

# FTTH 광선로 시험방법에 관한 고찰

오호석, 이원형, 최영복, 박태동  
KT R&D부문

## Test Methods for the FTTH Optical fiber lines

H. S. Oh, W. H. Lee, Y. B. Choi, T. D. Park  
R&D Group, KT

### Abstract

초고속 광대역서비스 제공을 위한 FTTH-PON 광선로의 특성을 시험하기 위해 선로구축 단계, 개통 단계, 고장처리 단계로 나누어 측정할 수 있는 방법에 대해 고찰해 보았다. 시스템의 허용손실 기준에 따라 구축된 광선로는 대표적으로 광손실, 광반사손실을 측정하여 접속품질을 확인할 수 있는데 OTDR 및 광파워미터를 활용한 구간별 측정방법을 다루었다. 또한 광옥외선의 단말에 현장조립형광 커넥터를 사용하는 경우 접속 후 불량여부를 판단하기 위한 실험결과를 소개하였다.

### 1. 서 론

가입자당 100Mbps 이상의 광대역 전송이 가능한 FTTH는 국사(Central Office)에서 가입자택내까지 광섬유케이블(이하 '광케이블')로 연결하는 것으로 점대점(point-to-point) 방식 또는 점대다중점(point-to-multipoint) 방식으로 광케이블망을 구성한다. 점대점 방식은 많은 시설의 광케이블을 필요로 하여 높은 비용이 소요되어 일반적으로 광선로망의 특정지점에 전원공급이 불필요한 광분배기를 두어 점대다중점 형태의 PON(Passive Optical Network)방식을 사용한다. E-PON, WDM-PON이 주요 방식으로 사용되고 있지만 광케이블을 국사에서부터 가입자까지 구축하는 방식은 서로 유사하다. 시스템의 허용손실에 따라 광선로 시설이 제대로 구축되었는지를 확인해야 하고 서비스 개통 시점에서의 서비스 가능여부 확인, 고장발생시 고장위치 추적 등은 FTTH 운용을 위해 매우 중요하다 [1]. 서비스 운용 중에 상시 또는 주기적인 광선로 감시를 위해 OTDR을 이용한 감시시스템이 있지만 비용이 많이 드는 단점이 있으며, 국내에서도 E-PON 광선로망 감시를 위한 고분해능 OTDR을 개발한 사례[2]도 있지만 국내에서

FTTH-PON 광선로를 대상으로 한 자동감시시스템 구축은 미진한 상태이다.

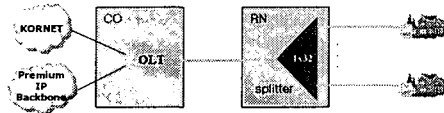
본 논문은 상시 감시단계 이전에 FTTH-PON 광선로망 구축단계에서의 광선로특성 시험, 그리고 개통단계, 운용중 고장발생시 시험을 위한 단계별로 구분하여 고찰해 보고 현장조립형광 커넥터 접속품질 확인을 위한 몇 가지 방안에 대한 실험 및 결과를 분석하였다.

### 2. FTTH-PON 광선로망 시험방법

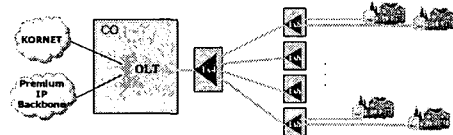
#### 2.1 FTTH-PON 광선로망 구조

FTTH-PON 광선로는 광케이블, 광분배기(optical coupler), 광분기함, 광옥외선(optical drop cable), 광아울렛 등으로 구성되며 이러한 시설물은 지하관로, 맨홀 또는 전주 등에 설치되며 이러한 시설물을 안정적으로 구축해야 고장이 적고 운용비용(OPEX)을 절감할 수 있다[3]. 그림 1은 FTTH-PON의 분기방식으로서 E-PON의 경우 다단분기가 가능하여 가입자를 탄력적으로 수용할 수 있다. 그림 2는 국사에서부터 가입자까지 이르는 선로시설 및 접속이 발생하는 지점을 표시한 것으로 선로구간의 총 손

실은 시스템의 허용손실 기준 이내로 구성되어야 한다.



(a) 1단 분기



(b) 2단 분기

그림 1. FTTH-PON 분기방식

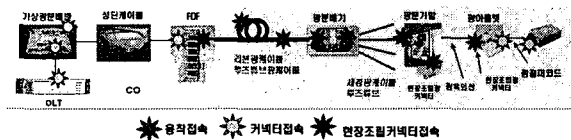


그림 2. FTTH-PON 광선로시설 및 접속점

## 2.2 구축 단계

구축단계의 측정은 구축된 선로시설의 품질을 확인하는 것으로 매우 중요하다. 만일 이 단계에서 제대로 측정이 이루어지지 않으면, 접속불량, 불량커넥터 접속, 광케이블의 구부림에 의한 손실 등이 발생하여 서비스 단계에서 복잡한 문제를 일으킬 수 있다. 이 단계에서의 측정은 국사내 FDF(Fiber Distribution Frame)에서의 커넥터 접속에서부터 광옥외선 단말구간인 광아울렛에 이르는 전 구간을 해당하며, 만일 선로구축 시공자와 개통담당자가 구분되어 있는 경우에는 FDF에서 광분기합까지 측정해야 한다. 시험은 광손실, 반사손실, 반사량(reflectance) 측정으로 구분한다. 광손실은 시스템의 총 허용손실을 확인해야 하는데 예로서 E-PON의 경우 1490nm 기준으로 27dB가 허용선로손실인 경우가 있다. 반사손실은 항상 양의 값으로 표현된다. 불량한 반사손실은 아날로그비디오신호 전송에서는 고스트영상(ghost image), 레이저 출력의 흔들림, 한정된 속도, BER 상승을 유발한다. ITU-T에서는 32dB로 정해져 있다. 반사량의 경우 단일 접속점(커넥터접속 또는 기계식접

속자)으로부터의 빛의 반사손실이며 식(1)과 같이 정의된다. 일반적으로 PC형의 경우 -50~-55dB이며, APC형은 -65~-70dB 정도이다.

$$\text{Reflectance} = \frac{\text{reflected power}}{\text{incident power}} \quad (1)$$

광손실 및 광반사손실은 광분배기를 포함한 광케이블 휘더 구간, 배선구간을 구분하여 측정할 수 있으며, 전체 구간을 측정할 수도 있다. OTDR은 선로의 한쪽 단에서 측정할 수 있는데 국측에서 측정할 경우 광분배기 이후의 배선케이블로부터 반사되는 신호가 서로 중첩되어 전체 구간의 특성을 확인하기 불가능한 경우가 발생할 수 있어, 가입자측 단말에서 구측으로 측정하는 것이 바람직하다. OTDR은 단방향 측정이 가능하고, 전체 구간의 상세 특성 및 접속점, 단선, 구부림 특성 등의 위치 확인이 가능한 장점이 있으나 장비에 대한 숙련 및 해석기술이 필요하다. 측정범위는 광분배기의 손실값 이상을 측정할 수 있도록 동적범위(dynamic range)가 30dB 이상 되어야 한다.

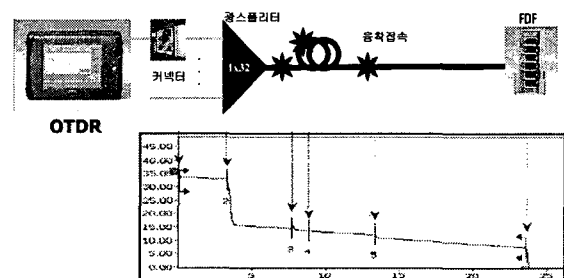


그림 3. FTTH-PON 광선로 OTDR Trace

OTDR을 사용하지 않고 광파워미터(또는 반사손실 측정기)를 활용하는 경우에는 그림 4와 같은 위치에서 측정하여 허용범위를 확인한다.

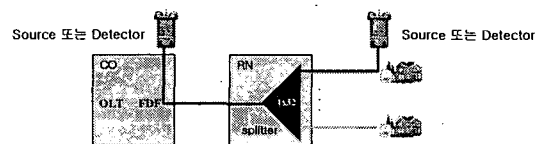


그림 4. 광파워미터 및 광소스를 활용한 광손실 측정

## 2.3 개통 단계

개통은 가입자가 서비스를 제공받을 수 있도록 최종적으로 ONT를 설치하는 단계이다. 이를 위해 광분기합과 ONT 사이에 광옥외선, 광아울렛을 설치하고 ONT를 접속한다. 이때에는 OLT가 연결되어 있는 상태이므로 하향의 경우 1490nm의 신호가 측정된다. 따라서 그림 5와 같이 광스플리터 출력단, 광분기합, 광옥외선 단말 또는 ONT 위치에서 측정하여 각 구간별 손실값이 적정한지를 확인할 수 있다. 그러나 개통담당자는 광분기합 이후 구간이 본인의 책임하에 있다. 개통단계에서는 수신파위를 측정하므로 서비스 가능 여부를 판단할 수가 있다. 보통 광파워미터는 1310nm 또는 1550nm를 측정하는 경우가 대부분이고 최근 E-PON이 상용화됨에 따라 추가로 1490nm의 파장을 측정하는 계측기가 출시되고 있다. 따라서 1490nm의 파장을 측정할 수 없는 경우에는 1550nm를 활용할 수가 있다. 측정기에 따라서는 “pass-through” 기능을 제공하고 있어 상향신호도 동시에 측정할 수가 있다.

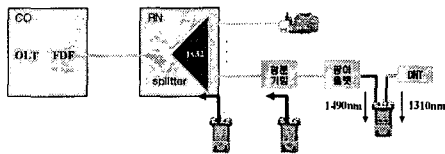
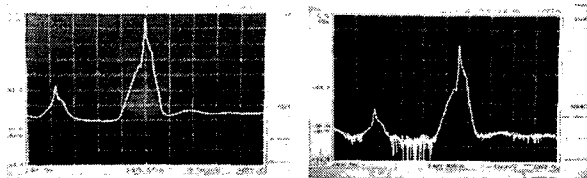


그림 5. 광파워미터를 활용한 수신파위 측정

그림 6은 E-PON OLT로부터 출력되는 하향 신호를 OSA(Optical Spectrum Analyzer)를 이용하여 OLT 출력신호와 광스플리터 통과 후를 측정한 것이다. OLT로부터 1490nm의 신호가 약 +2dBm으로 출력되고 있는 것을 볼 수 있다. 광파워미터로는 +3.75dBm(@1550nm)가 측정되었으며, 광스플리터 통과 후 OSA로는 1490nm에서 -15dBm이 측정되었고, 광파워미터로는 약 -11dBm(@1550nm)이 측정되었다.



(a) OLT 출력신호 (b) 광스플리터 통과 후  
그림 6. OLT 출력신호의 스펙트럼

## 2.4 고장처리 단계

서비스중에 OLT와 ONT 사이에 장애가 발생하는 경우에는 EMS, NMS에서 경고가 발생하게 된다. 고장이 광학적인 문제이고 광신호가 허용 범위내에 있다면 광파워미터로 측정이 가능하다. 이때에는 개통단계에서 측정하는 방식으로 구간별로 측정하여 불량 구간을 찾을 수 있으나 정확한 고장위치는 찾을 수가 없다. 이 경우에는 OTDR을 활용해야만 정확한 고장점을 추적할 수 있다. 이를 위해 FDF에서 광선로를 OLT와 분리하여 광신호가 존재하지 않는 상태에서 측정할 수 있으며 Dark fiber를 사용하게 되면 직접 FDF 또는 광분기합에서 측정이 가능하다. 운용 중인 상태에서의 시험은 서론에서 언급한 것처럼 감시시스템이 필요하며 이 경우 1650nm의 시험용 파장을 이용한다.

## 3. 현장조립형광커넥터 접속품질 확인

광옥외선 양쪽 단말에 사용하는 SC/PC형 현장조립형광커넥터는 조립작업 후 육안으로 접속 품질을 확인할 수 없으며 운용중 광옥외선 구간이 불량으로 판단되고 커넥터 불량이 의심되는 경우 어느 쪽 커넥터가 불량인지 확인하기가 매우 곤란하다. 따라서 커넥터 불량을 확인하기 위한 방법으로 그림 7과 같이 이미 상용화된 제품인 가시광선(fault locator) 및 심선대조기(fiber identifier)의 적용 가능여부를 검토해 보았고, 커넥터가 공기중에 노출되면 반사가 가장 크다는 원리에 착안하여 광커플러를 사용하여 반사 손실 측정을 통해 현장조립형광커넥터의 품질불량 여부를 확인할 수 있는지를 검토하였다. 실험을 위해 15개의 현장조립형광커넥터를 광점퍼코드의 한쪽 단말에 여러 삽입손실 값을 갖도록 조립한 후 각각의 방법별 실험결과를 분석해 보았다.



(a) fault locator (b) Fiber identifier

그림 7. 광심선 확인 장치

### 3.1 가시광선

Fault locator라는 제품으로 많이 사용되고 있

는 것으로, 광심선 한 쪽 단말에 가시광선을 주입하여 다른 쪽 끝에서 빛이 제대로 통과되고 있는지를 확인하는 것이다. 이는 현장조립형광커넥터에 연결된 광심선을 인위적으로 구부려 산란되는 빛을 육안으로 커넥터 접속이 제대로 되었는지를 확인할 수 있다(그림 8).

본 방법은 fault locator로부터 주입되는 빛의 의도적으로 구부린 상태에서 코팅된 재질을 투과해 외부에서 확인할 수 있어야 하기 때문에 광심선 코팅의 색상 및 투명도가 우선 중요한 요소가 되며, 약 10dB 이내인 경우에는 미약한 산란이 육안으로 관측되어 접속품질기준 값(예 : 3dB)을 정확히 판단할 수는 없음을 확인하였다.

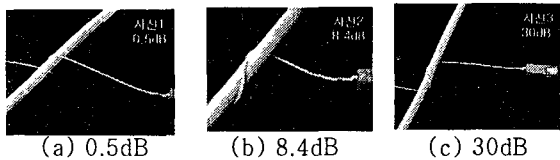


그림 8. 삽입손실에 따른 광산란 현상

### 3.2 심선대조기

이 방법은 광심선에 신호가 존재하는 경우 광심선을 구부린 상태에서 산란되는 빛의 양을 측정하여 외부에서 신호 존재 여부 및 어느 정도의 신호세기를 갖는지를 측정할 수 있다.

-9.9dBm(@1550nm)의 광소스를 활용하였을 때 접속이 양호한 현장조립형광커넥터는 커넥터에 연결된 광심선으로부터 측정되는 값이 -40dBm 내외, 삽입손실이 -20dB 이상의 불량한 현장조립형광커넥터의 경우 LO(-60dBm 이하)값을 보였다. 가시광선을 이용한 방법과 마찬가지로 접속기준 값에 따른 품질 불량여부를 정확히 판단하기는 곤란하며, 측정자가 광심선을 잡는 힘의 정도에 따라 측정값이 따라 달라질 수 있는 단점이 있다.

### 3.3 반사손실

이 방법은 그림 7과 같이 개방된 단말로부터 반사되는 신호를 측정하여 그 값으로부터 불량 여부를 판단하는 것으로 현장조립형광커넥터 접속이 양호한 경우에는 개방된 커넥터 단말에서 공기와의 접촉으로 반사량이 커지며, 접속이 불량한 경우에는 불량접속점에서의 산란으로 상대

적으로 반사량이 작아진다.

실험결과 커넥터의 삽입손실이 약 10dB 이내에서의 반사량과 그 이상의 삽입손실을 갖는 불량 커넥터에서의 반사량이 서로 15~20dB 차이를 보여 불량한 커넥터를 판단할 수 있음을 확인하였다. 그러나 이 장비는 광소스와 반사되는 광파워를 동시에 측정할 수 있는 고가의 계측기를 필요로 한다.

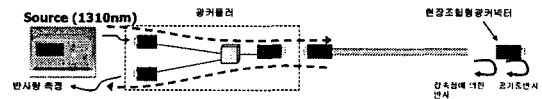


그림 7. 반사량 측정방법

## 4. 결론

FTTH 구축을 위해서는 전송장치의 성능과 광케이블 특성, 접속 및 운용환경 특성 등 모두 함께 고려되어야 한다. 본 논문에서는 광선로망의 품질을 확인하기 위한 방법으로 광손실, 광반사손실 측정방안에 대해 고찰해 보았다.

FTTH-PON 광선로망은 기존에 많이 사용하던 OTDR의 경우 가입자측에서 측정하는 것이 정확한 측정결과를 얻을 수 있으며, 광파워미터를 활용할 경우 구간별로 사전에 타당한 선로손실 값을 예측한 후 서로 비교를 통해 시공품질을 확인할 수 있다. 또한 현장조립형광커넥터의 조립 후 접속품질 확인을 위한 3가지 방안을 실험적으로 비교 분석해 보았는데 각각의 장단점은 있으나 품질기준 값에 따른 정확한 불량여부 판단은 곤란하였다. FTTH 가입자가 증가함에 따라 고장예방 및 신속한 고장처리를 위해서는 시험방법이 좀 더 체계화될 필요가 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] Benoit masson, "Winning PON testing Strategies", 2005 (<http://www.exfo.com>)
- [2] 전정우, 홍상기, 박태동, "고분해능 OTDR을 이용한 E-PON망 광선로 감시기술", 한국정보통신설비학회 하계학술대회, 2005
- [3] 오호석외 6명, "FTTH 서비스 제공을 위한 선로 구축기술", 한국정보통신설비학회 하계학술대회, 2005