

〈主 題〉

## 고속 이더넷(Fast Ethernet) LAN프로토콜 기술: IEEE802.3u:100Base-T4와 100Base-X

윤 종 호<sup>1)</sup>, 김 준 년<sup>2)</sup>

(한국항공대 통신정보공학과<sup>1)</sup>, 중앙대 전자공학과<sup>2)</sup>)

□ 차 례 □

- |  |  |
|--|--|
| I. 서 론<br>II. 100Base-T CSMA/CD프로토콜<br>III. 100Base-T4의 PCS, PMA, MDI 계층의 기능 | IV. 100Base-X의 PCS, PMA, MDI계층기능<br>V. 결 론 |
|--|--|

### I. 서 론

현재의 근거리통신망(local area network:LAN)사용자들이 1-16Mbps/s급의 저속 LAN프로토콜에 만  
 <표1>고속프로토콜의 표준

족하지 못하고, 보다 고속으로 대용량을 트래픽을 전송할 수 있는 프로토콜을 원하고 있다. 이러한 요구에 대응하기 위하여<표1>에 도시된 것과 같이 다양한 방식의 100Mbps/s이 상급인 고속프로토콜이 표준화

프로토콜	표준화 기관	분류/응용	LAN/MAN	전송속도	메이플종류	Overhead	노드당 평균 비용
EHDI	ANSI	Data	MAN	100Mbit/s	Optical	0.5%	\$2575
CHDI	ANSI	Data	LAN	100Mbit/s	Cat 5 UTP, STP	0.5%	\$1800
FDDI-II	ANSI	Multimedia	MAN	100Mbit/s	Optical	0.5%	?
FFDL	ANSI	Multimedia	MAN	150Mbit/s - 2Gbit/s	Optical	?	?
Fiber Channel	ANSI	Data	LAN	133,766,500Mbit/s, 2Gbit/s	Fiber, Thick, coin c, STP	1.7%	\$2575
High-speed token ring	IEEE	Multimedia	LAN	?	?	?	?
Isocronous Ethernet	IEEE	Multimedia	LAN	16Mbit/s	Cat 3, 4, 5 UTP, STP	1.6%	\$220-240
Fast Ethernet (100BASE-VG)	IEEE	Multimedia	LAN	100Mbit/s	Cat3, 4, 5 UTP, STP	1.6%	\$400
Fast Ethernet (100Mbit/s CSMA/CD)	IEEE	Data	LAN	100Mbit/s	Cat3, 4, 5 UTP, STP	1.6%	\$400
Full-duplex Fiberethernet	?	Data, multimedia	LAN	20Mbit/s	Cat3, 4, 5 UTP, STP	1.6%	\$1200

및 상용화되고 있다. 이러한 프로토콜들을 거리개념으로 분류하는 경우, 광케이블을 사용하여 장거리 고속전송이 목적인 fiber distributed data interface(FDDI), FDDI-II, FDDI follows on LAN(FFOL), distributed queue dual bus(DQDB)프로토콜등의 MAN용 프로토콜과, twisted pair케이블을 사용하여 단거리 고속전송을 목적으로 하는 IEEE802.3의 100Base-T 계열인 100Base-T4, 100Base-TX 과 IEEE802.12표준인 100Base-VG등의 새로운 프로토콜이외에, Fullduplex Ethernet, FDDI over copper (CDDI), highspeed token ring, isochronous Ethernet, Fiber Channel, HIPPI 프로토콜등의 LAN프로토콜로 구분할 수 있다. 특히 이러한 고속 LAN 프로토콜은 기존의 LAN시스템과 같은 수 100m반경내에 있는 workgroup내의 장비들간에 100Mbps/s의 고속으로 전송할 수 있고, 보다 저렴한 고속 LAN시스템을 원하는 다수의 사용자mf의 관심을 끌고 있다.

본고에서는 지금 현재 많은 곳에서 운용 중인 CSMA/CD프로토콜의 단점인 10Mbit/s의 저속문제를 해결하기 위하여 가까운 시일내에 IEEE802위원회에서 IEEE802.3 표준안으로 결정될 예정인 Hub형태의 100Mbit/s급 LAN프로토콜인 100Base-T4, 100Base-TX, 100Base-FX로 분류되는 100Base-T 계열의

100Mbit/s carrier sense multiple access with collision dtection (CSMA/CD)프로토콜의 동작과 구현방안에 대해 알아보며 <그림 1>에 각 방식들을 분류하였다. 이러한 IEEE 표준은 기존의 10BASE-T CSMA/CD LAN에서와 같이 <그림 2>에 도시된 것 처럼 hub에 다수개의 통신국이 연결된 성형 토폴로지를 가지며, 통신국과 hub간에 최대 100m의 unshielded twisted pair(UTP)케이블상에서 100Mbit/s의 속도로 패킷을 전송할 수 있다. 사용자는 100Mbit/s용의 새로운 케이블을 설치할 필요없이 "Play and Plug"방식으로, 즉 새로운 100Mbit/s CSMA/CD카드와 100Mbit/s용 hub를 구입하여 기존에 설치된 10 Mbit/s용 UTP케이블에 연결함으로써 up-grade 시킬 수 있다. 또한, 100Mbit/s CSMA/CD장비들은 10Mbit/s와 100Mbit/s 속도를 자동적으로 감지하는 기능이 있어, 사용자는 필요에 따라 10Mbps포트와 100Mbps포트를 선택하여 접속할 수 있다. 이러한 특징외에도, 100Mbit/s CSMS/CD 개발사들은 CDDI(copper based FDDI)등과 경쟁하기 위하여 기존의 10BASE-T시스템 가격의 2배이하인 저렴한 가격으로 망을 구성할 수 있도록 제품을 개발하고 있어, 기존의 10BASE-T 보다 높은 가격대 성능비를 달성할 수 있다.

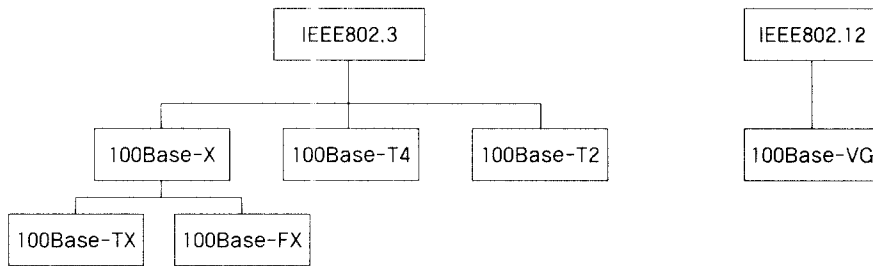


그림 1. IEEE802표준 100Mbps LAN의 분류

<표 2> 100Mbps/s CSMA/CD proposals

MAC name	Cable	Number of pair(data/total)	Line coding	bps/Baud rate per each data pair	Company
100Base-T4	UTP Cat.3,4,5	3/4	8B/6T	33.3Mbps /25MHz	3Com, SynOptics,Sun, Intel, ChipCom
100BASE-X	UTP Cat.5, STP	1/2	4B/5B	100Mbps/125MHz	Grand Junction Networks
100Base-VG	UTP3,4,5 STP	4/4	5B6B NRZ	25Mbps /30MHz	HP, Accton

<주> UTP : Unshielded twisted pair ; STP : Shielded twisted pair ; Cat : Category

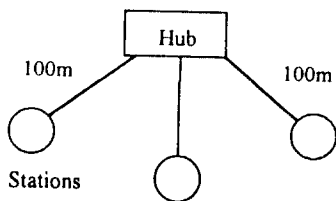


그림 2. Network topology

100Mbit/s급의 고속전송을 보장할 수 있는 여러가지의 PCS 및 PMA 방식은 <표2>와 같다. 이 방식의 공통점은 통신국과 hub간에 연결된 최대 100m의 EIA-568 Category 3 또는 5급의 UTP케이블상에서 100Mbps의 고속 전송을 수행할 수 있다는 점이다.

II. 100Base-T CSMA/CD프로토콜

2.1 개요

이 프로토콜은 기본적으로 기존의 CSMA/CD프로토콜을 사용하면서 100Mbit/s에 대응하는 고속신호처

리기능은 추가한 것이다. 따라서, <표 3>과 <그림 3>와 같이 100Mbps100 CSMA/CD의 동작변수와 성능 및 지연시간 곡선도 이미 잘 알려진 10Mbps100 CSMA/CD의 것과 유사하다. 그리고, 라인코딩을 담당하는 PLS부분은 100Mbps에 부적합한 기존의 Manchester code 대신에 새로운 line coding방식을 사용한다. 또한 대부분의 100Base-T CSMA/CD프로토콜에서는 전송속도를 높이기 위해<그림 4>처럼 RJ45에 연결된 4-pair의 라인을 모두 사용하므로, collision detection, jamming, jabber control등을 수행하는 PMA부분도 새로운 방식이 사용된다.

<표 3> 100 및 100Mbps CSMA/CD프로토콜의 동작 파라미터의 비교

parameters	10Mbps	100Mbps
slottime	512bit times	512bit times
interFrameGap	9.6us	9.6us
attemptLimit	16	16
backoffLimit	10	10
jamSize	32bits	32bits
maxFrameSize	1518(preamble/std 제외, FCS 포함)	1518
minFrameSize	64bytes	64bytes
addressSize	6bytes	6bytes

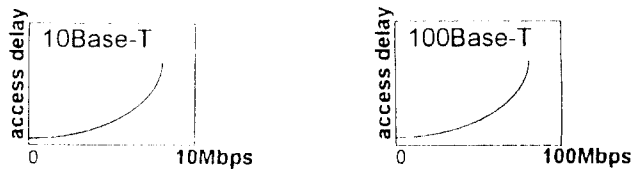
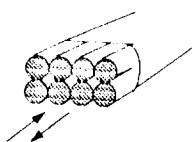
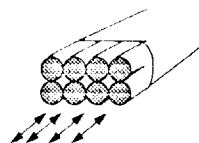


그림 3. 10Mbps 및 100Mbps CSMA/CD의 성능곡선의 비교



UTP Cat.3케이블  
Two Pair사용  
10Mbps  
Manchester 코드



UTP Cat.3/5케이블  
2/3/4 Pair  
100Mbps  
4B5B, 8B6T, 5B6B 코드

그림 4. 10Mbps 및 100Mbps급 LAN에서의 cable사용방법의 차이점

2.2 계층구조

100Mbps Csrna/CD의 계층구조는 <그림 5>에 도시되어 있다. 100Base-T4는 10Mbps와 100Mbps를 모두 지원해야 하므로 10Base-T의 PLS/PMA 구조와

100Mbps에 사용되는 8B6T 코딩을 위한 PCS계층을 함께 갖고 있다. 또한, 100Base-X는 매체의 종류에 따라 두가지 종류의 PMD계층으로 정의된다.\

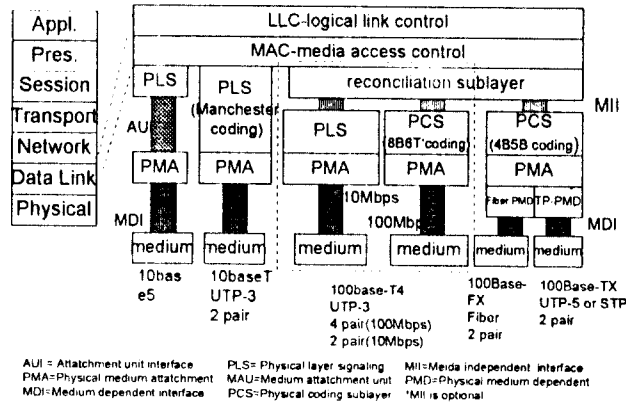


그림 5. 10/100Mbps CSMA/CD의 계층구조

2.3 정합 부계층 및 매체 독립적 접속부의 기능

(reconciliation) 부계층 및 매체 독립적 접속부(MII)는 100Base-X 및 100Base-T4모두에 대하여 공통적인 부분이다. 40pin의 MII를 통하여, MAC controller에게 물리계층의 종류에 무관하게 PLS primitive를 사용하여 데이터 및 관리정보를 교환할 수 있는 통일된 인터페이스가 제공된다. 또한 10Mbps 및 100Mbps의 전송을 모두 지원할 수 있어야 하며, 4비트의 nibble 형태의 송신 및 수신용 병렬전송로가 각각 제공된다. 예를 들어, 1,0,또는 송신완료라고 하는 3가지 parameter OUTPUT\_UNIT가 사용되는 경우, PLS\_DATA, request(OUTPUT\_UNIT)라는 primitive에 대한 MII 출력은 TXD(3:0), TX\_EN, TX\_CLK가 된다. 즉, <그림 6>과 같이, MAC으로 부터 송신요구된 비트열의 각 비트들이 OUTPUT\_UNIT이며, 정합부계층에서는 이것을 nibble로 조합하여 전송하고, 전송중에는 TX\_EN을 비활성화 시킨다. TX\_CLK는 MAC계층과 정합부계층간의 동기를 맞추는데 사용되며, 100Mbps 및 10Mbps전송시 TX\_CLK는 각각 25MHz 및 2.5MHz이다. <그림 7>에는 전송되는 MAC frame의 비트열이 MII를 통하여 nibble형태로 병렬전송되는 방법을 도시한 것이다. RX\_DV신호는 수신중에 활성화 되며, 반면에 CRS(carrier sense)신호는 송수신중에 항상 활성화 된다. 또한, COL신호는 충돌감지시 발생된다. MDIO

(Management Data Input/Output)은 STA(Station Management Entity)와의 제어정보를MDC(Management Data Clock)에 의해 tri-state회로를 사용하여 교환한다. 교환되는 제어정보는 PHY의 reset, loopback mode설정, 10/100Mbps의 동작속도의 설정, 자동 동작속도 설정용 auto-negotiation 과정의 활성화/비활성화의 설정, PHY와 MII간의 전기적인 분리여부, auto-negotiation과정의 재시동, duplex mode의 설정, 충돌과정 검사과정의 활성화/비활성화의 설정 등이다. 또한 100Base-T4, FDX 100Base-X, HDX 100Base-X, 10Mbps FDX, 10Mbps HDX 중 어느 것인지를 표시하고, auto-negotiation과정의 완료여부, auto-negotiation동작가능 여부, 링크의 up/down 상태, jabber의 존재여부등을 보고하는 기능이 수행된다.

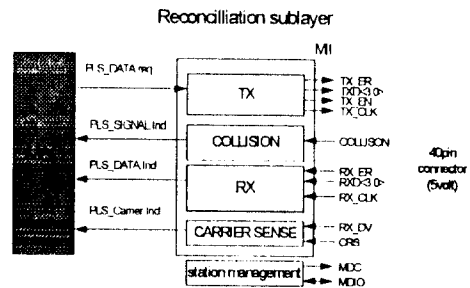
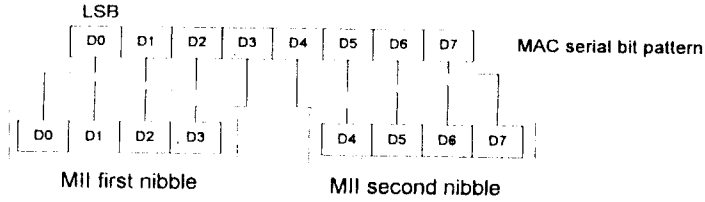


그림 6. 정합 부계층의 기능



signal	bit values of nibbles transmitted through MII																	
TxD0	x	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	D0	D4
TxD1	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	D1	D5
TxD2	x	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	D2	D6
TxD3	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	D3	D7
TxEN	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

preamble(7bytes) SFD Data

그림 7. MII를 통한 비트열의 전송예

III. 100Base-T4의 PCS, PMA, MDI 계층의 기능

3.1 동작원리

이 방식의 특징은 10Mbps/s Ethernet과 같은 형태의 MAC프레임을 사용하므로써, 10Mbps CSMA/CD와 새로운 100Mbps CSMA/CD가 공존할 수 있다는 점이다. 이 방식에서는 <그림 8>와 같이 케이블을 운용한다.

이러한 케이블 방식에서는 <그림 9>과 그림 10>에 도시된 것과 같이, 데이터의 전송은 pair 1,3,4의 3쌍의 케이블을 통해 수행되고, 나머지 pair 2케이블은 다른 통신국에서 전송한 carrier를 감지하는데 사용된다. 즉, 전송중 pair 2로 carrier가 수신되는 경우 충돌이 발생되었음을 감지하고, 즉시 전송을 중지한 뒤 backoff상태로 천이한다. 이러한 carrier sense 방식과 충돌감지 기능은 기존의 10BASE-T방식의 충돌감지 기능과 동일하다.

- TX or RX on 3 pair : 33.333Mbps for each pair
- Remaining pair : Use for collision detection while transmitting

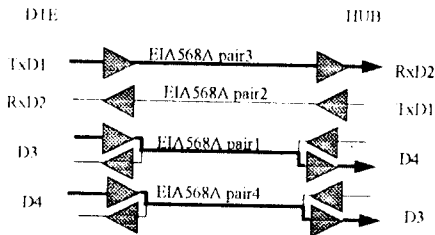


그림 8. 100Base-T4의 케이블 운용

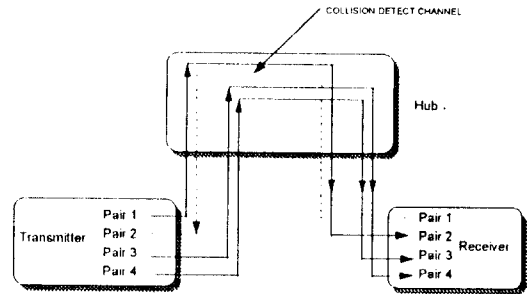


그림 9. 100Base-T4방식의 동작(데이터 전송시)

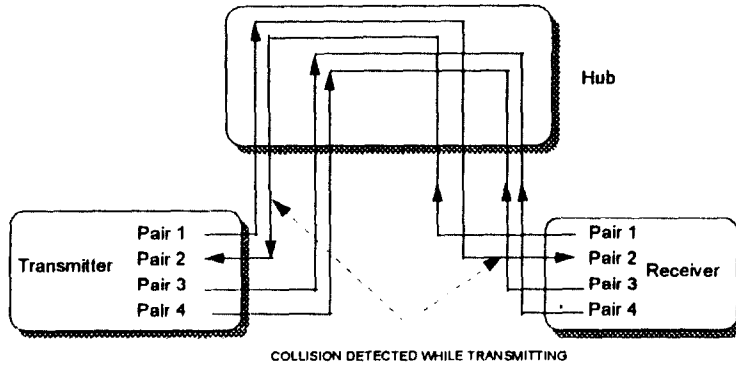


그림 10. 100Base-T4방식의 충돌감지 동작

2 PCS/PMA/MDI부분의 기능

(1) PCS(Physical Coding Sublayer)

MII로부 전달된 nibble 데이터를 8B6T code로 변환

하는 기능을 수행하여 PMA로 전달하며, 내부 구조는 <그림 11>과 같다.

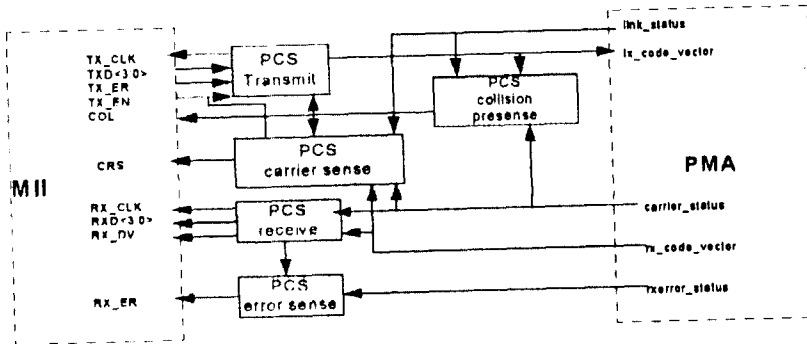


그림 11. PCS계층의 구조

8B6T code는 <그림 12>와 <표 4>와 같이, 8비트의 데이터를 6개의 ternary symbol code로 변환하여, 각 ternary symbol을 40ns동안 전송한다. 25MHz의 baud rate로 전송되는 셈이며 bps로 보면 각 point마다  $25M \cdot (8/6) = 33.333Mbps$  로서 3pair의 송신선로가 사용되는 경우 100Mbps의 전송속도가 된다. 이러한 25MHz의 baud rate는 기존의 10BASE-T의 20MHz baud rate에 근접한 속도이므로, crosstalk성능이 나쁜 Cat. 3 UTP 케이블상에서도 100Mbps로 전송할 수 있는 이유가 된다. 이렇게 만들어진 6T code들은 3pair의 UTP케이블 상으로 전송되도록 <그림 13>과 같이 PMA로 전달된다. 그림에서와 같이 각 data group들을 2T 간격으로 어긋나게 전송하는 이유는 각 byte 간의 crosstalk을 예방하기 위함이다. P3,P4 등의 코드들은 2T 간격을 두고 어긋나게 전송되는 데이터들에 대하여 송신개시시간을 통일하도록 하는

조정용 코드이며, EOP들은 송신완료를 알리는 code들이다. 이렇게 nibble 들을 MII로 부터 받아서 8B6T 코드로 변환하여, 2T 간격으로 어긋나게 하여 PMA로 전송하도록 하는 PCS는 <그림 14>와 같이 구현될 수 있다. 25Mhz clock에 의해 nibble이 MII로 부터 전달되면, 두개의 nibble에 대하여 8B6T encoder로 6T code들을 생성시켜, 2T간격마다 각 출력저장 레지스터에 저장한다.

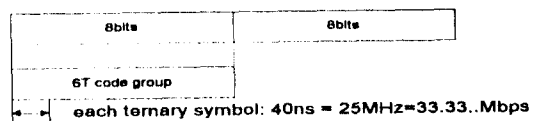


그림 12. 100Base-T4용 8B6T code

<표 4> 6T code의 예

(a) 데이터용 6T code

data octet	6T code group
00	+ - 0 0 + -
01	0 + - + - 0
...	
fe	- + 0 + 0 0
ff	+ 0 - + 0 0

(b) 정렬용으로 특별히 사용되는 6T codes

element name	6T code group
SOSA	1 -1 1 -1 1 -1
SOSB	1 -1 1 -1 -1 -1
p3	1 -1
p4	1 -1 1 -1
data	table 참조
EOP1	1 1 1 1 1 1
EOP2	1 1 1 1 -1 -1
EOP3	1 1 -1 -1 0 0
EOP4	-1 -1 -1 -1 -1 -1
EOP5	-1 -1 0 0 0 0

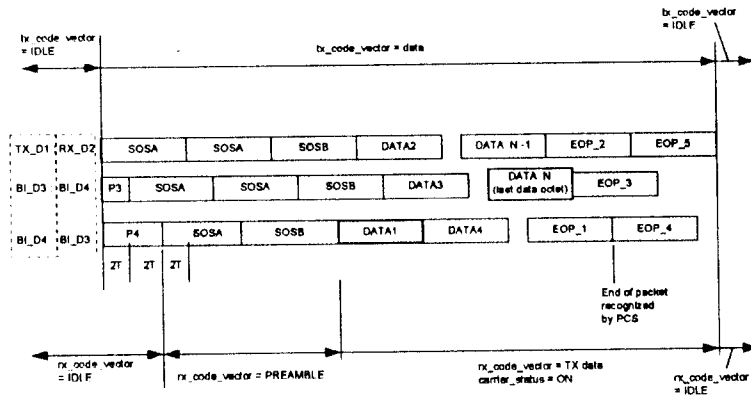


그림 13. PCS에서 PMA으로의 전달되는 frame의 구조

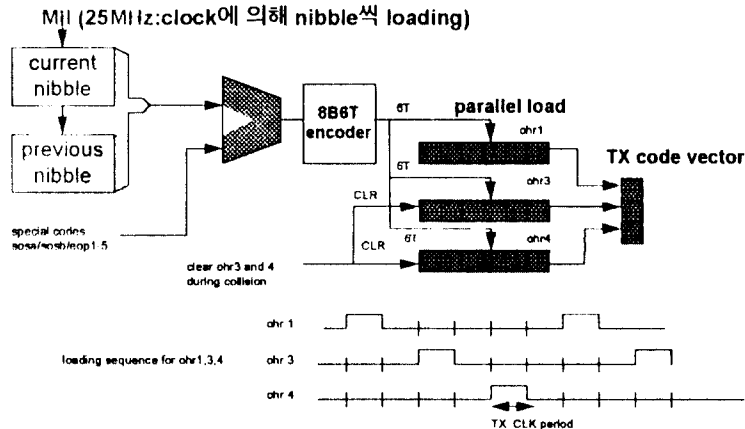


그림 14. PCS 송신부의 구조

(2)PMA의 기능

PMA는 <그림 15>와 같이 하나의 PMA reset기능과 PMA 송신, PMA 수신, PMA 반송파 감지 링크 충실도(link integrity), PMA 정렬 클럭 재생 기능등을 수행하여, PCS와 MDI간의 접속기능을 수행한다. 예를 들어, PMA 송신기능은 tx\_code\_vector가 data

이고, carrier status가 OFF일 때, MDI의 TX\_D1, B1\_D3, BI\_D4로 PCS에서 전달된 tx\_code\_vector를 송신한다. 이때 송신되는 baseband pulse는 ternary pulse로서 +3.5, 0, -3.5V의 진폭을 가진다. 그리고, carrier sense o 기능은 RX\_D2 pair의 신호에 의하여 carrier의 유무를 결정한다. 또한, link integrity 기능은

RX\_D2 pair의 신호에 의하여 carrier의 유무를 결정한다. 또한, link integrity 기능은 RX\_D2 pair를 통하여, hub의 동작여부 및 protocol이 적합한지를 수신된 link integrity test pulse의 갯수를 검사하여 만약에

규정된 갯수 이상의 pulse가 수신되지 않으면, hub의 기능이 불량하다고 간주하고 송신을 개시하지 않도록 하는 기능이다.

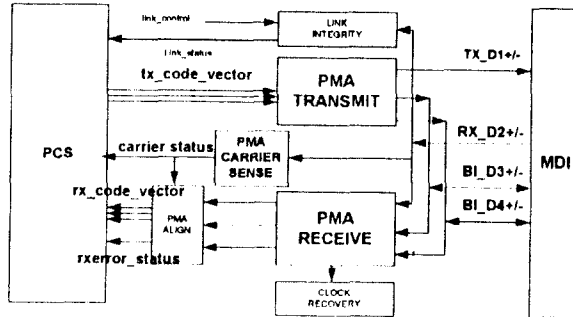


그림 15. PMA의 구조

(3) MDI

MDI는 100ohm의 Cat.3 UTP와 8pin의 RJ-45 커넥터에 대한 규정으로서 <표 5>와 <그림 16>과 같다.

<표 5> 100Base-T421 MDI pin 할당

pin 번호	PMA signal for DTE
1	TX_D1+
2	TX_D1-
3	RX_D2+
4	BI_D3+
5	BI_D3-
6	RX_D2-
7	BI_D4+
8	BI_D4-

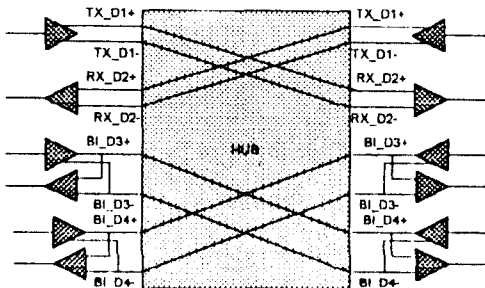


그림 16. 100Base-T4의 MDI연결

IV. 100Base-X의 PCS, PMA, MDI계층의 기능

4.1 동작원리

이 방식은 ANSI X. T9.5에서 표준화 중인 copper-based distributed data interface(CDDI)용 TP-PMD

부분을 CSMA/CD방식에 이용하는 프로토콜이다. 그러나, 이 방식은 아직까지 Cat. 3 UTP 케이블을 사용할 수 없고 CDDI의 전송선로로 고려되고 있는 STP나 Car.5 UTP케이블의 2pair를 사용된다. 이 방식의 계층구조는 <그림 17>과 같다.

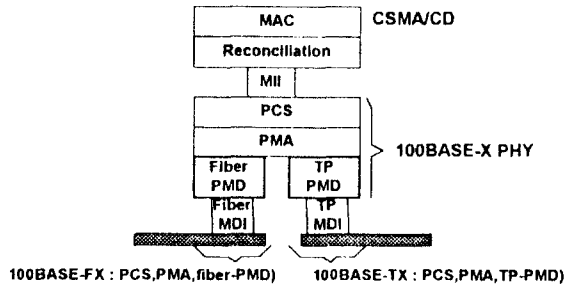


그림 17. 100Base-X의 계층구조

100Base-X의 기본적인 구현방법은 <그림 18>과 같이 CDDI의 PMD기술과 CSMA/CD MAC기술을 정합시키기 위한 것으로서, 새로운 코딩 방법은 필요없으나 CDDI의 PMD기술을 이용하기 때문에 Cat.3 UTP cable을 사용할 수 없다는 단점이 있다.

<그림 19>에 도시된 수렴 부계층(convergence sublayer)의 동작은 FDDI PMD의 동작을 CSMA/CD 기능으로 변환하는 기능으로서 다음과 같은 4가지 CSMA/CD기능을 emulation한다.

- 1) Carrier의 감지 : PMD로 부터 non-IDLE심볼을 감지한 경우이다.
- 2) 송신 : 채널이 idle한 경우 MAC에서 송신요구한 비트들을 4비트를 단위로 하나의 5비트 심볼로 변



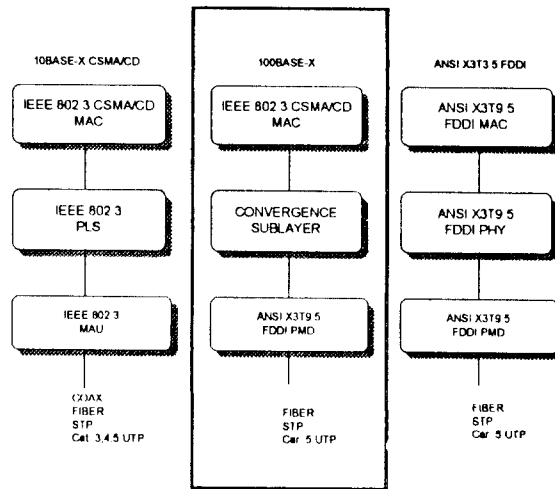


그림 18. 100BASE-X 프로토콜의 구성

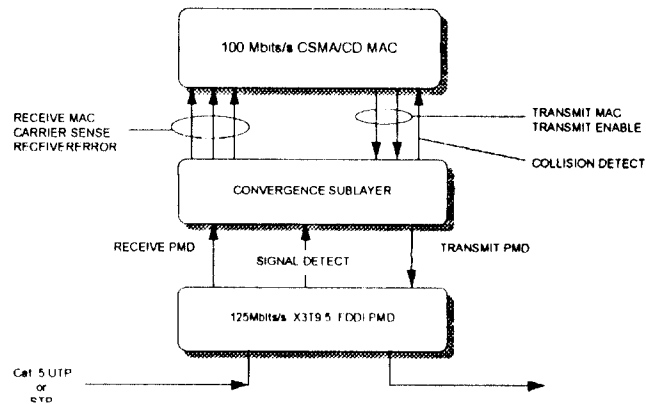


그림 19. 100BASE-X 프로토콜의 수렴 부계층의 기능.

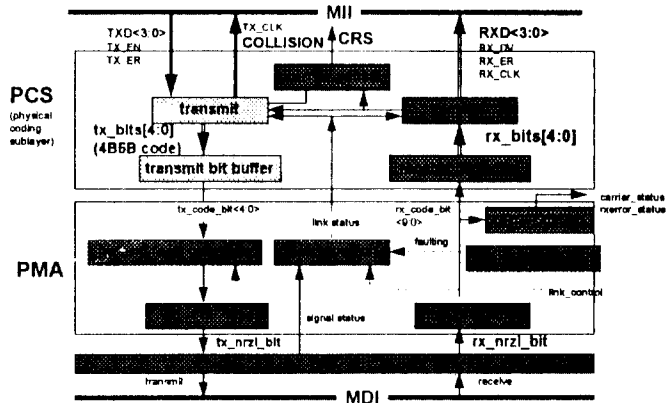


그림 20. 100BASE-X의 계층구조

환하여 전송한다. 이 방식은 바로 X3T9.5의 물리계층 프로토콜인 PHY부분의 동작을 수행하는 것이다.

3) 수신: 수신된 5비트 심볼을 다시 4비트의 데이터로 복원하여 MAC계층으로 전달한다.

4) 충돌감지 : 이 기능은 송신동작중에 carrier를 감지하면 충돌을 인식하고 이 충돌 사실을 MAC에게 알린다.

<그림 20>은 100Base-X의 PCS이하 부분의 기능을 블록화하여 도시한 것이다. Reconciliation 및 MII는 100Base-T4와 같이 구현된다.

### 4.2 PCS계층

PCS계층은 8B6T coding이 아닌, FDDI에서 사용하

는 4B5B coding방식을 사용하므로 실제 링크속도는 125Mbps가 된다. 또한 PCS계층은 FDDI와 CSMA/CD간의 정합기능을 수행하여, 송수신되는 5B 심볼로서 carrier sense 및 충돌 감지 기능을 emulation 한다. PCS는 MII를 통하여 전달 받은 802.3 MAC PDU를 <그림 21>과 같이 Encapsulation 하여 PMA로 전달한다. 이때, preamble중 첫번째 바이트는 FDDI에서 규정된 것 처럼, J-K code를 사용하는 start of stream delimiter(SSD)로 변환되며, 이후의 모든 MAC PDU부분은 data symbol로 변환된다. 마지막으로 FCS이후에 end fo stream delimiter(ESD)를 부착하여 PMA로 전달되도록 한다. <그림 22>는 PCS 의 encoder/decoder부분을 도시한 것이다.

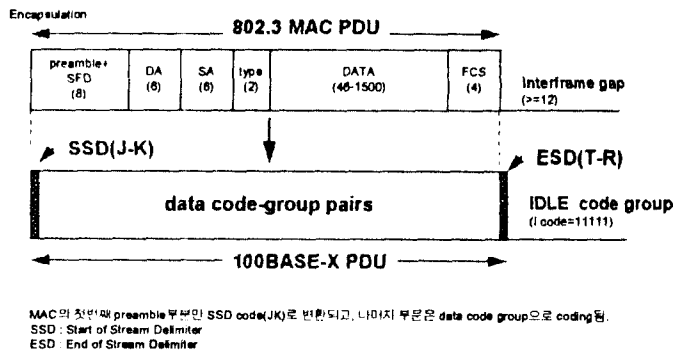


그림 21. 100BASE-X의 encapsulation방법

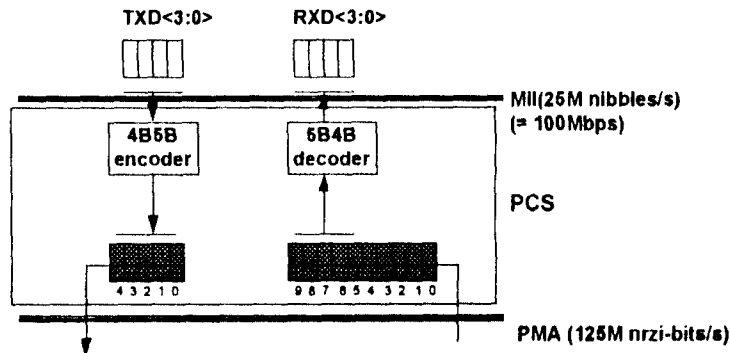


그림 22. 100BASE-X의 PCS계층 기능

### 4.3 PMA

PMA는 PCS에서 전달 받은 code-bit들을 NRZI code로 변환하는 기능을 수행하며, 또한, PMD의 동작여부를 검사하고, carrier sensing 및 선택적으로 상대 통신국의 고장여부를 감지하는 기능을 수행한다.

### 5.4 PMD

100Base-T4에는 없는 계층으로서 TP-PMD와

fiber-PMD의 두 종류가 있으며, 각각 CDDI와 FDDI에서 정의된 PMD와 같으나, station managements (SMT)기능은 없다.

(1)100Base-TX PMD/MDI

UTP Cat.5/STP케이블 중 2pair만 사용하며 각각의 pair는 FDDI처럼 송신과 수신을 담당한다. MDI의 pin 할당은 다음과 같다.

pin 번호	PMA signal for DTE
1	TX+
2	TX-
3	RX+
4	Not used
5	Not used
6	RX-
7	Not used
8	Not used

<표 5> 100Base-T의 기타 고속 LAN프로토콜과의 비교

	100Base-T	FDDI	ATM
Max bps	100Mbps	100Mbps	25/155Mbps
cost per port	\$600	\$2575	\$600(25Mbps) \$4400(155Mbps)
구조	shared media	shared media	switch
copper cabling	cat.3/5 UTP, STP	cat. 5 UTP, STP	cat.3/5 UTP, STP
latency	variable min. 121ms (VG) max. 30ms(T4)	variable 100-200ms	variable 20-30ms
network overhead	1.6%	0.5%	9.5%

<표 6> 고속 전송기술의 비교

그리고, 앞으로의 망의 발전 추세에 따라 가까운 시일내에 전개될 100Mbit/s LAN들은 <그림 23>과 같은 고속망에 접속되어 근거리로 접속된 다수의 multimedia장비들은 고속으로 연결할 수 있을 것이다. 그러므로, 국내에서도 기존의 기술을 활용하고, 개발될 ATM장비들을 가입자 측면에서 효과적으로 활용할 수 있도록 이러한 고속 LAN분야에 관심을 기울여야 할 것이다.

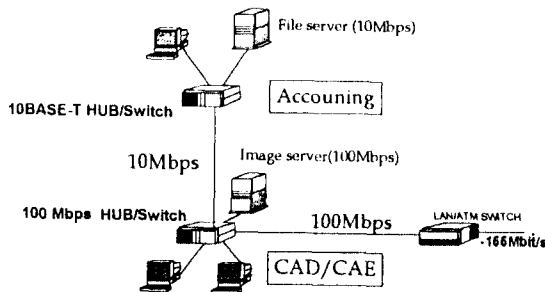


그림 23. 100Mbps/s급 LAN의 활용

(2) 100Base-FX PMD/MDI

SC, media interface connector(MIC), ST등 세가지의 코넥터를 사용할 수 있다.

V. 결 론

본고에서 살펴본 100Base-T의 프로토콜과 다른 프로토콜과 비교하면, <표 5>와 <표 6>과 같다.

김 준 년

• 중앙대 전자공학과 교수

윤 중 호

• 한국항공대통신정보공학과 교수