

# 스마트 그리드 전기자동차를 위한 자기장 통신 시스템 구현 연구

정회원 이종민\*, 장우혁\*, 정방철\*\*°

## Magnetic Induction Communication System for Electric Vehicle on Smart Grid

Jongmin Lee\*, Woohyuk Chang\*, Bang Chul Jung\*\*° *Regular Members*

### 요 약

동적인 전력 공급을 통해 에너지 효율을 높여줄 것으로 기대되는 스마트 그리드 기술은 최근 전기자동차 기술의 발달과 함께 차량의 배터리를 가정용 축전지로 활용하는 Vehicle-to-Grid(V2G) 기술에 대한 관심으로 이어지고 있다. 한편, 무선으로 전력을 공급해주는 비접촉 충전 방식은 직접 사용자가 전기 플러그를 콘센트에 꽂지 않고도 자기장 유도 기반으로 전력을 공급해줌으로써 사용자의 안전과 편의성을 보장해 줄 수 있다. 더욱이 이러한 무선 충전과 동시에 자기장을 활용한 통신 시스템이 구축되면 스마트 그리드의 동적 전력 공급의 영역을 이동하는 전기자동차까지 확장함으로써 보다 실용적인 V2G 기술을 제공할 수 있다. 본 논문에서는 이를 위한 자기장 통신 시스템을 제안한다. 자기장 통신 시스템은 데이터 통신 기능과 위치 인식 기능을 제공하며 비접촉식 충전인프라를 그대로 활용할 수 있는 장점이 있기 때문에 V2G 활용에 있어서 핵심적인 기술이라고 할 수 있다. 제안하는 시스템의 데이터 통신을 전력 공급 관련 정보를 패킷화하여 송수신하고, 위치 인식을 통해 차량과 충전인프라의 위치에 따른 충전 효율 및 통신 성능을 향상시킨다. 또한 테스트 베드를 개발하여 다양한 환경에서 성능 검증을 수행하였다.

**Key Words** : Magnetic Induction Communication, Wireless Energy Transfer, Smart Grid, Vehicle-to-Grid

### ABSTRACT

The smart grid technology is expected to significantly improve energy efficiency by dynamic power supply. One of its application is the Vehicle-to-Grid(V2G) that utilizes an electric vehicle's battery as a household storage battery. Meanwhile, a lot of researches are recently investigated in the area of wireless energy transfer technology because of its convenience and safety in charging a battery. With the wireless energy transfer infrastructure a wireless magnetic induction communication technique can help the dynamic power supply of the smart grid more efficient. In this paper, we propose a wireless magnetic induction communication system which includes data transmission and location-aware functions. We expect the system to help the smart grid to control power supply more efficiently. We also developed its test-bed and evaluated the performance.

### I. 서 론

스마트 그리드(Smart Grid)란 현대화된 전력기술과

정보통신기술(Information Communication Technology: ICT)의 융·복합을 통하여 구현된 차세대 전력시스템 및 이를 위한 관리체계를 의미한다. 발전에서 송전 및

\* KAIST IT융합연구소 (jongminlee@itc.kaist.ac.kr, whchang@kaist.ac.kr)

\*\* 경상대학교 해양과학대학 정보통신공학부, 해양산업연구소 (bcjung@gnu.ac.kr), (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2010-05-234, 접수일자 : 2010년 5월 30일, 최종논문접수일자 : 2010년 8월 27일

배전을 거쳐 사용자로 이어지는 단방향의 기존 전력망에 정보통신 기술을 접목시켜 전력 생산, 소비량 등의 정보를 실시간으로 교환하여 에너지 효율을 극대화할 수 있는 스마트 그리드 기술은 전기 자동차와 태양광 발전, 풍력 발전 등을 실용화하는 핵심 기술로 인식되고 있다. 기존의 전력망은 생산자가 통제하는 수직적·중앙집중적 네트워크인 반면에, 스마트 그리드는 수요자와 공급자간에 상호작용을 가능하게 하는 수평적·협력적·분산적 네트워크로서, '에너지 인터넷'이라 부르기도 한다<sup>11,12</sup>. 이러한 스마트 그리드 기술을 통하여 전통적인 에너지 자원과 재생 가능한 에너지 자원을 완전히 통합시키고, 에너지 소비를 비롯하여 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 배출량을 감소시킬 수 있기 때문에 '저탄소 녹색성장'의 핵심 기술로 기대를 모으고 있다.

이러한 스마트 그리드의 핵심 개념 중 하나는 동적인 전력 공급(Dynamic Power Supply)이라고 할 수 있다. 특히 이러한 개념이 전기자동차 기술과 접목되면, 주행 중인 전기자동차의 전력이나 충전유무에 따른 전력 소비량을 예측을 용이하게 해주고, 분산화 된 스마트 그리드 충전인프라를 통해 전기자동차의 전력 공급을 최적화시켜 줄 수 있다. 최근 스마트 그리드 환경에서 전기자동차의 배터리를 가정용 축전지로 활용하는 Vehicle-to-Grid(V2G) 모델이 관심을 받고 있는데, V2G 기술이란 각 가정 내 가전기기의 전력을 실시간으로 체크하고 비용이 저렴한 시간대의 전기를 전기자동차의 배터리에 비축해 두었다가 전기회사와 거래도 할 수 있도록 해주는 기술이다<sup>13,14</sup>. 이러한 V2G 기술을 통하여 가정에서까지도 양방향 전력 거래가 실용화 될 것으로 기대하고 있다.

녹색 성장의 견인차 역할을 할 것으로 기대되는 스마트 그리드 기술과 더불어 전기자동차 충전 기술에 대한 관심도 높아지고 있다. 특히, 최근에는 충전을 하기 위해 플러그를 직접 콘센트에 꽂지 않고, 비접촉의 무선 상태로 배터리를 충전하는 방식에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다<sup>15-17</sup>. 유선으로 연결된 플러그인 전기자동차를 충전하기 위해서는 가정용 전원 220V를 사용할 경우 약 6-8시간이 소요되고, 급속충전을 하더라도 약 30분~1시간동안 콘센트가 설치된 가정 혹은 충전소에서의 충전시간이 필요하다. 하지만 비접촉 충전 방식은 주 정차를 할 때마다 전기 콘센트를 찾아서 플러그를 꽂았다가 뽑았다하는 번거러움을 덜 수 / 불편함을 해소할 수 있고, 전기자동차 충전 시 기존 가전제품보다 많은 양의 전기를 사용하는 데에 따른 안전장치의 오작동 혹은 감전 등으로 인한 사고의 위험을 낮출 수 있다. 가정용 충전 콘센트의 경우,

콘센트와 플러그를 실외로 끌어내야 하기 때문에 눈, 비 등 기상의 영향을 많이 받지만, 비접촉 충전 방식은 충전인프라 자체를 매설함으로써, 기상에 영향을 받지 않는 전천후 충전방식이라고 할 수 있다. 이러한 점에서 비접촉식 충전 방식에 대한 수요도 점차 증가하고 있는 실정이다.

비접촉 충전 방식은 수시로 충전을 요구하는 전기자동차의 배터리를 가정용 콘센트 혹은 일정 간격으로 설치된 충전소뿐만 아니라, 주 정차 시에도 간편하게 충전 할 수 있도록 함으로써, 스마트 그리드의 동적 전력 공급 범위를 확대시켜 줄 수 있는 핵심 기술이라고 할 수 있다. 또한, 전기자동차의 배터리를 가정용 축전지로 활용할 뿐 아니라 다양한 장소에서 무선으로 편리하게 전력을 거래할 수 있는 기술로 넓혀갈 수 있다. 분산된 비접촉식 충전인프라를 통해 수시로 배터리를 충전해 줌으로써 스마트 그리드의 동적인 전력 공급을 더욱 활성화 시킬 수 있고, 전기자동차의 상용화도 앞당길 수 있다. 배터리에 비축해 둔 전력을 편리하게 그리고 수시로 거래할 수 있게 함으로써 더욱 다양한 V2G 관련 서비스도 가능할 것이다.

비접촉식의 스마트 그리드 충전인프라를 활용한 자기장 유도 기반 통신 기술은 전기자동차 충전인프라 및 V2G 기술에 의한 동적 전력 공급 최적화에 기여도가 높은 기술이라고 할 수 있다. 특히, 기존의 전자파를 사용하는 통신 방식의 경우 흙, 물, 금속 등의 환경에서는 유전율(permittivity)의 특성상 신호 감쇄가 상당하여 거의 통신이 불가능하지만, 자기장 유도 방식을 이용하면 투자율(permeability)이 거의 일정하기 때문에 무선 통신 채널 환경에 제약을 받지 않고 통신이 가능하다는 장점이 있다. 본 논문에서는 스마트 그리드 충전인프라를 활용한 자기장 유도 기반 통신 시스템을 제안한다. 제안하는 자기장 통신 시스템은 전기자동차와 충전인프라 간에 비접촉으로 충전을 함과 동시에 무선으로 데이터를 송수신하는 기능을 제공하고, 정확한 위치에서 충전 및 데이터 통신이 이루어지도록 위치 인식 기능을 제공한다. 실제 테스트 베드를 구축하고 다양한 환경을 고려하여 성능 평가를 수행하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 관련 기술로서 전기자동차 비접촉식 충전 인프라와 자기장 통신 기술에 대해 소개하고, 3장에서는 제안하는 시스템의 구조 및 기능, 동작 방식에 대해서 설명한다. 4장에서는 테스트 베드를 구현하고 성능 평가를 수행한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 기술

### 2.1 비접촉식 충전 기술

비접촉식 충전 방식은 기존의 전기 충전 방식처럼 콘센트에 플러그를 꽂는 대신 전자기 유도 방식을 사용한 방식이다. 충전 인프라에 설치된 코일에 교류 전류가 흐르면 전기자동차에 설치된 코일에서 전류가 유도되어 생성되는 원리를 응용한 것이다.

GM의 전기자동차 EV1은 코일이 삽입된 플라스틱 판을 전기자동차의 헤드라이트 사이에 설치하였다<sup>6)</sup>. 플러그를 직접 꽂지 않고 안전하게 충전이 가능하다는 장점이 있지만, 90년대 말 출시한 이 기술은 코일간 거리가 멀어질수록 효율이 낮아지는 단점이 있다. 한편, 미쓰비시(Mitsubishi) 자동차는 교토(Kyoto) 대학, 후지(Fuji) 중공업, 다이하츠(Daihatsu) 공업과 제휴하여 무선으로 전력을 전송하여 충전하는 시스템을 탑재한 전기자동차 iMiEV를 출시하였다<sup>6)</sup>. 2.4GHz의 마이크로파를 사용하여 비접촉 충전이 이루어지도록 하였고, 더욱 콤팩트한 설계, 다양한 환경에서의 동작 실험, 높은 전송 효율(90%)을 달성하기 위해 연구가 진행 중이다. نيسان에서도 쇼와비행기공업과 공동 개발하여 정격 출력 10kW로 충전하는 Hyper-Mini를 출시하였다<sup>6)</sup>. 현재는 약 10cm 정도 수평방향의 열라인먼트가 어긋나도 충전이 가능하도록 목표를 두고 연구를 진행하고 있다. KAIST 온라인전기자동차 사업단에서는 주행 도로 인프라에 급전레일을 장착하고 비접촉 방식으로 차량에 전력을 공급하는 온라인 전기자동차(On-Line Electric Vehicle: OLEV)에 관한 연구 및 개발을 진행 중이다<sup>7)</sup>. 기존의 미국 버클리대학을 중심으로 구성된 California Partners for Advanced Transit and Highways(California PATH) 프로젝트의 60% 효율을 넘어서 80%의 효율을 달성하며 상업화의 가능성을 제시하였다. 운행 경로가 고정적인 공공버스에 적용하는 사업을 진행 중이며, 약 30~40km/h에서 안정적이고 높은 집전 효율을 유지하며 주행하는 기술을 개발하여 시연하고 있다.

그밖에도 기존의 유선 전기 충전의 고정관념에서 탈피하여 무선으로 전력을 공급해 주는 기술 연구도 활발히 진행되고 있다<sup>8),9)</sup>. 특히, 메사추세츠 공과대학(MIT)의 공진형 무선 전력 전송 기술<sup>9)</sup>은 공진 특성을 이용하여 비교적 원거리에서도 충전이 가능하도록 함으로써, 비접촉 충전 방식의 활용 가능성을 넓히고 있다.

### 2.2 자기장 유도 기반 통신 기술

자기장은 전기장과 달리 매질의 변화에 의한 영향을

거의 받지 않는다. 전기장은 매질의 유전율에 의하여 신호 감쇄가 이루어지는데 유전율은 물질에 따라 비교적 차이가 크게 나타난다. 예를 들어, 공기의 상대 유전율은 1인 반면, 물은 80이다. 즉 공기 중에서는 감쇄 없이 전기장이 형성되지만, 물에서는 급격히 감소된다. 반면, 자기장은 매질의 투자율에 의해 영향을 받는데 일부 물질을 제외한 대부분의 매질에서 공기와 거의 비슷한 정도의 투자율을 갖는다. 따라서 물, 흙 등의 매질로 구성된 환경에서는 자기장을 이용하면 감쇄가 최소화된 통신 시스템을 기대할 수 있다. 하지만, 자기장 유도 기반 통신 방식은 비록 감쇄가 매질의 영향을 거의 받지 않더라도 통달거리가/가 근거리장(Near-Field)으로 제한된다. 일반적으로 전자파 발생원으로부터 가까운 거리의 근거리장과 파장( $\lambda$ )을  $2\pi$ 로 나눈 수치보다 먼 거리의 원거리장(Far-Field)으로 구분된다.

미국의 Visible Assets은 자기장 유도 기반 통신 기술을 통해 수동형 RFID 태그와 리더기를 개발하였다. 수동형 RFID란 자기장을 통하여 급속, 물, 흙 등에서도 감쇄 없이 통신이 가능하기 때문에 무기고, 지하 매설물 관리를 위한 지중 센서 네트워크에도 활용된다. 또한, IEEE 1902.1 표준화를 주도하며 코딩, 변복조, 그 밖의 통신 프로토콜 규격을 개발하고 있다<sup>11)</sup>. 미국 조지아 공대(Georgia Institute of Technology)에서는 지중 통신 센서 네트워크를 위한 자기장 유도 기반 통신의 채널 모델링 송수신기 구조, 프로토콜 디자인 등을 연구하고 있다<sup>10)</sup>. 이러한 자기장 유도 기반 통신 방식은 근거리장에서 데이터 송수신이 이루어져야 하기 때문에, 파장이 상대적으로 긴 저주파를 사용하고/하여 통달거리를 최대화 할 수 있다. 이는 데이터 전송용량의 제한시키기도 한다.

## III. 스마트 그리드 충전인프라를 활용한 자기장 통신 시스템

서론에서 스마트 그리드의 핵심 개념인 동적인 전력 공급에 대하여 설명하였다. 그리고 비접촉식 충전 방식과 자기장 유도 기반 통신 방식에 대해서 소개하였다. 두 가지 기술의 공통점은 코일 양단에 유도된 교류 전류에 의하여 배터리가 충전되고 데이터가 송수신된다는 점이다. 본 장에서는 전기자동차의 배터리와 전력망 간에 동적인 전력 공급에 핵심적인 기능을 할 수 있는 자기장 통신 시스템에 대해서 자세히 설명한다. 제안하는 자기장 통신 시스템은 데이터 송수신 기능과 위치 인식 기능을 제공한다.

자기장 통신 시스템은 그림 1과 같이 전기자동차와 충전인프라 간의 통신 시스템으로 가정하였다. 전기자동차에 코일 I이 설치되어 있고, 비접촉 충전 인프라에 코일 II가 설치되어 있다. 차량이 이동하면서 코일 I과 코일 II가 제자리에 놓이게 되면 별도의 플러그 연결 없이 인증 과정 후, 바로 충전이 가능하다. 코일 I과 코일 II 각각은 교류 전류가 흐르며 코일 I에는 배터리와 자기장 통신용 송수신 단말, 코일 II에는 전력 공급원과 자기장 통신용 송수신 단말이 설치된다. 전기자동차 위치에 따라서 코일 I과 II가 어긋나는 경우 양 코일 간에 유도된 신호 감쇄 정도가 달라질 수 있으므로, 이러한 신호 감쇄 정도의 변화를 통해 위치 인식 기능을 제공하여 통신 및 충전 효율을 높일 수 있게 된다.

자기장 통신 시스템 플랫폼은 그림 2에서 볼 수 있듯이 마이크로컨트롤러(MCU)를 기본으로 하여 FPGA를 포함한 시스템 구성 요소 간 효율적인 데이터 통신 방법을 지원한다. 여기서 마이크로컨트롤러는 시스템을 컨트롤하면서 동시에 통신을 위한 소프트웨어, 즉 데이터링크(매체접속) 계층 프로토콜을 수행하며, FPGA는 물리 계층 디지털 모듈을 포함하여 데이터링크(매체접속) 계층의 실시간 처리를 요구하는 기능 블록들로 구현된다.

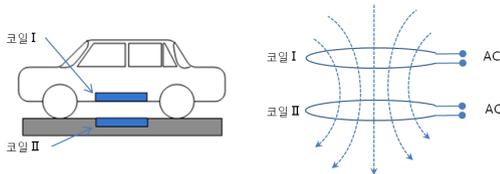


그림 1. 전기자동차 및 충전인프라의 코일과 자기장 유도 현상

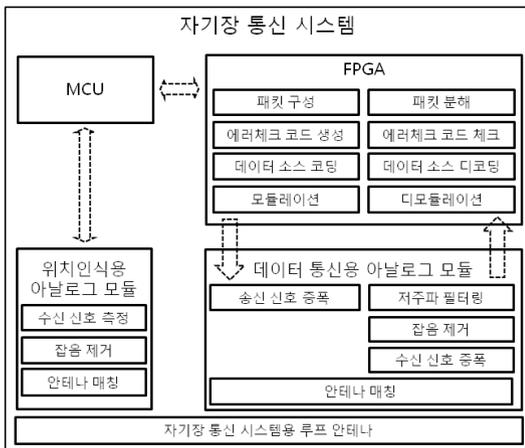


그림 2. 자기장 통신 시스템 개요

### 3.1 자기장 유도 기반 데이터 통신

자기장 통신 데이터링크(매체접속) 계층에서 충전인프라용 자기장 통신 시스템은 일종의 네트워크 관리자로 동작한다. 즉, 네트워크 합류 및 분리를 관리하고, 시간 슬롯 기준의 슈퍼프레임을 관리하며 네트워크상의 데이터 흐름을 관리한다. 반면, 차량용 자기장 통신 시스템은 일종의 네트워크의 참여자로서 네트워크 합류 요청 및 응답, 네트워크 분리 요청 그리고 데이터 요청 응답 기능을 수행한다.

물리 계층의 기능은 FPGA를 이용한 디지털 모듈과 아날로그 모듈을 통해 구현된다. 디지털 모듈의 경우 충전인프라용 시스템의 매설 환경과 금속 등의 차폐로 구성된 차량용 시스템의 설치 환경을 감안하여 신호 간섭과 내성이 강한 모뎀 방식 및 하드웨어 구성을 적용하였다. 아날로그 모듈은 기존 전자파 통신 방법과 달리 낮은 주파수의 자기장 형성에 유리한 루프 안테나를 기반으로 구현하였다. 회로의 주파수 공진을 최대화하여 송수신 신호를 극대화하기 위해서는 안테나와 아날로그 모듈 간의 매칭이 중요한데, 주파수가 낮기 때문에 전원 공급을 위한 자기장 신호와의 간섭을 제거할 수 있도록 구현하였다.

그림 3의 상단에 디지털 모듈의 하드웨어 구성을 설명하였다. 시스템을 구성하는 요소들은 장치들 간 조율을 위한 Arbitor/decoder 블록 및 인터럽트 컨트롤러 블록, 통신에서 사용하는 펌웨어 및 전송 데이터를 위한 메모리 블록, 시스템 관리를 위한 WatchDog/Timer 블록, 그리고 사용자 인터페이스를 위한 UART 블록으로 구성된다. 차량에 설치되는 자기장 통신 송수신기와 충전인프라에 설치되는 송수신기는 설치 환경을 고려하여 마이크로프로세서 처리능력, FPGA 게이트수, 메모리 및 버스 구성 방식 등에서 차이를 두었다. 데이터 전송을 위한 기본적인 프레임 구조는 그림 5와 같이 프리앰블, 헤더, 페이로드로 구성된다. 프리앰블은 수신부에서 패킷 동기, 심플 시간 조정 등의 목적으

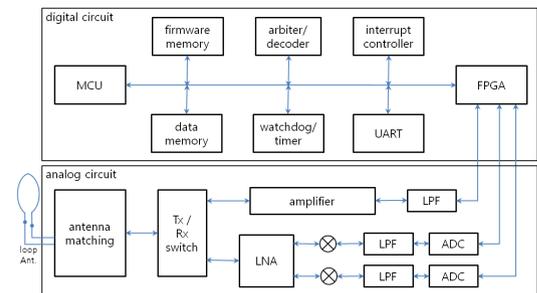


그림 3. 자기장 통신 시스템 하드웨어 구조 (데이터 통신 part)

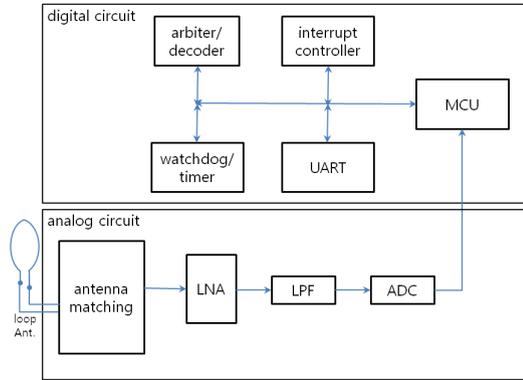


그림 4. 자기장 통신 시스템 하드웨어 구조 (위치 인식 part)

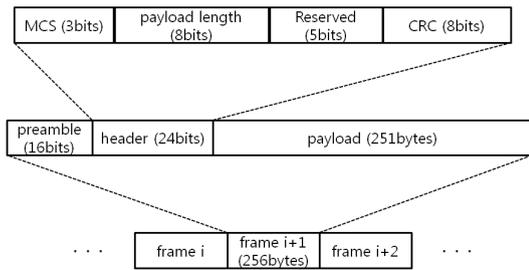


그림 5. 자기장 통신 시스템의 데이터 통신을 위한 기본 프레임 구조

로 사용되며, 헤더 부분은 코딩 및 변복조, 페이로드 데이터 길이, 순회 잉여 부호(Cyclic Redundancy Code: CRC) 체크 기능을 수행한다. 페이로드는 프레임 당 최대 251바이트를 전송할 수 있도록 설정하였다. 코딩과 변조는 각각 맨체스터 코딩과 BPSK 변조로 구현하였다.

아날로그 모듈의 하드웨어 구성은 그림 3의 하단과 같이 송신부와 수신부 그리고 안테나 연결부로 구성된다. 저주파 신호를 사용하는 장점을 살려서 송신부는 D/A 컨버터(Digital-to-Analog Converter: DAC) 없이 아날로그 증폭기 및 저대역통과필터(Lowpass Filter: LPF)로 송신 신호를 생성하고, 수신부는 저잡음증폭기(Low Noise Amplifier: LNA) 및 저대역통과필터를 이용하여 신호 증폭 및 신호 주파수 대역을 낮추어 A/D 컨버터(Analog-to-Digital Converter: ADC)를 통해 디지털 모듈로 신호를 전달한다. 안테나 연결부는 송수신 전환 회로와 안테나 매칭 회로로 구성된다. 디지털 회로와 마찬가지로 차량에 설치되는 자기장 통신 송수신기와 충전인프라에 설치되는 송수신기의 설계에 차이를 두었다.

### 3.2 자기장 유도 기반 위치 인식

위치 인식을 담당하는 부분은 충전인프라용 자기장 통신 시스템에 설치되며 그 구조는 그림 4와 같다. 데이터 통신 부분과 마찬가지로 디지털 모듈과 아날로그 모듈로 구성되어 있고 디지털 모듈은 마이크로프로세서와 간단한 시스템 블록들로 구성된다. 충전인프라의 안테나로부터 감지된 차량용 안테나의 자기장 신호는 아날로그 모듈을 거쳐 디지털 모듈로 전달되는 구조로 되어 있다. 수신 신호를 바탕으로 위치 인식 알고리즘을 수행할 수 있도록 아날로그 수신부의 신호가 A/D 컨버터, LNA와 저대역통과필터를 거쳐 복잡한 처리과정이 없이 마이크로컨트롤러로 전달된다.

### 3.3 자기장 통신용 안테나

자기장 통신 시스템의 데이터 통신과 위치 인식 기능 모두 신호를 송수신할 수 있는 안테나가 필요하다. 또한, 근거리장을 이용한 통신 방식이므로 통달 거리를 최대화할 필요가 있다. 이를 위해 중심 주파수(carrier frequency)를 128kHz의 저주파로 설정하였고 자기장의 유도 특성에 의해 신호가 잘 전달되도록 루프 형태의 안테나를 구현하였다. 구현된 자기장 통신 시스템용 안테나는 송수신 전환 회로와 안테나 매칭 회로로 구성된다. 송신부의 안테나 부분에서는 코일을 루프형으로 제작하여 약 112 $\mu$ H의 인덕턴스 값을 갖도록 하였고, 매칭(matching)단에서의 LC 공진을 최대한 맞추면서 자기장이 형성되도록 하였다. 루프 안테나를 고정하는 물체는 아크릴로 제작하여 그림 6의 좌측과 같은 형태의 안테나를 구현하였다. 그림 6의 우측의 그림은 중심주파수가 약 128kHz에서의 임피던스 매칭 특성을 보여주며 회로 전체에서 소자 혹은 부품 간에 발생하는 간섭이나 노이즈 등을 감안하여 제작하였다.

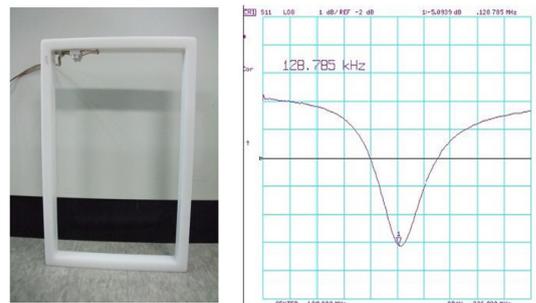


그림 6. 자기장 통신용 사각 루프 안테나(좌), 안테나의 임피던스 특성(우)

#### IV. 테스트 베드 구축 및 성능 평가

##### 4.1 테스트 베드 구축

자기장 통신 시스템 하드웨어를 제작하여 성능을 테스트하기 위하여 그림 7과 같은 실험 환경을 구축하였다. 자기장 안테나가 충전인프라에 매설되는 환경을 가정하여 물, 흙 등 다양한 매질을 실험할 수 있도록 그림 7의 좌측과 같이 상자를 제작하였다. 차량을 묘사한 수레로부터 최소 30cm 깊이로 매설할 수 있도록 외부 상자 중앙에 서랍식 내부 상자를 제작하여 자기장 통신 안테나를 삽입하였다. 그림 7의 우측은 전기자동차를 가정한 수레로서, 이동이 가능하고 자기장 통신 안테나의 위치, 각도 등의 변화에 따라 실험할 수 있도록 하였다. 각각의 실험 환경에 따라 수신부 차량용 안테나로 전달된 신호의 전압 세기를 안테나 뒷단에서 측정하여 비교하였다.



그림 7. 자기장 통신 테스트 환경

##### 4.2 안테나 각도 변화에 따른 테스트

공기 중에서 마주보고 있는 충전인프라용 자기장 통신 안테나와 차량용 안테나의 각도를 그림 8과 같이 변화시키면서 실험하였다. 두 안테나가 평행할 때를 0°로 정하고, 이를 기준으로 변화되는 각도의 상대적인 신호 세기를 측정하였다. 0°~90°로 변화시키면서 안테나를 통해 수신한 신호의 전압세기를 측정하였다. 그림 8과 같이 두 개의 안테나가 평행한 상태인 0°를 기준으로 30°, 60°, 90°에 대한 값을 측정하였다. 충전인프라용 안테나는 고정하고, 차량용 안테나의 각도를 변화시키면서 공기 중을 통해 전달된 신호의 상대적인 크기를 측정하였다. 전달된 신호 세기의 크고 작음에 따라 데이터 통신 에러율 및 충전 효율에 영향을 줄 수 있으며, 구현되는 시스템에 따라 다르게 적용될 수 있다.

0°~90°대하여 각각 두 안테나 간의 이격거리를 30cm, 60cm, 90cm로 달리하며 실험한 결과는 그림 9와 같다. 근거리장을 통한 자기장 유도 기반 통신 방식이므로 30cm 거리에서는 두 안테나 간에 거리가 근접하기 때문에 신호 감쇄가 거의 나타나지 않지만 60cm

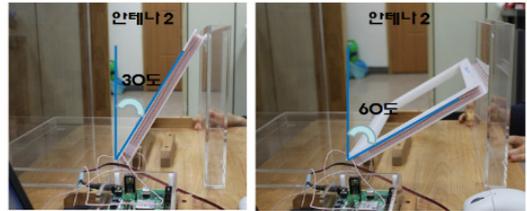
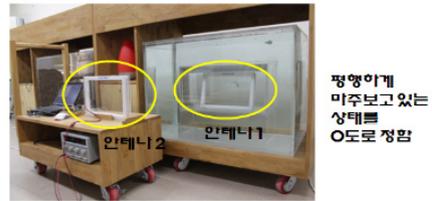


그림 8. 안테나 각도 변화 테스트 방법

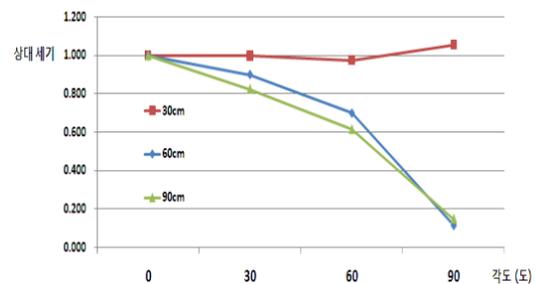


그림 9. 안테나 각도에 따른 신호세기

이상의 거리에서는 신호가 급격하게 감소하는 것을 알 수 있다. 자기장 통신 시스템의 성능을 높이기 위해서는 안테나 간에 평행이 유지되어야 최적화가 가능함을 알 수 있다. 비교적 원거리(그림 9에서는 60cm, 90cm)에서도 통신 성능이 유지되고, 두 안테나 간의 각도가 다소 틀어지더라도 근거리(그림 9에서는 30cm)에 위치할 필요가 있다.

##### 4.3 안테나 이격 각도 변화에 따른 테스트

자기장 통신 시스템의 성능을 최적화하기 위해서는 충전인프라의 안테나 위에 차량의 안테나가 완전히 겹쳐지도록 해야 한다. 그림 10과 같이 충전인프라와 차량 각각의 안테나의 이격 각도를 달리하며 성능을 확인하였다. 각각 30cm, 60cm, 90cm의 거리에서 실험을 하였으며 결과는 그림 11과 같다. 그림 11의 실험 결과로부터 자기장 유도 기반의 통신에서 두 안테나 간에 교차면 면적에 따른 성능 차이를 알 수 있다. 충전인프라용 안테나와 차량용 안테나가 위치할 때 겹치는 면적과 두 안테나 간의 이격 거리를 달리하며 실험하였다. 그림 10에서 두 안테나 간의 이격 거리는 30cm,

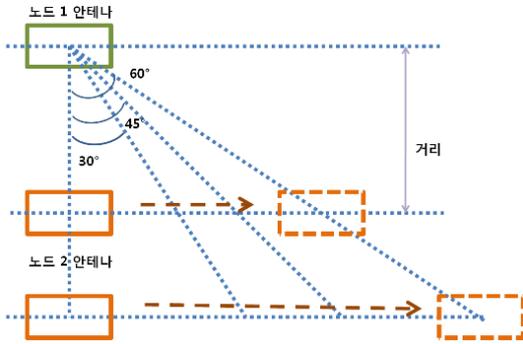


그림 10. 안테나 이격 각도(교차면적) 변화 테스트 방법

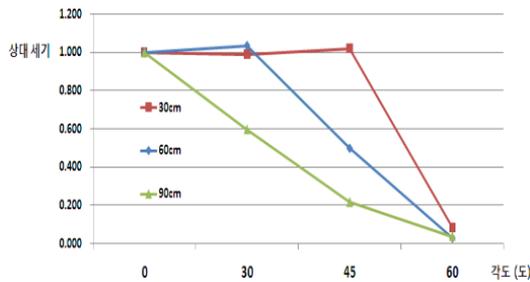


그림 11. 안테나 이격 각도에 따른 신호세기

60cm, 90cm로 변화시키면서 수신된 신호의 전압 세기를 측정하였고, 이 때, 그림 10에서처럼 두 안테나 간의 겹치는 면적을 다르게 하며 비교하기 위해 차량용 안테나 중심점의 위치를 0°를 기준으로 30°, 45°, 60°로 이동 시키며 각각 상대적인 신호 변화를 측정하였다. 근거리(그림 11에서는 30cm)일 때, 두 안테나 중심점 간의 각도가 최대 45°까지는 원래의 신호 세기가 유지되었으나 원거리(그림 11에서는 60cm, 90cm)에서는 두 안테나 중심점 간의 각도가 최대 30°까지 신호 세기가 유효하였다. 충전인프라용 안테나와 차량용 안테나 간의 겹치는 면적을 최대화하여야 통신 에러율을 낮추고 충전 효율을 높일 수 있다. 측정된 신호 세기는 상대적인 값이며, 구현되는 시스템의 요구사항에 따라 임계치는 다르게 적용될 수 있다.

#### 4.4 매질에 따른 테스트

자기장 통신의 최대 장점은 공기 중이 아닌 매질 환경의 영향을 거의 받지 않는다는 점이다. 이는 자기장의 투자율이 공기 중과 흙, 물 등의 환경에서도 거의 일정하기 때문인데 그림 7에서 소개한 내·외부 상자에 그림 12와 같이 흙(좌측)과 물(우측)로 채워 넣었다. 자기장 안테나는 각각의 매질 중앙에 서랍식 내부 상자



그림 12. 매질(물, 흙)에 따른 테스트를 위한 실험 환경

를 통해 삽입하여 매질에 따른 신호 세기를 측정할 수 있도록 하였다. 그림 13의 결과에서 확인할 수 있는 것처럼 공기 중과 비교한 자기장 신호 세기는 매질의 영향을 거의 받지 않고 단순히 이격 거리에 의해서 감쇄가 일어나는 것을 알 수 있다.

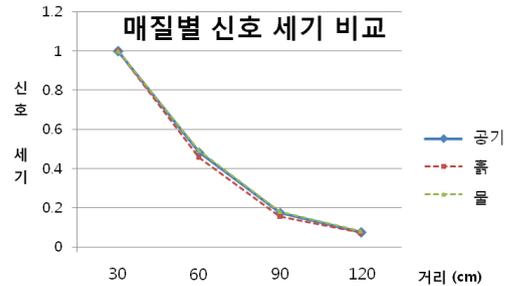


그림 13. 매질에 따른 신호세기 (공기, 물, 흙 비교)

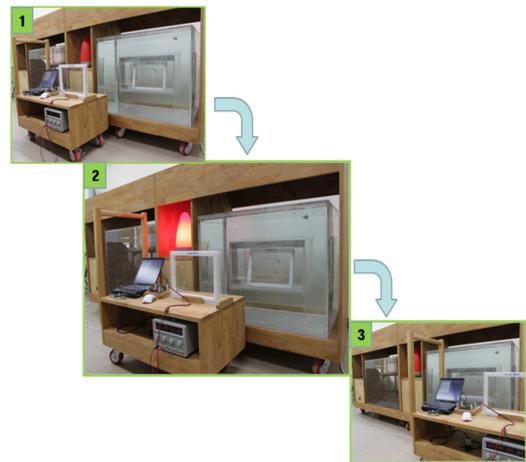


그림 14. 위치 인식 실험

#### 4.4 위치 인식 테스트

차량용 자기장 안테나를 설치한 수레를 충전인프라용 자기장 안테나를 설치한 상자 주위에서 이동시키면서 위치 인식 여부를 실험하였다. 그림 13은 실험하는 모습을 나타낸 그림인데, 두 안테나가 겹치는 위치에 있을 때 전등에 불이 켜지는 것을 확인하였고, 정확한 민감도는 구현 보드의 LED를 통하여 확인하였다.

### V. 결 론

스마트 그리드의 핵심 개념인 동적인 전력 공급은 가정용 스마트미터를 거쳐 전기자동차의 배터리의 활용까지 확장될 수 있다. 한편, 무선으로 전력을 전달하고 충전하는 기능은 사용자의 안전뿐 아니라 편의성을 보장하는 매우 중요한 기능이다. 더 나아가 전기자동차를 통한 V2G 기술을 통하여 스마트 그리드 동적 전력 공급을 최적화 할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 스마트 그리드의 전기자동차 충전인프라를 더욱 원활하게 할 수 있는 자기장 통신 시스템을 개발하고 테스트 베드를 구축하여 성능을 확인하였다. 제안하는 자기장 통신 시스템은 비접촉 충전 방식의 인프라를 활용하여 무선으로 데이터를 전송함과 동시에 자기장 기반 충전 효율과 데이터 전송 성능 향상을 위하여 위치 인식 기능까지 구현하였다. 충전인프라가 구축되는 다양한 매질 환경에서도 시스템의 성능을 검증하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] 고동수, 녹색성장 구현을 위한 지능형 전력망 도입, 산업연구원, 2009.
- [2] 이일우, 박완기, 박광로, 손승원, “스마트 그리드 기술 동향”, 한국통신학회지(정보와 통신), 제26권 제9호, pp.24-33, 2009년 9월.
- [3] Mark Goldes, 양희문, “자동차에서 전력망으로 (V2G)”, 해외전력정보 제32권 제4호, pp.14-15, 2009년 4월.
- [4] Willett Kempton and Jasna Tomic, “Vehicle-to-Grid Power Implementation: From Stabilizing the Grid to Supporting Large-scale Renewable Energy,” *Elsevier Journal of Power Source*, Vol. 144, pp.280-294, June 2005.
- [5] 지식경제부 에너지지원실 에너지산업정책관 전력산업과, “스마트 그린홈, 전기차 충전소 등을 이끔 10개 공모 컨소시엄 확정, 지경부장관과 협약체결”, 동향자료(한국개발연구원), 2009년 12월.

- [6] 홍일신, “전기차 충전에서 다양한 사업모델 나온다”, *LG Business Insight 1059호*, 2009년 9월.
- [7] KAIST 온라인전기자동차 사업단 기술 소개 (online), <http://www.olev.co.kr>.
- [8] 강승열, 김용해, 이명래, 정태형, “무선 에너지 전송 기술”, *전자통신동향분석* 제23권 제6호 2008년 12월.
- [9] A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J.D. Joannopoulos, P. Fisher, M. Soljacic, “Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances,” *Science*, Vol.317, No.5834, pp. 83-86, July 2007.
- [10] Li Li, Mehmet C. Vuran, Ian F. Akyildiz, “Characteristics of Underground Channel for Wireless Underground Sensor Networks,” in *Proc. of Med-Hoc-Net'07*, Corfu, Greece, June 2007.
- [11] IEEE Communication Society, *IEEE Standard for Long Wavelength Wireless Network Protocol*, IEEE, March 2009.

이 종 민 (Jongmin Lee)

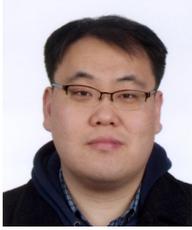
정회원



2004년 2월 건국대학교 전자  
정보통신공학부학사  
2009년 2월 한국정보통신대  
학교 공학부석사  
2009년 2월~현재 KAIST IT  
융합연구소 연구원  
<관심분야> Cognitive Radios,  
MIMO, OFDM, Radio  
Resource Management, Scheduling Algorithm

장 우 혁 (Woohyuk Chang)

정회원



2001년 2월 아주대학교 전자공학부 학사

2003년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 석사

2010년 1월 KAIST 전기 및 전자공학과 박사

2007년 8월~9월 University of Notre Dame 방문연구원

2009년 12월~현재 KAIST IT 융합연구소 선임연구원

<관심분야> 이동통신, 부호 및 정보이론, 신호처리, 협력 및 중계통신, Cognitive Radios, Compressed Sensing

정 방 철 (Bang Chul Jung)

정회원



2002년 2월 아주대학교 전자공학부 학사

2004년 8월 KAIST 전기 및 전자공학과 석사

2008년 2월: KAIST 전기 및 전자공학과 박사

2008년 3월~2009년 8월 KAIST IT 융합연구소 팀장

2009년 9월~2010년 2월 KAIST IT 융합연구소 연구교수

2010년 3월~현재 경상대학교 정보통신공학과 조교수  
<관심분야> 이동통신, 신호처리, 협력 및 중계통신, Cognitive Radios, Compressed Sensing, 차세대 이동통신시스템