

휴대폰 FEM(Front End Module) 기술동향 연구

이재영 | 최세환

전자부품연구원

요 약

휴대폰은 스마트화되면서 퍼스널 컴퓨터에 버금가는 성능으로 발전하고 있다. 또한 모바일 환경에서 높은 데이터 전송 속도 및 많은 사용자가 동시에 사용할 수 있는 시스템을 적용하고 있다. 차세대 이동통신서비스나 B4G(Beyond 4 Generation)에서는 다중밴드/다중 모드/다중경로 처리구조의 융합 단말기가 시장을 형성하게 되며, 갈수록 휴대폰의 RF Front-End는 복잡하게 된다. 또한 FEM(Front End Module)의 성능은 단말기 시스템의 품질(QoS, Quality of Services)을 좌우하는 핵심부품으로 High Data Rate를 위하여 고성능화가 요구되고 있다. 본고에서는 FEM의 발전 트렌드와 구성하는 블록도 및 주요 핵심부품의 특성과 모듈의 소형화 패키징 기술에 관하여 제시하였다. 또한 4G LTE와 Wimax듀얼밴드 Tx/Rx통합 FEM을 소개하였고, 향후에 구성되게 되는 Future FEM의 블록도를 제시하였다.

I. 서 론

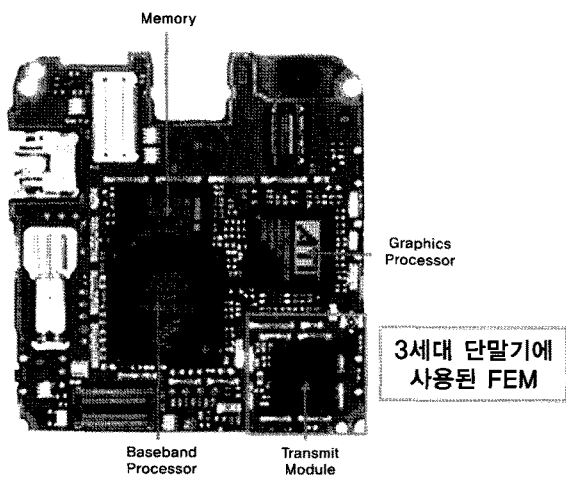
애플 아이폰으로 촉발된 스마트폰 시장은 2011년 3억대를 넘어서고 있으며 애플은 아이폰이라는 단일 모델로 전 세계 스마트폰 판매량에서 세계 3위를 차지하고 있다. 아이폰의 성공이 단순히 애플의 앱스토어에서 찾고 있으나 애플이 창의적으로 개발한 앱스토어 뿐만 아니라 아이폰의 혁신적인 하드웨어 기반 기술(단말기 기술)이 뒷받침되지 않았다면

애플의 앱스토어는 절반의 성공에 머무를 수도 있었다. 2006년摩托롤라의 Razor폰 역시 혁신적으로 슬림한 구조로서 FEM모듈의 소형화가 뒷받침되어 가능했다. 향후 휴대폰은 LTE(long-term evolution), Wimax기반 4G, B4G 등으로 발전하게 되며, 우수한 하드웨어 플랫폼을 요구하고 있다. 사용자들은 이를 바탕으로 다양한 형태의 소프트웨어 생태계를 형성하며 각각의 다양한 사용자 플랫폼을 형성하며 발전하게 된다. 따라서 갈수록 최적화되고, 고성능, 멀티기능, 멀티밴드의 혁신적인 하드웨어 플랫폼 개발을 위해 Apple, 삼성 전자, HTC 등 단말기 회사들은 매년 사활을 건 혁신적인 단말기를 선보이고 있다. 관련하여 단말기에서 RF Front End의 고성능, 소형화 된 FEM은 매우 중요한 핵심부품으로 부각되고 있다. 수신단의 통화 감도와 송신단 전력증폭기의 특성에 의해 배터리 소모량에도 직접적인 영향을 주며, MIMO(Multi Input Multi Output) 구조에서 FEM 집적화, 소형화는 단말기 디자인에 결정적인 한계를 나타낼 수도 있다. RF FEM의 성능은 단말기의 시스템의 품질(QoS, Quality of Services)을 좌우하는 핵심부품으로 관련된 주요 부품의 특성과 향후 FE의 미래의 블록도 [7]를 소개 하고자 한다.

II. 본 론

휴대폰은 지속적으로 진화하여 최근 우리들의 삶을 혁신적으로 변화시킨 스마트폰으로까지 발전하였다. 휴대폰은 일반적으로 50종 300여개의 부품으로 디스플레이, 회로 칩

셋, 기구, 배터리, 기관 등으로 구성된다. 휴대폰에서 아날로그/디지털 및 초고주파 신호를 처리하는 RF 회로부분이 구성되며, FEM은 휴대 단말기에서 안테나를 제외한 부분부터 LNA 앞 단까지의 ASM(Antenna Switch Module), Duplexer, PAM, RF Filter, 수동소자 부품들을 하나의 모듈로 구성한 것을 말한다. 최근 휴대폰 단말기에는 고주파 블록이 반도체 기술의 발전으로 안테나, FEM, RFIC만이 단품 형태로 남아 있으며, 집적기술을 통해 이들 부품이 모듈 형태로의 제품 개발이 활발히 이루어지고 있다. FEM 모듈의 장점은 휴대폰 단말기의 부품 수를 감소시키며, 제품의 신뢰성을 높일 뿐만 아니라 인터커넥션(Interconnection)에 따른 손실을 감소시켜 전력 소모를 줄일 수 있다. 2006년 미국 Motorola에서 Razor폰을 출시, 시장에 매우 큰 반향을 일으킨 경우가 있는데 이때 미국 모토로라는 전력 증폭기를 생산하는 RFMD, Skyworks, Anadigics, TriQuint, Avago 회사들에 5×8mm 이내에 입력 필터, 전력 증폭기, 스위치, 그리고 듀플렉서를 포함하는 FEM을 개발해서 납품할 것을 요구하였고, 이에 맞추어 모든 전력 증폭기 회사들이 단말기의 송신부를 (그림 1)과 같이 각각 전력 증폭기 및 듀플렉서를 사용하는 형태가 아닌 FEM(Front End Module) 형태로 개발하여 가장 Slim한 휴대폰으로 세계시장에 2억대 이상의 대성공을 이루었다.



(그림 1) 모토로라에서 출시했던 3세대 단말기 보드와 사용된 FEM

FEM도 통신서비스의 진화에 따른 형태변화가 지속되고 있다. 2G시스템에서는 수신단 만을 위주로 구성된 RX FEM

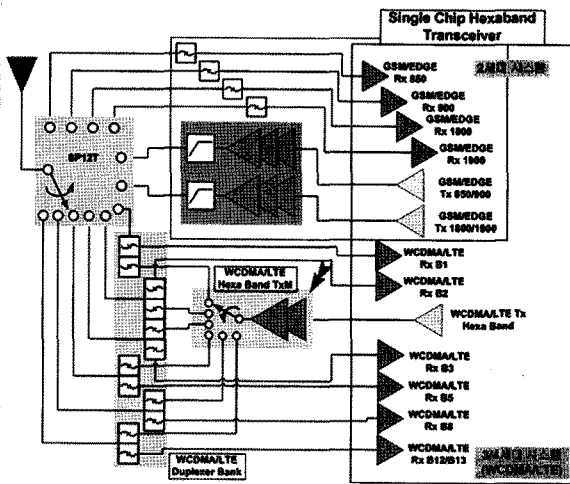
이 무라타, 히타치, 교세라 등 일본업체와 삼성전기 등이 세계시장을 80%이상 점유하였다. 2009년부터는 반도체 공정의 발달로 전력증폭기 업체인 Triquint, Skyworks, RFMD 등이 ASM에 PA를 포함한 TX-FEM을 출시하여 RF부를 더욱 집적화한 FEM을 출시하여 시장을 선도하였다. 기존 PA를 생산하지 못하는 Murata, Hitachi, 삼성전기 등은 FEM 시장에서 소외되며, PA업체 위주로 시장은 재편되어 현재에 이르고 있다. FEM은 단말기에서 송신부와 수신부를 선택하여주는 기능을 가지고 있으며, 또한 송신기와 수신기의 통신 특성을 좌우하는 역할을 한다. 수신부에서의 요구하는 특성으로는 안테나와 LNA 사이 또는 믹서와의 사이에 일반적으로 대역통과필터가 사용되어진다. 수신신호에 대해서는 높은 감도를 얻고 동시에 스푸리어스에 대해서는 최대한 억제해야 하는 것이 가장 중요하다. 통신기기에서 주로 사용되는 더블 슈퍼헤테로다인 방식에서 중간주파수 증폭회로 이후부터는 증폭해야 할 중간주파수로 변환된 주파수가 수신하려는 신호와 거의 같은 크기로 증폭되어 처리되기 때문에 믹서 단 보다 앞부분에서 중간주파수로 변환될 가능성이 있는 불필요한 주파수는 성능에 문제가 야기되지 않는 크기까지 충분히 감쇄시켜야만 한다. 수신단 초단에 RF필터가 사용되는데 삽입손실은 수신감도에 영향을 주며, 다음 단의 LNA의 이득 선정과도 영향을 준다. 송신단에서는 실제 적용되는 필터 설계 시에는 2dB 이하의 삽입손실과 30dB 이상의 대역의 감쇄특성이 필요하며 전력증폭기가 신호를 증폭하는 과정에서 많은 스푸리어스 성분들까지도 증폭하게 됨으로 이를 가능한 억압하여 파워 앰프에 깨끗한 신호를 공급하고 이를 안테나까지 전송하는 역할을 수행한다. FEM 모듈 개발 시 주요부품의 규격설정과 최적화 정합이 매우 중요하다.

FEM의 특성을 최적화하기 위해서는 각 소자 간의 정합이 매우 중요하다. 대부분의 필터 제조업체 들은 자사들의 필터가 최고의 성능을 낼 수 있도록 입력과 출력의 임피던스를 제공한다. 그리고 대부분 저잡음 증폭기와 FEM간 정합을 최상의 전력전송을 위하여 Conjugate Impedance정합을 시도하게 된다. 이는 일반적인 시도이며, 최상의 수신단 특성을 위해서는 LNA의 전압이득을 최대로 올려놓은 상태에서 FEM과의 최적화 정합을 해야 한다. 이는 단말기의 감도가 가장 민감하게 되는 경우가 최소 감도로 신호가 유입될

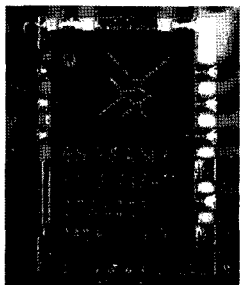
때이다. 필터와 스위치 및 LNA에 대하여 최소감도 일때에 최상의 신호가 전송되도록 하기 위함이다.

또한 차세대 이동통신서비스 에서는 (그림 2)와 같이 다중 밴드/다중모드/다중경로 처리구조의 융합 단말기가 시장을 형성하여 FEM 모듈의 소형화 및 광대역 융합 RF트랜시버 기술개발이 요구되고 있으므로 소형화 패키징 기술 또한 매우 중요하다.

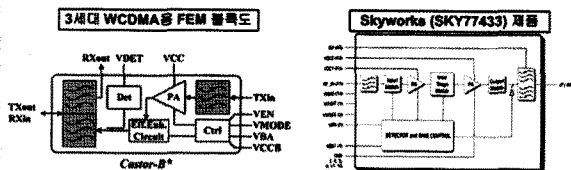
대표적인 소형화 패키징 기술로는 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) 기술이 상용되어 수동소자의 임베디드화



(그림 2) 4세대 스마트폰 헥사밴드(6중대역) 싱글칩 송신기 모듈과 이를 활용한 멀티밴드 스마트폰 RF 송, 수신부 구조 모습



(a) Skyworks One chip FEM

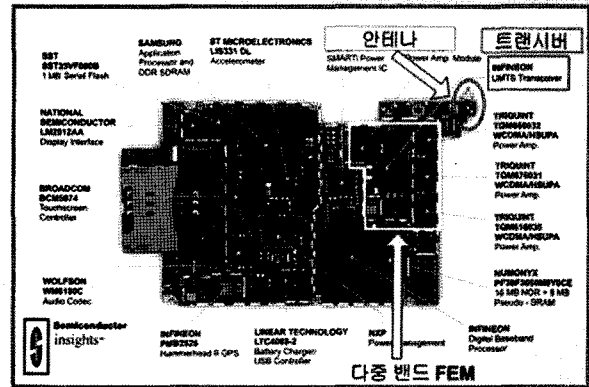


(b) WCDMA 용 FEM 블록도

(그림 3) Skywork사에서 개발한 FEM 제품

및 적층화로서 대표되고 있다. 한편 Skyworks, RFMD 등에서는 (그림 3)과 같이 듀플렉서, Switch, PA등을 내장한 반도체 패키징 기술을 이용한 소형화 One Chip 솔루션을 제공하고 있다.

유럽형 GSM 시스템에서의 FEM은 기존 ASM과 RF 필터를 결합한 모듈을 말하며, CDMA시스템은 멀티밴드화에 따라 듀플렉서와 PAM 뿐만 아니라 밴드(Band) 분할을 위한 멀티플렉서(Multiplexer) 까지 포함하는 방향으로 진화하고 있다. 이에 따라 FEM의 효과적인 집적화를 위한 기술 개발이 필요하게 되었으며, 현재 송수신 대역의 분할이 협소한 US-PCS 대역에서만 사용되고 있는 FBAR 듀플렉서의 중요성이 대두되고 있는 실정이다. FBAR는 실리콘 기판에 구현되며 기존의 유전체 필터나 SAW 필터와 달리 RFIC와의 집적화가 용이하며, 패키지가 손쉽다는 이점으로 인해 차세대 필터로서 각광 받고 있다.



(그림 4) 3세대 이동통신 단말기인 iPhone 내부 모습과 사용된 FEM 부품 모습

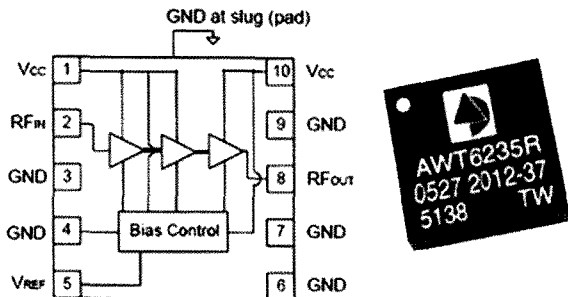
(그림 4)는 세계적으로 많은 인기를 모으고 있는 미국 Apple사의 iPhone 내부 모습과 사용된 부품을 표시한 것으로, 고주파 부품인 RF 트랜시버(transceiver)와 4개의 개별 FEM을 나타내고 있다. FEM을 구성하는 주요부품의 특성 및 요구 규격은 다음과 같이 요약된다.

① 전력 증폭기(power amplifier)

이동 통신 단말기의 송신부에 사용되는 전력 증폭기는 트랜시버에서 생성된 디지털 신호를 왜곡 없이 안테나를 통해

기지국으로 전송하는 단말기에서 가장 핵심적인 부품 중 하나이다. 단말기에 사용되는 부품 중에서 가장 전력 소모가 많으며 따라서 배터리 동작을 하는 모바일 단말기에서 배터리의 사용 시간 및 talk-time(통화 시간) 그리고 QoS(Quality of Services)를 결정하는 핵심 부품이다.

4G LTE와 WiMax는 보다 높은 전송 속도를 갖기 위하여 16 QAM(Quadrature Amplitude Modulation), 64 QAM과 같은 고속 디지털 변조(Modulation, 변조) 방식을 채택하고 있고 또한 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식을 사용하고 있다. 이는 단말기 송신부의 최종 부품인 전력 증폭기가 매우 높은 효율과 선형성을 가져야만 가능한 기술적 요구 사항으로 전력 증폭기를 개발하는 업체에서 매우 어려움을 겪으며 지속적인 신제품을 출시하고 있다.



(그림 5) 미국 Anadigics사에서 개발한 모바일 WiMax용 전력 증폭기

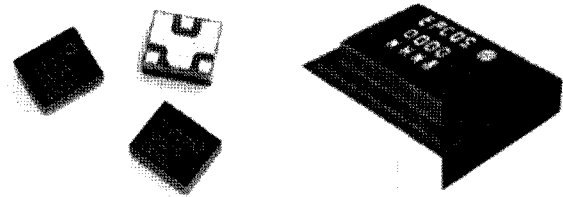
전 세계적으로 GSM/EDGE, WCDMA, 4G LTE와 같은 다양한 이동 통신 표준 기술이 사용되고 있으므로 이러한 다양한 이동 통신 단말기에 사용되는 전력 증폭기 역시 단일 주파수 대역 혹은 하나의 이동 통신 기술을 지원하는 단품보다 2중 대역, 3중 대역 또는 4중 대역을 커버하는 멀티밴드 전력 증폭기 기술이 연구되고 있다.

② 듀플렉서 필터(duplexer Filter)

듀플렉서는 HDD에서 Tx와 Rx Path를 동시에 구성되는 필터로서 향후 4G에서는 TDD와 HDD가 같이 사용되는 방식으로 Band 및 Mode를 선택하는 소자로서 전체 단말기 특성에 직접적인 영향을 미치는 핵심부품이다. WCDMA와 LTE Band1에서는 duplexer(1920MHz~1980MHz(UL), 2110~

2170MHz(DL) HDD 120MHz BW와 필터로서 FEM구성에서 통신 시스템 종단에 위치한다.

듀플렉서는 일반적으로 통신기기에 SAW 구조 형태의 SAW 듀플렉서가 사용 중이다. 밴드 선택 Skirt 특성은 매우 우수하나 통과 대역의 삽입 손실이 크다는 단점이 있다. 최근에는 반도체 기술의 발달로 (그림 6)과 같이 Avago사의 FBAR가 휴대폰에서 3×2.5mm 초소형 사이즈에 2dB이하의 손실과 40dB이상의 감쇄특성을 갖는 2GHz대역의 듀플렉서가 사용 중이다.

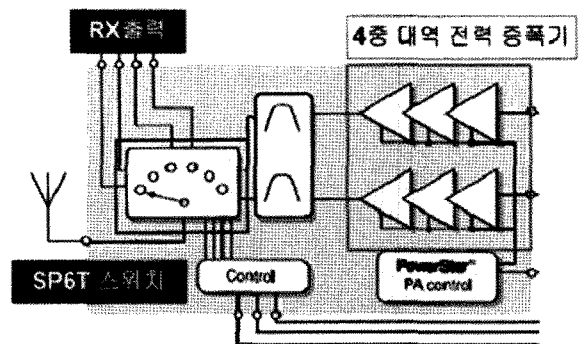


(그림 6) 미국 Avago의 FBAR 필터와 Epcos의 SAW 듀플렉서

③ RF Switch

다양한 이동 통신 표준을 지원하는 단말기에는 대개 하나 이상의 RF 스위치를 포함하게 되며 이종(異種) 무선 이동 통신(예 : WCDMA + GSM/EDGE)용 FEM은 WCDMA용 전력 증폭기와 GSM/EDGE용 전력 증폭기를 포함하고 있으므로 이러한 두 가지 통신 기술을 동시에 지원하기 위하여 전력 증폭기 출력에 (그림 7)과 같이 스위치가 필요하다.

단일 대역 FEM은 하나의 주파수 대역만 커버하므로 전력 증폭기에서 나오는 매우 큰 신호가 수신단에 영향을 미칠



(그림 7) GSM/EDGE 4중 대역 FEM에 사용 SP6T 스위치 (RF3178, 미국 RFMD社)

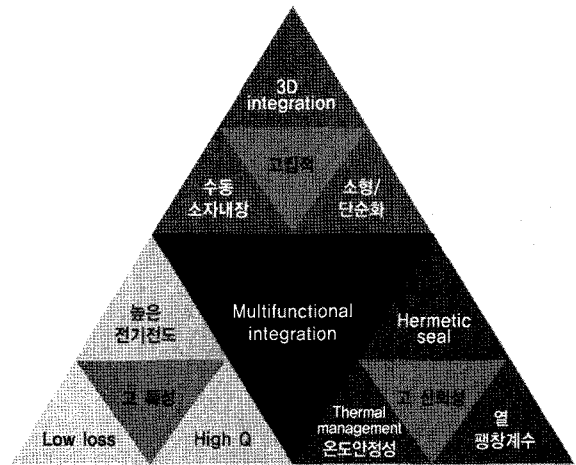
수 있으므로 스위치 및 듀플렉서의 신호 격리도(isolation)가 매우 중요하다. 또한 스위치가 전력 증폭기 후단에 사용되므로 전력 증폭기에서 발생한 고출력 고선형성 신호를 손실 없이 안테나로 전달해야 하므로, 스위치의 전류소모, 삽입 손실이 또한 매우 중요해진다.

다중 대역 FEM은 하나 이상의 주파수 대역을 가지며 이중 대역(LTE + WiMax/Wibro) FEM에서는 두 개의 상이한 이동통신 방식을 지원해야 하므로 스위치를 사용하는데 이 때 하나의 모드 즉 LTE에서 송신되는 신호가 LTE 자체의 수신단 뿐만 아니라 인접해있는 WiMax 수신단에도 영향을 주지 말아야 한다. 즉, 다중 대역 FEM에 사용되는 스위치는 단일 대역 FEM에 사용되는 스위치보다 격리도 및 삽입 손실에 대한 요구 조건이 매우 까다롭고 이는 전체 FEM의 특성(다른 모드간의 격리도)에 매우 중요한 영향을 미친다. 현재 사용되는 스위치는 SPDT(Single Pole Double Thru)부터 SP6T 혹은 SP8T(Single Pole 8 Thru)까지 매우 다양하며 특히 다중 대역/다중 밴드/다중 모드와 같이 가장 집적도가 높은 FEM에는 필수적인 요소 부품 기술이다. 그러므로 이동통신용 FEM은 핵심 기술인 전력 증폭기 성능이 매우 우수하다고 해도 후단에 연결되는 스위치 및 듀플렉서의 특성이 떨어질 경우 전체 FEM의 특성이 저하되는 경우가 많으며 스위치는 특히 다중 대역 FEM에서 매우 필수적이고 중요한 핵심 부품 중 하나이다.

④ 기판기술

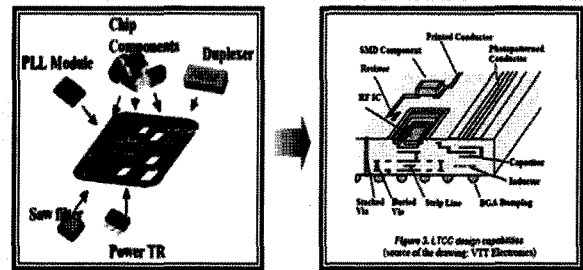
FEM 모듈은 기판기술이 또한 매우 중요하다. Module 분야는 Ceramic 계인 LTCC 수지계와 Organic Module로 분류되며, 현재 가장 적응성이 우수하며, 고집적, 저가의 신뢰성이 우수한 LTCC가 주된 Module Solution으로 인정 되고 있다. LTCC 기술은 재료기술과 공정기술, 설계기술, 측정기술로 이루어져 있어 각각의 요소기술을 모두 확보가 필요하다. 기지국이나 단말기용 필터와 수동부품 모듈 제작에서부터 각종 소형 이동통신 단말기용 RF 모듈 개발에 이용할 수 있고 이와 같은 통신용 모듈 이외에 자동차 ABS나 위성통신용 RF모듈, 군사용, 의료용 기기 등 다양한 분야에 응용이 가능하다.

LTCC를 통해 20~30여 층의 50um층간 두께로서 적층이 가



(그림 8) LTCC 핵심기술 요소

능하며 저항, 캐패시터, 인덕터 등을 임베디드화 가능하여 FEM에서 사용되는 소자를 내장화함으로써 부품 수를 줄일 수 있어 고집적화가 가능하다. 또한 세라믹의 열전도 특성 및 방열이 우수함으로 전력 증폭기의 기관으로 사용시 노이즈 레벨을 낮출 수 있는 장점이 있다.



(그림 9) LTCC design capabilities

LTCC 공정기술에는 미세패턴(fine pitch, fine spacing)과 수축을 제어 기술이 있으며, 해외 선진업체에서는 50um의 pattern 기술을 양산에 적용하여 제품의 소형화에 기여하고 있다.

⑤ FEM 멀티밴드 모듈화 기술

차세대 이동통신인 4G서비스는 WCDMA진영의 NTT Tocomo, 버라이즌, 노키아에서 추진하는 LTE와 삼성전자, 인텔 등 장비 및 칩업체에서 적극 추진하는 Wimax 그리고

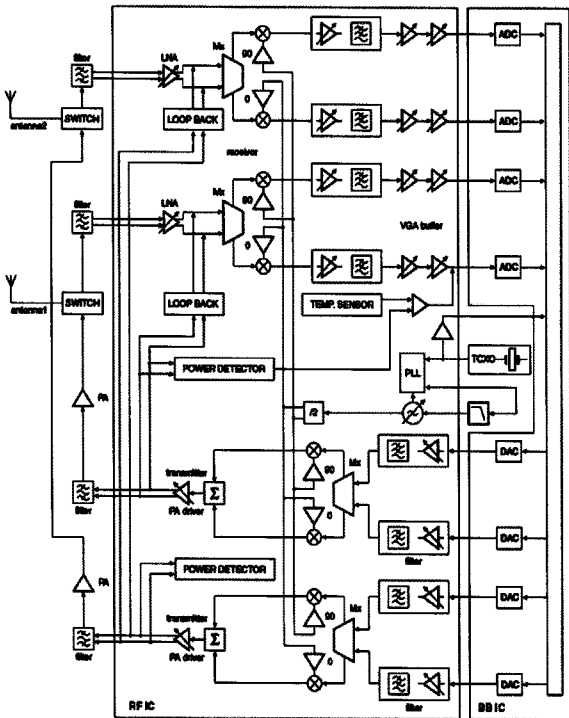
중국의 TD-LTE 등 여러 형태로 진행 중이다. 또한 LTE의 주파수 Band를 살펴보면 E-UTRAN Frequency 밴드가 40개로 서 700MHz에서 2.6GHz에 이르고 있다. 따라서 향후 단말기의 Front End는 매우 복잡한 멀티밴드가 형성되며, 4×4 MIMO에 의한 멀티경로까지 더해짐으로 기존의 FEM에서 멀티체인구조의 다기능 RFIC개발과 모듈기술이 요구된다.

를 동시에 지원하며 송,수신부 일체형 Tx/Rx 통합 듀얼밴드 FEM의 블록은 (그림 11)과 같이 구성되어질 수 있다.

4세대 이동 통신용 LTE & WiMax용 듀얼밴드 FEM의 요구 규격은 아래 (표 1)과 같다.

향후 4G에서 공존하게 되는 가장 대표적인 LTE와 Wimax

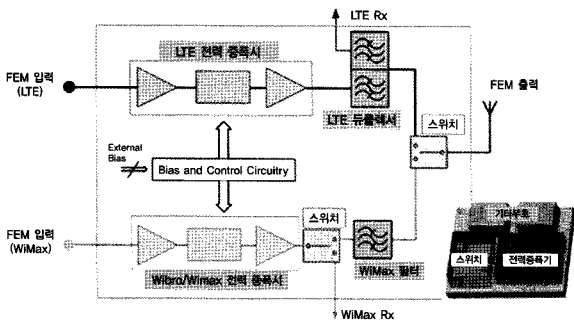
(표 1) LTE & WiMax 듀얼밴드 FEM 규격



(그림 10) 2×2 MIMO RF 블록도

부품명	규격	
FEM	- 주파수 대역 : 1920~1980MHz(LTE Tx), 2110~170MHz(LTE Rx), 2500~2700MHz(WiMax) - 최종 출력 : 23dBm @LTE, 20dBm @WiMax - EVM ≤ 5% - Isolation(Tx-Rx) ≥ 50dB - RX NF : 4.9dB - 모듈사이즈 : 7 × 8mmf	
전력 증폭기	LTE	- 주파수 대역 : 1920~1980MHz(LTE Band 1) - 최종 출력 : 27dBm - 선형성 : -35dBc @ 27dBm - 효율 : 30% @ 27dBm
기술 등록 마감	WiMax	- 주파수 대역 : 2.5~2.7GHz - 최종 출력 : 24dBm 출력 - EVM : 4% - 효율 : 26% @ 24dBm
스위치	- 주파수 대역 : 1920~1980MHz / 2.5 ~ 2.7GHz - 스위치 형태 : SPDT - 삽입 손실 : 1.0dB(Tx-ANT, LTE) / 1.2dB(Tx-ANT, WiMax) - 2차, 3차 고조파 : -60dBc 이하 - IIP3 : 50dBm 이상	
듀플렉서	- 주파수 대역 : 1920~1980MHz, 2110~2170MHz(LTE Band 1) - 삽입손실 : Rx 1.8dB, Tx 1.8dB - Attenuation : Tx-Ant 42dB, Ant-Rx 42dB - Tx - Rx isolation(Tx Band) : 45dB	

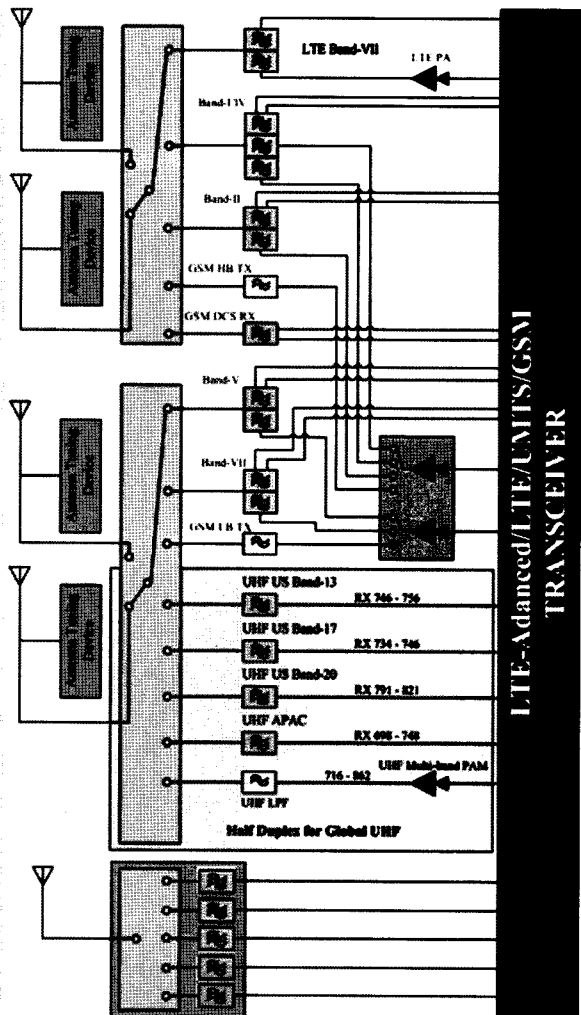
향후 이동통신 기술은 LTE Advanced(3GPP Rel. 10)로서 2015년에는 LTE Advanced단계로 진행이 예상되며, 단말기는 2G, 3G에 LTE, LTE Advanced가 동시에 지원되는 형태가 예상된다. Navian에서는 Future FEM블록을 (그림 12)와 같이 제시하고 있다. 그러나 실체는 더 복잡한 형태의 집적화된 형태가 요구될 것으로 예상된다.



(그림 11) 4G 이동 통신용 이중 대역(LTE + WiMax) FEM 개발 블록도

III. 결론

휴대폰 시장에서 한국의 위상은 Big 3에 이른다. 시장은 매년 10%이상 성장 중이며, 스마트화됨에 따라 부가가치도 증대되고 있으며 국가 무역수지에도 매우 중요한 산업으로



(그림 12) LTE_Adv가 구현된 FEM 개발 블록도 Navian, 2011

자리잡고 있다. US\$ 400억 달러에 이르는 FEM시장에서 3세대 이동 통신 단말기에는 국내에서 개발된 FEM은 거의 사용되고 있지 않으며 전량 국외에서 수입 하는 현실을 감안할 때, 4세대 이동 통신 단말기에 대한 부품 개발이 이루어지지 않을 경우 동일하게 해외 기술 종속 심화 및 국내 단말기 제조 산업에도 단말기 설계에 제한을 갖게 되며 경쟁력에도 매우 큰 영향을 미칠 수 있겠다.

이제부터라도 전량 수입중인 전략중폭기, 듀플렉서, 스위치 등 핵심부품에 역량이 있는 연구소 및 중견기업, 대기업이 설계와 공정 기술을 확보하여 미국 등의 선진업체를 따라잡는 집중력이 필요한 시점 이라고 생각된다.

FEM은 전력 증폭기, 듀플렉서, 스위치, 그리고 기판과 같

은 세부 부품을 포함하고 있으므로, FEM 형태의 모듈 부품을 제조 판매하면 동시에 반도체 산업, 필터 산업, 기판 산업과 같은 IT 관련 부품 산업의 매출 확대를 가져올 수 있다.

FEM의 핵심 부품인 전력 증폭기는 반도체 산업, 패키징 산업, 제품 테스트 산업 등 다양한 분야에 경제적 파급효과가 있으며, 이는 기존의 미국 반도체 회사들이 독점하고 있는 시장에 새로이 진출할 수 있는 기술적 기반을 마련함과 동시에 관련 산업의 부품 국산화를 통한 일자리 창출과 가격 경쟁력 확보 등 다양한 형태의 경제적 영향이 있을 것으로 예상된다.

향후 더욱더 복잡해지는 단말기에서 멀티밴드 소형화 FEM 기술력 확보는 지속적으로 확보가 필요하며 국내 휴대폰업체의 글로벌 경쟁력확보에도 매우 중요한 핵심부품 기술이다.

참 고 문 헌

- [1] 휴대폰용 FEM 산업동향, 이민경, 장선호, 이상호 연구원 /정보통신연구진흥원, 2007
- [2] 4G 통신용 Tx/Rx 통합 초소형 FEM 개발 계획서, 김연은, 이재영, 이종수, 성정현, 윤상우, 2009
- [3] 4세대 스마트폰용 6개대역지원 단일칩 전력증폭기 연구 계획서, 이종수/광주과학기술원, 2010
- [4] Skyworks 77441 Multi-Mode/Multi-Mode PA Data Sheet, 2009
- [5] GSM단말기내 FEM과 LNA간의 최적화 정합에 관한 연구, 정수훈/연세대학교, 2007
- [6] Avago ACMD-7612, FBAR Filter Data Sheet, 2009
- [7] RF Microelectronics, BEHZAD RAZAVI, Prentice Hall
- [8] Decade Forecast Front End Module 2010~2010, Navian Inc, 2010.8

약 력



이 재 영

1990년 아주대학교 공학사
1990년 금성전기(현, (주)LG이노텍) 개발실 대리
1999년 한양대학교 공학석사
2010년 경희대학교 전자전파공학 박사수료
1996년 ~ 현재 전자부품연구원(KETI) 융합통신부품연구센터
책임연구원/팀장
관심분야 : 모바일기기 FEM모듈개발, Flexible Appliance 기기
개발, 밀리미터파 센서기술



최 세 환

2001년 충북대학교 공학사
2003년 광주과학기술원 공학석사
2004년 ~ 현재 전자부품연구원(KETI) 융합통신부품연구센터
선임연구원
관심분야 : FEM모듈개발, Flexible 및 On-Body Antenna개발,
밀리미터파 센서기술