

## VDSL 기술동향

이 훈, 김 봉 태

한국전자통신연구원

### 요 약

본 고에서는 인터넷 가입자의 지속적인 초고속 서비스 수요증가에 따라 차세대 xDSL 기술로 부상하고 있는 VDSL기술의 특성과 표준화 동향을 소개한다. VDSL 기술은 FTTC가입자 망의 전화동선 구간에 비대칭 52Mbps/6.4Mbps, 대칭 34Mbps의 데이터 전송이 가능하여 인터넷 방송, 주문형 비디오(VoD), 원격과외/교육(EoD), 고화질 TV 등 대용량의 멀티미디어 서비스를 경제적으로 제공할 수 있다. VDSL은 가입자 댁내까지 광선로가 포설되는 FTTH 가입자 망 기술의 경제성 및 사업성이 확보될 때까지 ADSL에 이은 새로운 초고속 인터넷 접속기술로 활용될 것으로 기대된다.

### I. 서 론

ADSL 보다 고속의 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 가입자 망의 일부 또는 전부를 광섬유 기반으로 전환하여야 한다. 가입자 망에 광선로가 도입된 FITL(Fiber In The Loop) 방식에는 광선로의 도입 범위에 따라 FTTx(x는 Home, Curb, Building 등)로 분류한다. VDSL은 FTTC 또는 FTTB 등과 같이 가입자 선로 마지막 동선 구간의 비교적 짧은 거리(1.5Km 이내)에 적용되어 ADSL 보다 10배 정도 빠른 속도로 데이터를 전송할 수 있다.

VDSL은 고속 대칭 서비스를 위해 4개의 신호 밴드를 사용하며 ATM, STM 및 PTM(Packet Transfer Mode)를 모두 지원하고, QAM 변복조 방식 모델과 DMT(Discrete Multi-Tone) 변복조 방식 모델이 각각 별도의 표준화를 진행하고 있다.

VDSL 모델은 크게 Transport Protocol Specific-Transmission Convergence(TPS-TC) 부계층, Physical Media Specific TC(PMS-TC) 부계층, 그리고 Physical Media Dependent(PMD) 부계층으로 나뉘며, 현재 PMD를 제외한 대부분의 국제 표준화가 완료단계에 있다. PMD 부계층은 변복조 방식에 대한 표준화가 진행 중이며, Quadrature Amplitude Modulation(QAM) 방식과 Discrete Multi-Tone(DMT) 방식에 대한 표준화가 병행하게 진행되어 대부분 완료되었고, 조만간 ITU-T에서 이 중 하나를 표준 변복조 방식으로 채택할 계획이다<sup>[1]</sup>.

DMT 변복조 방식은 QAM 방식과 달리 사용하는 전체 신호대역을 다수개의 부채널로 나누어 각 부채널 별로 채널 및 잡음에 의한 영향을 측정 후, 채널 상태에 따라서 각 부채널에 비트 할당을 달리 하는 방식이다<sup>[2]</sup>. DMT 기술은 이론적으로 Shanon Capacity에 근접한 성능을 보이며, 특히 주파수 선택적인 잡음에 강하다. 그러나 채널의 특성을 파악하기 위한 과정이 추가로 필요하여 초기화 과정이 복잡하고 시간이 오래 걸리며 하드웨어가 복잡하다.

본 고의 II장에서는 VDSL을 포함하는 액세스 망 구조를 상술한 후, 제III장에서 국제 표준을

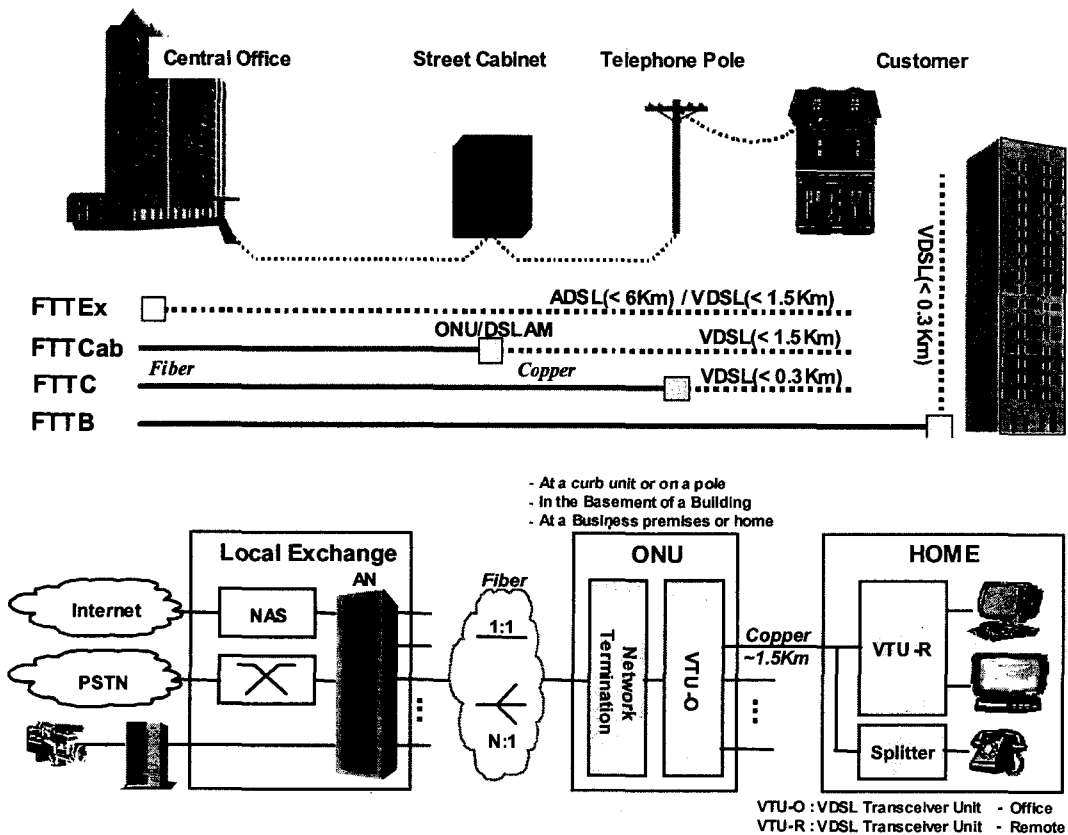
기반으로 한 VDSL 규격 및 주요 이슈를 논의한다. 제 IV 장에서는 주요 이슈 중 하나인 QAM/DMT 변복조 기술을 상술하며, 제 V 장에서는 VDSL의 응용 예를 기술한다.

## II. VDSL 적용망 구조

VDSL은 <그림 1>과 같이 FTTx망의 종단에 위치하여 망과 가입자 단말간 고속 대용량 데이터 정합을 수행한다. 이때 광선로를 이용하는 FTTx망과 동선 전화선로를 이용하는 VDSL의 정합은 Optical Network Unit(ONU) 또는 DSL Access Multiplexer(DSLAM) 등으로 불리는 광 종단장치가 담당하며<sup>[8]</sup>, 광 종단장치는

<그림 1>에서 보는 바와 같이 주택 인근의 street cabinet, 전신주, 아파트 통신실 또는 사무실과 맥내에 위치할 수 있다.

<그림 1>에서 각 전화국사의 Access Node (AN)에는 인터넷망, Public Service Telephone Network(PSTN) 및 영상 서버 등이 연결되며, AN을 거친 데이터는 1:1 또는 1:N 분주의 광선로를 통해 광 종단장치로 전송된다<sup>[8]</sup>. 광 종단장치는 Network Termination (NT)과 VDSL Transceiver Unit-Office (VTU-O, 또는 VTU-C: VTU-Central Office)로 구성되며, VTU-O는 가입자 단말의 VDSL Transceiver Unit-Remote(VTU-R)와 VDSL 링크를 구성한다<sup>[1]</sup>. 이때 VTU-O에서 VTU-R로의 데이터 전송을 하향, 이의 역방향 전송을 상향 전송이라 한다. 가입자 단말은



<그림 1> VDSL 적용망 구조

광 중단장치로부터 최대 1.5Km 이내에 위치하며, VTU-O와 VTU-R 사이의 거리에 따라서 최고 하향 52Mbps, 상향 6.4Mbps의 고속 대칭 서비스 또는 양방향 34Mbps의 고속 대칭 서비스가 가능하다.

VDSL은 동선 전화 선로를 기존 음성전화 서비스와 동시에 사용하므로, 음성 전화 서비스에 영향을 주지 않도록 설계되어야 한다. 따라서 VDSL의 신호대역은 음성전화의 신호 대역과 주파수가 구분되도록 위치하며, <그림 1>에서와 같이 splitter를 사용하여 음성신호를 분리한다. Splitter는 음성 전화 신호와 VDSL 신호를 분리하는 아날로그 필터 역할을 담당한다.

### III. VDSL 기술

본 장에서는 VDSL 기술에 대해 기술한다. VDSL 기술의 주요 이슈는 전송선로 환경, 전송 거리 및 속도, 밴드 할당, 모뎀의 기능구조 및 초기화를 포함한 Operation And Management (OAM)이다.

#### 1. 전송선로 환경

동선 전화선로는 Unshielded Twisted Pair (UTP)이며, 차폐가 이루어지지 않으므로 외부 잡음의 영향을 많이 받는다. 또한 덕내에 인입 되기 전까지 다수의 전화선로가 대형 케이블 번들에 공존하며, 따라서 동일 케이블 번들 내에 공존하는 인접한 가입자의 DSL 모뎀 선로에서 기인하는 누화(Crosstalk)의 영향을 받는다.

VDSL 모뎀의 성능에 영향을 미치는 감쇄 요인 및 잡음은 다음과 같다<sup>[1]</sup>.

- 주파수 증가에 따른 채널의 신호 감쇄
- Bridged 탭
- FEXT(Far-End CrossTalk)
- NEXT(Near-End CrossTalk)
- Hybrid Echo
- Background 잡음

- 열잡음
- RF 잡음
- AM/SW 방송 잡음
- 임펄스 잡음
- 양자화 잡음

고속 데이터 전송을 위해 VDSL은 1.1MHz~12MHz의 신호대역을 사용하며, 이때 VDSL 송신 신호의 Power Spectral Density(PSD)는 전체 신호 대역에 대해  $-60\text{dBm/Hz}$ 이다. 그러나 인접한 ADSL모뎀에 영향을 주지 않는 경우 VDSL의 전송 속도를 높이기 위해 1.1MHz 인근 대역의 PSD를 높여서 전송 할 수 있는 PSD boost 모드를 지원한다<sup>[1]</sup>.

Radio Frequency(RF, 아마추어 HAM) 잡음은 비차폐 동선 전화선로를 사용하는 VDSL 모뎀의 성능에 많은 영향을 주며, 따라서 VDSL 모뎀은 RF 잡음에 의한 영향(RFI: RF Ingress)을 받지 않도록 설계되어야 하고, 또한 HAM에 영향을 주지도(RFE: RF Egress) 않아야 한다. 이를 위해서 VDSL 모뎀은 송신부 최종 출력단과 수신부 입력단에 RF notch 필터를 두어야 하며, RF notch 필터는 RF 밴드의 VDSL PSD를  $-80\text{dBm/Hz}$ 까지 제한한다<sup>[1]</sup>. RF notch 필터에 의한 영향을 고려한 VDSL 송신 신호의 최종 출력은  $-11.5\text{dBm}$ 을 초과할 수 없다.

#### 2. 표준화

VDSL기술의 국제표준화는 ANSI T1E1.4<sup>[2][3]</sup>, ETSI TM6<sup>[4]</sup>, FS-VDSL<sup>[7]</sup>, DSL Forum 및 ITU-T Q4<sup>[5]</sup>에서 진행중이다. ANSI T1E1.4 및 ETSI에서는 주로 VDSL 모뎀에 관한 규격을 정하고 있으며, DSL Forum에서는 테스트 및 interoperability에 대한 규격을, FS-VDSL에는 VDSL에 기반을 둔 멀티 서비스 망 구조를 정립중이다. 이들 기구에서 확정된 규격은 ITU-T에서 국제 표준화를 진행한다.

VDSL 표준화의 특징은 변복조 방식이 Quadrature Amplitude Modulation(QAM) 방식

〈표 1〉 ANSI T1E1.4 Standard Profiles<sup>[2]</sup>

Service Type	DN Data Rate (Mbps)	UP Data Rate (Mbps)	Service Type	DN Data Rate (Mbps)	UP Data Rate (Mbps)
Symmetric			Asymmetric		
Short (1000ft)	~52	~6.4	Short (1000ft)	~34	~34
	~34/38.2	~4.3		~26	~26
Medium (3000ft)	~26	~3.2	Medium (3000ft)	~19	~19
	~19	~2.3		~13	~13
Long (4500ft)	~13	~1.6	Long (4500ft)	~6.5	~6.5
	~6.5	~1.6/0.8		~4.3	~4.3
				~2.3	~2.3

과 Discrete Multi-Tone(DMT) 방식 등 두 가지인 점이다. 현재 국제 표준화는 이들 각각의 변복조 방식에 대해 독립적으로 이루어지고 있으며, ANSI T1E1.4는 각각의 변복조 방식에 대해 문서를 구분하여 작성중이다<sup>[1]~[3]</sup>. ITU-T는 2002년 말에 이들 두 변복조 방식 중 하나를 VDSL의 표준 변복조 방식으로 채택할 계획이다.

### 3. 전송 거리 vs. 속도

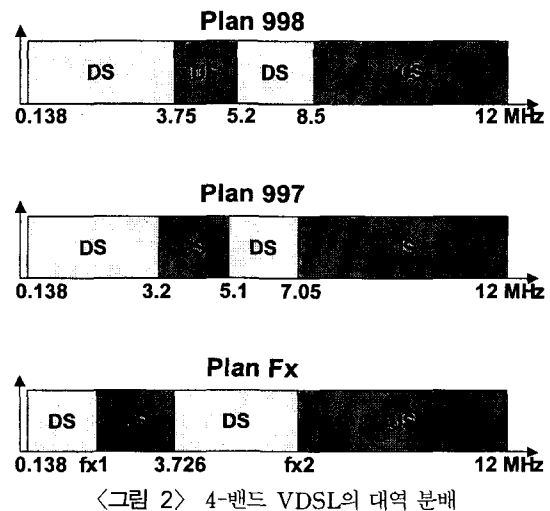
VDSL은 전송 거리에 따라서 주파수에 따른 전송선로의 신호 감쇄가 변하며, 누화 및 잡음등 채널 환경이 시간과 장소의 함수이다. 따라서 VDSL 모뎀은 데이터 전송속도를 가변 가능하도록 설계되어야 한다. 이때 요구되는 전송속도는 〈표 1〉과 같이 대칭 및 비대칭으로 나뉘고, 각각 대칭 및 비대칭 서비스 또한 도달 거리에 따라서 전송속도 요구사항이 달라진다.

### 4. Universal Band Allocation(UBA)

전체 사용 신호대역에 상향 및 하향 전송에 사용되는 밴드를 배치하는 방법에 따라서 VDSL 모뎀의 전송 성능이 달라진다. 현재 국제 규격에서는 VDSL의 신호대역을 〈그림 2〉와 같이 네 개의 밴드로 구분하여 사용하는 4-밴드 플랜이 사용되고 있으며, 이들 채널은 각각 하향, 상향,

하향, 상향 신호 전송에 사용된다<sup>[1][4]</sup>.

VDSL이 전체 신호대역을 이와 같이 네 개의 채널로 나누어 사용하는 이유는 다음과 같다. 첫째, 동선 전화선로의 감쇄 특성이 주파수가 증가함에 따라 매우 열악해 지므로, 저주파 대역에 하향 전송 채널, 고주파 대역에 상향 전송 채널과 같은 방식으로 대역을 할당하는 경우 고속 대칭 서비스가 어렵다. 둘째, VDSL 신호대역에 다수의 RF(아마추어 HAM) 대역이 존재하며<sup>[1]</sup>, 네 개의 채널 사이에 존재하는 밴드 갭을 가능한 RF 대역 부근에 위치시키는 경우 상호 간섭을 줄일 수 있다.



〈그림 2〉 4-밴드 VDSL의 대역 분배

4-밴드 플랜은 다시 <그림 2>와 같이 플랜 998, 플랜 997 및 플랜 Fx로 나뉘어지며, 플랜 998은 비대칭 전송에, 플랜 997은 대칭 전송에 다소 유리하도록 설계되었고, 플랜 Fx는 fx1을 가변하도록 함으로써 대칭 및 비대칭 서비스에 능동적으로 대처할 수 있도록 하였다.

5. Upstream Power Back-Off(UPBO)

ONU와 이에 연결된 각 가입자 단말간 거리가 서로 다르고, 각 가입자 단말로부터 생성되는 상향 데이터가 하나의 케이블 번들을 통해 ONU로 인입 되는 과정에서 케이블 내에서 발생하는 누화는 ONU로부터 원거리에 위치한 단말의 상향 데이터 전송을 저해한다. 이는 각 가입자 단말의 송신 출력을 동일하게 하는 경우, ONU 인입 단계에서 근거리에 위치한 단말의 상향 전송 신호로부터 기인하는 누화가 채널에 의해 감쇄된 원거리에 위치한 단말의 상향 전송 신호에 대해 상대적으로 큰 영향을 미치기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 각 가입자 단말은 초기화 단계에서 ONU로부터 위치한 거리에 따라 송신 출력을 조절할 수 있는 UPBO 기능을 제공한다<sup>[1]</sup>.

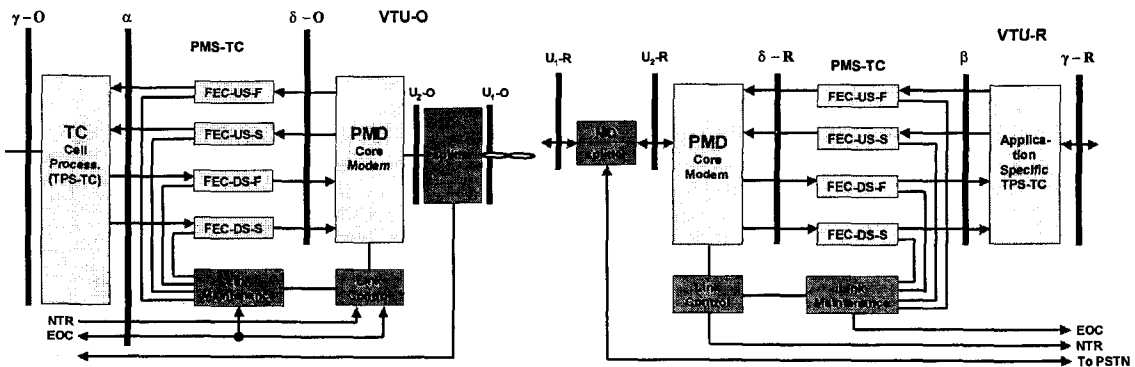
6. VDSL 기준 모델

VTU-O 및 VTU-R에는 거의 동일한 형태의 VDSL 모뎀이 사용되며, 사용 위치에 따라서 모뎀의 운용이 달라진다.

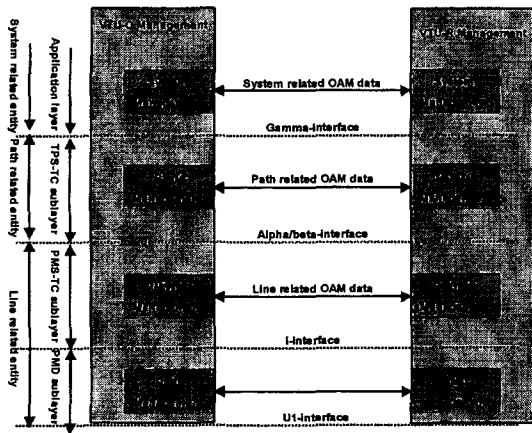
VDSL 모뎀은 <그림 3>의 기준 모델에서 보

는 바와 같이 VTU-O, VTU-R 모두 세 개의 기능 블록으로 구분된다. Transport Protocol Specific-Transmission Convergence(TPS-TC) 부계층은 상위 계층과의 정합을 담당하며, 현재 표준에는 ATM 및 STM 정합 규격이 정해져 있고<sup>[1]</sup>, 최근에는 IEEE802.3의 EFM(Ethernet to the First Mile)에서 Ethernet over VDSL(EoVDSL)을 추진중이다<sup>[6]</sup>. EoVDSL을 위해서 ATM 기반의 TPS-TC 대신 Packet Transfer Mode(PTM) 기반의 TPS-TC를 사용하고, 상위계층인 ATM 계층을 EoVDSL Adaptation Layer(AL) 계층으로 대체하며, EoVDSL AL과 상위계층과의 정합은 표준 Media Independent Interface(MII)를 사용한다.

Physical Media Specific TC(PMS-TC)는 Forward Error Correction(FEC) 기능, 프레임 생성/추출 기능 및 물리계층(PMD: Physical Media Dependent) 정합 기능을 담당한다. 그림에서 볼 수 있듯이 PMS-TC는 하향 전송에 두개의 채널(FEC-DS-F, FEC-DS-S)과 상향 전송에 역시 두개의 채널(FEC-US-F, FEC-US-S)을 제공하며, 이때 상향 및 하향 각각 F는 Fast 채널을, S는 Slow 채널을 의미한다. Fast 채널과 Slow 채널은 인터리빙 유무에 따라 결정된다. 전송지연에 민감한 서비스의 경우 인터리버에 의한 지연은 과도하며, 따라서 인터리버를 사용하지 않는 Fast 채널을 통해 전송한다<sup>[1][4]</sup>.



<그림 3> VDSL 기준 모델



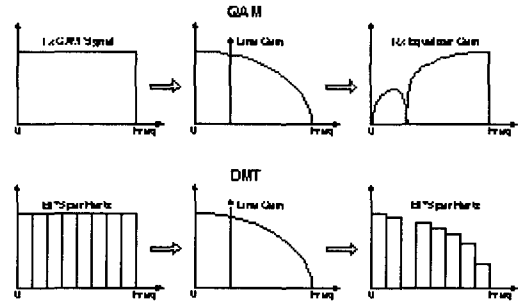
〈그림 4〉 VDSL의 OAM 모델

Physical Media Dependent(PMD, 물리계층) 부계층은 실제 데이터 전송을 담당하는 변복조 및 아날로그 회로에 해당한다. VDSL의 변복조 알고리즘은 전술한 바와 같이 QAM 및 DMT 두 가지 방식이 각각 독자 개발 및 표준화를 진행 중이다.

VDSL 모델의 초기화 및 상태 제어를 위한 Operation And Management (OAM)은 〈그림 3〉의 링크 관리 및 제어 회로에 의해 이루어지며, 이들 OAM의 기능 모델은 〈그림 4〉와 같다. 〈그림 4〉에서 각 OAM 기능은 VDSL 기능 구조에 맞춰 구분이 가능하다. Line related OAM data는 모델의 초기화 관련 정보와 모델 상태 정보를 교환하며, path related OAM data는 FEC 관련 정보 및 TPS-TC 상태 정보를 교환한다<sup>[1][4]</sup>.

#### IV. VDSL 모델 변복조 기술

VDSL 모델은 전술한 바와 같이 두개의 변복조 방식이 경합중이다. 일반적으로 널리 사용되는 QAM 변복조 방식은 Single-Carrier Modulation(SCM)의 일종이며, DMT 방식은 Multi-Carrier Modulation(MCM)의 일종이다.



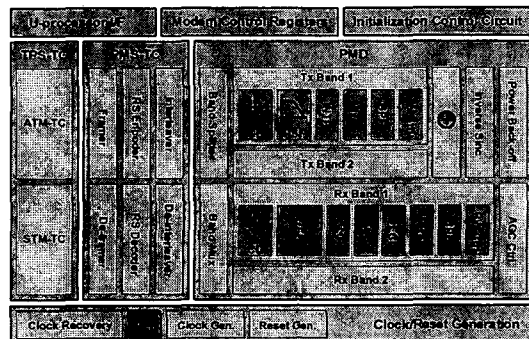
〈그림 5〉 QAM vs. DMT 시스템

DMT 방식은 전체 신호 대역을 다수의 부채널로 나누어 전송선로의 특성에 따라 부채널별 전송속도를 달리하는 방식으로서 〈그림 5〉와 같이 채널감쇄 및 주파수 선택적 잡음이 인가되는 경우 해당 부채널의 SNR에 따라 전송속도를 조절한다. 그러나 QAM 방식의 경우 전체 신호대역을 하나의 채널로 사용하므로 채널 및 주파수 선택적 잡음은 전체 신호대역에 영향을 미치며, 적응등화기를 사용하여 이를 보정한다.

#### 1. QAM 방식 VDSL 모델

QAM 방식 VDSL 모델은 SCM의 일종인 QAM 변복조를 사용하는 모델이다. QAM 방식 VDSL 모델은 〈그림 6〉에서 보는 바와 같이 TPS-TC, PMS-TC, PMD, 클럭회로, 마이크로프로세서 인터페이스, 모델 제어 레지스터 및 초기화 제어회로로 구성된다.

PMD는 2장에서 설명한 4-밴드 전송을 위해



〈그림 6〉 QAM 방식 VDSL 모델 기능구조도

송신기와 수신기를 각각 2조씩 가지고 있다. 따라서 하나의 TC 부계층에 네개의 송수신기를 결합하기 위해 band splitter 및 band MUX가 필요하다.<sup>[2][4]</sup>

먼저 송신부를 살펴보자. TC부계층에서 프레임 처리 및 FEC등 선처리 과정을 거친 데이터는 band splitter를 거쳐 두개의 QAM 송신기에 분배되며<sup>[2]</sup>, 이후 심볼 인코딩 과정을 거친다. 심볼 인코더는 입력되는 데이터를 형태의 복소 Mary-QAM 심볼로 변환시킨다. QAM 심볼은 다시 square-root Nyquist 형태의 필터에 통과시켜 파형정형 한 후 보간기(interpolator)를 거쳐 D/A 변환기의 샘플링 속도와 정합한다. 보간기를 거친 신호는 이후 Mixer에서 중심주파수와 곱해져서 통과대역 신호로 변환된 후 대역통과필터와 전력제어 회로를 거쳐 D/A 변환기에서 아날로그 신호로 변환되어 선로에 전송된다.

수신부는 송신부의 역기능을 담당한다. 전송선로를 통해 수신된 아날로그 Mary-QAM 신호를 A/D 변환기를 통과시켜 디지털 신호로 변환하고, Mixer에서 중심주파수를 곱해 기저대역 신호로 변환시킨 후 정합필터(matched filter, Nyquist pulse)와 적응등화기(equalizer)를 거치게 하여 전송선로에 의한 신호 왜곡을 보상한다. 이후 등화기의 출력 심볼은 QAM 디코더를 통과하여 데이터로 변환된 후, band MUX를 통해 다시 TC 부계층에 보내진다.

QAM-VDSL 모델의 주요 규격은 다음과 같다.<sup>[2]</sup>

- Optional 4-밴드 FDD
- Dual latency : Slow & Fast
- FEC : RS code+Convolutional 인터리버
- QAM 신호 성상도 : 4~256 가변
- 비트율 : 135Kbps×N (N=정수)
- 심볼율 : 67.5Kbaud×N (N=정수)
- 중심주파수 : 33.75KHz×N (N=정수)
- UPBO
- RF notch 필터
- 송신부 PSD 제어기능

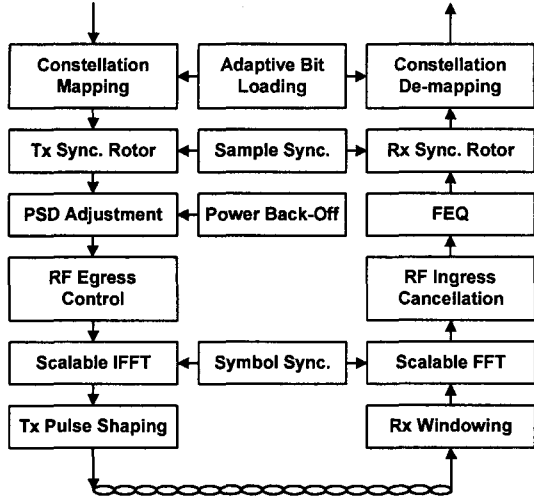
## 2. DMT 방식 VDSL 모델

DMT 방식 VDSL 모델은 전술한 바와 같이 전체 사용대역을 다수의 부채널로 나누어 각 채널별로 전송 선로의 상태에 따라 데이터를 할당 한 후, QAM 인코딩을 하여 전송하는 기술이다. 즉, 다수개의 QAM 트랜시미터를 사용하는 것과 같다. 그러나 다수의 QAM 트랜시미터를 사용하는 대신 하나의 Inverse Discrete Fourier Transform(IDFT)를 이용하여 동일한 기능을 수행할 수 있다.<sup>[3][4]</sup>

IDFT를 이용한 DMT 변복조에 대해 살펴 보자.

DMT 심볼  $X=[X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]^T$ 은 길이가  $N$ 인 QAM 신호로 구성되며,  $n$ 번째 QAM 신호  $X_n$ 은 길이가  $N$ , 주파수가  $\omega_n=2\pi n/N$ 인 반송파  $\mathbf{p}_n=[1, e^{j\omega_n}, e^{j2\omega_n}, \dots, e^{j(N-1)\omega_n}]^T$ 를 이용하여 변조된다. 따라서  $m$ 번째 DMT 심볼을  $\mathbf{X}_m=[X_{m,0}, X_{m,1}, \dots, X_{m,N-1}]^T$ 이라 표시하고  $N$ 개의 QAM 신호를 각각의 디지털 반송파로 변조하여 시간  $k$ 에서의 값  $x_{m,k}$ 를 구하면  $x_{m,k}=X_{m,0} \cdot p_{0,k} + \dots + X_{m,N-1} \cdot p_{N-1,k}$ 이 된다.(단,  $p_{n,k}$ 는 반송파  $p_n$ 의 시간  $k$ 에서의 값인  $e^{jk\omega_n}$ 이다). 즉  $x_{m,k}$ 는  $\mathbf{X}_m$ 을 역 푸리에 변환해서 얻어지는  $k$ 번째 신호임을 알 수 있다. 따라서 DMT 모델에서는  $N$  포인트 역 푸리에 변환을 이용하여  $N$ 개의 QAM 신호를 동시에 변조할 수 있다. 마찬가지로 수신단에서는  $N$  포인트 푸리에 변환을 이용하여 원 신호를 복조한다. 이때 DMT 변복조 방식을 이용하는 전송시스템은 변조된 신호를 기저대역을 통해 전송하므로 IDFT한 결과가 실수 값이 되어야 한다. 따라서  $X_{m,n}=X_{m,N-n}^*$ 인 Hermitian 대칭 특성이 요구되며 실질적으로  $N/2$ 개의 QAM 신호를 전송하게 된다.

이제 DMT 방식 VDSL 모델의 데이터 송수신 과정을 살펴보자. 먼저 TC부계층에서 프레임 처리 및 FEC등 선처리 과정을 거친 데이터는 QAM 방식의 성상도 매핑 과정을 거친다. 성상도 매핑을 위해 필요한 각 부채널의 SNR 정보는 초기화 과정에서 얻어지며<sup>[3][4]</sup>, 얻어진 SNR 정보를 이용하여 각 부채널에 TC 부계층에서 수



<그림 7> DMT 방식 VDSL 모뎀 기능구조도

신한 데이터를 할당하는 adaptive bit loading 이 이루어진다.

각 부채널에 데이터 비트를 할당하는 방법은 다양한 방식이 존재하며, 기본적으로 식 (1)과 같은 water-filling 방식을 따른다. 식 (1)에서  $m_n$ 은  $n$ 번째 부채널에 할당되는 비트 수이며,  $SNR_n$ 은  $n$ 번째 부채널의 SNR 값,  $\Gamma$ 는 이론치와의 SNR gap을 나타낸다. 수식에서 알 수 있듯이 SNR이 높은 부채널은 상대적으로 많은 비트가 할당된다.

$$m_n = \text{Round} \left[ \log_2 \left( 1 + \frac{SNR_n}{\Gamma} \right) \right] \quad (1)$$

이후 할당된 비트 데이터로부터 QAM 성상도 매핑이 이루어지고, 성상도 매핑에 의해 생성된 QAM 심볼 중 SNR이 높은 부채널의 심볼을 slow 채널에 할당하는 tone ordering이 이루어진다.<sup>[3]</sup>

성상도 매핑을 마친 후 송수신부의 위상동기를 맞추기 위한 동기화 회로를 거치고, PSD 조절을 수행한다. 이 과정에서 각 부채널의 전력을 미세 조정하고, 또한 UPBO를 수행한다. UPBO를 수행한 후 RF 밴드에 해당하는 부채널에 대해 송신 출력을 조절한다. 이 모든 과정을 마치면 IDFT를 통해서 변조를 수행하고, cyclic exten-

sion(CP=CP : Cyclic Prefix+CS : Cyclic Suffix)를 추가한다.<sup>[3][4]</sup>

Cyclic extension은 송신되는 DMT 심볼의 임펄스 응답이 채널에 의해 확산되며, 이로 인해 근접한 DMT 심볼에 ISI를 발생시키는 것을 방지하기 위함이다.<sup>[3][4]</sup>. Cyclic extension을 추가한 DMT 심볼은 다시 과형정형을 수행한다.

수신부는 송신부의 역과정을 수행한다. 먼저 수신된 DMT 심볼에 대해 windowing을 하고, 동기화를 수행하며, DFT를 이용하여 복조를 수행한다. 복조된 심볼은 RF 잡음을 제거한 후 각 부채널별로 Frequency domain Equalization (FEQ)를 거친다. FEQ는 각 부채널의 위상 및 크기에 대한 보상을 수행한다. FEQ를 거친 DMT 심볼은 위상동기를 맞춘 후 성상도 디매핑을 통해 TC 부계층으로 전송된다.<sup>[3][4]</sup>

DMT-VDSL 모뎀의 주요 규격은 다음과 같다.<sup>[3]</sup>

- Optional 4-밴드 FDD
- Dual latency : Slow & Fast
- FEC : RS code+Convolutional 인터리버
- 부채널 수 :  $256 \times 2^n$ ,  $n=2, 3, 4$
- 부채널 간격 : 4.3125KHz, 50ppm
- 동기화 : Pilot tone, loop timing, timing advance, synchronous mode
- 부채널별 비트 할당 :  $8 \leq B_{max} \leq 15$
- UPBO
- 송신부 PSD 제어기능

## V. VDSL 응용

지금까지 VDSL기술 및 변복조 방식에 대해 살펴보았다. 본 절에서는 VDSL을 이용한 가입자망 운용 방안을 기술한다.

VDSL은 가입자 단말에 고속 대용량 데이터 전송을 가능케 하므로 고속 드롭 네트워크로 활용 가능하며, 또한 가입자 대내망의 유무선 통합



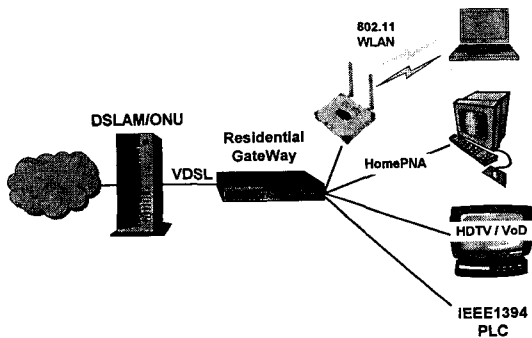
과정에서 residential gateway로도 활용할 수 있다.

〈그림 1〉은 FTTx 액세스망과 VDSL 기술을 이용하여 가입자 단말에 고속 대용량 멀티미디어 서비스를 제공하는 방안을 도시한 것이다. 그림과 같은 광가입자망을 저가로 구현하는 방안은 Passive Optical Network(PON) 기술이 있으며, 〈그림 1〉에서 AN을 OLT(Optical Line Termination)로 대체하면 된다<sup>[8]</sup>.

〈그림 8〉은 맥내망 유무선 통합 과정에서 맥내망과 액세스망을 정합하는 매개체로서 VDSL 모델이 활용될 수 있음을 보여준다. VDSL 모델은 액세스망과 연결된 residential gateway로 사용 가능하며, 넓은 대역폭을 제공하므로 HomePNA, IEEE802.11a/b/g 등 wireless LAN, IEEE1394, Power Line Communication(PLC) 등 맥내의 다양한 유무선 멀티미디어 기기를 동시에 수용할 수 있다.

## VI. 결 론

VDSL은 FTTx 망의 종단에 위치하여 가입자 단말에 최고 52Mbps의 고속 데이터 서비스를 제공하므로 FTTH망의 경제성 및 사업성이 확보될 때까지 가입자에게 ADSL보다 고속의 멀티미디어 서비스를 가장 경제적으로 제공할 수



〈그림 8〉 VDSL을 이용한 맥내 유무선 통합

있는 기술적 대안으로 인식되고 있다.

현재 진행중인 VDSL의 변복조 방식 표준화가 조만간 완료될 계획으로 있어 VDSL 모델 및 관련 장비의 양산에 따른 저가화 및 사업자 간의 경쟁에 따른 서비스 차별화 전략에 따라 ADSL 기반 가입자 망이 VDSL 기반 초고속 가입자 망으로 급속히 전환될 것으로 예상된다.

## 참 고 문 헌

- [1] ANSI Trial-Use Standard T1E1.4/2002-031R2, Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line(VDSL) metallic interface, Part1: Functional requirements and common specification, Feb. 2002.
- [2] ANSI Trial-Use Standard T1E1.4/2001-011R3, VDSL technical specification, Part2: Technical specification for a Single-Carrier Modulation(SCM) transceiver, Nov. 2001.
- [3] ANSI Trial-Use Standard T1E1.4/2002-099R1, Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line(VDSL) metallic interface, Part3: Technical specification of a Multi-Carrier Modulation(MCM) transceiver, Feb. 2002.
- [4] ETSI TS 101 270-2, TM6: Very high speed Digital Subscriber Line(VDSL), Part2: Transceiver specification, Feb. 2001.
- [5] ITU-T Q4 SG15, G. vdsl: Updated "Issues List" for G. vdsl, Oct. 2001.
- [6] IEEE802.3 EFM SG, EFM copper objective, July, 2001.
- [7] Don Clarke, "The FS-VDSL Committee-Specifications, Status and Next Steps," ISSLS2002, pp.317-322, Apr. 2002.

- [8] Peter Vetter and et. al, "Systems aspects of APON/VDSL deployment," IEEE Com. Magazine, pp.66-72, May 2000.
- [9] 지경용, 고중걸, 박석지, "국내 VDSL 시장 현황 및 전망," 전자통신동향분석, 통권74호, 제17권 제2호, 2002년 4월
- [10] 민재홍, "VDSL 기술동향," 전자통신동향분석, 통권69호, 제16권 제3호, 2001년 6월

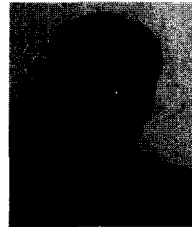
## 저자 소개



### 李 勳

1995년 2월 전북대학교 전자공학 학사, 1997년 2월 전북대학교 전자공학 석사, 1999년 8월~현재: 한국전자통신연구원, 네트워크연구소 선임연구원, <주관심 분야: 고속 디지털 전송, 모뎀기술

및 신호처리기술>



### 金 奉 泰

1983년 2월 서울대학교 전자공학과 학사, 1991년 12월 NCSU 컴퓨터공학과 석사, 1995년 12월 NCSU 컴퓨터공학과 박사, 1983년 3월~현재: 한국전자통신연구원, 네트워크연구소 책임

연구원, 네트워크핵심기술연구부장, <주관심 분야: 맥내망 및 가입자망 모뎀, SoC, VoIP, 네트워크 및 네트워크 시스템>