ISSN: 1226-7244 (Print)
ISSN: 2288-243X (Online)
논문번호 13-03-14

Journal of IKEEE.Vol.17,No.3,317~323,September 2013
http://dx.doi.org/10.7471/ikeee.2013.17.3.317

1.7MHz, 25W급 자기공명 무선전력 전송 시스템 구현

Implementation of 1.7MHz, 25W Wireless Power Transmission(WPT) System using Coupled Magnetic Resonance

김 성 민*★, 조 인 귀*, 문 정 익*

Seong-Min Kim*★, In-Gui Cho*, Jung-Ick Moon*

Abstract

In this paper, 25W wireless power transmission(WPT) system using the coupled magnetic resonance is presented. The WPT system consists of a 100W class-F power transmitter, 1.7MHz magnetic resonators and a 40W full-bridge receiver using diodes. Especially, the transmit power control function using the 400MHz FSK communication between the transmitter and the receiver is adopted in the proposed system for the stable power transmission. Using the system and the power control function, the WPT system can be adopted in the various electronic devices and the commercialization of WPT system can be moved forward.

요 약

본 논문에서는 자기공명 방식을 이용한 25W급 무선전력 전송 시스템을 설계 및 구현하는 것을 제안하고 있다. 본 논문에서 제안하는 자기공명 방식 무선전력 전송 시스템은 100W급 Class-F 송신기, 1.7MHz대역의 송수신 공진기, 40W급 Full-bridge 다이오드 수신기로 구성되어 있다. 특히 제안된 시스템은 수신기에 전달되는 전력이 부하를 구동할 수 있는 적정레벨로 유지될 수 있도록 송신기와 수신기 사이의 통신을 이용한 송신전력제어 기능을 구현하여 송신기가 최적의 전력을 송신하여 불필요한 전력 낭비를 줄일 수 있도록 구현되었다. 본 논문에서 제안된 시스템 및 송신전력 제어기능을 기반으로 다양한 기기에 동일한 기능의 적용이 가능하며 상용화에 보다 근접할 수 있을 것이다.

Key words : Wireless power, Magnetic resonance, Power control, Planar resonator, Power transmission system

Ⅰ. 서론

2007년 MIT에서 자기공명 방식을 이용한 무선전력전송에 대한 기술을 발표하면서 무선전력 전송에 대한 관심이 급증하게 되고, 이에 따라 많은 학계 및 산업체에서 무선전력 전송에 대한 많은 연구 및 개발을 수행하고 있다[1].

일반적으로 무선전력 전송은 크게 자기유도 방식, 자기공명 방식, 안테나 방식의 세 가지 방식으로 분류할 수 있다. 자기유도 방식은 1차 코일인 송신 코일에서 발생한 자기장 플럭스를 2차코일인 수신 코일에서 검출하여 무선으로 전력을 전달하는 방법으로 근거리 무선전력 전송에 활용되어 왔다[2]. 두 번째 방식인 안테나 방식은 송신 안테나에서 발생하는 높은 전력을 먼 거리의 수신 안테나로 전달하여 무선으로 전력을 전달하는 방식으로 앞의 두 가지 방식에 비해 먼 거리 전송이 가능하나 송신 안테나의 빔 폭에 대한 제한에 따라 전송 효율이 낮은 단점이 있다[3]. 세 번째 방식인 자기공명 방식은 공진주파수가 일치하는 두 개의 공진기 사이의 자기장 결합 현상을 이용하여

* Radio Technology Research Dept., Electronics and Telecommunications Research Institute
★ Corresponding author
※ This research was funded by the MSIP(Ministry of Science, ICT & Future Planning), Korea in the ICT R&D Program 2013
Manuscript received Aug., 19, 2013; revised Sep. 11, 2013; accepted Sep, 11, 2013

무선으로 전력을 전달하는 방식으로 기존의 자기유도 방식에 비해 전송거리 및 송수신 공진기의 위치에 대한 자유도가 높은 특징이 있다[4]. 자기유도 방식은 일반적으로 수cm미만의 근접거리에 대한 무선전력 전송에 활용이 가능하고, 자기공명 방식은 1m이내의 거리에서 일정부분의 자유도를 확보하여야 하는 무선전력 전송에 활용이 가능하다. 안테나 방식은 1m이상의 원거리에 응용이 가능하다.

이와 같이 다양한 무선전력 전송 방식이 있고, 이에 대한 활발한 연구가 진행되고 있으나 다양한 문제점으로 인해 상용화 개발은 지연되고 있다. 최근 자기유도 방식을 이용한 휴대전화 무선충전기가 상용화되어 일반에 출시되고 있으나 충전 위치에 대한 제약, 열적문제, 높은 가격 등으로 인해 시장이 크게 활성화 되지 못하고 있는 실정이다. 자기유도 방식의 큰 문제점 중의 하나인 위치에 대한 제약을 해결하기 위해 자기공명 방식에 대한 상용화 개발이 진행되고 있으나, 전송 효율, 전송 주파수, 인체 및 주변기기 보호 등의 전자파 환경 측면의 문제로 제품 출시가 지연되고 있다[5]-[7].

본 논문에서는 자기공명 방식을 적용한 1.7MHz 대역의 25W급 무선전력 전송 시스템을 구현하였다. 본 논문에서 제안된 시스템은 100W급 Class-F 송신기와 1.7MHz 대역의 직경 30cm의 평면형 송수신 공진기, 다이오드를 이용한 40W급 Full-bridge 수신기로 구성되어 있다. 제안된 시스템은 공진기간 거리에 따라 변화할 수 있는 전송 주파수 및 전송 효율의 변화에 효과적으로 대응할 수 있고, 외부 환경변화에도 적절한 전력이 부하로 전달될 수 있도록 송수신기간 통신을 이용한 송신기의 송신전력 제어기능을 갖추고 있어, 불필요한 전력 낭비를 최소화 할 수 있는 장점이 있다.

II. 본론

1. 25W급 무선전력 전송 시스템 구조

본 논문에서 제시된 25W급 자기공명 방식 무선전력 전송 시스템은 그림 1에 나타난 것과 같이 송신기, 송신공진기, 수신공진기, 수신기와 최종 부하로 구성된다. 송신기는 상용전원으로부터 최대 100W의 RF 전력신호를 생성하여 송신공진기로 전달하고, 송신공진기는 수신공진기로 RF 전력신호를 자기공명 현상을 이용하여 무선으로 전달한다. 수신공진기는 입력된 RF 전력신호를 수신기로 전달하고, 수신기는 입력된 RF 전력신호를 DC로 변환하여 최종부하를 구동하게 된다. 본 논문에서의 무선전력 전송 시스템은 자기공명 방식으로 전력을 전달하는 것과 동시에 외부 환경변화에 따라 변화할 수 있는 송수신 공진기간의 전달 특성변화에 대응하여 최적의 전력이 항상 수신기에 전달될 수 있도록 송신전력제어 기능을 지속적으로 수행한다. 이러한 전력제어 기능을 수행하기 위해 송수신기는 400MHz 대역의 FSK 통신을 이용하여 초기 접속에서 전송 종료까지의 접속 제어 및 전력제어를 위한 데이터를 전달하고, 송신기는 전달된 정보를 이용하여 최적 주파수 선정 및 최적 송신 전력제어를 수행한다.

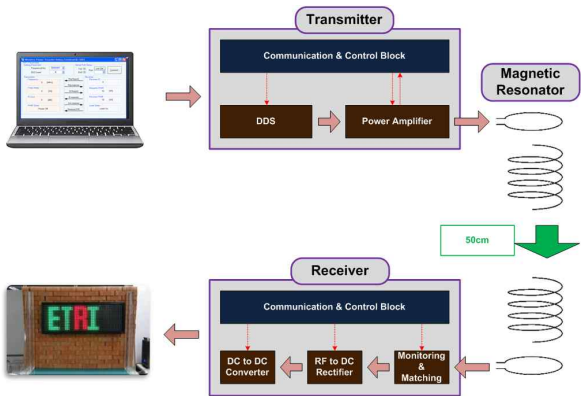

Fig. 1. The system architecture of 25W wireless power transmission system

그림 1. 25W급 무선전력전송 시스템 구성도

2. 100W급 Class-F 송신기 설계 및 제작

25W급 자기공명 방식 무선전력 전송 시스템을 구현하기 위해 본 논문에서는 100W급 Class-F 송신기를 설계 및 제작하였다. 제작된 100W급 Class-F 송신기는 1.6~2.0MHz 대역에서 동작하는 송신기로, 상용전원으로부터 송신기가 요구하는 DC전원을 생성하는 AC/DC 컨버터, RF 신호 발생을 위한 DDS(Direct Digital Synthesizer) 블록, 100W급 전력신호를 생성하기 위한 Class-F 전력증폭기 블록, 수신기와의 통신을 통해 송신기의 동작을 제어하고, 전력제어를 수행하는 통신 및 제어 블록, 그리고 최적의 전송주파수를 선택하기 위해 송신기의 출력 반사전력비를 측정하는 반사전력 검출블록으로 구성되어 있다. 그림 2는 본 논문에서 제작된 100W급 Class-F 송신기의 블록도를 나타내고 있다.

1.7MHz 대역의 RF 신호를 발생시키는 방법은 CPU의 클럭을 사용하는 방법, PLL을 이용하는 방법, DDS를 이용하는 방법 등 여러 가지가 있다. 본 논문에서는 여러 가지 방법 중에서 주파수 변경 속도가 가장 빠르고, 주파수 분해 능력이 가장 우수한 DDS를 이용하여 RF 신호를 발생하도록 설계되었다.

DDS 블록은 송신기에 내장된 통신 및 제어 블록의 명령에 따라 송신주파수를 변경할 수 있도록 구성되었다. DDS 블록은 Analog Device사의 AD9912를 이용하여 제작되었다. 제작된 DDS 블록의 출력 RF 신호는 50Hz 단위로 변경이 가능하다.

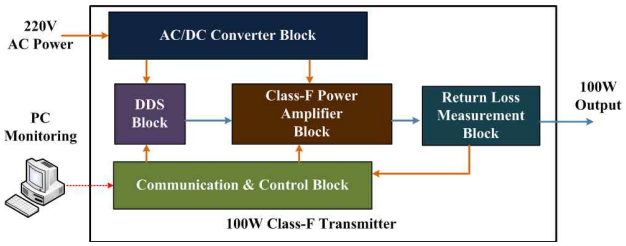

Fig. 2. The block diagram of 100W Class-F Transmitter
그림 2. 100W급 Class-F 송신기 블록도

DDS 블록에서 발생된 RF 신호를 100W급 신호로 증폭하기 위해 Class-F 전력증폭기를 설계, 제작하였다[8]. 100W급 Class-F 전력증폭기를 구현하기 위해 트랜지스터는 MOSFET를 사용하였다. MOSFET의 게이트 스위칭을 확보하기 위해 DDS 블록의 출력에 1단의 드라이브 증폭기를 구성하였다. 100W 출력을 위한 MOSFET의 바이어스 전압은 튜닝작업을 통해 전력증폭기가 최대의 효율을 갖도록 구성하여 100V로 선정되었다. 또한 Class-F동작을 위해 트랜지스터 출력단에 하모닉 정합회로를 구성하였다. 하모닉 정합회로를 구성하여 송신기 출력에서 최대 효율을 갖고 하모닉 성분을 최대한 억제하도록 하였다. 그림 3은 Class-F 전력증폭기의 상세 회로도를 나타낸다. 그림 3에 나타난 것과 같이 전력증폭기는 100V의 바이어스와 출력단 하모닉 정합회로로 구성되었다. 정합회로는 두 개의 직렬 공진기로 구성되어 있고, 2차와 3차 하모닉 성분이 제거되도록 구성되었다. 일반적으로 Class-F 증폭기의 출력 정합회로는 고차의 하모닉 성분을 모두 제거하는 구조로 설계되어야 하지만 본 논문에서 사용되는 1.7MHz 대역에서는 전송선로를 이용한 정합회로 구현이 매우 어려우므로, 집중소자를 이용하여 정합회로를 구성하여 2차와 3차 하모닉 성분에 대해서만 정합회로를 구성하였다.

100W급 Class-F 송신기는 수신기와의 통신을 통해 송신전력제어 기능을 수행하도록 제작되었다. 수신기와의 통신은 400MHz 대역 FSK방식을 통해 이루어진다. 수신기와의 통신을 통해 주고 받는 데이터는 초기 접속을 위한 정보와 송신 전력제어를 위한 수신기의 수신 전력레벨이다. 수신기와의 초기 접속이 이루어지기 전, 즉 대기상태에서의 송신기는 수신기의 접속을 체크하기 위해 매 1분에 2회씩 주기적으로 출력 신호를 1W로 1.6~2.0MHz 대역에서 sweep하며 반사전력을 측정하여 수신기의 근접을 인식한다. 이는 자기공명방식 무선전력 전송의 특성을 이용한 것으로 수신공진기를 포함한 수신기의 접근이 이루어지지 않을 경우, 송신기에서의 반사전력은 매우 커 반사계수가 1에 가깝게 측정되지만 수신기의 접근이 이루어지면 전송 가능한 주파수에서 반사전력이 급격이 작아져 낮은 반사계수가 측정된다. 이와 같이 반사전력을 측정하여 송신기의 동작을 제어하기 위해 송신기 내부에는 양방향 결합기와 전력레벨 검출기를 포함한 반사전력 측정블록이 구성되어 있다.

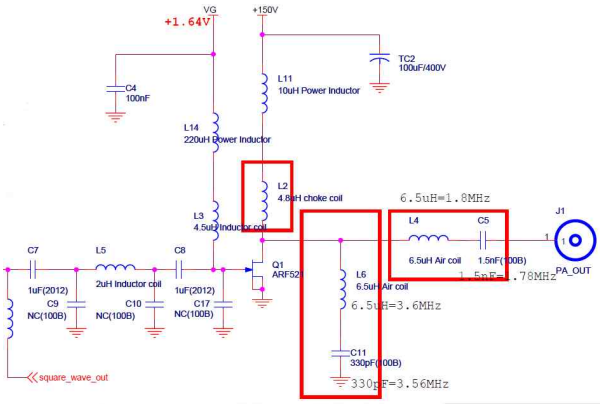

Fig. 3. The circuit diagram of Class-F Power Amplifier
그림 3. Class-F 전력증폭기의 상세 회로도

3. 1.7MHz 대역 평면형 공진기 설계 및 제작

자기공명 방식 무선전력 전송을 위한 공진기의 전송효율은 공진기 자체의 quality factor(Q)와 공진기 간의 결합계수에 의해 결정된다. 공진기의 Q는 공진기의 인덕턴스와 주파수에 비례하고, 공진기의 저항성분에 반비례하는 성질을 갖는다. 높은 전송효율을 얻기 위해서는 높은 Q를 갖는 공진기를 구성하여야 한다. 또한 전송효율은 공진기의 크기, 거리 및 임피던스 정합의 영향을 받는다. 그림 4는 자기공명 방식 무선전력 전송용 송수신 공진기의 구조와 트랜스포머를 이용하여 송수신 공진기를 등가화한 등가회로를 나타낸다. 본 논문에서는 송신루프, 송신공진기, 수신공진기, 수신루프의 네 가지 코일을 이용하여 무선전력 전송을 위한 송수신 공진기를 구성하였다. 또한 트랜스포머를 이용한 등가회로에 나타난 것과 같이 각각의 코일은 직렬공진회로로 모델화 되었으면 각 공진기는 결합계수로 표현된 상호 인덕턴스에 의해 연결되는 구조로 등가화 할 수 있다. 등가회로에서의 전달특성(S_{21}) 및 입력임피던스(Z_{in})는 회로이론을 적용하여 쉽게 구할 수 있다.

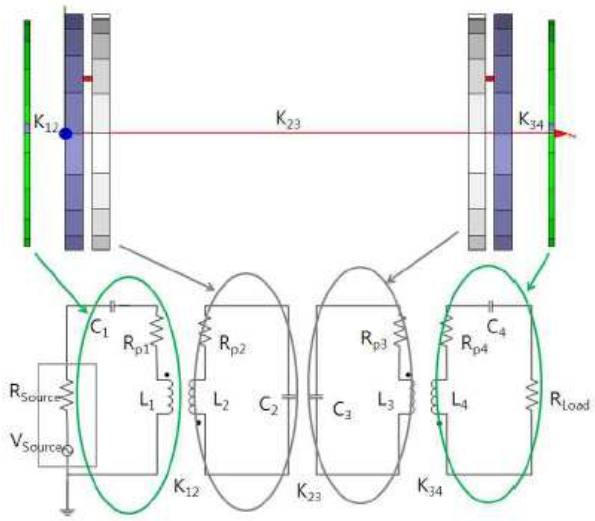

Fig. 4. The structure and equivalent circuit diagram of wireless power transmission resonators
그림 4. 송수신 공진체의 구조 및 등가회로

회로이론을 적용하여 등가회로에 대한 전압, 전류, 임피던스의 상관관계는 식 (1)과 같이 표현된다. 이 때, M_{mn}은 각 코일간의 상호 인덕턴스를 나타내고, k_{mn}은 코일간의 결합도를 나타낸다.

$$\begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & 0 & 0 \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} & 0 \\ 0 & Z_{32} & Z_{33} & Z_{34} \\ 0 & 0 & Z_{43} & Z_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서,

$$Z_{mn} = \begin{cases} R_n + j\omega L_n + 1/(j\omega C_n), & m = n \\ j\omega M_{mn}, & m \neq n \end{cases}$$

$$M_{mn} = k_{mn}\sqrt{L_m L_n}$$

식 (1)을 이용하여 전체 전력전송에서의 입력임피던스(Z_{in})과 전달함수(S_{21})은 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$Z_m = \frac{V_s}{I_1} - Z_s, \quad S_{21} = \frac{V_L}{V_m} \quad (2)$$

공진기간의 결합도에 따라 임피던스의 값이 변화하는데 결합도가 낮은 경우는 임피던스가 증가하고 결합도가 높은 경우는 반대로 임피던스가 낮아지는 특성을 가진다. 공진체의 리액턴스 값에 따른 공진기간의 에너지 전달특성 및 입력 임피던스를 분석하는 것은 공진기 제작에 있어 필수적으로 요구된다. 예를 들어 동일한 공진주파수를 갖는 경우에도 코일의 저항과 인덕턴스 그리고 커패시턴의의 균형에 따라 Q(quality factor)값이 달라지므로 높은 전송효율을 유지하면서 공진기를 소형화하는 기술이 요구된다. 본 논문에서는 높은 Q를 갖는 공진기를 제작하기 위하여 이중 스파이럴 구조의 공진기를 구성하였다. 높은 Q를 확보하기 위해 최대의 인덕턴스와 최소의 저항을 갖는 공진기 구조를 확보하기 위해 최적의 전류방향, 도선두께, 코일의 피치, 공진코일의 내외경을 고려하여 공진기를 제작하였다. 제안된 공진기는 두 층으로 구성된 스파이럴 구조의 공진기로 전류의 방향을 고려한 구조로 설계되었으며, 각 층에 10턴의 코일로 구성되었다.

4. 1.7MHz 대역 수신기 설계 및 제작

수신코일로부터 입력된 RF 전력신호를 DC신호로 변환하여 부하를 구동하는 1.7MHz 대역 수신기를 설계, 제작하였다. 수신기는 다이오드를 이용한 full-bridge 형태의 정류기와 과전압 입력으로부터 수신기 및 부하를 보호하는 과전압방지회로(Over Voltage Protection Circuit, OVP), 부하가 소모한 후의 여분 전력을 소모하는 능동부하(Active Dummy Load, ADL), DC/DC 변환기 그리고 통신 및 제어회로로 구성되어 있다. 그림 5는 수신기의 기능 블록도를 나타내고 있다.

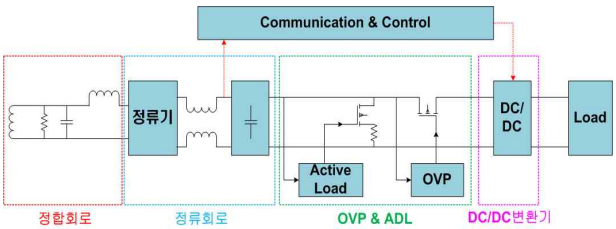

Fig. 5. The block diagram of 1.7MHz receiver
그림 5. 1.7MHz 대역 수신기 블록도

수신기는 정합회로를 통해 수신코일과 수신기의 임피던스를 정합하고, 정류회로에서 RF신호를 DC신호로 변환한다. 또한 수신기는 OVP와 ADL을 이용하여 이상입력으로부터 수신기와 부하를 보호하며 정류된 가변전압 신호를 부하가 요구하는 정전압 신호로 변환하여 부하를 구동하는 구조로 제작되었다. 송신기의 송신전력제어를 위해 수신기는 입력전력을 검출하여 400MHz 대역 통신을 통해 송신기로 전달하고, DC/DC 변환기의 동작을 제어하여 적절한 레벨의 입력전력이 입력될 때 부하를 구동하여 원활한 무선전력전송이 이루어지도록 제어한다. 그림 6은 제작된 수신기의 형상을 나타내고 있다. 제작된 수신기는 5V

정전압를 출력하여 25W급 부하를 구동할 수 있도록 제작되었다.

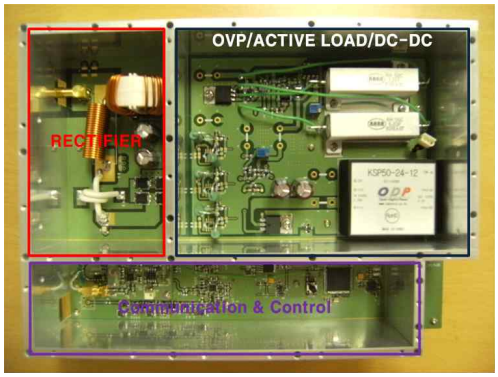

Fig. 6. The manufactured 1.7MHz receiver
그림 6. 제작된 1.7MHz대역 수신기 형상

5. 송신전력 제어

앞에서 기술한 것과 같이 본 논문에서는 외부 환경 변화에 대응하고 불필요한 전력 송신을 최소화하여 최적의 무선전력 전송이 이루어질 수 있도록 송신전력제어기능을 구현하였다. 송신전력제어를 위해 송수신기는 초기 접속절차 및 각종 정보신호를 400MHz대역의 FSK(Frequency Shift Keying) 통신방식을 이용하여 송수신하도록 구현되었다. 초기 접속 대기 단계부터 전력 전송 단계까지 송수신기는 아래의 절차에 따라 무선전력 전송을 수행한다.

제1단계 : 접속 대기 단계

A. 송신기 전원 On 이후 최소 전력레벨 (1W)로 1분에 2회씩 1.6~2.0MHz의 대역을 500Hz 단위로 sweep하면서 Return Loss를 측정하여, 수신공진기의 접근을 감지한다.

B. 측정된 주파수의 ±1kHz 대역을 50Hz 단위로 sweep하여 최대 Return Loss가 측정되는 지점으로 주파수를 선택한다.

제2단계 : Ping 및 ID 접속 단계

A. 송신기는 수신기의 통신 및 제어회로가 동작할 수 있는 전력이 수신기로 전달될 수 있도록 5W 단위로 송신 전력을 증가시키며, 수신기로부터 PING Message가 도착되는 것을 기다린다.

B. 수신기는 입력되는 전력이 통신 및 제어회로가 동작할 수 있는 레벨로 입력되면 통신 및 제어회로를 동작시켜 송신기로 PING Message를 송신한다.

C. 송신기는 PING Message를 수신한 후 ID REQUEST Message를 수신기로 전송하고 수신기는 미리 약속된 자신의 ID를 송신기로 전송한다.

D. 송신기는 ID를 수신하여 수신기의 종류를 판단하고 다음 단계인 무선전력 전송 단계로 전환한다.

제3단계 : 무선전력 전송 단계

A. 수신기는 Required Power Level Message를 송신기로 송신한다. Required Power Level Message를 수신기의 부하를 구동하기 위한 미리 설정된 최적의 수신기 입력 전력레벨과 현재 수신되고 있는 전력레벨의 차이 값이다.

B. 송신기는 Required Power Level Message를 수신한 후 현재 자신의 출력값과 비교하여 송신 출력 전력을 제어한다.

C. 수신기는 현재 수신 전력이 최적 입력 전력에 도달하면 수신기 내부의 DC/DC 컨버터를 제어하여 부하를 동작시키고, 무선전력 전송과정을 수행한다.

D. 수신기는 외부 및 내부의 환경 변화에 따라 수신 전력이 최적 입력 전력과 현재의 수신 전력이 차이가 날 경우 Required Power Level Message를 송신기로 전송하고 송신기는 입력된 Message를 통해 송신 전력제어를 수행한다.

E. 송신기는 전송 전체 과정에서 지속적으로 Return Loss를 측정하여 수신기 이탈, 부하 전원 OFF 등의 상황에 대비한다.

제4단계 : Power Off 단계

A. 송신기 Return Loss 측정 결과 Return Loss : 6dB이하로 측정될 경우, 송신기는 수신기의 상태가 변경되었음을 인지하고 1번 단계(송신기 Power On 단계)로 전환한다.

B. 수신기는 현재 입력전력이 기준레벨 이상으로 측정되고 ADL의 전력이 현재 입력전력의 80%이상의 값으로 측정되면 사용자에 의해 부하가 OFF된 것으로 판단하고 송신기로 OFF Message를 전송한다.

C. 송신기는 수신기로부터 OFF Message를 수신하면 1단계인 접속 대기 단계로 전환한다.

III 측정결과 및 시스템 구현

본 장에서는 본 논문에서 제안된 송신기와 공진기의 성능 시험결과와 응용 시스템에 대해 설명한다. 그림 7은 제작된 100W급 Class-F 송신기의 구조와 DC-RF 전력효율을 나타낸다. 그림 7에 나타낸 것과 같이 제작된 송신기는 최대 130W의 출력이 가능하고 100W이상의 출력에서 78%이상의 DC-RF 전력효율을 갖는다.

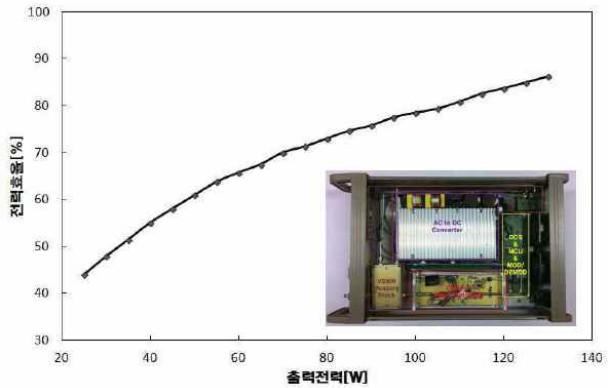

Fig. 7. The power efficiency of Class-F power transmitter
그림 7. Class-F 송신기 전력효율

그림 8은 제작된 공진기의 전달특성을 나타낸다. 그림 8에 나타난 것과 같이 제작된 공진기는 30cm의 이격거리에서 -1.2145dB의 삽입손실을 나타내어 전송효율은 30cm거리에서 약 75%로 측정되었다.

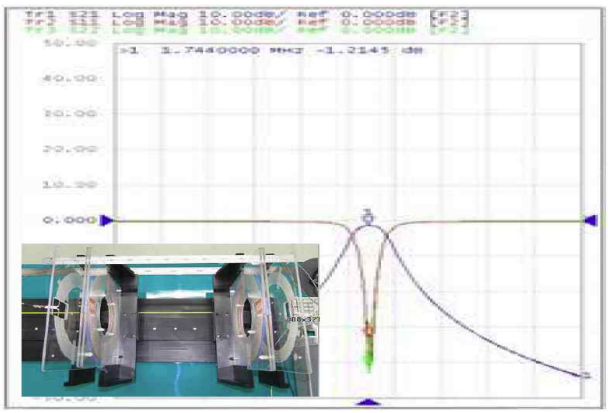

Fig. 8. The transmission efficiency measurement result
그림 8. 송수신 공진기 전송 효율 측정 결과

본 논문에서 응용 시스템으로 구현된 LED 전광판용 무선전력 전송 시스템은 최종부하인 LED 전광판의 최대 소비전력이 25W이고 실제 설치 상황을 모사하고 장애물의 존재에 관계없이 안정적으로 무선전력 전송이 이루어지는 자기공명방식의 특징을 확인하기 위해 벽돌로 벽을 제작하여 설치하였다. 그림 9는 제작된 무선전력 전송 시스템을 나타내고 있다. 송신기와 송신공진기는 전광판이 설치된 벽면 뒤쪽에 위치하고 있고 수신공진기와 수신기는 LED 전광판 내부에 부착되어 있다. 앞에서 설명한 송신전력제어 기능이 구현되어 외부 환경변화에도 안정적인 무선전력 전송이 이루어지도록 구현되어 안전성과 편리성을 동시에 얻을 수 있도록 제작되었다.

(a) (b)

Fig. 9. The manufactured 25W WPT system (a) front side (b) back side
그림 9. 제작된 25W급 무선전력 전송 시스템 (a) 전면 (b) 후면

Ⅳ 결론

본 논문에서는 자기공명 방식을 이용한 25W급 무선전력 전송시스템을 LED 전광판을 이용하여 설계, 제작하였다. 제작된 시스템은 100W급 Class-F 송신기, 자기공명 송수신 공진기, 40W급 full-bridge 수신기와 최종부하인 25W급 LED 전광판으로 구성되어 있다. 전력전송 과정에서 발생하는 외부 및 내부의 환경변화에 대응하여 안정적인 무선전력 전송이 지속될 수 있도록 송수신기 사이의 통신을 이용하여 송신기의 송신전력 제어 기능을 구현하였다. 구현된 송신전력제어 기능은 송신기의 송신 전력을 제어하는 것과 동시에 수신기와의 접속을 제어함으로써 향후 다양한 기기에 적용할 수 있는 기반을 마련하였다. 본 논문에서는 400MHz 대역의 통신을 이용하였으나 필요에 따라서는 WLAN, 밀리미터파 대역 통신, Zig-Bee 등의 다양한 기기에 알맞은 통신방식을 선택하여 적용할 수 있다[9]. 본 논문에서 제시된 시스템 및 전력제어 알고리즘을 통해 보다 상용화에 근접할 수 있을 것으로 판단된다.

References

[1] Andre Kurs, Arsteidis Karalis, Robert Moffatt, John joannpoulos, Peter Fisher, Marin Soljacic, “Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances,” Science Magazine, vol. 317, no.5834, pp. 83-86, 2007.

[2] S.W. Choi and M.H. Lee, “Coil-Capacitor Circuit Design of a Transcutaneous Energy Transmission System to Deliver Stable Electric Power,” ETRI Journal, vol. 30, no. 6, December 2008

[3] J. Heikkinen, and M. Kivikoski, “Low-profile circularly polarized retifying antenna for wireless

power transmission at 5.8 GHz," IEEE Microwave and wireless components letters vol. 14, no.4, pp. 162-164, 2004.
[4] J. Murakami, F. Sato, T. Watanabe, H. Matsuki, S. Kikuchi, K. Harakaiwa, and T. Satoh, "Consideration on cordless power station-Contactless power transmission system," IEEE Trans. Magn., vol. 32, pp.5017-5019, September 1996.
[5] Tianliang Yang, Chunyu Zhao, and Dayue Chen / Shanghai Jiao Tong University, China, "Feedback Analysis of Transcutaneous Energy Transmission with a Variable Load Parameter," ETRI Journal, vol. 32, no. 4, August 2010
[6] Alanson P. S., "Analysis, experimental results, and range adaptation of magnetically coupled resonators for wireless power transfer," IEEE Trans. On Industrial Electronics, vol. 58, no.2, pp. 544 - 554, 2011.
[7] ICNIRP, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields," ICNIRP, vol.74, no.4, pp. 511-512, 1998.
[8] *Advanced Techniques in RF Power Amplifier Design*, Steve C. Cripps, Artech House, 2002.
[9] W. J. Byun, B. S. Kim, K. S. Kim, et al., "40 GHz Vertical Transition with a Dual-Mode Cavity for a Low-Temperature Co-fired Ceramic Transceiver Module," ETRI Journal, vol. 32, no. 2, pp. 195-203, April 2010.

BIOGRAPHY

Kim Sung-Min (Member)

1997: BS degree in Electronics Engineering, Kyungpook Univ.
2009: MS degree in Electronics Engineering, Kyungpook Univ.
2001~Present : Research Engineer, ETRI

Cho In-Gui (Member)

1997: BS degree in Electronics Engineering, Kyungpook Univ.
1999: MS degree in Electronics Engineering, Kyungpook Univ.
2007: PhD degree in Electrical and Electronics Engineering, KAIST
1999~Present: Research Engineer, ETRI

Moon Jung-Ick (Member)

1996: BS degree in Electrical Engineering, Yeungnam Univ.
1998: MS degree in Electrical Engineering, Yeungnam Univ.
2004: PhD degree in Electrical and Electronics Engineering, KAIST
2004~Present: Research Engineer, ETRI