

# 피드포워드 보상회로를 적용한 아날로그 광 송신기의 ACPR과 잡음 레벨 개선

Enhancement of ACPR and Noise level of Analog Optical Transmitter  
by Feedforward Compensation

이준재, 박상현, 윤영설, 최영완  
중앙대학교 전자전기공학부 전파·광파 통신 연구실  
Joon-Jae Lee, Sang-Hyun Park, Young-Seol Yun and Young-Wan Choi  
School of Electronic and Electrical Engineering, Chung-Ang University  
Microwave & Lightwave Telecommunication lab.

## Abstract

The optical fiber micro-cellular system requires the high linearity that determines the quality and capacity of system. Hence, there is a need for improving the linearity in mobile communication system. In order to compensate dispersion-induced signal distortion, we fabricated the optical feedforward transmitter. The compared 3rd-IMD was enhanced by 38 dB for two-tone case and the Adjacent Channel Power Ratio was enhanced by 20 dB for W-CDMA 1 carrier and by 16 dB for W-CDMA 3 carriers. Also, the induced noise level was reduced.

## Keywords

optical transmitter, 3rd-IMD, feedforward, ACPR, noise level

## I. 서 론

시스템의 선형성 개선을 위한 피드포워드 보상 기법(Feedforward Compensation)은 다른 선형

화 방식에 비해 좋은 선형성과 안정된 동작특성을 보인다. 광 피드포워드 기법은 이미 여러 문헌에서 소개된 바 있다 [1] [2] [3]. 과거의 연구에서 CATV 시스템의 선형성을 개선하였고, FP 레이저 다이오드의 잡음을 줄였다. 하지만 불행하게도 광 피드포워드 기법의 발전은 조정의 어려움과 시스템의 복잡성 때문에 제한을 받아왔다. 현재의 좁은 대역폭과 단거리의 광 파이버 마이크로 셀룰라 시스템은 높은 선형성을 요구하고 [4], 이러한 선형성 개선을 위해 광 피드포워드 방식이 요구된다.

3차 상호변조왜곡(3rd-IMD) 성분은 신호 주파수 대역에 발생하여 시스템의 동작에 영향을 미치게 되고 또한, 그 왜곡 성분들은 피드포워드 보상기법을 이용한 아날로그 광송신기에서 조차 반도체 레이저 다이오드의 잡음강도보다 상대적으로 크다 [1]. 본 논문에서는 개선된 피드포워드 광송신기를 제작하여 2.1 GHz 투톤(Two-tone)의 경우와 W-CDMA신호에 대해서 각각 3rd-IMD 개선과 인접채널대역비(ACPR: Adjacent Channel Power Ratio)의 성능 향상 실험을 하고 레이저 다이오드의 잡음 레벨의 상쇄량을 측정할 내용을 기술하였다.

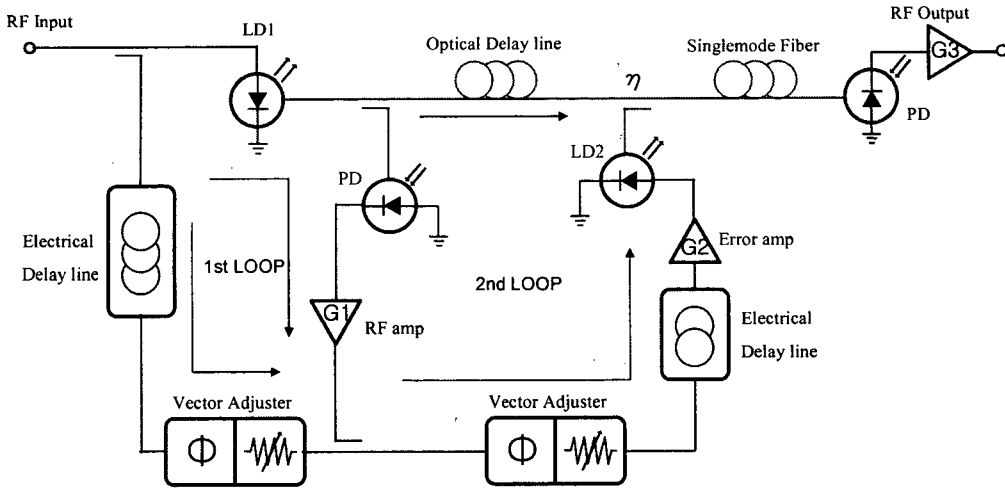


그림 1. 피드포워드 보상회로를 적용한 아날로그 광 송신기의 블록다이어그램

## II. 본 론

### 1. 광 송신기의 3rd-IMD 개선

그림 1은 피드포워드 보상회로를 적용한 아날로그 광 송신기의 블록다이어그램이다. 이 광 송신기는 그림 1에서와 같이 신호 상쇄 루프와 에러 상쇄 루프, 두개의 상쇄 루프를 가지고 있다. 신호 상쇄 루프는 임의의 크기를 가진 RF 입력신호가 임의의 인가전류 조건에 의하여 첫 번째 레이저 다이오드(LD1)에서 출력된 비선형 왜곡 성분을 포함한 광 신호를 광 커플링한 후 변환된 RF 신호와 LD1에 입력되기 전의 RF 신호를 벡터적으로 결합함으로써 LD1으로 인하여 발생한 성분들 중 비선형 왜곡 성분만을 추출하는 역할을 한다. 에러 상쇄 루프에서는 신호 상쇄 루프를 거친 비선형 왜곡 성분을 두 번째 레이저 다이오드(LD2)를 이용하여 광 변환하여 LD1에서 출력된 비선형 왜곡 성분을 포함한 광 신호와 광 커플링을 통해 결합하여 송신한다. 이 실험에서 최대의 3rd-IMD 개선 효과를 보이기 위해서는 LD1으로부터 발생한 비선형 왜곡 성분과 출력된 선형화 보상을 위한 에러 신호 성분이 같은 크기와 180°의 위상 차이를 가져야 하고, 두 신호가 벡터적으로 합성되어야 비로소 비선형 왜곡 성분을 감소 혹은 제거할 수 있게 된다. 또한 제안된 광 송신기에서는 레이저 다이오드 고유의 잡음 성분도 제거된다.

그림 2는 제작된 피드포워드 광 송신기에서

RF 입력신호의 변화와 LD1의 파워 변화에 따른 3rd-IMD를 측정하기 위한 투톤 실험결과이다. 이 때 실험조건은 LD1의 출력 광파워가 0.34 mW 이고, LD2의 출력 광파워는 2.4 mW이다. RF 입력 신호는 중심주파수 2.14 GHz 에서 주 신호의 주파수 간격이 1 MHz이고, RF 입력신호가 -8 dBm에서 4 dBm까지 변할 때 광송신기에서 수신된 RF 신호의 3rd-IMD 값을 측정하였다. 그림 2에서 흰 점은 피드포워드 보상회로를 적용하지 않은 광 송신기에서 출력된 3rd-IMD의 값이고, 검은 점은 피드포워드 보상회로를 적용한 광 송신기에서 출력된 값이다. 측정 결과는 평균적으로 약 33 dBc ~ 38 dBc의 상쇄량을 보여준다. 이는 최적화된 값을 바탕으로 피드포워드 보상회로에서 전압가변 감쇄기와 위상 천이기를 최적의 상황을 위하여 재조정된 결과이다.

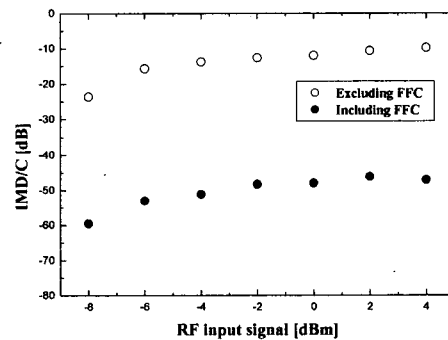


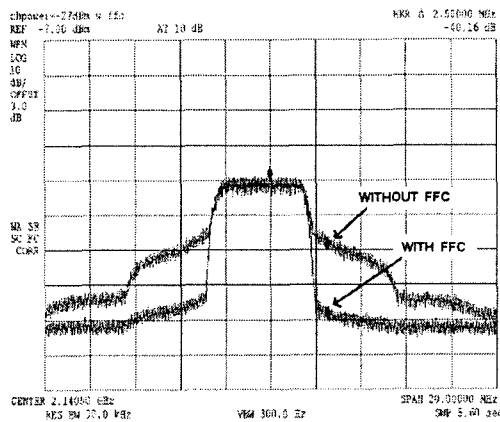
그림 2. 중간 주파수는 2.14 GHz 인 투톤 실험의 경우, 피드포워드 보상회로 적용 전과 후의 3rd-IMD 성분의 비교

## 2. W-CDMA 신호에 대한 ACPR 개선

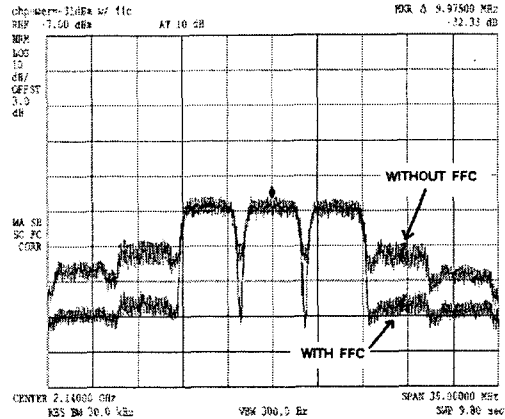
본 연구에서 제작된 피드포워드 아날로그 광 송신기는 2.1 GHz 대역의 W-CDMA 광 파이버 마이크로 셀룰라 시스템에 적용을 목표로 설계되었다. 따라서 제작된 피드포워드 광 송신기에 입력신호를 투 톤 신호가 아닌 W-CDMA 신호를 인가하여 ACPR의 성능 향상 역시 이루어 졌을 때 그 실제적인 목적을 이루었다고 볼 수 있다. 이때 실험조건은 주 발광부의 출력 광 파워가 1.34 mW이고, 보조 발광부의 출력 광 파워는 2.4 mW이다. RF 입력신호는 중심주파수 2.14 GHz 에서 3.64 MHz의 대역을 갖는 W-CDMA 신호를 인가하였다. 그림 3은 RF 입력신호가 -4 dBm일 때 수신된 RF 신호의 스펙트럼 형상 (spectrum mask)을 W-CDMA 신호가 각각 1 개일 때와 3개일 때를 보여주고 있다. 피드포워드 보상회로가 적용되지 않았을 때 약 20 dBc이던 ACPR이 피드포워드 보상회로를 적용한 후에는 그림 3. (a)에서 약 40 dBc로 약 20 dB 개선이 됨을 알 수 있다. 또한 그림 3. (b)의 경우처럼 W-CDMA 신호가 3개일 경우에도 역시 ACPR 값은 약 14 dBc 에서 30 dBc로 약 16 dB 개선 됨을 알 수 있다. 이 결과는 아래의 식 1을 고려하여 비교하면 그림 2의 투톤 실험결과에서 38 dBc의 3rd-IMD 신호의 개선과 비슷한 값을 알 수 있다.

$$10 \log_{10}(1.23 \text{ MHz} / 30 \text{ kHz}) = 16.13 \text{ dB}$$

$$10 \log_{10}(3.84 \text{ MHz} / 30 \text{ kHz}) = 21.07 \text{ dB} \quad (1)$$



(a)



(b)

그림 3. 피드포워드 보상회로의 적용에 따른 W-CDMA 신호의 측정 결과. (a) W-CDMA 1 개 신호의 경우 (b) W-CDMA 3개 신호의 경우

## 3. 광 송신기의 잡음 레벨 개선

피드포워드 보상회로를 적용한 아날로그 광 송신기의 잡음은 레이저 다이오드, PD 그리고 RF 증폭기에 의한 발생으로 크게 세가지로 구분할 수 있다.

레이저 다이오드의 잡음은 자연 방출 (Spontaneous emission)과 외부 소자들에 의한 빛의 재반사(Backreflection)로 인해 생성되고, 주로 상대 강도 잡음(RIN: Relative Intensity Noise)으로 나타낼 수 있다. 그리고 광 신호에 대응하여 나타나는 PD에서의 전류밀도에 의한 산탄 잡음(Shot Noise) 성분과 RF 증폭기에서는 입력 임피던스에 의해서 발생하는 열잡음 성분으로 존재한다.

결과적으로 LD1의 RIN 성분이 광 커플러를 통해 직접 최종 수신기로 흐르는 경로와 피드포워드 보상회로를 통해 흐르는 경로로 전달되는데, 두 경로로 흐르는 LD1의 RIN 성분은 서로 상관관계를 가지기 때문에 이 두 개의 잡음 성분이 최종 수신기에서 서로 반대의 위상을 가지고 정확히 정합될 때 잡음 성분의 상쇄가 나타날 수 있다.

아래 그림 4의 (a)와 (b)는 각각 RF 신호를 입력하지 않고 피드포워드 보상회로를 적용하였을 때와 적용하지 않았을 때의 잡음 레벨을 측정한 것이다. 측정 결과, 2.14 GHz에서 주 신호와 에러 신

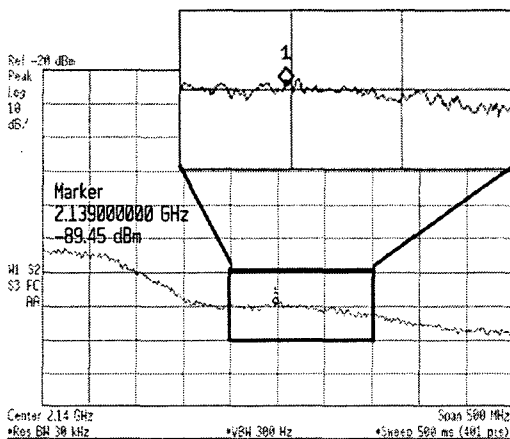
호의 위상과 크기가 정합된 경우 2.09 GHz ~ 2.24 GHz의 주파수 영역에서 잡음 레벨이 최대 7 dB 감소함을 확인하였다. 이때 스펙트럼 분석기 (Spectrum Analyzer)의 RBW는 30 kHz로 하였다.

### III. 결 론

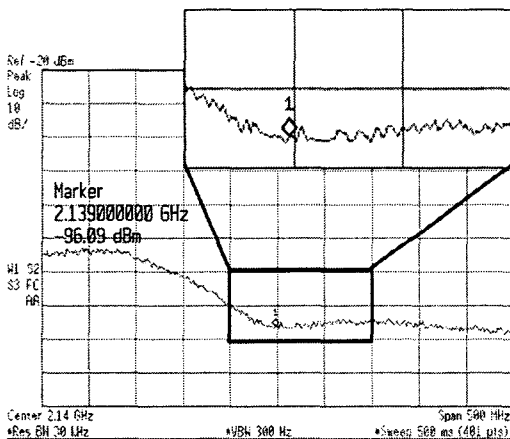
본 논문의 측정결과는 3rd-IMD 성분이 입력 신호의 크기가 -8 dBm ~ 4 dBm의 범위에서 최대 38 dB 줄어들었음을 보여주었다. 그리고 W-CDMA 실험에서는 입력 캐리어의 수에 따라서 W-CDMA의 ACPR은 약 16 dB ~ 20 dB가 개선되었음을 확인하였다. 입력 신호를 인가하지 않은 잡음 레벨의 측정에서도 2.09 GHz ~ 2.24 GHz의 주파수 영역에서 잡음 레벨이 최대 7 dB 감소하였다.

### 【참고문헌】

- [1] L.S.Fock, A. Kwan, and R.S.Tucker, "Reduction of Semiconductor Laser Intensity Noise by Feedforward Compensation: Experimental and Theory" IEEE Journal of Lightwave Technology, Vol.10, No.12, pp.1919~1925, DEC. 1992.
- [2] D.Hassin and R. Vahldieck, "Feedforward Linearization of Analog Modulated LDs-Theoretical Analysis and Experimental Verification,"IEEE Trans. On MTT, Vol.14, No.12, pp. 2376 2382, DEC. 1993.
- [3] B.Buxton and R. Vahldieck, "Noise and Intermodulation Distortion Reduction in an optical feedforward Transmitter," IEEE MTT-S, pp. 1105-1108, 1997.
- [4] J.C.Daly, "Fiber Optic Intermodulation Distortion," IEEE Trans. On Communications, Vol. COM-30, No. 8, pp.1954 1958, Aug. 1982.



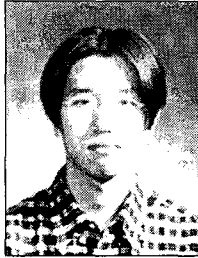
(a)



(b)

그림 4. 피드포워드 보상회로의 적용에 따른 잡음 레벨의 측정 결과. (a) 보상회로 적용전의 잡음 레벨 (b) 보상회로 적용후의 잡음 레벨

Biography



**이 준 재**  
2004년 중앙대학교 전자전기공학부 졸업  
2005년 중앙대학교 대학원 전자전기공학부 재학  
<주관심분야> Microwave-Photonics, 광통신  
<이메일> neonpooh@wm.cau.ac.kr

kr



**박 상 현**  
1995년 홍익대학교 전자공학과 졸업  
1997년 홍익대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
2004년 중앙대학교 대학원 전자전기공학부(공학박사)  
2004년~현재 특허청 전기전자심사국 심사관, 공학박사

<주관심분야> Microwave 능동소자 설계 및 해석, 이동통신용 RF시스템 설계, Microwave- Photonics  
<이메일> shpark@wm.cau.ac.kr



**윤 영 설**  
1998년 중앙대학교 전자공학과 졸업  
2000년 중앙대학교 첨단영상대학원(공학석사)  
2005년 ~현재 중앙대학교 전자전기공학부(박사과정)  
<주관심분야> FDTD, Numerical

Analysis, Microwave-Photonics  
<이메일> duddnd@empal.com



**최 영 완**  
1985년 서강대학교 전자공학과 졸업  
1987년 버팔로 뉴욕주립대 대학원 전기 및 컴퓨터공학과(공학석사)  
1992년 버팔로 뉴욕주립대 대학원 전기 및 컴퓨터공학과(공학박사)

1993년 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원  
1995년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수  
<주관심분야> 광전자, 광통신, 광스위칭 시스템 및 소자  
Microwave-Photonics, Optical-CDMA  
<이메일> wchoi@cau.ac.kr