

# 코일의 유도기전력을 이용한 에너지 및 데이터 전송방법에 관한 연구

정희철<sup>1\*</sup>, 서정화<sup>1</sup>, 김경록<sup>1</sup>, 김명현<sup>1</sup>, 구자춘<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>국방기술품질원, <sup>2</sup>(주)한화 구미사업장

## A Research on transmission energy and data using induced electromotive force of coil

Hee-Chur Jung<sup>1\*</sup>, Jung-Hwa Seo<sup>1</sup>, Kyoung-Rok Kim<sup>1</sup>, Myung-Hyun Kim<sup>1</sup>, Ja-Chun Koo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Defense Agency for Technology and Quality,  
<sup>2</sup>Hanwha

**요약** 본 논문은 유도기전력을 이용하여 에너지 및 데이터 전송에 대한 것이다. 무기체계는 실제 사용되는 시간에 비해 상당히 오랜 시간을 저장상태로 유지되게 된다. 탄의 전원공급원으로 주로 사용되는 보존형 전지의 경우 이러한 장기저장 동안 점차 본연의 특성을 잃게 되어 막상 사용할 시점에는 제대로 된 성능을 발휘 할 수 없는 경우가 종종 발생한다. 장기간 저장에 따라 발생하는 신관의 다양한 문제를 해결하기 위해, 전원공급원을 내장하여 사용하는 것이 아니라, 신관 사용 직전 다른 장치로부터 전송되는 유도전원을 이용할 수 있도록 고안 하였다. 유도기전력을 이용한 통신에 있어 시스템에 따른 가장 적합한 캐리어 주파수 설정 대한 연구를 수행하였으며, 유도 전원의 통신 방식도 기존 FM, AM 변조 방식 대비 짧은 시간에 많은 데이터 전송이 가능한 듀티비 변조방식을 적용하였다. 이 실험을 통해 유도코일이 기존 신관의 전원을 문제 없이 대체 할 수 있으며, 유도 코일이 전자식 신관의 전원 공급 장치가 될 수 있는 가능성을 보여주고 있다.

**Abstract** This study concerns the transmission of energy and data using induced electromotive force. Due to the requirements of weapon systems, most arms are kept in an armory for a very long time before being used. During this time, the reserve battery, which serves mostly as a power supply for the electronic fuze, can be degraded, thus causing problems when it is actually needed. We attempt to solve the various problems associated with the old fuze system caused by long-term storage by using the 'induction power' transmitted from another device just before its operation, instead of using 'built-in power'. We tried to find the best carrier frequency to communicate with the system by induced electromotive force. Also, we changed the communication method for transmitting the 'induction power' from 'FM/AM modulation' to 'Duty ratio modulation', which can transmit a large amount of data in a short time. Through experiments, it was demonstrated that the induction coil can replace the reserve fuze's battery without any problem, thus confirming the possibility of using an induction coil as the power supply source of the electronic fuze.

**Keywords** : Carrier Frequency, Communication efficiency, Duty Ratio Change Method, Induced electromotive force

### 1. 서론

전자부품으로 구성된 제품을 구동시키는데 있어 가장 필수적인 요소 중 하나는 분명 전원공급원일 것이다. 우

리는 일상에서 손쉽게 주변의 콘센트 등을 이용하여 220V의 전원을 이용할 수 있으므로 전원공급원이 얼마나 중요한지에 대해 심각하게 고민해 보지 않은 부분이 나, 전원이 공급되지 않는 지역에서 전자제품을 사용하

\*Corresponding Author : Hee-Chur Jung (Defense Agency for Technology and Quality)

Tel: +82-53-757-3028 email: heechur@dtqa.re.kr

Received March 7, 2016

Accepted July 7, 2016

Revised (1st May 27, 2016, 2nd July 6, 2016)

Published July 31, 2016

거나, 전자제품을 움직이는 상황 등에서 사용할 경우에는 유선을 이용한 전원 공급이 쉽지 않음으로 이러한 특수한 목적에 사용되는 전자제품의 개발에 있어 전원공급은 전자제품 개발방향을 설정하는 가장 중요한 요소 중 하나이다.

본 논문에서 다루고자 하는 분야는 군수무기 중 공중 폭발탄의 전원공급 및 데이터 전송방법에 관한 것으로 탄의 신관이 별도의 전원공급원을 가지지 않고도 운용이 가능하다면 이는 획기적인 탄의 신관을 개발할 수 있는 원동력이 될 것이다. 기존 전자부품을 장착한 신관의 전원공급원은 납전지 혹은 보존형 리튬전지를 적용하는 방식으로 이들 전지는 다른 전원공급원이나 다른 종류의 전지에 비해 소형이긴 하지만 신관 전체에서는 가장 큰 부피를 차지하는 부품 중 하나이고, 이들 전지를 필요한 시점에 활성화 시켜야 함으로 별도의 활성화 장치가 부가적으로 요구된다. 이러한 전원장치 및 그에 따른 활성화 장치로 인해 신관은 보다 많은 공간이 필요로 하게 된다.

군수품인 탄의 다른 특성은 한번 제작된 신관은 대부분의 시간을 탄약고에 저장되어 보관되고, 실제 운용되는 시간은 저장시간에 비해 극히 짧은 시간이다. 탄의 저장시간은 최대 20년에 달하는 제품도 있음으로 이러한 장기저장으로 인해 전지는 본연의 특성을 잃게 마련이고, 이러한 전지의 특성저하는 곧 신관의 작동성능에 영향을 미침으로 전자회로를 사용하는 신관에 있어 전지의 성능은 곧 신관의 신뢰도를 결정하는 가장 중요한 요소로 간주되어 진다.[1]

만약 전자부품을 사용하는 탄의 신관이 별도의 전원공급원을 가지고 있지 않은 상태에서 장기저장의 시간을 보내고, 탄이 운용되는 시점에만 필요한 전원을 공급받아 사용할 수 있다면 이는 전자 신관 개발에 있어 획기적인 일이 될 것이다.[2]

본 논문에서는 상기에서 언급된 문제 해결을 위해 신관은 보존형 전지와 같은 별도의 독립적인 전원공급원을 가지지 않고, 탄이 운용되는 시점에만 외부로부터 전원을 공급받아 작동될 수 있는 시스템 구현을 통해 기존 보존형 전지의 장기저장에 따른 특성 열화 문제를 원천적으로 해결하고자 하였다.

이러한 시스템 구현을 위해 본 논문에서는 유도코일을 이용하여 외부장치에서 탄의 신관으로 신관 작동에 필요한 전원 및 신관 작동모드를 결정할 수 있는 정보데

이터 전송을 위한 유도코일을 이용한 에너지 및 데이터 전송방법에 대해 다루고자 한다.

유도코일을 이용한 통신방식[3]은 일종의 무선통신에 해당하는 기술로 본 논문에서 다루고자 하는 또 다른 이슈는 캐리어(Carrier) 주파수를 이용한 데이터 전송방법에 관한 것이다. 무선통신에서 사용하는 변조방식은 반송파에 캐리어 주파수의 진폭을 변조하는 진폭 변조방식(Amplitude Modulation)이나 캐리어 주파수의 주파수를 변조하는 주파수 변조방식(Frequency Modulation)을 주로 이용한다. 이 두 가지 대표적인 변조방식의 공통점은 캐리어 주파수에 필요한 정보를 합성하는 방식으로 필요한 정보 데이터에 비해 더 많은 캐리어 주파수가 요구된다. 하지만 본 논문에서 적용 하고자 하는 듀티비(Duty Ratio) 조절방식은 캐리어 주파수의 듀티비만을 조절하여 0과 1의 디지털 데이터 정보를 통신하는 방식으로, 이러한 듀티비 조절방식은 1개의 캐리어 주파수에 1개의 데이터 정보를 실어 보낼 수 있음으로 인해 기존 진폭 변조방식 및 주파수 변조방식에 비해 짧은 시간에 더 많은 데이터 통신이 가능함으로 고속 데이터 통신이 가능하며, 이는 유도코일을 이용한 통신방식이 다른 무선 통신방식들에 비해 떨어지는 통신 속도 문제를 보완할 수 있는 대안으로 제시될 수 있을 것이다.

## 2. 제안한 시스템

유도코일을 이용하여 통신하는 방식은 유도코일에 전류를 흘려, 전류에 의해 생성되는 자기력선을 이용하는 방식으로 아래 Fig. 1 과 같이 금속 형태의 코어에 코일을 감고 전류를 흘리게 되면 흐르는 전류에 의해 전기회로가 생성되고, 이는 곧 자속이 통과하는 자기회로로 변환될 수 있다.

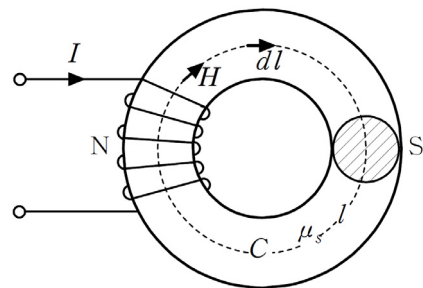


Fig. 1. A magnetic circuit

전기회로의 전류변화는 곧 자기회로의 자성변화로 이어지고, 이러한 자기회로의 자성변화는 인접한 자기회로의 자성변화를 일으키게 되고, 이 자성변화에 의해 전기회로에 전압이 유기되는 원리를 이용하면 비접촉상태에서도 상호간 이격된 전자회로는 통신이 가능하게 된다.

상호간 자성변화가 잘 발생할 수 있도록 코어는 일반적으로 박판형태의 철심으로 제작되고, 박판형태의 철심에 전류변화를 발생시키는 1차 코일(Primary winding)을 설치하고 이 코일의 전류변화는 코어의 박판에 자기회로를 형성하게 되고, 이 자기회로는 2차 코일(Secondary winding)에 전류변화를 일으키게 된다.

이와 같이 유도되는 전류 및 전압의 관계식은 아래와 같이 코일의 권선수를  $N$ [회]로 설정하고, 코일에 흐르는 전류를  $I$ [A], 이에 생성되는 자계를  $H$ [AT/m], 자계방향의 미소 선분벡터를  $dl$ [m]이라 할 때, 자기회로에 자속을 발생시키는 힘, 기자력  $F$ [AT]은 아래 식 (1)과 같이 정리될 수 있다.

$$\oint_C H \cdot dl = NI [AT] \quad (1)$$

유도코일을 이용한 통신방법은 패러데이의 전자기 유도법칙을 이용하는 것으로 일반적으로 Fig. 2 와 같은 형상으로 제작되며, 그림과 같은 등가회로로 나타낸다.

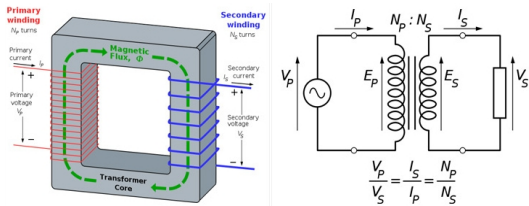


Fig. 2. Transformer structure and formula

1차 코일(Primary Winding)에 교류전압( $E_p$ )을 인가하면 전류변화에 의해 철심으로는 자기력이 생성되고, 1차 코일의 입력전압과 생성되는 자속의 시간적 변화율은 패러데이의 전자기 유도법칙에 의거하여 아래 식 (2)과 같이 1차 코일의 턴 수와 공급원의 자속변화의 곱으로 유기된다.

$$E_p = N_p \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

이에 패러데이 유도법칙에 의거 2차 코일(Secondary Winding)으로 유도되는 기전력은 아래 식 (3)와 같이 2차 코일의 턴수( $N_s$ )와 유도된 유도자속의 곱으로 2차 코일에 유도기전력( $E_s$ )이 유기된다.

$$E_s = N_s \frac{d\Phi}{dt} \quad (3)$$

상기 1차 측 입력 전압 식을 2차 측 유도기전력으로 나누게 되면, 1,2차 측 상호간의 입, 출력 전압, 전류, 권선수간의 상호관계는 에너지 보존법칙에 의거 전달손실이 발생하지 않는다는 가정 하에 아래 식 (4) 와 같이 최종 정리될 수 있다.

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} \quad (4)$$

이러한 패러데이의 전자기 유도법칙에 의거 1차 측 코일에 사인과 형태의 캐리어 주파수를 실어 보냈을 때, 2차 측으로 유기되는 전압을 이용하여, 신관 작동에 필요한 전원 및 2차 코일로 유기되는 전압파형의 형태를 분석하여 유용한 디지털 정보 데이터로 활용 하고자 한다.

또한 본 논문에서는 무선통신의 캐리어 주파수를 효율적으로 사용하여 통신 속도를 향상시키기 위해 캐리어 주파수의 듀티비 조절 방식을 이용하였다. 통상 무선통신의 캐리어 주파수 이용은 가장 고전적인 방식인 AM 변조 방식과 FM 변조 방식으로 대표되어 왔다. AM 변조 방식은 캐리어 주파수의 진폭을 변조하는 방식으로 Fig 3에 나타낸 바와 같이 사인과 형태의 캐리어 주파수의 진폭을 좀 더 큰 형태의 사인과 형상으로 취하여, 원하는 데이터를 전송하는 방식이고, FM 변조 방식은 캐리어 주파수의 주파수를 변조하는 방식으로 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 사인과 형태의 캐리어 주파수의 진폭은 그대로 유지하면서 주파수의 시간 축을 변화시키는 방식으로 데이터를 전송하는 방식이다. 이와 같은 무선통신의 대표적인 통신방식의 공통점은 원거리 통신을 위해 캐리어 주파수를 사용한다는 것과 캐리어 주파수에 원하는 정보 데이터를 실어 보냄에 있어 원하는 정보 데이터 보다는 많은 개수의 캐리어 주파수가 필요로 하는 점이다.

본 논문에서 제안하는 캐리어 주파수의 듀티비를 조절하는 방안은 1개의 캐리어 주파수에 1개의 디지털 데이터 정보를 전송하는 방식으로, 캐리어 주파수를 사용

하는 형태의 정보 전송에서는 가장 효율성이 높은 통신 방식이다. 이러한 듀티비 조절방식의 통신방식은 기존 AM변조 및 FM변조 방식의 통신방식에 비해 동일한 캐리어 주파수를 사용하더라도 가장 빠리, 그리고 가장 많은 양의 데이터 전송이 가능한 장점이 있다. 또한 AM변조 방식과 FM변조 방식은 사인과 형태의 아날로그 신호를 사용함으로, 디지털신호와와의 호환을 위해 동조회로 및 신호처리용 컨버터를 거쳐 디지털 신호로 변환시켜줘야 하는 부가장치가 필요했던 반면, 듀티비를 조절하는 방식은 사각파 형태의 디지털 신호를 사용함으로, CPU나 Microprocessor등의 디지털 입력포트를 이용하여 별다른 신호처리 없이 곧바로 디지털 정보통신이 가능한 장점이 있다.

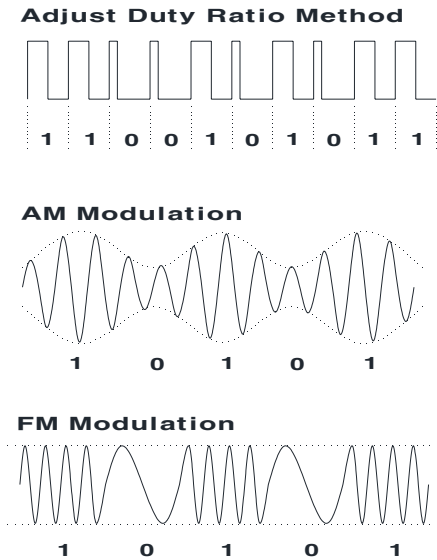


Fig. 3. Carrier frequency modulation method

### 3. 실험결과

#### 3.1 에너지 및 데이터 통신

실제 제품을 응용하고자 하는 시스템[4,5]에서는 전원 공급원에 해당하는 1차 측 코일은 사격통제장치와 연동되어 구동되고, 변압기의 코어에 해당하는 철심부위는 총열로 대체되게 된다. 그리고 2차측 코일은 탄의 신관에 내장되어 탄이 총열 내 장진된 위치에서 운용이 이루어지게 된다. Fig 4에 나타난 바와 같이 코일구동 전압

및 송신신호는 사격통제장치에 해당하는 부분이고, 2차 코일을 포함한 RC동조회로, 브릿지(Bridge) 정류회로, 충전커패시터, 수신회로 등은 탄의 신관 구성품으로 이루어진다. Fig. 4 에 표시되지 않은 총열은 변압기의 코어에 해당하는 부분으로, 통상의 코어는 자기회로의 자기력선을 강하게 생성시키기 위해 존재하나, 본 시스템의 코어에 해당하는 총열은 오히려 1차 코일의 유도전류가 2차 코일로 유도되는데 있어 방해하는 요소로 작용한다. 실제 코어에 해당하는 총열 제거 시 통신효율은 보다 향상 될 수 있다.

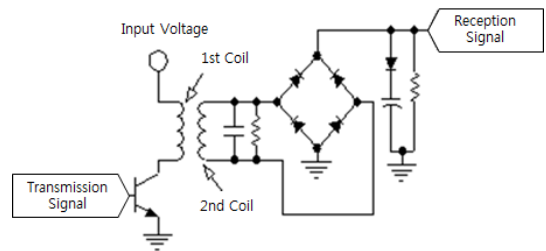


Fig. 4. Inductive communication circuit

유도기전력 생성을 위해 송신측, 즉 1차 코일 측에 코일 구동용 전압을 인가한 상황에서 코일구동 전압을 빠르게 스위칭 할 수 있도록 트랜지스터 혹은 FET를 연결하여 Driver 회로를 구성한 상태에서 Driver 게이트(Gate)단을 Microprocessor나 Function Generator등을 이용하여 ON/OFF의 과정을 빠르게 반복하게 되면 1차 코일 측에 교류형태의 유도기전력이 발생하게 된다.

1차 코일에서 생성되는 유도기전력을 수신하기 위해서 트랜스형태의 2차 코일과 2차 측에서 공진을 발생시킬 수 있는 저항과 커패시터로 구성된 동조회로, 그리고 +/- 형태로 교번하는 전압을 모두 수신하기 위한 다이오드를 이용한 브릿지 정류회로, 정류된 전압을 충전하고 분석하기 위한 다이오드, 저항, 커패시터로 2차 측 회로를 구성하여 시험을 진행하였다.

1차 측에서 스위칭 소자를 디지털적으로 빠르게 ON/OFF 반복함에 있어 전압 레벨은 분명한 0과 1의 구간을 반복하게 되지만 실제 코일에 흐르는 전류는 Fig. 5 에서 계측한 바와 같이 증가 시에는 기울기를 가지고 서서히 정점에 도달하는 반면, 감소 시에는 급격히 떨어지는 형태를 보이고 있다. 실제 유도기전력을 이용한 통신에 있어 필요한 핵심은 급격히 변화하는 전류임으로

Fig. 5 의 계측결과에서 나타낸 바와 같이 전류가 증가할 때 보다는 전류가 급격히 줄어드는 시점, 즉 역기전력이 발생하는 시점에 대부분의 에너지가 2차 코일로 유입됨을 유추 할 수 있다.

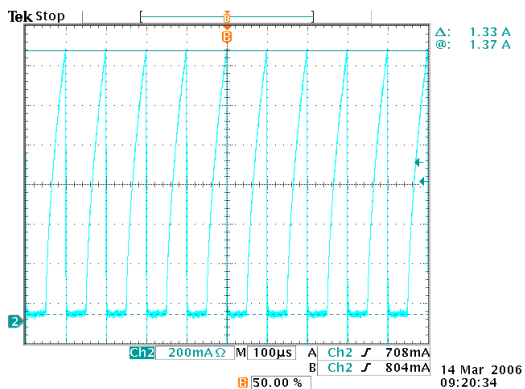


Fig. 5. Drive current of primary coil

실제 제작에 있어 1차 코일의 형상은 실험의 중요한 변수이다. 1차 코일의 선경, 턴수, 그리고 선간 간격을 균일한 조건으로 유지시키기 위해 코일이 균일하게 배치될 수 있는 보빈을 제작하여 실험을 진행하였다. Fig 6 에 나타낸 바와 같이 1차 측 코일이 균일하게 배치될 수 있도록 플라스틱 형태의 봉체에 코일이 배치될 홈을 가공한 뒤 코일을 권선하여 1차 코일의 선 간격을 균일하게 유지하였고, 충분한 전류를 공급할 수 있도록 비교적 굵은 에나멜(Enamel) 선을 적용하여 송신시스템을 구성하였다.

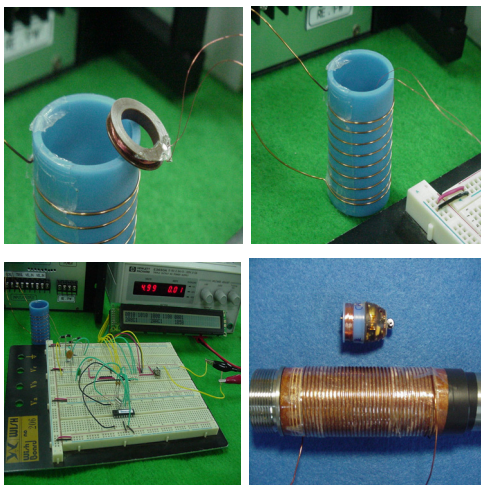


Fig. 6. Coil assembly and scene of experiment

2차 측 수신코일에서도 보다 효율적으로 에너지를 수신하고, 보다 왜곡 없는 신호를 수신받기 위해서는 코일이 감겨지는 보빈의 형상, 재질과 더불어 수신코일의 턴수, 선경 등이 중요한 관리요소로 구분될 수 있다. 이에 2차 코일을 협소한 공간에 균일하게 배치시키기 위해 신타래 형태의 보빈을 제작하였고, 보빈 내에서 균일한 턴수를 가질 수 있도록 코일을 권선하였다. Fig. 6에 나타낸 바와 같이 제작된 송/수신 코일 조립 체와 송신 코일을 구동시키기 위한 코일 Driver 회로를 연결하고 수신 코일 조립체로 인가되는 파형을 정류 및 분석할 수 있는 주변회로를 실험용 키트로 구성하여 실험을 진행하였다. 이러한 실험 데이터를 바탕으로 코일 조립 체들의 규격을 설정하여 실제 총열 위에 실장 되는 송신코일 조립체와 탄의 신관에 장착될 수신코일 조립 체를 제작하였다.

실제 회로를 구성하여 시험한 결과, 초기 에너지 전송에 의해 Fig. 6 의 2차 측 수신 단 커패시터에 충전되는 전압은 Fig. 7 과 같이 RC의 시정수 계수의 커브를 가지는 형태로 계측되었다.

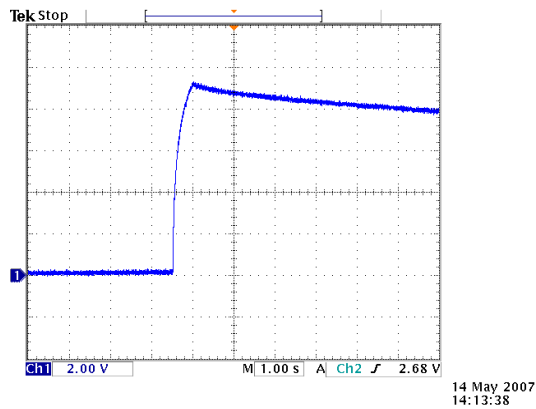


Fig. 7. Charge waveform of power capacitor

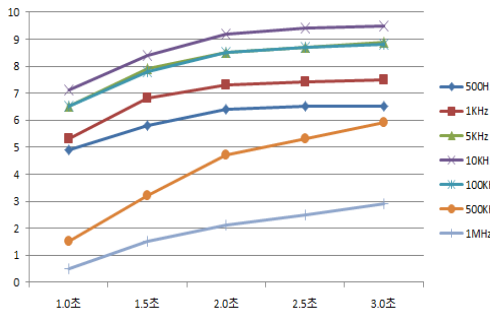
통신 효율이 가장 좋은 캐리어 주파수 및 실제 사용하고자 하는 신관은 전원 커패시터 150uF의 용량에 9.0V 이상의 전압을 충전시키기 위한 시간을 찾아내기 위해 본 논문에서 제안한 송/수신 코일 및 회로를 고정된 상태에서 캐리어 주파수 및 충전시간에 따른 전원 커패시터에 충전되는 전압을 아래 Table 1 과 같이 측정하였다.

**Table 1.** Carrier frequency & energy efficient data

Carrier frequency	Charging Voltage Time				
	1.0s	1.5s	2.0s	2.5s	3.0s
500Hz	4.9	5.8	6.4	6.5	6.5
1KHz	5.3	6.8	7.3	7.4	7.5
5KHz	6.5	7.9	8.5	8.7	8.9
10KHz	7.1	8.4	9.2	9.4	9.5
100KHz	6.5	7.8	8.5	8.7	8.8
500KHz	1.5	3.2	4.7	5.3	5.9
1MHz	0.5	1.5	2.1	2.5	2.9

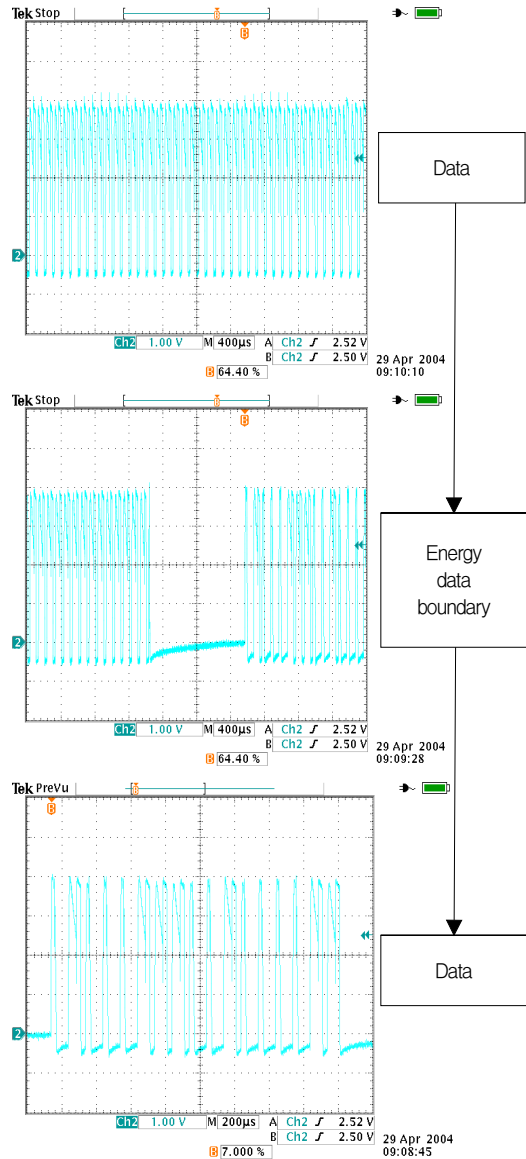
실험결과 캐리어 주파수별로 충전 속도 및 완충되는 전압 값 등은 서로 상이한 결과를 나타내었다.

하지만 10KHz 대역의 캐리어 주파수 적용 시 가장 빠른 속도로 전원 커패시터가 충전되었고, 충전된 전압 역시 가장 높은 결과를 얻을 수 있었다. 캐리어 주파수 선정 이후 가장 적절한 충전시간을 도출하기 위해 추가적인 시험을 진행한 결과 충전 시간을 길게 할수록 충전되는 전압은 높아지지만, 전 주파수 영역에서 충전전압의 포화현상을 확인할 수 있었다. 이에 가장 충전효율이 좋았던 10KHz의 캐리어 주파수에서도 커패시터에 충전되는 전압의 RC 타우가 98%에 이르는 시간인 2초까지를 충전시간으로 한정하는 것이 시스템을 보다 효율적으로 구동시킬 수 있는 최적의 조건으로 설정하였다.



**Fig. 8.** Carrier frequency & capacitor charge curve

Fig. 8에 나타낸바와 같이 500Hz에서 10KHz로 주파수가 증가함에 따라 커패시터에 충전되는 값은 높아지는 것을 확인할 수 있었으며, 10KHz에서 1MHz로 캐리어 주파수가 상승함에 따라 충전되는 값은 다시 감소하여 오히려 500Hz보다 더 낮은 전압이 충전되는 것을 확인할 수 있었으며, 최고전압까지 완충되는 기울기도 낮아져 포화되는 시간이 길어지는 결과를 도출할 수 있었다.



**Fig. 9.** Transmission of energy and data

상기와 같은 결과를 바탕으로 캐리어 주파수는 10KHz로 고정하고, 본 실험에서 의도한 듀티비 조절을 이용한 에너지 및 데이터 통신을 위해 통신효율이 가장 높은 듀티비를 찾기 위해 추가적인 실험을 하였다. 실험 결과는 앞서 1차 코일의 구동전류 측정결과에서 볼 수 있었듯이 실제 유도기전력이 가장 많이 발생하는 부분은 디지털 형태의 신호가 High에서 Low로 변하는 역기전력이 발생하는 시점임으로, 이러한 역기전력이 가장 효율적으로 발생할 수 있는 신호의 High:Low의 듀티비가

50%:50%임을 확인 할 수 있었다.

이에 에너지 공급 영역은 10KHz의 캐리어 주파수에 듀티비 50%:50%를 적용하는 것으로 설계를 확정하였다.

에너지 형태로 전송되는 듀티비와 데이터의 1로 전송되는 듀티비가 동일함으로 시스템에서 이 부분의 구분을 위해서는 Fig. 9에서 나타난 바와 같이 초기 전원공급을 위해 10KHz의 50% High 신호를 지속적으로 공급한 후 일정 지연시간을 가진 후 원하는 디지털 정보가 전송될 수 있도록 구성하여, 하나의 수신회로를 이용하여 전원 공급 및 데이터 통신도 같이 할 수 있도록 구성하였다.

Table 2. Duty ratio of each data

Type	Digital information	High section	Low section
Energy	1	50%	50%
Data	1	50%	50%
	0	20%	80%

Fig 10에는 50%:50%의 듀티비를 가지는 디지털 신호 High에 해당하는 파형과 20%:80%의 듀티비로 디지털 신호의 Low에 해당하는 파형의 신호를 나타내고 있다.

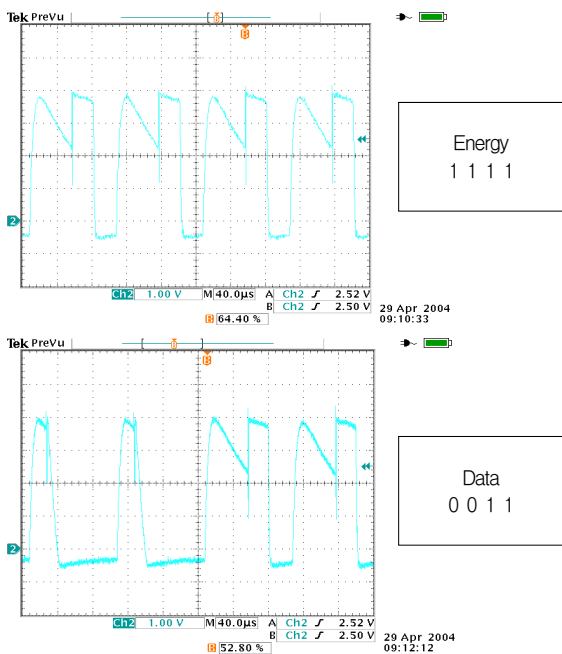


Fig. 10. Detail waveform of energy and data

### 3.2 통신효율 개선

1차 시제를 이용한 기본적인 가능성 및 제품 적용 시험을 거친 후 최적화 단계를 진행하였다. 유도코일을 이용한 통신에서 핵심이 되는 원리는 페레데이의 전자기 유도법칙이고, 본 논문에서 응용한 1차 코일을 이용한 전기장의 변화를 통해 코어에 자기장의 변화를 일으키고, 코어의 자기장 변화는 2차 코일의 전자기장 변화로 이어지는 구조에서 효율적인 에너지 전달을 위해 사용되는 코어가 본 시스템에서는 총열로서 다른 시스템에서는 코어가 전달효율을 상승시키는 매개변수 역할을 하지만, 본 시스템에서는 총열로 인해 전달효율이 감소하는 장애가 되었다. 이러한 총열에서 발생하는 손실을 보상하고자, 다른 조건에서 전달효율을 향상시킬 수 있는 방안에 대해 추가 연구를 진행하였다.

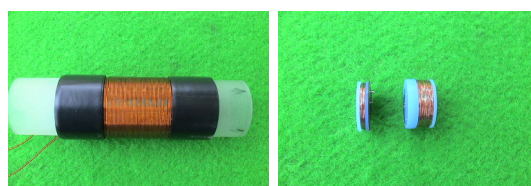


Fig. 11. Improvements of transmit-receive coil

1차코일 측면에서는 전기장 변화에 의한 자장변화를 보다 강화하기 위해 1차 코일의 턴 수 증가와 코일이 배치되는 면적을 좁게 하여 생성 자계를 강화시킬 수 있도록 변경하였다.

이와 더불어 송신코일을 구동시키는 전압을 우리 주변에서 쉽게 사용할 수 있는 220V 교류전원을 전원공급원으로 하여 시스템에 적합한 직류전원을 만들어 낼 수 있는 SMPS용 직류전원과 본 논문에서 연구한 결과가 최종 적용될 무기체계에서 사용될 휴대용 Battery 적용한 비교 시험을 통해, Table 3 과 같이 변경된 1,2차 송신코일의 조건별 사용 전원의 전압에 따른 소모전류를 측정하였다.

Table 3. Measurement spec. of voltage and currents

Coil	1st Coil				2nd Coil			
	SMPS		Battery		SMPS		Battery	
Power supply								
Voltage (V)	7.2	15	7.2	14.5	7.2	15	7.2	14.5
Current (A)	3.12	4.9	1.86	4.4	1.5	2.8	1.34	2.3

또한 Battery와 SMPS 전원별 2차 코일을 통해 전원 커패시터에 충전될 수 있는 전압을 측정하여, 포화기 되기 시작하는 시간을 Table 4 와 Fig. 12 에서와 같이 측정하였다. 이러한 포화 시간 측정을 통해 실제 응용에서 최적의 시간을 통해 가장 효율적인 통신효율을 구현해 낼 수 있는 중요한 변수를 도출할 수 있었다.

Table 4. Measurement spec. of Battery & SMPS

Time (sec)	7.2V		15V	
	Battery	SMPS	Battery	SMPS
0.1s	3.04	3.30	4.80	5.40
0.2s	3.62	3.88	5.55	6.28
0.3s	3.92	4.32	6.00	6.72
0.4s	4.01	4.45	6.20	6.80
0.5s	4.10	4.54	6.32	6.92

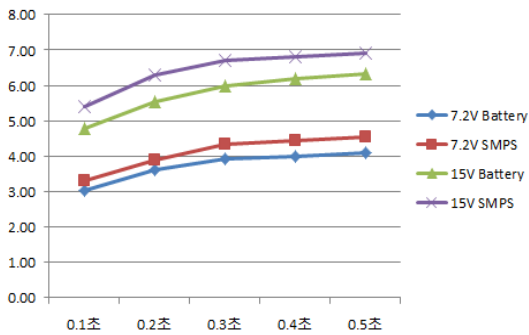


Fig. 12. Battery & SMPS voltage curve

2차 코일 수신효율 개선을 위해 1차 측 코일에서 유기된 유도전원을 보다 응집된 형태로 수신 가능하도록 1차 시제에서 적용한 수신코일 보다 코일의 턴 수를 증대시키는 방향으로 설계 변경을 추진하였다. 물론 2차 코일의 외형 사이즈 증대를 통한 1차 코일과의 코일 공극을 줄이는 것도 효과적인 방법이 될 수 있으나, 코일 공극 및 크기 부분은 시스템이 적용되는 무기체계에서 이미 정해져 있어 변경이 불가하다. 이러한 2차 코일의 턴 수 증대를 통해 유도통신의 효율을 향상시킬 수 있었으며, Table 3 의 시험 데이터를 통해 유추할 수 있었던 0.3초 영역대역에서의 포화곡선과 Table 4 에 나타낸 바와 같이 수신코일의 턴 수가 1차 시제에 비해 약 4배 이상 많이 감긴 2차 시제에서 초기 신관 작동을 위해 필요한 에너지 전송시간을 2초에서 0.3초로 단축시킬 수 있었다.

Table 5. Improvements spec. of transmit-receive coil

		1st prototype	2nd prototype
Transmit coil	Number of turn	25 times	110 times
	Pitch	5 mm	0.45 mm
Receive coil	Number of turn	100 times	280 times
Chare time(sec)		2s	0.3s

이러한 연구를 바탕으로 실제 제품은 Fig. 13에서 보는바와 같이 실제 총열에 장착되는 제품을 제작할 수 있었다.



Fig. 13. Real barrel and transmit-receive coil Assembly.

#### 4. 결론

본 연구에서는 캐리어 주파수의 듀티비 조절을 통해 타 무선통신 방식에 비해 짧은 시간에 더 많은 데이터 전송이 가능한 결과를 도출할 수 있었다. 이러한 가능성의 확인은 본 논문이 적용되는 시스템에서 별도의 전원 공급 장치 없이, 다른 시스템으로부터 공급되는 유도전원만을 이용한 운용이 가능함을 확인할 수 있었다.

첫째, 유도코일을 이용한 통신에 있어 캐리어 주파수를 10KHz로 설정하는 것이, 시스템 마다 다소 차이를 보일 수 있으나, 본 시스템에서는 가장 효율적인 임피던스 매칭을 보였고, 이에 따라 에너지 전달 효율도 높았으며, 수신되는 파형의 분석이 용이한 결과를 도출할 수 있었다.

둘째, 무선통신 효율에 있어서는 캐리어 주파수에 원하는 데이터를 실어 보내는 기존 AM변조방식과 FM변조방식에 비해 1개의 캐리어 주파수의 듀티비만을 조절하여 0과 1의 데이터를 보내는 방식이 가장 효율적인 데이터 통신방법임을 확인할 수 있었다.

셋째, 본 연구에서 확보된 유도코일을 이용한 통신기술은 대부분의 시간을 저장 상태에서 유지되어지고, 짧은 시간만 운용되는 신관 전자부의 전원 공급 장치로는 가장 효율적인 방안으로 향후 전자신관 기술경쟁력 강화에 크게 기여할 것으로 기대된다.



References

- [1] "Test Method Standard for Environment Engineering Considerations and Laboratory Tests, MIL-STD-810E", U.S Department of Defense, Washington, D.C., pp. 501.3, Jan. 1989.
- [2] Sang-Hee Yoon, Jong-Soo Oh, and Seok-Woo Lee, "Miniaturized Inertia Generators as Power Supplies for Small-Caliber Fuzes", IEEE Transactions on magnetics, vol. 41, pp. 2300-2306, July 2005.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TMAG.2005.851863>
- [3] C.W.T McLyman, "Transformer and Inductor Design Handbook, Marcel Dekker inc, New York", pp. 200-203, 1978.
- [4] A. Buckley and P.H. Freymond, "30mm air burst munition ABM", Proceedings of the 35th NDIA Annual Gun and Ammunition Symposium, Williamsburg, USA, 2000.
- [5] J.C. Timmerman, "Air bursting munitions a systems perspective", Proceedings of the 36th NDIA Annual Gun and Ammunition Symposium, San Diego, USA, 2001.

정 희 철(Hee-Chur Jung) [정회원]



- 2011년 2월 : 경북대학교 물리학, 기계공학과 (학사)
- 2010년 10월 ~ 2012년 11월 : 한국항공우주산업 사원
- 2012년 12월 ~ 현재 : 국방기술품 질원, 현)연구원

<관심분야>  
전자, 기계, 소자

서 정 화(Jung-Wha Seo) [정회원]



- 1987년 2월 : 경북대학교 금속공학과 (학사)
- 1989년 2월 : 경북대학원 금속공학과 (석사)
- 1993년 4월 ~ 현재 : 국방기술품 질원, 현)책임연구원

<관심분야>  
전자, 기계, 금속

김 경 록(Kyoung-Rok Kim) [정회원]



- 2014년 9월 : 경북대학교 전자공학부 (학사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품 질원, 현)연구원

<관심분야>  
전자, 전기, 소자

김 명 현(Myung-Hyun Kim) [정회원]



- 2012년 2월 : 한국기술교육대학교 응용화학공학과 (학사)
- 2014년 8월 : 울산과학기술원 신소재공학부 (석사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품 질원, 현)연구원

<관심분야>  
전자, 신소재, 에너지

구 자 춘(Ja-Chun Koo) [정회원]



- 1998년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (학사)
- 2007년 2월 : 창원대학교 전자공학과 (석사)
- 1998년 6월 ~ 현재 : ㈜한화 개발 팀 연구원

<관심분야>  
시스템 제어, 정밀 센서