-4.734
6	12.99	156	3.57	0	0.000	6	28.98	348	7.97	0	0.000
7	56.95	684	15.66	1	-2.956	7	14.99	180	4.12	1	-7.467
8	70.94	852	19.51	1	-2.486	8	28.98	348	7.97	1	-4.846
9	85.93	1032	23.63	1	-2.127	9	43.96	528	12.09	1	-3.597
10	42.96	516	11.82	1	-3.659	10	35.97	432	9.89	1	-4.163
11	73.94	888	20.33	1	-2.405	11	58.95	708	16.21	1	-2.878
12	84.93	1020	23.36	1	-2.148	12	77.94	936	21.43	1	-2.304
13	95.92	1152	26.38	1	-1.941	13	88.93	1068	24.45	1	-2.067
14	74.94	900	20.61	1	-2.379	14	67.94	816	18.68	1	-2.573
15	87.93	1056	24.18	1	-2.087	15	72.94	876	20.06	1	-2.431

(ข) โหนดที่ 5 - 10

โหนด 5	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด 6	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	89.93	1080	24.73	1	-2.048	1	46.96	564	12.91	0	0.000
2	97.92	1176	26.93	1	-1.908	2	38.97	468	10.72	0	0.000
3	71.94	864	19.78	1	-2.458	3	12.99	156	3.57	0	0.000
4	29.98	360	8.24	1	-4.734	4	28.98	348	7.97	0	0.000
6	58.95	708	16.21	1	-2.878	5	58.95	708	16.21	1	-2.878
7	44.96	540	12.36	2	-5.751	7	43.96	528	12.09	1	-3.597
8	46.96	564	12.91	0	0.000	8	57.95	696	15.94	1	-2.917
9	31.97	384	8.79	0	0.000	9	72.94	876	20.06	1	-2.431
10	65.95	792	18.13	2	-4.429	10	29.98	360	8.24	1	-4.734
11	46.96	564	12.91	0	0.000	11	60.95	732	16.76	1	-2.804
12	107.91	1296	29.68	2	-3.082	12	71.94	864	19.78	1	-2.458
13	108.91	1308	29.95	1	-1.743	13	82.93	996	22.81	1	-2.190
14	87.93	1056	24.18	1	-2.087	14	61.95	744	17.04	1	-2.769
15	60.95	732	16.76	0	0.000	15	74.94	900	20.61	1	-2.379
โหนด 7	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด 8	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	74.94	900	20.61	1	-2.379	1	88.93	1068	24.45	1	-2.067
2	82.93	996	22.81	1	-2.190	2	96.92	1164	26.65	1	-1.924
3	56.95	684	15.66	1	-2.956	3	70.94	852	19.51	1	-2.486
4	14.99	180	4.12	1	-7.467	4	28.98	348	7.97	1	-4.846
5	44.96	540	12.36	2	-5.751	5	46.96	564	12.91	0	0.000
6	43.96	528	12.09	1	-3.597	6	57.95	696	15.94	1	-2.917
8	13.99	168	3.85	0	0.000	7	13.99	168	3.85	0	0.000
9	28.98	348	7.97	0	0.000	9	14.99	180	4.12	0	0.000
10	20.98	252	5.77	0	0.000	10	34.97	420	9.62	0	0.000
11	43.96	528	12.09	0	0.000	11	29.98	360	8.24	0	0.000
12	62.95	756	17.31	0	0.000	12	76.94	924	21.16	0	0.000
13	73.94	888	20.33	0	0.000	13	87.93	1056	24.18	0	0.000
14	52.96	636	14.56	0	0.000	14	66.94	804	18.41	0	0.000
15	57.95	696	15.94	0	0.000	15	43.96	528	12.09	0	0.000
โหนด 9	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด 10	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	103.91	1248	28.58	1	-1.814	1	76.94	924	21.16	1	-2.328
2	111.91	1344	30.77	1	-1.703	2	68.94	828	18.96	1	-2.544
3	85.93	1032	23.63	1	-2.127	3	42.96	516	11.82	1	-3.659
4	43.96	528	12.09	1	-3.597	4	35.97	432	9.89	1	-4.163
5	31.97	384	8.79	0	0.000	5	65.95	792	18.13	2	-4.429
6	72.94	876	20.06	1	-2.431	6	29.98	360	8.24	1	-4.734
7	28.98	348	7.97	0	0.000	7	20.98	252	5.77	0	0.000
8	14.99	180	4.12	0	0.000	8	34.97	420	9.62	0	0.000
10	45.96	552	12.64	0	0.000	9	45.96	552	12.64	0	0.000
11	14.99	180	4.12	0	0.000	11	30.97	372	8.52	0	0.000
12	87.93	1056	24.18	0	0.000	12	41.97	504	11.54	0	0.000
13	76.94	924	21.16	1	-2.328	13	52.96	636	14.56	0	0.000
14	55.95	672	15.39	1	-2.997	14	31.97	384	8.79	0	0.000
15	28.98	348	7.97	0	0.000	15	44.96	540	12.36	0	0.000

(ค) โหนดที่ 11 - 15

โหนด 11	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด 12	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	107.91	1296	29.68	1	-1.757	1	118.90	1428	32.70	1	-1.617
2	99.92	1200	27.48	1	-1.875	2	110.91	1332	30.50	1	-1.717
3	73.94	888	20.33	1	-2.405	3	84.93	1020	23.36	1	-2.148
4	58.95	708	16.21	1	-2.878	4	77.94	936	21.43	1	-2.304
5	46.96	564	12.91	0	0.000	5	107.91	1296	29.68	2	-3.082
6	60.95	732	16.76	1	-2.804	6	71.94	864	19.78	1	-2.458
7	43.96	528	12.09	0	0.000	7	62.95	756	17.31	0	0.000
8	29.98	360	8.24	0	0.000	8	76.94	924	21.16	0	0.000
9	14.99	180	4.12	0	0.000	9	87.93	1056	24.18	0	0.000
10	30.97	372	8.52	0	0.000	10	41.97	504	11.54	0	0.000
12	72.94	876	20.06	0	0.000	11	72.94	876	20.06	0	0.000
13	61.95	744	17.04	1	-2.769	13	39.97	480	10.99	0	0.000
14	40.97	492	11.27	1	-3.789	14	60.95	732	16.76	0	0.000
15	13.99	168	3.85	0	0.000	15	86.93	1044	23.91	0	0.000
โหนด 13	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด 14	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	129.89	1560	35.72	1	-1.498	1	108.91	1308	29.95	1	-1.743
2	121.90	1464	33.52	1	-1.583	2	100.92	1212	27.75	1	-1.860
3	95.92	1152	26.38	1	-1.941	3	74.94	900	20.61	1	-2.379
4	88.93	1068	24.45	1	-2.067	4	67.94	816	18.68	1	-2.573
5	108.91	1308	29.95	1	-1.743	5	87.93	1056	24.18	1	-2.087
6	82.93	996	22.81	1	-2.190	6	61.95	744	17.04	1	-2.769
7	73.94	888	20.33	0	0.000	7	52.96	636	14.56	0	0.000
8	87.93	1056	24.18	0	0.000	8	66.94	804	18.41	0	0.000
9	76.94	924	21.16	1	-2.328	9	55.95	672	15.39	1	-2.997
10	52.96	636	14.56	0	0.000	10	31.97	384	8.79	0	0.000
11	61.95	744	17.04	1	-2.769	11	40.97	492	11.27	1	-3.789
12	39.97	480	10.99	0	0.000	12	60.95	732	16.76	0	0.000
14	20.98	252	5.77	0	0.000	13	20.98	252	5.77	0	0.000
15	47.96	576	13.19	1	-3.371	15	26.98	324	7.42	1	-5.089
โหนด 15	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR						
1	121.90	1464	33.52	1	-1.583						
2	113.91	1368	31.32	1	-1.678						
3	87.93	1056	24.18	1	-2.087						
4	72.94	876	20.06	1	-2.431						
5	60.95	732	16.76	0	0.000						
6	74.94	900	20.61	1	-2.379						
7	57.95	696	15.94	0	0.000						
8	43.96	528	12.09	0	0.000						
9	28.98	348	7.97	0	0.000						
10	44.96	540	12.36	0	0.000						
11	13.99	168	3.85	0	0.000						
12	86.93	1044	23.91	0	0.000						
13	47.96	576	13.19	1	-3.371						
14	26.98	324	7.42	1	-5.089						

จากตารางที่ 5.7 จะหาค่าเฉลี่ยของอัตราส่วน OSNR โดยแยกตามจำนวนเครื่องส่งยุคเฟสแสงที่ใช้
ดังนี้

เครื่องส่งยุคเฟสแสง 1 ตัว อัตราส่วน OSNR ที่มากที่สุดเท่ากับ -7.467 dB

เครื่องส่งยุคเฟสแสง 2 ตัว อัตราส่วน OSNR ที่มากที่สุดเท่ากับ -5.751 dB

ตัวอย่างที่ 4 โครงข่าย NARNet ตารางที่ 5.8 แสดงอัตราส่วนระหว่าง OSNR ของโครงข่ายที่วางเครื่องส่งยุคเฟส
แสง และโครงข่ายที่ไม่ได้วางเครื่องส่งยุคเฟสแสง ในโครงข่าย NARNet

ตารางที่ 5.8 อัตราส่วนระหว่าง OSNR ของโครงข่ายที่วางเครื่องส่งยุคเฟสแสง และโครงข่ายที่ไม่ได้วางเครื่องส่งยุค
เฟสแสง ในโครงข่าย NARNet

(ก) โหนดที่ 1 - 4

โหนด 1	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด 2	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
2	26.67	420	7.33	0	0.000	1	26.67	420	7.33	0	0.000
3	34.29	540	9.43	0	0.000	3	59.68	940	16.41	0	0.000
4	49.52	780	13.62	0	0.000	4	22.86	360	6.29	0	0.000
5	57.14	900	15.71	0	0.000	5	74.92	1180	20.60	0	0.000
6	68.57	1080	18.86	0	0.000	6	63.49	1000	17.46	0	0.000
7	58.41	920	16.06	0	0.000	7	31.75	500	8.73	0	0.000
8	69.84	1100	19.21	1	-2.517	8	43.17	680	11.87	1	-3.646
9	81.27	1280	22.35	0	0.000	9	66.03	1040	18.16	1	-2.633
10	83.81	1320	23.05	1	-2.171	10	101.59	1600	27.94	1	-1.849
11	92.70	1460	25.49	0	0.000	11	87.62	1380	24.10	0	0.000
12	102.86	1620	28.29	1	-1.830	12	99.05	1560	27.24	1	-1.889
13	111.75	1760	30.73	1	-1.706	13	124.44	1960	34.22	1	-1.555
14	104.13	1640	28.63	1	-1.811	14	77.46	1220	21.30	1	-2.316
15	130.79	2060	35.97	1	-1.489	15	114.29	1800	31.43	1	-1.673
16	138.41	2180	38.06	1	-1.417	16	134.60	2120	37.02	1	-1.452
17	128.25	2020	35.27	1	-1.515	17	101.59	1600	27.94	1	-1.849
โหนด 3	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด 4	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	34.29	540	9.43	0	0.000	1	49.52	780	13.62	0	0.000
2	59.68	940	16.41	0	0.000	2	22.86	360	6.29	0	0.000
4	36.83	580	10.13	0	0.000	3	36.83	580	10.13	0	0.000
5	22.86	360	6.29	0	0.000	5	52.06	820	14.32	0	0.000
6	34.29	540	9.43	0	0.000	6	40.63	640	11.17	0	0.000
7	45.71	720	12.57	0	0.000	7	8.89	140	2.44	0	0.000
8	57.14	900	15.71	1	-2.949	8	20.32	320	5.59	1	-6.146
9	46.98	740	12.92	0	0.000	9	43.17	680	11.87	1	-3.646
10	49.52	780	13.62	1	-3.290	10	78.73	1240	21.65	1	-2.285
11	58.41	920	16.06	0	0.000	11	64.76	1020	17.81	0	0.000
12	68.57	1080	18.86	1	-2.555	12	76.19	1200	20.95	1	-2.347
13	77.46	1220	21.30	1	-2.316	13	101.59	1600	27.94	1	-1.849
14	91.43	1440	25.14	1	-2.020	14	54.60	860	15.02	1	-3.054
15	96.51	1520	26.54	1	-1.931	15	91.43	1440	25.14	1	-2.020
16	104.13	1640	28.63	1	-1.811	16	111.75	1760	30.73	1	-1.706
17	115.56	1820	31.78	1	-1.657	17	78.73	1240	21.65	1	-2.285

(ข) โหนดที่ 5 - 10

โหนด 5	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด 6	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	57.14	900	15.71	0	0.000	1	68.57	1080	18.86	0	0.000
2	74.92	1180	20.60	0	0.000	2	63.49	1000	17.46	0	0.000
3	22.86	360	6.29	0	0.000	3	34.29	540	9.43	0	0.000
4	52.06	820	14.32	0	0.000	4	40.63	640	11.17	0	0.000
6	11.43	180	3.14	0	0.000	5	11.43	180	3.14	0	0.000
7	58.41	920	16.06	1	-2.899	7	46.98	740	12.92	1	-3.423
8	46.98	740	12.92	0	0.000	8	35.56	560	9.78	0	0.000
9	24.13	380	6.63	0	0.000	9	12.70	200	3.49	0	0.000
10	26.67	420	7.33	1	-5.129	10	38.10	600	10.48	1	-3.995
11	35.56	560	9.78	0	0.000	11	24.13	380	6.63	0	0.000
12	45.71	720	12.57	1	-3.494	12	35.56	560	9.78	1	-4.198
13	54.60	860	15.02	1	-3.054	13	60.95	960	16.76	1	-2.804
14	81.27	1280	22.35	1	-2.227	14	69.84	1100	19.21	0	0.000
15	73.65	1160	20.25	1	-2.412	15	63.49	1000	17.46	1	-2.716
16	81.27	1280	22.35	1	-2.227	16	83.81	1320	23.05	1	-2.171
17	97.78	1540	26.89	0	0.000	17	87.62	1380	24.10	1	-2.093
โหนด 7	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด 8	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	58.41	920	16.06	0	0.000	1	69.84	1100	19.21	1	-2.517
2	31.75	500	8.73	0	0.000	2	43.17	680	11.87	1	-3.646
3	45.71	720	12.57	0	0.000	3	57.14	900	15.71	1	-2.949
4	8.89	140	2.44	0	0.000	4	20.32	320	5.59	1	-6.146
5	58.41	920	16.06	1	-2.899	5	46.98	740	12.92	0	0.000
6	46.98	740	12.92	1	-3.423	6	35.56	560	9.78	0	0.000
8	11.43	180	3.14	1	-8.850	7	11.43	180	3.14	1	-8.850
9	34.29	540	9.43	1	-4.308	9	22.86	360	6.29	0	0.000
10	85.08	1340	23.40	2	-3.686	10	73.65	1160	20.25	1	-2.412
11	71.11	1120	19.56	1	-2.481	11	59.68	940	16.41	0	0.000
12	82.54	1300	22.70	2	-3.769	12	71.11	1120	19.56	1	-2.481
13	107.94	1700	29.68	2	-3.082	13	96.51	1520	26.54	1	-1.931
14	45.71	720	12.57	1	-3.494	14	34.29	540	9.43	0	0.000
15	82.54	1300	22.70	1	-2.199	15	71.11	1120	19.56	0	0.000
16	102.86	1620	28.29	1	-1.830	16	91.43	1440	25.14	0	0.000
17	69.84	1100	19.21	1	-2.517	17	58.41	920	16.06	0	0.000
โหนด 9	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด 10	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	81.27	1280	22.35	0	0.000	1	83.81	1320	23.05	1	-2.171
2	66.03	1040	18.16	1	-2.633	2	101.59	1600	27.94	1	-1.849
3	46.98	740	12.92	0	0.000	3	49.52	780	13.62	1	-3.290
4	43.17	680	11.87	1	-3.646	4	78.73	1240	21.65	1	-2.285
5	24.13	380	6.63	0	0.000	5	26.67	420	7.33	1	-5.129
6	12.70	200	3.49	0	0.000	6	38.10	600	10.48	1	-3.995
7	34.29	540	9.43	1	-4.308	7	85.08	1340	23.40	2	-3.686
8	22.86	360	6.29	0	0.000	8	73.65	1160	20.25	1	-2.412
10	50.79	800	13.97	1	-3.228	9	50.79	800	13.97	1	-3.228
11	36.83	580	10.13	0	0.000	11	30.48	480	8.38	1	-4.680
12	48.25	760	13.27	1	-3.356	12	19.05	300	5.24	0	0.000
13	73.65	1160	20.25	1	-2.412	13	27.94	440	7.68	0	0.000
14	57.14	900	15.71	0	0.000	14	83.81	1320	23.05	0	0.000
15	76.19	1200	20.95	1	-2.347	15	46.98	740	12.92	0	0.000
16	96.51	1520	26.54	1	-1.931	16	54.60	860	15.02	0	0.000
17	81.27	1280	22.35	0	0.000	17	71.11	1120	19.56	0	0.000

(ค) โหนดที่ 11 - 16

โหนด 11	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด 12	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	92.70	1460	25.49	0	0.000	1	102.86	1620	28.29	1	-1.830
2	87.62	1380	24.10	0	0.000	2	99.05	1560	27.24	1	-1.889
3	58.41	920	16.06	0	0.000	3	68.57	1080	18.86	1	-2.555
4	64.76	1020	17.81	0	0.000	4	76.19	1200	20.95	1	-2.347
5	35.56	560	9.78	0	0.000	5	45.71	720	12.57	1	-3.494
6	24.13	380	6.63	0	0.000	6	35.56	560	9.78	1	-4.198
7	71.11	1120	19.56	1	-2.481	7	82.54	1300	22.70	2	-3.769
8	59.68	940	16.41	0	0.000	8	71.11	1120	19.56	1	-2.481
9	36.83	580	10.13	0	0.000	9	48.25	760	13.27	1	-3.356
10	30.48	480	8.38	1	-4.680	10	19.05	300	5.24	0	0.000
12	11.43	180	3.14	1	-8.850	11	11.43	180	3.14	1	-8.850
13	36.83	580	10.13	1	-4.094	13	25.40	400	6.98	0	0.000
14	76.19	1200	20.95	1	-2.347	14	64.76	1020	17.81	0	0.000
15	39.37	620	10.83	1	-3.901	15	27.94	440	7.68	0	0.000
16	59.68	940	16.41	1	-2.851	16	48.25	760	13.27	0	0.000
17	63.49	1000	17.46	1	-2.716	17	52.06	820	14.32	0	0.000
โหนด 13	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด 14	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	111.75	1760	30.73	1	-1.706	1	104.13	1640	28.63	1	-1.811
2	124.44	1960	34.22	1	-1.555	2	77.46	1220	21.30	1	-2.316
3	77.46	1220	21.30	1	-2.316	3	91.43	1440	25.14	1	-2.020
4	101.59	1600	27.94	1	-1.849	4	54.60	860	15.02	1	-3.054
5	54.60	860	15.02	1	-3.054	5	81.27	1280	22.35	0	0.000
6	60.95	960	16.76	1	-2.804	6	69.84	1100	19.21	0	0.000
7	107.94	1700	29.68	2	-3.082	7	45.71	720	12.57	1	-3.494
8	96.51	1520	26.54	1	-1.931	8	34.29	540	9.43	0	0.000
9	73.65	1160	20.25	1	-2.412	9	57.14	900	15.71	0	0.000
10	27.94	440	7.68	0	0.000	10	83.81	1320	23.05	0	0.000
11	36.83	580	10.13	1	-4.094	11	76.19	1200	20.95	1	-2.347
12	25.40	400	6.98	0	0.000	12	64.76	1020	17.81	0	0.000
14	83.81	1320	23.05	0	0.000	13	83.81	1320	23.05	0	0.000
15	46.98	740	12.92	0	0.000	15	36.83	580	10.13	0	0.000
16	26.67	420	7.33	0	0.000	16	57.14	900	15.71	0	0.000
17	71.11	1120	19.56	0	0.000	17	24.13	380	6.63	0	0.000
โหนด 15	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด 16	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	130.79	2060	35.97	1	-1.489	1	138.41	2180	38.06	1	-1.417
2	114.29	1800	31.43	1	-1.673	2	134.60	2120	37.02	1	-1.452
3	96.51	1520	26.54	1	-1.931	3	104.13	1640	28.63	1	-1.811
4	91.43	1440	25.14	1	-2.020	4	111.75	1760	30.73	1	-1.706
5	73.65	1160	20.25	1	-2.412	5	81.27	1280	22.35	1	-2.227
6	63.49	1000	17.46	1	-2.716	6	83.81	1320	23.05	1	-2.171
7	82.54	1300	22.70	1	-2.199	7	102.86	1620	28.29	1	-1.830
8	71.11	1120	19.56	0	0.000	8	91.43	1440	25.14	0	0.000
9	76.19	1200	20.95	1	-2.347	9	96.51	1520	26.54	1	-1.931
10	46.98	740	12.92	0	0.000	10	54.60	860	15.02	0	0.000
11	39.37	620	10.83	1	-3.901	11	59.68	940	16.41	1	-2.851
12	27.94	440	7.68	0	0.000	12	48.25	760	13.27	0	0.000
13	46.98	740	12.92	0	0.000	13	26.67	420	7.33	0	0.000
14	36.83	580	10.13	0	0.000	14	57.14	900	15.71	0	0.000
16	20.32	320	5.59	0	0.000	15	20.32	320	5.59	0	0.000
17	24.13	380	6.63	0	0.000	17	44.44	700	12.22	0	0.000

(ง) โหนดที่ 17

โหนด 17	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G [dB]	OPC (ตัว)	อัตราส่วน OSNR
1	128.25	2020	35.27	1	-1.515
2	101.59	1600	27.94	1	-1.849
3	115.56	1820	31.78	1	-1.657
4	78.73	1240	21.65	1	-2.285
5	97.78	1540	26.89	1	-1.910
6	87.62	1380	24.10	1	-2.093
7	69.84	1100	19.21	1	-2.517
8	58.41	920	16.06	0	0.000
9	81.27	1280	22.35	0	0.000
10	71.11	1120	19.56	0	0.000
11	63.49	1000	17.46	1	-2.716
12	52.06	820	14.32	0	0.000
13	71.11	1120	19.56	0	0.000
14	24.13	380	6.63	0	0.000
15	24.13	380	6.63	0	0.000
16	44.44	700	12.22	0	0.000

จากตารางที่ 5.8 จะหาค่าเฉลี่ยของอัตราส่วน OSNR โดยแยกตามจำนวนเครื่องส่งยุคเฟสแสงที่ใช้
ดังนี้

เครื่องส่งยุคเฟสแสง 1 ตัว อัตราส่วน OSNR ที่มากที่สุดเท่ากับ -8.850 dB

เครื่องส่งยุคเฟสแสง 2 ตัว อัตราส่วน OSNR ที่มากที่สุดเท่ากับ -3.769 dB

ตัวอย่างที่ 5 โครงข่าย NARNet กรณีเกิดความเสียหายไม่เกิน 1 ข่ายเชื่อมโยง ตารางที่ 5.9 แสดงอัตราส่วน
ระหว่าง OSNR ของโครงข่ายที่วางเครื่องส่งยุคเฟสแสง และโครงข่ายที่ไม่ได้วางเครื่องส่งยุคเฟสแสง ในโครงข่าย
NARNet ที่มีการกู้คืนสัญญาณ

ตารางที่ 5.9 อัตราส่วนระหว่าง OSNR ของโครงข่ายที่วางเครื่องส่งยุคเฟสแสง และโครงข่ายที่ไม่ได้วางเครื่องส่งยุคเฟสแสง ในโครงข่าย NARNet ที่มีการกู้คืนสัญญาณ

(ก) โหนดที่ 1 – 6

โหนด	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
2	51.88	1480	14.27	0	0.000	1	51.88	1480	14.27	0	0.000
3	47.67	1360	13.11	1	-3.386	3	33.65	960	9.25	1	-4.366
4	39.26	1120	10.80	0	0.000	4	53.98	1540	14.84	1	-3.081
5	56.08	1600	15.42	1	-2.992	5	46.27	1320	12.72	1	-3.463
6	49.77	1420	13.69	1	-3.278	6	52.58	1500	14.46	1	-3.144
7	63.79	1820	17.54	0	0.000	7	78.51	2240	21.59	1	-2.290
8	57.48	1640	15.81	0	0.000	8	72.20	2060	19.86	1	-2.451
9	51.17	1460	14.07	1	-3.209	9	59.59	1700	16.39	1	-2.854
10	79.92	2280	21.98	1	-2.257	10	114.97	3280	31.62	1	-1.665
11	99.54	2840	27.37	1	-1.881	11	77.81	2220	21.40	1	-2.307
12	69.40	1980	19.09	1	-2.530	12	71.50	2040	19.66	1	-2.470
13	83.42	2380	22.94	1	-2.179	13	76.41	2180	21.01	2	-3.987
14	92.53	2640	25.45	0	0.000	14	107.26	3060	29.50	1	-1.766
15	77.81	2220	21.40	1	-2.307	15	86.93	2480	23.90	1	-2.107
16	96.04	2740	26.41	1	-1.939	16	91.13	2600	25.06	2	-3.503
17	85.52	2440	23.52	0	0.000	17	100.25	2860	27.57	1	-1.870
โหนด 3	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด 4	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	47.67	1360	13.11	1	-3.386	1	39.26	1120	10.80	0	0.000
2	33.65	960	9.25	1	-4.366	2	53.98	1540	14.84	1	-3.081
4	41.36	1180	11.37	0	0.000	3	41.36	1180	11.37	0	0.000
5	49.07	1400	13.49	0	0.000	5	32.95	940	9.06	0	0.000
6	42.76	1220	11.76	0	0.000	6	30.84	880	8.48	0	0.000
7	44.87	1280	12.34	0	0.000	7	48.37	1380	13.30	0	0.000
8	38.56	1100	10.60	0	0.000	8	42.06	1200	11.57	0	0.000
9	44.16	1260	12.15	0	0.000	9	29.44	840	8.10	0	0.000
10	72.91	2080	20.05	0	0.000	10	60.99	1740	16.77	0	0.000
11	92.53	2640	25.45	0	0.000	11	64.49	1840	17.74	0	0.000
12	62.39	1780	17.16	0	0.000	12	58.18	1660	16.00	0	0.000
13	76.41	2180	21.01	0	0.000	13	63.09	1800	17.35	1	-2.729
14	73.61	2100	20.24	0	0.000	14	77.81	2220	21.40	0	0.000
15	70.80	2020	19.47	0	0.000	15	57.48	1640	15.81	0	0.000
16	82.02	2340	22.56	0	0.000	16	70.80	2020	19.47	0	0.000
17	66.60	1900	18.31	0	0.000	17	70.80	2020	19.47	0	0.000
โหนด 5	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด 6	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	56.08	1600	15.42	1	-2.992	1	49.77	1420	13.69	1	-3.278
2	46.27	1320	12.72	1	-3.463	2	52.58	1500	14.46	1	-3.144
3	49.07	1400	13.49	0	0.000	3	42.76	1220	11.76	0	0.000
4	32.95	940	9.06	0	0.000	4	30.84	880	8.48	0	0.000
6	44.87	1280	12.34	0	0.000	5	44.87	1280	12.34	0	0.000
7	37.85	1080	10.41	0	0.000	7	27.34	780	7.52	0	0.000
8	44.16	1260	12.15	0	0.000	8	33.65	960	9.25	0	0.000
9	56.78	1620	15.62	0	0.000	9	46.27	1320	12.72	0	0.000
10	36.45	1040	10.02	0	0.000	10	30.14	860	8.29	0	0.000
11	31.55	900	8.68	0	0.000	11	37.85	1080	10.41	0	0.000
12	25.94	740	7.13	0	0.000	12	31.55	900	8.68	0	0.000
13	39.96	1140	10.99	0	0.000	13	36.45	1040	10.02	1	-4.124
14	60.99	1740	16.77	0	0.000	14	55.38	1580	15.23	0	0.000
15	65.19	1860	17.93	0	0.000	15	58.89	1680	16.19	0	0.000
16	52.58	1500	14.46	0	0.000	16	51.17	1460	14.07	0	0.000
17	58.18	1660	16.00	0	0.000	17	51.88	1480	14.27	0	0.000

(ข) โหนดที่ 7 - 12

โหนด	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	63.79	1820	17.54	0	0.000	1	57.48	1640	15.81	0	0.000
2	78.51	2240	21.59	1	-2.290	2	72.20	2060	19.86	1	-2.451
3	44.87	1280	12.34	0	0.000	3	38.56	1100	10.60	0	0.000
4	48.37	1380	13.30	0	0.000	4	42.06	1200	11.57	0	0.000
5	37.85	1080	10.41	0	0.000	5	44.16	1260	12.15	0	0.000
6	27.34	780	7.52	0	0.000	6	33.65	960	9.25	0	0.000
7	46.97	1340	12.92	0	0.000	7	46.97	1340	12.92	0	0.000
8	34.35	980	9.45	0	0.000	8	40.66	1160	11.18	0	0.000
9	57.48	1640	15.81	0	0.000	9	63.79	1820	17.54	0	0.000
10	65.19	1860	17.93	0	0.000	10	60.99	1740	16.77	0	0.000
11	58.89	1680	16.19	0	0.000	11	54.68	1560	15.04	0	0.000
12	63.79	1820	17.54	1	-2.705	12	65.19	1860	17.93	0	0.000
13	82.72	2360	22.75	0	0.000	13	75.01	2140	20.63	0	0.000
14	62.39	1780	17.16	0	0.000	14	54.68	1560	15.04	0	0.000
15	75.71	2160	20.82	0	0.000	15	68.00	1940	18.70	0	0.000
16	70.80	2020	19.47	0	0.000	16	68.00	1940	18.70	0	0.000
17	70.80	2020	19.47	0	0.000	17	68.00	1940	18.70	0	0.000
โหนด 9	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด 10	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	51.17	1460	14.07	1	-3.209	1	79.92	2280	21.98	1	-2.257
2	59.59	1700	16.39	1	-2.854	2	114.97	3280	31.62	1	-1.665
3	44.16	1260	12.15	0	0.000	3	72.91	2080	20.05	0	0.000
4	29.44	840	8.10	0	0.000	4	60.99	1740	16.77	0	0.000
5	56.78	1620	15.62	0	0.000	5	36.45	1040	10.02	0	0.000
6	46.27	1320	12.72	0	0.000	6	30.14	860	8.29	0	0.000
7	34.35	980	9.45	0	0.000	7	57.48	1640	15.81	0	0.000
8	40.66	1160	11.18	0	0.000	8	63.79	1820	17.54	0	0.000
9	77.81	2220	21.40	0	0.000	9	76.41	2180	21.01	0	0.000
10	73.61	2100	20.24	0	0.000	10	34.35	980	9.45	0	0.000
11	67.30	1920	18.51	0	0.000	11	29.44	840	8.10	1	-4.793
12	77.81	2220	21.40	0	0.000	12	24.54	700	6.75	0	0.000
13	62.39	1780	17.16	0	0.000	13	59.59	1700	16.39	0	0.000
14	51.88	1480	14.27	0	0.000	14	41.36	1180	11.37	1	-3.763
15	97.44	2780	26.80	1	-1.915	15	37.15	1060	10.22	0	0.000
16	55.38	1580	15.23	0	0.000	16	72.91	2080	20.05	0	0.000
17	55.38	1580	15.23	0	0.000	17	72.91	2080	20.05	0	0.000
โหนด 11	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด 12	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	99.54	2840	27.37	1	-1.881	1	69.40	1980	19.09	1	-2.530
2	77.81	2220	21.40	1	-2.307	2	71.50	2040	19.66	1	-2.470
3	92.53	2640	25.45	0	0.000	3	62.39	1780	17.16	0	0.000
4	64.49	1840	17.74	0	0.000	4	58.18	1660	16.00	0	0.000
5	31.55	900	8.68	0	0.000	5	25.94	740	7.13	0	0.000
6	37.85	1080	10.41	0	0.000	6	31.55	900	8.68	0	0.000
7	65.19	1860	17.93	0	0.000	7	58.89	1680	16.19	0	0.000
8	60.99	1740	16.77	0	0.000	8	54.68	1560	15.04	0	0.000
9	73.61	2100	20.24	0	0.000	9	67.30	1920	18.51	0	0.000
10	34.35	980	9.45	0	0.000	10	29.44	840	8.10	1	-4.793
11	44.87	1280	12.34	0	0.000	11	44.87	1280	12.34	0	0.000
12	49.77	1420	13.69	1	-3.278	12	25.94	740	7.13	1	-5.227
13	51.88	1480	14.27	0	0.000	13	58.18	1660	16.00	0	0.000
14	72.20	2060	19.86	0	0.000	14	39.96	1140	10.99	0	0.000
15	64.49	1840	17.74	1	-2.682	15	28.74	820	7.90	0	0.000
16	65.19	1860	17.93	0	0.000	16	71.50	2040	19.66	0	0.000
17	65.19	1860	17.93	0	0.000	17	71.50	2040	19.66	0	0.000

(ค) โหนดที่ 13 - 17

โหนด 13	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด 14	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	83.42	2380	22.94	1	-2.179	1	92.53	2640	25.45	0	0.000
2	76.41	2180	21.01	2	-3.987	2	107.26	3060	29.50	1	-1.766
3	76.41	2180	21.01	0	0.000	3	73.61	2100	20.24	0	0.000
4	63.09	1800	17.35	1	-2.729	4	77.81	2220	21.40	0	0.000
5	39.96	1140	10.99	0	0.000	5	60.99	1740	16.77	0	0.000
6	36.45	1040	10.02	1	-4.124	6	55.38	1580	15.23	0	0.000
7	63.79	1820	17.54	1	-2.705	7	82.72	2360	22.75	0	0.000
8	65.19	1860	17.93	0	0.000	8	75.01	2140	20.63	0	0.000
9	77.81	2220	21.40	0	0.000	9	62.39	1780	17.16	0	0.000
10	24.54	700	6.75	0	0.000	10	59.59	1700	16.39	0	0.000
11	49.77	1420	13.69	1	-3.278	11	51.88	1480	14.27	0	0.000
12	25.94	740	7.13	1	-5.227	12	58.18	1660	16.00	0	0.000
14	56.08	1600	15.42	0	0.000	13	56.08	1600	15.42	0	0.000
15	29.44	840	8.10	0	0.000	15	26.64	760	7.33	0	0.000
16	40.66	1160	11.18	0	0.000	16	70.80	2020	19.47	0	0.000
17	63.09	1800	17.35	0	0.000	17	33.65	960	9.25	0	0.000
โหนด 15	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR	โหนด 16	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR
1	77.81	2220	21.40	1	-2.307	1	96.04	2740	26.41	1	-1.939
2	86.93	2480	23.90	1	-2.107	2	91.13	2600	25.06	2	-3.503
3	70.80	2020	19.47	0	0.000	3	82.02	2340	22.56	0	0.000
4	57.48	1640	15.81	0	0.000	4	70.80	2020	19.47	0	0.000
5	65.19	1860	17.93	0	0.000	5	52.58	1500	14.46	0	0.000
6	58.89	1680	16.19	0	0.000	6	51.17	1460	14.07	1	-3.209
7	62.39	1780	17.16	0	0.000	7	75.71	2160	20.82	0	0.000
8	54.68	1560	15.04	0	0.000	8	68.00	1940	18.70	0	0.000
9	51.88	1480	14.27	0	0.000	9	97.44	2780	26.80	1	-1.915
10	41.36	1180	11.37	1	-3.763	10	37.15	1060	10.22	0	0.000
11	72.20	2060	19.86	0	0.000	11	64.49	1840	17.74	1	-2.682
12	39.96	1140	10.99	0	0.000	12	28.74	820	7.90	0	0.000
13	29.44	840	8.10	0	0.000	13	40.66	1160	11.18	0	0.000
14	26.64	760	7.33	0	0.000	14	70.80	2020	19.47	0	0.000
16	44.16	1260	12.15	0	0.000	15	44.16	1260	12.15	0	0.000
17	33.65	960	9.25	0	0.000	17	77.81	2220	21.40	0	0.000
โหนด 17	ระยะทาง/R [km]	ระยะทาง [km]	G[dB]	OPC [ตัว]	อัตราส่วน OSNR						
1	85.52	2440	23.52	0	0.000						
2	100.25	2860	27.57	1	-1.870						
3	66.60	1900	18.31	0	0.000						
4	70.80	2020	19.47	0	0.000						
5	58.18	1660	16.00	0	0.000						
6	51.88	1480	14.27	0	0.000						
7	70.80	2020	19.47	0	0.000						
8	68.00	1940	18.70	0	0.000						
9	55.38	1580	15.23	0	0.000						
10	72.91	2080	20.05	0	0.000						
11	65.19	1860	17.93	0	0.000						
12	71.50	2040	19.66	0	0.000						
13	63.09	1800	17.35	0	0.000						
14	33.65	960	9.25	0	0.000						
15	33.65	960	9.25	0	0.000						
16	77.81	2220	21.40	0	0.000						

จากตารางที่ 5.7 จะหาค่าเฉลี่ยของอัตราส่วน OSNR โดยแยกตามจำนวนเครื่องส่งยุคเฟสแสงที่ใช้
ดังนี้

เครื่องส่งยุคเฟสแสง 1 ตัว อัตราส่วน OSNR ที่มากที่สุดเท่ากับ -5.227 dB

เครื่องส่งยุคเฟสแสง 2 ตัว อัตราส่วน OSNR ที่มากที่สุดเท่ากับ -3.987 dB