

# 새로운 정합회로를 적용한 IEEE 802.11 b/g VoWLAN 단말기에서의 I/Q 성능 분석

정희원 권성수\*, 종신회원 이종철\*\*

## I/Q Performance Analysis for IEEE 802.11 b/g VoWLAN Terminal with New Matching Circuit

Sung-Su Kwoun\* *Regular Member*, Jong-Chul Lee\*\* *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문에서는 IEEE 802.11b/g 규격인 CCK/OFDM 방식의 54 Mbps 속도를 갖는 VoWLAN 단말기에서, RF 모듈을 통해 송수신되는 최종 전송선로(transmission line)와 안테나 스위치단의 부정합으로 인해 쉽게 발생할 수 있는 입출력 사이의 I/Q 부정합 문제를 새로운 CPW 구조의 정합회로를 적용함으로써 해결할 수 있음을 보인다. I/Q 성능 개선에 대한 분석 방법으로 출력 Spectrum Mask, 비선형 특성으로 출력된 CCK(complementary code keying)/OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 변조 데이터에 따른 EVM (Error Vector Magnitude) 특성 및 수신감도 특성을 분석하여 전체 I/Q 성능이 개선됨을 보인다.

Key Words : VoWLAN, IEEE802.11b/g, OFDM, EVM, Spectrum Mask

### ABSTRACT

In this paper, the I/Q mismatch problem between the transmission line and antenna switch is solved by a new CPW matching circuit for a VoWLAN terminal with 54 Mbps communication speed through the IEEE 802.11 b/g CCK/OFDM. I/Q performances with the new matching circuit are analyzed and improved by the output spectrum mask, the characteristics of the EVM(Error Vector Magnitude) due to the nonlinear CCK/OFDM demodulation data, and receiver's sensitivity.

### I. 서 론

IEEE 802.11 무선랜 기술과 VoIP (Voice over IP) 기술 발달로 인해 저렴한 비용으로 가정과 사무실에서 무선으로 인터넷 전화를 할 수 있는 VoWLAN (Voice over Wireless LAN) 단말기 보급이 급속도로 파급될 전망이다. 지금 생산되고 있는 모든 종류의 이동 단말기는 생산 공정 마지막 단계로, RF Conductive 특성시험을 전수검사로 실시하게 된다.

모든 단말기의 RF 특성을 시험하기 위해 케이블을 직접 납땜(soldering) 하지 않고, 프로브(probe) 형태의 케이블을 이용하여 측정하기 때문에, 단말기에는 스위치 형태의 안테나 커넥터가 장착되어, 납땜을 하지 않고 쉽게 측정이 가능 하도록 설계되어 있다. 기존 이동 단말은 최고 주파수가 1.8 GHz 대역을 사용하고 있으며, 안테나 스위치의 패턴 패드(pad) 크기는 68 mil로 1.8 GHz 상용 대역 주파수에 손쉽게 사용 되고 있다. 그러나 무선랜 발달로 2.4

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2006-(C1090-0603-0008)

\* LG-NORTEL 연구소 BCS 개발실, 광운대학교 전파공학과 (kwoun1@LG-NORTEL.com)

\*\* 광운대학교 전파공학과 (jcleee@kw.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-11-480, 접수일자 : 2006년 11월 8일, 최종논문접수일자 : 2007년 1월 3일

GHz 대역에서 이동 단말기 같은 형태의 VoWLAN 단말기를 생산하게 되면서 안테나 스위치와 1005 사이즈 커패시터 패드의 크기가 20 mil로 정해짐으로 인해 RF 모듈 최종 입출력 단에서 전송선로가 부정합 되어 RF 특성이 왜곡되어 송신 출력 파위의 비선형 특성이 발생하여 변조된 신호의 왜곡과 파워 앰프의 비선형 특성 발생 현상이 나타나고 있다. 본 논문에서는 이러한 부정합의 결과로 나타나는 왜곡된 특성을 분석하여 단말기의 출력단에 새로운 정합 구조를 적용함으로써, Spectrum Mask, EVM(Error Vector Magnitude), RSSI 등의 파라미터 분석을 통해 VoWLAN 단말기의 I/Q 특성이 개선됨을 보인다.

## II. VoWLAN 단말기의 TX Power AMP Control Loop

VoWLAN 단말기의 RF 출력 값을 일정하게 유지, 관리하기 위한 방법으로 폐루프 관리 (Closed Power Control Loop)방식을 사용한다. TX Power Control Loop 블록도를 그림 1과 같이 표현하였다. 이 그림에서 TX Power Control Loop를 사용하기 위한 두 가지 중요한 파라미터는 REFDAC (Reference Digital to Analog Converter)와 VGDAC (Variable Gain Digital to Analog Converter)이다. 이 두 가지 파라미터는 VoWLAN 단말기를 생산할 때 설계된 고정 값으로 EEPROM에 저장되어 양산된다. 파라미터 VGDAC는 입력 전력증폭기의 가변 감쇠기(Variable Attenuator)를 관리하는 기능을 하며, 더 높거나 낮은 VGDAC의 감쇄 값에 의하여 전력 증폭기의 출력 값을 높이거나 낮게 해준다 (전력 증폭기 평균값의 이득을 고정 시킨다). 파라미터 REFDAC는 전력 증폭기를 출력 검출기(power detector)로부터 감지된 파워 기준 값을 비교하는데 이용하는 파라미터이다. 일반적인 동작에서 파라미터 VGDAC는 ADC로 감지한 파워 REFDAC 값에 따라 조정된다. 이상적인 동작인 경우에는, 출력 검출기는 단지 파워만 검출하고 반사된 파워도 무시해야 한다. 그렇기 때문에 폐루프 관리 제어가 완벽하게 동작할 수 있도록 해준다. 그러나, 전력 증폭기에 의하여 출력 검출기는 진행된 파워와 반사된 파워를 모두 검출(detect)할 수 있기 때문에 폐루프 관리제어는 부하 임피던스에 의해 민감하게 반응한다. 진행파와 반사파가 합쳐져 부하 임피던스에 기본이 되는 정재파 (Standing Wave)가 된다. 동일한

부하 임피던스를 위해 정재파 패턴이 동일하게 진행되기 때문에 최대와 최소 노드는 180도 또는 반파장 거리가 된다. 순수 저항성 부하에, 최대 노드는 동일한 위치에 있으나 Complex Load 는 다른 위치인 Maximum Node로 이동하게 된다[12].

결국 부정합이 발생하여 파라미터 VGDAC가 높은 값으로 나오게 되는 가장 큰 원인이 된다. 이 동작은 출력 검출기의 위치에서 부정합 부하에 의하여 Total Phase Shift도 민감하게 반응하게 된다. Mismatch Plus 또한 Power AMP(Amplifier)에게 더 열악한 부하 임피던스가 되어, 높은 감쇄 값에 의하여 전력 증폭기는 더 낮은 출력 값을 나타내게 된다. 전력 증폭기의 출력이 낮아지면 비선형 특성 때문에 ACPR(Adjacent Channel Power Ratio) 특성이 나빠져 Spectral Mask 출력 값이 마진 없이 출력된다. 변조된 반송파의 견지에서 고조파에 따른 왜곡 특성은 AM/AM, AM (Amplitude Modulation) /PM(Phase Modulation) 왜곡으로 설명될 수 있다. AM/PM에 의한 왜곡은 Pilot Tone 이나 잘 알려진 위상 복구 알고리즘을 사용하여 쉽게 추적되거나 보상 된다. 그러나 AM/AM 왜곡은 이와 다른 문제가 되며 특히 OFDM 시스템에서 AM/AM 왜곡은 매우 중요하게 간주되는 문제이다. OFDM시스템에서는 Multi Carrier 가 사용되기 때문에 출력 신호의 동적 영역이 매우 커지게 된다.

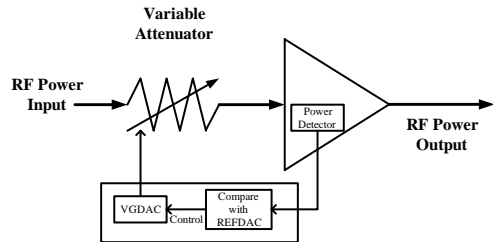


그림 1. VoWLAN 단말기의 TX power 블록도

## III. VoWLAN 단말기 최종 출력단 설계

### 3.1 기존 최종 출력단 구조

VoWLAN 단말기의 RF 모듈 최종 입출력 단은 IEEE 802.11 2.4 GHz 대역의 50 Ω 전송선로와 임피던스로 최적화되어 제작되어야만 한다. 전송 선로의 Trace Width는 삽입손실과 반사손실을 최소화하기 위해 50 Ω 임피던스에 맞도록 설계하는 것이 필수 조건이다. PCB(printed circuit board)의 유전율, 유전체의 두께, 동작주파수가 주어지면 시플레

이션을 통해 전송 선로의 Trace Width를 구할 수 있다. VoWLAN 단말기의 PCB는 유전율 4.7 과 두께 43 mil을 갖는 FR4 이며, 8층 Inner Via일 때 50 Ω의 전송 선로는 폭 7.4 mil 을 만족한다.

RF TX는 12 mil × 85 mil 길이로 8.2 pF (pad size 20 mil × 30 mil) 사이에 연결되고, 작은 전송 선로는 15 mil × 35 mil의 길이로 커패시터에서 안테나 스위치 (pad size: 68 mil × 100 mil)로 연결 된다. 그림 2는 VoWLAN 단말기의 안테나 입력부의 전송 선로를 Agilent 2004A ADS를 통해 시뮬레이션한 구조를 보여주고 있다. 안테나 스위치 패드는 Murata사의 Data Sheet을 통해 권고한 사이즈대로 PCB 설계를 하였다. 안테나 스위치는 1.7

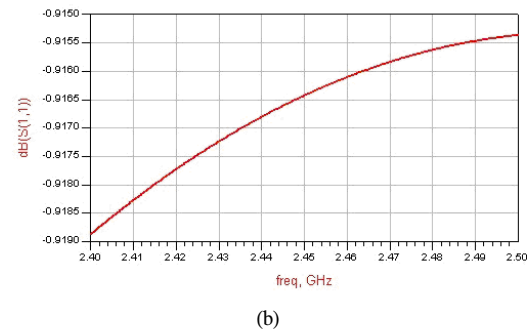
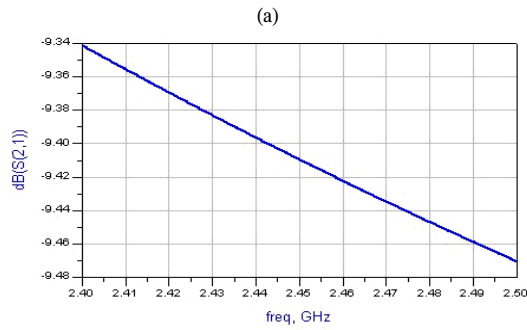
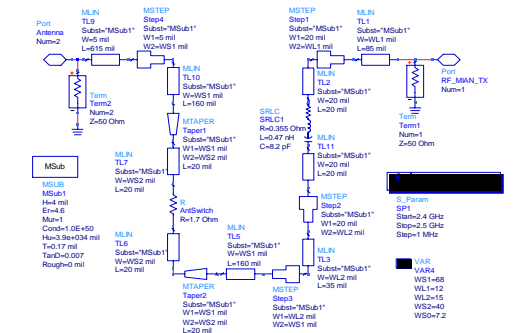


그림 2. Agilent 2004a ADS 시뮬레이션 (a) Schematic (b) 안테나 입력부의 설계 결과

Ω의 저항을 포함하여 0.2 dB의 삽입손실을 나타내었고, RF TX단에서 안테나 단까지는 9.6 dB의 삽입손실과 0.92 dB의 반사손실 값을 나타내었다. 설계 결과는 2.4 ~ 2.5GHz 대역에서 9.34 ~ 9.48 dB의 삽입 손실과 0.919 ~ 0.9155의 반사 손실 특성을 나타내었다.

3.2 새로운 최종 출력단 설계

CPW(Coplanar Waveguide)전송 선로는 단일 평면상에 전송 선로와 접지면을 갖는 구조로서 Wen에 의해 제시된 Quasi-static 근사 방식을 통해 해석할 수 있다<sup>[1]</sup>. CPW 구조는 전송 선로의 폭뿐만 아니라 전송 선로와 접지면의 갭의 크기에 의해서도 선로의 임피던스를 결정할 수 있는데, 전송 선로와 접지면의 갭의 크기가 커짐에 따라 특성 임피던스 값이 작아짐을 Quasi-static 근사 해석 방법을 통해 확인할 수 있다<sup>[2-4]</sup>.

일반적으로 PCB 기판은 마이크로 스트립 구조와 같이 밑면이 접지면으로 구성되어 있을 뿐만 아니라 기판 윗면에서도 접지 효과를 높이기 위해 비아 홀을 통해 밑면의 접지면과 연결되어 있다<sup>[5]</sup>. 본 논문에서는 PCB 기판에서 윗면의 접지면을 확보하

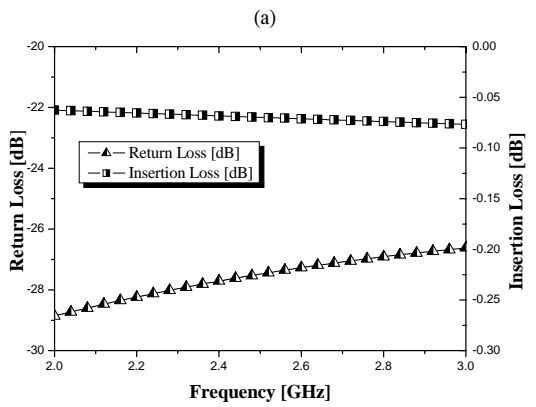
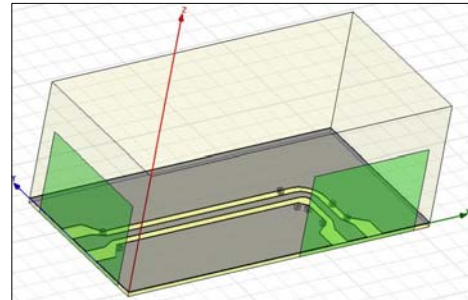


그림 3. CPW 전송 선로의 (a) 구조 및 (b) 설계 결과

는 동시에 전송 선로 손실을 최소화하기 위해 안테나 단으로 연결되는 선로를 CPW 구조로 설계하였다. 다음 그림 3은 VoWLAN 단말기에서 안테나 단으로 연결되는 전송 선로를 Ansoft 사의 HFSS를 이용하여 설계한 구조와 설계 결과이다.

그림 3(a)에서 입,출력부는 안테나 패드의 크기로 설정하였으며, 직각의 불연속을 포함한 전송 선로의 길이는 260 mil이다. CPW 구조는 불연속 부분에서 coupled-slot 모드라는 기생 모드가 발생하게 된다<sup>15)</sup>. 이러한 기생 모드를 제거하는 일반적인 방법은 양쪽 접지면에 와이어 본딩(wire bonding)을 통해 접지면 간의 위상을 동일하게 맞추어 줌으로써 전파가 CPW 모드로만 진행하게 된다. 본 논문에서는 와이어 본딩을 비아로 대체하였으며, 불연속에서의 손실을 줄이기 위하여 직각 부분을 곡면으로 하여 그림 3(b)와 같이 2.4 GHz 에서 삽입 손실 0.068 dB, 반사 손실 27 dB 정도의 설계 결과를 얻었다.

그림 4는 HFSS를 이용하여 CPW 구조를 시뮬레이션하여 얻은 실제 설계 PCB layout 그림을 나타낸다. 안테나 스위치와 캐패시터 패드 사이의 50Ω 전송선로 폭이 작아서 탭 형태로 변형해서 설계하였다.

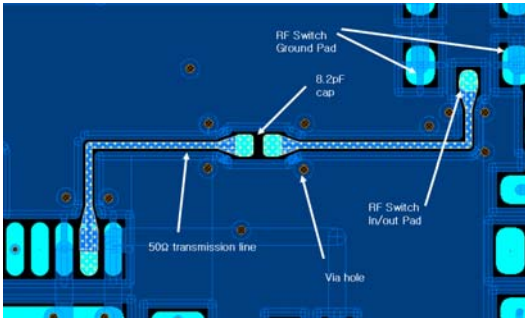


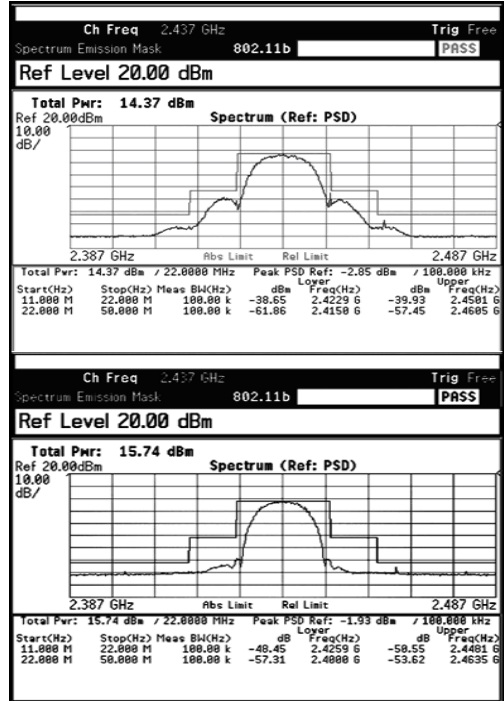
그림 4. VoWLAN 단말기 PCB 배치도

#### IV. VoWLAN 단말기의 Transmit Spectral Mask 분석

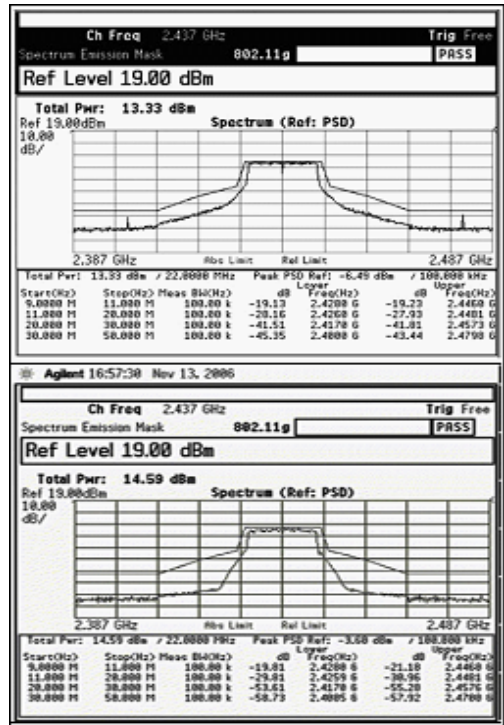
Transmit Spectral Mask를 측정하는 이유는 인접 채널 간섭 ACRP(Adjacent Channel Power Ratio)을 측정하기 위한 것이다. IEEE 802.11 b/g는 한 채널이 22 MHz 대역폭으로 5 MHz 간격으로 11개 채널을 사용하기 때문에 인접 채널 간섭이 매우 중요한 규격이다.

최종 출력단은 페루프 방식으로 출력이 제어되기 때문에 안테나 스위치와 캐패시터 패드 사이즈

로 인해 50Ω이 부정합되어 2차 사이드로브가 커지게 된다.



(a)



(b)

그림 5. (a) IEEE 802.11b (b) 802.11g 에서의 최종 출력 단 개선 전후 Spectral Mask

결국 인접 채널 사이드로브가 서로 근접되어 변조된 데이터 신호는 인접채널 간섭(Adjacent Channel Interference: ACI)을 발생시킨다. 그림 5는 정합회로가 기존의 마이크로스트립 구조로 이루어진 경우와 개선 후 새로운 CPW 구조로 적용한 경우 IEEE 802.11b 11 Mbps로 전송되는 Spectral Mask와 802.11g 54 Mbps로 전송되는 Spectral Mask이다.

각각 위의 그림이 개선 전 구조를 사용한 것이고, 아래 그림이 개선 후 구조를 사용한 결과이다. 802.11b에서 개선 후 구조는 개선 전 구조 보다 2차 사이드로브에서 9dB<sub>r</sub> 개선된 출력을 보여주고 있다.

그림 5(b)는 모뎀에서 부호화된 64 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)을 사용하여 48서브 채널을 이용, 54Mbps 전송 속도로 출력되는 실제 전력 증폭기 출력 스펙트럼이다. 전력 증폭기의 선형성은 사이드로브를 작게 나타나게 하는 특성을 가지고 있어 OFDM 각 심볼이 출력되는 PEP(Peak Envelop Power)를 개선 할 수 있다. 모뎀에서 OFDM은 N개의 부반송파를 사용하는 변조 방식이기 때문에 N개의 부반송파가 같은 위상을 갖고 더해질 때 N배의 최대 출력이 발생하여 PAPR (Peak to Average Power Ratio) 문제가 발생된다. PAPR 감소 기법을 모뎀에서 적용하여 출력하여도 최종 출력단에 있는 전력증폭기 부정합 특성으로 인해 비선형 특성이 발생하여 사이드로브 특성이 왜곡된다. 개선 후 구조는 개선 전 보다 부정합 문제를 해결하기 용이하여 각 주파수 대역에서 8~11dB<sub>r</sub>이 개선되었다.

전력 증폭기는 송신기에서 가장 이득이 큰 부분으로 안테나를 구동하게 된다. 입력신호를 변형 없

이 증폭시켜 주는 선형 특성이 가장 중요한 변수이다. 그림 6은 IEEE 802.11b/g 표준 하에서 본 논문에서 제시한 새로운 CPW 정합구조를 적용했을 경우, 그 이전과 비교하여 Spectral Mask의 개선 정도를 측정할 그래프이다.

### V. EVM(Error Vector Magnitude) 분석

OFDM 시스템은 다른 시스템에 비해 주파수 오프셋에 민감하다는 단점이 있다. 따라서 주파수 오프셋의 정확한 추정 및 전송은 VCO(Voltage Controlled Oscillator)의 위상잡음과 전력증폭기 선형 특성에 의해 좌우된다. 최종 출력단에서 전력증폭기의 비선형특성과 Mismatch에 인한 스택트럼 특성으로 인해 EVM (Error Vector Magnitude)특성이 왜곡되어 전송되면 수신단에서 복원하기 어려워지며, IEEE 802.11 MAC (Media Access Control layer) 구조상 재전송이 발생되어 전송속도 감소와 패킷 손실율을 나타내는 PER(Packet Error Rate) 특성이 저하된다. EVM 특성 분석은 디지털 변조 신호를 분석하는 매우 중요한 파라미터이다. 일반적으로 IEEE 802.11 규격의 변조 성능을 측정하기 위해 EVM을 사용한다. EVM의 기본 개념은 이상적인 신호와 Error 신호가 합쳐져 손상된 신호 (일반적으로 Complex 신호)가 출력되는 것을 말한다. EVM은 이상적인 bit 위치에서 벗어난 경우를 나타내는 송신기 변조 특성의 정확도에 대한 척도이다. EVM을 이용하는 방법에서는 수신된 심볼 (I, Q)을 가지고, 송신된 심볼 (I, Q)을 추정하기 때문에 SNR (Signal-to-Noise Ratio) 이 낮을수록 성능이 나빠짐을 예상할 수 있다 따라서, 직접추정방식과 EVM 을 이용하는 방식은 SNR이 충분히 높은 채널에서 사용할 수 있는 SNR 추정 방식으로 사용한다. OFDM신호는 멀티 캐리어 방식이므로 각각의 Sub-carrier들의 합으로 이해할 수 있으며, 단일 Carrier 전송 시보다 EVM 증가를 일으키는 원인이 된다. 이러한 원인으로서는 전력 증폭기의 비선형 특성과 최종 출력단 안테나 스위치와 캐패시터 패드 사이의 부정합이 있다. Error 신호는 Additive Noise, Nonlinear Distortion, Linear Distortion, Phase Noise, Spurious Signals, Other Modulation Errors와 같은 Error Source들을 포함하고 있다 [9-11]. Error Vector Magnitude (EVM)는 다음과 같이 평균치(RMS) Error Vector 제곱 승의 퍼센트로 표현한다.

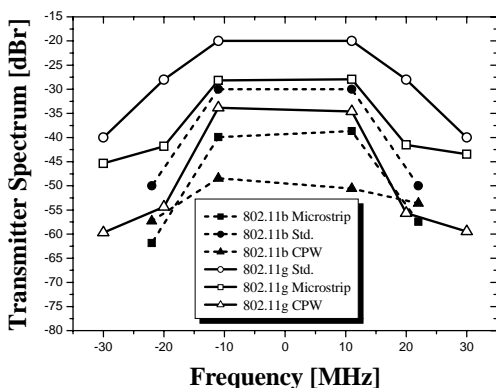


그림 6. 개선 전 후 구조의 Spectral Mask 비교

$$EVM [n] = \sqrt{Ierr_n^2 + Qerr_n^2} \quad (1)$$

(at n = measured symbol time)

$$Ierr = I Ref - I Meas \quad (2)$$

$$Qerr = Q Ref - Q Meas \quad (3)$$

$$Error RMS = \sqrt{\frac{(I - I_0)^2 + (Q - Q_0)^2}{P_0}} \quad (4)$$

그림 7에서 Modulation의 정확도는 각 칩에 전송되는 동안에 Peak Vector Error Magnitude를 측정해서 결정된다. 최악의 경우는 샘플링된 Chip Data가 Peak Vector Error Magnitude 0.35 (35%)를 초과하면 IEEE 802.11b 규격에 벗어난다. 이상적인 Complex I 와 Q 는 DQPSK 변조된 성상점 (Constellation)에 조합된다. 점 위치는 (0.707, 0.707), (0.707, -0.707), (-0.707, 0.707), (-0.707, -0.707) 기준으로 이용된다. 이 측정은 Base band I 와 Q 기준이 되는 수신기를 통해 복원 후 측정된다.

그림 8은 DQPSK로 변조된 신호가 최종 출력단의 부정합으로 인해 I/Q 부정합에 따른 성상도 변화를 보여준다. Modulation 정확도를 위해 DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) Constellation 기준점에서 최대 벗어난 Error Constellation(성상점)을 보여주고 있다. 위의 불균형 신호는 일반적으로 주파수 오프셋과 채널 페이딩에 의해 영향을 받고 AWGN(Additive White Gaussian

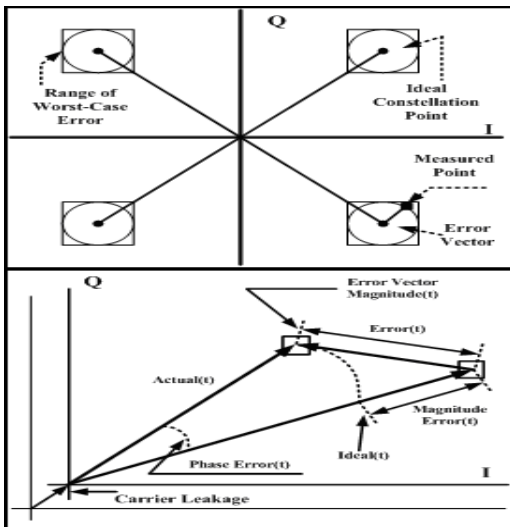


그림 7. Modulation Accuracy와 Error Vector의 파라미터

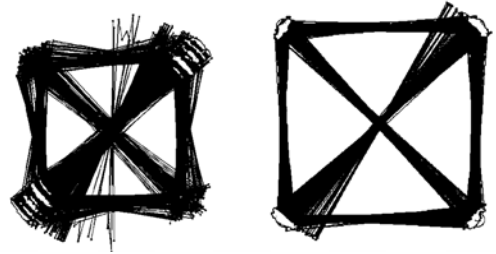


그림 8. 새로운 정합구조에 의해 향상된 IEEE 802.11b 11Mbps CCK DQPSK Constellation

Noise) 잡음이 추가되기 때문에 문제는 더 복잡해진다. 성상점의 측정 방법은 PSDU(Physical layer Service Data Unit)성상점의 측정이다. 최종 출력단 부정합으로 인해 위상 잡음이 발생하여 심볼 오프셋이 따라서 발생하면 위상회전과 함께 채널간 간섭이 발생하여 성상도가 왜곡되는 것을 볼 수 있다. 데이터 심볼은 원래 성상도 위치에서 오프셋 크기에 비례하여, 회전하면서 그 크기가 변화하는 것을 알 수 있으며, 시간이 지남에 따라 회전이 불규칙하게 변화하는 것을 확인할 수 있다. IEEE 802.11b 는 DBPSK/DQPSK 변조 방식을 사용하는 Non-Coherent 방식이기 때문에 위상 오프셋이 발생할 경우 Coherent 방식처럼 Pilot 신호를 연속적으로 추정하여 보정할 수 없기 때문에 심각한 문제가 발생한다. 본 논문에서 제시한 새로운 정합회로를 적용한 결과 그림 8에서와 같이 EVM error를 35%에서 25%로 감소함을 알 수 있다.

EVM 측정은 다음 5가지를 나타내고 있으며, 이 측정은 Modulation Accuracy 측정과 802.11 규격의 Constellation RMS(Root Mean Square ) error EVM를 결정한다. 모든 부반송파들의 합을 RMS error로 나타낸다. 또한 OFDM Frames과 Packets를 모두 포함한다.

EVM 측정에서 EVM dB, EVM rms 퍼센트, Pilot EVM dB, CPE(Common Phase Error) rms 퍼센트, IQ Offset dB 등을 측정한다. 이 중 Pilot EVM은 4개의 부반송파를 이용하여 전체 Symbol에 대한 Error 벡터 크기의 RMS 값이며, 이중 Pilot Symbol 802.11g 신호에 포함되어 있다. CPE은 일반적인 Pilot Error와 이상적인 Pilot 부반송파 symbols 차이를 요약하여 측정한다. 동기화 (SyncCorrelation)은 이상적인 신호의 Preamble 동기화의 상호연관성을 측정한다. 동기화를 계산하기 위해 이용되는 Preamble segment는 Short Training Sequence나 채널추정 순서이다. 직교 채널을 이용

한 OFDM 통신시스템에서 I (in-phase) 채널과 Q (quadrature) 채널은 서로 직교하는 형태이어야 하나 발진기, 전력증폭기와 같은 비선형 아날로그 소자의 부정합 특성으로 인해 두 채널 사이에 위상 (phase)과 이득(gain) 오차가 발생하는데 이를 I/Q 부정합이라고 한다. 위상 오차는 I 채널과 Q 채널의 발진기 신호의 위상이 정확히 90도 차이가 나지 않는 경우이고, 이득 오차는 I 채널과 Q 채널의 신호 크기의 차이가 발생하는 경우이다 특히 최종 출력단 전력 증폭기의 비선형 특성이 주요한 문제가 된다.

그림 9는 새로운 정합구조로 설계된 최종 출력단을 64 QAM 성상점(Constellation) 에서 Pilot Symbol 위치를 표시해 주는 그림이다. 4개의 부반송파 신호를 첨가하여 연속적으로 PSDU Frame 에서 Pilot을 이용하여 수신단의 반송파 위상을 추적하는 파라미터이다. BPSK 변조방식으로 1/2 Rate Convolution을 이용하여 채널지연, 페이딩, AWGN 등의 영향에도 Pilot Sub-carrier를 이용하여 정확하게 샘플링 클락 옵셋을 추정하여 보정하는 방식을 보여 주고 있다. 64 IFFT 부반송파 중 차례대로 7, 21, 43, 57 부반송파를 사용하며 4개의 파일럿 채널에 대해 위상 변화량을 평균하여 구해낸 값을 이용하여 잔여 주파수 옵셋에 의한 위상 에러의 누적분을 복구해 줄 수 있기 때문에 ICI (Inter Channel Interference)를 개선시킬 수 있다.

반송파 주파수 옵셋이 발생한 경우에 복조신호는 진폭과 위상 왜곡을 받음과 동시에 부반송파에 의한 채널간 간섭 왜곡을 받게 된다. 즉 반송파 주파수 옵셋이 발생하는 경우에 각 부반송파는 다른 모든 부반송파의 영향을 받게 되는 것이다

64QAM 54Mbps 전송속도는 부채널당 6bit씩 코드를 전송한다. 48개 부채널을 이용하여 OFDM 한 심볼당 216bit를 4us 동안 보낸다. 부반송파 주파수 옵셋이 발생한 경우에 복조신호는 진폭과 위상왜곡을 받음과 동시에 인접 부반송파에 의한 채널간 간섭 왜곡을 받게되는 것을 알 수 있다 그림 10은 새로운 정합구조로 설계된 최종 출력단에서 전송 스펙트럼을 EVM 특성으로 나타내고 있는데, 부반송파 주파수 옵셋이 발생하는 경우에 각 부반송파는 다른 모든 부반송파의 영향을 받게되는 것을 알 수 있다.

기존 구조보다 -22dB 에서 -32dB로 10dB 개선되었다. I/Q 부정합이 존재하는 경우, 부반송파 주파수 옵셋을 완벽하게 추정하고 보상하여도 부반송

파 간의 간섭 왜곡으로 인해 OFDM 시스템의 직교성은 파괴된다. 이는 OFDM 시스템의 성능을 심각하게 저하시킨다.

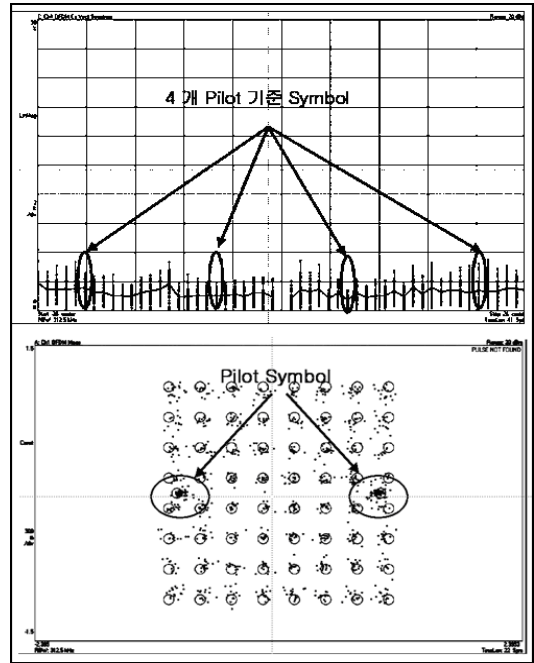


그림 9. IEEE 802.11g 54Mbps 64 QAM Constellation에서 BPSK pilot subcarrier

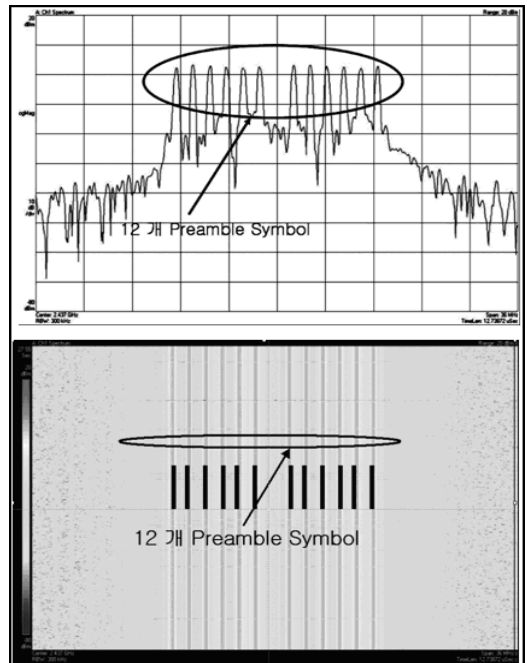


그림 10. 12개의 Preamble Symbol Burst signal 전송

그림 10은 12개의 프리앰블이 OFDM 심볼을 연속적으로 전송하는 것을 보여주고 있다. 12개 프리앰블은 스크램블되지 않은 심볼로 전송된다 최종 출력단의 Mismatch로 인해 프리앰블의 구조가 고정되어 있기 때문에 미리 결정된 추정 범위를 넘는 주파수 오프셋이 발생했을 때 추적이 불가능하다 OFDM 심볼은 별도로 전송해야 하기 때문에 그만큼의 대역폭의 손실이 일어나게 된다. 또한 일정 시간 영역에서 반복되는 패턴을 이용하여 추정하는 방법의 경우 추정 범위가 OFDM 심볼 내에 반복되는 패턴의 개수에 비례한다. 반복되는 패턴의 지속 시간을 짧게 하여 추정범위는 넓어지는 반면에 추정의 정확성은 감소한다.

전체 주기는 16 $\mu$ s이며 52개의 부반송파 중에 12개의 부반송파만 사용하는 OFDM 심볼의 평균 전력을 정규화 하기 위해 곱해진다. 시간 영역에서의 위상 오프셋은 주파수 영역에서도 역시 위상offset으로 나타난다. IEEE 802.11g의 Preamble은 짧은 훈련심볼과 긴 훈련심볼로 모두 12개로 구성되어 있다. 짧은 훈련심볼은 Signal detection, AGC(Automatic Gain Control), Diversity selection, Timing synchronization, Coarsefrequency offset estimation을 하고 긴 훈련심볼은 채널추정과 Fine 주파수 오프셋 추정을 한다 짧은 훈련심볼은 16개의 샘플이 하나의 심볼을 이루고 이런 심볼들이 10개로 구성되어 있다. 긴 훈련심볼은 64개의 샘플이 하나의 심볼을 이루고 두 개의 연속적인 심볼로 구성되어 있다. 12개 Preamble은 그림 10과 같이 구성된다.

프리앰블을 이용하는 무선 LAN 시스템의 경우 프리앰블 시퀀스의 자기 상관(auto-Correlation) 특성을 이용하여 시간 동기화를 수행하며 이 때 수신단에서 미리 알고 있는 시간 영역의 프리앰블 시퀀스와 수신된 신호와의 correlation을 함께 MF(Matched Filter) 방식으로 구한다. 심볼타이밍 오프셋은 같은 부반송파 신호의 위상회전을 발생시킬 수 있을 뿐 아니라 FFT(Fast Fourier Transform) 블럭의 입력 오류로 인한 인접 심볼간 간섭을 발생시키므로 짧은 훈련 신호의 위상이 크게 회전하고 인접 심볼 간섭으로 인해 진폭이 심하게 왜곡됨을 볼 수 있다. 이 경우 인접 심볼간 간섭인 ISI(Inter Symbol Inter Interference)가 발생 한다.

표 1은 802.11g 54Mbps 64 QAM 속도로 전송된 파라미터를 특성 분석하여 정리한 표이다. EVM 특성을 측정하는 방법은 PLCP 프리앰블과 Signal

필드의 EVM 측정값만 측정하는 방법과 PSDU를 포함한 모든 데이터를 측정하는 방법 중 표1의 측정 방법은 PSDU포함한 모든 데이터를 측정하는 방법을 사용하였다. 새로운 정합회로를 적용한 경우와 개선전 구조를 분석하면 부정합에 따른 전송되는 신호의 최대 진폭비(Peak factor)를 증가시켜 증폭될 때 비선형 왜곡(nonlinear distortion)현상이 현저하게 나타나고 있다. 기존의 구조는 개선전 구조보다 주파수 오프셋의 영향을 많이 받는 것을 확인할 수 있다. OFDM 기반의 무선 LAN 시스템에서는 프리앰블의 반복되는 특성을 이용하여 보상한다. IEEE 802.11g 시스템의 경우, 주파수 동기는 짧은 훈련 심볼 (short training symbol)과 긴 훈련 심볼 (long training symbol)의 주기성을 이용하여 대략적 주파수 동기와 미세 주파수 동기의 두 단계로 나누어 수행된다. 짧은 훈련 심볼을 이용하여 부반송파 간격의 최대 2배까지의 대략적 주파수 오차를 추정하고 긴 훈련 심볼을 이용하여 부반송파 간격의 -0.5 ~ 0.5 사이의 나머지 주파수 오차를 추정하여 정확도를 향상시킨다. 완벽하게 반송파 주파수 오프셋을 추정하여 시간 영역에서 보상해도 I/Q 부정합에 의해 수신 신호는 반송파 주파수 오프셋으로 인한 위상 회전 부분이 남아 있게 된다.

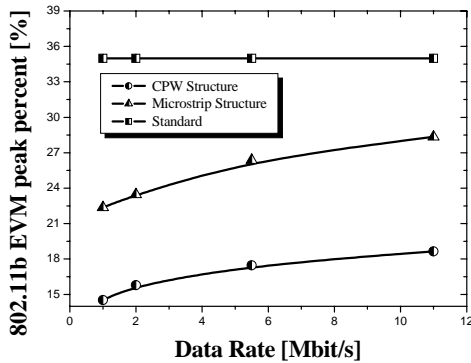
Crest factor의 경우도 개선 후 특성이 개선전과 비교하여 향상된 값을 얻었다. 본 논문에서 사용한 전력 증폭기의 P1dB는 25 dB 이다. IEEE 802.11b는 7 dB Back off 하고 IEEE 802.11g는 OFDM 멀티 캐리어 방식을 사용하기 때문에 높은 PAPR을 나타낸다. 따라서 802.11g의 경우에는

표 1. 802.11g 54Mbps 64 QAM 속도로 전송된 파라미터 특성.

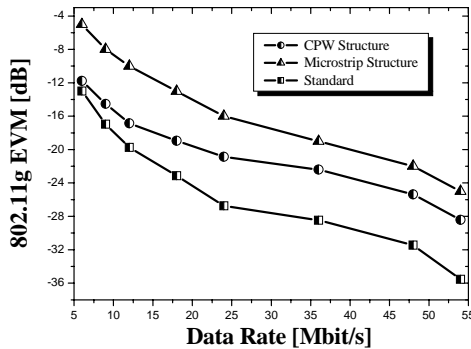
|                        | 개선전     | 개선후    | Limit  | 단위  |
|------------------------|---------|--------|--------|-----|
| EVM all Carriers       | 7.75    | 0.93   | 5.62   | dBm |
|                        | -22.42  | -40.71 | -25.00 | %   |
| EVM Data Carriers      | 6.92    | 0.91   | 5.62   | dBm |
|                        | -23.64  | -40.90 | -25.00 | %   |
| EVM Pilot Carriers     | 36.97   | 20.98  | 39.32  | dBm |
|                        | -10.20  | -40.20 | -8.00  | %   |
| IQ offset              | -14.40  | -32.23 | -15.00 | dB  |
| Gain imbalance         | -0.27   | 0.31   |        | %   |
|                        | 0.03    | 0.03   |        | dB  |
| Quadrature error       | 0.03    | -0.30  |        | °   |
| Center Frequency error | -58470. | 11.94  | 60800  | Hz  |
| Symbol Clock Error     | 69      | 0.10   | ±25    | PPM |
|                        | -23.73  |        |        |     |
| Burst Power            | 13.9    | 14.50  |        | dBm |
| Crest Factor           | 11.24   | 9.59   |        | dB  |



802.11b 보다 3 dB 많은 10 dB를 Back off 하게 한다. 만약 10 dB 보다 많은 PAPR이 발생 시 전력 증폭기 비선형 영역에 들어가기 때문에 전력 증폭기의 비선형 특성에 의해 더욱 더 신호가 왜곡된다. 신호의 포락선 변화는 Crest factor를 측정하여 알 수도 있는데, Crest factor는 신호의 최대값을 신호의 평균값으로 나눈 것으로 정의된다. 개선된 구조와 개선 전 구조의 차이는 1.7 dB 이상 Crest factor 차이가 난다. 그림 11은 개선 전후 구조에 따른 데이터 전송 속도에 의해 802.11b EVM Peak Percent와 802.11g EVM 특성을 나타내는 분석 그래프이다. 802.11b는 15%, 802.11g는 5 ~ 9dB 개선되었다.



(a)



(b)

그림 11. 개선 전후 구조의 Data Rate에 따른 (a) 802.11b EVM Peak Percent와 (b) 802.11g EVM

## VI. 수신감도 비교

수신부의 성능 평가는 주로 사용되는 설계방법에 따라 크게 좌우된다. 수신부의 성능을 평가하는 파라미터에는 수신감도(Receiver Sensitivity), 인접채널 선택도, 잡음지수(Noise Figure), 스퓨리어스 제한(Spurious Response Rejection), 상호변조 제한

(Intermodulation Rejection)등이 있다. 수신감도(Receiver Sensitivity)란 수신부가 얼마나 작은 신호에 반응하는지 나타내는 파라미터 값이다. 그림 12는 1 ~ 54 Mbps의 데이터 전송 속도에 따른 수신감도를 측정하여 비교한 그림이다. 각 Rate 별 규격은 FER (Frame Error Ratio)  $8 \times 10^{-2}$ 이며 PSDU Frame을 측정하여 최소 입력 레벨 감도를 측정한다. 각 Data Rate 별 새로운 정합구조를 적용한 경우와 그 이전 구조에 대해 적용한 후 비교 분석한 그래프이다. 최종 출력 단을 개선한 VoWLAN 단말기는 RSSI 가 5% 이상 개선되었다.

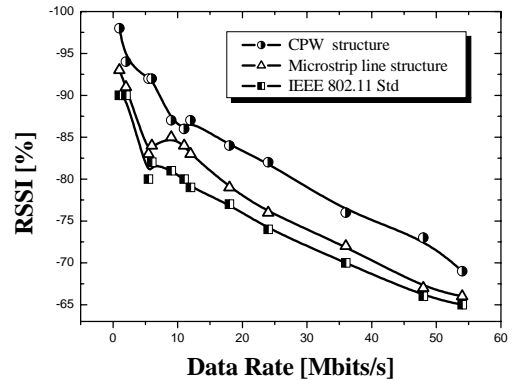


그림 12. 개선 전후 구조에 따른 802.11 Data Rate 수신 감도 비교

## VII. 결론

본 논문에서는 2.4 GHz 대역인 IEEE 802.11 b/g CCK/OFDM VoWLAN 단말기에서 최종 입출력단 전송선로와 안테나 스위치단 사이의 부정합 설계로 인한 송수신 특성 왜곡에 따른 Spectral Mask, EVM, RSSI 특성을 분석하였다. 단말기의 출력단에서 발생하는 임피던스 부정합 현상을 개선하고자 해당 부분을 CPW 구조의 새로운 형태로 설계하여, ADS, HFSS의 시뮬레이터 등으로 모델링하여 새로운 출력단을 구현하였다. 최종 출력단의 부정합으로 인해 전력 증폭기의 특성에 비선형 왜곡 현상이 나타나 I 와 Q 심볼이 부정합 되고, EVM 특성에 영향을 주어 Modulation Accuracy 등 변조된 신호 또한 왜곡 되어 진다. 본 논문에서는 새로운 CPW 정합 구조를 적용한 후 Pilot, Preamble 주파수를 추정하기 위한 파라미터의 왜곡과 인접 채널 간섭을 측정하는 Spectral Mask 특성에 의한 ACPR 특성을 분석하였다. Spectral Mask 측정결과 1차 Side Lobe는 33.93 dBc, 2차 Side

Lobe는 52.44 dBc가 개선 되었다. EVM 특성은 14% 이상 향상 되었고, RSSI가 5% 이상 성능 개선된 것을 검증 분석하였다. 소스 로드부터의 효과적인 전송 에너지를 위해서는 RF 신호의 임피던스 매칭이 중요한 요소임을 확인하였다. 본 논문에서 제시한 방법은 실제 2.4 GHz VoWLAN 단말기 PCB 설계 시 적용 가능하리라 기대된다.

참 고 문 헌

[ 1 ] IEEE Std. 802-11-1999, Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, IEEE 802.11 Std, 1999.

[ 2 ] C. P. Wen, "Coplanar Waveguide: A surface strip transmission line suitable for non-reciprocal gyromagnetic device application," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.17, pp.1087-1090, Dec. 1969.

[ 3 ] R. N. Simons, *Coplanar Waveguide Circuits, Components, and Systems*, Wiley-Interscience, 2001.

[ 4 ] C. Y. Lee, "The effects of the coupled slotline mode and air-bridges on CPW and NLC waveguide discontinuities," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.43, pp.2759-2765, Dec.1995.

[ 5 ] K. C. Gupta, R. Garg, and I. Bahl, *Microstrip Lines and Slotlines*, Artech House, 1996.

[ 6 ] R. W. Jackson, "Consideration in the use of coplanar waveguide for millimeter wave integrated circuits," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.34, pp.1450-1456, Dec.1986.

[ 7 ] C. Veyres and V. F. Hanna, "Extension of the application of conformal mapping techniques to coplanar lines with finite dimensions," *Int. J. Electron.*, vol.39, pp.239-246, 1991.

[ 8 ] E. H. Fooks and R. A. Zakarevicius, *Microwave Engineering Using Microstrip Circuits*, Prentice Hall, 1990.

[ 9 ] J. Heiskala and J. Terry, *OFDM Wireless LANs : A Theoretical and Practical Guide*, Sams Publishers, 2001.

[10] F. L. Lin, S. F. Chen, L. F. Chen, and H. R. Chuang, "Computer simulation and measurement of error vector magnitude (EVM) and adjacent-channel power ratio (ACPR) for

digital wireless communication RF power amplifiers" *Proc. IEEE Vehicular Technology Conf.*, vol.4, pp.2024-2028, Sept.1999.

[11] M. Sagebiel, S. Gerlach, A. Kruck, and V. Subramanian, "An EVM-optimized power amplifier for 2.4-GHz WLAN application." *Proc. Compound Semiconductor Integrated Circuit Symp.*, vol.1, pp.4, Nov.2005.

[12] M. S. Heutmaker, "The error vector and power amplifier distortion" *Proc. Compound Semiconductor Integrated Circuit Symp.*, vol.1, pp.100-104, Aug.1997.

[13] AP and VoIP Handset MFG Manufacturing Test suite IEEE 802.11a/b/g and draft 802.11n API Reference Manual Doc. No MV-S800364-00, Rev.B October 19, 2006.

권 성 수 (Sung-Su Kwoun)

정회원



1999년 2월 광운대학교 전파공학과(공학사)  
2001년 2월 광운대학교 전자공학과(공학석사)  
2002년 3월~현재 광운대학교전파공학과 박사과정  
2004년 3월 박사과정 수료

2000년 12월~2005년 11월 LG전자 정보통신 사업본부  
2005년 11월~현재 LG-NORTEL 연구소  
<관심분야> OFDM, MIMO, MESH

이 종 철 (Jong-Chul Lee)

중신회원



1983년 2월 : 한양대학교 전자공학과(공학사)  
1985년 2월 : 한양대학교 전자공학과(공학석사)  
1989년 12월 Arizona State Univ. EE Dept. (공학석사)  
1994년 5월 Texas A&M Univ.

EE Dept. (공학박사)

1994년 6월~1996년 2월 현대전자 광소자 개발실 (선임연구원)  
1996년 3월~현재 광운대학교 전파공학과 전임강사/조교수/부교수  
<관심분야> 초고주파 및 광전자 공학, RF MEMS, 밀리미터파 능동 및 수동 소자