

## 자유공간 광 연결과 병렬 형태의 패킷을 이용한 ATM 교환 방식

### (The ATM Switching Architecture using Free-Space Optical Interconnections and Packets with a Parallel Form)

張 震 煥\*, 申 相 永\*, 池 尹 圭\*

(Jin Hwan Jang, Sang Young Sin, and Yoon Kyoo Jhee)

#### 要 約

최근 전자교환의 발전에도 불구하고, 실제 스위치의 성능은 전자소자 자체의 성능이나 전자소자 사이의 연결(wiring)에 의해 제한된다. 광교환 방식은 좋은 성능을 가지고 있으나 소자면에서 아직 미숙한 상태이다. 그러므로 이 논문에서는 자유공간 광 연결과 전자논리 기능을 복합한 교환 구조를 제안하고 실험 모델을 제작하여 분석한다. 그리고 직렬 형태의 패킷을 이용한 교환에서 생기는 캐세현상을 극복하기 위해 병렬 형태의 패킷을 이용한 교환 방식을 도입한다. 자유공간 광 연결은 전자교환의 단점인 복잡한 연결(wiring)을 극복한다. 제안된 스위치 구조는 비폐쇄적이고, 간단하며, 고성능이다. 또한 패킷의 FIFO 특성을 유지한다. 이 논문에서는 제안된 스위치의 성능을 분석하고, 4×4 스위치의 동작을 보였다.

#### Abstract

Despite recent advances in electrical switch architectures, the practical switch performance is limited by both the technological and physical constraints of electrical device and wiring. Though an optical switch can have good features, optical devices are of poor quality. Therefore, we propose and study the switching architecture based on free-space optical interconnections and electrical logic devices. And an exchanging method using packets with a parallel form is introduced to solves the blocking problem of the switch that resulted from switching packets with a serial form. The free-space optical interconnections overcome the defects of electrical switch, such as, the complex connections of the wires. The proposed and demonstrated switch is nonblocking, simple and high performable. Other attractive features of the proposed switch include the guarantee of first-in first-out packet sequence. In this thesis, we also discuss the performance of proposed switch and show the experimental results of the 4×4 switch.

\*正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科

(Dept. of Electrical Eng., KAIST)

接受日字: 1992年 3月 18日

(※ 이 논문은 1990-91년도 과학재단 신진연구비 지원으로 수행한 결과임.)

#### I. 서 론

증대되는 각종 광대역 서비스를 충족시키고, 교환성 및 비교환성의 통신망을 상호 연결하고, 이들의 유지 보

수 관리 등의 제반 조건을 만족시키기 위해 광대역 종합 정보통신망(Broadband ISDN)의 필요성이 증대되고 있다.

원격 측정(telemetry)에서 고해상도 영상 정보에 이르는 다양한 특성의 광대역 서어비스를 처리하는데 있어서 회선 교환(circuit switching)방식은 다양한 속도를 처리하기 힘든 단점이 있으며, 패킷 교환 방식은 프로토콜 처리를 위한 마이크로 프로세스의 실행 지연 시간때문에 지연 시간에 민감한 동시성 정보, 즉 음성이나 영상 등의 정보를 전달하기 어려운 단점이 있다.

이 단점들을 보완하여 CCITT에서는 비동기 전달 방식(Asynchronous Transfer Mode, ATM)을 광대역 종합정보통신망(Broadband-ISDN)의 전송방식으로 제안하고 있다. ATM은 보낼 정보가 있을때에만 채널을 할당하는 기존의 통계 다중화 방식을 발전시킨 것이며, 정보는 고정된 길이의 패킷(ATM 패킷)으로 패킷화되고 패킷 헤드에 명시된 목적지를 향해 전송된다.<sup>[2]</sup> BISDN을 구현하는데 있어서 가장 핵심이 되는 분야는 서비스의 고속성과 넓은 대역폭을 처리하기 위한 고속 패킷 스위치(fast packet switch, ATM switch)라 할 수 있다.<sup>[2]</sup> 150Mbps 이상의 광대역 서비스를 처리하기 위한 전자적인 교환방법은 MIN(multi-stage interconnection network)으로 알려져 있다.<sup>[6]</sup> 그러나 이 방식은 전기적인 소자들 사이에 많은 고속도의 연결(interconnection)이 필요할 뿐 아니라 높은 전력 손실과 많은 링크를 연결하기 위한 공간이 필요하다. 이러한 문제들은 높은 효율을 가진 ATM 스위치를 구현하는데 있어서 큰 장애 요소가 된다. 반면, 광 교환 또는 광을 이용한 연결은 그러한 장애 요소들을 충분히 극복할 수 있다.<sup>[3][4]</sup>

광을 이용한 교환은 신호사이의 간섭이 적고 파이버를 통해 전송시 손실이 적으며, 고속 스위칭, 광대역 전송과 병렬 전송등의 우수한 성능을 가지고 있다. 광의 특성을 효과적으로 교환에 이용하기 위한 몇가지 조건은 ① 구조가 간단해야 하고 ② 스위칭 프로토콜이 간단해야 한다 ③ E/O, O/E 변환이 적어야 한다 ④ 광학적 제어가 가능해야 한다는 것이다. 이러한 조건들을 만족시킬때 광을 이용한 스위치는 좋은 성능을 나타낼 수 있을 것이다.<sup>[8]</sup>

그러나 광논리 소자의 미숙으로 아직 실제적인 구현은 어렵다. 그러므로 광의 특성인 광대역성이나 병렬처리과 전자기술의 우수한 논리 기능을 이용한 복합 형태의 교환 방식에 대한 연구를 필요로 한다. 그러나 궁극적으로는 광학적 논리를 바탕으로 하는 완전 광교환 구조(all-optical switch)를 목표로 하고 있다.

이 논문에서는 전자기술과 광기술의 장점을 이용한 전

자 제어 광 ATM 교환기에 대하여 논의 하였다. 제안된 교환구조에서 전자기술은 시스템의 논리기능을 수행하고 자유공간 광 연결을 이용한 광기술은 시스템의 연결(interface)의 역할을 수행한다. 서론에 이어 2장에서 교환기의 교환 방식과 장단점을 논의하고 3장에서 실험 모델의 제한과 구현 방식을 기술하였다. 그리고 실험 결과 및 고찰을 4장에서 서술하였고 마지막으로 5장에서 결과 및 앞으로의 연구 방향을 제시하였다.

### II. 스위치 모듈의 설계

이 장에서는 B-ISDN을 위한 전자 제어 광 ATM 교환을 위한 스위칭 방식을 제안하고 모듈을 설계하고 그 특성을 분석한다.

교환기를 설계하는데 있어서 가장 중요한 조건은 ① 비폐쇄 특성 ② FIFO 특성 ③ 적은 지연 시간 ④ 간단한 알고리즘으로 대표되어 진다. 지금까지 FPS(Fast Packet Switch)방식, 즉 ATM교환 방식에 대해 많은 이론이 제안되었다. 대부분의 교환방식은 직렬형태의 패킷들을 하나의 단위 시간, 즉 패킷 전송 시간 동안 동시에 전송하고 교환 함으로서 그림 1과 같은 내부 링크 폐쇄 현상이나 출력 포트 충돌이 발생한다.<sup>[5][7]</sup> 그러므로 이러한 단점을 극복하기 위해 그림 2와 같이 한 패킷 전송 시간을 여러개의 작은 시간(mini time-slot)으로 나

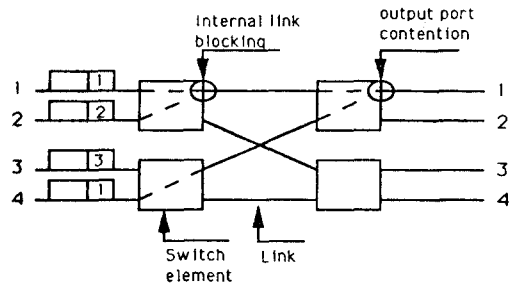


그림 1. 직렬 형태 패킷 교환에서의 폐쇄 현상  
Fig. 1. Blocking at switching using packet with serial form.

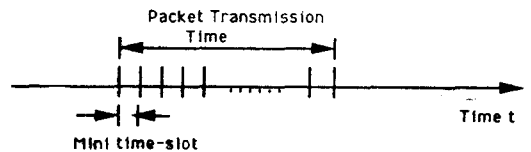


그림 2. 패킷 전송 시간의 분할(작은 시간 생성)  
Fig. 2. Division of the packet transmission time. (Generation of mini time-slot)

누고, 병렬 형태의 패킷을 교환하는 방식을 도입할 수 있다. 전기적인 방식은 이러한 병렬 처리를 하기에는 그 연결이 복잡하고 집적화가 용이하지 않다. 그러나 광교환 방식은 자유 공간을 이용하여 복잡한 연결을 간단히 행할 수가 있다.<sup>[9][10]</sup>

그러므로 이 장에서는 자유공간 광 연결과 위상 정렬을 이용하여 병렬 형태의 패킷을 교환하는 ATM 교환 방식에 대하여 논의한다.

광이 지니고 있는 고유한 특성 중에 대표적인 것이 자유공간을 진행 할 수 있다는 것이다. 광의 자유공간 진행 특성은 병렬 처리에 유용할 뿐 만 아니라 복잡한 연결을 간단히 수행할 수 있다. 그림 3은 자유공간 광 연결과 위상 정렬을 이용하여 병렬 형태의 패킷을 교환하는 ATM 스위치의 구조를 나타내고 있다. 이 방식은 직렬 형태로 입력된 패킷을 병렬 형태로 바꾸고 주어진 작은 시간동안 교환하는 방식이다. 먼저 그 구성 요소의 기능을 알아보고 전체적인 교환 방식을 설명하기로 한다.

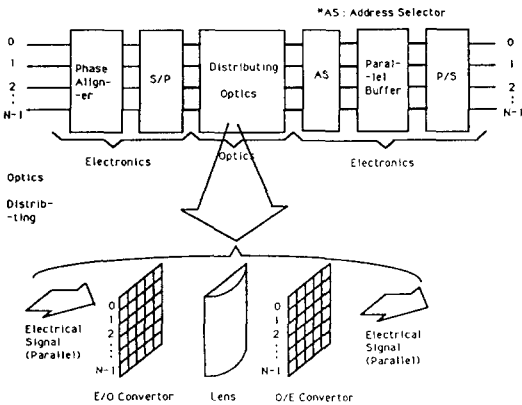


그림 3. 자유공간 광 연결과 병렬 형태의 패킷을 이용한 ATM 교환 구조

Fig. 3. The ATM switching architecture using free-space optical interconnections and packets with parallel form.

1. 위상 정렬기와 S/P 변환기

그림 (a)는 위상 정렬기의 동작을 보여주고 있다. 서로 다른 ATM 다중화기로부터 입력 포트에 도착한 패킷들은 위상 정렬 오류(mis-alignment)를 보완하기 위해 입력측의 버퍼에 저장되어진다.<sup>[9]</sup> 그리고 각 포트의 패킷들은 그 포트에 할당된 작은 시간까지 지연되었다가 할당된 작은 시간이 주어지면 S/P 변환기로 전송되어진다. 즉 서로 다른 시간에 패킷을 전송함으로써 패킷이 S/P 변환기를 거쳐 병렬 형태가 되는 시간은 그림 (b)와 같

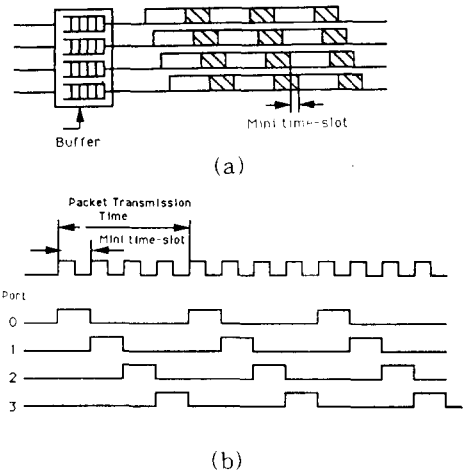


그림 4. 위상 정렬기의 동작

- (a) 역할
- (b) 작은 시간 할당

Fig. 4. Operation of the phase aligner.

- (a) function,
- (b) Allocation of the mini time-slot.

이 각각 한 작은 시간씩 차이가 나는 것이다. 만약 작은 시간의 크기를 비트단위의 클럭(clock)과 같게 한다면 스위치의 내부속도를 증가 시키지 않고 구현할 수 있는 최대 크기는 패킷의 길이로 제한될 것이다. 반면 스위치의 내부 속도를 증가 시키면 더 많은 사용자를 포함하는 대용량 스위치를 구현할 수 있을 것이다. 스위치의 크기 N는

$$N = f_s \cdot L \quad L: \text{패킷의 길이} \quad (1)$$

여기에서  $f_s$ 는  $V_s/V$ 로 정의되며, 속도 증가 요소이고,  $V_s$ 와  $V$ 는 각각 스위치의 내부 속도와 입력력 포트의 속도를 가리킨다. 그림 5는 스위치의 크기에 따른 스위치의 속도 증가 요소와 패킷 길이와의 관계를 나타내고 있다.

2. 변환 어레이(E/O, O/E)

입력단의 E/O 어레이는  $(N \times L)$  매트릭스 형태이며, 그 구성 소자는 LD 또는 LED이다.<sup>[11][12]</sup> E/O 어레이의 각 행은 S/P 변환기로부터 받은 병렬 형태 정보를 광 정보로 변환하여 자유공간 광 연결 시스템을 통해 출력단의 O/E 어레이에 전송한다. 출력단의 O/E 어레이는  $(N \times L)$  PIN-PD 어레이이며 각 행의 정보중 헤더 정보를 검출하여 AS(Address Selector)로 전송한다.

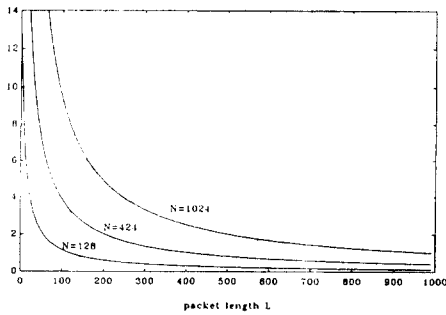


그림 5. 속도 증가 요소와 패킷의 길이와의 관계  
 Fig. 5. Relation between the speed increasing factor and packet length.

3. 자유공간 광 연결 시스템

자유공간 광 연결 시스템은 E/O 변환 어레이로 부터 전송된 광 패킷을 출력측의 O/E 변환 어레이에 전달하기 위한 것으로 그림 6과 같이 구현된다.<sup>[11][12]</sup> 이 자유공간 광 연결 시스템은 LD나 LED와 같은 E/O 변환기로부터 나온 광신호를 수평으로 퍼지는 것은 억제하여 옆의 정보와의 간섭을 제거하고, 수직으로 퍼트러 ( $N \times L$ ) O/E 변환 어레이 중 그 옆에 해당하는 ( $N \times 1$ ) O/E 변환 어레이에 패킷의 한 비트를 전송하는 역할을 한다.<sup>[11][12]</sup>

제안된 스위칭 방식의 전체적인 동작을 보면 우선 입력측에 도착한 패킷은 위상 정렬기에 의해 자신에게 할당된 작은 시간까지 지연되어 서로 다른 시간에 S/P에 입력된다. 그러므로 각 포트에 들어온 패킷이 병렬 형태로 바꾸어 지는 시간을 서로 다르다. 병렬 형태로 바뀌어진 패킷은 E/O 변환 어레이를 거쳐 광 패킷으로 변환된다. 이 광 패킷은 자유공간 광 연결 시스템을 통해 출력측 O/E 변환 어레이로 분배되어지고 O/E 변환 어레이는

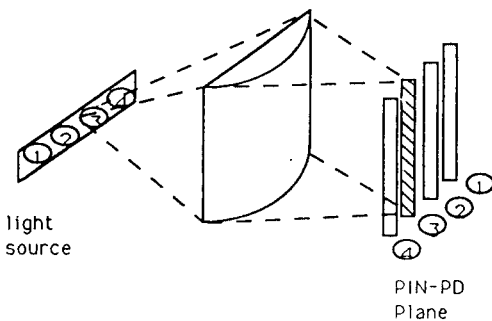


그림 6. 자유공간 광 연결 시스템  
 Fig. 6. Free-space optical interconnection system.

이 정보를 검출한다. AS는 PIN-PD 어레이에 의해 검출된 정보의 헤더를 분석하여 자신을 향한 패킷은 병렬 형태의 버퍼에 저장하고, 그렇지 않으면 버린다. 버퍼에 저장된 패킷은 P/S 변환기를 거쳐 직렬 형태로 출력된다.

위에서 알 수 있듯이 이 교환 방식은 내부 링크 폐쇄 현상이나 출력 포트 충돌이 발생하지 않는 비폐쇄 스위칭임을 알 수 있다. 또한 이 방식은 패킷의 FIFO(First-In First-Out) 특성을 가지고 있으며, 간단한 구조이고 높은 성능을 가지고 있다.

III. 실험 모델의 구현

본 장에서는 제안된 ATM 교환 방식의 구현에 필요한 제원과 그 특성을 알아보고, 실험적 모델의 구현 방법을 제시하고 그 특성을 분석한다.

광 시스템에 주로 등장하는 광전 소자는 전송단으로서 LED와 LD, 수신단으로 PIN PD와 APD등이 있다. 이 교환 구조는 4 개의 입출력 포트와 위상 정렬기, 광전 소자 어레이, 전광 소자 어레이 그리고 렌즈 시스템으로 구현 되었다. 전광 소자로는 LED를, 광전 소자로는 PIN-PD 를 사용하였다. PIN-PD는 400-1200nm사이의 광신호를 받아들이고, 900nm에서 가장 우수한 성능을 가진다. 정보의 변조는 NRZ 방식으로 빛의 세기를 변조하는 방법(intensity modulation)을 이용하였다. 그리고 자유공간 광 연결 시스템은 한쪽면 원통 렌즈(cylindrical-convex lens)을 이용하여 구현하였다. 그리고 시스템에 사용된 패킷은 4비트로서 목적지 주소 2비트, 정보 2비트로 구성되었다. 출력단의 AS는 상위 2비트의 목적지 주소를 이용하여 버퍼의 정보 흐름을 제어한다.

실험 모델에서 입력측에 도착한 패킷들은 완벽환 동기화가 되어 있다. 그러므로 할당된 작은 시간에 S/P 변환기로 패킷을 전송하기 위한 위상 정렬기의 구현은 각 입력 포트에 각각 일정한 지연 시간을 할당함으로써 구현되었다. 즉 입력 포트 0는 지연 시간이 없고, 입력 포트 1에는 1개의 작은 시간동안 지연하고, 입력 포트 2에는 2개, 입력 포트 3에는 3개의 작은 시간만큼 지연함으로써 구현되었다.<sup>[9]</sup>

교환기의 입력단을 구현하는데 필요한 제원은 크게 S/P 변환기와 전광 변환기이다. S/P 변환기는 쉬프트 레지스터(75LS194)를 이용하여 구현 하였다. 전광소자로는 적색 LED가 사용되었다.<sup>[11][12]</sup>

자유공간 광 연결 시스템을 구현하기 위해 사용된 사용된 렌즈는 한쪽면 원통 렌즈(cylindrical-convex optical glass lens)이다. 자유공간 광 연결 시스템의 전체 특성을 알아 보기 위해 실험 세트는 그림 7과 같

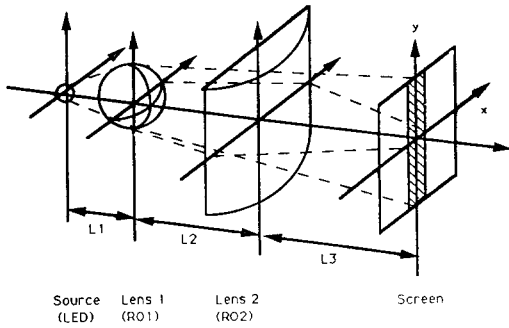


그림 7. 자유공간 광 연결 시스템의 특성 분석을 위한 모델링

Fig. 7. Modeling for features analysis of the free-space optical interconnections.

이 모델링 되었다. 앞 단의 렌즈 1은 LED를 보호하고 있는 투명 플라스틱을 모델링한 것으로 LED와의 거리는 1mm이고 반지름이 50mm인 얇은 볼록 렌즈로 가정되었다. 렌즈 1의 경우는 초점 거리  $f_1$ 은 98mm이다. 렌즈 2는 한쪽면 원통 렌즈로서 반지름이 52.8mm이고 초점 거리  $f_2$ 는 103.5 mm이다. 거리  $L_2$ 와  $L_3$ 는 각각 200mm이다.<sup>[13]</sup> 이 광학 시스템의 특성을 알기 위해 레이 매트릭스를 이용하여 전체 광학 시스템의 레이 매트릭스를 구해보면

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & L_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

이고 그 특성은

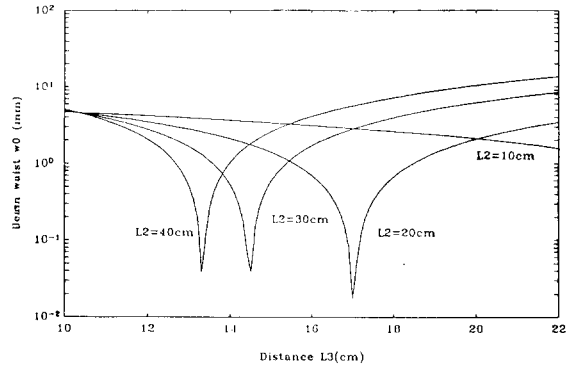
$$q_{out} = \frac{q_{in} \cdot A + B}{q_{in} \cdot C + D} \quad (3)$$

으로 나타난다. 여기에서  $q$ 는 빔의 너비 (beam width)  $W_0$ 와 커브처 반지름 (curvature radius)  $R$ 의 함수로서 다음과 같이 정의 된다.

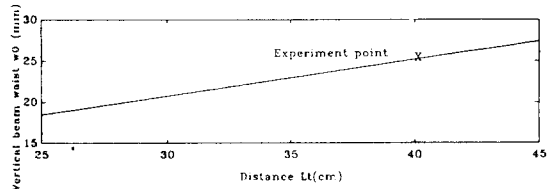
$$\frac{1}{q} = \frac{1}{R} - \frac{j \cdot \nu}{\pi \cdot W_0^2 \cdot n} \quad (4)$$

식 (2)과 (3)로부터 스크린에서의 빔의 너비를 얻을 수 있다.

그림 8-(a)는 x축 방향의  $W_0$ 와 거리  $L_3$ 의 관계를 보이고 있다.  $L_2$ 가 20cm이고  $L_3$ 가 17cm일 때  $W_0$ 는 20 $\mu$ m이다. 실제 실험에서는 실험에 사용된 PIN-PD의 직경



(a)



(b)

그림 8. 자유공간 광 연결 시스템의 특성

- (a) 수평 방향의  $W_0$ 와 거리  $L_3$ 의 관계
- (b) 수직 방향의  $W_0$ 와 총 거리  $L_t$ 와의 관계 ( $L_t=L_1+L_2+L_3$ )

Fig. 8. Features of the free-space optical interconnections.

- (a) The relation between  $W_0$  for horizontal direction and length  $L_3$ ,
- (b) The relation between  $W_0$  for vertical direction and length  $L_t$ . ( $L_t=L_1+L_2+L_3$ )

을 고려하여  $W_0$ 가 1.5mm가 되게  $L_3$ 를 20cm로 하였다. 그림 8-(b)는 y축 방향의  $W_0$ 와  $L_3$ 의 관계를 보이고 있다. 렌즈 2는 한쪽면 원통 렌즈이므로 수직방향의 빔에는 영향을 주지 않는다. 그러므로 수직방향으로 진행하는 빔은 렌즈 1의 영향을 제외하고는 자유공간을 진행하는 것과 동일하다.

그림 8-(b)에서 LED와 스크린 사이의 거리가 40cm일 경우, y축 방향의  $W_0$ 는 25mm이다. 그러므로 이 실험모델로 얻을 수 있는 최대 교환기의 크기는 8 (=25/3)개의 입출력 포트를 가진 8x8 교환기이다. 일반적으로 자유공간을 이용한 광학의 경우 정렬(aline)의 문제는 매우 까다로운 문제이다. 여기에서 제안된 방식은 PIN PD 어레이의 행사이에서 전력의 손실이 생기는 단점이 있으나, 분배 역할만 함으로서 정렬이 쉽다는 장점을 가지고 있다.

출력단을 구성하는 소자는 크게 AS, 병렬 형태 버퍼, P/S 그리고 광전 변환기로 나누어 진다. AS는 비교기(74LS85)를 이용하여 구현하였고, 병렬 형태 버퍼는 FIFO 버퍼를 이용하였으며, P/S 변환기로는 쉬프트 레지스터를 이용하였다. 마지막으로 광전 변환기는 실리콘 PIN-PD(400-1200nm)와 FET를 이용하여 전달 임피던스 방식으로 구현 하였다.<sup>[14]</sup>

이상에서 알 수 있듯이 이 교환 방식은 그 구조면에서 간단함으로 서론에서 제시한 조건들 중 첫번째 조건인 "간단한 구조"의 조건을 만족 시킨다.

#### IV. 실험 결과 및 스위치 성능 분석

본 장에서는 실험 모델의 실험 결과로서 비폐쇄 특성과 우선 순위 제어에 따른 실험 결과를 고찰하고, 제안된 스위칭 방식의 성능, 즉 수득률과 지연 시간을 모델링에 의해 분석해본다.

##### 1. 실험 결과

본 절에서는 구현된 스위치 모델의 실험 결과를 고찰한다. 제안된 방식의 특성으로 보고자 하는 것은 스위치의 비폐쇄 교환 특성이다.

##### ① 도착한 정보의 목적지가 서로 다를때

그림 9는 입력포트 0으로부터 목적지 1로 향하는 패킷이 01의 정보를 가지고 있을 때이다. 약 9 $\mu$ sec 정도의 지연을 가지고 목적지에 도착함을 알 수 있다. 이때 패킷의 발생 비율은 1이었다. 즉, 매 단위시간마다 각 입력 포트에는 하나의 패킷이 도착하는 경우이다. 그림 10은 입력 포트 1로 부터 목적지 0으로 향하는 패킷이 11의 정보를 가지고 있을때이다. 그림에서 약 18 $\mu$ sec의 지연을 가지고 있음을 알 수 있다. 이 지연 시간의 차이는 각 입력 포트에 할당된 작은 시간의 차이에 의한 것이다.

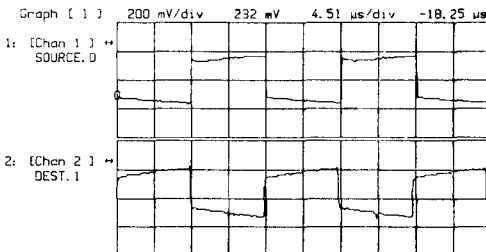


그림 9. 입력포트 0으로부터 목적지 1로 향하는 패킷이 (01)의 정보를 가지고 있을 경우의 교환

Fig. 9. Switching property for packets with information (01) proceed to output port 1 from input port 0.

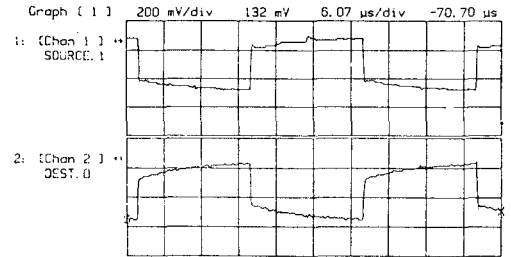
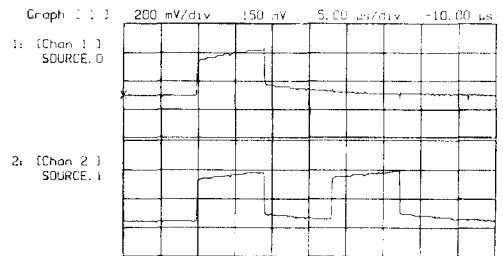


그림 10. 입력포트 1로 부터 목적지 0으로 향하는 패킷이 (11)의 정보를 가지고 있을 경우의 교환

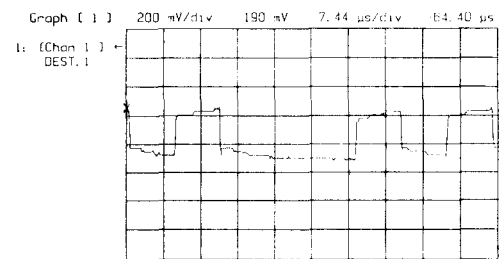
Fig. 10. Switching property for packets with information (11) proceed to output port 0 from input port 1.

##### ② 도착한 패킷 중 2개의 목적지가 같을때

4개의 입력에 도착한 패킷중 2개의 목적지가 같을 경우에 대하여 알아본다. 그림 11(a)는 입력포트 0과 1로부터 목적지 1로 (00)과 (01)을 전송하는 경우를 보이고 있다. 이 때 패킷의 발생은 4 단위시간마다 하나씩 발생시켰다. 즉, 평균 발생 비율이 0.25인 경우이다. 그림 11(b)에서 알 수 있듯이 정보의 손실이 발생하지 않으며 비폐쇄 특성을 보여준다.



(a)



(b)

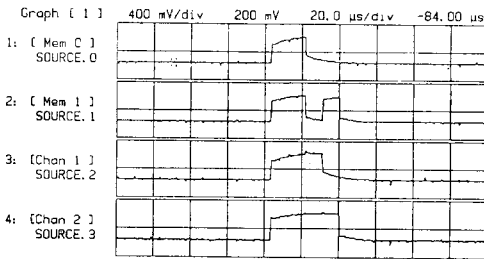
그림 11. 입력포트 0과 입력 포트 1로부터 목적지 1로 (00)과 (01)의 정보를 전송하는 경우의 교환 (a) 입력 신호 (b) 교환된 신호

Fig. 11. Switching property for packets proceed to output port 1 from input port 0 and input port 1 with information (00) and (01).

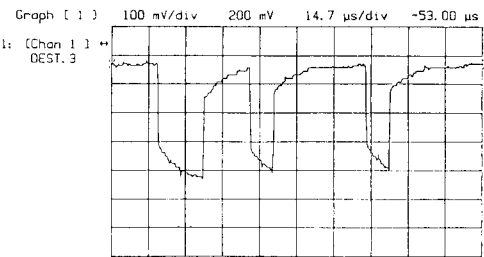
③ 도착한 패킷중 2개 이상이 같은 목적지를 가질때

그림 12(a)는 4개의 패킷이 0.25의 발생 비율을 가지고 모두 같은 목적지 3을 향하는 경우의 실험 결과이다. 입력포트 0은 정보 (00)을, 입력포트 1은 정보 (01)을, 입력포트 2는 정보 (10)을, 입력포트 3은 정보 (11)을 가지고 있을 때를 보이고 있다. 그림 12(b)에서 알 수 있듯이 패킷의 손실은 없으며, 비폐쇄 특성을 보이고 있다.

이상의 결과에서 볼 수 있듯이 이 교환 방식은 내부 링크 폐쇄 현상이나 출력 포트 충돌이 발생하지 않는 비폐쇄 스위치임을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 12. 4개의 패킷이 각각 (1100), (1101), (1110), (1111)인 경우의 교환

(a) 입력 신호  
(b) 교환된 신호

Fig. 12. Switching property for packets with information (1101), (1101), (1110) and (1111).

2. 스위치의 성능(수득률, 지연시간)

제안된 스위칭 방식은 버퍼의 위치에 따른 분류에 의하면 출력측에 버퍼를 둔 출력 큐잉 스위치(output queueing switch)에 해당한다. 그러므로 일반적인 출력 버퍼 스위치의 분석 방법에 따라 스위치의 패킷 손실율과 지연 시간을 분석한다. 스위치의 해석을 위해 입력단에 입력되는 각각의 패킷들은 독립적이고 동일한 형태의 베르누이 프로세스(Bernoulli process)로 모델링 한다. 즉, 임의의 패킷이 주어진 시간에 임의의 입력 포트

(port)에 도달하는 확률은  $p$ 이며, 임의의 출력 포트를 목적지로 할 확률은  $1/N$ 이다. 연속적인 패킷은 서로 독립적이다. 출력단의 버퍼는 FIFO의 형태이며, 각 버퍼의 길이는  $b$ 이다. 랜덤 변수(random variable)  $A$ 는 주어진 시간동안 임의의 출력 포트(port)를 향할 패킷의 수로 정의하고, 그 패킷의 수가  $k$ 개일 확률은 다음과 같다.<sup>[15][16]</sup>

$$a_k = P_r [ A = K ] = \binom{N}{k} (p/N)^k (1-p/N)^{N-k}$$

$$k=0, 1, 2, \dots, N \tag{5}$$

만약  $N$  이 무한히 크면,

$$a_k = P_r [ A = K ] = \frac{p^k \cdot e^{-p}}{k!}$$

$$k=0, 1, 2, \dots \tag{6}$$

이다.  $Q_m$ 은  $m$ 번째 시간 슬롯의 끝에서 임의의 버퍼의 패킷 수를 나타내고,  $A_m$ 은  $m$ 번째 시간 슬롯동안 도착하는 패킷의 수이다.  $Q_m$ 은 다음과 같이 모델링 된다.

$$Q_m = \min \{ \max (0, Q_{m-1} + A_{m-1}), b \}$$

$Q_{m-1} = 0$  이고  $A_m > 0$  이면 도착한 패킷들 가운데 하나의 패킷이  $m$  슬롯안에 전송 된다.  $N < \infty$ 이면  $a_k$ 는 (4)식,  $N = \infty$ 이면 (5)식에 의해 주어진다. 정상 상태의 버퍼 크기는 그림 13에 있는 상태 천이 다이어그램으로 부터 얻어진 연립 방정식을 이용하여 구할 수 있다. 만약  $Q_{m-1} = 0, A_m = 0$  이면 전송되는 패킷은 없다. 임의의 버퍼에 패킷이  $b$ 개 이상 도착하여 패킷의 손실이 생길 확률은

$$P[\text{패킷 손실}] = 1 - \frac{1 - q_0 \cdot a_0}{p} \tag{7}$$

이다. 스위치에서의 패킷 지연의 정의는 패킷이 스위치를 통해 지나는데 걸리는 시간시간을 의미하며, 통상적으로 패킷의 첫번째 비트를 기준으로 한다. 실제 지연 시간의 중요성은 지연에 민감한 음성이나 영상신호 등의 서어비스 분야에서 나타난다. 출력 버퍼의 평균 지연 시간은 Little's result 로부터<sup>[17]</sup>

$$W = \frac{Q}{\rho_0} = \frac{1 + \sum_{n=1}^b nq_n}{1 - q_0 a_0} \tag{8}$$

이다. 여기에서  $Q$ 는 정상상태에서 시스템내에 있는 평균 패킷의 갯수이다. 그림 14(a)는 입력의 부하가 변화할때 출력측 버퍼의 크기  $b$ 와 패킷 손실율의 관계를 나타내고

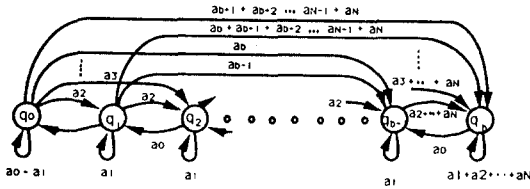
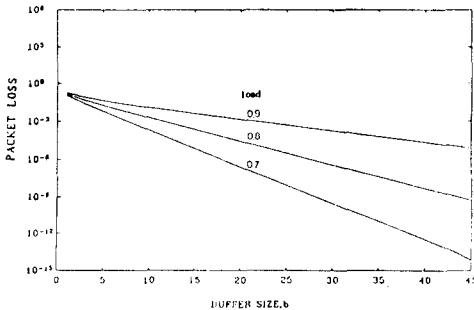
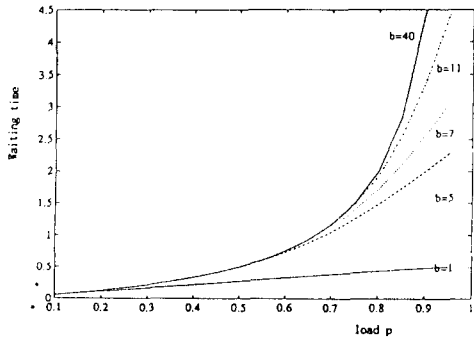


그림 13. 출력 버퍼 방식의 상태 천이 다이어그램 (Markov-chain)

Fig. 13. Steady-state diagram for output buffer architecture.



(a)



(b)

그림 14. (a) 부하가 변할때 버퍼 크기와 패킷 손실과의 관계,  $N = \infty$   
(b) 버퍼의 크기가 변화할대 입력측의 부하와 평균 지연 시간과의 관계,  $N = \infty$

Fig. 14. (a) The relation between the packet loss and the buffer size when load is varied,  
(b) The relation between the waiting time and the load of the input port when buffer size is varied.

있다. 그림 14(b)는  $N = \infty$ 이고 버퍼의 크기가 변화할때 입력측의 부하와 평균 지연 시간과의 관계를 나타내고 있다.

위의 결과에서 알 수 있듯이 패킷의 손실은 입력측 부하가 증가하면 같이 증가하고, 버퍼의 크기가 커지면 감소함을 알 수 있다. 반면, 패킷의 지연시간은 부하가 증가하거나 버퍼 크기가 증가하면 같이 증가함을 알 수 있다. 즉 패킷 손실과 지연시간의 관계는 트레이드 오프 (trade-off) 한 관계에 있음을 알 수 있다.

지금까지 제안된 교환 방식에 대한 성능(수득률, 지연 시간) 분석과 실험 결과를 살펴 봄으로서 이 스위칭 방식은 ① 비캐쇄 스위칭 특성 ② FIFO 특성 ③ 광학적 구현이 쉬움 ④ 간단한 알고리즘 및 구조의 장점을 가지고 있음을 알 수 있다.

이 특성은 서론에서 제시한 우수한 성능의 광교환 구조를 얻기위한 조건과 비교하여 보면 구조의 단순화와 프로토콜의 단순화 조건은 만족시키나 광학적 제어의 조건은 만족시키지 못하고 있다. 그리고 상대적으로 E/O 및 O/E 변환기의 수량이 많으나 어레이 제작 기술의 발전으로 그 제약성이 줄어들고 있다.

광학적 제어의 조건은 아직 광학 논리 기능이 미숙하기 때문이며 교환 구조에서 알 수 있듯이 이 구조는 광논리 기능이 발전하면 쉽게 도입할 수 있으며 더 높은 효율을 얻을 수 있다.

### V. 결 론

본 논문은 자유 공간 광 연결과 병렬 형태의 패킷을 이용한 ATM 스위칭 방식을 제안하여 분석하고, 실험적 모델을 제작하여 결과를 고찰하였다. 제안된 방식은 출력 버퍼 방식에 속하며 스위치의 분석을 통하여 높은 수득률과 적은 지연 시간을 가짐을 볼 수 있었다. 구성된 실험 모델을 통하여 내부 링크 충돌이나 출력 포트 충돌이 발생하지 않는 비캐쇄 스위칭 시스템을 확인할 수 있었다.

본 실험 모델은 패킷의 크기가 4비트이고 동작 속도가 0.5Mbps이하로 제한되어 실제로 네트워크(network)에 응용 하지 못했다. 제안된 방식은 복잡한 연결을 자유공간 광학으로 단순화 시킴으로서 좋은 효율을 얻었다. 그러나 광학적 제어 기능을 포함 시키지 못했다.

그러므로 앞으로의 연구 방향은 광논리 기능을 포함시켜 교환기의 성능을 향상 시키는 방향이 될 것이다.

### 參 考 文 獻

[1] M. F. Slana and H. R. Lehman, "Data communication using the telecommunication network", *IEEE Trans. On Computer*, pp. 73-88, May, 1981.



- [2] Steven E. Minzer, "Broadband ISDN and Asynchronous Transfer Mode(ATM)", *IEEE Comm. Mag.* pp 17-24, Sep. 1989.
- [3] H. S. Hinton, "Architectural considerations for photonic switching network", *IEEE JSAC.* vol. 6, no. 7, pp. 1209-1226, Aug. 1988.
- [4] H. S. Hinton, "Photonic Switching Fabrics", *IEEE Comm. Mag.* pp. 71-89, Apr. 1990.
- [5] H. Ahmadi and W. Denzel, "A survey of modern high-performance switching techniques", *IEEE JSAC.* vol. SAC-7, pp. 1091-1103, Sep. 1989.
- [6] E. Amada, Y. Tasushi and H. Inoue, "A photonic approach to ATM switching", *IEEE Global Tele. Conf.* pp. 1810-1814, Nov. 1989.
- [7] Eric Nissbaum, "Communication network needs and technologies-A place for photonic switching?", *IEEE JSAC.* vol. 6, no. 7, pp. 1036-1043, Aug 1988.
- [8] P. R. Pruncnal and P. A. Perrier, "Optically-processed routing for fast packet switching", *IEEE LCS. Mag.*, pp. 54-67, May. 1990.
- [9] M. Devault, J. Y. Cochenec and M. Servel, "The "Prelude" ATD experiment : Assessments and future prospect", *IEEE JSAC.*, vol. 6, no. 9, pp. 1528-1537, Dec. 1988.
- [10] 장진환, 지윤규, "Free-space optical connection을 이용한 hybrid ATM 교환 방식, 한국통신학회 춘계종합학술대회 논문집, 제10권, 제1호, pp. 125-128, 1991.
- [11] Francis T. S. Yu and I. C. Khoo, *Principales of Optical Engineering*, printed by Wiley. 1990.
- [12] Robert J. Hoss, *Fiber Optic Communications Design Handbook* printed by Prentice-Hill Inc. Editions, 1990.
- [13] Amnon Yariv, *QUANTUM ELECTRONICS*, printed by Wiley, 1989.
- [14] R. G. Smith et al., *Semiconductor Device for Optical Communication*, printed by Springer-Verlag, 1980.
- [15] Michael G. Hluchyj and Mark J. Karol, "Queueing in high-performance packet switching", *IEEE JSAC.* vol. 6, no. 9, Dec. 1988.
- [16] M. J. Karol et al, "Input versus output queueing on a space-division packet switch", *IEEE Trans. on Comm.* vol. COM-35, no. 12, Dec. 1987.
- [17] L. Kleinrock, *Queueing System vol. 1 : Theory*, printed by John Wiley & Sons, New York, 1975.

---

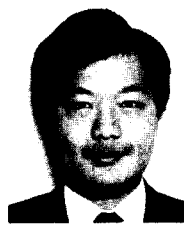
 著 者 紹 介
 

---



張 震 煥 (正會員)

1968年 4月 14日生. 1990年 2月 경 북대학교 전자공학과(학사). 1992年 2月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사). 1992年 3月~ 현재 한국과학기술원 박사과정 재학중.



申 相 永 (正會員)

1946年 9月 14日生. 1968年 서울대학교 전기공학과(학사). 1973年 Polytechnic Institute of New York(공학석사). 1975年 Polytechnic Institute of New York(공학박사). 1975年~1975年 Polytechnic Institute of New York 연구원. 1978年 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 조교수. 1980年 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 부교수. 현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 교수

池 尹 圭 (正會員) 第27卷 第11號 參照

현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 부교수