

# TPS FTTx 구현망 설계의 리얼리티

## Reality of TPS FTTx System Design

정 문 기  
Moon-Gi Jeong

### Abstract

These instructions give you informations of the TPS(Triple Play Service) implementation in using FTTx technology. This document shows how you can mitigate the inherited problems from the FTTx networking, like SRS and SBS.

**Keywords** : TPS, FTTx, SRS, SBS, Idle code

### 1. PON(Passive Optical Network)

PON(수동 광 통신망)이란 광케이블 망을 통해 최종 사용자에게 신호를 전달하는 시스템이다. PON은 FTTx<sup>2)</sup> 기술을 사용하여 통신회사의 OLT<sup>3)</sup>와 가입자 주변의 다수 ONU<sup>4)</sup>로 구성된다. 현재, 실용적인 FTTx 네트워크를 구축하는데 있어 두 가지의 표준안이 있다. 두 가지 표준 모두 하향 데이터는 1490nm, 상향 데이터는 1310nm, 브로드캐스팅 비디오는 1550nm를 통해 전송한다. 두 가지 모두 전통적인 방송, 광대역 인터넷 서비스, 전화 서비스는 물론 IPTV를 전송하기에도 적합하며, 각기 여러 다른 loss budget<sup>5)</sup> 범위를 나타낸다.

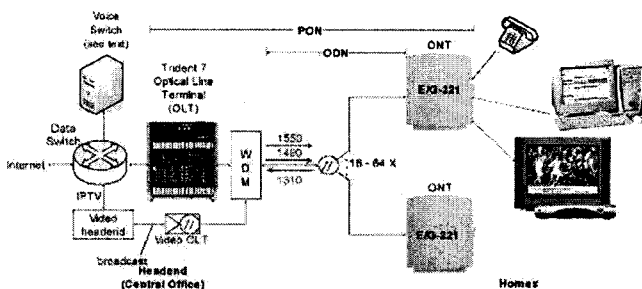


Figure 1. PON System

PON은 OLT로 시작해 ONT로 종단한다. OLT는 PON 프로토콜의 연동처리를 담당하며, 벤더사에 따라 데이터의 통합처리도 가능하다. 또는 V-OLT<sup>6)</sup>라고 부르기도 하는

- 2) FTTx - Fiber To The x(Curb, Building, Home) : x까지 광케이블을 직접 연결하는 시스템.
- 3) Optical Line Terminal : 광 회선 단말
- 4) Optical Network Unit : 광 망 종단장치
- 5) 송신된 광 출력이 수신단에 도달할 때까지 광소자의 삽입 손실, 광섬유에서의 흡수 손실 등의 여러 가지 손실에 의해 잃는 광 출력의 총량. 보통 송수신된 광 출력의 비(dB)로 나타낸다.
- 6) Video Optical Line Terminal : 1550nm대의 방송 영상신호를 전송하는 광 전송기를 말한다. 전송기 뒷단의 광증폭기를 포함하여 이르기까지 한다

광 전송기는 OLT의 비디오 방송 부문을 위해 사용한다. 광 전송기는 OLT와는 별개로 비디오 headend의 한 부분으로 이용되기도 한다. 일반적인 브로드캐스트 비디오 시스템은 광 증폭기를 포함한다. 대부분의 경우 EDFA<sup>7)</sup>가 이 역할을 담당한다.

TPS<sup>8)</sup>가 가능한 ONT는 광전 신호 변환, RF-시그널의 버퍼링과 AGC<sup>9)</sup>, 각각 두 개의 데이터용 10/100Base-T와 음성변환을 위한 기존 아날로그 전화기의 연결이 가능한 POTS<sup>10)</sup>를 보유하고 있다.

OLT와 ONT 사이의 구간은 ODN<sup>11)</sup>이라 한다. ODN에서는 능동적인 전기소자가 배제되고 수동적인 광분기만이 존재하므로, 높은 안전성, 확장성, 낮은 네트워크 관리비용 등의 장점을 얻을 수 있다. 이러한 점이, PON이 차세대 U-city의 설계에 있어서 가입자 전송망 구축을 위한 주요 활용 대상으로 주목받는 이유이기도 하다.

### 2. Stimulated scattering

TPS FTTx를 구현하는 PON system에서 SRS<sup>12)</sup>와 SBS<sup>13)</sup> 현상이 완벽한 품질의 방송 서비스를 제공하는데 있어 치명적인 단점으로 부각될 수 있음에 주목해야 한다. SRS는 하나의 광섬유를 통해 둘 이상의 근접한 파장대를

- 7) Erbium Doped Fiber Amplifiers : 에르븀 첨가 광섬유 증폭기. 1550nm대의 일반적인 광확증폭기
- 8) Triple Play Service : 하나의 장비로 영상, 데이터, 음성을 모두 처리하는 기술
- 9) Automatic Gain Control : 자동 이득 제어. RF방송 수신기가 입력값이 변하더라도 고정적인 출력값을 내는데 사용.
- 10) Plain Old Telephone Service
- 11) Optical Distribution Network : 광 분배망. 중앙국과 건물 구내간의 FTTP 시스템을 말한다
- 12) Stimulated Raman Scattering : 라만 산란. 물질에 일정한 주파수의 빛을 비출 경우, 분자 고유 진동이 나 회전 에너지 또는 결정의 격자진동 에너지만큼 달라진 주파수의 빛이 산란되는 현상
- 13) Stimulated Brillouin Scattering : 브리유앵 산란. 초음파로 인해 광 주파수가 기준에서 조금 벗어나 산란되는 비선형 산란 현상

전송할 경우 주파수의 특성상 상호 간섭을 일으키는 것이며, SBS는 거리 제약을 극복하고자 전송하려는 파장을 과도한 세기로 입사시킬 경우 일정 한도 이상은 역으로 반사되어 노이즈가 되는 현상을 말한다. 문제의 해결을 위해 각 현상의 기술적 특성을 자세히 파악할 필요가 있다.

### 가. EPON(Ethernet PON)의 SRS효과

데이터의 1490nm carrier가 1550nm video carrier 안에서 C/N<sup>14)</sup>문제를 발생 시키는 이유는, Fiber내부의 SRS 현상에 의한 왜곡 때문이다. 본질적으로, 더 낮은 1490nm 파장의 시그널은 그 일부가 비효율적인 광 증폭 과정에서 1550nm 시그널로 전송되기 때문이다. 하지만 1490nm 데이터 시그널은 항상 활성화되지 않고, 데이터 통신이 이루어질 경우에만 사용한다. 비정기적인 간섭은 1550nm 방송 시그널에서 그 품질을 저하시키는 치명적인 노이즈로 이해하여야 한다.

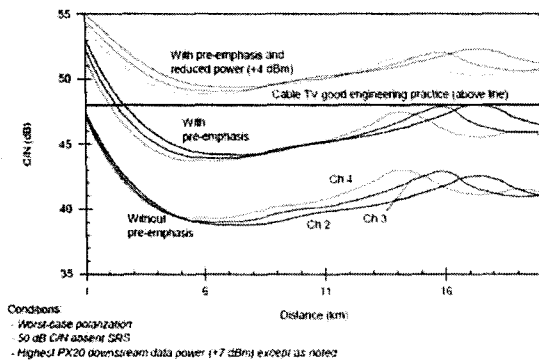


Figure 2. Effects of SRS on Carrier to Noise Ratio (EPON)

Figure 2는 EPON 시스템의 저주파 TV 채널에 대한 C/N ratio의 SRS effect에 대해 보여준다. 낮은 C/N은 TV 화면에 snow effect<sup>15)</sup>를 발생 시킨다.

C/N은 48db 이상으로 유지시키는 것이 좋다. 수치가 높을수록 더 좋으며 Pre-Emphasis<sup>16)</sup> 없이 C/N은 39dB까지 악화될 수 있다. 극단적인 경우 Pre-Emphasis를 적용했을 때, 최하 44dB의 C/N ratio를 보인다. 반면 일반적으로 최대 data carrier(1490nm) 크기의 +7dB를 C/N 수치로 가정한다.

### 나. GPON(Gigabit PON)의 SRS효과

Figure 3은 GPON 시스템의 저주파 TV 채널에 대한 C/N ratio의 SRS effect에 대해 보여준다.

Class B+<sup>17)</sup> 장비 carrier의 강도가 +5dBm으로 증가 할 것이라던 거리계산 결과와 달리 브로드캐스팅과 데이터를 동시에 파장분할 다중통신으로 광전송할 때에는 0.7dB 감소하는 양상을 보였다. 측정은 PON 도달거리 내에서 이루어졌다.

14) Carrier to noise ratio : 반송파 대 잡음비  
 15) 영상 신호가 약해 화면에 흰색 반점이 눈내리는 것처럼 반복하여 나타나는 현상  
 16) 신호 대 잡음비(S/N), 주파수 특성, 일그러짐 특성을 개선하기 위해 전송 주파수의 특정 부분을 송신 측에서 사전에 강화하는 것  
 17) Class B+ : 상대적으로 고비용, 고효율을 보이는 GPON 장비를 지칭

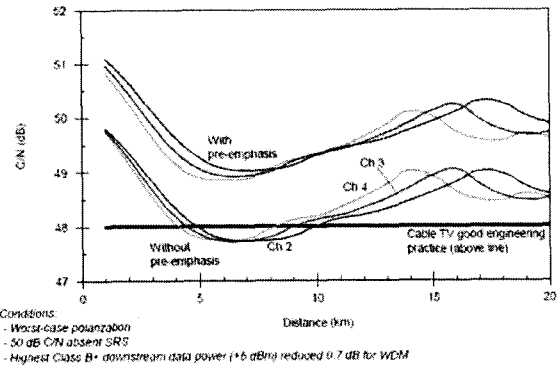


Figure 3. Effects of SRS on Carrier to Noise Ratio (GPON)

어졌다. PON은 C/N에 대한 SRS effect를 계산하기 위해 최초 분배시점에서 동작을 멈추었다. SRS에 의해 야기된 C/N의 감소가 EPON 보다 GPON의 Class B+ 장비에서 적었던 이유는 두 가지이다.

첫째, 문제를 일으킨 1490nm 대 carrier의 광출력이 더 낮았다. 둘째, 통신속도가 더 높아 잡음의 강도가 심했고 더 넓은 주파수에 영향을 미쳤다. 그림에서처럼 +9dBm 정도인 Class B<sup>18)</sup> 장비로 교체할 경우 GPON은 EPON보다 훨씬 나쁜 양상을 보인다. 이것이 OLT로 Class B 장비를 사용하지 않는 이유이다. 또한, 이 실험결과에서 보이듯 GPON이 좋은 품질을 보이려면 최상의 도달거리를 얻기 위해서 ONT에 매우 고가의 광 컴포넌트를 사용해야 하며 망 구축에서는 큰 부담을 증가시키는 부담을 얻게 됨으로, 결국 적당한 해결책을 찾지 못한다면 현실적으로는 경제성이 없는 꿈과도 같은 이상적인 기술 자체에 머무를 수밖에 없을 것이다.

### 다. SBS effect

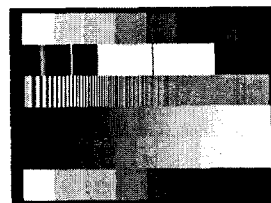


Figure 4. dB under SBS limit

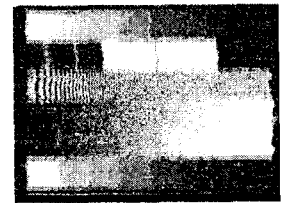


Figure 5. dB over SBS limit

두 그림은 78개의 아날로그 채널을 소유한 방송에서 20km 까지 전송할 수 있는 싱글모드 광 섬유 케이블에 연결한 뒤 채널 2에 맞춘 후의 화면 상태이다. Figure 4.에서의 17dB 이하의 한도 값과 Figure 5.에서의 17dB 이상의 한도 값에서 차이가 있음을 보여준다.

광섬유내로 입사시킬 수 있는 주파수의 세기는 한계치를 지닌다. 이는 장비와 광섬유 자체의 특징에 따라 다른 수치를 지닌다. SBS로 연계 되는 수치는 입사 가능한 세기를 결정짓는다. 과도한 세기로 입사시킬 경우 전송 가능한 한계치 이상의 세기로 인해 다시 출발지로 반사되는 경우가 발생하고 이는 결국 원래 신호에 대해 잡음으로 작용

18) Class B : 상대적으로 저비용, 저효율을 보이는 GPON 장비를 지칭

한다. 따라서 광전송 장비는 한정된 SBS 한계치를 계속적으로 증가시킬 필요가 있다.

다만 이미 사용함에 충분한 한계치까지 수용하도록 장비들의 성능이 개선된 시점에서 여전히 중요하게 생각해야 할 것은 광전송기는 높은 SBS 수용범위를 가져야 한다는 것이다. 또한 PON system에서 일반적으로 사용되는 표준 싱글 모드 광섬유보다 높은 SBS 수용범위를 지니는 특별한 광섬유가 유효하다. 대개 PON system의 도달거리가 짧을수록, SBS의 범위는 커진다. 신호를 장거리까지 전송해야 할 필요가 있을 때 SBS 수치가 주목해야 한다. SBS 수치가 낮아지지 않도록 주의하여 유지하는 것이 가장 중요한 점이다.

### 3. Idle code<sup>19)</sup> mitigation

이제 앞서 기술한 SRS 문제의 구체적인 해결 방안을 좀 더 자세히 고찰해 보기로 한다. SRS로 인한 왜곡은 1490nm 하향 carrier로 데이터가 흐르지 않을 때 최악의 영향을 가져온다. 전송할 데이터가 없을 때 모든 PON 장비들은 유휴상태임을 가리키는 짧은 idle code를 내보낸다. idle code는 수신기가 전송기를 준용하도록 하지만, 다른 여러 상황의 데이터 시스템에서 문제를 야기한다. 특히 영상에서의 효과에 주목해보자. 이 현상은 EPON과 GPON의 모든 장비에서 나타난다.

예를 들어 EPON의 idle code는 특정 패턴의 2바이트 크기이다. 8b/10b<sup>20)</sup>로 인코딩 되면 이 정보는 20비트로 전송된다. 전송할 데이터가 없어도 꾸준히 전송되는 20비트 데이터는 전송된 스펙트럼에서 하나의 돌출된 비정상 수치가 된다. 앞서 기술했듯이 이런 데이터는 1550nm 방송 이런 대에서 SRS에 의한 왜곡을 일으킨 방송 이런 스펙트럼상의 돌출값은 62.5MHz 대와 이의 배수 주파수에서 문제점이 된다. 62.5MHz는 기본적인 TV 채널의 화면을 구성하는 정보와 불과 1.25MHz 밖에 차이가 나지 않아 TV 신호에 영향을 미칠 수 있는 여지가 크다(미국 내 TV 3번 채널에 해당한다).

GPON의 idle code는 특정 패턴이 뒤섞인 5바이트 크기이다. 계속적으로 전송되는 40비트의 idle code는 전송 스펙트럼에 돌출 값을 남긴다. 이 값들은 기본적인 51.2MHz와 그 배수 주파수에도 나타난다. 이 대역대역시 TV 방송에서 사용 중이므로 영향을 받을 소지가 크다.

현재 북미의 대표적인 FTTx 기술의 선진업체인 Enablence라는 회사에서는 idle code에 대한 대응방법을 개발하여 생산하는 모든 GPON과 EPON 장비에 적용시킴으로써 이상적인 TPS FTTx 망의 구현을 실현하였다. 이 특허기술을 자세히 살펴보면, 동기화를 위한 데이터를 특정 한도 이하의 짧은 임의의 데이터 전송으로 대체하는 것이다. ONT는 어느 정도 이상의 길이를 가지는 전송데이터에 대해서만 데이터로 인식하므로 동기화를 위한 데이터를

짧게 하면 ONT에서는 영향을 받지 않으며 이 방법은 국제 표준을 벗어나지 않으면서 획기적으로 우수한 방송 품질을 보장한다.

아래 그림은 데이터 채널로 아무런 정보도 흐르지 않을 때 62.5MHz 대역의 예시 화면이다. Figure 4.의 화면에 나타나는 대각선 줄무늬에 주목하라. 실제로는 줄무늬는 이동한다. 이 줄무늬들은 idle code로 발생한 라만 산란에 의한 왜곡이 화면에 영향을 미친 것이다. 영상을 보는 누구도 이 움직이는 줄무늬에 짜증내지 않고 목과할 리가 없다. 이 화면을 찍을 당시 1490nm대 carrier의 진폭은 최대치보다 몇 dB 가량 낮았다. 물론 시정에 얼마간의 영향을 미치는 광학적 변수도 있고, 브로드캐스팅 영상에 있어서 시정을 큰 폭으로 높이거나 낮추는 상관관계를 지니는 것도 있다. 영상과 데이터 시스템의 다른 모든 변수들을 고정시켰을 때 최대의 영향을 미치는 것으로 나타난 반면, 다른 변수의 영향을 증가시켜 최소의 영향을 미치는 것으로 간주했을 때에도 화면간섭은 간과할 수 없었다.



Figure 7. No Idle Code Mitigation



Figure 8. Idle Code Mitigation

Figure 7.과 비교해보라. idle code에 의한 영향을 개선한 기술을 적용하였다. 가로줄무늬가 사라졌음에 주목하라. 이는 실제 시스템 상에서 idle code를 사용함에도 불구하고 개선기술을 적용하면 EPON(GPON 포함)장비가 얼마나 높은 화질의 영상을 전송할 수 있는지에 대한 효율을 잘 보여준다.

### 4. 결 론

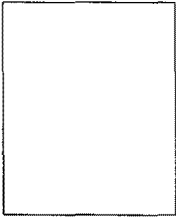
U-city 사업주체가 구상하는 주된 실현 목표는, 다양한 유비쿼터스 서비스의 접목이 가능하며 중앙집중 관리가 유리한 통합 가입자망의 확보일 것이며, 근간이 되는 방송/인터넷/전화 서비스인 TPS가 설계사상대로 완벽히 구현되기 위해서는 지속적인 선진 기술의 고찰과 다각적인 기술적 고려가 필요할 것이다.

### [ 참고 문헌 ]

- [1] James O. "Jim" Farmer, *Enablence FTTx Networks*, 2006 Fiber-to-the-Home Conference April 2007
- [2] M. R. Phillips and D. M. Ott, " Crosstalk Due to Optical Fiber Nonlinearities in WDM CATV Lightwave Systems," *J. Lightwave Tech.*, vol. 17, pp. 1782-1792, October 1999.
- [3] John Kenny, "SRS Crosstalk in Mixed Analog-Digital Transmission on a Single Fiber," *available upon request to the author.*

19) 전송할 데이터가 없을 때 반복적으로 전송되는 신호형태. 전송장비와 수신기의 동기화를 위해 사용한다.

20) EPON과 다른 여타장비에서 데이터전송 대체방법. 25%의 오버헤드가 첨가되지만 중계기와 수신기에서 동기화율이 좋으며 상태변환 효율이 좋다.



정 문 기

1991년 경기대학교 물리학과 졸업

1995~1999년 알카텔 DND

2000~2001년 시스코 시스템즈 CNBU

2009~현재 주식회사 트라옵틱스

<관심분야>Digital Video Broadcasting, FTTx,  
Contents Networking.

<e-mail> moon@traoptics.com