



요약

초고속 가입자망을 이용한 서비스는 인터넷을 중심으로 다양하게 전개되고 있고, 최근 HDTV와 같은 고품질 멀티미디어를 이용한 새로운 형태의 서비스들도 등장할 전망이다. 또한, ATM 망의 본격 구성, 인터넷 망에서의 보안, 통신 품질 보장 기술의 진전으로 현재 고가의 회선 교환망을 통하여 이루어지고 있는 음성서비스와 기업의 전용선 서비스도 패킷기반의 인터넷망과 ATM망 등으로 전환될 전망이며, 동시에 그 사용 대역폭도 크게 확대될 전망이다. 이러한 초고속 서비스의 본격 이용 및 일련의 새로운 서비스 방향은 한층 더 고속화되고 다양한 기능을 가진 초고속 가입자망의 출현을 예고하고 있다.

속 서비스를 받는 가입자는 8백만명에 이르고 있다¹⁾. 또한 초고속 가입자망을 이용한 서비스도 인터넷을 중심으로 다양하게 전개되고 있다. 특히, 최근 SD/HD 급의 digital TV의 시범서비스가 시작되고 있어, 인터넷 멀티미디어 품질에 대한 수요가 한 단계 높아지고, 고품질 멀티미디어를 이용한 새로운 형태의 서비스들도 등장할 것으로 전망된다. 또한, ATM 망의 본격 구성, 인터넷망에서의 보안, 통신 품질 보장 기술의 진전으로 현재 고가의 회선 교환망을 통하여 이루어지고 있는 기업의 전용선 서비스도 패킷기반의 인터넷망과 ATM망 등으로 전환될 전망이며, 동시에 그 사용 대역폭 수요도 크게 확대될 전망이다. 이러한 초고속 서비스의 본격 이용 및 일련의 새로운 서비스 방향은 한층 더 고속화되고 다양한 기능을 가진 초고속 가입자

특집 ■ 광가입자망

초고속 광가입자망 기술 현황 및 도입 전망

유태환*, 이형호*

본 고에서는 초고속 가입자망의 기술 현안에 대해서 살펴보고자 한다. 우선, 초고속 가입자망의 정의 및 관련 표준 현황에 대해서 기술하고, 가입자당 20 Mb/s 서비스를 제공할 경우 발생할 traffic 양을 간단한 방법으로 분석한다. 그리고 현재의 가입자망 현황, 다양한 광가입자망 방식에 대한 기술 검토, TDM/TDMA PON 광가입자망, WDM/WDMA PON 광가입자망에 대한 기술 현안 등을 각각 기술한다.

1. 들어가기

ADSL이 도입된 1998년부터 지금까지 국내의 가입자망은 빠른 속도로 변하여 현재 1Mb/s 이상의 초고

망의 출현을 예고하고 있다.

유선 가입자망 기술은 고대역폭 등 단순한 기술적 우위만으로 가입자에게 수용되지는 않는다. 적절한 응용 서비스와 그에 상응하는 가격, 그리고 향후 확장성 등이 필수적이다. 대역폭, 전송거리, 확장성, 신뢰성, 유지보수, 가격 등에 있어 경쟁력을 갖추게 된 광가입자망은 초고속 무선서비스를 통합하고 차별화된 서비스를 용이하게 제공할 수 있는 궁극적인 가입자망 공통 기반 시설로 구축되는 것이 바람직하다. 광가입자망은 광통신 방식이 적용된 1980년 초 이후 그 잠재적 가능성 때문에 가입자망에 적용하는 노력이 계속되었으나 광범위한 가입자 기반 시설의 교체 문제, 고가의 광부품 문제 등으로 본격 적용이 미루어져 왔다. 본 고에서는 새로운 전기를 맞고 있는 광가입자망의 기술적

* 한국전자통신연구원 네트워크연구소

현안을 살펴보고, 향후 기술 과제, 도입 전망에 대해 가늠해 본다.

이를 위해 우선 2장에서는 가입자망의 정의 및 관련 표준 현황에 대해서 기술하고, 이어서 3장에서는 가입자당 20 Mb/s 서비스를 제공할 경우 발생할 traffic 양을 간단한 방법으로 분석한다. 4장에서는 현재의 가입자망 현황, 5장에서는 다양한 광가입자망 방식에 대한 기술 검토, 6장에서는 TDM/TDMA PON 광가입자망, 7장에서는 WDM/WDMA PON 광가입자망에 대한 기술 현안 등을 각각 기술하고, 8장에 맺음말로 본고의 내용을 정리한다.

2. 가입자망 정의 및 표준 현황

2.1 가입자망의 정의

전화망, CATV 망, 컴퓨터망, 위성망 등 분리된 통신망에서는 각 통신망에 따라 가입자망이 별도로 구성된다. 그러나, 다양한 서비스의 통합화가 진행되는 현재 상황에서는 서비스에 의존하지 않는 통신망, 통신망에 의존하지 않는 서비스가 정의되고 있다. 음성 전화가 인터넷망을 통해 서비스되고, 방송이 CATV망 이외의 다른 망을 통해서 전달 될 수 있는 것이다. 따

라서, 가입자망도 이러한 새로운 통신 환경을 수용하여 정의되고 있다. 이를 위해 ITU-T는 1998년부터 GII(Global Information Infrastructure)에 대한 표준화 활동을 시작하였고, ITU-T 내 여러 그룹에서 진행되고 있는 가입자망의 표준화를 GII 개념을 반영하여 SG15 WP5에서 주관하도록 하였다. 가입자망은 1995년 G.902에 의해서 그 기능 구조, 범위가 정의된 바 있으나, GII 표준화 연구가 본격화 된 이후 G.902를 기초로 하고 GII 개념 권고안인 Y.100을 반영하여 가입자망이 정의되고 있다. 이러한 가입자망에 대한 연구 계획이 ITU-T SG15 WP5의 "Access Network Standardization Plan, Issue 5, Oct, 2001"에 기술되어 있다. 따라서, 본 고에서는 ITU-T에서 새롭게 정의하는 가입자망의 정의를 그대로 수용하고자 한다.

가입자망(Access Network)은 가입자의 사설망/장치와 서비스 노드 사이에 위치하고 서비스 노드와 가입자간의 통신 서비스를 위해 전달지원기능(Transport Bearer Capabilities)을 갖는다. 이때, 서비스 노드와의 접속점은 SNI(Service Node Interface), 가입자 사설망/장치와의 접속점은 XNI(BISDN의 UNI도 XNI의 일종으로 포함됨)로 정의되고, 망관리를 위해 Qx 접속점을 갖는다. 실제 가입자망은 가입자망 선로와 여러 형태의 가입자망 구성요소로 구성된다. 서비스노드는 음성전화교환기,

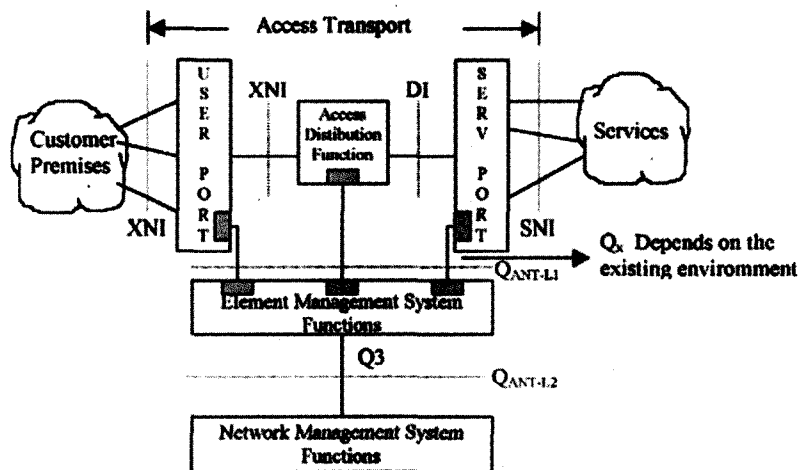
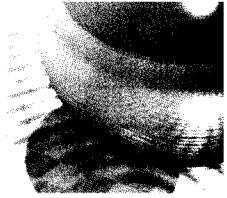


그림 1. Access Network Transport functional model (ITU-T 자료 인용²⁾)



ATM 스위치, 인터넷 액세스라우터, 코어/메트로 WDM 혹은 SDH 전송 장치, 디지털회선교차연결기(DCS), CATV의 Head-End, VoD server 등 다양한 서비스 제공 장치를 의미한다.

그림 1은 가입자망의 기능 모델을 표시하고 있다. 여기에서 XNI는 GII Y.100에서 의도한 것으로 서비스에 의존하지 않는 가입자 영역과 공중망영역 사이의 접속점으로 정의된다. 가입자망이 제공하는 XNI, SNI에는 제한이 없다. 요구되는 서비스 노드, 가입자 장치에 대한 정합 기능을 수용할 수 있도록 가입자망을 설계되어야 한다. 즉, 어떤 특정 서비스에 대해서만 동작하는 구조가 아니고, 가능한 한 다양한 종류의 서비스가 수용될 수 있도록 가입자망의 전송미디어, 망 구성요소, 전달지원기능 등이 구현되어야 한다. 그림 1에서 DI(Distribution Interface)는 가입자망 내부의 접속점으로 가입자망 전달 기능이 적용된다.

가입자망의 중요한 특징은 사용자 혹은 서비스 노드가 발생한 signalling을 해석하지 않고 그대로 전달하는 기능만을 수행한다는 것이다. 전달 지원 기능(Transport Bearer Capabilities)는 다음의 세가지로 구현된다. 첫 번째는 사용자와 서비스 노드간의 데이터 채널을 정적으로 구성하는 것이다. 두 번째는 서비스 노드, 혹은 사용자의 요구가 있을 때마다 동적으로 채널을 구성하고, 사용이 종료되면 폐지하는 방법이다. 동적 채널 구성은 가입자망에서 선택적으로 수용할 수 있다. 세 번째는 패킷 routing 방식의 전달지원기능이다.

2.2 광가입자망 표준화 동향

가입자망에 대한 표준화는 ITU-T SG15 WP5에서 주관하고 있고, 진행되고 있는 Question은 다음과 같다.

- SG15 Question 1: Network access transport (WP5)
- SG15 Question 2: Optical systems for access networks (WP1)
- SG15 Question 3: Support for recommendations specifying systems based on ISDN physical

layers (WP1)

- SG15 Question 4: Transceivers for customer access and in-premises phone line networking systems on metallic pairs (WP1)

Question 1은 Y.100의 GII 개념을 반영하고, SG6, SG13, SG15에서 진행되고 있는 가입자망 전달 기능(Access network transport) 관련한 표준을 주관하고, 조정하는 역할을 하고 있다. 현재 2001-2004년 동안 진행되는 가입자망 표준화 계획서 Issue 5가 나와 있고, Issue 5에는 Y.100, G.902에 기초하여 다음과 같은 내용을 기술하고 있다.

- 가입자망의 기능, 범위를 정의
- 가능한 서비스노드(SN), 서비스노드 접속 종류(SNI), 가입자 접속(XNI) 열거
- 가입자망 관련 표준 활동 명세
- 가입자망 서비스 시나리오

표 1에는 가입자망에 직접적으로 관련된 권고안을 정리하였다. 현재 가입자망의 기능 구조, SNI, UNI, 광가입자망, xDSL 가입자망 등에 대한 표준 권고안이 확정되었거나 준비 중에 있다.

광가입자망에 대해서는 1998년 8월 ATM-PON에 대한 권고안 G.983.1이 확정되었고, 2001년 3월 ATM-PON에 WDM 기능을 추가하기 위한 권고안이 G.983.3으로 작성되었다. ATM-PON에 대한 ITU-T 표준은 KT, BT, NTT, FT, BellSouth, SBC 등 세계적으로 규모가 큰 통신사업자들의 1996년 구상한 FSAN Initiative의 주도로 진행되었다. FSAN에서는 FTTH, FTTC/VDSL 광가입자망을 조기에 구축하는 것을 공동 목표로 하고 있다. 국제 규격의 광가입자망 표준을 정함으로써 일시에 많은 수요 발생을 유도하여, 문제가 되어왔던 광부품, 광관련 설비들의 가격이 대폭 하락을 의도하고 있다. FTTC형 광가입자망과 연동하여 가입자 인입단의 짧은 전화선 구간에 적용하기 위한 VDSL은 G.993으로 진행되고 있고 현재 선로부호(line code)를 QAM 방식으로 할 것인

초고속 광가입자망 기술 현황 및 도입 전망

표 1. ITU-T 가입자망 관련 권고안

분류	권고안	내용
가입자망 기능 구조	G.902	Framework recommendation on functional access networks
	G.964	V interfaces at the digital local exchange (LE) -V5.1 interface (based on 2048kbit/s) for the support of access network (AN)
	G.965	V interfaces at the digital local exchange (LE) -V5.2 interface (based on 2048 kbit/s) for the support of access network (AN)"
	G.966	Access Digital Section for B-ISDN (G.96x)
	G.967.1	V interfaces at the digital Service Node (SN); Interfaces at the VB5.1 reference point for the support of broadband or combined narrowband and broadband Access Networks (G.VB51)
	G.967.2	V interfaces at the digital Service Node (SN); Interfaces at VB5.2 reference point for the support of broadband or combined narrowband and broadband Access Networks (G.VB52)
XNI	I.410 ~ I.432	ISDN, BISDN Unser Network Interface
Optical Access Network	G.982	Optical access networks to support services up to the ISDN primary rate or equivalent bit rates
	G.983.1	Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON)
	G.983.2	Broadband optical access systems based on ONT management and control interface specification for ATM PON
	G.983.3	A broadband optical access system with increased service capability by wavelength allocation
xDSL	G.989.1	Phoneline networking transceivers - Foundation
	G.991.1	High bit rate Digital Subscriber Line (HDSL) transceivers
	G.991.2	Single-Pair High-Speed Digital Subscriber Line (SHDSL) transceivers
	G.992.1	Asymmetrical digital subscriber line (ADSL) transceivers
	G.992.2	Splitterless asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers
	G.994.1	Handshake procedures for Digital Subscriber Line (DSL) transceivers
	G.995.1	Overview of digital subscriber line (DSL) recommendations, for ap
	G.996.1	Test procedures for digital subscriber line (DSL) transceivers
	G.997.1	Physical layer management for digital subscriber line (DSL) transceivers

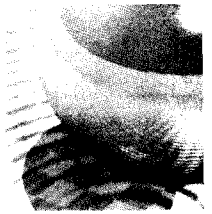
지, DMT 방식으로 할 것인지만을 남겨 놓고 대부분의 규격이 완료된 상황이다. VDSL은 ADSL 과 같은 비대칭모드로 동작할 경우에는 900 meter 전송 거리에서 하향 22Mb/s 상향 3Mb/s 의 속도를 보장하며, 대칭모드로 동작할 경우에는 같은 거리에서 상하향 각각 13Mb/s의를 유지한다.

한편 2001년 3월부터 IEEE 에서도 사설망으로 제한되어왔던 Ethernet LAN을 가입자망으로 확장하기 위한 표준안을 IEEE 802.3ah에서 진행하고 있다. 1Gb/s 점대점 광가입자망, 1Gb/s 점대다점 광가입자망, 전화선을 통한 10Mb/s Ethernet 등에 대한 표준화가 2003년 8월 완료를 목표로 진행되고 있다. 표 2에는 IEEE802.3ah에서 추진하고 있는 표준화 목표를 정리하였다. 점대다점 광섬유는 PON을 의미하며,

표 2. IEEE 802.3ah 표준화 목표

- 점대점 광섬유, 점대다점 광섬유, 점대점 전화선 가입자망 구조 규격
- 넓은 온도 범위에서 동작하는 1000BASE-X, 단일모드 광섬유를 통해 10Km 이상 전송하는 1000BASE-X, 단일모드 광섬유를 통해 10km 이상 1000Mbps 속도로 전송하는 1:16분기 이상의 Ethernet PON, 2500 ft 이상 거리의 전화선 한쌍을 통해 10Mbps 이상의 전송 등을 위한 물리계층 규격
- 원격 결함, 원격 loopback, 선로 감시 등 OAM 기능

IEEE802.3ah 에서는 Ethernet 기반 PON에 대한 표준화를 진행하고 있다. ITU-T에서 권고안으로 확정된 ATM-PON과 광가입자망에서 경쟁적으로 적용될 것이다. 10Mb/s 전화선 기반 Ethernet도 현재 ITU-T에서 권고안이 준비되고 있는 VDSL과 성능, 적용



위치에서 동일하며, 따라서 VDSL 급 모델의 표준이 복수로 출현하는 문제가 있다.

3. 20Mb/s 가입자 환경 분석

20Mb/s 는 HDTV 급 영상 신호를 주고받을 수 있는 대역폭이다. 본 장에서는 20Mb를 가입자에게 제공할 때 발생하는 트래픽을 다음과 같은 단순한 모델을 설정하여 계산한다.

- 가입자망의 최대 거리는 20km 로 가정
- 트래픽 중에 80%는 같은 지역간에 발생하는 local traffic 이고 20%는 다른 지역의 트래픽으로 가정
- 가입자 밀도가 높은 지역은 한 가입자 노드의 용량은 10만 가입자로 제한

그림 2는 우리나라를 가로 세로가 20km 의 정방형 가입자망 구역으로 구분한 것이다. 전체 가구 13.5백만 가구 중 서울에 21%, 부산, 대구, 수원, 대전, 광주 등 5대 광역시에 24%, 경기지역에 18%, 기타 지역에 36%의 비율로 분포하고 있다. 간선망의 노드를 구성하는 최상위 노드는 그림 2에 도시한 바와 같이 6개 광역시와 7개 도 중심 지역이 있다. 우선 최하위 노드인 가입자 액세스 노드는 그림 2의 20km 정방형 가입자망 기준으로 분석한 결과 총 264개 노드가 필요한 것으로 분석되었다. 서울의 경우 한 가입자망 구역에 142만 가구가 거주하고 있어 가입자 노드의 최대 수용 단위인 10만 가입자로 구분하면 서울에서만 29개 가입자 액세스 노드가 필요한 것으로 분석된다. 표 3에는 그림 2로부터 도출된 가입자 액세스 노드 구성이 정리되어 있다.

상기의 액세스 노드 분석 결과와 13개의 최상위 코어망 노드를 기반으로 하여 가입자당 20Mb/s 의 트래픽이 발생할 때 각 노드에 발생하는 트래픽을 계산한

다. 그림 3은 트래픽을 계산할 때 사용한 노드 구성을 표시하고 있다. 망 구성은 간선망, 지역망, 그리고 가입자망으로 분류하였다. 이때 단순한 계산을 위하여 한 개의 지역망에 포함된 가입자 액세스 노드 수는 균일하다고 가정한다. 13.5백만 가구로부터 발생한 트래픽은 한 가구당 20Mb/s를 가정하면 270 Tb/s 이다. 가정대로 80%가 가입자망 local traffic 일 경우 액세스노드 측으로 나가는 트래픽은 200Gb/s 이다.

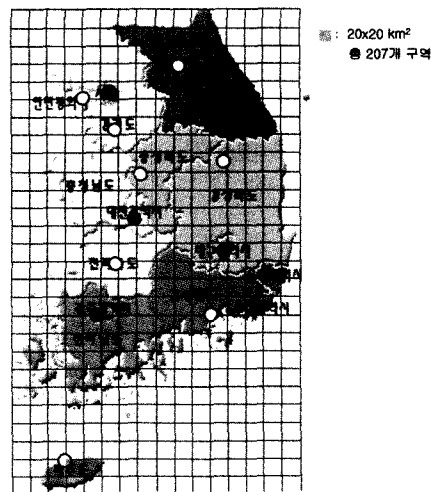


그림 2. 20km 정방형 가입자 구역 분석

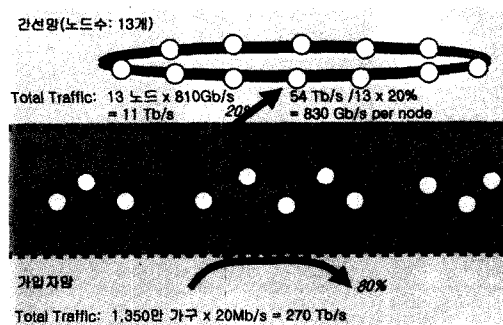


그림 3. 간선망 노드, 지역망 노드(가입자 액세스 노드)에 발생한 트래픽

표 3. 국내 액세스 노드 분포

지역	가구분포% (13.5백만 가구)	20km 정방형 구역 수	정방형 구역당 가구수	총 액세스 노드수
서울	21%	2	142만가구	29
5대 광역시	24%	9	35만 가구	32
경기	18%	18	14만 가구	25
기타 지역	36%	178	3만 가구	178

초고속 광가입자망 기술 현황 및 도입 전망

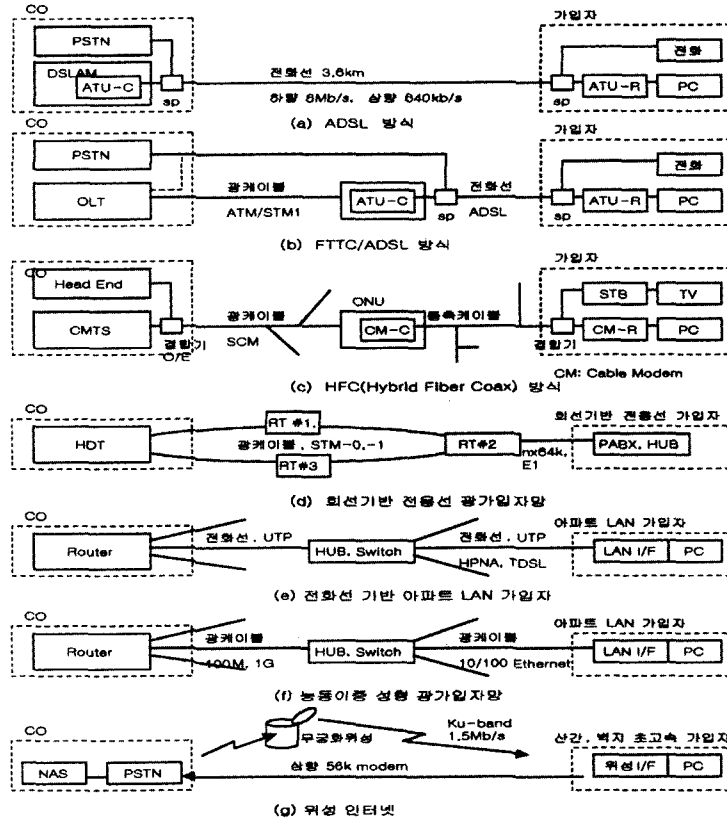


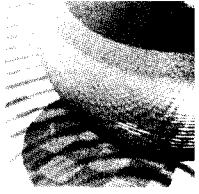
그림 4. 현재의 초고속 가입자망

모든 지역망에서 발생하는 총 트래픽은 54Tb/s 이고 13개 지역망이 있으므로 한 개 지역망에서 발생하는 트래픽은 4.1Tb/s 이다. 같은 방법으로 지역망에서 간선망 노드로 출입하는 트래픽을 계산하면 간선망 노드의 트래픽량은 830Gb/s 가되며 우리나라 13개 간선 노드에서 처리하는 총 트래픽은 11Tb/s 임을 알 수 있다.

이상의 분석에서 가입자의 집선율은 고려하지 않았다. ADSL 초기의 집선율은 20-30 범위에 있었으나 인터넷 활용이 빈번해지면서 계속해서 집선율이 낮아지고 있다. 상기의 계산된 트래픽은 집선율 만큼 일률적으로 나누어 주면 실제 트래픽 양이 계산된다.

4. 현재 초고속가입자망 현황

그림 4는 현재의 초고속 가입자망을 도시하고 있다. (a)는 기존의 전화선 기반 가입자망을 그대로 사용한 것으로 ADSL 모델을 통해 3.6km 까지 하향 6Mb/s, 상향 640kb/s 의 전송 속도를 유지한다. 데이터링크는 ATM 방식을 사용한다. (b)는 가입자망의 일부를 점대점 광선로로 대체한 FTTC/ADSL 광가입자망으로서 전화선 구간이 짧아지므로 양호한 전송 특성을 얻을 수 있다. 이때, 광전송구간은 ATM over SDH를 사용한다. (c)는 HFC(Hybrid Fiber Coax) 광가입자망으로서 기존의 CATV 구간 일부를 광으로 대체하여 동축케이블 구간을 단축하여 동축구간의 주파수 특성을 개선한다. 따라서, 전송특성이 개선된 동축케이블과 대용량 특성을 갖는 광케이블로 구성된 가입자 전송로에 CATV에서 사용하지 않는 주파수 대역을 통해 케이블 모델을 이용하여 하향 30Mb/s 상향 2.5Mb/s 의 데이터 전송을 한다. 이러한 대역폭은 여러 가입자



가 공유하므로 사용자가 많을 경우에는 성능이 떨어진다. (d)는 대형 빌딩 가입자, 중소기업, PC 방 등에 보급되어 있는 광가입자망으로 전용선 서비스가 주로 제공된다. 광가입자망은 환형 구성이 가능하고 $n \times 64\text{kb/s}$, DS1, DS3 등의 중속신호가 STM0 (51.84Mb/s), STM1 (155.52Mb/s) 등의 속도로 다중화되어 전송된다. (e)는 아파트 등에 사용되는 LAN 방식 가입자망이다. 각 가입자는 HomePNA 혹은 TDSL(전화선을 통한 Baseband 전송 모델) 방식으로 Ethernet HUB/Switch 로 연결되고, 통신사업자의 전용선을 통하여 인터넷으로 연결된다. (f)는 방식 (e)의 LAN 방식 가입자망을 광케이블을 사용하여 100 Mb/s 혹은 1Gb/s 로 그 전송 속도를 향상시킨 구조로서 향후 많은 보급이 예상된다. (g)는 무궁화 위성의 Ku-band를 이용하여 1.5Mb/s 의 하향 인터넷 접속을 제공하고 있는 것이다. 상향은 기존의 56kb/s 전화 모뎀을 사용한다.

이상 살펴 본 바와 같이 다양한 초고속 가입자망이 사용되고 있다. 초고속 가입자망은 망 구성 방식, 데이터링크 프로토콜, 음성 등 데이터 이외의 서비스를 사용하는 방식 등 여러 가지 면에서 서로 다르며, 어떤 방식도 10Mb/s 이상의 속도와 차별화된 서비스를 저 가격으로 제공하기에 충분한 준비가 되어 있다고 볼 수는 없다. 따라서, ADSL 이후 설치되는 가입자망에 대한 선택은

- HDTV를 수용하기에 충분한 속도(18Mb/s) 및 향후 대역폭 확장성
- 데이터, 음성, 영상의 서비스의 통합 수용과 나아가서 무선 통합 가능
- 광범위한 가입자 환경에 대해서 경제적 적용 가능
- 최선 서비스에서 품질 보장형 서비스가 가능한 프로토콜에 기반
- 특정 서비스와 관련되지 않은 망구조: 새로운 서비스의 용이한 수용
- 물리적, 기능적으로 개방된 액세스망: 경쟁적 서비스 제공 환경 조성, 차별화된 서비스 제공 용이성

등의 사항들을 고려하여 궁극적인 초고속가입자망이 될 수 있도록 하는 과제가 있다.

5. 광가입자망 기술

광가입자망에 적용할 수 있는 망구조로는 점대점, 환형, 버스, tree & branch 등의 구조를 생각할 수 있다. 여기에서 망구조는 전송매체와 망노드들이 결합된 구조이다. 광케이블의 경우에는 전송거리가 길고, 전송 품질이 상대적으로 우수하기 때문에 광케이블 자체가 점대점, 환형, 버스, tree & branch로 구성되어 사용될 수 있다. 이때 광케이블에서 각 망노드로 신호가 분기 결합되는데 이 분기결합기에 따라서 기능이 크게 달라진다. 광분기 결합기는 그림 5에 도시되어 있듯이 전력분기기(Power Splitter), 전력분기결합기, 성형결합기(Star Coupler), WDM MUX/DEMUX, WDM Coupler 등이 사용될 수 있다. 모두 수동부품이기 때문에 reciprocity 특성을 만족한다. 즉, a 포트에서 b 포트로의 결합 특성은 b 포트에서 a포트로의 결합 특성과 일치한다. 그림 5에서는 단순화하기 위해 한 방향으로만의 결합 특성을 나타내고 있다. 성형결합기는 입력되는 신호는 다른 모든 포트에 같은 크기로 출력되므로 공유매체로 사용할 때에는 사용 효율이 떨어진다. 또한 전력 분기기에 비해 고가이며, 가입자망과 같

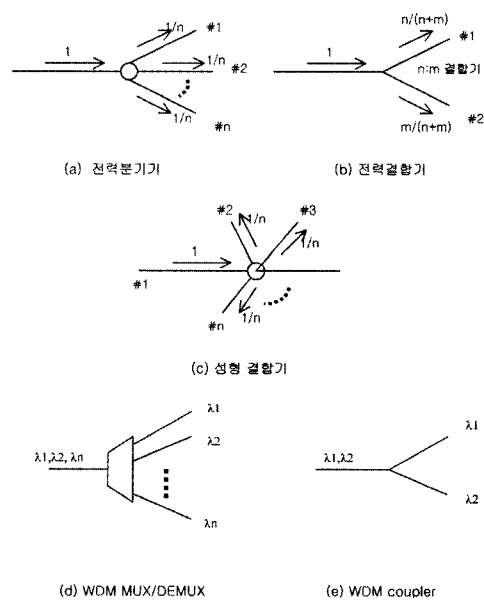


그림 5. 광가입자망에 사용되는 광수동 부품

초고속 광가입자망 기술 현황 및 도입 전망

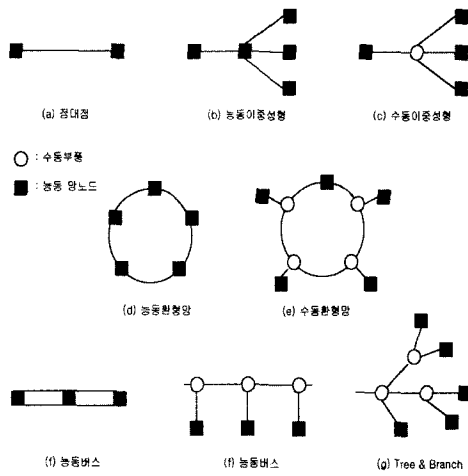


그림 6. 여러 가지 광가입자망 구조

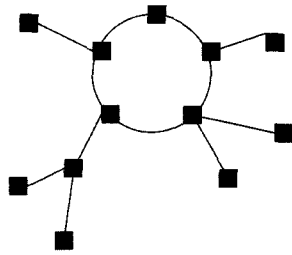


그림 7. FDDI 망 구조

은 공중망에서는 사용이 곤란하다.

그림 6에 여러 가지 광가입자망 구조를 도시하였다. 원은 그림 6에 도시된 여러 가지의 광분기결합기를 의미하고 사각형은 망노드를 의미한다. (a)는 단순한 점대점 방식이고 (b)는 전술한 능동 이중 성형망, (c)는 수동 이중 성형망 등이다. (a), (b), (c)가 현재 광가입자망에서 가장 많이 쓰이는 방식이다. (d)는 망노드와 광케이블이 환형으로 결합된 능동환형망이며, (e)는 수동환형망으로서, 환형 광케이블 위에 신호가 한 바퀴 이상 진행하지 않도록 중단하는 기능을 하는 망노드가 있어야 한다. 실제로는 광케이블만으로는 환형망을 구성할 수 없으며, 따라서 (e)는 버스구조에서 양쪽 끝의 중단 장치를 결합한 것으로 생각할 수 있다. (f)는 능동버스, (g)는 수동버스, (h)는 tree & branch 망이다. 여기에서 수동버스, tree & branch 구조는 가입자 환경에 가장 잘 적용될 수 있는 구조를

갖는다. 이상의 망구조는 기본적인 구조이며 실제 망구조는 상기한 망을 복합하여 사용할 수 있다. 예를 들어 능동환형망은 FDDI의 기본 구조이지만 환형 노드가 master 가되어서 능동이중 성형망을 구성할 수 있다. 이 경우 FDDI는 능동환형망을 코어망이라고 하고 그 하부에 능동이중성형망을 갖는 구조라고 할 수 있다. 그림 7은 FDDI의 이러한 망 구조를 도시하고 있다. 경우에 따라서는 코어망인 환형망이 실제 존재하지 않고 장치 내에서 port의 처리순서 제어하는 기능으로 구현되기도 한다. 이 경우에는 FDDI는 외적으로는 능동이중성형망으로 보이기도 한다.

망의 성능은 망 구조와 사용하는 다중화 방식 혹은 MAC 방식에 따라 그 특성이 결정된다. 광공유 매체에서 사용되는 MAC 방식은 TDMA 방식, WDMA 방식, 광 CDMA 방식 등이 있다.

TDMA 방식은 Request/Grant 방식, Token 방식, Queue Reservation 방식, CSMA/CD 방식 등을 들 수 있다. Request/Grant는 master에 의한 중앙제어 방식이며 망 노드 중에 한 개가 master 기능을 하여 다른 망노드들의 공유매체 사용을 제어한다. Token 방식은 각 망노드가 동등한 입장이 되어 Token을 주고받는 것으로서 특정시간의 공유매체 사용 권한은 그 시간에 Token을 보유하고 있는 지의 여부에 따라 결정된다. Queue Reservation은 망노드가 자신의 buffer 상태를 다른 망노드들에 pulse 등의 신호를 보내는 방법으로 알려줌으로써 공유매체 사용을 예약하고, 자기 순서가 되는 것을 스스로 판단해서 공유매체를 사용하는 것이다. 자기 순서가 되는 것을 판단하기 위해서는 다른 노드들이 먼저 보낸 예약 신호들을 항상 감시하고 관리해서, 자기보다 먼저 예약한 노드가 사용을 끝냈음을 판단해야 한다. CSMA/CD는 IEEE 802.3 MAC의 기능으로서 각 노드가 동등한 입장이며, 공유매체 상의 데이터 활동 상태에 따라 스스로 공유매체 사용여부를 판단하는 것이다. 즉, 공유매체상의 데이터가 전달되는지 여부를 감시하고, 데이터 전송이 없는 상황이 확인되면 자기의 데이터를 보내는 것이다. 이때 다른 노드도 공유매체가 사용되지 않는 것으로 판단하고 동시에 데이터를 전송할 경우가 발생하므로 데이터를 보내고 즉시 다른 노드들에서 보내는 데이터가 있는지를 감시하고 만약 다른 노드가 데이터

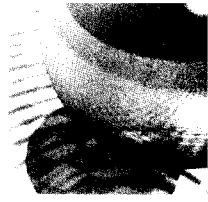


표 5. 광네트워크 특성

	망구조	MAC
DQDB	능동 버스	Queue Resevation
FDDI	능동 환형	Token
TDM/TDMA-PON	수동 이중 성형 Tree & Branch	Request & Grant
WDM-WDMA-PON	수동 이중 성형 Tree & Branch	Request & Grant 혹은 point-to-point 고정채널

전송을 시작한 것이감지되면, 즉시 데이터 전송을 중지하고, 충돌이 발생했음을 다른 노드가 확실히 알 수 있도록 jamming 신호를 방출하고, 임의의 시간을 기다린 후에 같은 방법으로 재전송 기회를 포착하는 방법이다. WDMA는 파장가변 광원의 확보가 관건이며, 최근 가변파장 광원의 활발한 연구로 그 가능성이 높아지고 있다. 광 CDMA 는 광 파장스펙트럼에 파장 필터를 사용하여 코딩을 하거나 무선통신에서 사용하는 것과 같은 Chip Code를 사용하여 데이터를 변조하는 방법으로서 현재 개념 연구가 진행되고 있다.

표 5는 대표적인 매체 공유형 광네트워크들에 대해서 기술한 광네트워크 구조, 광분기결합기 종류, 그리고 그 특징을 정리하였다.

6. TDM/TDMA PON 방식

표 5에 정리한 바와 같이 TDM/TDMA PON 은 가입자 환경에 따라 다양한 망 구조로 적용할 수 있으며, throughput, QoS를 보장하는 기능 등에서 장점을 갖고 있어 점대점, 능동이중성형망과 함께 유력한 평가 입자망 방식으로 인식되고 있다. 본 절에서는 현재 한창 경쟁 개발 및 시장 확보가 진행되고 있는 TDM/TDMA PON 평가입자망의 기술 현황에 대해서 정리한다.

TDM/TDMA PON은 표 5에 기술 한 바와 같이 수동이중 성형망, tree & branch, 수동 버스 등 다양한 형태로 적용할 수 있다. 이때 사용하는 광분기결합기는 전력분기기(Power Splitter) 혹은 전력분기결합기 등 이다. 상향 MAC 제어는 request/grant 방식의 TDMA를 사용하고, 하향은 방송형 망구조를 갖고 있어 TDM 다중방식을 사용한다. TDMA master는 망 측에 설치되는 OLT이며, 가입자측에는 TDMA slave

기능을 하는 다수의 ONU가 설치된다. request/grant 는 ONU가 상향 채널 사용 요청(request)을 하고 OLT가 그 사용을 허락(grant)하는 방법으로 상향 통신이 이루어지는 것이다. 이때 ONU와 OLT사이의 거리는 ONU마다 다르므로 각 ONU에서 보낸 상향 신호가 서로 충돌할 수 있다. 데이터 충돌을 방지하고, 상향 채널을 이용할 때 휴지기간 없이 효율적으로 이용하게 하기 위해서는 OLT와 ONU사이의 전송 거리를 측정하고(Ranging), 그 거리 정보를 이용하여 ONU의 송신 시간을 제어할 수 있어야 한다. 사용허락을 하는 방법은 크게 두가지가 있다. 하나는 정적인 대역 할당이다. 이 방법은 각 ONU에 고정적인 대역 폭을 제공하는 방법으로서 ONU의 사용 요청 없이 일정한 간격으로 해당 ONU에 상향 채널 사용 허가를 보내는 것이다. 두 번째 방식은 동적 대역 할당으로 ONU에서 상향 채널로 보낸 데이터가 있을 때 OLT에 요청하고 OLT는 다른 ONU의 요청사항과 정적으로 할당하는 대역폭을 고려하여 우선순위에 따라 해당 ONU에 상향 채널 사용허가를 보내는 것이다. 고정대역할당은 지연시간, 지연시간편차가 서비스 품질에 영향을 주는 경우 즉 실시간 서비스에 적합하고, 동적대역할당은 비실시간 데이터 서비스에 적합하다. 실제로는 정적대역할당과 동적대역할당을 혼합하여 사용한다.

TDM/TDMA PON에서 그외 중요한 사항은 PON을 운영하는 도중에 새로운 ONU가 등록하는 과정, 혹은 기존 ONU를 사용 중지하는 과정, 서비스에 따른 세분화된 QoS 보장 방식 등이 있다.

TDM/TDMA PON은 사용하는 데이터링크 프로토콜에 따라 ATM 방식과 Ethernet 방식이 있다. ATM-PON은 QoS 보장 특성, 높은 전송효율 등의 장점이 있고 주로 ATM 교환망과 직접 연결되어 ATM 전용선 서비스, 음성, 데이터, 영상의 통합 서비스 등

을 용이하게 제공할 수 있을 것이며, Access Router를 통하여 인터넷과 접속된다. Ethernet-PON은 IP 기반으로 모든 서비스가 통합될 때 작용하기에 용이한 방식이며, 현재 사설망과 광역도시망에 각각 구성되고 있는 Ethernet 망을 저가격적으로 서로 연결해 주는 방안으로 유력하다. Ethernet-PON은 관련 부품, 기술들이 저가격이라는 장점이 있지만, 전송되는 데이터 단위가 가변길이를 갖는 Ethernet Frame 이기 때문에 전송 효율은 ATM-PON에 비교하여 떨어진다.

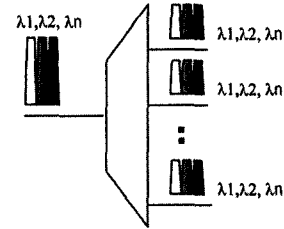
PON의 경우에는 한 광섬유를 위용하여 상하향 신호를 송수신한다. WDM duplexing 방식을 사용하는 데 이때 WDM 결합기의 isolation 특성이 155Mb/s 동작의 경우 45dB 이상이 되어야한다. 즉, isolation은 송신 출력이 수신부를 누설되어 거능 정도를 말하는데 isolation이 충분하지 못할 경우 누설되는 송신 출력은 수신부에 잡음으로 작용하여 수신 감도를 제한하는 원인이 된다.

TDM/TDMA-PON은 1Gb/s 이하이다. 동적대역 할당 기능을 이용하면 사용자가 실감하는 유효 대역폭은 단순히 PON 전송속도를 PON을 공유하는 가입자수로 나눈 값보다는 크다. 그러나, 시간이 지남에 따라 어떤 가입자는 TDM/TDMA-PON에서 제공하는 대역폭 이상의 대역폭을 요구할 수도 있다. 이러한 대역폭 확장 요구를 수용하기 위한 방안, 즉 PON의 대역폭 확장성을 확보하여야 한다.

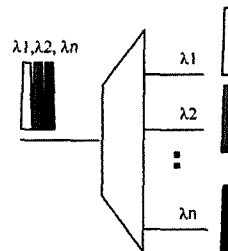
PON은 FTTH/B 혹은 FTTN으로 적용할 수 있다. FTTN은 가입자 인근 지역까지 광선로가 설치된 경우로서 ONU가 전주, 다세대 주택 입구, 아파트의 동 입구 혹은 아파트 구내 단자함 등에 설치된다. 이러한 ONU의 위치는 초고속 무선 LAN의 구역과도 유사하므로 ONU를 초고속 무선 LAN 가입자망의 Access Point로 사용할 수 있다. 따라서, PON 망 구조는 초고속무선 LAN 가입자망을 통합 수용할 수 있는 특징이 있다.

7. WDM/WDMA PON 방식

WDM 기술은 대용량 장거리 전송망, 시내망에 적용된데 이어서 가입자망에 적용하기 위한 연구 개발이



(a) 전력분기 방식



(b) WDM MUX/DEMUX 방식

그림 8. WDM-PON 분기 방식

이루어지고 있다. 대표적인 개발프로그램은 유럽의 Tabasco, Waton^(3,4), 그리고 미국의 MONET⁽⁵⁾을 들 수 있고, 국내에서도 WDM-PON 가입자망을 위한 시험망이 광주 지역에 추진되고 있다. Waton은 TDMA PON에 WDM 채널을 추가하고, 간선망에 광교차연결기 구성하는 등의 선행 연구를 하였으며, Tabasco는 CWDM, DWDM 방식을 사용할 때 기술 현안과 관련 광부품에 대한 규격 연구를 진행하였다. 주요 광부품은 tunable laser, WDM filter, WDM MUX/DEMUX 등이다. WDM을 가입자망에 적용하기 위해서는 옥외의 열악한 온습도 환경에서도 신뢰성 있게 동작하는 광부품을 저가로 구현하는 것이 주요 현안이다.

WDM-PON 방식은 제한된 대역폭을 갖는 TDM-PON의 대역폭 확장방안으로 고려되고 있다. 현재 ITU-T G983.3 권고안에서 ATM-PON에서 WDM 채널을 추가하는 규격을 제안하고 있다. 당초 ATM-PON에서는 하향 1550nm 영역, 상향 1310nm 영역을 사용하도록 하였으나, 하향 채널의 파장을 1480-1500nm로 이동하고 C-band의 1550-1560 nm는



CATV로 사용하거나 1539-1565nm 영역을 다른 용도의 디지털 전송용으로, 그리고 1570-1610nm의 L-band 는 향후 사용을 정의할 것을 규정하고 있다.

WDM-PON을 구현하기 위한 방안으로는 그림 8과 같은 두 가지 방안이 있다. (a)는 TDM/TDMA-PON에서와 같은 광분기기를 이용한다. TDM/TDMA-PON에서 특정 가입자가 많은 대역폭을 요구할 때, 별도의 파장을 제공하여 대처하는 것이 가능하다. 또한, ONU가 임의의 파장을 사용할 수 있기 때문에 파장 분할 다중 방식의 다중접속도 가능하다. 그러나 그림에서 보는 바와 같이 OLT와 각 ONU는 특정한 파장을 선택 수신하기 위한 필터가 구성되어야 한다. (b) 방식은 AWG 와 같은 WDM MUX를 사용하는 것이다.

각 ONU는 WDM MUX 에 의해서 정해진 파장을 이용하여 OLT와의 WDM 채널을 구성한다. ONU는 일반적인 수신기를 그대로 사용할 수 있으나, ONU의 송신 파장이 WDM MUX 의 특정 파장 채널과 일치하도록 유지하는 문제, OLT측에 각 파장을 분리 수신하기 위한 WDM MUX 가 구성되어야 하고, 이때 OLT와 분기점에 구성된 WDM MUX 가 서로서로 통과대역이 일치되어야 하는 문제가 있다. 특히 분기점에 있는 WDM MUX 는 가능한한 전원이 공급되지 않는 환경에서 동작할 수 있도록 해야한다.

가입자망의 옥외 온도는 $-45^{\circ}\text{C}\sim 45^{\circ}\text{C}$ 범위이다. 이 경우 $0.08\text{nm}/^{\circ}\text{C}$ 의 LD 파장이 7.2nm 정도 변화하고 Athermal WDM filter도 약 1~2nm 정도 통과 대역이 변화한다. 따라서 DWDM 방식을 사용할 경우에는 파장안정화 혹은 통과대역 안정화 기능이 필수적이며

이는 곧 고비용과 신뢰성 저하를 유발한다. 이러한 문제를 극복하는 방안으로 CWDM 방식이 고려되고 있다. CWDM 방식은 1290nm~1610nm까지 전 파장대역을 20nm 간격의 16개의 WDM 채널로 나누어 사용하는 것이다. 전송한 LD 파장변화, WDM 필터의 통과대역 변위가 20nm 이내이기 때문에 별도의 제어 회로가 필요하지 않기 때문에 저가로 구현할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 DWDM 과 같이 대용량을 구현할 수 있다는 단점이 있다.

WDM 가입자망을 구현하기 위해서는 가입자 측에 사용될 저가의 파장가변 광원의 구현이 주요 현안이

다. 저가 광원은 주입전류 변화에 따라 공진기 광경로 길이를 조정하여 발진 광원을 변화하는 방법^[6], 망측에서 해당 파장의 광원을 공급하고 가입자측에서는 공급된 광원을 변조하는 방법^[7], 망측에서 약한 광신호를 보내서 가입자측의 저가격의 LD를 injection locking 방법으로 같은 파장으로 동작하도록 하는 등 다양한 방법이 있다. 또한 망측에서 가입자측으로 광원을 공급하는 방법도 LED 와 같은 넓은 범위의 파장 광원을 AWG 와 같은 WDM MUX에 통과시켜 협대역 광원을 얻는 방법^[8], 단일모드 광원을 microwave 신호로 위상변조를 하여 여러개의 microwave 주파수만큼 떨어진 파장의 광원을 다수 얻어서 광원으로 사용하는 방법^[9], LED를 AWG 로 통과시켜 얻은 협대역 광원에서 발생하는 ASE 잡음을 감소시키기 위해 그 광원을 그대로 활용하지 않고 가입자측에서 FP 형 LD를 Injection-lock을 하여 발진 광원을 얻어서 사용하는 방법^[10] 등이 제안되고 있다.

이상에서 본 바와 같이 WDM을 가입자망에 대량으로 적용하기 위해서는 저가격, 다양한 가입자망 환경에서도 영향을 받지않은 WDM 방식과 관련 부품의 개발이 중요하다.

소수의 특별한 가입자를 위한 것으로는 간선망에서 사용하는 WDM 방식을 그대로 적용할 수 있으나, 대량 적용을 위해서는 WDM 방식과 부품 규격의 표준화가 선행되어야 한다. 이러한 관점에서 WDM 가입자망의 주요 현안을 정리하면, 첫째 CWDM 방식과 DWDM 방식에서 어떤 방식을 선택하는 가, 둘째 가입자측의 파장 가변 광원을 어떤 방식으로 구현하는 가, 셋째, 고정파장할당 방식을 사용할 것인가 아니면 동적 파장할당방식을 사용할 것인가 등으로 정리할 수 있다.

8. 맺음말

본 고에서는 국내 초고속 서비스 환경의 변화, 현재 국내의 초고속 가입자망의 현황 설명, 20Mb/s 초고속 서비스를 각 가입자에 제공할 경우 발생할 트래픽, 광가입자망의 여러 가지 구성방안, 유력한 광가입자망 방안으로 고려되고 있는 PON 광가입자망 기술 현황

초고속 광가입자망 기술 현황 및 도입 전망

에 대해 기술하였다. ATM 프로토콜 기반의 622Mb/s 급 PON광가입자망에 대한 ITU-T 권고안이 1998년 확정된 이후 다수의 업체에 의해 ATM-PON 시스템이 출시되었고, 2002년을 기점으로 ATM-PON 광가입자망의 서비스 도입이 이루어질 전망이다. 또한 IEEE 802.3ah에서 Ethernet 기반의 PON 광가입자망 방식에 대한 표준화가 2003년 완료를 목표로 진행되고 있다. 2004년을 전후하여 대량의 광가입자망의 보급이 전망되고 있다. 광가입자망의 본격 도입을 위해서는 관련 광부품을 적기 개발 및 저가화, 광선로 설비들에 대한 기술 기준이 필요하다. ADSL 초고속 가입자망이 잘 구축되어 있는 국내에서는 경우에 따라서는 FTTH기반의 광가입자망 도입이 지연될 가능성이 있다. 그러나, 무선, HDTV 등 새로운 서비스들의 등장, 치열한 경쟁이 예상되는 초고속서비스 환경 등으로 초고속 가입망의 변화 요구는 계속될 전망이다. 따라서, ADSL 경우에서와 같이 광가입자망도 조기에 도입하여 국내 초고속서비스 관련 사업의 경쟁력을 유지할 것이 필요하며, 국내 관련 산업체에서도 효율적으로 광가입자망 구축이 이루어질 수 있도록 준비할 것이 요망된다.

참고문헌

- (1) 정보통신부 초고속망과 웹사이트. infonet.mic.go.kr
- (2) ITU-T SG15 WP5 "Access network transport standardization plan", 2001년 10월.
- (3) Tabasco Final Report, 1998년 11월, www.cordis.lu/infowin/home.html
- (4) Waton Final Report, 1998년 1월, www.cordis.lu/infowin/home.html
- (5) William T. Anderson 외 21명, "The MONET project-a final report," IEEE J. Lightwave Technol., vol. 18, no. 12, 1998-2009, Dec. 2000.
- (6) H. Ishi 외 5명, "Quasicontinuous wavelength tuning in super-structure-grating(SSG) DBR lasers," IEEE J. Quantum Electronic., vol. 32, pp.433-440, Mar. 1996.
- (7) Jun-ichi Kani 외 5명, "Super-Dense WDM Access Network for Wide-area Gigabit Access Services," ISSLS 2002 proceedings, April 2002.
- (8) J.S. Lee, Y.C. Chung, D.J. DiGiovanni, "Spectrum-sliced fiber amplifier light source for multichannel WDM applications," IEEE Photon. Technol. Lett., vol.5, pp.1458-1416, 1993.
- (9) M. Teshima 외 6명, "Optical carrier supply module applicable to over 100 super-dense WDM systems of 1000 channels," in preceeding of 27th European Conference on Optical Communication(ECOC), Mo.L.3-7, Netherlands, October, 2001.

약 령



유태환

1983년 ~ 현재 한국전자통신연구원 네트워크연구소 액세스연구부 PON기술팀 팀장
1993년 Texas A&M Univ. Dept. of EE (박사)
1983년 한국과학기술원 물리학과(석사)
1981년 서울대학교 공과대학 원자핵공학과(학사)
E-mail : twyoo@etri.re.kr
관심분야 : 광가입자망

이형호

1983년 ~ 현재 한국전자통신연구원 네트워크연구소 액세스연구부 부장
1983년 한국과학기술원 전기전자공학과(박사)
1979년 한국과학기술원 물리학과(석사)
1977년 서울대학교 공과대학 전자공학과(학사)
E-mail : holee@etri.re.kr
관심분야 : 광가입자망, 통신망