

# 광섬유 센서를 이용한 EED 전자파 방사 위해도 분석

## Analysis of Electromagnetic Radiation Hazard for Electro-explosive Device Using Fiber Optic Sensor

김응조\* · 윤기은\* · 윤태훈\*\* · 김재창\*\*

Eung-Jo Kim\* · Ki-Eun Yoon\* · Tae-Hoon Yoon\*\* · Jae-Chang Kim\*\*

### 요 약

EED가 전자파에 노출 되었을 때 EED의 발열선에 유기되어 흐르는 전류량을 측정하고 기준치와 비교함으로써 시스템의 안전도를 평가할 수 있다. EED가 폭발되지 않으면서 안전도를 분석할 수 있도록, EED에서 화약을 제거하고, 발열선 근처에 광섬유 센서를 설치하였다. 열과도 시험을 통해서 광섬유 센서의 온도 전류 특성곡선을 도출하였고, EED에 설치된 광섬유 센서의 신뢰성시험을 수행하여 그 특성을 분석하였다. 전자파 환경조건에서 EED 단자에 유기된 전류량을 EED에 설치된 광섬유 센서를 이용하여 측정하였다.

### Abstract

When the EED is exposed to the high power radiation, it is possible to verify systems survivability through measuring the induced current of EED. The usual method of performing a system level test is to replace the EED's with modified units from which the explosive charge has been removed and replaced with the fiber optic sensor. The thermal transient test was performed to obtain the temperature vs current characteristic curve for optical sensor installed in EED. The currents measured when the system is exposed to a known EME are compared to the proposed specification about the EED and a decision is made on whether the system is safe or not.

### I. 서 론

인공위성, 자동차, 미사일 등과 같은 시스템에는 여러 종류의 EED(Electro-Explosive Devices)가 설치되어 운용되고 있다. EED는 작은 금속관 내부에 발열선과 화약으로 구성되며, 전기신호가 인가되면 폭발 또는 불꽃을 발생시킨다. 레이더와 통신기 등과 같은 송신장비에서 발생하는 RF 노이즈가 EED

내부에 유기되면 전류가 흐르게 되어, EED가 폭발하거나 화약성능이 저하되어 정확도에 문제가 발생할 수 있다. 미국의 경우 1967년 7월 미항공모함 Forrestal 함상에서 출격준비가 끝난 전투기의 유도탄이 함상의 고출력 송신기신호에 의한 전자파간섭으로 유도탄이 점화되어 대형폭발사고가 발생하여 134명이 사망하였고, 전투기 72대의 손실을 포함하여 막대한 손실을 초래한적이 있었다. EED의 기폭가능성을 확인하기 위해 과거에는 EED의 발

\*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

\*\*부산대학교 전자공학과(Dept. of Electronic Engineering, Pusan National University)

· 논문 번호 : 980414-041

· 수정완료일자 : 1998년 9월 2일

열선에 온도측정용 종이, 왁스 등을 부착하여 유기 전류에 의한 열발생 정도를 평가하였으나, 폭발시 실시간 관측과 정확한 원인분석이 어려웠다<sup>[1]</sup>.

본 연구에서는 EED가 전자파에 노출되었을 때 전자파에 영향을 받지 않고, 실시간 측정이 가능하도록 EED에서 화약을 제거하고, 광섬유 센서를 발열선에 가까이 고정시켰다. 열과도시험(Thermal transient test) 기법을 적용하여 온도-전류곡선을 도출함으로써 EED에 설치된 광섬유센서의 특성을 분석하였다. 센서의 신뢰성을 확인하기 위해 EED에 일정한 전류를 단계적으로 변화시켰을 때, 발열선에서 발생하는 열을 센서가 측정하고, 온도값을 다시 전류값으로 정확하게 변환하는지를 확인하였다. 신뢰성이 확인된 EED를 100 MHz~1 GHz의 주파수 대역에서 전자파에 노출시켰을 때 EED에 유기되어 흐르는 전류량을 측정하고 결과를 분석하였다.

## II. EED의 일반적인 특성

EED가 설치된 시스템의 전자파 내성시험에 대한 규격은 전투합정과 같이 전자파환경이 복잡한 경우 미 군사규격 RD-TE-87-1을 적용하고 있으며 운용조건에 따라 적용값이 다르다.<sup>[12]</sup> 예로서 저장 및 운반시에는 표 1과 같은 전자파환경 조건에서 EED가 장착된 시스템이 정상동작 되어야 한다. 시스템의 전기적 특성에 따라 EED의 기폭신호레벨이 다르기 때문에 표 1의 규격치와 EED의 안전여유치값을 상호 보완하면서 시험평가 및 결과분석을 수행해야 한다. 일반적으로 EED 내부는 그림 1과 같이 발열선과 화약 등으로 구성되며, 그림 2와 같이 수신안테나의 전기적 등가회로로 표현이 가능하다.  $Z_L$ 는 부하임피던스이고,  $Z_A$ 는 방사임피던스이다. 전자파에 EED가 노출되면 EED에 전계가 결합되어 전류가 흐르는데, 이것은 마치 수신기의 입력회로에 전압원이 있어서 전류를 흐르게

표 1. 저장 및 운반시 전자파환경 규격치

Table 1. EMRH shipping & storage critria.

주파수(MHz)	전계(V/m, 평균치)	편 파
0.1 - 0.2	100	수 직
0.2 - 0.535	300	수 직
0.535 - 32	200	수 직
32 - 100	100	수직, 수평
100 - 200	200	수직, 수평
200 - 225	275	수직, 수평
225 - 400	300	수직, 수평
400 - 950	239	수직, 수평
950 - 2700	612	수직, 수평
2700 - 3600	868	수직, 수평
3600 - 5400	612	수직, 수평
5400 - 6000	1228	수직, 수평
6000 - 7000	612	수직, 수평
7000 - 7900	612	수직, 수평
7900 - 8400	812	수직, 수평
8400 - 11000	1228	수직, 수평
11000 - 13000	612	수직, 수평
13000 - 16000	612	수직, 수평
16000 - 18000	612	수직, 수평
18000 - 40000	200	수직, 수평

하는 것과 같다. 모든 주파수 영역에서 EED의 임피던스 특성을 고려하고, 수신안테나처럼 정합회로로 가정할 경우 EED의 발열선에 흐르는 최대 전류값을 산출할 수 있다. RF 에너지가 EED에 최대 효율로 전송되고, 이 회로를 정합시스템으로 가정할 경우  $Z_L$ 과  $Z_A$ 가 동일한 값일 때  $Z_L$ 에 최대 수신전력  $P_r$ 이 공급되고, 이때  $Z_L$ 에 흐르는 최대 전류는 다음식과 같다.

$$I_m = \sqrt{\frac{P_r}{Z_L}} \quad (1)$$

$$A_e = \frac{\lambda^2 G}{4\pi} \quad (5)$$

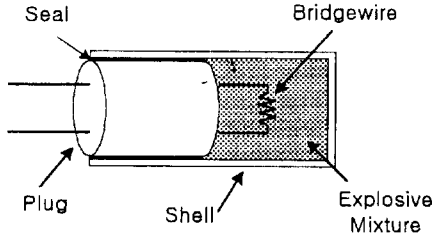


그림 1. EED의 일반적인 구조  
Fig. 1. General diagram of EED structure.

### III. 광섬유 센서 설치 및 측정원리

EED가 전자파에 노출되었을 때 폭발되지 않고 실제 EED에 유기된 전류를 측정할 수 있도록 광섬유 센서를 설치하였다. 광섬유 센서는 광섬유 끝단에 Fabry-Perot 마이크로칩 간섭계(Cavity)가 부착되어 있다. 발열선의 온도가 상승하게 되면 파장에 따른 optical thickness가 변하고 그에 따라 간섭계의 반사계수가 변하여 입사광과 반사광의 형상이 그림 3과 같이 달라진다.

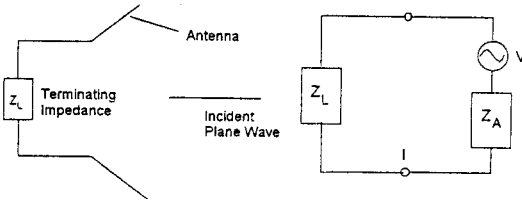


그림 2. EED 등가회로  
Fig. 2. Equivalent circuit of EED.

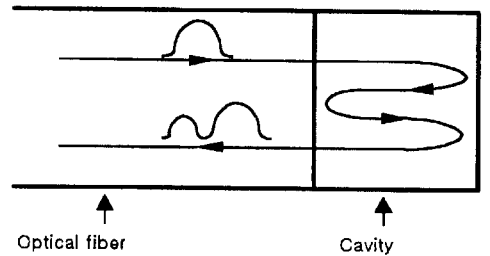


그림 3. Fabry-Perot 간섭계에 의한 스펙트럼 변화  
Fig. 3. Spectrum variation by the Fabry-Perot cavity.

안테나에 손실이 없고 전력전송이 최대가 된다고 가정할 경우  $P_r$ 는 식 (2)와 같다.

$$P_r = \frac{V^2}{4Z_A} \text{ (watts)} \quad (2)$$

EED가 선형편파에 놓여 있다면, EED에 수신되는 전력은 식 (3)과 같이 표현할 수 있다. 여기서  $A_e$ 는 실효면적이고, 전력밀도  $W$ 는 식 (4)와 같이 된다.  $E$ 는 전계세기(V/m),  $\lambda$ 는 파장,  $G$ 는 안테나의 이득이다<sup>[3]-[7]</sup>.

$$P_r = W \cdot A_e \quad (3)$$

$$W = \frac{E^2}{120\pi} = \frac{E^2}{377} \quad (4)$$

이 연구에서 사용된 광섬유 센서는 최소 10 mA, 최대 200 mA를 감지할 수 있고, 응답시간은 65 msec 이하이며, 열전도계수(K)는 3.0 이하이다. EED의 크기와 종류가 용도별로 다르고, 설치방법이 어렵기 때문에 광섬유 센서의 설치위치를 사전에 고려하였다. 마이크로 드릴을 사용하여 EED에 구멍을 내고, 마이크로조정기와 현미경을 이용하여 EED의 발열선에 광섬유 센서를 근접시키고 EED 단자에 일정 전류를 인가하면서 광섬유 센서가 최대온도를 측정할 수 있는 위치가 확인될 때 내열본드를 사용하여 그림 4와 같이 광섬유 센서를 EED 몸체에 고정시켰다<sup>[8],[10]</sup>. 광섬유 센서 프로브

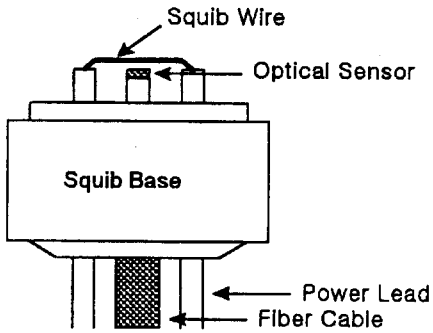


그림 4. 광섬유센서 설치  
Fig. 4. Installation of the optical sensor.

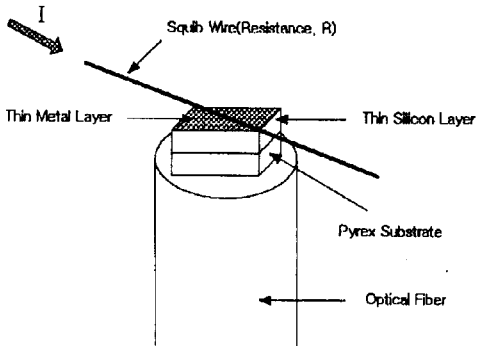


그림 5. 광섬유 센서의 구조  
Fig. 5. The structure of an optical sensor.

에 붙어있는 Fabry-Perot 마이크로칩 간섭계의 구성은 광섬유 끝단에  $150 \times 150 \times 200 \mu\text{m}$  크기의 파이렉스(pyrex)와 박막의 실리콘층으로 구성되어 있는데, EED의 발열선으로부터 열전달 효율을 증가시키기 위해 박막의 금속필름을 그림 5와 같이 실리콘층 위에 접합시켰다.

마이크로칩 간섭계는 온도변화에 따라 광경로차가 달라지는 성질을 갖고 있는데, 광경로차가 달라지게 되면 입력광의 반사계수가 달라진다. 반사계수는 입력광의 파장의 함수이므로 온도변화에 따라 광섬유 센서 프로브에서 반사되는 빛의 스펙트럼이 달라지게 된다. 이 광원인 LED에서는 중심파장이 850 nm이고 그 폭이 36 nm인 적외선을 방출

하는데, 스펙트럼은 식 (6)과 같이 가우시안 함수형태를 띠고 있다. 여기서  $\Delta\lambda = 36 \text{ nm}$ ,  $\lambda_0 = 850 \text{ nm}$ 이다. 이 입력광이 방향성결합기를 지나 센서 프로브에 입사하면 센서 프로브 끝에 달려있는 Fabry-Perot 마이크로칩 간섭계에서 간섭을 일으킨다. 그림 6은 간섭계에서 반사된 광의 형상을 보여주고 있다.

$$i = i_0 \exp \frac{-(\lambda - \lambda_0)^2}{\Delta\lambda^2} \quad (6)$$

이 반사광을 그림 7과 같은 특성을 갖고 있는 글라스 필터(glass filter)를 통과시켜 장파장 영역과

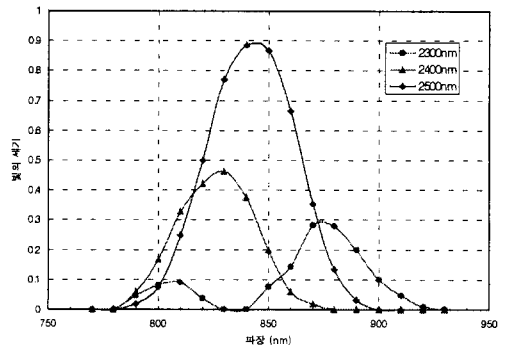


그림 6. 프로브에서 반사된 광 스펙트럼  
Fig. 6. Light spectrums reflected by the probe.

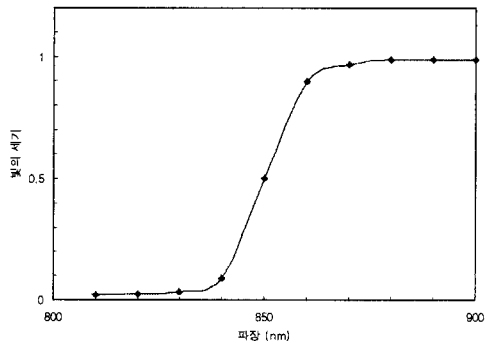


그림 7. 글라스 필터의 특성  
Fig. 7. Characteristics of the glass filter.

전파장 영역의 두 부분으로 나눈 후 광검출기를 포함하는 계측기에서는 이 두 영역의 Ratio를 측정한다. Ratio는 식 (7)과 같이 표시한다.

$$R = \frac{\text{Long pass}}{\text{All pass}} \quad (7)$$

온도변화에 따라 Ratio 값이 변하므로 Ratio 값의 변화량과 온도에 대한 교정데이터로부터 발열선의 온도값을 알아낼 수 있다. 그림 8은 Cavity depth와 Ratio 간의 관계를 보여주고 있는데, 실제로 사용한 Ratio의 영역은 0.61~0.81 정도이다. 광섬유센서 시스템의 전체적인 운용개념도는 그림 9에 제시하였다.

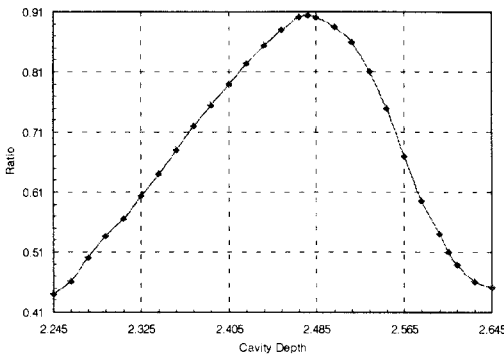


그림 8. Cavity depth와 Ratio 간의 관계  
Fig. 8. Cavity depth vs. Ratio.

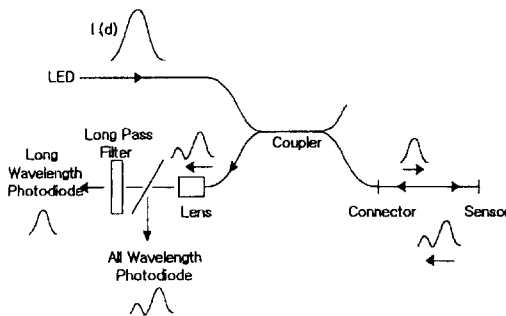


그림 9. Metricor 1420 EMC 시스템 운용  
Fig. 9. Operation of the Metricor 1420 EMC system.

#### IV. 발열선 열전달모델 및 열과도시험

EED의 발열선에 광섬유 센서를 설치할 때 서로 접촉이 되면 열이 확산되어 정확한 측정이 어려우므로, EED의 발열선이 공기와 접촉된 조건으로서 열전달 모델링을 하였다. 열전달 모델에서는 파라메타들을 단순화 시키고 열손실이 온도에 따라 일차원적으로 비례한다고 가정한 로젠탈 (Rosenthal) 방정식을 사용하였다<sup>[9]</sup>.

$$C_p \frac{\partial \theta_b}{\partial t} + \gamma \theta_b = Q(t) \quad (8)$$

여기서  $C_p$ 는 열용량계수 (watt - sec / ° C),  $\gamma$ 는 열손실계수 (watt / ° C)이다. 좌변의 첫번째 항은 EED가 흡수하는 전력을 나타내고, 두번째 항은 발열선에서 주위로의 손실을 나타내며, 우변은 외부에서 공급되는 전력이다.  $Q(t)$ 는 발열선의 외부에서 주는 전력으로 본 연구에서는 사각파를 로젠탈 방정식에 적용하였다. 이 경우 로젠탈 방정식은 식 (9)와 같이 쓸 수 있으며, 여기서  $R(t)$ 는 식(10)과 같이 된다. 발열선의 저항  $R(t)$ 는 단순한 온도의 함수가 아니라 온도와 시간의 함수이며, 이는 발열선 재질이 갖는 고유온도 저항계수  $\alpha$ 로 인한 것이다.  $\theta_b(0)=0$ 의 경계조건을 적용하여 식 (9)에 대한 미분 방정식을 풀면 식 (11)과 같은 해가 얻어진다.

$$C_p \frac{d\theta_b}{dt} + \gamma \theta_b = I^2 R(t) \quad (9)$$

$$R(t) = R_0 [1 + \alpha \theta_b(t)] \quad (10)$$

$$\theta_b(t) = \frac{I^2 R_0}{\gamma} [1 - e^{-\frac{\gamma t}{C_p}}] \quad (11)$$

$$\gamma' = \gamma - I^2 R_0 \alpha \quad (12)$$

이 경우 발열선 양단의 전압은 식 (13) 및 그림 10과 같이 표현할 수 있다.

$$V(t) = IR_0 + \frac{\alpha I^3 R_0^2}{\gamma} (1 - e^{(-\frac{\gamma'}{C_p} t)}) \quad (13)$$

$IR_0$ 는 상온에서 발열선의 초기저항에 의한 것이며,  $\Delta IR$ 는 발열선의 온도상승에 따른 전압상승을 의미한다.  $t=0$ 에서 전압 곡선의 기울기  $S$ 는 식 (14)와 같다.

$$S = \frac{dV(t)}{dt} \Big|_{t=0} = \frac{\alpha I^3 R_0^2}{C_p} \quad (14)$$

고유저항계수  $\alpha$ 를 정확히 알면 초기실험 데이터로부터 열용량  $C_p$ 를 계산할 수 있다.

$$C_p = \frac{\alpha I^3 R_0^2}{S} \quad (15)$$

$$\tau' = \frac{C_p}{\gamma'} \quad (16)$$

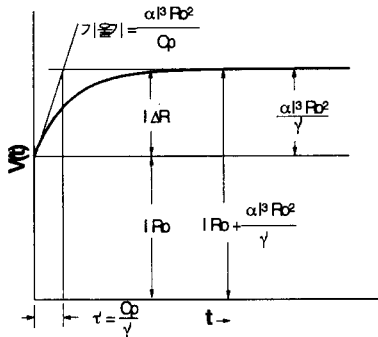


그림 10. 발열선 양단의 전압강하  
Fig. 10. Voltage drop across bridgewire.

전압(온도)은 초기에 급격히 증가하다가  $\tau'$ 을 지나면서 완만하게 증가한다. 평형상태에 도달하기

까지 전압의 변화는 식 (17)과 같이 되고, 최대 변위는 식 (18)과 같이 된다.

$$\Delta V(t) = \frac{\alpha I^3 R_0^2}{\gamma'} [1 - e^{(-\frac{\gamma'}{C_p} t)}] \quad (17)$$

$$\Delta V_{\max} = \frac{\alpha I^3 R_0^2}{\gamma'} \quad (18)$$

따라서  $\gamma'$ 는

$$\gamma' = \frac{\alpha I^3 R_0^2}{\Delta V_{\max}} \quad (19)$$

로 표시된다. 평형상태에 도달한 발열선 온도  $\theta_{\max}$ 는 식 (11)과 식 (19)로부터 구한다.

$$\theta = \frac{\Delta V_m}{IR_0 \alpha} \quad (20)$$

그림 11과 같이 시험장비를 구성하였고 EED의 발열선 근처에 광섬유센서를 부착 후 전류원에서 일정한 전류를 EED 단자에 인가하고 발열선 양단에 나타나는  $\Delta V$  및 저항  $R_0$ 를 측정하였다.  $\alpha$  값은 온도실험실에서 온도를 단계별로 상승시키면서 그 때의 저항값과 온도 변화폭을 이용하여 측정 및 산출하였고, 이 측정결과를 식 (20)에 대입하여 발

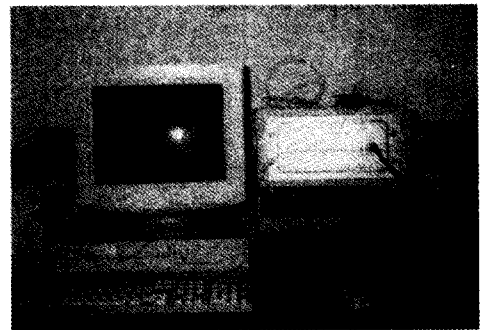


그림 11. 열과도 시험장비 구성  
Fig. 11. Test configuration for the thermal transient test.

열선의 상승온도를 계산한 결과 그림 12와 같이 광섬유 센서에 대한 온도-전류 특성곡선을 얻을 수 있었다.

또한 EED에 일정한 전류를 임의로 인가했을 때 센서가 EED의 발열선 온도를 측정해서 다시 전류로 정확하게 변환하는지를 확인하기 위해 신뢰성 시험을 수행하였다. 그림 13과 같이 EED 단자에 전류를 인가하면 발열선에는 열이 발생하고, 광섬유 센서는 발생열을 측정하여 Metrico 1420 EMC 시스템에 데이터를 전송한다. Metrico 1420 EMC 시스템은 4개의 채널로 구성되고 광섬유 센서가 측정한 온도를 전류로 변환하여 결과를 출력시키는 계측장비로서 표 2에 성능을 제시하였다. 이 연

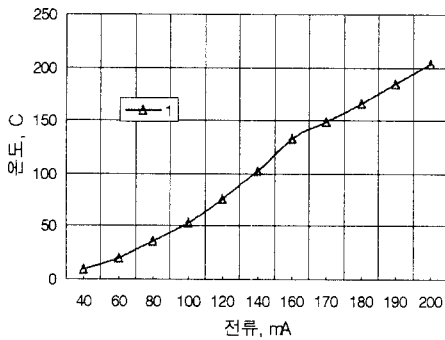


그림 12. 온도 전류 특성곡선  
Fig. 12. Curves of the temperature vs current.

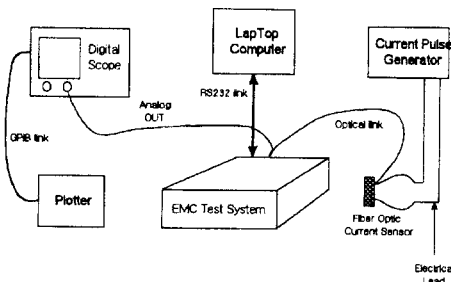


그림 13. 광섬유 센서 신뢰성시험 구성도  
Fig. 13. Test configuration for performance test of optical sensor.

표 2. Metrico 1420 EMC System 제원

Table 2. Specification of the Metrico 1420 EMC System.

구 분	성능 조건
Channel	4
Standard digital Interfaces	RS-232C, IEEE 488
Analog outputs	0 ~ 10 volts
High speed mode	
1 channel	1680 update/sec
2 channels	885 update/sec
3 channels	606 update/sec
4 channels	455 update/sec
Buffer Interface	1Meg(0.7 msec interval)
LED	Light Emitting Diode, light source for the sensor
Opto-electronic	Utilizes light & electronics

표 3. 광섬유 센서 성능 시험결과

Table 3. Test results for performance test of the optical sensor.

인가 전류	EED 1		NSWC 기준치
40 mA	40.8	+0.8	±3.0
60 mA	59.7	-0.3	±4.5
80 mA	79.5	-0.5	±6.0
100 mA	100.1	+0.1	±7.5
120 mA	121.1	+1.1	±9.0
140 mA	142.3	+2.3	±10.5
160 mA	163.3	+3.3	±12.0
170 mA	174.0	+4.0	±12.7
180 mA	184.8	+4.8	±13.5
190 mA	195.0	+5.0	±14.2
200 mA	205.3	+5.3	±15.0

\* NSWC(Naval Surface Warfare Center)

구에서는 EED의 발열선이 200 mA 이상에서 절단 되도록 설계한 것이기 때문에 전류값을 40~200 mA 범위에서 단계별로 변화시키면서 인가했을 때 표 3과 같은 결과를 얻었다. 최대오차는 인가전류에 대해서  $\pm 5.3\%$  정도 범위인데, 이 값은 미해군연구소 NSWC(Naval Surface Warfare Center)에서 제정한 규격값인 인가값  $\pm 7.5\%$  범위이내에 포함되므로 신뢰할만한 결과라고 생각한다. 이 결과는 전자파에 의해 유기된 전류를 측정시 어느 정도의 오차가 있는지를 확인할 수 있는 근거가 된다.

V. EED 전자파 방사 위해도 시험

실제 시스템에서는 EED가 금속케이스에 내장되어 있고 케이블의 배선상태가 다르지만 이 연구에서는 EED가 전자파에 노출되었다고 가정하고 인가전계가 EED에 결합될 수 있도록 광섬유 센서가 설치된 EED의 단자선을 다이폴 안테나처럼 구부려서 그림 14와 같이 인위적으로 제작하였다. EED 단자 한번의 길이는 15.0 cm이고, 바이코니컬 및 혼안테나를 EED로부터 1 m 떨어진 위치에 설치하였다. 시험주파수는 100 MHz~1 GHz 대역을 선정하였고, 시험방법은 우선 안테나와 EED의 설치 위치를 정확하게 테이프로 표시한다. EED 단자의 길이 파장  $\lambda$ 를 고려하여 전자파침투가 가능한 몇 개의 주파수를 선정하여 전계를 인가하고, 광섬유 센서가 감지하는 전류가 200 mA를 초과하지 않는 범위에서 최대전류와 그 때의 주파수와 신호발생기가 출력시킨 전력량을 기록한다. 이 시험에서 사용한 EED의 발열선은 200 mA 이상에서 소손되도록 설계되어 있다. EED를 제거하고 field sensor를 설치하고 예비시험에서 얻은 전계값 66 V/m를 유지하도록 시험주파수 대역에서 신호발생기의 출력을 조정하고 그 때의 출력값을 기록한다. 교정시험이 종료 후 field sensor 위치에 다시 EED를 설치하고 기록된 신호발생기의 출력값을 다시 주파수별로 그대로 신호를 인가하면 출력신호는 증폭

기를 거쳐 안테나에서 EED로 전자파신호가 인가된다. 인가전계에 대해 EED에 설치된 광섬유 센서가 측정된 전류값을 그림 15에 제시하였다. 전계를 66 V/m 인가시 주파수가 370 MHz에서 소량의 유기전류가 흐르기 시작하였고, 470 MHz 주변에서 185 mA 정도의 전류가 유기되었다. 이 값은 미군사규격에서 제시한 MNFC(Maximum no fire current)의 20 dB보다 초과한 값으로 기폭 가능성이 있다.

실제 화약이 장착된 EED를 이용하여 인가전계를 조금 높혀서 80 V/m 정도 인가했을 때 470 MHz 대역에서 EED가 폭발하는 장면을 확인하였다. 실용 시스템에서는 대상 EED의 화약을 제거하고 광섬유 센서를 설치한 후 시스템에서 설계된

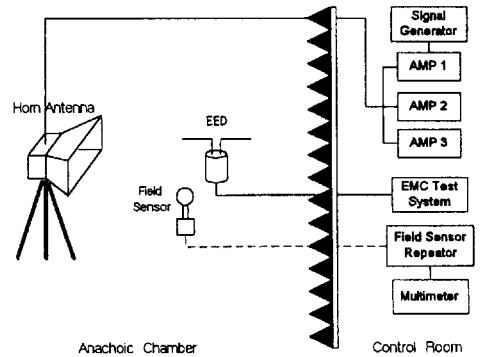


그림 14. 전자파 방사 위해도 시험구성도  
Fig. 14. Test configuration for EMRH.

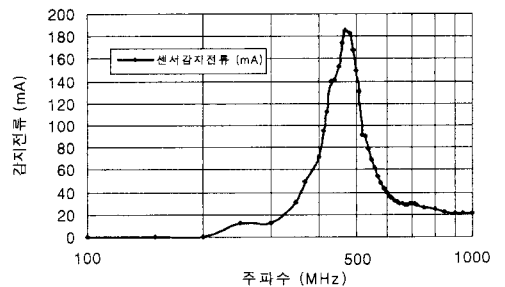


그림 15. 전자파 방사 위해도 시험결과  
Fig. 15. Test results for EMRH.



위치에 EED를 장착한다. 시스템을 정상 운용하면서 주파수 대역별로 예측된 전자파를 인가하면서 시스템내 부속장비는 점검장비로 상태를 확인하고, EED는 부착된 광섬유센서로 유기 전류값을 확인하여 두 결과를 정확하게 분석하면 시스템의 EMC 성능과 안전도를 평가할 수 있다.

## VI. 결 론

시스템에 설치되어 있는 EED가 전자파에 노출되었을 때 전자파 방사 위해도시험 결과에 대한 정확한 분석과 재현성을 해결하기 위해 이 연구에서는 EED에서 화약을 제거하고, 발열선 근처에 광섬유 센서를 설치하였다. 광섬유 센서와 측정시스템은 온도를 측정해서 전류로 변환하는데, 온도 전류 특성곡선을 도출하기 위해 열과도 시험을 수행하였고 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 또한 EED에 전류가 유기되어 흐를 때 광섬유 센서가 실제 정확한 전류값을 측정할 수 있는지를 확인하기 위해, 일정한 전류를 단계별로 변화시키면서 EED에 인가했을 때 신뢰성 있는 결과를 얻었다. EED에 연결된 단자선을 임의로 다이폴 안테나처럼 형상을 만들어서 전자파가 결합될 수 있도록 제작하였다. EED가 전자파에 노출되었을 때 EED에 유기되는 전류량을 측정하였고, 한번의 길이가 15 cm 인 EED는 470 MHz 대역에서 185 mA 정도의 값이 출력되었다. 본 연구를 통해서 얻은 결과를 기초로 향후 유도무기시스템, 자동차용 에어백 등에서 시스템의 전자파 방사 위해도 시험평가에 활용할 계획이다.

## 참 고 문 헌

[1] Emil J. Eichblatt, Jr., *Test and evaluation of the tactical missile*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. pp. 311-312, 1989.

[2] Dusan Georgevichs, *Theoretical calculation of RF energy received from a transmitter by an EED and computation of safe separation distances*, Ammunition Engineering Directorate, 1963.

[3] Robert Grover Browen, *Lines, waves, and antennas*, John Wiley and Sons, pp. 323-346, 1973.

[4] David A Weston, *Electromagnetic compatibility principles and applications*, Marcel Dekker, Inc., pp. 56-66, 1991.

[5] David Morgan, *A handbook for EMC testing and measurement*, Peter Peregrinus Ltd., pp. 72-84, 1994.

[6] Y.T.Lo, S.W.Lee, *Antenna Handbook*, pp 3-13~3-16, VAN NOSTRAND REINHOLD.

[7] Thomas A. Milligan, *Modern antenna Design*, McGraw-Hill Book Company, pp. 66-72

[8] Gordon L. Mitchell, "Gigahertz RMS current sensors for EMC testing", *SPIE* vol. 1367 Fiber Optic and Laser Sensors, 1990.

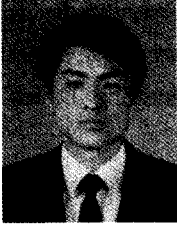
[9] Rosenthal, "Thermal response of bridgewire used in EED", *Rev. of Sci. Instru.*, vol. 32, pp. 1033-1036., 1961

[10] W. N. MacPherson, "Phase demodulation in optical fibre Fabry-Perot sensors with inexact phase steps", *IEE Proc. Optoelectron.*, vol. 144, no. 3, June 1997.

[11] 김응조, "병기에 대한 전자기 방사위해도 통제기술", ATRC-520-941095, 국방과학연구소, 1994. 12.

[12] RD-TE-87-1 *Electromagnetic Environment Criteria for US Army Missile Systems : EMC, EMR, EMI, EMP, ESD, and Lightning*, 1987.

김 응 조

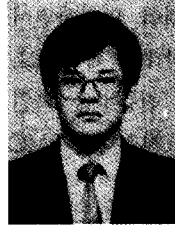


1984년 : 한양대학교 전기공학과(공학사)  
1986년 : 한양대학교 전기공학과(공학석사)  
1997년 : 부산대학교 전자공학과 박사과정 수료  
1989년 ~ 현재 : 국방과학연구소

선임연구원

[주 관심분야] EMI/EMC

윤 태 훈

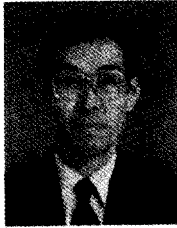


1979년 : 서울대학교 전자공학과(공학사)  
1982년 : 한국과학기술원 전자공학과(공학석사)  
1986년 : 한국과학기술원 전자공학과(공학박사)  
1986년 ~ 현재 : 부산대학교 전자

공학과 부교수

[주 관심분야] LCD, Laser Diodes, Photonic switching device

윤 기 은



1976년 : 한양대학교 전자공학과(공학사)  
1975년 ~ 현재 : 국방과학연구소 책임연구원  
[주 관심분야] EMI/EMC, HERO, RF 필터설계

김 재 창



1969년 : 서울대학교 전자공학과(공학사)  
1979년 : University of Alabama(공학석사)  
1981년 : University of Alabama(공학박사)  
1975년 ~ 현재 : 부산대학교 전자

공학과 교수

[주 관심분야] LCD, Optical information processing, Sonar signal processing