

論文99-36S-2-1

# WDM 광 분기/결합 시스템에서의 누화, ASE 잡음, 소광비가 전송특성에 미치는 영향분석

(Analysis of Transmission Characteristics for Cascaded  
WDM Optical Add/Drop Multiplexers with Crosstalk,  
ASE Noise, and Extinction Ratio)

李相綠\*, 徐完錫\*, 李聖恩\*

(Sang-rok Lee, Wan-seok Seo, and Sung-un Lee)

## 요 약

OADM 이 다단 연결된 WDM 망에서 전송성능을 분석하였다. 주된 전송성능 열화요소는 광스위치와 광역다중화기/다중화기의 누화, ASE 잡음, 그리고 소광비 등이 있다. 1dB power penalty 를 허용할 경우 소광비는 13dB 이상, 광스위치 누화는 -30dB 이하, 광역다중화기/다중화기 누화는 -20dB 이하로 유지해야 한다. 광스위치 누화가 -30dB 이하이면 다단 연결된 전송시스템에서 누화에 의한 성능열화보다는 ASE 잡음에 의한 성능열화가 보다 지배적이다. 광수신기의 판정 임계치가 고정값인 경우에는 전송 가능한 최대 노드수가 최적값인 경우보다 약 50% 이상 감소한다.

## Abstract

We analyze the transmission performance of WDM systems based on cascaded optical add/drop multiplexers. The considered factors degrading the performance in this paper include the intra-channel crosstalk caused from space switches and demultiplexers/multiplexers, the amplified spontaneous emission noise, and the extinction ratio. To ensure the power penalty within 1dB, the extinction ratio more than 13dB, the switch crosstalk less than 30dB, and the demultiplexer/multiplexer crosstalk less than 20dB are required. Under the assumption of switch crosstalk less than 30dB, performance degradation due to the ASE noise is dominant compared to the crosstalk. With the fixed decision threshold in an optical receiver, the maximum number of cascaded nodes reduces to a half compared to the case of the optimum decision threshold.

## 1. 서 론

WDM(Wavelength Division Multiplexing) 전송 기술은 대용량 전송시스템에 유망한 방식이다. 따라서 미래의 고속, 대용량 서비스를 수용하기 위해서는

WDM 기술을 바탕으로 한 광전달망의 출현은 필수적이다. 광전달망의 핵심 구성요소인 광상호분배기와 OADM(Optical Add/Drop Multiplexer) 의 구조 및 성능분석에 관한 연구가 유럽 연합, 미국, 일본 등에서 활발히 진행중이다<sup>[1-3]</sup>. OADM 노드는 AWG (Arrayed Waveguide Grating) 와 광스위치를 이용한 방식<sup>[3]</sup>, 파이버 격자(Fiber grating)와 circulator를 이용한 방식<sup>[4]</sup>, 그리고 음향광학소자(Acousto-Optic device)를 이용한 방식<sup>[1]</sup> 등이 있다.

\* 正會員, 韓國電子通信研究院  
(Electronics and Telecommunications Research Institute)

接受日字:1998年7月20日, 수정완료일:1998年11月3日

WDM 망에서 전송특성은 노드에서의 누화, 전송측면에서 전송속도, 채널수, 소광비, EDFA의 ASE (Amplified Spontaneous Emission) 잡음 누적, 광섬유의 비선형 특성 등에 의해 결정된다.

WDM 망의 설계시 망의 구성요소와 중계거리 및 최대 전송거리를 확보하기 위해서는 이상의 전송품질 열화 요소들에 대한 정확한 분석과 요구사항 등이 결정되어야 한다.

본 논문에서는 OADM 노드들이 다단 연결된 WDM 망의 전송성능을 분석하였다. 참고문헌 [5]에서는 노드의 구성요소인 광스위치 및 광역다중화기/다중화기 소자의 누화에 의한 전송성능 열화를 분석하였고, 참고문헌 [6]에서는 전송선로에 포함되는 광증폭기의 ASE 잡음 누적에 의한 영향을 분석하였다.

본 논문에서는 전송성능 열화요소로서 광스위치와 광다중/역다중화기 누화, ASE 잡음 누적, 그리고 송신기의 소광비 등을 고려하여 power penalty와 최대 전송 가능한 노드수 등의 전송성능을 분석하였다. 2장은 OADM 노드구조와 전송성능 열화요소들을 정의하고, 3장은 전송성능 분석 모델을 제시하며, 4장은 다양한 구성요소 변화에 따른 특성을 분석하였다.

## II. OADM 노드

### 1. OADM 노드 구조

그림 1은 OADM 노드 구조로써  $1 \times M$  광역다중화기,  $M$  개의  $2 \times 2$  광스위치,  $M \times 1$  광다중화기, 그리고 광증폭기 등으로 구성된다.  $M$  개의 파장 다중화된 광신호가 입력포트로 들어오면 광역다중화기를 거치면서  $1 \times M$  개의 채널로 분리된 후 각각 광스위치로 입력된다.  $2 \times 2$  광스위치의 바(bar) 상태와 교차(cross) 상태에 따라 각 채널들은 통과(through) 또는 결합/분기(add/drop) 된다. 즉, 광스위치가 바 상태이면 입력포트로 들어온 채널은 통과되고, 교차 상태이면 분기된다. 결합될 채널은 자신과 동일한 파장을 갖는 채널이 분기되는 광스위치를 통해 더해진다. 결합된 채널과 통과된 채널들은  $M \times 1$  광다중화기를 통해 다중화되어 다음 노드로 전송된다. 입력단 광증폭기 OA1은 광섬유 링크에서의 손실을 보상하고, 출력단 광증폭기 OA2는 OADM 노드에서의 손실을 보상한다.

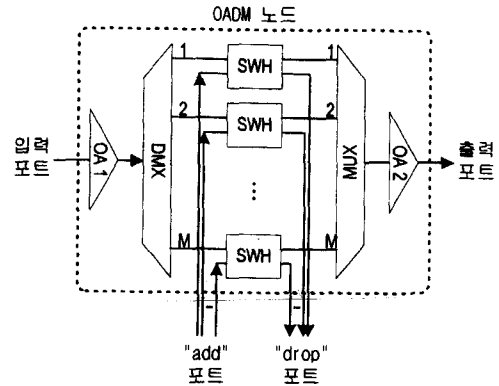


그림 1. OADM 노드구조

MUX : 광다중화기, DMX : 광역다중화기, SWH :  $2 \times 2$  광스위치, OA : 광증폭기

Fig. 1. Node architecture of an optical ADM.

MUX : multiplexer, DMX : demultiplexer, SWH :  $2 \times 2$  optical switch, OA : optical amplifier

### 2. 성능열화 요소

그림 2는 다단 연결된 OADM 시스템에서 임의의 채널이 결합된 후 분기될 때까지의 광경로를 보이고 있다. 다단 연결된 OADM 시스템에서 전송성능 열화 요소들은 광역다중화기와 다중화기에서의 누화, 광스위치에서의 누화,  $2 \times 2$  광증폭기에서 발생하는 ASE 잡음, 그리고 신호의 불완전한 소광비 등이 있다.

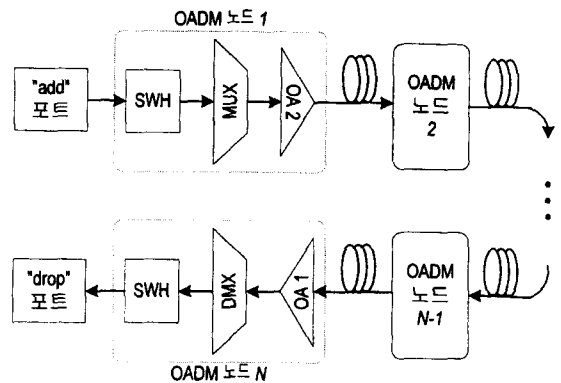


그림 2. 다단 연결된 OADM 시스템의 광경로

Fig. 2. Optical path path of cascaded OADM systems.

그림 2에서  $N$  개의 OADM 노드를 거친 후에 수신된 평균신호전력  $P_{sig}$ 과 전체 ASE 잡음전력  $P_{ase,i}$ 은 식 (1)과 같다.

$$P_{sig} = P_{in} (L_{SWH} L_{MX} G_{OA2} L_{Fiber} G_{OA1} L_{DMX})^N L_{SWH} \quad (1.a)$$

$$P_{ase,t} = (P_{ase,OA2} L_{Fiber} G_{OA1} + P_{ase,OA1}) L_{DMX} L_{SWH} \sum_{i=1}^N (L_{SWH} L_{MX} G_{OA2} L_{Fiber} G_{OA1} L_{DMX})^{i-1} \quad (1.b)$$

$P_{in}$ 은 결합포트에서의 입력전력,  $P_{ase,OA1/OA2}$ 는 입력단과 출력단 광증폭기에서의 ASE 잡음전력을 의미하며  $P_{ase,OA1/OA2} = \rho n_{sp,1/2} (G_{OA1/OA2} - 1) h\nu$ 이다. 또한, 식 (1)에 사용된 기호들과 앞으로 사용될 기호들은 표 1에 정의되어 있다.

표 1. 기호들의 정의 및 기본값  
Table 1. Definition of symbols and their values.

기호	정의	기본값
$R_b$	비트율	10Gbps
$B_e$	수신기 대역폭	$0.75R_b$
$B_o$	광대역폭	0.1nm
$i_{th}$	열잡음전류	$18pA/\sqrt{Hz}$
$e$	전하량	1.60e-19C
$h\nu$	광자에너지	0.80eV
$\eta$	양자 효율	0.9
$n_{sp}$	자연방출지수	2.0
$\rho$	편광지수	2
$r$	소광비	{ $\infty$ , 20, 15, 13, 10} dB
$C_s$	스위치 누화비	{ $-\infty$ , -35, -30, -25} dB
$C_m$	역다중/다중화기 누화비	{ $-\infty$ , -25, -22, -20} dB
$L_{Fiber}$	광섬유 링크 손실	18dB
$L_{MUX}$	다중화기 손실	5dB
$L_{DMX}$	역다중화기 손실	5dB
$L_{SWH}$	스위치 손실	3dB
$G_{OA1}$	입력단 광증폭기 이득	18dB
$G_{OA2}$	출력단 광증폭기 이득	13dB

식 (1)에서 인접한 두 노드에서 임의의 지점, 예를 들면 출력단 광증폭기의 출력에서 전체 손실과 이득이 동일하다면  $L_{SWH} L_{MX} G_{OA2} L_{Fiber} G_{OA1} L_{DMX} = 1$ 이므로 다음과 같이 간략화 된다.

$$P_{sig} = P_{in} L_{SWH} \quad (2.a)$$

$$P_{ase,t} = N(P_{ase,OA2} L_{Fiber} G_{OA1} + P_{ase,OA1}) L_{DMX} L_{SWH} \quad (2.b)$$

누화는 다른 채널간(inter-channel) 누화와 동일 채널간(intra-channel) 누화 등으로 구분된다. 다른

채널간 누화는 신호와 다른 파장을 갖는 채널의 전력 이 더해지는 현상이고, 동일 채널간 누화는 신호와 동일 파장을 갖는 채널이 수신기에 입력되어 beat 잡음을 발생시킨다. 동일 채널간 누화에 의한 power penalty가 다른 채널간 누화에 의한 영향보다 10dB 이상 크다고 보고되었다<sup>[7]</sup>. 따라서 본 논문에서는 광역다중화기/다중화기와 광스위치에서 발생하는 동일 채널간 누화만을 고려하였다. 광역다중화기/다중화기에서 발생하는 누화는 불완전한 필터링 특성에 의해 발생하고, 광스위치에서 발생하는 누화는 불완전한 on/off 비에 의해 발생한다.  $N$ 개의 노드를 거친 후에 스위치에서 발생하는 누화의 수는 채널의 결합과 분기 시에 발생하므로 2이고, 광역다중화기/다중화기에서 발생하는 누화의 수는  $2(N-1)$ 이므로 수신단에서의 평균누화전력은 식 (3)과 같다.

$$P_{xt} = 2C_s P_{sig} + 2(N-1)C_m^2 P_{sig} \quad (3)$$

### III. 성능분석 모델

3 장에서는 2장에서 제시한 성능열화 요소들에 의한 영향을 분석하기 위해 BER 모델을 구성하였다. 누화에 의한 beat 잡음을 가우시안 분포로 가정한다면<sup>[8]</sup>, NRZ 신호에 대한 BER은 식(4)와 같다.

$$BER = \frac{1}{4} \left[ \operatorname{erfc} \left( \frac{(S_1 + S_{xt}) - T}{\sqrt{2N_1}} \right) + \operatorname{erfc} \left( \frac{T - (S_0 + S_{xt})}{\sqrt{2N_0}} \right) \right] \quad (4)$$

식 (4)에서  $S_{1/0} = \eta \frac{e}{h\nu} P_{1/0}$ ,  $S_{xt} = \eta \frac{e}{h\nu} P_{xt}$ , 그리고  $T$ 는 광수신기에서 신호검출을 위한 임계치이다.  $N_{1/0}$ 는 각각 데이터 '1'과 '0'일 때의 잡음전력을 의미하고,  $P_{1/0}$ 은 출력전력을 의미하며 소광비  $r$ 를 고려하여  $P_{sig} \frac{2}{1+r}$  과  $P_{sig} \frac{2r}{1+r}$  로 정의된다. 또한, 수신기의 임계치는 최적값(optimum threshold)과 고정값(fixed threshold)으로 구분되고, 최적값 임계치는 잡음성분을 고려하여  $\frac{(S_1 + S_{xt})\sqrt{N_0} + (S_0 + S_{xt})\sqrt{N_1}}{\sqrt{N_1} + \sqrt{N_0}}$  이고, 고정값 임계치는  $\frac{S_1 + S_0}{2}$  이다.

잡음성분은 열잡음  $N_{th}$ , 산탄잡음  $N_{sh}$ , 신호-ASE beat 잡음  $N_{sig-sp}$ , ASE-ASE beat 잡음  $N_{sp-sp}$ , 신호-누화 beat 잡음  $N_{sig-xt}$ , 그리고 누화-누화 beat

잡음  $N_{xt-xt}$  등으로 구성되며 식 (5)로 표현된다.

$$N_{1/0} = N_{th} + N_{sh,1/0} + N_{sig-sp,1/0} + N_{sp-sp} + N_{sig-xt,1/0} + N_{xt-xt} \quad (5)$$

$N_{sh,1/0}$ ,  $N_{sig-sp,1/0}$ ,  $N_{sig-xt,1/0}$ 는 각각 신호가 '1'과 '0'일 때의 산탄잡음, 신호-ASE beat 잡음, 신호-누화 beat 잡음이다. 식 (5)에서 각각의 잡음성분은 다음과 같다.

$$N_{th} = i_{th}^2 B_e \quad (6.a)$$

$$N_{sh,1/0} = 2\eta \frac{e}{h\nu} e(P_{1/0} + P_{xt} + P_{ase,t} B_0) B_e \quad (6.b)$$

$$N_{sig-sp,1/0} = 2 \left( \eta \frac{e}{h\nu} \right) (2(P_{1/0} + P_{xt}) P_{ase,t} / p) B_e \quad (6.c)$$

$$N_{sp-sp} = 2 \left( \eta \frac{e}{h\nu} \right) P_{ase,t}^2 / p \left( B_0 - \frac{B_e}{2} \right) B_e \quad (6.d)$$

$$N_{s-xt,1/0} = \left( \eta \frac{e}{h\nu} \right) 2P_{1/0} P_{xt} / p \quad (6.e)$$

$$N_{xt-xt} = \left( \eta \frac{e}{h\nu} \right) P_{xt}^2 / p \quad (6.f)$$

#### IV. 수치해석결과

4 장에서는 3장의 성능분석 모델을 이용하여 소광비, 누화, ASE 잡음 등을 변수로 하여 BER, power penalty, 그리고 최대 전송 가능한 노드수를 분석하였다. 성능분석에 사용된 변수들의 기본값은 표 1과 같다. 입력전력은 광증폭기 출력전력을 0dBm 으로 고정하기 위해 손실을 고려하여 5dBm 으로 하였다. OADM 노드의 다단 연결시 성능열화를 분석하기 위해 power penalty 는 다음과 같이 정의된다. 누화가 없고, 소광비가 이상적일 경우  $10^{-12}$ 의 BER 을 얻기 위해 요구되는 수신광전력을 기준으로 하고, 다단 연결시 누화비, 소광비 그리고 ASE 잡음에 의해  $10^{-12}$ 의 BER 을 얻기 위해 추가적으로 요구되는 수신광전력 양을 power penalty 로 정의한다.

그림 3은 OADM 노드를 1단 통과할 경우 평균 수신 광전력 변화에 따른 BER 을 보이고 있다. 광역다중화기/다중화기의 누화는 존재하지 않고, 광스위치 누화는  $(-\infty, -30, -25, -20)$ dB 일 때의 BER 특성으로 실선은 소광비가 이상적인  $\infty$  dB 이고, 점선은 10dB 일 경우이다. 소광비가 이상적이고 광스위치 누

화가 존재하지 않을 경우의 BER 을 얻기 위해 요구되는 평균 수신 광전력은 20.0dBm 이다. 또한, 광스위치 누화가 -30dB 이면 power penalty는 약 0.2dB 이고, 평균 수신 광전력이 증가함에 따라 BER 이 거의 선형적으로 변화하므로 광스위치 누화에 의한 성능 열화는 거의 없다. 그러나, 광스위치 누화가 -20dB 이면 power penalty는 약 3.2dB 이고, 누화성분과 신호간의 beating 에 의한 잡음성분이 증가하여 성능 열화가 보다 심각해진다. 소광비가 10dB 인 경우에는 광스위치 누화가 존재하지 않는 경우에도 약 0.9dB 의 power penalty가 발생한다. 또한, 광스위치 누화가 -25dB 인 경우 소광비가 이상적일 경우에는 약 0.8dB 의 power penalty 가 발생하지만 소광비가 10dB 인 경우에는 약 1.3dB 의 power penalty 가 발생한다. 이는 불완전한 소광비에 의해 데이터 '0' 인 경우에도 전력이 전달되는데 이에 의해 누화전력이 증가하기 때문이다. 소광비가 10dB 이고 광스위치 누화가 -20dB 인 경우에는 OADM 노드를 1단 통과한 후에도 error floor 현상이 발생함을 볼 수 있다.

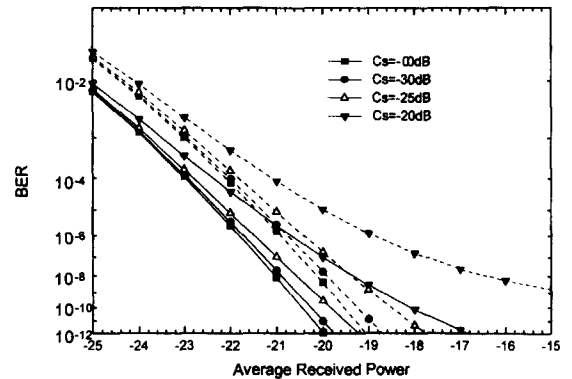


그림 3. 평균 수신 광전력에 대한 BER  
 실선 :  $r = \infty$  dB, 점선 :  $r = 10$  dB  
 Fig. 3. Bit error rate versus average received power.  
 solid line :  $r = \infty$  dB, dashed line :  $r = 10$  dB

그림 4는 OADM 노드를 1단 통과할 경우 광스위치 누화를 변화하면서 의 BER 을 얻기 위한 power penalty 를 보이고 있다. 광역다중화기/다중화기의 누화는 존재하지 않고, 소광비는  $(\infty, 20, 15, 13, 10)$  dB 일 때의 특성이다. 1dB 의 power penalty를 허용할 경우 광스위치 누화가 없는 경우에도 소광비를 10dB 이상을 유지해야 하고, 소광비가 이상적인 경우

에도 광스위치 누화를 24dB 이하로 유지해야 한다. 또한, 광스위치 누화가 30dB 이하이면 소광비에 관계 없이 power penalty가 0.3dB 이하로 누화에 의한 성능열화가 거의 없지만, -30dB 이상이면 power penalty가 급격히 증가함을 알 수 있다. 소광비가 13dB 일 경우 1dB 의 power penalty 를 허용하기 위해서는 광스위치 누화가 28dB 이하이어야 하고, 소광비가 20dB 일 경우에는 25dB 이하이면 된다.

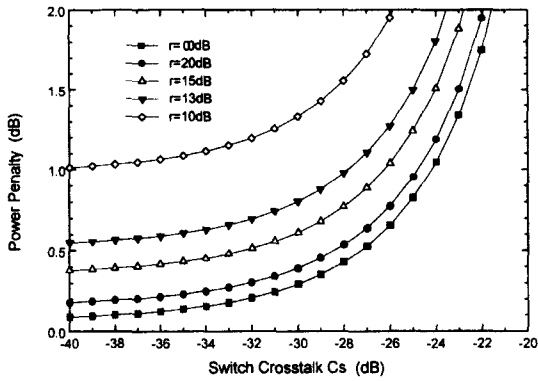


그림 4. 소광비와 광스위치 누화비 변화에 따른 power penalty  
Fig. 4. power penalty versus switch crosstalk ratio with extinction ratio.

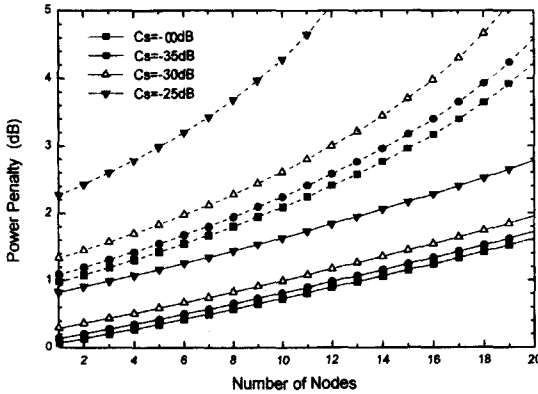


그림 5. 광스위치 누화비 변화와 노드수 증가에 따른 power penalty  
실선 :  $r = \infty$  dB, 점선 :  $r = 10$  dB  
Fig. 5. power penalty versus number of nodes with switch crosstalk ratio.  
solid line :  $r = \infty$  dB, dashed line :  $r = 10$  dB

그림 5와 그림 6은 OADM 노드의 다단 연결시 성능열화를 분석하기 위해 통과된 노드수를 변화하면서  $10^{-12}$ 의 BER을 얻기 위해 요구되는 power penalty를 보이고 있다. 그림 5는 광역다중화기/다중화기의

누화는 존재하지 않고 광스위치 누화가  $(-\infty, -35, -30, -25)$ dB 일 때의 power penalty 특성으로 실선은 소광비가 이상적이고 점선은 10dB 인 경우이다. 그림 5 에서 광스위치 누화가 없을 때 power penalty 는 ASE 잡음에 의한 성능열화로 소광비가 이상적일 경우 거의 선형적으로 증가하고, 12 개의 노드를 통과한 후에 1dB power penalty가 존재한다. 광스위치 누화 성분의 수는 통과된 노드수에 관계없이 2 이므로 노드수가 증가하더라도 광스위치 누화에 의한 성능열화는 거의 없음을 볼 수 있다. 소광비가 이상적일 경우 광스위치 누화가 35dB 이하이면 0.1dB 의 power penalty를 갖고, -25dB 이면 약 1.0dB 의 power penalty 를 갖는다. 따라서 광스위치 누화가 25dB 이면 12 개의 노드를 통과하기 전에는 광스위치 누화에 의한 power penalty가 지배적이고, 통과한 후에는 광스위치 누화보다는 ASE 잡음에 의한 power penalty가 보다 크다. 그러나, 소광비가 10dB 일 경우에는 소광비 열화에 의해 약 1.0dB 의 power penalty 가 존재하고, 이상적일 경우와 달리 노드수가 증가함에 따라 power penalty 가 선형적으로 증가하지 않고 보다 급격하게 증가함을 볼 수 있다. 이는 통과된 노드수가 증가함에 따라 ASE 잡음이 증가하고, 불완전한 소광비에 의해 누화성분이 증가하여 ASE 잡음과 누화성분간의 beating 에 의한 잡음전력이 증가하기 때문이다.

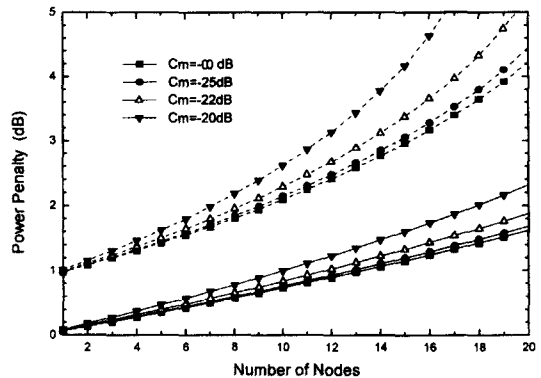


그림 6. 광역다중화기/다중화기 누화비 변화와 노드수 증가에 따른 power penalty  
실선 :  $r = \infty$  dB, 점선 :  $r = 10$  dB  
Fig. 6. power penalty versus number of nodes with demultiplexer/multiplexer crosstalk ratio.  
solid line :  $r = \infty$  dB, dashed line :  $r = 10$  dB

따라서 OADM 노드들을 다단 연결할 경우 소광비가

10dB 이고 1dB 의 power penalty 를 허용하기 위해서는 광스위치 누화를 -30dB 이하로 유지해야 한다.

그림 6은 광스위치 누화는 존재하지 않고 광 역다중화기/다중화기 누화가  $(-\infty, -25, -22, -20)$ dB 일 때의 power penalty 특성으로 실선은 소광비가 이상적이고 점선은 10dB 인 경우이다. 광 역다중화기/다중화기에서의 누화는 각각의 누화비와 통과된 노드수의 곱으로 표현되므로 통과된 노드수에 선형적으로 증가한다. 따라서, 소광비가 이상적인 경우 노드수가 증가함에 따라 power penalty 또한 선형적으로 증가함을 볼 수 있다. 그러나, 소광비가 10dB 일 경우에는 이상적인 경우와 달리 노드수가 증가함에 따라 power penalty 가 선형적으로 증가하지 않고 보다 급격하게 증가함을 볼 수 있다. 따라서 OADM 노드들을 다단 연결할 경우 소광비가 10dB 이고 1dB 의 power penalty 를 허용하기 위해서는 광 역다중화기/다중화기 누화를 -20dB 이하로 유지해야 한다.

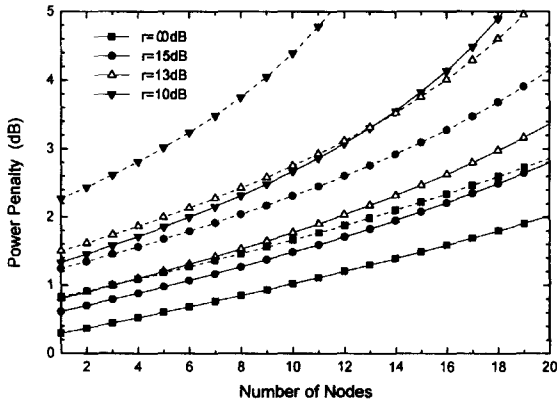


그림 7. 소광비 변화와 노드수 증가에 따른 power penalty

실선 :  $C_s = -30$  dB, 점선 :  $C_s = -25$  dB

Fig. 7. power penalty versus number of nodes with extinction ratio.

solid line :  $C_s = -30$  dB, dashed line :  $C_s = -25$  dB

그림 7은 소광비에 의한 전송특성 열화를 분석하기 위해 소광비를  $\{\infty, 15, 13, 10\}$ dB 로 변화하면서 노드수 증가에 따른 power penalty 특성을 보이고 있다. 광 역다중화기/다중화기 누화는 25dB이고, 실선은 광스위치 누화비가 30dB이고 점선은 25dB일 경우이다. 광스위치 누화비가 30dB 이고 1단의 노드를 통과할 경우 소광비가 13dB이면 소광비가 이상적인 경우

보다 power penalty는 0.5dB 크고, 10dB이면 1.0dB 크다. 또한, 통과된 노드수가 증가함에 따라 소광비가 10dB 에서 13dB로 3dB 향상되면 power penalty는 50% 이상 감소하고 10단의 노드를 통과한 후에도 1dB 이하의 power penalty 열화를 갖는다. 또한, 그림 7에서 소광비가 10dB이고 누화비가 30dB 인 경우와 소광비가 13dB이고 누화비가 25dB 인 경우에 노드수 증가에 따른 power penalty 변화가 거의 유사하다. 따라서 송신기의 소광비를 10dB 에서 13dB로 3dB 증가시키면 누화비가 5dB 증가되더라도 동일한 성능을 얻을 수 있다. 이는 소광비가 나빠지면 데이터 '0' 에 의한 누화전력이 증가하여 누화의 영향이 더욱 심각해지기 때문이다. 따라서 소광비가 10dB 이하이면 다단 연결된 OADM 전송에서 성능열화의 주된 요소가 되므로 1dB 의 power penalty를 허용할 경우 소광비는 최소한 13dB 이상이어야 한다.

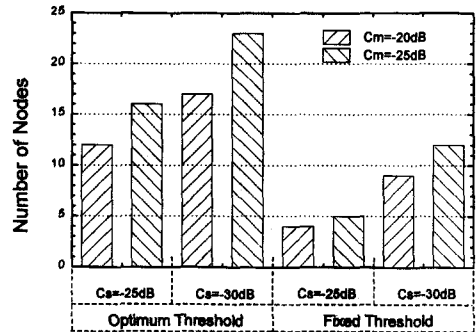


그림 8. 누화비 변화에 따른 전송가능한 최대 노드수  
Fig. 8. Maximum number of cascaded nodes with crosstalk ratio.

그림 8은 광스위치와 광 역다중화기/다중화기의 누화비에 따라 최대 전송가능한 노드수를 보이고 있다. 그림에서 소광비는 10dB이고, 수신기의 임계치는 최적값과 고정값인 경우를 비교하였다. 광스위치 누화가 30dB, 광 역다중화기/다중화기 누화가 25dB이고, 임계치가 최적값인 경우 최대 전송가능한 노드수는 23이다. 이는 누화에 의한 성능열화보다는 다단 연결된 광 증폭기에서 발생하는 ASE 잡음에 의한 성능열화에 의해 최대 전송 가능한 노드수가 제한된다. 그러나, 수신기에서 임계치가 최적값인 경우 광스위치 누화가 30dB에서 25dB 로 열화되면 전송가능한 노드수가 약 30% 감소하고, 광 역다중화기/다중화기 누화가 25dB 에서 20dB 로 열화되면 약 25% 감소한다. 임계치가

고정값인 경우에는 광스위치 누화가 30dB이면 전송 가능한 노드수가 최적값인 경우보다 약 50% 감소하지만, 광스위치 누화가 25dB이면 약 70% 감소한다. 따라서 임계치가 고정값인 경우에는 최대 전송 가능한 노드수가 ASE 잡음보다는 누화에 의한 성능열화에 의해 보다 지배적임을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 OADM 노드들이 다단 연결된 WDM 망에서 누화, ASE 잡음, 소광비 등을 고려하여 전송성능을 분석하였다. OADM 노드들을 다단 연결할 경우 각각의 성능제한 요소에 대해 1dB 의 power penalty 를 허용하기 위해서는 소광비를 13dB 이상, 광스위치 누화를 -30dB 이하, 광 역다중화기/다중화기 누화를 20dB 이하로 유지해야 한다. 소광비가 10dB 이하이면 다단 연결된 OADM 전송시스템에서 성능열화의 주된 요소가 되므로 소광비는 최소한 13dB 이상이어야 한다. 광스위치 누화를 30dB 이하로 유지하면 다단 연결된 OADM 전송시스템에서 누화에 의한 성능열화보다는 ASE 잡음에 의한 성능열화가 보다 지배적이다. 수신기의 임계치가 고정값인 경우에는 광스위치 누화가 30dB이면 전송 가능한 노드수가 임계치가 최적값인 경우보다 약 50% 감소하고, 최대 전송 가능한 노드수가 ASE 잡음보다는 누화에 의한 성능열화에 의해 보다 지배적이다.

## 감사의 글

※ 본 연구는 정보통신부 출연의 초고속 광대역 광전달망 기술연구 과제로 수행되었으며, 본 연구 수행에 많은 도움을 주신 김재근 박사, 이종현 박사께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- [1] S. Johansson, "Transport Network Involving a Reconfigurable WDM Network Layer- A European Demonstration," *J. Lightwave Technol.*, vol. 14, no. 6, pp. 1341-1348, Jun. 1996.
- [2] R. E. Wagner, "MONET: Multiwave-length Optical Networking," *J. Lightwave Technol.*, vol. 14, no. 6, pp. 1349-1355, Jun. 1996.
- [3] H. Toba, K. Oda, K. Inoue, K. Nosu, and T. Kotoh, "An Optical FDM-Based Self-Healing Ring Network Employing Arrayed Waveguide Grating Filters and EDFA's with Level Equalizers," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 14, no. 5, pp. 800-813, Jun. 1996.
- [4] H. Okayama, et. al., "Dynamic Wavelength Selective Add/drop Node Comprising Tunable Gratings," *Electron. Lett.*, vol. 33, no. 10, pp. 881-882, May 1997.
- [5] S. D. Dods, J. P. R. Lacey, and R. S. Tucker, "Homodyne Crosstalk in WDM Ring and Bus Networks," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 9, no. 9 pp. 1285-1287, Sep. 1997.
- [6] N. Antoniadis, I. Roudas, R. E. Wagner, and S. F. Habiby, "Simulation of ASE Noise Accumulation in a Wavelength Add-Drop Multiplexer Cascade," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 9, no. 9 pp. 1274-1276, Sep. 1997.
- [7] M. Koga, Y. Hamazumi, A. Watanabe, S. Okamoto, H. Obara, K. Sato, M. Okuno, and S. Suzuki, "Design and Performance of an Optical Path Cross-Connect System Based on Wavelength Path Concept," *J. Lightwave Technol.*, vol. 14, no. 6, pp. 1106-1119, Jun. 1996.
- [8] H. Takahashi, K. Oda, and H. Toba, "Impact of Crosstalk in an Arrayed-Waveguide Multiplexer on NxN Optical Interconnection," *J. Lightwave Technol.*, vol. 14, no. 6, pp. 1097-1105, Jun. 1996.
- [9] E. Desurvire, *Erbium-Doped Fiber Amplifiers. Principles and Applications*. New York: Wiley, 1994.
- [10] Y. Jin and M. Kavehrad, "An Optical Cross-Connect System as a High-Speed Switching Core and Its Performance Analysis," *J. Lightwave Technol.*, vol. 14, no. 6, pp. 1183-1197, Jun. 1996.

저 자 소 개

李 相 緣(正會員)

1968年 7月 16日生. 1991年 2月 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1993年 2月 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1997年 8月 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1997年 12月 현재 한국전자통신연구원 연구원. 주관심분야는 광전달망, 광회선분배기 등임

徐 完 鎬(正會員)

1958年 1月 5日生. 1980年 2月 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1982年 2月 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1994年 8月 Texas A&M 대학교 전기공학과 졸업(공학박사). 1982年 1月 1983年 3月 국방과학연구소 연구원. 1983年 3月 현재 한국전자통신연구원 선임연구원. 주관심분야는 광통신, 광전달망, 광센서 등임

李 聖 恩(正會員)

1956年 1月 27日生. 1978年 2月 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1980年 8月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 1992年 8月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사). 1980年 9月 현재 한국전자통신연구원 근무. 주관심 분야는 광대역 광전달망 및 광회선 분배기 등임