

# 대용량 시분할-파장분할 하이브리드 광 ATM 스위치 구조

正會員 朴 起 吾\*, 金 光 福\*, 安 祥 皓\*, 嚴 震 燮\*

## Architecture of Time-Division & Wavelength-Division Hybrid Photonic ATM Switch with large capacity

Kio Park\*, Kwangbok Kim\*, Sangho Ahn\*, Jinseob Eom\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 시분할 다중화와 파장분할 다중화방식이 혼합된 광 ATM 스위치의 구조를 제안하였다. 제안된 구조의 광 ATM 스위치는 파장분할 다중화를 위한 도파로열 격자와 시분할 다중화를 위한 광압축기와 광파이버 지연선의 기본적인 모듈로 구성되어 있다. 다른 교환기 구조와 비교해 볼 때 제안된 스위치 구조는 하드웨어적으로 간단하고, 비용면에서도 매우 유리할 뿐더러 대 용량의 정보교환도 가능하기 때문에 광대역 종합정보통신망에 적합한 스위칭 시스템이다.

### ABSTRACT

In this work, we have proposed an enhanced TDM with WDM hybrid photonic switching architecture, which has much simpler configuration and requires less hardware. The basic module consists of arrayed waveguide grating (AWG) for wavelength division, compressor and fiber delay lines for time division. When compared with other systems, we proved that the proposed switch is suitable for large capacity photonic switching system due to less complexity and lower cost in implementation than the previous ones.

### 1. 서 론

광기술에 바탕을 둔 대용량의 스위칭 시스템은 매우 높은 throughput을 달성하기 위한 통신 시스템에 유용하게 사용된다. 광대역 종합정보통신망(B-ISDN)에서의 각 스위칭 노드들은 고속의 교환 처리 능력

및 수십 Tb/s에서 수백 Tb/s 이상의 처리용량을 가져야 하는데, 이를 만족시키는 기술이 바로 광교환 기술이다. 광교환 기술은 광의 형태로 전달된 정보를 전기신호로 변환하지 않고 광의 상태 그대로 직접 교환하는 기술로서, 광 고유의 특성인 고속성과 병렬 처리 능력을 최대한 활용하는 차세대 교환 기술이다. 광교환 방식은 크게 공간분할, 시간분할, 파장분할, 자유공간방식의 네 가지로 나눌 수 있다. 공간분할 방식은 가장 실현성이 높고 광대역 특성을 직접적으

\*강원대학교 전자공학과  
 論文番號: 97315-0905  
 接受日字: 1997年 9月 5日

로 이용하지만 대용량으로 확장하기가 어렵다. 시간 분할 방식은 스위치를 구현하는데 있어서 하드웨어를 최소화 할 수 있으며, 기존의 전송 시스템과 정합이 용이하다. 하지만 광 타이밍 검출 및 위상 동기 어렵고, 타임 슬롯 인터체인지를 위한 광메모리 실현에 어려움이 뒤따르고 있다. 파장분할 방식은 저속도의 교환소자를 이용할 수 있으며, 하드웨어를 최소화할 수 있고 기존 전송 시스템의 WDM과의 접속이 용이하다. 자유공간 방식은 공간 대역폭이 대폭 증가하는 장점이 있지만, 광학적으로 정렬이 매우 어렵고, 대용량 교환망 제어가 매우 복잡하다. 실제적인 교환망을 구성할 때는 위의 교환방식의 장단점이 각각 존재하므로 두 가지 이상의 방식을 혼합함으로써 단점을 해소하고 효율을 극대화 할 수 있다. 혼합형 광교환 방식에는 공간/파장분할 혼합형 광교환 방식이 있다. 순수한 공간분할 형태만으로 대형 광교환망을 설계할 때 많은 수의 교환소자가 필요하고, 이에 따라 링크단수가 증가하게 되어 삽입손실과 누화의 문제가 심각할 때가 많다. 이러한 문제를 해결하기 위해 파장으로 다중화된 링크접속을 대체할 수가 있다. 즉, 연결망의 링크들이 여러 파장이 다중화된 신호를 운반함으로써 링크단 수와 교환소자의 수가 줄어든 간단한 구조의 교환망을 가능하게 한다. 또다른 혼합형 광교환 방식으로는 시간분할과 파장분할 형태를 조합한 교환방식이 있다. 시간/파장분할 혼합형 스위치의 총다중화의 정도는 각 교환방식의 다중화의 곱으로 나타나므로, 이 방법은 대용량의 다중화를 가능하게 한다. 본 논문에서는 시간/파장분할 혼합형 광교환 방식을 사용하여 간단한 구조를 갖는 대용량의 스위칭 시스템을 제안한다.

본 논문의 구성은 II장에서는 새로 제안된 시간/파장분할 혼합형 광 ATM 스위치의 전체적인 구조를 보여주고, 각 부분의 동작을 분석하였다. III장에서는 스위칭되는 광 ATM셀들의 충돌이 없는 조건하에서의 스위치 용량을 분석하였다. IV장에서는 파워 버지트를 통해 제안된 스위치를 구현하는데 요구되어지는 광증폭기의 수와 스위치 구현에 필요한 하드웨어를 분석하였고, V장에서 결론을 맺는다.

## II. 제안된 스위치의 구조 및 동작분석

그림 1은 제안된 스위치의 전체적인 구조를 보여준다. 각 입력단의 입력링크로 들어오는 파장다중화된 광셀들은 먼저 도파로열 격자(Arrayed Waveguide Grating: AWG)[1]에 의해서 파장별로 분리되고, 분리된 광셀들은 가변 파장 변환기(Tunable Wavelength Converter: TWC) I에 의해 최종 목적지를 포함하는 출력링크로 스위칭되기 위한 1차 파장으로 변환된다. TWC I과 라우터의 관계는 표 1에서 알 수 있듯이 FRONTIERNET 스위치[2]에서 사용되는 경로 배정 방식과 동일하다. 즉, 입력링크  $i$ 에서 출력링크  $j$ 로 스위칭될 때, 각 TWC I에서는 먼저 각 셀들의 어드레스를 확인한 후  $\{(i + j - 2) \bmod N\} + 1$ 이라는 관계식에 의해 각 셀들의 파장을 결정한다. 예를 들어 입력링크 2로 들어온 셀이 출력링크 1로 스위칭되고자 할 때에는 위에서 언급한 관계식에 의해  $\{(2 + 1 - 2) \bmod N\} + 1 = 2$ 이므로 TWC I에 의해  $\lambda_2$ 로 파장변환되고,  $\lambda_2$ 가 가지는 고정경로인 출력링크 1으로 스위칭된다. 원하는 출력링크에 해당하는 파장으로 파장변환된 각각의 광셀들은 시분할 다중화(Time Division Multiplexing: TDM)을 위해서 광압축기[3]에 의해  $T/n^2$ 만큼 압축되고, 다시  $T/n$ 의 정수배에 해당하는 지연을 야기시키는 광섬유 지연선(fiber delay line)을 거치게 된다. 여기에서,  $n$ 은 다중화된 입력파장의 수이며,  $T$ 는 광 ATM셀의 주기이다. 그리고 다시 AWG(실제는 AWG DEMUX와 하이브리드된 star coupler)에 의해 다중화가 이루어 짐으로써 AWG의 출력포트로 TDM된 광셀들이 나오게 된다. TDM된 광셀들은 파장 라우터(Wavelength Router: WR)를 통

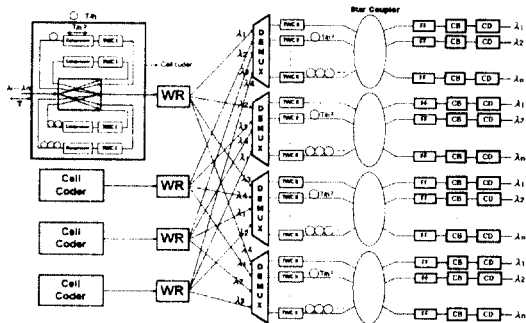


그림 1. 제안된 스위치의 구조

Fig. 1 Block diagram of the proposed switch

표 1. 파장에 의한 경로배정을 위한 TWC I의 파장변환 예  
Table 1. Wavelength conversion example by TWC I for wavelength routing

입력링크	출력링크	변환된 파장	입력링크	출력링크	변환된 파장
1	1	$\lambda_1$	3	1	$\lambda_3$
1	2	$\lambda_2$	3	2	$\lambda_4$
1	3	$\lambda_3$	3	3	$\lambda_1$
1	4	$\lambda_4$	3	4	$\lambda_2$
2	1	$\lambda_2$	4	1	$\lambda_4$
2	2	$\lambda_3$	4	2	$\lambda_1$
2	3	$\lambda_4$	4	3	$\lambda_2$
2	4	$\lambda_1$	4	4	$\lambda_3$

해서 셀 충돌을 겪지 않고 최종 목적지를 포함하는 그룹링크로 전송되어진다.

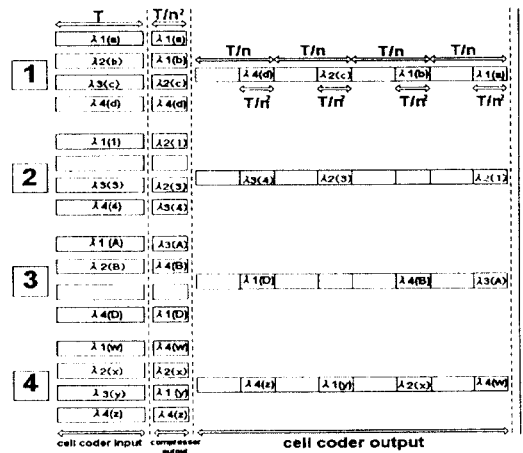
이렇게 광셀들이 자신의 최종 출력지를 포함하는 출력링크로 경로배정을 받아 각각 스위칭되면, 한 출력링크의 동일시간 슬롯은 각기 다른 파장을 가지는 광셀들로 다중화되어 있기 때문에 출력링크의 역다중화기(Demultiplexer)에 의해 파장별로 분리되고, TWC II에 의해서 최종 목적지에 할당된 파장으로 변환된다. 그리고 최종 목적지로 동시에 진행되는 광셀들의 충돌을 막기 위해서 fiber delay line을 사용한다. 성형 결합기(Star Coupler)는 각각의 최종 목적지로 TDM된 광셀들의 power를 분배시켜 준다. 그리고 다음단의 고정필터(Fixed-Filter: FF)[4]에 의해서 원하는 파장만 선택되어지고, 셀버퍼(Cell Buffer: CB)[4]와 셀 디코더(Cell Decoder: CD)[4]를 통해 원래 신호가 복구되어짐으로써 스위칭 동작이 완료된다.

### III. 제한된 스위치의 스위치 용량

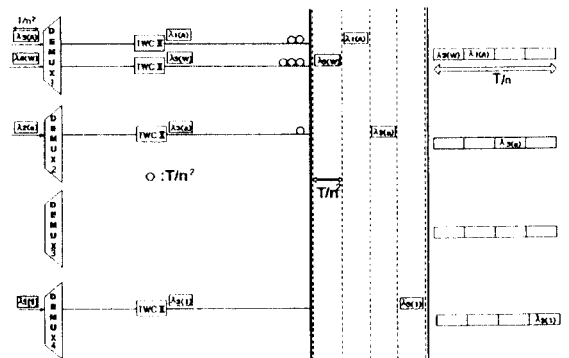
그림 2는 타이밍 다이어그램을 통해 광셀의 충돌이 일어나지 않기 위한 조건을 보여주고 있다. 그림 2의 (1)은 원래 T의 주기를 가지고 있는 광셀들이 압축기에 의해  $T/n^2$ 의 주기를 가지는 광셀들로 압축되어지고, 광섬유 지연선을 거친 후의 AWG의 출력을 나타낸 것이다. 그림 2의 (2)는 성형 결합기 각각의 출력단을 통해 나오는 광셀들의 형태를 나타내고 있다. 여기에서 파장의 수를 n, 입력링크의 수를 N이라고 하

면 반드시  $n \geq N$ 이 되어야 광셀들의 충돌이 일어나지 않는데 그 이유는 다음과 같다.

그림 2의 (1)에서 보여준 각각의 AWG의 출력단을 살펴볼 때, 만약 최악의 경우로서 동일시간에 모든 입력링크의 압축된 광셀( $T/n^2$ )이 동일한 최종목적지로 스위칭되고자 할 때는  $\frac{T}{n^2} \times N \leq \frac{T}{n}$ , 즉  $n \geq N$ 이라는 관계식을 만족해야 하기 때문이다. 이러한 조건은 스위치의 용량을 제한하는 조건이 된다.



(1) Cell coder의 출력 타이밍 다이어그램  
Timing diagram in cell coder output



(2) 성형 결합기의 출력 타이밍 다이어그램  
Timing diagram in star coupler output

그림 2. 타이밍도  
Fig. 2 Timing diagram

그림 3을 통해 알 수 있듯이 새로 제안된 스위치 구조는 시간분할과 파장분할의 장점을 최대한 활용함으로써 파장수에 비례하여 스위칭 용량을 크게 증가시킬 수 있다. 예를 들어 한 채널의 데이터 전송율(V)이 10Gb/s, 사용되는 파장의 수(n)가 10, 입출력 링크의 수(N)가 10일 경우 총 스위칭 용량(throughput)  $C = 10\text{Gb/s} \times 10 \times 10 = 1\text{Tb/s}$ 이 된다. 같은 조건하에서 사용되는 파장의 수 n이 20으로 증가할 경우, 스위치의 용량  $C = 10\text{Gb/s} \times 20 \times 10 = 2\text{Tb/s}$ 이 된다.

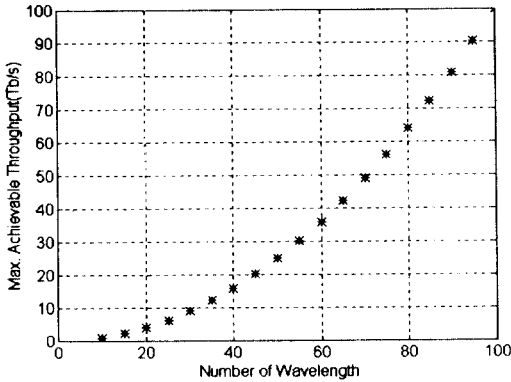


그림 3. 제안된 구조의 스위치 용량  
Fig. 3 Throughput of the proposed switch

#### IV. 파워 버지트(Power budget)와 하드웨어 비교

일정한 광파워를 가지고 스위치로 입력되는 광셀들은 전체 스위칭 시스템의 각 소자들을 거치면서 광파워의 손실을 가져오는데, 이 손실이 셀디코더 광검출기의 수신 감도를 벗어나서는 안된다. 이러한 이유 때문에 시스템을 구성하는데 있어서는 보통 system margin을 포함한 파워 버지트를 계산하여 허락되는 광파워의 손실을 분석한다. 그리고 스위칭 시스템이 대용량일 경우는 그만큼 시스템의 크기가 확대되므로, 광파워 손실 문제를 극복하기 위해 광증폭기의 사용을 필요로 한다. 파장변환을 수행하는 방법으로 지금까지 여러 방식이 소개되어 왔다. 가장 간단한 방식은 광신호를 전기신호로 바꾼 다음 다시 원하는 파장의 빛으로 출력시키는 방법이다. 하지만, 이 방식은 변환시켜야 할 파장의 수가 많아질수록 실용적이지 못하

다. 좀더 효과적인 방법들로 DBR 레이저의 이득포화 특성을 이용하는 방법[5], Y-레이저의 Injection locking 방법[6], 반도체 광증폭기(SOA)의 비선형 특성을 이용하는 방법[7-10] 등이 있다. 특히 SOA를 사용하여 파장변환을 하게 되면 파장변환뿐만 아니라, 광증폭 특성에 의해 신호가 증폭되며 입력신호의 power와 파장 등에 덜 민감하다. 또한, 편광에 무관한 SCA를 사용한 경우 편광에 무관하게 동작 가능하고 파장변환시의 power penalty도 다른 파장변환 방법들에 비해 줄어드는 등 여러 가지 장점이 있다. 만약 제안된 스위칭 시스템에서는 SOA를 사용하는 파장변환방식을 사용한다고 가정하면, 파장변환시 광파워의 증폭을 얻을 수 있다. 여기에서는 TWC II의 출력 광파워가 스위치 입력단의 평균 광파워와 같다고 가정한다. 따라서 제안된 스위칭 시스템에서의 광파워 손실은 주로 TWC II 이후의 스타커플러와 셀버퍼의  $1 \times (m + 1)$ 광스위치에서 발생한다. 따라서 TWC II 이후부터 셀버퍼의 출력단까지의 power budget은 다음과 같이 계산된다.

$$P_R = P_{INPUT} - P_{SC} - P_{CB} - M + \alpha G_A$$

$P_R$ : Cell decoder에서 수신되는 광파워

$P_{INPUT}$ : 스위치 입력단의 평균 광파워

$P_{SC}$ : 스타 커플러에서 손실되는 광파워

$P_{CB}$ : 셀 버퍼에서 손실되는 광파워

$M$ : 각 소자들간의 연결에서 손실되는 광파워 + 시스템 마진

$\alpha$ : 광증폭기 수

$G_A$ : 광증폭기 이득

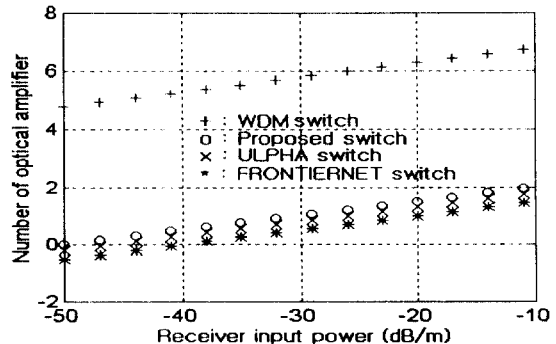


그림 4. 요구되는 광증폭기 수  
Fig. 4 Number of required optical amplifiers

사용되는 파장수가  $n$ 이면 위에서 언급한 파워 버짓는 다음과 같이 계산되어 진다.

$P_{INPUT} = 0\text{dBm}$ ,  $P_{SC} = 10\log n$ ,  $P_{CB} = 9\text{dBm}$ 인  $1 \times 8$  tree 구조의 스위치,  $M = 6\text{dBm}$ ,  $\alpha_{GA} = 20\alpha\text{dB}$ 라고 가정하면  $PR = 0 - 10\log n - 9 - 6 + 20\alpha = 20\alpha - 10\log n - 15$ 가 된다. 그림 4는 위에서 나타난 파워 버짓를 따를 때, 셀디코더에서 수신 가능한 광파워에 대해 요구되어지는 광증폭기의 수를 나타내고 있다. 그림을 통하여 제안된 스위치는 FRONTIERNET[2]나 ULPHA 스위치[4]에 비해 throughput면에서 매우 우수함에도 불구하고 요구되는 광증폭기의 수가 거의 같음을 알 수 있다. 반면에, 기존의 제안된 시스템[1]에 비해서는 같은 throughput을 가지면서도 요구되는 광증폭기의 수가 대폭 줄어듦을 알 수 있다.

표 2에서는 기존에 제안되었던 스위치의 구조[1]와 새로 제안된 스위치 구조를 각각 구현할 때 요구되는 각 부분별 광소자들과 스위치의 용량을 제한하는 조건을 비교하였다. 광소자들을 실제로 광학 시스템의 고속 신호 처리 기기로 사용하기 위해서는 각 소자간을 서로 접속, 연결시키는 문제, 각 소자의 패키지 문제 등을 고려하여야 한다. 다시 말하면 광시스템의 신뢰도, 성능, 접속 손실, 전체적인 비용 등은

표 2. 하드웨어 비교  
Table 2. Hardware comparison

Hardware comparison	The previous proposed TDM with WDM Hybrid switch	The proposed switch
Electric control	Need(little)	Need(little)
Number of Multiplexer	$N(1 + n + N)$	$N$
Number of Demultiplexer	$N(1 + n + N)$	$3N$
Number of TWC	$nN + nN$	$nN + N^2$
Number of Fixed-Filter	$nN$	$nN$
Number of Compressor	$nN^2$	$nN$
Fiber Delay	Need	Need
Number of Star Coupler	$nN(m \times 1)$ $N(N \times n)$ $N^2(N \times 1)$	$nN(m \times 1)$ $N(N \times 1)$
Number of Splitter	$nN$	$nN$
The restricted condition	$nN \leq L(\text{bit-length of cell})$	$n \geq N$
Throughput	Almost same	

실제로 광소자 집적화 기술에 의해 결정된다. 그러므로 스위칭 시스템의 효율과 용량을 증대시키기 위해서는 반드시 전체 시스템의 각 요소들을 집적화시킬 수 있는 기술이 필요하다. 특히, 제안된 스위치 구조에서는 파장 가변 레이저 부분, 셀버퍼의  $1 \times (m + 1)$  스위치 부분은 다른 부분들보다 집적화 기술을 필요로 하는 부분이며, 이것은 전체 스위칭 시스템의 효율과 직접 연결된다. 본 논문에서 제안된 스위치 구조는 기존에 제안된 스위치 구조[1]와 같이 주로 수동소자로 구성되지만, 시스템 구현을 위한 수동소자의 수가 대폭 감소됨을 표 2를 통해 알 수 있다. 따라서 전기적인 제어부분이 무척 간단하게 되고 하드웨어적으로도 유리한 구조를 가지고 있다.

### V. 결 론

광교환 소자 기술의 완성도 및 기존 시스템과의 융통성 등 여러 가지 관점에서 살펴볼 때, B-ISDN 서비스를 실현하기 위해서는 시분할과 파장분할의 장점을 최대한 활용한 하이브리드 형태의 광스위치 구조가 적합하다고 생각된다.

새로 제안된 광스위치는 이러한 하이브리드 형태의 구조를 가지고 있으며, 앞으로 전개될 WDM 광통신 시스템과의 정합이 매우 용이한 형태의 스위칭 구조를 가지고 있다. 또한, 스타커플러와 AWG와 같은 수동소자를 많이 사용함으로써 복잡하고 부피가 큰 전기적인 제어 부분을 감소시켰다. 그리고 제안된 스위치의 구조는 시분할과 파장분할을 혼합하여 사용함으로써 FRONTIERNET[2]와 ULPHA 스위치[4]보다 대용량 스위칭 시스템에 적합하다는 점이다. 또한 작년에 제안된 스위치 구조[1]와 비교해 볼 때 같은 스위치 용량을 가지면서도 훨씬 적은 하드웨어를 필요로 함을 살펴보았다. 제안된 스위치의 용량은 파장수에 비례하여 증가한다. 하지만 파장수가 너무 크게 되면 T주기를 갖는 광셀들을  $T/n^2$ 으로 압축하기 어렵기 때문에 파장수는 적절하게 선택되어야 한다. 따라서 앞으로 해결해야 할 문제점들로는 광압축 기술, 고속의 TWC 기술 등과 관련된 광소자 기술들이다. 이러한 기술들을 바탕으로 제안된 스위치의 구조를 구현하게 되면 대용량 전송과 고속 전송이 용이하게 될 것이다.

참 고 문 헌

1. Yoshiaki Tachikawa et al, J. Lightwave Technol., vol. 14, pp. 977-983, June 1996.
2. K. Sasayama, K. Habara, W. De Zhong and K. Yukimatsu, "Photonic ATM switch using frequency-routing-type time division interconnection network", Electron Lett., 1993, 29, pp. 17.
3. Seoyong Shin et al, EFOC&N '94, Heidelberg, Germany, June 1994, paper P16.
4. Yoshihiro Shimazu, Masato Tsukada, "Ultrafast photonic ATM switch with optical output buffer", JLT., vol. 11, 1992, pp. 265.
5. B. Mikkelsen, T. Durhuus, R. J. Pedersen, K. E. Stubkjaer, M. Oberg, and S. Nilsson, "Penalty free wavelength conversion of 2.5Gbit/s signals using a tunable DBR-laser", ECOC '92, Berlin, Sept. 1992, paper We A10.4.
6. W. Idler, M. Schilling, D. Baums, K. Duetting, G. Laube, K. Wunstel, and O. Hildebrand, "Wide range 2.5Gbit/s wavelength conversion with a tunable Y-laser", ECOC '92, Berlin, Sept. 1992, paper We A10.6.
7. C. Joergensen, T. Durhuus, C. Braagaard, B. Mikkelsen, and K. E. stubkjaer, "4Gbit/s optical wavelength conversion using semiconductor optical amplifiers", IEEE PTL., Vol. 5, pp. 657-660, 1993.
8. I. Valiente, J. C. Simon, and M. Le Ligne, "Theoretical analysis of semiconductor optical amplifier wavelength shifter", Electron. Lett., Vol. 29, pp. 502-503, 1993.
9. J. M. Wiesenfeld, B. Glance, J. S. Perino, and A. H. Gnauck, "Wavelength conversion at 10Gbit/s using a semiconductor optical amplifier", IEEE PTL., Vol. 5, pp. 1300-1303, 1993.
10. J. P. R. Lacey, G. J. Pendock, and R. S. Tucker, "Gigabit-per-second all-optical 1300-nm to 1550-nm wavelength conversion using cross-phase modulation in a semiconductor optical amplifier". OFC '96, WG4, CA, Feb. 1996.
11. Kitae Kim et al, LEOS '96, P314-315, Nov. 1996.



朴 起 燾(Kio Park) 정회원  
 1971년 4월 3일생  
 1992년 2월: 강원대학교 전자공학  
 학과(공학사)  
 1997년 3월~현재: 강원대학교 전  
 자공학과(공학석사  
 재학중)  
 ※주관심분야: 광통신, 광교환,  
 광픽업



金 光 福(Kwangbok Kim) 정회원  
 1971년 7월 11일생  
 1997년 2월: 강원대학교 전자공  
 학과(공학사)  
 1997년 3월~현재: 강원대학교 전  
 자공학과(공학석사  
 재학중)  
 ※주관심분야: 광통신, 광교환,  
 파장 안정화

安 祥 皓(Sangho Ahn) 정회원  
 1967년 10월 3일생  
 1993년 2월: 강원대학교 전자공학과(공학사)  
 1995년 2월: 강원대학교 전자공학과(공학석사)  
 1995년 3월~현재: 강원대학교 전자공학과(공학박사 재  
 학중)  
 ※주관심분야: 광통신, 광소자, 광교환

嚴 震 爨(Jinseob Eom) 정회원  
 현재: 강원대학교 전자공학과 조교수  
 한국통신학회 논문지 제20권 제11호 참조