

# CDMA RF 신호 전송을 위한 SCM 광링크 시스템의 성능분석

정희원 유진태\*, 최영우\*, 김용범\*, 이명문\*, 이용원\*, 박진우\*

## Performance Analysis of Optical SCM Link System for CDMA RF Signal Transmission

Jin-Tae Yu\*, Young-Woo Choi\*, Yong-Bum Kim\*, Myung-Moon Lee\*, Yong-Won Lee\*,  
Jin-woo Park\* *Regular Members*

### 요 약

이동통신망에서 RF 신호를 송수신하는 기지국(base station)과 이동 통신 신호의 교환 전송을 담당하는 중앙국(central station)을 광섬유로 연결하여 구성하는 SCM (Subcarrier Multiplexing) 광링크는 RF 신호를 효율적이고 경제적으로 전송하는 시스템으로 널리 사용되고 있다. 그러나 링크의 전송 성능이 광전송 링크와 무선링크의 다양한 환경에 의해 크게 제한되므로, 본 논문에서는 이동통신망에서 CDMA RF 신호전송을 위한 SCM 광링크 시스템의 분석적 모델을 제시하고 다양한 링크 환경에서 전송 성능을 분석하였다. 특히, 광전송 링크에서 레이저 다이오드(LD: Laser Diode)에 의해 발생하는 비선형 왜곡과 무선링크에서 다중 가입자에 의해 발생하는 다중접속간섭(MAI: Multiple Access Interference)을 고려하여 최적의 전송 성능 조건을 제시하였다. 제안된 분석적 모델링으로부터 얻은 성능분석을 통해 최적의 시스템 성능은 사용된 코드의 길이나 다중 가입자의 수에 따라 변화하며 광링크 고유의 잡음과 LD 비선형 왜곡에 의한 영향이 최소가 되는 광변조지수(optical modulation index)를 선택함으로써 얻어짐을 알 수 있었다.

### ABSTRACT

Fiber optic link systems based on SCM scheme are widely used as efficient and economic RF signal links between base station and a central station in mobile communication networks. However, its performance can be seriously limited depending on the operational conditions of not only the optical transmission system but also the wireless link in various environments. In this paper, we propose an analytic model for performance analyses of the SCM fiber optic link for CDMA RF signal transmission in various link environments. We present optimal operational conditions taking account of the nonlinear effects of the optical transmission system, and the multiple access interference produced at the wireless link. It has been shown through the BER analyses in this paper that the selection of optical modulation index of the SCM fiber optic links can be found optimally to minimize the fiber optic link noises and intermodulation distortion due to LD.

### I. 서론

정보화 사회로의 본격적인 진입단계에서 인터넷

사용자의 급격한 증가와 광대역 신호 전송을 기반으로 하는 다양한 멀티미디어 서비스가 구체적으로 가시화 되면서 가입자망에서도 신호 전송의 광대역

\* 고려대학교 전기전자전파공학부 광통신망연구실(juty96@korea.ac.kr)

논문번호 : 00227-0623, 접수일자 : 2000년 6월 23일

※ 본 연구는 한국과학재단 산학협동연구과제(98-2-07-05-01-2) 지원하에 수행되었습니다.

화를 위한 새로운 망설계 기술이 요구되고 있다. 또한 기하 급수적으로 늘어나고 있는 이동전화, IMT-2000 서비스 및 인터넷 통신을 통한 음성과 동영상 등과 같은 정보의 홍수 속에 사회는 대량의 정보를 빠른 속도로 주고받는 기술을 요구하고 있다

일반적인 망은 전화 및 데이터 서비스를 기조로 하는 유선망의 구조를 기반으로 제시되어 왔으나 이동통신서비스 등의 무선 통신 서비스 사용이 폭증하면서 무선 서비스를 제공하기 위한 통신망의 필요성이 급격히 부각되고 기존에 설치되었거나 설치 예정인 유선망을 상호 통합 운영하는 차원에서 망의 진화를 전제로 연구가 진행되어 왔다. 그러나, 최근 무선 통신 기술의 발전으로 무선통신 서비스가 기존 유선망 서비스를 위한 망의 트래픽을 초과하는 현상이 발생하고 있으며 이러한 경향은 이동통신 서비스가 IMT-2000으로 진화하면서 더욱 심화될 것이다. 이러한 통신서비스 환경의 변화에 대처하기 위해 이미 미국과 일본에서는 기지국간을 광섬유로 대체하는 투자를 계속하여 왔고, 궁극적으로 광섬유가 최종 가입자에게까지 도달하는 FTTH (Fiber To The Home) 혹은 광섬유가 가입자의 근접거리까지 도달하는 FTTC (Fiber To The Curb) 등을 실현하고자 노력중이다.

1990년 이후로 기지국간을 광섬유로 대체하는 시스템 구조 제안 및 실험결과가 많이 발표되어 왔다<sup>[1][2][3]</sup>. 특히, 근래에 발표된 논문들에서는 광링크 입력에서 무선신호의 다이내믹영역(dynamic range)을 향상시키고<sup>[4]</sup>, 시스템 비용절감, 전자소자 속도의 향상 및 광섬유로 가능한 높은 전력으로 빛의 입사를 가능하게 하는 등의 전송링크 상의 성능에 관한 연구가 주를 이루고 있다. 또한, 무선 신호의 합으로 하나의 LD를 구동할 때 LD 비선형 왜곡이 얻을 수 있는 시스템 성능에 제한을 가져오는 요소로 작용한다는 점에 착안하여 비선형 왜곡을 감소시키기 위한 기법으로 주파수 변환 스위칭<sup>[5]</sup>, LD 비선형 보상기<sup>[6]</sup>, FM 이중변조<sup>[7]</sup>와 같은 방법이 제안되었다. 그러나 위의 연구들은 GSM과 같이 신호다중화 방식으로 TDMA/FDMA 방식을 사용하는 시스템에 적합하도록 제안된 방법으로 CDMA 신호 기반의 PCS 또는 광대역 CDMA 방식을 채택하고 있는 IMT-2000 시스템에는 최적의 전송 효율을 보장하지 못하고 있다.

CDMA 방식의 신호는 FDMA 신호와는 달리 무선링크 상에서 페이딩(fading)에 의한 시스템 성능

저하 이외에 서로 다른 코드를 부여하고 복조 하는 과정에서 발생하는 다중접속간섭(MAI: Multiple Access Interference)이 매우 큰 성능저하요소로서 작용한다. 또한, LD 비선형성에 의한 신호의 왜곡은 CDMA 방식 특성상 동일한 캐리어 주파수를 여러 가입자가 공유할 수 있으므로 FDMA 신호의 비선형 왜곡과 달리 기존 연구결과들과는 다른 형태의 접근방법이 필요함을 알 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 무선 링크의 특성과 광링크의 특성을 고려하여 CDMA RF 신호를 SCM 광전송 할 때 전송 성능에 중요하게 영향을 미치는 MAI 및 LD에 의한 비선형 왜곡의 영향을 전송링크 상의 성능분석을 통해 살펴보고 최적의 전송 성능 조건을 제시하였다.

## II. 이동통신망을 위한 SCM 광링크 시스템 구조

SCM 방식은 많은 수의 기저대역 신호들을 각각의 국부 발진기를 이용하여 주파수 분할 다중화를 한 후에 고속의 단일 광원으로 전송하는 방법으로 수신단에서는 광다이오드를 이용하여 전기신호로 변환하고 국부 발진기를 조정해서 원하는 채널을 얻는 다중화 방식을 의미한다. SCM 방식은 아날로그 및 디지털 신호를 동시에 전송할 수 있는 장점을 가지고 있으며 여러 채널을 전송할 수 있기 때문에 광의 광대역을 효과적으로 이용할 수 있고, 현재의 초고속과 기술을 그대로 적용할 수 있어 CATV 망과 광 PCS 시스템에서 사용되고 있는 방식이다.

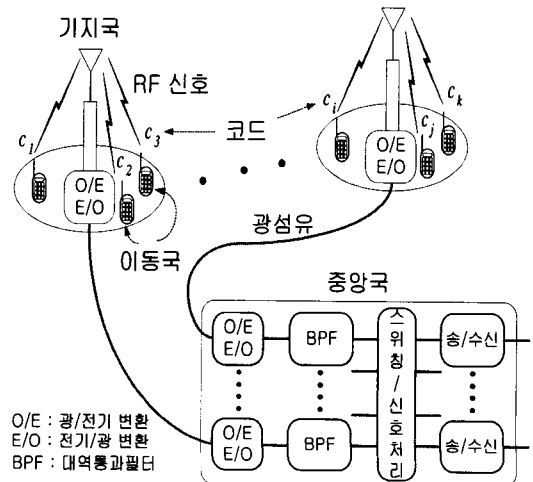
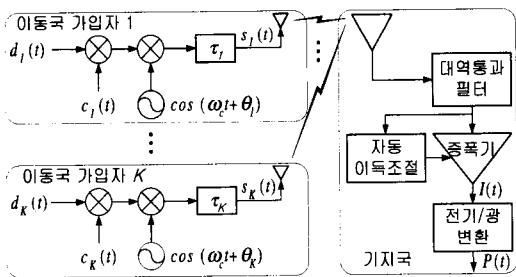


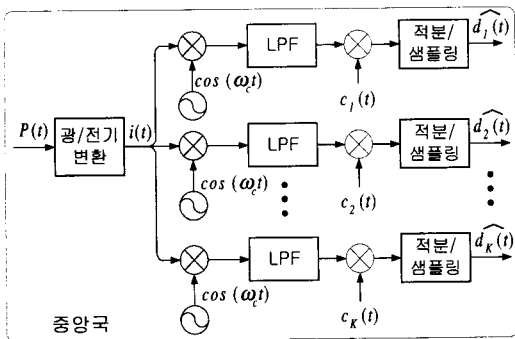
그림 1. CDMA RF 신호 전송을 위한 SCM 광링크 시스템의 구조

그림 1은 CDMA RF 신호 전송을 위한 SCM 광링크 시스템의 구조를 나타내고 있다. 중앙국에서 이동국으로의 하향링크(downlink)에서는 CDMA 신호가 전기/광 변환을 통해 각 이동국 가입자에게 신호를 전송한다. 반면, 상향링크(uplink)에서는 각 이동국 가입자 신호가 서로 다른 코드를 통해 중앙국으로 전송되는 형태를 가지고 있다. 변조/복조, 스위칭기능, 송수신기능 등과 같은 신호처리과정이 중앙국에서 처리되고, 기지국은 전기/광 변환, 광/전기 변환기능과 RF신호의 송수신과 증폭기능만을 요구하므로 비교적 간단하고 저 비용의 기지국을 구현할 수 있는 장점을 가지고 있다.

이동 통신을 위한 SCM 광링크 시스템이 제공할 수 있는 많은 이점도 있지만 광링크에서 잡음과 LD 비선형 특성은 시스템 성능의 저하를 가져오는 원인이 되며 RF 신호 입력 전력이 제한을 가하게 된다. 따라서 LD 비선형에 의한 시스템의 성능저하를 감소시키고 RF 입력 전력의 다이내믹(dynamic) 영역을 확장하기 위해서는 높은 선형성을 가진 LD를 사용하거나 LD 비선형을 보상할 수 있는 시스템이 필요하다.



(a) 이동국 가입자와 기지국 시스템의 구조



(b) 중앙국의 시스템 구조

그림 2. CDMA RF 신호의 SCM 광링크 시스템 성능분석 구조

그림 2는 CDMA RF 신호의 SCM 광링크 시스템 성능분석구조를 나타내고 있다. 일반적으로 이동국에서 중앙국으로 상향링크에서의 전송 성능은 하향링크에 비해 페이딩(fading), 간섭, 전파의 원근문제(near-far problem) 등과 같은 다양한 무선환경에 더욱 민감하다. 원하는 신호성분이 페이딩, 간섭, 전파의 원근문제에 의해 영향을 받는다면, LD 비선형 왜곡의 효과는 시스템 성능에 더욱 큰 영향을 미치게 된다. 따라서, 본 논문에서는 worst case로써 하향링크 보다는 상향링크에서의 시스템의 성능 분석을 행하였다. 신호의 흐름을 살펴보면 다음과 같다. 이동국에서 발생된 CDMA 신호가 무선링크를 거쳐 기지국으로 송신되고, 기지국의 전기/광 변환을 통해 광신호로 변환된다. 변환된 광신호는 광섬유를 통해 중앙국으로 전송이 되고 중앙국에서 광/전기 변환을 통해 전기신호로 변환된 후 일반적인 CDMA 신호의 복조과정을 따른다.

### III. SCM 광링크 성능분석

그림 2의 이동국 구조에서 CDMA RF 신호를 연속적이고 비동기적으로 송신하는  $i$  번째 이동가입자의 신호는 각 가입자의 데이터와 코드신호를 이용하여 식(1)과 같이 표현된다.

$$s_i(t) = d_i(t - \tau_i) c_i(t - \tau_i) \cos(\omega_c t + \phi_i) \quad (1)$$

$d_i(t)$ 와  $c_i(t)$ 는 각각  $i$  번째 가입자 데이터와 코드 신호를 나타내고,  $\tau_i$  는 랜덤 시간지연,  $\phi_i$  는  $\theta_i - \omega_c \tau_i$ 를 의미한다.

이동국으로부터 발생된 가입자의 신호는 무선링크를 거쳐 기지국으로 전송되며 기지국의 안테나는 여러 가입자 신호의 합을 수신하게 된다. 일반적인 CDMA 이동통신 시스템에서는 전력제어를 행하고 있지만 완벽한 전력제어를 한다고 해도 안테나에 도달하는 여러 가입자의 신호는 무선링크의 페이딩에 의해 시간에 따라 전력이 변하는 특성을 가진다. 본 논문에서는 무선링크 신호의 합으로 LD를 구동하기 이전에 자동이득조절(AGC: Automatic Gain Control)을 두어 LD를 구동하는 최적의 RF 전력 범위를 산정 하도록 하였다.

LD를 구동하는 전류는 동시에 송신하는 가입자 수가  $K$  명이라고 할 때,  $K$  가입자 신호의 합과 LD 구동 바이어스 전류에 대한 RF 신호 합의 비로 정의되는 광변조지수(OMI: Optical Modulation

Index)  $m_0$ 를 통해 다음과 같이 주어진다<sup>[8]</sup>.

$$I(t) = m_0 \sum_{i=1}^K s_i(t) \quad (2)$$

그림 3은 일반적인 LD의 입력 전류와 출력 광파워 관계를 나타내는 LD 특성곡선을 보여주고 있다. SCM 방식은 많은 전기 신호의 합으로 주어진 전류로 LD를 구동하게 되는데, 구동 전류가 LD 특성곡선의 비선형영역으로 들어가게 되면 비선형왜곡이 일어나게 되고 임계전류(threshold current)이하로 내려가게 되면 클리핑현상이 일어난다. 비선형왜곡은 크게 정적(static) 비선형성과 고유(intrinsic) 비선형성으로 나눌 수 있다. 정적 비선형성은 메모리스(memoryless) 비선형성 이라고도 하며 가장 간단한 LD 비선형 모델이라 할 수 있다<sup>[9][10]</sup>.

본 논문에서는 LD의 비선형 모델로서 정적 비선형 모델을 사용하였고 사용하는 RF 주파수가 싱글옥타브(one octave)안에 있다면 주파수의 합과 차의 성분이 신호대역에 영향을 미치지 않기 때문에 2차 비선형은 무시할 수 있다. 고차 비선형에 의한 영향은 크기가 작아 시스템에 영향을 미치지 않는다고 가정하면 LD 출력 광 전력은 식(3)과 같이 주어진다.

$$P(t) = P_r [I(t) + a_3 I^3(t)] \quad (3)$$

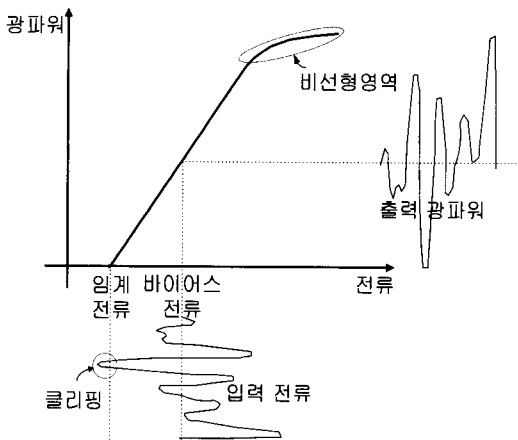


그림 3. LD 특성곡선

식(3)에서  $a_3$ 은 3차 비선형 상수를 나타내고  $P_r$ 은 평균 수신 광전력을 나타내는 항이다. LD에 의해 광신호로 변환된 무선신호는 기지국으로부터 중앙국까지 광섬유를 통해 전송된다. 전송되는 거리가 수 km 이내이므로 광섬유내에서 광신호의 분산이나

손실은 없다고 가정하였다. 중앙국에서는 광신호를 광다이오드를 통하여 무선 신호로 변환하게 된다. 광다이오드의 반응도(responsivity)를  $R_0$ 라고 하면 출력 전류는 식(4)와 같이 주어진다.

$$i(t) = R_0 P_r [I(t) + a_3 I^3(t)] + n(t) \quad (4)$$

식(4)에서,  $I(t)$  신호 성분은 선형 성분인 반면  $I(t)^3$ 는 비선형 성분이다.  $n(t)$ 는 광링크에서 발생하는 잡음으로 본 논문에서는 열잡음(thermal noise), 산탄잡음(shot noise), 상대세기잡음(relative intensity noise)을 고려하였다. 식(4)에 식(2)를 대입하면 광다이오드에 의해 검출된 전류성분은 식(5)와 같이 주어진다.

$$i(t) = R_0 P_r [ (m_0 \sum_{i=1}^K s_i(t)) + a_3 (m_0 \sum_{i=1}^K s_i(t))^3 ] + n(t) \quad (5)$$

수신 광전류를 구하기 위해서는 식(5)를 전개해야 한다. 식(5)의 계산을 쉽게 하기 위해 첫째, 중앙국의 수신기에서 검출하고자 하는 신호는 첫 번째 가입자의 신호이고 둘째, 첫 번째 가입자의 랜덤 시간 지연  $\tau_1$ , 랜덤 위상  $\phi_1$ 이 0이라고 가정하면 수신 광전류는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} i(t) &= R_0 P_r [ (m_0 \sum_{i=1}^K s_i(t)) + a_3 (m_0 \sum_{i=1}^K s_i(t))^3 ] + n(t) \\ &= R_0 P_r [ m_0 \sum_{i=1}^K s_i(t) + a_3 m_0^3 \{ \sum_{i=1}^K s_i(t)^3 + 3s_1(t)^2 \sum_{i=2}^K s_i(t) + 3s_1(t) \sum_{i=2}^K \sum_{j=2, i \neq j}^K s_j(t)^2 + 3 \sum_{i=2}^K \sum_{j=2, i \neq j}^K s_j(t) s_i(t) + \sum_{i=2}^K \sum_{j=2, k \neq j}^K s_k(t) s_j(t) s_i(t) \} ] + n(t) \end{aligned} \quad (6)$$

식(6)의  $s_i(t)$ 에 식(1)을 대입하면  $d_i(t - \tau_i)$ 와  $c_i(t - \tau_i)$ 는 각각 데이터 신호와 코드신호이기 때문에 1 또는 -1의 값을 가지므로  $d_i^2(t - \tau_i)$ ,  $c_i^2(t - \tau_i)$ 은 데이터 신호와 코드 신호에 관계없이 1 이고,  $\cos^2(\omega_c t + \phi_i)$ 과 같은 2차항에 의해 발생하는  $0, 2\omega_c$ 과 같은 주파수 성분은 신호대역에 영향을 미치지 않으므로 다음과 같이 정리된다.

$$i(t) = R_0 P_r \sum_{k=1}^L i_k(t) + n(t) \quad (7)$$

식(7)에서  $i_1(t)$ 부터  $i_7(t)$ 는 식(8)과 같다.

$$i_1(t) = (m_o + \frac{a_3 m_o^3 (6K-3)}{4}) d_1(t) c_1(t) \cos(\omega_c t) \quad (8.a)$$

$$i_2(t) = (\frac{3a_3 m_o^3}{4}) \sum_{i=2}^K d_1(t) c_1(t) \cos(\omega_c t + 2\phi_i) \quad (8.b)$$

$$i_3(t) = (m_o + \frac{a_3 m_o^3 (6K-3)}{4}) \sum_{i=2}^K d_i(t - \tau_i) c_i(t - \tau_i) \cos(\omega_c t + \phi_i) \quad (8.c)$$

$$i_4(t) = (\frac{3a_3 m_o^3}{4}) \sum_{i=2}^K d_i(t - \tau_i) c_i(t - \tau_i) \cos(\omega_c t - \phi_i) \quad (8.d)$$

$$i_5(t) = (\frac{3a_3 m_o^3}{4}) \sum_{j=2}^K \sum_{i=2, j \neq i}^K d_i(t - \tau_i) c_i(t - \tau_i) \cos(\omega_c t + 2\phi_j - \phi_i) \quad (8.e)$$

$$i_6(t) = (\frac{3a_3 m_o^3}{4}) \sum_{j=2}^K \sum_{i=2, j \neq i}^K d_1(t) d_i(t - \tau_i) d_i(t - \tau_i) c_1(t) c_j(t - \tau_j) c_i(t - \tau_i) [\cos(\omega_c t + \phi_j - \phi_i) + \cos(\omega_c t - \phi_j + \phi_i) + \cos(\omega_c t + \phi_j + \phi_i)] \quad (8.f)$$

$$i_7(t) = (\frac{3a_3 m_o^3}{4}) \sum_{k=2}^K \sum_{i=2, j \neq k}^K \sum_{i=2, i \neq j, k}^K d_k(t - \tau_k) d_i(t - \tau_i) d_j(t - \tau_j) c_k(t - \tau_k) c_j(t - \tau_j) c_i(t - \tau_i) [\cos(\omega_c t + \phi_k + \phi_j - \phi_i) + \cos(\omega_c t + \phi_k - \phi_j + \phi_i) + \cos(\omega_c t - \phi_k + \phi_j + \phi_i)] \quad (8.g)$$

송신 데이터를 복원하기 위해서는 광다이오드에 의해 검출된 전류신호에 캐리어를 곱하고 코드신호를 곱하여 역확산을 시킨 후 한 비트 주기동안 적분을 하고 데이터를 판정하면 된다. K 가입자가 동시에 데이터 송신을 시도하는 경우 데이터 복원과 정에서 첫 번째 가입자의 판단값은 첫 번째 가입자의 신호, K-1 명의 가입자에 의한 간섭, LD 비선형 왜곡, 광링크의 잡음으로 이루어져 있으며 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$Z_1 = \int_0^T i(t) \cos(\omega_c t) c_1(t) dt = D_1 + I + N \quad (9)$$

여기서  $D_1$  은 첫 번째 가입자의 신호,  $I$  는 K-1 명의 가입자에 의한 간섭과 비선형왜곡을 나타내며  $N$  은 광링크의 잡음을 나타내는 항으로 식(8)을 통해 구할 수 있다. 식(9)에서 구한 신호성분, 간섭

및 비선형 왜곡 성분, 잡음성분으로부터 SNR (Signal to Noise Ratio)은 다음과 같다.

$$SNR = \frac{Var(D_1)}{Var(I) + Var(N)} \quad (10)$$

식(10)에서  $Var(N)$ 은 광링크의 열잡음, 산탄잡음, 상대세기잡음을 나타내며 잡음의 확률밀도 함수가 가우시안이라고 가정하면 잡음 전력은 아래와 같다.

$$Var(N) = \frac{4kFT_{abs}}{R_L} B + 2eR_0 P_r B + (R_0 P_r)^2 10^{\frac{RIN_{LD}}{10}} B \quad (11)$$

식(11)의  $k$ 는 볼츠만 상수,  $F$ 는 수신단 증폭기의 잡음지수,  $T_{abs}$ 는 절대온도,  $RIN_{LD}$ 는 DFB (Distribute Feedback) LD의 상대세기 잡음을 나타낸다. 또한 CDMA 신호가 정합필터에 의해 복조 된다면 BER은 식(10)에서 구해진 SNR을 이용하여 아래와 같이 근사 될 수 있다<sup>[11]</sup>.

$$P_e = Q(\sqrt{SNR}) \quad (12)$$

식(12)에서 Q 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (13)$$

#### IV. 결과 분석

4장에서는 3장에서 구할 수 있는 BER을 통해 성능분석 결과를 제시한다. 본 논문의 성능 분석을 위해 사용한 무선링크와 광링크 변수의 의미와 값은 표 1 과 같다.

표 1. 사용된 변수들의 의미와 값

기 호	의 미	값
$R_0$	광다이오드의 반응도	0.8mA/mW
$P_r$	수신 광파워	-30dBm
$F$	광수신기 잡음지수	1.1
$RIN_{LD}$	광링크의 상대세기 잡음	-148dB/Hz
$R_L$	광수신기 부하저항	50Ω
$B$	대역폭	1.25MHz
$N$	PN 코드길이	255 (가변)
$K$	가입자수	20 (가변)
$a_3$	LD 3차 비선형 상수	1/6

그림 4는 CDMA RF 신호의 SCM 광전송 SNR 성능을 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 열잡음, 산탄잡음, 상대세기잡음과 같은 광링크 고유의 잡음에 의한 SNR은 광변조지수에 따라 증가한다.

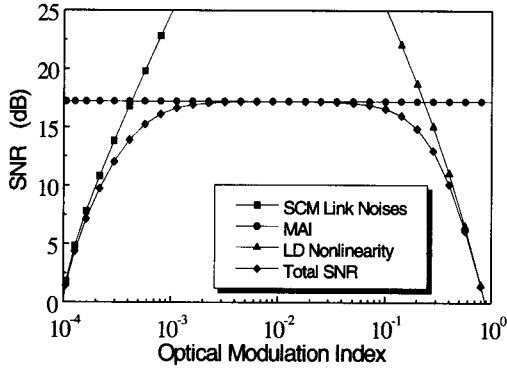


그림 4. CDMA RF 신호의 SCM 광전송 SNR 성능 (N=255, K=20)

LD 비선형 왜곡에 의한 SNR 성능은 광변조지수 증가에 따라 감소하며 MAI는 광변조지수와는 무관하게 일정한 SNR 특성을 보인다. 그러므로 낮은 광변조지수 범위에서는 열잡음, 산탄잡음, 상대세기잡음과 같은 광링크 고유의 잡음이 지배적인 성능 열화 요소이고 중간 정도의 광변조지수 범위에서는 다중 가입자에 의한 MAI가 지배적이며 높은 광변조지수에서는 LD 비선형 왜곡에 의해 전체 SNR 성능이 결정됨을 알 수 있다. 중간 정도의 광변조지수에서 지배적인 MAI에 의한 성능열화를 개선하기 위한 방법으로는 PN 코드 길이를 증가시킴으로써 얻을 수 있지만 PN 코드 길이가 너무 크면 칩 주기가 너무 짧아 CDMA 수신기 구조가 복잡해지는 단점이 있다.

그림 5는 가입자의 수가 20 일 때, 코드 길이 변화에 따른 BER 성능을 보여준다. 가입자수가 일정한 조건하에서 PN 코드의 길이를 증가시킴으로써 BER의 향상을 관찰할 수 있는데 이는 각 가입자 데이터를 복원할 때 필요한 상관기(correlator)에서 서로 다른 가입자코드의 교차상관(cross-correlation) 값이 작아지기 때문이다. PN 코드 길이가 일정 할 때 가입자수 증가에 따른 BER은 그림 6에서 보이고 있다. 가입자수의 증가에 따라 얻을 수 있는 성능이 저하됨을 볼 수 있는데, 이 이유는 동일한 PN 코드길이에서 가입자수의 증가는 MAI의 증가를 의미하기 때문이다.

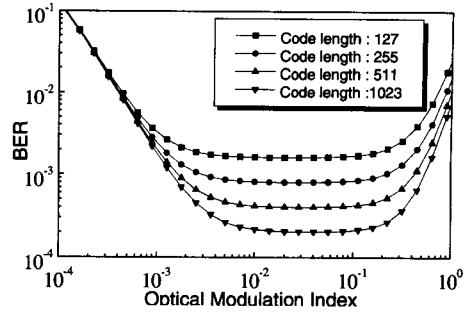


그림 5. 코드길이 변화에 따른 BER 성능 (K=20)

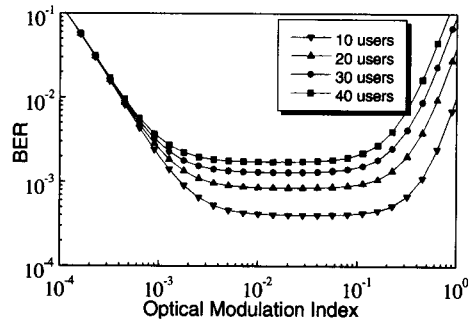


그림 6. 가입자수 변화에 따른 BER 성능 (N=255)

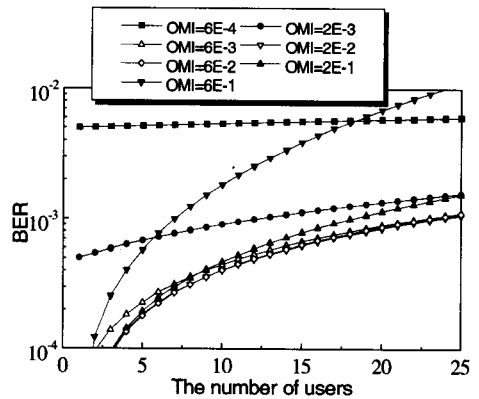


그림 7. 광변조지수 선택에 따른 BER 성능 비교 (N=255)

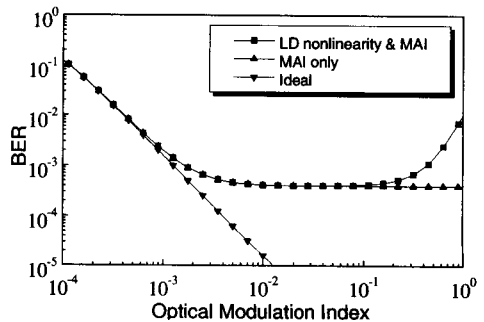


그림 8. MAI, LD 비선형 왜곡에 의한 성능비교(N=255, K=20)

그림 7은 가입자수가 증가함에 따라 광변조지수의 선택이 BER 성능에 어떠한 영향을 미치는지를 보여주는 그림이다. 광변조지수를  $6 \times 10^4$ 과 같이 너무 작게 선택하면 광링크 고유의 잡음인 열잡음, 산탄잡음, 상대세기 잡음이 시스템 성능에 영향을 미치는 지배적인 요소이므로 BER 성능이 가입자수의 증가에 관계없이 일정한 BER을 갖는 특성을 나타낸다. 반면, 0.6과 같이 너무 큰 광변조지수의 선택은 가입자수가 적을 때에는 낮은 BER 특성을 가지나 가입자수가 증가함에 따라 LD 비선형 왜곡의 영향이 나타나 급격히 시스템 성능이 열화됨을 볼 수 있다. 광변조지수를 대략 0.06으로 설계한 경우에는 나머지 광변조지수들의 선택과 비교했을 때 최적의 시스템 성능을 얻을 수 있었다. 이 결과로부터 광링크 고유의 잡음요소들에 의한 시스템 성능 저하와 LD 비선형 왜곡에 의한 시스템 성능저하의 영향을 완화시킬 수 있는 광변조지수의 선택이 최적의 시스템 성능을 보장함을 알 수 있다.

그림 8에서는 LD 비선형 왜곡, MAI에 의한 시스템 성능 비교를 나타내고 있다. 성능 비교는 MAI, LD 비선형이 모두 존재하는 시스템, MAI는 존재하고 LD 비선형이 존재하지 않는 시스템, MAI, LD 비선형이 모두 존재하지 않는 이상적인 시스템의 세 가지 경우를 비교하고 있다. LD 비선형 왜곡이 존재하지 않는 경우, 비선형 왜곡의 영향을 받지 않으므로 큰 광변조지수에서도 BER 성능은 열화 되지 않는다. 하지만 MAI는 존재하기 때문에 BER 성능이 향상되지는 않고, 0.002 이상의 광변조지수에서 대략  $10^{-3}$ 의 BER을 유지하고 있다. MAI, LD 비선형 왜곡 모두 존재하지 않는 이상적인 경우는 그림에서 볼 수 있듯이 광변조지수가 증가함에 따라 BER이 감소함을 알 수 있다. 이와 같은 성능은 MAI 제거 기법과 LD의 비선형성을 보상하는 구조를 통해서 가능할 것이다.

## V. 결론

본 논문은 CDMA RF 신호전송을 위한 SCM 광링크 시스템의 성능 분석을 통해 이동통신망에서 RF 신호를 송수신하는 기지국과 이동 통신 신호의 교환 전송을 담당하는 중앙국과의 링크를 구성하는 SCM 광링크의 전송 성능을 분석하였다.

비교적 작은 광변조지수에서는 열잡음, 산탄잡음, 상대세기잡음과 같은 광링크 고유의 잡음에 의해 시스템 성능이 열화 되고 큰 광변조지수에서는 LD

의 비선형 왜곡이 전체적인 성능의 저하를 가져왔다. 그리고 동시 가입자수에 의해 결정되는 MAI은 광변조지수와는 관계없이 시스템 성능을 저하시킴을 알 수 있었다. 이러한 상황에서 최적의 시스템 성능은 사용된 코드의 길이나 동시 가입자수에 따라 변화하며, 광링크 고유의 잡음과 비선형 왜곡에 의한 영향이 최소가 되는 광변조지수를 선택함으로써 얻어짐을 알 수 있었다. 또한, 광링크 고유의 잡음들과 LD에 의한 비선형 왜곡 및 MAI가 광변조지수 선택에 제한을 가하는 요소로 작용한다는 결과로부터 LD 비선형 보상구조나 MAI 제거 기법이 사용된다면 이상적인 SCM 전송 링크성능을 얻을 수 있다는 것도 예측할 수 있었다.

본 논문에서 제시한 분석 방법 및 전송 성능의 결과는 DS-CDMA 방식의 PCS 시스템은 물론 광대역 CDMA 방식을 채택하고 있는 IMT-2000 시스템의 광링크 설계에 효율적으로 이용될 것이다.

## 참고 문헌

- [1] Shozo Komaki and Eiichi Ogawa, "Trends of Fiber-Optic Microcellular Radio Communication Networks," *IEICE Trans. Electron.*, vol. E79-C, no. 1, pp. 98-104, Jan, 1996.
- [2] Kozo Morita and Hiroyuki Ohtsuka, "The New generation of Wireless Communications Based on Fiber-Radio Technologies," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E76-B, no. 9, pp. 1061-1068, Sep, 1993.
- [3] Ta-Shing Chu and Michael J. Gans, "Fiber Optic Microcellular Radio," *IEEE Trans. on Vehicular Technol.*, vol. 40, no. 3, pp. 599-606, Aug, 1991.
- [4] J. C. Fan, C. L. Lu and L. G. Kazovsky, "Dynamic-Range Requirement for Microcellular Personal-Communication systems Using Analog Fiber-Optic Links," *IEEE Trans. Microwave Theory Technol.*, vol. 45, no. 8, pp. 1390-1397, Aug, 1997.
- [5] Toshiaki Okuno, Hironori Mizuguti and Norihiko Morinaga, "A New Frequency Switching /IM3 Reduction Method in Fiber-Optic Microcellular System", *IEICE Trans. Commun.*, vol.E76-B, no. 9, pp.1178-1185, Sep. 1993.

- [6] Yuji Aburakawa and Hiroyuki Ohtsuka, "Predistorter Implementation of SLD in Fiber-Optic Wireless Systems," *IEICE Trans. Electron.*, vol. E79-C, no. 1, pp. 52-59, Jan, 1996.
- [7] Hirofumi Ichikawa, Hiroyuki Ohtsuka and Takehiro Murase, "Fiber-Optic Microcell Radio System with a Spectrum Delivery Switch," *IEICE Trans. Electron.*, vol. E76-C, no. 2, pp. 279-286, Feb, 1993.
- [8] Winston I. Way, "Subcarrier Multiplexed Lightwave System Design Considerations for Subscriber Loop Applications," *J. Lightwave of Technol.*, vol. 7, no. 11, pp. 1806-1818, Nov, 1989.
- [9] James C. Daly, "Fiber Optic Intermodulation Distortion," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-30, no. 8, pp. 1954-1958, Aug, 1982.
- [10] Muhammad Taher Abuelma'atti, "Carrier-to-Intermodulation Performance of Multiple FM/FDM Carriers Through a GaAlAs Heterojunctin Laser Diode," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-33, no. 3, pp. 246-248, Mar, 1985.
- [11] John G. Proakis and Masoud Salehi, *Communication Systems Engineering*, Prentice Hall, pp.467-505, 1994.

유진태(Jin-Tae Yu) 정회원



1996년 2월 : 고려대학교  
전자공학과, 학사  
1998년 2월 : 고려대학교  
전자공학과, 석사  
1998년 3월~현재 : 고려대학교  
전자공학과 박사과정

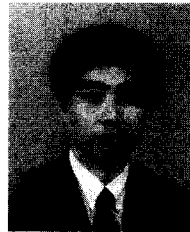
<주관심 분야> 광전송시스템, 광/무선 통신망 설계

최영우(Young-Woo Choi) 정회원



1998년 2월 : 고려대학교  
전자공학과, 학사  
1998년 8월~현재 : 고려대학교  
전자공학과 석사과정  
<주관심 분야> 광전송시스템,  
이동통신

김용범(Yong-Bum Kim) 정회원



1985년 2월 : 고려대학교  
전자공학과, 학사  
1987년 2월 : 서울대학교  
전자공학과, 석사  
1997년 3월~현재 : 고려대학교  
통신시스템기술학과  
박사과정

1987년 7월~현재 : 한국통신 선임연구원

<주관심 분야> 초고속 광전송시스템, 광섬유 분산  
보상

이명문(Myung-Moon Lee) 정회원



1991년 2월 : 고려대학교  
전자공학과, 학사  
1993년 2월 : 고려대학교  
전자공학과, 석사  
1997년 3월~현재 : 고려대학교  
전자공학과 박사과정

1993년 2월~1996년 10월 : LG전자 멀티미디어 연  
구소 주임연구원

<주관심 분야> 광통신망 설계, 광통신망 관리

이용원(Yong-Won Lee) 정회원



1997년 2월 : 고려대학교  
전자공학과, 학사  
1999년 8월 : 고려대학교  
전자공학과, 석사  
1999년 9월~현재 : 고려대학교  
전자공학과 박사과정

<주관심 분야> 초고속 광전송에서 비선형 현상의 분  
석 및 보상



박진우(Jin-Woo Park)

정회원

(한국통신학회 논문지 제24권 9A호 참조)

1979년 3월: 고려대학교 전자공학과, 학사

1983년 8월: 클렘슨대학교 전기공학과, 석사

1987년 11월: 버지니아 주립대학교, 박사

1988년 3월~1989년 2월: 명지대학교 전자공학과

1989년 3월~현재: 고려대학교 전자공학과 교수

<주관심 분야> 광전송시스템, 광교환시스템, 광통신  
망