

FTTH 구축을 위한 KT WDM-PON 개발 현황

김진권, 김종안, 박형진, 김진희
KT 차세대통신망연구소 FTTH개발팀

WDM-PON system development status for FTTH deployment in KT

Jin-Gwon Kim, Chong-Ann Kim, Hyung-Jin Park, Jin-Hee Kim
FTTH Development Team, Telecommunication Network Laboratory, KT

Abstract - 최근 통신산업의 최대 이슈인 새로운 성장동력원 발굴의 중심에는 통방융합 서비스가 있으며, 통방융합서비스 제공을 위한 인프라를 어떻게 구축할 것인가 하는 것이 전세계 통신사업자들이 안고 있는 숙제이다. 이에 KT에서 개발 중인 가입자당 양방향 100Mbps를 제공할 수 있는 저가형 WDM-PON 시스템을 소개하고, 아울러 FTTH 구축 활성화를 위해서 해결해야 할 문제점들에 대하여 기술적 측면과 제도적 측면에서 언급하였다.

의 방안으로써 국내의 제조업체와 공동으로 WDM-PON 시스템을 개발 중 이다. 본고에서는 FTTH 관련 국내의 현황과 통방융합 및 미래형 서비스 수용을 위해서 FTTH 망에 요구되는 조건을 짚어보고 KT에서 개발 중인 WDM-PON의 기능과 개발현황을 소개하며, 끝으로 FTTH 구축을 활성화 하기 위해 해결해야 할 문제점들을 언급하면서 결론을 맺고자 한다.

1. 서 론

최근 통신산업분야의 핵심이슈는 새로운 성장동력원을 발굴 하는 것이다. 100년의 역사를 숨 가쁘게 달려온 유선통신 서비스 시장, 특히 전화(PSTN) 서비스는 이미 1990년대 후반을 정점으로 포화상태를 지나 매년 시장이 작아지고 있다. 또한, 2000년 초반 인터넷바람을 타고 급성장한 초고속인터넷 서비스도 이제 그 증가 폭이 상당히 작아져 가입자 수가 거의 포화 상태에 다다르고 있는 실정이다. 이러한 현상은 비단 유선통신 서비스뿐만이 아니다. 2004년 5월 현재 국내 이동통신 서비스 가입자 수는 이미 3600만 명을 넘어서 거의 포화상태에 이르렀으며, 어느 기관에서는 이동통신 가입자 수를 최대 3900만 명 이상으로 추정 발표한 바 있으나 매출 및 영업이익의 측면에서는 그다지 좋지 않은 실정이다.

통신산업의 위기는 인터넷 및 이더넷 기술에 기반을 둔 대체서비스(예를 들면 VoIP, 메트로이더넷)의 등장과 사업자간 경쟁의 심화에 기인하는 바가 일부 있으나, 기존의 통신산업이 성숙기에 다다른데 가장 근본적인 이유가 있다 할 것이다. 따라서 각 사업자마다 새로운 성장동력원을 발굴하는 것은 이제 생존과 직결되는 절대 절명의 지상과제가 아닐 수 없다. 통신사업자들이 새로운 성장동력원이 될 수 있다고 판단하는 분야는 방송과 통신의 융합 및 유무선 통합이다. 이러한 판단하에 각 사들은 DMB, DMC, CATV, 위성방송 등 콘텐츠 및 방송관련 사업분야에 적극적인 대처를 하고 있으며, 방송(CATV, 위성)과 유무선 및 초고속인터넷을 묶어 하나의 상품(TPS: Triple Play Service)으로 서비스를 내놓고 있다. 그러나 본격적인 TPS 서비스는 고화질 디지털 영상 서비스를 제외 하고서는 논할 수 없을 것이며, 또한 정부의 적극적인 노력에 힘입어 조만간 디지털 TV가 활성화되고 HD급 영상화질에 대한 서비스 사용자 욕구가 증대 할 것으로 예상된다. 이러한 고객의 욕구 충족을 위해서는 통신인프라의 확충을 서둘러야 한다. 이에 KT에서는 통방융합 서비스 제공 인프라로서 FTTH망 구축을 다각도로 검토 중 이며, 하나

2. 국내의 동향

지난해 한국전산원은 사당동 삼성래미안 아파트 980세대에 AON 방식을 적용하여 FTTH를 구축한 바 있으며, 한국전자통신연구원(ETRI)은 자체 개발한 E-PON 장비를 이용하여 광주광역시에서 100가입자를 대상으로 시범서비스를 제공하여 그 가능성을 보여 주었다.[1]

또한, 정부에서 특등급아파트 인증제도를 마련하여 시행한 이후 건설사 주도로 이미 특등급아파트 인증을 획득한 아파트도 등장하였으며, 금년 내에 약 2000세대가 본 인증 또는 예비인증을 획득 할 것으로 예상된다.

한편 국내의 통신 사업자들은 아직 이렇다 할 FTTH 상용 서비스를 출시하지 않고 있으며, 다만 실험실 차원 내지 시험서비스 정도 수준에서 그치고 있다.

이는 아직까지 장비가격이 고가이며, FTTH를 당장 전략적으로 선택할 만한 킬러 애플리케이션을 찾지 못했다는 것이 이들이 주장하는 주된 이유이다. 그러나, 시각을 달리 보면 이미 킬러 애플리케이션은 나와 있다고 할 수도 있다.

미국의 경우 Verizon, SBC 와 같은 경쟁력 있는 주요 통신사업자들은 TPS제공을 통한 케이블 사업자들의 통신시장 잠식에 위기의식을 느끼고 이에 대응하기 위하여 FTTH를 적극 추진하려 한다는 것이다. 이러한 면에서 볼때 미국의 경우는 FTTH 의 킬러 애플리케이션은 통방융합 등 기존 서비스를 아울러 제공하는 것이라 할 수 있다. 또한 향후 추가 되는 인터랙티브 TV, On-Demand -Entertainment 등 광대역 기반 양방향서비스는 FTTH 망의 효용가치를 한층 배가 시키게 될 것이다.

국내 사업환경이 미국과 달리 통신과 방송 규제 기구가 각각 다르고 사업영역에 대한 구분이 엄격하여 통신사업자가 적극적으로 통방융합을 추진 할 수 없다는 제약으로 인해 통신사업자의 FTTH 추진은 한동안 지연 될 것으로 예상된다.

현재 FTTH를 가장 적극적으로 추진하고 있는 나라는 일본이다. 일본의 경우 2001년 1월 1일부터 시

작된 e-Japan Project를 총리가 직접 총괄 지휘하는 등 국가적인 차원에서 대대적으로 추진하고 있으며, 사업자 및 기업 사용자에게 세계상의 혜택과 특장분야에 대하여는 국고에서 투자비를 분담하기도 한다. 그 결과 2004년 7월 현재 일본내 FTTH 가입자는 140만 세대를 넘어섰고 매월 10만 가입자 정도씩 증가 하는 추세이다. 일본은 2005년 까지 FTTH 가입자를 1000만 세대까지 확대할 계획이다. [2]

영국의 BT는 21CN(21st Century Network)를 추진하면서 2008년까지 기존의 PSTN 서비스를 IP기반 전화 서비스로 전환할 계획이다. 이를 통해 BT는 연간 18억\$의 운용비용을 절감 할 수 있을 것이라고 예상하고 있다.[3]

표1과 2에 해외 주요 통신사업자와 제조업체의 현황을 각각 요약하였다.

표 1. 해외 주요 사업자 현황

사업자	적용기술	주요 현황/계획	비고
NTT	AON B-PON E-PON	-FTTH 가입자 수: 84만('04.3) -'06년 3월: 500만 가입자 목표 -600명 규모의 신규 서비스 개발 전담회사 설립('03.말)	W-PON 연구 중
Verizon*	B-PON	-FTTP에 중점 -'04년: 100만 회선 구축 목표 -'05년: 200만 회선 구축 목표	FiberDirect (AFC)
SBC*	B-PON	-신규지역: FTTP** -기존지역: FTTN***에 중점 -위성TV, 초고속인터넷, 전화 결합상품 판매	Alcatel7340 (Alcatel)
BT	B-PON	-FTTH시험 서비스 추진 -POTS를 VoIP망으로 전환추진	HiFOCUS4 (ECI)
China Netcom	E-PON	-소규모 시험망 구축('04.6) -'08 북경올림픽때 FTTH 사용 *중국IT투자계획: '01~'05년 까지 1조7000억 \$ 투자	Salira3000 (Salira)
FastWeb	AON	-Ethernet 기반 TPS 제공 -가입자 수: 41.8만('04.7)	이탈리아
Utopia Project	AON	-유타 주 18개 도시에 Ethernet 기반 공중망 구축 -25만 가구, 3.5만 기업 Cover	미국

* 미국내 RBOC 3개사(Verizon, SBC, Bellouth)는 지난해 5월 공통규격을 제시하고 장비제조업체로부터 RFI를 받아 지난 연말에 장비공급업체를 선정 하였다.

** FTTP : Fiber To The Premises

*** FTTN : Fiber To The Node(FTT-Curb 에 해당하는 개념으로 Curb 이후에는 xDSL기술을 이용하고 있다.)

표 2. 해외 주요 장비제조업체 현황

업체명	장비종류	가입자 인터페이스/서비스	비고
Alcatel	B-PON (Alcatel7340)	-POTS, T1, FE, IP/RF-Video, Interactive-TV	Video-OLT별도
AFC	B-PON (FiberDirect)	-POTS, Data, RF-Video	
Hitachi	B-PON (AMN1200)	-POTS, 10/100Base-T, RF-Video	
	E-PON (AMN1500)	-10/100/1000Base-T	
Salira	E-PON (Salira3000)	-Data, T1/E1, IP-Video	
AllOptic	E-PON (GigaForce)	-POTS, Data, T1/E1, A/D Audio, Telemetry	
FlexLight	G-PON (Optimate)	-POTS, TDM 전용회선, FE, RF-Video	상하향: 1.25/2.5 Gbps

3. FTTH 망 구축을 위한 시스템 요구사항

앞 절에서 언급했듯이 FTTH의 킬러 애플리케이션은 통방융합 서비스이다. 또한 현재 서비스망은 ALL-IP를 향하여 진화 하고 있다. 정부에서 추진 중인 BcN 또한 IP를 기반으로 추진되고 있으며, 이와 같은 IP화는 피할 수 없는 대세이고, IP 기반의 통방융합 서비스를 제공하기 위하여 FTTH 망 구축 장비는 빠른 속도는 물론 QoS와 높은 가용성 및 신뢰도를 보장 할 수 있어야 한다.

표3에 이러한 내용을 정리 하였다.

표 3. FTTH 망구축 장비 요구 사항

구분	요구 조건	비고
속도	-하향: 60Mbps 이상 -상향: 30Mbps 이상	-HD-IPTV: 20Mbps -HD-VoD : 20Mbps -EoD : 6~20 Mbps -인터넷 : 10Mbps -영상전화: 4Mbps
QoS	-DiffServe, RSVP -IEEE802.1p/Q, VLAN	
가용성	-주요 기능 이중화 -보호절체 기능	
보안성	-인증 기능 -트랙픽관리 기능	
신뢰도	-시험 및 통계 기능 -운용관리 기능	
Multicasting	IGMP, IGMP Snoop, PIM	
확장성	-IPv6 -B/W, 가입자 수 등	

4. KT WDM-PON 시스템 개발 현황

4.1 Why WDM-PON?

FTTH 기술은 통방융합 서비스를 보장하도록 기능 제공해야 함과 동시에 기술 자체의 차별성을 가짐으로써 사업적 효과를 극대화 한다. 기술적인 측면에서 요구되는 요건들은, 가입자당 상하향 대칭으로 100Mbps가 보장되고, 고품질 영상과 같은 프리미엄 서비스 제공을 위한 성능을 만족시키고, 가입자간 보안성이 보장되어야 한다. 기술적 차별성에 대해서는 통방융합 서비스를 수용하되 신규 서비스들을 지속적으로 수용하여 부가가치를 높일 수 있는 기반을 제공해야 한다. 핵심 기술의 경우, 해외에 의존하지 않은 국내 고유의 기술을 활용함으로써 향후 투자 및 운용 비용 절감효과를 낼 수 있어야 한다.

이러한 관점에서 WDM-PON은 가입자당 고유의 파장을 할당하여 100Mbps 대칭적 대역을 보장하고, 각 가입자가 물리계층에서 서로 다른 파장 대역을 사용함으로써 보안성을 제공한다. 그리고 단순한 media conversion만을 수행하는 MAC 기능을 통해 protocol transparency를 보장하여 다양한 서비스들을 수용할 수 있는 기반을 제공한다. 또한 세계 최초로 순수 국내 기술로 개발된 WDM-PON 시스템으로써, 국제 표준화(FSAN)에 주도적 위치를 확보할 수 있게 되었다.

개발 시스템에 대한 구체적 내용은 이후 절에서 기술 한다.

4.2 KT WDM-PON 시스템 구성

KT에서 개발 중인 WDM-PON은 크게 BLS 셀프와 OLT 셀프 그리고 가입자측 장비인 ONT로 나눌 수 있으며, 국사의부에 설치되는 수동소자인 AWG (Arrayed Waveguide Grating) 와 함께 하나의 네트워크를 구성한다. 그림1은 WDM-PON의 망 구성도를 그림 2는 시스템 구성도를 나타낸다.

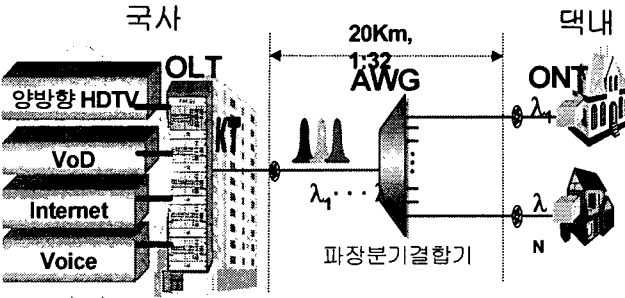


그림 1. WDM-PON 망 구성도

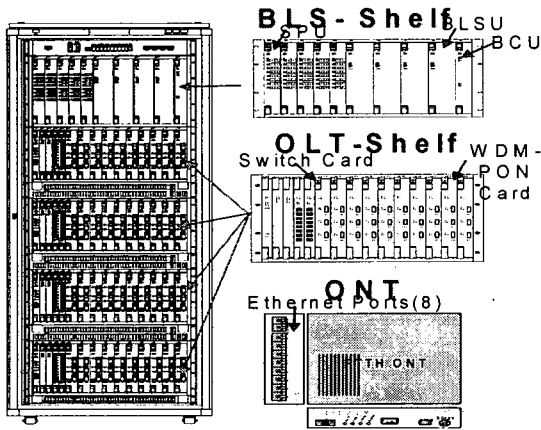


그림 2. KT WDM-PON 시스템 구성도

BLS(Broadband Light Source)는 KT WDM-PON 시스템의 핵심 요소 중의 하나로서 OLT 및 각 가입자 ONT의 광원에 특정 광파장 특성을 가지도록 하는 보조 광원이며, OLT 셀프는 가입자 수용을 위한 WDM-PON 카드와 L2/L3 처리를 위한 스위치부 및 주제어부로 구성된다. 주요 모듈은 이중화, 부하 분담 및 보호절체 기능을 수행하도록 설계되었다.

ONT는 가입자 덕내에 설치되는 박스 형태의 장치로서 PON 인터페이스를 위한 광 모듈과 CPU 모듈 및 스위치 모듈 등으로 구성된다.

4.3 KT WDM-PON 시스템의 광원 기술

이제껏 WDM 기술을 가입자 망에 도입하기 어려웠던 이유는 광소자의 값이 아직은 고가이기 때문이다. KT는 이러한 경제적인 문제를 해결하기 위하여 Injection-Locked FP-LD 광원 기술을 이용하였다. 이 광원 기술의 장점은 FP-LD가 매우 저가라는 것과 WDM-PON의 가장 큰 기술적 문제점인 파장

의존성 및 파장관리가 필요 없다는 것이다. 이러한 특징은 한 종류의 FP-LD를 사용하여 전체 32채널 구성이 가능케 하며, 따라서 시스템 공급, 설치 및 유지보수가 매우 단순해진다. 그림 3은 KT WDM-PON 시스템의 광원으로 사용되는 Injection-Locked FP-LD 구성을 나타낸 개요도이다.

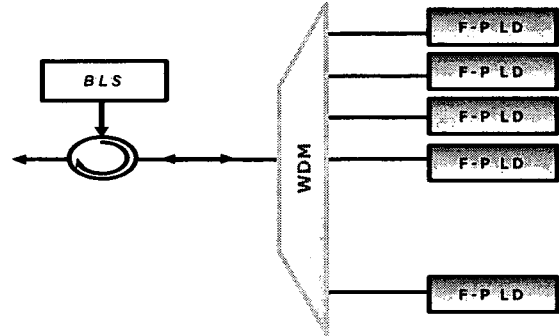


그림 3. Injection-Locked FP LD 구성

Injection-Locked FP-LD 기술은 CO에서 보낸 BLS 보조 광이 ONT의 FP-LD에 입사되면, FP-LD가 입사된 광파장과 동일한 파장의 광신호를 출력하는 원리를 이용한다.

BLS의 비간섭성 광원으로 이용된 EDFA (Er-doped Fiber Amplifier)의 광대역 자연방출광 (ASE: Amplified Spontaneous Emission)은 100GHz 간격의 AWG에 의해 스펙트럼 분할되어 FP-LD에 입사된다. 입사된 ASE는 해당 파장대역에서 FP-LD가 안정되게 동작하도록 하는 효과가 있다. 따라서 일반적인 FP-LD의 다중모드 중에서 AWG의 해당 포트 파장에 의해서 선택된 파장에 해당하는 모드만 발진하는 광원을 얻을 수 있다.[4]

4.4 KT WDM-PON 시스템 주요 사양

KT WDM-PON은 PON당 32가입자를 수용할 수 있는 구조이며, 하나의 OLT 셀프는 10개의 WDM-PON 카드 실장이 가능하다. 또한 하나의 랙은 OLT 셀프 4개 까지 실장가능 하므로 랙당 최대 1280 가입자를 수용 할 수 있다. 표3에 주요사양을 정리하였다.

표 3. KT WDM-PON 주요 사양

구분		사양
OLT	N/W 인터페이스	- GbE(IEEE802.3z)
	가입자 수용용량	- 32가입자/PON - 320가입자/Shelf
	분기율	1: 32
	전송속도	100Mbps(FE) 양방향
	전송거리	20km
ONT	User 인터페이스	100Base-T
	PON 인터페이스	1port(SMF, G.652)

4.5 KT WDM-PON 시스템 주요 기능

KT WDM-PON 시스템은 고품질 영상서비스를 원활히 제공 할 수 있도록 QoS 및 안정적인 대역보장

과 효율적인 망관리 기능에 중점을 두었으며, 각 계층별로 요약하면 다음과 같다.

Layer 1 물리계층은 WDM을 채택하여 가입자별 독립된 파당 할당을 통해 논리적으로 PTP를 구성함으로써 DBA를 비롯한 TDMA-PON의 복잡한 알고리즘을 회피하고 가입자당 양방향 100Mbps의 대역폭을 제공할 수 있도록 하였다.

Layer 2 기능은 차별화된 서비스 제공 및 망운용의 효율성 제고를 위해 트래픽 분리기능, 우선순위 처리기능, 멀티캐스팅 지원기능 등을 구현하였으며, Layer 3 기능은 라우팅, DHCP 기능 등 망운용 기능과 트래픽 관리, 혼잡제어, 멀티캐스팅 등 QoS 보장을 위한 다양한 기능을 구현하였다.

운용유지보수를 위한 망운용관리, 장애관리 및 가입자관리 기능 등은 KT NeOSS에서 직접처리 가능한 구조로 개발 하였다.

4.6 KT의 향후 추진 방향

현재 KT는 시제품 개발을 완료하여 장비 제조업체에 기술이전을 추진 중이며, 조만간 기술이전 계약을 완료 할 계획이다. 또한, 내부적으로 개발확인 시험을 진행 중이며, 시험 중 발생한 문제점을 보완과 동시에 KT 사내 표준화를 추진하고 아울러 금년 11월부터 광주광역시(잠정)에서 100 가입자를 대상으로 IP-TV, VoD, EoD 및 초고속인터넷 접속 등 영상 및 데이터 중심의 시험서비스를 제공할 계획이다. 시험서비스가 성공적으로 이루어지면 내년 상반기 중에 시범서비스와 하반기에는 부분적으로 본 사업 적용이 가능 할 것으로 예상되며, 본격 상용화에 대비하여 속도 증속 및 가입자 수용 능력 확장, 보안 기능 강화, 시스템 최적화 등을 포함하는 up-grade를 추진 할 예정이다.

5. FTTH 구축 활성화를 위한 해결 과제

국내에서 FTTH 구축이 활성화 되지 못하는 이유 중 몇 가지를 기술적 측면과 제도적 측면에서 살펴보면 다음과 같다.

5.1 기술적 측면

첫째, FTTH 추진을 위해서 해결해야 할 가장 어려운 문제는 FTTH 망 구축비용이다. 통상 FTTH 망 구축시 시스템 비용과 구축비용을 4:6 내지 3:7 정도로 본다. 사실 우리나라뿐만 아니라 해외에서도 FTTH 도입을 망설이는 이유 중 하나가 기존의 인프라를 거의 활용 할 수 없다는 것이다. 기존 동선 중심의 인프라를 대체하여 각 가입자 때까지 광케이블을 포설하고, 대내 배선 환경을 광케이블 또는 UTP 케이블로 리모델링 하는 비용은 엄청나다. 특히, 기축아파트의 경우 통신용판교가 아예 없는 곳도 있어 적합한 공법을 개발하고 표준화하여 초기 투자비를 대폭 줄이지 않고서는 FTTH 활성화는 요원하다고 봐야 한다.

둘째, 전반적으로 장비 가격이 고가라는 것이다. ITU-T 산하 표준화 단체인 FSAN에서는 소속 회원사들이 B-PON 시스템에 대한 공통 기술규격을 작성하는 한편, 상호연동성을 확보하여 장비 저가화 및

투자 활성화를 위한 노력을 하고 있다. E-PON 시스템 벤더 및 칩벤더들 또한 가격 저가화를 위한 기술 개발 노력을 경쟁적으로 기울이고 있어, 시장에 대한 기대가 충족되면 시스템 가격은 대폭 내려갈 것으로 예상 된다.

한편, KT에서는 저가형 WDM-PON시스템의 가능성에 기대를 걸고 개발을 추진하여 왔으며, 광소자 저가화를 위해 지속적으로 노력하고 있다.

5.2 제도적 측면

첫째, 방송과 통신의 융합이라는 시대적 흐름에 부응하고 통신사업자들의 투자 활성화를 위해 방송통신 관련 규제 완화 및 규제기구 단일화가 필요하다.

서론에서 언급 했듯이 통신사업자들은 새로운 돌파구를 찾기 위해 부단히 노력하고 있으며 규제완화는 이들에게 있어서 신규 투자의 기폭제 역할을 할 것으로 전망된다.

둘째, 기존 전화서비스(POTS)에 대한 기준을 완화/정비하고 전기통신역무를 조정하여 보편적 서비스로서의 VoIP를 활성화해야 한다.

이동전화는 전 국민의 75%이상 보급되었고, 일반전화(POTS)를 해지하는 가입자가 늘어나고 있는 현실을 반영하여 비상전화(life-line)로써의 유선전화 기능을 고수하기 보다는 사용자의 선택사항으로 사업용 전기통신설비에 대한 해석을 완화하여 VoIP 서비스를 활성화하여야 한다. 또한 초고속인터넷, 방송 및 전화 등의 결합상품에 대한 규제를 완화하여 조기에 ALL-IP기반의 통신망으로 이행 될 수 있도록 함으로써 통신사업자가 합리적으로 투자가 가능하도록 유도하여야 한다.

셋째, 건축법, 전기통신 사업법 등 관련 법령의 개정을 통하여 FTTH 인프라를 장기적으로 마련해야 한다.

앞서 언급했듯이 기존 주택을 FTTH 에 적합하도록 리모델링 하는 것은 통신사업자가 감당하기 어려운 정도의 엄청난 비용이 소요 된다. 따라서, 신규 주택 건설시 통신용 관로설치와 광케이블을 설치하도록 의무화하거나 일정부분 만큼 건설주에게 부담토록 하여 FTTH 추진의 가장 취약한 부분을 장기적으로 해결해 나아가야 한다.

6. 결론

일본의 국가 정책적 차원의 FTTH 추진과 중국의 공격적 IT 분야 투자 등으로 초고속인터넷 서비스로 쌓은 정보통신 1등 국가의 위상이 위협을 받고 있다. 중국의 경우 지난해 말 중국의 유무선 통신회사들과 세계의 유수한 제조업체, 대학교, 연구소 등이 참여하는 FTTH China Forum을 발족하여 중국의 FTTH 추진을 위해 머리를 맞대고 있다.[5]

단지 위상이 무너진다고 해서 당장 무슨 큰일이 나는 것은 아니다. 그러나, 우리나라가 초고속인터넷 서비스를 선도하면서 가질 수 있었던 기회와 경제적 가치를 고려 해보면 하나의 산업을 선도한다는 것이 얼마나 중요한가를 알 수 있을 것이다.

일본, 중국 및 미국에 비해 우리나라가 다소 늦은 감은 있지만 이제라도 국가적 차원에서 의지를 갖고 FTTH를 추진하여야 한다.

FTTH 사업의 경우 기술적인 문제뿐만 아니라 법적/제도적 문제 해결 등 통신사업자가 단독으로 해결 할 수 없는 어려운 문제들이 많다. 이러한 문제들을 극복하고 FTTH 활성화를 통한 IT 분야에 성장 모멘텀을 부여하기 위해서는 제반 법령/제도의 정비를 비롯하여 사업자에 대한 세제상의 혜택, 예산 보조 등 정부의 강력한 지원을 바탕으로 산학연이 긴밀하게 협력하여 광부품 기술 개발, 시스템 저가화, 표준 공법 개발 등 기술 개발과 서비스 개발을 위해 노력을 경주 하여야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] 조한대, "FTTH 구내망 구축공법 기술", 한국정보통신기능대학 "FTTH 설치기술 교육과정 설명회" 발표자료, 2004.6.30
- [2] 일본 高度情報通信 네트워크 社會推進戰略本部, e-Japan 戰略 II/e-Japan 重點計劃
- [3] <http://www.lightreading.com/>, "BT Moves Ahead with Mega Project", 2004.6.9
- [4] 서한교, 정기태, 송길호, "WDM-PON 기술동향 분석" KT 사내전문지 "정보통신연구", 제17권3호, 58p~69, 2003.9
- [5] <http://www.lightreading.com/>, "China Launches FTTH Forum", 2003.12.31