

WDM 출력 공유 버퍼

준회원 kwak 용 석*, 정회원 신 서 용**

WDM output shared buffer

Yong-seok Kwak* Associate Member, Seoyong Shin** Regular Member

요 약

본 논문에서는 여러개의 WDM 채널을 동시에 처리할 수 있는 새로운 출력 공유버퍼를 제시했다. 분석을 통해 만약 버퍼에서 사용되는 광 도파로열 격자의 누화 값이 -33dB 이하이면, BER 10⁻⁹의 시스템 성능을 만족하면서 8개 이상의 WDM 채널을 동시에 버퍼링할 수 있음을 보였다.

ABSTRACT

A novel optical output shared buffer that handles multiple WDM channels is introduced. If the crosstalk of the arrayed-waveguide-grating used in the buffer is lower than 33dB, up to 8 WDM channels can be buffered simultaneously with system performance of BER 10⁻⁹.

I. 서 론

최근 고속 데이터 통신, 영상, 그리고 멀티미디어 서비스와 같은 복잡 다양한 통신 서비스를 통합처리하기 위해서는 교환기의 처리용량의 증가가 필수적으로 요구되어 진다. 따라서 교환기의 처리용량의 한계를 극복하기 위해 전/광 변환을 거치지 않고 광을 광으로 처리하며 광고유의 특성인 고속성과 병렬처리 능력을 최대한 활용하는 광 교환 기술이 무엇보다 중요하다. 특히 현재에 이르러서 광 교환 시스템은 WDM 전송과 보조를 맞추기 위해, 교환 역시 WDM에 기반을 둔 형태가 되어야 한다^{[1],[2],[7]}. 광 교환 시스템의 장점을 심분 발휘하기 위해서는 광 교환 과정에 필수적으로 수반되는 버퍼링 역시 전 광학적으로 이루어질 필요가 있다. 이러한 취지 하에 지금까지 다수의 전광학적 광 버퍼가 발표되어왔다. 기존의 버퍼 시스템은 시스템의 모든 채널에 대해 개별적으로 버퍼가 사용됨으로써 채널의 수가 증가함에 따라 교환기의 하드웨어 양이 급증하게 된다. 하지만 본 논문에서는 현재 광통신에서

요구하는 WDM 전송에 바탕을 두고 하나의 버퍼를 이용하여 다수의 채널로부터 들어오는 WDM 신호를 동시에 버퍼링을 해줄 수 있는 새로운 구조의 WDM 출력 공유 버퍼를 제안함으로써 교환기 하드웨어의 양을 획기적으로 줄이게 되었다. 버퍼의 구조 및 동작원리를 II절에서 설명하였으며, BER 특성을 제한하는 누화 잡음 성분에 대하여 III절에서 알아보고 IV절에서 제안한 버퍼에 대한 성능 분석을 하였다. 버퍼의 동작을 입증하기 위한 실험은 V절에서 보이고 있으며, 마지막으로 VI절에서 결론을 맺는다.

II. 제안한 WDM 출력 공유버퍼의 구조 및 동작 원리

그림 1은 제안된 WDM 출력 공유버퍼의 구조를 보여 주고 있다. 버퍼의 구조를 보면 N개의 1×L 역다중화기(DEMUX), N개의 L×1 다중화기(MUX), L×L개의 가변 파장 변환기(TWC), 1개의 P×P 광도파로 열 격자(AWG), M(=L-1)개의 Delay

* 커미넷 주식회사 (gandme@cominet.co.kr), ** 명지대학교 전자정보통신공학부 (sshin@mju.ac.kr)
논문번호: 00480-1221, 접수일자: 2000년 12월 21일

※ 본 연구는 광주과학기술원 초고속 광네트워크 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원에 의한 것임.
본 연구의 일부는 또한 정보통신부의 정보통신 우수시범학교 지원사업에 의하여 수행된 것임.

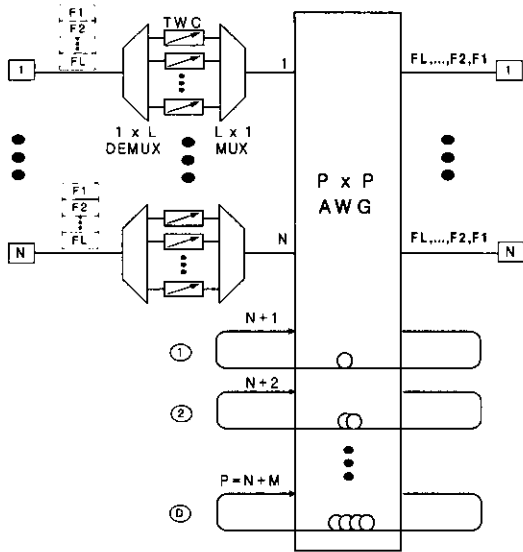


그림 1. 제안한 버퍼의 일반적인 개략도

Line으로 구성⁽³⁾ 되어있으며 동작원리는 다음과 같다. N(1~N)개의 입력포트 중 1번 포트로부터 L 개의 다중화 된 셀들이 들어오고 DEMUX에 입력되어 신호가 분리된 후 가변 파장변환기(TWC)에 의해 가고자 하는 파장으로 변환된다. 그 후 셀들은 MUX에 의해 다시 다중화 되어 AWG에 입력된다. AWG에 입력된 셀들은 해당 라우팅 테이블에 의해 가고자 하는 출력포트로 라우팅 되고, 지연을 겪지 않는 셀을 제외한 나머지 셀들은 지연선을 거쳐 입력포트로 반환(feedback)되어 최종적으로 가고자 하는 출력포트로 순차적으로 출력된다. 다른 입력포트에서 입력된 셀들도 위와 같이 라우팅 테이블에 의해 해당 출력포트로 라우팅 되는데 이때 동일 지연선을 통과하는 셀들은 서로 다른 파장을 갖고 있어 셀들 간의 충돌이 발생하지 않는다. 그림 2는 본 논문에서 제안한 하나의 버퍼를 이용하여 네 개의 채널을 동시에 버퍼링 하는 과정 중 1, 2 번 입력포트를 나타내고 있다. 여기서 숫자 0 ~ 3은 셀들이 겪는 지연선의 길이를 나타내고 있으며, 포인터는 현재 출력되고 있는 파장을 의미한다. 먼저 input 1에 입력된 파장들은 가변 파장 변화기에 의해 F1, F5, F6, F7로 가변 되고 input 2에 입력된 파장들은 F3, F6, F7, F8로 가변 됨을 볼 수 있다. Input 1의 F1은 0의 지연을 겪고 출력이 되어 지고 있으며 F5는 표 1의 라우팅 테이블의 의해 AWG의 출력포트 5로 출력되어 지며, 1 time의 지연을 겪은 후 다시 AWG의 입력포트 5로 반환되어 최종적으로

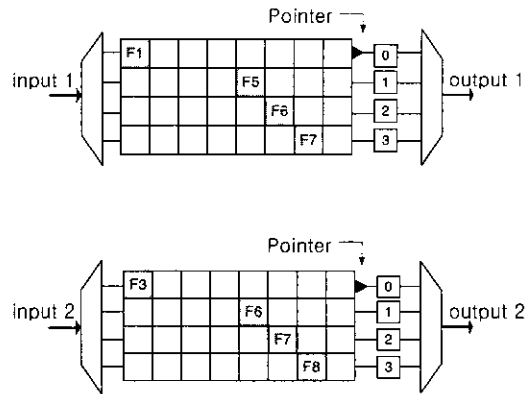


그림 2. 버퍼의 동작 순서도

로 라우팅 테이블에 의해 출력포트 1로 출력되어 짐을 볼 수 있다. 이때 input 2에서 입력된 파장 중 1 time의 지연을 겪는 것의 파장을 보면 F6이며 F5와 동시에 같은 지연을 겪는다 하더라도 파장이 다르게 구성이 되어 충돌이 일어나는 것을 피할 수 있다. 같은 원리에 의해 다른 지연선을 겪는 파장들도 충돌을 피하면서 동시에 버퍼링을 할 수 있다. 파장의 구성 및 라우팅 경로는 표 1의 라우팅 테이블에 의해 정의되어 진다. 표 1의 진한 회색인 F1, F3, F5, F7은 지연을 겪지 않는 파장을 나타내고 있으며 밝은 회색 부분의 파장들은 지연을 겪는 파장으로 구분이 되어 진다. 다음으로 밝은 부분의 파장들은 본 제안한 구조에서 사용이 되지 않는 파장들을 의미한다. 파장 분할 다중화 방식의 광 교환 시스템에서 우리가 제안한 버퍼는 다른 버퍼와 비교하였을 때 하나의 AWG를 사용하여 파장 다중화 된 여러 채널을 동시에 처리해준다는 장점을 갖는다. 즉, 적은 하드웨어로 버퍼를 구성할 수 있게 된다.

표 1. 8x8 AWG 파장 라우팅 테이블

		Output							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Input	1	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
	2	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F1
	3	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F1	F2
	4	F4	F5	F6	F7	F8	F1	F2	F3
	5	F5	F6	F7	F8	F1	F2	F3	F4
	6	F6	F7	F8	F1	F2	F3	F4	F5
	7	F7	F8	F1	F2	F3	F4	F5	F6
	8	F8	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7

III. 누화(Crosstalk)

버퍼에서는 여러 가지 누화 성분이 존재하는데, 그 중 하나는 버퍼내에 존재하는 광 스위치(또는 SOA)의 on/off ratio, 와 AWG등 여러 소자로부터 이상적이지 못한 특성으로 인해 누화를 완전히 차단하지 못하는 점에 기인한다.

AWG를 사용하는 버퍼를 가정할 경우, AWG에서 파장에 따라 경로가 설정된다 할지라도 AWG의 누화 특성상 다른 파장에 대한 입력파워를 완전히 막지(block)못해 아주 작은 정도의 파워가 흘러나오기(leakage) 마련이다. 결국 이것이 원 신호와 합쳐져 누화성분이 되기 마련이다. 이러한 누화 성분은 두 가지 경우로 나누어 볼 수 있으며 다음과 같다^[6].

3.1 IC(Incoherent Crosstalk)

그림 3과 4는 누화의 발생 과정을 보여 주고 있으며 4x4 AWG를 이용하여 버퍼를 구성하였다고 가정하였을 때 팔호가 1개인 것은 1차 누화성분이고 팔호가 2개인 것은 2차 누화성분을 의미하는 것이다. 여기서 우리는 차수(order)가 큰 2차 누화성분을 무시하였으며 그림 5에 나타내었다^[6]. 전체 시스템에서의 누화 성분을 분석해 보면, 버퍼부의 첫 번째 입력포트의 λ_0 신호가 첫 번째 출력포트로 향할 경우 나머지 2,3,4포트의 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 신호가 첫 번째 출력포트에 누화 성분으로 작용해 $0^1(1^2 2^3 3^4)$ 와 같이되고, 이 신호들과 다른 버퍼단에서 출력된 원래 신호와 누화 성분들이 각각 AWG의 입력포트로 입력되면 AWG의 라우팅 테이블에 의해 AWG 첫 번째 출력포트에는 원 신호와 각각 다른 파장의 1차 누화 성분이 존재하게 된다. 이것을 그림 3과 4에 보이고 있는데 각각 파장이 다른 신호와 누화 성분을 볼 수 있다. 따라서 이 경우 누화는 IC(Incoherent Crosstalk)로 각각의 파워가 원래 신호에 더해지게 되고(Power Addition), AWG 1번 출력포트에서의 총 누화 파워는 다음과 같다.

$$P_{x,g}(t) = \sum_{i \neq j}^{M-1} \epsilon P_{i,OUT}(t) \quad (1)$$

여기서 ϵ 는 SOA의 경우 on/off ratio의 역수를 취한 값이고($\epsilon = G_{off}/G_{on}$) AWG의 경우는 누화 파라미터이다. $P_{i,OUT}(t)$ 는 $i \neq j$ 인 경우 파장 λ_i 인 누화의 출력 광 파워이다. 다음으로 (1)식은 다음과 같이 간소화시킬 수 있다.

$$P_{x,g}(t) = \epsilon P_{OUT,1} \sum_{i \neq j}^{M-1} b_i(t) \quad (2)$$

$P_{OUT,1}$ 은 데이터가 1일 경우의 출력 광 파워이다. 여기서 $b_i(t)$ 는 데이터가 1임을 가리키고 i 번째 누화를 가리킨다. 데이터가 0인 경우는 $b_i(t) = r$ 인 경우로($r = P_0/P_1$) extinction ratio를 가리킨다. 이러한 누화 성분들은 만약 필터를 사용하게 된다면 제거할 수 있는 누화 성분들이다.

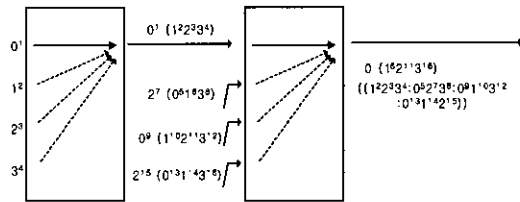


그림 3. 버퍼부에 각각 다른 파장이 들어올 경우의 누화성분

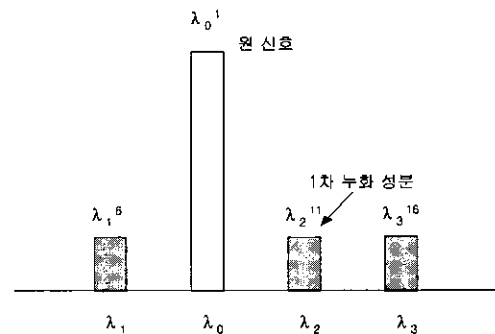


그림 4. 출력포트에서 본 버퍼부의 누화 성분

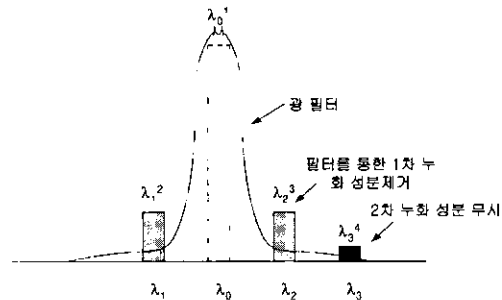


그림 5. 2차 누화 성분 및 필터를 통해 1차 누화 성분제거

3.2 BNC(Beat-Noise Crosstalk)

다음으로 BNC(beat-noise crosstalk)을 보면 다음과 같다. 그림 6에서처럼 각 공간부의 모든 입력들에 모두 같은 파장들이 입력될 경우, AWG 1번씩

출력포트에는 원래 신호와 같은 파장을 갖는 누화 성분들이 1차 누화 성분으로 나타나게 된다. 이 경우는 원래의 신호에 치국차곡 쌓이게 되므로 누화 성분을 밴드패스필터로 제거시킬 수가 없게되고 이런 누화성분을 homowavelength crosstalk라 한다. 그림 7에서는 누화 성분과 원 신호와 각각 같은 파장일 경우를 보여주고 있다.

만일 누화성분의 편광이 원래 신호의 편광과 orthogonal하면 원래 신호와 누화 성분간에 beating이 존재하지 않게 되고 앞 (2)식에서 보았듯이 단지 더해주기만 하면 된다. 하지만 누화성분들이 원래 신호와 같은 편광일 경우는 누화 성분과 원래 신호와 beating을 일으키게 되고, optical carrier 들의 phase가 랜덤할 경우, 이런 beating은 carrier phase noise를 일으키게되는데 이것을 signal crosstalk beat noise라 한다. 만약 M개의 파장을 갖는 N×N 입력/출력의 구조일 때 beat noise crosstalk를 계산하기 위해 수신된 전계를 고려하면 광 다이오드에서 beat-noise crosstalk를 갖는 신호의 광 필드는 다음과 같다.

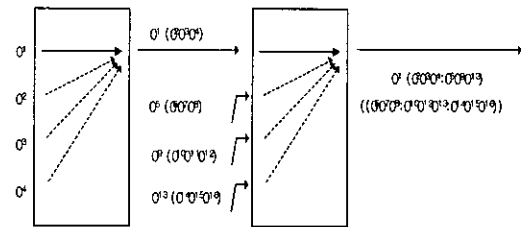


그림 6. 버퍼부에 같은 파장이 들어올 경우의 누화성분

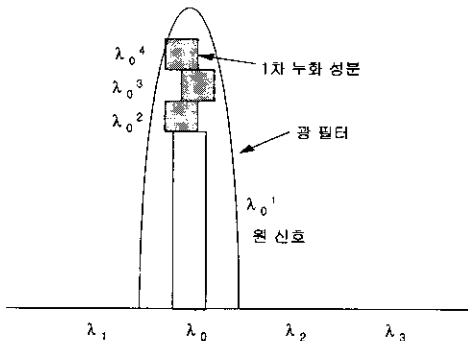


그림 7. 버퍼부의 한 출력포트에서의 누화 성분

$$E(t) = \sqrt{2 P_s(t)} p_s \cos(\omega t + \phi_s(t)) + \sum_{i=1}^{M-1} \sqrt{2 \epsilon P_i(t)} P_i \cos(\omega t + \phi_i(t)) \quad (3)$$

여기서 $P_s(t)$ 는 광 신호파워, $P_i(t)$ 는 누화 성분의 광 파워, P_s, P_i 는 광 신호와 누화성분의 편광에 대한 단위벡터이다.

(3)식을 광신호의 데이터가 1이나 0인 경우 수신된 광파워로 나타내면 다음과 같다.

$$E(t) = E b_s(t) \cos[\omega_s t + \phi_s(t)] P_s + \sqrt{\epsilon} E \sum_{i=1}^{M-1} b_i(t - \tau_i) \cos[\omega_i(t - \tau_i) + \phi_i(t - \tau_i)] P_i + \sum_{j=2}^N \sum_{k=1}^{M-1} \sqrt{\epsilon} E b_j(t - \tau_{jk}) \cos[\omega_j(t - \tau_{jk}) + \phi_j(t - \tau_{jk})] P_{jk} \quad (4)$$

여기서 E 는 신호의 크기를 나타내고 $b_s(t)$ 는 버퍼 입력신호이고 0과 1이 동일하게 발생하며, $\omega_s(t), \phi_s(t)$, 그리고 $\omega_i(t), \phi_i(t)$ 는 중심주파수와 레이저의 위상 노이즈를 나타내며 P_s 는 신호 편광의 단위 벡터 값, 그리고 τ_i, τ_{jk} , 그리고 P_i, P_{jk} 는 전파 지연 차와 누화 성분의 편광 단위 벡터 크기를, 마지막으로 ϵ 는 누화량을 의미한다. 또한 첫 번째 항은 광 신호의 파워이고 두 번째 항은 신호와 누화간의 beating을 나타내고, 세 번째 항은 누화 채널의 power addition과 mutual beating을 나타낸다. 이와 같은 누화 성분을 좀더 자세히 분석을 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다⁷⁾.

3.2.1 $\tau(\tau_i \text{ and } \tau_{jk}) > \tau_{\text{coherent}}$ 인 경우

만약에 광 버퍼내의 전파 지연 차가 레이저의 coherent time을 초과하게 되었을 경우, $\phi_s(t)$ 는 $\phi_s(t - \tau_i)$ 와 incoherent 하고, $\phi_j(t - \tau_{jk})$ 도 또한 각각 서로 다른 k에 대하여 incoherent하게 된다. 따라서 모든 누화 성분은 신호에 incoherent하게 되어 누적성분으로 나타나게 되어 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E(t) = E b_s(t) \cos[\omega_s t + \phi_s(t)] P_s + \sum_{i=1}^{M+N-2} \sqrt{\epsilon} E b_i(t) \cos[\omega_i t + \phi_i(t)] P_i \quad (5)$$

여기서 $b_i(t), \omega_i, \phi_i(t)$, 그리고 P_i 들은 i 번째 누화에 대한 이진데이터 열, 중심 주파수, 위상 잡음, 그리고 편광의 단위 벡터 값을 의미한다. 여기서 $\omega_s = \omega_i$ 로 가정하고, $b_s(t) = 1$ 로 놓고 PD(photo diode)에서의 누화와 신호간의 출력 전류 i_{out} 을 보면 (6)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_i(t) = 1 + 2\sqrt{\epsilon} \sum_{i=1}^{M+N-2} b_i(t) \cdot$$

$$\cos[\phi_s(t) - \phi_i(t)]P_s \cdot P_i \quad (6)$$

여기서 두 번째 항은 신호와 누화간의 beat noise 를 나타내고 있다.

3.2.2 τ (τ_i and τ_{jk}) $<$ $\tau_{coherent}$ 인 경우

버퍼내 M+N-2안에 원 신호와 같은 누적성분이 두 개 이상 존재 할 때, 이들은 coherent한 합성 누화 성분으로 나타나게 된다. 이 경우, $\phi_s(t-\tau_i)$ 그리고 $\phi_j(t-\tau_{jk})$ 는 $\phi_s(t)$ 와 $\phi_j(t)$ 와 같은 경우로 다루어진다. 이때 합성누화 성분은 누적 성분끼리의 위상 관계로 정의되어지며 (7)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$E(t) = Eb_s(t) \cos[w_s t + \phi_s(t)]P_s + \sqrt{\epsilon}E \sum_{i=1}^X b_s(t-\tau_i) \cos[w_s(t-\tau_i) + \phi_s(t)]P_i + \sum_{j=2}^N \sum_{k=1}^X \sqrt{\epsilon}Eb_j(t-\tau_{jk}) \cos[w_j(t-\tau_{jk}) + \phi_j(t)]P_{jk} \quad (7)$$

(7)식에서 두 번째 항은 원 신호와의 coherent한 누화 성분이다. 이에 반하여 세 번째 항의 N-1 합성 누화는 incoherent한 누화이다. 이러한 성분들이 광 검출기에서 수신되었을 때의 광 전류는 (8)식과 같이 표현할 수 있다.

$$I(t) = b_s(t) + 2\sqrt{\epsilon} \sum_{i=1}^X b_s(t)b_s(t-\tau_i) [\cos \phi_i \cos \theta_i] \cdot \sum_{j=2}^N 2\sqrt{\epsilon} \cos[\phi_j(t) - \phi_j(t)] \sum_{k=1}^X b_s(t)b_j(t-\tau_{jk}) \cos \phi_{jk} \cos \theta_{jk} \quad (8)$$

(8)식에서 $\phi_i = \omega_s \tau_i$, $\phi_{jk} = \omega_j \tau_{jk}$, $\cos \theta_i = P_s \cdot P_i$, $\cos \theta_{jk} = P_s \cdot P_{jk}$, θ_i 그리고 θ_{jk} 는 원 신호와 누화 성분사이의 편광 각의 차를 나타낸다. 우리는 $\omega_s = \omega_j$ 라 가정을 하였을 때, 식(8)에서 세 가지 항들은 신호에 의해 생성된 광 전류를, 신호와 coherent 누화사이의 beat를 그리고 신호와 incoherent한 누화 성분과의 beat를 나타내고 있다. 특히 이와 같은 경우는 펄스의 폭과 관계를 갖게 되는데 이는 아래와 같다.

- 1) τ (τ_i and τ_{jk}) \ll T 인 경우
만약 전파 지연 차가 1 bit의 duration 보다 매우

작을 경우, 즉 $\tau \ll T$, $b_s(t-\tau_i)$ 는 근사적으로 $b_s(t)$ 와 같게 된다. 따라서 앞 (8)식에서 두 번째 항은 신호 성분에 추가가 되나 시 불변적이다. 따라서 coherent crosstalk 은 noise로 작용하지 않고, 신호 파워의 fluctuation을 일으킨다. 이때의 신호의 광 전류 값은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$I = 1 + 2\sqrt{\epsilon} \sum_{i=1}^X \cos \phi_i \cos \theta_i \quad (9)$$

그리고 (8)식에서 세 번째 항은 $\phi_s(t)$ 가 $\phi_j(t)$ 와 incoherent하기 때문에 여전히 beat noise로 작용을 한다.

- 2) τ (τ_i and τ_{jk}) $>$ T 인 경우

전파 지연 시간이 1 bit period 보다 큰 경우이다. 이와 같은 경우에는 $b_s(t-\tau_i)$ 는 $b_s(t)$ 에 incoherent하게 되고 이때 신호가 존재할 확률 값을 보면 다음과 같다.

$$P = (1/T) \int_{nT}^{(n+1)T} b_s(t)b_s(t-\tau_i)dt \quad (10)$$

따라서 위의 식에 의하여 (8)식의 두 번째 항은 신호에 대하여 시변적이며 노이즈 성분으로 작용을 하게 된다.

IV. 제안된 버퍼의 성능 분석

본 논문에서 제안한 구조에서 발생할 수 있는 잡음성분은 누화 잡음을 볼 수 있다. 버퍼의 성능을 분석함에 있어서는 앞 절에서 알아본 이러한 비팅 잡음 성분 및 incoherent한 누화 성분을 모두 고려하여 분석을 하였다. 우리가 제안한 버퍼를 분석함에 있어 누화가 발생하는 경우는 두 가지로 분류할 수 있는데 첫 번째 경우는 지연선을 겪지 않고 입력 채널로부터 들어오는 파장 성분들에 의해 생기는 누화 잡음 성분이다. 특히 한 채널 당 한파장만이 들어오는 것이 아니고 여러 파장 성분이 존재함으로써 해서 누화 성분은 자신의 채널로부터 들어오는 누화 잡음 성분들과 다른 여러 채널로부터 들어오는 다중화 된 신호로부터 생기는 누화 성분이 있다. 두 번째로 지연선을 겪고 출력되는 성분들을 볼 수 있는데 이는 각각의 채널로부터 들어오는 신호와 여러 채널로부터 오는 1차 누화를 볼 수 있다. 신호 및 잡음 성분들이 같이 케환이 된 후 자신이 원하는 출력포트로 가고자 할 때 표 1의 라우팅 테

이블에 의해 바람직한 신호 외에 자신의 채널이 갖고 있던 누화 성분으로부터 또 한번의 누화를 발생시키게 된다. 즉, 이는 1차 누화 성분을 다시 AWG를 거치게 함으로써 2차 누화 성분이 되어 신호에 미치는 영향을 줄이게 된다. 따라서 본 논문에서는 첫 번째 경우와 두 번째 경우를 분리하여 분석하였으며 이때 AWG를 통해 출력되는 신호의 전계 E_s 는 다음과 같이 표현 될 수 있다^{[4],[5]}.

$$E_s = d\sqrt{2 P_{in}} \exp(i\omega_s t + i\phi_s) \quad (11)$$

여기서 d 는 버퍼 입력 신호이고 0과 1이 동일하게 발생하며, P_{in} 은 입력신호의 광 파워, ω_s 는 신호의 파장, ϕ_s 는 신호의 위상으로 0과 2π 사이에서 고루 발생한다. 신호가 AWG를 통과하면서 발생하는 누화 전계는 두 가지 성분으로 다음과 같다.

$$E_{CN} = \sqrt{2 P_{in}/R_c} \sum_{m=1}^{N-1} \exp(i\omega_m t + i\phi_m) \quad (12)$$

$$E_{CT2} = \sqrt{2 P_{in}/R_c} \sum_{m=1}^{2(N-1)} \exp(i\omega_m t + i\phi_m) \quad (13)$$

여기서 R_c 는 AWG의 누화이고 N 은 AWG에서 입력 단으로 쓰이는 채널의 수이다. E_{CN} 은 AWG에서 지연을 겪지 않고 출력되어 질 때 발생하는 누화 성분으로 바람직한 신호 외에 자신이 속한 채널로부터 오는 파장 성분 및 다른 채널로부터 들어오는 모든 파장성분들로부터 생기는 누화 전계를 표현한다. E_{CT2} 는 AWG에서 지연을 겪고 출력되는 파장들로부터 발생하는 누화 전계를 표현하고 있으며 여기서 2차 누화 성분은 제외하였다. AWG 출력 단에서 발생하는 광 전계 E_{out} 은 신호와 누화 전계 E_{CN} 그리고 E_{CT2} 로 구성을 하며 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E_{out1} = E_s + E_{CN} \quad (14)$$

$$E_{out2} = E_s + E_{CT2} \quad (15)$$

다음으로 이와 같은 성분들이 반응도 R_e 를 갖는 광 검출기를 통해서 수신되었을 때 출력 광 전류 i_{out1} , i_{out2} 를 구하면 다음과 같다.

$$i_{out1}(t) = \frac{1}{2} R_e \frac{1}{T} \int_{t-T}^t (E_s + E_{CN})^2 dt \quad (16)$$

$$i_{out2}(t) = \frac{1}{2} R_e \frac{1}{T} \int_{t-T}^t (E_s + E_{CT2})^2 dt \quad (17)$$

여기서 T 는 비트의 길이(duration)이고, 누화 광 전류 i_{CN} , i_{CT2} 는 위의 식에서 신호 성분을 제외시킨 나머지고 다음과 같다.

$$\begin{aligned} I_{CN} &= \frac{1}{2} R_e \frac{1}{T} \int_{t-T}^t (E_{CN} E_{CN}^* + 2E_s E_{CN}^*) dt \\ &= \frac{1}{2} R_e (2P_{in}/R_c) \left(\sum_{k=1}^{N-1} \frac{1}{T} \int d_k^2 dt + \right. \\ &\quad \left. 2 \sum_{k=1}^{N-1} \sum_{k'}^{N-1} \frac{1}{T} \int d_k d_{k'} \cos(\phi_k - \phi_{k'}) dt \right) \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} I_{CT2} &= \frac{1}{2} R_e \frac{1}{T} \int_{t-T}^t (E_{CT2} E_{CT2}^* + 2E_s E_{CT2}^*) dt \\ &= \frac{1}{2} R_e (2P_{in}/R_c) \left(\sum_{k=1}^{2(N-1)} \frac{1}{T} \int d_k^2 dt + \right. \\ &\quad \left. 2 \sum_{k=1}^{2(N-1)} \sum_{k'}^{2(N-1)} \frac{1}{T} \int d_k d_{k'} \cos(\phi_k - \phi_{k'}) dt \right) \end{aligned} \quad (19)$$

다음으로 모든 채널로부터 오는 입력신호를 1로 가정하고 누화 분산값을 계산하면 다음과 같다.

$$\sigma_{CN}^2 = (R_e P_{in}/R_c)^2 \left(\sum_{k=1}^{N-1} \sigma_{z_1}^2 + 2 \sum_{k=1}^{N-1} \sum_{k'}^{N-1} \sigma_{z_2}^2 \right) \quad (20)$$

$$\sigma_{2scN}^2 = \frac{1}{4} R_e^2 (4 P_{in} \sqrt{1/R_c})^2 \sum_{k=1}^{N-1} \sigma_{z_1}^2 \quad (21)$$

$$\sigma_{CT2}^2 = (R_e P_{in}/R_c)^2 \left(\sum_{k=1}^{2(N-1)} \sigma_{z_1}^2 + 2 \sum_{k=1}^{2(N-1)} \sum_{k'}^{2(N-1)} \sigma_{z_2}^2 \right) \quad (22)$$

$$\sigma_{2sc2}^2 = \frac{1}{4} R_e^2 (4 P_{in} \sqrt{1/R_c})^2 \sum_{k=1}^{2(N-1)} \sigma_{z_1}^2 \quad (23)$$

여기서 식 (20),(21),(22),(23)은 각각 CT1과 CT1, 신호와 CT1, CT2와 CT2,, 신호와 CT2 간의 누화 분산값을 의미한다. 위의 분산값을 이용하여 가우스 근사법에 적용하여 SNR(signal-to noise)을 구할 수 있고, SNR을 이용하여 BER을 $\text{erfc}(\text{error function})$ 에 적용하여 구할 수 있다.

$$\text{SNR} = \frac{I_1 - I_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (24)$$

$$\text{BER} = \frac{1}{2} \text{erfc} \left(\frac{\text{SNR}}{\sqrt{2}} \right) \quad (25)$$

그럼 8은 누화 성분을 이용하여 제안된 버퍼의 BER을 누화 ϵ 로 나타낸 것이다. 위의 그림에서 보듯이 지연을 거친 누화 성분이 지연을 거치지 않은 성분에 비해 성능이 우수하게 나온 것을 볼 수 있으며 일반적으로 AWG의 누화는 일반적으로 30

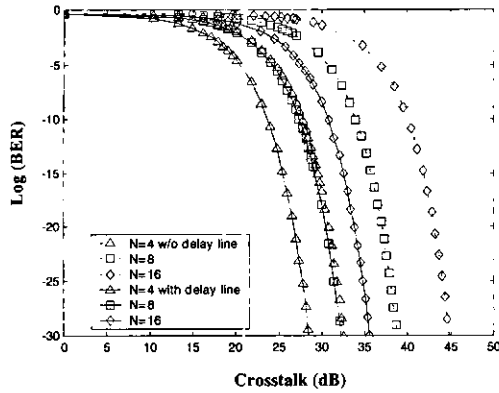


그림 8. 채널수 N의 증가에 따른 지연선을 거친 누화 와 지연선을 거치지 않은 누화 성분에 대한 BER 간의 관계

~40dB 정도이므로 지연선을 거친 누화성분들은 이 조건을 모두 만족하고 있으나 지연선을 거치지 않은 누화 성분 중 N=16인 경우만 이를 만족하지 못함을 알 수 있다. 따라서 버퍼를 구성함에 있어 최대 32×32 AWG 미만으로 사용해야 함을 알 수 있다. 그림 9는 채널 수의 변화에 따른 누화성분을 알아 본 것이다. 그림에서 실선부분은 BER 10⁻⁹를 만족할 때의 누화성분의 변화를 보여 주고 있고, 점선은 BER 10⁻¹¹를 만족할 때의 누화성분을 나타내고 있다. 분석에서 보듯이 제안한 버퍼는 BER 특성의 변화에 둔감함을 볼 수 있다. 본 논문에서 제안한 버퍼의 구조는 AWG의 성능의 개선에 따라서 허용하는 채널의 수가 기하급수적으로 증가하며 하나의 AWG를 이용하여 WDM 신호를 동시에 처리함에 있어 무리가 없음을 알 수 있다.

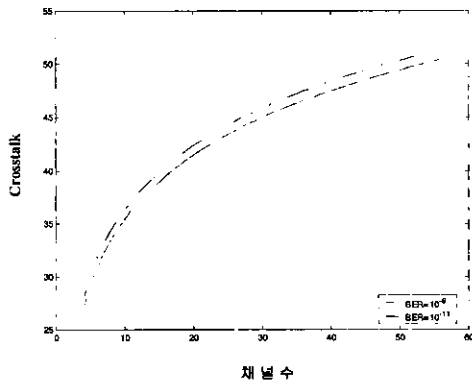


그림 9. 채널수 증가에 따른 Crosstalk 변화량

V. 실험

그림 10은 제안한 버퍼의 동작을 입증하기 위한 실험 set-up을 보여 주고 있다. LD1은 CW (continuous wave)의 신호를 그리고 LD2는 PPG (Pulse Pattern Generator)에 의해 동기화 된 Short pulses를 발생시킨다. 이 두 신호는 2×2 커플러에 의해 파장 다중화 된 후 변조기에 의해 변조가 되며 변조신호는 PPG에서 공급되어진다. 이 변조된 신호는 8×8 AWG에 입력이 된 후 LD2의 신호는 0의 지연을 겪고 출력되고 LD1의 신호는 1 time의 지연을 겪은 후 출력된다. 이 두 신호는 광전 변환을 통하여 오실로스코프(OSC) 통하여 측정을 할 수 있다. 그림 11은 오실로스코프에서 검출된 실험 결과를 보여 주고 있다. 실험에서 사용한 두 셀은 모두 2.5Gb/s의 속도로 39bit로 이루어져 있다. 이 가운데 16bit는 “1”이며 나머지 23bit는 “0”이다. 단, 첫 번째 셀은 파장이 1555.1nm이며 신호는 NRZ 형태인데 반해 두 번째 셀의 파장은 1561.5nm이며 RZ 신호이다. 두 신호는 제안한 버퍼를 거쳐 5nsec의 시간지연 후 순차적으로 출력되었다. 우리는 이와 같은 실험을 통하여 제안한 광 버퍼의 동작을 확인 할 수 있었다.

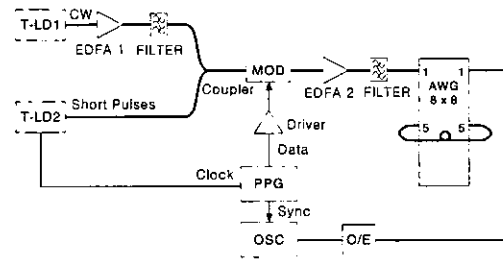


그림 10. 실험 set-up

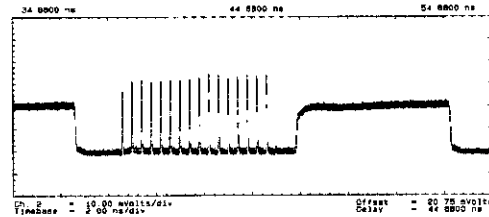


그림 11. 실험결과

VI. 결론

날로 확장되는 정보 통신 서비스 용량을 충족 시켜 주기 위해서 광 스위칭 기술의 등장은 필연적이라 할 수 있다. 단순한 교차 접속이 아닌 능동적인 교환과 라우팅 기능을 수행하기 위해서 광 버퍼는 필수적이다. 특히 현대의 파장분할다중(WDM) 광통신을 수용하기 위해서는 광 스위칭 시스템에서 WDM 신호를 처리해 주어야 하며, 이를 위해 스위칭 시스템 내 WDM 출력 버퍼가 반드시 필요하다. 본 논문에서는 매우 적은 하드웨어를 필요로 하며 대용량 WDM 스위칭 시스템에 적합한 새로운 구조의 전광학적 WDM 출력 공유버퍼를 제안하였다. 버퍼의 동작 원리를 설명하였으며, 일반적으로 버퍼에서 발생할 수 있는 누화의 종류에 대하여 알아보았으며 본 제안된 버퍼에서 발생할 수 있는 잡음에 대하여 성능을 분석하였다. 버퍼의 구조적인 측면에서 제안한 버퍼는 기존의 WDM 출력 버퍼에 비해 하나의 AWG를 이용하여 다중화 된 여러 채널을 동시에 버퍼링 함으로써 하드웨어가 매우 감소함을 보였으며, 분석을 통해 버퍼를 구성하는 AWG의 누화 특성이 33dB인 경우 8개 채널을 동시에 버퍼링할 수 있음을 보였다. 또한 AWG의 누화 특성이 개선됨에 따라서 사용 가능한 채널수가 기하급수적으로 증가함을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제안한 WDM 출력 공유버퍼는 대용량의 WDM 교환 시스템에 적합함을 입증하였다.

참고 문헌

- [1] S. L. Danielsen, et al., *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 8, no.3, pp. 434-436, 1996.
- [2] K.Sasayama, et al., "Frequency- Routing-Type Time -Division Inter- connection Network," *J. of Lightwave Technol.*, vol.15, no.3, 417-429, 1997.
- [3] 광용석, 송용훈, 이혁재, 신서용, "파장분할다중 방식의 다 채널 동시처리 광 버퍼," COCC '99, pp 221-222, 광주과학기술원, 1999년 5월.
- [4] 광용석, 송용훈, 전창훈, 정제명, 신서용, "새로운 구조의 전광학적 WDM 출력버퍼," 한국통신학회 논문지 제25권, 제6호, 2000년 6월.
- [5] R. Langenhorst, et al., "Fiber Loop Optical Buffer," *J. of Lightwave Technol.*, vol. 14, no.

3, pp. 324-335. 1996.

- [6] Jingyu Zhou, et al., "Crosstalk in Multi-wavelength Optical Cross -Connect Networks", *J. of Lightwave Technol.*, vol. 14, no. 6, .pp. 1423-1436, June. 1996
- [7] Yonghoon Song, Je-Myung Jeong, and Seoyong Shin, "A Novel Optical Buffer for WDM Photonic Switching System ,"CPT 2000, JAN., 2000.

광 용 석(Yong-seok Kwak)

준회원



1999년 2월 : 명지대학교
정보통신공학과 졸업
2001년 2월 : 명지대학교
정보통신공학과 석사
2000년 11월~현재:
커미넷 주식회사

<주관심 분야> 광 버퍼, 광 스위칭 시스템, 광 네트워크, 광소자

신 서 용(Seoyong Shin)

정회원



1987년 2월 : 서울대학교
제어계측 공학과(공학사)
1989년 8월 : Florida 공대와
대학 (석사)
1992년 12월 : Texas A&M
Univ. (공학박사)

1994년 : 한국전자통신 연구원 선임연구원

1994년 9월~현재 : 명지대 전자정보통신공학부 부교수

<주관심 분야> 광 스위칭 시스템 구조 및 구현 기술, 자동 편광제어 시스템, 편광모드분산 보상