THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE. 2014 May; 25(5), 548~558.

http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2014.25.5.548 ISSN 1226-3133 (Print) · ISSN 2288-226X (Online)

EMP 방호시설의 전자파 차폐효과 측정 방법

Electromagnetic Wave Shielding Effectiveness Measurement Method of EMP Protection Facility

서만중·지성원·김영진·박우철·강호재*·허창수*

Manjung Seo · Seongwon Chi · Youngjin Kim · Woochul Park · Hojae Kang* · Changsu Huh*

요 약

현재 EMP(Electromagnetic Pulse) 방호시설의 차폐효과 성능 평가를 위해 적용하고 있는 규격들에서는 통상적으로 송 신안테나를 시설 외부에 배치하고, 수신안테나를 시설 내부에 배치하여 차폐효과(Shielding Effectiveness: SE)를 측정하도 록 규정하고 있다. 하지만 차폐효과 측정 시 방호시설과 외부 콘크리트 구조물 사이에 충분한 공간을 확보하지 못하는 경우, 차폐효과 측정이 불가능하게 된다. 본 논문에서는 송신안테나를 EMP 방호시설 내부에 배치하여 전자파의 차폐효 과를 측정할 수 있는 시험방법을 찾기 위해 다양한 시험을 수행하였다. 차폐효과 측정 시 송수신 안테나의 위치에 따른 영향을 비교·분석하기 위해 송신안테나를 EMP 방호시설 내부에 배치하여 차폐효과를 측정한 결과, 외부에 배치했을 때보다 시험주파수 영역 10 kHz~1 GHz에서 전체적으로 평균 ±4 dB 수준의 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

Abstract

EMP(Electromagnetic Pulse) protection facility was evaluated according to standard of shielding effectiveness. To comply with the standard, transmitting antenna was placed on outside of protection facility and receiving antenna was placed on inside of protection facility. However, measurement is impossible that place does not have enough space between protection facility and external concrete structure. In this paper, we performed a various of tests that put transmitting antenna inside the EMP protection facility in order to find out test method for measuring the shielding effectiveness of electromagnetic wave. Transmitting antenna was placed on inside of the EMP protection facility for measuring the shielding effectiveness to compare and analyze the impact of the position regarding to the transmitting antenna. As a result of test, in case that transmitting antenna was placed on inside of the EMP protection facility, it was found that test frequency range 10 kHz \sim 1 GHz were occurred overall average difference of \pm 4 dB level.

Key words: ElectroMagnetic Pulse, MIL-STD-188-125-1, Shielding Effectiveness, EMP Protection Facility

I.서 론

최근 북한의 핵개발 및 EMP(Electromagnetic Pulse)탄

공격에 대한 위협이 증대됨에 따라 EMP 방호에 대한 관 심이 커지고 있다. EMP란 통상적으로 고출력 전자기파 (High Power Electromagnetic: HPEM)를 통칭하는 용어로

한국화학융합시험연구원 EMP 평가팀(EMP Assessment Team, Korea Testing & Research Institute)

[「]본 연구는 산업통상자원부 표준기술력향상사업의 지원(과제번호 : 10042466)으로 수행되었음.」

^{*}인하대학교 전기공학과(Department of Electrical Engineering, Inha University)

[•] Manuscript received July 18, 2013 ; Revised October 29, 2013 ; Accepted March 26, 2014. (ID No. 20130718-066)

[·] Corresponding Author: Woochul Park (e-mail: king818@ktr.or.kr)

써, 핵폭발로 인해 발생되는 NEMP(Neclear EMP), 전자폭 탄이나 고출력 전자파 발생기에 의해 직접적으로 전자파 를 발생시키는 NNEMP(Non-Neclear EMP) 또는 IEMI (Intentional Electromagnetic Interference), 그리고 낙뢰와 같은 자연현상에 의해 발생되는 LEMP(Lightning EMP)로 분류 할 수 있다. 이 중 NEMP의 한 종류인 HEMP(High-altitude EMP)는 고도 40 km 이상의 상공에서 핵폭발로 인해 발생되는 높은 전자파 에너지로써, 반경 수십에서 수백 km에 걸쳐 인체에는 무해하지만, 금속성 물질에는 유기 되어 빠른 속도로 전자기기를 파괴하거나 무력화한다. 전 력, 통신, 금융 네트워크 등 사회 기간망이 복잡해지고, 모 든 기기들이 전자 부품을 내장하고 집적화, 소형화 되어 가는 현대사회에서 EMP 공격이 발생했을 경우, 전자장비 뿐만 아니라 전력망, 통신망 등 국가 기간시설들을 한순 간에 마비시켜 엄청난 피해와 혼란을 야기할 수 있다^{[1],[1]}.

EMP 공격에 의한 피해를 방지하기 위해 특수 목적 및 중요 시설의 경우에는 EMP를 차단할 수 있는 방호시설 을 건설하게 되며, 차폐효과(Shielding Effectiveness: SE), 펄스 전류 주입(Pulse Current Injection: PCI), 연속파 투입 (Continuous Wave Immersion: CWI)의 세 가지 시험을 통 해 EMP 방호시설의 시공 중 평가, 완공 후 검증 및 수리 와 유지 보수 등을 수행한다. EMP 방호시설은 방사되는 전자파(EMP)의 차폐효과를 만족하기 위해 기본적으로 도전성 금속판으로 제작하며, 차폐효과 측정을 위해 시설 외부에 전자파를 발생시키는 송신안테나를 설치하고, 시 설 내부에 침투되는 전자파 양을 측정하기 위한 수신안 테나를 배치하여 시험하도록 차폐효과 시험 관련규격^{[3]~} [5]들은 규정하고 있다. 이 때 방호시설 표면과 외부 송신 안테나 간 거리는 최소 1.7 m에서 최대 4.7 m까지를 요구 하고 있으며, 물리적인 방해요소로 인해 각각의 거리를 유지하기 어려울 경우, 송수신 안테나를 일부 약간씩 이 동할 수 있도록 하고 있다.

차폐효과 측정 시 일반적으로 사용되는 송신안테나는 주파수 대역별로 Loop 안테나, Monopole 안테나, Dipole 안테나, Bi-conical 안테나, Log-periodic 안테나들이며, Logperiodic 안테나의 경우는 그 길이가 1 m 정도임을 감안할 때 정상적인 차폐효과 시험을 하기 위해서는 그림 1과 같 이 방호시설 외부에 최소 3 m 이상의 공간이 필요하다.



그림 1. EMP 방호시설의 구축 Fig. 1. Construction of EMP protection facility.

그러나 실제 방호시설의 건축 시 비용 상승, 건축 공간 및 설계의 비효율성과 같은 현실적인 문제들로 인하여 대부 분 시설들은 외부 콘크리트 구조물과의 충분한 공간을 확보하지 못하는 경우가 많기 때문에 전자파 차폐효과 측정 시 방호시설의 외부에 송신안테나를 배치할 수 없 음으로 규격에 따른 차폐효과 시험이 불가능하다. 그러므 로 최소 공간에서 방호시설의 차폐효과를 정확하게 평가 할 수 있는 개선된 시험 방법이 필요한 실정이다. 또한 콘 크리트 구조물이나 다층 지하 구조물에 대한 전자파 차 폐효과 및 모델링에 관련된 연구^{[6],[7]}는 수행된 사례가 있 으나, EMP 방호시설의 차폐효과 측정에 관한 연구는 미 비한 실정이다.

본 논문에서는 EMP 방호시설과 외부 콘크리트 구조물 사이의 협소한 공간에서도 차폐효과를 측정할 수 있도록 송·수신 안테나의 위치 교체, 즉 기존의 차폐효과 측정 방법과 달리 송신안테나를 시설 내부에 배치하고, 수신안 테나를 시설 외부에 배치하여 송·수신 안테나의 배치에 따른 차폐효과를 비교·분석하고자 한다. 본 논문의 구성 은 다음과 같다. 서론에 이어 다음 장에서 차폐효과에 대 하여 간략히 살펴보고, Ⅲ장에서는 차폐효과 측정대상 및 실험구성에 대해 설명한다. Ⅳ장에서는 송수신 안테나의 배치에 따른 차폐효과 측정 및 결과를 기술하고, Ⅴ장에 서 실험결과에 대한 추가적인 검토를 한 후, 마지막으로 Ⅵ장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 차폐효과

차폐효과 시험 표준은 대표적으로 C⁴I 주요 군사시설



그림 2. 차폐효과 측정 구성도



의 평가를 위한 MIL-STD-188-125-1^[3] 미군사 규격과 일반 전자파 차폐룸을 평가하기 위한 IEEE-STD-299^[4], 그리고 EMP를 방어 목적으로 하는 모든 민간시설의 평가를 위 한 IEC 61000-4-23^[5] 세 가지의 표준이 있다. 표 1과 같이 세 가지 차폐효과 시험 규격은 시험주파수, 송·수신 안 테나의 거리, 단위 시험영역 등 시험방법의 차이가 있으 며, 본 논문에서는 MIL-STD-188-125-1 규격의 차폐효과 측정 방법에 따라 차폐효과를 측정하고자 한다.

차폐효과 측정은 방사되는 전자파에 대한 차폐 방호벽 의 차폐효과를 확인하기 위한 것으로 그림 2와 같이 차폐 방호벽이 없는 교정과 같은 상태에서의 수신량 대비 차 폐 방호벽이 설치되어 있는 상태에서 수신량의 비를 나 타낸 것이다. 차폐효과는 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$SE = 20\log\left(\frac{V_c}{V_m}\right) [dB]$$
(1)

여기서 V_c 는 전자기파 차폐 방호벽이 없는 교정과 같은 상태에서의 측정량이고, V_m 은 전자기파 차폐 방호벽이 있는 상태에서의 측정량이다.

MIL-STD-188-125-1 규격에 따른 차폐효과 측정은 각 시험영역(또는 시험지점)의 중앙을 관통하는 측정축을 따라 전기자기 방호벽의 한 쪽에 송신안테나를 배치하고, 방호벽의 반대쪽에 수신안테나를 배치하여 주파수에 따 른 전기자기파를 송신하여 수신안테나에 수신된 데이터 ○ 시험영역 중앙



Fig. 3. Sample test area assignments.

를 기록한다. 이 때. 10 kHz~20 MHz까지는 자기장 차폐 효과를 측정하고, 20 MHz~1 GHz까지는 공진/평면파 차 폐효과를 측정한다. 송신안테나의 방사 레벨이 낮아 일반 적으로 방호시설 근처의 다른 기기에 영향을 주지는 않 지만, 영향을 받는 기기가 있는 경우에는 그 주파수 대역 을 제외하고 시험한다. 시험영역은 그림 3과 같이 전기자 기 방호벽의 전체 표면(방호벽의 양쪽 면이 모두 접근 가 능할 경우 바닥 포함)을 3.05 m×3.05 m 이하로 시험영역 을 나누어야 한다. 각 시험영역 대해 차폐효과 측정축(송 신 안테나와 수신 안테나 사이의 가상선)은 쉴드 표면에 수직이고, 시험영역의 중앙을 관통해야 한다. 송신안테나 와 시험영역 표면까지의 거리는 표 1에서 볼 수 있듯이 2.05 m에서 방호벽 두께를 뺀 값이며, 수신안테나와 시험 영역 표면까지의 거리는 1.0 m로 한다. 그리고 물리적인 방해요소로 인해 각각의 거리를 유지하기 어려울 경우, 송수신 안테나간 거리를 3.05 m로 유지하는 범위 내에서 각각 ±0.5 m씩 이동할 수 있으며(단, 시험영역 표면과 가 장 가까운 안테나의 끝 거리는 시험영역 표면으로부터 0.3 m 이상 유지), 시험영역의 중앙 또는 시험지점도 이동 될 수 있다.

Ⅲ. 차폐효과 측정대상 및 실험구성

본 논문에서는 차폐효과 측정 시, 송수신 안테나의 위 치에 따른 영향을 비교·분석하기 위해 크기와 구조가 다른 두 개의 차폐룸(차폐룸 A, B)을 대상으로 차폐효과 측정을 수행하였다. 차폐룸 A는 그림 4(a)에서 볼 수 있듯 이 가로 2.9 m, 세로 3.9 m, 높이 2.4 m로 제작되었으며,

표 1. 차폐효과 시험 표준 비교

Table 1. Comparison of shielding effectiveness test standards.

구분	IEC 61000-4-23	MIL-STD-188-125-1	IEEE-STD-299
발행년도	2000년	2005년	2006년
적용분야	민간시설(EMP)	군사시설(HEMP)	민간시설(EMC)
시험주파수	・15 kHz~30 kHz: 17計 ・300 kHz~500 kHz: 17計 ・1 MHz~20 MHz: 17計 ・50 MHz~200 MHz: 37計	 10 kHz~100 kHz: 207} 100 kHz~1 MHz: 207} 1 MHz~10 MHz: 407} 10 MHz~100 MHz: 1507} 100 MHz~1 GHz: 1507} 	 9 kHz~300 MHz:
송·수신 안테나 거리	· Loop Ant. - 송신: 0.955 m - 수신: 5~60 cm · Dipole Ant. - 송신: 4.7 m - 수신: 5~60 cm	· Loop/Bi-conical/LP Ant. - 송신: 2.05 m - 수신: 1.0 m	 Loop Ant. 송신: 0.3 m 수신: 0.3 m Bi-conical/Dipole/Horn Ant. 송신: 1.7 m 수신: 0.3 m
송신안테나 위치	시설 외부	시설 외부	시설 외부
단위 시험영역	2.5 m×2.5 m	3.05 m×3.05 m	2.6 m×1.5 m



(a) 차폐룸 A (a) Shielding room A



(b) 차폐룸 B(b) Shielding room B

그림 4. 차폐효과 측정대상 Fig. 4. Measurement target of shielding effectiveness.

차폐문 1개, 도파관 1개, 하니콤 2개의 인입점(Point of Entry: POE)이 있다. 차폐룸 B는 그림 4(b)와 같으며, 내실 과 전실로 구성되어 있다. 내실의 크기는 가로 3.605 m, 세로 5.985 m, 높이 3.002 m이며, 전실의 크기는 가로 1.194 m, 세로 2.409 m, 높이 2.392 m이다. 인입점은 내실 과 전실의 차폐문 각 1개, 도파관 1개, 하니콤 2개가 있으 며, 좌측 벽면에 필터함이 부착되어 있다.

3-1 송신안테나의 각도, 높이, 거리에 따른 차폐효과

본 절에서는 차폐효과 측정을 보다 정확하게 수행하 고, 측정 데이터의 신뢰성을 확보하고자 차폐효과 측정을 위한 실험 세팅 시 발생할 수 있는 안테나의 높이, 거리, 각도를 실험자가 인식할 수 있는 범위 내에서 의도적으 로 변경하여 실험을 수행하였다. 차폐룸 A의 문을 대상



그림 5. 송신안테나의 파라미터 변화 Fig. 5. Parameter change of the transmission antenna.

으로 송수신 안테나 간의 거리를 3.05 m(송신: 2.05 m, 수 신: 1.0 m)로 배치하고, 송신안테나의 기준 각도와 높이, 거리를 각각 0°, 1.5 m, 2.05 m로 설정한 상태에서 그림 5와 같이 각도는 5°, 10°로 변경하고, 높이와 거리는 ±0.1 m씩 변경시켜가며 차폐효과를 측정하였으며, 밴드별 측 정 대역폭 및 사용안테나는 다음과 같다.

- · Band 1 : 10 kHz~20 MHz : Loop Ant.
- · Band 2 : 20 MHz~100 MHz : Bi-conical Ant.
- · Band 3 : 100 MHz~300 MHz : Bi-conical Ant.
- · Band 4 : 300 MHz~1 GHz : Log-periodic Ant.

오차요인에 따른 차폐효과 측정의 정확도에 대하여 식 (2), (3)과 같이 정의되는 표준편차 *s*와 상관계수 *r*을 분 석하였다.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \overline{x})^2}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \overline{x})(y_i - \overline{y})}{\overline{x} - \overline{x} - \overline{x}}$$
(2)

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \overline{x})^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \overline{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (y_i - \overline{y})^2} }$$
(3)

여기서 x, y는 샘플주파수에 대한 차폐효과 값이고, x, y는 각각 x, y의 평균이며, n은 측정대역폭 내의 샘플 주파수 개수이다.

상관계수는 상관관계의 정도를 수량적으로 표시한 것 으로서, 상관계수 r의 값은 -1에서 +1 사이의 값으로 나 타내며, 절대값이 클수록 상관관계가 크고, 0에 가까워질 수록 상관관계가 적어지는 것으로 해석된다. 상관계수가 음의 값을 가질 경우, 두 변수가 서로 다른 방향으로 변화 하는 것으로 X의 값이 증가하면 Y는 감소하고, X의 값 이 감소할수록 Y는 증가한다. 상관계수가 양수일 때는 정적 상관으로 두 변수가 같은 방향으로 변화하고 있다 고 판단한다. 송신안테나의 각도에 따른 차폐효과 측정 데이터를 분석한 결과, 전체 측정대역인 10 kHz~1 GHz 에서 평균 표준 편차는 수평 편파의 경우, 약 0.8~1.2 dB, 수직 편파의 경우는 약 0.9~1.5 dB로 나타났으며, 파형의 유사성을 판단하기 위한 상관계수 역시 그림 6에서 볼 수 있듯이 대부분의 경우에서 0.9 이상으로 높게 나타났다. 이러한 분석 결과는 표 2에서 알 수 있듯이, 송신안테나 의 높이와 거리에 따른 차폐효과 측정 결과에서도 유사 하게 나타났다. 따라서 차폐효과 측정 시 송신안테나의 거리와 높이는 ±0.1 m, 각도는 10° 범위 내에서의 오차는



그림 6. 송신안테나의 각도에 따른 차폐효과(수평 편파) Fig. 6. Shielding effectiveness according to the angle of the transmission antenna(horizontal polarization).

표 2. 송신안테나의 각도, 높이, 거리에 따른 밴드별 평 균 표준 편차

Table	2.	Average	standard	deviation	according	to	the	fre-
		quency b	oand.					

		측정대역	평균 표준 편차 [dB]		
			수평 편파	수직 편파	
	0° 5° 10°	Band 1	0.9856	0.9015	
		Band 2	0.8247	1.5401	
쉬포		Band 3	1.2365	1.3177	
		Band 4	1.0397	1.2481	
	1.4 m 1.5 m 1.6 m	Band 1	0.7529	0.9021	
노이		Band 2	0.6880	1.0640	
표이		Band 3	1.2000	1.1387	
		Band 4	1.2069	1.5894	
거리	1.95 m 2.05 m 2.15 m	Band 1	0.9622	0.8087	
		Band 2	0.6247	0.9641	
		Band 3	1.5827	1.4200	
		Band 4	1.1880	1.6973	

측정데이터의 신뢰성 확보에 별다른 영향을 미치지 않을 것으로 사료된다.

Ⅳ. 차폐효과 측정 및 결과

본 장에서는 기존의 차폐효과 측정 방법과 달리 송신



그림 7. 측정시스템의 동작영역 Fig. 7. Dynamic range of the measurement systems.

안테나를 시설 내부에 배치하고, 수신안테나를 시설 외부 에 배치하여 송·수신 안테나의 배치에 따른 차폐효과를 비교·분석하였다. 송신단에서 방사되는 전자기파의 영 향을 최소화하기 위해 송수신단을 격리시켰으며, 송수신 단과 안테나 연결에 사용된 RF 케이블의 임피던스는 50 요, 차폐특성은 -100 dB이다. 또한 본 논문에서 수행된 차폐효과 측정은 그림 7에서 볼 수 있듯이 대부분의 주파 수 영역에서 동작영역(Dynamic Range: DR)이 MIL-STD-88-125-1 규격에서 제시하는 차폐효과의 합부 판정 기준 보다 20 dB 이상으로 동작영역이 충분히 확보된 환경에 서 차폐효과 측정을 수행하였다.

동작영역은 측정 시스템의 정상 동작 상태에서 모든 시험 주파수와 안테나 편파의 수신량(V_c)을 측정하고, 전 력 증폭기가 꺼진 상태에서 계측기 노이즈 수신량(V_n)을 측정하여 이 두 개의 양으로 식 (4)와 같이 시스템의 동특 성 범위를 구할 수 있다.

$$DR = 20\log\left(\frac{V_c}{V_n}\right) [dB]$$
(4)

그림 8은 차폐룸 A의 문을 대상으로 MIL 규격에서 규 정한 방법으로 차폐효과를 측정한 결과와 규격과는 반대 로 송신안테나를 시설 내부에, 수신안테나를 시설 외부에 배치하여 동일한 거리와 조건 하에서 재시험하여 두 차



그림 8. 차폐룸 A의 문을 대상으로 송수신 안테나의 배 치에 따른 실험구성



폐효과 측정 결과를 비교하기 위한 실험구성이다. 정방향 의 경우, 송신안테나와 송신랙은 차폐룸 외부에, 수신안 테나와 수신랙은 차폐룸 내부에 배치하였으며, 역방향의 경우에는 수신안테나와 수신랙은 차폐룸 외부에, 송신안 테나는 차폐룸 1 내부, 송신랙은 차폐룸 2 내부에 배치하 여 실험을 수행하였다. 10 kHz~1 GHz 대역에서 총 2,364 개의 시험주파수를 측정하였으며, 표 3에 10개의 주파수 를 샘플링하여 차폐효과 값을 나타내었다. 그림 9는 안테 나 배치에 따른 수평·수직 편파에 대한 차폐효과를 비 교한 것으로, Band 1부터 Band 4까지의 주파수 영역에서 평균오차는 수평 편파의 경우 약 2.1~5.6 dB, 수직 편파 의 경우 약 2.7~6.3 dB로 나타났다.

그림 10은 차폐룸 B의 전실 차폐문을 대상으로 송수신 안테나의 위치를 정방향과 역방으로 바꿔가며 차폐효과 를 측정한 것으로, 측정대상인 차폐룸 B의 전실 공간 폭 이 협소하여 안테나를 수평으로 설치할 수가 없는 관계 로 수직 편파에 관해서만 차폐효과 측정을 수행하였다.

정방향의 경우, 송신안테나와 송신랙은 방호 차폐룸 외 부에, 수신안테나는 전실, 수신랙은 차폐룸 내실에 배치 하였다. 역방향의 경우에는 수신안테나와 수신랙은 방호 차폐룸 외부에, 송신안테나는 전실 내부, 송신랙은 전실 내부에 배치하여 실험을 수행하였다. 그림 11에 안테나







배치에 따른 수직 편파의 차폐효과 비교를 나타내었으며, 표 4에 10개의 주파수를 샘플링하여 차폐효과 값을 나타 내었다. 차폐효과 측정 결과, 전체 측정대역인 10 kHz~1 GHz 주파수 영역에서의 평균오차는 자기장 영역인 Band 1에서 약 6.3 dB로 가장 높게 나타났으며, 공진/평면파 영

표 3. 차폐룸 A의 문을 대상으로 송수신 안테나의 배치에 따른 수평/수직 편파에 대한 차폐효과 값

Table 3. Shielding effectiveness according to the antenna arrangement(shielding room A).

	정방향 [dB]		역방향 [dB]			
	수평 편파	수직 편파	수평 편파	수직 편파		
50 kHz	11.35	16.43	17.47	21.27		
100 kHz	25.53	28.80	30.39	33.97		
500 kHz	47.88	53.96	49.59	52.87		
1 MHz	54.55	59.03	54.39	57.09		
5 MHz	65.32	69.77	65.80	68.07		
10 MHz	73.83	71.84	71.97	70.95		
50 MHz	86.42	83.43	88.50	84.24		
100 MHz	54.15	80.85	71.52	65.74		
500 MHz	52.21	55.90	49.08	51.97		
1 GHz	54.37	52.54	51.61	52.74		



- 그림 10. 차폐룸 B의 전실문을 대상으로 송수신 안테나 의 배치에 따른 실험구성
- Fig. 10. Experiment setup according to the antenna arrangement(shielding room B).

역인 Band 2부터 Band 4에서 각각 3.0 dB, 3.2 dB, 2.7 dB 로 나타났다. 송수신 안테나의 배치에 따른 차폐효과를 측정한 결과, 시험주파수 영역 10 kHz~1 GHz에서 전체 적으로 평균 ±4 dB 수준의 차이가 발생하였으며, 주파수 대역별로 분류하면 10 kHz~20 MHz(band 1)에서 평균 ±6 dB, 20 MHz~100 MHz(band 2)에서 평균 ±3 dB, 100~300

- 표 4. 차폐룸 B의 전실문을 대상으로 송수신 안테나의 배치 에 따른 수직 편파에 대한 차폐효과 값
- Table 4. Shielding effectiveness according to the antenna arrangement(shielding room B).

	정방향 [dB]		역방향 [dB]		
	수평 편파	수직 편파	수평 편파	수직 편파	
50 kHz	-	12.74	-	22.89	
100 kHz	100 kHz - 22.14		-	35.98	
500 kHz	500 kHz - 52.64		-	57.00	
1 MHz	-	58.28	-	59.89	
5 MHz	-	64.48	-	68.60	
10 MHz	-	62.05	-	56.62	
50 MHz	-	81.36	-	79.03	
100 MHz	-	77.07	-	76.52	
500 MHz	-	48.36	-	43.12	
1 GHz	-	45.04	-	42.07	



그림 11. 차폐효과 비교(차폐룸 B)

Fig. 11. Comparison of the shielding effectiveness(shielding room B).

MHz(band 3)에서 평균 ±6 dB, 300 MHz~1 GHz(band 4) 에서 평균 ±4 dB 수준의 차이가 나타났다.

V. 실험결과 검토

송신안테나를 방호시설 내부에 배치할 경우, 이에 따 른 공진현상의 영향에 의해 차폐효과 특성에 변화가 발

표 5. 차폐효과 측정대상의 공진주파수 Table 5. Resonance frequency of the measuring target shielding effectiveness.

	a[m]	<i>b</i> [m]	공진주파수[MHz]
차폐룸 A	2.9	3.9	64.456
차폐룸 B	2.409	2.392	88.371

생된다. 식 (5)는 최저 공진주파수를 계산하기 위한 식으 로 a와 b는 함체에서 가장 긴 두 변의 길이를 의미하며, 차폐효과 측정대상인 차폐룸 A와 차폐룸 B의 공진주파 수를 표 5에 나타내었다.

$$f_r = 150 \sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}} \text{ MHz}$$
 (5)

그림 9와 그림 11의 차폐효과 비교에서 볼 수 있듯이 송신안테나를 방호시설 내부에 배치할 경우, 공진현상에 의해 시설 내부에 전계가 크게 형성되기 때문에, 공진주 파수에서 정방향에 비해 약 2~10 dB 정도 차폐효과 값 이 낮아짐을 확인할 수 있으며, 자기장 영역에 비해 공진 영역에서 차폐효과 특성이 매우 심하게 변화하는 것을 알 수 있다. 또한, 표 6의 송수신 안테나의 배치에 따른 파형의 유사성 비교를 위한 상관계수에서도 전체 측정대 역인 10 kHz~1 GHz 주파수 영역에서의 상관계수가 0.96 이상으로 높은 반면에, 공진주파수 영역인 Band 2(20 MHz 100 MHz)에서는 약 0.6~0.8대로 낮아지는 것을 알 수 있 다. 그림 9(a)와 그림 11의 안테나 위치에 따른 차폐효 과 비교 그래프의 경우, 자기장 영역인 10~20 kHz 대역 에서 차폐효과가 0보다 작게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 본 논문에서 수행된 차폐효과 측정대상의 차폐 효

- 표 6. 송수신 안테나의 배치에 따른 파형의 유사성 비교 를 위한 상관계수
- Table 6. Correlation coefficient according to the frequency band.

	차폐	차폐룸 B	
	수평 편파	수직 편파	수직 편파
	[dB]	[dB]	[dB]
Full-band	0.96457	0.97097	0.9769
Band 2	0.84422	0.61243	0.7168

표 7. 챔버 크기에 따른 수신 전계강도[V/m]

Table 7. Receiving electric field strength according to the chamber size.

	5 m×5 m×5 m	7 m×7 m×7 m	9 m×9 m×9 m
600 MHz	1.07×10^{-3}	1.06×10^{-3}	2.31×10^{-4}
700 MHz	2.18×10^{-3}	2.02×10^{-3}	2.78×10^{-4}
800 MHz	1.79×10^{-3}	7.83×10^{-4}	2.96×10^{-4}
900 MHz	2.74×10^{-3}	2.27×10^{-3}	3.14×10^{-4}
1 GHz	3.51×10 ⁻³	8.02×10^{-4}	4.13×10^{-4}

과 성능이 해당 주파수 대역에서 매우 낮아, 차폐룸 내부 의 전계가 오히려 자유공간에서의 전계보다 더 큰 값을 가짐으로써 측정값이 교정값보다 높게 나타나는 현상이 발생하여, 그림에서와 같이 차폐효과 값이 0보다 작은 음 수의 차폐효과가 나타난 것으로 사료된다.

본 논문에서는 송수신 안테나의 배치에 따른 차폐효과 특성을 분석하기 위해 두 개의 차폐룸을 대상으로 실제 차폐효과 측정을 수행하였으며, 추가적으로 시뮬레이션 을 통해 물리적 크기가 다른 챔버를 설계하여 송신안테 나를 시설 내부에 배치하였을 경우에 따른 수신 전계강 도를 분석하였다. 시뮬레이션에서는 한 변의 길이가 각각 5 m, 7 m, 9 m인 정육면체 챔버를 대상으로 측정 주파수 대역은 실제 실험과 동일한 10 kHz~1 GHz로 설정한 후, 400 mm×10 mm 크기의 slot을 적용하였다. 시뮬레이션 결 과, 저주파 영역에서는 챔버 크기에 따른 수신 전계강도 가 큰 차이를 보이지 않았다. 하지만 표 7에서 볼 수 있듯 이, 주파수가 높아짐에 따라 챔버의 크기가 커질수록 시 설 내 난반사의 영향이 감소되어, 수신 전계강도가 작아 지는 것을 알 수 있다.

Ⅵ.결 론

본 논문에서는 EMP 방호시설의 차폐효과 측정 시 송 신안테나를 시설 내부에 배치하고, 상대적으로 이격거리 가 짧은 수신안테나를 시설 외부에 배치하여 전자파의 차폐효과를 측정할 수 있는 시험방법을 찾기 위해 다양 한 시험을 수행하였다. 그 결과, 시험기기의 배치방법에 있어 송신장비 및 이와 연결되는 송신용 RF 케이블, 전원 케이블 등 송신측과 수신측의 장비들이 차폐된 서로 다 른 공간에 각각 명확히 분리 배치되어야 한다는 사실을 확인하였다. 또한, 송신안테나를 EMP 방호시설 내부에 배치하여 차폐효과를 측정한 결과, 외부에 배치했을 때보 다 시험주파수 영역 10 kHz~1 GHz에서 전체적으로 평 균 ±4 dB 수준의 차이가 발생하는 것을 확인하였다. 본 논문의 차폐효과 측정 결과는 송수신 안테나의 배치에 따른 오차 발생 원인을 분석하고, 차폐효과 측정값의 차 이를 감소시키기 위한 연구에 활용될 뿐만 아니라, 향후 방호시설과 외부 콘크리트 구조물 사이에 충분한 공간을 확보하지 못하는 경우에서도 차폐효과 측정이 가능한 시 험방안 도출에 필요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사 료된다.

References

- IEC-61000-1-3, "Electromagnetic compatibility(EMC) -Part 1-3: General - The effects of high-altitude EMP (HEMP) on civil equipment and systems", Jun. 2002.
- [2] 최은하, "고출력 마이크로파의 발진장치 및 전자기 펄 스탄 개발동향", 전력전자학회지, 9(1), pp. 20-25, 2004

년 2월.

- [3] MIL-STD-188-125-1, "High-altitude electromagnetic pulse(HEMP) protection for ground-based C41 facilities performing critical, time-urgent missions part 1 fixed facilities", Apr. 2005.
- [4] IEEE-STD-299, "IEEE standard method for measuring the effectiveness of electromagnetic shielding enclosures", Feb. 2007.
- [5] IEC-61000-4-23, "Electromagnetic compatibility (EMC) -Part 4-23: Testing and measurement techniques test methods for protective devices for HEMP and other radiated disturbances", Oct. 2000.
- [6] 현세영, 이경원, 김민석, 육종관, "철근 콘크리트에 의 한 전자기파 차폐효과 모델링", 한국전자파학회논문 지, 23(3), pp. 384-391, 2012년 3월.
- [7] 강희도, 오일영, 김정호, 육종관, "다층 지하 구조물로 의 고고도 전자기파(HEMP) 커플링 현상에 대한 전자 기적 모델링", 한국전자파학회논문지, 23(3), pp. 392-401, 2012년 3월.

서 만 중



2007년 8월: 숭실대학교 정보통신공학과 (공학석사)

- 2011년 8월: 숭실대학교 정보통신공학과 (공학박사)
- 2011년 11월~2012년 4월: 숭실대학교 첨 단 IT 융합정보기술연구소

2012년 7월~현재: 한국화학융합시험연구

```
원 EMP평가팀 선임연구원
```

[주 관심분야] 비선형 신호처리, 통신시스템, EMC/EMP

지 성 원



1997년 2월: 부산대학교 전기공학과 (공학 사)

1999년 2월: 부산대학교 전기공학과 (공학 석사)

2000년 2월~2008년 1월: LG전자연구소 선임연구원

■ 2008년 2월~현재: 한국화학융합시험연구 서이여그의

원 EMP평가팀 선임연구원

[주 관심분야] 고정형/이동형 EMP 방호시설, 전자파 차폐실/차 폐함체, EMP/EMI 필터, EMP 차폐랙, IEMI, EMC 등 THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE, vol. 25, no. 5, May 2014.

김 영 진



2011년 2월: 고려대학교 전자 및 정보공학 과 (공학사)

2011년 1월~2011년 9월: 한국기계전기전 자시험연구원 성능평가팀 2011년 10월~2012년 4월: HCT EMC RF

팀

2012년 5월~현재: 한국화학융합시험연구

원 EMP평가팀 연구원 [주 관심분야] EMC/EMP





2013년 2월: 인하대학교 전기공학과 (공학 사)

2013년 3월~현재: 인하대학교 전기공학 과 석사과정 [주 관심분야] EMC/EMI, Pulse Generator,

RF 시스템 및 부품

박 우 철



1987년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공 학사)

1992년 2월: 고려대학교 전자통신학과 (공 학석사)

2011년 2월: 아주대학교 컴퓨터공학과 (공 학박사)

1986년 12월~1994년 2월: Litton 연구소

1994년 3월~1996년 8월: AirTouch 연구소 1996년 8월~2005년 12월: AirMedia 연구소장 2006년 4월~2011년 4월: 방위사업청 위성통신팀장 (서기관) 2011년 7월~현재: 한국화학융합시험연구원 EMP평가팀 팀장

[주 관심분야] 위성통신, 무선이동통신, EMP

허 창 수



사) 1983년 2월: 인하대학교 전기공학과 (공학 석사) 1987년 2월: 인하대학교 전기공학과 (공학 박사)

1993년 2월~현재: 인하대학교 전기공학

과 교수 [주 관심분야] EMC/EMI, RF 시스템, Relay, 신재생에너지 등