

아날로그 광 전송 시스템에서의 IMD3에 의한 CIR 시뮬레이션

Simulation of IMD3 induced CIR for analog optical transmission systems

장승현*, 이철수*, 설동민*, 정의석*, 김병휘*

Jang Seung-Hyun, Lee Chul-Soo, Seol Dong-Min, Jung Eui-Suk, Kim Byoung-Whi

Abstract - We simulated 3rd order intermodulation distortion (IMD3) induced Carrier-to-Intermodulation Ratio (CIR) of laser diodes over a wide range of optical modulation index, and compared the results with commercial IMD3 induced CIR specification such as Composite Triple Beat (CTB) of DFB laser transmitter for CATV networks. It shows that the simulation results are in good agreement with the CATV CTB specification within 3dB margin. The results can be used to predict IMD3 induced CIR performance for various analog optical transmission systems with given optical modulation index and the number of transmission channels. .

Key Words : 광통신;레이저;IMD3;CATV

1. 서론

2004년에 발표된 NTT의 2010년까지 3000만 세대를 수용할 광 가입자 망 구축 계획 및 국내 통신 업체인 KT, 하나로의 FTTH 장비 업체들을 대상으로 한 기술 평가(BMT) 등의 움직임을 볼 때, 멀지 않은 시간 내에 광 가입자 망이 보편화 될 것으로 예상된다[1-2].

현재, 국내에서 가장 활발하게 연구가 진행되고 있는 광 가입자 망 기술은 WDM-PON (Wavelength Division Multiplexing Optical Network)으로서 한 가입자에게 하나의 파장을 할당하고, 이런 여러 파장을 하나의 광섬유를 통해서 통신 하는 방식이다. 그러나 상기 기술을 상용화하기 위해서 여러 연구소 및 업체에서 연구를 하고 있지만, 한정된 파장 자원 내에서 가입자 당 하나의 파장을 할당해야 하므로 망 구축 비용이 비싸다는 단점을 가지고 있다. 상기 비용 문제를 해결하기 위해서 WDM-PON 각 파장에 여러 개의 아날로그 채널을 전송하는 SCM (Sub - Carrier Multiplexing) 기술을 적용한 WDM/SCM-PON이 새롭게 대두 되고 있다[3].

WDM/SCM-PON 과 같은 아날로그 광전송 시스템을 구성하기 위해서는 여러 잡음들을 고려하여 설계해야 하는데, 송신단에서의 laser clipping, Intermodulation distortion (IMD) 및 RIN, 광 링크에서의 광신호 감쇄 및 광증폭기의 ASE noise, 수신단에서의 thermal, shot, amplifier noise들이 그것이다. 이들 중 IMD는 laser clipping 및 thermal noise와

함께 최대 전송 가능한 SCM 채널 수 및 optimum Optical modulation index (OMI)를 결정하는 주요 잡음원으로서, 정확한 수치를 도출하고 그에 맞는 광송수신기를 제작해야 하므로 더욱 중요하다고 할 수 있겠다. 특히 여러 IMD 성분 중, IMD3는 세가지 신호 주파수 성분에 의해서 발생하는 IMD로서, CATV의 Composite Triple Beat (CTB)와 같이 SCM 신호 주파수 대역 근처에 생성되어 항상 잡음처럼 작용하기 때문에 주의를 요하는 잡음원이다.

본 논문에서는 상기 기술한 바와 같이 아날로그 광전송 시스템 구축에 중요한 잡음원인 IMD3와 IMD3에 의한 CIR_{IMD3} (Carrier to Interference Ratio)를 수치적으로 살펴보고 일정 범위의 modulation index 구간에서 CIR_{IMD3} 을 시뮬레이션을 통해서 도출하여, 향후 광송수신기의 CIR_{IMD3} 의 요구 규격을 결정하는데 있어서 기준을 제시하고자 한다.

이를 위해서, 2장에서는 IMD3 및 CIR_{IMD3} 수식을 살펴보고, 3장에서는 modulation index에 따른 CIR_{IMD3} 시뮬레이션 결과를 도출하여 상용 CATV시스템의 CTB 규격과 비교하고, 4장의 요약을 끝으로 논문을 마무리 하겠다.

2. IMD3에 의한 CIR 수식

IMD3는 송수신기의 RF amplifier, 레이저의 LI-curve 및 PD의 출력 비선형 특성에 의해서 결정이 되며, 무선 기술 및 광소자 기술의 발전으로 인해서 RF amplifier 및 PD 출력 비선형 특성보다는 대부분 레이저의 비선형성에 의해서 생성된다.

레이저를 변조하는 주입 전류가 동등한 크기를 가지고 각

저자 소개

*한국전자통신연구원 WPON기술팀

SCM 채널 간 주파수 차이가 일정할 경우, Nonlinear rate equation으로부터 IMD3에 의한 CIR_{IMD3} 식을 이미 도출했다[4]. 상기 논문의 CIR_{IMD3} 수식인 식(21),(22),(23)는 carrier density에 대한 함수로 정의되어 있으며, 이를 시스템 설계 엔지니어가 쉽게 접근할 수 있는 modulation index에 대한 함수로 바꾸면 아래의 식(1),(2),(3)으로 쓸 수 있다.

$$CIR_{IMD3} = \frac{1}{\frac{D_{2,1} * m^4}{64} + \frac{D_{1,1,1} * m^4}{16}} \quad \text{식(1)}$$

$$D_{2,1} = \frac{1}{2} \left(N - 2 - \frac{1}{2} [1 - (-1)^N] (-1)^r \right) \quad \text{식(2)}$$

$$D_{1,1,1} = \frac{r}{2} (N - r + 1) + \frac{1}{4} \left((N - 3)^2 - 5 - \frac{1}{2} [1 - (-1)^N] (-1)^{N+r} \right) \quad \text{식(3)}$$

식(1)에서 분모의 첫 번째 항은 $2f_i \pm f_j$ 주파수에 생긴 2-tone IMD3를, 두 번째 항은 $f_i \pm f_j \pm f_k$ 주파수에 생기는 3-tone IMD3를 의미하며, 식(2),(3)은 각각 2-tone, 3-tone IMD3가 r번째 채널에 발생하는 개수를 나타내며, N은 전체 SCM 채널 수를 뜻한다. 따라서, 식(1)은 2-tone, 3-tone IMD3에 의한 CIR_{IMD3} 를 의미하며 signal carrier power를 기준으로 IMD3 성분의 파워를 나타내므로 log scale로 표현할 경우 dBc 단위를 사용한다.

3. IMD3에 의한 CIR 시뮬레이션

3.1 SCM 채널수와 Modulation index에 따른 CIR_{IMD3}

그림 1에 modulation index와 SCM 채널수에 따른 가장 worst IMD3가 생성되는 r번째 채널에서의 CIR_{IMD3} 를 나타냈다.

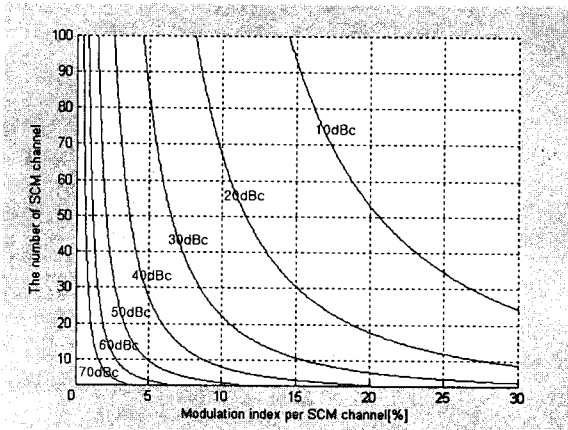


그림1. Modulation index 와 SCM 채널수에 따른 worst SCM channel CIR_{IMD3} [dBc]

상기 그림의 CIR_{IMD3} 경향을 살펴보면, modulation index가 커질수록 신호 채널 파워가 커지는 비율보다 IMD3 파워가 커지는 비율이 더 높으므로 CIR_{IMD3} 는 낮아지게 되고, 같은 modulation index라고 해도 채널수가 많아질수록 채널 간의 IMD3 개수가 증가하므로 또 CIR_{IMD3} 이 낮아짐을 알 수 있다. 즉, modulation index 크거나 전송 채널수가 많아질수록 IMD3 파워 성분이 점점 커져서 CIR_{IMD3} 는 낮아진다.

그림1의 결과는 다음과 같이 이용될 수 있다. 아날로그 광 전송 시스템 엔지니어는 여러 가지 잡음과 왜곡을 감안해서 채널 당 modulation index와 SCM 채널수를 결정하고 시스템 구축을 위한 광송수신기를 제작할 것이며, 제작된 광송수신기 레이저의 비선형에 의한 CIR_{IMD3} 특성이 그림 1의 결과와 일치하는 지를 기준으로 망에 사용 가능 여부를 판별할 수 있다.

예를 들어, 채널 당 modulation index 5%이고 총 80 SCM 채널을 전송하는 시스템을 설계했다면, 그림1에서 보듯이 레이저의 비선형 특성으로 인한 CIR_{IMD3} 은 30dBc 정도가 되는데 이 수치를 기준으로 실제 측정된 CIR_{IMD3} 와 비교해서 망에 사용 여부를 결정한다.

상기 예에서는 레이저의 비선형성에 의한 IMD3 외에도 RF amplifier, PD 출력 비선형 특성으로 인한 IMD3에 대해서 고려하지 않아 마진이 없이 그림1을 도출했지만, 실제 설계에서는 CIR_{IMD3} 에 수 dB의 마진을 가정하고 그림1을 다시 도출하여 광송수신기 비선형 특성의 측정 기준으로 정한다.

3.2 SCM 채널수가 세 개일 때 Modulation index에 따른 $CIR_{IMD3} (= CIR_{IMD3} - 3carriers)$

그러나 레이저가 CIR_{IMD3} 규격을 만족하는지를 측정하기 위해서 레이저에 SCM 모든 채널을 변조하고, 모든 IMD3의 파워를 측정하는 작업은 시간 낭비 및 고가의 장비가 필요하게 되므로 문제점을 가지고 있다. 따라서 이를 해결하기 위해서는 IMD3를 측정할 수 있는 최소 채널수인 3개로 제한하고 $CIR_{IMD3} - 3carriers$ 구하면 식(1)은 그림 2와 같은 그래프가 되며, 이를 제작된 광송수신기에 3개의 carrier를 전송했을 때의 측정된 $CIR_{IMD3} - 3carriers$ 비교함으로써 사용 여부를 결정할 수 있다.

본 논문에서 도출한 시뮬레이션 결과가 상용 CATV Transmitter 규격 중 $CIR_{IMD3} - 3carriers$ 에 해당하는 CTB 규격과 얼마나 일치하는 지를 비교해 보겠다. 이를 위해서 표 1에 일반적인 상용 CATV Transmitter의 규격을 나타냈다.

CATV 전송 시스템의 채널 당 최대 modulation index는 4%이고 이 때 세 가지 주파수의 carrier로 전송했을 경우 CTB는 65dBc였다. 이와 비교해서 그림 2의 시뮬레이션 결과에서 modulation index가 4%일 때 $CIR_{IMD3} - 3carriers$ 는 68dBc였으며, 이 수치는 CATV CTB 규격과 3dB 차이가

나는 것으로 레이저 이외의 다른 부품에서의 비선형성 특성으로 3dB 마진을 둔 것으로 생각한다면, CATV Transmitter의 CTB 규격과 본 논문의 시뮬레이션 결과 거의 일치함을 알 수 있다.

정하는 기준을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 명승욱, "일 전가구 FTTH시대 연다", EE TIMES, 11월12일자, 2004년
- [2] 최경섭, "KT,하나로 FTTH 올 하반기 상용화", 디지털타임즈, 5월 3일, 2004년
- [3] Ogawa, M., "Demonstration of a 20-Mbit/s 10000-channel WDM/SCM broadcast-and-select system", Photonics Technology Letters, Vol.12, Issue 3, March 2000.
- [4] Muhammad, "Carrier-to-Intermodulation Performance of Multiple FM/FDM Carriers Through a GaAlAs Hetrojunction Laser Diode", Transactions on Communications, Vol. COM-33, No.3, March 1985

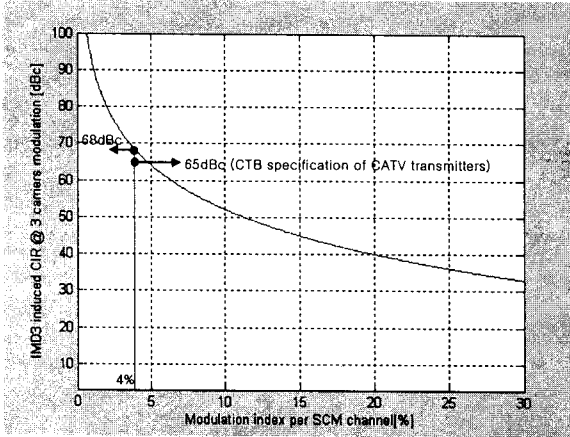


그림 2. SCM 채널 수가 세 개일때, Modulation index 에 따른 worst SCM channel $CIR_{IMD3-3carriers}$ [dBc]

Parameter	Specification
Optical wavelength	1310nm or 1550nm
Optical power	3mW to 14mW
Operating bandwidth	50 to 860MHz
RF input level range	+10 to +25dBmV / ch.
Optical modulation index	3 to 4% / ch.
CNR	52dB(0dBm at the Rx)
Frequency response var.	+/- 1dB(50 to 860MHz)
CSO distortion	62dBc
CTB distortion	65dBc

표 1. 상용 CATV Transmitter 규격

4. 결론

본 논문에서는 아날로그 광전송 시스템의 비선형 정도를 나타내는 척도인 IMD3에 대해서 수식을 살펴보고 이로 인한

$CIR_{IMD3-3carriers}$ 시뮬레이션을 통해서 구해왔다. 이 결과는 기존의 CATV Transmitter의 CTB 규격과 3dB 마진을 가지고 일치함을 알 수 있었으며, 본 논문의 결과는 이후 다양한 채널수와 modulation index를 갖는 아날로그 광전송 시스템을 구축할 때 $CIR_{IMD3-3carriers}$ 규격을