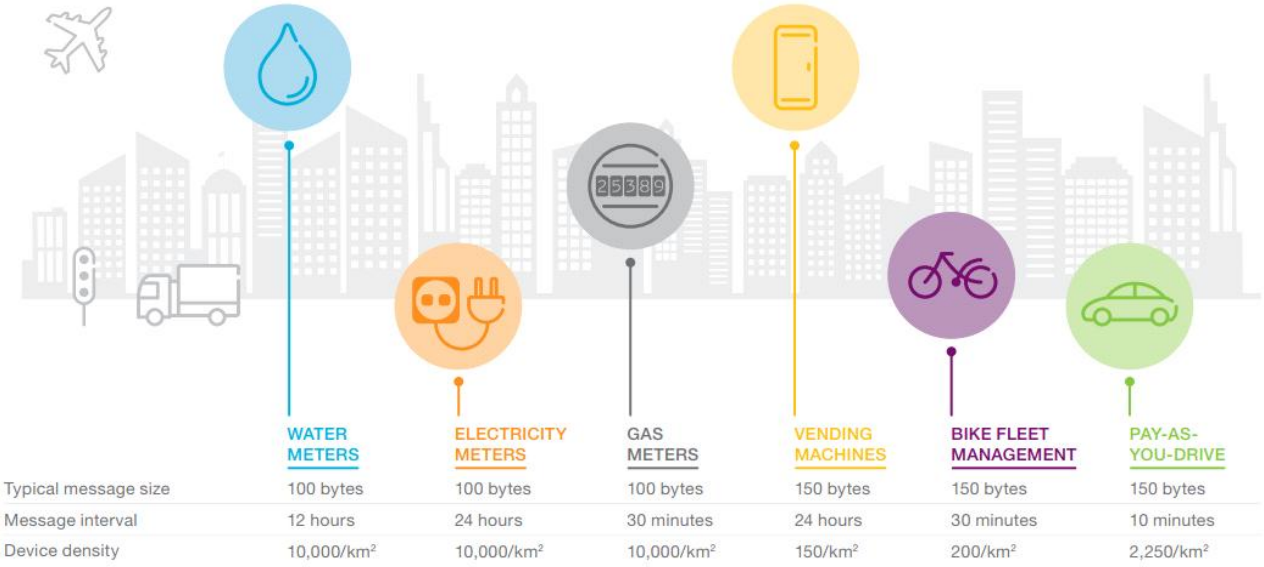
전자파 적합성 연구 동향(2017년 IEEE 전자파 적합성, 신호 및 전력 무결성 국제 학술대회를 중심으로)

황 정 환 · 권 종 화
한국전자통신연구원

Ⅰ. 서 론

전자기기로부터 발생하는 의도성 혹은 비의도성의 전자파는 전자파 간섭을 일으켜 전자기기가 정상적으로 동작하는데 영향을 미친다. 전자파 적합성(Electromagnetic Compatibility: EMC) 기술은 이러한 전자파 간섭을 최소화하여 전자기기들이 양립되도록 한다. 요구되는 전자파 적합성 수준을 만족하도록 전자기기의 설계 단계에서 전자파 장애(Electromagnetic Interference: EMI) 저감 기술과 전자파 내성(Electromagnetic Susceptibility: EMS) 증대 기술이 사용되며, 제품 단계에서는 해당 기기에 대해 전자파 적합성 수준을 조사하는 시험 기술이 활용된다. 정보통신 기술이 비약적으로 발전함에 따라 밀집된 공간에 다수의 전자기기들이 동시에 사용된다. 예를 들어 사물에 센서를 부착하여 실시간으로 데이터를 주고받는 IoT(Internet of Things) 기술의 경우, [그림 1]과 같이 다양한 종류의 센서에 적용되며, 이때 센서의 밀도는 1 km^{2}당 10,000개에 이를 것으로 예측되고 있다. 다수의 전자기기들에 의해 형성되는 복잡한 전자파 환경에서는 전자파 간섭이 매우 높은 수준에서 다양한 형태로 발생하며, 따라서 보다 고도화된 전자파 적합성 기술이 요구된다. IoT, 드론, 전기자동차 및 5G와 같은 새로운 전자기기와 서비스들이 등장함에 따라 전자파 적합성 기술은 새로운 도전을 맞이하고 있다. 기존에 비해 보다 가혹한 전자파 환경에서 전자기기들이 양립하도록 보다 높은 수준의 전자파 적합성 기술이 요구되고 있다. IoT 센서들은 매우 낮은 전력을 소모하며, 따라서 낮은 수준의 전자파 간섭에도 센서가 정상적으로 동작하도록 하는 내성 설계가 요구된다. 드론과 전기자동차의 주행 안정성을 확보하기 위해서는 사용되는



[그림 1] IoT 센서의 종류와 각 센서의 밀도[1]

「이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. 2015-0-00855, 전자파잔향실 기반 실환경 전파 측정 및 평가 기술 연구)」

부품들에 대해 보다 높은 강도의 내성 시험이 필요하다. 5G 서비스의 경우, 전자파 적합성 설계 및 시험 기술이 적용되는 주파수 대역이 수십 GHz 이상의 밀리미터파 대역으로 확장된다.

IEEE 전자파 적합성, 신호 및 전력 무결성 국제 학술대회(IEEE symposium on EMC, signal and power integrity)는 European EMC, Asian Pacific EMC 학술대회와 함께 세계 3대 EMC 학술대회로 분류된다. 회로수준에서 적용되는 EMC 기술에서부터 무선기기, 자동차, 항공 및 우주 분야에 적용되는 EMC 기술까지 매우 다양한 EMC 기술이 주제로 다루어진다. 2017년에는 8월 7일부터 11일까지 미국 워싱턴 DC에서 개최되었다. 'EMC in Everything-Wireless World'라는 슬로건으로 개최된 이번 학술대회에서는 급속한 정보통신 기술의 변화 환경에서 EMC 기술이 지향해야 할 새로운 방향을 모색하는 프로그램이 많이 구성되었다. 본 논문에서는 2017년도 IEEE 전자파 적합성, 신호 및 전력 무결성 국제 학술대회(이하 EMC 학술대회)를 중심으로 EMC 기술의 연구 동향을 살펴보고자 한다. EMC 학술대회에서 발표된 논문과 워크샵 내용을 바탕으로 EMC 기술의 주요 연구 동향을 분석하고, 기술별로 주요 연구사례를 요약하였다.

Ⅱ. 주요 연구 동향

이번 EMC 학술대회에서 발표된 논문의 내용을 분석해 보면 미국이 기술적 우위를 바탕으로 광범위한 범위에서 EMC 기술을 연구하고 있고, 유럽은 EMC 시험기술, 아시아는 회로 EMC 기술을 각각 중점적으로 연구하고 있다.

미국의 경우, 대학과 정부 연구기관을 중심으로 기존의 EMC 기술을 포함하여 이머징 기술, 고출력 전자파 기술에 사용되는 EMC 기술에 이르기까지 광범위하게 EMC 기술을 개발하고 있다. 미주리 과학기술 대학교(Missouri University of Science and Technology)의 EMC 연구실 등 학계를 중심으로 스마트 폰 내부에서 나타나는 부품간의 전자파 간섭을 모델링하고, 간섭 모델을 바탕으로 간섭을 최소화하는 저감 기술이 연구되고 있다. 인텔과 같은 산업계를 중심으로는 칩, 패키지 및 PCB 수준에서 사용되는 EMC 기술이 개발되고 있다. 메모리칩에 발생하는 간섭신호 억제 기술과 초고속 IC의 잡음신호 감소 기술과 같이 전통적으로 칩 생산업체에서 관심을 가져온 분야와 더불어 인체의 신경망을 모사하는 뉴로모픽(Neuromorphic) 칩 기술과 같은 새로운 기술이 연구되고 있다. 군 연구기관을 비롯하여 정부 연구기관에서는 고출력 전자파 기술에 대한 연구를 진행하고 있다. 신호원 기술, 시험기술 및 건물에 사용되는 방호기술을 연구하고 있으며, 장기간에 걸친 대규모 연구를 통해 방대한 데이터를 축적하여 기술개발과 표준화에 있어 선도적인 위치를 차지하고 있다. 이밖에 자동차를 위한 EMC 기술로서 자동차 레이다를 위한 밀리미터파 대역 측정기술, 전기자동차용 모터 시험기술, EMC를 고려한 자율주행 자동차 설계기술을 연구하고 있다.

유럽에서는 요크대학, 취리히 대학 등 학계를 중심으로 EMC 시험기술에 관한 연구를 활발히 수행하고 있다. 특히 철도와 항공기의 전자파 인증에 사용되는 시험기술 개발에 대한 관심이 높다. 이탈리아와 프랑스에서는 EMC 시험시설로 사용되는 전자파 잔향실의 설계기술과 전자파 잔향실을 사용한 교정기술, 무선채널 모델링 기술이 개발되고 있다. 스위스와 독일에서는 교류전류 모터와 풍력 발전기에서 누설되는 잡음신호를 측정하는 측정기술을 연구하고 있다. 또한, 복사성 잡음신호 측정에 사용되는 필터의 설계 기술과 전도성 잡음신호 모델링 기술을 개발하고 있다. 이밖에 이탈리아에서는 30 MHz 이하의 저주파 대역에서 복사성 방출을 측정하는 기술이 연구되고 있다.

아시아의 경우, 대학과 연구기관을 중심으로 주로 회로 EMC 기술에 대한 연구를 수행하고 있다. 회로를 좁은 면적에 집적화거나 패키징하면서 발생하는 간섭 및 노이즈 신호를 분석하고, 이를 최소화하는 대책기술을 개발하고 있다. 한국에서는 전력변환 회로에 의해 발생하는 간섭현상, 칩 수준에서 정전기 방전(ESD) 평가를 위해 사용되는 ESD 발생기 모델, 칩과 안테나 사이에서 발생하는 간섭현상에 관한 연구를 수행하고 있다. 중국과 대만에서는 간섭신호의 영향을 최소화하는 칩 패키지 기술, 전송선로 상의 노이즈 억제 기술, 기능을 수행하는 다수의 회로들이 수직으로 배열되는 3D IC의 전력분배 회로 기술 등을 연구하고 있다. 이밖에 일본과 인도에서는 칩 수준에서의 정보누설 감지 기술, 초고속 데이터 처리장치에서 사용되는 전원부의 EMC 모델링 기술에 관해 연구하고 있다. 칩 수준에서의 정보누설은 칩에서 데이터가 처리될 때 칩 표면에 프로브를 위치

시켜 누설되는 전자파를 검출하고, 검출된 전자파로부터 데이터를 복원하는 것을 의미한다.

EMC 시험시설 중 하나인 전자파 잔향실(Reverberation chamber)에 대한 높은 관심을 반영하듯 이번 EMC 학술대회에서는 전자파 잔향실에 관한 주제를 다루는 별도의 세션이 구성되었다. 전자파 잔향실은 금속의 공동(Cavity)과 교반기(Stirrer)로 구성되는 시험시설로서 공동의 내부에 신호를 입력하면 공동의 공진모드에 해당하는 전자파가 생성되고 이때 교반기를 회전하여 전자파가 공동 내부에서 균일하게 분포하도록 한다. 기존의 시험시설이 시험대상 기기에 특정한 편파와 입사방향을 갖는 전자파를 인가하는데 반해 전자파 잔향실은 인가되는 전자파가 균일한 편파와 입사방향을 갖는 장점을 지닌다. 이와 더불어 전자파 잔향실은 폐쇄된 공동 구조로 인해 인가되는 전자파의 세기가 비교적 크며, 따라서 극한의 전자파 환경에서 시험이 가능하다. 전자파 잔향실 내에서 생성되는 전자파는 시변(Time variant) 특성을 가지며, 따라서 해당 전자파가 시험을 위해 요구되는 규격을 만족하도록 전자파 잔향실을 설계하는 것이 매우 중요하다. 미국을 중심으로 이태리와 프랑스의 유럽 국가에서 전자파 잔향실에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 해당국에서는 이번 EMC 국제학술 대회에서 전자파 잔향실의 설계 기술과 성능의 예측 기술에 관해 다수의 논문을 발표하였다. 기존에 사용되어 온 기준시설인 야외 측정시설(Over-the-Air: OTA)과 반무반사실(Semi-Anechoic Chamber: SAC)을 전자파 잔향실로 대체하기 위해 많은 연구가 수행되고 있다. 전자파 잔향실에 관한 논문발표에서 많은 수의 발표자들이 전자파 잔향실을 기준시설로 사용하는데 있어 여전히 많은 기술적 난관이 있음을 지적하였다.

EMC 기술에서 파생되어 최근 많은 관심을 받게 된 고출력 전자파 기술과 관련하여 이번 EMC 국제학술 대회에서 많은 수의 논문이 발표된 점은 주목할 만하다. 고출력 전자파는 전자기기의 오작동과 영구적인 손상을 목적으로 복사 및 전도되는 전자파로서 보통 수백 V/m의 세기와 100 ns 이하의 지속시간을 갖는다. 지상 30 km 이상의 고도에서 핵폭발로 인해 생성되어 지표면에 도달하는 펄스형의 고고도 핵전자기파(High Altitude Electromagnetic Pulse: HEMP)와 핵이 아닌 전자파 발생원을 사용하여 지상에서 의도적으로 생성되어 전자기기에 도달하는 고출력 비핵 전자기파(High Power Electromagnetics: HPEM)로 구분된다. 고출력 전자파 기술은 전통적으로 공격 및 방호목적의 군사용 개발이 진행되어 왔으나, IT 기술이 발전하고 정보보호의 중요성이 증가함에 따라 방호목적의 민간용 기술 개발이 점차 확대되고 있다. 미국의 민간 연구기관과 해군에서는 변전시설, 대형 선박 및 항공기를 대상으로 고출력 전자파에 대한 성능평가 연구를 수행하고, 해당 연구결과를 EMC 국제학술 대회에 발표하였다. 중국에서 낙뢰 및 변전시설 보호기술, 일본에서 칩 수준의 EMP 방호기술, 인도에서 EMP 신호원 기술, 한국에서 EMP 성능평가에 관한 연구결과를 각각 발표하였으나, 미국에 비해 연구의 규모와 범위는 매우 미미한 수준이다.

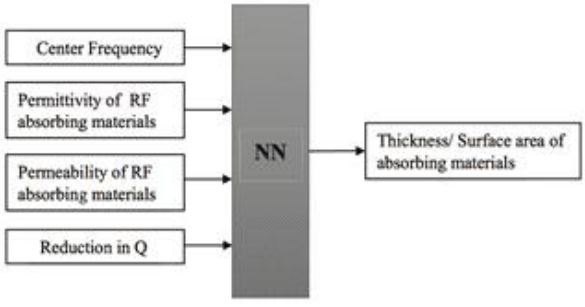
Ⅲ. 기술별 연구사례

EMC 학술대회에서 발표된 논문들 중 각 기술별로 주요한 논문들을 선정하여 연구사례를 살펴보면 다음과 같다.

3-1 전자파 잔향실 기술

전자파 잔향실의 설계기술을 비롯하여 잔향실의 성능향상 기술, 잔향실을 이용한 무선채널의 모델링 기술 등에 관한 연구가 수행되고 있다.

미국의 오클라호마 주립대학에서는 전자파 잔향실의 Q (Quality) 인자 값을 조절하기 위해 잔향실 내부에 손실체를 위치시키고, 이때 원하는 Q 인자 값을 갖도록 손실체의 표면적과 두께를 결정하는 알고리즘에 대해 연구하였다. [그림 2]와 같이 신경망(Neural Network: NN) 알고리즘을 사용하며, 알고리즘에 중심주파수, 손실체의 유전율과 비투자율,



[그림 2] 신경망 알고리즘을 사용한 손실체 규격의 계산[2]

그리고 원하는 Q 인자의 값을 입력하면 손실체의 표면적과 두께를 얻을 수 있다. 신경망 회로에서는 입력되는 정보에 가중치를 부가한 뒤 시그모이드(Sigmoid) 연산, 즉 입력 대비 출력이 S자 모양을 갖는 연산과 선형연산을 적용하여 전자파 잔향실이 원하는 Q 인자 값을 갖도록 손실체의 규격을 계산한다. 제안된 알고리즘을 실제로 적용한 결과, 전자파 잔향실이 알고리즘에 입력되는 Q 인자의 값과 비슷한 값을 갖는 것을 확인하였다.

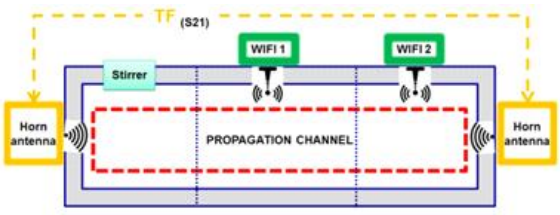
동일 대학에서는 손실체의 위치가 Q 인자 값에 미치는 영향에 관한 연구도 수행하였다. 전자파 잔향실 내부에 손실체를 위치시켜 Q 인자의 값을 감소시킬 때 동일한 손실체를 잔향실의 모서리보다는 벽면의 중앙에 위치시키면 Q 인자 값의 감소량이 더 큼을 실험적으로 확인하였다. 이는 손실체에 의해 발생하는 전자파 손실량은 손실체 표면과 잔향실 내부공간의 접촉면적에 비례하기 때문이다. 손실체가 잔향실의 모서리에 위치할 경우, 손실체 표면의 상당부분이 잔향실 내부공간이 아닌 벽에 접촉하므로 전자파 손실량이 상대적으로 작다. 손실체가 벽면의 중앙이 아닌 작업공간(Working Volume)의 중앙에 위치할 경우, 전자파 손실량은 더욱 증가하고, 따라서 Q 인자의 값은 더욱 감소하게 된다. 오클라호마 주립대학에서는 이와 같은 연구결과를 바탕으로 수치해석을 통해 Q 인자의 감소량을 예측하는 기법을 개발하고 있다. 수치해석을 통해 얻은 Q 인자의 감소량이 실제 측정치와 유사할 경우, 개발되는 예측기법은 손실체를 포함하는 잔향실 설계에 매우 유용하게 사용될 것으로 기대되고 있다.

미국의 해군 수상전투센터(Naval Surface Combat Center)는 언더 모드(Under mode)에서 동작하는 전자파 잔향실에 대해 잔향실 작업공간의 전기장이 갖는 최대 세기값에 대해 연구하였다. 함정의 갑판에 위치한 저주파 통신장비들은 고출력의 전자파를 복사시키며, 이때 전자파의 일부가 함정의 내부로 누설되어 함정의 내부에 보관되는 탄약과 미사일의 오동작을 일으킬 수 있다. 함정 내부로 누설되는 전기장이 갖는 최대 세기값은 오동작과 밀접하게 관련된 것으로 알려져 있다. 함정 내부로 누설되는 전자파를 언더 모드로 동작하는 전자파 잔향실을 사용하여 재현할 수 있다. 전자파 잔향실 내부에 흠(Seam)이 있는 함체(Enclosure)를 위치시키며, 이때 함체는 함정의 내부를 모사한다. 해군 수상전투센터에서는 전자파 잔향실을 언더 모드로 동작시킨 후 함체의 내부에 분포하는 전기장에 대해 전기장의 최대 세기값이 갖는 확률분포를 분석하였다. 분석결과, 함체 내부에서의 전기장 세기 최대값은 지수함수 분포에서 파생되는 GEV(Generalized Extreme Value) 분포를 따르는 것으로 밝혀졌다.

프랑스의 항공우주연구원(French Aerospace Lab)에서는 항공기 기내에서 사용되는 무선채널에 대해 무선채널 환경을 전자파 잔향실로 재현하였다. 항공기에 사용되는 많은 센서들은 현재 유선으로 조종석에 연결된다. 항공 산업계에서 이러한 센서들을 유선이 아닌 무선으로 연결하는 시도를 하고 있으며, 이를 위해 4 GHz의 주파수 대역 사용을 고려하고 있다. 항공기 내부의 무선채널 환경을 재현하기 위해 [그림 3]의 구조를 갖는 전자파 잔향실 구조을 제안하였다. 제안된 구조에서는 작은 크기의 잔향실 3개를 서로 연속으로 연결하며, 잔향실과 잔향실 사이에는 개구면을 위치시켜 항공기 내부에 위치하는 격벽을 모델링하였다.

미국의 국립표준기술연구소(National Institute of Standard and Technology: NIST)에서는 손실체가 내부에 위치하는 전자파 잔향실에 대해 편파의 등방성(Isotropy)을 향상시키는 기술에 관해 연구하였다. 전자파 잔향실에서 재현되는 무선채널의 대역폭을 확장시키기 위해 손실체를 잔향실 내부에 위치시킨다. 하지만 손실체가 특정한 편파를 갖는 전자파를 흡수하므로 편파의 등방성은 감소한다. 이러한 등방성의 감소를 방지하기 위해 NIST에서는 다중 편파의 송신 안테나를 사용할 것을 제안하였다. [그림 4]와 같은 버터플라이형 다중편파 안테나를 사용함으로써 단일편파의 다이폴 안테나를 사용할 때에 비해 편파의 등방성이 향상되는 것을 확인하였다.

프랑스의 리모게스(Limoges) 대학교에서는 전자파 잔향



[그림 3] 항공기내 무선채널을 재현하기 위한 잔향실 구조[3]

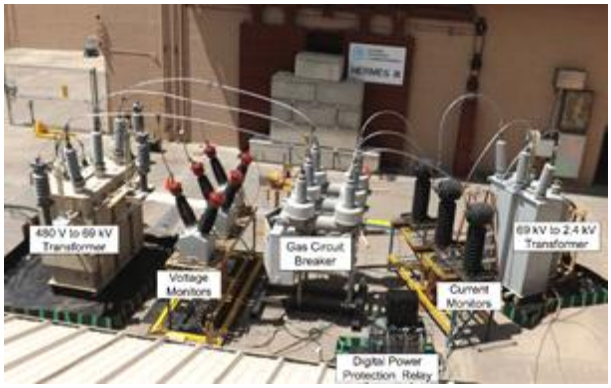
[그림 4] 버터플라이형 다중편파 안테나[4]

실의 성능을 평가하는데 있어 기존의 이중포트 측정방법을 대체하는 단일포트 측정방법을 제안하였다. 전자파 잔향실의 성능을 평가하기 위해 두 개의 안테나를 사용하는 이중포트 측정방법은 측정에 상당한 시간이 소요된다. 이는 잔향실 내부의 안테나 위치가 잔향실 성능에 영향을 미치므로 안테나를 여러 위치에 위치시켜 순차적으로 성능을 측정하고, 이후 측정된 결과에 평균을 취하기 때문이다. 하나의 안테나를 사용할 경우, 두 개의 안테나를 사용할 때에 비해 안테나 위치의 경우의 수가 적으며, 따라서 측정에 필요한 시간이 줄어든다. 전자파 잔향실의 전기장 상관계수는 교반기가 회전할 때 각각의 회전각에서 나타나는 전기장 세기들의 상관관계를 나타낸다. 이러한 전기장 상관계수에 대해 제안된 단일포트 측정방법을 사용하여 상관계수를 얻은 뒤 이를 기존의 이중포트 측정방법을 사용하여 얻은 상관계수와 비교하였다. 비교결과, 단일포트 측정방법을 사용하여도 비교적 정확한 상관계수를 얻을 수 있음을 확인하였다.

3-2 고출력 전자파 기술

고출력 전자파가 변전시설과 함정에 미치는 영향에 대한 연구와 더불어 고출력 전자파 측정시설 및 저감기술에 관한 연구가 수행되고 있다.

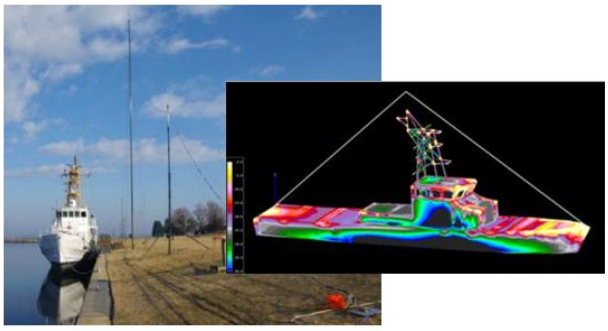
미국의 국방위협감소국(Defense Threat Reduction Agency)에서는 [그림 5]와 같이 변전시설을 모사하는 시설을 구축하여 변전시설에 복사성 고출력 전자파 펄스가 인가될 때 나타나는 변전시설의 성능변화를 관찰하였다. [그림 5]에서



[그림 5] 고출력 전자파 시험을 위한 변전시설 모사시설[5]

고출력 전자파 신호원은 콘크리트 블록의 뒤편에 위치한다. 콘크리트 블록은 신호 감쇄기의 역할을 하여 고출력 전자파의 출력을 조절한다. 측정결과, 복사성의 고출력 전자파가 변전시설의 성능에 미치는 영향은 매우 미미한 것으로 나타났다. 이는 변전시설의 보호를 위해 설치되는 활선 절연체(Line insulator), 피뢰기(Lighting arrestor)와 가스형 차단기(Gas circuit breaker) 등이 복사성 고출력 전자파의 상당부분을 감쇄시키기 때문인 것으로 분석되었다.

미국의 해군 수상전투센터는 함정을 대상으로 HEMP가 함정의 기능에 미치는 영향을 연구하고 있다. [그림 6]과 같이 약 38 m 길이의 해안 경비정을 대상으로 복사성 및 전도성 HEMP 시험을 수행하고 있다. 복사성 HEMP 시험에 있어 안테나가 가장 큰 문제가 된다. 시험 대상이 되는 함정의 길이가 길어 함정에 균일한 전자파를 입사시키기 위해서는 안테나의 길이가 매우 길어야 한다. 동시에 안테나가



[그림 6] 함정에 대한 복사성 HEMP 시험 및 HEMP 시험 수치해석 결과[6]

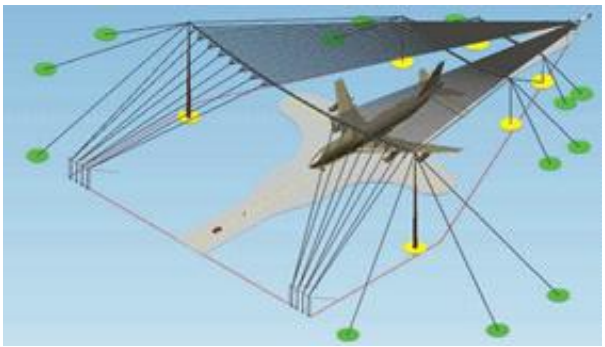
함정으로부터 상당히 멀리 떨어져야 하지만, 이럴 경우 함정에 입사하는 전자파의 세기가 줄어드는 문제가 발생한다. HEMP 시험을 수행한 후 시험결과를 수치해석 결과와 비교하였으나, 두 결과의 상관도는 매우 낮은 것으로 분석되었다.

미국의 해군 항공작전사령부(Naval Air System Command)에서는 항공 무기체계에 대한 HEMP 시험방법을 규정하는 MIL-STD-3023을 만족하는 시험시설을 구축하고 있다. MIL-STD-3023에 따르면 시험시설은 수직편파를 갖는 HEMP 환경을 재현할 수 있어야 한다. 또한, 최근의 항공기는 X밴드 주파수대역과 더불어 C밴드와 S밴드 주파수대역까지를 사용하므로 3개 이상의 주파수 대역에서 시험이 가능해야 한다. 해군 항공작전사령부에서는 이러한 조건을 만족하면서 747 여객기와 같은 대형 항공기를 시험할 수 있는 시험시설을 구축하고 있다. [그림 7]과 같이 시험시설은 기본적으로 TEM(Transverse Electromagnetics)셀의 구조를 가지고 있다. 대형 항공기의 꼬리날개 부분이 들어갈 수 있도록 TEM 셀의 상판부분은 두 갈래로 나뉜다. 신호원으로 140 kW 급의 마그네트론을 사용하며, 생성되는 펄스신호는 약 500~2,500 ns의 펄스폭을 지닌다. 항공기가 위치하는 시험시설의 바닥에는 전도성을 갖는 콘크리트를 사용하여 접지면의 역할을 하도록 한다.

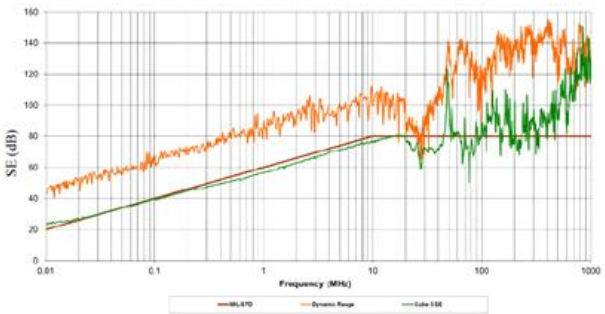
미국의 레드스톤(Redstone) 시험센터에서는 미군에서 운용하는 다양한 포(Ordnance)에 대해 전자기 방사 위험성 시험(Hazards of Electromagnetic Radiation to Ordnance: HERO)을 수행하고 있다. 다연장 로켓 발사기에 대해 복사성 간섭에 대한 강성을 시험하였으며, 전도성 간섭 시험으로서 개인용 대전차 화기에 대해 MIL-STD-464와 MIL-STD-331에 규정된 약 25,000 V의 정전기 신호를 인가하여 화기의 정상동작의 여부를 확인하는 시험을 수행하였다.

미국의 네브라스카 대학에서는 도전성을 갖는 콘크리트에 대해 콘크리트가 갖는 차폐효과(Shielding Effectiveness: SE)를 연구하고 있다. 일반 콘크리트에 강섬유(Steel Fiber), 탄소분(Carbon Powder)과 타코나이트(Taconite)를 혼합하여 콘크리트가 비교적 높은 도전성을 갖도록 하며, 이로 인해 콘크리트 층의 차폐효과는 증가한다. 콘크리트 층 내부에 삽입되는 철근은 차폐효과를 더욱 증가시킨다. 차폐효과를 측정한 결과, [그림 8]과 같이 10 MHz 이하의 저주파 대역에서 군사규격인 MIL-STD-188의 요구규격을 만족하는 것으로 나타났다. 10 MHz 이상의 주파수 대역에서도 일부의 구간을 제외하고는 MIL-STD-188의 요구규격을 만족한다.

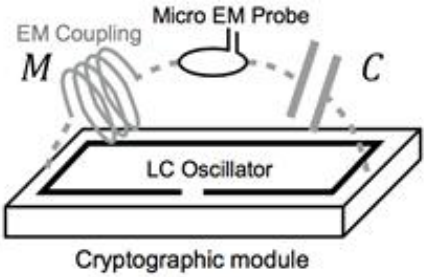
일본의 토호쿠(Tohoku) 대학교에서는 칩 수준에서 발생하는 보안침해에 대해 침해 여부를 감지하는 기술을 연구하고 있다. 칩 수준의 보안침해에서는 보안 데이터를 처리하는 칩을 대상으로 전자기장 커플링 방식을 이용하여 칩 안의 데이터를 얻어낸다. 보안 데이터가 칩 내부의 신호경로를 통해 전송될 때 칩 표면에 나타나는 전자기장의 변화를 검출함으로써 칩으로부터 보안 데이터를 추출할 수 있다. 칩 표면에서 전자기장의 변화를 검출하기 위해 마이크로 프로브가 사용된다. 칩 수준의 보안침해가 일어나는지의 여부를 감지하기 위해 [그림 9]와 같이 칩의 표면에 LC 오실레이터를 형성한다. [그림 9]에서 루프형태의 경로가 오실레이터의 인덕턴스 역할을 칩 내부의 CMOS가 커패시턴스 역할을 한다. 보안 데이터를 추출하는 마이크로 프로브가 칩



[그림 7] HEMP 시험시설[7]



[그림 8] 콘크리트의 차폐효과 측정결과[8]



[그림 9] 칩 수준 보안침해 감지 기술[9]

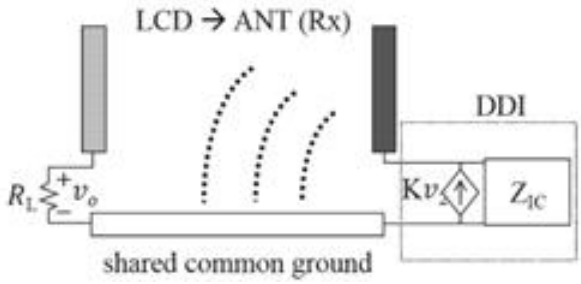
에 근접하면 프로브는 LC 오실레이터와 커플링 되며, 이로 인해 오실레이터의 주파수가 변화한다. 오실레이터의 주파수 변화를 감지함으로써 마이크로 프로브의 접근 여부를 알 수 있으며, 이를 통해 보안침해의 여부를 감지할 수 있다.

3-3 EMC 측정 및 모델링 기술

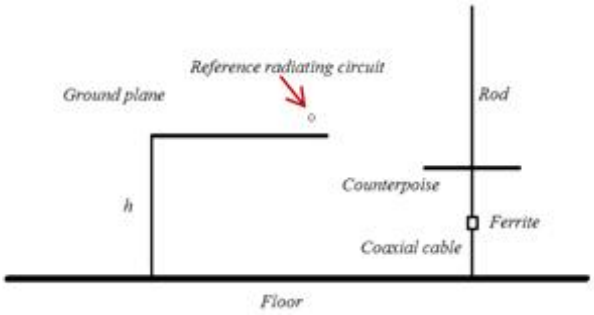
복사성 및 전도성의 EMC 신호 측정기술, 무선기기 및 의료기기 EMC 측정기술 및 잡음 모델링 기술에 관한 연구가 수행되고 있다.

미국 미주리 과학기술 대학교에서는 스마트폰의 LCD 모듈에서 생성되는 잡음신호가 스마트폰의 송신신호에 의해 변조되는 LCD 잡음 변조현상을 분석하고 모델링하는 연구를 수행하고 있다. 스마트폰 LCD 모듈의 DDI(Digital Display IC)에서는 기저대역(Baseband)의 잡음신호가 발생한다. 비교적 큰 크기를 갖는 송신신호가 스마트폰의 송신안테나를 통해 송신될 때 기저대역 잡음신호는 송신신호에 의해 변조되어 기저대역에서 통과대역(Passband)으로 변환된다. 통과대역 신호의 일부가 수신신호의 주파수 대역과 겹치게 되어 스마트폰의 수신감도를 저하시킨다. 이러한 LCD 잡음 변조현상을 [그림 10]과 같이 모델링할 수 있다. DDI에 연결된 안테나가 핸드폰 송신신호의 일부를 수신하고 통과대역으로 변조된 잡음신호를 송신함으로써 LCD 잡음 변조현상을 모델링한다. 모델에서 DDI에 병렬로 연결된 전류원은 LCD 잡음신호가 기저대역에서 통과대역으로 변조되는 것을 모델링한다. 이러한 모델을 사용하여 변조된 LCD 잡음신호를 얻을 수 있는 등가회로 모델을 제안하였다.

미국 나르다(Narda)사에서는 30 MHz 이하의 복사성 방출(Radiated emission)을 시험할 때 사용되는 로드(Rod) 안테나



[그림 10] LCD 잡음변조 모델[10]



[그림 11] 30 MHz 이하 복사성 방출 측정 셋업[11]

에 대해 접지면의 연결조건이 시험결과에 미치는 현상을 연구하고 있다. 복사성 방출에 대한 시험방법을 규정하는 군사규격 MIL-STD-461F에서는 30 MHz 이하의 복사성 방출 시험을 위해 [그림 11]과 같은 측정셋업을 사용하도록 하고 있다. [그림 11]의 왼쪽부분과 같이 바닥 면에 연결된 금속 작업대 위에 시험대상을 위치시키며, 복사성 방출되는 신호를 측정하기 위해 오른쪽 부분과 같이 로드 안테나를 위치시킨다. 이때 안테나 접지면은 동축 케이블을 통해 바닥면과 연결된다. 로드 안테나가 시험대상에 매우 가까이 위치하므로 원역장 영역이 아닌 근역장 영역에서 복사성 방출을 측정한다. 근역장 측정으로 인해 로드 안테나 접지면의 연결조건이 안테나를 통해 수신되는 신호에 영향을 미친다. 수치해석 및 측정을 통해 안테나 접지면이 바닥으로부터 격리(isolated)될 때 복사성 방출이 가장 정확하게 측정됨을 확인하였다. 30 MHz 이하의 저주파 대역에서 복사성 방출을 시험할 때에는 이러한 접지면 연결조건의 영향을 고려하여 시험결과를 분석해야 한다.

Ⅳ. 결 론

이번 EMC 학술대회의 슬로건은 ‘EMC in everything-wireless world’로서 새로운 기술의 등장에 발맞춰 EMC 기술이 지향해야 할 새로운 방향을 모색해 볼 수 있는 프로그램들이 많이 구성되었다. 이머징 무선기술을 위한 EMC 기술을 다루는 다수의 세션이 구성되었고, 미국의 FCC OET (Office of Engineering and Technology) 국장이 행한 학회 기조연설에는 EMC 기술을 둘러싼 환경의 급격한 변화가 강조되었다. 5G, IoT, 차량간 통신, 광대역 위성통신 서비스와 같은 새로운 주파수 대역을 사용하는 서비스 기술들이 활발하게 개발되고 있다. 다양한 주파수 자원을 사용하는 기기들이 한정된 공간에서 동시에 동작하면서 전자파 환경은 복잡해지며, 이에 따라 Everything-wireless 시대에서 EMC 기술은 보다 도전적인 과제에 직면하게 될 것이다.

EMC 모델링, 분석 및 측정과 같은 전통적인 EMC 연구 분야는 꾸준히 연구가 진행되고 있으며, 스마트폰, 5G 단말, IoT 센서와 같은 새로운 전자기기에 EMC 기술을 적용하는 방법론이 많은 관심을 받고 있다. 이번 EMC 학술대회에 전자파 잔향실 세션이 별도로 개최될 정도로 잔향실 기술에 대한 관심도가 높다. 많은 EMC 엔지니어들이 전자파 잔향실이 기존의 측정시설을 대체할 수 있을 것으로 보고 있으나, EMC 측정시설에 요구되는 성능의 일부를 아직 만족하지 못하고 있는 상황이며, 이를 극복하기 위해 잔향실에 관한 연구가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다. 고출력 전자파에 관한 논문 중 일부에서는 수치해석에 관한 내용을 다루었다. 고출력 전자파 환경에서 발생하는 복사성 및 전도성 간섭 현상을 수치해석하고, 이를 측정결과와 비교하여 상관도를 분석하였다. 대부분의 경우, 수치해석 결과와 측정결과와의 상관도가 매우 낮은 것으로 분석되었다. 이러한 점을 감안할 때 고출력 전자파 연구에 있어 수치해석에의 의존도를 줄이고, 측정에 기반을 둔 해석기법을 중점적으로 연구하는 것이 바람직해 보인다. 일본의 경우, 그 동안 고출력 전자파 공격기술 및 방호기술에 관한 논문발표가 전무하였으나, 이례적으로 이번 EMC 학술대회에서 방호기술에 관한 논문을 발표하였다. 일본은 공격용 기술 대신 스마트폰이나 스마트카드 등에 저장된 개인의 보안정보를 불법적으로 획득하는 전자파 공격기술을 무력화 하는 방어기술을 개발하고 있다.

참 고 문 헌

[1] "Ericsson Mobility Report", Nov. 2016.

[2] N. Nourshamsi, M. T. Hagan, and G. F. Bunting, "Estimation of required absorbing material dimensions inside metal cavities using neural networks", *Proceedings of IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal and Power Integrity*, Washington DC, 2017.

[3] W. Quenum, N. Jeannin, and I. Junqua, "Channel propagation emulation in mode stirred reverberation chambers", *Proceedings of IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal and Power Integrity*, Washington DC, 2017.

[4] D. Senic, D. Cavaliere, M. V. North, M. G. Becker, and K. A. Remley, "Isotropy study for over-the-air measurements in a loaded reverberation chamber", *Proceedings of IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal and Power Integrity*, Washington DC, 2017.

[5] M. R. Rooney, "DTRA operation independent spark overview: SREMP test on an operational transmission-distribution power substation and components at HERMES III", *Proceedings of IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal and Power Integrity*, Washington DC, 2017.

[6] Electromagnetic Pulse Group, "Electromagnetic pulse experiments on the ex-united states coast guard cutter MONHEGAN", *Workshops in IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal and Power Integrity*, Washington DC, 2017.

[7] A. Mazuc, "Technical challenges for E3 test facilities meeting new MIL-STD requirements", *Workshops in IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal and Power Integrity*, Washington DC, 2017.

[8] L. Nguyen, A. Krause, C. Tuan, J. D. Blasey, J. P. Zemotel, H. McNerrney, and F. J. Metzger, "Shielding effectiveness performance of conductive concrete structures", *Proceedings of IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal and Power Integrity*, Washington DC, 2017.

[9] D. Ishikata, N. Homma, Y. Hayashi, N. Miura, D. Fujimoto, M. Nagata, and T. Aoki, "Enhancing reactive countermeasure against EM attacks with low overhead", *Proceedings of IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal and Power Integrity*, Washington DC, 2017.

[10] C. Hwang, T. Enomoto, J. Maeshima, K. Araki, D. Pommerenke, and J. Fan, "Wideband characterization of LCD baseband noise modulation for RF interference in mobile phones", *Proceedings of IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal and Power Integrity*, Washington DC, 2017.

[11] A. Gandolfo, R. Azaro, and D. Festa, "Improving the accuracy of radiated emission measurements for frequency below 30 MHz by using a fiber optic isolated rod antenna", *Proceedings of IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal and Power Integrity*, Washington DC, 2017.

≡ 필자소개 ≡

황 정 환

1998년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
2000년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
2016년 2월: 한국과학기술원 정보통신공학과 (공학박사)
2000년~2002년: ㈜나리지온 주임연구원
2003년: 한국전자통신연구원 선임연구원
2004년: 한국항공우주연구원 선임연구원
2005년~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원
[주 관심분야] 인체영역 네트워크 (Body Area Network), 전자파 적합성 측정, 고출력 전자파 모델링

권 종 화

1994년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
1999년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
2010년 2월: 연세대학교 전기·전자공학과 (공학박사)
1999년 1월~현재: 한국전자통신연구원 방송미디어연구소 전파위성연구본부 전파환경감시연구그룹 책임연구원/Project Leader(PL)
[주 관심분야] SI/PI 및 EMC 대책 기술 및 표준화, 고출력 전자파 대책 및 측정기술, 전자파 인체영향