

5G 기반 IoT 기기의 EMC 기술 동향

박 현 호

수원대학교

I. 서 론

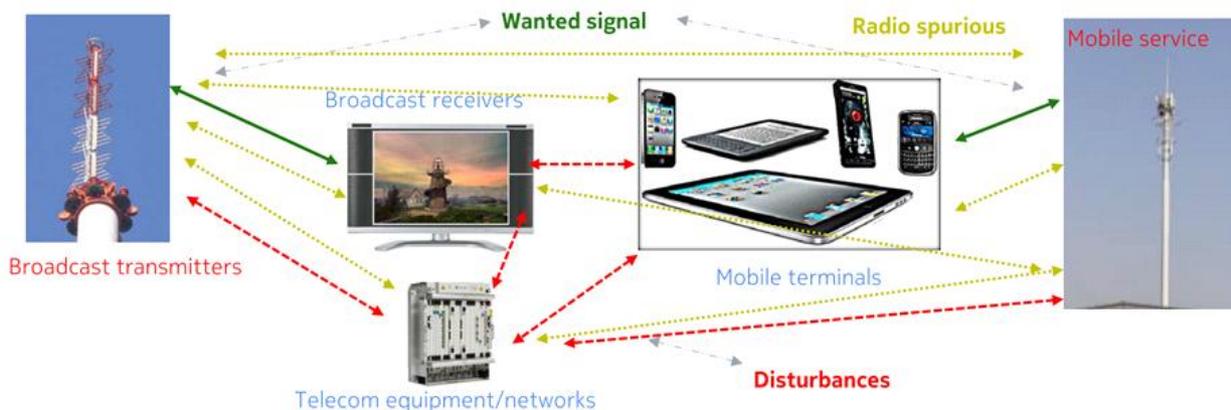
사물인터넷(Internet of Things: IoT)에 의해 구현되고 있는 이른바 초연결 사회(Hyper-connected Society)는 서서히 우리 앞에 현실로 다가오고 있다. 스마트 홈, 스마트 빌딩, 스마트 팩토리, 커넥티드 자동차 등 현재 우리 주변에 출현하고 있는 신성장 산업들은 모두 IoT를 근간으로 하고 있다. IoT는 각종 사물에 센서와 무선 통신 기능을 내장하여 인터넷을 통해 이들 사물들을 연결하는 기술을 말한다. 이는 또한 모든 사물을 연결해 사람과 사물, 사물과 사물간에 정보를 교류하고 상호 소통하는 지능형 인프라 및 서비스 기술을 포함한다.

IoT 기술은 지속적으로 진화하고 있으며, 향후 5G 이동통신기술과 연계될 때 IoT의 완전한 버전이 구현될 것이다. 많은 전문가들은 이를 ‘거대 IoT(Massive-IoT: MIoT)’라고 부르는데, 이는 1 km²의 공간 내에 20만 개 이상의 IoT 기기들이 공존할 때를 말한다. 우리가 집, 사무실 그리고 산업 현장에서 IoT 기기 수가 점점 더 증가하는 것을 볼 때마다, 전자파의 혼잡도가 따라서 증가할 것이라는 것을 예측하기는 어렵지 않다. 그래서 혹자는 IoT를 ‘Interference of Things(사

물의 간섭)’이라고 부르기도 한다^[1]. 대부분 IoT 기기들은 소형 모바일 기기들로 다양한 무선 통신을 위한 RF 회로, 센서, 아날로그 회로, 디지털 회로 등이 집적되어 있다. IoT 기기 간 근거리(short range) 통신을 위해서 RFID, NFC, Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee 등 ISM 밴드의 비면허(licensed) 주파수 대역과 원거리(long-range) 통신을 위한 LTE, NB-IoT, 5G 등 면허 주파수 대역 등 다양한 주파수 대역의 사용이 공존하고 있는 환경에서 동일 주파수 밴드를 사용하는 신호들 간의 간섭은 자명하며, 사용 주파수의 체배 성분(harmonics)에 의한 전자파 간섭 또한 심각해질 것이다. [그림 1]에서는 이러한 가능성을 잘 보여주고 있다^[2].

비의도성 전자파 노이즈에 의한 시스템 간(inter-system) EMC 문제와 관련하여 국제전기기술위원회(IEC)는 IoT 기기와 시스템의 스푸리어스(spurious) 방사 및 EMC 내성 측정을 규제 기관을 통해 필수적으로 측정하도록 하였다. 또한, 웨어러블 IoT 기기의 경우, 전자파 인체 흡수율(Specific Absorption Ratio: SAR) 규제는 인간의 안전을 위한 필수 요건이기도 하다.

무선기기의 시스템 내(intra-system) EMC 문제는 규제 사항은 아니지만 기기의 성능과 연관되어 있다. 수신감도 열



[그림 1] 5G 방송통신망의 전자파 간섭 예상 시나리오^[2]

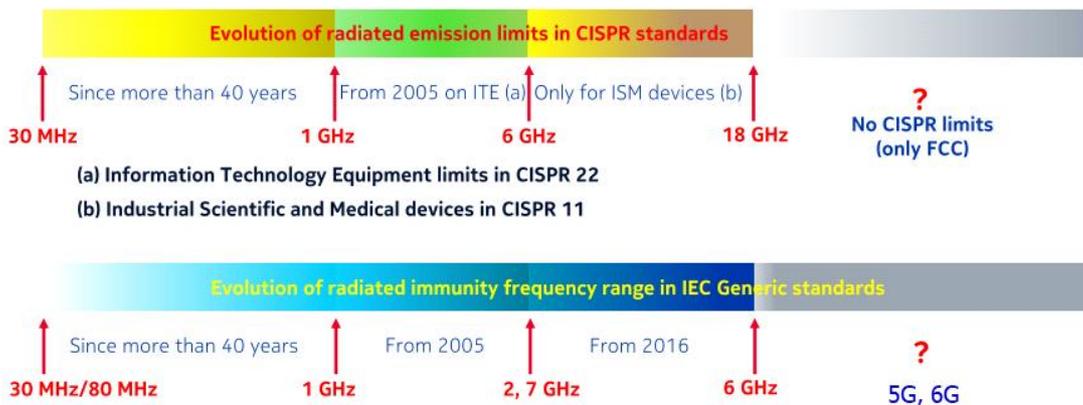
화(receiver desensitization, desense) 문제와 동일 대역 주파수 사용에 따른 전자파 간섭(in-band interference) 문제는 IoT 기기의 설계에 있어서 주요 과제 중 하나이며, 이 분야의 연구는 IoT 기기가 확산됨에 따라 더욱더 중요한 의미를 갖게 될 것이다. 무선 성능을 설계단계에서 엄격하게 관리하지 않은 많은 IoT 기기들이 실제 수신감도 열화와 동일대역 간섭 문제를 가지고 있다. 예를 들어, Wi-Fi 기능을 가지는 무선 기기들을 보면 기기에 따라 20 dB 이상의 TIS(Total Isotropic Sensitivity) 차이를 보이는 경우도 있다^[3]. Zigbee의 경우도 기기에 따라 통신 가능 범위가 적게는 15 m에서 많게는 100 m까지 차이를 보인다. GPS 기기의 경우, 수신 성능이 실제 필요로 하는 레벨보다 20 dB나 낮은 기기들도 종종 있다. 이러한 EMC 문제들은 IoT 기기에 대한 사용자 만족도에 큰 영향을 줄 뿐만 아니라, 향후 커넥티드 자동차에 장착된 IoT 기기들에서 만약 이러한 문제들이 발생한다면 운전자의 안전도 위협할 수 있다.

IoT 기기들에서 발생할 수 있는 EMC 문제들은 기존의 모바일 기기에서 발생해오던 문제들뿐만 아니라, 제한된 공간 내에 수많은 IoT 기기들이 사용됨으로써 발생할 수 있는 새로운 형태의 전자파 간섭 문제가 발생할 수도 있다. 따라서 IoT 기기의 안정적인 동작으로 신뢰할 수 있는 스마트 사회를 구현하기 위해서는 반드시 IoT 기기의 EMC 설계 및 측정 평가가 전제되어야 할 것이다. 새로운(더 높은) 주파수 대역과 큰 대역폭의 사용 증가는 IoT 기기의 내성 및 방사 특성 측정을 위해 새로운 EMC 테스트 장비 및 방법을 필요할 것이다.

본 논문에서는 5G 기반의 IoT 기기의 EMC 표준, 설계, 측정 이슈에 대한 현재 기술 동향을 살펴보고자 한다.

II. 표준화

EMC 분야의 표준화를 주도해 온 IEC의 CISPR나 ETSI (유럽전기통신표준화기구)에서는 5G 시스템에 대한 새로운 EMC 요구사항을 개정 중에 있다. [그림 2]에서 나타나 있듯이, 현재 적용되고 있는 EMC 기술표준을 보면 전자파 방사(EMI)의 경우, 18 GHz까지는 측정 방법에 대한 기술표준이 나와 있고, 평가 기준에 대해서는 6 GHz까지 제시되어 있다. 전자파 내성(EMS)의 경우에는 6 GHz까지 측정 및 평가 방법에 대한 기술표준이 정립되어 있다. 향후 mm-Wave 대역을 사용하는 5G 시스템에 대한 EMC 기술표준 개정을 위해서는 18 GHz 이상의 주파수 대역에서 전자파 방사 측정 및 평가 방법에 대한 연구가 진행되어야 하며, 전자파 내성의 경우에도 6 GHz 이상의 주파수 대역에서 측정 및 평가 방법에 대한 연구가 필요한 상황이다. 따라서 향후 개정되어야 할 EMC 기술표준은 IoT 기기를 포함한 다양한 스마트 기기에서 방사되는 전자파가 5G 시스템과 간섭이 일어나지 않도록 5G 주파수 대역까지 전자파 방사 및 내성을 측정할 수 있는 방법과 평가 기준이 제시되어 있어야 할 것이다^[4]. 참고문헌 [2]에서는 전자파 방사의 경우 40 GHz까지, 내성의 경우 18 GHz까지 표준을 개정할 것을 제안하고 있다. 앞으로 5G 기반의 IoT 기기들에 대한 전자파 적합성 확보를 위해서는 측정 방법 및 평가 기준에 대한 표준 정립이 우선



[그림 2] IEC/CISPR 전자파 방사 및 내성 표준의 규제 주파수 범위^[2]

적으로 필요하며, 이를 위해서 관련 전문가들의 많은 논의가 필요할 것이다.

III. 설계 기술

IoT 기기들은 대부분 무선으로 데이터를 전송하기 때문에 다양한 근거리/원거리 통신기술들이 채용되고 있다. 근거리 통신을 위한 NFC, Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee 등은 현재 IoT 기기들에서 많이 사용되고 있으며, 조만간 5G와 같은 원거리 통신을 위한 무선 기능도 탑재될 것이다. 초고속, 초저지연, 초연결을 위해서 수 GHz 대역을 넘어 이제는 수 십 GHz의 mm-Wave 대역 주파수를 사용하게 된다. 또한 대부분 IoT 기기들은 소형이며, 따라서 부품의 집적도가 매우 높아 부품 간 전자파 간섭은 더욱 커질 수 있다. 그리고 배터리를 사용하기 때문에 저전력으로 동작해야 하며, 이로 인해 노이즈 마진이 줄어들고 전자파 내성이 약해져 주변 전자파 노이즈에 의한 간섭 문제는 증가할 것이다.

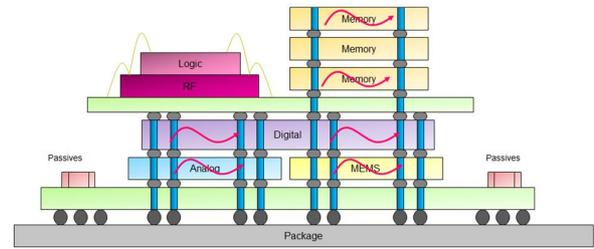
본 절에서는 IoT 기기들에서 필요한 EMC 설계 기술에 대해서 간략히 살펴보기로 한다.

3-1 반도체(IC)

IoT 기술은 IC 설계에서 새로운 도전적 이슈를 제기하고 있다. IoT 기기는 제한된 크기에 센서, MEMS(Microelectromechanical System), 컨트롤러, 프로세서, 메모리 및 Wi-Fi 통신 등 아날로그 및 디지털 회로가 공존하게 된다. 크기에 대한 제약은 IC 설계자에게 새로운 형태의 IC를 요구한다^[5]. 다중 칩 모듈(MCM), SiP(System in Package), 3차원 IC (3D-IC) 등을 통해 더욱 효율적으로 칩과 패키지를 설계하게 된다. 이러한 컴팩트한 폼팩터를 가지는 IC들은 의심할 여지 없이 전자파 간섭(EMI) 문제에 노출되고 있다. 점점 더 많은 IC 설계자들이 IC와 패키징 설계 과정에서 전자파 노이즈에 대한 간섭 영향을 신중하게 고려하고 있다.

3-1-1 3D-IC

최근 삼성전자는 96단 3차원(3D) 낸드플래시 양산에 성공했다^[6]. 이번에 양산을 시작하는 96단 3D 낸드는 칩 하나에 1 Tb(테라비트)까지 담을 수 있다고 한다. 이처럼 3D-IC는 층수를 높여 더 많은 데이터를 저장할 수 있고, 똑같은 데이터



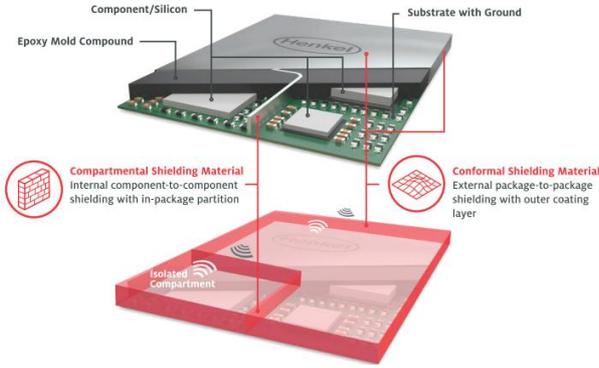
[그림 3] TSV 기반 3D IC의 noise coupling 구조^[7]

를 저장하더라도 속도는 빨라지고 소비전력은 줄어드는 장점을 가지고 있다. 따라서 초고속, 고용량, 고집적, 저전력, 그리고 지능형 반도체를 요구하는 IoT 기기에서 3D-IC는 필수적인 부품이라 할 것이다.

이러한 3D-IC를 구현하는 핵심 기술이 TSV(Through-Silicon Via)이다. [그림 3]에서 보듯이 여러 층의 실리콘을 수직으로 연결시켜 주는 것이 바로 TSV이다. 하지만 고속 신호가 TSV를 통해 전송되면 여러 TSV 간 거리가 가까워 신호 누화(crosstalk)가 발생하게 되고, 아날로그 회로와 디지털 회로가 적층되어 있으면 실리콘 간 전자기적 간섭이 일어날 수도 있다^[7]. 지금까지 이러한 현상들을 분석하기 위해서 TSV 모델링에 대한 연구가 진행되었으며^{[8],[9]}, 이를 토대로 신호전송설계(signal integrity)나 전원 안정설계(power integrity) 등에 대한 연구도 진행되고 있다^{[10],[11]}.

3-1-2 컨퍼멀 차폐

반도체가 지속적으로 고속화되고 시스템화 됨에 따라, 반도체 자체에서 발생하는 전자파 노이즈의 방사를 줄이기 위해서 컨퍼멀(conformal) 차폐기술이 적용되고 있다. [그림 4]에서 보듯이 컨퍼멀 차폐는 반도체 패키지 자체에 전자파 차단용 초박 금속을 스퍼터링(Sputtering)이나 스프레이(Spray) 방식으로 코팅하는 기술이다^[12]. 이렇게 하면 PCB상에 놓인 IC를 메탈 캔(Metal can)으로 차폐하던 기존의 PCB 레벨 차폐기술에 비해 시스템의 전체 두께와 실장 면적을 줄일 수 있어 고밀도 실장이 필요한 IoT 기기에 유리하다. 컨퍼멀 차폐에서 안정적인 차폐성능을 얻기 위해서는 코팅 금속의 재질과 두께도 중요하지만, 무엇보다 측면 코팅을 통해 패키지와의 접지 설계가 중요하다. 충분한 접지가 되어 있지 않으면 우수한 차폐성능을 얻기 어렵다^[13]. 또한 [그림 4]에서



[그림 4] 반도체/패키징 차폐 기술^[12]

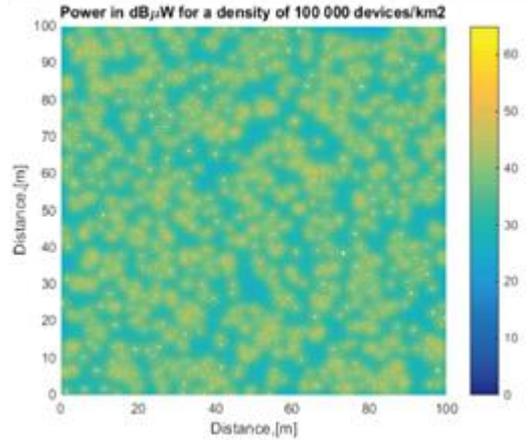
보통이 디지털 회로와 아날로그 회로 간 전자파 간섭을 줄여주기 위해서 격벽(compartment)을 넣기도 하는데, 충분한 격리도(isolation)를 얻기 위해서는 격벽의 두께를 표피두께보다 두껍게 가져가는 것이 필요하다.

3-2 시스템

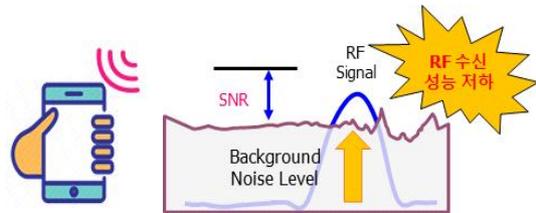
IoT 기기들은 다양한 기기들과 서로 무선으로 데이터와 정보를 원활하게 주고받을 수 있어야 하기 때문에 지금까지의 다른 통신기기보다 시스템 레벨에서의 노이즈 관리가 더 중요해진다. IoT 기기를 설계할 때 시스템 레벨에서 고려해야 할 이슈들을 정리하면 다음과 같다.

3-2-1 전자파 내성

한 공간 내에 사용하는 IoT 기기 수가 많아질수록 그 공간 내 전자파 밀도는 증가하게 되고, 이러한 배경 전자파 노이즈는 IoT 기기들의 무선수신 성능에 영향을 줄 수 있다. 최근 연구 사례를 보면 이러한 우려는 충분히 현실성이 있음을 보여준다^{[14][15]}. 1 km²의 공간에 10만 개의 IoT 기기가 무작위로 분포되어 있다고 가정하자. 각각의 기기들은 ISM 밴드인 868 MHz의 무선 주파수를 사용하고, 송신 전력은 25 mW이다. 이러한 조건에서 100×100 m 영역에서 수신되는 간섭 전력(dBuW)을 계산해 보면 [그림 5(a)]와 같다. IoT 기기들은 최소한 10 m의 통신 거리를 갖는다고 했을 때, 10,000개 이상의 기기가 있으면 배경 전자파 밀도는 65 dBμW까지 올라간다. 그리고 IoT 기기의 수신기가 25 kHz의 대역폭을 사용하고 있고, 잡음 지수는 15 dB, 열잡음 레벨은 상온에서 144 dBμW /Hz일 때, 시스템의 수신기 자체의 잡음 레벨은



(a) 100×100 m 영역에서 수신되는 간섭전력(dBuW)

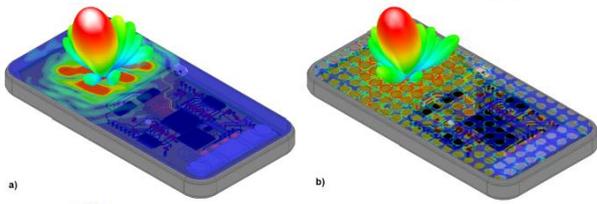


(b) 배경 전자파와 노이즈에 의한 수신감도 열화

[그림 5] IoT 무선기기에 의한 배경 전자파 전력의 증가와 그로 인한 무선 수신감도 열화 문제

$-144 + 15 + 44 = -85$ dBuW가 된다. 따라서 최악의 경우에 간섭 전력이 수신기 잡음 레벨을 20 dB까지 초과할 수 있으며, 이는 [그림 5(b)]처럼 수신기의 SNR을 감소시켜, 미약한 RF 신호를 수신하는데 심각한 감도 열화 문제를 일으킬 수 있다. 만약 IoT 기기의 수신 대역폭이 24 kHz 보다 더 크다면 수신기의 잡음 레벨은 더 올라갈 것이고, SNR은 더 감소하게 되어 배경 전자파 노이즈에 의한 수신감도 열화 문제는 더 이상 피하기 어려울 것이다.

IoT 기기들은 낮은 내부 전압에서 작동하고 저전력 무선 네트워크를 통해 통신한다. 요즘 낮은 에너지의 고전압 전자기 필스를 가방 크기의 장치로 만들 수 있는데, 누군가가 이러한 장치를 이용하여 의도적인 전자파(IEMI) 공격을 한다면 IoT 기기들의 통신은 쉽게 방해받을 수 있을 것이다. 따라서 향후 IoT 기기들에 대한 전자파 내성 강화 설계는 무엇보다 중요한 기술이 될 것이다. 하지만 전자파 차폐재나 흡수재를 사용하기 어려운 저가형 IoT 기기들에서는 이러한 EMC 설계 이슈는 도전적일 수밖에 없다.

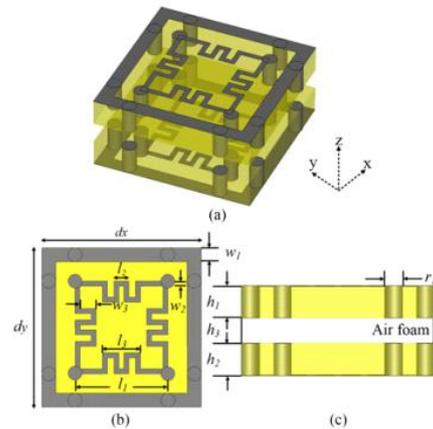


[그림 6] 주파수 선택적 차폐 구조가 들어간 스마트 기기^[16]

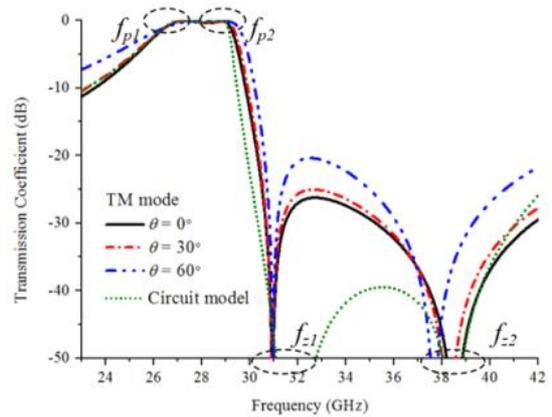
3-2-2 차폐와 흡수

다양한 IoT 기기들에서 5G 통신기술이 채용된다면 mm-Wave 대역에서의 전자파 간섭 문제를 해결할 수 있는 EMI 대책기술이 필요하다. 모바일 기기들에서 가장 일반적으로 사용되는 대책기술은 전자파를 차폐하거나 흡수할 수 있는 부품들을 사용하는 것이다. 하지만 전통적인 차폐/흡수 기술로는 mm-Wave 대역에서 효과를 보기 어려우며, 이 주파수 대역에서 효과적인 차폐재나 흡수재에 대한 연구가 필요하다.

최근에 5G 기기에서 사용할 수 있는 차폐 구조로써 논의되고 있는 것이 바로 주파수 선택 구조(Frequency Selective Surface: FSS)이다. 일반적으로 안테나를 사용하는 모바일 기기에서는 케이스에 차폐재나 차폐구조를 사용하기 어렵다. 왜냐하면 차폐재나 차폐구조가 안테나의 전파 송수신을 방해하기 때문이다. 5G의 경우, 주파수가 높기 때문에 FSS 구조를 사용하면 안테나의 송수신 주파수 대역에서는 전자파를 통과시키고, 그 외 대역에서는 전자파를 차단할 수 있는 특성을 구현할 수 있다. [그림 6]에서는 스마트 기기 표면에 FSS 구조가 없을 때와 있을 때의 28 GHz에서 안테나의 방사 특성을 비교하였다^[16]. 안테나가 IC 칩 위에 놓여 있을 때 FSS 구조가 안테나를 덮고 있어도 28 GHz에서는 전자파를 잘 통과시킴을 알 수가 있다. [그림 7]에서는 비아 구조를 이용한 2층 FSS 구조의 예를 보여준다^[17]. 또한 [그림 8]에서 그 FSS 구조의 투과계수를 보여주는데, 28 GHz에서는 높은 투과특성을 보이고, 그 외 주파수 대역에서는 -10 dB 이상 투과계수가 감소함을 보여준다. 결론적으로 mm-Wave 대역에서의 차폐 구조로써 FSS 구조에 대한 관심은 커지고 있으며, 향후 작은 크기의 얇은 두께를 가지는 광대역 FSS 구조에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.



[그림 7] 비아 구조를 이용한 2층 FSS 구조^[17]



[그림 8] 2층 FSS 구조의 투과 계수^[17]

한편, 스마트폰과 같은 모바일 기기 내에 고속으로 동작하는 디지털 IC들과 아날로그 및 RF 회로간의 간섭을 줄이기 위해서 1~2 cm² 크기의 소형 실드캔(shield can)을 많이 사용한다. 이 실드캔은 다섯 면이 도체로 구성되어 있고, 인쇄회로기판에 부착되기 때문에 일종의 공진기 구조를 갖는다. 하지만 기존의 수 GHz 대역에서는 이러한 소형 실드캔이 효과적인 공진기 구조는 아니다. 예를 들어 2 GHz의 디지털 신호의 고조파 노이즈 성분이 있다면 이 노이즈 성분이 잘 방사할 수 있는 조건인 반파장의 크기는 7.5 cm이다. 통상 실드캔은 이보다 작은 크기를 가지므로 2 GHz에서는 공진이 발생하지 않는다. 하지만 30 GHz 고조파 노이즈 성분이 있다면 반파장의 크기는 5 mm이기 때문에 일반적인 실드캔 크기에서 여러 공진 모드가 발생할 수 있으며, 실드

캔 밖으로 새어 나온 노이즈는 주변의 5G 안테나나 회로에 간섭을 일으킬 수 있다. 이러한 실드캔 내 공진현상을 감소시키기 위해서 실드캔 내부 표면에 mm-Wave 대역에서 동작하는 흡수재 코팅이 필요할 수 있다.

mm-Wave 대역의 흡수재가 필요한 또 다른 예로써 5G 안테나가 있다. 높은 이득을 가진 안테나 빔을 만들기 위해서 거대(massive) MIMO 기술을 사용하는 5G 시스템의 경우에는 안테나 요소들 간의 간섭이나 송수신 신호간의 간섭을 최소화하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 mm-Wave 대역에서 효과적으로 전자파를 흡수할 수 있는 흡수 소재 및 초소형 흡수 구조의 개발이 필요할 것이다.

이와 같이 mm-Wave 대역을 사용하는 5G IoT 기기에서는 무선 주파수의 파장이 mm 밖에 안 되기 때문에, 소형 모바일 기기 내에서 발생하는 노이즈 간섭문제에서도 전자파 산란(scattering) 현상을 고려해야 하며, 이러한 산란 현상을 없애거나 줄이기 위해서는 반사를 기반으로 하는 차폐기술보다는 전자파를 잘 흡수할 수 있는 소재나 구조에 대한 필요성이 더 커질 것으로 예상된다.

IV. 측정 기술

5G와 같이 통신 주파수가 수십 GHz의 mm-Wave 대역으로 올라가게 되면 안테나나 EMC 측정을 위해서 많은 고려사항과 극복해야할 난제들이 생긴다. 안테나를 포함한 mm-Wave 대역의 부품들은 매우 소형이며, 공기뿐만 아니라 커넥터나 케이블에서의 경로손실 또한 증가하게 된다. 따라서 4G 측정 시 사용해 오던 RF 커넥터나 케이블은 사용하기가 어렵게 된다. 본 절에서는 mm-Wave 대역에서의 EMC, 안테나, RF 시험을 위한 측정 이슈에 대해서 살펴볼 것이다.

4-1 OTA 측정

우선 5G의 안테나 시스템은 매우 소형이며, 안테나가 IC 칩이나 패키지 위에 놓이는 AoC(Antenna on Chip), AiP(Antenna in Package) 형태를 가질 수 있다. 이처럼 5G 단말기에서 안테나와 RF 회로가 하나의 칩에 들어가게 되면 안테나의 성능을 테스트할 때 안테나 모듈만 측정이 불가능하며, 케이블 연결을 통한 안테나 테스트는 거의 불가능한 방법이 된다. 따라서 공기 중에서 방사성능을 시험하는 OTA(Over-

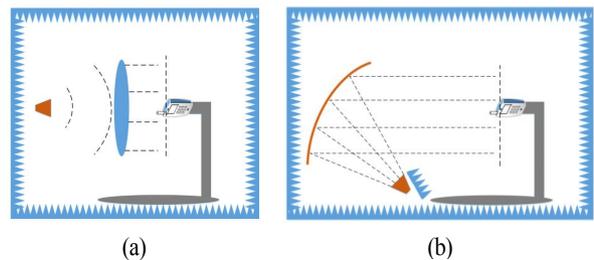
The-Air) 측정 방법이 필요해진다. 실제 5G 기술표준을 주도하고 있는 3GPP에서는 안테나의 방사특성인 TRP(Total Radiated Power), 수신특성인 TIS를 시험 평가하는 표준 방법으로 OTA 측정을 채택하였다. 또한, 제품개발 단계에서 EMC 디버깅을 위해서도 OTA 측정 기술이 널리 사용될 것이다.

OTA 측정에서는 일반적으로 측정하고자 하는 안테나(Antenna Under Test: AUT)에서부터 원역장(far-field) 거리에 측정용 안테나를 놓고 측정하게 된다. AUT가 파장보다 클 경우 근역장(near-field)과 원역장의 경계 거리는 $2D^2/\lambda$ 로 알려져 있으며, mm-Wave 대역에서 안테나 크기에 따른 최소 원역장 거리는 <표 1>에 나타나 있다. 따라서 OTA 챔버는 최소 원역장 거리를 포함하는 크기를 가져야 하는데, 문제는 경로손실이다. 5G 기지국에서 사용하는 배열 안테나의 크기가 15 cm라고 하면 원역장 거리에서의 경로손실은 73 dB가 되어 측정용 안테나의 동적범위(dynamic range)가 크지 않으면 측정이 현실적으로 어려울 수 있다.

[그림 9]에서는 두 가지 OTA 측정용 챔버 구조를 보여주고 있다^[18]. [그림 9(a)]는 일반적인 무반사 챔버를 이용한 OTA 측정 챔버를 보여주고 있다. 챔버의 크기를 좀 더 컴팩

<표 1> 28 GHz에서 동작하는 안테나 크기에 따른 원역장 거리와 경로손실

D(cm)	Frequency(GHz)	Far-field distance(m)	Path loss(dB)
5	28	0.5	54
10	28	1.9	66
15	28	4.2	73
20	28	7.5	78
25	28	11.7	82
30	28	16.8	85



[그림 9] OTA를 이용한 원역장 측정방법^[18]

트하게 만들기 위해서 [그림 9(b)]처럼 반사판(reflector)를 사용하여 측정하는 CATR(Compact Antenna Test Range) 챔버도 있다. 이 경우 경로손실을 줄일 수 있는 장점이 있다.

4.2 잔향실 측정

잔향실(reverberation chamber) 측정은 향후 5G의 OTA 측정을 위해 사용할 수 있는 유망한 방법 중 하나이다. [그림 10]에 나와 있듯이 잔향실은 기본적으로 반사 챔버로서 측정 주파수에서 충분한 공진모드가 발생할 수 있는 크기를 가져야 한다. 따라서 측정하고자 하는 주파수가 클수록 챔버 크기는 작아도 된다. 그리고 챔버 내 전자파 분포가 균일해지도록 모드 스티러(mode stirrer)들을 사용한다. 이러한 전자파 분포는 모든 각도와 편파에서 균일평면파를 형성하고 있기 때문에 실사용 조건의 전자파 환경과 매우 유사한 특성을 가진다. 그래서 <표 2>에도 나타났듯이 3GPP에서는 잔향실 측정 방법을 이미 6 GHz 미만(sub 6 GHz)의 주파수를 사용하는 5G 기기에 대한 공인 규격 측정 방법으로 채택하였다^[19]. 다만 TRP나 TIS와 같이 각도에 대한 측정정보가 필요 없는 시험에서만 사용할 수 있도록 하였다. 특히 잔향실은 EMC 내성 시험 측면에서 매우 유용한 측정 방법이다. 특히 향후 거대(massive) IoT 환경에서의 IoT 기기들에 대한 전자파 내성 시험을 위해서 잔향실을 활용한다면 매우 효과적인 시험이 가능할 것으로 예상된다.

4.3 근역장 측정

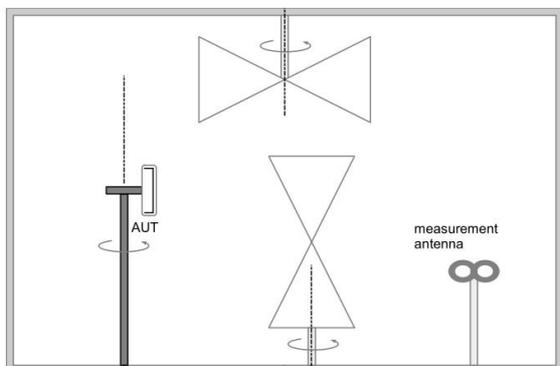
5G 안테나의 방사특성을 측정하는 방법으로 근역장 측정 기술이 있다. 근역장 영역에서 안테나로부터 방사하는 전기

장 또는 자기장을 측정하고, 근역장-원역장 변환 알고리즘을 이용하여 원역장 결과를 얻어내는 방법이다. 근역장 영역에서 측정하기 때문에 원역장 OTA 챔버보다 크기가 작아도 되며, 이는 비용 측면에서 효과적이다.

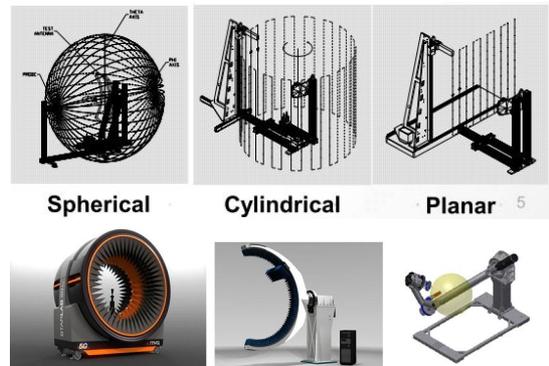
근역장 측정은 안테나로부터 방사하는 전자파를 측정하기 위해서 안테나로부터 일정 거리가 떨어진 구와 같은 폐곡면을 따라 스캔하면서 방사 전자파를 측정하게 된다. [그림 11]에서 보듯이 구와 같은 폐곡면 측정이 어려운 경우, 원통면이나 평면을 따라 스캔하면서 근역장을 측정하기도

<표 2> OTA 측정을 위한 표준 방법들^[19] (* : 논의단계)

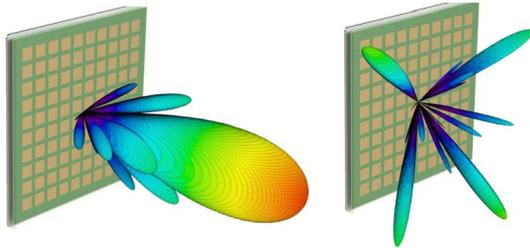
	Sub-6 GHz	mm-Wave
Conformance testing (angular dependent)		
<i>Production test</i>	Ultra compact PWG	Near-field testing*/ Ultra Compact PWG*
<i>Certification test</i>	Far field anechoic chamber	Far field anechoic chamber
<i>Design test</i>	Ultra compact PWG	Near field testing*/ Ultra Compact PWG*
Conformance testing (angular independent)	Reverberation chamber /Far field anechoic chamber	Reverberation chamber*/ Far field anechoic chamber
Conformance testing (angular independent)		
Very low frequency	EMC chamber	EMC chamber
Very high frequency	Reverberation chamber*	Reverberation chamber*



[그림 10] 잔향실 측정^[19]



[그림 11] 근역장 측정 방법^[20]



(a) 기본 주파수 (b) 3채배 주파수

[그림 12] 5G 빔 포밍 안테나의 주파수에 따른 빔 패턴^[18]

한다^[20]. 현재 다양한 업체에서 개발된 근역장 스캔 측정 시스템이 존재한다.

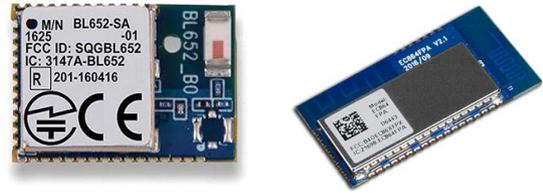
근역장 측정 방법은 안테나뿐만 아니라, 노이즈 방사를 예측하는 방법으로도 사용될 수 있다. 안테나 근역장 측정은 주로 방사성 근역장(radiated near-field) 영역에서 측정하는데 반해, EMI 측면의 근역장 측정 방법은 미약한 노이즈 방사를 측정해야 하기 때문에 측정하는 기기와 안테나 또는 프로브 간의 거리가 가까워야 된다. 따라서 리액티브 근역장(reactive near-field) 영역에서 주로 평면을 스캔하는 방식으로 측정을 하게 된다.

4.4 스푸리어스 방사 측정

무선통신 기능을 가지고 있는 단말기는 통신 주파수의 체배 주파수들에서 발생하는 스푸리어스 방사(Radiated Spurious Emission: RSE)를 측정하게 되어 있다. 통신 주파수가 28 GHz인 5G의 경우, 3채배만 되도 주파수가 거의 100 GHz에 육박하게 된다. 따라서 이러한 스푸리어스 방사 측정을 위해서는 적어도 100 GHz 이상 그리고 200 GHz까지 측정이 가능한 계측기가 필요하며, 광케이블을 사용하는 등 측정 셋업에도 많은 주의가 필요하다. 또한 [그림 12]에서 보듯이 3채배 주파수에서 5G 빔 포밍 안테나의 방사 패턴은 매우 날카로워 빔 패턴이나 최대 방사전력을 정확히 측정하기 위해서는 측정 안테나의 제어 각도가 1° 이하로 정밀해야 하고, 피크값을 찾을 수 있는 알고리즘이 필요할 것이다^[18].

4.5 사전 승인(Pre-Compliance) 측정

현재 출시되고 있는 IoT 기기들은 모듈 단위로 제작된 부품을 사서 조립한 경우가 많다. 삼성전자는 아틱(ARTIK)이



[그림 13] FCC 사전 승인을 받은 IoT용 무선 모듈들^{[21][22]}

라는 IoT 개발 플랫폼을 내놓았는데, 이를 통해 프로세서와 메모리, 통신, 안테나 등으로 구성된 초소형 IoT 모듈들과 개발 플랫폼을 제공하고 있다. 이러한 개발 플랫폼을 이용하면 IoT 기기를 개발하고자 하는 사람은 누구나 원하는 기기를 빠르고 손쉽게 제작해서 상용화할 수 있다. 더욱이 무선 모듈의 경우, 모듈레벨에서 받은 EMC 사전 승인을 제품레벨에서 승계할 수 있어서 [그림 13]에서 보여주는 것과 같이 사전 승인된 무선 모듈을 사용한다면 IoT 기기의 개발 및 EMC 승인 시험에 드는 상당한 비용을 절감할 수 있다.

이처럼 IoT 기기가 모듈레벨에서의 EMC 사전 승인을 받아 제작된다면 앞으로 모듈레벨에서의 EMC 측정 기술이 중요해진다. 물론 모듈레벨에서 EMC 승인이 되었다라도 시스템레벨에서 EMC 문제가 없다고 단정하기는 어렵다. 따라서 시스템레벨의 EMC 성능과 연관성이 높은 부품 및 모듈레벨의 EMC 측정 및 평가 방법이 필요할 것이다.

V. 맺음말

지금까지 5G 기반 IoT 기기에 대한 EMC 표준, 설계 및 측정 기술에 대한 최근 동향을 살펴보았다. 거대 IoT 환경에서는 공간 내 전자파 밀도가 현재와는 상당히 달라질 것이며, 이로 인해 EMC 영역에 새로운 도전적인 과제가 생기고 있다. 5G 통신기술과 거대 IoT를 근간으로 하는 스마트 홈, 스마트 빌딩, 스마트 팩토리, 커넥티드 자동차 등 현재 우리 주변에 출현하고 있는 신성장 산업들이 문제없이 구현되기 위해서는 EMC 기술의 도움이 필수적이다. 분명 IoT 기술은 EMC 분야에 새로운 활력을 주고 있는 것이다.

마지막으로 지면관계상 본 논문에서 관련 기술들을 충분히 설명하지 못한 것에 대해서 독자들의 양해를 구하고, 좀 더 상세히 알고 싶은 부분은 참고문헌을 참조해 주시기 바란다.

참 고 문 헌

- [1] R. Bruening, "Getting IoT device design right for EMC and the Interference of Things", Sep. 27, 2018. (<https://blog.zuken.com/emc-iot-device-design/>).
- [2] B. Gorini, "EMC aspects associated to 5G networks", ETSI TC-EE/ITU-T SG5 Workshop on "Towards Setting Environmental Requirements for 5G", Nokia, 23-11-2017.
- [3] Y. Qi, J. Wu, G. Gong, J. Fan, A. Orlandi, W. Yu, J. Ma, and J. L. Drewniak, "Review of the EMC aspects of internet of things", *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 60, no. 5, pp. 1152-1160, Oct. 2018.
- [4] 송태승, "5G 이동통신 구축을 위한 EMC 요구 사항 고찰", 한국전자파학회지(전자파기술), 29(1), pp. 50-58, Jan. 2018.
- [5] R. Pink, "The IoT is Changing IC Design", 23 Aug. 2018. <https://electronics360.globalspec.com/article/12609/the-iot-is-changing-ic-design>.
- [6] 삼성전자, 96단 3D 낸드 양산... 추격자 따돌린다, 한국경제신문, 2018.07.10.
- [7] T. Song, Noise coupling in 3D IC, Dec. 4, 2014. <http://taigonsong.org/noise-coupling-3d-ic/>.
- [8] K. J. Han, M. Swaminathan, and T. Bandyopadhyay, "Electromagnetic modeling of through-silicon via (TSV) interconnections using cylindrical modal basis functions", *IEEE Trans. Adv. Packag.*, vol. 33, no. 4, pp. 804-817, Nov. 2010.
- [9] J. Kim, J. Cho, J. Kim, J.-M. Yook, J. C. Kim, J. Lee, K. Park, and J. S. Pak, "High-frequency scalable modeling and analysis of a differential signal through-silicon via", *IEEE Trans. Compon. Packag. Manuf. Technol.*, vol. 4, no. 4, pp. 697-707, Apr. 2014.
- [10] E. Sicard, W. Jianfei, R. J. Shen, E.-P. Li, E.-X. Liu, J. Kim, J. Cho, and M. Swaminathan, "Recent advances in electromagnetic compatibility of 3D-ICs-Part I", *IEEE EMC Magazine*, vol. 4, no. 4, pp. 79-89, 4th Quarter 2015.
- [11] E. Sicard, W. Jianfei, R. J. Shen, E.-P. Li, E.-X. Liu, J. Kim, J. Cho, and M. Swaminathan, "Recent advances in electromagnetic compatibility of 3D-ICs-Part II", *IEEE EMC Magazine*, vol. 5, no. 1, pp. 65-74, 1st Quarter 2016.
- [12] Component Level EMI Shielding for Semiconductor Packages, *Henkel Electronic Materials*, Nov. 7, 2017.
- [13] K. Yamada, M. Ishida, and T. Iguchi, "Grounding design for low-cost ball grid array package with high shielding effectiveness", *2015 IEEE Int. Symp. Electromagnetic Compatibility*, Dresden, Germany, pp. 16-22, Aug. 2015.
- [14] K. Wiklundh, P. Stenumgaard, "EMC challenges of the Internet of things", *Electronic Environment*, no. 1, pp. 13-15, 2017.
- [15] K. Wiklundh, P. Stenumgaard, "Massive IoT and EMC", *Electronic Environment*, no. 4, pp. 14-19, Dec. 2018.
- [16] J. F. Mologni, J. C. Ribas, and M. A. R. Alves, "Investigation on the deployment of FSS as electromagnetic shielding for 5G devices", *2017 SBMO/IEEE MTT-S Int. Microwave and Optoelectronics Conference*, Aguas de Lindoia, Brazil, pp. 27-30 Aug. 2017.
- [17] D. Li, T.-W. Li, E.-P. Li, Fellow, and Y.-J. Zhang, "A 2.5-D angularly stable frequency selective surface using via-based structure for 5G EMI shielding", *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 60, no. 3, pp. 768-775, Jun. 2018.
- [18] J. Vikstedt, "The 5G new radio - implications for EMC and antenna testing", *2018 IEEE Symposium on EMC, SI and PI*, Long Beach, CA USA. Jul. 30, Aug. 3, 2018.
- [19] M. Gustafsson, T. Jamsa, and M. Hogberg, "OTA methods for 5G BTS testing - Survey of potential approaches", *32nd URSI GASS*, Montreal, pp. 19-26, Aug. 2017.
- [20] P. Chang, mmWave OTA Fundamentals, *Keysight World 2018*.
- [21] Laird BL652 module employing Nordic Semiconductor's nRF52832 SoC.
- [22] GT-tronics's pre-certified Wi-Fi + Bluetooth 5.0 LE (WiBlue) module.

≡ 필자소개 ≡

박 현 호



1999년 8월: 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학박사)

1999년 9월: 한국전자통신연구원 (ETRI) 선임 연구원

2006년 6월: 삼성전자 글로벌기술센터 수석연구원

2012년 9월~현재: 수원대학교 전기전자공학부

교수

[주 관심분야] EMI/EMC 대책 기술, SI/PI 설계 기술, 전자파 해석 기술