บทที่ 3

การวางเครื่องสังยุคเฟสแสงในโครงข่ายแบบแพร่และเลือกสัญญาณ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีวางเครื่องสังยุคเฟสแสงลงบนโครงข่ายแบบแพร่และเลือกสัญญาณ(broadcast-and-select network) ระเบียบขั้นตอนวิธีในการคิด และผลการทดสอบว่าสามารถใช้ในโครงข่ายได้

ระเบียบขั้นตอนวิธีที่ใช้คำนวณนั้น จะคำนวณหาเส้นทางของทราฟฟิกของทุกๆสถานี จากนั้นหาค่า R ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่บอกว่าควรจะวางเครื่องสังยุคเฟสแสงแบบไหนระหว่างระเบียบขั้นตอนวิธีที่คิดค้นขึ้นมากับการวางที่จุดกึ่งกลางข่ายเชื่อมโยงดังรูปที่ 3.1 การวางที่จุดกึ่งกลางข่ายเชื่อมโยงนั้น ไม่ว่าจะข่ายยาวแค่ไหนก็สามารถวิ่งผ่านได้หมดซึ่งเปรียบได้กับการส่งที่ระยะทางไกล[26][42]-[55] ส่วนค่า R มีแนวคิดมาจากที่ว่าต้องการให้ทุกๆ ทราฟฟิกสามารถซ้อนทับช่วงในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงได้ ซึ่งโครงข่ายต่างๆนั้น จะมีทั้งกรณีที่สามารถซ้อนทับช่วงในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงได้ทั้งหมดและซ้อนทับไม่ได้ทั้งหมด จากนั้นจึงหาช่วงในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงในแต่ละทราฟฟิกโดยที่เครื่องสังยุคเฟสแสงนั้นจะต้องสามารถชดเชยผลของดิสเพอร์ชันในทุกๆ ความยาวคลื่นได้ สุดท้ายกำหนดช่วงในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสง โดยให้นำช่วงในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงที่คำนวณได้ในแต่ละทราฟฟิกมาหาช่วงที่มีการซ้อนทับ และทดสอบผลจากการวางเครื่องสงยุคเฟสแสง รายละเอียดจะกล่าวถึงต่อไป

3.1 ระเบียบขั้นตอนวิธีในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสง

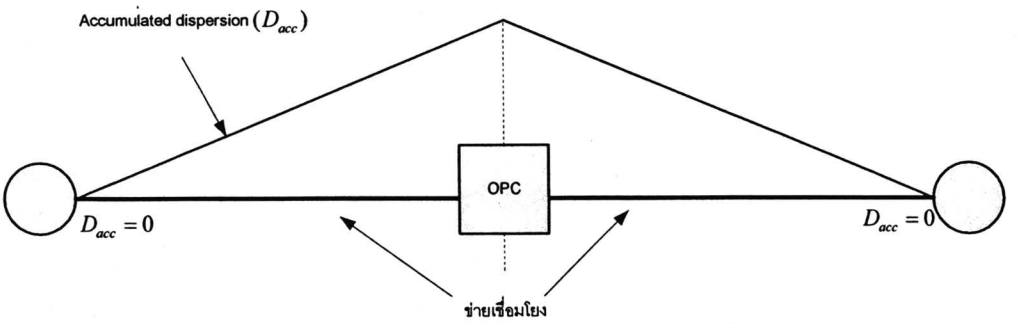
1. คำนวณหาระยะทางของทราฟฟิก รวมทั้งข่ายเชื่อมโยงที่ทราฟฟิกของทุกๆ สถานี

2. ประเมินโครงข่ายว่า สามารถวางเครื่องสังยุคเฟสแสงให้เหมาะที่สุด โดยใช้พารามิเตอร์ R เป็นตัวตัดสิน ซึ่งค่า R จะเป็นตัวตัดสินว่า ควรจะใช้การวางเครื่องสังยุคเฟสแสงแบบไหนระหว่างการวางตรงกลางข่ายเชื่อมโยงหรือวางโดยใช้ระเบียบขั้นตอนวิธีนี้

3. คำนวณหาช่วงในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงในแต่ละทราฟฟิก

4. นำช่วงที่จะวางเครื่องสังยุคเฟสแสงในข้อ 3. มาคิดหาตำแหน่งที่เหมาะสมในแต่ละข่ายเชื่อมโยง โดยใช้วิธีซ้อนทับ (intersection) ของทุกๆทราฟฟิก

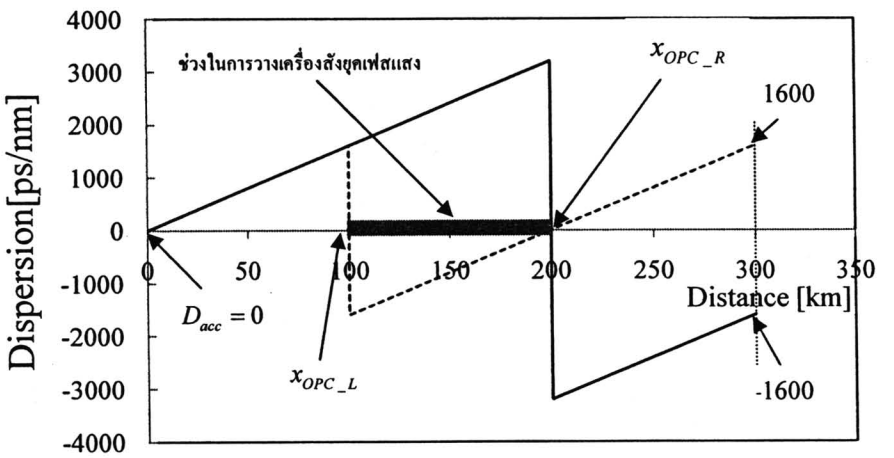
5. ตรวจสอบผลของการวางเครื่องสังยุคเฟสแสง



รูปที่ 3.1 การวางเครื่องสังยุคเฟสแสงตรงกลางข่ายเชื่อมโยง

3.2 การคำนวณหาตำแหน่งในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสง

3.2.1 การคำนวณหาตำแหน่งที่จะวางเครื่องสังยุคเฟสแสง ดูรูปที่ 3.2 ประกอบ



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการคิดหาตำแหน่งวางเครื่องสังยุคเฟสแสง

จากรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าดิสเพอร์ชันสะสมจนถึงจุดหนึ่งแล้วจะเกิดการเปลี่ยนเครื่องหมายจากบวกเป็นลบ (ที่ตำแหน่ง 200 km) แล้วก็เริ่มสะสมใหม่ สมการคือ

$$D_{acc} = D_{\lambda} L, \tag{3.1}$$

$$-1600 \le D_{acc} \le 1600, \tag{3.2}$$

โดยที่ D_{acc} คือ ค่าดิสเพอร์ชันสะสม (ps/nm) ซึ่งมีค่าไม่เกินขีดจำกัดตามสมการที่ (3.3)

D_{λ} คือ ค่าดิสเพอร์ชันของแต่ละสถานี (ps/km/nm)

L คือ ระยะทาง (km)

ตำแหน่งของเครื่องสังยุคเฟสแสงที่จะวางนั้น แบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

1. กรณีที่ปลายทางนั้นสะสมจนถึงค่าขีดจำกัดที่ 1600 ps/nm ในรูปคือเส้นประ
2. กรณีที่ปลายทางนั้นสะสมจนถึงค่าขีดจำกัดที่ -1600 ps/nm ในรูปคือเส้นทึบ

โดยให้เริ่มต้นส่งที่ค่าดิสเพอร์ชันสะสมเท่ากับศูนย์

สมมติให้

LP คือระยะทางของทราฟฟิกจากต้นทางไปยังปลายทาง หน่วยเป็นกิโลเมตร (km)

x_{OPC_L} คือตำแหน่งขอบเขตด้านซ้ายที่สามารถวางเครื่องสังยุคเฟสแสงได้ตามกรณีที่ 1

x_{OPC_R} คือตำแหน่งขอบเขตด้านขวาที่สามารถวางเครื่องสังยุคเฟสแสงได้ตามกรณีที่ 2

$$1600 = -D_\lambda x_{OPC_L} + D_\lambda (LP - x_{OPC_L}),$$

$$x_{OPC_L} = \frac{D_\lambda LP - 1600}{2D_\lambda}, \tag{3.3}$$

ในทำนองเดียวกัน

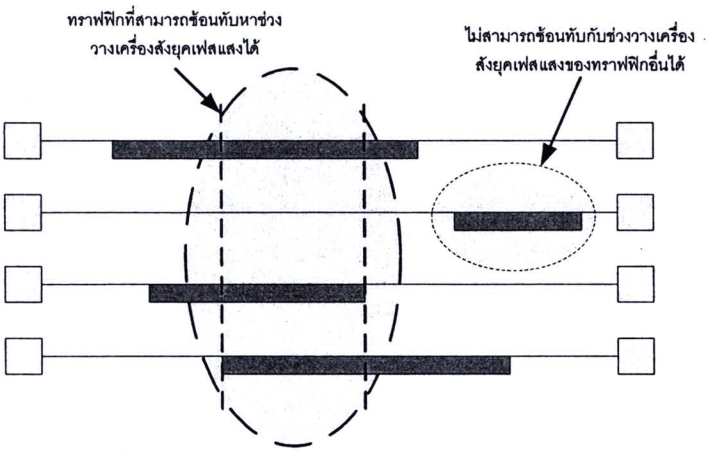
$$x_{OPC_R} = \frac{D_\lambda LP + 1600}{2D_\lambda}, \tag{3.4}$$

และจะได้ช่วงในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงคือ $x_{OPC_L} - x_{OPC_R}$

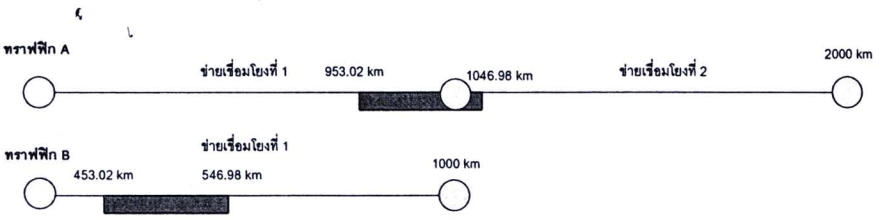
3.2.2 เงื่อนไขที่ใช้ตัดสินโครงข่ายว่าสามารถใช้ระเบียบขั้นตอนวิธีนี้ได้หรือไม่

เรียกพารามิเตอร์ตัวนี้ว่า R คือตัวที่บอกว่าควรจะวางเครื่องสังยุคเฟสแสงแบบไหนระหว่างระเบียบขั้นตอนวิธีที่คิดค้นขึ้นมากับการวางที่ตรงกลางข่ายเชื่อมโยง เป็นตัวที่ไว้ลดขนาดทราฟฟิกของโครงข่ายเดิมให้สามารถวางเครื่องสังยุคเฟสแสงได้

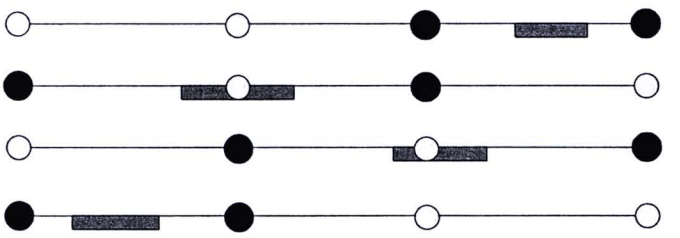
ที่มาของการเกิดค่า R เนื่องมาจากการหาตำแหน่งที่จะซ้อนทับหาช่วงในการเครื่องสังยุคเฟสแสง ไม่สามารถกระทำได้ เพราะว่าจะมีบางทราฟฟิกที่ช่วงในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสง ไม่สามารถซ้อนทับได้ดังรูปที่ 3.3 แถบแรเงาสีเทาคือช่วงที่สามารถวางเครื่องสังยุคเฟสแสงได้จากสมการ(3.3)และ(3.4)ซึ่งสาเหตุที่เกิดปัญหานี้ เนื่องจากว่าทราฟฟิกมีระยะทางที่แตกต่างกันมากเกินไปดังรูปที่ 3.4 ซึ่งถ้าเราจะวางเครื่องสังยุคเฟสแสงโดยไม่สนใจหลักการซ้อนทับแล้ว อาจจะทำให้การวางเครื่องสังยุคเฟสแสงมีการวางที่ใกล้เกินไป หรือไม่ก็ห่างเกินไป ทำให้เกิดปัญหาดิสเพอร์ชันสะสมเกินขีดจำกัดที่ปลายทางดังรูปที่ 3.5



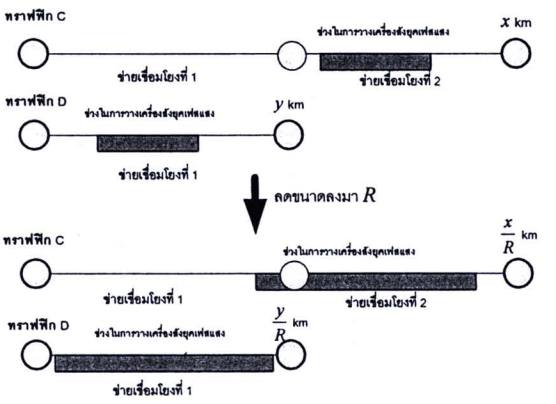
รูปที่ 3.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการซ้อนทับไม่ได้ทุกทราฟฟิก



(ก)

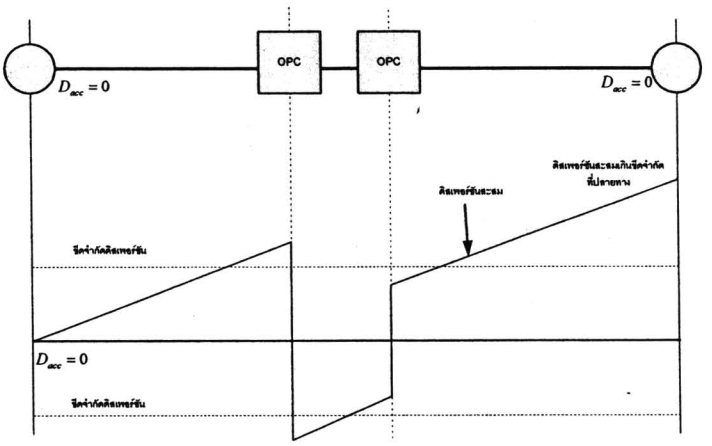


(ข)



(ค)

รูปที่ 3.4 การหาค่า R



รูปที่ 3.5 ปัญหาระยะทางในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงใกล้เกินไป

รูปที่ 3.4 เป็นรูปประกอบการหาค่า R ต่อไปนี้จะยกตัวอย่างการคำนวณเพื่อความเข้าใจมากขึ้น ดังนี้

<u>ตัวอย่าง</u> ทราฟฟิก A มีระยะทาง 2000 km ทราฟฟิก B มีระยะทาง 1000 km จะได้ช่วงในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงของแต่ละทราฟฟิกคือจากการคำนวณโดยใช้สมการที่ (3.3)และ(3.4) โดยสมมิตว่ามีดิสเพอร์ชัน (D_λ)เท่ากับ 17.03 ps/km/nm

ทราฟฟิก A:

$$x_{OPC_L} = \frac{(17.03)(2000) - 1600}{2(17.03)} = 953.02 \text{ km}$$

$$x_{OPC_R} = \frac{(17.03)(2000) + 1600}{2(17.03)} = 1046.98 \text{ km}$$

ทราฟฟิก B:

$$x_{OPC_L} = \frac{(17.03)(1000) - 1600}{2(17.03)} = 453.02 \text{ km}$$

$$x_{OPC_R} = \frac{(17.03)(1000) + 1600}{2(17.03)} = 546.98 \text{ km}$$

ดังนั้น ทราฟฟิก A จะมีช่วงในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงเท่ากับ 953.02 - 1046.98 km

ทราฟฟิก B จะมีช่วงในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงเท่ากับ 453.02 - 546.98 km

รูปที่ 3.4(ก) แสดงตัวอย่างช่วงในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงที่ไม่สามารถทำการซ้อนทับกันได้ จากการคำนวณข้างต้น

จะเห็นได้ว่า การหาช่วงของการซ้อนทับเครื่องสังยุคเฟสแสงนั้น ระยะทางของทราฟฟิกมีผลต่อการหาช่วงในการซ้อนทับเครื่องสังยุคเฟสแสง รูปที่ 3.4(ข)สมมติว่าทราฟฟิกมีทิศทางจากซ้ายไปขวา โดยโนดต้นทาง-ปลายทางจะเป็นสีดำ จะเห็นว่าปัญหาที่เกิดขึ้นทำให้ไม่สามารถซ้อนทับช่วงในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสง(แถบแรเงาสีเทา)ได้ ดังนั้นจึงทำการลดขนาดโครงข่าย (ลดระยะทางของทราฟฟิก)ดังรูปที่ 3.4(ค)จนทำให้ตำแหน่งในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงที่ขอบเขตซ้ายร่นระยะเข้ามาเรื่อยๆ จนกระทั่งเข้ามาในข่ายเชื่อมโยงแรกของทราฟฟิก จึงได้คิดค้นเป็นสมการดังนี้

$$LP_R = \frac{LP}{R}, \tag{3.5}$$

โดยที่ LP นั้นเป็นของทราฟฟิกที่มีระยะทางที่ยาวที่สุดของแต่ละทราฟฟิกที่ประกอบด้วยข่ายเชื่อมโยงที่เริ่มต้นส่งเป็นข่ายเดียวกัน ดังรูป 3.4(ก)

จากสมการ (3.3)

$$x_{OPC_L} = \frac{D_\lambda LP_R - 1600}{2D_\lambda},$$

และ

$$x_{OPC_L} = \frac{x_1}{R}, \tag{3.6}$$

แก้สมการที่ (3.3),(3.5) และ (3.6) จะได้

$$R = \frac{D_\lambda LP - 2D_\lambda x_1}{1600}, \tag{3.7}$$

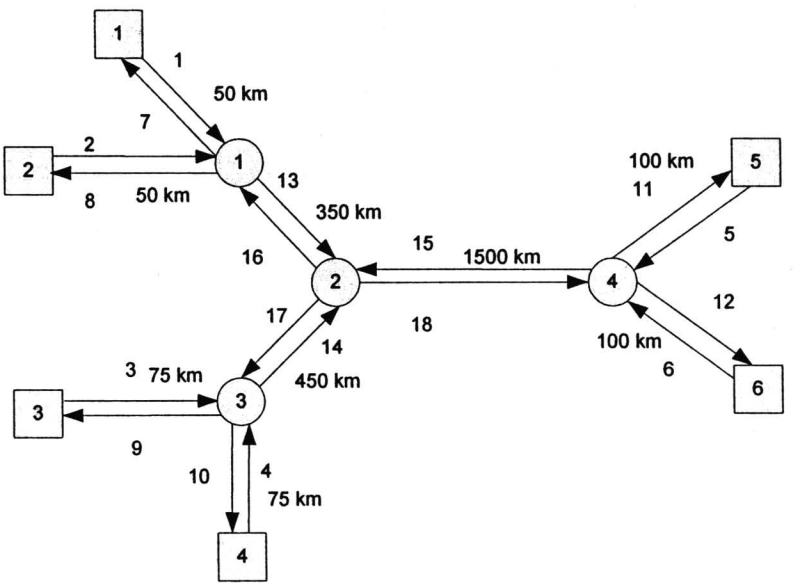
เมื่อ x_1 คือ ความยาวของข่ายเชื่อมโยงแรกที่เริ่มส่ง (ดังรูปที่ 3.4 ก็คือข่ายเชื่อมโยงที่ 1 นั่นเอง)
และ R ต้องไม่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ1 (ถ้าน้อยกว่า 1 แสดงว่าไม่ต้องลดขนาด)และต้องประเมินทั้งโครงข่ายโดยเลือกแต่ละทราฟฟิกที่มีระยะทางมากที่สุดที่ประกอบด้วยข่ายเชื่อมโยงข่ายเดียวกัน เช่นรูปที่ 3.4(ก) จะเลือกทราฟฟิก A ไม่เลือกทราฟฟิก B เพราะทราฟฟิก A มีระยะทางมากกว่าทราฟฟิก B ซึ่งมีข่ายเชื่อมโยงแรกเป็นข่ายเชื่อมโยงที่ 1 เหมือนกัน จากนั้นจะเลือกค่า R ที่สูงที่สุดที่หามาได้จากแต่ละทราฟฟิก

จากสมการที่ (3.5)-(3.7) เป็นการแสดงวิธีหาค่า R ที่สามารถทำให้ลดขนาดโครงข่ายจนกระทั่งทำให้ตำแหน่งในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสง(x_{OPC_L}) อยู่พอดีที่โนดหรือปลายทางของข่ายเชื่อมโยงแรกของทราฟ

ฟิก ดังรูปที่3.4(ค) ถ้าเราลดขนาดโครงข่ายด้วยค่า R น้อยกว่าที่หามาได้ จะทำให้เกิดปัญหาไม่สามารถซ้อนทับได้ทุกทราฟฟิกดังรูปที่ 3.3-3.4 เพื่อความเข้าใจมากขึ้น จะขอยกตัวอย่างประกอบในหัวข้อถัดไป

3.3 ตัวอย่างการคำนวณ

ต่อไปเป็นโครงข่ายตัวอย่างประกอบ



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างโครงข่ายแบบแพร่และเลือกสัญญาณที่นำมาคำนวณ

จากรูปที่ 3.6 จะเห็นได้ว่า โครงข่ายตัวอย่างมีโนดทั้งหมด 4 โนด 6 สถานี และมีข่ายเชื่อมโยงทั้งหมด 18 ข่าย ทิศทางการสื่อสารจะเป็นแบบสองทิศทาง (bi-directional) จะแสดงวิธีหาตำแหน่งเครื่องสังยุคเฟสแสงตามระเบียบวิธีที่กล่าวไว้ข้างต้นดังนี้

1.คำนวณหาระยะทางของทราฟฟิก รวมทั้งข่ายเชื่อมโยงที่ทราฟฟิกของทุก ๆ สถานี จำนวนทราฟฟิกของข้อมูลทั้งหมดคือ $N\times(N-1)$ เมื่อ N คือ จำนวนสถานีทั้งหมด ดังนั้นเราจะได้จำนวนทราฟฟิกทั้งหมด 30 ทราฟฟิก จากต้นทางสถานีไปยังปลายทางสถานี ตารางที่ 3.1 แสดงจำนวนทราฟฟิกและข่ายเชื่อมโยงทั้งหมดในแต่ละทราฟฟิก โดย ค่าตัวแปรที่แสดงตัวแปรในตาราง คือ OPC_L คือขอบเขตด้านซ้ายของตำแหน่งเครื่องสังยุคเฟสแสง, OPC_R คือขอบเขตด้านขวาของตำแหน่งเครื่องสังยุคเฟสแสง ส่วนตัวเลขในช่องข่ายเชื่อมโยงคือหมายเลขของข่ายเชื่อมโยงตามรูปที่ 3.4

ตารางที่ 3.1 แสดงจำนวนทราฟฟิกและระยะทางทั้งหมดในโครงข่ายตัวอย่าง

สถานีที่ 1	ระยะทาง[km]	ข่ายเชื่อมโยง[km]	OPC_L	OPC_R	สถานีที่ 4	ระยะทาง[km]	ข่ายเชื่อมโยง[km]	OPC_L	OPC_R
สถานีที่ 2	100	1,8	2.80	97.20	สถานีที่ 1	875	4,14,16,7	384.11	478.50
สถานีที่ 3	875	1,13,17,9	390.30	484.70	สถานีที่ 2	875	4,14,16,8	384.11	478.50
สถานีที่ 4	875	1,13,17,10	390.30	484.70	สถานีที่ 3	150	4,9	26.74	121.14
สถานีที่ 5	2000	1,13,18,11	952.80	1047.20	สถานีที่ 5	2075	4,14,18,11	975.61	1070.01
สถานีที่ 6	2000	1,13,18,12	952.80	1047.20	สถานีที่ 6	2075	4,14,18,12	975.61	1070.01
สถานีที่ 2	ระยะทาง[km]	ข่ายเชื่อมโยง[km]	OPC_L	OPC_R	สถานีที่ 5	ระยะทาง[km]	ข่ายเชื่อมโยง[km]	OPC_L	OPC_R
สถานีที่ 1	100	2,7	2.57	96.96	สถานีที่ 1	2000	5,15,16,7	933.92	1028.32
สถานีที่ 3	875	2,13,17,9	388.24	482.63	สถานีที่ 2	2000	5,15,16,8	933.92	1028.32
สถานีที่ 4	875	2,13,17,10	388.24	482.63	สถานีที่ 3	2075	5,15,17,9	970.72	1065.11
สถานีที่ 5	2000	2,13,18,11	948.08	1042.48	สถานีที่ 4	2075	5,15,17,10	970.72	1065.11
สถานีที่ 6	2000	2,13,18,12	948.08	1042.48	สถานีที่ 6	200	5,12	50.91	145.31
สถานีที่ 3	ระยะทาง[km]	ข่ายเชื่อมโยง[km]	OPC_L	OPC_R	สถานีที่ 6	ระยะทาง[km]	ข่ายเชื่อมโยง[km]	OPC_L	OPC_R
สถานีที่ 1	875	3,14,16,7	386.17	480.57	สถานีที่ 1	2000	6,15,16,7	929.20	1023.60
สถานีที่ 2	875	3,14,16,8	386.17	480.57	สถานีที่ 2	2000	6,15,16,8	929.20	1023.60
สถานีที่ 4	150	3,10	27.09	121.49	สถานีที่ 3	2075	6,15,17,9	965.82	1060.21
สถานีที่ 5	2075	3,14,18,11	980.51	1074.90	สถานีที่ 4	2075	6,15,17,10	965.82	1060.21
สถานีที่ 6	2075	3,14,18,12	980.51	1074.90	สถานีที่ 5	200	6,11	50.44	144.84

ดังนั้น เราจะได้ค่าดิสเพอร์ชันของแต่ละสถานีจากสมการ

$$D = 16.50 + 0.05(\lambda - 1550.00), \tag{3.8}$$

เมื่อ λ คือค่าความยาวคลื่นที่กำหนดให้แต่ละสถานี ซึ่งได้ทำการกำหนดความยาวคลื่นให้กับแต่ละสถานีดังนี้ สถานีที่ 1 ใช้ความยาวคลื่น 1558.98 nm สถานีที่ 2 ใช้ความยาวคลื่น 1557.36 nm สถานีที่ 3 ใช้ความยาวคลื่น 1555.75 nm สถานีที่ 4 ใช้ความยาวคลื่น 1554.13 nm สถานีที่ 5 ใช้ความยาวคลื่น 1552.52 nm และสถานีที่ 6 ใช้ความยาวคลื่น 1557.36 nm

ดังนั้น จากสถานีที่ 1 ไปยังสถานีที่ 6 เราจะได้ค่าดิสเพอร์ชันของแต่ละสถานีเท่ากับ 16.95 ps/km/nm 16.87 ps/km/nm 16.79 ps/km/nm 16.71 ps/km/nm 16.63 ps/km/nm และ 16.55 ps/km/nm ตามลำดับ

และกำหนดค่าอัตราส่งข้อมูล(data rate)แต่ละช่องสัญญาณเท่ากับ 10 Gb/s และมีค่าขีดจำกัดดิสเพอร์ชัน (dispersion limit) เท่ากับ ± 1600 ps/nm ตารางที่ 3.2 แสดง ความยาวคลื่นและดิสเพอร์ชันของแต่ละสถานี

ตารางที่ 3.2 ความยาวคลื่นและดิสเพอร์ชันของแต่ละสถานี

สถานีที่	ความยาวคลื่น [λ]	ดิสเพอร์ชันของสถานี[ps/km/nm]
1	1558.98 nm	16.95
2	1557.36 nm	16.87
3	1555.75 nm	16.79
4	1554.13 nm	16.71
5	1552.52 nm	16.63
6	1557.36 nm	16.55

2.คำนวณหาตำแหน่งในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงในแต่ละทราฟฟิก จะหาได้จากข้อมูลจากข้อแรก และสมการที่ (3.3)และ(3.4) ในตารางที่ 3.1ได้บอกตำแหน่งที่จะวางเครื่องสังยุคเฟสแสงไว้แล้ว ก็คือ OPC_L และ OPC_R ซึ่งมาจากการคำนวณตามสมการที่ (3.3) และ (3.4)

ตัวอย่างต่อไปนี้ จะแสดงวิธีการหาตำแหน่งวางเครื่องสังยุคเฟสแสงในแต่ละทราฟฟิก

<u>ตัวอย่าง</u> ทราฟฟิกจากสถานีที่ 1 ไปยังสถานีที่ 2 มีระยะทางทั้งหมด 100 km จากตารางที่ 3.1

สถานีที่ 1 มีค่าดิสเพอร์ชัน = 16.95 ps/km/nm

จากสมการที่ (3.3) จะได้ตำแหน่งที่จะวางเครื่องสังยุคเฟสแสงด้านซ้ายคือ

$$x_{OPC_L} = \frac{(16.95)(100) - 1600}{(2)(16.95)} \quad \text{km}$$

$$x_{OPC_L} = 2.80 \quad \text{km}$$

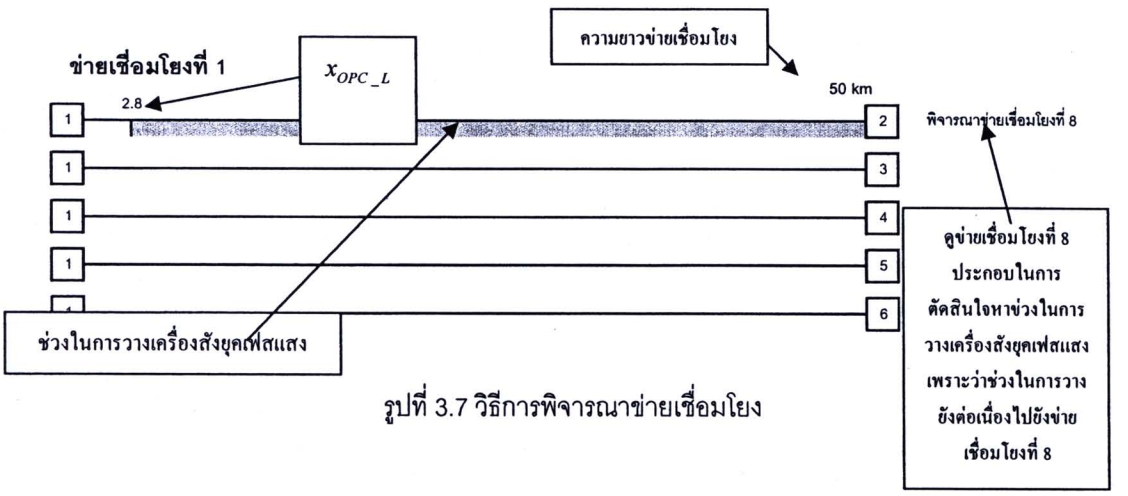
จากสมการที่ (3.4) จะได้ตำแหน่งที่จะวางเครื่องสังยุคเฟสแสงด้านขวาคือ

$$x_{OPC_R} = \frac{(16.95)(100) + 1600}{(2)(16.95)} \quad \text{km}$$

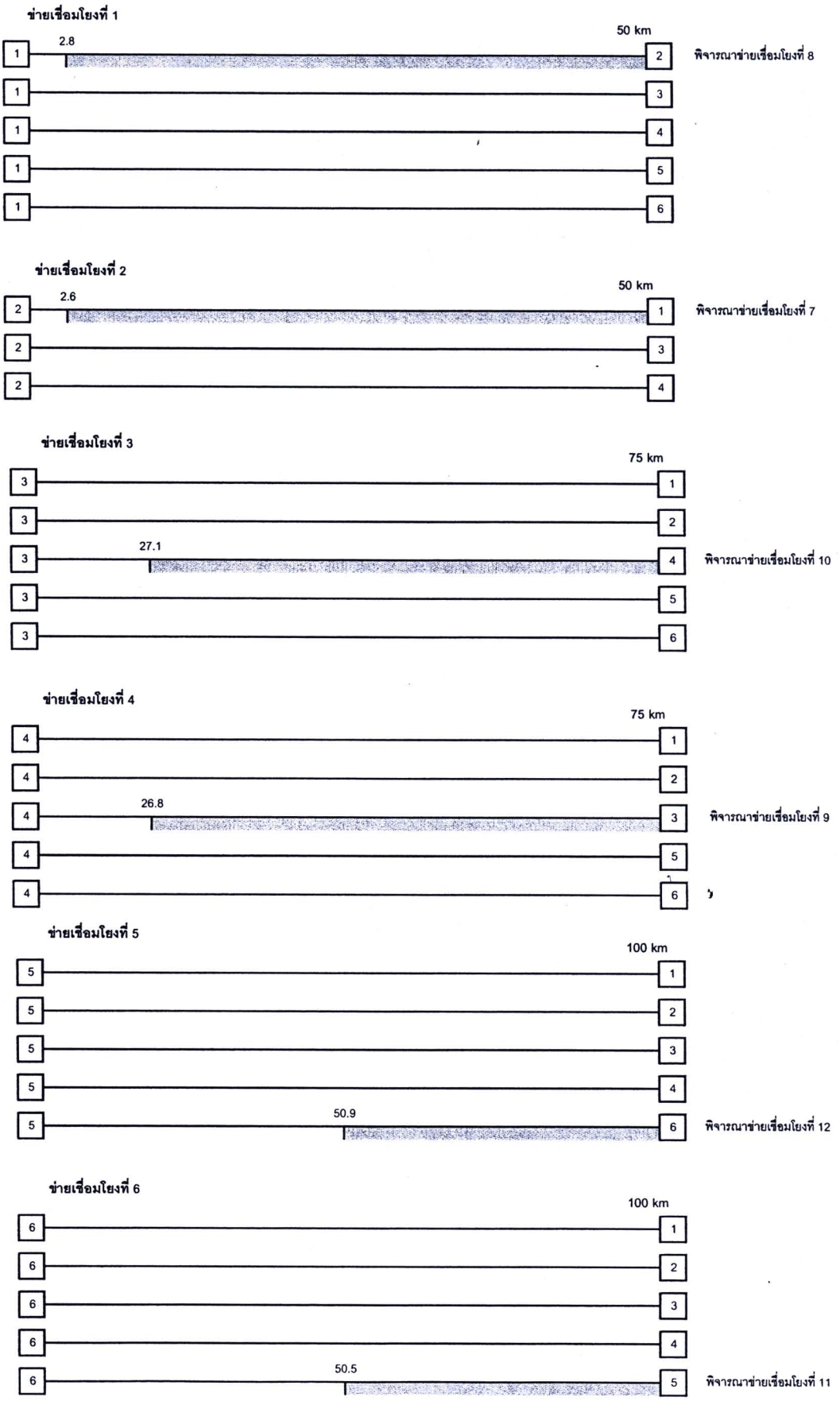
$$x_{OPC_R} = 97.20 \quad \text{km}$$

เพราะฉะนั้น จะได้ช่วงในวางเครื่องสังยุคเฟสแสงคือ 2.80 - 97.20 km

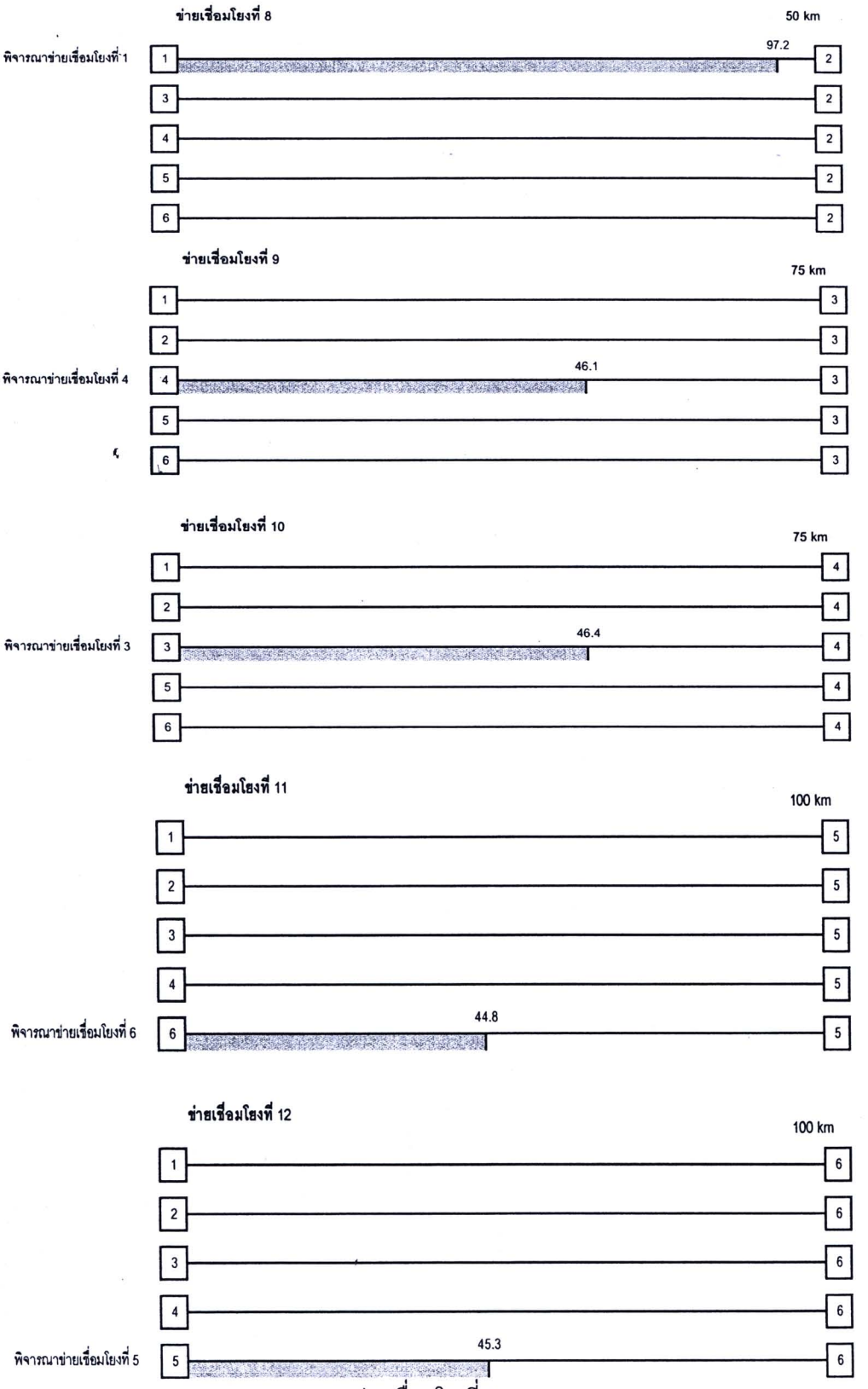
3.นำผลที่ได้จากข้อ 2. มาคิดหาตำแหน่งซ้อนทับ รูปที่ 3.7 แสดงวิธีการพิจารณาช่วงในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงในแต่ละข่ายเชื่อมโยง ซึ่งจะบอกว่าในแต่ละข่ายเชื่อมโยงมีทราฟฟิกอะไรอยู่ในข่ายนั้นๆบ้าง เช่นในรูปที่ 3.7 ข่ายเชื่อมโยงที่ 1 จะมีทราฟฟิกระหว่างโนด 1 ไปโนด 2 โนด1 ไปโนด 3 โนด1 ไปโนด 4 โนด1ไปโนด 5 และโนด 1 ไปโนด 6 เป็นต้น ส่วนรูปที่ 3.8 เป็น ทราฟฟิกและตำแหน่งในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสง



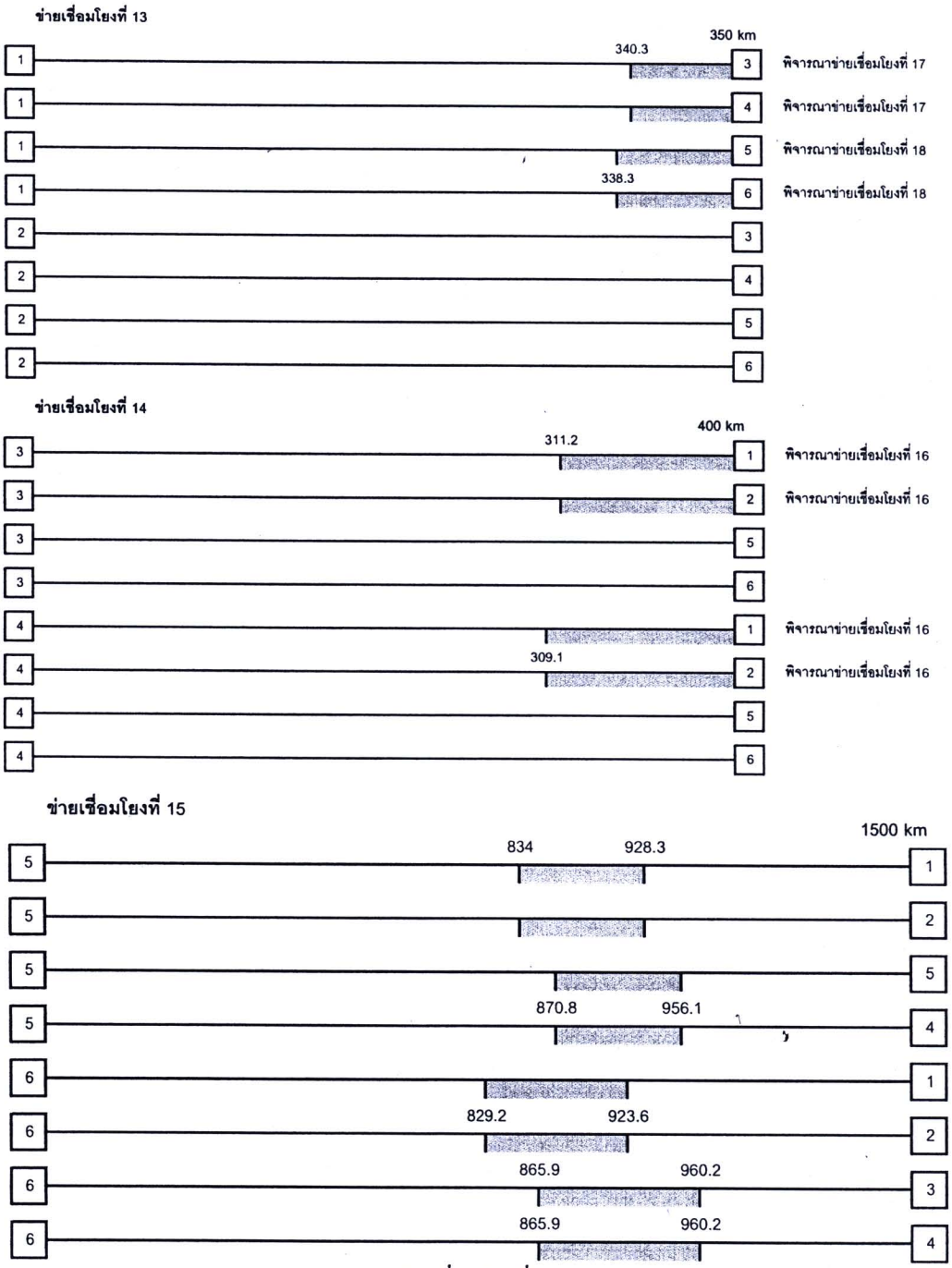
รูปที่ 3.7 วิธีการพิจารณาข่ายเชื่อมโยง



(ข) ช่ายเชื่อมโยงที่ 3-7



(ค) ข่ายเชื่อมโยงที่ 8-12



(ง) ข่ายเชื่อมโยงที่ 13-15

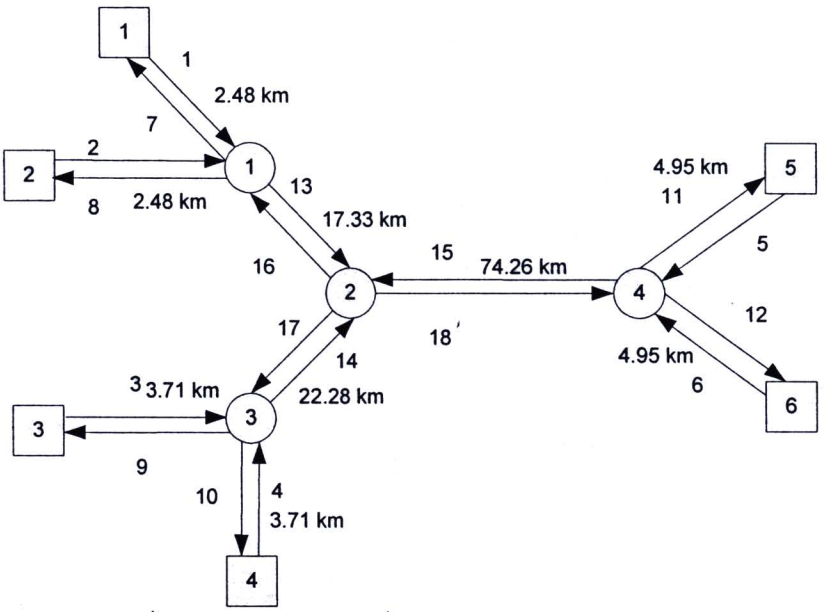
จากรูปที่ 3.8 จะพบว่า ถ้าจะคิดโดยไม่สนใจว่าต้องซ้อนทับทุกๆทราฟฟิกในแต่ละข่ายเชื่อมโยง จะต้องใช้เครื่องสังยุคเฟสแสงทั้งหมด 18 ตัวเท่ากับจำนวนข่ายเชื่อมโยง ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว เพียงแค่วางตรงกลางของแต่ละข่าย ก็ทำให้ทุกๆทราฟฟิกสามารถเดินทางได้หมดโดยดิสเพอร์ชันสะสมไม่เกินขีดจำกัดที่ปลายทางเช่นกัน ดังนั้นเราจะใช้ระเบียบขั้นตอนวิธีที่คิดขึ้นมา โดยต้องหาค่า R ก่อน ซึ่งจากสมการที่ (3.7) ตัวแปรที่เราจะต้องใส่ค่าในสมการคือระยะทางทราฟฟิกที่ยาวที่สุดและความยาวของข่ายเชื่อมโยงข่ายแรกที่ใช้ส่ง ส่วน D_λ เป็นค่าดิสเพอร์ชันของแต่ละสถานี ดังนั้น ถ้าทราฟฟิกที่ส่งใช้ข่ายเชื่อมโยงแรกเหมือนกัน ก็ให้นำทราฟฟิกที่ยาวที่สุดของข่ายเชื่อมโยงแรกนั้นๆ มาคิด เพราะทราฟฟิกที่ยาวที่สุดจะเป็นตัวกำหนดช่วงในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสง ตารางข้างล่างจะเป็นการหาค่า R โดยดูตารางที่ 3.1 ประกอบ (X_1 คือ ความยาวของข่ายเชื่อมโยงแรกของทราฟฟิก)

ตารางที่ 3.3 การหาค่า R ของแต่ละทราฟฟิก

สถานีต้นทาง - สถานีปลายทาง	ความยาวของทราฟฟิก [km]	X_1 [km]	R
1-5 และ 1-6	2000	50	20.13
2-5 และ 2-6	2000	50	20.03
3-5 และ 3-6	2075	75	20.20
4-5 และ 4-6	2075	75	20.10
5-3 และ 5-4	2075	100	19.49
6-3 และ 6-4	2075	100	19.39

หมายเหตุ 1-5 และ 1-6 นั้นความยาวทราฟฟิกเท่ากันและข่ายเชื่อมโยงแรกมีความยาวเท่ากันจึงพิจารณาไปพร้อมๆกัน

ข่ายเชื่อมโยงได้ จากตารางจะเห็นว่า ค่า R ที่มากที่สุดคือ 20.20 หรือลดขนาดโครงข่ายลงมา 20.20 เท่า ซึ่งถ้าเราใช้ค่า R ที่น้อยกว่านี้ เช่น 10 เท่า บางทราฟฟิกก็จะยังคงเกิดปัญหาที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.2 หรือก็คือปัญหาการซ้อนทับไม่ได้ทุกทราฟฟิก ตารางที่ 3.4 จะแสดงถึงทราฟฟิกและตำแหน่งในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงที่ลดขนาดลงแล้ว รูปที่ 3.9 เป็นโครงข่ายที่ลดขนาดลง 20.20 เท่า

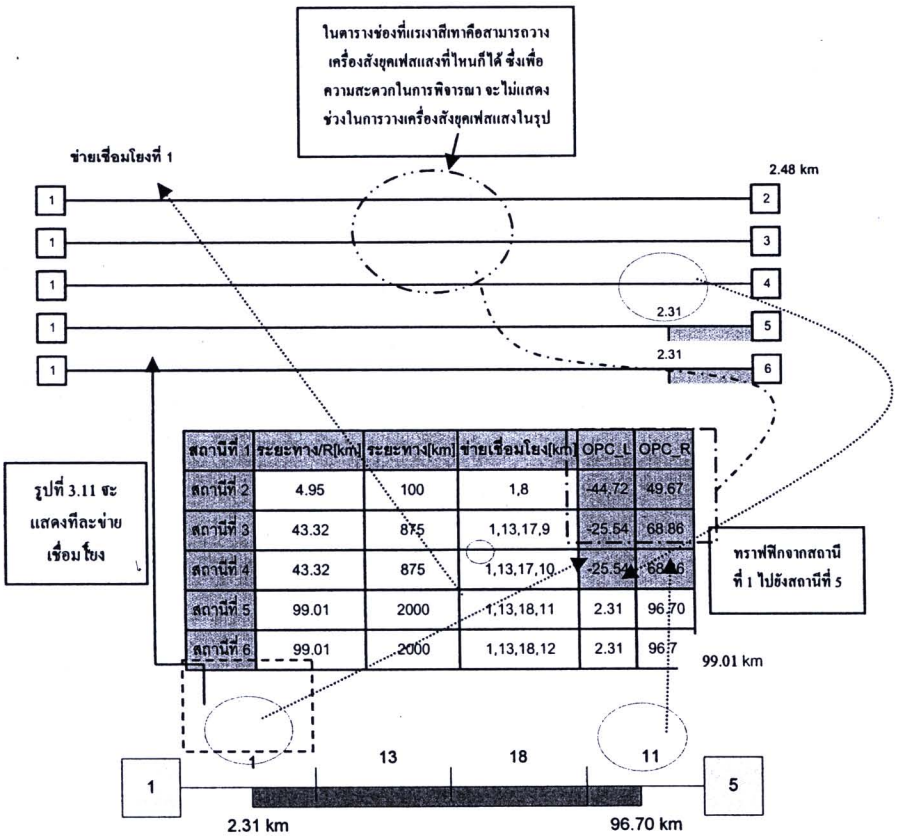


รูปที่ 3.9 โครงข่ายตัวอย่างที่ได้รับการลดขนาดลง 20.20 เท่า

สถานีที่ 1	ระยะทาง/R[km]	ระยะทาง[km]	ข่ายเชื่อมโยง[km]	OPC_L	OPC_R	สถานีที่ 4	ระยะทาง/R[km]	ระยะทาง[km]	ข่ายเชื่อมโยง[km]	OPC_L	OPC_R
สถานีที่ 2	4.95	100	1,8	-44.72	49.67	สถานีที่ 1	43.32	875	4,14,16,7	-26.22	69.53
สถานีที่ 3	43.32	875	1,13,17,9	-25.54	68.86	สถานีที่ 2	43.32	875	4,14,16,8	-26.22	69.53
สถานีที่ 4	43.32	875	1,13,17,10	-25.54	68.86	สถานีที่ 3	7.43	150	4,9	-44.16	51.59
สถานีที่ 5	99.01	2000	1,13,18,11	2.31	96.70	สถานีที่ 5	102.72	2075	4,14,18,11	3.49	99.24
สถานีที่ 6	99.01	2000	1,13,18,12	2.31	96.70	สถานีที่ 6	102.72	2075	4,14,18,12	3.49	99.24
สถานีที่ 2	ระยะทาง/R[km]	ระยะทาง[km]	ข่ายเชื่อมโยง[km]	OPC_L	OPC_R	สถานีที่ 5	ระยะทาง/R[km]	ระยะทาง[km]	ข่ายเชื่อมโยง[km]	OPC_L	OPC_R
สถานีที่ 1	4.95	100	2,7	-44.95	49.90	สถานีที่ 1	99.01	2000	5,15,16,7	1.40	97.61
สถานีที่ 3	43.32	875	2,13,17,9	-25.76	69.08	สถานีที่ 2	99.01	2000	5,15,16,8	1.40	97.61
สถานีที่ 4	43.32	875	2,13,17,10	-25.76	69.08	สถานีที่ 3	102.72	2075	5,15,17,9	3.26	99.47
สถานีที่ 5	99.01	2000	2,13,18,11	2.08	96.93	สถานีที่ 4	102.72	2075	5,15,17,10	3.26	99.47
สถานีที่ 6	99.01	2000	2,13,18,12	2.08	96.93	สถานีที่ 6	9.90	200	5,12	-43.16	53.06
สถานีที่ 3	ระยะทาง/R[km]	ระยะทาง[km]	ข่ายเชื่อมโยง[km]	OPC_L	OPC_R	สถานีที่ 6	ระยะทาง/R[km]	ระยะทาง[km]	ข่ายเชื่อมโยง[km]	OPC_L	OPC_R
สถานีที่ 1	43.32	875	3,14,16,7	-25.99	69.31	สถานีที่ 1	99.01	2000	6,15,16,7	1.17	97.84
สถานีที่ 2	43.32	875	3,14,16,8	-25.99	69.31	สถานีที่ 2	99.01	2000	6,15,16,8	1.17	97.84
สถานีที่ 4	7.43	150	3,10	-43.93	51.36	สถานีที่ 3	102.72	2075	6,15,17,9	3.02	99.70
สถานีที่ 5	102.72	2075	3,14,18,11	3.71	99.01	สถานีที่ 4	102.72	2075	6,15,17,10	3.02	99.70
สถานีที่ 6	102.72	2075	3,14,18,12	3.71	99.01	สถานีที่ 5	9.90	200	6,11	-43.39	53.29

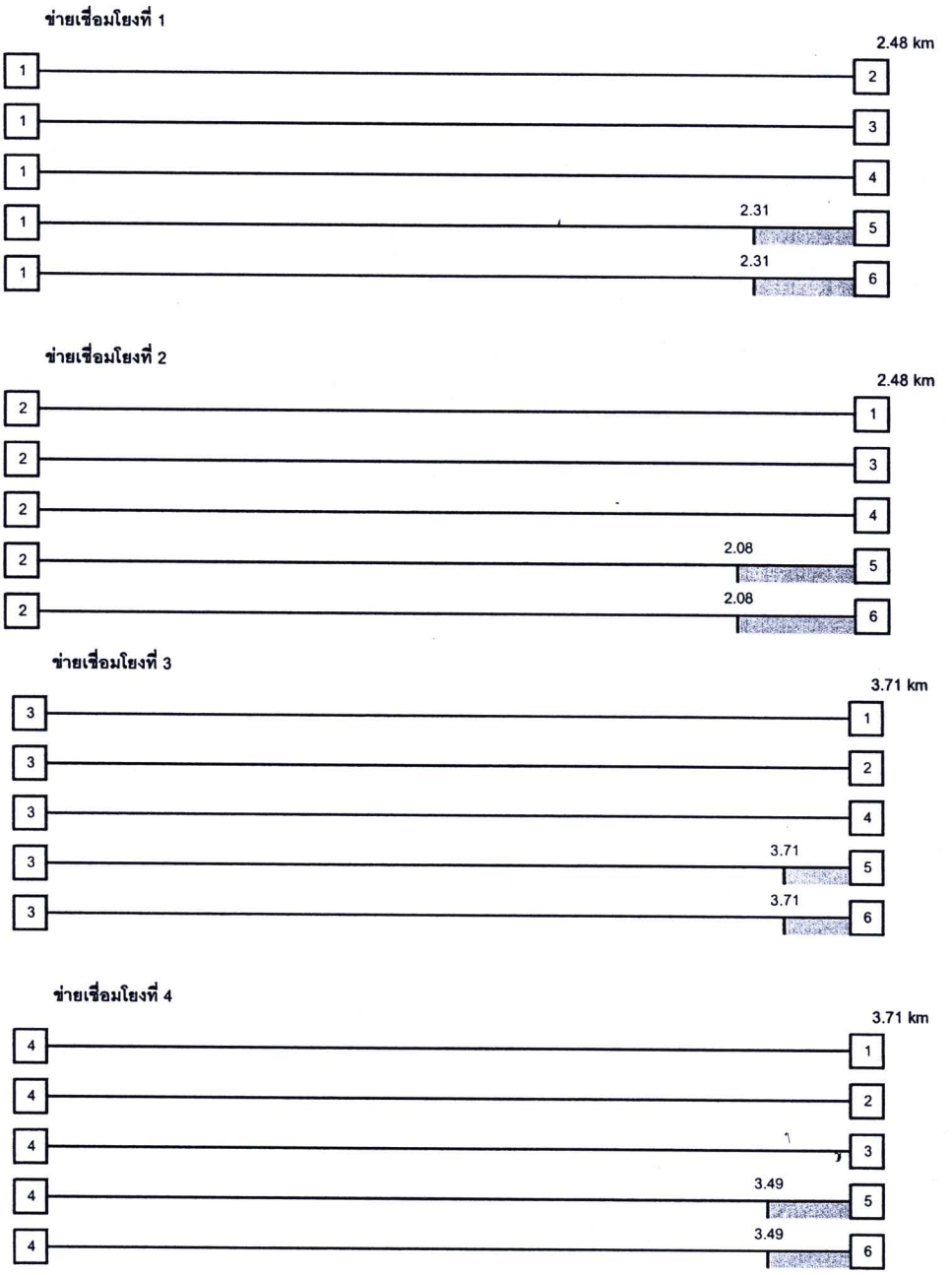
หมายเหตุ : ช่องแรเงาของ OPC_L และ OPC_R คือสามารถวางเครื่องสังยุคเฟสแสงที่ข่ายเชื่อมโยงตำแหน่งไหนก็ได้

เฟสแสงข่ายเชือมโยงที 1 วิธีพิจารณานี สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในบทที 4 ได้ด้วย ช่องแรเงาสีเทาในตาราง หมายถึงเราสามารถวางเครื่องสังยุคเฟสแสงตรงไหนก็ได้ของทราฟฟิก ดังนั้นจึงจะไม่นำมาพิจารณาหาช่วงในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสง



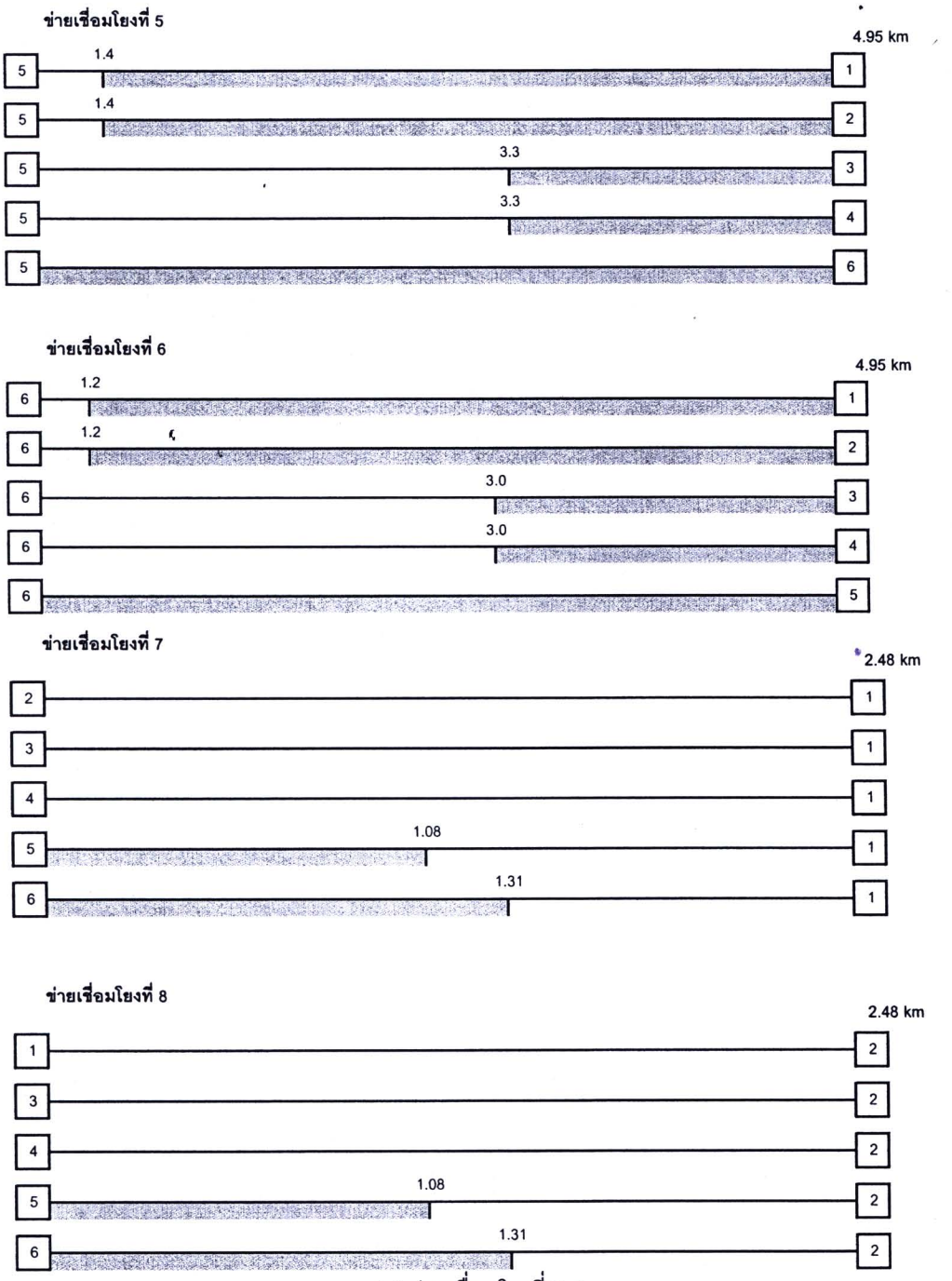
สถานีที่ 1	ระยะทาง/R[km]	ระยะทาง[km]	ช่ายเชื่อมโยง[km]	OPC_L	OPC_R
สถานีที่ 2	4.95	100	1,8	-44.72	49.67
สถานีที่ 3	43.32	875	1,13,17,9	-25.54	68.86
สถานีที่ 4	43.32	875	1,13,17,10	-25.54	68.86
สถานีที่ 5	99.01	2000	1,13,18,11	2.31	96.70
สถานีที่ 6	99.01	2000	1,13,18,12	2.31	96.7

รูปที่ 3.10 วิธีพิจารณาหาช่วงในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสง



(ก) ข่ายเชื่อมโยงที่ 1-4

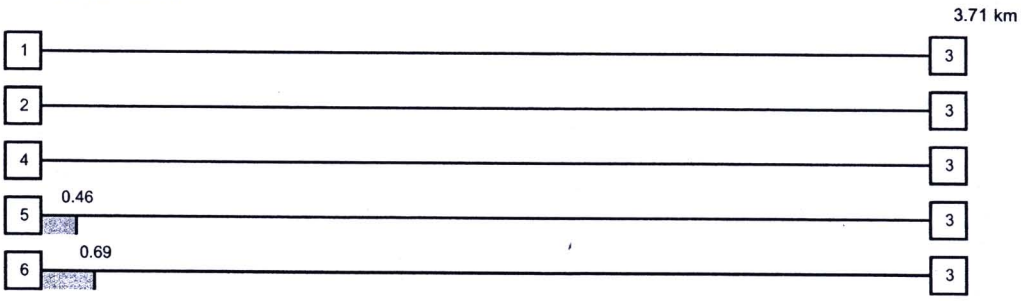
รูปที่ 3.11 ทราฟฟิกและช่วงในการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงในโครงข่ายตัวอย่าง(ลดขนาด)



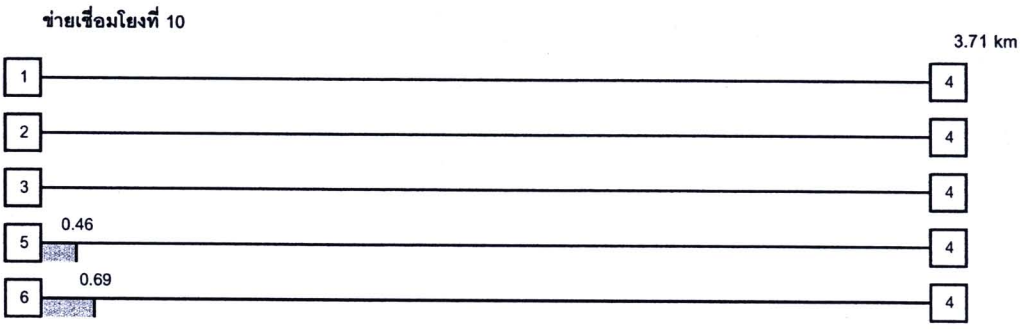
(ข) ข่ายเชื่อมโยงที่ 5-8

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

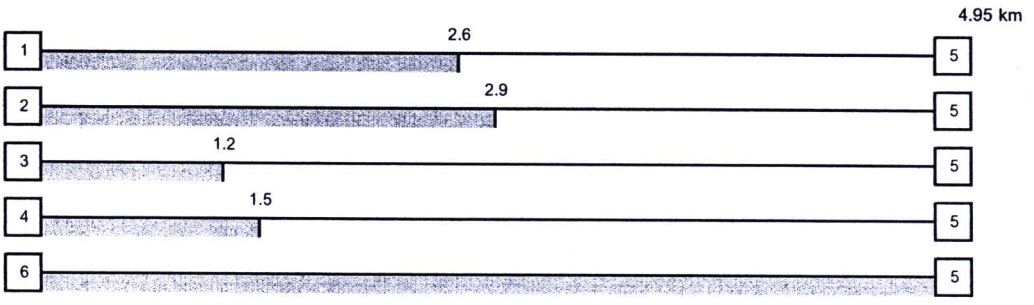
ข่ายเชื่อมโยงที่ 9



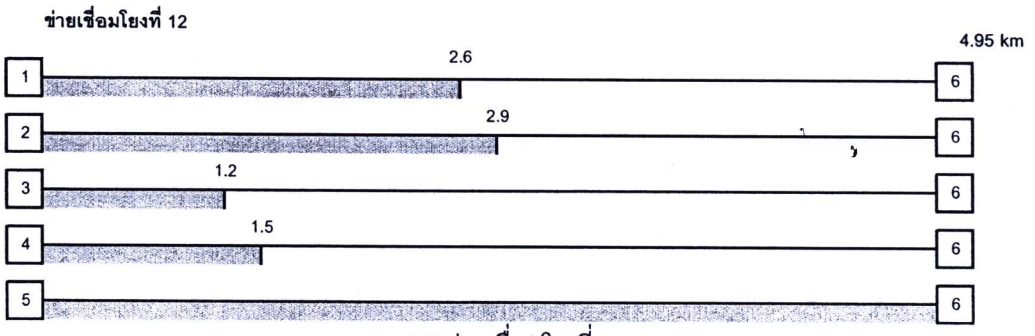
ข่ายเชื่อมโยงที่ 10



ข่ายเชื่อมโยงที่ 11



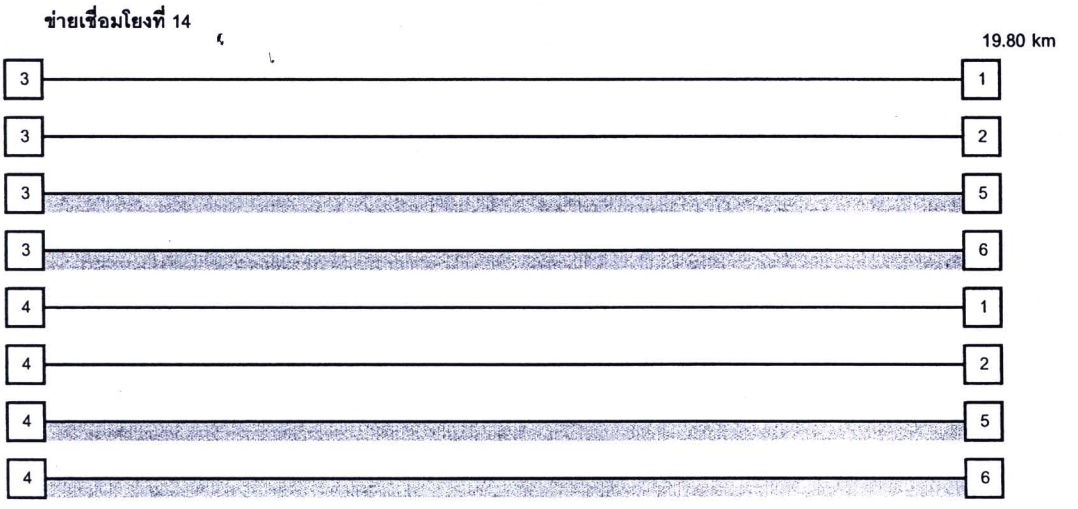
ข่ายเชื่อมโยงที่ 12



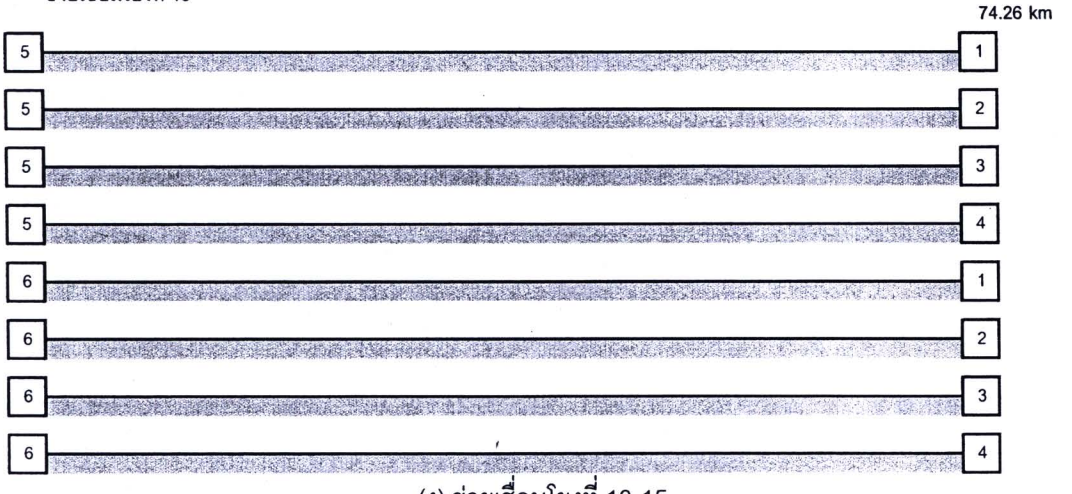
(ค) ข่ายเชื่อมโยงที่ 9-12

ข่ายเชื่อมโยงที่ 13

ข่ายเชื่อมโยงที่ 14

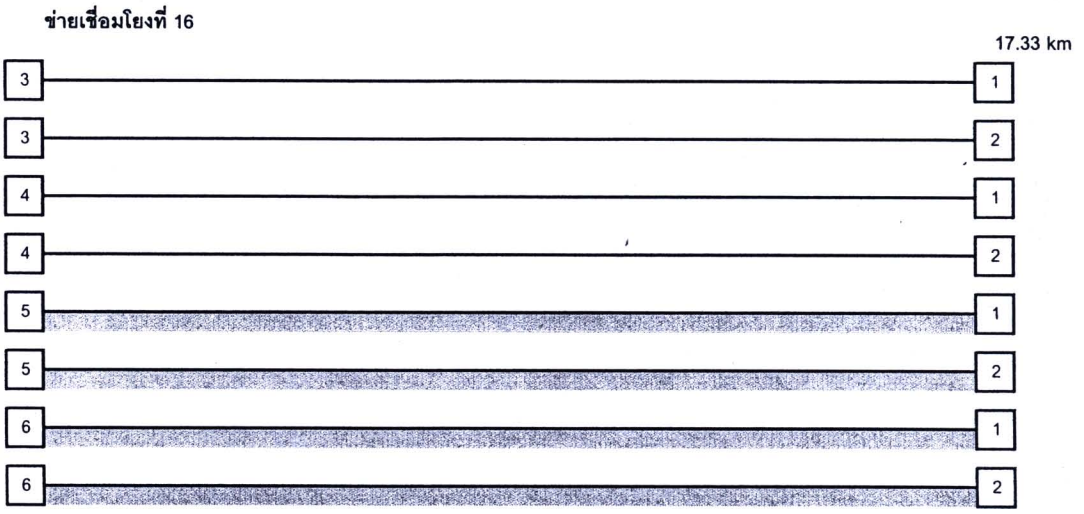


ข่ายเชื่อมโยงที่ 15

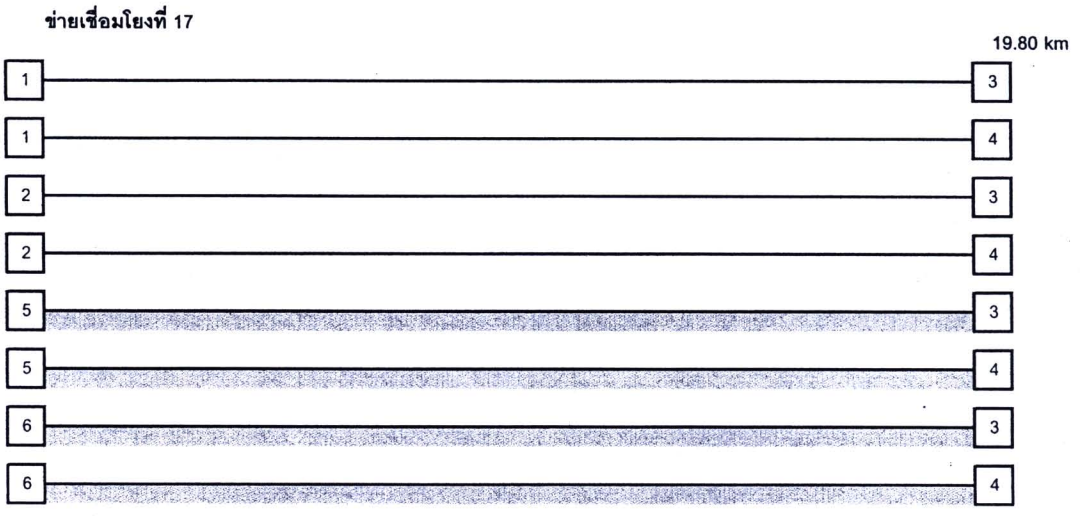


(ง) ข่ายเชื่อมโยงที่ 13-15

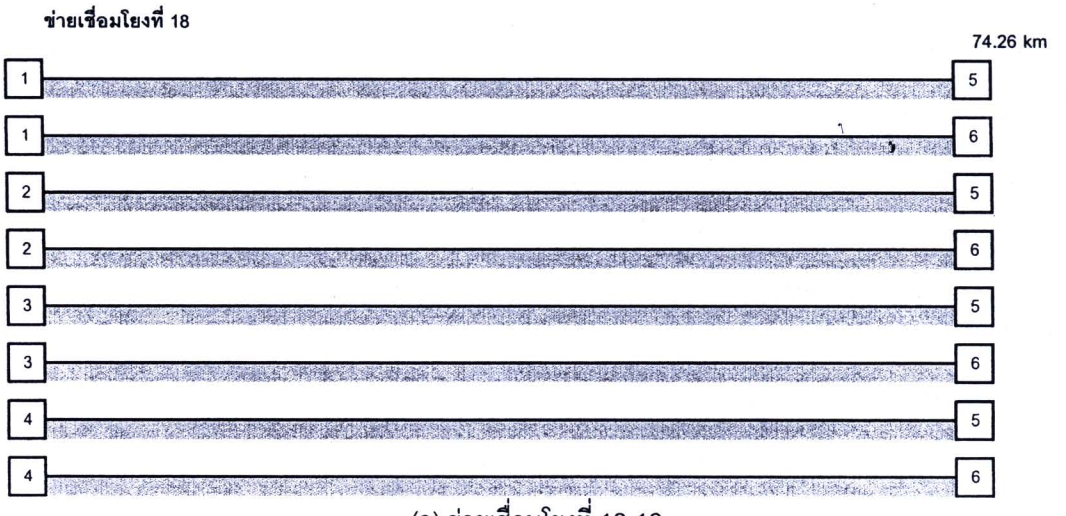
ข่ายเชื่อมโยงที่ 16



ข่ายเชื่อมโยงที่ 17



ข่ายเชื่อมโยงที่ 18



(จ) ข่ายเชื่อมโยงที่ 16-18

4.พิจารณาหาตำแหน่งที่จะวางเครื่องสังยุคเฟสแสง จะใช้วิธีพิจารณาว่าทราฟฟิกในข่ายไหนที่ต้องวางเครื่องสังยุคเฟสแสงมากที่สุด โดยจะไม่พิจารณาทราฟฟิกที่ไม่จำเป็นต้องวางเครื่องสังยุคเฟสแสง ตามรูปที่ 3.11(ก)-(จ) จะพบว่าข่ายเชื่อมโยงที่ 15 และ 18 มี ทราฟฟิกมากที่สุด (8 ทราฟฟิก) จึงพิจาณาข่ายเชื่อมโยงนี้เป็นอันดับแรก จากนั้นดูว่าทราฟฟิกที่มีข่ายเชื่อมโยงนี้ประกอบ (เฉพาะแถบแรเงาสีเทา) มีผลกับข่ายเชื่อมโยงที่เชื่อมต่ออันไหนบ้าง ซึ่งจากรูปที่ 3.11 สรุปได้ว่า วางเครื่องสังยุคเฟสแสงเพียงแค่ 2 ตัวเท่านั้น ที่ข่ายเชื่อมโยงที่ 15 (0-74.26 km) และ 18 (0-74.26 km) เพราะแถบแรเงาสีเทาทีเหลือเมื่อพิจารณาพร้องกับตารางที่ 3.4 แล้วจะทำให้พบว่า ทราฟฟิกที่อยู่ในข่ายเชื่อมโยงที่ 15 และ 18 นั้นเป็นทราฟฟิกเดียวกันกับทราฟฟิกในข่ายเชือมโยงอื่นๆ ซึ่งเมื่อทำการซ้อนทับแล้ว จะได้ว่าซ้อนทับตรงข่ายเชื่อมโยงที่ 15 และ 18 เท่านั้น

จากนั้นเราจะตรวจสอบผลจากการวางเครื่องสังยุคเฟสแสงทั้งหมด 30 ทราฟฟิกจากการคำนวณค่าดิสเพอร์ชันสะสมตามสมการที่ (3.1)

$$D_{acc} = D_{\lambda} L , \tag{3.1}$$

โดยที่ D_{acc} คือ ดิสเพอร์ชันสะสมของแต่ละทราฟฟิก (accumulated dispersion) หน่วย ps/nm

D_{λ} คือ ค่าดิสเพอร์ชันของแต่ละสถานี หน่วย ps/km/nm

L คือ ระยะทาง (km)

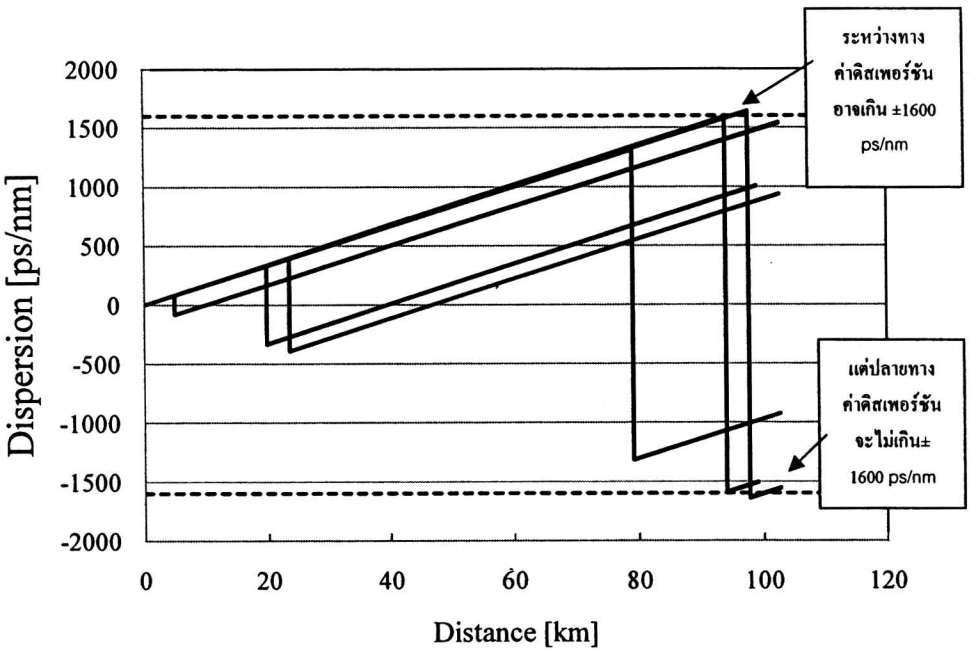
เมื่อถึงตำแหน่งที่จะต้องวางเครื่องสังยุคเฟสแสงจะทำให้ค่าดิสเพอร์ชันเปลี่ยนไปตามสมการที่ (3.9)

$$D_{acc-out} = -D_{acc-in} \tag{3.9}$$

โดยที่ D_{acc-in} คือ ดิสเพอร์ชันสะสมก่อนเข้าเครื่องสังยุคเฟสแสง (ps/nm)

$D_{acc-out}$ คือ ดิสเพอร์ชันสะสมหลังออกจากเครื่องสังยุคเฟสแสง (ps/nm)

และคำนวณหาค่าดิสเพอร์ชันสะสมต่อไปดังสมการที่ (3.1) จนถึงสถานีปลายทาง ระหว่างทางของทราฟฟิกค่าดิสเพอร์ชันสะสมอาจจะเกิน 1600 ps/nm หรือ น้อยกว่า -1600 ps/nm ก็ได้รูปที่ 3.12 เป็นค่าดิสเพอร์ชันสะสมของทุกๆ ทราฟฟิก



รูปที่ 3.12 ดิสเพอร์ชันสะสมของทุกทราฟฟิกในโครงข่ายตัวอย่าง