

# 새로운 구조의 전광학적 WDM 출력 버퍼

정희원 꺾 용 석\*, 송 용 훈\*, 전 창 훈\*\*, 정 제 명\*\*, 신 서 용\*

## A novel all optical WDM output buffer

Yong-seog Kwag\*, Yong-hoon Song\*, Chang-hoon Jeon\*\*, Je-Myung Jeong\*\*, Seoyong Shin\*

Regular Members

### 요 약

스위칭 시스템에서 버퍼는 라우팅시 신호간의 충돌을 방지하기 위해 반드시 필요하다. 광 스위칭 시스템에서도 단순한 광 교차 접속(OXC) 이상의 교환 및 라우팅을 수행하기 위해서는 광 버퍼를 필요로 한다. 오늘날 광전송 시스템 및 광 네트워크는 WDM을 기반으로 형성되어 가고 있으며 따라서 광 스위칭 역시 WDM 기술에 기반을 둘 것이고 이에 필요한 광 버퍼도 WDM 신호를 처리할 수 있어야 한다. WDM 스위칭 시스템에서 동시에 동일 가입자로 라우팅된 WDM 신호들을 순차적으로 출력시키기 위해 WDM 광 출력 버퍼를 필요로 한다. 본 논문에서는 기존의 발표된 WDM 광 출력 버퍼에 비해 구조, 하드웨어, SNR 및 BER 특성이 개선된 새로운 구조의 WDM 광 출력 버퍼를 제안한다. 제안한 버퍼에 대한 특성 분석결과, 새로운 구조의 버퍼는 버퍼를 구성하는 광 게이트(반도체 광 증폭기)의 이득 ON-OFF 비율(Contrast ratio)이 30dB인 경우, BER 10-9을 만족하면서 255개의 WDM셀을 저장할 수 있음을 알 수 있다.

### ABSTRACT

In a switch routing system, buffers are indispensable to prevent signal collision during routing process. For a photonic switching system, optical buffers are also indispensable if the system requires an active routing rather than a simple optical cross-connect(OXC). To cope with WDM technologies in optical communication systems in these days, photonic switching system also has to deal with WDM signals. Therefore, optical buffers needed in a switching system has to be designed based on WDM technologies. In WDM switching system, different wavelength signals can be routed to the same output. For the receiver to recognize these signals separately, parallel WDM signals have to be rearranged in serial order. For this process, WDM optical output buffers are required to hold WDM signals during rearrangement process. In this paper, we propose a novel all optical WDM output buffer whose structure, hardware, SNR and BER characteristics are improved a lot comparing with those of previously reported ones. From the analysis of the proposed buffer, the new buffer can hold 255 WDM cells keeping BER of 10-9 as long as a contrast ratio(gain on-off ratio) of optical gate(semiconductor optical amplifier) inside the buffer is 30dB.

### I. 서 론

광대역 정보통신 서비스의 확충으로 통신 용량은

하루가 다르게 증가하고 있으며 이에 따른 교환기의 용량도 증가하고 있다. 가까운 장래에 교환 처리해 주어야 할 용량은 기존의 전자식 교환 방식에 의한 최대 용량을 초과할 것이고 이러한 문제를 해

\* 명지대학교 정보통신공학과 광통신 연구실 (sshin@wh.myongji.ac.kr)

\*\* 한양대학교 전파공학과 (bladeee@hanmail.net)

논문번호: 00117-0402, 접수일자: 2000년 4월 2일

※ 본 연구는 광주과학기술원 초고속 광네트워크 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원에 의한 것임.

※ 본 연구의 일부는 또한 정보통신부의 정보통신 우수시범학교 지원사업에 의하여 수행된 것임.

결하기 위해서 필수적으로 수반되는 버퍼링 역시 전광학적으로 되어야 한다. 이러한 취지 하에 지금까지 여러 전광학적 광 버퍼가 발표되어 왔다 [1],[3],[4],[5]. 광 버퍼는 버퍼가 사용되는 위치, 목적, 구조 및 구성 방식에 따라 여러 종류로 구분되고 버퍼가 사용되는 위치에 따라서 출력 버퍼, 입력 버퍼로 나누어 질 수 있다<sup>[2]</sup>. 그리고 버퍼 구조에 따라 루프형, 진행형 그리고 시차형으로 분류할 수 있으며, 구성 방식에 따라 직렬형태와 병렬형태로 구분할 수 있다<sup>[7]</sup>. 이들의 특성을 보면 직렬형 버퍼형태는 모든 버퍼 유닛을 동시에 제어하여야 하므로 제어가 어렵고 동기를 맞추는 것이 쉽지 않다. 병렬 형태의 경우는 입력 측과 출력 측을 따로 한번씩만 제어하므로 제어가 비교적 간편하다. 그리고 진행형인 경우는 루프 안에 증폭기를 필요로 하지 않는 반면 저장 시간이 길어짐에 따라 하드웨어를 많이 필요로 하고, 루프형태의 경우는 루프 안에 증폭기를 필요로 하기 때문에 버퍼 저장 시간에 따라 증폭기로 인한 ASE(Amplified Spontaneous Emission)와 누화 잡음으로 인해 신호의 BER(Bit Error Rate) 특성이 나빠진다<sup>[4],[6]</sup>. 기존의 발표된 버퍼들은 이러한 구분에 따라 서로 다르게 나뉘어지며 보다 효율적인 버퍼링을 위해 여러 가지 형태로 구성된다. 그 예로 파장 다중화된 신호를 출력시키고 필터를 사용하여 선택하는 FRONTIERNET (Frequency-Routing-Type Time-Division Interconnection Network)<sup>[3]</sup>과 Broadcast & Select<sup>[5]</sup> 등에서 사용되는 FDM 출력 버퍼를 볼 수 있다. FRONTIERNET에서 사용되는 버퍼는 직렬형태 그리고 루프형 버퍼 형태를 취하고 있으며 Broadcast & Select에서 사용되는 버퍼는 병렬형태와 지연선의 길이를 서로 다르게 갖는 시차형 형태를 취하고 있다<sup>[3],[5]</sup>. 본 논문에서 제안한 버퍼는 파장 다중 광 출력 버퍼로서 병렬형태를 취하면서 단위 버퍼는 루프형 버퍼 형태이고, 기존의 광버퍼에 비해 실현성이 높은 대용량 광 버퍼이다. 이를 입증하기 위해 본 논문에서는 버퍼의 구조 및 동작 그리고 BER 특성을 제한하는 누화에 대하여 분석하였다. II절에서는 WDM 광 출력 버퍼의 전체 구조 및 동작 원리를 설명하고 III절에서는 버퍼부에서 발생할 수 있는 잡음 종류를 알아보고 그 중 우리가 제안한 버퍼에서 가장 큰 영향을 미치는 잡음 성분을 분석한다. 제안한 버퍼의 동작을 입증하기 위한 실험은 IV절에서 보이고 있으며, 마지막으로 V절에서 결론을 맺는다.

## II. 제안한 WDM 광 출력 버퍼의 전체 구조 및 동작 원리

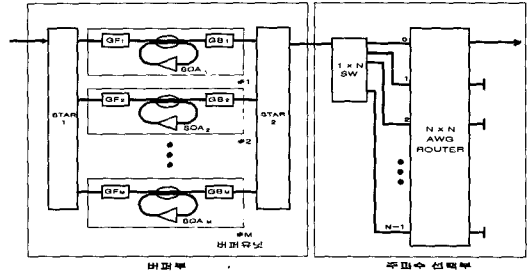
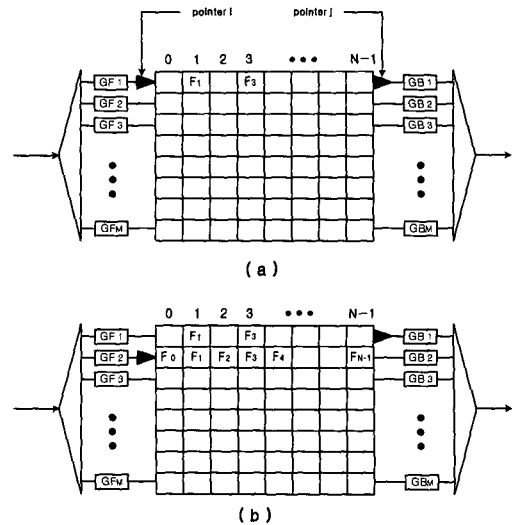


그림 1. 새로 제안한 광 출력 버퍼 개략도

그림 1은 새로 제안한 WDM 광 출력 버퍼로서 병렬형태와 루프형태가 결합된 구조를 갖고 있다. 이 구조를 보면 N개의 파장 다중화된 광 신호를 M개의 버퍼 유닛에 각각 저장한 다음 각 파장별로 출력시킬 수 있다. 두 개의  $1 \times M$  스타커플러(STAR 1,2), M개의 광 입력 게이트(GF 1-M), M개의 광 출력 게이트(GB 1-M), M개의  $2 \times 2$  광 커플러(CP 1-M), M개의 반도체 광 증폭기(SOA 1-M), 1개의  $1 \times N$  스위치, 1개의  $N \times 1$  파장 라우팅부, M개의 광 지연선으로 구성되며 광 지연선의 지연 시간은 T (한 광셀의 타임슬롯)이다<sup>[7]</sup>.

버퍼의 동작 원리는 다음과 같다. 그림 2(a) - (d)는 버퍼부의 동작 과정을 설명하는 그림이며 여기서 버퍼 유닛은 M개이고 N개의 파장 다중화된 셀을 저장할 수 있다. 처음에 파장 다중화된 광 신호



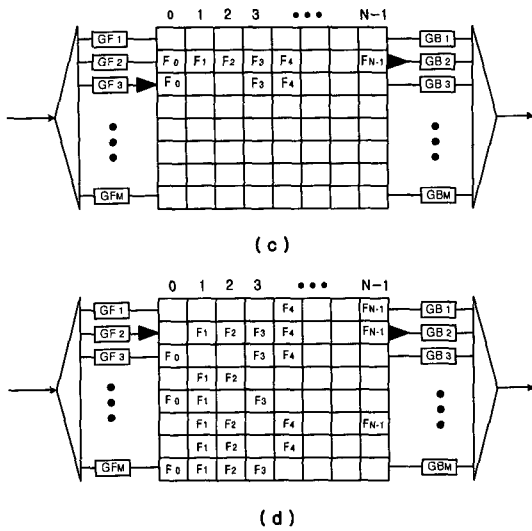


그림 2. 버퍼 동작 과정.

는  $1 \times M$  스타 커플러를 거쳐  $M$ 개로 나누어진다. 그런 후에 신호들은 버퍼에 저장되었다가 순차적으로 광 출력 게이트로 내보내어지고 다시 스타 커플러에 의해 모인 신호가 출력이 된다. 그림 2를 단계적으로 따라가면 처음에는 포인터  $i$  가 가리키는 광 입력 게이트( $GF_1$ )와 광 증폭 게이트( $SOA_1$ )를 ON상태로 놓고, 포인터  $j$  가 가리키는 광 출력 게이트( $GB_1$ )도 ON상태로 놓는다. 그림 2(a)는 셀이 어느 버퍼 유닛에도 저장되어 있지 않은 초기 경우로  $F_1, F_3$ 가 다중화된 광 신호가 버퍼에 들어온 경우이다. 포인터  $i$  가 가리키는 첫 번째 광 입력 게이트와 광 증폭 게이트( $SOA_1$ )가 ON 상태이기 때문에 포인터  $i$  가 가리키는 버퍼 유닛에  $F_1, F_3$ 가 파장 다중화된 광 신호를 저장한다. 그리고 포인터  $j$  가 가리키는 버퍼 유닛의 광 출력 게이트도 ON 상태이므로  $F_1, F_3$ 가 다중화된 광 신호는 다음 단의 주파수 선택부로 출력된다. 이 경우 주파수 선택부에서는  $F_1, F_3$ 중  $F_1$ 만을 출력시킨다. 하지만 아직  $F_3$ 가 출력되지 않았으므로 광 증폭 게이트( $SOA_1$ )를 ON으로 놓아,  $2 \times 2$  커플러를 통과한 후  $F_1, F_3$ 가 지연선을 돌게 한다. 그림 2(b)는 그 다음에  $F_0, F_1, F_2, F_3, F_4, F_{N-1}$ 의 파장들이 다중화된 광 신호가 들어오는 경우로 여기서 포인터  $i$ 의 위치가 두 번째 광 입력 게이트( $GF_2$ )를 가리켜 ON 시키고 포인터  $i$ 가 이동하였기 때문에 첫 번째 광 입력 게이트( $GF_1$ )는 OFF 된다. 포인터  $i$ 는 광 셀이 모든 버퍼 유닛에 차 있지 않은 이상은 계속 1씩 증가하게 된다. 포인터  $j$ 는 그대로인데 이는  $F_1, F_3$ 가 다중화된 광 신호

가 한 Time의 지연을 겪고 버퍼부에서 출력된 후 주파수 선택부에서  $F_1, F_3$ 중  $F_3$ 만을 출력 시켜야 하기 때문이다. 그림 2(c)역시 그 다음에 포인터  $i$ 가 다음 세 번째 광 입력 게이트( $GF_3$ )를 가리켜 ON 시키고  $F_0, F_3, F_4$ 가 다중화된 광 신호를 버퍼에 저장시킴을 보인다. 포인터  $j$ 는  $F_1, F_3$ 가 다중화된 광 신호가 다 출력된 후 다음 두 번째 광 출력 게이트( $GF_2$ )를 가리킴으로써 첫 번째 광 출력 게이트를 OFF 시키고 두 번째 버퍼 유닛에 저장된  $F_0, F_1, F_2, F_3, F_4, F_{N-1}$ 의 파장들이 다중화된 광 신호를 출력한다. 그림 2(d)는 광 신호들이 버퍼 유닛  $M$ 개에 모두 저장된 경우로 포인터  $i$ 가 포인터  $j$ 가 가리키는 버퍼 유닛을 가리키는 경우이다(포인터  $i =$  포인터  $j$ ). 이 경우는 포인터  $i$ 가 가리키는 광 입력 게이트( $GF_2$ )를 ON시키지 않음으로써 들어오는 광 신호들을 버리게 된다.

제어 측면에서 보면, 처음에는 포인터  $i$ 가 가리키는 광 입력 게이트( $GF_1$ )와 광 증폭 게이트( $SOA_1$ )를 ON시키고, 포인터  $j$ 가 가리키는 광 출력 게이트( $GB_1$ )도 ON상태로 놓는다. 포인터  $i$ 가 이동할 때에는 이전 버퍼 유닛에서는 입력 게이트만 OFF시키고 광 증폭 게이트는 그대로 ON상태로 두어 셀이 계속 지연선에 머물게 한다. 그리고 새로 이동하는 버퍼 유닛의 광 입력 게이트와 광 증폭 게이트를 ON상태로 놓는다. 하지만 포인터  $i$ 가 포인터  $j$ 와 만날 경우는 포인터  $i$ 를 이동시키지 않고 포인터  $i$ 가 포인터  $j$ 보다 작아 질 때까지 계속해서 포인터  $i$ 가 가리키는 광 입력 게이트를 OFF시켜 놓는다. 포인터  $j$ 가 이동시는 저장되었던 셀들이 모두 출력된 경우로 이전 버퍼 유닛의 광 출력 게이트와 광 증폭 게이트를 OFF시키고, 이동하는 버퍼 유닛의 광 출력 게이트만을 ON시키면 된다. 지금까지 보았듯이 포인터가 가리키는 버퍼 유닛만 제어하면 됨으로 그다지 복잡한 알고리즘이 필요치 않음을 알 수 있다.

다음으로 주파수 선택 부의 동작 원리를 보면 스타 커플러를 통해 들어온 파장 다중화된 광 신호들은  $1 \times N$  스위치에 입력되고  $N \times 1$  도파로열 격자(AWG)의 적당한 입력포트에 광 신호가 입력되게끔 스위칭 된다. 채널의 결정은 표 1의 AWG 주파수 라우팅 방식에 의해 입력되는 채널의 파장에 따라 출력되는 채널이 결정이 되며, 우리가 사용하는 채널은 출력포트 "0"의 파장만을 사용하고 다른 출력포트의 파장은 사용하지 않음으로 표에서 보듯이 출력포트 "0"의 파장만이 어둡게 되어 있다. 예를

표 1. 8×1 AWG 파장 라우팅 테이블.

		O U T P U T							
		0	1	2	3	4	5	6	7
T U P N I	0	F <sub>0</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>
	1	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>0</sub>
	2	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>0</sub>	F <sub>1</sub>
	3	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>0</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
	4	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>0</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>
	5	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>0</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>
	6	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>0</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>
	7	F <sub>7</sub>	F <sub>0</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>

들어 그림 2(c)의 F<sub>0</sub>, F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>의 파장 다중화된 광셀이 1×N 스위치를 통해 파장 분리부의 AWG의 3번째 입력포트로 들어가면 F<sub>3</sub>의 파장만 출력되고 나머지 파장은 출력이 되지 않고 사라지게 된다. 우리는 이러한 방식을 통하여 원하는 파장만을 추출할 수 있다.

특히 우리가 제안한 버퍼는 다른 버퍼와 비교하였을 때, 기존의 버퍼는 저장 용량이 증가함에 따라서 버퍼부에서 사용되는 소자수와 주피수 선택 부에서 사용되는 소자수가 많이 필요함에 반하여 제안된 버퍼는 저장 용량이 증가하더라도 버퍼부에서 루프형 버퍼를 병렬로 사용함으로써 많은 소자의 증가를 필요로 하지 않으며 또한 주피수 선택 부에서도 소자의 증가 없이 확장이 가능한 장점이 있다.

### III. 버퍼부의 잡음 분석

잡음을 분석하기에 앞서 먼저 제안한 광 버퍼에서 발생할 수 있는 잡음의 종류를 보면 누화 잡음, 비팅 잡음, 증폭기 잡음 등으로 분류할 수 있고, 누화 잡음 성분을 보면 이는 반도체 광 증폭기를 완전히 OFF시킨 경우라도 입력 파워를 완전히 막지 못하므로 작은 정도의 파워가 흘러나와서 생기는 잡음이다. 또한 버퍼가 병렬로 구성되어 있을 때에는 계속해서 들어오는 신호 성분이 모든 버퍼 유닛에 영향을 주고 또한 이러한 잡음 성분이 다시 모여서 출력이 되기 때문에 시스템에 미치는 영향은 더욱더 커진다. 다음으로 비팅 잡음은 버퍼내의 모든 입력들이 모두 같은 파장일 경우 원래 신호와 같은 파장을 갖는 누화 성분들이 재차 누화 성분으로 나타나 밴드 패스 필터로도 제거할 수 없는 잡음들이다. 마지막으로 증폭기 잡음은 원신호만을 증

폭하는 것이 아니라 잡음 성분까지도 증폭을 함으로써 생기는 잡음이다. 특히 우리가 제안한 버퍼는 버퍼 유닛이 병렬로 배열되어 있어, 버퍼에서 발생할 수 있는 여러 잡음 성분 중에서도 누화 잡음 성분이 시스템에 가장 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 우리는 잡음 성분 중에서 누화 잡음 성분에 대한 것만을 분석했다. 신호는 반도체 광 증폭기의 ON, OFF에 따라서 fiber-to-fiber 이득  $G_{on}$  또는  $G_{off}$ 를 갖게 되고, 이득 ON-OFF 비율  $R_c(\text{contrast ratio}) = \frac{G_{on}}{G_{off}}$  만큼의 감쇄 잡음이 생긴다<sup>[4]</sup>. 다음으로 우리가 제안한 버퍼는 M개의 단으로 구성되어 있고 N개의 파장을 가진 WDM 신호가 입력될 때 버퍼를 통하여 출력되는 입력 신호 중 가장 많이 회전하는 경우는 입력 신호 P<sub>in</sub>이 MN-1번 회전을 하게 되는 경우이고 이 신호가 버퍼를 빠져나가는 경우가 이 버퍼에 있어 가장 나쁜 경우이다. 예를 들어 그림 2(d)에서 첫 번째 버퍼 유닛을 통하여 입력된 신호 중 F<sub>N-1</sub>이 가장 많은 회전을 겪게 되는 신호이다. 즉 입력 신호가 포인터 i가 가리키는 광 입력 게이트 GF<sub>2</sub>로 들어오려고 할 때 버퍼 안에 있는 신호가 아직 출력되지 않았으므로 들어오는 신호는 버려지게 되고 버퍼 유닛 내에 있는 모든 신호 성분들은 포인터 j가 가리키는 광 출력 게이트 GB를 통하여 첫 번째 유닛에 있는 F<sub>N-1</sub> 신호를 제외한 모든 신호가 출력 될 때까지 F<sub>N-1</sub> 신호는 계속해서 버퍼 내에서 회전을 하게 된다. 이 때의 출력되는 신호의 전계 E<sub>s</sub>는 다음과 같이 표현 될 수 있다<sup>[4],[8]</sup>.

$$E_s = d\sqrt{2P_{in}} \exp(i\omega_s t + i\phi_s) \sum_{n=0}^{MN-1} \sqrt{G_n} \quad (1)$$

여기서 d는 버퍼 입력 신호이고 0과 1이 동일하게 발생하며,  $\omega_s$ 는 신호의 파장,  $\phi_s$ 는 신호의 위상으로 0과  $2\pi$  사이에서 고루 발생한다.  $G_n$ 은 n번째 회전의 SOA 이득이다. 여기서 우리는 루프 이득  $G_n$ 을 다음과 같이 가정하였다. 루프 이득  $G_n$ 은  $n = 2, \dots, N$ 에 대하여  $G_n = 1(0\text{dB})$ 의 값을 갖는다. 이는 첫 번째 회전에서  $G_n$  값이 포화됨을 나타내고,  $G_1$ 의 값은 15.85(12dB)이다<sup>[4]</sup>. 그리고 신호가 버퍼 유닛을 회전하는 동안에 광 입력 게이트 GF가 OFF 상태임에도 불구하고 감쇄 잡음 값이 루프 속으로 들어오게 되면서 누화 전계는 두 가지 성분으로 발생되는데 다음과 같다.

$$E_{CT,1} = \sqrt{2P_{in} G_o / R_c} \sum_{k=2}^{MN-1} d_k$$

$$\exp(i\omega_s t + i\varphi_n) \prod_{n=k}^{MN-1} \sqrt{G_n} + d_{MN} \sqrt{2P_{in} G_o / R_c} \exp(i\omega_s t + i\varphi_{MN}) \quad (2)$$

$$E_{CT,2} = \sqrt{2P_{in} G_o / R_c} \sum_{m=1}^{M-1} d_m \cdot \exp(i\omega_s t + i\varphi_m) \prod_{j=1}^{MN-1} \sqrt{G_j} \quad (3)$$

여기서  $G_o$ 는 ON 상태의 SOA 이득이다.  $E_{CT,1}$ 은 신호를 저장하고 있는 버퍼 유닛이 광 입력 게이트 GF를 OFF 시켰음에도 불구하고 계속해서 들어오는 다른 신호로부터 생기는 누화 전계가 중첩되는 것을 표현하고 있고,  $E_{CT,2}$ 는 광 출력 게이트 GB를 OFF 시켰음에도 자신을 제외한 M-1개의 다른 버퍼 유닛을 통하여 N번씩의 회전 차이가 나는 누화 전계가 겹쳐 들어오는 것을 표현한다. 버퍼 출력 단에서의 광 전계  $E_{out}$ 은 신호와 누화 전계 1,2로 구성되고 다음과 같이 표현 할 수 있다<sup>[8]</sup>.

$$E_{out} = E_s + E_{CT1} + E_{CT2} \quad (4)$$

그리고 반응도  $R_e$ 를 갖는 PD(photo diode)와 정합 여파기를 통과한 출력 전류  $i_{out}$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$i_{out}(t) = \frac{1}{2} R_e \frac{1}{T} \int_{t-T}^t (E_s + E_{CT1} + E_{CT2})^2 dt' \quad (5)$$

여기서 누화 광 전류  $i_{CT}$ 는 위의 식에서 신호 성분을 제외시킨 나머지로 다음과 같다.

$$i_{CT} = \frac{1}{2} R_e \frac{1}{T} \int_{t-T}^t \{ E_{CT1} E^*_{CT2} + E_{CT2} E^*_{CT1} + 2E_s E^*_{CT1} + 2E_s E^*_{CT2} + 2E_{CT1} E^*_{CT2} \} dt' \quad (6)$$

여기서 T는 비트의 길이(duration)이다. 다음으로 누화 분산 값을 계산하면 다음과 같다

$$\begin{aligned} \sigma^2[CT_2 CT_2^*] &= R_e^2 P_{in}^2 G_o^2 / R_c^2 \left\{ \sum_{m=1}^{M-1} \sigma_{z_3}^2 \cdot \prod_{j=1}^{MN-1} G_j^2 + 4 \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{r=1}^{M-1} \sigma_{z_3}^2 \cdot \prod_{j=1}^{MN-1} G_j \prod_{k=1}^{MN-1} G_k \right\} \quad (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma^2[CT_1 CT_1^*] &= R_e^2 P_{in}^2 G_o^2 / R_c^2 \cdot \left\{ \sum_{k=2}^{MN-1} \sigma_{z_2}^2 \prod_{n=k}^{MN-1} G_n^2 + 4 \sum_{k=2}^{MN-1} \right. \end{aligned}$$

$$\left. \sum_{g=k}^{MN-1} \sigma_{z_2}^2 \prod_{n=k}^{MN-1} G_n \prod_{l=g}^{MN-1} G_l + 4 \sum_{k=2}^{MN-1} \sigma_{z_2}^2 \prod_{n=k}^{MN-1} G_n + \sigma_{z_3}^2 \right\} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \sigma^2[2S CT_1^*] &= 4 R_e^2 P_{in}^2 G_o^2 / R_c^2 a \cdot \prod_{n=0}^{MN-1} G_n \left\{ \sum_{k=2}^{MN-1} \sigma_{z_1}^2 \prod_{n=k}^{MN-1} G_n + \sigma_{z_1}^2 \right\} \quad (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma^2[2S CT_2^*] &= 4 R_e^2 P_{in}^2 G_o^2 / R_c^2 a \cdot \prod_{n=0}^{MN-1} G_n \cdot \sum_{m=1}^{M-1} \sigma_{z_1}^2 \prod_{j=1}^{MN-1} G_j \quad (10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma^2[2CT_1 CT_2^*] &= 4 R_e^2 P_{in}^2 G_o^2 / R_c^2 \left[ \sum_{m=1}^{M-1} \sigma_{z_2}^2 + \left\{ \sum_{m=k=2}^{M-1} \sigma_{z_2}^2 + \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{l=m}^{MN-1} \sigma_{z_2}^2 + \sum_{m=3}^{M-1} \sum_{k=2}^{m-1} \sigma_{z_2}^2 \right\} \prod_{j=1}^{MN-1} G_j \prod_{n=k}^{MN-1} G_n \right] \quad (11) \end{aligned}$$

여기서 식 (7), (8), (9), (10), (11)은 각각 CT2와 CT2, CT1과 CT1, 신호와 CT1, 신호와 CT2 그리고 CT1과 CT2 간의 누화 분산값을 의미한다. 위의 식을 이용하여 가우스 근사법에 적용하여 SNR(signal to ratio)을 구할 수 있고, SNR을 이용하여 BER을 erfc(error function)에 적용하여 구할 수 있다.

$$SNR = \frac{I_1 - I_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (12)$$

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{SNR}{\sqrt{2}} \right) \quad (13)$$

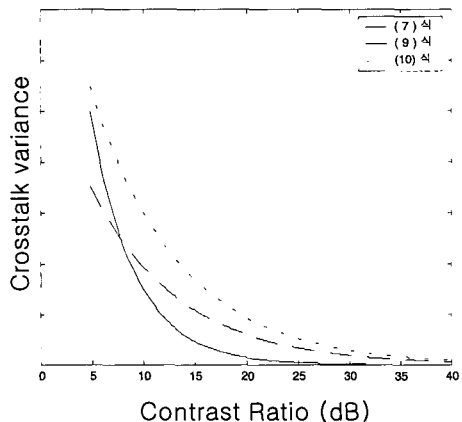


그림 3. M=4, N=4일 때의 주요 누화 분산값

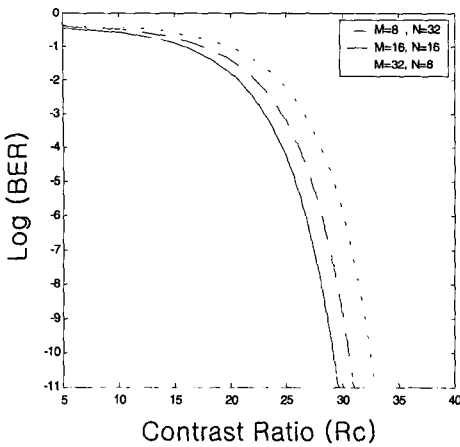


그림 4. 버퍼내 셀의 회전수 255 ( $M \times N - 1$ )을 만족하는 각각의 경우에 BER대 SOA 광 게이트의 이득 on-off 비율(contrast ratio)간의 관계.

또한 이러한 누화 분산 값 중 CT2와 CT2(7식), 신호와 CT1(9식), 그리고 신호와 CT2(10식)의  $R_c$ 값을 변화시켜 그림 3에 나타내었다. 특히 이 세 가지 값은 다른 누화 성분에 비하여 시스템에 미치는 영향이 크며 그 중에서도 가장 뒤쪽에 놓인 곡선(그림 3의(c) = 10식)에 의한 영향이 가장 크게 나타난다. 그림 4는 이러한 주요 누화 성분을 이용하여 버퍼의 BER을 버퍼에 사용된 SOA 광 게이트의 ON-OFF 비율 즉, Contrast Ratio의 함수로 나타낸 것이다. 제안한 버퍼는 병렬 구조로 나열된 단위 버퍼 가운데 가장 밀단에 위치한 단위 버퍼의 저장 능력에 따라 전체 버퍼의 BER이 좌우된다. 가장 밀단의 단위 버퍼는 최악의 경우, 즉, 버퍼로 입력되는 부하가 100% 임을 가정했을 때  $M \times N - 1$ 개의 셀을 저장할 수 있어야 한다. 즉, 시스템의 BER은  $M \times N - 1$  바퀴의 회전에 의해 결정된다. 그림 4에서 보는 바와 같이 본 연구에서 제안한 버퍼는 사용된 광 게이트의 Contrast Ratio가 30dB인 경우 BER  $10^{-9}$ 을 만족하면서 255( $M \times N - 1$ )개의 WDM 셀을 저장할 수 있음을 알 수 있다. 그림 4에 의하면 또한 동일한 저장 용량 (255개의 셀)을 이룩하기 위해서는 병렬로 나열된 단위 버퍼의 수(M)를 늘리는 것보다는 다중화된 파장의 수(N)을 늘리는 것이 BER 개선 측면에서 보다 효과적이라는 것을 알 수 있다. 그림 5는 버퍼의 저장 용량 즉, 버퍼 내 셀의 회전수와 시스템의 신호대 잡음비(SNR) 간의 관계를 SOA 광 게이트의 서로 다른 Contrast Ratio에 대해 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 BER

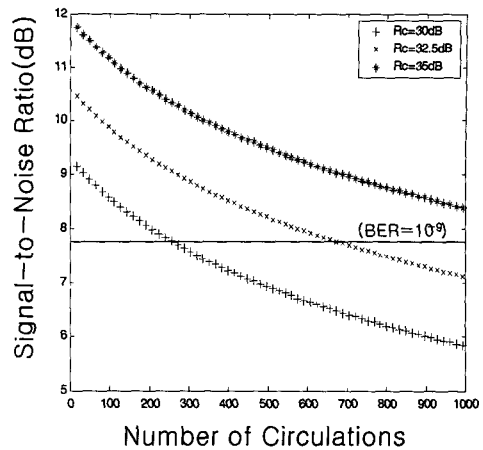


그림 5. 서로 다른  $R_c$  값에 따른 버퍼 내 셀의 회전수 대 SNR 간의 관계

$10^{-9}$ (이는 SNR 7.75dB에 해당)을 기준으로 SOA 광 게이트의 Contrast Ratio가 약간만 개선되더라도 버퍼의 저장 용량이 매우 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 본 논문에서 제안하는 새로운 WDM 출력 버퍼가 대용량 WDM 광 스위칭 시스템에 적합함을 의미한다.

#### IV. 실험

제안된 버퍼의 동작을 입증하기 위한 실험을 수행하였으며, 그림 6은 실험 구성도를 나타낸다. 첫 번째 가변 레이저에서는 short pulse stream 형태의  $\lambda 1 = 1547.70\text{nm}$ 인 광 신호를, 두 번째 가변 레이저에서는 CW 형태의  $\lambda 2 = 1548.58\text{nm}$ 인 광 신호를 발생시킨다. 또한 소스 신호는 가변 레이저를 사용함으로써 AWG에 맞는 파장을 선택할 수 있다. 다음으로 2x2 커플러를 통해 이 두 신호를 묶어 주어 파장 다중화된 광 신호를 생성한다. 변조 신호는 PPG(Pulse Pattern Generator)에서 공급되어지며, 이 변조 신호의 구성은 총 78bit (31.2ns)의 비트 열로 이 78bit중 19bit (7.6ns)는 1의 데이터 bit이고 나머지 59bit (23.6ns)는 0인 bit이며 가드 밴드로서 사용된다. 이 두 소스 신호는 2.5Gbps의 속도로 변조되어지고 PPG에 의해 같은 정보를 갖게 된다.  $\lambda 1$ 의 신호는 short pulse stream으로 PPG에서 발생된 신호와의 변조 결과 RZ 형태를 갖게 되고  $\lambda 2$ 의 CW 신호는 변조 결과 NRZ 형태를 갖게 된다. 이렇게 함으로써 우리는 오실로스코프(OSC)에서  $\lambda 1$  신호와  $\lambda 2$  신호를 구분할 수 있게 했다.

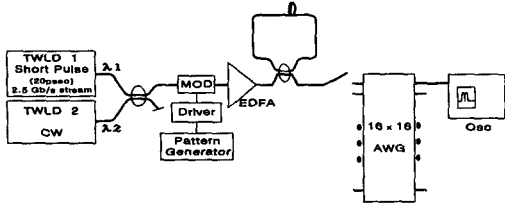


그림 6. 실험 구성도

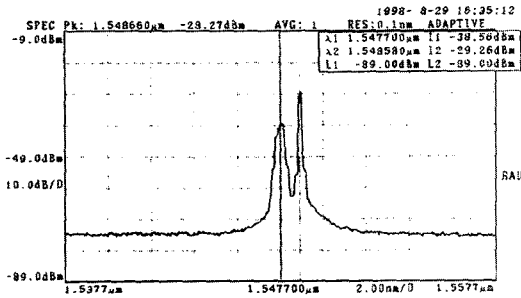


그림 7. 두 가지 입력 신호의 파장

다음으로 변조된 광 신호는 EDFA에 의해 증폭되어진 후 루프를 거치지 않고 출력이 되어 16×16 도파로열 격자에서 파장 라우팅 된 후 출력포트로 나온 것과 루프를 돌고 출력이 된 것을 OSC에서 보였다. 여기서 루프 길이는 206cm로 이는 10.3ns에 해당된다. 그림 8은 도파로열 격자 1번 입력포트로 파장 다중화된 광 신호가 들어가서 8번 출력포트로 λ1이 출력됨을 보이고 있고, 그림 9는 도파로열 격자 2번 입력포트로 파장 다중화된 광 신호

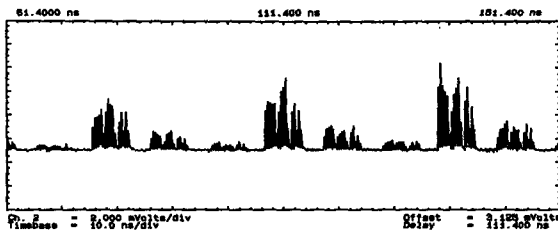


그림 8. λ1 출력 광 신호

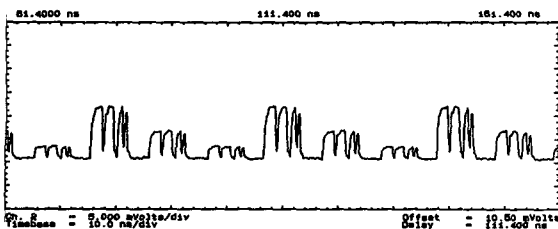


그림 9. λ2 출력 광 신호

가 들어가서 8번 출력포트로 λ2가 출력됨을 보이고 있다. 그림 8, 9에서 광 셀의 잔여분이 3dB씩 그 크기가 감소하여 나타나는 것은 실험에서 광섬유 루프 안에 광 증폭기를 삽입하지 않아 잔여분을 제거하지 않았기 때문이다. 우리는 이와 같은 실험을 통하여 제안한 광 버퍼의 성공적인 동작을 확인할 수 있었다.

## V. 결론

날로 확충되는 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 버퍼를 제안하였다. 버퍼의 동작 원리를 설명하였으며, 버퍼부의 잡음 분석을 통해 제안한 버퍼의 성능을 분석하였고, 실제의 실험을 통해 제안한 버퍼의 원활한 동작을 입증하였다. 버퍼의 구조적인 측면에서 제안한 버퍼는 파장 선택부를 공유함으로써 기존의 WDM 출력 버퍼에 비해 하드웨어가 매우 감소함을 보였으며, 분석을 통해 버퍼를 구성하는 광 게이트(SOA)의 ON-OFF 비율이 30dB인 경우, 시스템의 BER  $10^{-9}$ 을 만족하면서 255번의 회전 즉, 255개의 WDM 셀을 저장할 수 있는 능력이 있음을 보였다. 또한 광 게이트 ON-OFF 비율이 약간만 상승하더라도 수백 개의 셀을 저장할 수 있음을 보여, 본 논문에서 새롭게 제안한 WDM 출력 버퍼가 대용량의 WDM 스위칭 시스템에 적합함을 입증하였다.

## 참고 문헌

- [1] 곽용석, 송용훈, 이혁재, 신서용, "파장분할 다중 방식의 다 채널 동시 처리 광 버퍼," COOC '99, pp. 221-222, 1999년 5월 13일.
- [2] D. K Hunter, et al., "Buffering in Optical Packet Switches," *J. Lightwave of Technol.*, vol. 16, no. 12, pp. 2081-2094, 1996.
- [3] K.Sasayama, et al., "Frequency-Routing -Type

Time-Division Interconnection Net -work," *J. of Lightwave Technol.*, vol.15, no.3, 417-429, 1997.

- [4] R. Langenhorst, et al., "Fiber Loop Optical Buffer," *J. of Lightwave Technol.*, vol. 14, no. 3, pp. 324-335. 1996.
- [5] A. Misawa, et al., "Broadcast-and- Select Photonic ATM Switch with Frequency Division Multiplexed Output Buffers," *J. of Lightwave Technol.*, vol. 15, no. 10, pp. 1769-1777, 1997.
- [6] A. Ehrhardt, et al., "Semiconductor Laser Amplifier as Optical Switching Gate," *J. of Lightwave Technol.*, vol. 11, no. 8, pp. 1287-1295, 1993.
- [7] 송용훈, 신서용, 이혁재, "파장분할다중 광 ATM 스위칭 시스템을 위한 새로운 구조의 광출력버퍼," *Photonics Conf. '98*, pp. 98-99, 1998년 11월 5일.
- [8] 전창훈, 정준영, 정제명, 신서용, "병렬 광섬유 루프 버퍼에서의 누화 영향," *16회 광학 및 양전전자 학술발표회*, 1999년 7월 8일.

곽 응 석(Yong-seog Kwag) 준회원



1999년 2월 : 명지대학교 정보통신공학과 졸업  
 1999년 3월~현재 : 명지대학교 공과대학 정보통신공학과 석사과정  
 <주관심 분야> 광 버퍼, 광스위칭 시스템, 광 네트워크

송 용 훈(Yong-hoon Song) 준회원

1999년 2월 : 명지대학교 공과대학 정보통신공학과 석사 졸업  
 1995년 12월~현재 : 도시철도 공사  
 <주관심 분야> 광 버퍼, 광 스위칭 시스템

전 창 훈(Chang-hoon Jeon) 준회원

2000년 2월 : 한양대학교 전파 공학과 석사졸업  
 2000년 2년~현재 : (주)아이텍테크놀러지  
 <주관심 분야> 광 버퍼, 광통신용모듈, WDM 네트워크

정 제 명(Je-Myung Jeong) 정회원

1978년 : 서울대학교 전자 공학과(학사)  
 1980년 : KAIST 전기 및 전자공학과(석사)  
 1992년 : Northwestern univ. 전기공학과(박사)  
 1980년~1992년 : 한국전자통신연구원 선임연구원  
 1994년~현재 : 한양대학교 전기전자공학부 조교수  
 <주관심 분야> 광통신 시스템 및 네트워크, 전광신호처리

신 서 용(Seoyong Shin) 정회원



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

1994년 : 한국전자통신 연구원 선임연구원  
 1994년 9월~현재 : 명지대 전자정보통신공학부 부교수  
 <주관심 분야> 광스위칭 시스템 구조 및 구현 기술, 자동 편광제어 시스템, 편광모드분산 보상