

IEEE 802.3 Ethernet 기술 동향과 전망

강태규 (한국전자통신연구원)

1. 서론

이더넷 기술은 1990년대 중반 인터넷의 등장과 함께 계속해서 증가하고 있는 패킷 스위치 네트워크의 다양한 요구사항을 충족시키며 현재 유선 액세스 기술 고속 LAN 영역의 90% 이상을 차지하는 대표적인 기술로 발전하고 있는 추세이다. 이러한 추세는 동종의 경쟁 기술들에 비해 저렴한 가격, 안정성, 설치 및 유지 편의성 등을 제공하고 10Mbps에서부터 10Gbps까지의 고속 전송이 가능할 뿐만 아니라 이러한 속도 증가에도 불구하고 기술의 호환성을 유지하고 있기 때문이다.

한편 이더넷은 이러한 장점을 기반으로 1Gbps 속도를 지원하는 원거리 기가비트 이더넷의 등장과 함께 기존의 LAN 영역을 벗어나 SONET/SDH와 같은 서킷 스위치 기술이 선점하고 있는 MAN/WAN 영역으로 그 적용 분야를 확장하고 있는데, 여기에는 기존의 서킷 스위치 장비를 거치지 않고도 기가비트 이더넷 인터페이스를 지원하는 이더넷 스위치 장비로 MAN/WAN 영역을 연결하는 메트로 이더넷, 캐리어 클래스 이더넷 등

이 있다.^{[1][5]}

IEEE 802 LAN/MAN 위원회는 고속 LAN 기술에 대한 표준화를 수행하는 대표적인 국제 표준화 기구로서 IEEE 802.1부터 IEEE 802.22까지의 워킹 그룹으로 구성되어 있으며, 이러한 워킹 그룹에서는 유선뿐만 아니라 무선 부분에 대한 LAN/MAN 표준을 제정하고 있다. 이러한 워킹 그룹 중에서 IEEE 802.3 워킹 그룹에서는 1Mbps에서 10Gbps까지의 전송속도를 가지는 다양한 방법의 이더넷 표준 제정을 진행하고 있다. 이외에도 이더넷은 인터넷 등 통신망을 통해 공장의 제조, 공정을 감시, 지시 및 제어하는 공장 자동화에도 이용되고 있다.^[2]

본 고에서는 현재 IEEE 802.3에서 정식 프로젝트로 표준화가 진행 중인 유선 액세스 기술(802.3an 10GBASE-T, 80.23ap Backplane Ethernet, 802.3aq 10GBASE-LRM, 802.3ar Congestion Management, 802.3as Frame Extension)에 알아보려고 한다. 본고의 구성은 먼저 IEEE 802.3 이더넷 기술에 대해 간략히 살펴보고, 현재 진행되고 있는 기술 동향을 살펴 본 후 마지막으로 이를 정리하고자

한다.

II. IEEE 802.3 이더넷 기술 동향

1. IEEE 802.3 이더넷 기술 개요

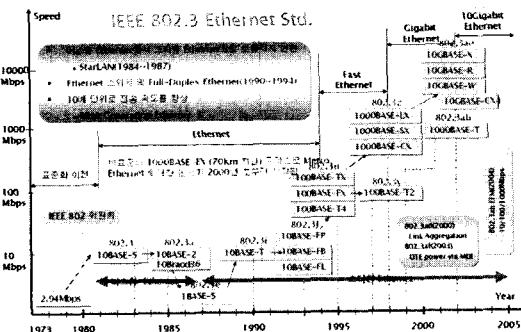
이더넷은 1973년에 제록스사에서 2.94Mbps 전송 속도를 가지는 최초의 이더넷이 발표된 이후 제록스사와 DEC(Digital Equipment Corporation), 인텔사가 연합하여 “DIX 이더넷” 정하고 1980년에 10Mbps 이더넷을 개발하게 되었고 저렴한 가격과 당시의 10Mbps라는 고속 전송 능력 때문에 많은 발전을 거듭해 왔다. DIX(Dec-Intel-Xerox) 그룹과 병행하여 IEEE에서는 현재의 IEEE 802 프로젝트를 결성하고 첫 회의를 1980년에 미국 샌프란시스코에서 개최하였다. IEEE 802 위원회는 모든 LAN을 포함하는 단일 표준안의 도출이 어렵다고 보고 여러 개의 워킹 그룹으로 분할하여 각각의 표준안을 도출하도록 하였으며 IEEE 802.3은 이더넷 기반의 LAN 표준화를, IEEE 802.4는 토큰버스, IEEE 802.5는 토큰링을 표준화를 진행하였다.

그러나 19980년 중반 LAN 브리지의 등장과 1990년 초반 트위스트페어를 이용한 10Mbps 이더넷, 10GBASE-T, 표준 완료에 힘입어 공유 매체 방식의 버스형 이더넷에서 전용 매체 방식의 스타형 이더넷으로 토폴로지를 변환이 가능하게 되었고, 1990년 중반 전이중방식의 도입으로 이더넷의 매체 공유 방식인 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection)의 약점이었던 거리 제약도 사라지게 되어 초기 10Mbps에서 100Mbps/1Gbps/10Gbps 속도까지 발전하게 되었다. IEEE 802.3 이더넷 워킹 그룹에서는 2002년 파이버 기반의 10기가비트 이더넷 표준화를 완료하고 LAN 이외의 가입자망에서 이더넷을 이용할 수 있도록 하는 EFM(Ethernet in the First Mile) 표준화를 추진하여 2004년 표준화를 완료하였다.^[10]

IEEE 802.3 이더넷 워킹 그룹에서 2005년 현재 진행중인 프로젝트는 다음과 같다.

- P802.3an, 10GBASE-T Task Force
- P802.3ap, Backplane Ethernet Task Force
- P802.3aq, 10GBASE-LRM Task Force
- P802.3ar, Congestion Management Task Force
- P802.3as, Frame Expansion Task Force

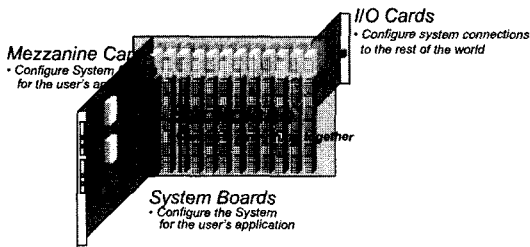
이제부터 위에서 언급한 프로젝트 중 현재 드래프트 작업을 진행 중인 802.3an 10GBASE-T, 802.3aq 10GBASE-LRM을 제외한 나머지 기술에 대해 살펴보고자 한다.



(그림1) IEEE 802.3 이더넷 기술의 발전사

2. Backplane Ethernet 기술^[3]

IEEE 802.3ap 백플레인 이더넷(Backplane Ethernet)은 모듈러 컴퓨팅(예: 블레이드 서버) & 네트워크 플랫폼(예: 스위치, 라우터) 내부의 백플레인 인터페이스로 이더넷 적용을 위한 기술로서, 단일 레인으로 1Gbps, 10Gbps 속도 또는 4 레인으로 10Gbps 속도로 FR-4 재질의 PCB 상의 2개의 커넥터를 통과하여 최대 1m 배선 길이를 지원하는 것을 목표로 한다. 단일 레인의 경우 1Gbps와 10Gbps 속도를 결정하기 위한 자동협상(Auto-negotiation)을 지원하도록 정의한다.



〈그림 2〉 모듈러 컴퓨팅&네트워크 플랫폼 백플레인

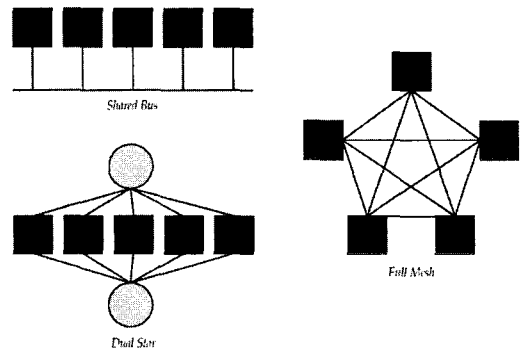
2003년 11월 결성된 백플레인 이더넷 스타디 그룹은 약 5개월 동안 기술적 및 경제적 관점에서의 실현가능성을 조사 연구하였고 2004년 3월 표준화를 위한 PAR가 승인되어 이후 IEEE 802.3ap 프로젝트라는 태스크 포스 형태로 인정되어 표준화 작업을 진행하고 있다. 태스크 포스의 타임 라인에 따르면 2006년 7월에 표준안 완성을 목표로 추진할 예정이다.

• 주요 기술

이더넷은 현재 많은 애플리케이션에서 백플레인 패브릭으로 사용되고 있고 앞으로 수

년 동안 계속될 것으로 예상된다. 이더넷은 블레이드 서버 플랫폼에서 엔터프라이즈 스위치 및 라우터까지 모든 분야에 사용될 수 있고, IP-DSL 액세스 멀티플렉서 또는 무선 액세스 플랫폼으로도 사용 될 수 있다. 표준 기반의 백플레인 이더넷의 한 예로 PICMG 3.1 aTCA를 들 수 있다. PICMG 3.1 aTCA는 모듈러 네트워킹과 컴퓨팅 사시를 위한 폼팩터(Form Factor), 데이터 플레인 연결 및 다른 핵심 기능을 정의하고, 데이터 플레인 상에서의 사용을 위해 이더넷 물리층 표준 적용을 정의하고 있다.

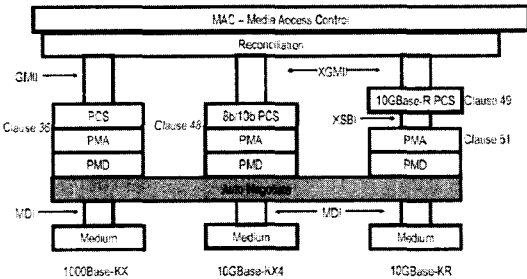
백플레인 이더넷은 공유 버스(Shared Bus), 풀-메쉬(Full Mesh), 스타(Star) 등의 패브릭 구조를 가질 수 있다. 네트워크 시스템을 예를 들어 아래의 그림을 설명하자면 사각형은 라인카드, 원형은 스위치 카드, 실선은 백플레인을 통해 연결되는 신호선을 의미한다.



〈그림 3〉 802.3ap 백플레인 이더넷 패브릭 구조

백플레인 이더넷은 같은 백플레인 매체상에서 1000BASE-X 표준의 PCS, PMA를 이용하는 1Gbps 1000BASE-KX, 10GBASE-X 표준의 PCS, PMA를 이용하는 10GBASE-KX4, 10GBASE-R의 PCS, PMA를 이용하는

10GBASE-KR의 세 가지로 분류된다. 여기서 각 표준에 명명에 붙는 “K”는 bacKplane을 의미한다. 백플레인 이더넷의 각 표준에 대해 요약하면 다음과 같다.



〈그림 4〉 802.3ap 백플레인 이더넷 계층 구조

10GBASE-KR : 4채널의 10기가비트 직렬 링크로서, 각 채널은 전이중(Full-duplex)으로 동작하고 10GBaud 시그널링 속도를 처리할 수 있는 송·수신쌍으로 각각 분리되고, 각 방향에 40G 집성 대역폭을 갖는다. 10GBASE-KR은 백플레인상에 10Gbps 인코딩된 데이터를 전송하기 위한 PMD 사양을 설명한다.

1000BASE-KX4 : 3.135Gbps(XAUI)로 동작하는 4 라인으로 구성된 1채널로서, 채널은 전이중으로 동작하고 3.125Gbaud 시그널링 속도를 처리할 수 있는 4라인의 송·수신쌍으로 구성되고, 각 방향에 10G 집성 대역폭을 갖는다. 1000BASE-KX4는 백플레인상에 10Gbps XAUI 시그널링 전송을 위한 PMD 사양을 설명한다.

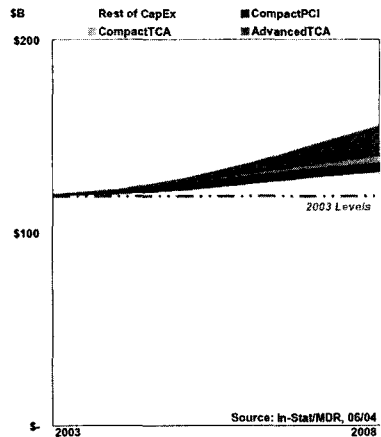
1000BASE-KX : 4채널의 1기가비트 직렬 링크로서, 각 채널은 전이중으로 동작하고 1GBaud 시그널링 속도를 처리할 수 있는 송·수신쌍으로 각각 분리되고, 각 방향에

4G 집성 대역폭을 갖는다. 1000BASE-KX는 백플레인상에 1Gbps 인코딩된 데이터된 전송하기 위한 PMD 사양을 설명한다.

각각의 포트는 10Gbps 또는 1Gbps 또는 2.5Gbps(1/4 XAUI) 데이터를 전달할 수 있다.

• 시장 및 표준화 동향

IDC 조사에 의하면 2006년 모듈러 서버 시장의 경우 총가용 시장(Total Available Market)의 20%에 달할 것이고, 연간 성장률은(Cumulative Annual Growth Rate)은 135%가 될 것으로 전망하고 있다. 또한 In-Stat/MDR 조사에 의하면 2008년까지 aTCA 시장은 약 150억불에 이를 예상하고 있고, Yankee Group 조사에 의하면 전 세계 블레이드 시장은 378억불에 이를 것으로 예상하고 있다.



〈그림 5〉 모듈러 서버 시장

주요 참여 업체로는 Intel, Tyco, Agere, Lucent, Force10, Agilent, Intel, Xilinx, Molex, TI, Broadcom 등이 있고 이중 Intel은 PICMG의 aTCA 기반 시스템을 가장 적극적으로 개발하고 있는 업체 중 하나이다. 2004

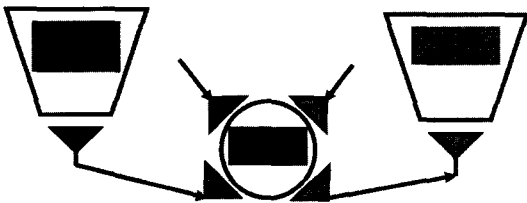
년까지 결정된 주요사항으로는 백플레인 이더넷의 계층 구조, 1G 직렬 표준인 1000BASE-KX, 10G 병렬 표준인 10GBASE-KX4, 자동협상(Auto-Negotiation) 기능 등이 있다. IEEE 802 이외에도 PICMG 3.1-aTCA over Ethernet, OIF CEI, IEEE-ISTO UXPI, XFI 등에서도 이와 유사한 기술에 대한 표준화가 진행 중이다.

3. Congestion Management 기술²⁾

IEEE 802.3ar Congestion Management는 프레임 지연, 손실에 민감한 이더넷 애플리케이션 영역(클러스터링, 백플레인, 스토리지, 데이터 센터 등)에 속도 또는 흐름 제어(Rate/Flow Control)등의 폭주 관리(Congestion Management)를 통해 처리율, 프레임 지연 & 손실을 향상시킬 수 있도록 하는 기술로서, Non-congested 흐름에 영향을 최소화하면서 폭주 정보 교환을 지원할 수 있는 메커니즘과 이더넷 링크상의 송신 데이터 속도를 제어하는 메커니즘을 정의하는 것을 목표로 한다.

일반적으로 이더넷 네트워크에서 Congestion은 브리지에서 발생하며 이에 대한 Reaction은 트랜스포트 계층에서 일어난다.

2004년 5월에 결성된 Congestion



〈그림 6〉 이더넷 네트워크 Congestion 발생 지점

Management 스타디 그룹은 2004년 11월 표준화를 위한 PAR가 승인되어 이후 IEEE 802.3ar 프로젝트라는 태스크 포스 형태로 인정되어 표준화 작업을 진행하고 있다. 태스크 포스 타임 라인에 따르면 2006년 3월 표준화 완료를 목표로 추진할 예정이다.

• 주요 기술

만약 LAN 장비, 이더넷 장비, 에서 종류에 따라 트래픽을 차별화 및 처리한다면 시간에 민감한 트래픽에 대해 성능 향상을 가져올 수 있을 것이다. 예를 들어 VoIP, 스토리지 트래픽, 프로세서간 통신과 같은 서비스들은 일반적인 LAN 트래픽과 달리 특별한 고려 대상이 되어야 한다. 802.3ar Congestion Management는 트래픽 종류들의 차별화를 규정하고 다른 종류 간 폭주 관리를 제공하기 위한 제어 방식을 정의한다. Congestion에는 다음과 같은 두 가지 유형이 있다.

Transitory : 일반적으로 시간이 지남에 따라 프레임을 폐기하지 않아도 해결 될 수 있는 트래픽들이다. 그 이유는 평균 대역폭 요구가 용량 및 피크 요구치보다 작아 버퍼링 될 수 있기 때문이다. 프레임 손실이 발생하지 않지만 Latency, Latency Jitter가 추가된다. 다른 종류의 서비스들의 희생을 통해 높은 우선순위의 Latency를 향상시켜줄 수 있고, 네트워크 전체의 Latency를 약간 향상시키는 것보다 더 큰 이득을 가져올 수 있다.

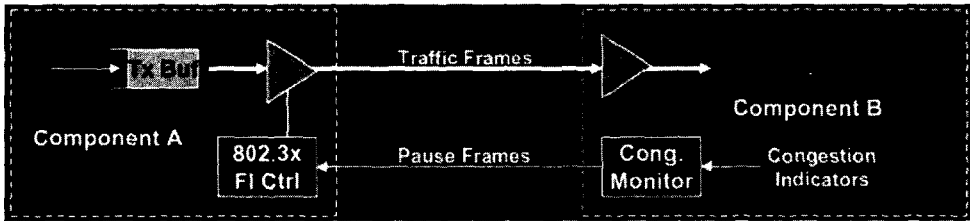
Oversubscription : 일반적으로 시간이 지남다고 해결될 수 없다. 프레임을 폐기함으로써 시스템의 전체 성능에 영향을 미칠 수 있다. Rate Limiting은 프레임 폐기를 감소시키기 위해 사용된다. 종단 시스템은 네트워크

Rate Limiting으로부터 이득을 얻을 수 있다.

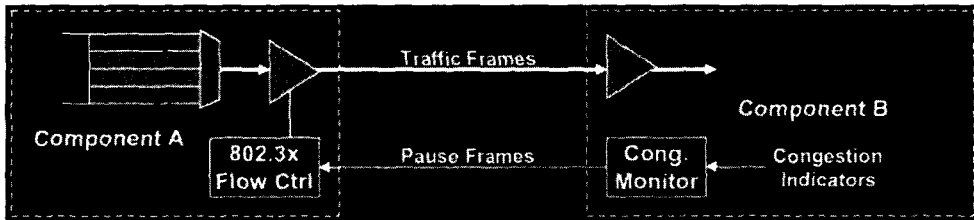
폭주 관리는 주로 위와 같은 Congestion 하에서 단거리 네트워크의 성능을 향상 시키는데 초점을 맞추고 있다.

현재의 802.3 폭주 관리인 802.3x Flow Control은 모든 트래픽이 단일 송신 버퍼에 큐잉되어 처리되고 수신측에서 Congestion 이 감지되면 Flow Control Feedback을 통해 전송하여 송신측에서 모든 트래픽 플로우를 일시적으로 블록킹하는 방식이다.

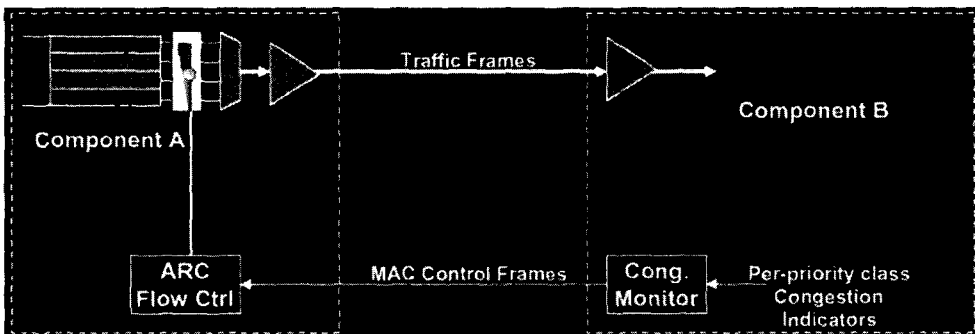
위 두 가지 유형의 Congestion과 802.3x Flow Control를 문제를 해결하기 위한 방법으로는 Differentiated Service(Priorities), Adaptive Rate Control(ARC)가 있다. Differentiated Service는 높은 우선순위 트래픽에 향상된 Latency 성능을 제공하는 대신에 낮은 우선순위 트래픽을 Rate Limiting하는 것이고, ARC는 Adaptive Rate Limiting을 통해 프레임 폐기를 효과적으로 감소시킬 수 있다.



<그림 7> 802.3x Flow Control 모델



<그림 8> Differentiated Service 모델



<그림 9> Adaptive Rate Control 모델

그러나 이상에서 간략히 언급한 두 모델은 폭주 관리의 한 방법으로 제시된 것으로서 구체적인 토의가 아직 진행되지 않은 상황이다.

• 시장 및 표준화 동향

폭주 관리의 백플레인 이더넷과 함께 주요 현재 파이버 채널이 장악하고 있는 스토리지 시장을 목표로 하고 있다. 이더넷의 폭주 관리는 스토리지 시장에서 이더넷/IP 기반의 iSCSI 적용을 가속화 할 수 있을 것으로 예상된다.

Exhibit 1
Fibre Channel SAN Component Market Forecast
Source: The Yankee Group Global Storage Networking Forecast, First Quarter 2004

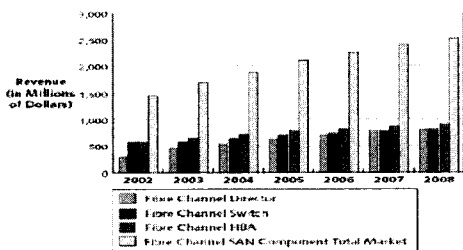
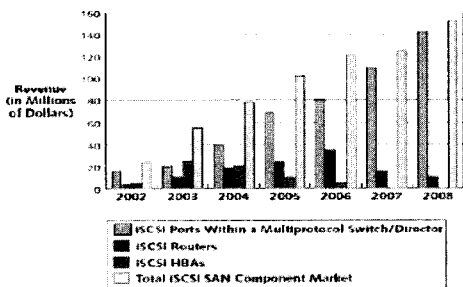


Exhibit 8
iSCSI SAN Component Market Forecast
Source: The Yankee Group Global Storage Networking Forecast, First Quarter 2004



〈그림 10〉 스토리지 시장

2004년까지 프로젝트 승인을 위한 PAR, 5 Criteria, Objective 작업을 완료하고 본격적인 기술 토의를 진행중에 있다.

4. Frame Extension 기술^[2]

IEEE 802.3as Frame Extension은 기존 MAC Service Data Unit은 유지하면서 이더넷 확장 및 보안을 위한 IEEE 802.1ad Provider Bridging, 802.1AE MACSec, 그리고 헤더 정보를 필요로 하는 다른 애플리케이션을 지원하기 위한 추가적인 Envelope가 필요할 경우 IEEE 802.3 프레임 사이즈를 확장하기 위한 기술로서, 이에 필요한 프레임 형식을 정의하는 것을 목표로 한다.

2004년 7월에 결성된 Frame Extension 스터디 그룹은 2004년 11월 표준화를 위한 PAR가 승인되어 이후 IEEE 802.3as 프로젝트라는 태스크 포스 형태로 인정되어 표준화 작업을 진행 중에 있다. 태스크 포스 타임 라인에 따르면 2005년 7월 표준화 완료를 목표로 추진할 예정이다.

• 주요 기술

현재 IEEE 802.1ad Provider Bridging, IEEE 802.1AE MACSec에서는 이 기술 영역에 필요한 Prefix, Suffix 필드를 정의하고 있고, ITU-T SG15 Q12에서는 이 기술 영역에 필요한 인캡슐레이션과 인터페이스(e.g. UNI, NNI)과 같은 Ethernet Transport Service를 정의하고 있는 중이다. 이들 그룹에서는 이들의 기술을 지원할 수 있도록 IEEE 802.3의 이더넷 프레임의 확장을 요구하였고 Ethernet Frame Extension 논의가 시작되었다.

IEEE 802.3의 프레임 형식 변경은 매우 민감한 부분으로 결코 가볍게 볼 수 없는 내용이다. 이더넷의 최대 프레임 사이즈(1,518

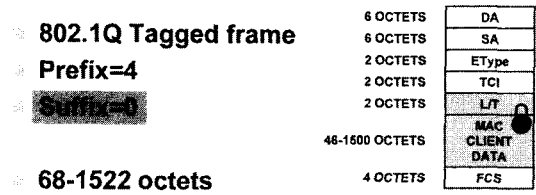
Bytes)는 변경하고 싶어도 할 수 없는 기본 사항중 하나이다. 과거 점보 프레임(9,216 Bytes)의 경우 기술적 또는 잠재적 이점이 있음에도 불구하고 변경에 따른 혼란(예, Backward Compatibility)을 이유로 표준이 되지 못한 경우가 대표적인 예이다.

현재 802.1에서 요구하고 있는 프레임 확장은 페이로드(Payload) 확장이 아닌 헤더 정보 확장이다. 802.1 Liaison 문서에 의하면 802.3 워킹 그룹이 802.1ad Provider Bridge, 802.1AE MAC Security를 지원하기 위해 1,650~2,048 Bytes 범위에 있는 802.3 이더넷 프레임을 정의해 줄 것을 요구하고 있다. 이에 대해 802.3 이더넷 워킹 그룹에서는 802.1ad, 802.1AE 표준으로부터 802.3의 지원 배제, 802.1 SAR 기능 요구, MTU 사이즈 조절 등의 다른 대안을 제시하기도 하였으나 추후 이에 대한 사항은 논의 과정을 지켜봐야 할 것이다.

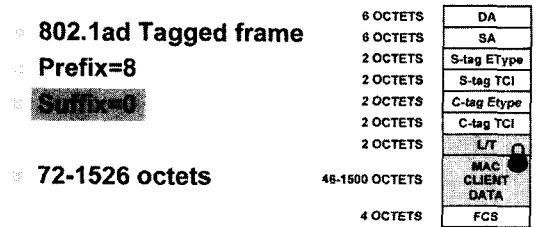
다음의 그림은 MAC 프레임 형식과 Envelope Prefix, Envelop Suffix 개념을 이

용하여 변경한 802.3 이더넷 프레임 형식이다.

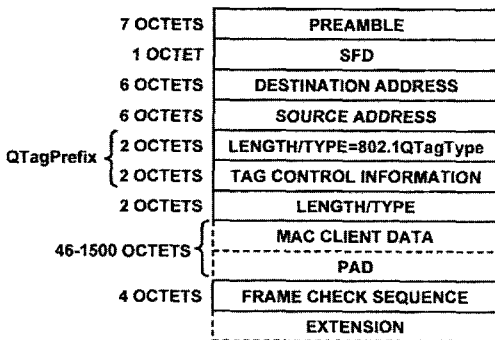
위의 Envelope MAC 프레임 형식을 이용하여 802.1Q Tagged Frame, 802.1ad Tagged Frame, 802.1AE MACSec Frame, MPLS Encapsulation 등을 표현해 보면 다음과 같다.



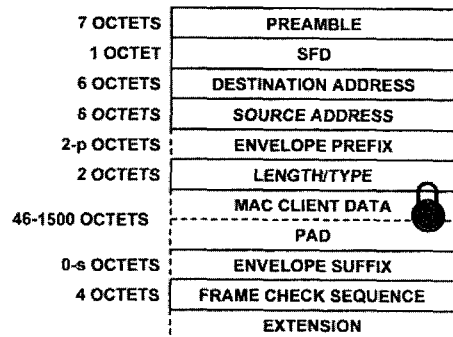
<그림 12> 802.1Q/VLAN Tagged 프레임



<그림 13> 802.1ad/Provider Bridge Tagged 프레임



Current Figure 3-3
Tagged MAC frame format



NEW Figure 3-3
Envelope MAC frame format

p is 2 to max[2, TBD - suffixSize]

s is 0 to max[0, TBD - prefixSize]

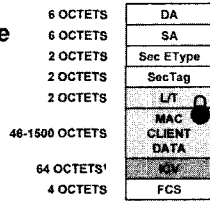
<그림 11> Envelope MAC 프레임 형식

802.1AE MACSec frame

Prefix=8

Suffix=0

132-1586 octets



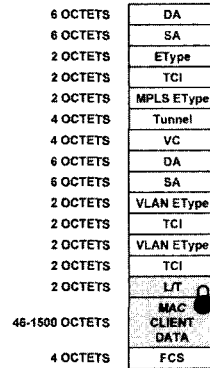
〈그림 14〉 802.1AE MACSec 프레임

MPLS encapsulation

Prefix=34

Suffix=0

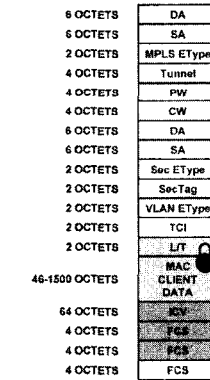
98-1552 octets

**MPLS encapsulation**

Prefix=34

Suffix=72

174-1628 octets



〈그림 15〉 MPLS Encapsulation 프레임

한편 2004년 9월, 11월 플레너리 회의에서

는 802.3 WG 참석자를 대상으로 프레임에 확장에 따른 최대 이더넷 프레임 사이즈에 대한 임시 투표를 실시하였는데 그 결과는 다음과 같다.

이상에서 설명한 802.3ap/ar/as 이외에도 IEEE 802.3 이더넷 워킹 그룹에서는 홈 네트워크에서의 이더넷 기술 적용을 위한 Residential Ethernet, 802.3af PoE(Power of Ethernet, 2002)보다 2배 이상의 전력을 공급할 수 있도록 하는 PoE Plus에 대한 스타디 그룹을 운영하고 있는 중이다.^[2]

III. 결론

이더넷 기술은 미국방성의 유선 패킷 통신 네트워크인 ARPA 네트워크(1969년)의 표준 프로토콜인 TCP/IP를 참조로 하여 발명된 이래 인터넷의 발전과 함께 대부분의 LAN 시장을 장악하고 타 기술등이 선점하고 있던 MAN/WAN/SAN 및 FA(Factory Automation) 등으로 그 활용 영역을 빠르게 확장하고 있고 현재 대부분의 네트워크에서는 이더넷을 기본 인터페이스로 채택하고 있는 상황이다.

또한 이더넷 기술은 기존 유무선 인터페이스를 가장 수용하고 무선 LAN(IEEE 802.11), 휴대 인터넷(IEEE 802.15)이 기존의 이동 통신 서비스와 달리 IEEE 802의 이더넷 기술을 기반으로 하고 있기 때문에 현재 국내외적으

〈표 1〉 최대 프레임 사이즈 투표

	1,875 Bytes	2,000 Bytes	2,048 Bytes	Other	Don't Care	Abstain	Total in room
09/04 FESG	5	3	1	-	-	9	9
11/04 FESG	4	6	4	-	-	28	28
11/04 .3 WG	0	13	8	1	3	17	-

로 진행중인 광대역 통합망 구축에도 가장 적합한 기술로 평가되고 있다.

이러한 전반적인 추세에 발맞추어 IEEE 802.3 이더넷 워킹 그룹은 10기가비트 이더넷 표준화 완료 이후 기존의 전송 속도 업그레이드에서 벗어나 가입자망 이더넷, 홈네트워크 이더넷, 백플레인 이더넷, 메트로 이더넷, 캐리어 이더넷 등의 새로운 적용 분야와 이를 지원하기 위한 Congestion Management, Frame Extension 등의 성능 향상에 관한 표준화를 활발하게 진행하고 있는 중이다.

근래의 이러한 네트워크 시장 변화에 발맞추어 국내에서도 많은 전문가들이 IEEE, ITU-T의 관련 표준화에 적극적으로 참여하고 있고, 전 세계에서 가장 발달한 유·무선 환경을 바탕으로 하여 각 분야에서 한국의 위상이 높아지고 있는 상황이다.

이상의 내용을 종합해 이더넷 기술은 다른 네트워크 기술과 비교하여 단순하면서도 고속화·광대역화한 기술로 더운 진화 발전할 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] IEEE Standard for Information Technology-Telecommunications and Information Exchange Between Systems-Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements, Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications, IEEE 802.3-2004.
- [2] <http://grouper.ieee.org/groups/802/3/index.html>
- [3] <http://grouper.ieee.org/groups/802/3/an>

(/ap/aq/ar/as)/index.html

- [4] Rich Seifert, "Gigabit Ethernet, Technology and Application for High Speed LANs," Addison-Wesley, 1998.
- [5] Dianiel Minoli, "Etherent Based Metro Area Networks," McGraw-Hill, 2002.
- [6] 윤중호외 3인, "네트워크 엔지니어를 위한 최신 이더넷," 교학사, 2002.

저자소개



강 태 규

1998년 2월 전북대학교 전자공학과 학사
 2000년 2월 전북대학교 전자공학과 석사
 2000년 3월 - 현재 한국전자통신연구원 선임연구원
 주관심 분야 BcN, 고속 LAN, 디지털 통신 & 변복조, 오류정정부호