การวิเคราะห์ค่าโอเอสเอ็นอาร์บนโครงข่ายดับเบิลยูดีเอ็ม ระดับ 10 Gbps

OSNR Analysis of 10 Gbps over WDM Network

วัฒนา วิเชียรสรรค์ กอบชัย เดชหาญ

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ค่ากำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณรบกวน หรือค่าโอเอสเอ็นอาร์ (OSNR) ของระบบดีดับเบิลยูดีเอ็ม (DWDM) ที่ระดับ 10 Gbps โดยใช้ตัวอย่างจริงซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางที่ใช้เชื่อมโยงโครงข่ายหลักที่ให้บริการอยู่ จากสถิติการวัด โดยทำการวัดค่าโอเอสเอ็นอาร์ของโครงข่ายที่จำนวนความยาวคลื่นที่ใช้งานอยู่ตามจริง และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าโอเอสเอ็นอาร์ในกรณีบวกค่าการลดทอนเข้าไปในระบบ เพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์เพื่อเป็นวิธีการหาค่า OSNR ที่เหมาะสม จากนั้นได้จัดข้อมูลให้อยู่ในรูปของกราฟและตาราง ท้ายสุดได้ทำการเปรียบเทียบค่าโอเอสเอ็นอาร์จากการวัดและจากการคำนวณตามสมการใน ITU-T G.692 เพื่อสรุปผลที่ได้ในการนำเสนอแนวทางในการบำรุงรักษาอย่างรวดเร็ว การวิเคราะห์และปรับปรุงโครงข่ายให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Abstract

This research studies and analyzes the optical signal to noise ratio (OSNR) of 10 Gbps WDM network by using the real sites which is one of backbone network section by measuring OSNR for the real wavelengths in use and OSNR of network with attenuation and number of wavelengths added. The objective is to test and study the effects when the number of wavelengths is increased while the attenuation of cables in the system exists. Then, the results are presented in graphs and tables. Finally, the OSNR is compared between the measured value and the calculated value from the equation of ITU-T G.692. The results of this study are concluded and will be used as guideline for network maintenance, analysis and effective network improvement.

Keywords: OSNR, DWDM

1. คำนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคม มีความจำเป็นและมีความต้องการในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นโครงข่ายของระบบสื่อสัญญาณจำเป็นต้องมีการขยายเพื่อรองรับกับปริมาณทราฟฟิกที่เพิ่มขึ้นและความจุที่มากกว่าเดิม ซึ่งเทคนิคที่นำมาใช้ก็คือเทคนิคการส่ง

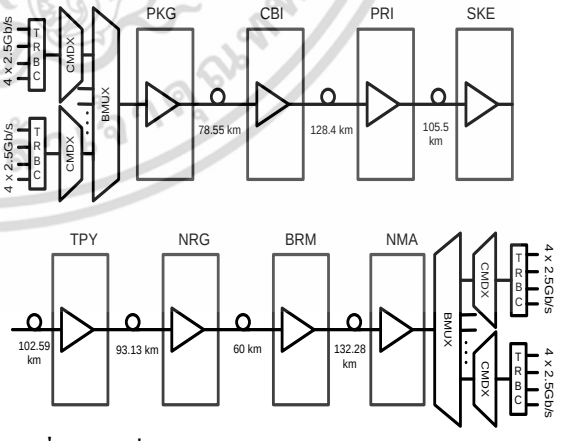
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณแบบมัลติเพล็กซ์ทางความยาวคลื่น หรือดีดับเบิลยูดีเอ็ม โดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโมดเดี่ยว (Standard Single Mode Fiber: SSMF) ในการเชื่อมโยงโครงข่ายดังกล่าว ระบบสื่อสัญญาณเดิมมีความจุที่ระดับ 2.5 Gbps ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้งานในปัจจุบัน ฉะนั้นจึงมีการปรับเปลี่ยนโดยการขยายความจุให้มากขึ้นเป็นระดับ 10 Gbps โดยปรับเปลี่ยนเฉพาะอุปกรณ์ในการมัลติเพล็กซ์ทางความยาวคลื่นในขณะที่ยังอาศัยเส้นใยแก้วนำแสงที่มีอยู่เดิม วัตถุประสงค์สำคัญของการศึกษาในครั้งนี้คือผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปรับเปลี่ยนความเร็วต่อระบบดีดับเบิลยูดีเอ็ม หรือเปลี่ยนไปใช้เส้นใยแก้วนำแสงแบบใหม่เพื่อได้ตามค่า แต่ต้องเปลี่ยนระบบข่ายสายทั่วประเทศแล้วราคาจะสูงกว่า

ปัจจัยหลักที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของระบบการมัลติเพล็กซ์ทางความยาวคลื่นนั้นคือ ค่าอัตราส่วนของกำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณรบกวน (Optical Signal to Noise Ratio : OSNR) ค่า OSNR นี้จะขึ้นอยู่กับหลายตัวแปรประกอบกัน เช่น ระยะทางของเส้นใยแก้วนำแสง ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง ค่า Noise Figure ภายในส่วนขยาย (Amplifier) ของระบบ การขยายสัญญาณของ amplifier (Gain) และจำนวนช่องสัญญาณที่ใช้งาน เป็นต้น ผลของตัวแปรดังกล่าวจะส่งผลทำให้ค่า OSNR ลดลง ประสิทธิภาพและความเชื่อถือได้ของโครงข่ายก็ลดลงไปด้วย ดังนั้นการศึกษานี้เพื่อจะพิจารณาค่าพารามิเตอร์ของการคำนวณค่า OSNR เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ใช้งานหรือในการบำรุงรักษาโครงข่ายได้อย่างรวดเร็วขึ้น ทั้งนี้สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศหรือ International Telecommunication Union (ITU) ได้กำหนดสมการในการคำนวณค่า OSNR ไว้ในมาตรฐาน ITU-T G.692 [1] ในการศึกษานี้ได้ทำการวัดค่า OSNR ในส่วนต่างๆ ของระบบในแต่ละช่วง (span) ในกรณีตัวอย่างทดสอบจากสถานีพระโขนงถึงสถานีนครราชสีมา การวัดจะใช้ความถี่ 193.45THz ทำการเปรียบเทียบค่า OSNR ระหว่างค่าจากผลการวัด และค่าจากผลการคำนวณตามสมการ ITU-T G.692 ดังกล่าวในรูปแบบของกราฟและตาราง

2. โครงข่ายที่ทำการศึกษา

โครงข่ายที่ใช้ในการศึกษาเป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางโครงข่ายหลักที่ใช้เชื่อมโยงแบบจุดถึงจุด (Point-to-Point) ระหว่างต้นทางคือสถานีพระโขนงจนถึงสถานีนครราชสีมาซึ่งถือเป็นสถานีปลายทาง โดยในเส้นทางดังกล่าวมีสถานีทวนสัญญาณ 6 สถานี เชื่อมต่อด้วยเส้นใยแก้วนำแสงชนิด single mode ตามมาตรฐาน ITU-T G.652 [2] โดยในด้านสถานีต้นทางและปลายทาง (Terminal) จะประกอบด้วยอุปกรณ์ปรับเปลี่ยนความยาวคลื่น (Transponder) อุปกรณ์มัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์แบบ 12 แถบความถี่ (Band MUX / DEMUX) ในส่วนของสถานีทวนสัญญาณจะประกอบด้วยอุปกรณ์ Line optical fiber amplifier ชนิดเออร์เบียมโดปไฟเบอร์ (Erbium Doped Fiber Amplifier) โดยทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังกล่าวตามรูปที่ 1 ด้วยเส้นใยแก้วนำแสง (SSMF) ผ่านสถานีทั้งหมด 6 สถานี เริ่มต้นจากสถานีพระโขนง (PKG) ไปยังสถานีชลบุรี (CBI) สถานีปราจีนบุรี (PRI) สถานีสระแก้ว (SKE) สถานีตาพระยา (TPY) สถานีนางรอง (NRG) สถานีบุรีรัมย์ (BRM) และปลายทางที่สถานีนครราชสีมา (NMA) ตามลำดับ และทำการวัดค่า OSNR ที่สภาวะปกติ และในสภาวะที่มีการบวกค่าการลดทอน (Attenuation) สูงสุด



รูปที่ 1 การเชื่อมโยงอุปกรณ์ DWDM และ Line optical fiber amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การคำนวณหาค่าโอเอสเอ็นอาร์

สมการหาค่าโอเอสเอ็นอาร์ (OSNR) ตามสมการของ ITU-T G.692 [1.4] หาได้จาก

$$OSNR = P_{out} - L - NF - 10\log N - 10\log[h\nu\Delta\nu_0] \quad \text{(dB)} \qquad (1)$$

โดยที่

P_{out} คือกำลังงานด้านออกในหน่วย dBm

L คือค่าการลดทอนระหว่าง amplifiers ในหน่วย dB

NF คือ External noise figure ในหน่วย dB

N คือ จำนวนของ span

ITU ได้กำหนดไว้ว่าที่ความยาวคลื่น 1.55 μm ที่ optical bandwidth 0.1 nm มีค่า $10\log[h\nu\Delta\nu_0]$ เท่ากับ -58 dBm ในส่วนค่าของการลดทอนระหว่าง amplifier หรือค่า L ในสมการ (1) หาได้จาก ITU-T G.652 [2]

$$L = \alpha D + \alpha_s x + \alpha_c y \quad \text{(dB)} \qquad (2)$$

โดย α คือค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของสาย (dB)

α_s คือค่าการสูญเสียจากการเชื่อมต่อ (Splice Loss) (dB)

α_c คือค่าการสูญเสียการเชื่อมโยง (Connection Loss) (dB)

x คือจำนวนครั้งของการ Splice (point)

y คือจำนวนของ connector ใน link (point)

D คือระยะทางของเคเบิล (km.)

ในสมการที่ (1) P_{out} เป็นกำลังงานด้าน output จากคุณสมบัติของอุปกรณ์มีค่าเท่ากับ 6 dBm [3] ค่า NF คือ Noise Figure ของ Amplifier มีค่าเท่ากับ 7.3 dB และค่า $10\log[h\nu\Delta\nu_0]$ มีค่าเท่ากับ -58 dBm ที่ความยาวคลื่น 1.55 μm และ optical bandwidth เท่ากับ 0.1 nm จากสมการที่ (1) จะได้ [4,5]

$$OSNR = 58 + P_{out} - L - 10\log N \quad \text{(dB)} \qquad (3)$$

โดยในการศึกษาครั้งนี้กำหนดค่าการลดทอนสัญญาณ (L) ดังต่อไปนี้

1. ค่าของ Splicing attenuation α_s = 0.05 dB/point
2. ค่าของ Line attenuation α = 0.25 dB/km
3. ค่าของ Connection Loss α_c = 0.5 dB/ connection
4. ความยาวของเคเบิลใยแก้วนำแสง D หน่วย km

ในการคำนวณค่า L นี้จะพิจารณาจากค่าต่างๆ ข้างต้น แทนลงในสมการที่ (2) จะได้

$$L = \alpha D + \frac{D\alpha_s}{4} + 2\alpha_c \quad \text{(dB)} \qquad (4)$$

จากสมการที่ (4) ค่า L ที่ใช้ในการคำนวณจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้งานจริง ตามแบบการติดตั้งเคเบิล ดังนั้นระยะทางของเคเบิลจะเปลี่ยนแปลงตามสถานีที่ติดตั้งอุปกรณ์ ค่าของ Splicing Attenuation (α_s) อาจจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ในการคำนวณซึ่งค่าที่ใช้ในการคำนวณ Splicing attenuation จะคิดจากค่าของเคเบิล 1 roll เท่ากับ 4 km. แต่ในความเป็นจริงค่า Splicing attenuation อาจจะมากกว่าค่าที่กำหนดหรือค่าของ Line attenuation (α) ในแต่ละ span ก็อาจจะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับคุณภาพของเคเบิลในแต่ละ span หรือค่าของ connector loss (α_c) ก็อาจจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่กำหนดในสมการ ซึ่งค่าของตัวแปรเหล่านี้ จะทำให้ค่าของ L เปลี่ยนแปลง เป็นผลให้การคำนวณค่า OSNR เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

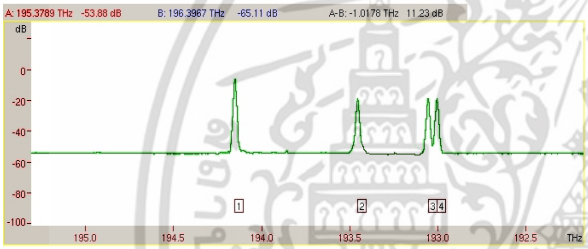
4. ผลการทดลอง

ค่า OSNR จากวิธีการวัดด้วยเครื่องมือวัดที่เรียกว่า Optical Spectrum Analyzer (OSA) JDSU Model MTS8000 จะเป็นค่าที่ได้จากการพิจารณาให้มีสัญญาณขาเข้าทางด้านสถานีต้นทางพระโขนง (PKG) ด้วยระบบ SDH ที่ระดับ STM-16 หรือ 2.5 Gbps จำนวน 8 ช่องสัญญาณต่อเข้ากับอุปกรณ์เปลี่ยนความยาวคลื่น (Transponder) เป็นการมัลติเพล็กซ์ให้ออกมาเป็น 2 ช่องสัญญาณแสง (wavelength) ที่ระดับ 10 Gbps และที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

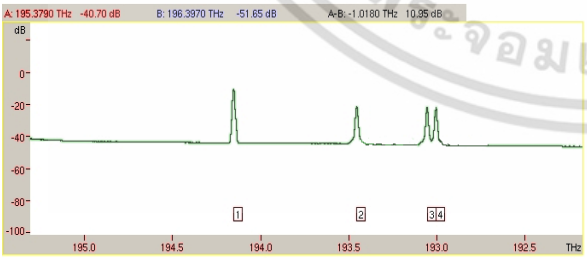
ระดับSTM-64 หรือ10Gbps จำนวน1ช่องสัญญาณต่อเข้ากับอุปกรณ์ Transponder ออกมาเป็น1ช่องสัญญาณแสงต่อเข้าที่อุปกรณ์ (Band MUX/ DEMUX: BMDX) รวมทั้งหมดจำนวน 3 ความยาวคลื่น แล้วส่งผ่านไปยังสถานีทวนสัญญาณโดยทำการวัดค่า OSNR ในทุกๆ ช่วงระหว่างสถานีทวนสัญญาณ (span) ตลอดทั้งเส้นทางที่พิจารณาจนถึงสถานีปลายทางที่นครราชสีมา

ค่า OSNR ที่ทำการวัดนี้จะเริ่มพิจารณาที่สถานีชลบุรี (CBI) เนื่องจากที่สถานีพระโขนงเป็นสถานีต้นทางมีระยะทางเป็นศูนย์ จะพบว่าค่าOSNRที่สถานีชลบุรีมีค่าดังรูปที่ 2และที่สถานีนครราชสีมามีค่า ดังรูปที่ 3 จากผลการวัดค่า OSNR ในทุกspan ทำการบันทึกผลตามตารางที่1 และ ค่าOSNR เทียบกับspan แสดงในรูปที่ 4



Channel	Freq.(THz)	Spacing(THz)	Level(dBm)	Noise(dBm)	SNR(dB)	P/Pcomp(%)
001	194.1498	-----	-6.54	-53.34	46.80	84.53
002	193.4528	0.6970	-18.79	-50.88	32.08	5.03
003	193.0527	0.4001	-18.50	-48.56	30.05	5.38
004	193.0026	0.0501	-18.85	-48.09	29.24	4.97

รูปที่ 2 ค่า OSNR และ Spectrum ของสัญญาณที่สถานีชลบุรี

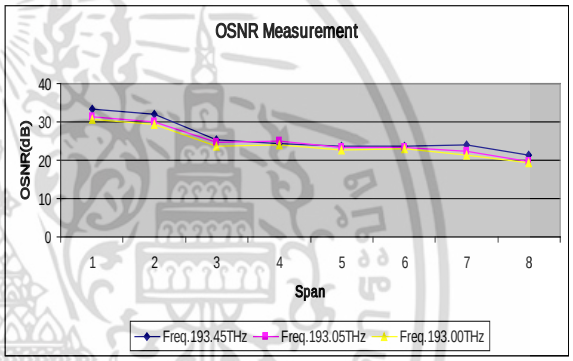


Channel	Freq.(THz)	Spacing(THz)	Level(dBm)	Noise(dBm)	SNR(dB)	P/Pcomp(%)
001	194.1516	-----	-10.53	-42.69	32.15	79.40
002	193.4526	0.6990	-20.67	-41.91	21.24	7.69
003	193.0529	0.3997	-21.66	-41.41	19.75	6.12
004	193.0027	0.0502	-21.80	-41.30	19.50	5.93

รูปที่ 3 ค่า OSNR และ Spectrum ของสัญญาณที่สถานีนครราชสีมา

ตารางที่1 ค่าOSNRที่ได้จากเครื่องวัด OSA JDSU Model MTS8000

Location	Freq. 193.45THz	Freq. 193.05THz	Freq. 193.00THz
PKG-CBI	32.08	30.05	29.24
CBI-PRI	25.35	24.52	23.72
PRI-SKE	24.43	24.84	24.09
SKE-TPY	23.83	23.28	22.71
TPY-NRG	23.59	23.27	23.06
NRG-BRM	23.92	22.28	21.44
BRM-NMA	21.24	19.75	19.50



รูปที่ 4 ค่า OSNR จากการวัดในแต่ละช่วง span

จากสมการที่ (4) พบว่าค่าการลดทอนของแต่ละ Span จะมีค่าไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับสถานีที่ติดตั้งอุปกรณ์ สำหรับค่า OSNR จากสมการที่ (3) ในการศึกษานี้ใช้ค่าพารามิเตอร์ของ แบนด์ที่ 7 ที่ความถี่ 193.45 THz เพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าOSNR ค่าการคำนวณตามตารางที่2 ค่าที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับการวัดตามตารางที่ 3 จากค่าในตารางที่3นำมาแสดงกราฟได้ดังรูปที่5 จะสังเกตได้ว่าค่า OSNR จะมีค่าใกล้เคียงกันในบางช่วงของสถานี เช่น ช่วงที่ 3 ช่วงที่ 4 และช่วงที่ 5 ซึ่งเป็นช่วงของสถานี PRI SKE TPY และ NRG ตามลำดับ โดยทั้ง 3 ช่วงของสถานีมีระยะทางโดยเฉลี่ยที่ 100 km. แต่ในช่วงของสถานีอื่นค่าของระยะทางมีความต่างกันค่อนข้างมาก นั่นเป็นผลมาจากการติดตั้งอุปกรณ์ซึ่งเป็นการติดตั้งอุปกรณ์ตามสถานีที่มีใช้งานอยู่เดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

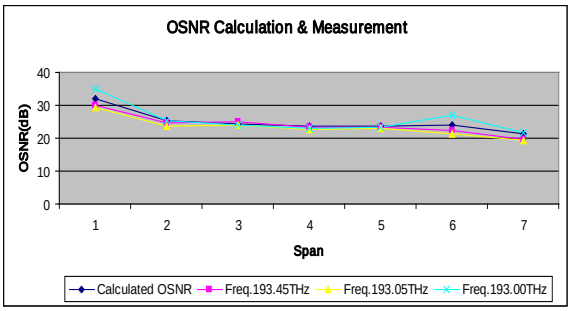
ตารางที่ 2 ค่าการคำนวณOSNR

Station	distance (km)	L	OSNR Calculated
PKG-CBI	78.55	21.61	35.09
CBI-PRI	206.95	34.70	25.38
PRI-SKE	312.45	28.60	23.02
SKE-TPY	415.04	27.90	21.78
TPY-NRG	508.17	25.40	23.39
NRG-BRM	568.17	16.70	27.86
BRM-NMA	700.45	35.70	19.44

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าOSNRจากการวัดและการคำนวณ

Location	Freq. 193.45 THz	Freq. 193.05 THz	Freq. 193.00 THz	Cal.
PKG-CBI	32.08	30.05	29.24	35.09
CBI-PRI	25.35	24.52	23.72	25.38
PRI-SKE	24.43	24.84	24.09	24.02
SKE-TPY	23.83	23.28	22.71	22.87
TPY-NRG	23.59	23.27	23.06	23.48
NRG-BRM	23.92	22.28	21.44	26.99
BRM-NMA	21.24	19.75	19.50	21.62

จึงทำให้ไม่สามารถกำหนดระยะทางให้เท่ากันได้ตลอด [4,6] อีกทั้งยังมีปัจจัยอื่นที่สามารถทำให้ค่า OSNR มีความคลาดเคลื่อน เช่นค่าของ Splicing Attenuation ซึ่งในการติดตั้งจริงค่าที่ได้อาจจะมีค่าที่มากกว่าหรือน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ในการคำนวณ ค่าของ Line Attenuation ของสายก็ขึ้นอยู่กับคุณภาพในการผลิต หรือค่าของ Connector Loss ก็อาจมีค่าที่ไม่เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในสมการ ตัวแปรเหล่านี้ทำให้ค่าของ L ที่ใช้ในการคำนวณเปลี่ยนแปลงไป [7,8] เป็นผลทำให้ค่า OSNR ที่คำนวณได้เปลี่ยนแปลงไปด้วย จากค่าการวัดและการคำนวณ OSNR ซึ่งเป็นผลที่ได้มาจากค่าที่วัดจริง และการคำนวณกับค่าสัมประสิทธิ์ของใยแก้วนำแสงค่าที่ใช้งานจริงซึ่งยังไม่ได้เพิ่มค่า Margin(+5dB) ของการลดทอนในสายใยแก้ว



รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบค่า OSNR จากการวัดและการคำนวณ

เพื่อดูสภาวะของโครงข่ายว่าจะยังมีเสถียรภาพของการใช้งานได้หรือไม่ ตามตารางที่4

ตารางที่ 4 ค่าการวัดและคำนวณOSNR ที่เพิ่มการลดทอน

Location	Freq. 193.45 THz	Freq. 193.05 THz	Freq. 193.00 THz	Cal.
PKG-CBI	26.87	26.28	26.16	30.09
CBI-PRI	19.49	19.44	19.00	20.38
PRI-SKE	23.68	23.86	23.37	18.01
SKE-TPY	22.53	22.09	21.82	16.86
TPY-NRG	22.57	22.71	22.36	18.48
NRG-BRM	21.63	21.88	21.13	22.89
BRM-NMA	17.20	16.47	16.76	14.43

เมื่อเพิ่ม margin +5dB เข้าไปในระบบทำให้ค่า OSNR บางช่วงของ span มีค่าต่ำ เช่น span ของ CBI กับ PRI ซึ่งมีระยะทางของเคเบิล 128.4 km .ค่าของ OSNR มีค่าค่อนข้างต่ำ ส่งผลให้ระดับสัญญาณลดลงดังนั้นที่สถานีCBIจะต้องเพิ่มGainการขยายกำลังงานด้านส่ง เพื่อรักษาระดับของสัญญาณ OSNR และปัญหาของระบบในกรณีที่เกิด Error ขึ้นในการส่งสัญญาณผ่านระบบ DWDM ได้

จากค่าของOSNR ที่ได้จากการวัดและการคำนวณนำมาเปรียบเทียบดังตารางที่7 เพื่อหาค่าคุณลักษณะเฉพาะของแต่ละspan ตลอดเส้นทางเพื่อปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ในแต่ละ span ให้มีค่าใกล้เคียงกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของOSNR

Location	Freq. 193.45THz	Calculated	Different
PKG-CBI	32.08	35.09	-3.01
CBI-PRI	25.35	25.38	-0.03
PRI-SKE	24.43	24.02	0.41
SKE-TPY	23.83	22.87	0.96
TPY-NRG	23.59	23.48	0.11
NRG-BRM	23.92	26.99	-3.07
BRM-NMA	21.24	21.62	-0.38

ค่าที่วัดเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณให้มีความใกล้เคียงมากขึ้น

5. สรุป

การวิเคราะห์ค่าโอเอสเอ็นอาร์ในโครงข่ายดับเบิลยูดีเอ็มระดับ 10 Gbps ได้นำเสนอรายละเอียดของการลดทอนสัญญาณที่เกิดจากระยะทางซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการลดทอนค่า OSNR จากการศึกษาพบว่าเมื่อระยะทางสะสมเพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าสะสมจากการลดทอนสัญญาณมากตามไปด้วย ส่งผลให้ค่า OSNR ลดลง จากการวิเคราะห์วิธีการคำนวณโดยสมการของ ITU-T G.692 พบว่าค่า OSNR ที่ได้มีความต่างกันในบางช่วง ซึ่งค่าที่ใกล้เคียงกันจากการวัดและการคำนวณอยู่ที่ระยะ 100 กม. ค่าOSNRโดยเฉลี่ยในแต่ละช่วงประมาณ 22-24dB การที่จะทำให้ค่าจากการคำนวณมีความถูกต้องยิ่งขึ้นจะต้องมีแหล่งข้อมูลที่มีรายละเอียดที่มากขึ้น เช่นค่า P_{out} ค่าGain หรือค่าการลดทอน (L) สังเกตได้ว่าในช่วงที่ 2 และ ช่วงที่ 7 ระยะทางมีค่ามากส่งผลให้ค่าการลดทอนสูง ดังนั้นในการปรับแต่งจะต้องเพิ่มค่าอัตราการขยายส่งผลให้ค่า P_{out} สูงขึ้นเพื่อรักษาระดับของสัญญาณให้มีประสิทธิภาพสังเกตได้จากในspanที่6 กำลังที่ส่งออกมากับระยะทางที่สั้นกว่าspanอื่น ส่งผลให้ค่าOSNR ในบางwavelength มีค่าสูงกว่าwavelengthอื่น1-2dB แต่เมื่อเพิ่มอัตราการขยายมากขึ้นอุปกรณ์ก็มีสภาพเสื่อมมากกว่าอุปกรณ์ในช่วงอื่น ดังนั้นในการปรับค่าของพารามิเตอร์ต้องคำนึงในส่วนนี้ด้วย การแก้ไขอาจทำได้ด้วยการติดตั้งอุปกรณ์ทวนสัญญาณเพิ่ม เพื่อรักษาระดับสัญญาณ OSNR ให้มีเสถียรภาพ และทำให้โครงข่ายมีประสิทธิภาพมากขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ITU-T Rec.G.692, “Optical interfaces for mutichannel systems with optical amplifiers”, ITU-T G series, 2002.

[2] ITU-T Rec.G.652, “Characteristics of a single-mode optical fiber cable”, ITU-T G series, 2002.

[3] Alcatel University “Alcatel 1626 LM REL3.0 Technical Hanbook”, 2006.

[4] A. Gumate and T. Antoy, “DWDM Network Designs and Engineering Solutions : Design of a Point to point Link Base on Q-Factor and OSNR” Cisco Press, pp 117-139, 2002

[5] G. P. Agrawal, “Fiber-Optic Communication System”, Third Edition, NewYork, John Wiley & Sons, 2002.

[6] H. Taga, “Long Distance Transmission Experiments Using the WDM Technology”,IEEE Journal of light wave technology, Vol.14, no.6, June 1996, pp. 1287-1298.

[7] M. Rasztovits-Wiech, M. Danner, and W. R. Leeb, “Optical signal-to-noise ratio measurement in WDM networks using polarization extinction,” in *Proc. Eur. Conf. Optical Communication (ECOC’98)*, Sept 1998, pp. 549-550.

[8] C.-L. Yang and S.-L. Lee, “Novel technique for simultaneous channel and OSNR monitoring”, in *Proc. Optical Fiber Communications (OFC 2003)*, Mar. 2003, pp. 756-758.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้