

# Package-Level Integrated 안테나 기술

육종관 · 위상혁

연세대학교 전기전자공학과

## I. 서 론

무선통신의 끊임없는 진보와 함께 전송속도에 구애 받지 않고 하나의 단말기로 원하는 서비스(음성, 데이터 및 동영상 멀티미디어 등)를 가장 편리한 네트워크를 통해 언제 어디서나 송수신이 가능한 제 4세대 통신 단계에 다다르고 있는 시점에서 소형 무선 통신기기의 필요성은 더욱 절실해지고 있으며, 이로 인해 초소형, 경량, 고집적 무선 송수신기 개발에 관한 많은 연구가 활발히 진행 중이다.

RF SOP(System-On-Package)는 다양한 수동소자, MMIC, CMOS bare chip 등을 고집적하고 이를 정밀한 기술로 패키징 하여 single RF front-end 모듈을 구성할 수 있는 핵심 기술로 대두되고 있다<sup>[1]-[5]</sup>. 그러나 RF SOP의 구현은 꼭 해결해야 할 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 먼저, 복잡하고 정밀한 공정 작업이 필요하고, 안테나 등과 같은 RF 수동 소자의 물리적 크기를 소형화 것은 어느 정도 한계를 가지고 있기 때문에 시스템 전체의 소형화를 위해서는 초소형 수동 소자의 개발이 뒤따라야 한다.

일반적으로 RF 시스템에서 안테나는 다른 소자들과 분리된 독립적인 수동 소자로 간주되어 왔기 때문에 시스템 개발자들은 시스템과 안테나에 관한 연구를 동시에 수행하지 않고 분리하여 생각해왔다. 하지만, SOP 환경에서 안테나는 더 이상 독립된 하나의 수동 소자가 아니며, 소형, 경량의 무선 송수신기 개발을 위해 안테나의 집적화는 반드시 필요하다. 마이크로스트립 패치 안테나의 경우, 한 변의 길이가 약 반파장 정도이므로 주파수가 아무리 높아진다 해도 초소형 무선 송수신기 개발에 적합하지

않게 된다. 그러므로, 패키지 레벨 집적화가 가능한 소형 안테나 기술 개발은 RF SOP를 실현하는데 있어서 가장 필요한 요소라고 할 수 있다. 또한 최근의 무선통신 서비스 발전과 정보 전송량의 증가로 인해 광대역 특성도 함께 요구되고 있다.

최근에는 PCS와 노트북 개발 분야 등에서 안테나가 내부에 집적된 무선 송수신 기기들이 제품화되어 나오고 있다. 미앤더드 선로를 이용한 안테나와 PIFA(Planar Inverted F Antenna)<sup>[6],[7]</sup> 등의 소형 안테나를 내부에 집적함으로써 돌출부를 제거하고 사용자의 편의를 증가시켜 주는 역할을 충분히 하고 있다. 하지만, 아직은 SOP로의 적용단계에 이르지 못하고 있다. 본고에서는 package-level integrated antenna 기술의 현황과 기술 개발 시 꼭 해결해야 할 문제점들에 대해 기술하고자 한다.

## II. Package-Level Integrated Antenna 기술 동향

SOP 환경에서는 package의 구조 특성상 적용할 수 있는 안테나 기술이 많지 않다. 즉, 일반적인 package는 그 높이가 낮은 평면구조를 갖고 있으며, 유한한 크기의 유전체를 갖고 있다. 또, 시스템 전체의 소형화 측면에서 보면 접지면의 크기도 충분히 확보하기가 힘들기 때문에 안테나가 package level로 집적화된 SOP의 구현은 많은 어려움이 따른다.

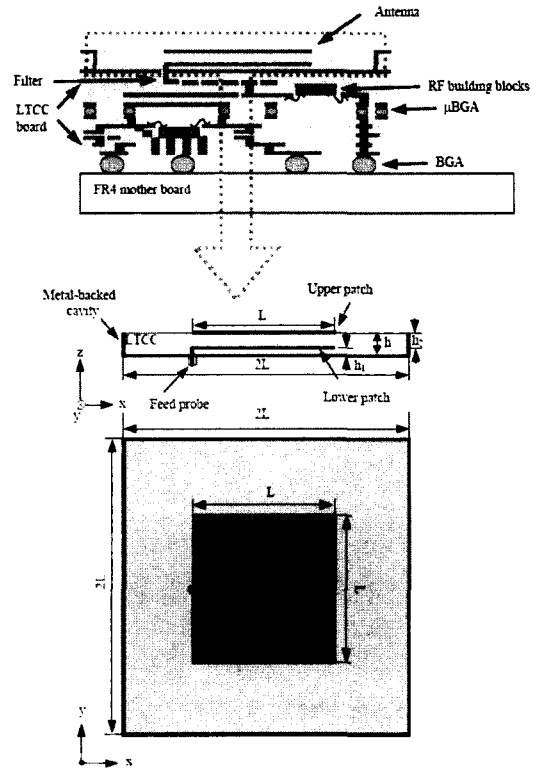
수십 GHz에서는 그 파장의 길이가 상당히 짧아지기 때문에 SOP의 구현이 상대적으로 수월할 수도 있지만, 시스템 전체의 구현을 위해서는 나노 또는 피코 단위의 공정을 행해야 하는 어려움이 있다. 실제로 우리가 연구하는 RF SOP는 수 GHz 대역의 응

용이 대부분을 차지하기 때문에 본고에서는 수 GHz 대역을 위한 안테나의 package level 집적화에 관해 다루고자 한다. 최근 2.4 GHz, 5.25 GHz, 5.8 GHz 등의 대역에서 연구중인 RF SOP용 안테나는 LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic) 및 ceramic을 이용하여 소형화하고 이를 패키지의 윗 부분에 실장하는 형태를 이루고 있다<sup>[3],[4],[10]~[13]</sup>. 예를 들어, 5 GHz에서 안테나의 크기는 cm 단위이므로 단일 칩이나 소자 위에 만드는 것은 불가능하다. 다양한 수동 소자들을 CSP(Chip Scale Package)를 한 후에 각각의 칩을 총체적으로 패키징 할 때 그 크기는 수 cm 정도가 된다. 이때 package 위에 안테나를 제작하고 via를 뚫어 밑의 회로와 연결해 주는 기능성 패키징은 사이즈를 줄이고 연결선의 길이를 감소시켜 특성을 향상시킬 수 있는 많은 장점이 있다.

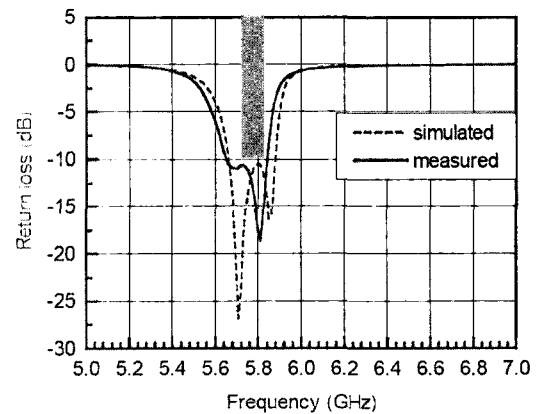
### 2-1 Compact Stacked-Patch Antenna in a Multilayer Module

LTCC 기술은 저손실 전송 선로, 높은 Q값을 갖는 수동 소자 개발, 3차원 적층 구조에 적합한 공정 기술로 잘 알려져 있으며, 높은 유전율을 갖는 유전체를 사용하기 때문에 시스템 하드웨어의 크기를 효율적으로 줄일 수 있다. 현재 LTCC 기술은 소형 안테나, 대역 통과 여파기, 송수신 모듈 등의 개발에 널리 쓰이고 있고, 국내외 여러 연구기관과 대학 등에서 LTCC 기술을 이용한 MCM(Multi Chip Module)과 안테나가 상부에 집적된 package에 관한 연구가 활발히 진행 중이다.

[그림 1]은 안테나를 LTCC multilayer package의 상부에 집적화 하여 그 크기를 효율적으로 줄이는 방법을 보여준다<sup>[3],[4]</sup>. 소형 LTCC 안테나의 좁은 대역폭 한계를 극복하기 위하여 광대역 특성을 갖는 stacked-patch 안테나<sup>[8],[9]</sup>를 이용하였고, 안테나와 MMIC나 embedded 수동소자들을 집적화 하여 이를 BGA (Ball Grid Array) 기술을 이용하여 mother board에 실

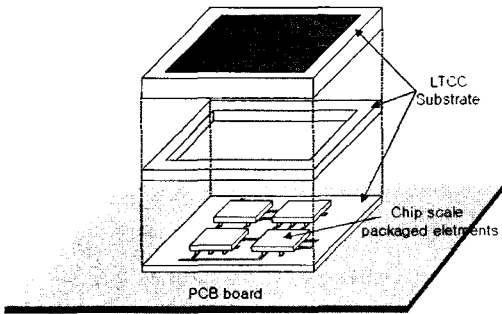


[그림 1] LTCC multilayer package에 집적된 stacked-patch 안테나



[그림 2] Stacked-patch 안테나의 반사손실

장한다. [그림 2]는 5.8 GHz stacked-patch 안테나의 모의실험 결과와 측정 결과를 보여준다. 5.8 GHz에서



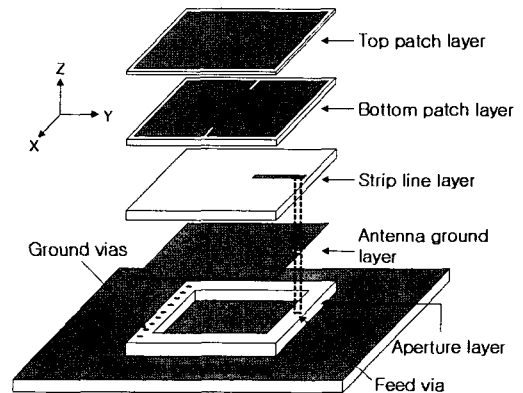
[그림 3] 안테나가 집적된 package의 개념도

약 200 MHz의 대역폭을 갖고 있으며,  $L$ 은 400 mil, 전체 안테나 두께는 약 0.81 mm이다. 유전체와 접지면을 포함한 전체 안테나의 크기는 800 mil×800 mil이다.

### 2-2 Package-Level Integration of LTCC Antenna

[그림 3]은 소형 송수신기 모듈에 이용할 수 있도록 CSP된 수동 소자들의 집적을 위해 내부에 집적 공간을 마련하고 안테나가 package의 상부에 집적되었을 때의 LTCC package 설계 개념도이다. 2-1 절에서 제시한 구조와는 달리 package 커버와 안테나를 LTCC 공정을 이용하여 동시에 제작하고, 내부에는 임의의 공간을 두어 원하는 수동 소자들을 집적할 수 있도록 하였다.

5 GHz 대역에서 사용하는 시스템의 경우, 최소한 100 MHz 이상의 대역폭을 요구하고 있고 패키지의 높이는 낮은 것이 효율적이므로, 설계자는 가능한 그 높이를 줄이면서 원하는 대역폭을 달성할 수 있도록 노력해야 할 필요가 있다. [그림 4]는 [그림 3]의 구조를 기본으로 하여 5 GHz 대역에서 100 MHz 이상의 대역폭 확보를 위해 stacked-patch 안테나를 집적한 패키지의 구조를 보여준다<sup>[10]</sup>. 유전체는 유전율이 7.8인 DuPont 9599 sheet를 사용하였고, 도체는 은을 이용하였다. Package 상부에는 상부 패치와 하부 패치가 있고, 하부 패치는 두 개의 공진 특성을

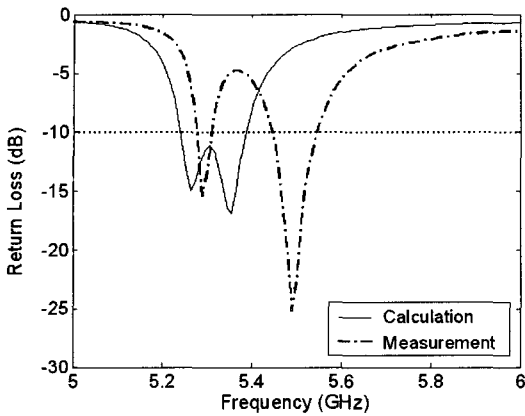


[그림 4] Stacked-patch 안테나의 package-level 집적화

잘 조합하기 위하여 중앙 부분에 슬릿을 갖고 있다. 내부 aperture가 존재하기 때문에 안테나의 급전은 하부 패치 아래에 존재하는 스트립라인을 이용하여 이루어지는데, 이 급전선은 package 커버의 외벽 내에 존재하는 via를 통해서 안테나 신호 입력 부분과 연결되게 된다. Aperture의 윗부분에는 방사 소자로부터 발생한 전자파의 영향을 최소화하기 위하여 도체를 한층 삽입하고 이를 접지면과 ground via를 통해 연결하였다. 안테나를 포함한 패키지 전체의 크기는 10.3 mm×10.3 mm×1.3 mm이고, 내부 공간은 8.3 mm×8.3 mm×0.7 mm 이다. 또한, 실제 적용에 있어서 송수신 모듈 전체의 크기를 작게 가져가야 하기 때문에 접지면의 크기를 20 mm×20 mm로 한정하였다.

모의실험 및 측정 결과를 [그림 5]에 나타내었다. 제작된 안테나의 대역폭은 약 140 MHz였고, 두 개의 공진 주파수 모두 모의 실험 결과와 다소 차이를 보였는데 이는 공정에서 발생한 오차와 복잡한 구조로 인한 모의실험상의 오차, 그리고 측정 시 연결한 커넥터에 의해 접지면의 임피던스 변화로 인한 오차 등에 의한 것이다. 향후에 오차의 원인 분석 및 특성의 변화 등에 대한 연구가 필요하다.

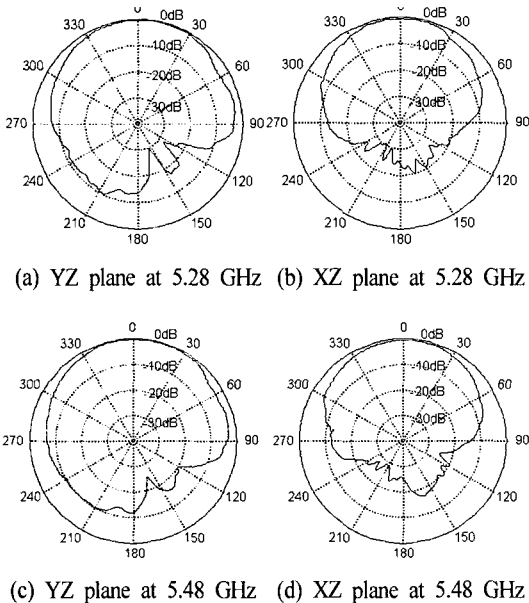
[그림 6]은 제작된 안테나의 방사 특성을 나타내



[그림 5] 설계된 안테나의 반사 손실 특성

고 있다. 두 공진주파수 모두에서 일반적인 마이크로 스트립 안테나와 유사한 방사 특성을 갖고 있지만, 높은 유전율을 갖는 유전체의 사용과 좁은 접지면의 크기 때문에 방사 효율이 떨어져 이득이 낮게 나타났다.

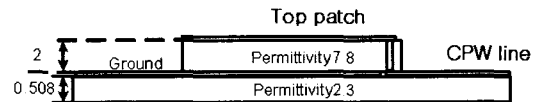
5.725 GHz~5.825 GHz 대역에서의 package 집적화를 위하여 설계된 LTCC 안테나를 [그림 7]에 나타



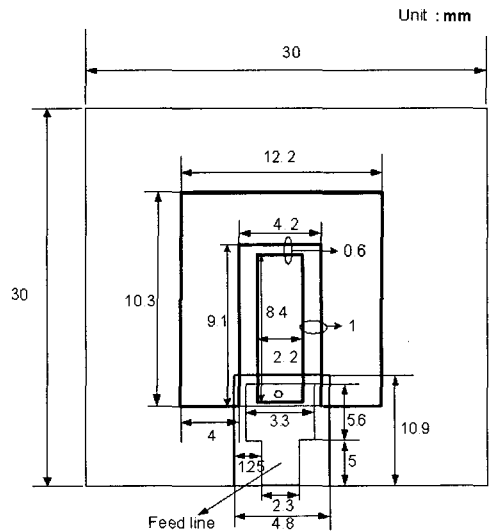
[그림 6] 제작된 안테나의 방사 패턴

내었다<sup>[11]</sup>. 안테나의 설계에는 유전율이 7.8인 유전체를 사용하였다. 안테나의 급전은 접지면에 설계된 CPW 라인으로부터 방사 소자에 직접 연결된 via에 의해서 이루어지며, CPW 라인은 안테나의 원활한 측정을 위해 설계하였다.

제작된 안테나는 변형된 U-slot 안테나로서 측정 결과 약 180 MHz(5.76~5.94 GHz) 대역폭을 나타냈으며 그 크기는 12.2 mm×10.3 mm×2 mm이다. [그림 8]에서 볼 수 있듯이 제작된 안테나의 공진주파수는 모의실험보다 약간 높게 나타났으며, 대역폭은 조금 더 넓어졌다. 모의실험 결과 안테나의 방사 패턴을 [그림 9]에 나타내었다. 왼쪽은 E-plane, 오른쪽은 H-plane의 co-pol(실선)과 cross-pol(점선)을 나타낸다. 설계된 안테나는 일반적인 마이크로스트립 안테

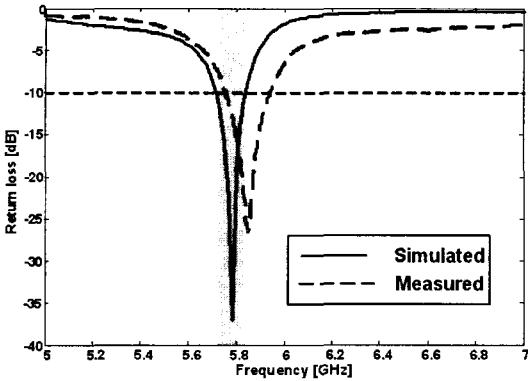


(a) Side view

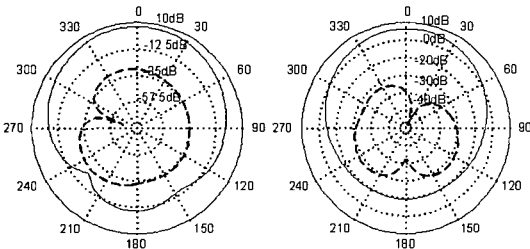


(b) Top view

[그림 7] Package-level 집적화를 위해 설계한 변형된 U-slot antenna



[그림 8] 반사 손실의 모의실험 및 측정 결과



[그림 9] 설계된 안테나의 방사 패턴

나와 유사한 방사 패턴을 갖고 있다. [그림 7]에 제시한 안테나는 단일 안테나만을 설계하고 제작하였으므로 향후 안테나의 package-level 집적화가 필요하다.

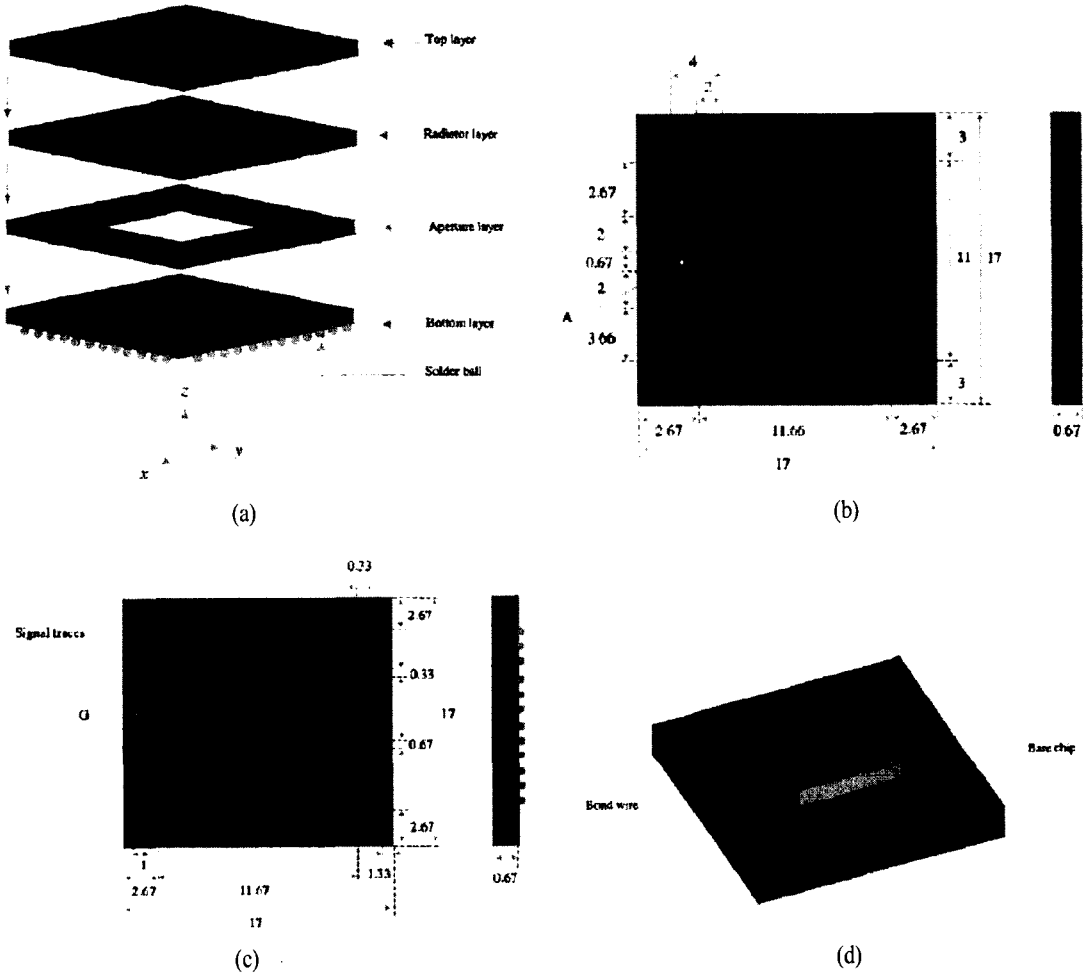
### 2-3 Integrated Ceramic Ball Grid Array Package Antenna for SOC

5 GHz 대역에서 고집적 무선 송수신기를 위한 ceramic ball grid array package에 집적화 된 안테나를 [그림 9]에 나타냈다<sup>[12][13]</sup>. 그림에서 볼 수 있듯이 이 패키지는 내부에 RF CMOS를 집적화하고, ceramic ball grid array package의 상부에 안테나를 설계하였다. 안테나의 급전은 하부에서부터 직접 상부 패치로 via를 통해 이루어졌으며 CMOS bare chip은 bond wire를 통해 패드와 연결된다. 설계된 inset 급전을

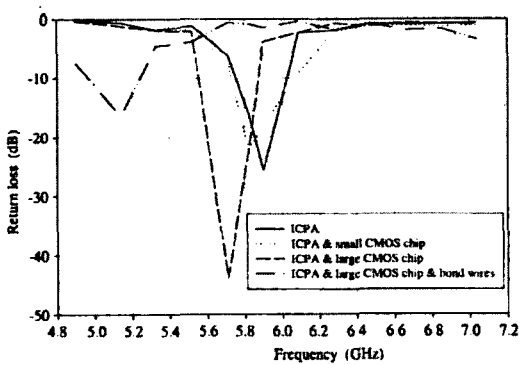
이용한 안테나는 5.8 GHz 대역에서 약 4.65 %의 대역폭을 나타내며, 그 크기는 11 mm×11.66 mm이다. 전체 ceramic ball grid array package의 크기는 17 mm×17 mm×2.68 mm이다. [그림 10]은 FDTD를 이용한 안테나의 반사 손실 특성을 보여준다. 특히, 패키지 내부에 CMOS bare chip과 bond wire가 존재하였을 때와 존재하지 않았을 때의 안테나의 특성 변화를 볼 수 있다.

지금까지 안테나의 package-level integration 기술 동향에 관해 이야기하였다. 아직까지는 안테나의 집적화에 있어서 해결해야 할 많은 문제점들이 있다. 먼저, 패키지에 적합한 구조의 선정이다. 현재까지 연구되었던 대부분의 안테나들은 패키지의 구조적 특성상 패치 또는 stacked-patch가 대부분이다. 다음으로 패키지의 안정성과 소형 회로 설계에 적합한 고유전 물질의 사용은 안테나의 대역폭을 협소하게 만들고 효율을 감소시키므로 유전체에 의한 영향을 최소화 할 수 있는 기술 개발이 필요하다. 또한 package 구조에서는 전체 package의 크기에 적합한 유전체 크기를 갖게 되는데, 유전체의 크기가 줄어들게 되면 전체 유효 유전율의 감소로 인하여 안테나의 공진 주파수가 상승하게 된다<sup>[14]</sup>. Package가 실제로 실장될 때 필요한 여유 있는 접지면의 확보도 필수적이다. 접지면의 크기가 작아지면, 안테나의 후방 방사의 영향이 심해지고 안테나의 방사 효율이 감소하게 된다<sup>[14],[15]</sup>.

마지막으로 package 내부에 소자들을 집적할 때 발생하는 다양한 문제점들에 대한 분석이 필요하고, 안테나와 집적화 될 RF 수동 소자들과의 상호 커플링에 관한 문제도 꼭 해결해야 하며, package에 사용될 via에 의한 불필요 방사로 인한 피해<sup>[16]</sup>를 최소화 할 수 있도록 해야 한다. 이렇듯 많은 문제점들이 있지만 package 위에 안테나를 제작하고 via를 뚫어 밑의 회로와 연결해 주는 기능성 packaging은 package 및 시스템 전체 크기를 줄이고 연결선의 길이를 감



[그림 10] Integrated ceramic ball grid array package antenna(ICPA)



[그림 11] ICPA return loss versus frequency

소시켜 특성을 향상시킬 수 있는 많은 장점이 있다.

### III. 결 론

SOP의 핵심 기술은 바로 안테나를 어떻게 소형화 하여 RF 시스템과 집적화 하느냐 하는 것과 다양한 RF 수동 소자들을 집적하였을 때 각각의 소자들이 원활하게 동작할 수 있는 집적화 기술이 필요하다는 것이다. 본고에서는 안테나의 소형 집적화 기술에 관하여 살펴보았다. 본문에서 제시하였듯이 현재 진

행 중인 안테나의 package-level 집적 기술은 지금까지 인쇄된 모델명들이 차지하고 있던 패키지의 상부에 안테나를 집적하는 방법을 위주로 진행 중이다. 하지만 극복해야 할 많은 문제들이 많으며, 다양한 연구 개발을 통해 이를 해결하기 위한 노력해야 할 것이다. RF SOP의 완성은 또 한번 세상을 변화시킬 수 있는 큰 원동력이 될 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

- [1] Kyutae Lim, Ade Obatoyinbo, Albert Sutono, Sudipto Chakraborty, Chang-Ho Lee, Edward Gebara, Arvind Raghavan, and Joy Laskar, "A highly integrated transceiver module for 5.8 GHz OFDM communication system using multi-layer packaging technology", *IEEE Int. MTT-S Microwave Symposium Digest*, vol. 3, pp. 1739-1742, 2001.
- [2] Chang-Ho Lee, Albert Sutono, Sangwoo Han, Kyutae Lim, Stephane Pinel, Emmanouil M. Tentzeris, and Joy Laskar, "A compact LTCC-based Ku-band transmitter module", *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, vol. 25, no. 3, pp. 374-384, Aug. 2002.
- [3] E. Tentzeris et al., "Design of compact stacked-patch antennas on LTCC technology for wireless communication applications", in *Proc. IEEE Int. AP-S Symp.*, pp. 500-503, 2002.
- [4] R. L. Li, G. DeJean, K. Lim, M. M. Tentzeris, and J. Laskar, "Design of compact stacked-patch antennas in LTCC multilayer packaging modules for wireless application", *IEEE Transaction on Advanced Packaging*, vol. 27, no. 4, pp. 581-589, Nov. 2004.
- [5] R. L. Li, G. Gejean, M. M. Tentzeris, J. Laskar, and J. Papapolymerou, "LTCC multilayer based CP patch antenna surrounded by a soft-and-hard surface for GPS applications", in *Proc. IEEE Int. AP-S Symp.*, pp. 651-654, 2003.
- [6] Corbett R. Rowell, R. D. Murch, "A capacitively loaded PIFA for compact mobile telephone handsets", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 45, no. 5, pp. 837-842, May 1997.
- [7] Kathleen L. Virga, Yahya Rahmat-Samii, "The first-Profile enhanced-bandwidth PIFA antennas for wireless communications packaging", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 45, no. 10, pp. 1879-1888, Oct. 1997.
- [8] W. S. T. Rowe, R. B. Waterhouse, "Reduction of backward radiation for CPW fed aperture stacked patch antennas on small ground planes", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 51, no. 6, pp. 1411-1413, Jun. 2003.
- [9] Steven Mestdagh, Walter De Raedt, and Guy A. E. Vandenbosch, "CPW-fed stacked microstrip antennas", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 52, no. 1, pp. 74-83, Jan. 2004.
- [10] Sang-Hyuk Wi, Yong-Bin Sun, In-Sang Song, Sung-Hoon Choa, and Jong-Gwan Yook, "Package-level integration of LTCC antenna", *2005 IEEE Int. Symp. Antenna and Propagation*(accepted paper).
- [11] Jin-Seok Kim, Sang-Hyuk Wi, Jun-Chul Kim, and Jong-Gwan Yook, "5 GHz band LTCC antenna for WMAN application", *2005 IEEE Int. Symp. Antenna and Propagation*(accepted paper).
- [12] Y. P. Zhang, "Finite-difference time-domain analysis of integrated ceramic ball grid array package antenna for highly integrated wireless transceivers", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 52, no. 2, pp. 435-442, Feb. 2004.

- [13] Y. P. Zhang, "Integrated circuit ceramic ball grid array package antenna", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 52, no. 10, pp. 2538-2544, Oct. 2004.
- [14] G. Kergonou, M. Drissi, "Finite size substrate and ground plane effects on propagation characteristics of planar interconnections", in *Proc. IEEE int. EMC symp.*, vol. 2, pp. 701-704, 2002.
- [15] M. -C. Huynh, W. Stutzman, "Ground plane effects on planar inverted-F antenna (PIFA) performance", *IEE Proc.-Microw. Antennas Propag.*, vol. 150, no. 4, Aug. 2003.
- [16] S. Maeda, T. Kashiwa, and I. Fukai, "Full wave analysis of propagation characteristics of a through hole using the finite difference time-domain method", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 39, no. 12, pp. 2154-2159, Dec. 1991.

≡ 필자소개 ≡

육 종 관



1987년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
 1989년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1998년: University of Michigan 전기전자공학과 (공학박사)  
 1997년 1월~1998년 10월: University of Michigan Research Fellow

1998년 11월~1999년 2월: Qualcomm Inc. Senior Engineer  
 1999년 3월~2000년 2월: 광주과학기술원 조교수  
 2000년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 조교수  
 [주 관심분야] 마이크로파 구조 해석 및 설계, RF MEMS, 박막공진 구조

위 상 혁



2001년 2월: 여수대학교 전자통신공학과 (공학사)  
 2001년 9월~2003년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)  
 2003년 9월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 안테나 및 초고주파 회로 설계