

FTTH OSP 발전 전망

Prospect of FTTH OSP development

고 석 봉*, 김 보 경*, 이 원 형*, 오 호 석*, 최 영 복*, 한 진 우*

Seok-Bong Koh, Bo-Gyum Kim, Won-Hyung Lee, Ho-Seok Oh, Young-Bok Choi
and Jin-Woo Han

Abstract

현재까지의 국가 정보화 정책은 초고속 국가망, 전자정부 시스템, 유비쿼터스 기술개발 및 산업현장 적용 등 정보화 기반 구축 및 서비스 촉진 중심으로 추진되어 왔다. 유·무선 통합, 전화·인터넷·게임·음악 등 단말의 융·복합, 통신과 방송의 경계 붕괴 등 새로운 기술 환경으로 빠르게 변화 하고 있으며, 전자정부, 인프라산업 등 국가 정보화와 관련된 정책간 시너지를 극대화 하기위한 정책 방향이 필요하다. 이러한 기술 발전과 초고속 멀티미디어 서비스 제공을 가능하게 기반을 제공한 것이 2000년 이후 급속적인 광케이블망 보급 확대와 2006년 하반기부터 FTTH에 대한 투자를 활발히 진행되어 왔기 때문이다. FTTH를 기반으로 하는 다양하고 고품질의 서비스 개발 확대와 지속적인 인프라 투자 증가에 따라 향후 모든 가입자 대내까지 효율적인 FTTH 구축을 추진하기 위해 그동안 발생되어진 문제점들과 이를 해결하기 위한 대안을 제시 하고자 한다. 특히 FTTH 구축에 따른 국내 시스템 상면배치 문제를 비롯하여 현재까지 RN(스플리터)의 지하 맨홀 내 광접속함 설치에서 전주 광단자함으로 배치이동에 대한 장점 등 가입자 수요 요구에 탄력적으로 대처하기 위한 경제적이고 효율적인 구축방법에 대해 분석하였다. 또한, 광단자함의 2차RN 스플리터를 설치하여 가입자를 개통하는 방법에 대한 문제점과 가입자 개통시 적용하는 현장조립커넥터에 대한 사용상의 불편함, 손실증가 문제, 가입자 개통구간 고장발생시의 대처방안 문제점 등에 대해 살펴보았으며, 다양한 가입자 주거 환경에 따른 대내 망구성에 대해서도 현재 까지 발생된 문제점과 이를 해결하기 위한 방법을 제시 하고자 한다.

Keywords : fth, osp, RN(spritter)

I. 서 론

국가 정보화 추진 정책은 u-인프라 구축을 그 기초로 하고 있으며, RFID/USN 확산 산업이 가장 활발히 추진되고 있다. 협의의 개념으로 U-City는 첨단 정보통신 인프라와 유비쿼터스 정보서비스를 도시 공간에 융합한 21세기 한국형 신도시를 의미 한다. 유비쿼터스가 실현할 미래는 언제 어디서나 가능한 자유로운 통화, 인터넷 접속, 방송수신, 지능형 로봇이용, 편리하고 안전한 자동차, 건강체크, 물류, 상거래 등의 서비스가 사용자 편의 위주로 제공되는 환경이다. 그러나 이들 서비스 뒤에는 보이지 않는 정보통신망의 발전이 뒷받침 되어야만 가능한 일이다. 이러한 서비스를 제공하기 위해서는 반드시 초고속 정보통신 인프라를 기반으로 하는 광케이블망 구축이 필수적이다. 초창기의 국가 중요시설과 고속 대용량을 필요로 하는 국간 중계망을 비롯하여 대형빌딩으로 확산 되었지만, 최근에 이르러 일반 가정을 대상으로 하는 FTTH의 보급과 일부 공동주택 단지 및 신도시 건설에 광대역 네트워크를 구축하여 융·복합된 지능형 서비스를 받을 수 있는 U-City 건설이 지자체의 핵심 추진공약 사항이 되고 있다. FTTH의 확산은 초기의 막대한 투자비용으로 인해 통신사업자 측에서

부담이 되었지만 정보통신 시스템의 발전으로 하나의 광고야를 이용 다수의 가입자가 동시에 사용할 수 있게 되면서 급속히 확산되게 되었다. 본 논문 에서는 그동안 일반 가정으로 확산되고 있는 FTTH의 확산에 따른 시설구축, 가입자 개통, 분야에서 발생되고 있는 문제점과 해결방안을 찾아보고, 통신사업자 측면에서 관심사항인 투자비 절감을 비롯 효율적인 가입자 유지보수 방법에 대해 알아보하고자 한다.

II. FTTH 시설 구축

FTTH의 시스템은 구축비용을 고려하여 E-PON 방식의 시스템을 주로 적용하고 있고, OLT당 32가입자를 MUX/DMUX 기능을 하는 스플리터를 이용하여 1단, 2단 분기방식 및 가입자 여건에 따라 3단 분기 까지 다양한 방법으로 구축을 하고 있다. 일반적으로 FTTH 구축 단계는 가입자를 개통할 수 있도록 포트를 설치하는 단계까지를 말하며, 1차 RN은 맨홀내의 광접속함체 내에 스플리터(주로 1:4)를 설치하고, 2차 RN(1:4, 1:8)은 전주 또는 건물 옥상의 광단자함이나 건물 내의 중간단자함 내에 설치하여 운용하는 것이 일반적인 방법이다.

1. 국사 내부

FTTH의 시스템을 설치하기 위해서는 국사내 전송실에 설치해야 하는데 전송실에는 FTTH 장비뿐만 아니라 국간 전송장비를 비롯해 회선을 절체하는데 필요한 전용회선 장

접수일자 : 2009년 8월 07일
 최종완료 : 2009년 8월 15일
 *KT 네트워크연구소
 (sbko@kt.com, top@kt.com, cronus@kt.com,
 cyber@kt.com, ohs@kt.com, jinuhan001@kt.com)

비 등을 비롯하여 많은 종류의 장비들이 설치되어 있고 이러한 장비들은 광점퍼코드(OJC Optical Jumper Code)로서 연결되어 국사 외부로 연결시 FDF를 통해서만이 가능하다. 최근의 FTTH 확산과 더불어 OLT장비 설치 증가와 광케이블을 요구하는 전용회선 수요가 증가하여 광점퍼코드의 설치가 증가하고 있으며, 가입자의 변동으로 인한 신속한 철거가 어려워 사용하지 않는 유휴 점퍼코드가 증가하고 있으며 운용 유지에 어려움이 발생되고 있다.

OLT 장비와 FDF가 서로 떨어져 있던 것도 OLT장비 근처로 FDF를 새로 설치하는 방법이 사용되고 있지만, 광점퍼코드의 폭주로 인한 전송실의 근본적인 문제는 해결되지 않는다.

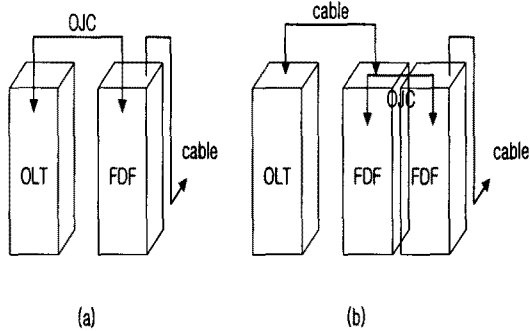


그림 1. FDF 방식(Inter-connection/Cross-connection)

이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 그림1 (a)와 같이 Inter-connection방식 대신 그림2 (b)와 같이 FDF옆에 별도의 FDF를 설치하고 OLT와의 사이에 광케이블을 이용 성단 시킨 후 새로 설치한 FDF와 옥외 광케이블을 성단한 기존의 FDF 사이에는 광점퍼코드를 이용 망 구성을 하면 신규 개통 및 철거가 용이 할 수 있는 Cross-connection 방식을 적용하면 전송실 내에서의 광점퍼코드에 대한 운용상의 문제점을 해결할 수가 있다.

2. 국사 외부

1차 RN은 가입자 셀반경 중심으로 맨홀 광접속함체 내에 설치하게 되는데 가입자의 주거 및 밀집 형태에 따라 2차 RN은 다양한 방법으로 설치될 수가 있다.

우선 그림2의 (a)에서와 같이 1차 RN(1:4 스플리터)을 맨홀내 광접속함체에 설치한 후 2차 RN(1:8 스플리터)은 방향이 서로 다른 지역으로 입상시켜 성단하는 방법으로써 가입자의 수요 요구에 대응할 수 있는 방법 이다. 다만 가입자가 밀집되어 있는 경우에 유리하고, 가입자 수요가 적고 분산되어있는 경우에는 유휴 시설이 발생 될 수 있어 통신사업자의 수익을 고려해야 하는 입장에서는 부담이 될 수가 있다. 또한 가입자가 입상전주 근처에서 멀리 떨어져 있는 경우에도 인입 케이블 길이가 길어져 작업 공정이 어려워 질수가 있다.

그림2의 (b)와 같은 방법은 광접속함체의 1차 RN에서 동일 방향으로 2개의 1:8 스플리터 채널을 입상시킨 후 전주의 가설구간을 이용하여 가입자 수요가 발생 될 수 있는 밀집지역에 2차 RN을 각각 성단 시키는 방법이다. 이와 같은 방법은 동일 입상 구간으로 포설하기 때문에 투자비를 줄일 수가 있고 가입자의 밀집 구조에 맞게 망을 구성

할 수가 있다. 그림2의 (c)와 같은 방법은 1차 RN 근처에 가입자의 수요가 적은 경우에 적용하는 방법으로써 1차 RN에서 성단시킨 나머지 채널을 다른 구역으로 맨홀내 관로를 이용 포설하여 가입자 수요가 발생하는 지역으로 셀반경을 확대하는 방법이다.

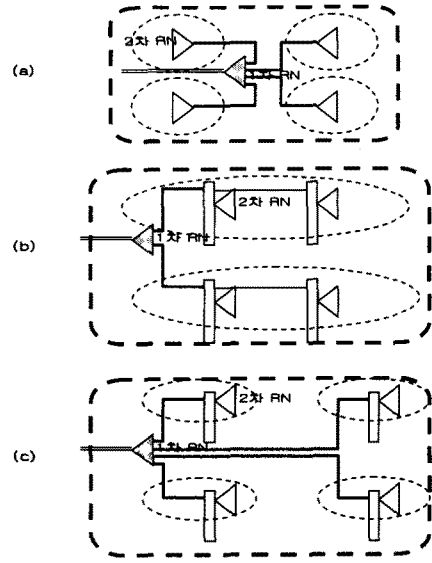


그림 2. 1차, 2차 RN 망 구조

가입자 수용율을 높여 효율적으로 망을 이용할 수는 있지만 관로를 통한 인입광케이블 보호문제와 향후 방관리 및 유지보수 차원에서는 어려움을 겪을 수 있다. 향후 가입자 수요증가로 인해 증설할 필요가 있을 경우에는 2차 RN이 입상되어진 구역을 새로운 셀구역으로 신설 하는데 유리한 측면이 있다.

통신 시장이 한정되어 있고 경쟁이 치열한 국내 통신환경에서는 안정적인 망 설계 및 공급에는 경제적인 부담이 가장 큰 제약 요인 이라고 할 수 있다. 최소한의 투자로 최대한의 수익을 얻기위해 망을 세분화 하고 2차 RN에서 다시 스플리터를 설치하는 3단 분기 방식의 경우도 당장은 가입자를 신속히 개통하는데 유리할 수 있으나 향후 유지보수 및 관리 담당자의 변경시 망을 효율적으로 관리 하는데 많은 문제점을 발생 시킬 수가 있다.

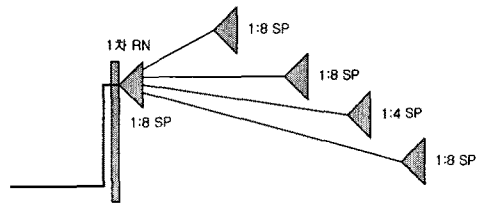


그림 3. 1차 RN의 가공 설치

이런 문제에 대한 해결방안으로 현지 여건에 따라 다양한 방안이 있지만, 그림4과 같이 1차 RN을 지하 맨홀속 광접속함체에 설치하지 않고 입상전주에 설치하는 방안도 고려해 볼수가 있다. 1차 RN에 1:8 스플리터를 설치하고 2차 RN은 1:8과 1:4의 스플리터를 가공 전주를 통해 가설하면서 가입자 밀집 지역에 설치하면 되고, 1차 RN에서도 4 채널의 가입자를 수용 할 수가 있으며, 이와 같은 방법은

가입자가 일정구역 셀반경내에 밀집되어있는 경우에 효과적으로 적용 가능하다.

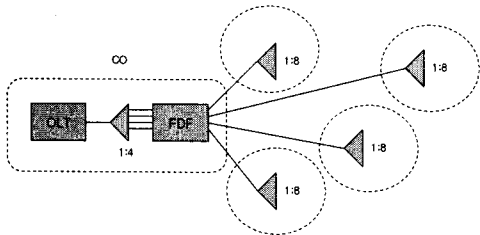


그림 4. 1차 RN을 국사내에 설치하는 망 구조

통신사업자 입장에서 가입자의 분포 구조에 효율적으로 대처하고 유동적인 망 운용을 하기위해 그림4와 같이 일본에서는 가입자의 셀반경을 1:8 스플리터를 기준으로 설정하여 적용하고 있다. 1차 RN을 맨홀내 광집속함체에 설치하여 운용하지 않고 국사내에 1:4 스플리터를 설치하고 가입자 구역에 1:8스플리터를 설치하여 보다 유연하게 작은 셀반경으로 나누어 망을 운용하고 있다. 이와 같은 방법은 가입자 밀집지역이 작은 소규모로 넓은 지역에 분포되어 있는 경우에 유리 하지만 필드의 광케이블이 추가 소요되는 단점이 있으나 일본의 광케이블망 구조에 유리한 점이 있다.

FTTH 구축은 국사내의 OLT에서 광케이블로 가입자 지역까지 포설되어진 다음 전주나 다세대주택 건물내의 중간단자함내에 광담자함을 설치하여 성단을 하게 되는데 2차 RN의 설치는 스플리터 출력 포트에 커넥터로 구성되고 어댑터로 연결되어 성단이 완료 된다. 현재 까지 FTTH 구축은 과도기적으로 서비스 수요를 반영하여 일부지역에 대한 수익창출을 기본 목표로 추진되어 왔으며, 향후에는 모든 일반 가입자를 대상으로 언제 어디서나 고품질의 FTTH 서비스를 사용할 수 있는 형태로 FTTH가 구축이 이루어 져야 한다. 가입자의 중국기 수요를 반영한 망 설계 및 증설이 용이 하도록 구성하고 접속방법 또한 커넥터를 이용한 어댑터 접속에서 탈피하여 광케이블도 일반 동케이블의 접속처럼 쉽고 간단하게 작업이 가능하게 개발되어져야 하고, 현재 이와 같은 문제를 해결하기 위해 꾸준한 연구가 진행되고 있다.

III. 가입자 개통

FTTH 구축이 완료된 후 2차 RN 스플리터 출력포트에서 가입자 댁내까지 인입광케이블을 설치하고 ONT에 광포트를 연결하는 과정이며, 인입광케이블 양측에 현장에서 조립이 가능한 커넥터를 접속하여 사용하고 있다. 가입자 개통시 사용하는 인입광케이블은 사용상의 편리와 작업 공정을 고려하여 스트렌스 선이 없고 내부의 아라미드안이 강화된 3mm케이블을 사용하였으나, 열악한 옥외 환경을 고려하여 8자형의 스트렌스선이 내장되어 있는 형태를 병행 사용하고 있다.

FTTH 망에서 고장발생의 많은 부분이 가입자 댁내에서 사용자의 취급 부주의로 인해 발생하는 고장을 제외하면 개통구간인 2차 RN에서 ONT까지 구간에서 대부분이 발생되고 있다. 한번 접속하여 개통하고 나면 고장이 발생되었을 경우 고장 발생 원인이 가입자측의 커넥터부분인지

광담자함측 커넥터인지 중간의 인입광케이블 부분인지 구분할 수 없기 때문 이다. 고장 수리를 위해서는 가입자 댁내의 현장조립커넥터를 절단후 재접속 또는, 광담자함측의 커넥터를 절단 재접속하여 확인해야 하는데, 이 또한 고장 부분이 불확실한 상태에서 취해야 하는 부담감을 가지고 있기 때문에 고장이 발생되면 새로 케이블을 가설하고 커넥터를 접속해서 수리하는 방법을 일반적으로 적용하고 있다. 가입자 개통구간에서 고장이 발생되면 원인을 찾기 위해 많은 노력과 비용이 발생되기 때문에 사전에 품질관리를 철저히 하는것이 OPEX 비용을 절감할 수 있는 유일한 방법이다.

인입광케이블 양단에 접속하는 현장조립커넥터와의 접속부분에서 많은 고장이 발생 되는데 가입자 개통시 정확한 품질 측정이 이루어 지지 않은 상태에서 개통을 하기 때문이다. 이를 해결할 수 있는 방법이 그림5와 같이 반사손실 측정기를 이용하는 방법인데, 반사손실 측정기에서 입사된 광펄스를 케이블 종단의 반사필터를 통해 반사되어진 광량을 측정하여 접속 손실을 측정하는 원리를 이용하는 방법이다.

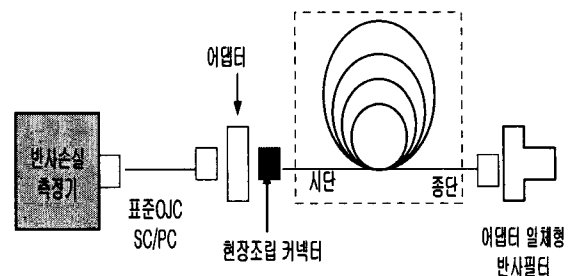


그림 5. 반사손실 측정기를 이용한 측정방법

인입광케이블의 종단에 반사필터를 연결한 후 시단측에 현장조립커넥터를 접속시 반사손실 측정기를 연결한 상태에서 접속하면 현장조립커넥터의 품질을 확인 하면서 접속할 수 있으므로 불량 접속으로 인한 오류를 방지 할 수가 있다. 가입자 측에서는 OLT에서 출력되는 광파워를 반사손실 측정기의 파워미터 기능을 이용 측정 하면서 현장조립커넥터를 접속 할 수가 있으므로 가입자 개통구간에서의 품질을 관리 할 수가 있다.

1. 일반 주택

최근에 건축된 구내 통신 환경이 완비된 일부 주택을 제외 하고는 대부분이 창문을 통해 집입해야 하는 구조로 되어있다.

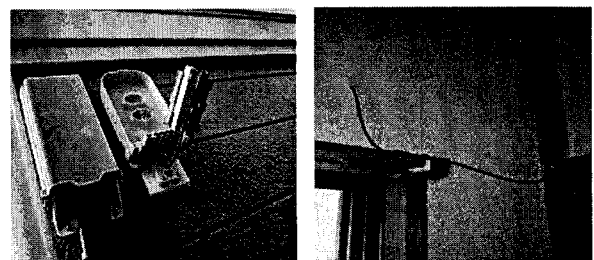


그림 6. 일본의 댁내 인입방법

독립된 주거 형태와 거주 연령층의 특성상 FTTH구축이 활발히 진행되지는 않고 있으나, 그림6과 같이 일본에서 적용하고 있는 방법처럼 건물 벽체를 천공하여 벽내로 인입하고 부속 자재를 사용하여 고장이 발생되지 않도록 하는 방식은 향후 All IP화가 진행되고 VoIP 서비스가 일반화 되지 않고서는 아직까지 국내에서는 투자비 증가로 인해 적용하기 어려운 점이 있다. 현재 적용 할 수 있는 방법은 창문틀이나 출입문 가장자리를 이용 벽내로 인입하는 방법을 사용 할 수 있지만 벽내에서의 케이블 노출 부분이 많아 불편을 초래 하고 있다.

2. 빌라 및 다세대 주택

FTTH 확산이 가장 활발히 진행되고 있는 주택 형태가 빌라 및 다세대 주택지역 이며, 이는 거주자의 생활 환경과 연령이 FTTH에서 제공되는 멀티미디어 서비스를 주로 이용하는 가입자들의 주거 형태이기 때문이다. 특히 대학가의 학교 주변에 젊은층이 거주하여 주요 고객층이 형성되어 FTTH 구축이 다른 지역에 비해 빠르게 진행되고 있다. 건축된지 오래된 빌라나 다세대 주택의 경우 건물 구내 통신설비가 열악하여 창문틀을 이용 벽내로 진입할 수 밖에 없고, 학생들의 빈번한 이동으로 신규 가설 및 해지 또한 자주 발생되고 있어, 그림7과 같이 서비스 해지로 인한 철거가 신속히 이루어 지지 않아 유휴 광케이블이 증가되어 유지보수 하는데 많은 어려움이 발생되고 있다.



그림 7. 2차 RN 광단자함

가입자 이동으로 발생한 유휴광케이블을 해결할 수 있는 방법의 하나로 일본에서 적용하고 있는 주택 벽면에 아울렛 박스를 설치 성단하여 관리 하면 가입자 이동으로 인한 철거를 할 필요가 없어 작업 공정이 간단하고 유휴 광케이블이 발생하지 않아 효율적으로 운용할 수가 있다.

FTTH라고 해서 반드시 가입자 벽내까지 반드시 광케이블이 설치될 필요는 없다. 건물 구조의 특성에 따라 구내 배관의 여유 공간이 없고 UTP케이블이 포설되어 있는 경우 중간단자함까지 광케이블을 인입 한 후 이더넷 스위치를 설치하여 구내에 포설된 UTP케이블을 이용하면 케이블 노출로 인한 불편함과 고장발생 가능성을 줄일수가 있다. 인입광케이블을 창문틀 등을 이용 벽내로 인입할 경우 집안에서의 케이블 노출로 인해 사용자의 부주의로 고장이 발생할 가능성이 높으며 이사를 할 경우에도 케이블 손상을 야기 시켜 새로 가설해야 하는데 따른 비용 증가와 많은 문제점이 발생되고 있다.

3. 공동주택

일반주택 지역에 비해 공동주택의 경우는 최근에 건축되는 정보통신건물 인증을 획득한 경우를 제외 하고는 FTTH 구축이 활발히 진행되고 있지 않다. 건축되지 오래된 공동주택의 경우 단지내 건물 동지하 까지는 광케이블 인입이 어렵지 않으나, 동지하에서 중간단자함 구간과 가입자 벽내의 인입이 어렵고 초기의 투자비용이 증가되어 통신사업자 입장에서는 벽내까지 광케이블을 인입하기 보다는 보다 저렴한 투자비가 소요되는 엔토피아 방식을 적용 하였다. 속도면에서 차이가 크지 않고 건물 수직계에 기존의 동케이블과 병행하여 포설하고 중간단자함에서 가입자 벽내는 기존의 케이블을 이용하던지 아니면 UTP케이블을 포설하는 방식을 적용 하였다. 통신사업자의 경쟁으로 미리 선점하면 후발 사업자 입장에서는 추가 포설이 어려워 가입자의 입장에서는 선택의 여지가 없었지만 최근에는 동지하에 사업자 별로 장비를 갖추고 공동으로 구내망을 구축하여 사용하는 방법을 적용하고 있는 추세이다.

공동주택의 특성상 UTP 케이블망을 일단 구축하고 나면 벽내까지 광케이블을 인입하는 FTTH 구축은 어려워 현재 구축되어있는 UTP 케이블망을 활용하여 속도를 높일 수 있도록 시스템을 개발 하는것이 효과적이다. 건물 수직계에 여유 공간이 없을 경우는 그림8과 같이 건물 외벽에 초소형 케이블 트레이를 설치하여 벽내로 광케이블을 인입하는 방법을 적용 할 수가 있다.

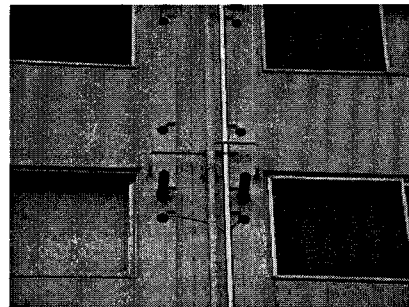


그림 8. 공동주택 건물 케이블트레이

IV. 운용 및 유지보수

지금까지는 FTTH 구축 확산과 서비스 개발에 많은 노력과 투자를 증가하여 왔다. 아무리 고품질의 서비스를 제공한다 해도 서비스 이용도중 고장으로 인해 서비스제공에 문제가 발생된다면 가입자의 불만은 커질 것이다. FTTH OSP 분야에서 반드시 해결해야할 분야가 바로 가입자가 고장을 인지하기 전 Before Service를 실시하여 고품질의 서비스를 중단 없이 제공하는 것이다. 하지만 동케이블과는 달리 하나의 광코어를 32가입자가 공동으로 사용하기 때문에 어디서 어떤 원인으로 고장이 발생되었는지 알기란 쉽지가 않다. OTDR을 이용해 측정을 한다 해도 32가입자의 파형이 하나의 일직선상에 측정되어 나타나게 되므로 그림9 (b)와 같이 1차 RN 구간 이후에는 2차 RN 위치와 가입자 구간이 중복되어 나타날 수 있으며, 스플리터 종단장치를 사용하지 않기 때문에 반사파가 나타나므로 구분 및 고장발생 지점의 확인도 어렵다. ONT까지의 거리도 가

입자 구간마다 다르지만 수미터 이내의 경우에는 측정 파형이 서로 중첩되어 그림9 (a)와 같이 나타나게 되므로 구분 하기가 더욱 어렵게 된다. 또 하나의 가장 큰 문제가 아무리 성능이 좋은 측정기가 있어도 측정 포인트가 없는 현실에서는 측정 자체가 불가능하다.

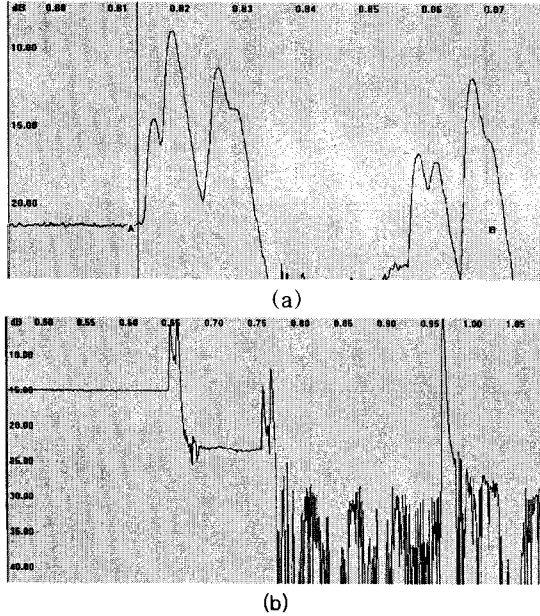


그림 9. 공동주택 건물 케이블트레이

FDF의 구조상 별도의 측정 포인트를 구비하기도 어렵고, 고가의 광스위치를 사용한다 해도 FDF에 수용된 수천코어 용량의 광케이블을 수용하기에는 어렵다. 일본에서 적용중인 가입자측 ONT에 설치하는 필터를 이용하는 방법 또한 투자비의 증가로 인해 통신 사업자의 입장에서는 부담이 될 수 밖에 없다. 현재의 고장수리 방법은 아무 정보도 없는 상태에서 출동하여 고장원인, 고장지점, 수리방법 등을 현장의 고장수리 요원이 해결해야 하는 상황이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 앞으로의 연구 방향은 서비스의 중단 없이 정기적인 측정을 실시하여 데이터를 분석하고 고장이 발생할 원인을 사전에 찾아내어 고장이 발생되기 전 정확한 고장발생 예상지점, 수리방법 등을 고장수리 요원에게 정보를 제공하여 신속하게 대처할 수 있도록 하는 시스템을 개발하는 것이다.

V. 결 론

본 논문에서는 그동안 추진되어온 FTTH의 구축과 개통 과정에서 발생되고 있는 문제점들을 분석하여 해결방안을 제시하였으며, 향후 모든 가입자에게 광케이블망을 구축하는데 보다 안정적인 품질을 확보할 수 있도록 가입자 구조에 맞는 다양한 FTTH 망을 제시하였다. 또한 2차 RN까지의 관리 포인트를 가입자 건물 벽면에 아울렛을 설치하여 관리시 개통시간 단축 및 소요 자재비용을 절감할 수 있는 방안도 제시 하였다. 유지보수 방법에 있어서도 가입자의 중단 없는 서비스를 제공하는 것을 목표로 가입자가 고장을 인지하기 전 대처 할 수 있는 FTTH망에 대한 광선로 감시시스템의 개발 필요성에 대해서도 설명하였다.

전 국민이 초고속 고품질의 멀티미디어 서비스를 제공받기 위해 가입자 대내까지 광케이블 공급이 필수적으로 이루어져야 하며, 보다 저렴하고 안정적인 망 운용에 대한 연구가 필요하다.

[참고 문헌]

- [1] 한국정보통신설비학회 하계학술대회 논문집 2006.8
- [2] 정창덕 “유비쿼터스와 미래예측” 내하출판사 2009.3
- [3] Osamu Yamauchi NTT Technical Review “Trends in Optical access network technologies toward 30 million optical subscribers by 2010” vol. 4 no. 4 Apr. 2006.
- [4] Tamotsu Yonemoto NTT Technical Review “Optical access network architecture that enables prompt construction to meet growing demand” vol. 5 no. 2 Feb. 2007.