

# 1550nm 하향 RF Overlay신호와 1490nm EPON 하향 데이터 신호의 SRS영향 개선에 대한 연구

Improvement of the SRS Effects between 1550nm optical signal for RF overlay and  
1490nm optical signal for EPON downstream

박재영, 이연호  
(Jai-Young Park, Yeon. H. Lee)

**Abstract** - When RF overlay technology is used in EPON-based optical access network, there coexist the directly modulated 1310-nm upstream data, the directly modulated 1490-nm downstream data, and the amplitude-modulated 1550-nm downstream broadcast signal based on RF overlay technology.

In this paper, we analyze the spectrum of 8B/10B IDLE line code signal and the SRS effect of 1490-nm IDLE line code signal on 1550-nm signal. From the result of analysis, we propose a new technique that can be used to improve the CNR of the broadcast signal, which is based on self synchronous scramble method.

**Key Words** : SRS, EPON, RF Overlay, Raman, CNR, 8B10B

## 1. 서론

광 선로의 비선형 특성에는 Stimulated Scattering 과 Optical Kerr Effect등 크게 2가지로 분류할 수 있다. Stimulated Scattering은 광 신호와 Acoustic 신호의 상호작용에 의하여 20MHz이하의 역 방향 광 신호를 발생하는 SBS(Stimulated Brillouin Scattering)과 Photon과 분자의 진동이 상호작용하여 15THz이하의 순방향 광 신호가 발생하는 SRS(Stimulated Raman Scattering)이 있으며, Optical Kerr Effect는 자신의 광 파워에 의하여 광 도파로의 굴절률 변화가 생기며, 이 굴절률 변화로 인하여 위상이 Shift되는 SPM(Self-Phase Modulation), 광 선로에 2개 이상의 광신호가 존재 할 때, 자신 이외의 광신호의 광 파워에 의하여 굴절률 변화가 생기며, 이 굴절률 변화로 인하여 자신의 위상이 영향을 받는 XPM(Cross-Phase Modulation), 광 선로의 3rd Term 비선형 특성에 의하여 새로운 광신호가 발생하는 FWM(Four-Wave Mixing)등이 있다.

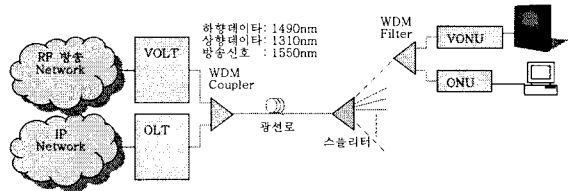
본 논문에서는 IDLE Line Code를 전송하는 EPON의 파장 1490nm 하향 광신호가 SRS효과에 의하여 RF 방송신호인 1550nm 하향 광신호로 천이를 Simulation하고, 이 신호에 의한 방송신호의 CNR 영향분석 및 SSS에 의한 개선방안을

제시한다.

## 2. 본론

### 2.1 EPON 및 RF Overlay

(그림 1)과 같이 EPON은 광 선로를 종단처리하고 IP네트워크 인터페이스를 제공하는 광 선로 종단장치(이하 OLT, Optical Line Termination), feeder 광 선로, 광 스플리터, Distribution 광 선로 및 광 커넥터 등을 포함하는 광 가입자 망 (이하 ODN, Optical Distribution Network), 가입자 광 네트워크 인터페이스를 제공하는 광 네트워크 유닛(이하 ONU, Optical Network Unit)등으로 구성된다.



(그림1)EPON 및 RF Overlay 망 구성도

RF Overlay를 추가시, RF 방송 신호를 광 신호로 AM변조한 후, 광 증폭하는 기능을 하는 VOLT(Video OLT), 1550nm의 광신호를 다중화 하기 위한 WDM Coupler 및 WDM filter와 AM변조된 광 신호로부터 원래의 RF 방송신호를 복조하는 VONU(Video ONU)등이 추가됩니다.

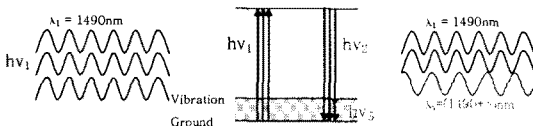
지자 소개

- \* 박재영 : 성균관大學 전자전기공학科 碩士課程
- \*\* 이연호 : 성균관大學 전자전기공학科 敎授 · 工博

## 2.2 SRS 분석

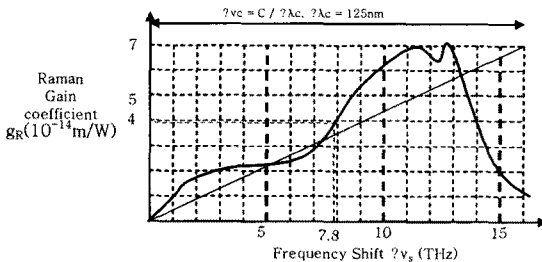
SRS(Stimulated Raman Scattering)은 incident wave가 Stokes frequency라 하는 molecular-vibration frequency와의 매개작용으로 인하여 낮은 주파수의 광을 방출하는 현상이다.

(그림2)은 SRS의 에너지-레벨 관계도이며, 에너지  $h\nu_1$ 을 가진 광이 광 선로를 지나갈 때, 광선로를 구성하는 Silica 원자는  $h\nu_1$  만큼 에너지 준위가 올라간다. 다시 Ground 상태로 떨어지면서, 대부분은  $h\nu_1$  광을 방출하나, 일부의 광자는 Silica원자의 Vibration에 의하여, Stokes Shift라 하는  $\nu_1 - \nu_s$ 의 주파수를 가진 에너지  $h\nu_2$  인 광자로 변환, 방출된다. Silica는 비결정질이기 때문에 molecular-vibration frequency가 Band형태로 나타나며, 15THz 이후에는 SRS현상이 급격히 감소한다.



(그림2)SRS의 에너지-레벨 관계

(그림3)는 Fused Silica에서의 Raman Gain Coefficient 특성을 나타낸 그래프이다.



(그림3) Fused Silica에서의 Raman Gain Coefficient 특성

Optic wave가 G.652에서 정의된 광 전송 매질내에 존재 할 경우, SRS효과에 의하여 전이되는 광파워는 (식1)과 같다.

$$P(L) = P(0) \exp(g_R L_{eff} P_2 / b A_{eff}) \quad \text{----- (식1)}$$

Where,  $P(0)$ ,  $P(L)$ 은 거리 0, L의 1550nm Probe Signal 파워

$g_R$ 는 Raman Gain Coefficient

$L_{eff}$ 은 Effective Length

$P_2$ 는 1490nm Pump Signal 파워

$A_{eff}$ 는 Propagating wave의 Effective Area

$b$ 는 polarization property를 위한 Factor(1,2)

$L_{eff}$ 는 (식2)와 같다.

$$L_{eff} = \frac{1 - \exp(-\alpha L)}{\alpha} \quad \text{----- (식2)}$$

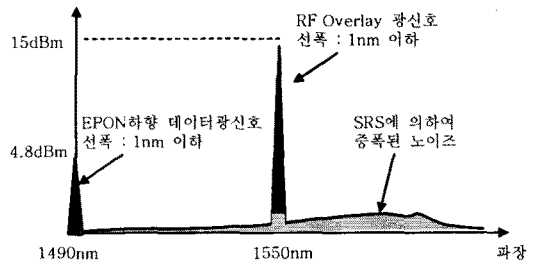
Where,  $\alpha$ 는 fiber의 attenuation coefficient

$L$ 은 fiber 길이

1490nm Pump Signal, 1550nm Probe Signal의 경우,  $g_R = 4 \times 10^{-14} \text{ m/W}$ 이며,  $\alpha$ 는 0.4dB/Km (G.652 Class A),  $L$ 은 1Km ~ 10Km,  $A_{eff}$ 는 1490nm 파장에서 약  $75 \text{ } \mu\text{m}^2$ 가 된다.

## 2.3 Raman 영향 분석

1490nm EPON 하향 광 신호에 의한 Pump 광신호는 Logic '1'일 때 와 Logic '0'일 때 Gain이 달라지며, 이 Gain 차이로 인하여 1490nm의 Digital 신호가 1550nm에 발생하게 되며, (그림4)과 같이 Raman Gain에 의하여 증폭된 전력은 원 RF방출신호의 Noise성분이 된다.



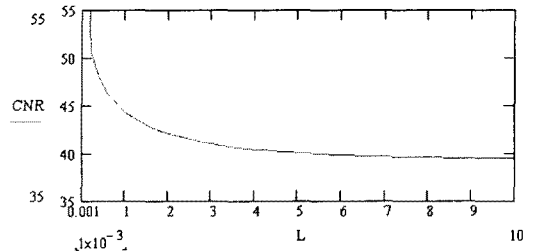
(그림4) 1490nm 에 의한 SRS 영향

Gain은 (식2)를 활용하여 (식3)과 같이된다.

$$\text{Gain} = P(L)/P(0) = \exp(g_R L_{eff} P_2 / b A_{eff}) \quad \text{----- (식3)}$$

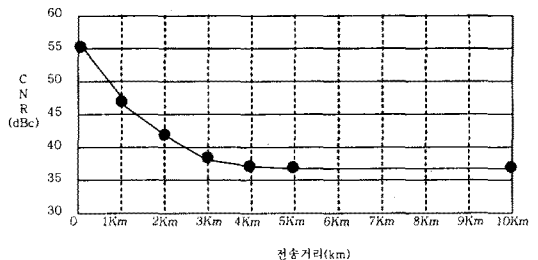
Pump 광 신호 3mW, Probe 광신호는 31.6mW,

파면조율이 3.5%를 적용시의 Sim결과는 (그림4) 같다.



(그림5) 거리별 CNR의 변화

실측시 데이터는 (그림6)과 같아 상호 유사함을 알 수 있다.



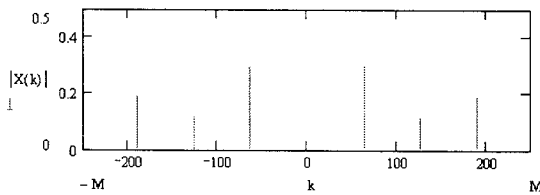
(그림5) 전송거리에 따른 CNR 측정치

## 2.4 EPON Downstream IDLE 데이터 Spectrum 분석

EPON의 선로신호는 Ethernet Frame을 8B10B로 Line Coding하여 NRZ신호로 Direct 광변조되어 전송되며, 특히 전송할 프레임이 없을 경우는 Idle Code가 전송되며 Parity상태가 천이되어 있을 경우 K28.5/D5.6 Idle Code가 사용되며, Parity상태가 0일 경우는 K28.5/D16.2 코드가 전송되며, 전상태의 Parity가 +이면, Current RD-로 전송되며, 전상태의 Parity가 -이면 Current +가 전송되는 형식으로 RD+와 RD-가 순서적으로 교차하여 bit 0과 bit 1의 발생확률을 같게 한다.

idle code	abcdei fghj	abcdei fghj
K28.5	110000 0101	001111 1010
D5.6	101001 0110	101001 0110
D16.2	100100 0101	011011 0101

본 논문에서는 Spectrum의 분석을 용이하게 하기 위하여 K28.5/D16.2를 사용하여 분석하였으며, Fourier Series로 분석한 Spectrum은 (그림6)과 같다.



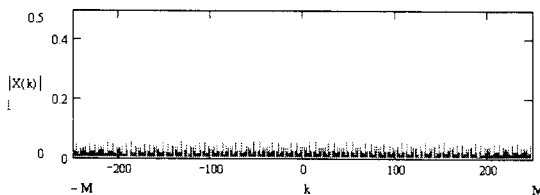
(그림6) IDLE Pattern의 Spectrum

이 Spectrum의 분석결과 K=1인 62.5MHz에서 0.300으로 가장 크다.

### 2.5 Scramble에 의한 개선 대책

Single Channel시스템에서는, 원하지 않는 Spectrum을 제거하기 위하여 Filter를 사용할 수 있으나, Multiple-Channel System에서는 SRS효과를 제거할 현실적인 기술이 없다. 본 논문에서 개선 대책은 62.5MHz의 Peak값이 CNR에 큰 영향을 주므로 8B10B 신호를 Scramble하여 주파수를 Spread하여 Noise의 Peak를 낮추는 방안을 제안한다.

Scramble다항식은 PN63인  $X^6+X^1+1$  Polynominal을 이용한 SSS(Self Synchronous Scramble)방식을 적용하였으며, Scrambled Data의 Spectrum분석은 (그림7)과 같다.



(그림7) Scrambled Data의 Spectrum

8B10B 신호를 Scramble하면 EPON 하향데이터가 Randomize되므로 spectrum spread가 되며, Peak Level도 IDLE Code의 경우 1.25Gbps의 20 주파수인 62.5MHz가

약0.3이었으나, Scramble후 0.055로 낮아져 7.4dB의 개선효과를 볼 수 있다.

### 3. 결론

SRS는 디지털 광 네트워크에서는 다수의 채널을 사용하는 WDM 시스템을 제외라고는 문제가 되지 않으나, RF Overlay와 같은 Analog방송을 보낼 때는 미세한 SRS의 영향일지라도 방송 품질에 큰 영향을 주게 된다. 본 논문에서는 SRS현상을 제거하여 CNR을 개선하는 방법을 적용하지 않고, EPON의 IDLE Data와 같이 주기적 특성을 가진 데이터를 Randomize하여 개선하는 방법을 채택했으며, Worst Case인 IDLE 패턴만을 고려한 경우와 비교하여 약 7.4dB의 개선효과가 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] IEEE 802.3ah, "Ethernet First Mile"
- [2] ITU-T G.650 "Definition and test methods for the relevant parameters of single-mode fibres"
- [3] ITU-T G.652 "Characteristics of a single-mode optical fibre cable"
- [4] ITU-T G.662 "Generic characteristics of optical amplifier devices and subsystems"
- [5] ITU-T G.665 "Generic characteristics of Raman amplifiers and Raman amplified subsystems"
- [6] Gerd Kaiser, Optical Fiber Communications, third edition, Mcgraw Hill, 2000
- [7] GOVIND P.AGRAWAL, Fiber-Optic Communication Systems, Second Edition, A WILEY-INTERSCIENCE
- [8] Simon Haykin, Communication Systems, Second Edition, John Wiley & Sons
- [9] R. H. Stolen, "Nonlinearity in fiber transmission" Proc. IEEE, vol. 68, p. 1232, 1980
- [10] ANDREW R. CHRAPLYVY, "Limitations on Lightwave Communications Imposed by Optical-Fiber Nonlinearities" Journal of Lightwave Technology. VOL. 8. NO. 10 October 1990
- [11] X.P.Mao,G.E. Bodeep,R. W. Tkach, A.R. Chraplyvy, T.T. Darcie, and R.M.Derosier, "Brillouin Scattering in Externally Modulated Lightwave AM-VSB CATV Transmission Systems", IEEE Photonics Technology Letters, Vol.4 No.3 March 1992