## 금속 함체내부로 입사되는 고출력 전자기 펄스에 대한 전자회로의 민감성 분석

# The Susceptibility of Electronic Circuits inside the Cavity by HPEM(High Power Electromagnetics) Environment

황 선 묵<sup>†</sup> ·권 해 옥<sup>\*</sup>·허 창 수<sup>\*\*</sup>·최 진 수<sup>\*\*\*</sup> (Sunl-Mook Hwang · Hae-Ok Kwon · Chang-Su Huh · Jin-Soo Choi)

Abstract - Modern electronic circuits are of importance for the function of communication, traffic systems and security systems. An intentional threat to these systems could be of big casualties and economic disasters. This study has examined susceptibility of electronic circuits inside the cavity by HPEM(High Power Electromagnetics). The UWB measurements were done at an anechoic chamber using a RADAN voltage source, which can generate a transient impulse of about 200 kV. The HPEM wave penetrated inside the metal case appeared to the long damped ringwave of pulse length compared with the incident wave. In addition, the resonant frequency generated inside the metal case occurred primarily in the range of 1~3 GHz. The frequency band of 1~3 GHz was influenced on the electronic circuit, which was confirmed by an external antenna and an internal absorber. The electronic circuit was influenced by HPEM infiltrated into the cavity at the 86 kV/m out of the metal cases. Also in case of an absorber the susceptibility of an electronic circuit was smallest among other cases(aperture, antenna). It is considered that absorber has a function absorbing electromagnetic wave infiltrated into the cavity and simultaneously limiting resonance by varying a boundary condition inside the cavity. Based on the results, electronic equipment systems could be applied to protection that has suited system requirements.

Key Words: HPEM(High Power Electromagnetics), Susceptibility, UWB(Ultra wideband), RADAN

#### 1. 서 론

대부분의 전자장비는 IC가 고집적화 되고, 구동 클럭 주파수가 상승해감에 따라 전자장비 자체에서 방산되는 열을해소하기 위해 통풍시스템이 필요하다. 이때 일반적으로 사용되는 통풍구는 외부에서 전자기파를 침투할 수 있는 침투경로가 될 수 있다[1].

전자장비가 외부에서 발생한 고출력 전자기 펄스에 의해 직접적으로 피해를 받는 경우는 거의 없다. 고출력 전자기 펄스의 방사성 노이즈는 반드시 금속함체에 존재하는 개구에 의해 일부 스펙트럼 성분이 차단되고 개구를 통과한 스펙트럼 성분 중 일부만이 금속 케이스의 공진주파수에 해당하기 때문이다. 따라서 실제 전자장비, 즉 전자회로에 직접적인 영향을 주는 에너지는 입사되는 외부 고출력 전자기파의 전체 에너지보다 적다[2].

개구에 의해 차단되는 스펙트럼 성분은 개구의 형상에 의해 결정된다. 개구에 대한 해석은 등가 전기/자기 다이폴로써 가능한테 이러한 전자기 모멘트는 개구의 형상 및 크기

- \* Hanwha Corporation
- \*\* Inha University
- \*\*\* Agency for Defense Development
- † Corresponding Author: Hanwha Corporation

E-mail: smhwang@hanwha.co.kr

Received: August 21, 2012; Accepted: October 26, 2012

에 따라 결정된다[3-7]. 개구의 크기가 작을수록 차단주파수 가 높기 때문에 저주파영역은 차단하고 고주파 영역만을 통 과시킬 수 있다. 반대로 개구의 크기가 클수록 차단주파수 가 낮기 때문에 개구의 크기에 의존하여 고주파 영역은 물 론 저주파수의 전자기파까지 통과시킬 수 있다. 또한 개구 의 형상에 따라 전자기파의 침투량이 달라진다. 개구의 형 상의 경우, 동일한 최대 길이를 갖는다 해도 사각형보다는 원의 면적이 적으므로 전자기파의 침투량은 달라질 수 있다 [8]. 따라서 외부에서 발생하는 고출력 전자기파에 대해 개 구의 크기 및 형상을 적절히 설계하여 외부에서 금속 케이 스 내부로 침투하는 전자기파를 획기적으로 감소시킬 수 있 다. 또한 외부에 적절한 안테나를 부착하면 전자기파를 유 도하여 금속 케이스 내부로 침투하는 양을 줄일 수 있다. 일종의 피뢰침 역할을 하는 이러한 안테나는 외부로부터 발 생한 전자기파의 주파수 스펙트럼 중 안테나의 작동주파수 에 해당하는 주파수의 전자기파 스펙트럼 성분을 일부 걸러 낼 수 있다. 따라서 내부 전자부품 및 장치에 대해 취약한 주파수 성분을 고려하여 외부에 적절한 유도용 안테나를 설 계하여 부착하면 내부로 침투하는 전자기파를 감소시켜 전 자장비를 보호할 수 있다.

외부에서 발생한 고출력 전자기파 중 일부가 개구를 통과하여 금속 케이스 내부로 침투했을 경우, 침투된 일부 주파수 대역의 전자기파는 금속 케이스 내부에서 공진을 일으킨다. 금속 케이스는 공진기(cavity)이며 케이스의 형상에 의존하여 공진주파수를 갖는다[9]. 만일 개구를 통과한 전자기

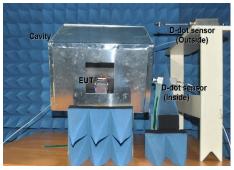
파의 주파수 대역 중 일부가 금속 케이스의 공진주파수와 같다면 금속 케이스 내부에 전자기파의 공진이 일어나고 Hot spot이 발생되어 전자부품 및 장치가 전자기파에 타격을 입을 수 있다. 이때 금속 케이스 내부에 전자기파 흡수 재료를 도포하면 전자기파 흡수 재료는 침투한 전자기파의 흡수는 물론 금속 케이스 내부의 전자기장에 대한 경계조건을 변화시킴으로써 공진을 차단하는 역할을 한다[10]. 따라서 금속케이스 내부에 개구의 침투 주파수 대역 및 금속 케이스의 공진 주파수 대역, 내부 전자부품 및 장치에 주요한 피해를 미치는 주파수 대역을 고려하여 금속 케이스 내부에 적절한 전자기파 흡수 재료를 사용하면 피해를 줄이는 보호설계가 가능하다[11]. 본 실험에서는 개구의 형상, 외부 전자기파 유도용 안테나 부착 여부, 흡수체 설치 여부에 따른 전자장비의 고출력 전자기파에 대한 피해를 분석 및 비교하였다.

#### 2. 본 론

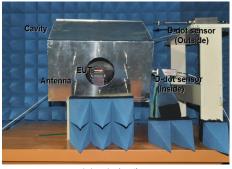
#### 2.1 실험방법

개구는 정사각형과 원으로 제작하였고, 동일한 금속 케이 스에 부착하여 실험하였다. 외부에서 인가되는 고출력 전자 기파의 편파방향에 대해 정사각형의 개구와 원의 직경은 동 일한 7.25 cm로 설정하였다. 개구는 등가 다이폴 안테나로 대체되어 해석될 수 있는데, 실험에서 사용된 고출력 전자기 파 발생장치 RADAN의 주파수 스펙트럼은 1 GHz에서 Peak 에너지를 갖기 때문에 1 GHz를 침투 기준 주파수로 설정하여 개구를 설계하였다. 7.25 cm는 1 GHz의 파장의 1/4의 길이이다. 금속 케이스는 알루미늄으로 제작되었으며 개구를 제외한 틈이나 균열을 모두 차단하였다. 전도도가 무한대인 이상적인 도체에서는 표피효과와 전자기파의 침투 깊이도 없지만 현실적으로 표피효과와 침투깊이에 의한 금 속표면으로의 전자기파 확산을 고려하여 알루미늄 케이스의 두께를 3 mm로 설계하였다. 알루미늄 상자는 가로 50 cm, 세로 40 cm, 높이 30 cm이며 개구는 50 cm×30 cm인 면에 생성하였다. 개구가 생성된 면은 탈부착이 가능하도록 설계 되어 개구의 교체가 가능하다. 고출력 전자기파가 개구에 정면으로 침투하는 경우보다는 다양한 tilt각을 가지며 입사 되는 경우가 더 많으므로 금속 케이스는 그림 1과 같이 대 지면으로부터 45°의 경사를 주어 전자기파의 침투를 모의하 였다.

내부에 설치된 전자회로는 ATMEGA AT89C51을 이용한 디지털시계 회로이며 클럭은 12 MHz를 사용하고 9 VDC 배터리로 구동한다. 회로에는 제어 및 프로그래밍을 위한 AT89C51, 정류기, 시계 회로에 사용되는 DS1307 칩셋 그리고 숫자 표시용 LED가 포함되어 있다. 스위치를 부착하여시/분의 설정이 가능하도록 제작되었다. 실험에서는 그림 2와 같이 고출력 전자기파 발생장치로 러시아에서 개발된 RADAN을 사용하였으며 그림 3(a)는 RADAN이 생성하는 광대역 고출력 전자기파의 파형을 정규화(normalizing)하여나타내었으며 그림 3(b)는 그것의 주파수 스펙트럼을 나타냈다. RADAN의 주파수 스펙트럼은 Marx Generator의 임 필스성 광대역 고출력 전자기파와 다르게 저주파 성분보다실제로 인간이 사용하는 전자장비에 큰 타격을 미칠 수 있



(a) 사각형 개구



(b) 원형 개구

그림 1 전자장비 모의용 피시험체로 사용된 금속 케이스 Fig. 1 The metal case used for EUT in the experiment.

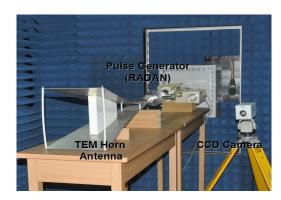


그림 2 실험에서 사용된 고출력 전자기파 발생장치 RADAN Fig. 2 RADAN HPEM source used for the experiment

는 고주파 성분에 에너지가 집중되어 있다[12].

전자기파 유도용 안테나는 개구 주변으로 8개를 설치하였으며 안테나의 각도는 그림 4와 같이 금속 케이스와 같은 이유로 입사되는 고출력 전자기파의 편파에 대해 45°의 경사를 주었다. 안테나의 구동 주파수는 RADAN 주파수 스펙트럼 상의 peak 주파수인 1 GHz로 설계하였으며 총 16개의 안테나는 HP8510 Network Analyzer를 사용하여 구동주파수를 확인하였다. 금속 케이스 내부로 첨투한 전자기파의 공진을 차단하도록 전자기파 흡수체를 금속 케이스 내벽 전면에 부착하였다. 사용된 전자기파 흡수체의 사용주파수는 10 MHz ~ 3 GHz이며 RADAN에서 생성하는 고출력 전자기파의 대부분의 주파수 영역을 흡수할 수 있다. 전자기파흡수체의 두께는 1 mm이며 표면저항은 1×105  $\Omega$ 이다.

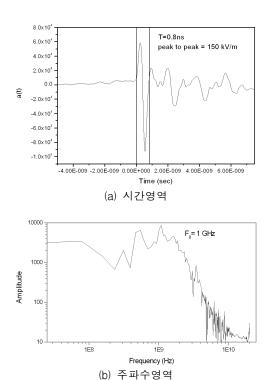


그림 3 광대역 고출력 전자기파의 시간 영역과 주파수 영역 Fig. 3 The time domain and frequency domain of the HPEM

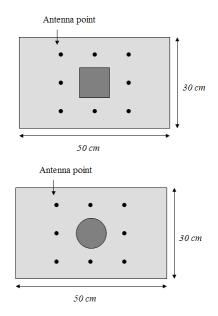


그림 4 실험에 사용된 안테나의 설치 Fig. 4 Setting of protecting Antenna

본 실험은 전파파 흡수체가 부착된 전자기파 무반사실 (Electromagnetic Anechoic Chamber)에서 실시되었으며 모든 계측장비는 전자기파 무반사실 외부에 설치되어 고출력 전자기파의 영향으로부터 격리하였다. RADAN역시 연장선을 사용하여 리모컨을 무반사실 외부에 설치하였다. RADAN으로부터 생성된 초광대역 고출력 전자기파를 측정하기 위해서 광대역 전자기파 측정용 D-Dot 센서가 2기 사용되었다.

D-Dot 센서 1기는 금속 케이스 외부에 위치하여 RADAN 으로부터 생성되어 금속 케이스로 인가되는 고출력 전자기 파의 파형을 측정하고 다른 1기는 금속 케이스 내부에 설치 하여 개구를 통과하여 금속 케이스 내부에 공진을 일으키는 고출력 전자기파 파형을 측정하였다. 측정된 신호는 저 손 실 RG-402/U 동축케이블을 사용하여 외부 계측기로 연결되 었다. D-Dot 센서로부터 생성된 신호는 원래 신호의 미분된 신호이며 동축선로를 통과하며 손실이 발생한다. 이를 처리 하기 위해 외부 계측기와 PC를 연동하고 LABVIEW를 사 용하여 자동으로 데이터를 가공하고 처리/저장하도록 하였 다. 금속 케이스 내부에 설치된 디지털시계 회로의 이상 작 동 유무는 LED의 상태로써 판별하며 LED를 관찰하기 위해 전자기파 무반사실 내부에 CCD 카메라를 설치하였다. CCD 카메라는 Zoom-In이 가능하며 배터리로 구동하고 금속 케 이스로 완벽히 차폐되어 전자기파로부터 영향 받지 않도록 구성하였다. 카메라는 광케이블을 사용하여 전자기파 무반 사실 외부에 설치된 광컨버터와 모니터에 연결하였다. 디지 털 시계회로의 오동작 판별은 LED의 이상유무로 확인하였 으며 오동작 확률 (MFR : Malfunction Failure Rate)로써 정량화 하였다[13, 14]. 오동작이 발생할 경우 전원을 차단하 고 다시 재연결하여 회로의 구동을 초기화하여 원상복구 한 후 실험을 재개하였다. 확률 데이터를 얻기 위해 10회의 실 험을 실시하였으며 10회의 실험대비 오동작 및 파괴 비율을 얻었다. 각 실험에 대한 피 시험체의 상태는 총 6가지이며 표 1과 같다.

**표** 1 각 실험의 구성

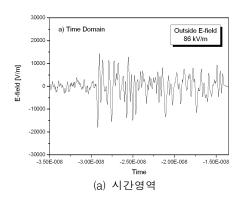
Table 1 Settings of each experiments

	Square	Circle
None	① Square Aperture	② Circle Aperture
Protecting	3 Square Aperture 4 Circle Aperture	
Antenna	+Antenna +Antenna	
Absorber	⑤ Square Aperture	Circle Aperture
	+Absorber	+Absorber

개구 및 안테나, 흡수체에 따른 금속 케이스 내부로의 전자기파 침투 효율을 얻기 위해 2기의 D-Dot 센서가 사용되었으며 peak to peak 크기를 취하여 외부에서의 측정 파형대비 내부에서의 측정 파형의 비율을 얻었다. 각각의 구성에서 총 10회의 실험을 실시하였고 각 실험 데이터의 평균치로써 침투효율 및 MFR(Malfunction Failure Rate)을 얻었다.

#### 2.2 실험결과 및 고찰

그림 5는 사각형형 개구 금속 케이스 내부에서 고출력 전자기파의 시간 영역과 주파수 영역을 나타냈다. 인가된 외부의 고출력 전자기파 파형은 한주기 sine파형인 반면 내부에 측정된 전계강도 파형은 특정 주파수 성분을 갖고, 원래파형에 비해 그 크기 약 60% 이상 감소된 Ringwave 형태로 측정되었다. 이 특정 주파수 성분은 그림 5에서 확인 할수 있었다. 이렇게 금속 케이스 내부로 침투하는 고출력 전자기파의 주파수 성분은 외부에서 방사된 고출력 전자기파



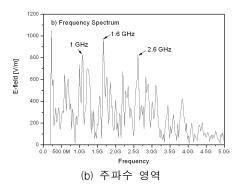


그림 5 사각형 개구 금속 케이스 내부에서 고출력 전자기 파의 시간 영역과 주파수 영역

Fig. 5 The time domain and frequency domain of HPEM at center of the square aperture metal case

의 주파수 성분, 개구의 침투 주파수 성분, 금속 케이스의 공 진 주파수 성분의 최종 결과로 나타난 것으로 사료된다[5].

그림 6은 각각의 실험 구성에 대한 고출력 전자기파의 침 투 효율을 나타냈다. 또한 실제적인 데이터 수치는 표 2에 나타내었다. 외부에서 총 10회 RADAN으로 광대역 고출력 전자기파를 방사하고, 각 상황에 대해 평균값을 얻었다. 이 모든 실험은 RADAN의 방사조건을 동일하게 설정하였으며 외부에서 측정된 RADAN의 광대역 고출력 전자기파의 전 계강도값(peak to peak)은 약 86 kV/m이다. 그림 6에서 알 수 있듯이 사각형 개구에 비해 원 개구를 침투하는 고출력 전자기파가 적은 것을 알 수 있다. 같은 직경을 가지고 있 지만 개구의 면적은 사각형이 더 넓으므로 개구를 침투하는 고출력 전자기파 노이즈의 양은 사각형이 더 크다. 안테나 부착의 경우, 사각형 및 원형 개구 침투 효율은 각각 36%, 30%로 나타냈다. 안테나 부착 전과 비교해보면 침투효율이 감쇄되었다. 이는 안테나 부착으로 개구로 침투하는 전자기 파 에너지 중 일부를 안테나로 유도하여 개구로 침투되지 못하도록 하는 역할을 하기 때문으로 생각된다. 그리고 이 사각형 개구의 침투효율이 더 높은 것은 앞서 언급한 대로 사각형 개구 자체가 원형 개구보다 전자기파를 더 많이 침 투하는 형상이기 때문이다. 마지막으로 흡수체를 부착한 경 우, 사각형 개구와 원형 개구 모두 큰 감쇄 효과를 확인할 수 있으며 사각형 개구와 원형 개구간의 차이는 거의 없었 다. 이는 흡수체로 인한 금속 케이스 내부의 공진차단과 침 투된 고출력 전자기파 흡수효과로 생각된다.

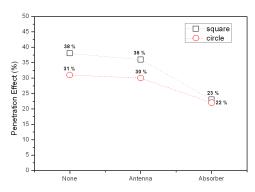


그림 6 외부 고출력 전자기파에 대한 금속 케이스 내부로의 침투 효율

Fig. 6 Penetration Effectiveness of the metal case according to incident external HPEM

표 2 각 구성에 따른 데이터의 평균 Table 2 Average data of each settings

Setting		E-Field	E-Field
		in Metal Case	out of Metal Case
None	Square	35.2 kV/m	
	Circle	26.8 kV/m	
Protecting Antenna	Square	30.0 kV/m	- 86 kV/m
	Circle	25.7 kV/m	
Absorber	Square	20.9 kV/m	
	Circle	19.8 kV/m	

금속 케이스 내부의 공진 주파수는 전자부품 및 회로의 커플링 주파수에 의해서 주요 반도체 전자회로에 타격을 주 어 오동작 및 파괴를 일으킨다. 그림 7에서는 각 금속 케이 스 상태에 대해 발생하는 내부 디지털시계 회로의 오동작 확률을 MFR 지표로써 나타내었다. 또한 실제적인 데이터 수치는 표 3에 나타내었다. 금속 케이스 상태는 금속 케이 스 내부의 공진 주파수를 차단하거나 흡수는 방법으로 안테 나와 흡수체를 사용하였다. 총 10회 실험을 실시하였고 10 회 중 발생한 오동작 횟수를 얻었다. 오동작은 다양하게 발 생했는데 오동작의 상태는 표 3에 나타내었고, 외부에서 강 제로 전원을 재시작 해주어야 원상복구 되었다. 오동작은 발생되었으나 영구적으로 파괴되는 IC는 일어나지 않았다. 그림 7에서 알 수 있듯이 사각형과 원형 개구의 MFR은 각 각 80%, 60%로 사각형 개부에 비해 원형 개구의 MFR이 더 작은 것을 확인할 수 있었다. 그리고 안테나를 부착하였 을 경우, 사각형 및 원형 개구의 MFR은 안테나 부착 전에 비해 각각 30%, 20%씩 감소하였다 마지막으로 전자기파 흡 수체를 부착하였을 때, 사각형 및 원형 개부의 MFR은 10%, 0%로 나타내었다. 앞서 말한 대로 전자기파 흡수체의 경우, 개구 형상에 따른 침투 제한, 안테나로 인한 전자기파 유도 보다 전계강도의 세기가 작은 것을 알 수 있었다. 이는 내 부의 금속 케이스에서 발생하는 공진 주파수 및 전자기파 흡 수효과에 의해서 회로의 MFR이 감소하는 것으로 사료된다.

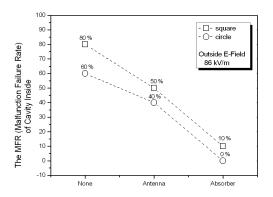


그림 7 금속 케이스 상태에 따른 디지털 시계회로의 오동작 확률

Fig. 7 MFR of Digital clock circuit according to each metal case settings

**표** 3 오동작 상태

Table 3 states of malfunctions

오동작 상태		
- LED 모두 소등		
- 시간이 계속 증가		
- 분이 계속 증가		
- 시간/분이 계속 증가		
- 11:11 상태로 고정		
- 시간의 멈춤		
- 인식할 수 없는 표시로 멈춰버림		

그림 8은 금속 케이스 상태의 변화에 따른 금속 케이스 내부의 주파수 특성을 알아본 그림이다. 그림에서 알 수 있 듯이 안테나와 흡수체인 경우 약 1 GHz  $\sim$  3 GHz 대역의 주파수가 감소되는 것을 알 수 있다. 이러한 변화로 디지털 시계회로의 오동작이 감소되었고, 그 대역의 주파수 성분이 디지털 시계회로의 민감성 주파수인 것을 확인할 수 있었다. 디지털 시계회로의 PCB 기판을 알아보면 세로는 8 cm 이고, 가로는 6 cm 이다. 그리고 PCB 기판의 선로는 약 1  $\sim$  7 cm 길이를 갖고 있어,  $(\lambda/4)$ 의 공진 주파수는 약 1 GHz  $\sim$  10 GHz 정도이다. 그러므로 금속 케이스 내부에서 발생되는 주파수를 알아보므로서 금속 케이스 안에 있는 전자회로들의 피해 효과를 거시적으로 예측할 수 있다.

금속 케이스 내부에서 발생된 전자기파는 원래 RADAN에서 방출하는 고출력 전자기파가 아니라 많은 주파수 대역이 사라지고 여러 개의 주파수 성분만을 갖는 Ringwave로써 나타난다. 고출력 전자기파파가 발생되어 전자장비 내부로 침투할 때 반드시 개구에서 일부 주파수 성분만이 통과를 하게 되고 일부는 차단된다. 통과된 주파수 성분 중 일부는 금속 케이스 내부에서 공진하게 되고 최종적으로 전자회로에 침투하게 된다. 만일 공진한 주파수 대역이 전자회로가 큰 영향을 받는 주파수 성분이라면 전자회로는 큰 피해를 입을 것이다. 만일 이러한 침투 메커니즘 중 연결단계를 알 수 있다면 전자회로의 피해효과를 예측할 수 있다.

최종적으로 타격을 받는 것은 중요 전자 회로 및 전자 부품인데, 이러한 중요 부품들이 타격을 받는 주파수 대역이 최종적으로 전자 회로 및 부품으로 침투하는 것을 파악하여그 피해효과를 예측할 수 있다. 그리고 더 나아가, 어쩔 수없이 존재하는 개구의 금속 케이스의 공진은 전자장비의 성능 및 기능구현에서 피할 수 없는 부분이기 때문에 그 피해효과를 예측한다면 고출력 전자기파로부터 전자 장비를 보호할 수 있을 것으로 사료된다.

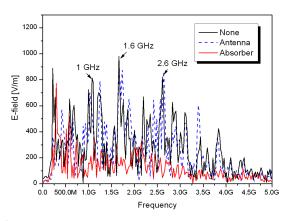


그림 8 금속 케이스 상태에 따른 내부의 공진 주파수

Fig. 8 Inside resonance frequency according to each metal case settings

#### 3. 결 론

본 연구는 금속 함체내부로 입사되는 고출력 전자기파에 대한 전자회로의 민감성을 분석하였다. 고출력 전자기파의 파형은 한주기 sine파형인 반면 금속 케이스 내부에 측정된 전계강도 파형은 특정 주파수 성분을 갖고, 원래 파형에 비 해 그 크기 약 60% 이상 감소된 Ringwave으로 나타났다. 이렇게 금속 케이스 내부로 침투하는 고출력 전자기파의 주 파수 성분은 외부에서 방사된 고출력 전자기파의 주파수 성 분, 개구의 침투 주파수 성분, 금속 케이스의 공진 주파수 성분의 최종 결과로 나타난 것으로 생각된다. 개구를 갖는 금속 케이스 내부에 디지털 시계회로의 오동작은 다양하게 발생하였고, 개구에서의 MFR은 80%(사각), 60%(원)인 반면 안테나를 부착하였을 경우 50%(사각), 40%(원)로 오동작 영 향이 작아졌으며, 그리고 흡수체를 부착하였을 때 10%(사 각), 0%(원)로 더 작아졌다. 이는 금속 케이스 내부로 침투 하는 고출력 전자기파 유도 및 금속 케이스의 전자기파 흡 수효과에 의해서 디지털 시계회로에 영향을 준 것으로 사료 된다.

이 결과는 고출력 전자기파 환경에서 반도체 소자의 피해 효과를 보다 정량화 시킬 수 있고, 다양한 고출력 전자기파에 의한 반도체 소자 수준에서의 내성 평가 시험으로 활용할 수 있는 기초 자료가 될 것으로 판단된다. 또한 반도체 소자의 피해 분석 및 고장 진단과 같은 기초 자료로 사용 할 수 있으며, 고출력 전자기파와 같은 전자기 환경에서 반도체 소자의 피해를 예측하고, 보호기술 방안 자료에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

#### References

- [1] F. M. Tesche, C. M. Butler, "On the addition of EM field Propagation and Coupling effects in the BLT equation", Interaction Notes588, June2004.
- [2] Constantine. A. Balanis, Atenna Theory: analysis and design, 1996.
- [3] R. E. Collin, Field Theory of Guided Wave, McGraw-Hill, New York, 2004.
- [4] C. G. Montgomery, et. al., "Principles of Microwave Circuits, McGraw-Hill, New Yorkm 1948, p.178.
- [5] F. De Muelenaere, et. al., "Polarizability of some small apertures", AP-25m No. 2, March 1977, pp.198-205.
- [6] S. B. Cohn, "The Electric Polarizability of aperture of arbitary shape", Proc. IRE, Vol. 40, September 1952m pp.1069–1071.
- [7] G. L. Matthaei, et. al. "Microwave Filters, Impedance Matching Networks, and Coupling Structures, McGraw-Hill, New York, 1964, pp.2333–235
- [8] R. W. Latham, "Small holes in cable shields," Interaction Note 118, September. 1972.
- [9] Chen-To Tai, Dyadic Green Functions in Electromagnetic Theory, Newyork, IEEE Press, 1993.
- [10] IT벤처기업연합회, 전자기파 흡수체 기술 및 시장 분석, 서울, IT벤처기업연합회, 2006.
- [11] William A. Radasky, et. al.,"Introduction to the Special Issue on High-Power Electromagnetics (HPEM) and Intentional Electromagnetic Interference (IEMI)", IEEE Trans. Electromagn. Compat, vol. 46, no.3, pp.314 321, Aug. 2004.
- [12] Gennady A. Mesyats, Sergei D. Korovin, Vladislav V. Rostov, Valery G. Shpak, Michael I. Yalandin, "The RADAN Series of Compact Pulsed Power Generators and Their Applications", PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 92, NO. 7, JULY 2004.
- [13] S. M. Hwang, J. I. Hong, and C. S. Huh, "Characterization of The Susceptibility of Integrated Circuits with Induction caused by High Power Microwaves, Progress In Electromagnetics Research, PIER, Vol. 81, 61 - 72, 2008
- [14] Hwang S.M, Hong J.I, Han S.M, Huh C.S, Choi J.S, "Susceptibility and Coupled Waveform of Microcontroller Device by Impact of UWB-HPEM", Journal of Electromagnetic Waves and Applications, Vol. 24, No. 8-9., pp. 1059-1067

### 저 자 소 개



#### 황 선 묵 (黃 先 默)

1976년 5월 2일생. 2003년 원광대학교 전기공학과 학사 졸업, 2005년 인하대학교전기공학과 석사 졸업, 2010년인하대학교전기공학과 박사 졸업 2010~현재 (주)한화



#### 권 해 옥 (權 海 玉)

1975년 7월 2일생. 1998년 한국해양대학교 전파공학과 학사 졸업, 2007년 한국해양대학교 대학원 전파공학과 석사 졸업 2003년 7월~현재 (주)한화



#### 허 창 수 (許 昌 洙)

1955년 1월 27일생. 1981년 인하대학교 전기공학과 학사 졸업, 1983년 인하대학교 교 전기공학과 석사 졸업, 1987년 인하대 학교 전기공학과 박사 졸업, 1993년 ~ 현 재 인하대학교 전자전기공학부 교수



#### 최 진 수 (崔 辰 壽)

1964년 5월 4일생. 1986년 연세대학교 물리학과 학사 졸업, 1989년 연세대학교 물리학과 석사 졸업, 2001년 연세대학교 물리학과 박사 졸업, 1991년~현재 국방과학연구소