

# 광 링 통신망에서 헤더의 전송 속도가 통신망 성능에 미치는 영향 평가

正會員 朴炳哲\*, 姜哲信\*\*, 辛宗德\*\*\*, 全敏鎔\*\*\*\*

## Effect of Header Speed on Performance in Optical Ring Networks

Byung-Seok Park\*, Cheoul-Shin Kang\*\*, Jong-Dug Shin\*\*\*, Min-Yong Jeon\*\*\*\* Regular Members

### 要 約

최근에 Photonic LANs, MANs 및 B-ISDN access networks 분야에서 광섬유의 막대한 전송 대역폭을 최대한으로 이용하기 위한 광 스위칭 노드들이 제안되었다. 제안된 노드들은 광섬유의 높은 전송 대역폭을 효율적으로 이용하며, 구조가 단순할 뿐 만 아니라 링, 버스 및 WDM 통신망등의 다양한 통신망들에 적용이 가능하다. Fortenberry 등에 의해 제안된 스위칭 노드는 패킷 어드레스의 전기적인 처리를 위해 패킷 헤더의 전송 속도를 저속으로 고정하고 패킷의 페이로드는 광 통신망 고유의 높은 속도로 전송하는 광학적으로 투명한 노드이다. 반면, 광 주소 처리를 하는 광 스위칭 노드는 패킷의 헤더와 페이로드 모두 동일하게 광섬유 고유의 높은 전송 속도로 전송되도록 고안되었다. 본 논문에서는 광 투과성을 가진 두 유형의 광 스위칭 노드들을 이용하는 광 링 통신망들의 성능을 비교 분석하여 패킷 헤더의 전송 속도가 통신망 전체의 성능에 미치는 영향을 평가하였다.

### ABSTRACT

For the full utilization of the high transmission bandwidth of optical fiber, several optically transparent switching nodes are proposed for use in photonic LANs, MANs or B-ISDN access networks. The node design is simple and adaptable to various networks including rings, buses, and WDM systems. In the switching nodes proposed by Fortenberry et al., payload speed is transparent to optical speed while header speed remains at a relatively low speed for the address processing with node control electronics. Another type of photonic packet switching device with optical address processing supports higher header speed in packet transmission. In this paper, a quantitative performance comparison study of the optical ring networks using the two types of optically transparent switching nodes is carried out to observe the effect of header speed on the network performance.

\*전력연구원 연구원

\*\*한남대학교 전자공학과

\*\*\*숭실대학교 정보통신공학과

\*\*\*\*한국전자통신연구소 선임연구원

論文番號 : 95082-0225

接受日字 : 1995年 2月 25日

## I. 서 론

통신망의 다양한 응용 분야에서 광대역 통신의 요구가 날로 커지고 있다. 막대한 전송 대역폭을 제공하는 단일 모드 광섬유(single mode optical fiber)를 이용하는 광 통신 기술은 이러한 고속, 대용량의 통신 요구를 수용할 수 있는 전송 기술로서 각광받고 있으며<sup>(1,2)</sup>, 선진 각국에서는 고속의 광 전송 기술을 이용하는 광 통신망에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히, 어드레스 처리 과정에 존재하는 전기적인 속도의 병목 현상을 제거하고 광섬유의 높은 주파수 대역폭을 효율적으로 이용하기 위한 광 스위치 및 중계 소자등의 개발이 매우 활발하다. 또한, 최근들어 광 LANs, MANs 및 B-ISDN access networks 등의 통신망 분야에 이용 가능한 광학적으로 투명한 광 패킷 교환 노드들이 제안되었다<sup>(3-10)</sup>. 제안된 광 패킷 교환 노드들은 통신망의 구성에 있어 링, 버스, star 및 WDM 통신망 등 다양한 구성이 가능하여 차세대 통신망 발전에 중요한 역할을 담당할 것으로 기대되고 있다.

Fortenberry등이 제안한 광 패킷 교환 노드는 광 신호 패킷의 제어와 증폭을 위하여 반도체 광 증폭기를 사용하여 광학적으로 투명하다<sup>(3-6)</sup>. 패킷 헤더(packet header)의 전송 속도는 전기적인 회로 소자(ECL 로직)에 의한 어드레스 처리를 위하여 155 Mbps 혹은 622 Mbps의 저속으로 전송되며, 패킷의 페이로드는 광섬유 고유의 높은 전송 속도로 전송된다. 그러므로, 이 광 패킷 교환 노드들을 사용하는 통신망에서는 어드레스 처리등을 포함하는 교환 부분이 전자식이어서 노드의 패킷 교환 속도가 전기적인 속도의 제한을 받는 단점이 있다. 한편, 최근에 제안된 새로운 유형의 광 패킷 교환 노드<sup>(7,8)</sup>는 광섬유 지연 선로 정합 여파기(fiber optic delay line matched filter)와 문턱값 감지기로 구성되는 광 어드레스 처리기(optical address processor) 및 광 패킷 교환을 위한 어드레스 지정 및 검출 알고리즘<sup>(11-12)</sup>을 이용하여 헤더의 전송 속도를 광 속도 그대로 유지하면서 광 신호처리 방법으로 어드레스 일치 여부를 감지한다. 따라서 이 광 교환 노드들을 사용하는 통신망에서는 헤더의 전송 속도가 페이로드의 속도와 거의 동일하게 광 신호로 유지되어 종래의 어드레스 처리시 존재하는 전기적인 속도의 한계를 제거함으로써 노드 지연 시간(node latency)을 적게하며 통신망

의 시스템 용량(throughput)을 증가시킨다. 이러한 광 패킷 교환 노드들을 사용하는 차세대 광 통신망들은 추후 광대역 통신망들과 연계되어 사용될 수 있는 통신망으로서 유용도가 매우 높을 것으로 기대되고 있다.

본 논문에서는 Fortenberry등이 제안한 광 패킷 교환 노드들을 사용하는 링 통신망과 새로이 제안된 광 어드레스 처리기를 사용하는 광 링 통신망의 성능을 분석하고, 그 특성을 비교하여 패킷 헤더의 전송 속도와 페이로드의 전송 속도의 차이가 통신망의 성능에 미치는 영향을 비교, 고찰하였다. 단방향 단일 채널 링(unidirectional single channel ring) 및 양방향 2채널 링(counter-rotating 2-channel ring)의 2가지 슬러티드 링 통신망 구성 방식에 대하여 각각의 성능을 분석하였으며, 시뮬레이션으로 그 결과를 검증하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 두 유형의 광 스위칭 노드 및 링 통신망의 구조와 동작에 대한 개요가 II장에 소개되었다. III장에서는 통신망의 성능을 분석하였으며, 이론적 성능분석 결과를 검증하기위한 시뮬레이션 연구를 수행하였다. 끝으로 IV장에서는 두 유형의 링 통신망들의 성능 분석 결과를 비교 평가하여 결론을 맺는다.

## II. LANs/MANs을 위한 광 패킷 교환 노드

### 2.1. Fortenberry의 광 패킷 교환 노드

Fortenberry등의 광 패킷 교환 노드는 그림 1과 같이 광 수신기(optical receiver), 광 송신기(optical transmitter), 광 증폭기 스위치(optical amplifier switch), 광섬유 지연 선로(optical fiber delay line) 및 ECL 제어 회로들로 구성된다. 광 패킷의 경로에는 광학적으로 투명한 소자들이 사용되었으며, 사용자와의 통신 및 제어를 수행하는 부분은 전기적인 ECL 소자들로 구성되었다. 통신망의 동작에 있어, 패킷 헤더는 155 Mbps(혹은 622 Mbps)에서 동작하며 페이로드는 통신망의 광 채널 전송 속도에 따라 변화한다.

노드의 동작을 살펴보면, 링으로부터 도착하는 광 패킷 신호의 전력 일부가 광섬유 결합기(fiber coupler) 1에서 분리되어 광 수신기로 보내진다. 반면, 광 지연 선로는 패킷의 헤더만큼의 길이를 가지고 ECL 노드 제어 회로에서 패킷의 주소가 수신되고 처리되는 동안 패

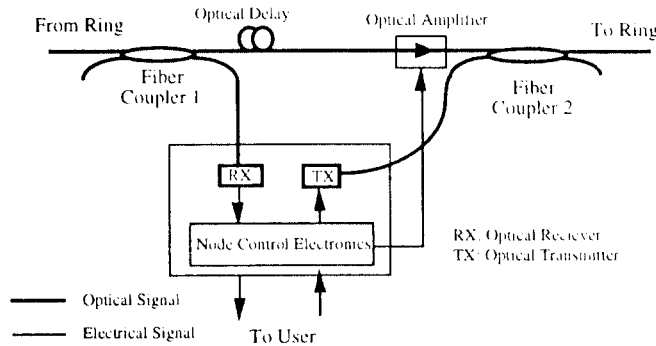


그림 1. Fortenberry의 광 스위칭 노드[6]

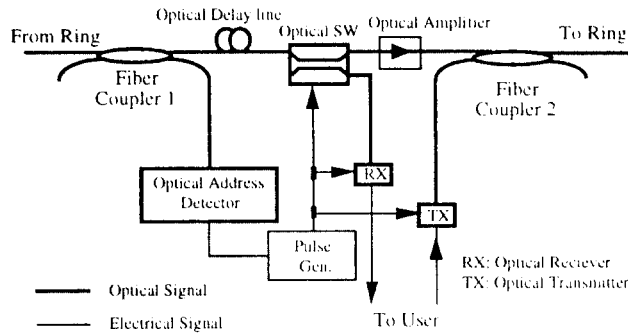


그림 2. 광 어드레스 처리를 하는 광 스위칭 노드.

킷을 지연시킨다. 만약 도착 패킷의 주소가 노드의 주소와 일치하면, 노드는 전체 패킷을 수신하여 사용자에게 보낸다. 이때 광 스위치는 잠금 상태로 되어 광 패킷은 차단되며, 광 송신기는 더미(dummy) 패킷을 생성하여 광섬유 결합기 2를 통하여 링으로 전송한다. 패킷을 수신한 노드에 의해 생성된 더미 패킷은 링이 사용자의 의해 사용가능한 상태일 뿐 아니라, 여타 노드에 의해서 새로운 데이터 패킷으로 채워질 수 있다. 따라서 사용자 데이터의 전송은 노드에 도착하는 더미 패킷을 차단하고 사용자의 데이터 패킷으로 대체함으로써 이루어진다<sup>10)</sup>.

2.2. 광 어드레스 처리를 갖는 광 교환 노드

최근, 다른 유형의 광 패킷 교환 소자가 제안되었다

<sup>11-12)</sup>. 이 광 패킷 교환 노드는 광 신호 처리 방법으로 주소 처리를 수행함으로써 Fortenberry의 광 교환 노드보다 빠른 속도의 헤더 전송을 허용한다. 이러한 유형의 광 교환 노드는 그림 2와 같이 광 송수신기, 광 스위치, 광섬유 지연 선로, 광 어드레스 감지기(optical address detector), 광 증폭기, 게이트 펄스 생성기(gate pulse generator) 및 2개의 광섬유 결합기로 구성된다<sup>11-12)</sup>.

이 광 교환 노드는 Fortenberry등의 노드와 유사하게 동작하는데, 동작 과정은 다음과 같다. 링을 통하여 들어오는 광 패킷의 신호 전력 일부가 광섬유 결합기 1에서 분리되어 광 어드레스 감지기로 보내진다. 광 어드레스 감지기는 자신의 노드 주소와 패킷의 주소를 광섬

유 시간 지연 정합 여파기(fiber optic delay line matched filter)를 이용하여 상관 관계(correlation)를 추출한다. 만일 도착하는 패킷의 주소가 노드의 주소와 일치하면, 어드레스 감지기는 신호의 주소 비트 패턴에 대하여 자기 상관 작용(auto-correlation)을 수행한다. 그러나 패킷과 노드의 주소가 일치하지 않는 경우, 어드레스 감지기는 교차 상관 작용(cross-correlation)을 수행한다. 자기 상관 작용에 의해 발생하는 펄스의 중심 첨두 값(peak value)은 항상 교차 상관 작용의 펄스 값보다 크기때문에, 도착하는 패킷의 주소와 노드 주소와의 일치 여부를 결정하는 것은 어드레스 처리기의 상관 작용에 의한 출력을 어드레스 처리기 내부에 설정된 임계치(threshold value)로 검사하므로써 용이하게 이루어진다. 광학적인 주소 처리의 자세한 동작과 실험 결과는 참고문헌<sup>(9,10)</sup>에 게재되어 있다. 광섬유 지연 선로는 광 스위치의 올바른 동작을 위하여 광 패킷의 어드레스 처리 기간동안 적당한 지연을 제공한다.

2x2 광 스위치는 도파로 방향성 결합기(waveguide directional coupler)로 이루어진다. 게이트 펄스 발생기의 출력이 '0' 이면, 즉, 패킷의 주소와 노드의 주소가 일치하지 않는 경우에는, 패킷이 광섬유 결합기 2를 통하여 링의 다음 하위 노드로 전송 된다. 반면에 펄스 발생기의 값이 '1' 인 경우, 패킷은 광 수신기로 보내어진다. 노드가 전송할 패킷을 가지고 있고 선로가 사

용증이 아닐때, 노드는 패킷을 전송할 수 있다. 광 신호의 상관 관계를 이용하는 주소 감지 방식을 위해서는 특별한 주소 코딩(address coding) 방법이 필요하며 광학적인 어드레스 처리를 위한 주소 코딩의 자세한 알고리즘(algorithm)은 참고문헌<sup>(11-12)</sup>에 발표되어 있다.

그림 3은 이 유형의 노드들을 사용하는 광 링 통신망에서의 광 패킷 비트 흐름을 보여주고 있다. 그림 3에서 광 주소 처리를 하는 링 구성의 경우, 헤더와 페이로드의 전송 속도가 동일하여 패킷 전송 시간중 헤더 전송비율이 작다. 반면에 Fortenberry의 링 구성에서는 헤더의 전송 속도가 전기적인 주소처리를 위하여 155 Mbps 혹은 622 Mbps로 전송되기 때문에 헤더의 비트 수가 페이로드의 비트 수에 비해 훨씬 적음에도 불구하고 헤더의 전송 시간이 페이로드의 전송 시간에 비하여 상대적으로 긴 것을 알 수 있다.

### Ⅲ. 광 링 통신망의 성능 비교

#### 3.1. 성능 분석 모델링

슬러티드 링의 수학적 성능 분석을 위하여 다음의 사항들을 가정한다.

- (1) 링 내에  $M$ 개의 노드들이 연결되어 있으며, 모든 노드에서의 평균 패킷 발생률(arrival rate)은 같고, 각 노드는 모든 목적지에 같은 비율로 패킷을 전송한다.

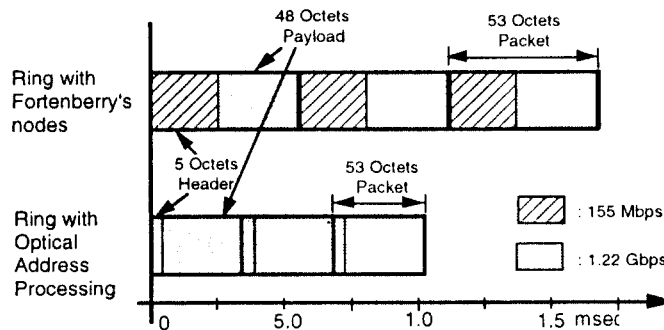


그림 3. 1.22 Gbps 채널 속도에서 광 링 통신망의 패킷들의 비트 스트림.  
(Ring with Fortenberry's Optical Nodes : Header 155 Mbps, Payload 1.22 Gbps;  
Ring with Optical Address Processing : Header and Payload 1.22 Gbps.)

- (2) 각 노드들에는 매초당  $\lambda$ 개의 패킷들이 지수분포(exponential distribution)로 도착한다.
- (3) 패킷이 송신 노드로부터 수신 노드까지 전파하는 평균 거리는 링 둘레의 반으로 가정한다.
- (4) 슬롯이 링을 일주하는데 소요되는 시간인 링 레이턴시(ring latency)는  $\tau$ 초[second]이다.
- (5) 패킷의 길이는 고정되며, 슬롯의 크기,  $X$  [bit]와 동일하게 설정된다.
- (6) 채널의 속도는  $R$  [bit/sec]이다.
- (7) 송신 노드에서 한 패킷을 전송하는데는  $P (= X/R)$  시간이 소요된다.
- (8) 링내의 슬롯 수는  $\tau/P$ 개이다.

슬러티드 링의 성능 분석의 주요 관심은 평균 전달 지연 시간(average transfer delay),  $T$ , 로써 패킷이 송신 노드의 버퍼에 저장된 때부터 수신 노드의 버퍼에 완전히 도달할 때까지의 시간으로 전송 호스트에서 전송 버퍼로, 수신 호스트에서 수신 버퍼로의 패킷 이동에 소요되는 시간은 평균 전달 지연 시간에 포함되지 않는다. 평균 전달 지연 시간,  $T$ , 는 다음과 같이 표기된다.

$$T = W + P + \tau' \tag{1}$$

여기서,  $W$ 는 패킷이 송신 버퍼에서 빈 슬롯을 기다리는 평균 큐잉 지연 시간(average queueing delay)을,  $P$ 는 링 채널에 한개의 패킷을 전송할 때 필요한 전송 시간(cell transmission time)을 각각 나타내며,  $\tau'$ 은 송신 노드에서 수신 노드까지의 전파 지연 시간(propagation delay)으로 단방향 링에서는  $\tau/2$  로, 양방향 링에서는  $\tau/4$  로 각각 나타내어진다.

큐잉 지연,  $W$ , 는 그림 4와 같이  $t_1$  과  $t_2$  2개의 요소로 이루어 진다:

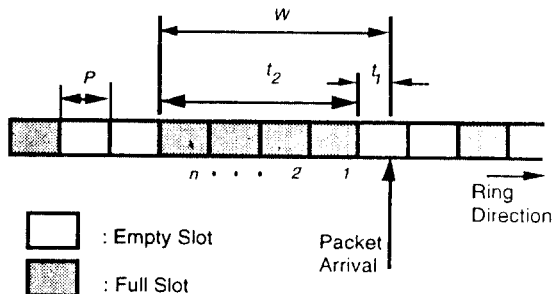


그림 4. 패킷이 빈 슬롯을 기다리는 지연 시간.

- (1)  $t_1$  - 패킷이 도착해서 다음 슬롯 시작까지의 슬롯 사이 조각 시간;
- (2)  $t_2$  - 첫 번째 빈 슬롯이 노드에 도착할 때까지의 시간.

이 두 지연 요소의 각 평균을 구하여 합하므로써,  $W$ 는 결정된다. 노드에서 패킷 발생은 포아송 프로세스(Poisson process)에 의하므로 한 슬롯 시간,  $P$ , 동안 패킷이 도착할 확률은 균일하며, 따라서 패킷 도착 후 다음 패킷 경계까지의 시간,  $t_1$ ,의 평균은  $P/2$ 이다. 첫 번째 빈 슬롯이 도착할 때까지 도착하는 찬 슬롯에 의해 야기되는 지연 시간,  $t_2$ ,의 평균은 전체 통신망의 트래픽 량,  $M \times \lambda$ 에 의존한다. 사용 가능한 빈 슬롯 이전에 도착하는 찬 슬롯들(full slots)의 평균 수를  $N(t)$ 라 정의하면,  $t_2$ 는  $N(t) \times P$ 로 표기된다. 따라서 두 지연 요소의 평균을 합하여 구해진 큐잉 지연,  $W$ 는 다음과 같다.

$$W = \frac{P}{2} + N(t)P \tag{2}$$

참고문헌 [12,13]에 의하여,  $N(t)$ 는  $M, \lambda, P$ 의 함수로 다음과 같이 정리된다.

$$N(t) = \frac{M\lambda P}{2 - M\lambda P} \tag{3}$$

식 (2)와 식 (3)으로부터 평균 큐잉 지연 시간은

$$W = \frac{P}{2} + \frac{M\lambda P^2}{1 - M\lambda P} \tag{4}$$

이며, 셀의 전체 전달 지연 시간은 식 (4)과 식 (1)로부터 다음과 같이 구해진다.

$$T = \frac{3}{2}P + \frac{M\lambda P^2}{2 - M\lambda P} + \frac{\tau}{2} \tag{5}$$

양방향 2채널 링의 평균 전달 지연 시간,  $T$ ,는 [14]에서 단일 채널과 유사한 방법으로 구해지며 식(6)과 같다.

$$T = \frac{3}{2}P + \frac{M\lambda P^2}{8 - M\lambda P} + \frac{\tau}{4} \tag{6}$$

상기에서 유도한 식 (5)와 식 (6)은 패킷 전송 시간,  $P$ ,를 조정함에 따라 광 어드레스 처리를 하는 광 링 통

신망 및 Fortenberry의 광 링 통신망 모두의 평균 전달 지연 시간 해석에 이용될 수 있다.

3.2. 정규화에 의한 두 링 통신망의 처리율 비교

앞절에서 유도한 수학적 해석 결과로부터 도출된 평균 전달 지연 시간을 패킷 전송 시간으로 정규화함으로써 링의 성능 특성을 쉽게 비교할 수 있다. 이를 위하여 다음의 기호들을 앞절에서 정의한 기호에 부가하여 정의한다.

- (1) 링 통신망의 처리율은  $S$ 이다.
- (2) 패킷(또는 셀)에서 헤더의 길이는  $X_H$ 이다.
- (3) Fortenberry의 링 통신망에서 헤더의 전송 속도는  $R_H$ . 페이로드의 전송 속도는  $R_P$ 이다. 광 어드레스 처리를 하는 링 통신망에서는  $R = R_H = R_P$ 로 헤더와 페이로드의 전송 속도가 동일하다.
- (4) Fortenberry의 링 통신망에서 셀 전송 시간은  $P_F$ 로, 광 어드레스 처리를 하는 링 통신망의 셀 전송 시간은  $P$ 로 각각 정의한다.
- (5) 정규화된 링 레이턴시는  $(\alpha = \tau/P)$ 이다.
- (6) 정규화된 패킷 전달 지연 시간은  $\hat{T}$ 이다.

Fortenberry의 링 통신망과 광 어드레스 처리를 하는 링 통신망간의 정규화된 성능 차이를 비교하기 위하여, 두 통신망들 간에 다음의 파라미터 비율들을 정의한다.

- (1)  $k$ , 패킷 전송 시간율(Packet Transmission Time Ratio)

$$k = \frac{P_F}{P} \geq 1 \tag{7}$$

- (2)  $\beta$ , 헤더와 페이로드간 전송 속도 차이의 비율 (Header/Payload Speed Ratio)

$$\beta = \frac{R_P}{R_H} \tag{8}$$

- (3)  $\gamma$ , 전체 셀의 길이 중 헤더가 차지하는 비율 (Packet Header Length Ratio)

$$\gamma = \frac{X_H}{X} \tag{9}$$

여기서,  $k$ 는  $\beta$ 와  $\gamma$ 의 함수로 나타내어질 수 있다.  $P_F$ 는 다음과 같이 계산되며

$$P_F = \frac{X_H}{R_H} + \left( \frac{X - X_H}{R} \right) = kP \tag{10}$$

식(10)에  $P = X/R$ 을 대입하고  $k$ 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$k = 1 + \gamma(\beta - 1) \tag{11}$$

여기서,  $\beta = 1$ 인 경우, 즉 헤더의 전송 속도와 페이로드의 전송 속도가 같을 때,  $k = 1$ 이 되어  $P_F$ 와  $P$ 는 서로 같다.

통신망의 처리율,  $S$ , 는 링 통신망 전체의 셀 발생율,  $M\lambda$ ,와 셀 전송 시간,  $P$ ,로 부터 다음과 같이 결정된다.

- 광 어드레스 처리를 하는 광 링 통신망 :  $S = M\lambda P$
  - Fortenberry의 광 링 통신망 :  $S_F = M\lambda P_F = kS$
- 상기의 새로이 정리된 기호들과 처리율을 이용하면 식 (5)와 식 (6)은 다음과 같이 표기될 수 있다.

광 어드레스 처리를 하는 광 링 통신망 :  
단일 채널 수신 노드 셀 제거 방식 :

$$T = \frac{3}{2}P + \frac{SP}{2-S} + \frac{\tau}{2} \tag{12}$$

양방향 2채널 링 :

$$T = \frac{3}{2}P + \frac{SP}{8-S} + \frac{\tau}{4} \tag{13}$$

● Fortenberry의 광 링 통신망 :  
단일 채널 수신 노드 셀 제거 방식 :

$$T_F = \frac{3}{2}P_F + \frac{S_F P_F}{2-S_F} + \frac{\tau}{2} \tag{14}$$

양방향 2채널 링 :

$$T_F = \frac{3}{2}P_F + \frac{S_F P_F}{8-S_F} + \frac{\tau}{4} \tag{15}$$

상기의 식 (12) 식 (15)를  $P$ 로 정규화시키고, 간략화하면 두 통신망의 각각의 식들이 다음과 같이 하나의 정규화된 식으로 각각 표현된다.

● 단일 채널 수신 노드 셀 제거 방식 :

$$\hat{T} = k \frac{3}{2} + \frac{Sk^2}{2-Sk} + \frac{\alpha}{2} \tag{16}$$

● 양방향 2채널 링 :

$$\hat{T} = k \frac{3}{2} + \frac{Sk^2}{8 - Sk} + \frac{\alpha}{4} \quad (17)$$

식 (16)과 식 (17)에서  $k=1$ 인 경우( $\beta=1$ 인 경우), 광 어드레스 처리를 하는 광 링 통신망의 성능 특성을 나타내게 된다.  $k>1$ 이면 ( $\beta>1$ 이면), 헤더와 페이로드의 전송 속도가 서로 다른 것을 의미하고, Fortenberry의 광 링 통신망에 대한 성능 특성을 나타낸다. 그림 5 및 그림 6은 패킷 크기가 ATM 셀( $X_H = 5, X = 53; \gamma = 0.09434$ )의 크기와 동일하고, 링 레이턴시가 없는 것으로 가정하였을때, 즉  $\tau = 0$ ( $\alpha = 0$ )일때  $\beta$ 에 따른 정규화된 평균 전송 지연 특성을 보여주고 있다.  $\beta$ , 즉 헤더의 속도와 페이로드의 전송 속도간에 차이가 클수록 Fortenberry의 광 링 통신망의 처리율은 광 어드레스 처리를 하는 링에 비하여 급격하게 저하되며, 헤더와 페이로드간의 전송 속도차가 20배( $\beta = 20$ )일때, 거의 1/4로 링의 처리율이 감소한다.

이러한  $\beta$ 값에 따른 Fortenberry의 광 링 통신망의 처리율 감소를 정량화하기 위한 조건식은 식(16)과 식(17)로부터 주어지며, 단일 채널 수신 노드 셀 제거 방식의 경우  $2 - Sk = 0$ , 양방향 2-채널 링의 경우  $8 - Sk = 0$ 으로 유도된다. 이 조건식에 식 (11)을 대입하

고, 정리하면

● 단일 채널 수신 노드 셀 제거 방식 :

$$S = \frac{2}{1 + \gamma(\beta - 1)} \quad (18)$$

● 양방향 2채널 링 :  $S = \frac{8}{1 + \gamma(\beta - 1)}$  (19)

으로 각각 표현된다. 대표적인 전송속도에 대한 광 어드레스 처리를 하는 링 통신망과 Fortenberry의 광 링 통신망간의 처리율의 비율을 식(18)과 식(19)로 부터 산출하여 표 1에 계산하였다. 산출된 값은 단일 채널 수신 노드 셀 제거 방식의 링과 양방향 2채널 링에 관계없이 전송 속도에 따라 동일하다. 그림 7은  $\beta$ 에 따른 처리율, S,의 값을 도시하였다. 그림 7에서  $\beta$ 의 값이 증가함에 따라, 즉 헤더의 전송 속도가 고정되고, 페이로드의 전송 속도가 증가함에 따라, Fortenberry의 광 링 통신망( $\beta>1$ 인 경우)의 처리율이 광 어드레스 처리를 하는 링 통신망( $\beta=1$ 인 경우)에 비교하여  $\beta$ 값에 역비례하여 상대적으로 감소하는 것을 알 수 있다.

3.3. 두 광 링 통신망의 성능 비교

본 절에서는 두 유형의 광 링 통신망의 성능 특성을 구체적으로 비교하기 위하여, 다음의 사항들을 가정하

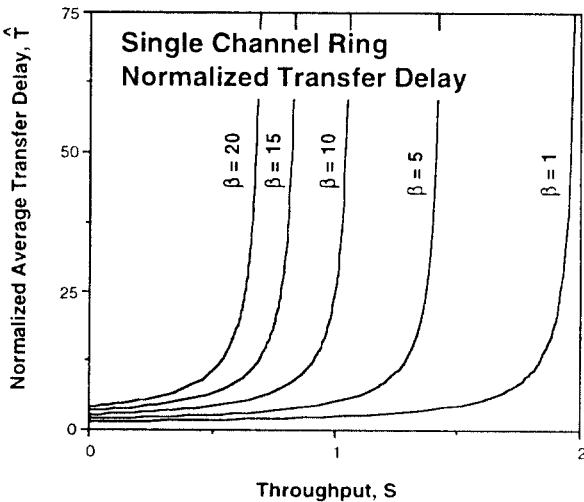


그림 5. 단일 채널 링의 정규화된 평균 전송 지연.

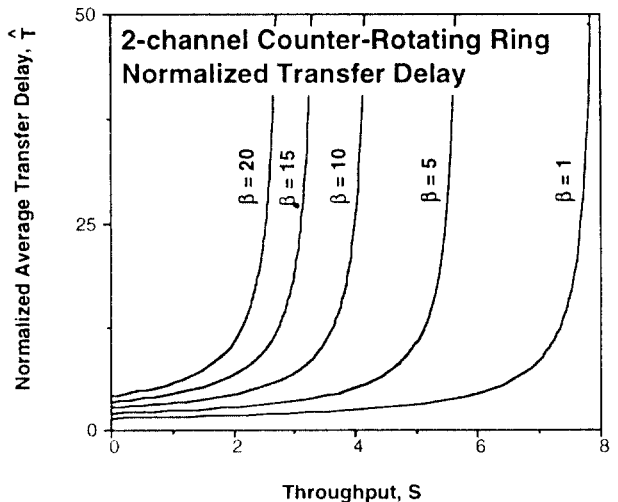


그림 6. 양방향 2-채널 링의 정규화된 평균 전송 지연.

표 1. 광 어드레스 처리를 하는 링 통신망과 Fortenberry 링 통신망에서의 처리율의 비율(Throughput Ratio)

Channel Speed Header Speed	Throughput Ratio	
	155Mbps	622Mbps
622 Mbps	1.28	1.00
1.22 Gbps	1.65	1.09
2.5 Gbps	2.43	1.28
10 Gbps	6.99	2.42
40 Gbps	25.25	6.97
100 Gbps	61.77	16.07

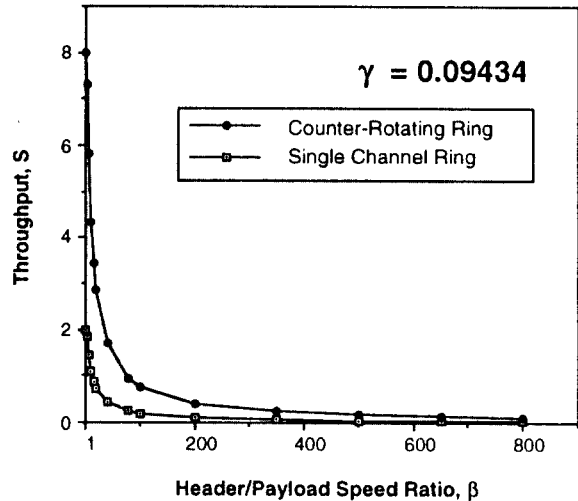


그림 7.  $\beta$ 에 따른 링 통신망의 처리율의 감쇄 특성

다.

- (1) 전파 지연 시간은  $5\mu\text{sec}/\text{km}$ 이다.
- (2) 패킷의 형식은 ATM의 패킷(53 octets)과 동일하다. 따라서 패킷의 헤더는 40 비트의 길이를 가지며, 페이로드의 길이는 384 비트이다.
- (3) Fortenberry의 링 통신망에서 패킷 헤더의 전송 속도는 155 Mbps 혹은 622 Mbps로 고정되고, 페이로드의 전송 속도는 622 Mbps, 1.22 Gbps, 2.5 Gbps, 10 Gbps, 40 Gbps, 100 Gbps이다.
- (4) 광 어드레스 처리를 하는 링 통신망에서는 헤더 부분과 페이로드 부분이 622 Mbps, 1.22 Gbps, 2.5 Gbps, 10 Gbps, 40 Gbps, 100 Gbps의 채널 속도로 전송된다.

구체적인 링의 성능 요소들로부터 두 링 통신망의 주요한 파라미터를 다음의 표 2 ~ 표 5에 비교하였다. 수신 노드 패킷 제거방식(destination packet stripping)으로 동작하는 링 통신망에서 한 노드에서의 지연 시간은 수신 노드의 주소 영역(address field)의 길이에 플래그 길이 2 비트를 더한 시간이다. 표 2에 흔히 사용될 수 있는 주소 영역 길이, 즉 8 bits, 16 bits, 32 bits에 대하여 여러가지 링 통신망에서의 노드 지연 시간을 계산하였다. 링 레이턴시(ring latency: 링 순

환 지연 시간)는 전파지연 시간과 전체 노드의 지연시간의 합으로 산출된다. 표 3은 100개의 노드를 가진 여러가지 링 통신망에서의 링 레이턴시를 계산한 값이다. 표 4는 여러가지 다양한 링 통신망에서의 패킷 전송 시간,  $P$ ,를 계산한 값들이다. Fortenberry의 링 통신망의 경우, 3.2절의 식(10)에 의하여 산출되었다. 링내의 슬롯의 갯수는 링의 거리와 패킷의 전송 시간에 밀접한 관련을 가지고 있다. 표 5는 다양한 링 통신망에서 링의 거리의 변화에 따라 산출된 슬롯의 수를 보여준다.

식 (5)와 식 (6) 및 표 2~표 5에 의한 값들로부터 구해진 통신망의 평균 전달 지연 시간을 그림 8~그림 10에 도시하였다. 도시된 평균 전달 지연 시간은 다음 절에서 시뮬레이션 결과와 함께 살펴 본다.

### 3.4. 시뮬레이션 및 결과 고찰

본 절에서는 유도된 수학적 성능 분석 결과를 비교, 검증하기 위하여 시뮬레이션 모듈을 C++ 언어를 사용하여 구현하고 그 결과를 고찰하였다. 시뮬레이터에서는 수학적 성능 분석을 위하여 사용되었던 가정들을 그대로 동일하게 사용하였다. 링 통신망의 성능에 영향을 주는 통신망 내 노드의 수,  $M$ ; 링의 물리적 거리,  $D(\text{km})$ ; 채널의 전송 속도,  $R[\text{bps}]$  등의 기본적인 파라미터들은 사용자에게 입력되도록 설계되었다.



표 2. 노드에서의 패킷 지연( $\mu$ sec).

Network	Header Speed Payload Speed	Address Field Length(bits)		
		8bits	16bits	32bits
Optical Ring with Fortenberry's Nodes	155 M / 622 M	0.0645	0.1161	0.2194
	155 M / 1.22 G	0.0645	0.1161	0.2194
	155 M / 2.5 G	0.0645	0.1161	0.2194
	155 M / 10 G	0.0645	0.1161	0.2194
	155 M / 40 G	0.0645	0.1161	0.2194
	155 M / 100 G	0.0645	0.1161	0.2194
	622 M / 1.22 G	0.0164	0.0289	0.0547
	622 M / 2.5 G	0.0164	0.0289	0.0547
	622 M / 10 G	0.0164	0.0289	0.0547
	622 M / 40 G	0.0164	0.0289	0.0547
	622 M / 100 G	0.0164	0.0289	0.0547
	Optical Ring with Optical Address Processing	622M	0.0164	0.0289
1.22 G		0.0082	0.0148	0.0279
2.5 G		0.0040	0.0072	0.0136
10 G		0.0010	0.0018	0.0034
40 G		0.0003	0.0005	0.0006
	100 G	0.0001	0.0002	0.0003

표 3. 링 순환 시간(ring latency),  $\tau$ (msec). (16 비트의 패킷 주소 영역의 경우)

Network	Header Speed Payload Speed	Ring Distance		
		30km	50km	100km
Optical Ring with Fortenberry's Nodes	155 M / 622 M	0.1603	0.2603	0.5103
	155 M / 1.22 G	0.1603	0.2603	0.5103
	155 M / 2.5 G	0.1603	0.2603	0.5103
	155 M / 10 G	0.1603	0.2603	0.5103
	155 M / 40 G	0.1603	0.2603	0.5103
	155 M / 100 G	0.1603	0.2603	0.5103
	622 M / 1.22 G	0.1526	0.2526	0.5026
	622 M / 2.5 G	0.1526	0.2526	0.5026
	622 M / 10 G	0.1526	0.2526	0.5026
	622 M / 40 G	0.1526	0.2526	0.5026
	622 M / 100 G	0.1526	0.2526	0.5026
	Optical Ring with Optical Address Processing	622 M	0.1526	0.2526
1.22 G		0.1513	0.2513	0.5013
2.5 G		0.1506	0.2506	0.5006
10 G		0.1502	0.2502	0.5002
40 G		0.1500	0.2500	0.5000
	100 G	0.1500	0.2500	0.5000

통신망 성능의 일차적인 관심사는 평균 전달 지연 시간으로 통신망의 처리율과 함께 통신망 설계시 타협점 (trade off)을 설정하는데 중요한 요소가 된다. 따라서 시뮬레이터에서는 링의 성능 특성을 살펴볼 수 있도록 다음과 같은 출력값들이 결과로서 제공된다:

- (1) 큐잉 지연시간(queueing delay), 즉 패킷이 송신 버퍼에서 빈 슬롯을 기다리는 시간,  $W$ ;
- (2) 송신 노드에서의 패킷의 전송시간(transmission time),  $P$ ,는 패킷의 크기(bit)를 채널 전송 속도로 나눈 것과 같다;
- (3) 송신 노드에서 수신 노드까지의 전파 지연 시간(propagation delay),  $\tau$ ;
- (4) (1), (2), (3)항의 합인 평균 전달 지연 시간(average transfer delay),  $T$ .

시뮬레이터는 우선 콘솔(console)로부터 입력된 변수

들을 근거로 시뮬레이션에서 사용될 패킷 전송 시간, 링 레이턴시, 슬롯의 수등의 기본적인 파라미터 값들을 계산한 뒤, 출력 장치의 초기화, 전역 변수의 초기화, 메모리 할당 등의 초기화 작업을 수행한 후에 시뮬레이션을 수행한다. 본 시뮬레이션 연구에서는 100개의 노드를 가지는 단일 채널 단방향 링과 2-채널 양방향 링 구성에 대하여 두가지 유형의 광 패킷 교환 노드들을 사용하는 링 통신망 각각에 대한 성능 평가를 622 Mbps, 1.2 Gbps 및 2.5 Gbps, 10 Gbps, 40 Gbps, 100 Gbps의 채널 속도에 대하여 수행하였으며, 아울러 링의 거리는 30km, 50km 및 100km로 변화시키며 시뮬레이션하였다. 성능분석의 몇몇 대표적인 결과가 수학적으로 산출된 결과들과 함께 그림 8~그림 10에 도시되어 있다. 각각의 그림에서 Fortenberry의 링 통신망과 광 어드레스 처리를 하는 링 통신망의 결과를 같이

표 4. 패킷 전송 시간, P, 의 비교(μsec).

Network	Header / Payload Speed		One Packet Transmission Time (μsec)	
	Header Speed	Payload Speed		
Optical Ring with Fortenberry's Nodes	155 M	622 M	0.8753	
	155 M	1.22 G	0.5728	
	155 M	2.5 G	0.4117	
	155 M	10 G	0.2965	
	155 M	40 G	0.2677	
	155 M	100 G	0.2619	
	622 M	1.22 G	0.3791	
	622 M	2.5 G	0.2179	
	622 M	10 G	0.1027	
	622 M	40 G	0.0739	
	622 M	100 G	0.0681	
	Optical Ring with Optical Address Processing	622 M		0.6816
		1.22 G		0.3475
2.5 G			0.1696	
10 G			0.0424	
40 G			0.0106	
	100 G		0.0042	

표 5. 링내 슬롯의 수 (100개 노드, 16 bit 어드레스 필드 길이)

Network	Header / Payload Speed		Ring Distance			
	Header Speed	Payload Speed	30km	50km	100km	
Optical Ring with Fortenberry's Nodes	155 M	622 M	183	297	583	
	155 M	1.22 G	279	454	890	
	155 M	2.5 G	389	632	1,239	
	155 M	10 G	545	882	1,725	
	155 M	40 G	603	977	1,911	
	155 M	100 G	617	998	1,953	
	622 M	1.22 G	402	666	1,325	
	622 M	2.5 G	700	1,159	2,306	
	622 M	10 G	1,485	2,459	4,893	
	622 M	40 G	2,068	3,421	6,804	
	622 M	100 G	2,243	3,710	7,379	
	Optical Ring with Optical Address Processing	622 M		223	370	737
		1.22 G		435	723	1,442
2.5 G			887	1,477	2,951	
10 G			3,542	5,900	11,797	
40 G			14,155	23,589	47,174	
	100 G	35,966	58,966	117,928		

삼입하여 두 유형의 성능차이를 쉽게 관찰할 수 있다. 그림 8~그림 9에서는 초당 생성되는 통신망내의 패킷 수로 정의된 부하에 대해 평균 전달 지연을 100km 거리, 100개 노드에 대하여 채널 속도를 622 Mbps, 1.2 Gbps, 2.5 Gbps로 변화시키며 단일 채널 단방향 링과 2채널 양방향 구성에 대하여 각각 도시하였다. 그림 10은 단일 채널 단방향 링에서 다양한 채널 속도를 갖는 링 통신망들(광 어드레스 처리를 하는 링 통신망 및 155 Mbps의 헤더 속도를 갖는 Fortenberry 링)의 성능 특성을 100 Gbps급 채널 속도까지 보여주고 있다. 수학적 성능 분석 및 상기의 시뮬레이션 결과로부터 다음의 사항들이 관찰되었다.

- (1) 시뮬레이션 결과와 해석된 결과가 매우 잘 일치함을 보여준다. (그림 8~그림 9 참조)
- (2) 정상 상태의 통신망에서, 광 어드레스 처리를 하는 링 통신망의 평균 전달 지연이 Fortenberry 링에

비하여 약간 작은 값을 갖는다. 일 예로 그림 8에서 1.22 Gbps 채널 속도에 대하여 광 어드레스 처리를 하는 광 링 통신망의 전달 지연은 약 251 μsec이나 Fortenberry 링은 256 μsec의 값을 갖는다. 이러한 미소한 지연 시간의 차이는 모든 링 통신망 구성에서 관찰할 수 있는데, 이것은 링 레이턴시 차이에 기인한다. 즉, Fortenberry 링에서의 노드 지연 시간이 광 어드레스 처리를 하는 링 통신망에서의 노드 지연 시간보다 길기 때문이다.

- (3) 링 통신망의 처리율은 두 유형 간에 상당한 차이가 있음을 볼 수 있다. 예로써 그림 8의 1.2 Gbps의 채널 속도를 갖는 경우, 광 어드레스 처리를 하는 링 통신망은 약 5,470,000 [packet/sec]의 처리율을 갖고, Fortenberry 링의 경우, 약 3,440,000 [packet/sec]으로 광 어드레스 처리

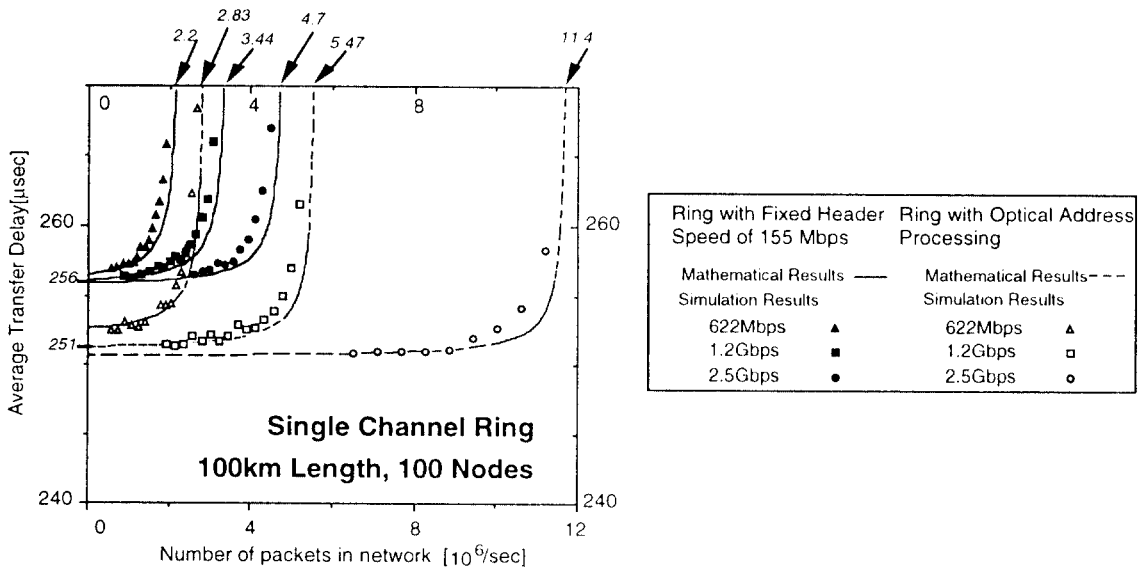


그림 8. 다양한 채널 전송 속도에 따른 단일 채널 광 링 통신망의 평균 전달 지연 특성

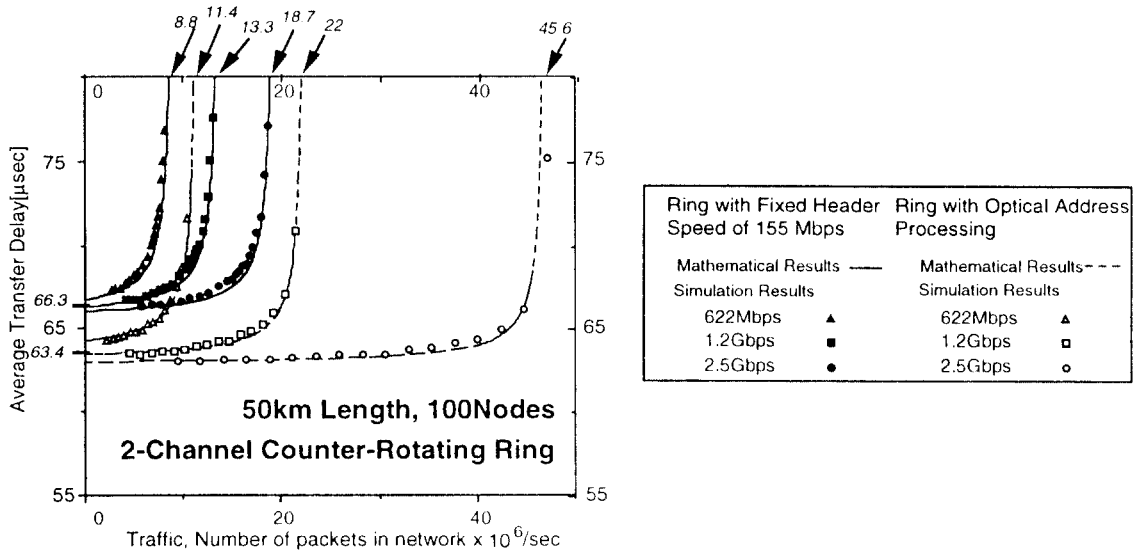


그림 9. 다양한 채널 전송 속도에 따른 2채널 양방향 광 링 통신망의 평균 전달 지연 특성

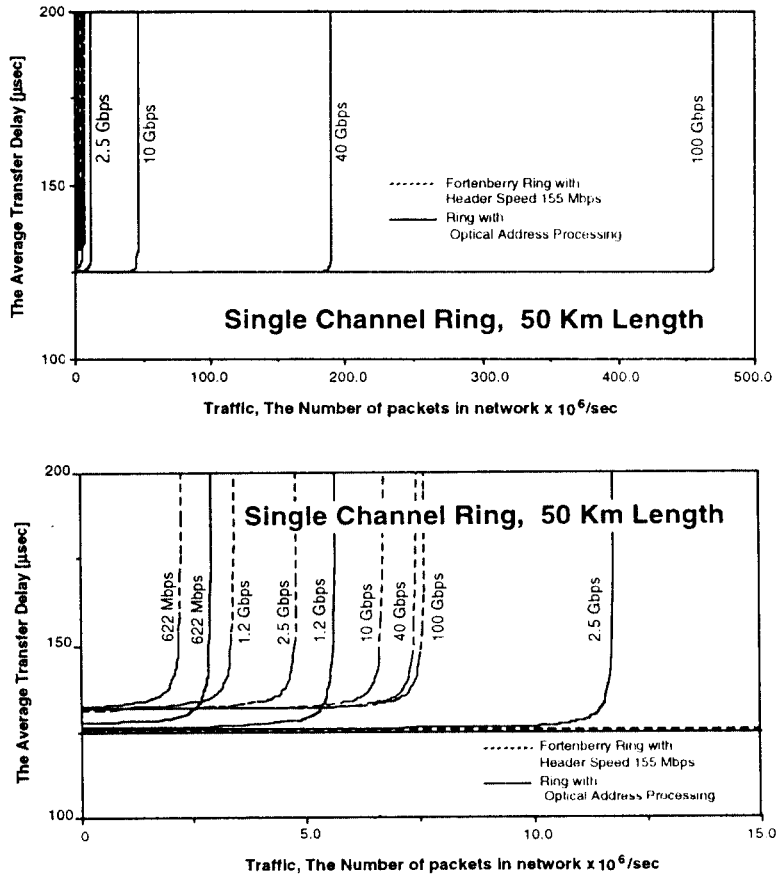


그림 10. 단일 채널 단방향 링에서 155Mbps의 헤더 전송 속도를 갖는 Fortenberry링과 광 어드레스 처리를 하는 링들의 총체적 성능 비교

를 하는 링 통신망의 처리율이 약 1.6배 정도 크다. 또한, 채널 속도가 더욱 증가한 2.5 Gbps의 경우에는, 광 어드레스 처리를 하는 링 통신망은 약 11,400,000(packet/sec)의 처리율을, Fortenberry 링은 약 4,750,000 (packet/sec)으로 광 어드레스 처리를 하는 링 통신망이 약 2.4배 정도로 더욱 증가한 처리율의 차이를 보인다. 이러한 두 유형의 링 통신망의 처리율간의 비율은 표 1에서 계산된 값들과 근사함을 알 수 있다. 결과적으로 두 유형의 링 통신망 간의 처리율의 차이는 채널 속도가 증가함에 따라 더욱 심화되

는데(그림 10 참조). 그 원인은 그림 3에서 보듯이 Fortenberry 링의 패킷 전송 시간이 훨씬 길어짐에 기인한다.

- (4) 그림 9에 보여지는 2-채널 양방향 링에서도 위의 특성 (2)와 (3)이 유사하게 나타난다.
- (5) 2-채널 양방향 링 통신망의 처리율이 단일 채널 방향 링의 약 4배 정도이다. 따라서 2-채널 양방향 링 통신망이 약 2배 정도의 하드웨어의 비용으로 약 4배의 성능 증가를 가지는 경제적인 구조임을 알 수 있다.

## IV. 결 론

## 참고문헌

본 논문에서는 광학적으로 투명한 특성을 갖는 광 패킷 교환 노드들을 이용하는 광 링 통신망들에서 헤더의 전송 속도와 페이로드의 전송 속도차가 통신망의 성능 특성에 미치는 영향을 연구하였다. 광 어드레스 처리를 하는 광 교환 노드로 구성된 광 링 통신망에서는 패킷의 헤더와 페이로드가 광학적으로 투명하여 동일한 속도로 전송될 수 있다. 그러나, Fortenberry 등에 의하여 제안된 광 교환 노드를 사용하는 링 통신망에서는 어드레스 감지를 전기적인 제어 회로로 처리하기 때문에, 페이로드는 광학적으로 투명하나 패킷의 헤더는 저속으로 전송되는 전기적인 병목점을 갖는 구조로 구현된다. 본 연구에서는, 상기의 광 교환 노드들로 구성되는 광 링 통신망들의 성능 특성을 수학적으로 유도하여 비교하였으며, 아울러 유도된 결과를 검증하기 위하여 시뮬레이션 연구를 수행하였다.

패킷 헤더의 전송 속도가 통신망 성능에 미치는 영향을 관찰하기 위하여, 단방향 단일 채널 광 링 통신망(unidirectional single channel ring) 및 양방향 WDM 2-채널 광 링 통신망(bidirectional counter-rotating 2-channel ring)의 2가지 통신망 구성 방식에 대하여 성능 특성의 비교 연구를 수행하였다. 연구 결과로부터 광 어드레스 처리를 하는 광 링 통신망의 평균 전달 지연 시간이 Fortenberry 등이 제안한 광 교환 노드들로 구성된 통신망의 평균 전달 지연 시간보다 약간 우수한 것으로 측정되었는데, 이것은 Fortenberry 링의 링 레이턴시가 약간 더 크기 때문이다. 반면에, 두 링 통신망간의 처리율은 현저한 차이를 보인다. 광 어드레스 처리를 하는 링 통신망의 처리율에 비하여 Fortenberry 링의 처리율은 현저하게 떨어진다. 이는 Fortenberry 링에서의 패킷(혹은 셀) 전송 시간이 광 주소 처리에 의하여 광 채널 속도와 동일한 헤더 전송 속도를 갖는 링 통신망의 패킷 전송 시간에 비하여 훨씬 길어짐에 따라 링내의 슬롯 수에 있어서 큰 차이를 갖기 때문이다. 이러한 두 유형간의 처리율의 차이는 채널 전송 속도가 증가함에 따라 더욱 심화된다. 상기의 연구 결과들로부터 고속의 전송 속도를 지원하는 광 링 통신망의 높은 이용율을 위해서는 고속의 헤더 처리가 매우 중요함을 알 수 있다.

1. Paul E. Green, "The Future of Fiber-Optic Computer Networks," *IEEE Computer Magazine*, vol. 18, No. 9, Sep. 1991, pp.78-87.
2. Paul E. Green, "An All-Optical Computer Networks: Lessons Learned," *IEEE Network Magazine*, vol. 6, No. 2, March 1992, pp.56-60.
3. R. M. Fortenberry, W. L. Ha, and R. S. Tucker, "Photonic Fast Packet Switch with Gain," *Photonic Switch Topical Meeting*, March. 1991, pp.128-131.
4. R. M. Fortenberry, A. J. Lowery, W. L. Ha, and R. S. Tucker, "Optical Packet Switching Using Semiconductor Optical Amplifier Gates," *ECOC '91*, 1991, pp.93-96.
5. W. L. Ha, R. M. Fortenberry, and R. S. Tucker, "Demonstration of Photonic Fast Packet Switching at 700 Mbps Data Rate," *Electronics Letters*, May. 9, 1991, pp.789-790.
6. R. M. Fortenberry, Ying Cai, and Rodney S. Tucker, "Optically transparent node for a multiple-bit rate photonic packet switched local area network," *OFC/IOOC '93 Technical Digest*, Feb. 1993, pp.21-22.
7. Je-Myung Jeong, Jong-Dug Shin, and Cheoul-Shin Kang, "An All-Optically Controlled Photonic Packet Switching Devices for Optical Slotted Ring Network", Proc. Joint Technical Conference on Circuit/Systems and Communications, *Proc. JTC-CSCC '93*, Tokyo, Japan, pp.752-756, July. 1993.
8. Jong-Dug Shin, Je-Myung Jeong, and Cheoul-Shin Kang, "Photonic Packet Switching Device for WDM Based Optical Ring Networks," *Proc. SPIE*, Vol. 1974, Berlin, Germany, pp.221-229, April. 1993.
9. Jong-Dug Shin, Chang-Soo Park, El-Hang Lee, and Cheoul-Shin Kang, "Photonic packet address detectors for optical networks," *Proc.*

- SPIE*, Vol. 2321, Beijing, China, pp.81-84, August, 1994.
10. Min-Yong Jeon, Jong-Dug Shin, and El-Hang Lee, "Novel Fiber-Optic Delay Line Matched Filters using Metal Film Reflectors", *Proc. IEEE LEOS '94, 7th Annual Meeting*, Vol. 2, Boston, Massachusetts, pp.251-252, Oct. 1994.
  11. Cheoul-Shin Kang, Jong-Dug Shin, and Je-Myung Jeong, "A Multichannel Broadband Ring Network Using Photonic Packet Switching Devices," *Journal of KITE, Electronics Engineering*, Vol. 4, No. 1A, pp.22-29, July, 1993.
  12. Cheoul-Shin Kang, Byung-Seok Park, Jong-Dug Shin, and Je-Myung Jeong, "A Broadband Ring Network: Multichannel Optical Slotted Ring," *Computer Networks and ISDN Systems, (will appear)*.
  13. 박 병석, 강 철신, 신 종덕, 정 제명, "과장 분할 다중화에 의한 다 채널 광 링 통신망의 성능 분석," 한국통신학회 논문지, 제19권 제1호, pp.159-169, 1994년, 1월.
  14. Byung-Seok Park, Cheoul-Shin Kang, Jong-Dug Shin, and El-Hang Lee, "Performance Study of an Optical Counter-Rotating Slotted Ring Network Based on WDM Techinques," *Proc. Joint Technical Conference on Circuit/Systems and Communications, JTC-CSCC '94*, Kongju, Korea, pp.476-781, July, 1994.



朴 炳 蓄(Byung-Seok Park)정회원

1989년~1993년 : 한남대학교 전자공학과(학사)  
 1993년~1995년 : 한남대학원 전자공학과(석사)  
 1995년 2월~현재 : 전력연구원(KEPRI) 일반연구원

※주관심 분야 : B-ISDN 액세스 망, 광 통신망, 프로토콜 설계 및 성능 분석



姜 哲 儻(Cheoul-Shin Kang)정회원

1972년~1979년 : 한양대학교 전자공학과(학사)  
 1884년 : Oregon State University, 전기 및 컴퓨터공학과(석사)  
 1887년 : Oregon State University 전기 및 컴퓨터공학과(박사)

1978년~1982년 : 금성사 중앙연구소 연구원  
 1990년~1991년 : 미국 연방 국방정보부(DIA) 컴퓨터통신 분야 초청 교수  
 1991년~1992년 : 한국전자통신연구소 선임연구원  
 1992년 4월 : IEEE Annual International Phoenix Conference on Computers and Communications, Tutorial 초청강사  
 1992년~현재 : 한남대학교 전자공학과 부교수  
 1990년~현재 : 국제학술대회, International Journal of Computer Application in Design, Analysis, and Simulation 상임위원  
 1991년~현재 : 국제학술대회, International Journal of Computer Communications and Networks(IC<sup>3</sup>N) 상임위원

1982년~현재 : IEEE, ACM 정회원  
 1984년~현재 : Phi Kappa Phi(ΦκΦ) 정회원  
 1988년~현재 : Sigma Zi(ΣΖ) 정회원

※주관심 분야 : ATM LAN/MAN, 무선LANs, 광 통신망, 통신망에서의 정보 보호



辛宗德(Jong-Dug Shin) 정회원

1976년~1981년 : 연세대학교 전자공학과(학사)

1984년~1987년 : University of Texas at Austin. 전기 및 컴퓨터공학과(석사)

1988년~1991년 : Texas A & M University 전기공학과(박사)

1980년~1983년 : 대영전자공업(주) 근무

1991년~1995년 : 한국전자통신연구소 선임연구원

1995년~현재 : 송실대학교 정보통신공학과 조교수

\*주관심 분야 : 광통신시스템 Photonic 스위칭, 광 통신망, 광 신호처리



全敏鎔(Min-Yong Jeon) 정회원

1984년~1988년 : 한양대학교 자연과학대학 물리학과

1988년~1990년 : 한국과학기술원 물리학과 석사

1990년~1994년 : 한국과학기술원 물리학과 박사

1980년~1993년 : 한국전자통신연구소 선임연구원

\*주관심 분야 : 광통신, 광섬유 레이저, 광 센서