

유도무기체계의 무선배꼽장치 구현연구

은희현^{*,1)} · 정석종²⁾ · 정재원¹⁾ · 노동규¹⁾ · 강치우¹⁾ · 박영수¹⁾

¹⁾ LIG넥스원(주) 유도무기연구소

²⁾ 위스텍 RF 연구소

A Study on Realization of Wireless Umbilical Device for Missile Systems

Heehyun Eun^{*,1)} · Sukjong Jung²⁾ · Jaewon Jung¹⁾ · Donggyu Ro¹⁾ · Cheewoo Kang¹⁾ · Youngsoo Park¹⁾

¹⁾ PGM R&D Lab, LIGNEXI, Korea

²⁾ RF Team, R&D Lab, WISTEK, Korea

(Received 24 July 2017 / Revised 5 September 2017 / Accepted 10 November 2017)

ABSTRACT

This paper presents the study result on a realization of wireless umbilical device for missile systems. In general, a missile system is connected to a fire control equipment via an umbilical connector to get the electrical power for its internal equipment and communicate with each other. And these connectors inherently have many problems of mis-contact between pin and socket, and mis-separation during missile firing, etc. A wireless umbilical device using LC resonance is devised to solve these problems of the current technology. For hundreds of watts power transmission under the missile system environment of restricted space, we designed and made a prototype of wireless umbilical device. And we tested this wireless umbilical device with an aluminum cylinder having cutout windows which simulate missiles. We realized that the wireless technology can be used as a substitute for the conventional umbilical connectors, and EMI and environment tests should be followed further.

Key Words : Wireless Power Transmission(무선전력전송), Wireless Umbilical(무선배꼽), Missile System(유도무기체계)

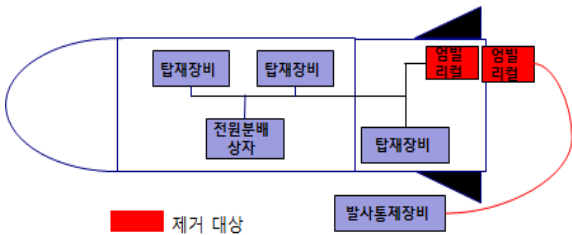
1. 서론

19세기 말 Nikola Tesla가 무선전력전송 기술을 제안한 이후, 현재까지 여러 가지 무선전력전송 연구가

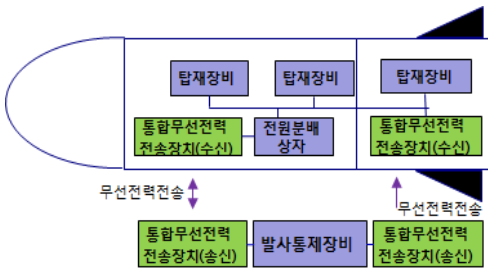
진행되고 있다^[1]. 현재까지 개발된 무선전력전송 기술은 유도결합 기술, RF전송기술, 자기공진기술이 있다^[2]. 무선전력전송 기술은 단순히 전기전자제품의 이동이 편리해지는 것과 쾌적한 환경을 제공하는 것에 그치지 않고, 전기자동차에 무선 충전기술을 결합하여 시장의 활성화에 기여하거나 초소형 심장 박동기 개발을 통해 의료의 질적 향상을 가지고 오는 등 민수

* Corresponding author, E-mail: heehyun.eun@lignex1.com
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

에서는 무선전력전송 기술의 상용화가 상당히 진행되었다. 군수에서도 무선전력전송 기술 적용을 위한 연구가 진행되고 있다. 대표적인 군용 적용 사례는 육군용 Body-to-Helmet 등의 wearable 장비, 무인항공기와 같은 Unmanned vehicle, underwater unmanned vehicle 등이 있으며 상용화가 진행 중이다. 그러나 현재까지 유도 무기체계에 무선전력 기술이 적용된 사례는 보고된 바 없다. 본 논문에서는 무선전력전송 기술을 유도무기시스템에 적용하기 위하여 고려해야 할 사항들과 이를 해결하기 위한 방안에 대하여 연구하였다.



(a) Umbilical connector interface for missile system



(b) Wireless umbilical interface for missile system

Fig. 1. Umbilical connector and wireless umbilical interface for missile system

Fig. 1과 같이 유도무기는 유도탄 탐재장비와 지상 발사통제장비와의 전원공급 및 통신을 위하여 발사관 엄벌리컬 커넥터와 케이블로 연결되어 있다. 이런 물리적인 접촉으로 인하여 유도탄 발사 시 엄벌리컬 커넥터의 핀 접촉 불량 및 케이블 분리장치의 오작동의 문제들이 빈번히 발생한다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 LC공진을 이용한 무선배꼽장치에 대해 연구하였다. 유도무기에 적용하기 위하여 고려할 사항들이 있다. 본 논문에서는 수신기 크기, 수신전력, 전송거리, 유도탄 표면 재질을 고려하여 여러 크기의 윈도우를 제작하여 실험하였다. 여기서 윈도우란 위성항법장치

와 전파고도계등과 같이 통신 혹은 계측을 위하여 안테나 위치에 전자기파가 투과할 수 있는 Polycarbonate와 같은 재질의 구조물을 설치하는데 이 구조물을 뜻하며 본 논문에서 제작한 윈도우역시 같은 재질을 사용하였다. 윈도우 크기에 따른 전송효율 및 경향을 파악하기 위하여 3차원 고주파 구조 해석 툴인 Ansys의 HFSS^[3]를 사용하여 전자장 해석을 하였다.

2. 본 론

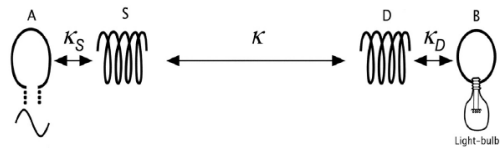


Fig. 2. Structure of the resonator based on magnetic resonance^[4]

Fig. 2는 자기공진 무선전력전송 시스템의 구조를 나타낸 것이다. A는 싱글 코일로 드라이빙 회로를 포함한다. S와 D는 각각 소스 와 디바이스 코일이며 B는 부하와 연결된 코일이다. 전력 전송 방법은 코일 A로 시변 전력이 입력되면 자기장이 발생되고 이는 S코일에 유도기전력을 발생시킨다. S 코일에 발생된 유도기전력이 2차 자기장을 생성시키고 이 자기장은 같은 공진 주파수를 갖는 D코일에 쇄교하여 D코일에 유도기전력을 발생시킨다. S코일에서 D코일로 에너지 전달은 감쇠파모드(evanescent wave mode)를 통해 전달한다^[5]. 커플링이 되지 않고 손실이 없는 경우일 때 두 공진 코일에 입력된 전압, 전류 크기의 동작은 다음 식 (1), (2)와 같다^[4]. 본 보고서에서는 시간 성분을 $e^{-i\omega t}$ 으로 하였다.

$$\frac{d}{dt}a_S(t) = -ie^{-i\omega t} \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt}a_D(t) = -ie^{-i\omega t} \quad (2)$$

여기서 $a_S(t)$, $a_D(t)$ 는 각각 소스 공진 코일과 디바이스 공진 코일에서 자기장의 크기를 나타내는 모드 함수이다. 두 공진코일이 커플링이 되고 주변 대기로 방사(radiation)와 흡수(absorption) 손실을 고려하면 식 (1),

(2)는 다음과 같은 식 (3), (4)으로 표현할 수 있다⁴⁾.

$$\frac{d}{dt} a_s(t) = -(i\omega_s + \Gamma_s) a_s(t) + i k_{sD} a_D(t) \quad (3)$$

$$\frac{d}{dt} a_D(t) = -(i\omega_D + \Gamma_D) a_D(t) + i k_{Ds} a_s(t) \quad (4)$$

여기서 Γ_S , Γ_D 는 각 공진 코일의 감쇠 계수, k 는 두 코일 사이의 커플링 계수, ω_s , ω_D 는 각 공진 코일의 공진 주파수를 나타낸다. 두 공진 코일이 동일하다면, $\Gamma_S = \Gamma_D = \Gamma$ 그리고 같은 공진 주파수이므로 $\omega_s = \omega_D = \omega_0$, $a_D(0) = 0$ 이라고 가정하여 식 (3), (4)를 풀면, 각 공진 코일에서의 모드를 식 (5), (6)와 같이 구할 수 있다. 각 모드는 코사인과 사인형태 이므로 항상 한 쪽이 최대이면 다른 한 쪽이 0 되는 형태로 모드가 생성됨을 알 수 있다.

$$a_s(t) = e^{-(i\omega + \Gamma)t} a_s(0) \cos kt \quad (5)$$

$$a_D(t) = i e^{-(i\omega + \Gamma)t} a_s(0) \sin kt \quad (6)$$

커플링이 생기면 공진 코일이 원래 가지고 있던 공진 주파수가 커플링 계수 k 에 의해 변하게 되는데 변화량은 다음 식 (7)과 같다⁴⁾.

$$\Delta\omega = 2[(k^2 - \Gamma^2)^{\frac{1}{2}}] \quad (7)$$

k 가 클 경우(두 코일 간격이 좁을수록), 두 개의 공진 주파수가 생김을 알 수 있고, 거리가 멀어질수록 작아져 단일 공진 주파수처럼 동작하게 된다. 이러한 결과는 유도탄 표면에서 윈도우 크기에 따라 커플링 계수가 변하는데 본 논문에서는 커플링 계수가 변함에 따른 인덕턴스의 변화를 칩 커패시턴스를 조절하여 원하는 공진 주파수로 맞추었다.

2.1 목표 성능

유도탄에 적용하기 위한 몇 가지 조건들이 있다.

첫 번째, 유도탄 표면을 고려해야 한다. 유도탄 표면의 재질은 알루미늄 계열로 상대투자율이 낮고 도전율이 낮아 차폐 역할을 하기 때문에 윈도우를 설치하여야 한다. 본 논문에서는 4종의 크기가 다른 윈도우를 제작하여 윈도우 크기에 따른 효율을 관찰하였다.

두 번째, 유도탄 발사 전 내부 장비에서 소모하는 전력량이다. Table 1에 유도무기체계 별 발사 전 소모 전력을 정리하였다. 본 논문에서는 아래에 언급될 네 번째 조건인 수신기 크기의 제한으로 1개의 무선배꼽장치의 최대 수신 전력을 300 W로 하고 유도탄 운용 시간을 고려하고 전력전송 파라미터가 saturation 되는 시점을 고려하여 최대 운용시간을 30분으로 하였다. 유도무기체계에 따라 소모전력을 만족시키기 위하여 무선배꼽장치를 2개 이상 사용하는 것을 고려하였다.

Table 1. powers for missile launch

유도무기체계	소모 전력
해성, 철매, 현궁	> 300 W
비공, 해공	< 300 W

세 번째, 유도탄은 발사 플랫폼에 장착을 위하여 발사관에 장입된다. 발사관과 유도탄의 거리를 고려하여 무선전력전송 거리는 50 mm로 하였다.

네 번째, 유도탄 내부 장비는 유도탄 내부의 협소한 공간 때문에 제약이 심하다. 무선배꼽장치의 수신부는 유도탄 내부의 공간 제약 및 Fig. 3과 같이 엄빌리컬의 크기를 고려하여 50 × 50 × 50 mm로 하였다.

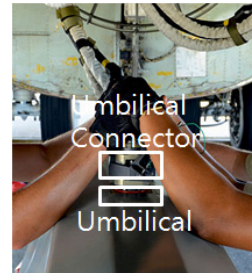


Fig. 3. AGM-86B umbilical and umbilical connector

상기 세 가지 조건들을 Table 2에 정리하였다.

Table 2. Required specification for umbilical device

세부항목	목표 값
최대 수신 전력	300 W
송수신 거리	50 mm
수신코일 크기	50 × 50 × 50 mm

3. 설계 및 제작

Fig. 4는 무선배플장치의 구성도이다. 송신장치는 DC 입력을 받아 내부 전원과 공진 송신코일에 전원을 공급하기 위한 Switching Amplifier와 공진주파수 및 Wi-Fi 통신용 Transfer Control Electronics, 공진을 위한 공진 송신코일(Transfer Coil)로 구성되어 있다. 수신 장치는 공진 수신코일(Receive Resonator)에 유기된 기전력을 정류하기 위한 Rectifier, Wi-Fi 통신을 위한 Receive Control Electronics, 정류된 전력을 부하에 전달하기 위한 Regulator로 구성된다.

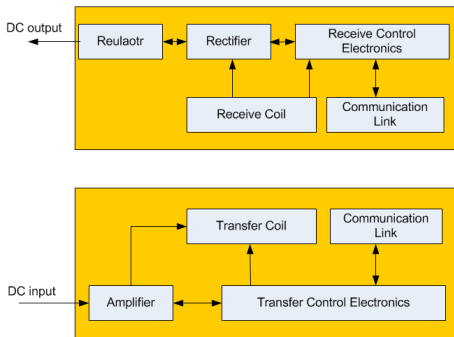


Fig. 4. Wireless power transmission system

3.1 송수신 코일 설계

수신 코일의 크기는 2.1 목표성능의 네 번째 조건에서 $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}$ 로 하였다. 수신 코일의 크기와 전송거리가 50 mm 인 조건에서, 최적의 전송효율을 갖기 위한 송신 코일의 크기는 수신 코일의 8배인 $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$ 로 설계하였다. 설계 내용은 다음과 같다.

Fig. 5에서 D 는 송신코일 직경, D_2 는 수신코일 직경, z 는 송수신거리이다. 높은 효율을 갖기 위한 조건은 z / D 가 작아야 하며 D_2 / D 는 커야한다. 두 조건에서 분자 z (50 mm)와 D_2 (50 mm)는 정해진 값이고 분모에 D (송신코일크기)가 있으므로 높은 효율을 갖기 위한 D 의 값의 조건들은 다음과 같다.

$$z / D \leq 0.5 \rightarrow D \geq 100 \text{ mm} \quad (8)$$

$$D_2 / D \geq 0.4 \rightarrow D \leq 125 \text{ mm} \quad (9)$$

따라서 $100 \text{ mm} \leq D \leq 125 \text{ mm}$ 이다.

또한 유도탄의 윈도우의 크기에 영향을 적게 받기 위해서는 D 가 작아야 하므로, 송신코일의 크기를 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 로 결정하였다. 지상 장비의 경우는 상대적으로 크기의 제약을 적게 받는다는 점을 고려하였다. 전송효율은 Fig. 5에서 Axial Distance (z / D) = 0.5인 아랫방향 화살표 영역과, Coil Ratio(D_2 / D) = 0.5 좌측방향 화살표 영역이 교차하는 빨간색 포인트 지점으로 약 40~50 %임을 알 수 있다.

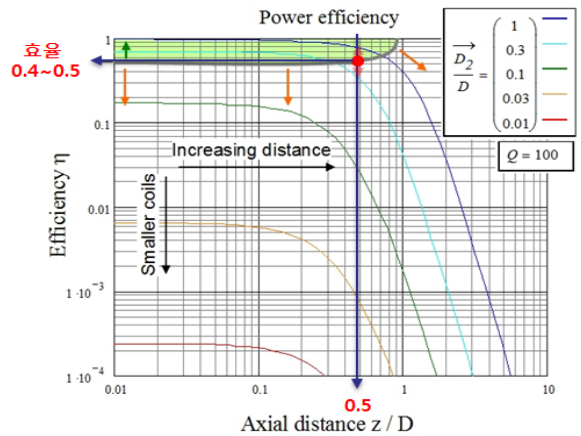


Fig. 5. Power efficiency for an inductive power transfer system consisting of loop inductors in dependence on their axial distance z with size ratio as parameter^[6]

Table 3에 설계 파라미터 선정 값을 정리하였다.

Table 3. Coil parameters

Parameters	그래프	값
수신코일 직경	D_2	50 mm
송신코일 직경	D	100 mm
송수신거리	z	50 mm
Axial Distance	z/D	0.5
Coil Ratio	D_2/D	0.5

높은 품질 계수(Quality factor)를 갖기 위하여 표면 효과와 근접효과를 최소화 할 수 있는 리츠 와이어를 사용하였다^[7,8]. 수신기 부하에 300 W 의 전력을 공급하기 위하여 다음과 같이 리츠 와이어를 설계하였다.

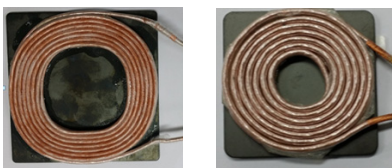
송신 코일과 수신 코일간의 전력 전송효율을 Fig. 5에서 40 ~ 50 %, 수신 회로의 계산된 전력 전달 효율은 Table 4에서 약 70 %로 수신 코일에는 약 430 W의 전력이 수신되어야 하며 이를 위해 송신 코일에는 약 1 KW 전력이 공급되어야 한다. 위의 조건으로 송신 코일의 전류는 약 20 A, 수신 코일의 전류는 약 13 A이다. 각 코일에 흐르는 전류와 Skin Depth를 고려하여 직경 0.1 mm 와이어를 선택하여, 송신 코일은 600가닥, 수신 코일은 400가닥 리츠 와이어를 사용하여 제작하였다.

Table 4. Rx coil power efficiency

구분	효율	분석
브리지 정류기	84.4 %	정류기 다이오드 4개 소비전력 46.8 W, 정류기 효율 84.4 %
DC-DC 컨버터	90 %	컨버터 사양
회로 전체 효율	76 %	브리지 정류기 × 컨버터
설계 마진	6 %	
최종 효율	70 %	

본 논문에서는 송신 코일과 수신 코일간의 무선전력전송 효율을 최대화하기 위해 페라이트 소재를 사용하였다. 페라이트 두께는 송수신 코일의 인덕턴스를 최대화하며 가장 얇은 조건인 송신코일 2.5 mm, 수신 코일 4 mm를 선정하였다. 송수신 코일의 공진 주파수는 페라이트의 주파수에 따른 투자율을 고려하여 선정된 페라이트에서 최고의 투자율을 갖는 100 kHz로 선정하였다.

Table 5에 코일 설계에 필요한 파라미터와 결과를 정리하였다. 캐패시턴스 값은 공진주파수 100kHz를 맞추기 위해 적용한 칩 캐패시터이다. Fig. 6은 제작된 코일이다.



(a) Tx coil (b) Rx coil

Fig. 6. Tx and Rx coil

Table 5. Tx and Rx parameters

설계 항목	송신코일	수신코일
인버터 전압	48 V	28 V
인버터 효율	90 %	90 %
필요 전력	~1,000 W	430 W
코일 인덕턴스	34.9 uH	7.5 uH
캐패시턴스(공진)	77.6 nF	330 nF
공진 주파수	96.7 kHz	101.2 kHz
코일 사이즈	100 × 100 mm	50 × 50 mm
리츠 와이어	600가닥/ 0.08 mm 직경	400가닥/ 0.08 mm 직경
페라이트두께	2.5 mm	4 mm

3.2 송신 모듈 설계

Fig. 7은 본 논문에서 설계한 무선배꼽장치 송신기 구성도이다. 제안된 송신기는 송신 코일(Resonator)을 포함하여 DC 전원 공급을 위한 SMPS, SMPS의 출력을 받아서 보드 내부 전원 12 V와 3.3 V를 공급하는 Power module, ST사의 Cortex-M3 계열로 System CLK = 36 MHz로 동작되며, 내부 PWM블록이 내장되어 있어 고속의 PWM 출력이 가능한 MCU, MCU에서 생성된 PWM 신호에 의해 Full-Bridge 회로의 FET Pair들이 순차적으로 Switching 되면서 주파수 성분을 얻어 송신 코일에 인가되는 Inverter로 구성되어 있다.

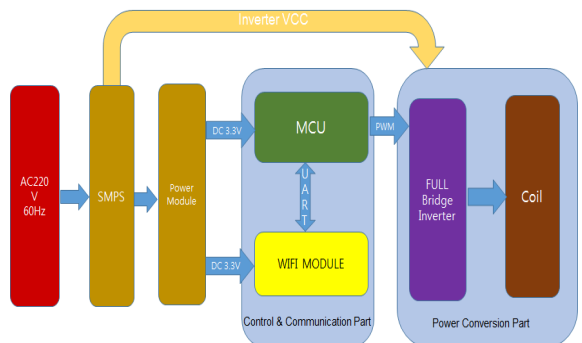


Fig. 7. Wireless umbilical Tx system

본 논문에서는 FET Driver - Transformer - FET으로 구성하여 중간에 Transformer로 High에서 Low로 신호가 변환 시 생기는 Dead Time을 방지하고, FET과 드

라이버 단을 분리하기 위하여 사용하였다.

Fig. 8은 제작한 무선배꼽장치의 송신기이다.



Fig. 8. Wireless umbilical transmitter

3.3 수신 모듈 설계

Fig. 9는 본 논문에서 설계한 무선배꼽장치 수신기 구성도이다. 제안된 수신기는 수신 코일을 포함하여 수신 코일을 지난 AC를 DC로 변경하는 Bridge Diode, Bridge Diode를 지난 DC에서 정전압 28 V 출력을 위한 DC-DC Converter의 Power Module, Bridge Diode를 지난 DC에서 MCU 구동을 위한 3.3V 변환 모듈인 Step DOWN, 송신기와 같은 ST사의 MCU로 설계하였다.

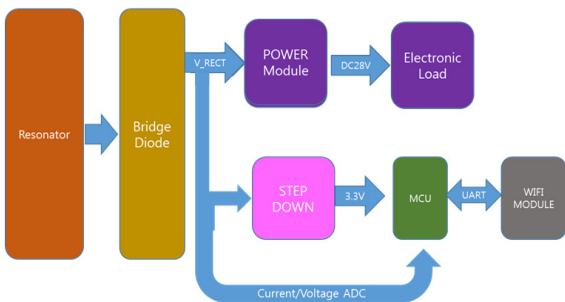


Fig. 9. Wireless umbilical Rx system

Fig. 10은 제작한 무선배꼽전력장치의 수신기이다.



Fig. 10. Wireless umbilical receiver

3.4 유도탄 모의기 설계

유도탄을 모의하기 위하여 Fig. 11, 12와 같이 알루미늄 원통의 모의기와 4종의 크기가 다른 윈도우를 제작하였다. 윈도우 크기는 60 × 60, 70 × 70, 100 × 100, 200 × 160 mm이다.



Fig. 11. Aluminum cylinder simulating a missile.

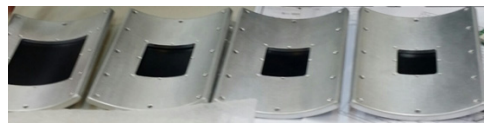


Fig. 12. Cutout windows having different sizes

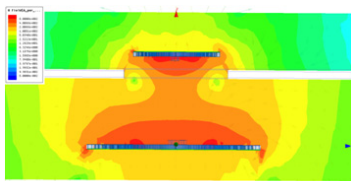
4. 시뮬레이션

제작한 무선배꼽장치 송수신기의 코일의 크기와 같게 HFSS를 이용하여 송수신 코일을 설계하였다. 시뮬레이션에서는 실제와 같은 리츠 와이어를 구현하기가 쉽지 않기 때문에 제안된 공진코일과 같은 굵기를 가지는 구조로 모델링하였다. Table 6에 윈도우 크기 별 전송효율을 나타내었다. 200 × 160 mm 윈도우의 경우 무선전력전송 효율은 50 %로 윈도우의 크기가 작을수록 무선전력전송 효율이 감소되는 것을 알 수 있다.

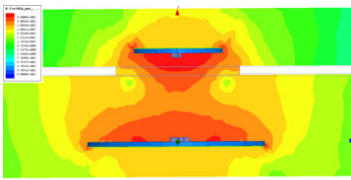
Table 6. Simulated power efficiency with several different size windows

윈도우 크기	시뮬레이션 전송효율
60 × 60 mm	7 %
70 × 70 mm	17 %
100 × 100 mm	28 %
200 × 160 mm	50 %

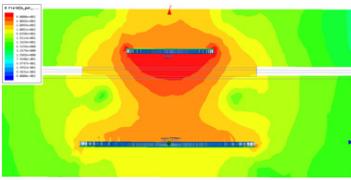
Fig. 13의 자기장(a,b,c,d)에서 윈도우 크기가 커질수록 수신코일에 자기장 밀도가 높아지는 것을 볼 수 있다. 윈도우 크기에 따라 무선전력전송 효율이 변하는 이유는 다음 두 가지 이유이다. 첫째, 송신코일의 자기장이 수신코일에 여기 되어 기전력을 발생시키고 기전력에 의한 수신 코일의 2차 자기장이 윈도우 크기가 작을수록 수신코일에 채 수렴하는 비율이 낮아 전송효율이 감소된다. 두 번째, 송신코일에서 발생한 자기장이 윈도우 크기가 작을수록 알루미늄재질의 표면을 투과되지 못하여 수신 코일에 적게 수렴하여 무선전력전송 효율을 감소시킨다.



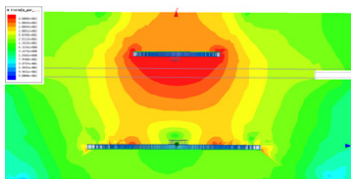
(a) Magnetic field : 60 × 60 mm window



(b) Magnetic field : 70 × 70 mm window



(c) Magnetic field : 100 × 100 mm window



(d) Magnetic field : 200 × 160 mm window

Fig. 13. Magnetic field with several different size windows

5. 실험 및 비교

제작된 무선배꼽장치를 Fig. 14와 같이 구성하여 실험하였다. Table 7은 송수신 코일의 인덕턴스와 상호 인덕턴스의 시뮬레이션과 실험 값에 대해서 정리한 표이며 Table 8은 공진주파수를 맞추기 위해 적용한 캐패시턴스 값이다.

Table 9는 윈도우별 전송 효율이다. 실험 전송 효율은 운용시간 30분이 되는 시점에서 측정된 값이며, 전송 효율은 송신코일에 인가되는 전력과 수신코일에 출력되는 전력 비의 백분율로 계산하였다. 시뮬레이션 전송 효율과 같이 측정 전송 효율에서도 윈도우 크기가 클수록 무선전력전송 효율이 높아짐을 알 수 있다. 시뮬레이션에 비해서 실제 실험에서 효율이 낮아진 이유는 우선 공진 보상용 캐패시터 값을 코일의 임피던스와 목표로 설정한 값에 정확히 맞추는 것이 실제 시스템에서는 다소 어려움이 있기 때문이다.

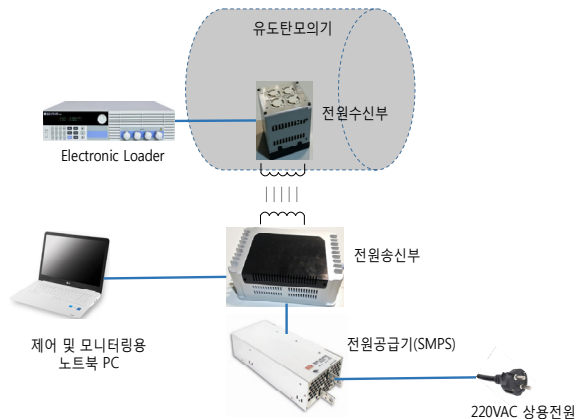


Fig. 14. Test set

Table 7. Simulated and test coil inductance with several different size windows

항목	시뮬레이션 값	실험 값	차이
송신 코일 인덕턴스	36.3 uH	34.9 uH	3.9 %
수신 코일 인덕턴스	7.7 uH	7.5 uH	2.6 %
상호 인덕턴스 (Without 윈도우)	4 uH	3.3 uH	1 %

Table 8. Simulated and test capacitance for resonance

항목		캐패시턴스 (공진 보상)	공진 주파수
시뮬 레이션 값	송신	69.8 nF	100 kHz
	수신	329 nF	100 kHz
실험 값	송신	77.6 nF	96.7 kHz
	수신	330 nF	101.2 kHz

Table 9. Simulated and test power efficiency with several different size windows

윈도우 크기 [mm]	시뮬레이션 전송효율	실험 전송효율	실험 출력-입력전력
60 × 60	7 %	5.4 %	25.6-474 W
70 × 70	17 %	10.1 %	47.9-474 W
100 × 100	28 %	24.2 %	114.7-474 W
200 × 160	50 %	46.7 %	221.4-474 W

6. 결론

본 논문에서는 유도탄에 적용하기 위한 무선배꼽장치를 설계 및 제작하였다. 유도탄을 모의할 수 있는 알루미늄 원통과 여러 크기의 윈도우를 제작하여 무선배꼽장치를 실험하였다. 시뮬레이션 툴을 사용하여 제작 전 윈도우 크기에 따른 무선전력전송효율을 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 및 실험결과 윈도우 크기가 가장 큰 경우의 무선전력효율은 각각 50 %, 46.7 % 이었다.

운용시간이 10분 이상 증가함에 따라 무선전력전송 효율이 감소하고 30분 시점에서 효율이 saturation되는 것을 관찰 및 확인 하였다. 이는 크기가 제한된 수신 코일의 열이 증가하여 수신 코일의 인덕턴스와 기생 커패시턴스가 변화되어 공진주파수를 이동시킨 것으로 보인다^[8]. 이를 최소화하기 위하여 다음 연구에서는 코일을 초전도체 물질로 사용하여 저항을 낮추는 방안, 방열구조 및 열을 유도탄 표면에 전달시켜 방열하는 방안 등 여러 연구가 필요하다. 그리고 유도탄

표면 재질에 따라 무선전력전송 효율이 변화될 것으로 보인다. 이는 적절한 윈도우 재질을 선정하여야 함을 알 수 있다. 본 논문에서는 윈도우 크기를 크게 함에 따라 송수신 코일을 설계보다 크게 하는 경우에 대하여 논하지 못하였지만, 다음 단계에서 송수신 코일의 크기와 윈도우 크기의 상관관계에 대하여 연구하고자 한다. 또한 코일 발열, 전력전송 효율 등을 고려한 최적 공진주파수 설계에 대한 연구가 필요하다. 향후 유도무기체계에 적용을 위하여 전자파 간섭시험과 온도시험 등 군 규격에 대한 연구가 필요하다. 그리고 배꼽장치는 전력뿐만 아니라 신호도 전달하여야 하므로, 다음 단계로 전력과 신호를 함께 전달하는 장치를 연구하고자 한다. 본 연구진은 본 연구를 통하여 유도무기체계에 활용 가능한 무선배꼽장치의 개발 가능성을 확인할 수 있었다.

References

- [1] N. Tesla, Patent Apparatus for Transmitting Electrical Energy, U.S. Patent 1,119,732,1914.
- [2] W. C. Brown, "The History of Power Transmission by Radio Waves," IEEE Trans. Micro. Theory Tech., Vol. 32, No. 9, pp. 130-1242, Sep. 1984.
- [3] Ansys Corporation, HFSS : High Frequency Structure Simulator Based on the Finite Element Method, V. 13, 2012.
- [4] Andre Kurs, Aristeidis Karalis, Robert Moffatt, J. D. Joannopoulos, Peter Fisher, and Marin Soljagic, "Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances," Science, Vol. 317, pp. 83-85, Jul, 2007.
- [4] A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J. D. Joannopoulos, P. Fisher, and M. Soljagic, "Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances," Science, Vol. 317, pp. 83-85, Jul, 2007.
- [5] Jinwook Kim, Hyeonho Ji, Yeongyu Choi, Younghyun Yun, Kwanho Kim, Youngjin Park, "Study on Arrangement of Self-Resonant Coils in Wireless Power Transfer System Based on Magnetic Resonance," The Journal of Korea Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 21, pp. 553-713, Jun, 2010.

- [6] <http://www.wirelesspowerconsortium.com/data/images/1/2/figure2.jpg>
- [7] Jaesoon Kwon, Yohan Jang, Jaesu Park, Heoncheol Oh, Duil Kim, Jaehoon Choi, "The Efficiency Analysis of Resonators for Wireless Power Transfer Using Litz Wires," The Institute of Electronics Engineers of Korea, pp. 148-149, Jun, 2011.
- [8] Kiwon Hwang, Sanghoon, Uooyeol Yoon, Manho Lee and Seungyoung Ahn, "Thermal Analysis for Temperature Robust Wireless Power Transfer Systems," 2013 IEEE Wireless Power Transfer(WPT), 2013.