

# VDSL 기술동향

## Technical Trend on VDSL

민재홍(J.H. Min)

기술기준연구팀 책임연구원

본 고는 차세대 초고속 가입자 접속기술인 VDSL의 개발현황과 표준화 진행을 분석하여 우리나라의 VDSL의 연구방향을 제시하고자 하는 것이다. 이를 위하여 제 외국의 표준화 단체를 중심으로 진행되고 있는 가입자 접속표준 및 기술규격 등을 검토 분석하고 그 변조 및 코딩체계의 개념으로 나타나는 수치자료에 대한 근거를 조사하여 궁극적으로 국내 기술 개발 방안을 마련하려는 것이다. 따라서 본 고의 초점은 현재 제안되고 있는 VDSL 시스템의 전체적인 윤곽과 구조에 관련된 기술, 표준화와 관련된 Unbundling 기술을 설명하고, ITU-T Group-15, ANSI T1E1.4, ETSI TM-6 등 표준화 단체에서 제안한 VDSL 변조 및 코딩기술을 제시하고자 한다.

## I. 서 론

VDSL(very high-speed digital subscriber line)은 오늘날의 동선 기간선로와 미래의 광섬유 기간선로 사이에서 과도기적 가입자 접속방식으로 등장한 차세대 xDSL 방식 중 최고의 전송속도(양방향 60Mbps)를 구현하고자 하는 것이다. VDSL 모뎀은 광섬유 선로의 종단과 가입자 종단에 설치되며, 이때 광섬유 선로가 가입자 종단의 수천 피트 근처까지 설치된다는 것을 전제로 초고속 데이터 전송을 실현한다.

현재, xDSL 방식 중 가장 보편적으로 사용되고 있는 ADSL(asymmetric digital subscriber line)은 전화국의 CO(central office)와 가입자 종단간에 모뎀을 설치하여 고속의 데이터 전송을 실현시킨 가입자 접속방식이며 전세계적으로 그 수요가 급격히 증가하고 있다. ADSL의 설치가 보편화 될수록 좁더 넓은 대역폭과 좁더 빠른 전송속도에 대한 가입자의 요구는 오히려 증가하는 현상을 나타내고 있으며,

ADSL에서는 불가능했던 고품질 동영상 전송에 대한 수요도 급격히 증가하고 있다. 이를 위해서는 광섬유 선로가 가입자 종단에 더욱 근접한 위치까지 설치되어야 하며, 이러한 망 구성에 적응하는 더욱 빠른 속도의 전송기술이 개발되어야 하는 것이다. VDSL 접속방식의 출현은 바로 이러한 가입자 수요에 따라 이루어진 것이다[1].

본 고에서는, 현재 제안되고 있는 VDSL 시스템의 전체적인 구조에 관련된 기술, 표준화와 관련된 Unbundling 기술을 설명하고, ITU-T Group-15, ANSI T1E1.4, ETSI TM-6 등 표준화 단체에서 제안한 VDSL 변조 및 코딩기술을 소개하고자 한다. 또한 xDSL 기술의 개발현황과 표준화 진행을 분석하여 우리나라의 통신환경에 맞는 기술 방향을 제시하고자 한다.

## II. VDSL 서비스 배경

VDSL 시스템은 그 전송기술에 있어서는 ADSL

시스템과 유사하지만, 시스템의 구조와 FTTN(Fiber To The Neighborhood)/FTTC(Fiber To The Curb)/FTTCab(inet)에 기반을 둔 광대역 확보방식에서 큰 차이를 보인다. 이 장에서는 향후 VDSL 서비스가 등장하게 된 배경 및 서비스를 분석한다.

## 1. 서비스 측면

현재, 보편적인 가입자 접속방식으로 적용되고 있는 ADSL의 대역폭은 HTML 그래픽을 포함한 downstream 방향의 비디오 이미지와 저속의 upstream 전송을 성공적으로 제공하고 있다. 그러나 이러한 고속 서비스에도 불구하고 가입자의 정보욕구는 더욱 큰 대역폭을 필요로 하는 새로운 서비스의 제공을 요구하고 있다.

첫째, SME(small and medium enterprises)나 SOHO(small and home offices) 등 소규모 가입자들의 양방향 광대역 서비스 요구이다. 여기에는 출판, 영화제작, CAD 사용 기술자, 슈퍼컴퓨터에 의한 모델링, 원격수술, LAN 이물레이션, 고품질 화상회의 등이 포함되며, 이들은 수십 Mbps의 데이터 전송속도를 요구한다. 둘째, 일반 가정의 인터넷 가입자들이 요구하는 VOD(video-on-demand) 서비스의 증가를 들 수 있다. 이들은 양방향의 초고속 서비스를 낮은 가격에 요구하고 있으며, 최근의 고성능 PC의 공급과 IEEE 1394 등 디지털 인터페이스의 개방 및 DVD(digital video disk) 기술의 발달로 차츰 보편적 서비스로 등장하고 있다. 이들의 양방향 전송을 위해서는 수십 Mbps의 데이터 전송속도가 요구된다.

셋째, 매스컴의 대표격인 TV는 방송용 컴퓨터와 컴퓨터로 동작되는 TV-set의 형태로 차츰 전환되어 멀티미디어 서비스 장비로 탈바꿈하고 있어, 한 가정에서도 동시에 여러 채널의 시청이 가능한 형태로 제공되고 있다.

이러한 새로운 초고속 데이터 서비스를 원활히 제공하기 위해서는 수십 Mbps의 전송속도를 가능케 하는 새로운 가입자 접속기술이 필요하며, 이를

저렴한 비용으로 만족시키고자 하는 것이 바로 VDSL 기술의 출현이라 할 수 있다.

## 2. 운영자/가입자 측면

동선선로를 운영하는 사업자들은 그 동안 수많은 가정에 POTS 서비스를 공급해 왔다. 또한, 최근에는 그들의 서비스영역 내에 상당한 수준의 데이터 서비스를 공급해 온 것도 사실이다. 그러나, 사업자들은 앞에서 언급했던 새로운 멀티미디어 서비스에 대한 욕구가 급격히 증가하고 있음을 감지하고 있는 것이다.

이러한 상황 속에서 케이블 TV나 위성, 무선인터넷 사업자들의 경쟁이 매우 치열하게 전개되고 있는 시점에 동선을 이용하여 가입자의 동영상 서비스 욕구를 만족시키기 위해서는 각각의 가입자들에게 최소한 10Mbps 이상의 전송속도를 공급하여야 한다. 이를 성취하기 위해서는, CO로부터 멀리 떨어진 가입자들에게 수백 kbps의 데이터 전송속도를 실현하는 ADSL 시스템과는 달리 Mbps 단위의 전송속도를 성취할 수 있도록 기반구조(infrastructure)를 새로이 정립해야 하는 것이다.

여기에 가장 근접하고 있는 가입자 접속방식이 VDSL이며, 이를 구축하기 위해서는 전체 망 구조 속에 적절히 설계된 ONU(optical network unit)를 배치하여 과도기적 지원체제를 형성해야 하는 것이다. 가입자의 이웃에 이르는 분배기까지는 광섬유 선로를 구축하고 그로부터 가입자에 이르는 동선선로를 짧게 하여 VDSL 시스템을 제공함으로써 다른 경쟁자들에게 현존하는 가입자나 새로운 가입자를 빼앗기는 위험을 최소화한다는 전략이다.

VDSL 시스템을 이용하여 멀티미디어 서비스를 제공받는 것은 가입자의 입장에서도 대단히 유리하다. 왜냐하면 VDSL 시스템은 동선과 광섬유 선로를 운영하는 하나의 사업자만이 관계되어 있으므로 요금도 오직 한 사업자에게 지불하면 족한 것이다. 또한, 현재 가입자 측으로 인입되는 전화선로를 그대로 사용하면 되므로, 가입자 입장에서는 더 이상

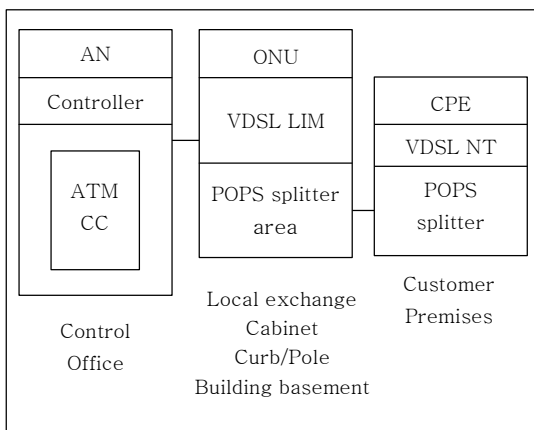
의 선로 가설을 필요로 하지 않는다[2].

### III. VDSL 시스템의 구조

#### 1. 일반적 구조

ADSL에 있어서는 선로의 종단(line termination: LT)이 교환국 건물에 설치되는 것이 보통이었으나, VDSL에서의 종단은 가입자에 근접해 있는 ONU에 설치된다. ONU 내부에 있는 VDSL LIM(line interface module)이 바로 이러한 VDSL 종단을 수용하는 장치이다. 또한, 교환국 측에 설치된 AN(access node)은 그 하위에 연결된 ONU들로부터 트래픽을 집중시켜 코어망(ISP, video service, PSTN 등)에 연결해 주는 CO의 장치이다.

(그림 1)은 VDSL 망 구성을 위한 일반적 모델을 나타낸다.



(그림 1) 일반적인 VDSL 구조

일반적으로 ONU가 설치되는 위치에 따라 “FTTx”의 형식이 달라지며, 이에 따라 동선선로가 차지하는 길이가 변화하여 전송속도의 차이를 나타내게 된다. 동선의 길이는 최대 1.5km long distance VDSL로부터 최소 0.3km short distance VDSL까지 변화할 수 있으며, 이에 따른 전송속도는 14.5Mbps로부터 58Mbps까지 변화한다. 이 때의 전송속도는 downstream/upstream 방향으로 대칭/

비대칭 형식으로 분할하여 사용할 수 있는 것이다.

전체적인 VDSL 망의 입장에서, 구축비용을 최소화하기 위해서는 AN이 설치되는 교환국은 될 수 있는 한 중앙에 설치되는 것이 유리하다. ONU는 ADSL이나 long-range VDSL의 경우 지역의 교환국에 설치될 수도 있으며, 동선선로가 다발로 분배되는 캐비닛(Cabinet)이나 좀더 가입자 측에 근접한 커브 등에 설치될 수도 있다. 또한, 궁극적으로 빌딩의 지하나 집단거주지 및 가정에 설치될 수도 있으므로, 이러한 ONU의 위치에 따라 동선선로의 길이는 달라지며, 그에 따라 VDSL의 전송속도도 달라지게 되는 것이다.

망 운용의 관점에서, 데이터서비스와 전화서비스(POTS)를 분리하는 방식은 크게 세 가지로 구분될 수 있다.

#### 가. Segregated broadband overlay

스플리터는 가입자의 종단과 ONU에 설치되어 동일한 선로에 따라 제공되는 POTS와 VDSL 서비스를 분리한다. 이 때, VDSL 서비스를 공급하는 광대역 AN과 POTS 서비스를 공급하는 PSTN의 교환기는 분리되어 설치될 수 있다.

#### 나. Integrated telephony

광대역 서비스와 전화를 결합한 서비스에 대처하기 위하여 POTS와 VDSL 서비스가 동일한 망 요소(network element)에서 처리된다. 스플리터는 위에서와 마찬가지로 가입자 종단과 ONU에 설치되지만, POTS 신호는 ONU에 위치한 NB IWU(narrow-band interworking unit)에 종단되어야 한다.

#### 다. All digital loop

POTS 서비스는 디지털화 되어 VDSL과 광섬유 선로를 통하여 전달된다. 이 때, POTS를 분리하기 위한 채널뱅크나 스플리터가 불필요하므로 ONU는 앞의 두 경우에 비하여 소형으로 제작될 수 있다. 그러나, POTS를 처리하기 위한 대역을 VDSL 대역의

하위에 설정해 주어야 한다.

## 2. 장비 구성

### 가. AN

AN은 여러 ONU로부터 트래픽을 집중시켜 서비스 제공자에게 연결해 주는 장치이다. 'Integrated telephony' 혹은 'all digital loop'의 경우, AN은 PSTN 교환기와의 NB IWU도 제공하여야 한다. 일반적으로 AN은 교환국의 CO에 위치한다.

(그림 1)에서 보는 바와 같이, AN의 핵심은 ATM CC(asynchronous transfer mode cross connector)와 제어장치이다. 서비스 제공자/가입자 방향으로, SONET/SDH나 APON(ATM passive optical network) 인터페이스를 사용하며 다음과 같은 전송 속도를 갖는다.

- OC3/STM1: 155Mbps
- OC12/STM4: 622Mbps
- OC48/STM16: 2.5Gbps

보통의 스위치 격자는 수 Gbps의 용량을 수용할 수 있으며, 하나의 AN은 약 10,000선로를 수용할 수 있다. 이는 중소형 집단거주지의 가입자를 수용할 수 있는 용량으로 저렴한 비용으로 구축할 수 있는 망을 제공한다. 또한, 대형 집단거주지에는 이러한 AN 여러 개를 이용하여 구축할 수 있으며, 이는 별도의 대형 AN을 이용하여 구축하는 것보다 경제적인 것으로 조사되어 있다.

### 나. ONU

ONU는 VDSL 종단과 Optical feeder(optical network termination: ONT) 및 다중화기(multiplexing function) 등을 포함하는 장치이다. 보통 FTTx의 형태에 따라 하나의 ONU가 포함하는 트래픽은 다음과 같다.

- FTTB/FTTC(building/curb): 10 VDSL lines
- FTTCab(cabinet): 수십~100 VDSL lines
- FTTEx(exchange): 1,000 VDSL lines

다음에 설명할 광 급전기술(optical feeder tech-

nology)에 따라 ONU는 APON 혹은 SONET(OC3, OC12)/SDH(STM1, STM4) 인터페이스를 사용한다. 또한, 서비스해야 할 가입자의 수에 따라 ONU는 10~20개의 슬롯으로 이루어진 여러 개의 Shelf로 구성된다. FTTCab/B에 설치되는 소형 ONU 장치는 저전력을 사용하므로 배터리로 전원을 공급할 수 있다.

### 다. CPE(customer premises equipment)

(그림 1)에 나타낸 바와 같이, 가입자의 거주지에는 VDSL 종단이 설치되어 서비스 제공자와 사설망 혹은 사용자와의 분계점을 형성한다. 가장 간단한 경우에는 표준 인터페이스로 연결된 하나의 분리된 VDSL 모뎀을 생각할 수 있다. 보통의 사업장인 경우에는 모뎀이 LAN에 연결되는 형태일 것이며, 'Integrated telephony'의 경우 사설교환기(PABX) 등을 생각할 수 있다. 또한, 주택지인 경우에는 모뎀이 PC, TV, STB(set-top box) 등 멀티미디어 단말에 연결된 형태도 생각할 수 있다.

인터페이스의 설정은 멀티미디어 서비스가 가능하고 구축 및 사용이 용이하며(plug and play) 가입자 거주지에 선로연결이 용이해야 한다. 가장 널리 사용되는 인터페이스로는 Ethernet(10BaseT): 10 Mbps 및 Fast Ethernet(100BaseT): 100Mbps 등을 들 수 있다. 이밖에 파이어와이어(IEEE 1394)가 차츰 그 인기를 얻고 있다. 이는 100, 200, 400 Mbps 속도의 동기/비동기 서비스를 제공할 수 있기 때문이다.

## IV. VDSL 변조 및 코딩 방식

VDSL 시스템의 기본 구상은 기존의 동선 전화선로를 이용하여 대칭형/비대칭형으로 Mbps 급의 데이터 전송속도를 제공한다는 것이다. 이를 성취하기 위해서는 시스템의 성능을 최고로 높이기 위한 다중화(duplexing), 변조(modulation), 오류제어(error control), 여파(filtering) 방식 등을 적용하는 한편 기존의 서비스인 POTS, ISDN, ADSL 등과의 호환

성을 고려해야 하는 것이다. 또한, downstream/upstream 방향으로 공유된 50Mbps 이상의 전송속도를 제공하여 광대역 멀티미디어 서비스를 구현해야 한다.

그러나, 이와 같은 초고속 데이터 전송속도를 구현하기 위해서는 반드시 광섬유선로와 동선선로가 결합된 새로운 기반설비가 마련되어야 한다. FTTCab 구조는 CO로부터 동선의 분배장치가 내장된 가입자 근처의 캐비닛까지 광섬유선로로 구축되며, 캐비닛으로부터 가입자까지의 연결에는 VDSL 모뎀을 장착한 동선선로로 구축된다. 따라서, FTTCab 기반구조를 전 국가에 걸쳐 구축하기 위해서는 막대한 시간과 비용이 소요될 것이라는 사실을 쉽게 짐작할 수 있다. 이러한 관점에서 VDSL 시스템의 초점은 당분간 FTTE<sub>x</sub>(exchange) 구조로 옮겨질 수 있다. 그러면 FTTE<sub>x</sub> 구조에 공존하고 있는 기존의 xDSL(주로 ADSL)의 호환성 문제가 대두된다.

현재 제안되고 있는 VDSL 변조 및 코딩방식은 다음과 같이 크게 두 가지로 구분된다.

- DMT-based VDSL
  - ADSL 시스템과의 완벽한 호환성
  - 높은 성능과 용통성
  - 지지회사: ETRI, Alcatel, Ericsson, Nortel, IBM, Texas Instruments, ST Microelectronics, Samsung AIT, Toshiba, NEC, Mitsubishi, Telia 등
- SCM-based VDSL
  - ADSL 시스템과의 호환성이 없음
  - 지지회사: Lucent, Broadcom, Infineon 등

따라서 현재 제안되고 있는 DMT-VDSL과 SCM-VDSL의 선택은 대체로 명확해진다. DMT-VDSL은 기존의 ADSL과의 호환성을 유지하는 체계로 FTTE<sub>x</sub>로부터 FTTC<sub>ab</sub>까지 다양한 구조에서 원활히 동작할 수가 있으며, SCM-VDSL은 기존의 ADSL과의 호환성이 없어 FTTC<sub>ab</sub>나 그 이상의 광섬유선로 구축이 완료된 상태에서 사용될 수 있을 것이다.

## 1. DMT-VDSL(discrete multitone VDSL): the Zipper concept

### 가. Duplexing 방식(FDD)

듀플렉싱 방식은 동선이 가지고 있는 고유의 Throughput을 downstream/upstream 양방향으로 분할하여 할당하는 방식이다. 듀플렉싱 방식을 선택함에 있어 가장 중요한 사항은 선로의 능력을 각 방향에 고루 분배하여 높은 전송속도를 제공하는 것이다.

만일 downstream/upstream 방향의 전송이 동일한 주파수대역에서 동시에 일어난다면 이웃한 VDSL 선로로부터 심각한 혼신(near-end crosstalk: NEXT)이 발생하게 될 것이다. 결국 듀플렉싱 방식의 궁극적 목적은 바로 이러한 NEXT를 피하기 위함이며, 여기에는 다음과 같은 두 가지 기본 방식이 존재한다.

그 하나는, downstream/upstream 전송을 시간에 따라 구분하여 각 방향 전송에 선로의 전체 대역을 할당하는 방식으로 이를 TDD라 한다. 이 때, 각 방향의 전송이 정확히 동기를 맞추어 이루어진다면 NEXT는 일어나지 않을 것이며, 비대칭 비율은 각 방향에 할당되는 시간의 비율로 결정될 것이다.

다른 하나는, downstream/upstream 전송에 대하여 별도의 주파수대역을 할당하는 방식으로 이를 FDD라 한다. 이 방식에 있어서 각 방향 전송을 위한 대역을 정확히 구분하여 설정한다면, NEXT는 발생하지 않으며, 비대칭 비율은 각 방향에 할당된 주파수대역의 위치와 폭에 따라 결정될 것이다.

TDD 방식은 Unbundling과 관련하여 많은 문제점이 발생하게 되므로 VDSL의 표준방식으로 채택되기는 어려울 것으로 보인다[3]. 따라서 여기서는 FDD 방식을 근간으로 VDSL 시스템을 분석하기로 한다.

#### 1) VDSL 잡음 환경

근본적으로 선로의 용량은 수신측의 SNR(signal-to-noise ratio)에 의하여 결정된다. 수신된 신호의 전력은 전송된 신호의 전력밀도 스펙트럼(power

spectral density: PSD)과 선로에 의한 감쇄에 따라 결정되며, 신호의 감쇄는 선로의 길이와 사용 주파수에 따라 증가한다. 한편, 잡음은 선로의 종류와 환경에 따라 매우 복잡한 양상을 나타내며 그 원인도 매우 다양하다. 다음은 VDSL 시스템에 영향을 미치는 주요 잡음요소를 정리한 것이다.

#### 가) Background Noise

전송시스템의 인위적 요소에 의하여 발생하는 잡음을 제외한 복합적인 잡음의 일반적인 형태이다. 이는 모든 통신시스템에서 발생하는 근본적인 잡음으로 보통 열잡음(thermal noise)으로 취급된다.

표준화 단체들은 이 잡음을 AWGN(additive white Gaussian noise)으로 모델링하고, 그 전력밀도 스펙트럼을  $-140\text{dBm/Hz}$  정도로 평가하고 있다. 그러나 실질적으로 이 잡음은 모든 주파수에 대하여 동일한 전력을 나타내지는 않으며, 환경에 따라서는 주파수에 따라 그 전력이 크게 변화하는 경우도 있다.

#### 나) Self-Crosstalk

여러 쌍의 VDSL 시스템이 동일한 케이블 바인더에서 동작할 때, 이들은 서로 혼신을 일으킨다. 물론 듀플렉스 방식에 의하여 NEXT의 발생이 억제되어 있다고 하더라도 전송신호를 방해하는 FEXT(far-end crosstalk)가 존재하는 것이다. 다행히도 self-FEXT의 전력은 self-NEXT의 전력에 비하여 일반적으로 낮다. 그러나 이를 소홀히 취급하게 되면 짧은 선로에 있어서 가장 두드러지는 잡음의 원인이 될 수도 있는 것이다.

Downstream 방향에 있어서, FEXT 간섭은 바인더 내의 모든 시스템에 대하여 동일하게 작용한다. 그러나 upstream 방향에 있어서는 FEXT 간섭의 양상은 매우 복잡하다. 바인더 내의 시스템들이 서로 다른 선로 길이를 갖는 경우, 동일한 전력의 FEXT 간섭이 발생하였다 하더라도 짧은 선로에 미치는 영향은 긴 선로에 미치는 영향에 비하여 매우 큰 것이다. 물론, 짧은 선로에서의 전송신호 전력도 상대적으로 클 것이므로 FEXT가 영향을 억제할 수 있다고

는 하지만, 이는 모뎀으로부터 멀리 떨어진 곳에서 신호에 영향을 주게 되므로 심각한 문제를 발생시킬 수 있다. 이를 near-far FEXT 문제라 하며, 이를 해결하기 위한 방법으로 'power backoff method'가 제안되어 있다. 이는 전송신호의 전력밀도 스펙트럼을 shaping하여 그 전력을 감소시키는 방법으로 몇 가지 대안이 이미 제시되어 있다[4]-[6].

#### 다) Alien Crosstalk

동일한 케이블 바인더에 VDSL 시스템과 다른 종류의 xDSL 시스템(e.g. ADSL)이 공존하는 경우, 이들은 서로 혼신을 일으킬 수 있다. 이러한 잡음 형태를 Alien Crosstalk이라 한다. 이는 주로 1.1MHz 이하에서 발생하지만, 불완전한 전송여과기 때문에 높은 주파수에서도 상당히 크게 나타날 가능성도 있다.

Alien Crosstalk과 Background Noise는 보통 'Noise Masks'라 불린다. 이들은 모두 망의 토폴로지에 크게 영향을 받는 잡음으로, 가입자 종단에서와 망 종단에서의 양상이 매우 다르기 때문이다. 즉, 가입자 종단에서는 각각의 모뎀이 서로 완전히 분리되어 있으나(서로 다른 아파트, 사무실, 집 등으로), 망 종단에서는 매우 근접하여 설치된다는 것이다(동일한 카드, 동일한 바인더 등으로). 결과적으로 이러한 잡음의 특성 때문에 채널용량은 거의 모두 비대칭형으로 형성된다고 보아야 할 것이다. 이와 같은 잡음들(background, self-crosstalk, alien-crosstalk)을 결합하여 하나의 잡음모델로 제시하는 일은 표준화 단체들이 연구해 오고 있다. 다중선로 환경에서는 단순히 전력이 더해지는 효과도 대단히 심각한 문제를 일으킬 수 있는 것으로 조사되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 잡음을 하나로 결합한 모델의 설정이 우선되어야 하며, 최근에 이에 대한 연구 결과들이 많이 도출되고 있다[7]. ETSI나 ANSI 등 표준화 단체들은 이러한 연구결과를 수용하여 VDSL 시스템의 평가에 응용하고 있다.

#### 2) 스펙트럼 호환성

VDSL 시스템이 다른 종류의 가입자 접속방식과

함께 동일한 바인더에 수용되는 경우, 스펙트럼 호환성의 확보는 매우 중요한 과제이다. 여기서 스펙트럼 호환성이란 NEXT와 같은 간섭을 발생함으로써 공존하고 있는 다른 시스템의 성능에 악영향을 주는 일이 없도록 설계하는 것을 말한다.

Zipper-VDSL은 디지털 듀플렉싱을 사용하여 다른 시스템과의 스펙트럼 호환성 측면에서 매우 강력한 방식이다. 디지털 듀플렉싱 방식은 upstream/downstream 방향을 구분하기 위하여 대역을 분할하거나 아날로그 여파기를 사용하지 않고 오로지 디지털 특성만을 이용하여 이를 구분하고 있다. 따라서 upstream/downstream 방향을 구분하기 위한 보호대역(guard band)을 설정할 필요가 없으며, 스펙트럼의 운용도 OAM(operations and management) 시스템을 이용하여 프로그램으로 처리한다. 또한, Zipper-VDSL은 그 변조방식으로 DMT (discrete multitone)를 선택하고 있다. 이는 다수의 부반송파(subcarrier)를 이용하여 디지털 신호를 전송하는 방식으로 신호의 스펙트럼 점유율을 높여 매우 효율적인 전송이 가능케 한다. Zipper-VDSL에 관한 상세한 내용은 다음 소절에서 설명하기로 한다.

### 3) 용량의 분할과 듀플렉스 체계

일반적으로 동일한 바인더에 구축된 선로들은 서로 다른 길이를 갖는다. 이 때, 이 선로들을 사용하는 모든 가입자에게 동일한 비대칭률을 제공하는 것은 매우 어렵다. 그러나 운영자의 입장에서는 모든 가입자에게 동일한 비대칭률을 제공하기를 원하므로, 듀플렉스 방식의 선택이 중요하게 된다.

FDD 시스템에 있어서, 선로의 길이와 주파수대역에 따라 SNR이 달라지므로 모든 가입자에게 정확히 동일한 비대칭률을 제공하는 것은 불가능하다. 이를 해결하는 한 가지 방법은 다수의 전송대역을 사용하는 것이다. 사용하는 대역의 수가 많을수록 upstream/downstream 전송에 있어 더욱 우수한 균형을 이룰 수 있는 것이다. 또한, 대역의 수가 많을수록 운영자는 비대칭 SNR을 극복하여 균등한

비대칭률을 가입자에게 제공할 수 있는 것이다.

따라서 다수의 주파수대역을 적용하는 스펙트럼 계획은 실질적인 망 구성에 있어 가장 안정적인 서비스를 제공할 수 있는 방안인 것이다. 이 때, 서로 다른 대역에 대하여 디지털 듀플렉싱 방식을 적용함은 적절하고 효율적인 수단이다. 디지털 듀플렉싱의 이러한 효율성과 경제성 그리고 모뎀의 원격제어에 의하여 upstream/downstream 대역을 원활히 조정할 수 있는 특성 등이 Zipper-VDSL의 요체이다.

### 나. Zipper 개념

Zipper 듀플렉싱 기술은 FDD 방식의 일종으로 upstream/downstream 전송에 대하여 각각 서로 다른 주파수대역을 할당하는 것이다. 기존의 FDD 방식에서는 self-echo나 NEXT를 방지하기 위하여 아날로그 필터를 사용하여 전송방향을 완전히 분할해 놓는다. 이 필터들은 성능에 따라 복잡하고 많은 비용을 필요로 할 뿐 아니라, 보호대역 내의 유용한 스펙트럼을 걸러낼 가능성이 있다. 또한, 아날로그 필터는 한 번 설계하여 장착하면 이를 변경시키기가 매우 곤란하며, 반드시 AS 요원을 가입자 측에 파견하여 해결하여야 한다. 이러한 단점 때문에 기존의 FDD 방식은 OAM 비용을 크게 증가시키는 것이다.

Zipper 기술은 upstream/downstream 전송에 대하여 가용한 전 대역을 할당하고 이를 다이내믹하게 세분하여 할당함으로써 기존의 FDD 방식에서 문제시되었던 아날로그 필터를 제거한 방식이다.

#### 1) Self-Echo와 직교성

하나의 DMT 송신기가 가용한 모든 부반송파를 이용하여 한쪽 방향으로 데이터를 전송한다면 수신 측에서는 DMT 수신기가 모든 부반송파로부터 데이터를 복조하게 되므로 아무런 문제가 발생하지 아니한다. 또한, 두 개의 DMT 송신기가 동시에 데이터를 전송하고 이들이 선로에서 결합될 경우의 전송은 두 송신기가 가용한 부반송파 중 서로 다른 집합을 이용함으로써 가능하다. 이 때, 각각의 DMT 심볼들은 그 범위가 시간적으로 동일하게 발생하여야

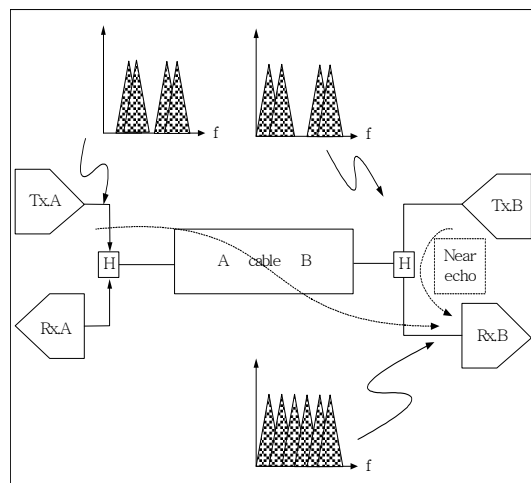
한다. 만일 이들이 시간적으로 일치하지 않다면 부반송파 사이의 직교성(orthogonality)이 깨져 복조에서 문제가 발생한다.

마지막으로 (그림 2)와 같이 A 쪽에 있던 DMT 송신기 중 하나를 택하여 B 쪽으로 옮기고, B 쪽의 수신기(Rx.B)는 A 쪽의 송신기(Tx.A)로부터 전송되는 신호를 복조하며, 동시에 B 쪽의 송신기(Tx.B)는 반대 방향으로 A 쪽의 수신기(Rx.A)로 DMT 신호를 전송한다고 가정해 보자. 이 때, 두 쌍의 송수신기가 사용하는 부반송파가 상호 보수관계(complementary)에 있으면 아무런 문제가 없을 것으로 보인다. 그러나 실제에 있어서는 Tx.B의 신호가 누설 혹은 반사되어 Tx.A로부터 전송되어 온 신호에 더해짐으로써 문제를 일으킨다. 이를 self-echo라 부르며, 선로 상의 임피던스 변화와 선로의 누설에 의하여 발생하는 현상이다. 결과적으로 Rx.B는 Tx.A로부터 전송되어 오는 정상적인 신호와 Tx.B로부터 누설된 신호를 모두 복조하게 된다.

논의를 간단하게 하기 위하여 누설신호가 반사되는 지점이 오로지 Hybrid(H) 뿐이라고 가정하면, Tx.A로부터 전송되는 정상적인 신호에 Tx.B로부터의 누설신호는 오직 하나만 더해질 것이다. 최악의 경우는 Tx.B로부터 들어오는 누설신호가 아무런 지연없이 들어올 때이다. 그렇다면 Tx.A로부터 들어오는 정상적인 신호와 누설신호를 시간정렬 시켜 수신기로 하여금 이들을 모두 정상적인 DMT 송신기로부터 오는 신호로 간주하도록 할 수 있는가? 즉, DMT 수신기로 들어오는 모든 부반송파들을 서로 직교성을 유지할 수 있도록 할 수 있는가? 이것이 Zipper-VDSL 시스템에 self-echo를 방지하는 핵심으로, 전파지연(propagation delay)을 고려하여 이를 가능하게 할 수 있다는 것이다. 양쪽에 있는 DMT 송신기는 정확히 동기되어 모든 심볼을 동시에 전송하기 시작한다면, 전파지연에 의하여 수신기에 도달되는 시간은 서로 다를 것이다.

직교성을 유지하는 방법은 두 가지이다. 그 하나는 Tx.B가 전파지연 만큼 대기했다가 신호를 전송하는 방법이며, 또 하나는 DMT 심볼의 cyclic

extension을 이용하여 채널의 전파지연을 보상하는 방법이다. Zipper에서는 시간을 대기하여 전송하는 방식보다는 CS(cyclic suffix)라 불리는 확장 방식을 사용한다. 즉, 충분히 큰 CS를 확보하고 모든 송신기가 동시 전송을 수행함으로써 수신신호와 누설신호가 모두 시간정렬 되어 수신측의 FFT에 있어서 직교성이 확보되도록 조치하는 것이다.



(그림 2) 두 쌍의 DMT 송신기(Tx.A, Tx.B)와 DMT 수신기(Rx.A, Rx.B) 구성

## 2) Echo 문제의 해결책(CS)

Zipper 듀플렉싱 체계는 양쪽의 송신기가 동기화된 상태에서 전송하며, DMT 심볼에 CS를 사용함으로써 echo 문제를 해결하고 있다. CS는 DMT 심볼의 끝에 추가되는 이차 보호시간이며, 여기에는 DMT 심볼의 처음에 나타나는 몇 개의 샘플로 채워진다.

CS의 지연시간은 적어도 선로의 단방향 전파지연과 같아야 한다. 이 조건이 만족되면 수신신호는 단방향 전파지연보다 짧은 지연시간을 갖는 모든 echo와 직교성을 유지하게 된다.

Zipper-VDSL의 표준안에는 CP(cyclic prefix)와 CS를 더한 길이가 양방향 전파지연과 채널의 임펄스 응답을 커버하도록 의무화되어 있으며, OAM 시스템에 따라 변경할 수 있도록 규정함으로써 시간 영역의 등화기는 필요치 않도록 조치하고 있다.



요약하면, Zipper 듀플렉싱 체계에서는 수신신호와 echo 신호의 직교성을 유지하기 위하여 송신의 동기화를 수행하는 동시에 cyclic extension을 이용하여 전파지연을 보상하고 있다.

### 3) Self-NEXT 문제와 망 동기 문제

Zipper 체계에 있어서, 위에서 언급한 echo 문제와 더불어 NEXT 문제로 확장시킨다 하더라도 동일한 원리를 적용하여 해결할 수 있다. 하나의 선로 바인더에 포함되어 있는 모든 시스템이 upstream/downstream 방향으로 동일한 부반송파 집합을 사용한다면, NEXT의 영향은 echo를 처리했던 것과 같은 방법으로 취급할 수 있다는 것이다. 즉, NEXT란 송신기와 같은 측에 있는 다른 수신기에 미치는 영향을 말하므로, 정상적인 수신신호와 NEXT의 영향이 직교성을 유지하도록 조치함으로써 해결할 수 있다. 그러나, 이러한 조치는 동일한 선로 바인더에 있는 모든 송신기가 시간적으로 동기화 되어야 하며, 동일한 심볼 타이밍과 동일한 전송속도를 가져야 한다. 또한, 모든 DMT 심볼은 동일한 길이의 CS를 가져야 하며, 그 길이는 바인더 내에서 가장 긴 선로를 고려하여 결정되어야 한다.

이와 같은 방식은 이론적으로 매우 정확하지만 실질적인 상황에서는 문제를 발생시킨다. 즉, 다수의 운영자가 하나의 unbundled 네트워크를 이용하여 서비스를 제공할 경우, 이들 사이에 시간적 동기화를 이룬다는 것은 매우 어려운 일이다. 이를 위하여 적응(adaptive) Zipper와 비동기 NEXT 제어방식이 제안되어 있다.

### 4) ADSL과의 호환성

VDSL과 ADSL의 상호운용성(interoperability)에 관한 문제는 최근의 표준화 회의에서 심도 있게 논의되었다. DMT 변조와 Zipper 듀플렉싱에 기반을 둔 VDSL 모뎀은 단지 소프트웨어 개선에 의하여 기존의 ADSL과 상호운용성을 갖는 것으로 평가되었다. 이는, VDSL 모뎀을 기존의 ADSL과 동일한 부반송파 간격(subcarrier spacing)을 갖도록

설계함으로써 스펙트럼 호환성을 유지하고, VDSL 모뎀이 ADSL 시스템에도 작동하도록 하는 것이다. 이와 같은 호환성을 확보하는 것은 운영자의 입장에서 한 종류의 카드로 ADSL과 VDSL을 모두 운용할 수 있다는 점에서 매우 유리하다. 또한, 기존의 가입자가 서비스의 형태를 바꾸고자 할 경우나 새로운 가입자가 다른 서비스를 요구할 경우 용이하게 이를 해결해 줄 수 있다. 한편, 가입자의 입장에서 새로운 모뎀을 구입하지 않고도 서비스의 형태나 운영자를 바꿀 수 있다는 점에서 유리하다. 더욱이 교환 중심의 구축방식에서 캐비닛 전개방식으로의 전환에 있어서도 무리 없는 운영을 가능케 하는 것이다. 즉, Zipper-VDSL 카드들을 동일한 서비스를 제공하기 위한 캐비닛에 설치할 수 있으며, 이 때에도 가입자들은 약간의 서비스 중단을 감수하면 되는 것이다. ADSL 가입자를 VDSL로 전환하는 일은 단지 OAM 시스템을 조작함으로써 가능하게 된다.

## 2. SCM-VDSL(single-carrier modulation VDSL)

### 가. VDSL deployment

VDSL 시스템을 구성하는 여러 가지 요소들의 개념은 다음과 같다.

#### 1) Core Network

음성, 데이터, 비디오 등 여러 가지 형태의 서비스와 ATM, STM, IP 등 다양한 프로토콜을 제공하는 통신망으로 CO에 위치한 AN을 통하여 Access Network에 연결된다.

#### 2) OLT & ONU

광섬유 선로는 CO 측의 OLT(optical line termination)로부터 가입자 측의 ONU까지 연결된다. 이 때, ONU의 위치는 FTTx의 형태에 따라 local Exchange(FTTEx), Cabinet(FTTCab), Base-

ment(FTTB) 등으로 정해질 수 있다.

### 3) ONU & NT

NT(network termination) 장치는 가입자 사이트에서 필요한 프로토콜 정합을 제공한다. 따라서 ONU와 NT 사이에는 VDSL 선로가 구축되는 것이다. 또한, ONU와 NT에는 각각 스플리터가 장착되어 VDSL 선로를 통하여 POTS 혹은 ISDN 등 저주파대역의 서비스를 제공할 수 있도록 조치한다.

### 4) VTU-O & VTU-R

VDSL 신호를 전송하는 VTU(VDSL transmission unit or VDSL transceiver)는 ONU 측(VTU-O)과 NT 측(VTU-R)을 연결하여 VDSL 선로를 종단한다.

### 5) FTTCab 장비

일반적으로 선로 캐비닛에 설치되는 장비들(ONU, VTU-O 등)은 전력의 공급조건이 열악한 상태에서 동작하여야 한다. 이들은 교환국을 벗어나, 설치장소에서 직접 전력을 공급해야 하며 배터리 백업 등이 필요하다. 현재, VTU-O의 소모전력은 약 1.0와트를 목표로 하고 있다.

VDSL은 동일한 선로 바인더에 다른 종류의 xDSL 서비스와 공존할 수 있다. 이 선로들은 스펙트럼 점유대역을 공유하고 있기 때문에 상호간의 간섭을 일으키게 되며, 이러한 간섭은 선로 사이의 Crosstalk(NEXT, FEXT)을 발생시킨다. 현재, 표준화 과정에서 가장 심각한 과제로 부각되고 있는 것이 바로 Crosstalk 문제이며, 이를 해결하기 위한 스펙트럼 호환성 연구가 활발하게 진행되고 있다. 또한, 아마추어 무선이나 방송 등으로부터 유도되는 RFI(radio freq. interference)와 임펄스 잡음 등이 Crosstalk과 함께 VDSL 시스템의 잡음환경을 구성하는 주요 원인이 되고 있다.

### 나. 듀플렉싱 방식(FDD)

SCM-VDSL 시스템에서도 FDD 방식을 사용한다. 이는, FDD 방식이 unbundling을 단순화할 뿐 아니라 공동의 동기체계를 구축하지 않고도 동일한 선로 바인더에서 서로 다른 사업자가 각각 서비스를 제공할 수 있는 장점을 가지기 때문이다.

서로 다른 사업자가 제공하는 VDSL 시스템 사이에 나타나는 NEXT를 극복하기 위하여 고정대역 할당방식(fixed band allocation)이 사용되어 왔다. 그러나, 동일한 선로 바인더에서 upstream 및 downstream 방향으로 공히 높은 성능을 유지하기 위해서는 한쪽 방향에 여러 주파수대역을 할당할 필요가 있다.

### 다. Timing

VTU-O에서는 VDSL 신호를 전송하기 위하여 표준화된 네트워크 마스터 클럭을 사용한다. 즉, SONET(synchronous optical network), SDH(synchronous digital hierarchy) 혹은 PON(passive optical network) 등의 클럭을 사용한다. 이는, 종단과 종단 사이에 통신망의 동기를 유지하기 위한 조치이다. 그러나 만일 VTU-O에서 이와 같은 마스터 클럭이 가용하지 않으면 자체적으로 클럭을 만들어 사용하게 된다.

VTU-R에서는 VDSL 데이터 신호로부터 클럭을 복원하여 사용한다. 만일 VTU-O와 VTU-R 사이에 동기가 깨지면, VTU-R은 링크재생 과정을 진행하기 위하여 자체적으로 생성되는 클럭으로 돌아간다.

### 라. SCM-VDSL 송신기

#### 1) 송신기의 구조

SCM-VDSL 송신기는 PSS(passband spectral shaping)와 BSS(baseband spectral shaping)의 두 가지 방식으로 구현될 수 있다. 이들은 입력 데이터신호에 대한 대역의 할당이 변조 이전이나 이후나에 따라 구분된다. 이 두 가지 중 송신기의 형태를 결정하는 것은 수신기의 역할이다.

PSS 방식을 적용한 송신기를 CAP(carrier-less

amplitude/phase) 송신기라 하며, BSS 방식을 적용한 송신기를 QAM(quadrature amplitude modulation) 송신기라 한다.

## 2) 전송 전력 스펙트럼

VDSL 연합에서 제시하는 스펙트럼 할당에 의하면, VDSL 시스템과 다른 종류의 서비스 사이에는 스펙트럼 호환성이 보장된다. 또한, 서로 다른 VDSL 서비스 사이의 스펙트럼 호환성은 4-대역 UBA(universal band allocation) 계획에 의하여 보장할 수 있다. VDSL의 전력밀도 스펙트럼을 설계할 때 고려해야 할 또 하나의 조건은 아마추어 무선(HAM)에 의한 전파방해이며, 이를 극복하기 위하여 해당 주파수대역에 Notch를 두는 방안이 제안되어 있다.

VDSL 신호는 주로 두 가지 주파수대역을 사용한다. 1.1~20MHz 대역은 VDSL 시스템의 주 대역으로, ADSL이 사용하는 대역을 대부분 피해가고 있으나, ADSL 시스템의 전력누설(power leakage)에 의하여 발생할 수 있는 NEXT 혼신에 대비하기 위하여 전력밀도 스펙트럼을 'boost' 시켜주는 전략을 사용한다. 한편, 120kHz~1.1MHz 대역은 ADSL의 주 대역과 공유하는 대역으로, 혼신을 방지하기 위한 특별한 조치가 필요한 곳이다. FTTE<sub>x</sub> 기반에서는 ADSL과 공존할 가능성이 크므로 VDSL-efficient 혹은 ADSL-compatible 모드 등이 제안되어 있으며, FTTCab 기반에서는 ADSL 시스템이 공존할 가능성이 희박하지만 이들 모드를 그대로 적용하더라도 무리가 없다. 이러한 전력밀도 스펙트럼(PSD) 설계와 함께 전송전력이 약 11.5dBm 정도로 제한되어 있다.

## 3) Notching for RF egress

VDSL 선로에 미치는 전자파 방해를 방지하기 위하여 스펙트럼 상의 해당 주파수대역에 Notch를 둔다. 이러한 전자파 방해가 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 부분은 가입자의 단말에 직접 연결되는 인입선(drop cable)이므로 전자파 방해에 대한 대책은 주로 가입자 주거지를 중심으로 상정되어야 한다.

전자파 방해 중 가장 심각한 것은 아마추어 무선(HAM) 수신기의 청취장애이다. VDSL 스펙트럼 설계에 있어서 이를 방지하기 위한 조치는 HAM 무선 주파수대역에 Notch를 형성해 두는 것이다. 이는 특수한 Notch-filter를 설계하여 구현할 수 있으며, 해당 대역에 대하여 약 -80dBm/Hz 정도의 Notch를 형성하도록 설계한다. 이때, 이러한 Notch에 의한 VDSL 전송용량의 감소를 최소화하기 위하여, 동시에 적용해야 하는 Notch의 수나 그 주파수대역들은 개별적으로 프로그램할 수 있도록 구현되어야 한다. HAM 이외에도 전자파 방해를 일으킬 수 있는 무선장치들은 다양하므로 RFI 환경에 따라 서로 다른 주파수대역에 Notch를 설치할 수도 있는 것이다.

## 4) Upstream 전력손실에 대한 방안

동일한 선로 바인더에 공존하는 단거리 서비스 신호가 장거리 서비스의 upstream 방향에 미치는 FEXT에 의한 성능저하를 방지하기 위한 조치를 말한다. 이는 ONU에 근접한 VTU-R의 전송전력을 감소시킴으로써 해결한다.

여기에는 'startup backoff'와 'steady-state PSD shaping' 등 두 가지 방식이 제안되어 있다. Startup backoff는 선로의 연결 동작의 시작부터 전송 PSD를 일정하게 감소시키는 방식이며, 이 때의 감소량은 수신되는 downstream 신호와 선로 바인더의 공존 상태에 따라 결정한다. 최대 허용 감소량은 약 40dB이다. Steady-state PSD shaping은 정상상태 동작에서 섬세한 튜닝을 거쳐 정확한 전력감소를 의도하는 방식이다. 이 때, 수신되는 upstream 신호의 특성이 반드시 고려되어야 하며, VTU-O는 수신되는 upstream 신호에 대한 정보를 관리채널을 통하여 VTU-R에 전달해 주어야 한다.

## 마. SCM-VDSL 수신기

### 1) 수신기의 구성

SCM-VDSL 수신기는 그와 대응되는 송신기의 형태에 따라, PSS(CAP) 복조기 혹은 BSS(QAM)

복조기 및 디코더로 이루어진다. 이들 복조기는 공통적으로 DFE(decision feedback equalizer)와 다음에 설명하는 듀얼 모드 수신기로 구현될 수 있다.

일반적으로 DFE는 전송에 사용되는 전 대역에 걸쳐 최적성을 유지하고자 하는 특성이 있다. 이러한 특성은 VDSL 채널 상에 광대역 Gaussian 잡음이 작용할 때 다소 성능이 저하되는 결과를 나타낸다. 그러나 VDSL 전송에 있어 가장 큰 영향을 미치는 시변 RFI(time-varying RFI, e.g. HAM)의 임펄스 특성에 대해서는 좋은 성능을 나타낸다. 따라서 광대역 잡음에 대한 다소의 성능저하는 크게 문제되지 않으며, 오히려 협대역 RFI에 대한 이득이 크다는 사실이 DFE의 장점을 부각시키는 것이다.

## 2) 듀얼 모드 수신기

CAP/QAM 듀얼 모드 수신기의 구성과 동작은 다음과 같다. 만일, 16-CAP 신호가 전송된다면 등화기의 출력은 Constellation-points에 수렴하게 될 것이다. 그러나 16-QAM 신호에 대해서는 등화기에 Rotator를 추가로 부착하여야 한다. 이 Rotator는 CAP 신호의 각 심볼에 대하여  $\omega_c T = 2\pi f_c T$  만큼의 위상천이를 적용하는 것이다. 여기서  $f_c$ 는 반송파 주파수이며, T는 심볼주기를 나타낸다. 이러한 QAM 신호는 소위 'Blind training' 과정을 거쳐 전송 신호의 Constellation-points에 수렴한다.

듀얼 모드 수신기는 Constellation을 검사하여 대응되는 송신기가 CAP 변조기인지 QAM 변조기인지를 구분한다. 'Blind training' 과정을 통하여 수신기는 등화기의 출력을 검사하여 필요한 경우 Rotator를 동작시키고, 출력신호의 수렴과정에 따라 CAP 혹은 QAM 신호를 구별해내는 것이다. 이러한 등화기 알고리즘은 소위 MMA(multimodulus algorithm)라는 이름으로 제안되어 있으며, Blind Equalizer라는 이름으로 연구되었다[8].

## 바. SCM-VDSL 시스템의 RFI 제어 능력

앞에서 설명한 바와 같이, SCM-VDSL 수신기는 DFE를 사용함으로써 시변 협대역 RFI 잡음을 스펙트럼 상의 Notch에 의하여 효과적으로 제어한다.

이러한 Notch는 Bridged-tap을 이용하여 구현하거나 국제적으로 허용된 스펙트럼 형태에 따라 구현한다. DFE에서 이러한 손실을 제어하는 원리는 모든 경우에 근본적으로 동일하다.

DFE의 두 여파기 'Feed-forward filter'/'Feed-back filter'는 원리적으로 적응 FIR(finite impulse response) 필터이다. 시스템으로 유입되는 RFI를 방지하기 위하여, 'Feed-forward filter'는 해당 주파수 대역에 Notch를 형성함으로써 그 출력에서 RFI의 방해를 최소화 한다. 이러한 Notch에 의하여 발생하는 ISI(intersymbol interference)는 그 후단의 'Feed-back filter'에 의하여 보상되는데, 채널로부터 인가되는 스펙트럼과 이 'Feed-back filter'로부터 인가되는 스펙트럼이 겹쳐져 비교기(slicer)의 입력은 평평한 스펙트럼이 되도록 조정되는 것이다. 여기에서 약간의 성능저하가 예상되나, MSE(mean square error) 알고리즘에 의하여 DFE는 HAM을 비롯한 시변 RFI에 잘 적응하는 것으로 알려져 있다.

RFI에 대한 대책으로 'Feed-forward filter'는 스펙트럼 상에 Notch를 형성한다. 이러한 Notch가 매우 깊은 경우에도 DFE는 원리적으로 동일한 동작을 수행하게 된다. 여기서 반드시 고려해야 하는 사항은 DFE가 처리하는 깊은 Notch의 수가 증가하면 그 설계가 복잡해지므로 시변 Notch를 추적하는 동작은 오히려 둔감해진다는 사실이다. 일반적으로 DFE는 하나의 시변 Notch와 2~3개의 고정 Notch를 보상할 수 있도록 설계된다.

## 사. AFE 특성

VDSL 송수신기의 AFE(analog front-end)는 DAC(digital-to-analog converter), ADC(analog-to-digital converter), 그리고 여러 개의 BPF(bandpass filter)로 구성된다. AFE는 그 고유의 동작 이외에 이득조정을 수행하여 ADC나 입력회로들에 과부하가 걸리지 않도록 제어한다. 즉, AFE의 아날로그 회로는 ADC나 DAC를 설계함에 있어 비트 수 조건을 완화하도록 작용하는 것이다. 수신측의 아

날로그 BPF는 전송신호의 누설 부분을 억제하여 ADC의 요구 해상도를 낮추고, 송신측의 아날로그 BPF는 수신기에 유입되는 양자화 잡음을 감소시켜 궁극적으로 DAC의 요구 해상도를 낮춘다.

이들이 대역 밖의 신호를 억제함으로써 얻는 효과는 적어도 12dB 이상인 것으로 평가되고 있다. 이러한 억제 효과로 송수신기에는 기존의 11-bit 해상도의 ADC와 DAC를 사용할 수 있으며, 여기에는 RFI를 방지하기 위한 1~2bits가 포함된다. 또한, 혼신을 방지하기 위하여 필요한 외부대역 억제 효과인 50~60dB는 등화기에 의하여 실현된다.

송신과 수신 대역 사이에 설정된 10~15% 정도의 보호대역은 이들 아날로그 BPF의 단순화에 기여하며 전송대역의 경계선에서 채널특성을 향상시킨다. 이러한 효과에 의하여 아날로그 BPF는 대체로 3~5차 정도로 구성된다.

만일 이러한 아날로그 BPF를 사용하지 않는다면, 전송신호의 누설은 ADC의 요구 해상도를 크게 증가시켜, 장거리 전송의 경우 약 90dB에 이르게 된다. 이러한 경우 수신측의 입력에서 받아들일 만한 양자화 잡음을 얻기 위해서는 14-bit 해상도를 갖는 ADC와 DAC가 필요할 것이다.

#### 아. SCM-VDSL 기술의 융통성

SCM 송수신기의 각종 파라미터들은 시스템의 동작중에 수시로 변화한다. VTU-O와 VTU-R은 관리채널을 통하여 이들 파라미터를 교환한다. 일반적으로 제안된 SCM 송신기의 파라미터에는 다음과 같은 것들이 포함된다.

- Constellation의 크기: 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256
- 심볼속도: 67.5kbaud 단위로 조정 가능
- 반송파 주파수: 67.5kHz 단위로 조정 가능
- BPF 파라미터:
  - 보상 가능한 Notch의 수(보통 3~4), Notch의 폭과 위치는 프로그램 가능
  - 전송 전력밀도 스펙트럼의 형태

전송신호의 스펙트럼 할당은 4-대역 UBA 계획

에서 설정된  $f_1 \sim f_8$  주파수에 따라 결정된다. 이러한 스펙트럼 할당의 최적조건은 각 전송대역에 대하여 반송파 주파수와 심볼속도를 고려하여 얻을 수 있다. 스펙트럼 할당에 주어지는 이와 같은 융통성은 운영자로 하여금 데이터 전송속도와 전송거리 사이의 Trade-off를 적절히 조정할 수 있도록 한다. 일반적으로 주어진 대역에서 낮은 주파수를 반송파로 선택하면 장거리 전송에 있어서 성능을 향상시킬 수 있다. 또한, 잡음환경에 따라 문제시되고 있는 대역을 피하여 반송파를 선택함으로써 방해전파나 임펄스잡음 등을 방지하는 효과를 얻을 수도 있다. 대부분의 경우 전송 데이터 속도는 135kbps 이하를 단위로 조정할 수 있다.

## V. 결론 및 향후 연구방향

본고는 동선 전화선로와 FTTC/FTTCab/FTTN 기반을 이용하여 수십 Mbps 단위의 전송속도를 구현하고자 하는 VDSL 접속방식에 대하여 분석하였다. 즉, 표준화 단체를 중심으로 진행되고 있는 접속 표준 및 기술규격 등을 검토 분석하고 그 변조 및 코딩체계에 대하여 상세히 정리하였다.

현재 동선 전화선로를 이용하여 가입자 접속서비스를 시행하고 있는 ADSL과 그 변형서비스가 존재하는 가운데, 향후의 기간망은 분배점 혹은 캐비넷까지 광섬유 선로가 구축된다는 가정 하에 VDSL 방식으로 기술발전 방향이 급속회하고 있다. 따라서 이 기술은 FTTH로 가기 위한 중간자 역할을 하리라 예상된다. VDSL 시스템은 하향 13~55Mbps, 상향 1.6~19.2Mbps의 전송속도를 초기에는 비대칭으로, 후에는 양방향 대칭 전송속도를 제공할 것이다. VDSL 기술의 문제점으로는 앞으로의 고속 상/하향 대칭 데이터 전송 시의 방향을 제거하는 문제, 다양한 선로에 맞는 전송속도를 유지하는 문제, ADSL 보다 가격 면에서 저렴해야 하는 문제점이 있고, 이 문제의 해결에 VDSL 기술의 성공여부가 달려 있다.

현재 VDSL의 표준안 후보로 제안되어 있는

Zipper와 SCM에 대해서는 ‘VDSL Coalition,’ ‘FSAN Working Group’ 등의 연합과 ETSI, ANSI, ITU-T, DSL-Forum 등의 표준화 단체들을 중심으로 연구되고 있다. 이들은 이 두 가지 방식에 대한 완벽한 사양을 제시하고자 하며, 사양의 내용을 수시로 수정하고 있다. 우리나라의 초고속 단말장치 기술 개발은 이러한 기술발전 추세에 맞추기 위해서는 필수적으로 이 사양들을 고려해야 하는 것이다.

그리고 xDSL 시장은 기술적 대안의 난립에도 불구하고 막대한 시장 잠재력으로 인해 평가는 낙관적이다. 그러므로 경쟁력 있는 국산 xDSL 제품이 조기에 공급될 수 있도록 VDSL 등 차세대 DSL 기술개발을 추진하고, 개발결과를 국제표준화 하고 국제표준화 흐름을 국내 통신망 정책에 조기 반영하여야 할 것이다.

## 참고 문헌

[1] D.J. Rauschmayer, ADSL/VDSL Principles, A Practical and Precise Study of Asymmetric Digital Subscriber Lines and Very High-Speed Digital Subscriber Lines,

MacMillan, 1999.

- [2] J.M. Cioffi and S. Olcer *et al.*, “Very High-Speed Digital Subscriber Line,” *IEEE Comm. Mag.*, Vol. 38, No. 5, May 2000, pp. 62 – 119.
- [3] P. Odling, B. Mayr and S. Palm, “Technical Impact of the Unbundling Process and Regulatory Action,” *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 38, No. 5, May 2000.
- [4] FSAN VDSL Working Group, “Power-Backoff Methods for VDSL,” ETSI TM6 cont. 983T17A0, June 1998.
- [5] F. Sjoberg *et al.*, “Power Backoff for Multiple Target Rates,” ETSI TM6 cont. 985T25A0, Nov. 1998.
- [6] K.S. Jacobsen, “The ‘Equalized FEXT’ Upstream Power Cutback Method to Mitigate the Near-Far FEXT Problem in VDSL,” ETSI TM6 985T05A0, Nov. 1998.
- [7] FASN VDSL Working Group, “Proposal for Crosstalk Combination Method,” ANSI T1E1.4/98-328, Nov. 1998.
- [8] J.J. Werner *et al.*, “Blind Equalizer for Broadband Access,” *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 37, No. 4, Apr. 1999, pp. 87 – 93.