

# 이득-투명 SOA 스위치를 이용한 광 ATM 셀 역압축기

정희원 정 광 원\*, 안 상 호\*, 이 정 렬\*, 이 승 우\*, 엄 진 섭\*

## Optical ATM Cell Decompressor using Gain-transparent SOA Switch

Kwang-won Jeong\*, Sang-ho Ahn\*, Jung-ryul Lee\*, Seung-woo Yi\*, Jinseob Eom\*

*Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 이득-투명 SOA 스위치를 이용한 새로운 구조의 광 셀 역압축기를 제안하였다. 제안된 구조는 하드웨어 및 제어의 단순화와 이득-투명 SOA를 이용함으로써 처리용량을 극대화하기 위한 요구조건을 만족시킨다. 제안된 구조의 동작을 실험으로 보이기 위해 4-비트의 소규모 광 압축셀을 역압축시키는 실험을 수행하였으며, 제안구조의 동작원리와 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 이는 시간분할 방식을 포함하는 광 ATM 교환기와 광 패킷망 등에 주요 요소로서 적용될 수 있다.

### ABSTRACT

In this paper, a new optical ATM cell decompressor using a gain-transparent Semiconductor Optical Amplifier(SOA) switch is proposed. It's less hardware, simple control and an use of gain-transparent SOA satisfy conditions required for ultra-high throughput capacity. We have made a decompression experiment for 4-bits optical compressed cells, and got a good result consistant with it's operation principle. It could be an essential element for photonic switching systems including TDM method and also optical packet network.

### I. 서 론

21세기의 차세대 정보통신망에서는 가입자마다 수백 Mbps~수 Gbps의 대역폭이 필요할 것으로 예상되며, 이에 따라 광통신 분야에 있어서도 초고속 대용량의 정보 처리를 요구하고 있다. 광전송 시스템에서 전송용량을 늘리는 방법으로는 기본 전송률(bit-rate)을 높이거나 광 주파수 영역에서 다중화 전송기술을 이용하는 방법 등이 있다. 현재까지 발표된 광 네트워크는 주로 고밀도 다중화를 위한 방법으로 파장분할 다중화(WDM) 기술을 적용하고 있지만 광섬유 증폭기의 평탄이득 대역폭의 한계, 수신단에서 원하는 신호를 선택하기 위한 광필터의

파장 선별성의 한계 등에 직면하게 된다. 따라서 보다 대용량의 시스템을 위해 최근에는 WDM 기술과 함께 시간분할 다중화(TDM) 기술이 접목된 기술들이 미래의 광통신 기술의 핵심이 될 것으로 예상된다. 이에 맞추어 막대한 전송능력의 향상에 따른 중앙전화국에서의 교환능력 또한 수 Tbps 이상일 것을 요구하고 있으며, 이를 위해서는 조만간 스위칭 과정에 있어서 WDM과 TDM 기술이 혼합된 광 ATM (Asynchronous Transfer Mode) 스위칭 시스템이 요구되는 것으로 인식된다.

이에 대하여 전광(full-optical) 방법에 의한 광 셀 압축기 및 역압축기는 TDM 방식 또는 WDM과 TDM 방식을 병행한 하이브리드 형태의 광 스위칭

\* 강원대학교 전자공학과 광통신실험실(kwjeong@foscomm.com, beat@optics.kangwon.ac.kr, passion@mirae.kangwon.ac.kr, spartan@mail.kangwon.ac.kr, jeom@cc.kangwon.ac.kr)

논문번호 : 010003-0216, 접수일자 : 2001년 2월 16일

※ 본 연구는 광주과학기술원 초고속 광네트워크 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금 및 강원대학교 BK-21 사업의 일부 지원금으로 수행되었습니다.

시스템과 광 패킷 망에서 전송효율 및 처리용량을 향상시킨다. 그러나 현재까지 발표된 광 셀 압축기 및 역압축기 구조는 전방진행형의 형태를 취하고 있기 때문에, 구현 특성상 광 셀(패킷)의 크기가 증가할 경우 동일한 구조를 많이 직렬 연결해야 하므로 매우 많은 하드웨어 증가를 요구하며, 제어신호가 복잡하게 된다.

따라서 본 연구실에서는 하드웨어 수를 감소시키면서 효율성이 뛰어난 광 셀 압축기를 제안하여 입증한 바 있으며<sup>[1]</sup>. 본 논문에서는 압축된 셀(패킷)을 수신단에서 원래의 신호로 복원하기 위한 새로운 역압축기를 제안하고, 실험을 통하여 동작을 입증하였다. 본 논문에서 구현된 역압축기는 루프미러(loop mirror)내에 이득투명(gain-transparent) SOA를 위치시키고, 이러한 루프의 스위치 특성을 이용하여 RZ(Return-to-Zero) 패턴을 가지는 압축된 4-bits 펄스열을 역압축시키도록 하였다.

이후 논문은 다음과 같이 구성된다. 제II장에서는 광 셀(패킷) 압축 및 역압축기의 필요성에 대해 알아보고, 제III장에서 기존의 광 셀 역압축기에 대해 알아본다. 그리고 제IV장에서 본 논문에서 제안된 역압축기의 구조 및 실험 결과를 함께 논하며, 마지막으로 제V장에서는 결론을 맺는다.

## II. 광 셀(패킷) 압축 및 역압축기의 필요성

패킷 경로 배정시 TDM 방식을 사용하는 광 교환기로는 일본의 ULPHA 스위치가 대표적인 예이다<sup>[2]</sup>. 그림 1은 ULPHA 스위치의 전체 블록도와 각각의 서브모듈을 통과한 셀들의 형태를 보인 것이다. 이 스위치는 입력 셀들을 목적지로 경로 배정하는 과정에서 TDM 방식만을 이용한 것으로서, n 개의 입력단으로 입력되는 셀들의 충돌을 방지하기 위하여 셀 코더(CC)에서 셀을 압축하게 된다. 이때 셀의 데이터 부분과 헤더 부분은 각각 파장을 달리 사용하며, 데이터 셀의 주기가 T이고 전체 입력 데이터 셀이 n개일 때 각각의 셀들은 T/n의 주기로 압축된다. ULPHA 스위치는 라우터로서 스타 커플러를 사용하게 되므로 각 출력 노드로 broadcasting이 가능한 구조이고, 셀 선택기(CS)에 의해 목적지 주소와 일치하는 셀만을 출력단으로 출력하게 된다. 셀 디코더(CD)에서는 압축되었던 셀(T/n)을 원래의 형태(T)로 복원시키기 위하여 역압축을 하게 되는데, 역압축 과정에서 생기는 시간적 지연으로

인한 셀 충돌을 방지하기 위하여 셀 버퍼(CB)를 셀 디코더 전단에 삽입한다. 전체적인 흐름상 셀 코더에서는 셀 압축기가, 셀 디코더에서는 역압축기가 사용되어짐을 알 수 있으며 그 역할의 중요성으로 미루어 전체 스위칭 동작에 있어 핵심이 됨을 알 수 있다.

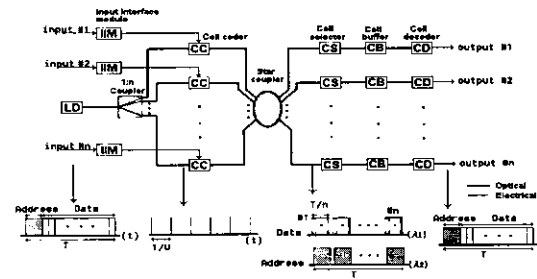


그림 1. ULPHA 스위치의 블록도

이외에도 다단 구조의 대용량 광 ATM 스위치 구성시 순수한 TDM 방식만을 사용할 경우 구현을 위한 하드웨어가 급수적으로 증가하는 단점을 보완하기 위하여 TDM 방식과 WDM 방식을 혼용한 구조가 제안되었다<sup>[3]</sup>. 이 대용량 시분할-파장분할 하이브리드 광 ATM 스위치에서는 광 셀 압축기 및 역압축기를 필수 서브 모듈로 도입함으로써 라우팅을 위해 요구되는 광 주파수의 감소 및 그에 따른 현격한 하드웨어의 감소를 얻을 수 있었다.

이처럼 광 셀 압축기 및 역압축기는 TDM 방식을 포함하는 광 ATM 교환기에서 필수적인 기능 모듈로서, 시스템 구현을 위한 하드웨어의 최소화, 동작의 고속성, 패킷(셀) 길이 증가를 쉽게 수용할 있는 대용량성 등이 요구된다.

## III. 기존의 광 셀 역압축기

광 셀 역압축기의 경우 구조면에서 광 셀 압축기와 유사한 구조를 취하고 있으나 광섬유 지연선의 위치에 따른 길이가 광 셀 압축기의 경우에 비해 역으로 변하게 함으로써 압축된 셀의 펄스간의 시간 간격을 확장시킨다. 본 절에서는 ULPHA 스위치에 사용된 광 셀 역압축기를 소개함으로써 기존에 제안된 역압축기를 설명하도록 하겠다.

비디오 분배망에 응용하기 위하여 1996년에 발표된 ULPHA 스위치<sup>[4]</sup>에 사용된 광 셀 역압축기에 대한 구조를 그림 2에 보였다.

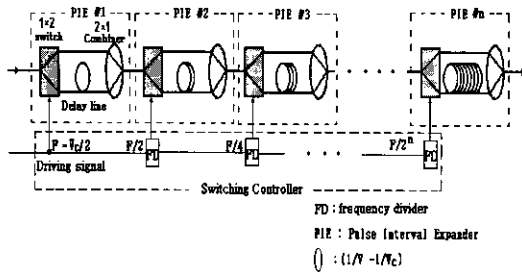


그림 2. 96년 발표된 ULPHA 스위치용 광 셀 역압축기 구조

동작을 살펴보면, 역압축기로 입력되는 비트속도가  $V_c (=1/\Delta t)$ 이고, N-bit ( $2^{k-1} < N \leq 2^k$ )의 압축 셀이 1x2 광 스위치와 광섬유 지연선, 2x1 커플러로 구성된 PIE(Pulse-Interval Expander) #1에 입력되어질 때, PIE #1에 있는 1x2 광스위치는  $V_d/2$ 의 제어신호에 의해 입력 광 펄스를 두 출력 포트에 번갈아 출력시키도록 되어 있다. 두 출력 포트에 연결된 광섬유 지연선의 상대적인 지연시간 차이는  $(1/V - 1/V_c)$ 으로 이것은 최초 스위치로 입력된 압축되기 이전 전송 신호의 1 비트 길이에 해당한다. 두 펄스열은 2x1 커플러에 의해 재결합되고, 이 결합된 펄스열은 다음단의 PIE로 입력된다. 이와 같은 과정을 되풀이하여 PIE #k 단의  $V_d/2^k$ 로 구동되는 1x2 광 스위치는  $2^{k-1}(1/V - 1/V_c)$ 의 상대적 지연길이를 가지는 두 출력포트의 광섬유 지연선으로 펄스열을 출력시키게 된다. 결과적으로 k 단의 PIE는 마치 이진 역압축기처럼 동작하여 비트속도가  $V_c$ 인 압축셀은 비트속도가  $V_d(1 + V_c T)$ 인 최초 스위치로 입력되는 셀과 동일하게 된다. 각 단의 PIE 내부 1x2 광스위치로 분배되는 제어신호는 연속된 1/2 주파수 분주기에 의해 제공되어진다. 각각의 1x2 광스위치로 제어신호를 분배하는 과정에서 1x2 광스위치가 정확한 타이밍에 맞춰 동작이 이루어지도록 하기 위해서는 전기적인 지연선이 요구된다. 광 펄스열과의 동기화를 위한 전기적인 지연선을 사용하지 않을 경우 역압축기의 입력단에 광섬유 지연선을 두어 동기를 맞추는 방법도 있을 수 있다. 그러나 이 방법은 전자에 비해 구현을 위한 하드웨어면에서 비효율적이므로 전자를 사용하는 것이 일반적이다.

그림 3에 보인 것은 각 PIE에 입력 및 출력되는 광 펄스열과 각 PIE의 1x2 광 스위치를 제어하기 위한 전기적인 구동신호를 보인 것이다.

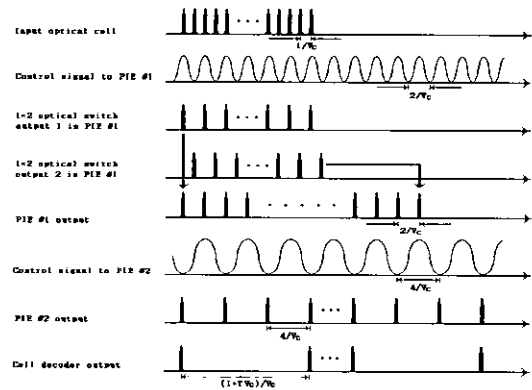


그림 3. 96년 발표된 ULPHA 스위치용 광 셀 역압축기의 역압축 타이밍도

#### IV. 제안된 광 셀 역압축기

본 논문에서는 압축된 신호에 대해 역압축 과정을 수행하기 위하여 앞서 살펴본 ULPHA 구조의 전방진행형 구조와는 대조적으로 광 쿠퍼 방식을 제안하였다. 제안된 구조에 대해 간략히 살펴보면, 루프미러내에 이득-투명 SOA를 위치시키고, 이를 이용하여 루프의 스위치 특성을 구현하였으며, 제일 앞선 비트를 제외한 잔여 비트들의 광 쿠퍼 과정을 통하여 RZ 패턴의 압축된 펄스열을 역압축시키도록 하였다. 그리고 4-bit RZ 압축 셀에 대하여 실험적으로 입증하였다.

먼저 역압축기를 구성하기 위하여 본 논문에서 사용한 실험구조는 그림 4와 같다. 그림은 입력되는 압축셀이 4bit 데이터의 압축으로 구성된 경우를 가정하였을 때 실험구조의 각 부분에서 시간에 따른 펄스 진행을 함께 나타낸 것이다.

이 구조의 동작을 간단히 알아보면 우선 1550nm 대역의 파장을 가지는 압축된 펄스는 써큘레이터(Circulator)를 통해 루프미러로 입력되고, 입력된

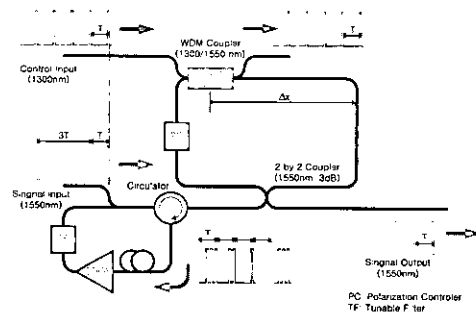


그림 4. 제안된 광 셀 역압축기 구성도

펄스는 2×2 3dB 커플러를 통과하여 루프내의 양 방향으로 진행하게 된다. 만약 1550nm에 대해 이득-투명한 1300nm대역의 SOA에 제어신호가 전혀 인가되지 않는다면, 루프미러내에서 각각 시계방향과 반시계방향으로 진행되는 펄스는 동일한 위상 변화를 겪게 될 것이며, 따라서 출력된 신호의 위상차는 전적으로 2×2 3dB 커플러에 의해서만 영향을 받게 된다.

결국 인가된 펄스는 출력단쪽에서는 상쇄간섭, 써클레이터쪽에서는 보강간섭을 겪게 되므로써 입력된 펄스는 루프미러에서 써클레이터 쪽으로 출력되어 결과적으로 입력쪽으로 모두 반사되는 것과 같은 현상으로 나타난다. 이러한 현상으로 인한 출력단 방향에서의 펄스 투과율  $T_m$ 은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_m = 1 - 2f(1-f)[1 + \cos\{(1-2f)\gamma P_0 L\}] \quad (1)$$

여기서  $f$ ,  $\gamma$ ,  $P_0$ ,  $L$ 은 각각 루프미러내에서 커플러에 의한 시계방향으로의 파워분배율, 비선형계수, 루프미러로 입력된 파워, 루프의 길이를 나타내며, 본 실험에서  $f$ 는 0.5의 값을 갖게 된다.

한편 1300nm 대역의 SOA에 제어신호인 1300nm의 광펄스가 인가된다면 SOA내에서는 광펄스의 기간동안 굴절률의 변화가 초래된다<sup>[5]</sup>. 이 순간 SOA를 동시에 지나는 1500nm대역의 신호는 위상 변화는 겪게 되지만, 이득-투명 파장대역에 속하기 때문에 SOA내에서의 이득에 의하여 영향을 받지 않는다. 이러한 위상변화가 루프내에서 시계방향으로 진행되는 1550nm 대역의 특정한 입력펄스에만 일어나도록 제어신호와 루프미러내에서의 SOA의 위치를 조정함으로써 입력된 압축비트 각각의 투과 및 반사 특성을 조절할 수 있다.

본 실험에서 압축 셀크기를 T라고 할 때 압축 셀간의 간격은 3T가 되며, 입력된 광 펄스가 루프를 통과한 후 루프에서 반사되어 써클레이터를 통해 다시 입력되기 까지 한바퀴 도는 동안의 총 광학적 길이는 광 펄스에 3T/4에 해당하는 시간 지연을 제공하여야 한다. 본 구조에서  $\Delta x$ 는 SOA의 좌측과 우측 각각으로부터 2×2 3dB 커플러까지의 경로차에 해당한다. 이러한 경로차는 반시계 방향으로 진행되는 광 펄스로 하여금 제어신호가 SOA를 통과한 다음에 SOA에 입력이 되도록 하므로써 반시계 방향 펄스로 하여금 SOA내에서의 제어신호에 의한 위상변화를 겪지 못하게 한다.

루프에서 반사되어 써클레이터로 출력된 잔여 압축 펄스는 역압축 과정을 겪기 위해서 3T/4의 시간 지연을 겪은 후 다시 루프미러로 입력되게 된다. 여기서 EDFA는 귀환과정에서의 광 파워손실을 보상하기 위하여 삽입되었다. 또한 루프미러내에 편광조절기를 삽입하여 SOA의 편광의존형을 보상하였을 뿐만 아니라 양방향에 대하여 서로 다른 위상변화를 일부 야기시켰다. 또한 본 실험에서는 SOA에 바이어스를 걸지 않고 제어신호에 의해서만 역압축 기능을 수행하도록 하였다.

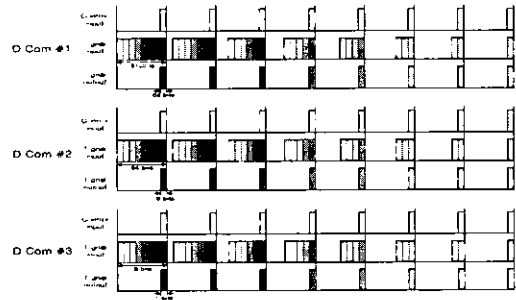


그림 5. 3단 직렬연결을 통한 압축된 512bit에의 역압축 과정

이러한 구조의 장점으로는 우선 전방진행형이나 게이트형에 비하여 하드웨어 수를 감소시킬 수 있다. 그리고 역압축 기능을 수행하기 위하여는 압축된 펄스와 제어신호간의 동기를 맞추어 주어야 하는데, 제안된 구조에서는 전방진행형과 달리 한 부분에서만 동기를 맞추어 주므로 제어가 단순하다. 또한 입력 광 펄스에 대하여 이득-투명 SOA를 사용하므로써 ASE 잡음 문제가 없으며, XGM으로 인한 영향을 받지 않고, 출력단에서 광 신호만을 선택하기 위한 필터를 사용할 필요가 없다는 장점이 있다.

그림 5는 실제 응용될 경우를 고려하여 압축 셀이 512bit로 구성되어 있을 경우 제안된 구조를 3단으로 직렬연결하여 이를 역압축하는 과정을 나타낸 것이다. 역압축과정을 보면 먼저 첫 번째 단에서 512bit의 압축 셀을 8개의 64bit 압축 데이터 그룹으로 역압축시키게 된다. 그리고 두 번째 단에서는 64bit의 압축 그룹을 다시 8개의 8bit 그룹으로 역압축하며, 최종 세 번째 단에서는 8bit 압축 그룹을 다시 8개의 1bit로 역압축한다.

본 논문에서 제안된 역압축기를 사용하여 이와 같은 512 bit에 대한 역압축과정을 수행할 경우 요구되는 하드웨어는 기존의 구조에 비해 상당히 적

게 요구됨을 알 수 있다. 이에 대한 시뮬레이션 결과를 그림 6에 나타내었다.

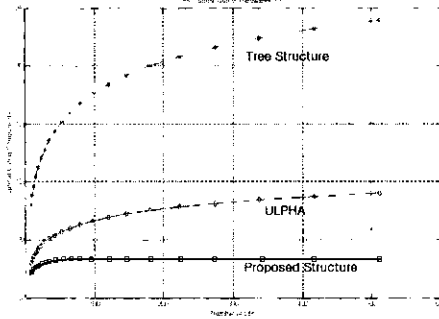


그림 6. 제안된 구조와 기존 구조에 대한 하드웨어 비교

그림에서 보면 역압축을 위해 요구되는 게이트성 기능 소자수를 비교하였는데, 기존의 구조에 비해 제안된 구조는 요구되는 게이트성 기능 소자의 수가 훨씬 적게 요구됨을 알 수 있다.

그림 7은 4-bit로 압축된 입력 셀들에 대해 역압축 실험결과를 나타낸 것이다. 입력신호는 1300nm SOA에 대하여 이득투명한 1550nm 파장을 사용하였으며, 제어신호로서는 1300nm를 사용하였다. 압축된 RZ 신호 패턴의 듀티비는 22%로 설정하였다. 이에 대한 출력결과 그림은 각각 (a)입력된 1550nm 압축된 펄스열, (b)1300nm 제어신호원, (c)역압축 출력결과를 보여준다. 여기서 1300nm의 펄스폭은 1550nm의 펄스폭을 충분히 포함할 수 있도록 하므로써, 두 펄스간의 동기여유를 주었다. 이를 통하여 동기에서의 오차여유뿐 아니라, 더욱 효과적으로 SOA에 굴절률 변화를 주게 되므로써, 역압축기의 효율을 향상시켰다. 그림에서 보는 바와 같이 입력된 압축 펄스열은 역압축기를 통과하여 출력되면서 정확한 역압축 펄스열을 생성하였다.

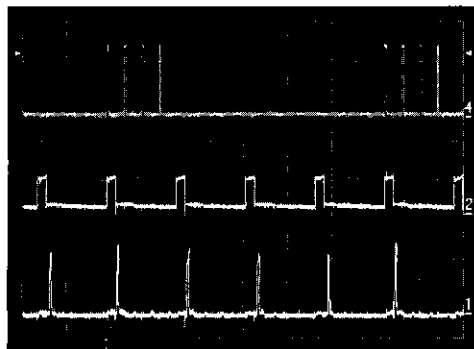


그림 7. (a) 압축펄스열, (b) 제어펄스, (c) 역압축 결과파형.

또한 본 실험에서는 이득투명 SOA에 바이어스를 공급하지 않고 단순 비선형 매질로서의 역할만 수행하도록 하였는데, 이를 통하여 다음과 같은 두 가지 잇점이 있었다. 첫 번째로 1300nm의 제어 펄스열은 실제 실험에 있어서 SOA를 통과하지 못하고, SOA내에서 모두 흡수되도록 하므로써 SOA 뒷단의 WDM 커플러를 제거할 수 있었다. 두 번째로 역압축기에 인가되어야 할 외부 전력파워를 감소시킬 수 있었다.

## V. 결론

스위칭 과정에 시간분할 방식 개념을 포함한 초고속·대용량 광 ATM 교환기에서 광 셀 압축기 및 역압축기는 시스템 구현상 필수적인 것으로 인식된다. 본 논문에서는 이득투명 SOA 스위치를 이용한 새로운 구조의 광 셀 역압축기 구조를 제안하였으며, 제안된 역압축기의 동작을 4 비트 단위 역압축 실험을 통하여 증명하였다.

시스템 구조를 연구하는 분야에서는 제어회로의 단순화를 요구하고, 비용 감소 효과를 얻기 위하여 구현을 위한 하드웨어 규모를 최소화시킬 것을 요구한다. 제안된 구조는 하드웨어의 최소화 문제와 제어의 단순화로 인한 처리용량을 극대화하기 위한 요구조건을 만족시키고 있으며, 이득투명 SOA를 이용하므로써 처리속도에 있어서도 SOA의 잠재 가능 속도를 충분히 활용할 수 있다. 제안된 구조의 동작을 실험으로 보이기 위해 4-비트의 소규모 광 압축셀을 역압축시키는 실험을 수행하였다. 실험결과 제안구조의 동작원리에 합당한 결과를 얻을 수 있었으며, 이를 통하여 실제 시스템 적용을 가깝게 하였다.

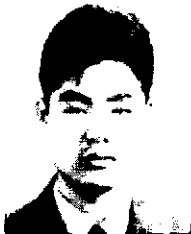
## 참고 문헌

- [1] 김광수, 정광원, 이정렬, 엄진섭, "SOA 게이트와 광 캐환 루프를 이용한 광 셀 압축기 및 역압축기", *한국통신학회 논문집*, 25권, 10B호, 2000.
- [2] Shimazu, Y. and Tsukada, M., "Ultrafast photonic ATM switch with optical output buffers", *IEEE J. of Lightwave Tech.*, vol. 10, no. 2, pp.265-272, Feb. 1992.
- [3] 김광복, 박기오, 안상호, 엄진섭, "시분할-파장분할 방식이 혼합된 라우팅 구조를 가지는 대용량

광 ATM 스위치”, *대한전자공학회논문집*, 제36권 S편 2호, pp.141-150, 1999.2.

- [4] Masato Tsukada, Hidetoshi Nakano, “Ultrafast Photonic ATM(ULPHA) Switch and a Video Distribution Experiment”, *IEEE J. of Lightwave Tech.*, vol. 14, no. 10, pp. 2154-2161, Oct. 1996.
- [5] S. Diez, R. Ludwig and H. G. Weber, “Gain-Transparent SOA-Switch for High-Bitrate OTDM Add/Drop Multiplexing”, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 11, No. 1, pp. 60-62, 1999.
- [6] T. Durhuus, B. Mikkelsen, C.Joergensen, S. L. Danielsen, and K. E. Stubkjaer, All-Optical Wavelength Conversion by Semiconductor Optical Amplifiers”, *IEEE J. of Lightwave Tech.*, vol. 14, no. 6, pp. 942-954, June. 1996.

정 광 원(Kwang-won Jeong)



1999년 2월 : 강원대학교  
전자공학과 졸업(공학사)  
2001년 2월 : 강원대학교 대학원  
전자공학과 졸업(공학석사)  
현재 : (주)포스컴 주임연구원  
<주관심 분야> 광통신, 광교환, 광소자

안 상 호(Sang-ho Ahn)



1993년 2월 : 강원대학교  
전자공학과 졸업(공학사)  
1995년 2월 : 강원대학교 대학원  
전자공학과 졸업(공학석사)  
2001년 2월 : 강원대학교 대학원  
전자공학과 졸업(공학박사)  
현재 : (주)인오시스템 선임연구원

<주관심 분야> 광통신, 광교환, 광소자

이 정 렬(Jung-ryul Lee)



1996년 2월 : 강원대학교  
전자공학과 졸업(공학사)  
1998년 2월 : 강원대학교 대학원  
전자공학과 졸업(공학석사)  
1999년 2월 ~ 현재 : 강원대학교  
대학원 전자공학과 박사과정

<주관심 분야> 광통신, 광교환, 광소자

이 승 우(Seung-woo Yi)



1992년 2월 : 강원대학교  
물리학과 졸업(이학사)  
1997년 8월 : 강원대학교 대학원  
물리학과 졸업(이학석사)  
2000년 2월 ~ 현재 : 강원대학교  
대학원 전자공학과  
박사과정

<주관심 분야> 광통신, 광교환, 광소자

엄 진 섭(Jinseob Eom)

정회원



1982년 2월 : 서울대학교  
전자공학과 졸업(공학사)  
1984년 2월 : 서울대학교 대학원  
전자공학과 졸업(공학석사)  
1990년 12월 : 미국 Texas A&M  
University 전기공학과 졸업  
(공학박사)

1985년~1987년 : 한국통신 전임연구원  
1991년~1992년 : 한국통신 선임연구원  
1992년 ~ 현재 : 강원대학교 전기전자정보통신공학부  
부교수

<주관심 분야> 광통신, 광교환, 광소자