

메트로망에서의 IP 데이터 트래픽 전송 기술에 관한 고찰

Technologies for Transportation of IP Data Traffic Across a Metro Optical Network

성정식(J.S. Sung)
허재두(J.D. Huh)
이형호(H.H. Lee)

네트워킹기술팀 선임연구원
네트워킹기술팀 책임연구원, 팀장
액세스기술연구부 책임연구원, 부장

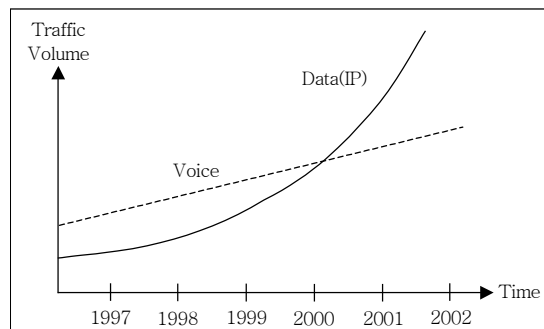
현재의 네트워크는 패킷 기반 기술의 LAN에서 MAN으로의 이동이 중요한 기술 동향 중의 하나로 자리 매김하고 있고, 인터넷 트래픽의 급격한 증가는 메트로망에서의 패킷 기반 전송 기술에 대한 필요성을 가져왔다. 본 고에서는 메트로 망에서 IP 트래픽을 전송하기 위한 데이터 전송 기술에 관하여 살펴보고, 각 데이터 전송 기술에 대한 장단점 및 특성 비교, 경제성 및 성능 분석에 대해 논의한다.

I. 서론

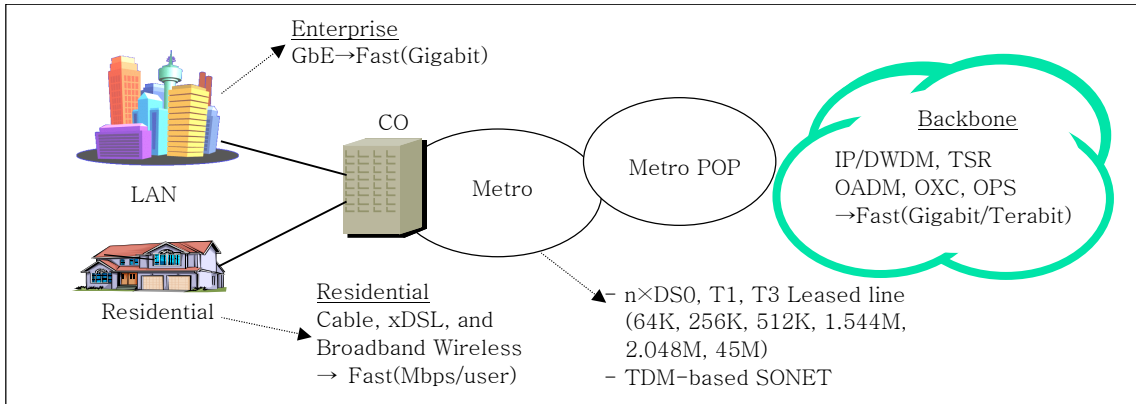
인터넷의 발달로 통신 사업은 새로운 국면에 접어들었다. 인터넷과 인트라넷 트래픽의 폭발적 증가는 기존 전송 하부 구조에 뚜렷한 변화를 가져왔다. 트래픽의 내용, 패턴, 특성 등이 다양하게 변화되었으며, 이로 인해 멀티서비스 네트워크로의 변화 및 빠른 속도(1Gbps 이상) 처리를 지원하는 상업적 IP 네트워크의 필요성이 대두되었다. 고정적이고, 정형화된 연결형(connection-oriented) 서비스에서 동적이고, 비연결형(connectionless) 서비스로의 변화가 전개되고 있다. 가까운 미래에 통신 사업의 수입은 데이터 서비스, 특히 IP 서비스와 관련하여 현저히 증가할 것이며, 결국 공중 사업자에게는 IP가 중요한 수입원이 될 것이다[1]. (그림 1)에서 보듯이 IP 데이터 트래픽은 지난 몇 년 동안 빠르게 증가했으며 또한 앞으로도 이 추세로 증가할 것으로 예상된다. (그림 1)에서처럼 음성 트래픽은 포화/정체의 상태인 반면, IP 데이터 트래픽은 수 개월마다 두

배의 속도로 증가하고 있으므로, 이렇게 급격하게 증가하는 데이터 트래픽을 전송망에 수용하기 위해서는 광전송 시스템이 요구되며, 특히 데이터 트래픽이 집중적으로 발생하는 도심(메트로) 구간에 대한 대안 기술이 많이 거론되고 있다[2].

지금은 패킷 기반 기술의 LAN(Local Area Networks)에서 MAN(Metropolitan Area Networks)으로의 이동이 중요한 기술 동향 중의 하나로 자리 매김하고 있다. 데이터 트래픽의 급격한 증



(그림 1) 음성 및 데이터의 증가 추세



(그림 2) MAN 구조도

가는 액세스망과 인터넷 백본망 사이의 메트로망에서의 병목 현상을 초래하고 있다. 액세스망에서는 기업이 기가비트 이더넷 수용을 통하여 망은 기가비트 이더넷, 사용자에게는 100Mbps 이더넷을 지원하고, 각 가정에는 xDSL(Digital Subscriber Line)과 케이블 모뎀 등을 통하여 10Mbps까지 지원하고 있다. 인터넷 백본망에서는 IP/DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing), TSR(Tera Switch Router), OADM(Optical Add-Drop Multiplexer), OXC(Optical Cross Connector), OPS(Optical Packet Switch) 등의 구성과 장비를 통하여 신속하게 대용량의 트래픽을 수용할 수 있다. 현재의 메트로망에서는 n×DS0, T1, T3 등의 전용선을 통하여 64k/256kbps, 1.544M/2.048M/45Mbps 등의 속도를 지원하며 TDM(Time Division Multiplexing) 기반 SONET(Synchronous Optical Network)를 지원하므로 연속적 스트림 특성을 갖는 음성 트래픽 수용에는 적합하지만 버스트 특성을 지니는 데이터 트래픽을 수용하기에는 대역폭 낭비의 단점이 있다. 이러한 현재의 메트로망은 인터넷의 병목구간이 된다. (그림 2)는 메트로망이 인터넷의 병목을 유발하는 원인이 됨을 보여주고 있다[3],[4].

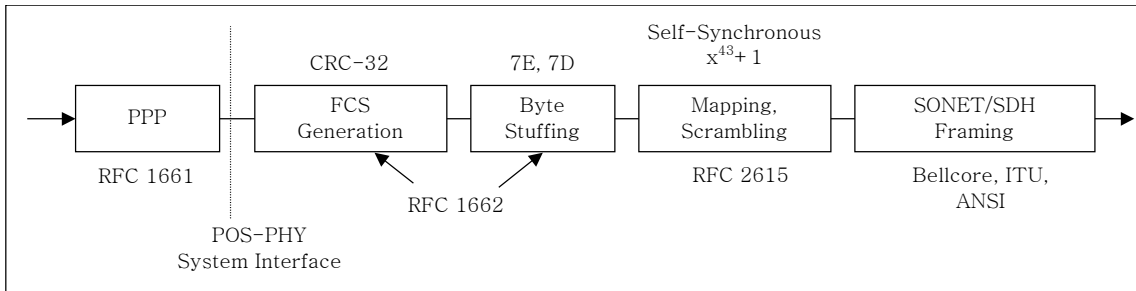
본 고에서는 메트로망에서 IP 트래픽을 전송하기 위한 데이터 전송 기술에 관하여 살펴보려고 한다. 메트로망에서의 데이터 트래픽을 전송하기 위한 기술로서는 기존의 SONET과 ATM(Asynchronous

Transfer Mode)과 같은 회선 기반 기술인 POS(Packet over SONET/SDH), 기존 LAN 지역에서 MAN 지역으로 그 영역을 넓히고 있는 이더넷, 메트로 링에서 패킷 전송을 위한 DPT(Dynamic Packet Transport)/RPR(Resilient Packet Ring) 등이 있는데, 이들 전송 기술에 대해 각각 살펴보고, 전송 기술의 장단점을 비교, 분석한 후 전송 성능에 대해 분석한다.

II. 메트로망에서의 데이터 전송 기술

1. POS

POS는 SONET/SDH(Synchronous Digital Hierarchy) 계층 상에 직접 IP 계층이 탑재되어 QoS 서비스를 보장해주며, IP over ATM over SONET/SDH의 오버헤드를 제거하였다. SONET/SDH는 물리 계층 프로토콜인 반면 IP는 비연결형 네트워크 계층 프로토콜이므로 계층 1과 계층 3 간의 공백을 메우는 것이 필요한데 이를 위해서 PPP(Point-to-Point Protocol)를 이용한다. PPP는 IP 패킷을 캡슐화하여 SONET 또는 SDH 페이로드인 데이터 스트림으로 매핑시키는 역할을 담당한다. PPP는 데이터 링크 연결을 설정하는 역할을 담당하는 LCP(Link Control Protocol), 계층 3 프로토콜에 대한 인터페이스 역할을 수행하는 NCP(Network Control Pro-



(그림 3) POS 처리 과정

ocol) 두 개의 프로토콜로 구성된다.

(그림 3)은 IP 패킷을 PPP를 이용하여 SONET/SDH 프레임으로 매핑시키는 과정을 보여준다. 송신 시에는 IP → PPP → FCS 생성 → 바이트 스템핑 (byte stuffing) → 스크램블링(scrambling) → SONET/SDH 프레임 처리 과정을 거치며, 수신 시에는 역과정을 거치게 된다[5].

가. PPP 인캡슐레이션

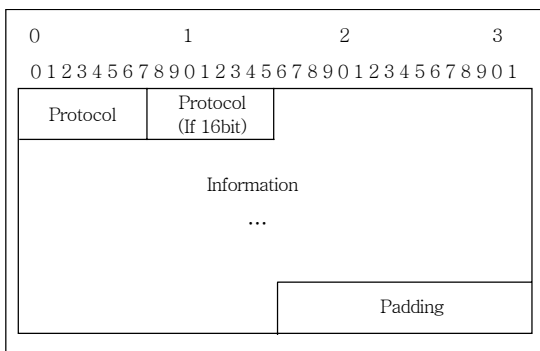
위에서 언급한 대로 IP 패킷은 PPP 인캡슐레이션을 사용하여 SONET/SDH 프레임으로 매핑된다. IP 데이터그램은 최대 전송 데이터 크기(Maximum Transmission Unit: MTU)만큼 채워지고 (그림 4)와 같이 인캡슐레이션 된다. (그림 4)의 프로토콜 필드는 1바이트 또는 2바이트로 패킷의 정보 필드에 인캡슐레이션된 데이터그램을 식별하는 데 사용된다. 프로토콜 필드값에 따라 정보 필드는 다음과 같이 구별될 수 있다.

- 0x0001: Padding Protocol
- 0x0021: Internet Protocol(IP)
- 0xc021: Link Control Protocol(LCP)
- 0xc023: Password Authentication Protocol(PAP)
- 0xc025: Link Quality Report
- 0xc223: Challenge Handshake Authent. Protocol(CHAP)

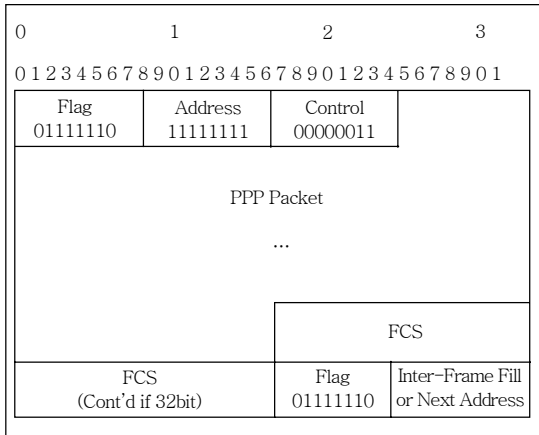
페이로드는 정보 필드에 담겨져 운반되는데 패딩(padding) 필드를 포함한 기본 MTU 크기는 1,500 바이트이다. MTU 크기보다 큰 데이터그램인 경우에는 MTU 단위로 분할한 후 여러 개의 PPP 패킷으로 전송된다.

나. 프레임

POS에서는 (그림 5)와 같은 HDLC(High-level Data Link Control protocol)-like 프레임 구조로 프레임이 구성된다. 프레임 간의 구별을 위해 각 프레임은 8비트 플래그(flag)를 프레임의 앞부분과 끝부분에 위치시킨다. 플래그 값은 “01111110”(0x7E)이고, 두 프레임 사이에는 오직 하나의 플래그만 요구된다. 두 개의 연속적인 플래그는 빈 프레임이 존재함을 나타내는 것으로 단순히 삭제되고, FCS 에러 처리 카운터에 포함시키지 않는다. POS는 점대점 링크에만 사용되므로 HDLC에 있는 어드레싱 기능이 필요하지 않다. 따라서 어드레스 필드는 모든 스테이션을 표시하는 값(“11111111”: 0xFF)으로 설정된다. POS에서는 HDLC에서 제어 기능을 담당하는 데 사



(그림 4) PPP 인캡슐레이션



(그림 5) HDLC-like 프레임 구조

용되는 제어(control) 필드 값으로 “00000011” (0x03)으로 설정되는데, 이 값은 Poll/Final(P/F) 비트가 0으로 설정된 UI(Unnumbered Information) 명령을 나타낸다. FCS 값은 FCS 필드를 제외한 어드레스, 제어, PPP 패킷을 포함하는 전체 프레임에 대해 계산된다. POS에서는 FCS 값을 생성한 후, 스테어링 메커니즘을 수행한다. 플래그와 동일한 값을 가지는 정보 필드의 값은 바이트 스테어링 절차를 거쳐서 전달되는데, control escape로 0x7D이 사용되고, 원래의 정보 바이트는 “0x20”으로 XOR 계산된 값으로 control escape 뒤에 놓인다.

다. 페이로드 스크램블링

POS는 43-bit 시프트 레지스터와 XOR 게이트로 구성된 $X^{43} + 1$ 스크램블러를 이용하여 페이로드를 스크램블링한다. 이 스크램블러는 스스로 동기화(self-synchronous)할 수 있기 때문에 스크램블링 동안 클럭이나 프레임 펄스가 사용되지 않는다. 송신측은 스크램블되지 않은 데이터 스트림과 시프트 레지스터의 출력값을 XOR하여 스크램블된 데이터를 전송한다. 이 때 스크램블된 데이터는 다시 시프트 레지스터의 입력 데이터로 사용된다. 수신측은 스크램블된 데이터를 시프트 레지스터의 출력값과 XOR 하여 스크램블 되기 전의 값을 복원하고, 디스크램블된 이 값을 다시 시프트 레지스터의 입력 데

이터로 사용이 된다. LSB(Least Significant Bit)에서 스크램블링 기능을 수행하는 HDLC와는 달리 SONET/SDH의 스크램블링 기능은 MSB(Most Significant Bit)에서 시작된다.

2. 메트로망

메트로망에서는 패킷 전송을 위해 이더넷 기술이 각광받고 있다. 광 기가비트 이더넷 기술은 SONET, ATM과 같은 회선 기반 전송 기술의 대안으로 여겨지고 있으며, 80km 이상의 거리 확장을 지원하므로 IP 데이터 트래픽을 운반하기에 적합하다[6]. 액세스 망에서 인터넷 백본망을 거쳐 최종단에 이르기까지 모두 이더넷 프레임으로 데이터를 전달하면 패킷 형태가 일관성 있게 전달되므로 부가 프로토콜 계층이나 동기화 등을 제공하지 않아도 되므로 경제적인 면에서나 복잡성 등에서 많은 장점을 가질 수 있다. 따라서 IP 패킷을 전달할 때 이더넷 전송 기술을 이용하면 친밀성, 단순성, 저가격 등의 이점을 가진다.

이더넷 장비 기술이 점점 발달함에 따라서 장거리 전송이 가능해졌고, 이더넷의 MAN 영역으로의 확장이 가능해졌다. 따라서 MAN 구간에 이더넷을 구축할 때 다음과 같은 장점들이 있다. 첫째, LAN 표준화에 의하여 관련 칩 및 장비의 가격이 다른 방식에 비해 저렴한데 SONET을 이용하는 경우보다 10~15% 정도에 불과하다[2]. 둘째, 통계에 의하면 대부분의 기업과 학교에서는 이더넷(LAN의 94%)을 이용하고 있으므로 프로토콜 변환에 따른 오버헤드가 없다. 셋째, 기존의 SONET/SDH가 T1, E1, T3 등의 미리 정의된 대역폭의 서비스만을 제공할 수 있는데 반하여, 이더넷에서는 BoD(Bandwidth on Demand)가 용이하게 구현되고 VLAN(Virtual LAN) 기능에 의하여 CoS(Class of Service)와 다양한 LAN-to-LAN 서비스를 구성할 수 있으므로 기존의 SONET/SDH 기반에서는 불가능하던 새로운 서비스를 제공할 수 있다.

메트로망에서의 이더넷 핵심 기술은 다음과 같다.

- VLAN 기반 이더넷 VPN(IEEE 802.1q)

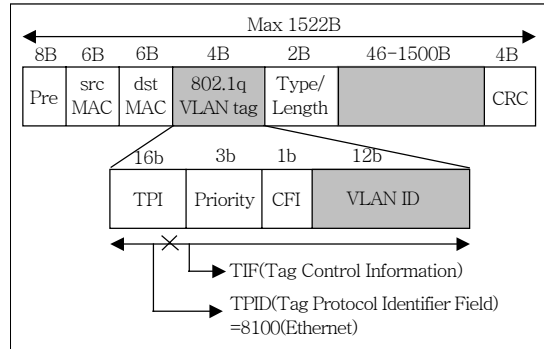
- 10 기가비트 이더넷
- 대역폭 프로비저닝
- 장거리 전송이 가능한 광 기술(스위치 등의 장치 없이 70km~150km 전송 가능)
- 사용에 따른 과금

가. IEEE 802.1q VLAN

VLAN은 물리적인 배선에 제한을 받지 않는 논리 네트워크로서, 단말의 위치 이동에 따른 물리적인 배선 변경과 신규 배선 등 복잡하게 구성된 네트워크를 해석하며 대응해야 하는 번거로움을 줄여주는 기술이다. VLAN을 사용할 경우 네트워크 변경에 대해서 스위칭 허브의 내부 설정을 변경하는 것만으로도 대응이 가능하게 되어 네트워크 관리 비용이 크게 줄어들게 되어 생산성 향상을 도모할 수 있다. 기존 스위칭 허브에서 제어하지 못하던 브로드캐스트 영역을 제어함으로써 터미널이나 네트워크 대역에 대한 부하를 경감할 수 있는 장점이 있다.

IEEE 802.1q 워킹그룹은 가상 브리지 LAN으로 표준화를 진행하고 있다. 802.1q에서는 (그림 6) 타입의 프레임 형태를 규정하고 있는 이더넷 프레임 포맷에서 4바이트가 더 추가된 형식인데 2바이트의 TPID(Tag Protocol Identifier) 필드, 2바이트의 TCI(Tag Control Information) 필드이다. 802.1q 프레임의 TPID 필드값은 0x8100으로 정의되어 있으며, TCI 필드는 우선순위(priority) 필드, CFI(Canonical Format Identifier) 필드, VLAN ID 필드(1~4094)로 구성된다. 이더넷 QoS는 802.1q 프레임 중 우선 순위 필드를 이용하여 지원된다.

VLAN의 VLAN ID를 이용하여 공중망에서 회사 바깥에 있는 직원이나 원거리 지사 사무실, 협력 업체와의 안전한 통신을 제공하는 VLAN 기반 VPN 서비스를 지원할 수 있다. 그러나 VLAN 기반 VPN 서비스는 다음과 같은 문제점을 안고 있다. 첫째, VLAN ID가 12bits로 한정되어 있다. 각 업체는 VLAN ID의 부족 문제를 해결하기 위해 제각기 해결책을 제시하고 있다. 예를 들면, 노텔사는 VLAN



(그림 6) 802.1q 프레임 포맷

ID를 24bit로 확장하여 1,700만 개의 VLAN 지원이 가능하도록 하고 있고, Foundry 사는 VLAN 수퍼 통합(VLAN super aggregation)을 통하여 VLAN ID의 부족을 해결하고 있으며, 리버스톤사는 MPLS(MultiProtocol Label Switching) 기술을 이용하여 이 문제를 해결을 하고 있다. 둘째, STP (Spanning Tree Protocol) 알고리즘의 수렴시간 (convergence time)이 길어 토폴로지에 변화가 생겼을 때 즉각적으로 대처하지 못하는 문제가 있다.

나. 10 기가비트 이더넷

10 기가비트 이더넷은 2000년 3월에 IEEE 802.3ae로 시작되었다. 10 기가비트 이더넷의 주요 표준 목적은 다음과 같다[7].

- 최대/최소의 프레임 크기를 포함하여 기존의 802.3 이더넷 프레임 포맷 유지
- 전이중(full-duplex)만 지원
- 802.3ad의 링크 통합(link aggregation) 지원
- 두 가지 타입의 PHY 정의: LAN PHY는 10Gbps 속도를 지원하고, WAN PHY는 OC-192c/SDH VC-4-64c 데이터 전송속도 지원
- SMF(Single Mode Fiber)를 통한 2/10/40km 전송의 지원 뿐만 아니라, MMF(Multi Mode Fiber)를 통한 최소 100m 이상을 지원하는 물리계층의 규격 제공

다. 대역폭 프로비저닝

이더넷에서는 각 가입자들로부터 들어오는 트래픽을 협상된 대역폭 만큼만 메트로망으로 유입시키고 나머지 트래픽은 폐기하는 레이트 리미팅(rate-limiting) 기능을 지원함으로써 BoD 서비스가 가능하다. 레이트 리미팅 기술 중 포트 레이트 리미팅(port rate limiting), 통합 레이트 리미팅(aggregate rate limiting) 등을 지원하며 이를 통하여 가입자, 응용, 흐름을 기반으로 하여 대역폭 할당 및 과금을 매길 수 있다. 그리고 대역폭을 비대칭적으로 할당할 수 있다(예, up: 1Mbps, down: 10Mbps). 또한 802.1p와 DiffServ를 지원함으로써 가입자별 또는 응용별로 차별화된 서비스를 제공할 수 있다.

3. 패킷 링

TDM 기반의 SONET/SDH 전송망은 음성 트래픽을 전송하는 데 최적화되어 있으므로 데이터 트래픽 증가에 따른 운반상의 비효율성으로 인해 새로운 서비스를 제공하기 어렵게 만드는 문제가 있다. 또한 이더넷은 패킷 데이터 전송에는 적합하지만 점대점, 메시(mesh) 형태의 망 토폴로지에 적합하게 설계되었고, STP와 공평성(fairness)과 같은 문제점에 링 토폴로지에 적합하지 않다. 따라서 메트로 데이터 전송에 적합한 솔루션으로 패킷 링 기술이 등장하게 되었다. 패킷 링 기술은 수 배의 기가비트 데이터 속도를 제공하며, 기존의 이더넷, SONET 등과 연동할 수 있다.

패킷 링 관련 기술은 시스코사의 DPT, 노텔사의 IPT(interWAN Packet Transport) 등이 있다. 시스코의 DPT 기술은 SRP(Spatial Reuse Protocol)라는 새로운 MAC 프로토콜에 관한 기술이며, SRP는 IETF에서 표준화되었다[8]. RPR은 POS의 단점을 극복하기 위해 시스코에서 제안한 DPT 기술로부터 출발하였다. IEEE 802.17에서는 RPR에 대한 표준화 작업을 2000년에 시작하였으며 2003년 3월에 표준화 완성을 목표로 하고 있다. 현재 나와 있는 드래프트는 다윈(Darwin) 드래프트(2002년 1

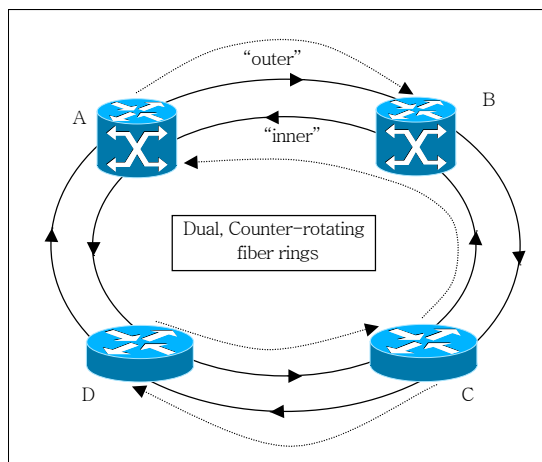
월) - 알라딘(Aladdin) 제안서(2001년 11월)와 간돌프(Gandolf) 제안서(2001년 12월)의 장점을 취하여 만들어진 것 - 를 업그레이드한 것으로 D0.3(2002년 6월)[9]이 나와 있는 상태다.

가. RPR

RPR의 특징은 다음과 같다(그림 7 참조).

- 고품질, QoS 지원 서비스(VPN, TDM, IP)
- MAN에 맞게 최적화, 링 토폴로지(소스에서 목적지까지 2가지 경로 가능), 패킷 기반
- 동일한 목적지에 대해 2개 이상의 경로를 제공하고, 링 또는 노드 장애 발생시 신속한 복구력(resiliency)을 제공하고, 이를 위해 스티어링 보호(steering protection)와 래핑 보호(wrapping protection)를 지원함
- 대역폭 복수활용과 링 대역폭의 공간 재사용(spatial reuse)으로 효율적인 네트워크 자원의 활용, 시스코가 개발한 SRP 채용
- 대역폭 관리
- 공평성 알고리즘 제공(RPR-fa): 시스코의 SRP-fa 채용
- 물리 계층 독립성(Ethernet, SONET/SDH, DWDM)

본 절에서는 RPR에서 지원하는 프로토콜인 프레



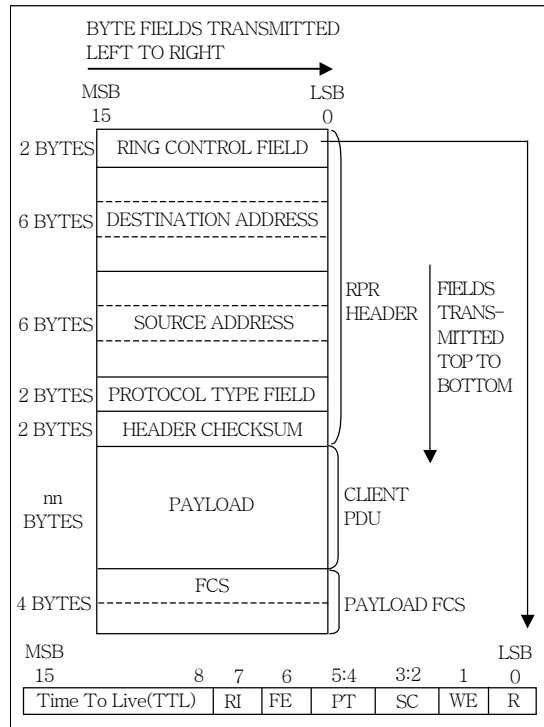
(그림 7) RPR 링 구성

임 포맷, 동일한 목적지에 대해 2개 이상의 경로를 제공하고 링 또는 노드 장애 발생시 신속하게 복구하기 위한 보호(Protection), 토폴로지 발견(Topology discovery), OAM 등에 대해 간단히 기술한다.

1) RPR 프레임 포맷

RPR 프레임 포맷은 (그림 8)과 같다. RPR 프레임의 MTU 크기는 9,216바이트이며, RPR 프레임 포맷은 계층 1 프레임을 포함하지 않는다. 링과 관련된 필드(링 제어 필드)는 2바이트로 RPR 프레임의 맨 앞에 위치한다. 링 제어 필드는 (그림 8)과 같이 TTL(Time To Live), RI(Ringlet Identifier), FE(Fairness Eligible), PT(Packet Type), SC(Service Class), WE(Wrap Eligible), R(Reserved) 필드로 구성된다. TTL 필드는 링에서 프레임이 목적지에 도착할 때까지의 최대 홉의 수를 나타내는 홉 카운트이며, TTL 필드값이 0이 되면 링에서 제거된다. RI 필드값이 0일 때는 바깥(outer) 링을 지시하고, 1일 때는 안쪽(inner) 링을 지시한다. FE 필드는 패킷이 RPR 공평성 알고리즘에 속하는 것인지를 나타내는 필드로 그 값이 1일 때 공평성에 적합한 패킷임을 나타낸다. PT 필드는 RPR 패킷의 종류를 나타낸 것으로 예비용(0), 제어 패킷(1), 공평성 패킷(2), 데이터 패킷(3) 등을 표시한다. SC 필드는 패킷의 서비스 등급을 표시하는 것으로, 우선순위가 낮은 등급인 Class-C(0), 우선순위가 중간 등급인 Class-B(1), 우선순위가 높은 등급인 Class-A/Subclass-A1(2), Class-A/Sub-class-A0(3)를 표시한다. WE 필드는 패킷이 래핑하기에 적합한지를 표시하는 것으로 그 값이 0이면 스티어링에만 사용하고, 그 값이 1일 때 래핑에 사용한다. R 필드는 예비용이다.

링 제어 필드 다음으로 위치하는 목적지 주소(destination address), 소스 주소(source address), 프로토콜 타입 필드는 802 LAN 구조에 맞게 설계된 것이다. 프로토콜 타입 필드는 RPR 제어 타입, customer ID를 가지는 페이로드 타입, 기존의 802.3 타입 필드를 지원한다. RPR에서는 RPR 프레



(그림 8) RPR 프레임 포맷

임의 오류 검사를 위하여 4바이트 CRC 이외에 2바이트 HEC(Header Error Control) 필드를 더 두었다. HEC 필드는 링 제어 필드부터 프로토콜 타입 필드까지의 오류 검사에 사용되고, CRC(Cyclic Redundancy Check)는 HEC 필드 이후 옥텟부터 프레임의 끝까지의 오류 검사에 사용된다.

2) 보호

SONET/SDH에서는 링크 장애 발생시 50ms 이내에 절체가 가능한 데 비하여 이더넷에서는 STP, RSTP(Rapid STP), 802.3ad의 링크 통합 등을 이용할 수 있지만 처리 시간이 수 초 이상 걸리는 문제가 있다. IEEE 802.17에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 링 또는 노드 장애시 SONET/SDH 수준의 50ms 이내의 복구를 가능하게 하기 위하여 보호 프로토콜을 제공한다. RPR에서는 보호 프로토콜로 스티어링, 래핑 2가지 기법을 제공하는데, 스티어링은 필수적인 보호 메커니즘이고, 래핑은

선택적이다.

래핑 보호 기법은 장애가 발견되면 해당 래핑된 노드에서 트래픽의 전송 방향과 반대 방향의 링으로 트래픽을 루핑시켜 전송하는 방식이다. 이때 래핑된 노드는 장애가 발생한 이웃 노드가 된다. 스티어링 보호 기법에서는 장애가 발생했을 때 노드는 랩 기능을 지원하지 않는다. 대신에 래핑 보호 기법처럼 장애를 알리기 위하여 모든 노드에게 보호 요청(Protection Request) 메시지를 전송한다. 장애 발생을 알리는 보호 요구 메시지를 수신한 노드들은 자신의 스티어링 데이터베이스를 수정하고, 장애 링크를 피하여 트래픽을 안쪽 링 또는 바깥 링으로 전송해야 한다. 장애 발생 후 스티어링 데이터베이스가 수정되기 전에 전송된 트래픽들은 장애가 발생한 지점에서 제거된다.

3) 토폴로지 발견

각 RPR 노드는 하나의 링 또는 양쪽 링으로 토폴로지 발견 패킷을 전송함으로써 링에 대한 토폴로지를 알아낸다. 토폴로지 패킷을 생성하는 노드는 패킷을 전송하는 링의 ID를 가지도록 패킷을 만들어 자신의 MAC 주소를 저장하고, MAC 타입과 MAC 주소를 바인딩시킨 후 패킷의 토폴로지 길이 필드값을 설정한 후 패킷을 전송한다. 이 때 MAC 타입에는 버퍼의 타입(싱글 통과 버퍼/이중 통과 버퍼), 링 ID, 노드의 형태(래핑된 노드/정상 노드), 랩 보호 능력, 가중치 등의 정보가 포함된다.

이렇게 생성된 토폴로지 패킷은 점대점 형태로 각각의 노드로 전달된다. 토폴로지 패킷을 수신한 각 노드는 토폴로지 패킷에 자신의 MAC 타입과 MAC 주소를 바인딩시키고, 토폴로지 길이 필드를 수정한 후 다음 노드로 전송한다. 토폴로지 패킷이 래핑된 노드에 의해 래핑된 링으로 전달되고 있을 때에는 토폴로지 패킷과 다른 링 ID를 가지는 노드는 MAC 타입과 주소를 바인딩시키지 않고 다음 노드로 전달한다. 토폴로지 패킷을 생성한 노드가 해당 패킷을 수신하면 패킷을 수락하기 전에 송신 패킷의 링 ID와 수신 패킷의 링 ID를 비교하여 동일한

지 확인한다. 토폴로지 패킷은 두 번 수신하여 두 개의 토폴로지 패킷이 동일한 새로운 토폴로지를 가리킬 때 토폴로지 맵이 수정된다. 이는 일시적으로 토폴로지가 수정되는 것을 방지하기 위함이다.

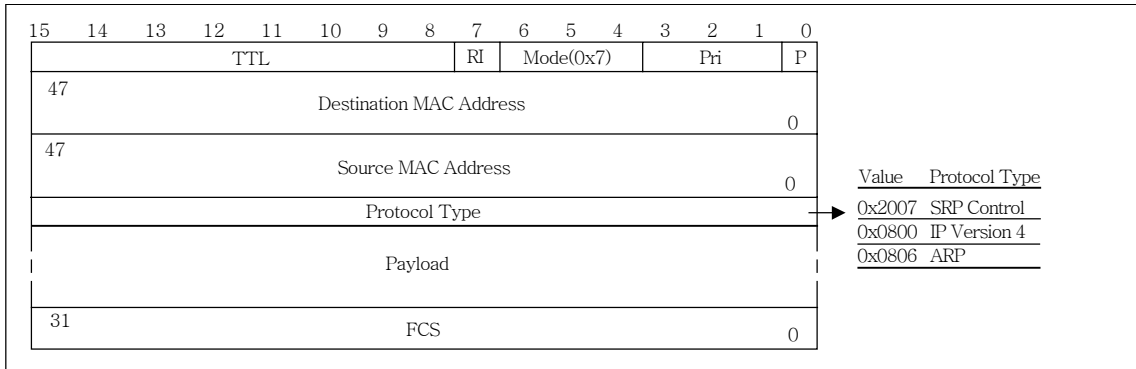
4) OAM

RPR에서는 구성/장애/성능의 범위에서 관리 기능을 지원한다. 구성관리는 망구성원 간의 연결, 데이터 수집 및 보고 등의 역할을 수행하며, 망 형상, 프로비저닝 등을 관리한다. 장애관리에서는 망구성원 또는 망에서 발생하는 비정상적인 동작을 검출하여 교정하는 역할을 담당한다. 또한 장애가 발생하면 관리시스템에게 장애를 보고하고, 복구처리를 한다. 성능관리는 서비스를 지원하는 망구성원과 망의 효율성 및 망구성원의 성능을 평가한다. 즉, 시스템 성능을 지속적으로 모니터링함으로써 서비스의 질을 측정하는 메커니즘을 제공한다.

나. SRP

SRP는 시스코에서 제안한 LAN, MAN, WAN를 위한 계층 2 MAC 프로토콜이다[8],[10]. SRP는 RPR과 유사한 특성을 갖는다. 대역폭 할당 및 링 노드 수의 확장이 가능하며, 물리 계층에 독립적이다. 또한 토폴로지 발견, IPS(Intelligent Protection Switching), SRP 공평성 알고리즘(SRP-fa), 패킷 전송 및 통과 우선순위, 멀티캐스트 지원 등은 RPR과 거의 같은 메커니즘으로 동작한다.

RPR과 SRP의 차이점은 다음과 같다. 첫째, 프레임 포맷이 약간 다르다. SRP도 RPR처럼 프레임의 앞부분에 2바이트의 링 관련 필드를 가지는데 이는 링의 헤더 필드 부분으로(그림 9)와 같이 구성된다. TTL 필드와 RI 필드는 RPR과 같고, Mode 필드는 패킷의 종류를 나타낸 것으로 ATM 데이터 셀(0x3), 제어 메시지(0x4, 0x5), Usage 패킷(0x6, 공평성 지원에 사용됨), 데이터 패킷(0x7), 나머지는 예비용이다. 우선순위(PRI) 필드는 패킷의 우선순위를 나타내고, 패리티(P) 필드는 15비트의 링 헤더의 홀



(그림 9) SRP 데이터 프레임 포맷

수 패리티 비트를 위해 존재한다. 또한 RPR은 HEC 필드를 지원하지만 SRP는 지원하지 않는다. 둘째, RPR에서 혼잡(congestion)이 발생하는 지역인 초크 지역(choke point) 개념을 도입하여 멀티 초크 클라이언트를 구현하고 멀티 초크 클라이언트에서 데이터 전송시 VDQ(Virtual Destination Queuing)와 RPR-fa 메커니즘을 함께 사용함으로써 링 효율성을 높일 수 있다. 셋째, SRP에서는 보호시 래핑 상태만을 지원하며 RPR에서는 OAM 기능 강화에 중점을 두었다.

III. 링 전송 기술 비교

1. SONET

대부분 메트로 영역은 링 형태이다. 링 토폴로지는 기존의 메트로망 구조를 하고 있는 SONET 기반 TDM 망에 적합하다. 그러나 SONET 전송망을 이용하여 데이터 트래픽을 전송하는 데는 문제점을 가지고 있다. 그 이유는 SONET은 점대점 방식으로 설계되었고, 회선 스위치 기반 응용, 특히 음성 트래픽을 위해 설계되었으므로 폭주하는 인터넷 데이터 트래픽을 전송하는 데 있어서 한계점을 가지기 때문이다. 데이터 전송을 위해 SONET 링을 사용하는 경우 링 노드 간에 점대점 회선을 제공하므로 각 회선은 대역폭만큼 고정적으로 할당되며, 이들을 사용하지 않을 때는 그만큼의 낭비가 발생한다. 그리고

망 설계가 논리적인 메시(logical mesh) 형태로 설계된 경우, 링 디자이너는 링 대역폭을 메시 형태의 수만큼의 미리 할당된 회선으로 나누어야 한다. SONET 링에서 논리적 메시지를 생성하기 위하여 회선을 미리 할당하는 것은 어려울 뿐 아니라, 링 대역폭의 비효율성을 초래하게 된다. 또한 SONET 링에서는 멀티캐스트 트래픽을 처리하기 위하여 소스에서 각 목적지로의 분리된 회선을 필요로 한다. 즉, 패킷은 멀티캐스트 목적지 수만큼 복사되어 각 목적지로 전달된다. 따라서 멀티캐스트 트래픽을 처리하기 위하여 여러 개의 복사된 패킷이 링 상에 전달되므로 대역폭 낭비가 발생한다. 마지막으로 SONET은 보호를 위해 50%의 링 대역폭을 예비해 두므로 대역폭이 낭비되는 문제가 있다.

2. 이더넷

이더넷은 데이터 트래픽을 전송하는 데 있어 대역폭 사용이 효율적이며, 단순하고 경제적인 솔루션을 제공한다. 그러나 이더넷을 링 토폴로지로 사용하는 데 있어 이더넷은 점대점 또는 메시 형태의 토폴로지에 최적화되었기 때문에 링 토폴로지에는 적합하지 않다. 그리고, 이더넷은 STP, RSTP, 링크 통합(802.1ad)과 같은 보호를 지원하지만 보호속도가 느려 SONET이나 RPR처럼 50ms 이내의 보호를 지원하지 못하는 문제가 있다. 또한, 링 대역폭을 공유하는 데 있어 전체적 공평성(global fairness)을

지원하지 못한다. 이더넷 스위치가 링크 수준의 공평성은 제공 가능하나, 전체적 공평성을 쉽게 지원할 수 없는 문제가 있고[6],[11], 이더넷은 데이터 트래픽에는 적합하나 링 구현이 어렵고 링의 특성을 만족시키지 못한다.

3. 패킷 링

SONET, 이더넷 모두 메트로망에서의 데이터 트래픽 처리에는 적합하지 않는 문제점을 앞 절에서 언급했다. 패킷 링 프로토콜은 이러한 SONET의 복잡성과 비효율성을 피하고 이더넷이 지원하지 않는 링 보호, 전체적 공평성을 지원한다.

패킷 링의 모든 노드는 링의 양방향으로 패킷 전송이 가능하므로 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있

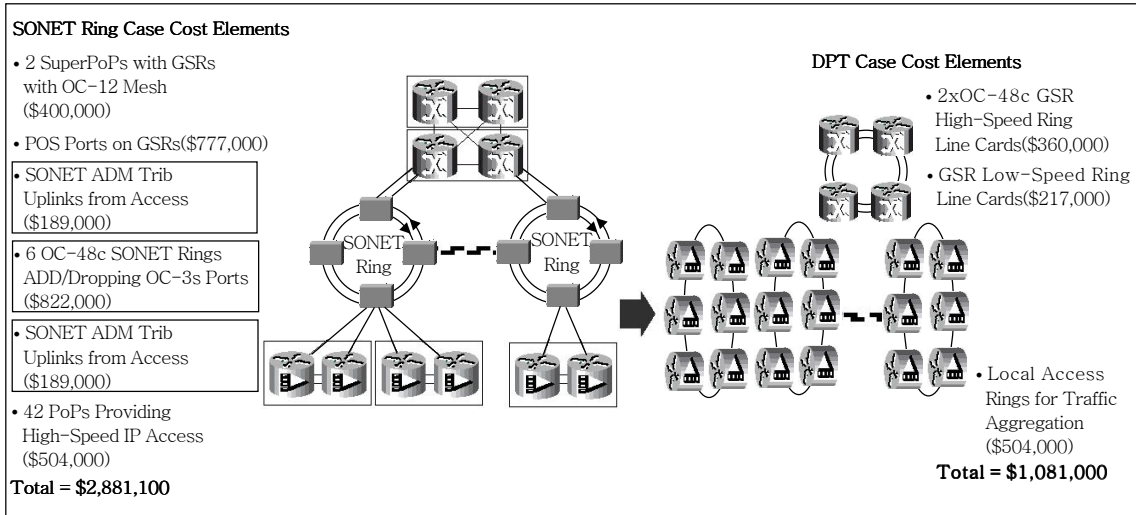
고, 링크 또는 노드 장애 발생시 빠른 복구(50ms 이내)를 지원하는 보호 메커니즘을 제공한다. 보호 메커니즘은 스스로 자동 복구의 특성(self-healing, automatic)을 갖고 있으며, 대역폭의 공평성을 제공한다. 링 상의 모든 노드가 미리 계산된 링 대역폭을 공평하게 공유하는 메커니즘을 제공하므로 방송 및 멀티캐스트 트래픽은 링 내에서 한 패킷으로만 전송되는데, 유니캐스트 패킷은 목적지에서 삭제되고 방송 및 멀티캐스트 패킷은 각 노드에서 수신 및 포워딩되고 소스 노드에서 삭제된다. 또한 패킷 링은 계층 1에 독립적이므로 이더넷, SONET, DWDM 등의 다양한 물리 계층을 수용할 수 있다.

<표 1>은 데이터 트래픽 전송 기술의 특성을 비교한 것이다[12].

<표 1> 데이터 트래픽 전송 기술의 특성 비교

		SONET/SDH	Packet Ring(RPR/DPT)	Gigabit Ethernet Mesh
전송효율성	통계적 다중화	낮음	높음	높음
	대역폭 재사용	낮음(provisioned pipe)	높음(spatial reuse)	보통
	패킷 손실	낮음	낮음	높음
	ToS 비트 매핑	수행하지 않음	수행	수행하지 않음
보호 및 복구의 효율성	예비 용량 필요성	높음	낮음	보통
	주요 장애 보호	높음	높음	낮음
	복구 시간	< 50ms	< 50ms	10sec
	복잡성	높음	낮음	보통
파이버 이용성	요구 파이버	낮음(ring)	낮음(ring)	높음
	지원 토폴로지	Ring	Ring, Star, Mix	Star, Mesh
서비스 효율성	데이터	3	5	5
	음성	5	5	1
	비디오	2	5	2
	QoS	5	5	1
기타 효율성	트래픽 및 혼잡 관리	5	5	3
	설치	복잡	간단	보통
	노드의 추가 및 삭제	복잡	간단	복잡
	클럭 민감성	높음	낮음	낮음
	서비스 프로비저닝	주 단위(매우 김)	분 단위	시간 단위
	관리 시스템	좋음	좋음	좋음
장애 감시 시스템	좋음	좋음	보통	

주) 5-지원도가 높음, 1-거의 지원하지 않음



(그림 10) SONET 링과 DPT 링의 경제성 분석

IV. 데이터 전송 기술 고찰

1. 경제성 분석

가. SONET과 DPT

SONET/SDH 링과 DPT 링의 경제성 비교를 예를 들어 설명한다. ISP(IP Service Provider)가 고속 IP 액세스 서비스를 지원하기 위하여 4개의 고속 백본 라우터와 이에 연결되는 다수 개의 지역 PoP(regional PoP)를 지원하고, 각 지역 PoP은 155Mbps 업링크를 가지는 2개의 라우터로 구성된다고 가정한다.

SONET/SDH와 DPT 링은 (그림 10)과 같은 초기 설치비가 소요된다[13]. SONET/SDH 링 구축 비용은 총 2,881,000달러, 반면에 DPT 링은 그 절반도 되지 않은 1,081,000달러의 저렴한 비용으로 초기 구축이 가능하다.

또한 IP 트래픽의 증가로 인한 망에 또 다른 라우터 등을 추가하는 증액 비용을 비교해 보면 SONET/SDH의 경우, 액세스 라우터의 POS 포트, SONET/SDH ADM OC-3c 포트 2개, SONET/SDH 링 공유 장비균형비, 고속 백본 라우터 4개×OC-3c/STM1-c POS 카드 비율 등이 소요되는데 백본의 증액 비용

을 무시할 때 총 소요 비용은 28,000달러이다. 반면에 DPT 링의 경우, 액세스 라우터 링 카드, 고속 라우터에서의 액세스 링 카드 비용의 비율, 고속 백본 라우터에서의 백본 링 카드 비용의 비율 등을 합하여 총 소요 비용은 11,000달러이다.

DPT 링이 SONET/SDH 보다 적은 비용이 드는 이유는 백본이나 액세스 링 상에서 공간 재사용, 통계적 다중화 등을 사용하여 대역폭 사용을 매우 효율적으로 할 수 있기 때문이다.

나. 이더넷과 DPT

계층 3 기가비트 이더넷 스위치(GE 스위치)를 이용하여 4개의 사이트를 링 구조의 망을 구축한다고 가정할 때, 이더넷을 이용하면 다음과 같은 비용이 소요된다. 먼저 각 GE의 포트가 점대점으로 연결되어 링 구조를 형성해야 하므로 8개의 GE 포트 비용(40,000달러)과 확장 기능을 지원하기 위하여 8개의 확장 모듈 비용(80,000달러) 해서 모두 120,000달러의 비용이 소요된다. 이것은 하나의 링을 구축하는데 드는 비용으로 이중 링으로 구성하는 데 드는 비용은 240,000달러이다. 그러나 DPT를 이용하면 보통 중간 정도의 구축 비용이 124,000달러 정도가 소요된다[13]. DPT 링은 이더넷의 하나의 링 구성 및

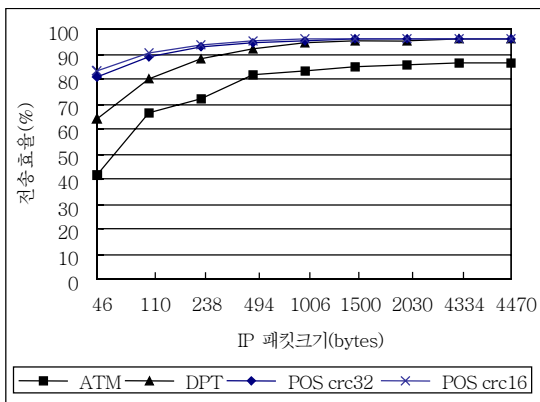
이중 링 구성과 비교할 때 모두 가격면에서 유리하다. 이는 DPT 링이 이더넷을 지원하지 않는 MAN에서 안정된(robust) 서비스를 지원하기 위해 필요한 확장 기능인 보호 스위칭, 대역폭 재할용, 패킷 버퍼링, 라우팅을 기본적으로 지원하기 때문이다.

2. 성능 분석

가. SONET과 DPT

모든 응용들은 다양한 패킷 크기의 데이터를 전송한다. 일반적인 응용에 사용되는 패킷의 크기는 50~1,000바이트 사이이고, 파일 전송 등의 소수 응용에 사용되는 패킷의 크기는 대략 3,000~4,000바이트가 사용된다. (그림 11)은 46바이트에서 4500바이트 크기의 IP 패킷을 ATM, POS, DPT 전송 기술을 이용하여 전송할 때 각 전송 기술에 대한 전송 효율을 비교한 것이다[1].

먼저 ATM과 POS, DPT를 비교해 보면 46~1,000바이트의 IP 패킷 크기를 전송할 때, ATM은 40~80%의 전송효율을 가지며, POS와 DPT는 60~95%의 전송효율을 가진다. 이는 ATM이 AAL5, SAR 계층 등의 오버헤드를 가지기 때문이다. DPT와 POS를 비교해 보면 크기가 큰 패킷을 전송할 때는 95%의 전송 효율로 POS와 DPT가 거의 비슷하지만, 작은 크기의 IP 패킷(46바이트)을 전송할 때는 DPT가 POS 보다 20% 정도 전송 능력이 저하된다.



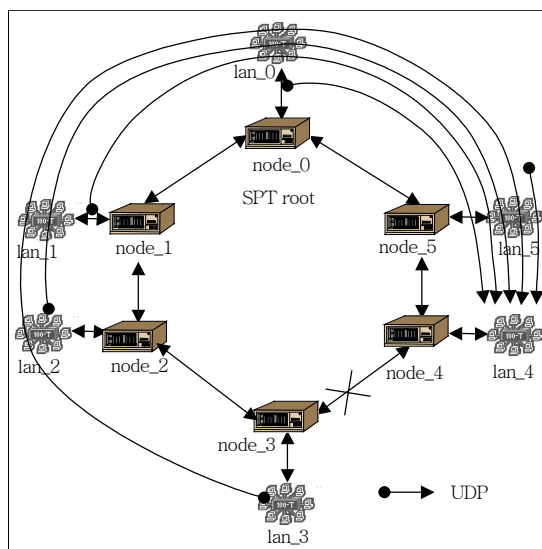
(그림 11) 전송 효율 비교

이는 POS에서 사용되는 PPP 헤더보다 이더넷과 유사한 프레임링을 사용하는 DPT의 MAC 계층의 오버헤드가 크기 때문이다.

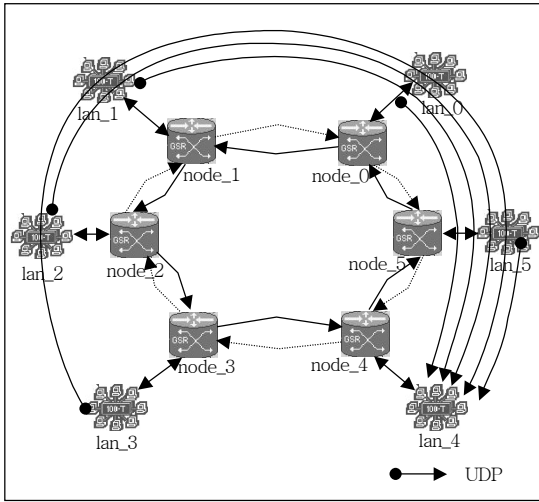
나. 이더넷과 DPT

(그림 12)와 (그림 13)처럼 이더넷 링과 DPT 링이 구성되어 있을 때 각각의 링 성능에 대해 살펴본다. (그림 12)의 이더넷 링에서는 각각의 노드에서 노드_4로 한 방향으로 데이터를 전송하기 위하여 노드_3과 노드_4 간의 링크를 차단시킨다. (그림 13)의 DPT 링에서는 MAC 클라이언트에서 데이터를 전송할 때 링을 선택할 수 있으므로 각 노드에서 노드_4로 데이터를 전송할 때 바깥 링을 선택하여 데이터를 전달하도록 설정한다. 이더넷 링은 10 baseT 링크로 구성하고, DPT 링은 STM-4 링크로 구성한다[14].

각각의 링에 TCP/UDP 서버와 클라이언트를 두어 TCP/UDP 트래픽 패턴을 (그림 12), (그림 13)처럼 노드_0, 1, 2, 3, 5에서 노드_4로 전송하도록 생성한다. 이때 이더넷 링과 DPT 링의 성능은 각각 (그림 14), (그림 15)와 같다. 이더넷 링은 계층 2 액세스 제어에서 공평성을 제공하지 않으므로 TCP와



(그림 12) 이더넷 링



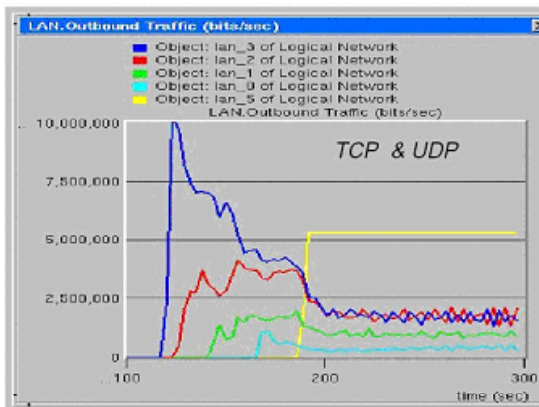
(그림 13) OC12-c/STM-4 DPT 링

같이 흐름 제어 메커니즘이 없는 UDP 트래픽이 존재할 때에는 공평성을 제공할 수 없다. 반면에 DPT 링에서는 동적으로 대역폭을 공유하고, 통계적 다중화를 제공하므로 TCP/UDP 트래픽에 관계없이 공평성과 신속한 수렴(fast convergence) 기능을 제공한다.

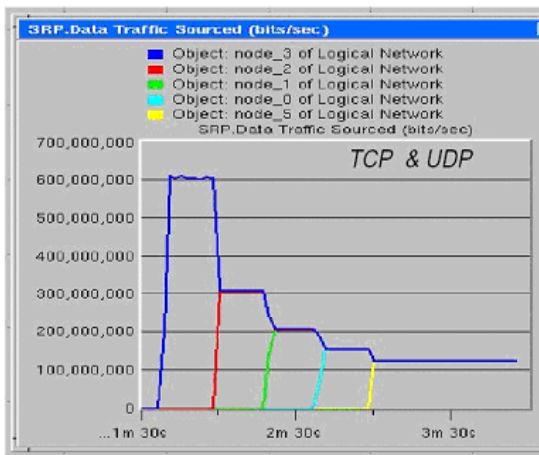
V. 결론

메트로망은 패킷 기반 기술을 LAN에서 MAN으로 이동하는 중요한 전송기술 중의 하나로 자리매김하고 있고, 인터넷과 인트라넷 트래픽의 급격한 증가는 메트로망에서의 패킷 기반 전송 기술에 대한 필요성을 가져왔다. 본 고에서는 메트로망에서 IP 데이터 트래픽을 전송하기 위한 데이터 전송 기술에 관하여 살펴보고, 각 데이터 전송 기술에 대한 장단점 및 특성 비교, 경제성 및 성능 분석을 하였다.

기존의 SONET 링은 이미 구축된 망이라는 장점과 전송 효율이 좋은 반면 대역폭 낭비, 데이터 트래픽을 효율적으로 처리하지 못하는 단점을 가지고 있다. 그러나 기존의 SONET은 TDM 트래픽을 나르던 SONET에 데이터 트래픽을 효율적으로 전달할 수 있도록 SONET 전송 장비에 이더넷 인터페이스를 지원하고 SONET 장비 내에서 데이터 트래픽을 통계적 다중화하는 기능을 추가한 차세대 SONET으로 발전하고 있다. 한편 메트로 이더넷은 저가격, 단순성, BoD 등의 장점을 갖지만 링 토폴로지에 적합하지 않고, 느린 복구 시간, 전체적 공평성 등을 지원하지 않는 문제점을 가지고 있다. 그러나 이러한 단점에도 불구하고 메트로 이더넷은 망구조가 매우 단순하고 구축 및 운영 비용이 기존망 대비 1/4~1/8로 저렴하여 가장 각광 받고 있다. 특히 RPR/DPT의 패킷 링은 장애시 빠른 복구, 대역폭의 높은 효율성, 전체적 공평성, 경제성 등의 장점을 가지는 반면 새롭게 나타난 기술이라 기존의 메트로망을 구축하고 있는 사업자가 아닌 신규 사업자 중심으로 채택되고 있는 실정이다.



(그림 14) 이더넷 링 성능



(그림 15) DPT 링 성능

참 고 문 헌

- [1] Peter Tomsu, Christian Schmutzer, Next Generation Optical Networks: The Convergence of IP Intelligence and Optical Technology, Prentice-Hall, 2002.
- [2] 신정관 외, "Metro Area Network의 발전 방향: 10GbE와 RPR," 한국전자통신연구원 주간기술동향, 통권 1003호, 2001. 7., pp. 16 - 28.
- [3] Song Kilho, "Perspectivies of Metro Ethernet," *Daedeok International Symposium of Information Technology*, May 2002.
- [4] 손장우, "Metro Optical Networking: Trends and Technologies," *Netmains*, 2001. 11.
- [5] A. Mails, W. Simpson, "PPP over SONET/SDH," *IETF RFC2615*, June 1999.
- [6] River Stone Networks White Paper, "Packet Ring Technology: The Future of Metro Transport," April 2001.
- [7] 강태규, 이형호, 정해원, "10기가비트 이더넷 표준화 및 기술 개발 동향," 대한전자공학회지, Vol. 27, No. 10, 2000. 10., pp. 32 - 45.
- [8] D. Tsaiing, G. Suwala, "The Cisco SRP MAC Layer Protocol," *IETF RFC2892*, Aug. 2000.
- [9] IEEE Draft P802.17/D0.3, "Part 17: Resilient Packet Ring Access Method & Physical Layer Specifications," June 2002.
- [10] Cisco Systems White Paper, "Spatial Reuse Protocol Technology," Jan. 2001.
- [11] Resilient Packet Ring Alliance, "An Introduction to Resilient Packet Technology," Oct. 2001.
- [12] Cisco Systems White Paper, "The Economics of Cisco's Metro IP Solutions," Sep. 2001.
- [13] Cisco Systems White Paper, "Dynamic Packet Transport Technology and Applications Overview," Feb. 1999.
- [14] Cisco Systems White Paper, "Dynamic Packet Transport Technology and Performance," Feb. 2000.