전자파 측정표준의 현재와 미래

DOI: 10.3938/PhiT.19.029

강 태 원

Present and Future of RF and Microwave Measurement Standards

Tae-Weon KANG

We present an overview of radio frequency(RF) and microwave standards, especially in relation to relevant research at KRISS. Various issues that have a direct bearing on these standards are described, including those related to electromagnetic(EM) power, impedance, attenuation, RF voltage, noise, antenna characteristics, and EM field strength. Prospects and future research directions for measurement standards in emerging technologies such as nanoelectronics are discussed.

시작하는 말

최근 우리나라를 비롯한 세계 여러 나라는 정보통신 분야가 빠른 속도로 발전하고 있다. 유선 및 무선 통신을 기반으로 하는 인터넷은 세계 지식을 하나의 유기체로 변모시켜 지식의 양이 빠르게 증가됨은 물론 그 내용도 신속하게 전파되어 새로운 지식으로 진화하는 것을 가능하게 하고 있다. 이 정보통신을 가능하게 하는 매체는 우리가 잘 알듯이 전자파(electromagnetic wave)이다.

전자파는 주파수 또는 파장에 따라 특성이 다르므로 주파수의 높고 낮음에 따라 전자파 영역이 나누어지고 연구방법도 각기 다르다.

만일 우리들이 날마다 사용하는 휴대전화들을 전선으로 연결해야 한다면 그 전선들은 거미줄처럼 서로 얽히어 하늘을 온통 뒤덮었을 것이다. 그러기에 1864년 가시광선이 전자파

의 일종이며 눈에 보이지 않는 전자파가 존재한다는 사실을 예언한 맥스웰(James Clark Maxwell, 1831-1879)이나 1887년 전하를 진동시켜 인류역사상 최초로 인위적인 전자파를 발생시켜 맥스웰의 이론을 증명한 헤르츠(Heinrich Rudolf Hertz, 1857-1894)와 같은 과학자들에게 고마울 따름이다.

전자파를 이용하는 기기들은 가정과 산업현장, 시골이나 도심 등 어디서나 널리 분포되어 있다. 가정에는 전자레인지, 오디오 기기, 텔레비전, 라디오 등이 있으며, 산업현장에서는 전자파를 이용한 가열기기, 건조기, 플라스마 발생장치 등이 있다. 누구나 언제든지 손쉽게 이용하는 휴대전화 간의 통화를 가능케 해 주는 이동전화 기지국들은 전국 곳곳에 설치되어 있다. 도시 내 버스의 현재 위치와 대기시간을 알려주는 지능형교통정보시스템(ITS), 운전자들의 편리한 운전을 위한 네비게이션(navigation) 시스템도 빼 놓을 수 없다.

이들 모든 기기나 시스템들은 일정한 크기의 전기 또는 전자파 에너지를 사용해야 의도한 기능을 발휘할 수 있다. 전자파는 연속 또는 변조(AM, FM, 펄스 등) 형태로 전달된다. 다양한 형태의 전자파의 파형과 세기, 그리고 관련량들을 측정하는 데는 측정기기가 필요하다. 이러한 측정기기의 지시값이 측정하려는 양의 실제 값과 일치하는지를 보려면 기준 역할을 하는 측정표준이 있어야 한다. 이제부터 전자파 측정표준에 대해 살펴본다.

전자파 측정표준의 현재

한국표준과학연구원(KRISS)은 1975년에 설립되었으며 올해로 35주년을 맞았다. 그동안 전자파분야를 포함한 국내 측정표준 확립 수준은 급격하게 발전하였다. 초창기에는 미국 또는 독일의 도움을 받아 기술을 개발하였으나 지금은 국내 산업체의 측정수요를 충족시킬 뿐만 아니라 인도네시아, 베트남, 몽골 등 아시아 지역에 측정표준을 보급하고 있을 정도의 역량을 보유하고 있다.

전자파 측정표준을 구성하는 주요 측정량으로는 가장 기본적인 전자파 전력, 전자파의 줄어드는 정도를 나타내는 감쇠량, 전자파 전력이 전달되는 전송선로의 특성을 표현하는 임피던스, 전자파를 이용하는 소자나 제품의 잡음 특성을 나타

저자약력

강태원 센터장은 POSTECH 박사(2001)로서, 1990년부터 현재까지 한국표준과학연구원 기반표준본부 전자기센터에 책임연구원으로 재직 중이며, 영국 노팅엄대 조지그린전자파연구소에서 방문연구원(2002-2003)을 지냈다. (twkang@kriiss.re.kr)

Fig. 1. Current status of national RF and microwave standards.

내는 잡음온도, RF(radio frequency) 대역에서 사용되는 RF 전압, 레이더나 디지털 통신기기에서 발생하는 펄스 형태의 전자파 특성을 표현하는 펄스 파라미터 등이 있다. 이들 기본 측정량들은 국내 산업 및 연구현장에서 사용되는 각종 측정 기기의 특성을 평가하는데 핵심량으로 사용된다.

그림 1은 전자파분야의 측정량별 표준 현황이며 주파수범위를 기준하여 표현하였다. 한편 미국, 독일, 영국 등 선진 측정표준기관(National Metrology Institute, NMI)에서는 비교적 일찍부터 전력, 잡음, 임피던스, 감쇠량 등 기본량에 대해 표준을 확립하였으며 근래에는 110 GHz 이상의 주파수범위까지 확장하는 연구를 진행하고 있다.

앞서 언급한 대로 전자파분야의 기본 측정량은 전자파 전력을 비롯한 7개의 양이 있으며 이들은 그림 2에서 보는 바와 같이 서로 밀접하게 관련되어 있다. 이들 측정량 중에서 전자파전력과 임피던스는 근간이 되는 양이다. 각 측정량의 측정표준 현황을 순서대로 기술한다.

첫째, 전자파전력은 측정표준원기인 미소열량계를 제작해야만 측정표준을 확립할 수 있다. 한편 미국 NIST(National Institute of Standard and Technology), 독일 PTB(Physikalisch Technische Bundesanstalt), 영국 NPL(National Physical Laboratory) 등 선진 측정표준기관에서는 최근까지도 독자적인 기술을 바탕으로 미소열량계를 개발하여 전자파전력의 측정 주파수범위를 110 GHz 이상까지 지속적으로 확장하고 있다.

미소열량계는 가격이 비싸며 고가인데다가 NMI에서만 필요로 하는 특수기기로 상용으로는 거의 판매되지 않는다. KRISS에서는 1980년대 후반부터 1990년 초에 걸쳐 진행된 한국·독일기술협력사업 일환으로 PTB의 도움을 받아 동축형 및 도파관형 미소열량계를 확보하여 1 MHz ~ 40 GHz의 주파수범위에서 표준을 확립하였다. 그런데 이들 미소열량계는 제작 후 20여 년이 지나는 동안 일부 노후화되어 성능이 저하되고 있다.

Fig. 2. Relation in measurement quantities of electromagnetic metrology.

한편 국내 전자파관련 산업의 이용 주파수가 높아짐에 따라 50 MHz ~ 26.5 GHz의 주파수영역에서 동작하는 3.5 mm 동축형 미소열량계 개발에 착수하여 약 3년간 연구를 진행하여 왔으며 올해 최종 특성평가 작업을 진행하고 있다. 여기서 3.5 mm는 동축선로 외부도체의 내경을 의미하며 동작주파수의 상한을 결정하고 그 크기가 작아질수록 상한주파수는 높아진다. 그림 3의 3.5 mm 동축형 미소열량계는 KRISS에서 독자 개발한 측정표준 원기로서,^[1] 본 연구에 도움을 주고 있는 이탈리아 측정표준기관 INRIM이 보유한 미소열량계에 비하여 성능이 우수한 것으로 평가되었다. 이번 개발과정에서 축적된 설계, 제작, 평가 기술을 바탕으로 하여 상대적으로 낮은 주파수에서 동작하는 Type-N 미소열량계 등 노후된 미소열량계의 유지 보수 및 대체시스템 개발 능력을 보유하게 되었다.

둘째, 전자파 임피던스는 전송선로 또는 집중소자(lumped element)의 특성을 표현하는 양이다. 일반적으로 전기회로는 집중소자, 분포(distributed)소자, 또는 이 둘의 조합으로 특성을 기술한다. 집중 회로 소자는 회로 내의 한 점으로 간주되며 신호 주파수에 해당되는 파장이 소자의 크기에 비해 훨씬 클 때 적용된다. 이 조건이 만족하지 않으면 분포 소자로 간주하며 이 경우 전파전달매체를 전송선로로 간주하여 해석하게 된다. 전송선로는 그 형태에 따라 동축형, 도파관형, 2-선(two-wire)형, 평면(planar)형 등으로 나눌 수 있다. 그림 4는 전형적인 전송선로의 몇 가지 예를 보여 준다.

RF 및 마이크로파 영역의 임피던스 표준으로는, 동축형의 경우에는 그림 4(a)와 같이 내부도체와 외부도체로 이루어지

REFERENCES

- [1] Y. G. Kim *et al.*, Measurement Standards and Future Generation Needs and Emerging Technology, KRISS (2009).

Fig. 3. Internal view of a 3.5-mm coaxial microcalorimeter, a primary power standard in the frequency range of 50 MHz to 26.5 GHz, which was developed recently.

Fig. 4. Examples of transmission lines. (a) coaxial line, (b) rectangular waveguide, and (c) microstripline.

고 두 도체 사이의 유전체를 공기로 하는 동축형 에어라인 (air line)이, 도파관의 경우에는 도파관 내부의 유전체가 공기인 도파관 직선 섹션 (straight section)가 사용되고 있다.^[2] 물론 동축형의 경우에는 사용되는 연결기(Type-N, 7 mm, 3.5 mm, 2.92 mm, 2.4 mm, 1 mm 등)에 따라 다른 크기를 갖는 에어라인이, 도파관의 경우에는 도파관 밴드에 따라 다른 크기를 갖는 직선선택로가 사용되며 이들이 갖는 특성임피던스는 사용되는 에어라인 또는 도파관 섹션의 물리적 크기, 공기의 유전율, 그리고 사용되는 도체의 도전율에 따라 결정된다.

동축형 정밀 에어라인의 손실이 무시할 정도로 작다고 가정할 때 중심도체의 외경이 b 이고 외부 도체의 내경이 a 일 경우 임피던스 Z_0 는

$$Z_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \ln\left(\frac{a}{b}\right)$$

로 주어지며 ϵ_0 , μ_0 는 자유공간의 유전율과 투자율이다. 위 식에서 임피던스는 그림 4(a)에서 내부 및 외부 도체의 축방향에 따른 반경의 변동에 따라 값이 달라짐을 알 수 있다. 이들의 물리적 크기를 측정하는 데는 에어게이징 (air-gauging) 시스템, 레이저 마이크로미터, 3차원 측정기 등이 사용된다.

한편 도전율에 관계되는 손실부분은 dc나 저주파에서의 도전율 측정값과 도체의 프로파일 (도체면이 코팅된 경우)을 이용한 계산값을 사용하거나, 많은 경우 저 감쇠량 측정에 사용되는 전력비 방법을 써서 손실을 측정하는 방법, 에어라인 등에 공진기 구조를 만들어 공진 Q-인자를 측정하여 사용한다.

이러한 임피던스 표준기는 임피던스 측정기, 예를 들면 회로망 분석기의 교정(calibration)에 직접 사용하거나 측정결과를 보정할 때 사용되며, 일부는 임피던스 측정기의 측정불확도 평가에도 이용되고 있다. 측정기기는 주로 상용 벡터회로망분석기(VNA, vector network analyzer)가 사용되며 미국 NIST는 자체 개발한 6-포트 회로망 분석기를 사용하기도 한다.^[3]

동축선은 주로 50 Ω 특성임피던스를 가지며 특별한 경우 75 Ω 동축선을 사용하기도 한다. 단락회로(short circuit)나 개방회로(open circuit)가 임피던스의 표준으로 사용될 수 있다. 임피던스 전달표준기로는 표준 부정합(standard mismatch)이 있다. KRISS에서는 동축형 전송선로에 대해서는 50 GHz 까지, 도파관형에 대해서는 40 GHz까지 측정표준이 확립되어 있다. 그림 5는 동축선로의 외부도체의 내경과 내부도체의 외경을 측정하는 에어 게이징 시스템과 길이 15 cm인 Type-N 에어라인에서 중심도체 내경의 측정결과를 보여준다.

전기·전자기기가 소형화되고 사용자들의 대용량 고속 통신에 대한 수요가 증가함에 따라 사용주파수는 높아지고 주파수 범위는 넓어지면서 고주파수 집적회로(MIC, microwave integrated circuit), MMIC(monolithic MIC) 등이 널리 사용되고 있다. 이와 같은 평면 전송선로에 대한 임피던스 측정이 국내 산학연 연구개발그룹에서 널리 이용되고 있어 이에 대한 측정표준 개발도 필요하다. 한편 회로적인 측면의 저주파수 임피던스 표준의 상한은 대략 1 MHz이고, 전송선로 측면의 고주파수 임피던스 표준의 하한은 약 50 MHz이다. 이 주파수 공백을 메우기 위한 중간주파수 임피던스 표준기를 개발하여 특성평가를 수행하고 있다. 이와 더불어 비평형 (unbalanced) 구조의 동축형 단말기를 평형구조로 연결시키는데 필요한 4-터미널 pair-동축형 어댑터도 개발하였다.

셋째, 감쇠량은 전자파가 전송선로를 따라 전파하면서 그 크기가 줄어드는 정도를 나타내는 양으로서 보통 데시벨(dB)로 표현한다. 2단자 회로망의 감쇠량은 회로망분석기로 측정 한 산란 계수 중 전달계수(transmission coefficient)의 크기로 손쉽게 측정할 수 있으나 상대적으로 더 정확한 방법으로

REFERENCES

- [2] N. S. Chung *et al.*, KSRI-89-98-ET (1989).
- [3] <http://www.bipm.org>.

(a)

(b)

Fig. 5. Dimensional measurement of coaxial lines. (a) an air-gauging system for measuring the outer diameter of a center conductor, (b) Measured outer diameter of a Type-N center conductor whose nominal dimension is 3.04 mm.

측정표준을 확립하였다. 현재 감쇠량 표준의 주파수범위는 10 MHz ~ 50 GHz이다. 주파수 범위별로 정확도 향상을 위해 연구를 진행하고 있다.

감쇠량 표준기로는 WBCO(waveguide below cutoff) 감쇠기가 많이 사용되지만 그 구조가 복잡하고 제작비용이 많이 든다. KRISS는 전력비전달 방식의 감쇠량 표준기를 개발하여 표준을 확립하였다. 일반적으로 전력비 방식의 감쇠량 표준기는 구조가 간단하고 정확도는 높지만, 20 dB 이상의 감쇠량을 측정하기는 어렵다. KRISS에서는 전력비 방식의 감쇠량 표준기가 60 dB 이상의 높은 감쇠량 측정이 가능하도록 하기 위해서, 측정범위가 20 dB인 서미스터 마운트로 구성된

Fig. 6. Ka-band attenuation standard (26.5 GHz ~ 40 GHz).

감쇠기 모듈들을 독특한 방식으로 연결하여 RF 스위치의 반복도에 의한 영향을 제거함으로써 우수한 특성을 얻었다.

그림 6은 Ka-밴드(26.5 GHz ~ 40 GHz)에서 전력비전달 방식으로 제작된 감쇠량표준기의 세부구성도이며 감쇠량 측정을 위해 RF대체 방식을 채용하였다.^[4] 예를 들어 30 GHz에서 60 dB의 감쇠량을 측정할 때 불확도는 0.009 dB이다. 영국 NPL의 경우 불확도는 0.0120 dB이다.^[3] 그림 6의 감쇠량 표준기는 2007년에 감쇠량 측정범위를 80 dB까지 확장하였다.

넷째, RF전압은 정전계 및 정자계, TEM(transverse electromagnetic) 모드에서 정의되는 양이며, 보통 50 Ω 특성임피던스를 가지는 동축 시스템에서 측정한다. 고주파수에서 전압측정이 의미를 가지는 주파수 상한은 전달표준기의 주파수 특성에 의해 제한된다. 주파수가 높아질수록 전송선로 효과를 정확하게 평가하기는 어렵다. 전압이나 전류의 경우 시간에 대한 함수일 뿐만 아니라 위치에 대한 함수이므로 마이크로파 영역에서는 측정하기가 매우 어렵다. 이러한 특성으로 전자파 전압측정은 주로 RF영역에서 이루어지므로 RF전압이라 부른다. RF 전압 1차 표준은 볼로미터형 전압계를 이용하거나 RF전력측정기를 이용하여 확립한다. 전달표준기로는 열전압변환기(thermal voltage converter, TVC)와 RF 미소전압표준기(micropotentiometer)가 있으며 이들 전달표준기는 저항과 열전요소로 이루어진 구조로 인해 동작 주파수 범위가 제한된다.^[2] RF 전압 전달표준기의 특성을 나타내는 RF-dc차(RF-dc difference)는 RF 전압 전달표준이 동일한 열적응답을 얻는데 요구되는 대체직류전압의 양과 음의 두 극성에 대

REFERENCES

- [4] J. G. Lee *et al.*, IEEE Trans. Instrum. Meas. **54**(2), 705 (2005).

한 평균값과 RF전압을 구하여 결정된다. 특성상 RF-dc차는 높은 주파수에서는 결정하기 어려우며 따라서 1 MHz ~ 1000 MHz의 주파수 범위에서 1 % 이내의 불확도로 측정표준이 확립되어 있다.

다섯째로 잡음표준은 전기·전자 부품, 기기, 시스템의 잡음 특성을 평가하기 위하여 사용된다. 전자파영역에서 잡음은 부품이나 기기 내부의 전자들의 자유로운 운동에 의해 발생하며 주파수가 높아지면 양자효과를 고려해 주어야 한다. 잡음 측정표준을 확립하기 위해서는 서로 다른 두 물리적인 온도를 가지는 잡음원이 필요하다. 실험실 온도에서 동작하는 상온 잡음원과 실험실 온도보다 높거나 낮은 잡음원을 사용해야 한다. 실험실 온도보다 낮은 경우는 액체질소의 끓는 온도인 77.3 K로 유지되는 단말(termination)에서 나오는 열잡음을 이용하는 저온(cryogenic) 잡음원이 사용되며, 미국, 러시아, 일본, 한국 등이 이 방식을 채택하고 있다. 한편 실험실 온도보다 높은 잡음원은 전기 가열방식으로 높은 온도를 유지하며 독일, 프랑스, 영국 등이 이 방식을 사용하고 있다. 현재 KRISS는 러시아 VNIIFTRI와의 공동연구와 영국 NPL 교정데이터를 근거로 하여 10 MHz ~ 26.5 GHz까지 잡음 측정표준을 확립하여 산업체에 보급하고 있다. 국내 이동통신산업 등에서는 주로 18 GHz까지의 측정수요를 보이고 있다.

최근 방위산업체에서 개발한 94 GHz 대역 전(全)전력형 영상 라디오미터 시스템은 온도감도가 1.5 K이며 야외에서 상온의 전파흡수체와 이와 다른 잡음온도를 가진 대상을 이용하여 시스템을 교정하였다.^[5] 따라서 이 분야의 데이터를 국내외적으로 통용하려면 측정표준과 연결되어야 하며, 이를 위해 94 GHz 이상에도 측정표준이 확립되어야 한다. 나로호가 성공적으로 발사되면 우리나라 항공우주산업의 새로운 장이 열릴 것으로 기대되며 해양, 기상 관측 등 과학탐사를 목적으로 하는 라디오미터들이 위성에 탑재될 것으로 보인다. 따라서 잡음 측정표준의 수요는 확대될 것으로 보인다.

여섯째는 안테나 특성이다. 눈부시게 발전한 정보통신사회에서 안테나가 없다는 것은 상상할 수도 없다. 안테나의 종류는 다양해서 북한의 공격을 받은 천안함 등 군함에 탑재된 각종 군사용 안테나에서부터 휴대전화에 내장된 평면구조 안테나, 승용차 내부 뒷유리에 설치된 온 글래스 안테나나 승용차 뒷부분에 부착된 상어 지느러미 모양 안테나 등 매우 다양하다. 이는 사용목적, 주파수대역, 그리고 설치환경에 따라 다양한 형태를 띤다. 안테나 특성을 나타내는 주요 파라미터에는 안테나 이득, 방사패턴, 편파 등이 있다.

국내 방송통신위원회 산하의 39개 EMC(electromagnetic compatibility) 지정 시험기관은 측정용 안테나를 사용하여 산업, 과학, 의료용 전자기기의 전자파 복사방출 시험서비스

(a)

(b)

Fig. 7. Measurement of a W-band antenna. (a) setup and (b) measured pattern.

를 제공한다. EMI 측정용 안테나의 특성은 안테나 인자로 표현된다. KRISS는 9 kHz ~ 30 MHz의 주파수 범위에서 EMI 시험에 사용되는 모노폴 안테나와 루프안테나에 대한 대외교정서비스를 제공한다. 전자파 야외시험장을 이용하여 30 MHz ~ 2 GHz 주파수 범위의 바이코니컬(biconical), 대수주기(log-periodic), BiLog 안테나를 교정한다. 1 GHz 이상의 주파수에서 EMI 측정용 혼(horn)안테나는 전자파 무향실에서 측정된다. 또한 정보 및 이동통신에 사용되는 기지국 안테나 혹은 군용 모노폴 안테나 등도 전자파 야외시험장에서 특성을 평가한다.

최근 수년에 걸쳐 2 GHz ~ 110 GHz에서 동작하는 근거리 장 안테나 특성 평가시설을 구축하여 고주파수용 고이득 안테나에 대한 국내 측정수요에 대응하고 있다. 특히 W-밴드 (75 GHz ~ 110 GHz) 주파수대역에서 미국, 영국, 우리나라

REFERENCES

- [5] M. K. Chung, The Third Workshop on Microwave Components (2009).

Fig. 8. Micro-TEM cell and a small transfer standard developed.

Fig. 9. An example of magnitude and phase of x-axis electric field on a microstrip transmission line using the electro-optic technique. (a) microstripline fabricated, (b) magnitudes of measured electric field in logarithmic and (c) linear scale, (d) the phase of electric field.

가 측정능력을 보유하고 있으며 KRISS 주관으로 안테나특성 상호비교가 진행되고 있다. 그림 7은 W-밴드에서 동작하는 고이득 카세그레인 안테나를 근거리장 주사법(near-field scanning)으로 측정하는 모습과 결과 예다.

일곱 번째로 전자기장의 세기 표준은 TEM셀, 마이크로 TEM셀, GTEM셀 등과 전달표준기, 또는 전자파무향실 내에서 특성을 알고 있는 표준안테나를 이용하여 측정표준을 확립한다. 그러므로 전자기장의 세기 측정표준은 그림 2에서와 같이 안테나특성을 비롯한 다양한 측정량에 대한 측정표준과 긴밀하게 연결되어 있다. 예를 들어 그림 8은 마이크로 TEM셀과 전달 표준기를 보여 준다. 먼저 마이크로 TEM셀(~ 1 GHz) 내부에 표준전자기장을 발생시키고 이때 입력전력을 측정하여 셀 내부의 전자기장의 세기를 평가한다. 그 다음에 마이크로 TEM셀 안에 전달표준기를 설치하여 크기를 알고 있는 전자기장의 세기에 해당하는 전달표준기의 응답 전압을 측정함으로써 전달표준기의 특성을 평가한다. 특성을 알고 있는 전달표준기는 측정 대상인 다른 표준전자기장 발생시스템의 성능을 평가하는데 사용된다. 확립된 전자기장의 세기표준은 전자기장 측정 프로브(probe)를 교정하는데 사용된다. 전

자기장 측정 프로브는 주로 복사방출에 대한 내성시험실의 전자기장 균일도를 평가하거나 전자레인지의 전자파누설 측정 등에 사용된다.

이외에도 시간영역에서의 펄스 파라미터, 전자파 흡수재료의 흡수성능이나 재료의 전자파물질특성, 군사규격 전자과적 합성 시험 방법을 개발하였다. 또한 전기광학(electro-optic)방식을 이용한 RFID 등 평면형 소형 안테나 혹은 회로의 최근접 전자기장을 측정하는 기술을 개발하였다. 그림 9는 마이크로스트립 전송선로 상의 전자기장의 세기의 크기와 위상을 측정한 예다. 이러한 전자파분야 여러 측정방법들은 교정 및 시험서비스를 통하여 교정기관, 산업체, 연구기관 등에 보급하고 있다. 근래에는 말레이시아, 베트남 등 동남아시아 후발국의 NMI에서는 자국의 기준기급 장비들에 대한 교정을 KRISS에 의뢰해 오고 있어 한국이 동남아시아 표준보급의 중심 역할을 담당하고 있음을 말해 준다.

미래의 전자파 측정표준

오늘날 글로벌 무역 환경에서 산업체는 제품개발 초기단계부터 국제사회에서 통용될 제품표준을 전략적으로 개발하여 영향력을 극대화하고 있다. 측정표준은 공정한 상거래 질서 유지에도 필요하지만 국내 기업의 대외경쟁력을 높이는 데도 매우 중요한 역할을 하고 있다. 앞으로 산업체의 측정표준은 지금까지 확립된 측정표준의 한계를 뛰어넘는 범위와 정확도를 요구할 것으로 보인다. 고도로 발달한 산업기술사회는 더욱 빠르고 대용량의 정보 교환을 요구할 것이다. 이에 따라 정보통신기기들은 더욱 소형화, 고속화될 것이다.

고전력 증폭기 등 비선형 회로의 평가, 디지털 통신에서의 변조신호 평가, 테라헤르츠영역 측정, 나노소자에 대한 전자파 특성 평가, 외부로부터의 고전력 전자기펄스 공격에 대한 전자파보안 대책, 재료의 전자파 물질특성, 다중입력 다중출력(MIMO, multiple input-multiple output) 안테나 및 시스템 평가법 등은 전자파분야 연구자들에게 직면한 과제들 중의 몇 가지 예다.

수동 또는 능동 RF시스템을 설계하려면 정확한 측정이 요구된다. 선형 수동시스템은 주파수에 따른 산란계수를 구하면 완전하게 기술할 수 있는 반면, 능동시스템은 비선형 영역에서 동작한다. 고전력 증폭기 등은 비선형 영역에서 동작한다. 그림 10의 벡터회로망 분석기 중심의 파형 측정시스템은 복잡한 형태의 변조신호를 측정할 수 있다. 비선형 회로 평가시스템에서 회로망 분석기나 오실로스코프는 비선형 소자의 특성 평가에 있어 기본 장비이다.^[6]

아시아 태평양 지역에서는 일본 NMIJ과 싱가포르 ASTAR

(a)

(b)

Fig. 10. A frequency-domain receiver used for waveform acquisition. (a) Block diagram, (b) Class A dynamic load lines for increasing power on the best load for power added efficiency.

등 NMI에서는 테라헤르츠 영역 측정기술 개발을 이미 시작하였다. KRISS에서는 측정 대상 주파수 영역을 THz까지 확장하기 위해 기본연구를 수행하고 있다. 올해에는 전기광학 기술을 이용하여 평면구조의 RF 회로에서 50 GHz까지의 펄스파형을 측정하는 기술을 개발하고 있다.

오늘날 나노기술분야 전자공학은 나노물질, 나노소자에 대한 평가 및 측정기술 개발을 요구받고 있다. 전자파와 관련해서 최근에는 50 GHz에서 동작하는 그래핀 FET가 개발되었고,^[7] 파장보다 훨씬 짧은 길이의 CNT(carbon nanotube) 안테나에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 수 μm 길이의 CNT 다이폴의 경우, 다이폴의 길이보다 50배~100배 긴 파장에서 공진현상이 발생하기 시작하는데 이는 THz 주파수범위 중에서 낮은 영역에 해당한다. 따라서 CNT 안테나는 THz 전자파 감지 소자로 응용될 것으로 예측된다. 그림 11은 MEMS(micro electromechanical system)으로 구현한 근접 스위치로서 35 GHz에서 동작특성을 보였다. RF MEMS 스위치의 경우 100 GHz 이상까지 S-파라미터에 대한 측정결과가 발표되기도 하였다.^[8]

Fig. 11. MEMS proximity switches, air-gap switches from MEMtronics, tested at 35 GHz at 0 dBm.

2008년 국제도량형위원회는 물질특성 작업반(Working Group on Materials Metrology, WGMM) 특별위원회를 구성하고 회의를 개최하였다. 여기서 물질특성은 물질의 전기화학, 기계, 전기, 온도 특성은 물론 기능적 특성도 포함한다. 최근 전기자기자문위원회(CCEM)는 물질의 전기적 특성에 대한 Task Group을 구성하고 CPEM 기간 동안 대응방안을 모색할 예정이다.

맺는 말

지금까지 전자파 측정표준현황에 대하여 우리나라를 중심으로 살펴보고 다가올 미래의 정보통신 산업의 발전에 따른 새로운 측정기술과 표준에 대해 간략하게 언급하였다. 현대 정보통신사회의 근간이 되는 전자파분야의 이용주파수는 지속적으로 높아지고 있으며 이용분야도 다양하여 다양한 측정기술과 표준에 대한 연구계 및 산업계의 요구가 증가할 것으로 예상된다.

측정은 어떤 부품, 기기, 시스템의 성능을 평가하기 위해 필수적이며, 신뢰성 있는 정확한 측정을 통해서 기존제품의 성능개선과 신기술 개발이 가능하다. 측정표준의 확립과 측정기술의 개발은 대학 및 연구기관의 연구성과에 대한 신뢰성을 높이는 것은 물론, 산업체에서 생산되는 제품의 품질을 향상시키고 일반 국민의 삶을 안전하고 풍요롭게 하는 밑바탕이 될 것이다.

REFERENCES

- [6] V. Camarchia *et al.*, IEEE Instrum. Meas. Magazine **10**(2), 34 (2007).
- [7] P. Russer and N. Fichtner, IEEE Microwave Magazine **11**(3), 119 (2010).
- [8] C. Goldsmith *et al.*, IEEE Microwave Magazine **8**(6), 56 (2007).