전기뇌관의 전파 수신특성 분석방법

(A Method for the Analysis of the Radiowave Receiving Characteristics of the Electric Detonator)

김미선*, 박진석*, 안병철*
(Mi-Sun Kim, Jin-Seok Park, Bierng-Chearl Ahn)

요 약 본 논문에서는 전기뇌관이 설치된 탄약에 유도되는 전자파 수신특성을 분석하기 위한 방법을 제안한다. 이 방법에서는 전기뇌관이 설치된 탄약을 수신 안테나로 모델링하고 안테나 이득을 시뮬레이션 또는 실험에 의해 구한다. 구해진 전기뇌관의 이득을 안테나 결합공식에 넣어 전기뇌관에 유도되는 전파 전력을 구한다. 매우 근접한 거리에서의 전파수신 특성은 반파장 다이폴과 전기뇌관 모형 사이의 전력계수를 측정함으로써 구해진다. 제안된 방법을 사용하여 105 mm 전차탄약 뇌관의 전파수신 특성을 구하고 이로부터 900 MHz 대역 RFID 리더기에 대한 뇌관의 안전성을 분석하였다.

핵심주제어 : 전기뇌관, 탄약의 전자파 위험성, RFID

Abstract In this paper, a method is proposed for the analysis of radiowave receiving characteristics of an ammunition with electric detonator. In this method, an ammunition with electric detonator is modelled as a receiving antenna with its gain obtained by computer simulation or measurement. The induced radiowave power is obtained by inserting the gain of the electric detonator in the antenna coupling formula. Radiowave receiving characteristics at very close distances are obtained by measuring the transmission coefficient between a half-wave dipole and the electric detonator model. Radiowave receiving characteristics of the electric detonator in a 105mm tank ammunition are obtained using the proposed method and the safety of the 900 MHz RFID reader on the detonator is assessed.

Key Words : Electric detonator, Hazards of electromagnetic radiation to ordnance, RFID

1. 서 론

유비쿼터스 실현을 위한 기본 기술로 보편화 되고 있는 RFID 기술은 첨단 디지털 기반의 탄약관리 체계 구축에 적용되고 있으며 속도와 효과 중심의 탄약 관리체계 구현을 통한 예산 절감, 업무 혁신, 안전성 확보 등의 효과를 얻을 수 있다 [1],[2].

2006년부터 대한민국에서는 u-국방 탄약관리확산 사업을 추진해오고 있다. 이 사업은 RFID 기술과 무선통신 기술을 이용하여 탄약의 재고량, 입고, 출고 등을 실시간 입력하고, 군 전체 탄약고 정보가 통신망을 통해 통합 서버에 자동 저장 관리되는 첨단 IT 기술을 탄약관리에 적용하는 것이다 [3].

RFID 기술이 탄약관리에 적용됨에 따라 탄약의 전자파 안전성이 중요한 문제로 대두되었다. 탄약의 전기 점화장치에 전자파 에너지가 유도되어 탄약이 폭발하거나 성능이 저하되는 '탄약의 전자파 위험성'(HERO; Hazards of Electro-magnetic

* 충북대학교 전파공학과

Radiation to Ordnance) 문제를 신중하게 고려해야 한다.

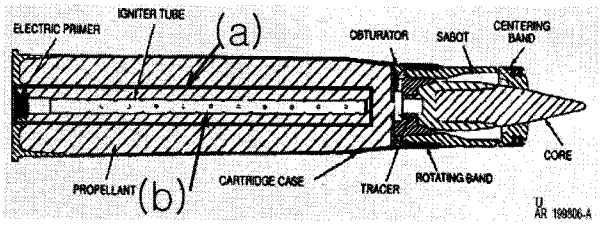
전기뇌관의 전자파 위험성에 관한 기존의 연구에서는 인위적인 최악의 경우를 가정하여 뇌관에 다이폴이 연결되고 임피던스가 정합된 이상적인 모델로 가정하거나 단순화된 안테나 모델을 사용하여 수신 전력이 계산된다[4]-[7]. 이러한 이상적인 모델의 해석 결과는 탄약에 설치된 전기뇌관의 실제 모델과 다르다는 점과 RFID 리더기와 탄약의 이격거리가 매우 가까운 경우에는 성립하지 않는다는 점에서 적용 범위가 제한된다.

본 논문에서는 탄약에 설치된 상태의 전기뇌관에 수신되는 전자파 전력을 구하기 위한 방법을 제안하였다. 이를 이용하여 105 mm 전차탄약 뇌관의 900 MHz 대역 RFID 전자파의 안전성을 분석하였다.

2. 탄약 전기뇌관의 전파수신 이론

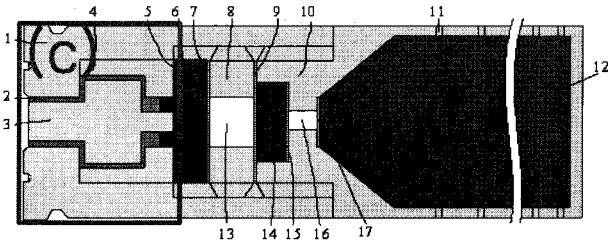
한국군의 105 mm 전차탄약에 사용되고 전기뇌관으로 KM120A1, M80A1, KM83, M86C, KM63, KM12 등 여러 가지 모델이 있으나 기본 구조와 규격은 모두 유사하다.

그림 1은 전기뇌관이 사용된 105 mm 전차탄약의 구조를 보인 것이다[8]. 전기뇌관(그림1의 a) 끝에 긴 관(ignition tube)이 설치되어 뇌관이 점화될 경우 관의 구멍(그림1의 b, flash hole)으로부터 화염이 쏟아져 나와 점화하게 된다.



(그림 1) 전기뇌관이 설치된 105 mm 전차탄약 M724A1 TPDS-T의 구조[8].

그림 2는 105 mm 전차 탄약의 뇌관 부분(a)을 상세히 도시한 것이다.



(그림 2) 105 mm 전차탄약 전기뇌관의 세부 구조.

전기뇌관의 열선에 의해 1차 화약(6,시동화약)이 연소되고 이로 인해 2차 화약(14,증폭화약), 3차 화약(12,점화화약)이 순차적으로 연소되어 탄두 추진제를 점화시킨다. 추진제의 순간적 폭발력에 의해 탄두가 발사된다.

뇌관의 양극(3)과 음극(1)사이에 탄약 발사장치의 커패시터 방전을 통해 전류가 인가되면 열선(5)이 폭발되어 시동화약(6)이 점화된다. 시동화약의 화염은 7-13-9의 통로를 거쳐 증폭화약(14)은 연소시키고 이는 다시 15-16-17의 통로를 거쳐 점화화약(12)을 연소시킨다. 점화화약의 화염은 점화관의 화염구(11)를 통과하여 분출되어 그림 1의 추진제를 점화시킨다. 그림 2의 전기뇌관의 구성품의 세부 명칭은 표 1과 같다.

<표 1> 105 mm 전차탄약 전기뇌관의 구성품 명칭

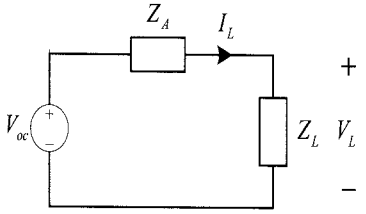
번호	명칭	번호	명칭
1	뇌관 몸체	9	금속 격막
2	절연체	10	점화관
3	뇌관 양극도체	11	화염구
4	열선 고정링	12	3차 화약
5	열선	13	화염 전달통로
6	1차 화약	14	2차 화약
7	금속 격막	15	금속격막
8	스페이서	16	화염 전달통로

뇌관 열선은 굵기 0.02-0.06 mm 정도 길이 1-2 mm 정도의 전기 저항선으로서 충분한 크기의 전류를 인가할 경우 순간적으로 폭발하여 열에 민감한 1차 화약을 연소시킨다. 열선의 전기저항은 0.8-1.8 Ω이며 비점화 전류는 0.2 A이다. 이 경우 0.8 Ω 저항열선에서 소모되는 전력은 32 mW(=15 dBm)이다.

비점화 전류(no-fire current)는 5분간 인가했을 경우 0.1 %의 뇌관이 점화(10^{-3} 확률)되는 전류값을 말한다. 안전전류는 여기에 16.5 dB의 안전계수를 적용하면 안전전류는 0.03 A(= 30 mA)가 된다. 이 경우 정규분포 이론으로부터 점화확률을 계산하면 10^{-16}이 된다. 이 경우 0.8Ω저항열선에서 소모되는 전력은 0.716 mW(=-1.5 dBm)이 된다. 뇌관의 99.9 %가 점화되는 전류값인 전점화 전류(all-fire current)는 1.2 A이다.

뇌관에 유입되는 전자파 에너지는 뇌관이 설치된 탄약 전체를 일종의 수신 안테나로 모델링하면 쉽게 구할 수 있다. 이 때 열선은 수신 안테나의 부하 임피던스로 취급한다.

그림 3은 일반적인 수신 안테나의 등가회로를 보인 것으로서 탄약에 설치된 뇌관의 전자파 수신 특성을 해석하는 데에도 적용할 수 있다. 여기서 V_{oc}는 뇌관의 열선이 개방된 상태에서 입사된 전자파에 의해 유도되는 개방단 수신 전압, Z_A는 뇌관의 열선단자에서 관측한 탄약-뇌관 구조의 입력 임피던스, Z_L은 부하로 작용하는 열선의 임피던스이다.



(그림 3) 전자파 수신 안테나로서의 전기뇌관의 등가회로.

Z_A는 뇌관이 설치된 탄약의 열선 단자에서 관측한 탄약-뇌관 구조의 임피던스로서 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Z_A = R_R + R_D + jX_A \quad (1)$$

$$R_A = R_R + R_D \quad (2)$$

여기서 R_R는 탄약-뇌관 구조가 송신 안테나로 동작할 경우 복사전력에 대응되는 복사저항이며 R_D는 구조 자체에서 소모되는 손실전력에 대응되는 손실저항이다. X_A는 입력 임피던스의 허수부 즉 리액턴스이다.

뇌관 열선에 의한 부하 임피던스 Z_L도 다음과 같이 실수와 허수부로 나타낼 수 있다.

$$Z_L = R_L + jX_L \quad (3)$$

Z_A는 뇌관 설치부분의 구조와 탄약의 구조 등이 모두 반영된 결과이다. 그러나 특별히 임피던스를 민감하게 변화시키는 부위가 있으며 그림 1과 2와 같은 구조에서는 뇌관의 양전극이 그것이다. 양전극 단자에 손이나 스크루 드라이버를 접촉시키면 1 GHz 이하의 주파수 대역에서 뇌관에 유도되는 전력이 크게 증가하게 된다.

전기뇌관을 수신 안테나로 모델링할 경우 안테나의 이득 G_R을 안다면 전기뇌관에 수신되는 전력 P_R은 다음 식을 이용하여 구할 수 있다[9].

$$P_R = \frac{E^2}{60}\left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2 G_R \quad (4)$$

여기서 E는 탄약에 입사된 전기장 세기 첨두치, λ는 파장이다. 입사된 전기장은 탄약 몸체 전체에 걸쳐 평면파 특성을 가져야 한다. 송신 안테나 개구면 최대 1차원 치수를 L이라 할 때 송신 안테나와 탄약과의 거리 R이 다음 식을 만족하면 송신 안테나에서 발생한 전파를 평면파로 취급할 수 있다[9].

$$R \geq \frac{2L^2}{\lambda} \quad (5)$$

송신 안테나가 900 MHz 반파장 다이폴일 경우 탄약으로부터 17 cm(0.5 파장)이상 떨어진 경우 식 (4)를 적용할 수 있다.

송신 안테나의 이득 G_T와 탄약과의 이격거리R, 송신전력 P_T를 알 경우 다음 식으로부터 뇌관에 수신되는 전력을 산출할 수 있다[9].

$$P_R = P_T\left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 G_T G_R \quad (6)$$

여기서 이격거리 R은 식 (5)의 조건을 만족해야 한다.

식 (4)와 (6)을 이용하여 뇌관에 수신되는 전력을 구하고자 할 경우 탄약-전기뇌관 구조체의 이득 G_R을 알아야 한다. 안테나의 이득은 방사패턴에 의해 결정되는 지향도 D로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$G_R = e_r e_m D_R \tag{7}$$

여기서 e_r, e_m은 각각 안테나의 복사효율과 임피던스 정합효율로서 다음 식으로 주어진다[9].

$$e_r = \frac{R_R}{R_A} \tag{8}$$

$$e_m = \frac{4R_L R_A}{|Z_L + Z_A|^2} \tag{9}$$

여기서 R_D, R_A, R_L, Z_A, Z_L은 그림 3과 식 (1)-(3)에서 정의되었다.

안테나의 가역성에 의하면 지향도와 이득이 송신시와 수신시에 모두 같다[9]. 따라서 탄약-전기뇌관 구조체의 안테나 특성은 이것이 송신모드로 동작할 경우로 가정하여 편리하게 분석할 수 있다.

식 (7)에서 탄약-전기뇌관 구조체가 송신 안테나로 동작할 경우 탄약표면에 흐르는 전기전류와 뇌관 음극과 양극 사이의 개구면으로부터의 전자파 방출에 의해 전자파가 방사된다. 개구면으로부터의 전자파 방사는 등가 자기전류에 의한 방사로 교체할 수 있다[9]. 탄약-전기뇌관 구조체가 송신 안테나로 동작할 경우 전기전류와 등가 자기전류에 의한 방사패턴은 첨예한 특성을 가지지 않는다. 따라서 탄약-전기뇌관 구조체의 지향도는 반파장 다이폴의 지향도인 1.64(= 2.15 dBi)로 근사화 할 수 있다. 탄약-전기뇌관 구조체의 경우 복사효율과 임피던스 정합효율이 모두 매우 적은 값을 가지므로 식 (7)에 의하면 이 구조의 안테나 이득은 매우 작은 값이 되리라 예측할 수 있다.

송신 안테나와 탄약 사이의 거리가 식 (5)의 원거리 조건을 만족하지 않을 경우 다음과 같은 일반화된 Friis 공식을 적용할 수 있다[10].

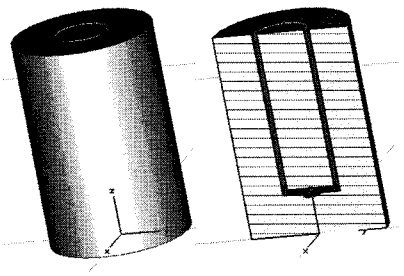
$$P_R = P_T \frac{G_T G_R}{[(G_T + G_R)/2]^2 + (4\pi R/\lambda)^2} \tag{10}$$

3. 탄약 전기뇌관의 전파수신 특성 분석

앞에서는 전기뇌관의 전자파 수신특성 분석을 위한 방법으로서 수신 안테나 모델, 등가회로, 안테나 결합 공식 등을 살펴보았다. 이 때 탄약-전기뇌관 구조체의 안테나 이득을 알아야 뇌관에서 수신되는 전자파 전력을 구할 수 있다.

탄약에 설치된 뇌관의 이득은 측정 또는 시뮬레이션에 의해 구할 수 있다. 그림 1과 그림 2의 탄약과 뇌관 구조를 분석해보면 외부의 전자파가 뇌관의 열선으로 유입되는 전자파의 전송 모드는 뇌관 양전극과 뇌관 음전극 즉 탄체로 구성된 동축선 TEM 모드이다. 여기서 양전극과 음전극간의 간격은 매우 작아서 외부 전자파가 잘 유입되지 않는다.

다양한 실험과 시뮬레이션을 수행한 결과 그림 2와 같은 구조의 전기뇌관의 전자파 수신특성은 음전극의 크기(즉, 탄체의 크기)와 양극의 내부 형상에 민감하지 않음을 알 수 있었다. 따라서 그림 1과 그림 2의 (c)와 같은 탄약-뇌관의 구조체의 복잡한 형상을 그림 4와 같이 단순화된 전기뇌관 모형으로 대체할 수 있다. 표 2는 단순화된 전기뇌관 모형의 치수와 규격을 보인 것이다.



(그림 4) 전차탄약 전기뇌관의 단순화된 모형.

CST사의 Microwave Studio™(MWS)를 사용하여 그림 4의 뇌관모형의 900 MHz에서의 안테나 입력 임피던스($Z_A = R_A + jX_A$)와 이득을 구하였다. 표 3은 그 결과를 보인 것이다. 안테나 모델로서의 전기뇌관의 입력 저항은 약 40 micro ohm으

로서 이로 인해 이득이 매우 작은 값인 -54.9 dBi가 된다.

<표 2> 전차탄약 전기뇌관 모델의 치수와 물질 특성

뇌관 타입	치 수 및 규 격
Hot wire	양극도체: 직경 4.5mm, 길이 15.5mm 음극도체: 내경 5.5mm, 외경 13.0mm 길이 20.0mm 양극-음극 절연체: 두께 0.5mm(측면) 0.5mm(하부), 유전율 2.5, 손실계수 0.001 전압원 간극: 0.5mm, 전원저항 50Ω

<표 3> 전기뇌관의 안테나 모델 시뮬레이션 결과

뇌관 타입	지향도 (dBi)	입력 임피던스 (Ω)	전원 저항 (Ω)	이득 (dBi)
Hot wire	2.1	3.95×10^{-5}-$j38.1$	50	-54.9

본 논문에서 제안한 방법의 타당성을 전기뇌관 모형을 제작 측정하여 확인하였다. 우선 900 MHz에서 동작하는 2 개의 동일한 반파장 안테나를 제작하여 두 안테나간의 전력전달을 측정하였다. SMA 커넥터가 연결된 동축선 종단에 직경 0.6 mm, 길이 75 mm인 안테나 단자 두 개를 납땜하여 반파장 다이폴을 제작하였다. 900 MHz에서 다이폴의 측정된 임피던스는 72+j7 Ω이었다.

다이폴 도선 방향이 서로 평행하게 한 상태에서 Mutronics MU3230 회로망 분석기를 이용하여 두 다이폴의 간격에 따른 전달계수를 측정하여 컴퓨터 시뮬레이션 결과, 계산 결과와 함께 표 4에 나타내었다.

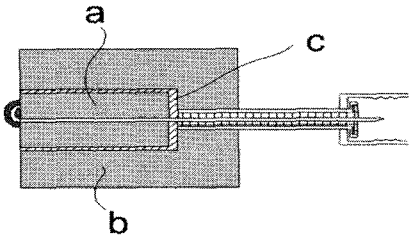
다이폴 간격이 20 cm(900 MHz에서 0.6파장) 이상일 경우 Friis 공식과 일반화된 Friis 공식을 이용하여 전력전달을 정확하게 계산할 수 있음을 알 수 있다. 근거리에서 적용할 수 있는 일반화된 Friis 공식은 다이폴간 거리가 0.5-20 cm(0.16-0.50 파장)인 범위에서 측정치와 최대 약 4 dB의 오차를 보인다. 시뮬레이션 결과는 0.5 cm의 경우를 제외하고 측정치와 잘 일치한다.

전기뇌관 모델의 전파수신 특성을 측정하기 위해 그림 4의 뇌관 모형을 제작하였다. 그림 5는 제

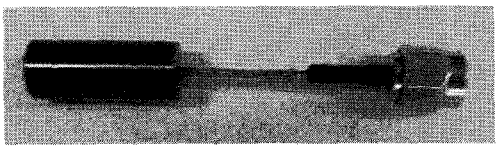
<표 4> 두 반파장 다이폴 사이 간격에 따른 전달계수(주파수 900MHz).

다이폴 간격 (cm)	전달계수(S_{21})(dB)			
	시뮬레이션 (by MWS)	측정	Friis공식 식 (6)	일반화된 Friis공식 식 (10)
0.5	-1.94	-4.2	18.7	-0.06
5	-6.91	-6.8	-1.3	-3.7
10	-12.1	-12.1	-7.3	-8.1
20	-14.8	-15.5	-13.3	-13.5
40	-19.7	-19.9	-19.4	-19.4
80	-25.9	-24.2	-25.4	-25.4

작된 뇌관 모형의 형상과 사진을 보인 것이다. 모형의 치수는 표 2와 같게 하였으며 열선 위치에 직경 0.51 mm의 프로브를 연결하였다. 프로브는 외부도체 내경과 외경은 각각 1.62 mm와 2.16 mm인 동축선 내부도체의 일부다. 동축선의 길이는 4 cm이며 종단에 SMA 커넥터를 연결하여 회로망 분석기에 연결되게 하였다. 동축선 프로브 제작의 편의를 위해 양극도체 중심이 가는 구멍을 만든 후 프로브를 외부까지 연장한 후 그림 5(a)와 같이 납땜에 의해 끝을 양극 도체에 부착시켰다. 실험결과 동축선 부분에 의한 수신특성 변화는 미약함을 확인하였다. 측정에 사용된 케이블 길이가 파장에 비해 매우 작으며 SMA 커넥터와 케이블의 임피던스 정합이 우수하므로 커넥터와 케이블의 전달계수 감소는 무시할 수 있는 수준이다.



(a)



(b)

(그림 5) 전기뇌관의 실험 모형. (a) 구조도, (b) 제작된 모형.

표 5는 다이폴과 뇌관 모형 사이의 전달계수의 측정 결과와 계산 값을 보인 것이다. 다이폴의 도선과 뇌관의 중심축이 평행할 경우에 전달계수가 가장 크며 표 5의 결과는 이 경우의 값이다. 측정값을 제외한 나머지 값들은 앞에서 구한 뇌관 모형의 안테나 이득 -54.9 dBi와 다이폴 안테나 이득 2.15 dBi를 적용하여 구한 것이다.

표 5에 의하면 두 다이폴 결합 기준 계산, Friis 전송공식, 일반화된 Friis 전송공식 등 세 가지 방법을 이용하여 구한 전달계수가 이격거리 5 cm 이상에서는 측정치와 잘 일치함을 알 수 있다. 0.5 cm의 초근접 거리에서는 세 가지 방법 모두 측정치와는 다른 값을 제공한다. 접촉에 가까운 초근접 거리에서는 평편파 기반의 Friis 공식과 일반화된 Friis 공식이 성립되지 않으며 탄약-전기뇌관 구조체에 의한 전자기장 분포 형상이 다이폴과는 매우 다르기 때문에 두 다이폴 결합 기준 계산 결과와도 일치하지 않는다. 반 파장 다이폴과 뇌관 모형의 전달계수 측정값으로부터도 뇌관 모형의 이득을 구할 수 있다.

<표 5> 뇌관 모형과 다이폴의 전달계수 측정 결과(주파수 900 MHz)

다이폴과 거리 (cm)	전달계수(S_{21})(dB)			
	측정	두 다이폴 결합 기준 계산	Friis 공식	일반화된 Friis 공식
0.5	-44	-56.9	-38.3	-51.2
5	-60	-59.5	-58.3	-59.0
10	-65	-65.4	-64.3	-64.5
20	-72	-67.5	-70.3	-70.4

시뮬레이션과 측정 시에 전기뇌관의 부하저항으로 50 Ω을 사용하였다. 50 Ω 대신에 실제 뇌관의 저항값인 0.8 Ω을 적용할 경우 안테나 이득은 -68.5 dBi가 된다. 입력 임피던스의 허수부는 양극과 음극 사이의 절연체의 종류, 열선 부근의 화약의 종류에 의해서도 변하며 또한 양극도체의 길이에 의해서도 변하게 된다. 뇌관 열선에 전달되는 전력은 임피던스의 허수부가 0인 경우에 최대가 되며 이 경우 안테나 이득은 -37.0 dBi가 된다. 그러나 실제 탄약-전기뇌관 구조에서 입력 임피던스의 허수부가 0이 될 가능성은 매우 희박하기 때문에 그림 4의 뇌관모형의 안테나 이득 값에(-68.5 dBi) 안전계수 20 dB를 고려한 값인-48.5 dBi가 실제 탄약 뇌관의 이득에 더 가까울 것이다.

방사전력이 1 W이며 이득이 6 dBi인 원편파형 RFID 리더기 안테나에 의해 105 mm 전차 탄약에 전파가 인가될 경우 뇌관의 열선에서 허용되는 최대 안전전력은 -1.5 dBm이다. 이 경우 리더기 안테나와 뇌관과의 전달계수는 -31.5 dB 이하이어야 한다. 표 5의 결과로부터 송신 안테나의 이득을 2.15 dBi에서 6 dBi, 뇌관의 이득을 -54.9 dBi에서 -48.5 dBi로 변경하면 표 5의 측정된 전달계수를 약 10 dB 증가시키면 된다. 원편파와 선형편파의 편파효율 -3 dB를 반영하면 0.5, 5, 10, 20 cm의 이격거리에서 리더기 안테나와 전기뇌관의 전달계수는 각각 -37, -53, -58, -65 dB가 되어 안전한 전달계수 -31.5 dBi 보다 작다. 이로부터 900 MHz 대역 RFID 리더기 안테나의 이득이 6 dBi이며 총 방사전력이 1 W, 편파 특성이 원편파인 경우 리더기 안테나로부터 0.5 cm 이상 이격되면 105 mm 전차탄약은 안전함을 알 수 있다.

위의 결과는 105 mm 전차 탄약이 주변의 방해물 없이 자유공간에 존재할 경우이며 탄약 주변에 여러 가지 물체가 있을 경우 난반사에 의해 부분적으로 전기장 세기가 강해질 수 있으므로 위의 결과를 그대로 적용할 수는 없다.

4. 결 론

본 논문에서는 전기뇌관이 설치된 탄약의 전자파 수신특성을 분석하기 위한 방법을 제안하였다. 탄약-전기뇌관 구조체를 안테나로 모델링하고 이 안테나 모형의 입력 임피던스, 이득 및 안테나 간의 결합으로부터 전기뇌관에 수신되는 전자파 전력을 구할 수 있음을 보였다. 안테나 간의 결합을 공식을 사용하여 수신 전력을 예측하기 위해 필요한 뇌관 모형의 이득은 상용 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션 또는 측정에 의해 구할 수 있다.

본 논문에서 제안한 방법을 확인하기 위해 105 mm 전차 탄약 뇌관의 단순화된 모형을 제작하여 반 파장 다이폴과의 이격거리에 따른 전달계수를

뇌관모형과의 전달계수를 측정하고 공식에 의한 예측값과 비교하였다. 이격거리가 0.5 cm로 초근접 위치에서는 예측값과 측정값에 오차가 있었지만 5 cm 이상의 거리에서는 예측값이 측정값과 잘 일치하였다. 측정결과를 토대로 900 MHz 대역에서 6 dBi 이득의 안테나를 사용하여 1 W의 출력을 방사하는 RFID 리더기의 경우 105 mm 전차탄약으로부터의 이격거리가 0.5 cm 이상인 경우 안전하리라 예측되었다.

본 논문의 결과는 전기뇌관을 이용하는 다른 형태 탄약의 전자파 안전성 분석에도 편리하게 적용될 수 있으리라 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 황철준, "u-Defense 구현사례," *정보산업*, 통권 제 241호, pp. 34-36, 2006년 9/10월.

[2] 전현철, "유비쿼터스 기반 u-서비스 응용사례," *2008 IT산업전망 컨퍼런스 발표자료집*, 2007년 10월 17-18일, 정보통신연구진흥원.

[3] 대한민국 국방부, "RFID를 이용한 u-국방탄약 관리사업", 2006년 6월 8일.

[4] US Navy, *NAVSEA OP 3565/NAVAIR 16-1-529 Vol. 2 Tech. Manual, Electromag. Radiation Hazards to Ordnance (12th Rev.)*, 1 Feb. 2003.

[5] IEEE, *IEEE C95.4-2002, IEEE Recommended Practice for Determining Safe Distance from Radio Frequency Transmitting Antennas When Using Electric Blasting Caps during Explosive Operations*, 11 Dec. 2002.

[6] N. A. Heard, D. C. Strachan and A. J. Maddocks, "Measurements of the field strengths on offshore oil platforms for assessing radio-frequency hazards with electroexplosive devices," *IEEE Trans. Electromag. Compat.*, Vol. 27, No. 3, pp. 162-167, Aug. 1985.

[7] H. B. Eistein and H. B. Warner, "Mathematical evaluation of radio frequency hazards to resistive devices," *IEEE Trans. Electromag. Compat.*, Vol. 7, No. 3, pp. 278-296, Sept. 1965.

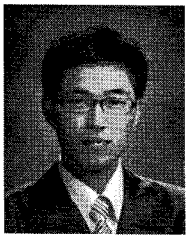
[8] US Army, *Technical Manual TM 43-0001-28, Amry Ammunition Data Sheets, Artillery Ammunition - Guns, Howitzers, Mortars, Recoiless Rifles, Grenade Launchers, and Artillery Fuzes*, Apr. 1994.

[9] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design, 3rd Edition*, John Wiley & Sons, 1998.

[10] T. S. Chu, "An approximate generalization of the Friis transmission formula," *Proc. IEEE*, Vol. 53, No. 3, pp. 296-297, Mar. 1965.

김 미 선 (Mi-Sun Kim)

- 정회원
- 2007년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 (공학사)
- 2007년 3월 - 현재 : 충북대학교 전파공학과 석사과정
- 관심분야: RF/ 안테나



박 진 석 (Jin-Seok Park)

- 정회원
- 2008년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 (공학사)
- 2008년 3월 - 현재 : 충북대학교 전파공학과 석사과정
- 관심분야 : RF/안테나

안 병 철 (Bierng-Chearl Ahn)

- 정회원
- 1981년 2월 : 서울대학교 전기공학과 (공학사)
- 1983년 2월 : 한국과학기술원 전기전자공학과 (석사)
- 1992년 12월 : University of Mississipippi, 전기전자 공학과 (박사)
- 1983년 - 1986년 : (주) 금성정밀 주임연구원
- 1992년 - 1994년 : 국방과학연구소 선임연구원
- 1995년 - 현재 : 충북대학교 전파공학과 교수
- 관심분야 : 전자파 응용/ 안테나

논문접수일 : 2008년 11월 27일
논문수정일 : 2009년 1월 2일
게재확정일 : 2009년 1월 17일