

논문 2011-48TC-2-1

# WiBro 망을 이용한 2.5/3.5/5.5 GHz m-WiMAX 시스템 무선 측정용 주파수 변환기 개발

(Development of Frequency Converter for 2.5/3.5/5.5 GHz m-WiMAX  
System Wireless Measurement using WiBro Network)

김 세 환\*, 전 국 진\*\*

(Sehwan Kim and Kukjin Chun)

## 요 약

WiBro 망을 이용한 쿼드 밴드 모듈 시스템을 측정하기 위해서 주파수 변환기를 개발했다. 제작된 주파수 변환기의 크기는 3.1 cm × 3.1 cm × 0.4 cm이다. 주파수 변환기 수신부의 잡음 지수는 2.62~3.45 dB였으며, EVM은 -37.5~-34.5 dB로 측정되었다. 그리고 송신부의 EVM은 -42.5~-35.5 dB로 측정되었다. 개발된 주파수 변환기와 함께 쿼드 밴드 모듈을 제작하였고, 2.3 GHz 와이브로 망에서 쿼드 밴드 모듈을 테스트한 결과, 2.5 GHz, 3.5 GHz, 5.5 GHz 대역에서 원활한 인터넷 연결이 가능했다.

## Abstract

For measuring quad-band module system using WiBro network, frequency converter was developed. The size of the fabricated frequency converter is 3.1 cm × 3.1 cm × 0.4 cm. Noise figure of the receiver part of the frequency converter was 2.62 ~ 3.45 dB, EVM of that is -37.5 dB ~ -34.5 dB. And EVM of the transmission part was -42.5 ~ -35.5 dB. Quad-band module was fabricated with the developed frequency converter. Testing the quad-band module in 2.3 GHz WiBro network results the excellent internet connection for 2.5 GHz, 3.5 GHz and 5.5 GHz band.

**Keywords :** Frequency converter, WiBro, Multi-mode/Multi-band

## I. 서 론

무선 통신 환경은 음악, 동영상 등 대용량의 멀티미디어 데이터를 처리할 수 있고, 하나의 단말기를 가지고 어느 지역이든지 자유롭게 사용하며 DMB(Digital Multimedia Broadcasting), Wi-Fi(Wireless Fidelity) 등 음성 통화 이외에 다른 서비스를 이용할 수 있도록

변화하고 있다. 따라서 서비스 품질, 보안, 호환성 등이 훼손되지 않으면서 100 Mbps 이상의 대용량 데이터를 처리할 수 있는 기술과 다중대역/다중표준을 사용할 수 있는 기술이 필요하여, 새로운 무선 통신 표준들이 개발되고 있다.

소비자의 다양한 욕구를 충족시키기 위해 여러 무선 서비스를 단일 칩으로 처리할 수 있는 멀티밴드형 RF 트랜시버 개발이 급속도로 진행되고 있다. 이 트랜시버 IC(Integrated Circuit)와 멀티 프로토콜 형 베이스밴드 신호처리 LSI(Large Scale Integration)를 조합하여 휴대 전화망이나 무선랜(WLAN) 핫스팟, WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access) 등의 브로드밴드 무선 서비스, 나아가서 방송 서비스까지

\* 학생회원, \*\* 정회원, 서울대학교 전기·컴퓨터공학부  
(School of Electrical Engineering & Computer Science, Seoul National University)

※ 본 연구는 지식경제부의 지식경제 기술혁신사업에서 지원하는 차세대 무선통신용 트랜시버시스템개발 과제를 통해 수행되었습니다.

접수일자: 2010년12월27일, 수정완료일: 2011년2월16일

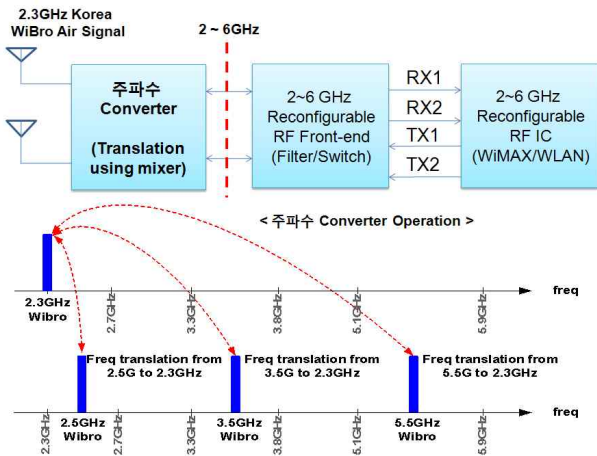


그림 1. 주파수 변환기 개념도  
Fig. 1. Frequency converter concept.

지 마음대로 바꾸어 이용할 수 있는 단말기를 실현하고자 하는 노력이 계속되고 있다. 멀티밴드형 RF 트랜시버 IC를 실현하기 위해 각 기업은 무선 회로 아키텍처를 파고드는 형태로 새로운 칩 설계에 주력하고 있다. 현재의 아키텍처를 확장하는 기법에서 매우 새로운 컨셉을 이용하는 기법까지 다양하다.<sup>[1]</sup>

다중입력 다중출력(Multiple-Input Multiple-Output, MIMO)은 여러 개의 안테나를 이용함으로써 주파수 대역폭의 증가 없이 하나의 안테나를 사용하는 것보다 빠른 속도로 데이터를 전송하여 대용량의 데이터 전송이 가능하게 하는 기술이다. 기존 무선랜 방식은 Access Point(AP)의 방향에 따라 하나의 안테나만 이용되지만, MIMO는 여러 개의 안테나를 동시에 작동시킴으로써 고속의 데이터 송수신을 가능케 한다. 또한 MIMO는 WLAN 뿐만 아니라 WiMAX/WiBro, 4G 등 차세대 이동 통신 기술에 폭넓게 활용될 것이다.<sup>[2~4]</sup>

국내에는 2.3 GHz의 WiBro(Wireless Broadband) 망만이 상용화되어 있고 2~6 GHz의 다른 주파수 대역은 상용화가 되어있지 않다. 2~6 GHz에서 동작하는 MIMO 칩 테스트를 하기 위해서는 2.3 GHz의 WiBro 신호를 받아들여 다른 주파수로 변환시켜야만 한다. 본 논문에서는 그림 1과 같이 2.3 GHz의 국내 상용 WiBro 신호를 2.5, 3.5, 5.5 GHz 대역의 신호로 바꿔주는 주파수 변환기 제작과 측정 결과에 대해 기술하였다.

## II. 주파수 변환기 제작 및 적용 실험

### 1. 주파수 변환기 제작 및 측정

시연용 MIMO 칩을 테스트하기 위해서는 상용 WiBro 망의 2.3 GHz 신호를 2~6 GHz의 원하는 주파수로 변환시킬 필요가 있다. 그림 2는 테스트를 위해 제작된 주파수 변환기의 회로도이다. 2.3 GHz의 WiBro 신호는 LNA(Low Noise Amplifier), BPF(Bandpass Filter)를 거쳐 증폭되고, 원하는 주파수로 바꾸기 위해서 2~8 GHz의 광대역 믹서를 통과시킨다. 실험 지역에서의 WiBro 신호의 크기가 작을 경우를 감안해서 변환기를 통과한 신호가 RFIC(Radio Frequency Integrated Circuit)에서 수신하기에 충분하지 않을 수 있기 때문에 이를 보완하기 위해서 주파수 변환 전에 충분히 증폭하도록 만들었고, 반대로 신호가 너무 셀 경우를 감안해서 LNA의 이득을 조절할 수 있도록 제작하였다. 그림 3은 제작된 주파수 변환기의 사진이며 크기는 3.1 cm × 3.1 cm × 0.4 cm이다. 사진 우측 ANT1, ANT2와 안테나를 연결시켜 신호를 송수신하고, 좌측 P1, P2에서는 2~6 GHz의 신호를 RFIC와 주고받도록 만들어져 있다.

표 1은 주파수 변환기의 수신단 측정 결과표이다. 수

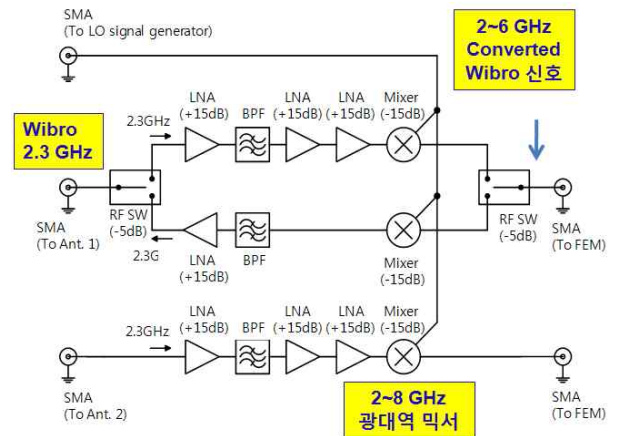


그림 2. 주파수 변환기 회로도  
Fig. 2. Frequency converter circuit.

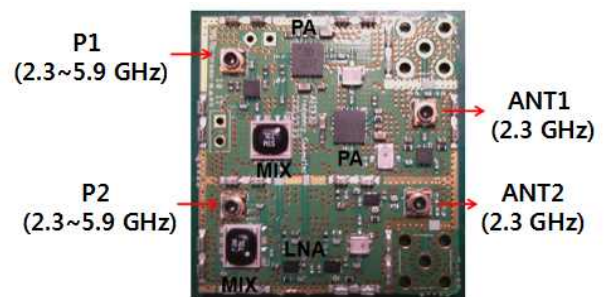


그림 3. 제작된 주파수 변환기 사진  
Fig. 3. Fabricated frequency converter picture.

표 1. 주파수 변환기 수신단 측정 결과

Table 1. Measurement result of frequency converter receiver.

Frequency (GHz)	2.4	3.5	5.5	5.8
LO frequency (GHz)	4.7	5.8	3.2	3.5
LO Power (dBm)	10	10	10	10
Total Current (mA)	29	29	29	29
Rx Gain (dB)	37.0	30.4	33.5	34.5
NF (dB)	2.73	3.45	2.62	2.63
EVM (dB)	-37.5	-35.5	-34.5	-36.5

표 2. 주파수 변환기 송신단 측정 결과

Table 2. Measurement result of frequency converter transmitter.

Frequency (GHz)	2.4	3.5	5.5	5.8
LO frequency (GHz)	4.7	5.8	3.2	3.5
LO Power (dBm)	7	15	7	7
Total Current (mA)	206	164	163	157
Tx Power Gain (dB)	15	12	12	11
EVM (dB)	-42.5	-35.5	-39.5	-41.5

신단의 이득은 각 주파수에 따라서 30.4~37.0 dB로 측정되었고, 잡음 지수(Noise Figure, NF)는 2.62~2.73 dB, EVM(Error Vector Magnitude)은 -37.5~-34.5 dB로 측정되었고, 목표한 20 dB 이득, 4.5 dB 잡음 지수, -32 dB EVM을 만족시켰다. 표 2는 주파수 변환기의 송신단 측정 결과표이다. 송신단의 이득은 주파수에 따라 11~15 dB로 측정되었고, EVM은 -42.5~-35.5 dB

로 측정되었고, 목표한 10 dB 이득, -35 dB EVM을 만족시켰다.

2. 멀티밴드/멀티모드 m-WiMAX/WLAN 모듈 측정

멀티밴드/멀티모드 m-WiMAX(mobile WiMAX)/WLAN 모듈 테스트는 국내 WiBro 2.3 GHz 주파수 대역인 상용망과 연동하여, 인터넷 연결을 확인하는 것을 목적으로 하였다. 기저대역 모뎀은 2.3 GHz 주파수 데이터를 실제 사용하기 때문에 2.3 GHz 주파수로 인식하도록 설정하였고, RF는 각각의 주파수 대역에 맞게 설정하도록 하였다. Rx/Tx DC, Tx I/Q Calibration을 통하여 모뎀이 보다 안정적으로 상용망과 연동되도록 하였다. 멀티밴드 테스트용 보드로 2.3 GHz 상용망 주파수와 연동하여 2.5 GHz, 3.5 GHz, 5.5 GHz 각각의 대역에서 네트워크 연결이 정상적으로 동작하는지 테스트 하였다.

그림 4는 개발된 멀티밴드/멀티모드 RF 시스템에 대한 전체 블록도이다. 각 단에서 들어온 신호를 동일한 RFIC를 가지고 처리하는 것으로 주파수 변환기는 안테나 다음 단계에 위치해 있다. 주파수 변환기를 거친 신호는 테스트할 주파수에 따라 필터를 선택한 후 RFIC에 전달된다. 표 3, 4는 이 시스템의 송수신단 특성을 측정한 결과표이다. 2.5 GHz, 3.5 GHz, 5.5 GHz 대역 모두 목표 주파수 대역을 포함하는 것으로 측정되었다.

표 3은 개발된 RFIC를 측정 시스템을 통해 수신 성능을 측정한 결과이다. 잡음 지수는 2.5 GHz 대역에서는 3.8 dB, 3.5 GHz 대역에서는 4.2 dB로 나타났고, 5.5

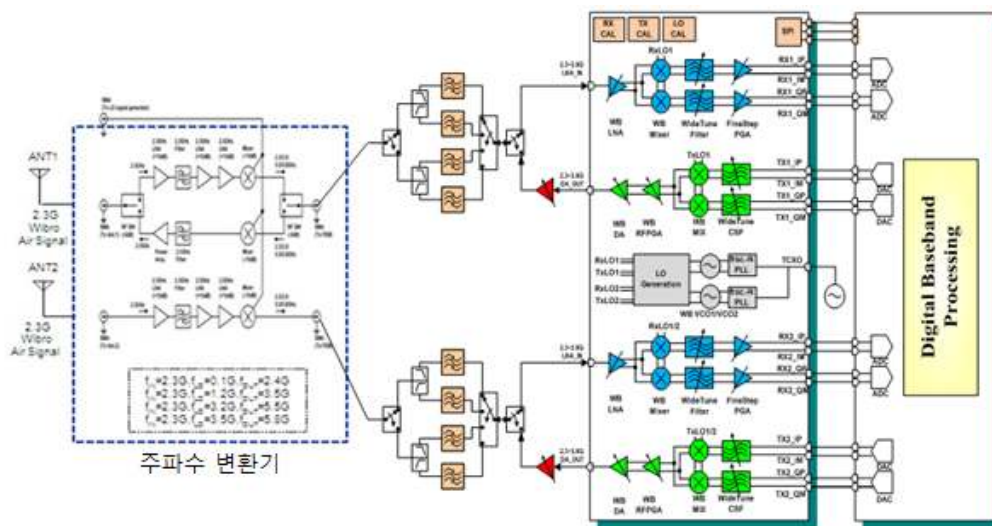


그림 4. 멀티밴드/멀티모드 m-WiMAX/WLAN 모듈  
Fig. 4. Multi-band/Multi-mode m-WiMAX/WLAN module.

표 3. 주파수 변환기를 포함한 RFIC 수신단 측정 결과

Table 3. Measurement result of RFIC receiver including frequency converter.

Receiver	Unit	Target	2.5 GHz	3.5 GHz	5.5 GHz	비고
Frequency	GHz	2.3 ~ 2.7 3.4 ~ 3.6 5.15 ~ 5.825	2.25 ~ 3.0	3.3 ~ 4.2	4.85 ~ 6.2	
NF	dB	4.5	3.8	4.2	5.5	@ Max gain mode
Gain Range	dB	20 ~ 90	18 ~ 91	18 ~ 91	19 ~ 89	
IIP3	dBm	-9	14	14	16	@ LNA low gain mode
Filter Cutoff freq.	MHz	2.5 ~ 18.3	1.75 ~ 18.3	1.75 ~ 18.3	1.75 ~ 18.3	
Gain control step	dB	1	1	1	1	
Adjacent ch rejection	dBc	30	>30	>30	>30	
Alternated ch rejection	dBc	50	>50	>50	>50	
EVM	dB	-32	-36	-32	-30	@ -50dBm, 64QAM

표 4. 주파수 변환기를 포함한 RFIC 송신단 측정 결과

Table 4. Measurment result of RFIC transmitter including frequency converter.

Transmitter	Unit	Target	2.5 GHz	3.5 GHz	5.5 GHz	비고
Frequency	GHz	2.3 ~ 2.7 3.4 ~ 3.6 5.15 ~ 5.825	2.25 ~ 3.0	3.3 ~ 4.2	4.85 ~ 6.2	
Dynamic Range	dBm	-52 ~ 8	-52 ~ 8	-52 ~ 2	-52 ~ 2	
Adjacent ch rejection	dBc	20	>20	>20	>20	
Alternated ch rejection	dBc	40	>40	>40	>40	
Spectral flatness	dB	+/- 2 dB	+/- 1 dB	+/- 1 dB	+/- 1 dB	
Output level step	dB	<1	0.5	0.5	0.5	
EVM	dB	Max gain : -25 Min gain : -35	-29 -36	-29 -34	-29 -33	@ 2 dBm Tx Power @ -10 dBm Tx Power

GHz 대역에서는 5.5 dB로 목표한 수치보다 약간 낮았다. IIP3(3rd Input Intercept Point)는 모든 대역에서 14 ~ 16 dBm으로 나타났다. 채널 간 단절(rejection)은 각각 목표한 30, 50 dBc를 만족시켰고 EVM 또한 2.5 GHz서는 -30 dB로 측정되었다. 표 4는 송신단 부분을 테스트한 결과로 동작 대역은 최소 -52 dBm에서 대역에 따라 최대 2~3.5 dBm 까지 측정되었다. 각각의 채널 단절은 각각 목표한 값 20, 40 dBc를 만족시 대역에서는 -36 dB, 3.5 GHz에서는 -32 dB, 5.5 GHz 대역에 컷고, 스펙트럼 평평도(spectral flatness)는 모두 +/- 1 dB로 나타났다. 그리고 송신 전력이 2 dBm일 때에는 EVM이 모든 대역에서 -29 dB로 나타났으며 -10 dBm 일 때에는 -36~-33 dB로 측정되었다. 그림 5는 앞의 시스템을 USB(Universal Serial Bus) 동글(dongle) 형태로 만들어낸 제품 사진이다. 점선으로 표시된 부분이

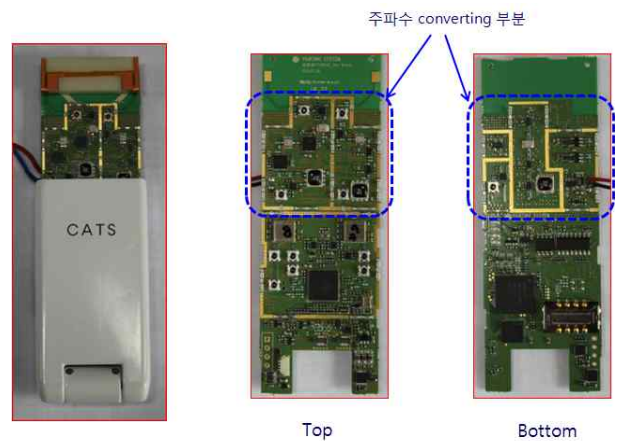


그림 5. 주파수 변환기를 포함한 쿼드 밴드 모듈  
Fig. 5. Quad-band module including frequency converter.

테스트를 위해 추가된 주파수 변환기 부분으로 이로 인



그림 6. WiBro 신호를 이용한 쿼드 밴드 모듈 인터넷 접속 테스트

Fig. 6. Internet connection test of quad-band module using WiBro signal.

해 보드의 길이가 약간 길게 만들어졌다. 주파수 변환기 아래 부분은 각 주파수 별로 필터를 선택하는 프론트-엔드 모듈과 RFIC, 모뎀으로 이루어져 있다. 모뎀은 상용화된 것을 사용하였다. 그리고 보드를 이용하여 안테라를 실장한 후 실제 2.3 GHz 대역의 WiBro 신호를 송수신하여 2.5 GHz, 3.5 GHz, 5.5 GHz에서 인터넷 연결을 테스트하였고 실험 셋팅은 그림 6에 나타나 있다. 모듈, 노트북 외 사용한 장비는 2가지이다. 하나는 모듈에 전원을 공급하기 위한 직류 전원 공급 장치이고, 다른 하나는 국부발진기 신호를 주기 위한 벡터신호발생기(Vector Signal Generator E8267D, Agilent)이다. 실험한 모든 대역에서 10 dBm의 신호를 사용하였다. 주파수 변환기를 포함하여 개발된 모듈을 노트북 USB에 직접 연결하여 실험한 결과 모든 대역에서 원활한 인터넷 통신이 가능했다.

### III. 결 론

국내 2.3 GHz WiBro 망을 이용한 멀티모드/멀티밴드 RF 모듈 테스트를 위해서 주파수 변환기를 개발했다. 개발된 주파수 변환기의 송신단 잡음 지수는 2.62~3.45 dB, EVM은 -37.5~-34.5 dB로 측정되었고, 수신단 부분 EVM은 -42.5~-35.5 dB로 측정되었다. 개발된 주파수 변환기를 쿼드 밴드 모듈에 연결하여 2.3 GHz WiBro 신호를 변환, 모듈에 2~6 GHz 신호를 입력할

수 있도록 만들었다. 상용화된 SK WiBro 신호를 이용하여 각 주파수 대역에서의 네트워크 연결을 테스트한 결과 2.5/3.5/5.5 GHz 대역 모두에서 원활한 인터넷 통신이 가능했다. 새로운 무선 통신 표준들이 계속해서 개발되고 있는 가운데 이를 테스트하기 위한 환경은 필수적이다. 이러한 환경을 조성하는 데 있어 주파수 변환기는 차세대 이동 통신 기술 개발에 폭넓게 활용될 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] T. Maeda et al., "A low-power dual-band triple-mode WLAN CMOS transceiver," IEEE J. Solid State Circuits, vol. 41, no. 11, pp. 2481-2490, Nov. 2006.
- [2] T. Manku, et al., "A single chip direct conversion CMOS transceiver for quad-band GSM/GPRS/EDGE and WLAN with integrated VCOs and fractional-N synthesizer," IEEE RF IC Symp. pp. 423-426, 2004.
- [3] L. Perraud et al., "A direct-conversion CMOS transceiver for the 802.11a/b/g WLAN standard utilizing a Cartesian feedback transmitter," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 39, no. 12, pp. 2226-2238, Dec. 2004.
- [4] J. Craninckx, et al., "A fully reconfigurable software defined radio transceiver in 0.13um CMOS," IEEE ISSCC, pp. 346-347, 2007.

### 저 자 소 개



김 세 환(학생회원)  
2008년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사 졸업  
2009년~현재 서울대학교 전기 컴퓨터공학부 석사 과정.  
<주관심분야 : 반도체, MEMS>



전 국 진(정회원)  
1997년 서울대학교 전자공학과 학사 졸업.  
1981년 University of Michigan, 전기공학과 석사 졸업.  
1986년 University of Michigan, 전기공학과 박사 졸업.  
1989년~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수  
<주관심분야 : 반도체, MEMS, Packaging, RF>