

논문 2011-48SD-2-10

# RF 통신 시스템의 면적 축소를 위한 8층 시스템-인-보드 임베디드 인쇄회로기판

(8-Layer System-in-Board Embedded Printed Circuit Board for Area Reduction of RF Communication System)

정진우\*, 이재훈\*\*, 전국진\*\*\*

(Jinwoo Jeong, Jae-Hoon Yi, and Kukjin Chun)

## 요약

삼중대역(2.3/2.5/3.5GHz) m-WiMAX 시스템의 제작을 위한 8층의 인쇄회로기판을 제작하였다. 고주파 동작시에도 우수한 성능을 확보하기 위하여 저유전율을 사용한 인쇄회로기판을 제작하였다. 또한 시스템 전체의 크기를 축소하기 위하여 수동소자를 삽입시킨 임베디드 인쇄회로기판을 제작하였다. 그 결과 시스템 면적의 9%를 줄일 수 있었다. 제작된 인쇄회로기판을 사용하여 삼중대역 m-WiMAX 시스템이 제작되었으며, 인터넷 연결 테스트를 성공적으로 수행하였다. 개발된 임베디드 인쇄회로기판은 시스템의 면적 축소와 저신호 손실 RF 통신 시스템에 효과적인 대응을 가능하게 할 것이다.

## Abstract

8-layer printed circuit board is designed and implemented for triple band(2.3/2.5/3.5GHz) m-WiMAX system. In order to maintain excellent RF performance, low dielectric constant material is used for implementation of the printed circuit board. Also, embedded printed circuit board which embed passive devices is manufactured to reduce total system area. As a result, total system area is cut off by 9%. Triple band m-WiMAX system is produced using embedded printed circuit board. Furthermore, internet connecting test is performed and proved successful running of the system. The developed embedded printed circuit board will provide a effective solution for system area reduction and low loss signal RF communication system.

**Keywords :** Triple Band, mobile WiMAX, Embedded, Printed Circuit Board, MIMO

## I. 서론

근래의 통신 시장에서 무선 인터넷 사용자들의 요구 사항은 고속의 전송속도와 함께 원활한 이동성으로 대

변된다. 이러한 사용자의 요구사항을 만족시키면서 차세대급 초고속의 통신 속도(1Gbps)를 확보하기 위하여, 최근 다수의 안테나를 이용하여 동일 주파수 대역폭으로 고속 통신을 가능하게 하는 다중입력 다중출력(MIMO, Multiple-Input Multiple-Output) 시스템의 연구가 활발하게 이루어지고 있다<sup>[1~2]</sup>. 한편, 근래의 통신 시스템은 사용자의 다양한 요구를 만족시킬 수 있는 서비스들을 복합적으로 제공하기 위하여 DMB(Digital Multimedia Broadcasting), Wi-Fi(Wireless-Fidelity), WLAN(Wireless Local Area Network), Bluetooth 등의 다수 통신 표준이 탑재되고 있다. 따라서 하나의 통신 시스템으로 다수의 통신 표준의 사용이 가능한 다중표

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

\*\* 정회원, 유정 시스템 (주)  
(Yu Jeong Systems Co.)

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

접수일자: 2010년12월30일, 수정완료일: 2011년2월9일

준 다중대역(Multi-Mode Multi-Band) 통신시스템의 개발이 차세대 무선통신시스템의 핵심기술로써 주목을 받고 있다<sup>[2~4]</sup>.

하지만 앞서 언급한 다중입력 다중출력 통신 시스템과 다중표준 다중대역 통신 시스템의 상용화를 위해서는 인쇄회로기판 수준에서 우수한 성능의 고집적 시스템의 안정적인 구현이 필수적이다. 따라서 고주파에서 특성이 우수한 저유전율, 저손실을 자재를 이용한 인쇄회로기판(PCB, Printed Circuit Board)의 개발 및 제조양산 기술의 확보가 요구되고 있다<sup>[5]</sup>. 아울러 시스템의 평면 복잡도를 최소화하면서 면적을 줄이기 위한 다양한 고집적 인쇄회로기판의 기술 개발 또한 필수적이다. 면적을 줄이기 위한 접근 방법으로 다층 적층 기술과 함께 수동 전자 부품을 인쇄회로기판 내에 내장하는 임베디드 인쇄회로기판(embedded PCB)이 최근 선도 기술로써 각광받고 있다<sup>[6~8]</sup>.

특히 임베디드 인쇄회로기판은 수동소자 및 능동소자를 인쇄회로기판 내부에 삽입함으로써 기판 표면 공간의 활용도를 높일 수 있는 장점이 있다. 특히 매칭(matching), 필터링(filtering), 디커플링(decoupling)과 같은 기능을 위해 다수의 수동소자가 사용되는 통신 모

듈에서 큰 강점을 가진다. 또한 기존의 재배선구조(redistribution wiring system)를 응용하여 접지면(ground plane) 및 전송선로(transmission line)를 쉽게 만들 수 있다. 따라서 이러한 장점으로 인해 임베디드 인쇄회로기판은 휴대폰(cellular phone), TV 동조기(tuner), GPS 및 WLAN 복합 통신 모듈을 중심으로 응용되고 있으며, 전원공급장치(power supply unit) 및 이미지 센서 모듈(image sensor module)로 점차 그 응용분야를 넓여가는 추세이다<sup>[6~8]</sup>.

본 논문에서는 삼중 대역(triple band, 2.3/2.5/3.5GHz) m-WiMAX(IEEE 802.162e)용 USB 동글(dongle)을 위한 인쇄회로기판의 개발에 대하여 논하였다. 고집적 시스템의 개발을 위해 8층을 가지며, 고주파 동작에 대응하기 위하여 저유전율 상수를 가지는 물질을 사용한 인쇄회로기판을 제작하였다. 또한 인쇄회로기판에 일부 수동 소자를 내장한 임베디드 인쇄회로기판을 추가적으로 제작하여 시스템의 크기가 축소됨을 확인하였다. 개발된 제품은 기존 SK 와이브로(Wibro) 상용망에(2.3GHz)에 접속하여 시스템의 정상 동작 여부를 검증하였다.

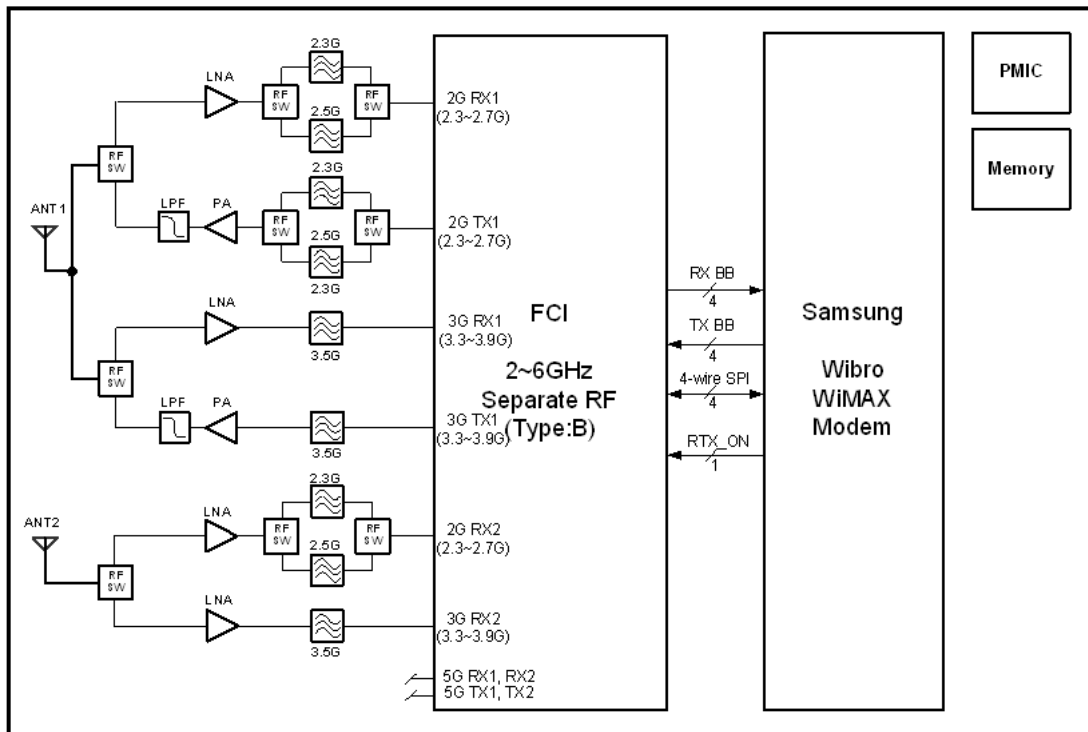


그림 1. 삼중대역 m-WiMAX 모듈의 블록도  
Fig. 1. Block diagram of triple band m-WiMAX module.

## II. 삼중대역 m-WiMAX 모듈

Mobile WiMAX(IEEE 802.16e)는 고속 전송속도(1Mbps)와 원활한 이동성(60km/h) 모두를 확보할 수 있는 4세대 이동통신을 대비한 시스템 표준이다. 임베디드 인쇄회로기판을 적용하여 개발한 삼중대역 m-WiMAX 모듈은 기본적으로 다중표준 다중대역 구조를 가지고 있으며 2.3GHz, 2.5GHz, 3.5GHz의 주파수 대역을 처리할 수 있다. 상용화 요구에 맞추어 RFIC의 입출력 포트가 2GHz/3GHz로 분리되어 있는 멀티 체인(multi-chain) 구조로 설계하였으며 유정(주)에서 개발한 삼중대역 용 RFIC(FC0904B)와 삼성전자(주)의 기저대역(baseband) 모듈 칩 및 상용 부품을 사용하여 설계하였다. 보다 안정적인 네트워크와의 연동을 위해 RF 드라이버(driver)를 통해 FC0904B Chip의 SPI Table, Configuration 설정 및 R/Tx Gain Table 적용, RFIC Filter 설정, R/Tx 모드 전환, Initial DC Calibration 등을 제어하였다. 그림 1은 개발한 다중표준 다중대역 시스템의 전체 블록도를 보여주고 있다. 개발된 모듈은 최종적으로 USB 동글 형태의 제품으로 제작되었다.

## III. 8층 임베디드 인쇄회로기판

임베디드 인쇄회로기판의 제작에 앞서 8층의 다층 인쇄회로기판이 삼중대역 m-WiMAX 모듈의 제작을 위해 설계되었다. 보다 향상된 RF 특성을 가지는 인쇄회로기판의 제작을 위하여 저유전율(relative dielectric constant,  $D_k = 3.8$  at 1GHz), 저손실율(loss tangent,  $D_f = 0.005$  at 1GHz) 특성을 가지는 라미네이트(laminate) 물질인 Panasonic Electric Works 社의 Megatron 4(R5725)를 기판 물질로 사용하였다. 총 800 $\mu$ m의 두께를 가지도록 설계되었으며, 기판의 크기는 34.90 x 62.0 mm<sup>2</sup>로 설계되었다.

임베디드 인쇄회로기판은 총 760 $\mu$ m의 두께의 8층 적층 구조로 설계되었다. 그림 2와 같이 개별수동소자(discrete passive devices)가 임베드 되어 있는 3층+2층+3층의 SiB(System-in-Board) 구조를 채택하였다. SiB 구조는 패키징이 되어 있는 개별수동소자를 직접 인쇄회로기판 내부에 삽입하기 때문에 인쇄회로기판을 이용하여 수동소자의 구조를 제작하는 방법에 비해 상대적으로 신뢰성 있는 수동소자의 성능을 기대할 수 있다. 또한 필요에 따라 수동소자와 유사한 공정 방법으로

I/O 개수가 작고 두께가 얇은 WLCSP(wafer level chip scale package) LSI(large scale integration) 칩을 인쇄회로기판 내에 삽입할 수 있다. 개별수동소자의 패드와 인쇄회로기판의 박막 도선층인 RDL(redistribution layer)과의 전기적 접속은 직접적으로 접속하는 구조를 사용하였다. 이를 위해 구리 포일(foil)을 드릴링한 후 구리 도금을 통해 직접 접속하는 공정 방식을 채택하였다. 이 방법은 라미네이트 기판에 구리 포스트(copper post) 또는 스테드 범프(stud bump)를 형성하고 플립칩 방식으로 칩을 접속시키는 방식에 비해 기계적으로 강인한 장점이 있다.

기판 물질로는 Hitach 社의 GEA-679FG(S)를 사용하였다. GEA-679FG(S)는 R5725에 비해 유전율이 높으나( $D_k=5.0\sim 5.2$  at 1MHz), 상대적으로 z-축 방향의 열팽창계수(CTE, coefficient of thermal expansion)가 작고(20~30 ppm/K at <Tg), 유리전이온도(glass transition temperature)가 175~185°C로 높다. 삼중대역 m-WiMAX 모듈의 기판 크기 축소를 위해 표면실장기술(SMT, Surface Mounting Technology) 타입의 54개의 축전기와 39개의 저항이 기판 내부에 삽입 되었으며, 기판의 크기는 33.50 x 59.50 mm<sup>2</sup>로 설계되었다.

상용 고주파 통신 시스템에 임베디드 인쇄회로기판



그림 2. 8층 SiB(System-in-Board) 구조의 임베디드 인쇄회로기판의 단면 구조도

Fig. 2. Sectional structure of 8 layer SiB (System-in-Board) embedded PCB.

표 1. 임베디드 인쇄회로기판의 개발 목표 요약  
Table 1. Summary of target specification for embedded PCB.

주요성능 Spec.	단위	개발목표치
기판 두께	mm	± 10 %
특성 회로 폭	$\mu$ m	± 15 %
열 충격성 (IPC TM-650)	회	3회 이상
수율	%	95% 이상

을 적용하기 위해서는 보다 엄격한 제조 관리가 필요로 하다. 따라서 IPC(Association Connecting Electronics Industries) 및 JEDEC(Joint Electron Devices Engineering Council) 규정에 의거하여 인쇄회로기판의 품질 및 신뢰성을 평가하였다. 표 1에 제작을 위한 개발 목표 및 평가방법이 요약되어 있다. 열적 충격에 대한 신뢰성 테스트를 위해서는 IPC의 TM-650 테스트 방법이 사용되었다. 가열/냉각 순환 열 테스트를 통해 인쇄회로기판 내의 도금 관통 전극과 전기적 연결선의 저항 값의 변화를 측정하기 때문에, 임베디드 인쇄회로기판의 신뢰성을 객관적으로 측정할 수 있다.

#### IV. 제작 결과

그림 3은 제작된 8층 인쇄회로기판의 단면도이다. 총 두께는 800 $\mu$ m로 측정되었으며 PTH 크기는 0.3  $\phi$ , LVH 크기는 144 $\mu$ m였다. 가장 내부 2층에 사용한 구리 포일의 두께는 20 $\mu$ m로 측정되었으며, 그 외의 층은 30 $\mu$ m, 표면 구리 배선의 두께는 35 $\mu$ m로 측정되었다. 사진 으로부터 뒤틀림 또는 단선, 큰 폭의 오차 없이 기판이 제작된 것을 확인할 수 있다.

그림 4의 (a)는 최종 제작된 임베디드 인쇄회로기판의 사진이다. 기판 내에 삽입된 수동 소자를 확인하기

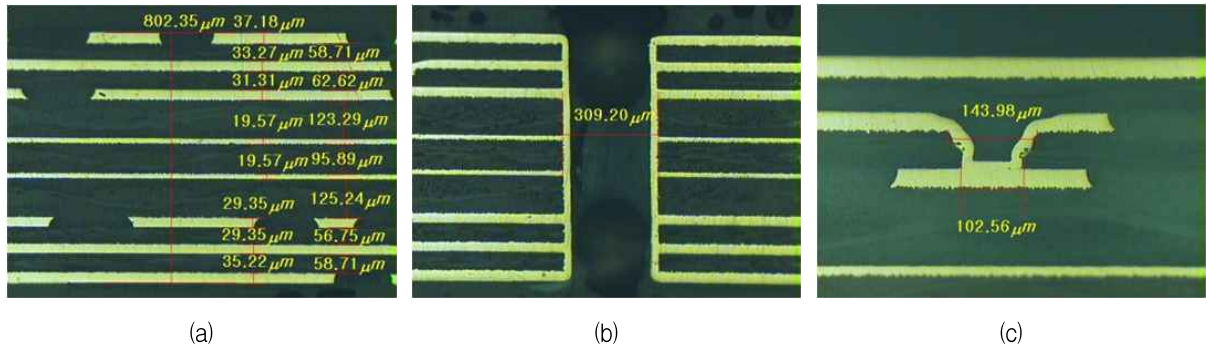


그림 3. 제작된 8층 인쇄회로기판의 단면 사진  
Fig. 3. Sectional picture of the manufactured 8 layer PCB.f.

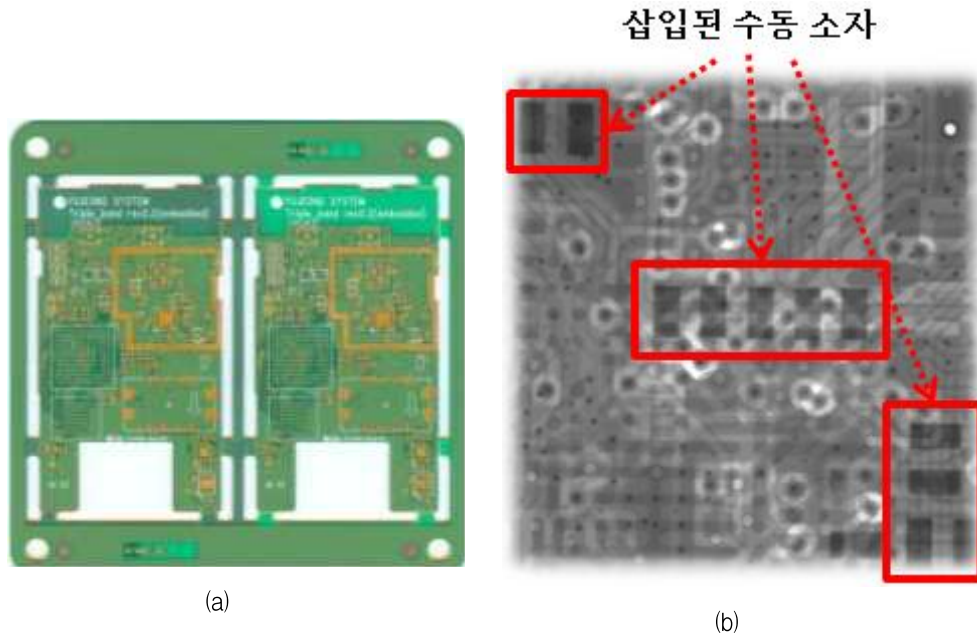
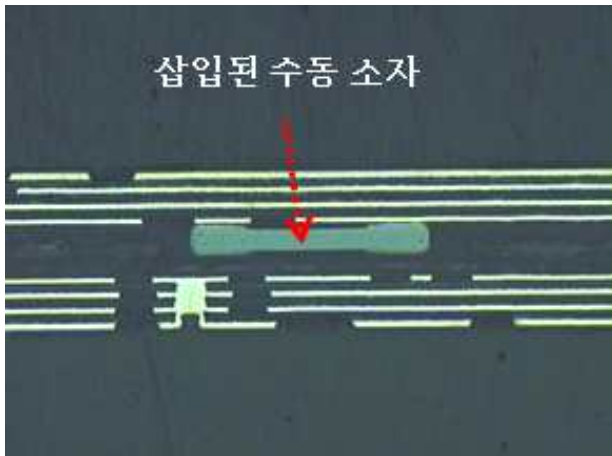
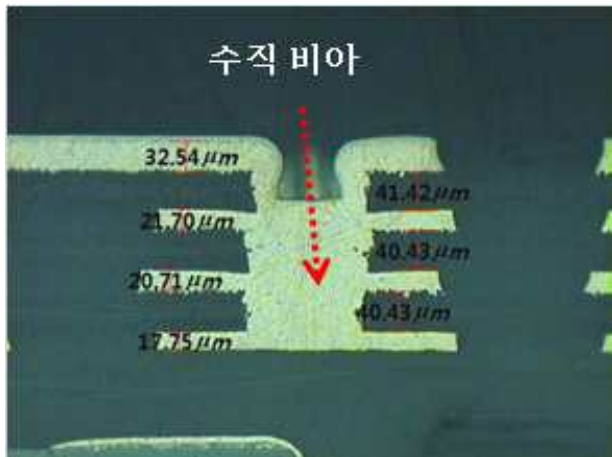


그림 4. (a) 제작된 임베디드 인쇄회로기판의 사진,  
(b) 제작된 임베디드 인쇄회로기판에 내부에 삽입된 수동 소자의 모습을 확인할 수 있는 X-ray 사진  
Fig. 4. (a) Picture of manufactured embedded PCB,  
(b) X-ray picture of the inserted passive devices in manufactured embedded PCB.



(a)



(b)

그림 5. (a) 수동소자가 삽입된 인쇄회로기판의 단면도, (b) 수직비아의 단면도

Fig. 5. (a) Sectional picture of embedded PCB in which passive devices are inverted, (b) Sectional picture of through-via formed in embedded PCB.

위하여 기판의 X-ray 투과 사진을 촬영하였다. 그림 4의 (b)을 보면 검은 색으로 나타나는 칩의 그림을 통해 삽입되어 있는 수동 소자를 확인할 수 있다.

그림 5는 수동 소자가 삽입되어 있는 임베디드 인쇄회로기판의 단면도이다. 축전기 54개, 저항 39개의 수동 소자를 인쇄회로기판의 내부에 삽입함으로써 개별수동 소자를 임베딩하지 않은 인쇄회로기판 대비 9%의 면적을 축소할 수 있었다.

제작된 임베디드 인쇄회로기판의 주요 성능 지수를 표 1에 제시된 기준에 따라 평가하였다. 표 2는 그 결과의 요약을 보여주고 있다. 기판 두께 및 특성 회로 폭의 오차 모두 기준을 상회한 측정결과를 보여주었으며, 열 충격성 테스트에도 이상이 없었다. 그리고 97.6%의 우

표 2. 임베디드 인쇄회로기판의 제작 결과 요약

Table 2. Summary of specification parameters of manufactured embedded PCB.

주요성능 Spec.	단위	측정치
기판 두께	mm	± 8 %
특성 회로 폭	μm	± 12 %
열 충격성 (IPC TM-650)	이상여부	이상없음
수율	%	97.6%

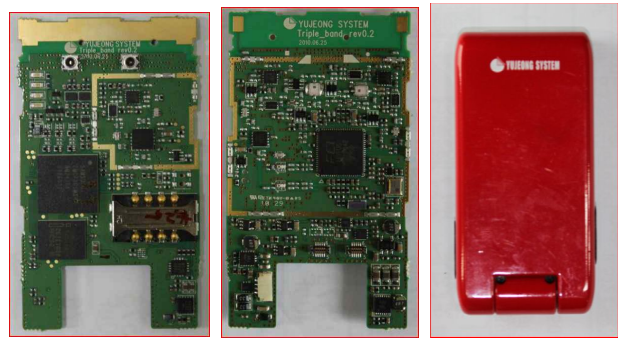


그림 6. 삼중대역 (2.3/2.5/3.5GHz) m-WiMAX 개발 제작된 제품

Fig. 6. Prototype product of developed triple band (2.3/2.5/3.5GHz) m-WiMAX.

수한 수율을 보여 사업화에 충분한 가능성을 확인할 수 있었다.

개발한 인쇄회로기판을 삼중대역 m-WiMAX 모뎀을 제작하였다. 제작된 모뎀은 PLL Lock, IQ Signal, RFIC 와 모뎀의 SPI 통신 등의 테스트를 통해 PHY/MAC Sync가 정상 동작함을 확인하였다. 또한 2.3GHz 주파수 대역에 대해서 SK 텔레콤 상용 망과 연동 테스트를 하였고, 2.5GHz 및 3.5GHz 주파수 대역은 콜장비 (E6651A)를 사용하여 네트워크 간의 연결이 정상적으로 동작하는지 여부를 검증하였다. 그 결과 세 개의 대역에 대해서 안정적으로 인터넷 접속이 유지되는 것을 확인하였다.

## V. 결 론

다중표준 다중대역 m-WiMAX USB 모듈의 개발에 있어서 일반적으로 사용되고 있는 FR-4를 대신하여 저유전율 및 저신호 손실 특성을 가지는 원자재인 Megatron 4를 사용하여 실제품을 제작하고 특성 및 신뢰성 평가를 실시하였다. 또한 차세대 무선 통신 시스템에 대응하기 위하여 임베디드 인쇄회로기판을 설계하

고 제작하였다. 개발된 임베디드 인쇄회로기판을 삼중대역 m-WiMAX USB 동글에 실제 적용하였으며 9%의 면적 절감효과를 확인하였다.

본 연구를 통해 개발한 저손실 인쇄회로기판 기술과 임베디드 인쇄회로기판 기술은 향후 전개될 다중표준 다중대역 RF 통신 시스템 및 LTE(long term evolution) 관련 제품의 성능향상과 더불어 개발 기간의 단축으로 인한 개발비용의 절감으로 보다 신속한 시장 진입을 가능하게 할 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

- [1] A.J. Paulraj, D.A. Gore, R.U. Nabar, and H. Bolcskei, "An overview of MIMO communications - a key to gigabit wireless," Proceedings of the IEEE, Vol. 92, no. 2, pp. 198-218, Feb. 2004.
- [2] K. Chun, H.C. Kim, E.J. Choi, S. Park, I.S. Song, Y.I. Kim, K.J. Yoon, and J.H. Yi, "A 4G compatible multi-mode/multi-band transceiver using VLSI and RF MEMS technology," 4th Asia Pacific Conference on Transducers and Micro/Nano Technologies, Taiwan, June 2008.
- [3] F. Agnelli, G. Albasini, I. Bietti, A. Gnudi, A. Lacaita, D. Manstretta, R. Rovatti, E. Sacchi, P. Savazzi, F. Svelto, E. Temporiti, S. Vitali, and R. Castell, "Wireless multi-standard terminals: system analysis and design of a reconfigurable RF front-end," IEEE Circuits and Systems Magazine, Vol. 6, no. 1, pp. 38-59, 2006.
- [4] E. McCune, "High-efficiency, multi-mode, multi-band terminal power amplifiers," IEEE Microwave Magazine, Vol. 6, no. 1, pp. 44-55, Mar. 2005.
- [5] A. Saitou, T. Iwaki, K. Honjo, K. Sato, T. Koyama, and K. Watanabe, "Practical realization of self-complementary broadband antenna on low-loss resin substrate for UWB applications," IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, Vol. 2, pp. 1265-1268, June 2004.
- [6] M. Brizoux, A. Grivon, W. C. Maia Filho, E. Monier-Vinard, J. Stahr, and M. Morianz, "Industrial PCB development using embedded passive & active discrete chips focused on process and DfR," Proceedings of Smart Systems Integration 2009 European Conference & Exhibition on Integration Issues of Miniaturized Systems MEMS, MOEMS, ICs and Electronic Components, Brussels, Belgium, March 2009.
- [7] W. Jillek and W.K.C. Yung, "Embedded

components in printed circuit boards: a processing technology review," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 25, no. 3-4, pp. 350-360, Feb. 2005.

- [8] U.M. Jow, C.L. Wei, Y.J. Lai, C.S. Chen, and C.S. Shyu, "Embedded passives on multi-layer printed wiring board (PWB) for 5GHz front-end module," Proceedings. 56th Electronic Components and Technology Conference, pp. 1331-1337, San Diego, CA, USA, 2006.

## 저자 소개



정진우(학생회원)  
2003년 서울대학교 전기공학부  
학사 졸업.  
2007년 서울대학교 전기컴퓨터  
공학부 석사 졸업.  
2007년~현재 서울대학교 전기  
컴퓨터공학부 박사 과정.

<주관심분야 : 반도체, MEMS, Packaging>



이재훈(정회원)  
1985년 한양대학교 전자계산공학  
석사 졸업  
2004년 한국해양대학교 전자통신  
공학 박사 졸업  
1996년~현재 유정시스템(주)  
대표이사

<주관심분야 : 전자 통신, RF>



전국진(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>