

FTTH E-PON 시스템의 TPS 성능 평가

(The Performance Evaluation of E-PON System for TPS)

권정국[†] 유제훈^{**} 김봉태^{***} 이상호^{****}
 (Jeong-Gook Kwon) (Jae-Hoon You) (Bong-Tae Kim) (Sang-Ho Lee)

요약 세계적으로 가입자망의 고도화 및 광대역화가 경쟁적으로 추진되고, 이에 따른 신규 서비스도 활성화되고 있는 추세이다. 국내 광통신 산업의 저변 확대와 육성 발전, 차세대 장비 개발, 광가입자망 기반 고품질 서비스 및 플랫폼 개발의 일환으로, ETRI(Electronics and Telecommunications Research Institute)에서는 자체적으로 FTTH(Fiber-To-the-Home) 표준 BMT(Bench Mark Test) 테스트베드와 네트워크 운영센터 및 IPTV 서비스 장비로 FTTH 서비스센터를 구축하고, 통신망사업자를 통하여 규모 있는 상용 광가입자망을 구축하고 연동하였다. 본 논문에서는 ETRI의 FTTH 서비스센터와 통신사업자의 상용 광가입자망 구축에 사용되는 FTTH E-PON(Ethernet Passive Optical Network) 시스템에 대해 QoS(Quality of Service) 기반의 TPS(Triple Play Service)와 QoE(Quality of Experience) 측면에서 시험한 성능 평가 결과를 기술하였다.

키워드 : 성능평가, 광가입자망, 광인터넷, 고품질 방송, 체감품질, BMT, E-PON, FTTH, TPS, QoE

Abstract Recently, broadband access networks have been competitively deployed all over the world with the development of various multimedia services for such a network. ETRI(Electronics and Telecommunications Research Institute) built the FTTH(Fiber-To-the-Home) service center to develop a next-generation equipment and a high-quality service/platform as well as to promote domestic industry in the field of optical communication. The FTTH service center has a variety of test equipments such as FTTH standard testbed for a BMT(bench mark test), a network operation center, and IPTV service equipments. Also, ETRI deployed a new type of commercial optical access networks cooperating with ISP(Internet Service Provider). This paper presents the performance evaluation of FTTH E-PON(Ethernet Passive Optical Network) system as a platform for TPS(Triple Play Service) based on QoS(Quality of Service) and QoE(Quality of Experience) issues. This FTTH E-PON system is successfully demonstrated as an optical access network system by commercial network service provider and the FTTH service center of ETRI.

Key words : BMT, FTTH, EPON, GPON, WDM-PON, Optical internet, TPS, QoE, IPTV, Performance

[†] 정 회 원 : 한국전자통신연구원 광통신연구센터 책임연구원
 jgk@etri.re.kr

^{**} 비 회 원 : 한국전자통신연구원 광통신연구센터 책임연구원
 jh-yoo@etri.re.kr

^{***} 비 회 원 : 한국전자통신연구원 광통신연구센터 센터장
 bkim@etri.re.kr

^{****} 종신회원 : 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수
 shlee@cbucc.chungbuk.ac.kr

논문접수 : 2007년 8월 7일

심사완료 : 2009년 6월 4일

Copyright©2009 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 정보통신 제36권 제4호(2009.8)

1. 서론

인터넷 사업자들이 기존의 인프라로는 가입자들에게 새로운 통방융합의 대용량 고품질을 요구하는 IPTV 등 다양한 TPS(Triple Play Service) 서비스를 제공하기에는 한계가 있음을 인식하고, 가입자망의 고도화 및 광대역화를 목적으로 기존의 xDSL(Digital Subscriber Line) 단계를 넘어서, 100Mbps~1Gbps급의 광대역을 제공할 수 있는 광가입자망 단계로의 전환이 전 세계적으로 진행되고 있다.

일본은 NTT를 선두로하여 B-PON(Broadband Passive Optical Network) 또는 E-PON(Ethernet PON) 시스템 기반의 가입자망을 확산하고 있고, 미국은 Verizon, SBC등에서 G-PON(Gigabit-cable PON) 기반의

광가입자망 구축이 대규모로 추진되고 있으며, 유럽은 FastWeb을 선두로 AON(Active Optical Network) 기반의 FTTH을 망 구축하고 상용 서비스 중이다. 중국은 2008년 북경 올림픽을 앞두고 E-PON 기반의 FTTH 망 구축에 대규모로 투자할 계획을 발표하였다[1].

국내에서도 BcN(Broadband Convergence Network)의 가입자망 광대역화 계획, KT의 “미래비전 2010 전략” 등 광가입자망 구축확대가 추진중이고, 하나로텔레콤, 데이콤, 파워콤에서도 광가입자망 구축에 주력 중이다[1].

ETRI 광통신연구센터에서는 국내 FTTH 산업의 확장과 활성화를 목적으로 산학연과 공동으로 연구개발한 E-PON 시스템을 2003년도 광주지역에 설치하고 2004년까지 다양한 TPS(RF방송 포함)를 시범 서비스하였다 [2]. 2005년도부터는 광주광역시와 협약하고 국내 기관 통신 사업자인 KT와 하나로텔레콤을, 2006년도에는 CMB(Central Multi Broadcasting) 광주방송국을 추가 사업자로 선정하였다. 3개 사업자 모두 상용 광인터넷을 순수 FTTH 망인 E-PON[3], G-PON[4], WDM-PON (Wavelength Division Multiplexing)[5]으로 확장해 가고 있다. 이러한 광가입자망은 상/하향이 광대역이라, 고품질의 IPTV(Live IP-Multicasting)를 비롯하여 다양한 고품질의 실험 서비스 제공이 가능하다. 그리고 광가입자망 기반의 고품질 서비스 플랫폼과 차세대 장비 개발의 방편으로, 고품질의 다채널 IPTV 서비스가 가능한 FTTH 서비스센터를 구축하고, 통신사업자를 통하여 구축된 규모있는 상용 광가입자망과 연동하여 다양한 상용 서비스 및 실험 서비스를 제공하고 있다[6-8].

본 논문에서는 ETRI의 FTTH 서비스센터와 통신사업자의 상용 광가입자(FTTH)망 구축에 사용되는 FTTH E-PON 시스템에 대해 QoS 기반의 TPS와 QoE 측면의 성능 평가 결과를 기술하였다.

2. 광가입자망 실험망 구축

2.1 기간망 사업자를 통한 상용 광가입자망 구축

KT, 하나로텔레콤 및 CMB를 통하여 광주시 전역의 신축아파트와 기숙아파트를 대상으로 2007년 6월 기준 표 1과 같이 사업자망을 구축하였다.

2005년부터 KT는 E-PON/WDM-PON으로, 하나로텔레콤은 E-PON으로, 2006년 말부터 CMB는 RF겸용 E-PON으로 실가입자를 확보하였다[6,7].

2.2 사업자망과 FTTH 서비스센터와의 연동

통신사업자망에는 KT와 하나로텔레콤이 FTTH 가입자를 대상으로 각각 기본 서비스 및 상용 서비스를 제공한다. 한편, ETRI는 FTTH 기반 실험서비스를 제공하기 위하여 광통신연구센터 내에 FTTH 서비스센터를 구축하고, 공인된 BGP(Border Gateway Protocol)와

표 1 상용 FTTH 사업자망

사업자		KT		하나로	CMB
PON링크 방식		WDM-PON	E-PON	E-PON	E-PON
OLT 설치 장소		전화국사	전화국사	MDF실	방송국사
분기수		1:32	1:32	1:16, 1:32	1:16
RN설치장소		ARP동 지하	APT동 지하, MDF실	APT동 지하	방송국사, APT동 지하
OLT-RN간 거리 (Km)	평균 거리	3.34	3.30	0.213	6.235
	최소 거리	2.40	2.40	0.019	0.010
	최대 거리	5.50	4.30	0.450	12.450
RN-ONT간 거리	평균 거리	0.20	0.19	0.079	8.225
	최소 거리	0.20	0.10	0.015	0.010
	최대 거리	0.20	0.29	0.205	16.440
회선수 (OLT용량 기준)	단지수	5	6	10	1
	동수	46	37	92	5
	회선수	2, 086	2, 016	5, 952	384
실 가입자 수		1, 472	976	1, 508	85

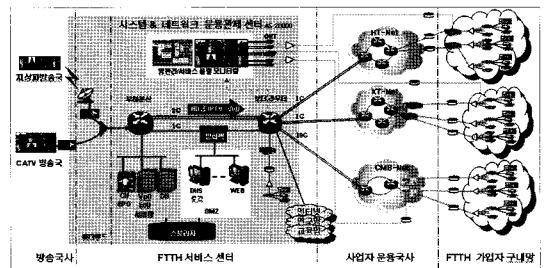


그림 1 ETRI FTTH서비스센터와 상용 광가입자망

IP로 그림 1과 같이 3개 사업자망을 단계적으로 연동하였다[9]. 특히 IP 멀티캐스팅 관련하여 FTTH 서비스센터와 각 사업자가망이 서비스를 상호 공유하면서도 안정성과 독립성을 유지하고, 고도의 서비스 품질과 신속한 채널 zapping을 목표로 싱글/다중 도메인 등 다양한 서비스 환경을 시뮬레이션하고 시험하여 적용하였다[10]. FTTH 서비스센터는 IP기반의 서비스 장비들로 구성되어 있으며, live IP-multicasting 서비스와 on-demand 서비스를 기본적으로 제공하고, 실험적인 IP기반의 다양한 응용 서비스를 개발 또는 발굴하여 적용하는 것을 목표로 하고 있다.

3. FTTH 서비스 환경

3.1 FTTH 서비스센터 환경

FTTH 서비스센터는 KT와 하나로텔레콤 사업자망과

CMB의 서비스망을 연동하고, 인터넷, 연구망, 교육망 및 BeN 등과의 연동을 목표로 그림 1과 같이 단계적으로 구축하고 있다. FTTH 상용 광가입자망 및 외부망으로 고품질,대용량의 데이터와 콘텐츠를 전송하고 인터넷을 제공하는 보더 라우터, 가입자의 요구 서비스에 대한 부하를 균등하게 분배하는 부하분산 시스템, 외부로부터의 공격에 적절히 방어할 수 있는 WEB/IP 방화벽과 침입탐지 시스템, 서비스센터 내 장비들의 동작 상태와 트래픽 상태를 감시 통보하는 모니터링 시스템, 각 서버에게 대용량의 데이터 공간을 제공하는 storage-net, FTTH 가입자에게 IPTV 방송을 제공하는 IPTV 헤드엔드와 VoD(Video on Demand), 가입자에게 제공되는 방송 품질을 직접 감시하는 모니터링 환경으로 구성되어 있다[6].

3.2 IPTV 서비스 장비

3.2.1 Live IPTV 헤더엔드

가입자들이 IP-multicasting 기반으로 방송을 시청하게 하는 그림 1내의 IPTV 헤더엔드는 SD(Standard Definition)급과 HD(High Definition)급으로 구성되어 있다.

SD급 헤더엔드 장치는 CATV(Community Antenna Television) 국사가 송출한 다채널 방송 신호를 IRD(Integrated Receiver Device)로 수신하고, 수신된 방송 스트림을 IPTV streamer에서 IP 패킷화하고 콘텐츠 스위치가 멀티캐스팅한다. HD급 헤더엔드 장치는 지상파 또는 위성방송 신호를 수신한 셋탑이 출력하는 AV 신호를, 엔코더가 Full HD급으로 인코딩하고 IPTV streamer에서 IP 패킷화하여 콘텐츠 스위치가 멀티캐스팅한다. 현재 FTTH 서비스센터에 구성된 IPTV 헤더엔드 장치와 채널을 요약하면 표 2와 같다[6,7].

표 2 Live IPTV 헤더엔드

방식	방송 수신용 IRD + IPTV streamer	지상파/위성 셋탑박스 + 실시간 인코더 + IPTV streamer
구현채널	SD급 100개 채널	Full HD급 5개 채널
대역폭	6Mbps/채널	20Mbps/채널
송출포맷	MPEG2-TS	MPEG2-TS
송출방식	IP multicasting	IP multicasting
Zapping	SD급 1초 미만	Full HD급 1.5초 미만

3.2.2 VoD 서비스 장비

VoD 시스템은 Pumping 서버, DB(database) 서버, 서비스 관리 및 EPG(Electronic Program Guide) 서버 등으로 구성된다. VoD 서버는 Linux 기반의 전용 HW platform으로 20Mbps 기준으로 동시 사용자 200명 이상을 지원한다. 압축포맷은 MPEG2-TS 20Mbps와 6Mbps를 기본으로, H.264 HD급 4Mbps와 SD급

0.8Mbps를 예정하고 있다. 또한 방송을 목적으로 IP-Multicasting도 지원하고 있다[6,7].

3.3 가입자 단말 및 모니터링 환경

가입자들이 IP 기반 서비스를 제공받기 위해서는 IP 셋톱박스나 PC가 필요하다. 가입자들에게 Full HD와 SD급 방송이 출력 가능한 Linux 또는 WinCE 기반의 IP 셋톱박스를 시험적으로 제공한다. 가입자 채널 zapping은 Full HD급은 1.5초, SD급은 1초 이하가 목표이다[6,7].

서비스 모니터링은 그림 1과 같이 FTTH 서비스센터 내부의 모든 네트워크 장비들의 동작 상태를 감시하고, 가입자들에게 전달하는 IP 방송 신호에 대한 품질 상태의 모니터링은 방송국사로부터 수신한 RF(Radio Frequency) 신호 출력부, 수신한 방송 신호가 인코딩되고 스트리밍되는 IP스트리밍 출력부, FTTH 가입자의 수신 방송 신호 출력부로 구성하여 각 출력부의 방송품질 상태를 한눈에 직접 비교감시가 가능하다[6,7].

4. FTTH 망에서의 요구사항

일반적으로 가입자 액세스망의 인프라는 다양하고 요구사항 또한 매우 다양하다. 본 논문에서는 다양한 요구사항들 중에서 QoS 기반의 대역폭을 중심으로 언급하고자 한다.

4.1 일반적 요구사항

일반적으로 액세스망에 가입자에게 서비스를 제공하기 위해서는 적절한 대역폭을 제공해야 한다. FTTH 망에서 가입자 요구사항으로 가구당 최소 HDTV, VoIP, 셋탑과 다수의 PC를 사용할 것으로 예측되고 충분한 대역폭을 제공해야 한다[8].

방송용 IPTV 또는 VoD의 SDTV는 2~8Mbps, HDTV는 20Mbps, VoIP(Voice over Internet Protocol) 폰 4Mbps, P2P(Peer-to-Peer) 등 인터넷 30Mbps의 대역폭을 요구한다. PIP(Picture in Picture)를 고려한 가입자의 요구대역은 70Mbps 이상이다. 또한 가입자 서비스의 우선순위 처리는 크게 아래 5가지 순으로 정리할 수 있다.

- ① 비상 신호 및 데이터 처리
- ② VoIP 신호 및 데이터 처리
- ③ 방송 신호 및 데이터 처리
- ④ 프리미엄 데이터 처리
- ⑤ BestEffort 데이터 및 기타 데이터 처리 등

4.2 FTTH 가입자 요구사항

“4.1 일반적 요구사항”과 같은 광대역 고품질의 서비스 제공이 가능한 FTTH 망에서의 가입자 요구사항은 크게 6가지로 정리할 수 있다.

- ① 가입자 하향 요구사항

- 최소 대역폭 보장
- 서비스별 대역폭 보장
- 스트리밍 서비스의 품질 보장
- ② 가입자 상향 요구사항
 - 최소 대역폭 보장
 - 서비스별 대역폭 보장
- ③ 방송 서비스 요구사항
 - 채널별 품질 보장
 - 신속한 zapping 보장
- ④ 투명성 요구사항
 - 인터넷 사용의 투명성 보장
 - 사용 서비스의 투명성 보장
- ⑤ 제어신호 우선처리 요구사항
 - 시스템 제어신호 및 OAM 우선 처리 보장
 - 서비스 제어신호 우선처리 보장
- ⑥ QoS 요구사항
 - 투명하고 용이한 QoS 제공
 - CoS/DSCP/IP-Predence 기반 선택적 사용

4.3 FTTH 망의 QoS 요구사항

전송망에서의 QoS 지표는 대역폭(bandwidth), 손실(loss), 지연(delay)과 지터(jitter)로 나타낸다. FTTH 표준 BMT는 “4.1 일반적 요구사항”과 “4.2 FTTH 가입자 요구사항”을 제공하기 위해 표 3과 같이 QoS 지표를 수립하고 BMT를 수행한다. 표 3은 다수의 E-PON 시스템에 대한 시험결과를 기반으로 수립하였다.

표 3 FTTH 망의 QoS 지표

QoS 인자	하향	상향
대역폭	95% 이상	85% 이상
손실	무손실(E^{-10})	무손실(E^{-10})
지연	350us 미만	3.5ms 미만
지터	250us 미만	1.5ms 미만
Zapping 시간	SDTV 1초, Full HDTV 1.5초	

5. FTTH 표준 BMT

5.1 표준 BMT 서비스

시스템의 안정성, 신뢰성, 가용성 및 확장성 등을 기반으로 사용 목적과 용도에 대한 적합성 여부를 설치 및 운용하기 전에 확인이 필요하다. ETRI와 통신 사업자가 공동으로 추진하고 있는 “FTTH 광가입자 실험 서비스” 망에서는 FTTH PON 시스템으로 가입자들에게 IPTV 등 다양한 고품질의 서비스를 안정적으로 제공할 목적으로 FTTH 표준 BMT를 시행하고 있다.

FTTH 표준 BMT 전담반은 해당 기능을 5년 이상 연구개발한 경험자를 선발하여 구성하고, 시험항목과 시험절차를 개발한다. FTTH 망에서 고품질의 TPS 서비

스에 요구되는 기능을 중심으로 FTTH PON 시스템의 구조, 안정성, 신뢰성, 가용성 및 확장성 등을 고려하고, 국내의 표준 기능에 의거 개발한 시험 항목과 절차에 따라 BMT를 진행한다. 모든 기능 시험은 VLAN(Virtual Local Area Network) 기반의 Service over DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) 환경에서 이루어지며, OLT(Optical Line Terminal)와 1:32분기 ONT(Optical Network Terminal) 환경에서, QoS 기반의 TPS 성능과 다양한 서비스 기능을 시험한다[7,8, 11,12].

ETRI의 FTTH 표준 BMT 테스트베드는 차세대 장비에 대한 시험환경을 갖추고 있으며, 2005년도 E-PON 2개 업체, WDM-PON 2개 업체, 2006년도 E-PON 3개업체, CWDM-PON 2개업체, 광모듈 1개 업체에게 FTTH 표준 BMT 서비스를 제공하였다. 반드시 표준 BMT를 통과한 제품에 한해 통신사업자의 상용 광가입자망에 적용을 승인한다. 향후 광가입자망 장비, FTTH 기반 네트워크 장비와 FTTH 기반 IPTV 서비스 장비에 대해 표준 BMT 서비스를 제공할 계획이다.

5.2 표준 BMT 시료

FTTH 표준 BMT에 사용되는 시료로는 FTTH E-PON 시스템, 단말, 광분배기 및 부품, EMS(Element Management System), 계측기(Agilent N2X)[13]와 Chariot[14] 등으로 구성되며 표 4와 같다.

표 4 FTTH 표준 BMT 시료

구분	내용
PON 시스템	Full 실장 OLT 2대, 32*ONT
광분배기	1:32, 1:2, 1:4, 1:8, 1:16
광링크	500M, 1KM, 10KM, 20KM
계측기	계측기(4*GE + 32*FE 포트), WEB/VoIP 성능 시험기(Chariot), FTP 성능측정기(자체 개발)
단말	HDTV, 셋탑, 16*PC, VoIP 폰
서버	FTP 서버, HTTP 서버, EMS
헤드엔드	IPTV 헤드엔드, VoD서버

BMT에 사용되는 계측기 포트(GE/FE)의 100% 전송 특성은 표 5와 같다. FTTH 표준 BMT 규격과 시험 평가에서 표 5의 값들을 참조한다.

표 5 계측기의 성능과 전송지연 특성

포트	성능(PPS)			지연시간(us)	
	64B	Random	1518B	기가비트	100M
기가비트	1, 488Kpps	154Kpps	81Kpps	0.82u	3.86us
	761Mbps	975Mbps	987Mbps		
100M	148Kpps	15Kpps	8Kpps	3.57us	6.84us
	76Mbps	98Mbps	99Mbps		

5.3 표준 BMT 시험 기능 및 절차

FTTH 시스템 기능과 특성을 파악하기 위해서는 각 기능에 대한 시험항목과 절차가 필요하다. FTTH 표준 BMT 시험 항목은 FTTH PON 시스템의 특성과 TPS 서비스에 필요한 기능을 고려하여 개발하였다. FTTH 표준 BMT를 위해 개발한 주요 시험 기능은 이중화, PON-Link, L2, L3, QoS, 필터링, 보안 OAM(Operat-ion and Management) 등으로 표 6과 같다.

표 6 FTTH 표준 BMT 시험 기능 및 항목

순번	기능명	시험기능	항목수
1	H/W	Hot swap/Uplink/PON인터페이스	18
2	PON	대역할당/암호화 인증/광파장	8
3	ONT	Uplink/L2/QoS	12
4	L2기능	Mirroring/802.1P/802.3AD/VLAN/(R)STP/Storm제어	6
5	L3기능	동적/정적라우팅/Gateway/Load balancing	16
6	QoS	RateLimit/Priority/분류/마킹/쉐이핑	13
7	성능	상향·하향 성능	4
8	멀티캐스팅	IGMP-SN/PIM-SM/Zapping	3
9	DHCP	DHCP 서버/릴레이/옵션	3
10	Filtering	NetBEU/NBT/DHCP/ACL	3
11	OAM	운용자점검/구성/성능통계/장애경보/보안	44
12	EMS	EMS/원격관리/NMS	13
13	전자파	전자파보호	1
14	환경시험	OLT/ONT	2
15	종합서비스	TPS/Data/Voip/방송	18
16	부가기능	시스템 보호 등	0
합계			164

시험 항목은 각 기능 별로 여러개가 있으며, 각 항목에 대한 시험절차가 있다. FTTH 표준 BMT 진행 절차는 고품질 서비스와 현장 운용에 필요한 기능을 중심으로 우선순위를 수립하고, 모든 단말은 Service over DHCP(SoD) 기반으로 아래와 같은 순으로 진행한다.

- 시료 확인
- PON-Link 특성 시험
- 환경시험(QoS 기반 TPS)
- 종합서비스시험(QoS)
- 각 서비스 기능 시험
- 타사 장비간의 연동성 시험

5.4 환경 시험

환경 시험은 그림 2와 같이 VLAN 기반의 Layer 3 통신 환경으로 구성하고, “4. FTTH 망의 요구사항”을 고려하여 실제 운용 지역과 유사한 온습도 조건으로 진행한다. OLT와 ONT를 환경 조건이 다른 챔버에 각각 설치하고, 이들 간을 1:32 분기 광링크로 연결한다. 트래픽은 상/하향으로 표 7과 같은 TPS 트래픽을 5일 이상

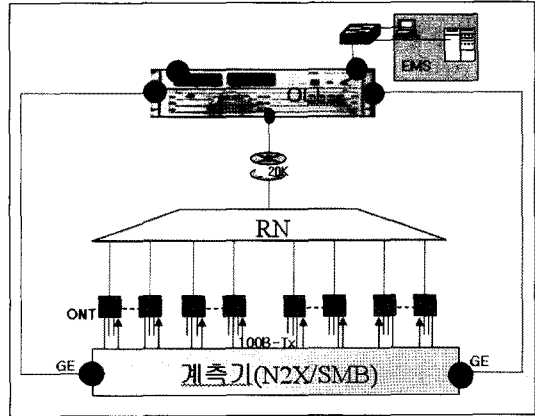


그림 2 BMT 환경 시험 구성도

표 7 환경시험 트래픽 조건

방향	유선 순번	모드	종류	Size (byte)	Tx			Rx			loss (%)	수신 한계 대역	Burst Rate(%) Load(%)
					대역(MB)	Rate(%)	대역(MB)	Rate(%)	대역(MB)				
하향	6	constant	VoIP	64	3~32	0.4%~32	3	4.0%	0%	88M/Fe	95%	25%	
	4	constant	MC	1518	20	2%	20	20.0%	0%				
	2	burst	PM	64	15~32	2%~32	15	20.0%	0%				
	0	burst	BE	random	6.5~32*1G	0.7%~100%	50	51.0%	-				
상향	6	constant	VoIP	64	3	4%	95	12.6%	0%	88M/Ge	85%		
	2	burst	PM	64	2	3%	2	8.4%	0%				
	0	burst	BE	random	90	93%	624	64.0%	-				

온도(옥외용: -20°C~60°C, 옥내용: 0°C~40°C)와 습도(20~80%)를 5회 이상 변화시키면서 인가하고, 우선순위 트래픽은 무손실이 보장되는 시스템에 한해 다음 단계로 진행한다.

인가하는 트래픽은 PON 링크 기준으로 상/하향 각각 320%/200%이고, 수신측에 하향 95%와 상향 85% 이상 출력되고, 모든 우선순위 트래픽은 무손실이 보장되어야 한다. 시스템의 QoS 환경 설정은 CoS(Class Of Service), DSCP(Differentiated Services Code Point) 및 IP-Predence(ToS: Type of Service) 중 설정이 용이하고 효율적인 것으로 설정한다.

5.5 종합 서비스 품질 시험

현장 적용을 위한 QoS 기반의 종합서비스 품질시험은 IPTV와 VoIP의 QoS를 기본으로 “4. FTTH 망의 요구사항”의 충족 여부를 확인할 목적으로 진행한다. 시험 환경은 기 구축된 FTTH 서비스센터내의 IPTV 헤더엔드와 VoD 서버, FTP(File Transfer Protocol) 서버와 HTTP(Hyper Text Protocol) 서버, Chariot 서버를 그림 2의 BMT 환경에 추가 연동하고, 가입자 장치로는 IP셋탑, PC, VoIP 전화기, 대형 HDTV 등 다양한 단말을 사용한다. 모든 시험은 SoD 기반으로 실제 가입자의 사용 환경과 유사하게 그림 3과 같이 VLAN 기반의 Layer 3 통신 환경으로 구성하여 진행한다.

그림 3에서 OLT 2대를 DHCP Server과 Relay로 각각 운용하며, DHCP/MAC/ARP/PON-MAC 테이블을 주기적으로 reflash하면서 서비스 상태와 동작 상태를

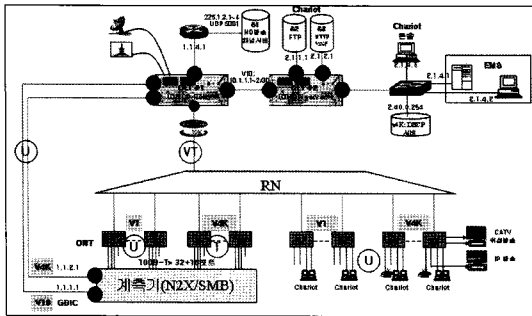


그림 3 FTTH 종합 서비스 품질 시험 환경

확인한다. 1개의 PON 구간내에서 계측기를 이용한 전송 성능과 가입자의 응용 서비스에 대한 시험이 동시에 진행된다. 즉, 16개 ONT는 계측기를 이용해 전송 특성을 시험하고, 나머지 16개 ONT에는 IP셋탑, VoIP폰, PC 등 다양한 가입자 단말을 연결하여 live-IPTV의 체감품질과 zapping 시간, FTP와 HTTP, VoIP의 품질 상태 특성을 확인한다.

FTP는 자체 개발한 도구로 서버에서 가입자 PC를 동시에 접속하여 1GB 파일을 3일 이상 송수신한 후 원래파일과 모든 내용을 binary 레벨로 자동 비교 검증한다. VoIP폰으로 call-setup과 체감품질을 확인하고, Chariot으로 가입자간의 VoIP 전송 품질의 지표인 MoS (Mean Opinion Score) 값과 WEB 송수신 성능을 측정한다. 동시에 가입자 PC에서 서버와의 RTT(Round Trip Time)를 측정한다[8].

트래픽 폭주시 시스템의 안정성을 확인을 목적으로 상/하향으로 각각 약 200%/400% 인가된다. 계측기에 의한 출력 성능은 가입자 단말기들이 사용하는 서비스 대역을 제외한 나머지 대역을 사용하되 우선순위 트래픽의 무손실 보장 여부를 확인한다.

5.6 서비스 기능 시험

환경시험과 종합 서비스 시험 조건을 만족한 시스템에 한해, 다음 단계로 각 서비스 기능에 대한 시험을 진행한다. 시험 대상 기능은 표 6과 같으며, 각 기능별로 다양하고 그림 4와 같이 구성된 기능 시험 절차에 따라 진행된다. 그림 4와 같은 기능 시험 절차서에는 시험환경, 시험 기능과 시험 절차 등이 기술되어 있다.

본 논문의 SoD 기반 FTTH 표준 BMT 평가에서는 각 기능의 세부적 시험 내용은 제외하고 환경시험과 종합서비스 시험결과에 대해 언급하고자 한다.

6. 시험 결과 및 분석

6.1 환경 시험 결과

FTTH 표준 BMT의 환경시험은 그림 2의 구성 환경에서 표 7과 같은 TPS 트래픽을 상/하향으로 5일 이상

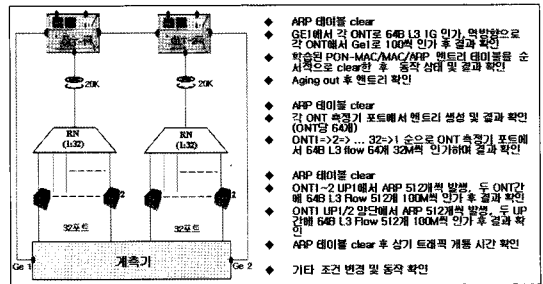


그림 4 기능 시험 절차 예(ARP)

표 8 장시간 성능시험 결과 예

방향	유선 순위	모드	종류	Size (Byte)	Tx		Rx		loss (%)	지연 (us)	수신 한계 대역(MB)	Rate(%)	Burst Load(%)
					대역(MB)	Rate(%)	대역(MB)	Rate(%)					
하향	6	constant	VoIP	64	3.06-32	0.4%-32	3.05	5%	0%	145	417Fe	48%	25%
	4	burst	MC	1518	18.75	2%	19.25	20%	0%	1141			
	2	burst	PM	64	15.24-32	2%-32	15.24	20%	0%	453			
	0	burst	BE	random	(7+24)+32	(0.7+2.4)+32	3.45	4%	-	1000			
상향	6	constant	MC	64	3.05	4%	97.6	13%	0%	3750	870/Ge	94%	
	2	burst	PM	64	2.28	3%	73.3	10%	0%	5870			
	0	burst	BE	1518	91.78	93%	700	71%	-	5200			

인가한 결과를 확인한다. QoS 기반 TPS 성능에 대한 환경시험 결과는 제조사의 장비에 따라 다소 차이가 있으나 대부분의 E-PON 시스템이 표 8과 같은 성능을 나타낸다. 표 8에서 보여 주듯 상/하향의 우선순위 트래픽 즉, VoIP, MC(Multicast), PM(Premium) 트래픽은 손실이 없고 우선순위가 낮은 BE(BestEffort) 트래픽만 손실이 있다.

그림 5는 계측기로 하향 트래픽을 실측한 예로 우선순위가 주어진 VoIP/MC/PM 트래픽은 손실이 없으나 우선순위를 제공하지 않은 BE 트래픽은 손실이 있다.

Stream T	Tx Test Packets	Rx Test Packets	Tx Test Octets	Rx Test Octets	Tx Test (%)	Rx Test (%)	Tx Pkts Loss (%)	Rx Pkts Loss (%)	Average Delay (us)	Minimum Delay (us)	Maximum Delay (us)	Sequence Error
101/4->103/2, VoIP3	300479148	300479148	1923065472	1923065472	3.05	3.05	0	0	137.71	68.72	1314.36	0
101/4->103/2, VoIP5	300479148	300479148	1923065472	1923065472	3.05	3.05	0	0	159.98	68.78	1328.22	0
101/4->103/2, Multicast1	82055941	82055941	1245609184	1245609184	19.74	19.74	0	0	1146.24	110.66	4141.36	0
101/4->103/2, Multicast2	82055941	82055941	1245609184	1245609184	19.74	19.74	0	0	1147.06	110.67	4127.70	0
101/4->103/2, PM_down2	148361535	148361535	9495138272	9495138272	15.05	15.05	0	0	421.17	71.27	5304.87	0
101/4->103/2, PM_down3	148361535	148361535	9495138272	9495138272	15.05	15.05	0	0	418.98	69.95	5286.72	0
101/4->103/2, BE_down2	28266565	4417214	481756670	670182032	6.79	1.31	2278941	2858.49	1276.94	7625.54	4416494	
101/4->103/2, BE_down3	28266565	5450991	481756670	8272328138	6.79	1.31	22756414	2207.12	1289.40	7625.54	5425394	
101/2->103/2, BE_up2	234749340	229277754	15029957952	14673776256	23.81	2.23	2118216676	3230.77	75.49	9702.73	22565285	
101/2->103/2, BE_up3	234749340	229277754	15029957952	14673776256	23.81	2.23	2118216676	3232.82	79.50	9693.78	22565285	

그림 5 계측기에 의한 하향 트래픽 실측 예

그림 6은 계측기로 상향 트래픽의 실측으로 우선순위가 주어진 VoIP와 PM 트래픽은 손실이 없고 우선순위를 제공하지 않은 BE 트래픽만 손실이 있다.

Stream T	Tx Test Packets	Rx Test Packets	Tx Test Octets	Rx Test Octets	Tx Test (%)	Rx Test (%)	Tx Pkts Loss (%)	Rx Pkts Loss (%)	Average Delay (us)	Minimum Delay (us)	Maximum Delay (us)	Sequence Error
10312->101/4, BE_up1	381556925	31393702	57023042720	13863852696	91.79	21.98	25019763	32517.81	3408.79	35599.70	32556409	
10312->101/4, PM_up1	225254552	225254552	14422697728	14422697728	2.29	2.29	0	0	6615.43	3894.26	8393.25	0
10312->101/4, VoIP24	300479187	300479187	19230666688	19230666688	3.05	3.05	0	0	6089.39	3236.85	9282.71	0
10312->101/4, BE_up13	381556925	61359473	57023042720	13863852814	91.79	21.98	280197562	32517.73	3023.42	35599.42	32556409	
10313->101/4, PM_up13	225254552	225254552	14422697728	14422697728	2.25	2.29	0	0	6615.16	3452.24	8393.62	0
10313->101/4, VoIP25	300479167	300479167	19230666688	19230666688	3.05	3.05	0	0	6069.34	2912.68	9381.68	0

그림 6 계측기에 의한 상향 트래픽 실측 예

6.2 종합서비스 시험 결과

VLAN과 SoD 기반의(그림 3) 환경에서 FTTH 표준 BMT 종합서비스 시험에 대한 서비스 상태와 QoE 시험결과는 표 9와 같으며 FTP와 WEB의 상/하향 성능이 요구규격 보다 낮은 것은 단말의 특성으로 분석된다.

표 9 종합서비스 시험 결과

평가 항목	요구 규격	결과
IPTV QoE	Full HD(1080i/720P)	52" Full HD 양호
채널 Zapping	SD 1초 미만 Full HD 1.5초 미만	SD 1초, Full HD 1.3초 이내
FTP Down/Up	100Mbps 이상	약 90M/65Mbps
WEB gif/text	100Mbps 이상	약 90M/65Mbps
VoIP Loop	MoS 4.0이상	4.0 이상
RTT(ping)	평균 1ms 미만	평균 1ms 이하이나 소량 손실
계측기 TPS	우선순의 트래픽 무손실 보장	VoIP/MC/PM 무손실
IP 할당	DHCP	양호
ARP/MAC	Aging time 5분	양호
DHCP lease	5분	양호
필터링	DHCP/NBT/NetBEUI	양호
Ratelimit	상하향	양호

그림 7은 계측기에 의한 하향 상/하향 트래픽을 실측한 예로 VoIP/MC등 우선순위가 주어진 트래픽은 손실이 없음을 보여 준다.

Stream	To Test Packets	From Test Packets	To Test Bytes	From Test Bytes	Throughput (Kbps)	Average (Kbps)	Minimum (Kbps)	Maximum (Kbps)
1001->101(2) Multicast_001-200	114742074	114743074	17215811000	17215811000	6.91	6.91	0	15.23 14.66 15.79
1001->101(2) Multicast_001-202	114742074	114743074	17215811000	17215811000	6.91	6.91	0	15.23 14.66 15.79
1001->101(2) Multicast_001-203	114742074	114743074	17215811000	17215811000	6.91	6.91	0	15.23 14.66 15.76
1001->101(2) Multicast_001-204	114742074	114743074	17215811000	17215811000	6.91	6.91	0	15.23 14.66 15.79

그림 7 계측기에 의한 종합 서비스 성능 실측 예

그림 8은 약 60시간 동안 ping에 의한 RTT를 실측한 예로 평균이 1ms, 최대 43ms로 편차가 있고 1.3E-4의 손실(29개)이 있다.

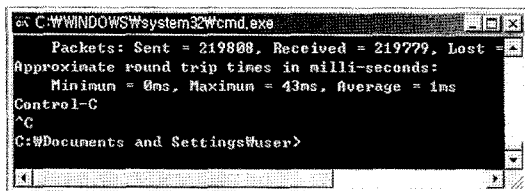


그림 8 ONT 단말 PC에 의한 RTT 실측 예

그림 9는 FTP와 서버와 ONT 단말간에 송수신 성능

의 실측한 예로 상/하향 성능이 비대칭으로 하향 성능이 상향 성능보다 30Mbps 정도 우수하다. FTP 시험에 사용된 시스템은 FTP서버가 Linux이고 단말은 Windows이며, 이들이 사용하는 NIC(Network Interface Card)은 기가비트이다.



그림 9 FTP 성능 실측 예

그림 10은 OLT에 연결된 Chariot 서버와 ONT간, ONT와 ONT간에 연결된 Chariot 에이전트로 시험한 VoIP 품질을 보여 주는 것으로 MoS 값이 4.0 이상이다.

Group	Run Status	Timing Records Completed	MOS Average	MOS Minimum	MOS Maximum	P-value Average
All	All Pairs	4,099,064	4.88	3.82	4.98	91.92
Pair 5	Abandoned	2,700	4.38	4.38	4.38	91.93
Pair 6	Abandoned	2,700	4.38	4.38	4.38	91.93
Pair 7	Finished: Warning(s)	2,864	4.38	4.38	4.38	91.93
Pair 8	Abandoned	2,700	4.38	4.38	4.38	91.95
Pair 9	Abandoned	2,700	4.38	3.82	4.38	91.95
Pair 10	Finished: Warning(s)	2,700	4.38	4.38	4.38	91.89
Pair 11	Finished: Warning(s)	2,700	4.38	4.38	4.38	91.93
Pair 12	Abandoned	2,700	4.38	3.82	4.38	91.94
Pair 13	Abandoned	2,700	4.38	4.38	4.38	91.85
Pair 14	Abandoned	2,700	4.38	4.38	4.38	91.93

그림 10 Chariot에 의한 MoS값 실측 예

6.3 BMT 결과 분석

FTTH E-PON 시스템의 PON 링크 상향 성능은 대역폭 할당 메카니즘의 특성상 하향에 비해 상대적으로 낮다[15,16]. BMT 결과에서도 볼 수 있듯 계측기와 단말의 상향 성능이 하향 성능 보다 다소 낮고 상대적으로 전송지연도 크다. 표 9에서 FTP등 TCP (Transmission Control Protocol)를 사용하는 단말의 응용 프로그램들은 단방향 통신하는 계측기에 비해 상/하향 성능에 차이가 있다. 이것은 단말의 특성과도 관련이 있으나, 3way handshaking을 사용하는 TCP의 특성이 상향 지연시간에 영향을 받는 것으로 분석된다.

BMT 시험 결과표 표 8과 표 9에서 보여 주듯 E-PON 시스템은 트래픽 폭주시에도 가입자 요구에 따른 서비스 제공이 가능하고 품질 보장이 가능한 것으로 분석된다. 또한 E-PON 시스템으로 가입자의 요구 서비스에 대한 적절한 트래픽 정책을 수립하고 QoS를 적용한다면 요구 서비스에 대한 품질 보장이 가능할 것

로 예측된다.

그림 8에서 나타난 RTT 손실은 PON 링크의 사용 대역폭이 80% 이상에서는 손실이 없음을 확인하였다. 따라서 RTT 손실은 동시에 다채널 IPTV zapping과 VoD 출력에 의한 트래픽 폭주에 의한 것으로 분석된다.

7. 결론

세계적으로 가입자망의 광대역화가 경쟁적으로 추진되고 있으며, 이에 따른 신규 서비스도 활성화되고 있는 추세이다. 국내 광통신 산업의 저변 확대와 육성 발전 및 차세대 장비개발, 광가입자망 기반 고품질 서비스 및 플랫폼 개발의 일환으로, ETRI 광통신연구센터에서는 자체적으로 FTTH 표준BMT 테스트베드와 네트워크 운영센터 및 IPTV 서비스 장비로 FTTH 서비스센터를 구축하고, 망사업자를 통하여 규모있는 상용 광가입자망을 구축하고 연동하였다. FTTH PON 시스템을 중심으로 구축된 광가입자망 기반의 FTTH 서비스센터의 테스트베드는 FTTH 기반의 서비스 장비에 대한 FTTH 표준 BMT를 제공하고 있으며, 향후에는 IPTV 서비스 장비에 대해 BMT 서비스를 제공할 계획이다.

FTTH E-PON 시스템의 성능평가는 다양한 방법으로 수행할 수 있으나 본 논문에서는 BMT 참가 업체의 부담을 최소화하기 위해 최소의 시료로 FTTH E-PON 시스템의 성능과 기능을 평가하는 내용을 소개하였다. FTTH 표준 BMT 결과에서 알 수 있듯이 E-PON 시스템은 하향에 비해 상향 성능이 상대적으로 낮고 전송 지연도 크다. 앞으로는 이와 관련된 더 많은 연구와 다수개의 PON 링크를 이용한 성능 평가 및 분석이 요구된다.

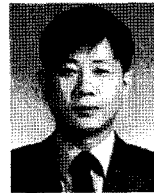
참고 문헌

[1] 김관중, 권정국, 유제훈, 김봉태, "FTTH 기술 및 시장 동향", 전자통신동향분석 제19권 제6호, 2004. 12.
 [2] 한국전자통신연구원, "초고속광가입자망기술", 최종연구보고서, 2006. 12.
 [3] 송재연, 김영균, "IEEE802.3ah EPON 표준화 기술과 동향", 대한전자공학회 Vol.13(3), pp. 48-56, 2003.
 [4] 김광욱, 최현균, 김승환, 권을, 김봉태, "GPON 기술 표준 규격 및 개발 동향", 정보통신연구진흥원 주간기술동향 1232권 pp. 1-13. 2006.02.
 [5] 박만용, 김태연, 정의석, 유정주, 김병휘, 김봉태, "WDM-PON 기술", 전자통신동향분석 제 21권 제 6호, 2006.12
 [6] 송호영, 이병탁, 성정식, 심재찬, 권정국, 김봉태, "광가입자망 기반 IPTV 테스트베드", 전자공학회 논문지, 제43권 TC편 제5호, 2006. 5.
 [7] 한국전자통신연구원, "광가입자망(FTTH) 서비스 개발실험사업", 1차년도연구보고서, 2005.12.

[8] 권정국, 유제훈, 김봉태, 박천관, 이상호, "FTTH 광인터넷에서 IPTV 체감품질 개선", 정보과학회논문지 제 34권 6호 pp. 525-532, 2007.12.
 [9] cisco, "Sample Configuration for BGP with Two Different Service Providers (Multihoming)," CISCO inc. Document ID: 23675, Aug. 2005.
 [10] cisco, "Configure MSDP," <http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/lan/cat3750/12235se/scg/swmsdp.pdf>, Cisco Systems, Inc. Jun.2006.
 [11] S. Bradner, J. McQuaid, "Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices," RFC 2544, Mar. 1999.
 [12] D. Stopp, B. Hickman, "Methodology for IP Multicast Benchmarking," RFC3918, Oct.2004.
 [13] Agilent, "N2X Quick test version 7.6," <http://advanced.comms.agilent.com/n2x/docs/scripts/qt76-201106>, Agilent Technologies, Oct. 2006.
 [14] IxChariot, IxChariot User Guide Release 5.10, IXIXA, Jul.2004.
 [15] G. Kramer, B. Mukherjee, and G. Pesavento, "EthernetPON (EPON): design and analysis of an optical access network," Photonic Network Communications, vol.3, no.3, Jul. 2001, 307-319.
 [16] G. Kramer, B. Mukherjee, and G. Pesavento, "IPACT: a dynamic protocol for an Ethernet PON (EPON)" IEEE Communications Magazine, vol.40, no.2, Feb. 2002, 74-80.



권 정 국
 1999년 충북대학교 전자계산학과(석사)
 2008년 충북대학교 전자계산학과(박사)
 2008년 미국 Washington State University 미국 Washington State University 방문교수. 1983년~현재 한국전자통신연구원 광인터넷연구부(책임연구원). 주관심분야는 네트워크 설계/분석/BMT 및 운용관리, 컴퓨터 운용관리, 통방융합 기술



유 제 훈
 1980년 2월 건국대학교 전자공학과(공학사). 1982년 2월 건국대학교 전자공학과(석사). 2008년 충북대학교 전자계산학과(박사). 1980년~현재 한국전자통신연구원 광네트워크연구팀(팀장). 주관심분야는 광통신, 광 네트워킹 기술



김 봉 태

1983년 서울대학교 전자공학과(공학사)

1991년 미국 노스캐롤라이나 주립대학

컴퓨터공학과(석사). 1995년 미국 노스캐

롤라이나 주립대학 컴퓨터공학과(박사)

1983년~현재 한국전자통신연구원 네트

워크연구본부(본부장). 주관분야는 통
신, FTTH, 통방융합서비스



이 상 호

1976년 숭실대학교 전자계산학(공학사)

1981년 숭실대학교 대학원 시뮬레이션

(공학석사). 1989년 숭실대학교 대학원

컴퓨터네트워크(공학박사). 1981년~현재

충북대학교 교수. 관심분야는 Protocol

Engineering, Network Security, Network
Management, Network Architecture