

논문 2005-42TC-2-9

# 사전위상 왜곡을 이용한 IEEE 802.11a OFDM 무선랜 전력증폭기 위상왜곡 특성분석

(Analysis of Power Amplifier Phase Distortion Characteristics for IEEE 802.11a OFDM Wireless LAN Using Phase Predistortion)

오 정 균\*, 최 재 홍\*, 구 경 현\*

(Chung Gyun Oh, Jae Hong, Choi, and Kyung Heon Koo)

## 요 약

본 논문에서는 5.8GHz 무선랜에 적용할 수 있는 전력증폭기를 설계 및 제작하였다. 제작된 전력증폭기는 2단으로 구성되며 측정결과 중심주파수 5.8GHz에서 21.6dBm의 P1dB 출력전력과 100MHz 대역에서 17.6dB 이득과 -17.8dB 이하의 입력반사손실을 얻었다. 설계된 전력증폭기의 왜곡과 출력 ACPR 관계를 분석하기 위해, 최대 54Mbps의 전송속도를 가지는 IEEE 802.11a OFDM 변조부와 송신부를 모델링하였다. 전력증폭기의 비선형특성은 behavioral model을 이용하여 AM-to-AM과 AM-to-PM으로 모델링하였으며, 위상 왜곡에 따른 출력스펙트럼 특성을 해석하였다. IEEE 802.11a 무선랜 시스템의 요구 출력스펙트럼 마스크를 만족하기 위한 P1dB로부터 back-off값을 구하기 위하여 위상왜곡에 따른 전력증폭기의 ACPR 특성을 시뮬레이션하고 사전왜곡방식을 이용하여 증폭기의 위상왜곡을 변화시키며 측정된 결과와 시뮬레이션 특성을 비교 제시하였다.

## Abstract

In this paper, 2-stage power amplifier has been designed for 5.8GHz wireless LAN application. The power amplifier P1dB output power has 21.6dBm at 5.8GHz frequency. Also the power amplifier shows 17.6dB gain and -17.8dB input return loss at 5.725GHz to 5.825GHz. The OFDM modulation and transmission block have been modeled in order to analyse the relationship between the power amplifier distortion and output ACPR for the IEEE 802.11a wireless LAN. The nonlinear characteristic of the power amplifier has been modeled as AM-to-AM and AM-to-PM using the behavioral model, and the output spectrum is analysed with the phase distortion variation. Also, amplifier back-off value from P1dB to satisfy the required IEEE 802.11a standard spectrum mask has been simulated with phase distortion, and the simulation data have been compared to the measurement result collected by using the pre-distortion technique.

**Keywords:** frequency regrowth, OFDM, back-off, distortion, ACPR

## I. 서 론

고속 무선 데이터 전송을 위해 5GHz 대역의 U-NII (Unlicensed N-II) 밴드에 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 변조방식을 사용해 최대 54Mbps의 전송속도를 지원하는 IEEE 802.11a 표준안이 사용되

고 있다.<sup>[1]</sup> 표 1.은 802.11a 무선LAN 송신부 특성을 나타내고 있다.<sup>[1,10]</sup> OFDM 변조방식 시스템은 상호 직교성을 갖는 복수의 반송파를 사용하므로 주파수 이용효율이 높고, 멀티 패스에 강한 특성이 있어 이에 따른 심볼간 간섭(ISI)을 줄일 수 있으나 전송로 상에서 발생하는 비선형 왜곡에 민감하다는 단점이 있다. 따라서 충분한 선형영역에서 사용할 필요가 있다.<sup>[2-6]</sup> 무선 LAN 및 무선 장비의 송신부 전력 증폭기는 ACPR, IMD3, 이득과 위상 압축, 등 여러 가지의 비선형 왜곡 특성을 갖는다. 이런 비선형 왜곡에 의하여 스펙트럼 재성장이 일어나고, 이는 인접한 채널에 간섭과 시스템의 선형성을 저하시키는 요인이 된다. 디지털 신호 변조 방식에

\* 정희원, 인천대학교 전자공학과  
(Dept. of Electronics Engineering, University of Incheon)

※ 본 연구 중 일부는 인천대학교 멀티미디어 연구센터를 통한 지역연구센터 프로그램에 의하여 수행되었음.

접수일자: 2004년11월19일, 수정완료일: 2005년1월4일

표 1. 802.11a 무선LAN 송신부 특성 [11][10]  
Table 1. 802.11a Wireless LAN transmitter spec. [11][10]

Frequency band	5.15~5.24,525~5.35,5.725~5.825GHz
Carrier numbers	52(48data and pilots)
Subcarrier frequency spacing	0.3125MHz
Channel bandwidth	16.25MHz
Data rate	6~54Mbps
Carrier type	OFDM
Modulation	BPSK,QPSK,16QAM,64QAM
Spectrum mask	-20dBc@11MHz -28dBc@20MHz -40dBc@30MHz

서의 전력 증폭기는 고효율과 선형성을 동시에 요구하고 있으며 전력 증폭기의 선형성을 나타내는 사양으로는 ACPR (Adjacent channel power ratio) 특성과 3차 상호 혼변조 왜곡 (Third order intermodulation distortion : IMD3)을 많이 사용하게 된다.[7-11]

본 논문에서는 다수반송파 변조방식에서 전력증폭기의 비선형 왜곡에 따른 ACPR 특성해석을 위해 5.8GHz 대역의 무선 LAN에 적용 가능한 전력증폭기를 설계하였고 설계된 전력증폭기의 측정결과를 바탕으로 증폭기의 비선형 왜곡특성을 나타내는 AM-to-AM 및 AM-to-PM을 모델링 하였다. 이 모델링을 통하여 변조 방식에 따른 요구 ACPR을 만족하는 위상왜곡 정도를 시뮬레이션하고 측정하였다.

II. 5.8GHz 무선 LAN 전력증폭기 구현 및 측정

본 논문에서는 고속 무선 LAN에 활용할 수 있는 5.725GHz~5.825GHz의 100MHz 대역을 갖고 10V의 동작전압에서 20dB 이상의 이득을 갖는 2단 전력증폭기를 설계 및 제작하고자 하였다. 그림 1과 같은 구조로 2개의 FET를 직렬로 연결하여 각각 12dB, 8dB이상의 이득을 얻을 수 있도록 전력증폭기를 설계 하였다. 그림 2는 제작된 2단 증폭기를 네트워크 분석기를 이용 4~8GHz의 주파수 범위에서 측정한소신호 S-parameter 결과이다. 측정결과 중심주파수 5.8GHz에서 17.6dB의 이득과 100MHz대역에서 17.98dB~17.51dB의 이득을 얻었으며, 중심주파수 5.8GHz에서 -19.1dB이하의 입력 반사손실을 얻었다. 이득에서 설계치보다 약 2.4dB 정도의 차이를 보이고 있는데 실제 측정시 안정도를 위하여 추가한 저항에 의한 손실이라고 하겠다. 표 2에 논문에서 전력증폭기의 비선형 왜곡특성을 분석하기위해

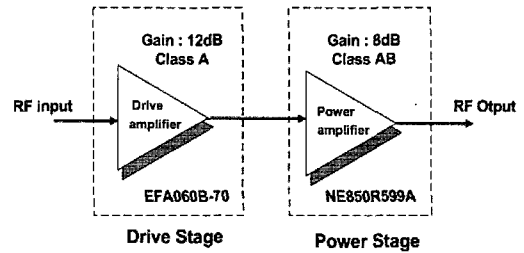


그림 1. 2단 전력 증폭기의 설계 구조  
Fig. 1. Design structure of 2 stage power amplifier.

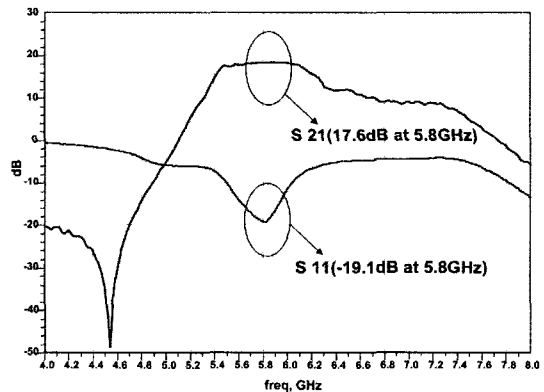


그림 2. 2단 전력 증폭기의 S21,S11 측정결과  
Fig. 2. Measured gain, input return loss characteristic of the 2 stage power amplifier.

표 2. 전력증폭기의 시뮬레이션과 측정결과 비교  
Table 2. A characteristic comparison of simulation result with measured result.

측정 항목	시뮬레이션 결과	측정 결과
Frequency(GHz)	5.725~5.825	5.725~5.825
Linear Gain(dB)	19.5	17.6
Output Power at P1dB(dBm)	22	21.6
Input return loss (dB)	-20	-19.1

서 제작된 2단 전력증폭기의 시뮬레이션 값과 측정값을 나타내고 있으며, 그림 3에는 -5dBm에서 10dBm의 입력전력에 대한 출력전력을 나타내는 AM-to-AM 특성 측정결과와 입력전력에 따른 위상왜곡인 AM-to-PM 특성 측정결과를 보여주고 있다.

측정 결과 전력증폭기의 P1dB에서의 출력전력은 21.6dBm을 나타내고 있으며 입력 P1dB는 5dBm이다. 또한 AM-to-PM 측정결과 입력 P1dB까지는 위상왜곡이 1.5° 이내의 위상 변화 특성을 나타내고 있으며 이후 입력전력의 증가에 따라 위상변화가 일어남을 알 수 있었다.

### III. 변조부 및 송신부 구현

본 장에서는 OFDM 변조방식을 이용한 5.8GHz 무선 LAN 시스템에서 요구하는 ACPR을 만족하는 전력증폭기 사양을 제시하기 위해, 시스템 시뮬레이터를 사용하여 OFDM 변조부와 송신부를 모델링했다.

5.8GHz 대역의 OFDM 무선LAN 시스템에 대한 출력스펙트럼은 IEEE 802.11a 표준에서 규정하고 있으며, 시뮬레이션에서는 5.8GHz OFDM 신호원을 IEEE 802.11a 표준안에 근거하여 모델링하였다.<sup>[1]</sup> 그림 4는 시스템 시뮬레이터에서 구현한 IEEE802.11a 무선랜 시스템 송신부의 기저대역 처리부, 변조부, RF 부분을 포함한 송신부 블록도이며, 본 연구에서는 IEEE 802.11a 표준안에 근거하여 54Mbps의 데이터 전송속도를 갖는 5.8GHz OFDM 무선LAN 시스템을 모델링 하였다.

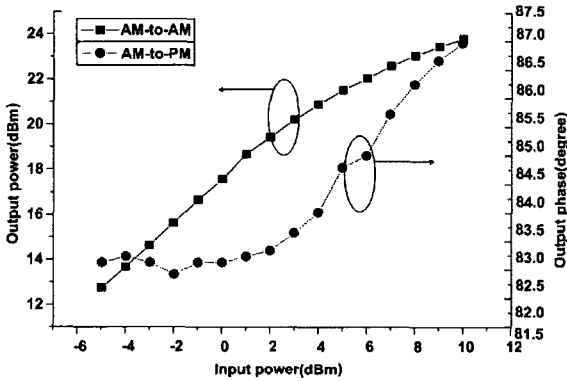


그림 3. 구현된 2단 전력증폭기의 AM-to-AM과 AM-to-PM 특성.(5.8GHz)

Fig. 3. AM-to-AM and AM-to-PM characteristics of the realized 2 stage power amplifier.(at 5.8GHz)

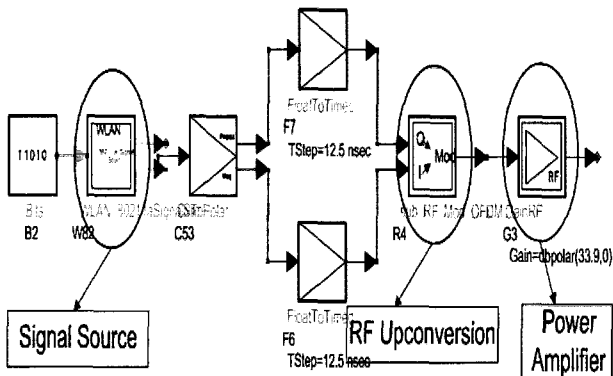


그림 4. IEEE 802.11a 무선LAN 시스템 시뮬레이션에서 구현한 베이스밴드부, 변조부, 송신부

Fig. 4. The modeling of a baseband, a modulation part, and a transmitting part that we have implemented in the IEEE802.11a wireless LAN system simulation.

### IV. AM-to-PM 왜곡에 의한 ACPR 특성 시뮬레이션 결과

송신부 시스템의 성능을 좌우하는 전력증폭기는 이상적인 경우 출력신호가 입력신호에 비례하여 선형적으로 증폭되나 실제 전력증폭기는 비선형성을 가지며, 이러한 비선형특성은 AM-to-AM 과 AM-to-PM으로 분석되어질 수 있다. 이것은 입력 전력에 따른 진폭과 위상의 변화특성으로 시스템의 출력에 영향을 주어 주파수 재성장을 가져오며, 시스템의 성능을 저하시키는 요인이 된다. 일반적으로 AM-to-AM 특성은 낮은 차수 고조파 성분에 영향을 미치고, AM-to-PM 특성은 높은 차수 고조파 성분에 영향을 미친다고 알려져 있다.<sup>[6]</sup> AM-to-AM 특성은 진폭응답을 통하여 모델링 될 수 있으며 P<sub>1dB</sub>나 IP<sub>3</sub>로 이해될 수 있다. 그러나 AM-to-PM 특성은 중요한 특성임에도 불구하고 많은 연구가 진행되지 않았다.<sup>[12]</sup>

본 논문에서는 5.8GHz 대역 전력증폭기의 위상왜곡 정도를 모델링하기 위해 설계된 전력 증폭기의 특성을 분석하고자 하였고 입력 진폭에 따른 출력 진폭 및 위상 왜곡 특성을 측정하였다. 측정된 결과를 바탕으로 실제 측정치를 인가하여 ACPR특성을 시뮬레이션 하였고 그림 5는 설계된 전력증폭기의 출력스펙트럼을 나타내고 있다. IEEE 802.11a 표준마스크를 만족 하기 위하여 입력을 변화시켜가면서 시뮬레이션한 결과 P<sub>1dB</sub>에서 1.5dB back-off된 3.5dBm 입력전력에서 표준마스크를 만족하였다.

전력증폭기의 스펙트럼 재성장 특성분석을 위해 측정결과를 바탕으로 AM-to-AM 특성을 모델링하였고 위상왜곡에 따른 출력스펙트럼을 분석하기 위해서

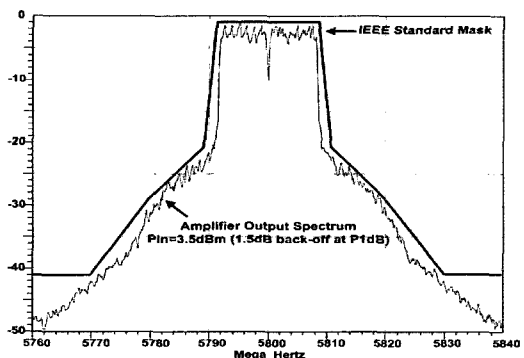


그림 5. 1.5dB back-off된 입력전력에서 ACPR 특성의 시뮬레이션 결과(Pin=3.5dBm)

Fig. 5. Simulation result of ACPR characteristic at the input power of 1.5dB back-off.(Pin=3.5dBm)

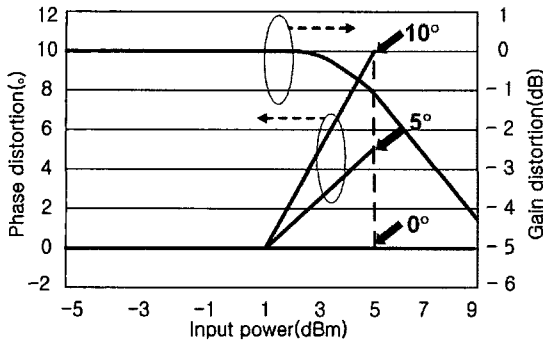


그림 6. AM-to-AM과 AM-to-PM 모델링  
Fig. 6. AM-to-AM and AM-to-PM modeling.

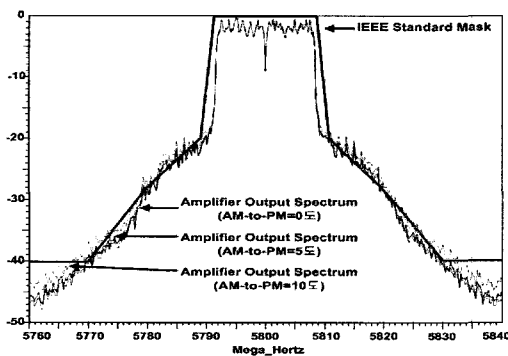


그림 7. 위상왜곡에 따른 ACPR 특성의 시뮬레이션 결과 (Pin=5dBm)  
Fig. 7. Simulation result of ACPR characteristic with phase distortion.(Pin=5dBm)

P<sub>1</sub>dB점인 입력전력 5dBm에서 각각 5° 간격으로 0°, 5°, 10°의 선형 위상왜곡 특성을 갖도록 모델링하였다. 그림 6은 스펙트럼분석을 위한 AM-to-AM과 AM-to-PM 모델링을 나타내고 있다. 전력증폭기의 위상왜곡에 따른 출력스펙트럼이 IEEE 802.11a 표준의 요구 스펙트럼 마스크를 만족하는지 살펴보기 위하여 모델링된 AM-to-PM을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 그림 7은 입력전력이 1dB 압축점인 5dBm인 값에서 0°, 5°, 10°로 모델링된 위상왜곡에 따른 전력 증폭기의 출력스펙트럼을 나타내고 있으며, 위상왜곡 값에 무관하게 표준에서 요구하는 스펙트럼 마스크를 만족하지 못함을 알 수 있고, 위상왜곡의 증가에 따라 주파수 재성장이 일어남을 알 수 있다.

V. 사전위상 왜곡을 이용한 위상왜곡 영향 측정

본 논문에서는 시스템 시뮬레이션을 통해 AM-to-PM 왜곡에 따른 주파수 재성장 및 출력 스펙트럼 특성을 예측할 수 있었다. 그러나 설계한 전력증폭기의 경우 입력 P<sub>1</sub>dB까지 위상왜곡이 1.5° 이내의 위상변화

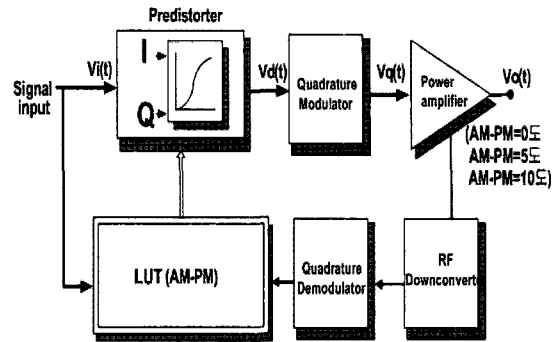


그림 8. LUT을 이용한 사전위상 왜곡방식 블록도  
Fig. 8. Predistortion block diagram using LUT method.

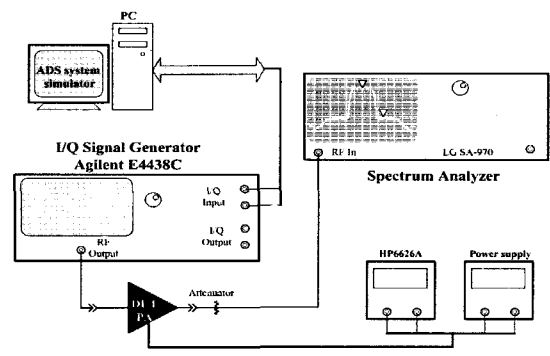


그림 9. ACPR 특성 측정을 위한 시스템 구성도  
Fig. 9. Block diagram of the ACPR characteristic measurement system in this paper.

특성을 나타내는 선형적인 특성을 갖고 있다. 따라서 본 논문에서는 테이블참조방식인 LUT (Look Up Table) 방식을 이용한 사전 왜곡 방식을 이용하여 위상 왜곡에 따른 출력스펙트럼을 측정하는 방법을 제안하였다. 사전왜곡의 경우 전력증폭기의 AM-to-PM 특성이 P<sub>1</sub>dB 점인 입력전력 5dBm에서 각각 0°, 5°, 10°의 선형 위상왜곡 특성을 갖도록 모델링 하였다. 사전왜곡을 준 경우의 측정된 출력 스펙트럼과 앞에서 언급하였듯이 시뮬레이션으로 확인한 behavioral model을 이용해 전력증폭기의 특성을 모델링한 경우의 출력 스펙트럼을 비교한 결과 두 경우의 위상 왜곡에 따른 ACPR 특성이 유사한 특성을 갖는다는 것을 확인하였다. 그림 8에는 증폭기의 비선형 위상왜곡 특성을 구현하기 위하여 LUT 방식을 이용한 사전왜곡시스템을 구성한 블록도를 도시하였다. 시스템의 구성은 시스템 시뮬레이터를 이용하여 구현하였다. 그림 9에는 사전왜곡을 이용하여 진행된 본 논문의 측정 시스템 구성도를 보여 주고 있다. 시스템 시뮬레이터에서 구현한 IEEE 802.11a 무선 LAN 신호는 GPIB를 통해 합성신호파형 발생기인 ESG 4438C로 인가되어 구현하고, 이 신호는 전력증폭기에 인가되며 출력 스펙트럼은 스펙트럼 분석

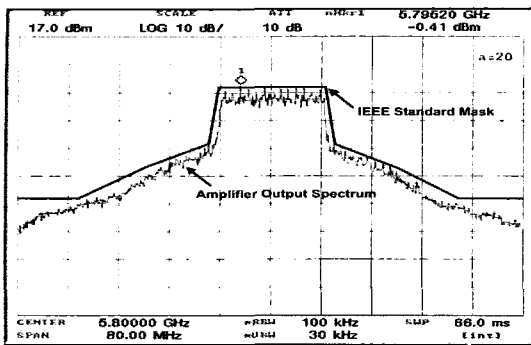
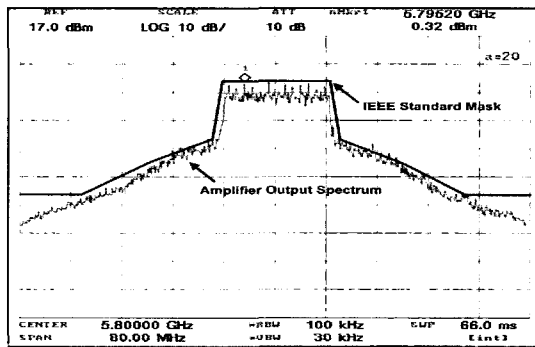
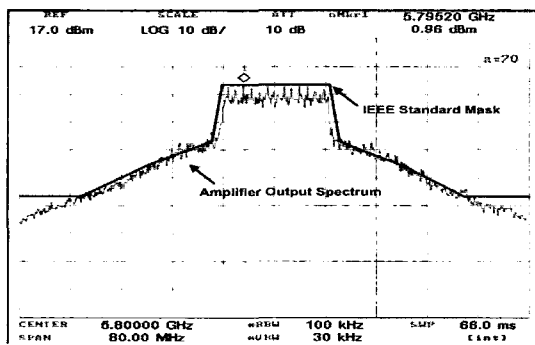


그림 10. 1.5dB back-off된 입력전력에서 ACPR 특성의 측정결과. (Pin=3.5dBm)

Fig. 10. Measurement result of ACPR characteristic at the input power of 1.5dB back-off. (Pin=3.5dBm)



(a)AM-to-PM=5°



(b)AM-to-PM=10°

그림 11. 위상왜곡에 따른 출력스펙트럼 (Pin=5dBm)

Fig. 11. Output spectrum with phase distortion. (Pin=5dBm)

기를 통해 측정하였다.

그림 10은 설계한 전력증폭기를 1.5dB back-off된 입력전력에서 ACPR 특성의 측정결과(Pin=3.5dBm)를 나타내고 있다. IEEE 802.11a 표준마스크를 만족하기 위하여 입력을 변화시켜가며 측정한 결과 P<sub>idB</sub>에서 1.5dB back-off된 때인 입력전력이 3.5dBm에서 출력스펙트럼 마스크를 만족하였다. 그림 11(a), (b)에는 그림 8과 9의 시스템을 이용하여 P<sub>idB</sub>점인 입력전력 5dBm에서 각각

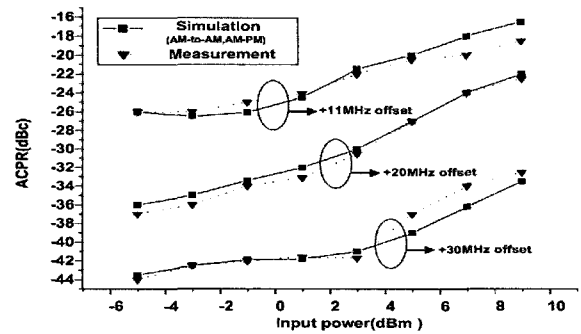


그림 12. 입력에 따른 사용 증폭기의 ACPR 특성 비교  
Fig. 12. The ACPR characteristic comparison with the increasing input power for the test amplifier.

위상왜곡 특성인 AM-to-PM 특성이 5°, 10°일 경우의 출력스펙트럼을 측정 한 결과를 나타내고 있다. 출력스펙트럼은 시뮬레이션한 결과인 그림 7과 거의 유사한 특성을 나타내고 있다. 시뮬레이션에서 예측한 바와 같이 1dB 압축점에서는 진폭 및 위상 왜곡에 따라 출력스펙트럼의 재성장이 일어나 표준스펙트럼 마스크를 만족하지 못함을 확인할 수 있었다. AM-to-PM 왜곡에 의해 IEEE 802.11a 표준스펙트럼 마스크 규격을 벗어나는 위상왜곡 정도를 측정하고자 표준마스크를 만족하는 1.5dB back-off 전력인 입력전력 3.5dBm에서 선형적인 위상변화에 따른 출력스펙트럼을 측정하였다. 측정 결과 입력전력 3.5dBm인 경우 위상왜곡이 7° 이상일 때 표준스펙트럼 마스크를 벗어나는 것을 측정을 통해 알 수 있었다.

그림 12는 본 논문에서 제작한 2단 전력증폭기를 중심주파수에서 +11MHz offset, +20MHz offset, +30MHz offset 인 주파수에서 입력전력에 따른 ACPR 특성 결과를 보기 위하여 진폭 및 위상 왜곡을 behavioral model을 이용한 경우의 시뮬레이션 결과와 측정결과를 비교한 것이다. 그림에서 입력전력 전범위에서 측정치와 시뮬레이션 값이 1-2dB 이내의 차이로 거의 유사한 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 입력 전력이 3.5dBm 이상일 때는 출력스펙트럼 마스크 규격을 만족하지 못하므로 1.5dB의 back-off가 요구됨을 알 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.11a OFDM 무선 LAN 시스템에서 전력증폭기의 위상 왜곡에 따른 출력 스펙트럼의 특성에 대해 분석하고자 하였으며, 이를 위해 5.8GHz 무선랜에 적용할 수 있는 전력증폭기를 설계

및 제작하였다. 제작된 2단 전력증폭기는 중심주파수 5.8GHz에서 21.6dBm의 P1dB출력과 100MHz 대역에서 17.6dB이득과 -17.8dB이하의 입력반사손실을 얻었다. 또한 시스템 시뮬레이터를 사용하여 54Mbps OFDM 변조부와 송신부를 모델링하여 구현하였다. 전력증폭기의 비선형특성은 behavioral model을 이용하여 AM-to-AM과 AM-to-PM으로 모델링 하였으며, 구현한 무선랜 입력신호원을 전력증폭기에 인가하여, 위상왜곡에 따른 출력스펙트럼을 시뮬레이션 및 측정하였다. 증폭기의 위상왜곡에 따른 출력스펙트럼을 측정하기 위하여 LUT (Look Up Table) 방식을 이용한 사전 위상왜곡 방법을 제안하였다. 출력 스펙트럼 측정 결과 제작된 전력증폭기는 1.5dB back-off된 입력전력 3.5dBm에서 표준 스펙트럼 마스크를 만족하였다. 이 증폭기의 위상왜곡이 7°(at P1dB)일 때 표준스펙트럼 마스크를 벗어나는 것을 구현된 측정 시스템을 통해 예측할 수 있었다. 제안된 측정 방법 및 본 논문의 결과는 5.8GHz OFDM 무선LAN 시스템의 전력증폭기 설계 및 요구되는 선형 특성 분석에 유용하게 활용 가능할 것이라 사료된다.

**참 고 문 헌**

[1] Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer specifications, IEEE Std. 802.11a/b/g, 1999/1999/2003.  
 [2] S. Chen, W. Panton and R. Gilmore, "Effects of Nonlinear Distortion on CDMA Communication Systems," IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., pp.775-778, 1996.  
 [3] J. Sevic and J. Staudinger, "Simulation of Power Amplifier Adjacent Channel Power Ratio for Digital Wireless Communication Systems," IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., pp.681-684, 1996.  
 [4] H. Gutierrez, K. Grad and M. Steer, "Spectral Regrowth in Microwave Amplifier Using Transformation of Signal Statistics," IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., pp.985-998, 1999.  
 [5] S. Cripps, RF Power Amplifiers for Wireless Communications, Artech House, 1999.  
 [6] S. Mass, Nonlinear Microwave Circuitss, Artech House, 1998.  
 [7] J. Vuolevi and T. Rahonen, "Distortion in RF Power Amplifiers", Artech House Inc., Norwood, MA,2003.  
 [8] R.. Minasian, "Intermodulation Distortion Analysis of MESFET Amplifier Using Volterra Series Representation ," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol.28, pp.1-8, Jan.1980.  
 [9] J. Sevic, K. Burger and M. Steer, "A Novel

Envelope Termination LoadPull Method for ACPR Optimization of RF/Microwave Power Amplifiers," IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., pp.723-726, 1998.  
 [10] Wireless Lan Medium Acces Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE Computer Society,July 1996.  
 [11] M. Nishida, S. Murai, H. Uda, H. Tominiga, T. Sawai and A. Ibaraki, "A High Efficiency GaAs Power Amplifier Module with a Single Voltage for Digital Cellular Phone Sysyems," IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., pp.743-746, 1997.  
 [12] JS. Park, S.R. Park, H.J. Roh and K.H.Koo, "Power Amplifier Back-off Analysis with M-to PM for Millimeter-wave OFDM Wireless LAN," Proc. Of RAWCON2001, pp.189-192, 2001.

— 저 자 소 개 —



**오 정 균**(정회원)  
 1988년 서울산업대학교 전자공학과 학사.  
 1990년 중앙대학교 전자공학과 석사.  
 2001년 3월~현재 인천대학교 전자공학과 박사과정.  
 2001년 3월~현재 한국정보통신 기능대학 이동통신과 교수.

<주관심분야 : 마이크로파 송수신모듈 설계, 전력 증폭기 선형화 및 고효율 증폭기 설계>



**최 재 흥**(정회원)  
 2004년 인천대학교 전자공학과 학사.  
 2004년 3월~현재 인천대학교 전자공학과 석사과정.  
 <주관심분야 : 마이크로파 회로 설계, 전력증폭기 설계 및 선형 화 기법 연구>



**구 경 현**(정회원)  
 1981년 서울대학교 전자공학과 학사.  
 1983년 서울대학교 전자공학과 석사.  
 1991년 서울대학교 전자공학과 박사.

1999년~2000년 UC San Diego 방문학자.  
 2001년~2002년 대한전자공학회 마이크로파 및 전파연구회 위원장.  
 2003년~현재 대한전자공학회 평의원, 이사, 통신소사이어티 사업이사.  
 1987년~현재 인천대학교 전자공학과 교수.  
 <주관심분야 : 마이크로파 회로 및 모듈 설계, 전력증폭기 선형화, 무선랜 시스템>