

# 차세대 무선통신 단말기용 RF 시스템 단일 칩 및 패키지(RF-SOC & SOP) 집적 안테나 기술 동향

표철식 · 정영준 · 전순익  
최재익 · 김창주 · 채종석

한국전자통신연구원

## 요 약

본 고에서는 차세대 무선통신용 초소형 단말기 구현에서 RF 시스템의 성능 개선에 크게 기여하게 될 RF 집적형 안테나 기술 현황과 향후 발전 방향이 제시된다. 고성능을 유지하면서 초소형 RF 전치단을 실현하기 위한 능동소자와 안테나가 결합하여 복합 기능을 하는 능동 집적 안테나(AIA, Active Integrated Antenna) 기술 현황, RF 시스템 단일 패키지(RF-SOP, System On Package) 형태에 집적 가능한 안테나 및 미래의 꿈인 RF 시스템 단일 칩(RF-SOC, System On Chip)을 향한 단일 칩 안테나(AOC, antenna on chip) 기술 동향 등이 기술된다.

## I. 서 론

향후 무선 통신 시스템들은 초소형화 및 초경량화 특성을 가지면서 다양한 성능 요구 기능을 수행할 수 있는 RF 전치단을 더욱 더 요구하게 될 것이다. 소형화를 통한 저가의 RF 전치단 구현 및 이로 인한 시스템 성능(효율, 대역폭 등) 유지에 대한 이러한 요구 사항은 증폭기 등과 같은 능동 소자들 안테나와 직접 집적화 함으로서 즉, 능동 집적 안테나(AIA, Active Integrated Antenna) 기술을 적용함으로써 가능할 것이다<sup>[1]</sup>.

한편, RFIC (Radio Frequency Integrated Circuits) 기술의 발전은 무선 시스템 단말기의 크기를 지속적으로 감소시켜 왔으며 이제는 SOC 솔루션으로

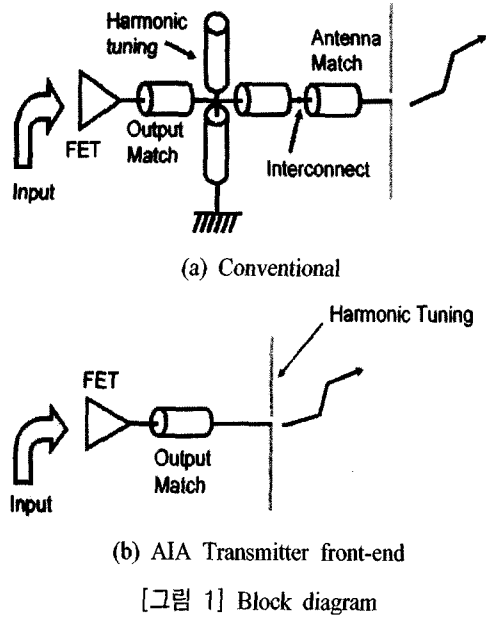
접근하고 있다. 현재의 송수신 장치는 수개의 RFIC와 많은 off-chip 부품을 사용하며 송수신 전치단의 크기가 새로운 기술과 개선된 구조에 의해 극적으로 감소해짐에 따라 안테나가 집적되는 RF-SOC에 대한 희망이 커지고 있다. 그러나 고성능을 유지하면서 단일 칩으로의 집적화는 쉽지 않으며 그 대안으로서 고밀도의 집적화를 통한 RF-SOP의 단일 패키지 구현에 초점이 맞추어지고 있으며 현실적인 솔루션으로 인식되고 있다<sup>[2]</sup>.

본 고에서는 하나의 기판 위에 능동 소자들 및 평면 안테나(planar antenna)들을 집적하여 마이크로파 및 밀리미터파 대역 송/수신 모듈의 수신 잡음 지수 및 송신 전력 효율 개선을 통한 시스템 성능 개선을 위한 능동 집적 안테나 기술 동향을 알아본 후, 최근 RF-SOP 솔루션을 구현하기 위하여 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic), MLO(Multilayer organic) 및 MCM-D(Thin-film Multi-chip Module) 등의 패키지 형태에 적합한 안테나 구조인 CBPA(Cavity Backed Patch Antenna), LSA(Lifted Slot Antenna), Brick-wall 안테나 등이 소개된다. 다음에 밀리미터파 대역에서 적용 가능성이 크고 마이크로파 대역에서 소형 안테나 기술에 의한 단일 칩 안테나(AOC) 기술로의 접근 현황에 대하여 알아본다.

## II. 능동 집적 안테나

능동 집적 안테나(AIA)는 능동 RF 부품과 안테나 소자를 동일한 기판 위에 집적하여 발전, 증폭,

주파수 변환 등 여러가지의 RF 기능을 안테나 본래의 방사 기능에 통합한 새로운 형태의 안테나이다. AIA는 RF 회로 설계자 관점에서 보면 입·출력 단자가 50ohm 인터페이스가 아니고 자유공간인 초고주파 능동회로로서 방사 소자의 역할은 물론 공진, 필터링, 듀플렉싱 및 증폭 등과 같은 복합적인 회로 기능을 한다. 반면에 안테나 설계자 관점에서 볼 때 AIA는 혼합 및 증폭과 같은 전파 신호 처리 기능을 하는 다기능 안테나이다. 현재 능동 집적 안테나는 기술적으로 성숙 단계이며 적합한 시스템 적용을 시도하고 있고 시스템 적용 문제점(Duplex 기능, Stability, Phase Noise, 대역 외 스푸리어스, 국부 발진기 복사 등)을 해결하기 위한 연구 활동이 UCLA, Texas A & M, Birmingham, UCSB 등의 학계를 중심으로 매우 활발하다<sup>[1],[3],[4]</sup>.

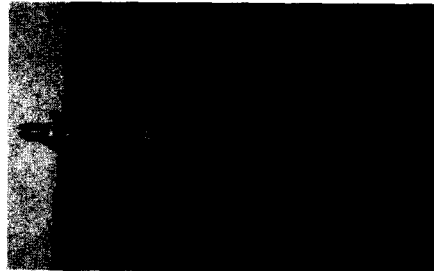


## 2.1 송신 전치단 능동 집적 안테나<sup>[5]~[9]</sup>

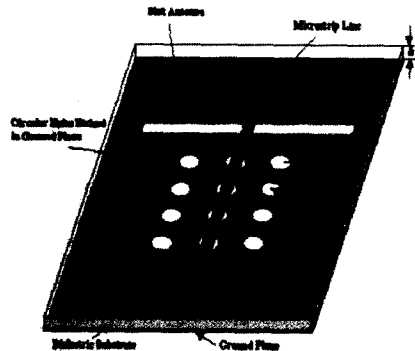
송신단에 대한 AIA 기술은 전력 효율 개선 및 선형성 증대에 적용되어 다양한 안테나 형태 및 전력 증폭기를 집적하는 형태로 진행되고 있으며 최근에는 PBG(Photonic Band-Gap) 개념이 추가로 도입되어 연구 개발이 활발하다.

[그림 1] (a)의 기존 송신 전치단 구조는 (b)의 능동 집적 안테나 기술을 적용할 경우 하모닉 동조 회로(tuning circuit) 및 안테나 매칭회로의 제거로 낮은 삽입 손실로 구현이 가능하여 전력 효율을 개선할 수 있다. 여기서 안테나는 기존의 방사 기능 외에도 필터링 기능, 출력 정합 기능, 하모닉 동조 및 능동 소자의 부하로 동작한다.

[그림 2]의 (a)는 원형 패치 안테나를 전력 증폭기와 집적화 함으로서 전력 효율 및 하모닉 특성을 개선시킨 경우이고, (b)는 슬롯 안테나 및 PBG 접지면(4×3 elements)을 이용하여 S-band용 전력 증폭기에 의한 고조파 하모닉 성분 억압 및 전력 효율 특

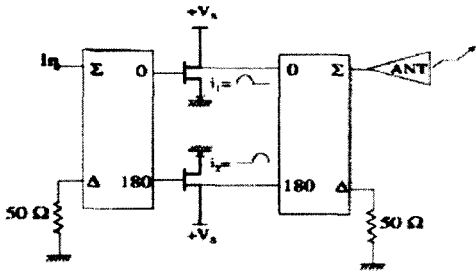


(a) Circular patch antenna @2.55 GHz, 63 % PAE

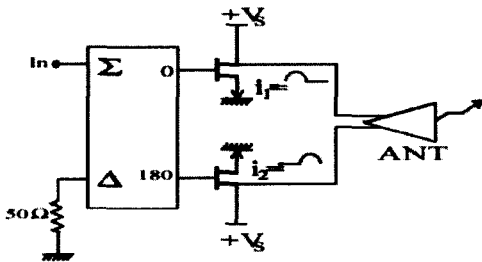


(b) Slot antenna and PBG structure, @3.74.0 GHz

[그림 2] PA integrated



(a) Conventional



(b) Integrated antenna push-pull front-end

[그림 3] Architecture

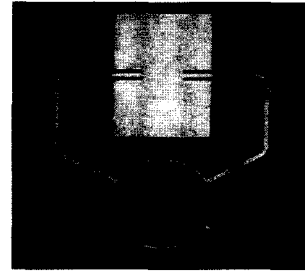
성을 개선한 경우이다.

또 다른 경우는 [그림 3]의 (b)와 같이 푸시풀(push-pull) 전치단에 능동 집적 안테나 기술을 적용하여 180° 하이브리드의 기능을 안테나가 대체함으로써 이로 인한 낮은 삽입 손실로 출력 전력 효율을 개선하는 방식이다. 여기서 안테나는 기존의 방사체 기능 외에 전력 합성 및 고조파 하모닉 동조 부하로 동작한다.

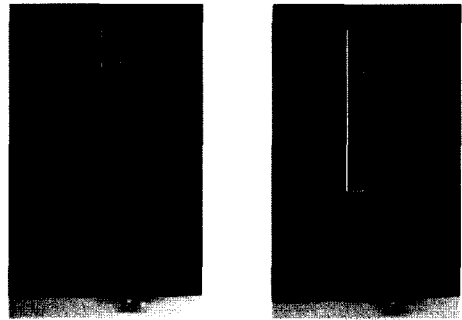
[그림 4]는 다양한 주파수 대역들에서 동작하는 패치, 슬롯, 누설파 및 quasi-Yagi 안테나들을 푸시풀 구조의 전력 증폭기와 집적화하여 실제 제작한 경우들이다.

## 2.2 수신 전치단 능동 집적 안테나<sup>[10]-[14]</sup>

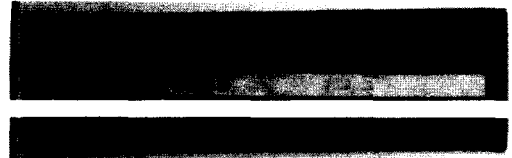
수신단의 경우 초기에는 [그림 5]에서 보는 바와



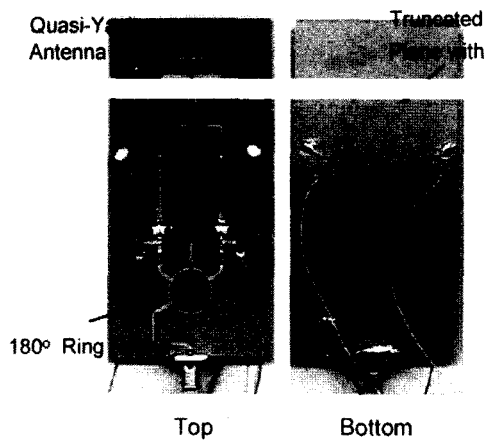
(a) Patch, @2.5 GHz



(b) Slot, @2.352.65 GHz

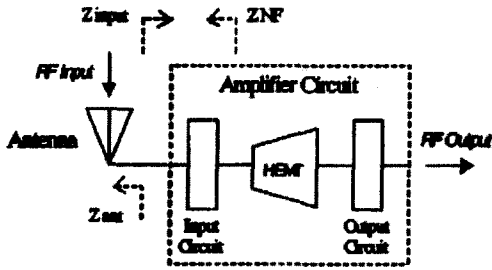


(c) Leaky-wave, @8.658.85 GHz



(d) Quasi-Yagi antenna, @3.94.3 GHz

[그림 4] Push-pull PA integrated with dual-feed.



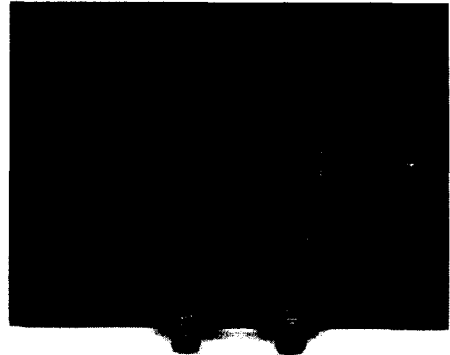
[그림 5] Block diagram of an active integrated antenna receiver front end.

같이 안테나 및 저잡음 증폭기(LNA, Low Noise Amplifier)를 집적화함으로써 수신 잡음지수(NF, Noise Figure) 특성 개선에 초점을 맞추었으나, 최근에는 시스템의 저가격화 및 경량화를 위하여 다양한 믹서 구조를 이용하는 직접 변환 수신기(DCR, Direct Conversion Receiver) 구조에 대한 연구가 주로 이루어지고 있다.

[그림 6]의 (a)는 원형 편파를 갖는 패치 안테나와 저잡음 증폭기를 하나의 기판 위에 C-band용 수신 전치단을 제작하여 잡음 지수를 개선한 경우이고, (b) 및 (c)는 평형 저항 FET 믹서(BRFM, Balanced Resistive FET Mixer)와 사각 패치 안테나 및 평형 서브-하모닉 믹서(Balanced Sub-harmonic Mixer)와 평면 quasi-Yagi 안테나를 각각 이용하여 C-band용 직접 변환 수신기를 제작한 경우이고, (d)는 60 GHz 용 자기 발진 믹서(SOM, Self Oscillating Mixer)와 이중 급전 평면 quasi-Yagi 안테나를 집적화하여 밀리미터파 LAN(Local Area Network)용 수신기에 응용하여 저잡음 특성 및 소형화 된 수신 전치단을 구현하였다.

### 2-3 변복조기를 위한 직접 변환 능동 집적 안테나<sup>15)</sup>

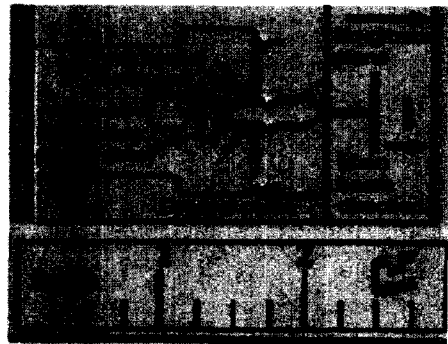
[그림 7]은 직접 변환 IQ 변복기 구조이며 안테나는 왼쪽에 연결되고 IQ 단자는 오른쪽에 연결되며



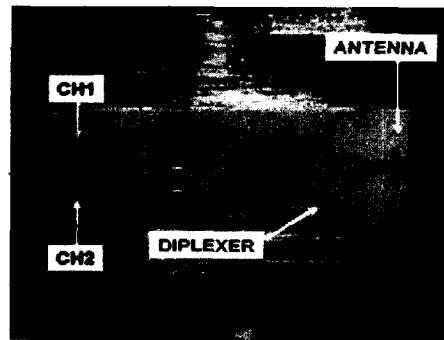
(a) C-band circularly polarized patch



(b) C-band rectangular patch

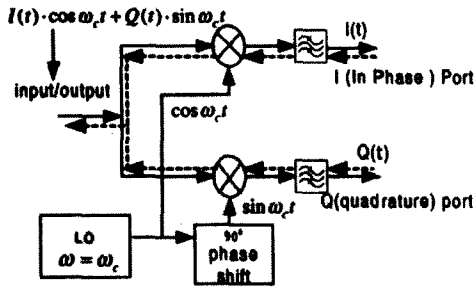


(c) C-band planar quasi-Yagi

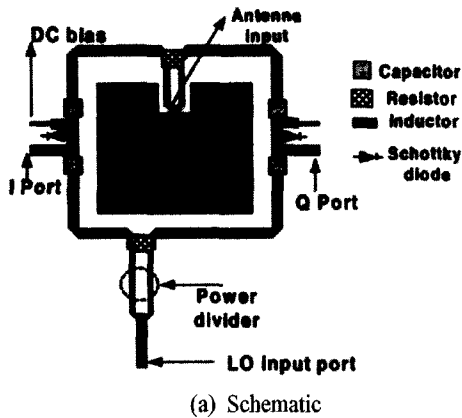


(d) 60 GHz quasi-Yagi antennas

[그림 6] Low noise receiver front-end with integrated.



[그림 7] Direct-conversion modulation and demodulation schematic.



[그림 8] IQ integrated antenna @1.89 GHz.

실선은 복조기로 동작시의 신호 흐름을 나타내고 점선은 변조기로 동작할 때의 신호 흐름을 표시한다.

[그림 8]은 [그림 7]의 동작 원리에 따라 FR4 기

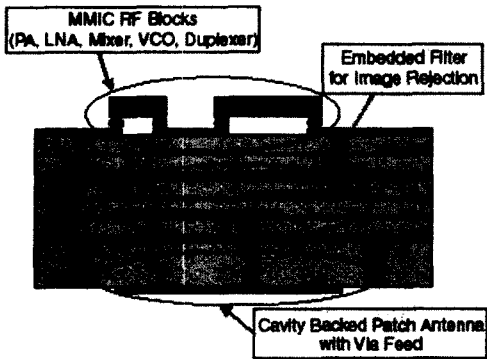
판에 제작된 IQ 집적 안테나로 사각 패치 안테나와 혼합(Mixing) 기능을 수행하는 마이크로스트립 링으로 구성된다.

### Ⅲ. RF 시스템 단일 패키지(RF-SOP) 집적안테나

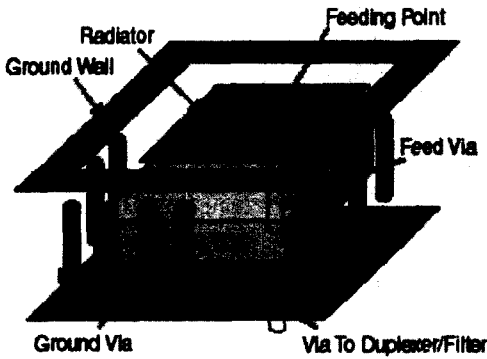
RF-SOP(RF System On Package) 기술은 단말기의 소형화, 저가화 및 고성능 실현을 위해 RF 모듈에 대한 단일 패키지 솔루션을 제공할 것이며 RF-SOC(RF System On Chip)에 대한 대안으로 최근에 큰 주목을 받고 있다. 완전한 SOP 솔루션을 구현하기 위하여 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic), MCM-D(Thin-film Multi-chip Module) 및 MLO(Multilayer Organic) 등의 고집적 다층 패키징 기술에 대한 연구가 활발하다. 이러한 RF-SOP 개발에 있어서 안테나 관점에서 본 중요한 테마는 RF 모듈과 안테나를 효율적으로 집적할 수 있는 안테나 구조의 설계, 패키지 구조에 따라 달라지는 안테나 성능의 개선 및 RF 블록과 안테나 사이의 상호 간섭 제거 등이다. RF-SOP 집적용 안테나는 패키지 재료, 공정 및 전체 모듈의 구조 등과 같은 패키지 문제를 고려하여 적합한 구조가 선택되어야 한다.

#### 3-1 LTCC 패키지 집적 안테나

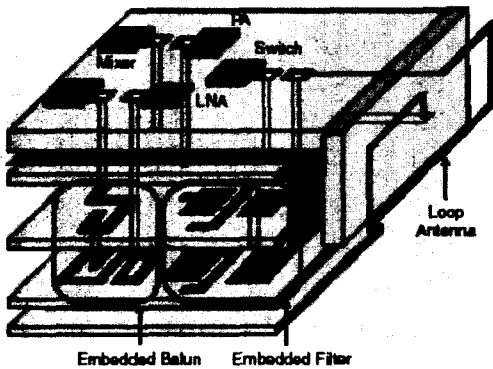
LTCC는 저가격, 안정도 및 저손실 특성 때문에 RF 송수신기를 위한 산업계의 표준 패키지가 되어 왔다. LTCC 패키지용 안테나는 LTCC 공정에 높은 유전 상수의 물질을 사용하므로 원하는 대역폭을 얻기가 쉽지 않고, 작은 접지면 때문에 방사 패턴의 왜곡, 방사 효율의 감소 및 안테나와 RF 블록 사이의 간섭 증가 등의 현상이 나타난다. [그림 9]는 5.8 GHz 대역에서 RF 송수신 전치단의 안테나를 포함하는 LTCC 패키지를 보여주며 안테나는 필터 또는



[그림 9] LTCC packaging structure.



[그림 10] CBPA on LTCC package.



[그림 11] Integrated 3-D loop antenna with RF package @2.3 GHz.

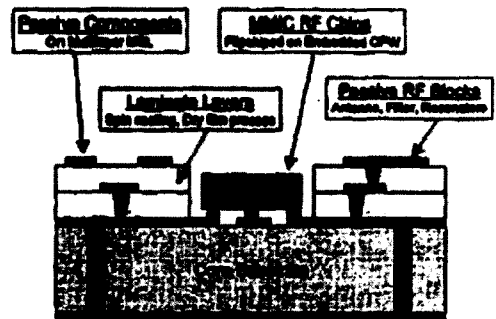
듀플렉서 스위칭 등과 같은 임베디드 RF 블록과 집적되도록 설계되었다<sup>[2],[16]</sup>.

[그림 10]은 LTCC 패키지에 적합하도록 대역폭을 증가시키고 접지면의 크기를 감소시킨 CBPA (Cavity backed patch antenna) 안테나의 구조를 보여주며 8개의 LTCC 층을 사용하며 사용된 비아의 직경은 5 mil 이다. 이 안테나는 기존의 일반적인 패치 안테나에 비해 20 % 대역폭 증가와 50 %의 접지면 크기를 감소시킬 수 있다<sup>[16]</sup>.

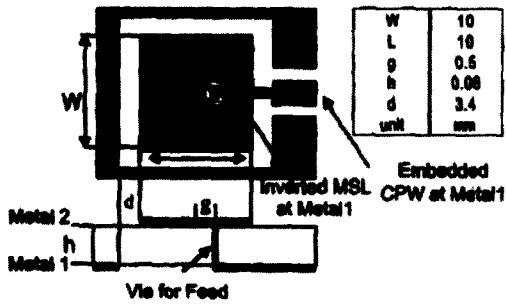
[그림 11]은 2.3 GHz 대역에서 20개의 LTCC 패키지 내에 적합하도록 개발된 루프 안테나를 보여준다. 루프 안테나는 접지면에 의해서 다른 부품과 분리된다<sup>[17]</sup>.

### 3-2 MLO 패키지 집적 안테나<sup>[16]</sup>

MLO 패키지는 물질의 나쁜 손실 특성(Loss tangent) 때문에 RF 가 아닌 주로 디지털 회로 응용을 위해 개발되어 왔다. 그럼에도 불구하고 저렴한 공정 가격과 더 좋은 열 및 기구적 특성 때문에 RF 분야에 적용하기 위한 노력이 계속되고 있다. [그림 12]는 MLO 패키지 형태의 5.8 GHz 대역 RF-SOP의 개념적인 구조를 보여주고 있다. Laminated 층은 두께 30 micron, 유전상수 3.7의 organic 물질이 스



[그림 12] MLO packaging structure.



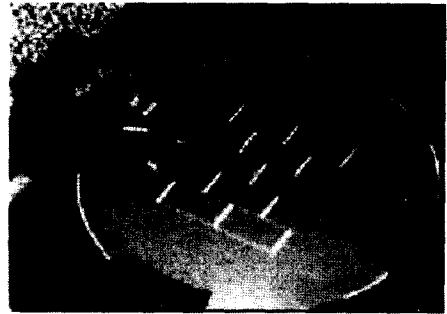
[그림 13] LSA on MLO package.

핀 코팅 공정에 의해 FR4 기판 위에 코팅된다. 모듈의 크기와 RF 블록 사이의 결합을 감소시키기 위하여 마이크로스트립과 임베디드 CPW(Co-Planar Waveguide)가 함께 사용된다. MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit) 칩은 플립 칩 기술을 사용하여 CPW위에 놓여진다.

MLO 패키지는 손실이 크고 얇은 유전체층을 가지기 때문에 일반적인 패치 안테나나 슬롯 안테나가 적합하며 [그림 13]은 MLO 패키지에 집적된 5.8 GHz 대역의 LSA(Lifted Slot Antenna)를 구조를 보여준다. LSA는 슬롯의 폭이 유전체 기판의 두께보다 훨씬 크므로 급전 구조를 제외하고 일반적인 슬롯 안테나 특성과 비슷하다. CPW 급전 슬롯 안테나에서 원하지 않는 슬롯 모드가 슬롯 방사 소자와 CPW 급전 사이의 접합점에서 여기되므로 이러한 문제를 피하기 위하여 패치에 대한 급전으로 비아가 사용된다. 이 안테나의 대역폭과 이득은 각각 14%와 3.7 dBi 이며 방사 패턴의 최대치 방향은 유전체 기판 측면이다.

### 3-3 MCM-D 패키지 집적 안테나<sup>[18]~[20]</sup>

단일 시스템 패키지 관점에서 MCM-D 기술은 플립 칩 마운팅 등을 통해 소형화와 경량화 관점에서 유리하고 아날로그-디지털 통합 단일 패키지 가능성



[그림 14] Picture of the brick-wall antenna @9.5 GHz.

이 높으며 MEMS(Microelectro-Mechanical Systems) 등과의 통합 가능성도 높아 완전한 단일 시스템 패키지의 구현을 가능하게 할 것으로 전망된다. MCM-D thin film 기술로 구현 가능한 안테나에는 CPW 급전에 의한 Brick-wall 슬롯 안테나, 마이크로스트립 안테나 등이 있으며 최근 밀리미터파 대역에서의 적용 가능성에 대한 연구가 활발하다. [그림 14]에 보여지는 Brick-wall 안테나는 MCM-D 패키지에 집적 가능한 안테나 구조이며 9.5 GHz에서 안테나 이득은 11 dBi 이고 10 dB 대역폭은 3.9 %이다.

## IV. RF 시스템 단일 칩(RF-SOC) 집적 안테나

RFIC(Radio Frequency Integrated Circuits) 기술의 발전은 무선 시스템 단말기의 크기를 지속적으로 감소시켜 왔으며 이제는 SOC 솔루션으로 접근하고 있다. 현재의 송수신 장치는 수 개의 RFIC와 많은 off-chip 부품을 사용하며, GSM 단말기의 경우 RF 부품의 수는 1994년도에 500개의 부품에서 2002년도에는 약 50개로 감소되어 왔다<sup>[21]</sup>. 송수신 전치단의 크기가 새로운 기술과 개선된 구조에 의해 극적으로 감소해짐에 따라 안테나가 집적되는 RF 시스템 단일 칩(RF-SOC)에 대한 희망이 커지고 있다.

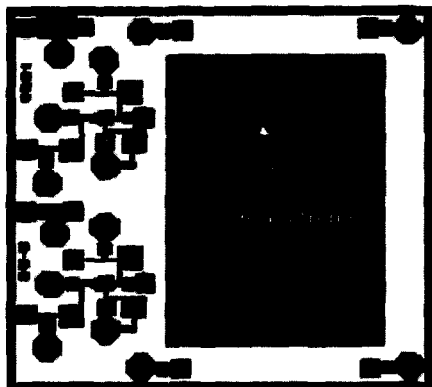
단일 칩 안테나의 집적은 전치단의 나머지 부분

에 대한 집적화와 다른 문제점이 있는데, 그것은 안테나의 크기는 기술적인 제한보다는 물리적인 법칙에 지배받아 임의로 감소될 수 없기 때문이다. 그러나 안테나 성능 저하를 감수한다면 단일 칩 안테나(AOC) 목적의 안테나 크기 감소는 달성될 수 있다<sup>[22]</sup>.

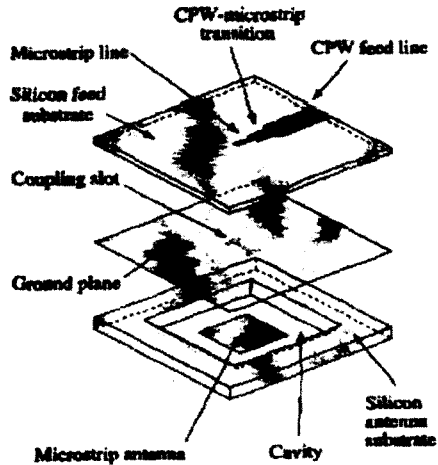
#### 4-1 밀리미터파 대역에서 단일 칩 집적 안테나

동작 주파수가 증가함에 따라 분리된 안테나와 RF 부품 사이의 와이어 본딩 파라스틱은 시스템의 성능을 저하시키므로 안테나를 RF 부품에 직접 집적화 시킴으로써 이러한 문제를 해결할 수 있다. 밀리미터파 주파수에서 파장은 송수신 칩의 크기보다 작으므로 AOC의 구현은 어렵지 않다. [그림 15]는 GaAs 기판에 집적된 단일 칩 안테나를 보여준다. 2개의 FET를 사용한 발진기를 패치 안테나가 가까이 위치시켜 30 GHz 푸시 풀 패치 발진기를 형성한다<sup>[15]</sup>.

[그림 16]은 94 GHz에서 동작하는 2개의 적층된 Si를 이용한 개구면 결합 마이크로스트립 안테나를 보여준다. 고유전율의 Si 패치의 방사 성능을 개선하기 위하여 MEMS 기술이 적용되었다<sup>[23]</sup>. 또한,



[그림 15] Oscillator integrated antenna on GaAs substrate @30 GHz.

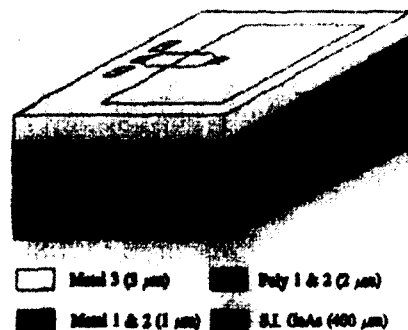


[그림 16] Aperture-coupled micromachined microstrip antenna @94 GHz.

[그림 17]은 35 GHz 대역에서 다층 GaAs 기술을 사용한 이중대역 마이크로스트립 패치 안테나의 구조를 보여준다<sup>[24]</sup>.

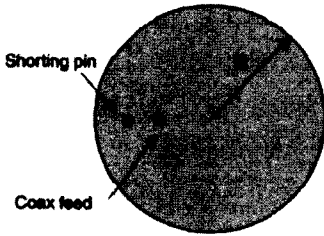
#### 4-2 마이크로파 대역에서 단일 칩 집적 안테나

한편, 5~6 GHz 대역의 마이크로파 주파수에서는 동작 파장이 송수신 칩보다 훨씬 크므로 안테나의 크기 감소는 안테나를 RFIC 칩에 직접 집적화시키

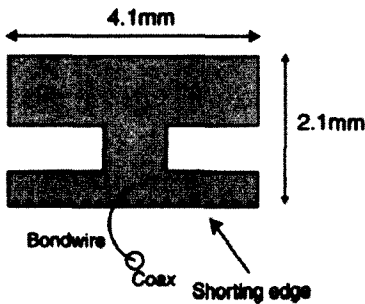


[그림 17] Multilayer structure on the GaAs substrate and layout of single patch @35 GHz.





(a) Circular antenna with shorting post



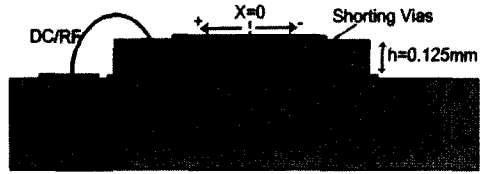
(b) Small H-shaped antenna with shorting posts

[그림 18] Electrical small antennas.

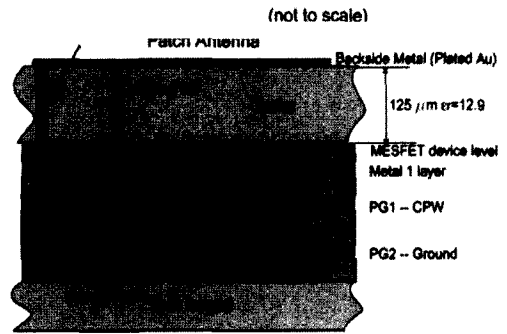
기 위해 매우 중요하며 이러한 소형 안테나는 전기적 소형 안테나로 취급되고 있다<sup>[25]</sup>. AOC 집적을 위해 가장 적합한 안테나는 마이크로스트립 안테나이고, 소형 마이크로스트립 안테나를 설계하기 위한 방법에는 안테나의 모양 최적화, 고유전율 물질의 사용 및 안테나와 접지 사이에 단락 핀이나 단락 벽을 도입하는 방법이 있으며, 또한, 이러한 방법을 서로 결합하여 사용함으로써 안테나 크기를 더 감소시킬 수 있다.

[그림 18]의 (a)에 보여지는 단락 포스트를 갖는 프로브 급전 원형 마이크로스트립 안테나는 안테나의 전반적인 크기를 줄일 수 있다<sup>[26],[27]</sup>. (b)의 사이드가 단락된 소형 H 모양 안테나는 와이어 본딩 급전의 GaAs 칩으로 만들어졌으며, 크기는  $0.29 \lambda_g \times 0.15 \lambda_g$  (@5.98 GHz)이며 이득은  $-9.4\text{dBi}$  이다<sup>[28]</sup>.

[그림 19]는 GaAs MESFET 공정을 이용하여 전력증폭기(PA, Power Amplifier)와 결합된 칩 집적

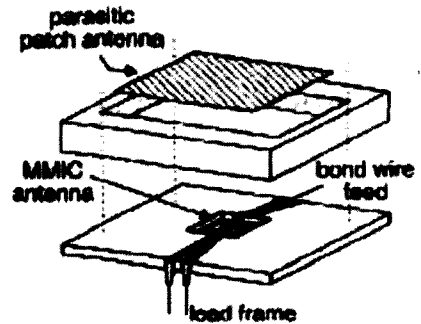


(a) The chip mounted on the test board



(b) The proof-of-concept technology

[그림 19] Integrated GaAs chip scale PA/antenna.



[그림 20] On-carrier parasitic patch assembly for MMIC antenna

안테나를 구현한 경우이며 플립 칩 기술을 적용한 구조이다. 안테나는 칩의 뒷면에 제작되고 크기는  $\lambda_g/13$  (@5.6 GHz) 이며, PA는 비아를 통해 안테나를 급전한다. PA를 제외한 수동 안테나의 이득은  $-12.7\text{ dB}$ 이고 PA를 포함한 능동 안테나의 이득은  $-4.3\text{ dB}$ 이다<sup>[29]</sup>.

[그림 20]은 RF-SOC 실현을 위해 GaAs 위에 구현되는 소형 MMIC 안테나의 낮은 이득을 개선하기 위한 새로운 패키징 기법을 제안한다. 안테나 근처에 파라스틱을 위치시켜 소형 안테나의 성능을 저하시키는 높은 리액티브 근역 장(near field) 성분을 추출하여 안테나 이득을 개선시킬 수 있다<sup>[30]</sup>.

## V. 결 론

차세대 무선통신용 단말기 구현에서 고성능을 유지하면서 초소형 RF 전치단을 실현하기 위하여 능동 집적 안테나, RF 시스템 단일 패키지(RF-SOP 형태)에 집적 가능한 안테나 및 RF 시스템 단일 칩(RF-SOC)을 향한 단일 칩 안테나(AOC) 기술 현황을 분석하였다. 능동 집적 안테나는 기술적으로 성숙 단계이며 적합한 시스템 적용을 시도하고 있고 시스템 적용 문제점 해결에 대한 연구가 지속될 전망이다. 단방향 통신 또는 송수신이 분리된 구조에서 우선 적용될 전망이다. RF 시스템 단일 패키지(RF-SOP) 기술은 RF 시스템 단일 칩(RF-SOC)에 대한 대안으로서 초소형 RF 전치단 실현에 크게 기여할 것이며 기술적으로 성숙되어가고 있는 LTCC를 이용하여 5 GHz 이하의 대역에서 적용될 가능성이 높으며 더 높은 주파수 대역까지 확장하기 위한 노력이 예상된다. 또한 아날로그-디지털 통합 및 MEMS 등과 통합이 유리한 MCM-D를 이용한 패키지 기술은 향후 RF와 디지털 회로를 통합한 시스템 단일 칩(SOC) 구현에 기여할 것이며 플립 칩 기술과 접목되어 60 GHz 이상의 밀리미터파 대역에서도 가능성이 있다. 이와 관련된 RF-SOP 집적 안테나 기술은 CBPA, LSA 및 Brick-wall 안테나와 같은 마이크로스트립 패치와 CPW 급전을 이용한 슬롯 안테나 형태의 구조가 제시되고 있으나 앞으로 많은 성능 개선이 요구된다. RF 시스템 단일 칩(RF-SOC)을 향한 단일 칩 안테나(AOC)는 MEMS

기술을 적용한 소형 마이크로스트립 형태가 적합하며 밀리미터파 대역에서는 적용 가능성이 높으나 5 GHz 이하에서 사용하기 위해서는 안테나의 소형화 및 RF 소자와의 집적화를 위한 칩 패키지 기술 등 많은 문제점을 안고 있어 앞으로 많은 연구가 지속될 것으로 전망되며 초근거리 통신에 기여할 것으로 보인다. 무선통신 서비스의 통합 및 광대역화와 단말기의 초소형화로 의 진화에 따라 안테나 기술은 소형화, 다중대역 또는 광대역화 및 적응형 패턴 제어 기술로 집약될 것이며<sup>[31]</sup>, 이러한 안테나 기술은 궁극적으로 시스템의 단일 칩 및 단일 패키지에 통합되어 구현되어야 할 것이며 시스템의 성능을 좌우할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 정영준, 표철식, 최재익, 능동 집적 안테나 기술 동향, 주간기술동향, 통권 1066호, pp. 14-29, 2002년 10월 2일.
- [2] Kyutae Lim, S. Pinel, M. Davis, A. Sutono, Chang-Ho Lee, Deukhyoun Heo, A. Obatoynbo, J. Laskar, E. M. Tantzzeris and R. Tummala, "RF-system-on-package (SOP) for wireless communications", *IEEE Microwave Magazine*, vol. 3, Issue:1, pp. 88-99, Mar. 2002.
- [3] K. Chang, R. A. York, P. S. Hall and T. Itoh, "Active Integrated Antenna", *IEEE MTT Tran.*, vol. 50, no. 3, pp. 937-944, Mar. 2002.
- [4] W. R. Deal, Y. Qian, and T. Itoh, "Planar Integrated Antenna Technology", *Microwave Journal*, vol. 42, no. 7, pp. 128-144, July 1999.
- [5] V. Radisic, Y. Qian and T. Itoh, "Novel Architectures for High Efficiency Amplifiers for Wireless Applications", *IEEE MTT Tran.*, vol. 46, no. 11, pp. 1901-1909, Nov. 1998.

- 
- [6] V. Radisic, Y. Qian and T. Itoh, "Class-F PA Integrated with Circular Sector Microstrip Antenna", *IEEE MTT-S*, pp. 687-690, June 1997.
- [7] W. R. Deal, V. Radisic, Y. Qian and T. Itoh, "Integrated Antenna Push-Push Power Amplifiers", *IEEE MTT Tran.*, vol. 47, no. 2, pp. 1418-1424, Aug. 1999.
- [8] C. Y. Hang, W. R. Deal, Y. Qian and T. Itoh, "Push-pull power amplifier integrated with microstrip leaky-wave antenna", *Electronics Letters*, vol. 35, no. 22, pp. 1891-1893, Oct. 1999.
- [9] C. Y. Hang, W. R. Deal, Y. Qian and T. Itoh, "High-Efficiency Push-Pull Power Amplifier Integrated with Quasi-Yagi Antenna", *IEEE MTT Tran.*, vol. 49, no. 6, pp. 1155-1161, June 2001.
- [10] A. S. Andrenko, Y. Ikeda, M. Nakayama and O. Ishida, "Impedance matching in active integrated antenna receiver front end design", *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 10, Issue: 1, pp. 16-18, Jan. 2000.
- [11] J. D. Fredrick, Y. Qian and T. Itoh, "Novel Design for a Low Noise Receiver Front-End with Integrated Circularly Polarized Patch Antenna", *30<sup>th</sup> EUMC*, vol. 2, pp. 333-336, Sep. 2000.
- [12] S. Lin, Y. Qian and T. Itoh, "C-band Direct Conversion Receiver Front-end using a Resistive Mixer", *IEEE MTT-S*, pp. 1409-1411, June 1999.
- [13] S. Lin, Y. Qian and T. Itoh, "Quadrature Direct Conversion Receiver Integrated Planar Quasi-Yagi Antenna", *IEEE MTT-S*, pp. 1285-1288, June 2000.
- [14] M. Sironen, Y. Qian and T. Itoh, "A Subharmonic Self-Oscillating Mixer with Integrated Antenna for 60 GHz Wireless Applications", *IEEE MTT Tran.*, vol. 49, no. 3, pp. 442-450, March 2001.
- [15] Peter S. Hall, Peter Gardner and Guozhong MA, "Active Integrated Antennas", *IEICE Trans. Comm.*, Vol. E85-B, No.9 pp. 1661-1667, Sept. 2002.
- [16] Kyutae Lim, A. Obatoyinbo, M. Davis, J. Laskar and R. Tummala, "Development of planar antennas in multi-layer packages for RF-system-on-a-package applications", *Electrical Performance of Electronic Packaging*, pp. 101-104, 2001.
- [17] S. Chakraborty, Kyutae Lim, A. Sutono, E. Chen, S. Yoo, A. Obatoyinbo, S.-W. Yoon, M. Maeng, M. F. Davis, S. Pinelad J. Laskar, "A 2.4 GHz Radio Front End in RF System-on-Package Technology", *IEEE Microwave Magazine*, vol. 6, Issue:1, pp. 94-104, June 2002.
- [18] S. Donnay, P. Pieters, K. Vaesen, W. Diels, P. Wambacq, W. De Raedt, E. Beyne, M. Engels and I. Bolsens, "Chip-package code sign of a low-power 5 GHz RF front end", *Proceedings of the IEEE*, vol. 88, Issue: 10, pp. 1583-1597 Oct. 2000.
- [19] E. A. Soliman, S. Brebels, E. Beyne, P. Delmotte and G. Vandenbosch, "Brick-wall antenna in multilayer thin-film technology", *Microwave and optical tech. letters*, vol. 19, no. 5, Dec. 5 1998.
- [20] J. Gryb, G. Trosler, "MM-wave microstrip patch and slot antennas on low cost large area panel MCM-D substrates-a feasibility and performance study", *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, vol. 25, Issue: 3, pp. 397-408, Aug. 2002.
- [21] F. Ali, "Direct Conversion Receiver Design for Mobile Phone Systems - Challenges, Status and Trends", *IEEE Radio Frequency Integrated*

- Circuits (RFIC) Symposium*, pp. 21-22, 2002.
- [22] V. F. Fusco, "Integrated Antennas for Wireless Applications", *Applied Microwave and Wireless*, pp. 22-31, June 2002.
- [23] G. P. Gauthier, J. P. Raskin, L. P. B. Katehi and G. M. Rebeiz, "A 94-GHz Aperture-Coupled Micromachined Microstrip Antenna", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 47, Dec. 1999.
- [24] D. S.-Hernández, Q. S. Wang, A. A. Rezaazadeh and I. D. Robertson, "Millimeter-Wave Dual-Band Microstrip Patch Antennas Using Multilayer GaAs Technology", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 44, no. 9, pp. 1590-1593, Sep. 1996.
- [25] K. Fujimoto, A. Henderson, K. Hirasawa and J. R. James, *Small Antennas*, Research Studies Press Ltd., 1987.
- [26] R. B. Waterhouse, S. D. Targonski and D. M. Kokoto., "Design and Performance of Small Printed Antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 46, pp. 629-1633, Nov. 1998.
- [27] R. Waterhouse, "Small Microstrip Patch Antenna", *Electron. Lett.*, vol. 31, pp. 604-605, Apr. 1995.
- [28] D. Singh, C. Kalialakis, P. Gardner and P. S. Hall, "Small H-Shaped Antennas for MMIC Applications", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 48, pp. 1134-1141, Jul. 2000.
- [29] Jun Zhao, Raman, S., "An integrated chip-scale active antenna for 5-6 GHz wireless microsystems", *Radio and Wireless Conference 2002*, pp. 149-152, 2002.
- [30] Jun Zhao, Raman, S., "Packaging technique for gain enhancement of electrically small antenna designed on gallium arsenide", *Electronics Letters*, vol 36, no.18, pp. 1524-1525, Aug. 31 2000.
- [31] C. B. Dietrich, Jr., R. M. Barts, W. L. Stutzman and W. A. Davis., *Trends in Antennas for Wireless Communications*, *Microwave Journal*, vol. 46, no. 1, pp. 22-44, Jan. 2003.

= 필자소개 =

표 철 식



1991년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1999년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

1991년 1월~현재: 한국전자통신연구원 전파방송연구소 전파기반연구부 안테

나기술연구팀 선임연구원

[주 관심분야] RF 집적형 안테나 및 차세대 무선 시스템



정 영 준

1992년 2월: 제주대학교 전자공학과 (공학사)

1994년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)

1994년 3월~현재: 한국전자통신연구원 전파방송연구소 광대역RF연구팀 선임연구원

[주 관심분야] RF회로설계 및 RF서브시스템 시뮬레이션, 능동 집적 안테나

### 전 순 익



1984년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)

1996년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)

1990년 9월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원

[주 관심분야] 초고주파 수동/능동 부품, 위성통신 RF 시스템, 위상 배열 안테나 시스템

### 김 창 주



1980년 2월: 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)

1988년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

1998년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

1980년~1982년: ADD 연구원

1983년~현재: 한국전자통신연구원 전파기반연구부장

[주 관심분야] 전파기술, SDR 기술, 이동통신 등

### 최 재 익



1981년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)

1983년 2월: 고려대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

1995년 2월: 고려대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1983년 2월~현재: 한국전자통신연구원

전파방송연구소 책임연구원

현재: UCLA에서 장기고속 파견 연구중

[주 관심분야] 위성통신, 이동통신, SDR 및 UWB 시스템을 위한 안테나 및 RF 기술

### 채 종 석



1977년 2월: 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)

1979년 2월: 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

1989년 2월: 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1978년~1983년: 국방과학연구소(ADD)

연구원

1985년 3월~현재: 한국전자통신연구원 전파방송연구소

현재: 연세대학교에서 장기고속 파견 연구중

[주 관심분야] 전파기술, SDR 기술, 이동통신, 위성통신 등