

저가의 EMI/EMS 측정 시스템-표준, 개량형 TEM Cell

윤재훈, 이애경
한국전자통신연구소 전파공학연구실

I. EMI/EMS 측정 시스템

일반적으로 EMI 측정시험장으로 활용되고 있는 시설로서는 야외 시험장(open site)과 전자파 무반사실(anechoic chamber)이 있다. 전자의 경우는 전자파 간섭 영향이 없어야 하고 반사 또는 커플링의 영향을 줄 수 있는 장애물이 없어야 하는 시험환경 조건이 요구되지만, 근래의 전자기기 사용증가, 방송, 무선 통신시스템의 다양화 및 산업의 복잡화에 따른 인공잡음의 증대로 그 선정이 극히 어려워 도시에서 멀리 떨어진 곳, 즉 연구 개발 및 제품 생산 소재지로부터 멀리 떨어진 곳에서도 가능하게 되었으며, 그 외에도 기상조건에 의한 영향 및 주변 개발에 의한 잡음 환경의 변화로 성능 보존이 어렵다.

후자의 경우는 야외 시험장의 전자파 환경 문제점을 피할 수 있어, 도시나 혹은 제품 생산지 가까이에 설치 운용이 가능하나 이들 모두 수억에서 십수억원에 이르는 설치 비용이 들어 중소기업에서 보유하기가 어렵다. 또한 안테나를 송수신원으로 사용하므로써 저주파수대 측정이 어려울 뿐만 아니라 피시험체 주변 공간(반경 3, 10M)에서의 1점 측정 방식으로 인해 측정시간이 많이 소요되는 기술적인 문제점을 지니고 있다.

특히 산업적인 측면에서 볼 때 국내 전자파 장애 규제 시행 이후 전기·전자제품을 생산하고 있는 중소기업에서는 제품에 대한 EMI 대책 마련이 시급한 실정이다. 그러나 EMI 대책은 이론적 지원만으로는 한계가 있으므로 측정을 통한 대책이 강구되어야 한다. 그런 데다가 EMI 측정 시설의 고가로 인해 이를 갖출 수 없는 중소기업에게는 큰 타격을 줄 수 있다. 왜냐하면 현재 국내에서는 완제품에 대한 EMI 측정만 몇몇 국가 지정 시험 기관이 수행하고 있지만 새로운 제품 혹은 부품 개발시 수시로 요구되는 EMI 측정을 지원할 수는 없는 실정으로 이대로 지속되면 이러한 대책 분야의 기술 낙후를 유발하여, 결국 새로운 제품 개발에 대해 중소기업이 겪는 기술 장벽의 부담은 가중될 것이다. 또한 근래에 와서 국내의적으로 EMS 규제를 적극 검토하고 있어서 소자본의 중소기업체는 더욱 큰 부담을 갖게 될것으로 사료된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 EMS 시험도 병행할 수 있는 범용 시스템의 개발이 필요하다. 즉 값이 싸고, 측정시간이 단축되고, 작은 공간 혹은 작업장에서도 설치 가능하며, 높은 정확도를 유지할 수

있는 EMI /EMS 범용 측정 시스템 개발이 필요한 것이다.

II. 표준*, 개량형 TEM Cell

표준, 개량형 TEM cell이 상기 필요조건에 거의 일치한다고 볼 수 있을 것이다. 선진국에서는 이미 오래전부터 이러한 장비에 대한 개발에 많은 관심을 보이고 있다.[1,2,3,4]

이에 편승하여 국내에서도 이에 대한 연구 개발을 서둘러야만 할 것이다. 우선 표준형 TEM cell의 구조를 살펴보면 그림 1과 같이 크게 내부도체와 외부도체로 구성되며 그 외에 내부도체를 지지하는 지지봉, 양끝단의 동축케이블 연결자 그리고 출입문으로 구성된다. 중심단에서 단면은 그림 2에서 처럼 구형 동축 전송 선로를 갖는다. 이러한 TEM cell은 EMI /EMS 측정[5,6,7] 이외에 사용되는 분야는 전자파가 생체에 미치는 영향 연구 분야[8,9,10], 전자장 측정기 교정용[11,12,13]등으로 사용되고 있다.

이러한 표준형 TEM cell이 가지고 있는 장점을 살펴보면 우선 외부 전자파 및 시험장치로부터 발생하는 전자파에 대한 차폐 성능이 우수하고, 직류에서 수백 MHz에 이르는 넓은 사용 주파수대, 낮은 전력으로 부터 높은 전력에 이르는 균등장 발생이 용이하며, 송수신원이 전송선로이므로 시험조작의 간단성으로 EMI /EMS 측정 시간이 단축되며, 저주파대 측정이 용이하고, 휴대가 간편하고 측정 공간이 작아 현장 실험실에 설치가 용이하며, 제작 비용이 매우싸다[14]. 이러한 장점을 가지고 있는 반면 다음과 같은 단점을 갖는다. 즉 셀의 크기에 반비례적인 상한 주파수를 가지므로 대형 TEM cell은 높은 주파수대 사용이 불가능하며, 높은 주파수대 사용을 위해 셀의

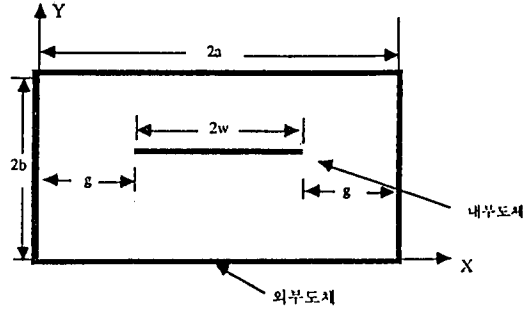


그림 2. 직각 좌표상에서의 표준형 TEM cell의 단면
(a) X COMPONENT ELECTRIC FIELD DISTRIBUTION(V/m)
(b) Y COMOPONENT ELECTRIC FIELD DISTRIBUTION(V/W)

크기를 작게하면 피시험체가 위치하는 시험공간이 협소하다[15]. 또한 기존 EMI 측정 방식은 측정 시간은 야외 시험장, 전자파 무반사실에 비해 많이 단축되었으나 피시험체의 까다로운 여러 방위 변화를 요구하여 측정이 번거로와 측정 자동화하기가 어렵다[16,17].

III. TEM Cell의 전기적인 특성

기존의 단점을 보완할 수 있는 새로운 TEM cell을 고안하거나 기존 EMI 측정 방식을 개선시키기 위해서는 우선 TEM cell의 전기적인 특성을 파악해야만 한다. 대표적인 전기적인 특성은 세가지로 구분할 수가 있는데, 셀내의 전자계 분포, 특성 임피던스, 차단 주파수 특성으로 나눌 수 있다.[15] 이러한 특성 연구는 가장 기초적인 기반이다. 이러한 기반 위에서 TEM cell의 설계 기술확보, 개량형 TEM cell개발 EMI 측정을 원활히 하기 위한 새로운 측정법 개발이 이루어 질 수가 있다. 그러나 전기적인 특성은 손으로 직접 풀기에는 어려운 점이 많은 관계로 수치 해석을 통한 분석이 바람직하다.[18] 여기서는 이에 대한 간단한 소개만을 하고 많은 관심을 갖고 있으신 분들은 참고문헌을 나타내었으니 참조바란다.

1. 전자계 분포 특성

TEM cell은 이름 자체가 내포하고 있듯이 TEM 파를 만들어내는 시설이다. 셀내의 TEM 모드 전자

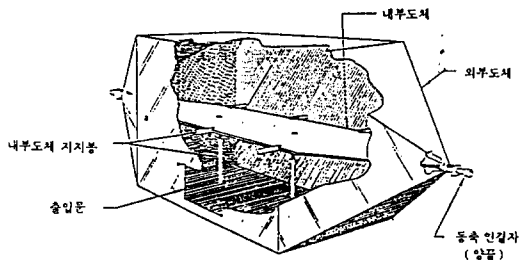


그림 1. 표준형 TEM cell의 구조

*NBS TEM cell 혹은 Crawford cell이라고도 부름

파를 이용하여 각종 EMI / EMS 측정을 수행한다. 그러므로 우선 셀내의 전자계 분포를 알아야만 한다. 이러한 전자계 분포를 구하는 방법은 크게 두가지로 구분할 수가 있다. 손으로 직접 풀이하는 방법과 수치 해석을 이용하는 방법이 있다. 전자의 경우는 상사 변환을 통해 구하는 방법[19]이 있으며, 후자의 경우 도체 표면에 Dirichlet 경계 조건을 적용하여 전류 적분 방정식 유도하여 구하는 방법[20]과 준정적 근사법을 적용한 그린함수 유도를 통한 변분법[21], 도체 표면의 선전하 적분 방정식 유도를 통한 분석 방식[18,22]등이 있다.

후자의 방법중 수치 유도가 간단하고 내부도체의 두께 및 위치에 관계없이 해석이 가능한 선전하 적분 방정식 유도 방식으로부터 간단히 전자계 특성을 살펴보고자 한다. 그림 3에 $a=7\text{cm}$, $b=4\text{cm}$, $w=4.44\text{cm}$, $d=0.05\text{cm}$ 인 구조를 갖는 작은 TEM cell의 내부도체를 중심단에서 2cm만큼 올렸을 때, 전자계 강도인

E_y , E_x 성분을 나타내고 있다. 단 외부도체는 접지를 하고 양단에 1 Volt의 전압을 가했다. 내부도체 모서리 부분에서 전계값 E_y 가 큰값을 나타내는 현상을 볼 수가 있는데, 이는 내부도체 모서리 부분에서 매우 큰 전하의 발생에 기인하며, 또한 E_y 성분은 내부도체 상하에서 큰 값을 보이고 있는 반면 E_x 성분은 좌우단에서 큰값을 보이고 있으며, E_y 의 경우 상단이 +, 하단이 -, E_x 의 경우 우단 +, 좌단이 - 부호를 갖는 이유는 내부 도체에서 외부로 향하기 때문에 나타나는 것이다. 이러한 결과를 통해 하단 부근의 완전한 전자계 강도 변화를 나타내고 있어 시험 영역을 넓게 가질 수 있음을 직접 눈으로 확인할 수 있다. 피시험체가 놓이는 시험 영역의 균일한 전자파 환경을 이용하여 직접적으로 전자파 내성(EMS) 측정에 응용되는 것이다. 참고적으로 상기 구조의 특성 임피던스는 50옴이다.

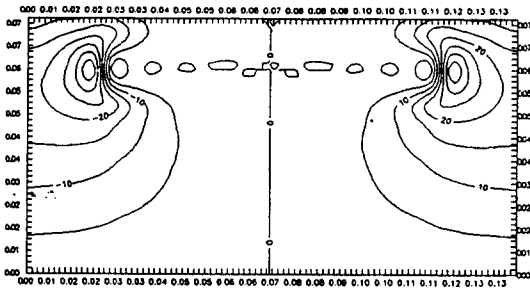
2. 특성임피던스 특성

TEM cell은 일종의 전송 선로이므로 설계 제작시 임피던스 정합을 유지해야 하는 것은 매우 중요하다. 그러므로 구조에 대한 특성임피던스를 구해야 한다. 이러한 특성 임피던스 해석에서 여러 사람의 여러 방법이 논문을 통해 발표되고 있는데 이를 살펴보면 우선 TEM cell의 내부도체의 모서리 부근에서 발생되는 개폐시턴스(FC : fringing capacitance) 항을 고려한 Crawford 수식[12]이 있으나 FC는 구조가 변할때마다 실험적으로 구해야만 하는 문제점을 갖고 있다.

Tippet과 Chang[23]은 내부도체 두께가 영에 가깝고 대칭구조를 갖는 TEM cell의 특성임피던스를 손으로 직접 풀었지만 이러한 해석 방법은 $a/b > 5.0$ 이고 $w/b < 0.1$ 인 구조에서 해석적인 사각영역을 갖고 있을 뿐만 아니라 대칭 구조에 국한하여 해석될 뿐이다. 그 외에 Cruzen과 Graver[24]는 라플라스 방정식을 OBAT(orthonormal block analysis technique)에 적용하여 분석하였다.

Metcalf[25]는 라플라스 방정식을 RM(relaxation method)에 적용하여 특성임피던스를 분석하였고 lawakura와 Arakawa[26]는 수치 적분법(NIT: numerical integration method)으로 특성임피던스를 해석하고 있으나 적용 범위는 모두 대칭구조를 갖고 내부도체의 굵기가 영에 가까운 구조에 대해서만 해석하

(a) X COMPONENT ELECTRIC FIELD DISTRIBUTION(V/M)



(b) Y COMPONENT ELECTRIC FIELD DISTRIBUTION(V/M)

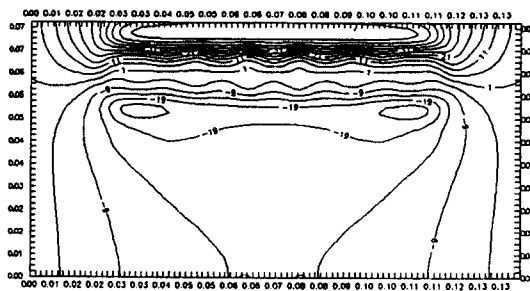


그림 3. $a=7\text{cm}$, $b=4\text{cm}$, $w=4.44\text{cm}$, $d=0.05\text{cm}$ 인 구조를 갖는 TEM cell 내부에서의 (a) X성분의 전계 강도 (b) Y 성분의 전계 강도

고 있다. 그러나 TEM cell의 양끝단 동축 케이블 연결자 및 테이퍼 영역에서 내부도체 두께가 외부도체 높이(2b)에 비해 그 크기를 무시할 수 없으므로 임피던스 정합을 유지해야만 하는 설계에 직접 활용하기가 어렵다. 그러나 선전하 적분식 유도를 통한 분석 방법[18]을 사용하면 비대칭 뿐만 아니라 내부도체가 임의의 굵기를 갖는 TEM cell 구조에 대해서도 적용가능하여 설계에 직접 응용 가능한 장점을 지니고 있다. 선전하 적분식 유도를 통한 분석 결과에 한예를 그림 4에 나타내었다. 즉 그림 3의 예와 유사한 구조인 $a=7\text{cm}$, $b=4\text{cm}$, $d=0.8\text{cm}$ 를 갖고 $w=4\text{cm}$, 3.25cm , 3.5cm , 3.75cm 인 4가지 유형 TEM cell 각각에 대해 내부도체를 +y방향으로 올림에 따른 특성임피던스 변화를 나타내고 있는데, 이러한 자료[16]는 설계시 매우 중요한 자료가 될 것이다. 즉 상기 그림에서 50옴 축을 중심으로 좌에서 우로 일직선을 그어 그래프가 만나는 지점이 바로 외부도체의 높이와 폭, 내부도체 두께가 일정하다고 볼때 넓은 시험공간 확보를 위해 내부도체를 중심으로 +y방향으로 올리면서 50옴 시스템을 제작하려면, 내부도체의 폭을 얼마로 할것인지를 찾아 낼 수 있다.

즉 A점은 내부도체를 중심으로 부터 1.5cm(0.055-0.04)+y방향으로 올렸을 때, 50옴 특성임피던스를 유지하기 위해서는 내부도체 폭을 $6\text{cm}(0.030 \times 2)$ 로 만들면 된다. B, C, D점 역시 마찬가지로 내부도체를 중심으로 부터 각각 1.67, 1.58, 1.59cm 이동시 내부도체폭을 각각 6.5, 7, 7.5cm 유지하면 특성임피

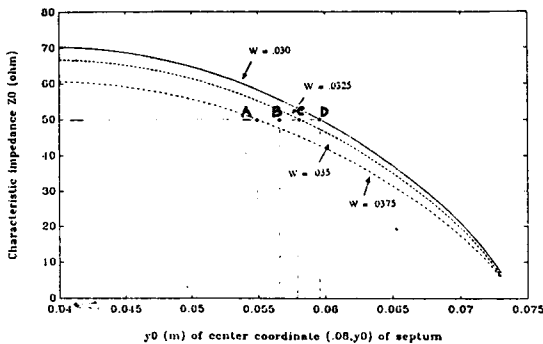


그림 4. $a=7\text{cm}$, $b=4\text{cm}$, $d=0.8\text{cm}$, $w=4\text{cm}$, 3.25cm , 3.5cm , 3.75cm 인 4가지 유형 TEM cell 각각에 대해 내부도체를 +y방향으로 올림에 따른 특성 임피던스

던스를 50옴으로 유지할 수가 있음을 눈으로 확인할 수가 있다. 상기와 같은 정보는 비대칭 TEM cell 제작시 반드시 필요한 것이다. 국내에서는 이러한 정보를 컴퓨터가 자동 추적하게 하여 설계에 직접 응용하고 있으며 TEM cell의 양 끝단의 테이퍼 영역과 양질의 동축 케이블 연결자를 자동설계 제작하고 있다.[27].

3. 차단주파수 특성

NBS보고서[17]에서는 EMS시험시 TEM cell의 사용 주파수를 제 1고조 모드 차단주파수가 발생하는 주파수까지 사용을 권장하고 있다. 그러나 전파파가 생체에 미치는 영향을 연구 및 커다란 장비의 EMI/EMS시험 등에 응용되는 셀처럼 규모가 큰 경우, 경제성을 고려해서 사용 주파수 확장 문제가 대두되고 있다. 이러한 측면에서 Weil 과 Gruner [28], Hill[29], Willson[30]은 공진 문제를 다루고 있다. 그들의 논문에 의하면 TEM cell은 높은 Q값을 갖고 있어 공조 모드의 공진현상을 특정 주파수대에서 매우 날카롭게 나타나므로서 공진주파수 사이의 가용 주파수대가 뚜렷하게 형성됨을 강조하고 사용주파수 범위를 넓힐 수 있음을 제안하고 있다. 차단주파수에 대한 수치코드는 TE모드에 대해서는 Willson의 수식[30]을 이용하고 TM모드는 Helmholtz방정식을 직접 Galerkin법을 적용하여 구한 방식[31]을 취하는 것이 바람직하다. 이러한 수치코드의 한 결과를 그림 5에 나타내었는데, 이러한 그

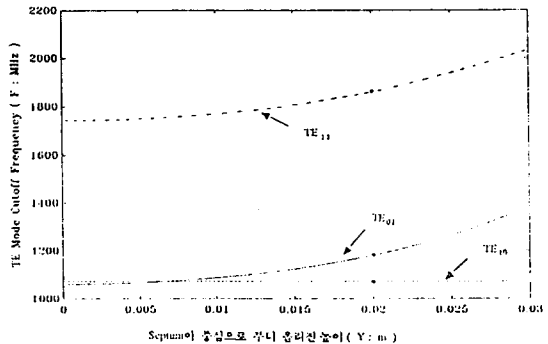


그림 5. $a=7\text{cm}$, $b=4\text{cm}$, $w=4.44\text{cm}$, $d=0.05\text{cm}$ 인 TEM cell의 내부도체를 +y방향으로 올림에 따른 TE 모드 차단 주파수

래프는 비대칭 구조를 갖는 TEM cell의 차단 주파수 및 공진주파수 특성을 나타내고 있다. 즉 내부 도체를 +y방향으로 올림에 따라 TE01, TE11모드의 차단 주파수가 올라가는 특성을 나타내고 있으며 TE10 모드 차단 주파수는 불변임을 관찰할 수가 있다. 또한 상기 구조는 섀텀(내부 도체)을 중심으로 부터 2cm올렸을 때, 특성임피던스가 50오옴이 되고 Hill의 실험 데이터[29]에 근거하여 구한 유한 길이를 각 모드의 차단주파수에 적용하여 공진주파수를 구해보면 이론치가 실험치와 매우 일치한다.[27] 이러한 차단 주파수에 대한 예측 프로그램은 제작에 앞서 응용하면 경제적이고 합리적인 설계를 가능하게 할 것이다.

IV. 개량형 TEM Cell의 국내의 동향

매사 새로운 기술이란 독자적으로 완성하기 보다는 기존의 기술을 취합하거나 단점을 보완하며 이루어진다. 그러므로 성능이 개선된 국내외의 개량형 TEM cell에 대한 동향을 파악하는 일은 매우 중요하다. 현재 개발되거나 개발된 개량형 TEM cell에 대해 살펴보면 우선 1986년 이스라엘의 Abikam Tehori, Nahariya가 개발한 개량형 TEM cell[32]이 있는데, 이는 양끝단의 동축 케이블 연결자의 질을 높여 고전력 펄스 전자파 내성 측성이 가능하도록 설계된 것이 있으며 1989년 스위스의 ABB 제어 센터(Asea Brown Boveri Contral Center)의 P. Willson, D. Hansen 그리고 D. Koenigstein 이 개발

한 GTEM cell[33]이 있는데, 그 구조는 그림 6과 같이 전자파 무반사실의 혼합형으로 분포 저항 부하, 전자파 흡수체, 문, 내부도체, 외부도체, 동축 케이블 연결자로 구성된다. 이러한 구조는 TEM cell의 테이퍼 영역에 전자파 흡수체와 분포 저항 부하를 연결하여 전자는 전자파를 후자는 전류를 종단하는 분포 혼합 종단(distributed hybrid termination)을 설치하여 DC에서 수 GHz에 이르는 대역을 사용할 수가 있다 특기할 점은 고차모드가 나타나는 주파수 대역에서 포텐셜 문제를 가져오지만 심각한 공진은 나타나지 않는다고 보고되고 있으며 VG95903(part 50)과 같은 몇몇 규격에서 인정하고 있다는 점이다. FCC part 25 subpart J 또는 VDE 0871 규격과 같은 TEM 시험을 수행할 수가 있으나 이들의 측정 방식보다 정확한 측정 방식이 요구되고 있는 실정이다.

또한 1992년 Seiko Epson사와 Kyoritsu Electrical Work Ltd 공동으로 제작된 EMI 측정용으로 개발된 수정형 TEM cell[3]이 있으나, 문이 위에 설치된 구조적인 특징을 가지며, EMI 측정시 야외 시험장의 시험 교정을 통해 이루어 지므로 야외 시험장 및 전자파 무반사실 대용으로 사용할 수는 없으나 똑같은 제품이나 부품 등에 대한 상대적인 복사 잡음의 크기를 결정하는 데에는 유용하다고 보고 되고 있다. 그러므로 위치 형태를 다양하게 변형하여 측정을 요구하는 EMI시험용으로 사용하기 위해서는 새로운 측정방식의 개발이 필요할 것이다.

국내에서는 1990년 부터 한국 전자 통신 연구소에

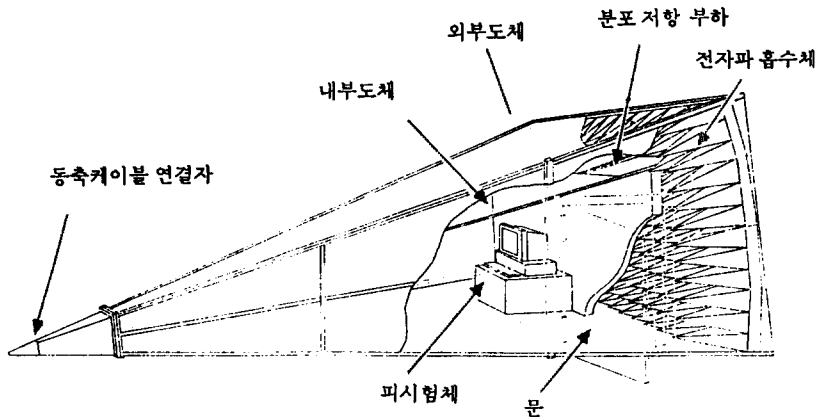


그림 6. GTEM cell의 구조

서 EMS 측정시 다각적인 피시험체 관찰이 가능하도록 하고 전자파 누설을 최소로 할 수 있는 조명 및 차폐장시설 연구, 설계 자동화 구축, 내부 도체를 회전 가능하도록 설계하여 EMI 측정 방식을 개선시킨 원통형 TEM cell 및 원뿔형 GTEM cell 등이 연구중에 있다.

V. TEM Cell 핵심 기술

TEM cell의 사용 주파수를 높이는 기술은 표준형 TEM cell내에 전자파 흡수체를 설치하여 공진현상을 줄이는 방법[7], 및 비대칭형 TEM cell을 제작하여 제 1고조 모드인 TE₀₁ 모드의 차단주파수를 높이고 넓은 시험 공간을 확보하거나[27], GTEM cell처럼 한쪽단을 전파흡수체, 분포 부하 종단기를 설치하여 사용 주파수를 늘리는 방법이 있다.[33] 그외 가용 주파수를 확장하기 위한 연구가 진행되고 있다.[29]

TEM cell을 이용한 EMI측정은 TEM cell내에 피시험체를 넣고 양쪽단에 유기되는 전력의 특성을 이용하여 피시험체의 등가 전계, 자계 모멘트를 구한다. 그리고 나서 피시험체가 자유 공간에 있을 때의 전력 패턴 혹은 야외 시험장에서 측정되는 측정 데이터로 컴퓨터를 이용하여 환산시켜 구한다. NIST (National Institute Standards and Technology)에서는 십수년에 걸친 연구 끝에 1989년 Galen H. Koepke, M. T. Ma 그리고 William D. Bensema에 의해서 완성된 측정 방식이 있는데, 이는 한쪽단을 180도 위상 지연을 한뒤 양쪽 전력의 합을 측정한다. 이 자계 모멘트와 결합되고 양쪽단의 전력의 합은 오직 전계 모멘트와 결합되는 특성을 이용하고 있으며, 또한 상기 두가지 전력의 상대 위상차 측정을 통해 직교성을 갖는 전계, 자계 모멘트의 절대 위상을 구하고 있다. 이러한 방식은 야외 시험장, 전자파 무반사실에서의 EMI 측정 시간의 약 1/10 정도로 단축시키는데, 성공 하였으나 피시험체의 다각적인 방위 변화를 요구하므로 측정상의 번거로움을 발생시키고 있어 피시험체의 다각적인 방위 변화를 요구하므로 측정상의 번거로움을 발생시키고 있어 측정의 재현성이 미흡하고 측정 자동화하기가 어렵다.[34]

또한 현재 사용되고 있는 GTEM cell의 EMI 측정

은 ABB 제어 센터에서 개발된 방식[33]이 있으나 이는 표준형 TEM cell이 2단자 측정 시스템인데 반해 1단자 측정 시스템이므로 피시험체의 각 방위 변화에 따른 한쪽단에서의 전력 측정만을 통해 이루어지므로 다각적인 방위 변화 요구와 전계, 자계 모멘트의 위상을 무시하므로 측정법 자체의 애락을 갖고 있는 문제점을 갖는다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 새로운 측정법 개발이 필요하다. 보다 양질의 TEM cell 개발을 위한 연구의 핵심은 사용 주파수를 넓히기 위한 기술 그리고 보다 간단하고 측정 자동화가 가능하도록 하여 측정의 재현성을 높이기 위한 EMI 측정 방식 개발에 있다고 볼 수가 있다.

VI. 결 론

전기, 전자제품에 대한 EMI 규제는 비록 완제품에 대해서만 실시되고 있으나 완제품을 생산하는 업체들은 납품업체들에게 그들의 생산 부품에 대한 EMI 측정을 요구하게 되어 납품업체도 공급부품 혹은 장비에 대한 대량의 EMI 시험을 수행해야 하는 경우가 발생한다. 그 외에도 이러한 EMI 대책에 대한 부담을 갖는 중소기업체는 더욱 증가하게 될 것이다. 또한 EMI 대책에 대한 부담을 갖는 중소기업체는 더욱 증가하게 될 것이다. 또한 EMI 규제에 이어 EMS 규제도 고려되고 있는 현 국제적 추세에 따라 완제품 및 부품을 생산하는 업체가 겪는 부담은 날로 가중될 것으로 전망된다. 기존 제품 혹은 새로운 제품 개발시 그 상품에 대해 EMI/EMS 대책을 강구하고자 할 때, 현장에서 매번 요구되는 EMI 시험에 대한 지원 대책이 마련되지 않고 있는데다가 EMI/EMS 측정 장비의 고가는 자본의 한계를 갖고 있는 중소기업체에게는 매우 치명적인 문제로 부각될 수가 있다.

이러한 문제점으로 인한 국내 기술의 낙후를 방지하기 위해서는 저렴한 EMI/EMS 측정 장비 개발을 서둘러야 한다. 측정 장비를 중소기업체에서 빠른 시일 내에 보유할 수 있도록 하여 이러한 분야의 기술 개발에 박차를 가한다면 중소기업체 고유의 노하우가 더욱 축적될 것으로 여겨진다. 비록 선진국에 비해 개발시점이 십수년 늦다고는 하나 다행히 국내에서도 이러한 문제점에 대처하기 위한 기술 개발이 몇 년

전부터 수행되고 있어서 좋은 성과를 보이고 있다. 특히 자동화를 통한 설계, EMI 측정 방식 등의 분야는 앞으로 선진국 기술을 능가할 것으로 전망한다. 개발 이후 실용화하기까지는 많은 시간이 필요한데 특히 EMI 측정 방식 분야는 실 측정시 발생하는 측정 기기의 측정 오차에 대한 최적처리 등의 문제점을 해결해야만 실용화가 가능하다. 그러므로 여러 실험을 거친 뒤 많은 경험 축적을 통한 측정 소프트웨어 개발이 있어야 한다. 어떠한 기술 분야도 마찬가지로 개발에서 실용화가 이루어지도록 하기 위해서는 지속적으로 꾸준한 관심과 노력이 있어야 가능할 것이다.

참 고 문 헌

1. M. L. Crawford, "Generation of standard EM field using TEM transmission cells," IEEE Trans. Electromagn. Compat., Vol. EMC-16, pp. 189-195, Nov. 1974.
2. D. Hansen, P. Willson, D. Keenigstein and H. Schaer, "A broadband alternative EMC test chamber based on a TEM cell anechoic-chamber hybrid approach," Proceedings of the 1989 international symposium on EMC; Nagoya, Japan, September 8-10, 1989, pp.133-137.
3. Atsushi Shinozaki, "Compact Y6M EMI Measurement System Aeteots Radiation Noise from device. port I, II Nikkel Electronics ASIA, pp.56-59, 1992.
4. M. L. Crawford; J. C. Workman, "Using a TEM cell for EMC measurments of electric equipment," N.B.S.(U.S.) Tech. Note 1013, April 1979.
5. M. L. Crawford, J. L. Workman C. L. Thomas "Generation of EM Susceptibility test fields using a large absorber-loaded TEM cell," IEEE Trans. Instru. 26, 25-230, Sept. 1977.
6. M. L. Crawford, J. L. Workman and C. L. Thomas, "Expending the bandwidthe of TEM cells for EMC measurements," IEEE Trans. Electromag. Compa. EMC-20, 368-375, Aug. 1978.
7. M. L. Crawford, J. L. Workman, "Using a TEM cell for EMC measurements of electronic equipment," National Bureau of Strandards Technical Note #1013, April. 1979.
8. W. T. Joienes, C. F. Blckman and M. A. Hollis, "Broadening of RF power density Window For calcium-ion efflux from brain tessue," IEEE Trans. Bio. Eng. BME-28, 568-576, Aug. 1981.
9. C. F. Blackman, J. A. Elder, C. M. Weil, S. G. Benane, D. C. Eichinger and D. E. House, "Induction of calciu m-ion efflux from brain tessue by rdio-ferquency radition :effects of modulation frequency and field strength," Radio Science, 93-98, Nov. 1979.
10. R. J. Smialowicz, J. S. Berman, S. J. Bursian, J. B. Kinn, C. G. Liddle, L. W. Reither and C. M. Weil, "Chronic exposure of rats ot 100MHz(CW) radiofrequency radiation :: assessment of biological effects," Radiation Research, 488-505, June. 1981.
11. M. L. Crawford, "Generation of standard Em Fields using TEM transmission cells." IEEE Trans. Electromag. compat. EMC-16, 189-195, Nov. 1974.
12. P. S. Puggera, "E-and H-field instrumentation and callibration below 500MHz. Biological Effects of Electromagnetic Wave," (Selected papers of USNC /URSI Annial Meeting, Boulder Co.)Vol. II, 281-296, Oct. 1975.
13. E. B. Larson, "Techniques for producing standard EM fields from 10KHz to 10GHz for evaluating radiation monitor," Proceedings of the 1978 Syposium on electromagnetic Fields in Biological systems, Ottawa Canada, 96-112, June. 1978.
14. Motohisa Kanda, R. Divid Orr, "Generation of stendard electromagnetic fields in TEM cell," N.B.S. Tech. Note 1319, August 1988.
15. 최 익 권 외5명 "전자파 장해 측정 및 방지대책 연

- 구,” 1990년 한국전자통신연구소 보고서.
16. I. Streenivasiah., D. C. Chang, and M. T. Ma, “A method of determining the emission and susceptibility levels of electrically small objects using a TEM cell,” NBS Tech Note. 1040, Apr. 1981.
 17. I. Streenivasiah., D. C. Chang, and M. T. Ma, “Characterization of electrically small radiating sources by tests inside a transmission line cell,” NBS Tech Note 1017, Feb. 1981.
 18. 윤 재훈, 최 익권, “모멘트법을 이용한 구형 내부 도체를 갖는 TEM Cell의 특성분석,” 한국통신학회지, 1990.11.
 19. J. C. Tippet, “Modal characteristics of rectangular transmission line,” University of Colorado, Ph. Thesis, 1979.
 20. 이 애경, 이 상희, 김 정기, “고차모드로 인한 TEM Cell의 대역 제한,” 전자공학논문지, 1991. 11.
 21. The-nan Chang, “Qusi-static analysis of electric and magnetic fields in TEM cell,” J. Chin. Inst. Eng.(Taiwan) Vol. 12, No. 1 Jan. 1989.
 22. Spiegle, R. J. ; Joines, W. T. ; Blackman, C. F. ; Wood, A. W.. “A method for calculating electric and magnetic fields in TEM cells at ELP,” IEEE Trans. Electromagn. Compat. EMC-29(4) : 256-272 ; Nov. 1987.
 23. C. Tippet and D. C. Chang, “A new approximation for the capacitance of a rectangular coaxial strip transmission line,” IEEE Trans. M. T. T., Vol. MTT-24, 602-204, Sep. 1976.
 24. O. R. Cruzan and R. V. Garver, “Characteristic impedance of rectangular coaxial transmission lines,” IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-20, 538-541, Aug. 1969.
 25. W. S. Metcalf, “Characteristic impedance of rectangular transmission lines,” Proc. Ins. Elec. Eng., Vol. 112, 22033-2039, Nov. 1965.
 26. H. Iwakura and T. Arkawa, “Analysis of rectangular coaxial transmission line,” Rep. Univ. Electro-Commun., Japan, Vol.28, 1-9, Aug. 1970.
 27. 최 익권의 5명, “전자파 장애측정 및 대책연구,” 체신부 중간보고, 1992. 9.
 28. Claude M. Weil Lucian Gruner “High order mode cutoff in rectangular striplines,” IEEE Trans. MTT, MTT32(6) : 638-641 ; June 1984.
 29. Hill, D. A. “Bandwidth limitations of TEM Cells due to resonances,” J. Microwave Power 18(2) 181-195 ; 1983.
 30. Wilson, P. F. ; Ma, M. T. “Simple approximate expression for higher order mode cutoff and resonant frequencies in TEM cell,” IEEE Trans. EMC28(13) : 125-130 ; August 1986.
 31. 윤 재훈, 최 익권, “TEM Cell들의 고조모드 차단 주파수 해석에 대한 수치코드 개발,” 한국통신학회지. 1991. 1.
 32. Abikam Techori, Nahariya, “Transverse electromagnetic cells adapted for electromagnetic pulse testing,” Pat. No. US4605916 a 86/08/128635.
 33. P. Wilson, D. Hansen and D. Koenigstein “Simulating open area test site emission measurements based on data obtained in a novel broadband TEM Cell,” IEEE international symposium, 1989.
 34. Galen, H. K. ; William D. B. “Implementation of an automated system for measuring radiated emissions using a TEM cell,” IEEE tran. on Instr. and Measur. Vol. 38, No.2, April 1989.