

파장 분할 다중화에 의한 다 채널 광 링 통신망의 성능 분석

正會員 朴 炳 哲* 正會員 姜 哲 信* 正會員 辛 宗 德** 正會員 鄭 濟 明***

A Performance Analysis of A WDM Based Multichannel All-Optical Ring Network

Byung-Seok Park*, Cheoul-Shin Kang*, Jong-Dug Shin**,

Je-Myung Jeong*** *Regular Members*

要 約

다채널 광 슬롯리드 링 통신망은 파장 분할 다중화 방식(wavelength division multiplexing : WDM)이 채택된 다 채널 구조로서 전광(全光) 패킷 교환 장치를 액세스 메카니즘으로 이용하기 때문에, 전기적 속도 제한 요소를 망의 바깥으로 옮겨서 결국 고속 광통신 매체의 모든 전송 용량을 이용할 수 있다. 링 채널은 B-ISDN 액세스 망(Access Network)으로 이용하기 위하여 ATM 셀과 같은 크기의 슬롯들로 나뉘어져서 수신 노드에서 셀 데이터를 링으로부터 제거하는 슬롯리드 링의 개념으로 설계된다. 본 논문에서는 이 통신망의 성능 측정을 위해서 수학적 모델링에 의한 새로운 해석 방법을 제안하였으며, 시뮬레이션으로 그 결과를 검증하였다. 수학적 해석법과 시뮬레이션의 결과를 이용하여 여러가지 망 매개 변수(network parameters)의 변화에 따른 다채널 광 슬롯리드 링 통신망의 성능을 고찰하였다.

ABSTRACT

A multichannel optical slotted ring network is designed using a wavelength division multiplexing(WDM) technique and photonic packet switching devices. The electronic speed bottleneck is removed out of the ring, which allows utilization of the full bandwidth for the optical fiber transmission medium. The ring channel adopts a slotted ring concept with a destination cell remove strategy for the ring access mechanism. The slot size in the ring is selected as the same as that of ATM based cell in order to be used as B-ISDN Access Networks. In this paper, we devised a mathematical method to measure the average transfer delay characteristic of the network. The analytical method turned out to yield accurate results over a broad range of parameters in comparison to simulation results. From the study, we observed the average transfer delay of the network as the network parameters vary.

본 연구는 한국 과학 재단의 93 핵심 전문 연구비 지원(931-0900-051-2)으로 이루어졌음.

*한남대학교 전자공학과

**한국전자통신연구소

***공업진흥청, 국립공업기술원

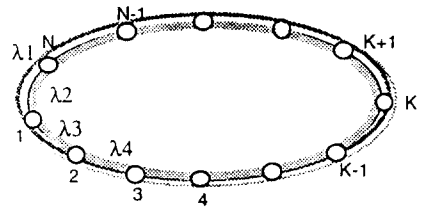
1. 서론

단일 모드 광섬유의 막대한 전송 대역폭을 이용하는 광전송 기술과 광 소자들이 통신망에 도입된 이래, 많은 통신 시스템 전문가들이 전광 통신망(all-optical networks)의 구조와 프로토콜에 관한 연구를 해왔다 [1-3]. 그 중에서도 광 링 통신망에 많은 관심이 집중되어 왔는데 [4-11], Tsong-Ho Wu 등이 각국 광 통신망의 복구를 위한 자기 복구 링(Self-Healing Ring: SHR) SONET을 연구하였고 [4,6], Irshid 등이 WDM 망을 위한 광 링 통신망 구조를 제안하였다 [7]. W. I. Way 등은 광 전력 제한 증폭기(optical power limiting amplifier)를 이용하여 동적 제어 메커니즘을 갖는 자기 루팅(self-routing) WDM SONET 링 통신망을 제안하였다 [8,9]. 또한, 정광 패킷 교환 장치를 이용한 새로운 다 채널(multichannel) 광 슬러티드 링(slotted ring) 통신망이 제안되었는데 [10,11], 이 광 링 통신망은 수신노드에서 신호를 제거하는 수신노드 셀 제거 방식(Destination-Cell-Remove strategy)으로 운영되어, 기존의 송신 노드 셀 제거 방식(Source-Cell-Remove strategy)의 방법보다 망의 전송 특성이 약 2배 가량 향상되어, 고속 멀티 미디어 LAN/MAN 혹은 B-ISDN 액세스 망과 같은 광대역 통신에의 응용에 적합하다. 본 논문에서는, 수신노드에서 데이터를 제거하는 수신노드 셀 제거 방식의 다 채널 광 슬러티드 링 통신망의 성능 측정을 위하여 수학적 모델링에 의한 새로운 해석 방법을 제안하였으며, 시뮬레이션을 통하여 제안된 수학적 해석 방법의 결과를 검증하였다. 수학적 모델링과 시뮬레이션의 결과로부터, 셀의 평균 전달 지연 시간의 요인은 송신 노드로부터 수신 노드까지의 전파 지연 시간이며 통신망의 평균 전달 지연 특성은 통신망의 총 전송 용량에 좌우되는 것이 관찰되었다.

II. 광 슬러티드 링 통신망

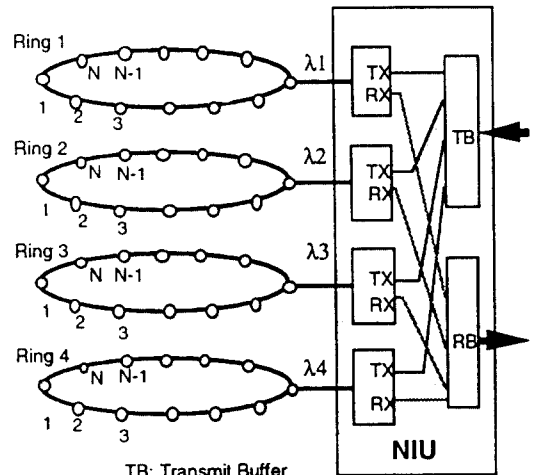
광 링 통신망은 광 교환 노드들과 이 노드들을 서로 연결하는 광섬유 케이블로 구성 되는 폐쇄 전송로(closed loop)이다. 광 교환 노드들은 PBX, LAN, 컴퓨터, 음성, 영상 또는 이들의 조합인 국부 중앙 단국과 같은 동기 또는 비동기 데이터 발생원들을 접속시키며 WDM 다채널 구조를 갖는 링 토폴로지에 분산 광 교환을 가능케 한다. 이 통신망은 ATM 셀과 같은 셀 구조를 갖고 있어서 B-ISDN에 이용될 수 있다.

통신망은 가격, 유연성, 신뢰도등과 같은 통신망의 환경과 지연 시간이나 시간 제한(time constraint) 등과 같은 동작 환경의 요구조건에 따라 공유 광섬유 구성(Shared Fiber Configuration), 전용 광섬유 구성(Dedicated Fiber Configuration), 또는 하이브리드 광섬유 구성(Hybrid Fiber Configuration) 등으로 분류된다 [10,11]. 광섬유가 링의 모든 노드들에 의해 공유되는 광섬유 구성은 CATV 분배 시스템과 같은 방송 서비스에 적합하며 그 구성은 그림 1과 같다.



(a) 4개의 WDM 채널을 갖는 공유 광섬유 구성의 형상도

(a) A Topological View of a Shared Configuration of a 4 WDM Channel Ring.

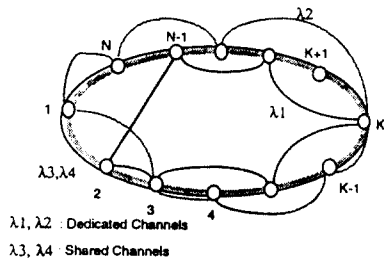


TB: Transmit Buffer
RB: Receive Buffer
TX: Transmitter
RX: Receiver

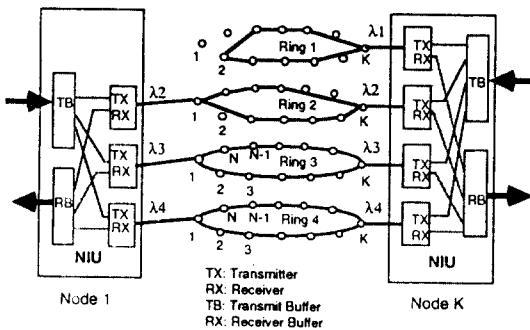
(b) 4개의 WDM 채널을 갖는 공유 광섬유 구성의 예
(b) An Example of a Shared Configuration with 4 WDM Channels.

그림 1. 광 링 통신망의 공유 광섬유 구성.
Fig. 1. A Shared Fiber Configuration of Optical Ring Networks.

전용 광섬유 구성의 경우에는 하나의 광섬유 채널이 한쌍의 특정 노드나 몇몇 노드들에만 전용이 되어 영상 전화와 같은 점대점(point-to-point) 상호(interactive) 서비스에 적합하다. 또한 그림 2와 같이 전용 광섬유 구성과 공유 광섬유 구성을 복합시켜, 통신망의 운용 요구 조건에 따라서 하이브리드 링(Hybrid Ring)[11]과 유사한 형태의 하이브리드 광 채널 구성도 가능하다.



(a) 하이브리드 채널 구성의 형상도
(a) A Topological View of a Hybrid Channel Configuration.



(b) 하이브리드 광섬유 구성의 예
(b) An Example of a Hybrid Channel Configuration.

그림 2. 광 링 통신망의 하이브리드 채널 구성.
Fig. 2. A Hybrid Channel Configuration of Optical Ring Networks.

링의 각 채널은 동기화되어 계속 링을 순환하는 정해진 길이의 슬롯(slot)으로 균을 이루는 일정한 수의 비트들을 가지고 있다. 각 슬롯에는 슬롯이 사용 중인지 또는 비었는지를 나타내는 하나의 비트(또는 몇개의 비트)를 헤더(header) 내에 포함하고 있으며 이를 제외한 나머지 슬롯의 크기는 국부 노드들로부터

터 송신되는 셀의 크기와 같다. 슬롯이 비어 있는 경우에는 데이터를 전송하려고 하는 노드에 의하여 사용이 가능하다. 데이터를 전송할 노드가 빈 슬롯을 수신했을 때는 송신 버퍼 내의 셀을 이 슬롯에 실어 송신한다. 데이터를 전송할 노드가 빈 슬롯을 즉시 발견하지 못할 수도 있는데 이 경우에는 빈 슬롯이 나타날 때까지 기다려야 한다. 수신 노드는 수신된 셀의 어드레스 필드를 점검하여 데이터의 목적지가 자국일 경우에는 셀에서 데이터를 추출하여 수신함과 동시에 슬롯을 비운다. 수신 노드에서 비워진 슬롯은 다시 그 다음 노드들에서 사용이 가능하게 되므로 전체 통신망의 용량이 늘어난다. 만약 링 통신망의 노드간의 거리가 같고 셀들의 수신 노드들이 임의로 분산되어 있다고 가정하면 한 셀의 평균 주행은 0.5 회전이다[13]. 그러므로 링 내에 노드가 많이 있다면, 한개 채널의 최대 용량은 데이터 전송 속도의 2배가 된다.

통신망 접속기(Network Interface Unit : NIU)는 모듈별로 구성되어 있으며 그림 3과 같이 광 패킷 교환 장치, 수신 버퍼(receive buffer), 송신 버퍼(transmit buffer), WDM 다중화기/역다중화기(MUX/DEMUX)와 제어기(controller)들로 이루어 진다. 광 신호 데이터는 DEMUX에서 과장 분할되어 광 교환 장치 내의 광 어드레스처리기(address processor)에 입력된다[11,14-17]. 어드레스 처리기는 광 신호 데이터의 어드레스 부분을 점검, 확인한 후 데이터를 수신할 것인가 아닌가를 결정한다. 만약 어드레스가 일치하면 슬롯의 광 신호 데이터를 수신 버퍼에 복제함과 동시에 슬롯을 비워서 다른 노드들에 의해서 재사용되도록 한다. 이때 이 노드의 송신 버퍼에 송신할 데이터가 있으면 이 슬롯에 데이터를 실어 전송할 수 있다. 한 노드가 2개 이상의 채널(δ 개의 채널)에 연결되어 있을 때, 효율적으로 동시 전송을 하기 위해서는 노드가 δ 개의 서로 독립된 송신 버퍼들을 가질 수 있는데 이 경우 송신 버퍼들은 TeraNet[18]과 같이 NIU내의 송신기들에 각각 연결된다.

망 제어기는 노드의 동작을 제어하며 노드 내의 예외적인 경우를 추적 감시한다. NIU내의 모든 송신기가 하나의 송신버퍼를, 그리고 모든 수신기가 하나의 수신 버퍼를 공유할 수도 있으며 이 경우, 버퍼와 수신 버퍼를 효율적으로 공유하도록 하는 것이 NIU내의 망 제어기의 주요 기능 중의 하나이다.

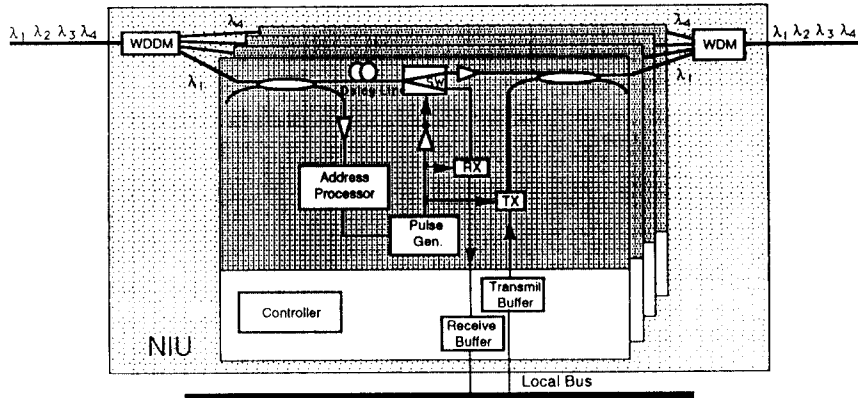


그림 3. 광 패킷 교환기
Fig 3. Photonic Packet Switching Device

III. 성능 분석

다 채널 광 슬러티드 링 통신망은 단일 채널의 경우에는 한개의 슬러티드 링으로, δ 채널의 경우에는 δ 개의 슬러티드 링으로 해석할 수 있다. 슬러티드 링의 개념은 Farber 링[19], Pierce 링[20], Cambridge 링[21]등의 형태로 제한되어 왔다. 또한, 슬러티드 링의 성능 분석은 여러 문헌에서 손쉽게 찾아 볼 수 있으나, 이제까지의 모든 연구들은 송신 노드 셀 제거 방식에 근거를 두고 있어서 슬롯이 송신 셀에 의해서 점유된 후 링을 완전히 한바퀴 순환한 후에 재사용이 가능한 링에 관한 것들이다[22,23]. 그러나 본 문헌에서의 전광 링 통신 망의 링 제어 메커니즘은 이전의 것들과는 달리 슬롯이 수신 노드에서 방출되어 빈 슬롯이 즉시 재사용되게 하는 수신노드 셀 제거 방식을 택함으로써 전체 통신망의 용량을 늘리며 평균 셀 전달 지연 시간을 감소시키도록 설계되고, 또한 다 채널로 확장할 수 있도록 되어 있기 때문에 종전의 성능 분석 결과들과는 판이하게 다르게 된다.

통신망의 성능은 채널 연결 형태에 좌우되기 때문에 전용 또는 하이브리드 구성 통신망(그림 2 참조)의 성능을 측정하는 것은 상당히 어려운 문제이다. 따라서 본 절에서는 공유 광섬유 구성 링 통신망(그림 1)에서의 평균 전달 지연시간(average transfer delay)과 평균 큐잉 지연 시간(average queuing delay)을 이제까지의 연구 방향과는 다른 새로운 방법인 확률적 해석으로 고찰한다.

3.1 모델링 및 가정들(Assumptions)

수신 노드에서 셀을 제거하는 슬러티드 링의 성능 모델링을 위하여 다음의 사항들을 가정한다.

- (1) 링 내에는 M 개의 노드들이 연결되어 있으며, 모든 노드에서의 평균 메시지 발생률은 같고, 각 노드는 모든 목적지에 같은 비율로 셀을 전송한다.
- (2) 각 노드들에는 매초당 λ 개의 셀들이 지수분포(Exponential distribution)로 도착한다.
- (3) 송신 노드들과 수신 노드들 사이의 평균 거리는 링 둘레의 반으로 가정한다. 따라서, 한 슬롯이 링을 회전하면서 평균 2개의 셀을 송수신한다.
- (4) 링 둘레의 링 레이턴시(latency)는 τ 초(second)이다.
- (5) 슬롯의 크기(비트수)는 한개의 셀을 수용하기 위하여 셀 데이터의 길이, X , 와 같다.
- (6) 채널의 속도는 R bit/sec이다.
- (7) 송신 노드에서 한 셀을 전송하는데는 $T(=X/R)$ 시간이 소요된다.
- (8) 망(network)의 WDM 채널 수는 δ 개이다.

3.2 전달 지연 시간 측정을 위한 성능 모델링

슬러티드 링의 성능 분석의 주요 관심은 평균 전달 지연 시간(average transfer delay), $E(D)$,로서 셀이 송신노드의 버퍼에 저장된 때부터 수신노드의 버퍼에 완전히 도달할때 까지의 시간으로 다음과 같은 세가지 요소로 구성된다.

$$E(D) = E(W) + T + \tau' \quad (1)$$

$E(W)$ 는 셀이 송신 버퍼에서 빈 슬롯을 기다리는 평균 큐잉 지연 시간(average queuing delay)을 나타내며, T 는 링 채널에 한개의 셀을 전송할 때 필요한 실 전송 시간(transmission time), τ' 는 송신 노드에서 수신 노드까지의 전파 지연 시간(propagation delay)을 각각 의미하는데, τ' 는 $\tau/2$ 로 표시된다. 따라서 T 와 τ' 는 기존의 망 파라메타(network parameter)로부터 간단히 구할 수 있다. 평균 큐잉지연 시간, $E(W)$ 는 그림 4에서 보듯이 다음의 두가지 지연 시간 요소로 이루어진다:

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

t_2 는 망의 셀 도착률이 포아송 프로세스(Poisson process)이므로 전 슬롯 시간 영역에 걸쳐 발생 확률이 균일 하기때문에, t_1 의 평균값은 $T/2$ 이다. t_2 는 첫 번째 빈(empty)슬롯이 오기전에 도착하는 사용중(full) 슬롯의 수에 의해 결정되며 전체 망 트래픽(traffic)량, $M \times \lambda$ 에 따라 변화된다.

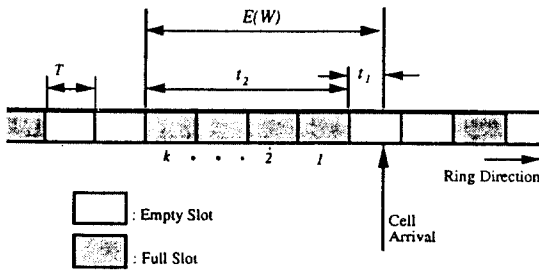


그림 4. 셀이 빈 슬롯을 기다리는 큐잉 지연 시간.
Fig 4. Queuing(Waiting) Delay Suffered by Cells.

$N(t)$ 를 첫번째 빈 슬롯이 오기전에 지나가는 사용중 슬롯의 평균 갯수라고 정의하면, t_2 는 $N(t) \times T$ 로 계산되며

$$E(W) = \frac{T}{2} + N(t)T \quad (2)$$

이다.

$N(t)$ 는 도착하는 슬롯이 사용 중일 확률, $p(f)$ 와

비어 있을 확률, $p(e)$ 에 의해서 구해지며, $p(f)$ 와 $p(e)$ 는 상호 배타적(mutually exclusive)이므로 $p(f) = 1 - p(e)$ 의 관계를 갖는다. 확률 p_k 는 빈 슬롯이 도착하기전에 정확히 k 개의 사용중 슬롯을 기다릴 확률로서 식 (3)으로 구해진다.

$$p_k = p(f)^k p(e) \quad (3)$$

이때 $N(t)$ 는 k 의 평균으로

$$N(t) = \sum_{k=0}^{\infty} k p_k \quad (4)$$

이며, 식 (3)을 식 (4)에 대입하면,

$$N(t) = \sum_{k=0}^{\infty} k p(f)^k p(e) \quad (5)$$

이것을 단순화 시키면

$$N(t) = \frac{p(f)}{p(e)} \quad (6)$$

이다. 최종적인 $E(W)$ 를 구하기 위해서는 $p(f)$ 와 $p(e)$ 가 M, λ, T 등의 망 변수들(network parameters)로 기술되어야 한다. 이를 위해 링의 특성을 살펴 보면, 한 채널의 링에는 N 개의 슬롯이 있고 각 슬롯은 매 일주마다 평균 2개의 셀을 전송한다. 그리고, 슬롯들이 링을 일주하기 위해서는 τ 의 시간이 필요하다. 따라서 τ 시간동안에 N 개의 슬롯들에 의해서 평균 $2N$ 개의 셀을 전송한다. 결국 링은 한 셀당 $\tau/2N$ 시간 동안 작업한다. 따라서, 링에 δ 개의 채널이 있는 경우에는, 한개의 셀을 위하여 링은 $\tau/2\delta N$ 초동안 사용된다. 이 시간을 링의 busy기간, T_b 로 나타내면

$$T_b = \frac{\tau}{2\delta N} = \frac{NT}{2\delta N} = \frac{T}{2\delta} \quad (7)$$

이다. busy 기간, T_b 이후 다음 셀의 도착시까지 링은 휴지(idle)상태에 있게 된다(그림 5 참조).

셀 도착 시간 간격(inter-arrival time)을 t_i 로 정의하며, t_i 의 평균을 평균주기, T_i 로 정의하자. 그림 5에서 볼 수 있듯이 평균 주기, T_i 는 망 전체의 평균 셀 도착률(inter-arrival rate)의 역수인 $1/M\lambda$ 이다. 링의 슬롯이 사용중인 확률, $p(f)$ 는 링이 busy인 확

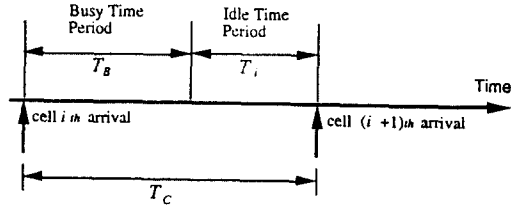


그림 5. 슬롯의 한 주기 시간에서의 busy 시간과 idle 시간.
Fig 5. Busy and Idle time duration of a Slot During Average Cycle Time.

를, 즉 T_B/T_I 와 같다. 따라서

$$p(f) = \frac{T_B}{T_I} = \frac{\frac{T}{2\delta}}{\frac{1}{M\lambda}} = \frac{M\lambda T}{2\delta} \quad (8)$$

로 구해지며, 아울러

$$p(e) = 1 - p(f) = 1 - \frac{M\lambda T}{2\delta} = \frac{2\delta - M\lambda T}{2\delta} \quad (9)$$

위 두식을 식(7)에 대입하면,

$$N(t) = \frac{p(f)}{p(e)} = \frac{M\lambda T}{2\delta - M\lambda T} \quad (10)$$

(2)와 식(10)으로부터 큐잉 지연(queueing delay), $E(W)$ 는

$$E(W) = \frac{T}{2} + \frac{M\lambda T^2}{2\delta - M\lambda T} \quad (11)$$

총 전달 지연 시간은

$$\begin{aligned} E(D) &= E(W) + \frac{\tau}{2} + T \\ &= \frac{3T}{2} + \frac{\tau}{2} + \frac{M\lambda T^2}{2\delta - M\lambda T} \end{aligned} \quad (12)$$

이며, 이를 다시 정리하면 식 (13)과 같다.

$$E(D) = \frac{3X}{2R} + \frac{\tau}{2} + \frac{M\lambda(X/R)^2}{2\delta - M\lambda(X/R)} \quad (13)$$

상기의 슬러티드 링 통신망의 새로운 해석 방법이나 채널의 해석이 가능한 뿐 아니라 T_B 의 설정 방법에 따라 수신 노드 셀 제거 방식과 송신 노드 셀 제거 방식을 모두 해석할 수 있기 때문에 다른 통신망들의 성능 추정에도 응용될 수 있다.

IV. 시뮬레이션(Simulation)

4.1 시뮬레이션 모델

수학적 모델링의 결과를 검증하기 위하여 C++ 언어의 객체 지향 프로그래밍 특성을 이용하여 슬러티드 링 시뮬레이터를 개발하였다. 시뮬레이터에서는 다음과 같은 입력 변수들이 망의 성능에 영향을 주기 때문에 시뮬레이터의 사용자에게 의해서 입력되어도 복 설계되었다.

- (1) 링 통신망의 노드수, M ;
- (2) 링 통신망의 지리적인 거리(Distance), D [km];
- (3) WDM 채널의 수, δ ;
- (4) 채널 전송 속도, R [Mbps].

시뮬레이터 내에는 셀 생성(cell generation)을 위하여 다음 두가지의 임의 변수(random variable)가 사용된다.

- (1) 셀의송, 수신 노드 어드레스의 생성을 위한 [1, M] 사이의 균일 분포(uniform distribution), (여기서 ' M '은 통신망 내의 노드의 수);
- (2) 각 노드에서 셀 도착률(inter-arrival rate) 설정을 위한 지수 분포(exponential distribution).

통신망 성능의 일차적인 관심사는 망 처리율과 함께 망 설계시 타협점(trade off)을 설정하는데 중요한 요소인 평균 전달 지연 시간(average transfer delay)이다. 시뮬레이터에서는 다음과 같은 출력값들이 결과로서 제공된다:

- (1) 큐잉 지연 시간(queueing delay), 즉 셀이 송신 버퍼에서 빈 슬롯을 기다리는 시간;
- (2) 송신 노드에서의 셀의 실 전송시간(transmission time), T 는 셀의 크기(비트)를 채널 전송 속도로 나눈 것과 같다;
- (3) 송신 노드에서 수신까지의 전파 지연시간(Propagation Delay);
- (4) 1), 2), 3)항의 합인 평균 전달 지연 시간(Average Transfer Delay).

링의 전송매체는 고정된 작은 수의 비트(bit)들의 집합인 슬롯들로 분할되며, 채널 속도가 증가할수록 많은 수의 슬롯이 링내에 존재한다. 아울러, 이 슬롯들은 동시에 셀들을 전달하는 병렬 서버들(concurrent servers)로서 작동하기 때문에 시뮬레이터 프로그램의 실행시 필요로하는 컴퓨터의 기억 용량은 매우 방대하다. 개발된 시뮬레이터는 수신노드 셀 제거방식은 물론 송신노드 셀 제거 방식까지 시뮬레이션 가능하며, 선택 사양(option)의 변경에 따라 시뮬레이션

횡수, 셀 발생률의 변화등을 조정할 수 있어서 다양하고 포괄적인 시뮬레이션이 가능하다. 실제 통신망의 셀 평균 지연 시간과 근사한 결과치를 얻기 위하여 500,000개 이상의 셀이 송수신된 후의 누적된 값을 평균하여 결과치를 산출하도록 되어있다. 따라서 대용량 고속의 컴퓨터 기종에서 장시간 시뮬레이션 된다.

4.2 시뮬레이션 결과 및 고찰

제한된 링 통신망의 성능을 분석하기 위하여 다음과 같은 규격들이 시뮬레이터에서 가정되었다:

- (1) 모든 노드간의 거리는 같다;
- (2) 모든 노드의 평균 메시지 발생율은 같고, 각 노드는 다른 노드들에 대해 동일 비율로 셀을 전송한다;
- (3) 셀의 크기는 ATM 셀의 크기(53 bytes)와 같다;
- (4) 노드에서의 지연 시간(node latency)은 어드레스 처리를 위하여(2비트+16비트)에 해당하는 시간으로 가정한다.
- (5) 광 섬유의 전파 지연 시간은 5μsec/km이다.

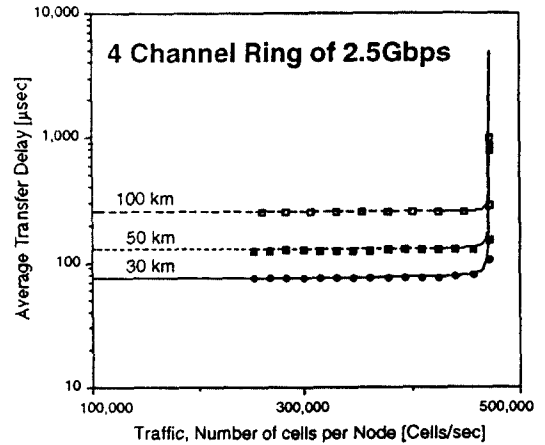
시뮬레이터는 초기화(Initialization) 서브 루틴에서 입력된 정보 즉, 링의 거리, 채널 속도등에 따라서 주어진 링 통신망 내의 슬롯의 수를 계산한 후 시뮬레이션을 수행하기 시작한다. 이때 슬롯의 수, N은 링의 거리에 따른 전파 지연 시간(propagation time around the ring)과 각 노드에서의 지연 시간의 합인 링 레이턴시(latency)와 셀 실 전송 시간($T=N/R$)의 비에 따라 변화하는 슬롯의 갯수가 아래의 식,

$$N = \frac{\text{링 레이턴시(latency)}}{\text{셀의 실 전송시간(Cell Transmission Time)}}$$

$$= \frac{D[\text{km}] \times 5[\mu\text{sec}/\text{km}] + \text{노드의 갯수}(M) \times \text{Node latency}}{T}$$

로 계산된다.

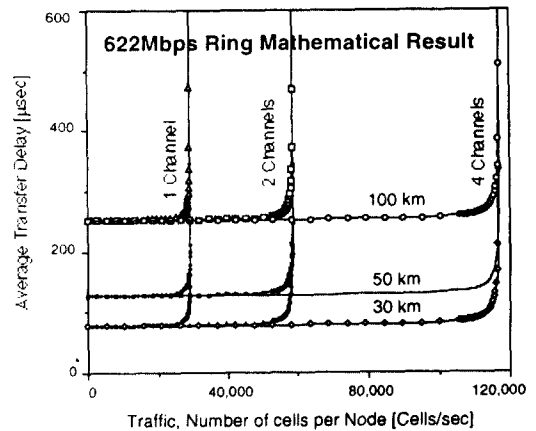
성능 분석의 예로서, 본 연구에서는 100개 노드를 갖는 각각의 단일 채널, 2 채널, 그리고 4 채널로 구성된 광 링 통신망 모델에서 622Mbps, 2.5Gbps, 10Gbps의 채널 속도에 대해 각각 수학적 해석과 시뮬레이션을 행하였다. 링의 거리는 30km, 50km, 그리고 100km의 경우에 대해서 각각 측정, 분석하였다. 몇몇 대표적인 결과가 그림6~9에 있는데, 그림 6은 4채널 2.5Gbps의 채널 속도를 갖는 링 통신망에 있어서 링의 거리의 변화에 따른 평균 전달 지연 시간 대 망 트래



Mathematical Results	Simulation Results
— 30 km Ring	• 30 km Ring
- - - 50 km Ring	■ 50 km Ring
- - - 100 km Ring	□ 100 km Ring

그림 6. 4채널 2.5Gbps 링에서 다양한 거리에 따른 평균 전달 지연 특성.

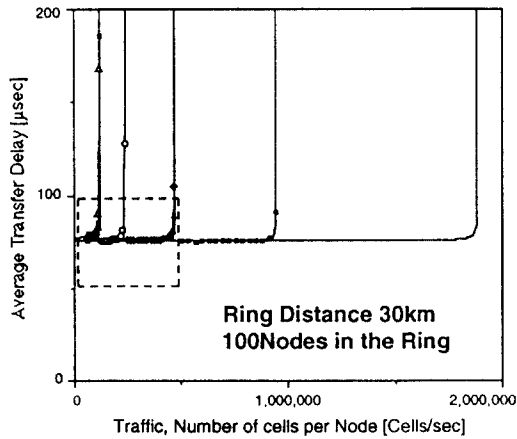
Fig 6. Average Transfer Delay for Various Ring Distance in a 4-channel 2.5 Gbps Ring.



— 1Ch 30 km	○ 2Ch 100 km
— 1Ch 50 km	○ 4Ch 30 km
— 1Ch 100 km	○ 4Ch 50 km
— 2Ch 30 km	○ 4Ch 100 km
— 2Ch 50 km	

그림 7. 622 Mbps 링에서 다양한 거리와 채널 수에 따른 평균 전달 지연 특성.

Fig 7. Average Transfer Delay for Various Ring Distance and Number of Channels in a 622 Mbps Ring.



Mathematical Results	Simulation Results
— 622 Mbps 4Ch	▲ 622 Mbps 4Ch
— 2.5 Gbps 1Ch	■ 2.5 Gbps 1Ch
— 2.5 Gbps 2Ch	○ 2.5 Gbps 2Ch
— 2.5 Gbps 4Ch	● 2.5 Gbps 4Ch
— 10 Gbps 1Ch	△ 10 Gbps 1Ch
— 10 Gbps 2Ch	▽ 10 Gbps 2Ch
— 10 Gbps 4Ch	□ 10 Gbps 4Ch

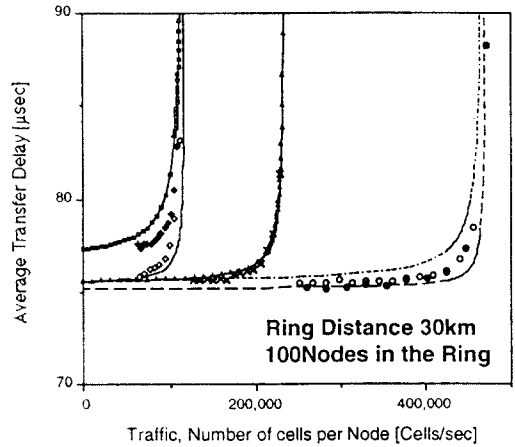
그림 8. 30 km의 링에서 다양한 채널 속도와 수에 따른 평균 전달 지연 특성(1).

Fig. 8. Average Transfer Delay for Various Channel Speed and the Number of Channels in a 30 km Ring(1).

회량(각 노드에서 1초당 전송되는 셀의 수)을 보여준다. 그림 7은 채널 속도 622Mbps의 조건에서 다양한 채널 수 및 거리에 대하여 평균 전달 지연 시간 대 트래픽량을 나타내고 있다. 그림 8은 여러가지의 채널 속도에 대하여 평균 전달 지연 시간 특성을 설명하고 있다. 그림 9는 그림 8의 집진영역을 확대한 것으로서, 겹치는 부분의 미세한 차이를 관찰할 수 있다.

위의 그림들로부터 다음과 같은 결론들이 관찰되었다.

- (1) 수학적 모델의 결과와 시뮬레이션의 결과가 잘 일치하고 있다(그림 6, 8, 9 참조).
- (2) 낮은 트래픽 조건하에서, 주 정상 상태의 통신망 조건하에서는 단거리의 링 통신망의 평균 전달 지연시간이 장거리 링 통신망에서의 평균 전달 지연 시간보다 작다(그림 6참조).
- (3) 낮은 트래픽 조건하에서는 망의 채널 속도, 채널 수등에 관계없이 거리가 같은 통신망의 평균 전



Mathematical Results	Simulation Results
— 622 Mbps 4Ch	◆ 622 Mbps 4Ch
— 2.5 Gbps 1Ch	● 2.5 Gbps 1Ch
— 2.5 Gbps 2Ch	× 2.5 Gbps 2Ch
— 2.5 Gbps 4Ch	○ 2.5 Gbps 4Ch
— 10 Gbps 4Ch	● 10 Gbps 1Ch

그림 9. 30 km의 링에서 다양한 채널 속도와 채널 수에 따른 평균 전달 지연 특성(2).

Fig. 9. Average Transfer Delay for Various Channel Speed and the Number of Channels in a 30 km Ring(2).

달 지연 시간을 모든 경우에 거의 같다(그림 7, 8 참조). 따라서, (2)와 (3)으로부터 전달 지연 시간의 수렴원은 전송시간이 큐잉 지연시간이 아니라 송신 노드에서 수신 노드까지의 전파지연 시간임을 알 수 있다.

- (4) 망의 처리량(throughput)은 채널 수의 증가에 따라 거의 비례적으로 증가한다(그림 7, 8 참조).
- (5) 과밀한 트래픽(heavy traffic) 조건하에서는 통신망의 평균 전달 지연 특성은 통신망의 총 전송 용량에 좌우된다. 즉, 4채널 622Mbps의 통신망이 단일 채널 2.5Gbps의 통신망과 그 성능 특성이 비슷하다(그림 8, 9 참조).
- (6) 그림 8의 집진 부분을 확대한 그림 9에서, 동일거리의 링 구성임에도 불구하고, 채널속도에 따라 약 0.1~1 μsec 정도의 전달 지연 시간 차이를 보이는 것은 채널 속도가 높아짐에 따라 각 노드에서의 노드 지연 시간(node latency)이 작아지기 때문이다. 즉, 4채널 622 Mbps 속도의 통신망

과 단일 채널 2.5 Gbps의 통신망의 전달 지연 시간 특성을 비교할 때, 2.5 Gbps의 통신망에서의 노드 지연 시간이 622 Mbps 통신망의 노드 지연 시간보다 짧기때문에, 단일 채널 2.5 Mbps의 통신망의 전달 지연 시간 특성이 4 채널 622 Mbps 통신망의 전달 지연 시간 특성 보다 약간 우수하다.

V. 결론 및 장래의 연구

다채널 광 슬러티드 링 통신망은 과장 분할 다중화 방식(WDM)이 채택된 다 채널 구조로서 전광(全光) 패킷 교환 장치를 액세스 메카니즘으로 이용한다. 이러한 구조는 전기적 속도 제한 요소를 망의 바깥으로 옮겨서 결국 고속 광통신 매체의 모든 전송 용량을 이용할 수 있다. 링 채널은 B-ISDN Access Network로 이용하기 위하여 ATM 셀과 같은 크기의 슬롯들로 나뉘어져서 수신 노드 셀 제거 방식의 슬러티드 링의 개념으로 동작된다.

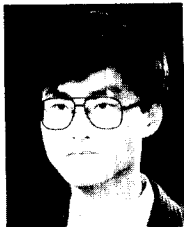
본 논문에서는 이 통신망의 성능 측정을 위해서 수학적 모델링에 의한 새로운 해석 방법이 제안되었으며, 시뮬레이션으로 그 결과를 검증하였다. 수학적 해석법과 시뮬레이션 결과를 이용하여 다채널 광 슬러티드 링 통신망의 성능을 고찰한 결과, 셀의 평균 전달 지연 시간의 주된 요인은 송신 노드로부터 수신 노드까지의 전파 지연 시간이며 통신망의 평균 전달 지연 특성은 통신망의 총 전송 용량에 좌우되는 것이 관찰되었다.

본 논문에서 고안한 슬러티드 링 통신망의 새로운 해석 방법은 다 채널의 해석이 가능할 뿐 아니라 수신 노드 셀 제거 방식 및 송신 노드 셀 제거 방식 모두에 적용할 수 있기 때문에 다른 통신망들의 성능 측정에도 융통성있게 사용될 수 있다. 수신 노드 셀 제거 방식의 슬러티드 링 프로토콜의 설계 및 하이브리드 광 채널 구성 방법에 관한 연구는 현재 진행중이다.

참 고 문 헌

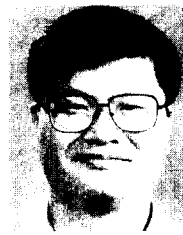
1. Paul E. Green, "The Future of Fiber-Optic Computer Networks," *IEEE Computer Magazine*, vol. 18, pp. 78-87, 1991.
2. Paul. E. Green, "An All-Optical Computer Network : Lessons Learned," *IEEE Network Magazine*, vol. 6, pp. 56-60, 1992.
3. 강철신, 신종덕, "光通信網의 發展과 展望" 週刊變術 動向, 한국 전자 통신 연구소, vol. TIS-92-17, No. 545, pp. 16-34, 1992.
4. Tsong-Ho Wu, David J. Kolar and Richard H. Cardwell, "High Speed Self-Healing Ring Architecture for Future Interoffice Networks," *Proc. IEEE GLOBECOM '89*, pp. 0801-0807, 1989.
5. Tsong-Ho Wu and Richard C. Lau, "A Class of Self-Healing Ring Architectures for SONET Network Applications," *Proc. IEEE GLOBECOM '90*, pp. 0444-0451, 1990.
6. Joseph Sosnosky and Tsong-Ho Wu, "SONET Ring Applications for Survivable Fiber Loop Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 29, No. 6, pp. 51-58, June 1991.
7. M. I. Irshid and M. Kavehrad, "A Fully Transparent Fiber-Optic Ring Architecture for WDM Networks," *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 10, pp. 101-108, 1992.
8. W. I. Way, D. A. Smith, J. J. Johnson, and H. Izadpanah, "A Self-Routing WDM High-Capacity SONET Ring Network," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 4, pp. 402-405, 1992.
9. W. I. Way, Tsong-Ho Wu, A. Yi-Yan, M. Andrejco, and Chinlon Lin, "Optical Power Limiting Amplifier and Applications in An SONET Self-Healing Ring Network," *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 10, pp. 206-214, 1992.
10. Cheoul-Shin Kang and Jong-Dug Shin, "A Broadband-Ring Network Using Photonic Packet Switching Devices," *Proc. JTC '92*, pp. 576-579, KyungJu, Korea, July 1992.
11. Cheoul-Shin Kang, Jong-Dug Shin, and Je-Myung Jeong, "A Multichannel Broadband Ring Network using Photonic Packet Switching Devices," *Journal of KTFE, Electronics Engineering*, Vol. 4, No. 1, pp. 22-29, July 1993.
12. Cheoul-Shin Kang, E. K. Park, and James H. Herzog, "Hybrid-Token Ring : A Load Sharing Local Area Network," *Computer Communications*, vol. 14, pp. 525-533, 1991.
13. H. Ohnishi, N. Morita, and S. Suzuki, "ATM Ring Protocol and Performance," *Proc. IEEE ICC '89*, pp. 0394-0398, 1989.

14. W. L. Ha, R. M. Fortenberry, G. M. Wluka, and R. S. Tucker, "Photonic Fast Packet Switch at 700 Mbps," *Proc. of Conf. Optical Fiber Comm*, San Diego, California, paper WD3, pp 18-22, Feb. 1991.
15. R. F. Fortenberry, A. J. Lowery, W. L. Ha and Rodney S. Tucker, "Optical Packet Switching Using Semi-conductor Optical Amplifier Gates," *Proc. of ECOC '91*, pp 93-96, 1991.
16. Jong-Dug Shin, Je-Myung Jeong, and Cheoul Shin Kang, "A Photonic Packet Switching Device for WDM Based Optical Ring Networks," *Proc. SPIE International Conference on Fiber Optic Networks*, Berlin, German, pp.221-229 April 1993.
17. Je Myung Jeong, Jong Dug Shin, and Cheoul Shin Kang, "An All-Optically Controlled Photonic Packet Switching Devices for Optical Slotted Ring Network," *Proc. JTC '93*, Tokyo, Japan, pp.752-756 July 1993.
18. Rafael Gidron, "TeraNet: A Multi Gigabits per Second ATM Network," *Computer Communications*, vol. 15, pp. 143-152, 1992.
19. D. J. Farber, and K. C. Larson, "The System Architecture of the Distributed Computer System The Communication System," *Proc. Symp. Computer-Communications and Teletraffic*, Polytechnic Institute of Brooklyn, pp. 21-27, April 1972.
20. J. R. Pierce, "How Far Can Data Loops Go?," *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-20, pp. 527-530, 1972.
21. R. M. Needham and A. J. Herbert, *The Cambridge Distributed Computing System*, London : Addison Wesley, 1982.
22. Werner Bux, "Local-Area Subnetworks : A Performance Comparison," *IEEE Trans. Comm.*, Vol COM 29, pp. 1465-1473, Oct. 1981.
23. Joseph L/Hammond and Peter J. P. O'Reilly *Performance Analysis of Local Area Networks*, Addison Wesley Publishing Co., 1986, pp. 244-255.



朴 炳 哲(Byung Seok Park) 正會員
 1989년 ~ 1993년 : 한남대학교 전자공학과(학사)
 1993년 ~ 현재 : 한남대학교 전자공학과 석사과정
 1993년 12월 ~ 현재 : 한국전자통신연구소, 임용연구원

※주관심분야: B-ISDN 액세스 망, 광 통신망, 프로토콜 설계 및 성능분석



辛 宗 德(Jong-Dug Shin) 正會員
 1981년 2월 : 연세대학교, 전자공학과(학사)
 1987년 12월 : University of Texas at Austin, 전기 및 컴퓨터 공학과(석사)
 1991년 5월 : Texas A&M University, 전기공학과(박사)

1980년 ~ 1983년 : 대영전자공업(주) 근무
 1991년 ~ 현재 : 한국전자통신연구소, 선임연구원
 ※주관심분야: Photonic 스위칭, 광 통신망, 광 신호처리



鄭 濟 明(Je-Myung Jeong) 正會員
 1978년 : 서울대학교, 전자공학과(학사)
 1980년 : 한국과학기술원(KAIST), 전기 및 컴퓨터 공학과(석사)
 1992년 : Northwestern University, 전기공학과(박사)
 1980년 ~ 1993년 : 한국전자통신연구소, 선임연구원

1993년 ~ 현재 : 공업진흥청, 국립 공업 기술원
 ※주관심분야: Photonic 스위칭, 광 통신망, 광 신호처리



姜 哲 信(Cheoul-Shin Kang) 正會員

1953年 1月 17日生

1972년~1979년 : 한양대학교, 전자
공학과(학사)

1984년 : Oregon State University,
전기 및 컴퓨터 공학과(석
사)

1987년 : Oregon State University,
전기 및 컴퓨터 공학과(박
사)

1978년~1982년 : 금성사 중앙 연구소, 연구원

1987년~1992년 : 미국 American University, 전산정보학
과 조교수

1990년~1991년 : 미국 연방 국방정보부(DIA), 컴퓨터 통
신 분야 초청 교수

1991년~1992년 : 한국전자통신연구소, 선임연구원

1992년 4월 : IEEE Annual International Phoenix Con-
ference on Computers and Communicat-
ions, Tutorial 초청 강사

1992년~현재 : 한남대학교, 전자공학과 부교수

1990년~현재 : 국제 학술지, International Journal of
Computer and Software Engineering 편
집위원

1990년~현재 : 국제 학술대회, ISCA International Con-
ference on Computer Applications in De-
sign, Analysis, and Simulation 常任위원

1991년~현재 : 국제 학술대회, International Conference
on Computer Communications and Net-
works(IC³N) 常任위원

1982년~현재 : IEEE, ACM 정회원

1984년~현재 : Phi Kappa Phi(ΦKΦ) 정회원

1988년~현재 : Sigma Xi(ΣZ) 정회원

※주관심분야 : B-ISDN 액세스 망, 광 통신망, 프로토콜
설계 및 성능 분석, CAN/MAN.