

전기자동차 무선전력 전송 효율 향상을 위한 코일 오정렬 검출 기술에 관한 연구

이태목*, 배진석**, 김동완***

Study about Coil Misalignment Detection Technology to Enhance Wireless Power Transfer Charging Efficiency on Electric Vehicle

Taemok Lee*, Jin-Seok Bae**, and Dongwan Kim***

요 약

최근 전기자동차 보급이 확대됨에 따라 전기자동차 충전 기술 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 전기자동차 충전 기술은 유선충전 기술과 무선충전 기술로 분류되며, 물리적 플러그인이 필요 없는 무선충전 기술에 초점을 맞추어 개발 진행 중이다. 그러나 무선충전 기술은 송수신코일들의 오정렬 시 무선전력 충전 손실을 발생시키게 되며, 송수신코일의 오정렬로 인한 무선전력 충전 손실은 무선충전 기술이 상용화되기 전에 해결되어야 하는 문제이다. 본 논문에서는 무선전력 충전을 위한 송수신코일들의 정렬 손실을 줄일 수 있는 코일 오정렬 검출 기술에 관한 연구 동향을 소개하고 Society of Automotive Engineers(SAE)의 J2954 표준 및 International Electrotechnical Commission(IEC)의 61980-2 표준에서 논의된 기술들을 소개한다.

Abstract

Recently, many researches about electric vehicle charging technology are conducted with the spread of electric vehicles. The electric vehicle charging technology is classified into wired charging technology and wireless charging technology, and is being developed with a focus on wireless charging technology that does not require physical plug-in. However, the wireless charging technology can lead wireless power charging loss when the transmitter and receiver coils are misaligned, so the misalignment loss of the transmitter and receiver coils is a problem that needs to be solved before the wireless charging technology is commercialized. In this paper, we introduce the coils misalignment detection technology research that can reduce the alignment loss of the transmitter and receiver coils for wireless power charging, and the technology discussed in the J2954 standard of the Society of Automotive Engineers(SAE) and the 61980-2 standard of the International Electrotechnical Commission(IEC).

Keywords

wireless power transfer, electric vehicle charging technology, coil misalignment, LPE, LF

* 동아대학교 ICT융합해양스마트시티공학과 석사과정
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3113-3407>
** 동국대학교 신재생에너지공학과 박사과정
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5550-3583>
*** 동아대학교 전자공학과 교수(교신저자)
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2779-9858>

· Received: Jan. 17, 2023, Revised: Feb. 03, 2023, Accepted: Feb. 06, 2023
· Corresponding Author: Dongwan Kim
Dept. of Electronic Engineering, Dong-A University, Busan, South Korea
Tel.: +82-51-200-7708, Email: dongwankim@dau.ac.kr

1. 서 론

최근 전기자동차 충전 기술 개발을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 상용화된 전기자동차 충전 인프라 시설들은 대부분 유선충전 방식의 기술을 사용한다. 유선충전 방식은 사용자가 직접 자동차의 충전 단자에 충전 케이블을 연결하여 차량을 충전하는 방식이다. 이는 커넥터와 케이블의 마모를 유발할 수 있으며 충전 시 사용자 편의성 측면에서 좋지 않다. 이러한 유선충전 방식을 개선하려는 방법으로 무선충전 방식을 채택하여 활발히 개발 진행 중이다. 무선충전 방식은 사용자가 직접 충전단자에 충전기를 연결하지 않고 충전기 송신부 위에 차량 주차 시 무선으로 전력 전달을 하는 방식으로 사용자의 편의성을 높일 수 있다[1]-[9].

전기자동차용 무선충전 방식의 충전기는 무선전력 전송 기술을 사용하며, 일반적으로 송신코일은 주차장 지면에 설치하고 수신코일은 차량 하부에 설치한다. 이때, 송신코일과 수신코일이 오정렬 되면 전송 효율이 감소하게 된다[10]. 따라서 송수신코일 간 정확한 정렬이 필요하게 되며 이는 차량 주차 시 코일 오정렬 검출 기술을 이용하여 해결할 수 있다.

II. 무선전력 전송과 오정렬

2.1 무선전력 전송 기술

무선전력 전송 기술은 자기장 방식과 전자기파 방식으로 구분된다[11]. 자기장 방식은 자기유도 방식과 자기공명 방식으로 나뉜다. 자기유도 방식은 그림 1과 같이 송신코일에서 전원을 인가하여 자기장을 발생시키면, 수신코일에서 유도전류, 유도기전력이 발생하여 수신단에 에너지를 공급하는 방식이다. 자기유도 방식은 수 mW ~ 수십 kW의 전력을 90%의 효율로 근거리 무선전력 전송이 가능하다. 자기공명 방식은 그림 2와 같이 동일 주파수를 갖는 송수신코일 간 공진현상을 이용하여 에너지를 전달하는 방식이다. 자기유도 방식과 같이 송신코일에서 전원이 인가되면 자기장을 발생시켜 수신코일에서 유도전류가 생성되는 것은 유사하지만 공진코

일을 추가하여 공진주파수를 사용하는 차이점이 있다. 공진주파수를 사용하면 송수신코일 간 자기공명하여 공진 에너지 결합으로 에너지를 전달한다. 자기공명 방식은 다수의 충전기기를 멀티 충전 가능하고 이동성이 있는 충전에 용이하며, 수 m의 거리까지 무선전력 전송이 가능하다.

전자기파 방식은 마이크로파와 같이 주파수가 높은 파를 이용한다. 또한, 통신의 송수신과 같은 방식으로 송수신하며 수신단은 전자파를 전력으로 변환하여 에너지를 전달하는 방식이다. 전자기파 방식은 고출력 원거리 전력전송에 사용할 수 있지만, 전자파로 인한 인체에 유해한 문제를 지닌다. 따라서 전기자동차 무선충전에서 사용하기에는 한계가 있다.

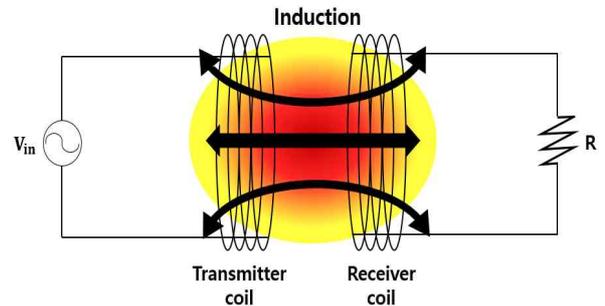


그림 1. 자기유도 전력 전송
Fig. 1. Inductive power transfer

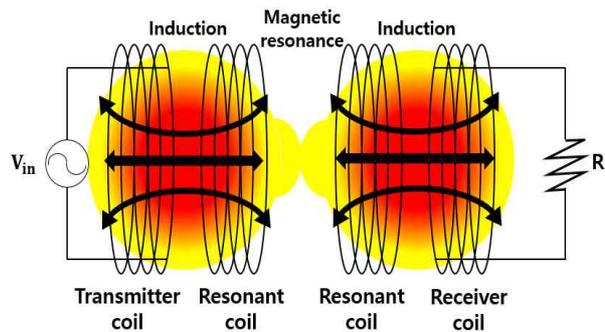


그림 2. 자기공명 전력 전송
Fig. 2. Magnetic resonance power transfer

2.2 전기자동차 무선전력 전송 시스템과 송수신코일 간 오정렬 문제

전기자동차용 무선전력 전송 시스템의 구성은 그림 3과 같이 송신코일 패드를 주차장 지면에 설치하고 수신코일 패드를 차량 하부에 부착하여 전력 전송을 하는 구조이다.

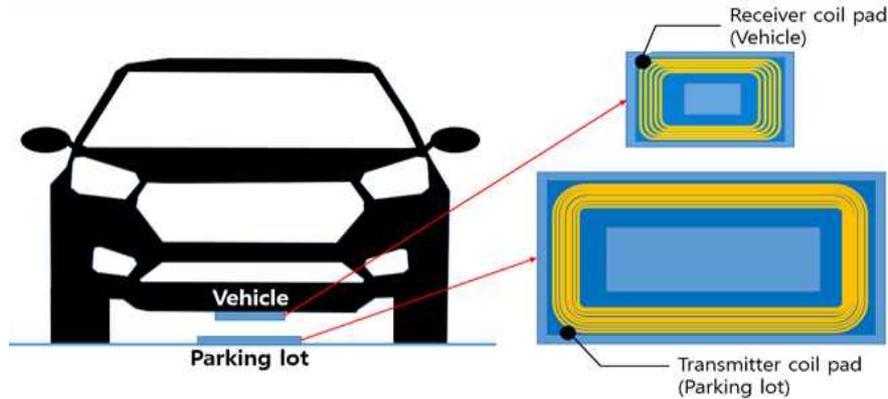


그림 3. 전기자동차 무선전력 전송 시스템
Fig. 3. Wireless power transfer system for electric vehicles

이때 자기장 방식을 이용하며 송수신코일 패드 간 정렬하여 수십 cm 떨어진 곳에서 충전할 수 있도록 시스템을 구성한다. 송수신코일 패드 간 정렬은 전기자동차가 주차장 지면의 송수신코일 패드가 있는 위치까지 이동하여 정렬한다. 무선전력 전송 시스템에서 송수신코일 간 충전 효율은 두 개의 충전패드 즉, 송수신코일 사이의 정렬 조건에 크게 영향을 받는다[10]-[13].

$$\eta = \frac{k^2 \cdot Q_{TX} \cdot Q_{RX}}{(1 + \sqrt{k^2 \cdot Q_{TX} \cdot Q_{RX}})^2} \quad (1)$$

식 (1)은 송수신코일 간 충전 효율을 나타낸 것이며, Q는 Q-factor(품질 계수)를 의미한다. k는 코일 간 결합 계수를 의미하며 식 (2)와 같이 나타낸다.

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_{TX} \cdot L_{RX}}} \quad (2)$$

식 (2)에서 L_{TX} 과 L_{RX} 는 각 코일의 자기 인덕턴스를 나타내며, M은 송수신코일 간 상호 인덕턴스를 의미하며 식 (3)과 같이 나타낸다.

$$M = \frac{N_{TX} \cdot N_{RX} \cdot \mu_0}{4\pi} \oint_{l_{TX}} \oint_{l_{RX}} \frac{dl_{TX} dl_{RX}}{R} \quad (3)$$

식 (3)에서 N_{TX} 와 N_{RX} 는 각 코일의 권수, μ_0 는 진공에서의 투자율, dl_{TX} 와 dl_{RX} 는 각 코일의 반시

계 방향의 길이 변화 벡터, R는 송수신코일 간 거리를 의미한다. 식 (1)~(3)에서 확인할 수 있듯, 송수신코일 간 오정렬 발생 시, R이 증가하게 되며, 이는 k의 감소를 초래한다. 즉, 송수신코일 간 오정렬 시 효율은 감소하게 되는 결과를 초래한다.

표 1에서는 송수신코일 간 높이를 30cm로 지정하여 오정렬에 따른 무선전력 전송 효율을 도출하였다. 오정렬이 20cm 이내의 오차일 경우 80% 이상의 효율을 보였으며, 오정렬이 10cm 이상일 경우 거리에 따라 점차 효율이 낮아진다[10].

표 1. 오정렬에 따른 무선전력 전송 효율[6]
Table 1. Wireless power transfer efficiency based on misalignment[6]

| Misalignment [cm] | Height between transmitter and receiver coils : 30cm | | | | |
|-------------------|--|----|----|----|----|
| | 0 | 10 | 20 | 25 | 30 |
| Efficiency [%] | 95 | 93 | 85 | 77 | 60 |

오정렬이란 그림 4에서 나타낸 것과 같이 송수신코일의 중심과 수신코일 중심 간의 거리 차이를 의미하며, 코일 간 높이는 주차장 지면과 차량 하부에 부착된 송수신코일 패드 간의 높이를 의미한다. 기존의 연구에서는 운전자가 외부 주차 안내 지원 없이 송수신코일 패드가 부착된 주차장에 주차할 경우, 가로세로 방향의 오정렬은 평균적으로 70cm 발생함을 검증하였다[14].

표 1과 같이 전송 효율은 오정렬의 거리에 따라 감소하는 경향을 보이며, 70cm의 오정렬은 80% 미

만의 낮은 전력 전송 효율을 가진다. 따라서 본 논문에서는 전기자동차용 무선전력 전송 시스템에서 차량의 정밀한 주차를 도와 송수신코일들의 오정렬을 줄일 수 있는 표준 및 코일 오정렬 검출 기술에 관한 연구 동향에 관해서 소개한다.

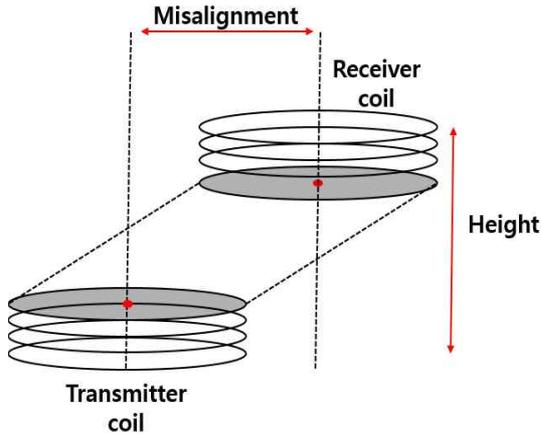


그림 4. 송수신코일 간 오정렬

Fig. 4. Misalignment between transmitter and receiver coils

III. 표준현황 및 기술 동향

3.1 표준현황

전기자동차 무선전력 전송 시스템의 표준을 다루고 있는 대표적인 기관은 국제자동차기술자협회(SAE, Society of Automotive Engineers)와 국제전기기술위원회(IEC, International Electrotechnical Commission)가 있다. SAE는 미국의 펜실베이니아주에 본사를 둔 세계 자동차 기술자 협회로 1905년에 설립되어 항공우주, 자동차 및 상용차와 같은 산업 분야에 중점을 두고 있는 협회이다. 또한, 산업 분야에 종사하고 있는 기술자들을 위해 평생교육을 제공하고 표준을 제정하는 조직이다. IEC는 스위치 제네바에 본사를 둔 국제기관으로 전기, 전자, 통신, 원자력 등의 분야에서 각국의 규격 및 표준을 조정하는 국제기관이다. 1906년에 설립되어 1947년 이후 전기, 전자 부문을 담당하고 있다. SAE의 J2954 표준과 IEC의 61980-2 표준은 전기자동차 무선전력 전송 시스템의 표준을 다루고 있으며, 송수신코일 간 오정렬 검출 기술에 관한 내용을 내포하고 있다.

3.1.1 SAE J2954

SAE의 J2954 표준은 전기자동차의 플러그인 및 무선전력 전송 및 정렬 방법론을 다루는 표준이다. J2954 표준에서는 전기자동차에 사용되는 무선전력 전송 시스템의 구성도를 제시하며, 이는 그림 5에 도시되었다. 그림 5에 도시된 GA(Ground Assembly)와 VA(Vehicle Assembly)는 각각 지면에 설치된 송신코일 패드, 전기차에 내장된 수신코일 패드를 의미한다. J2954 표준에서는 전기자동차용 무선전력 전송 시스템에 기능으로 전력 전달 기능, 통신 기능, 안정 기능으로 구분되며, 특히 코일 오정렬 검출 기술은 통신 기능과 같이 동작한다. 또한, 통신 기능은 전기자동차와 GA 간 거리가 1m인 지점부터 BCC(Base Communication Controller)와 VCC(Vehicle Communication Controller)가 통신하며 코일 정렬을 위한 정보를 공유한다. 추가로, 코일 오정렬 검출을 위해 표준에서는 LPE(Low Power Excitation) 방식과 LF(Low Frequency) 방식을 제안한다.

J2954 표준에서 제안된 LPE 방식은 전기자동차 무선전력 전송에 사용하는 기존 송수신코일을 활용하는 방법이다. LPE 방식은 오정렬 검출을 위한 별도 회로를 구성하며, 25W 미만의 낮은 전력을 이용해 코일 오정렬 검출을 하는 방식이다. 이때, 수신코일 패드에 25W 이상의 전력 전달은 LPE 방식을 위한 전력 전달이 아닌 무선전력 전송을 위한 전력 전달로 판단한다. 표 2는 LPE 코일 정렬을 위한 동작 조건을 나타낸다. LPE를 이용한 코일 정렬의 동작 조건은 코일 정렬 중과 정렬 후 검증에 따라 달라진다. J2954 표준의 LPE 방식에서는 동작 조건은 명시되어 있으나 실제 동작 방법은 명시되어 있지 않으며, 사용자 설계에 따라 달라질 수 있다.

J2954 표준에서 LPE 방식을 이용한 코일 정렬 프로세스는 코일 정렬, 정렬 검증, 무선전력 전송 요청까지를 포함하며 다음과 같다. VA는 GA에 코일 오정렬 검출을 요청한다. 코일 오정렬 검출을 요청받은 GA의 송신코일 패드는 표 2의 정렬 중 동작 조건 1, 2에 부합하도록 전력 및 자기장을 조절하여 LPE 신호를 전달한다. LPE 신호를 전달받은 VA는 전기자동차 사용자에게 오정렬 검출에 관한 정보를 제공한다.

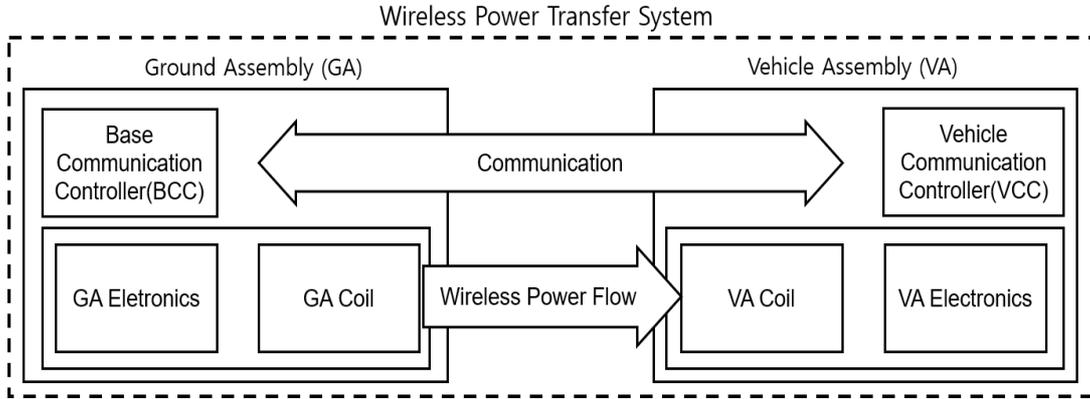


그림 5. SAE J2954 표준에서의 무선전력 전송 시스템
Fig. 5. Wireless power transfer system in SAE J2954 standard

제공된 정보를 바탕으로 전기자동차 사용자는 차량을 주차한다. 주차 완료 후 VA는 GA에 LPE 코일 오정렬 검출을 종료하고 VA는 GA에 LPE 코일 정렬 검증을 요청한다. 정렬 검증을 요청받은 GA의 송신코일 패드는 표 2의 정렬 검증 동작 조건 1, 2에 부합하도록 전력을 조절하고 송수신코일 패드 정렬 검증 확인한다. 정렬 및 정렬 검증이 완료되었다면, VA는 무선전력 전송을 요청하여 무선전력 전송을 실시한다. J2954 표준에서 LPE 방식을 이용한 코일 오정렬 검출은 25W 미만의 전력 사용함으로써, 코일 오정렬 검출에 있어서 범위가 짧은 한계점을 가진다.

표 2. LPE 코일 정렬 동작 조건
Table 2. LPE coil position alignment operating condition

| Steps for an alignment | Operating condition 1 | Operating condition 2 |
|------------------------|--|--|
| Positioning | Less than 10W induced power of receiver coil pad | Mean value of magnetic field : 10~15 μ T |
| Alignment check | Less than 15W induced power of receiver coil pad | Immediately stop (upper than 25W induced power of receiver coil pad) |

J2954 표준에서 제안된 또 다른 코일 오정렬 방식으로는 LF 방식이 있다. LF 방식은 그림 6과 같이 코일 오정렬 검출을 위한 안테나들을 추가하여 코일 오정렬 검출에 사용한다. 또한, 코일 오정렬

검출을 위해 추가된 안테나는 그림 7과 같이 FRA(Ferrite Rod Antenna)를 reference model로 사용하였다. LF 방식을 위한 FRA는 크기, 유전율, 투과성, 구리 와이어 두께, 구리 와이어 회전수를 고려하여 최적화하며, 송수신코일 패드에 추가한다.

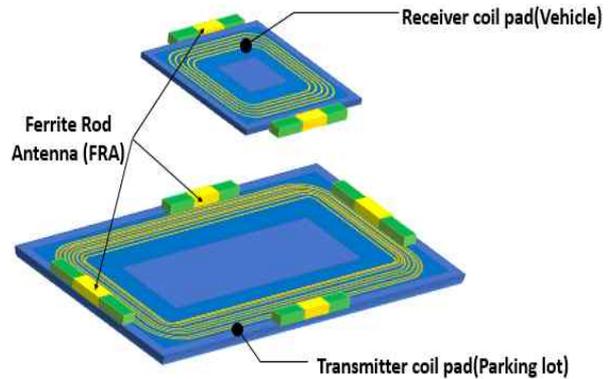


그림 6. 코일 패드에 FRA 장착 예시
Fig. 6. Example of FRA installation on coil pad

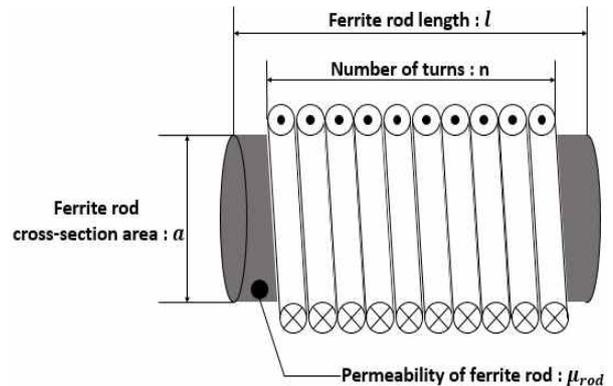


그림 7. Ferrite rod antenna의 구조
Fig. 7. Structure of the ferrite rod antenna

J2954 표준에서 LF 방식은 크게 2가지 방법으로 나뉜다. 첫 번째 방법은 VA 측 패드에 부착된 FRA가 LF 신호를 생성하여 GA 측의 FRA에 전송하는 방법이며, 두 번째 방법은 반대로 GA 측 패드에 부착된 FRA에서 LF 신호를 생성하여 VA 측의 FRA에 전송하는 방법이다. 따라서 첫 번째 방법은 VA 측이 송신단이 되고 GA 측이 수신단이 되는 방법이며, 두 번째 방법은 반대로 GA 측이 송신단, VA 측이 수신단이 되어 오정렬을 검출하는 방법이다.

그림 8은 첫 번째 방법에 대한 예시를 제시하고 있으며, 첫 번째 방법의 코일 정렬 프로세스의 예시는 다음과 같다. VCC는 BCC에 코일 오정렬 검출을 요청한다. 코일 오정렬 검출을 요청받은 BCC는 GA의 FRA가 수신기로서 동작하도록 요청한다. 이후 VA는 코일 정렬을 위한 LF 신호를 GA 코일 패드에 전송한다. 이때, 주파수는 19kHz에서 300kHz 사이의 주파수를 사용한다. GA는 수신된 LF 신호의 값을 BCC와 VCC를 통하여 VA에 전달한다. VA는 전달받은 값을 통하여 GA 코일 패드 위치를 계산하고 전기자동차 사용자에게 오정렬 검출에 관한 정보를 제공한다. 전기자동차 사용자는 제공된 정보를 바탕으로 차량을 주차한다. 주차 완료 후 VCC는 코일 오정렬 검출 종료를 요청한다. BCC는 GA의 FRA가 동작 종료하도록 요청하며, 첫 번째 방법의 코일 정렬 프로세스를 종료한다. J2954 표준에서의 LF 방식은 안테나들을 추가함으로써 코일 검출 범위를 늘릴 수 있는 장점이 있다. 그러나 안테나를 추가하기 위해 공간을 확보해야 하는 제약이 있다.

3.1.2 IEC 61980-2

IEC의 61980-2의 표준은 전기자동차 무선충전 통신 요구사항에 대한 방법론을 다루는 표준이다. 61980-2 표준에서는 EV MF-WPT(Electric Vehicle Magnetic Field - Wireless Power Transfer) 시스템의 구성도를 제시하며, 이는 그림 9에 도시되었다. EV MF-WPT 시스템의 Supply Device와 EV Device는 각각 주차장 지면에 설치된 송신코일 패드와 차량 하부에 장착된 수신코일 패드를 의미한다. 각 Device 장치들 내부에는 통신 컨트롤러들이 내장되어 있으며, 각각 SECC(Supply Equipment Communication Controller)와 EVCC(Electric Vehicle Communication Controller)로 구성된다. 61980-2의 표준에서 코일 오정렬 검출 기술은 전기자동차가 주차장 지면의 Primary Device에 접근하는 동안 지속해서 정렬 정보를 제공한다. 또한, 전기자동차 사용자가 무선전력 전송용 수신 패드와 송신 패드 간 오차를 조절할 수 있도록 지원하는 것이 목적이다. J2954 표준과 같이 61980-2의 표준에서도 코일 오정렬 검출을 위한 기술을 LPE 방식과 LF 방식으로 나누어 제안한다. 61980-2 표준에서 LPE 방식은 기존의 송수신 코일을 사용하며, 15W 이상 25W 미만의 낮은 전력을 사용한다. 이때, LPE의 전력이 25W를 초과하면 즉시 코일 정렬은 중단한다. 또한, 무선전력 전송 시스템 자기장에 대한 요구사항을 기술한 IEC의 61980-3 표준에 따라 안전한 수준의 10~15uT의 자기장을 방출한다.

61980-2 표준에서 LPE 방식의 코일 정렬 프로세스는 코일 정렬, 검증 및 무선전력 전송 요청까지를 포함하며 다음과 같다. EVCC는 SECC에 코일 오정렬 검출을 요청한다. Primary Device는 LPE 신호를 활성화한다. EV Device는 Primary Device로부터 수신된 신호를 기반으로 전기자동차 사용자에게 위치 정보 제공한다. 전기자동차 사용자는 위치정보를 기반으로 차량을 주차한다. 주차 완료 후 EVCC는 SECC에 코일 오정렬 검출 종료를 요청하여 Primary Device의 LPE 신호를 비활성화한다. 이후 EVCC는 SECC에 코일 오정렬 검증을 요청한다.

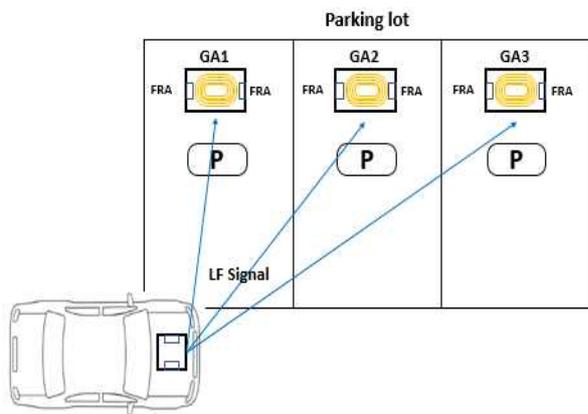


그림 8. LF 방식을 이용한 코일 정렬예시
Fig. 8. Example of coil position alignment using LF

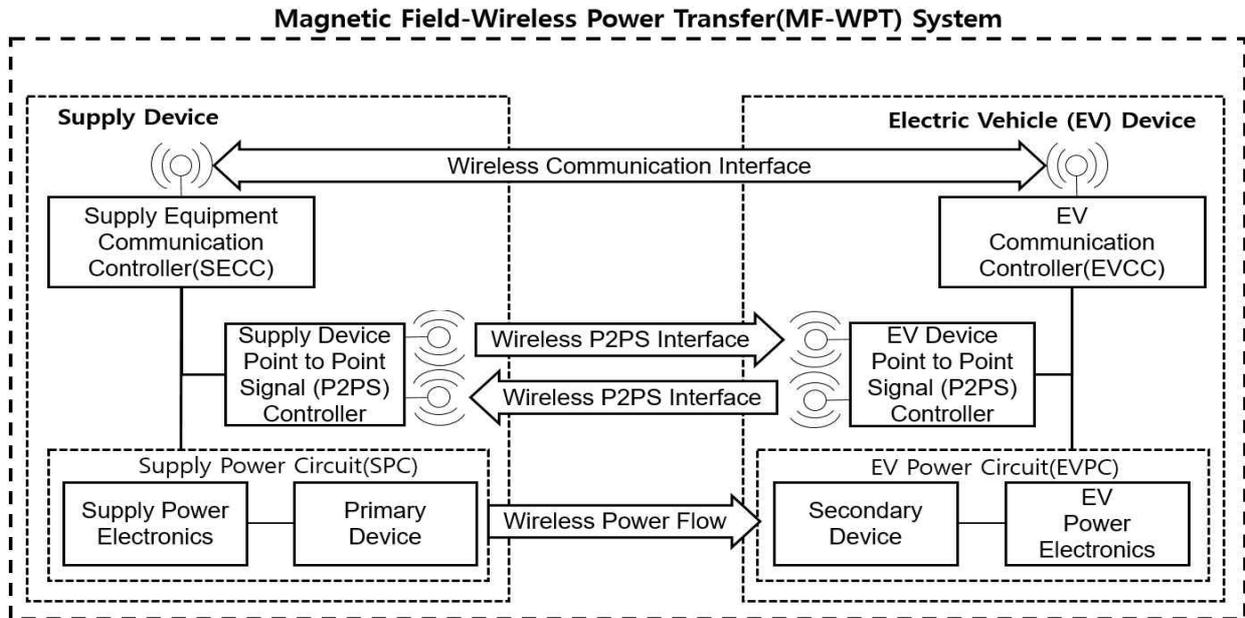


그림 9. IEC 61980-2 표준에서의 MF-WPT 시스템
 Fig. 9. MF-WPT system in IEC 61980-2 standard

Primary Device는 표 2의 정렬 검증 동작 조건 1, 2에 부합하도록 전력을 조절하여 LPE 신호를 활성화한다. EVCC는 검증을 위해 Primary Device로부터 제공받은 LPE 신호 판별한다. 이때 판별 시 오정렬이라고 판단한다면 정밀검증을 위해 LPE 신호를 재요청할 수 있으며, 최대 3회까지 요청한다. 검증결과 Primary Device와 Secondary Device가 정렬되었다면 프로세스를 종료한다. 검증결과 Primary Device와 Secondary Device가 정렬되지 않을 시, 사용자에게 정렬 오류 발생 알림을 전달한다. 61980-2 표준에서 LPE 방식은 J2954 표준의 LPE 방식과 마찬가지로 별도의 회로 추가를 통해 기존의 송수신 코일을 사용한다는 장점이 있으나, 25W 미만의 낮은 전력 사용으로 인해 코일 오정렬 검출 시 짧은 검출 범위를 가지는 제약이 있다.

61980-2 표준에서 제안된 또 다른 코일 오정렬 방식으로는 LF 방식이 있다. LF 방식은 그림 10과 같이 기존의 송수신코일 패드에 안테나들을 추가하여 송수신코일 간 오차를 줄이는 방법이다. 61980-2 표준에서 LF 방식의 코일 정렬은 EVCC에서 SECC로 코일 정렬 요청하여 동작한다. SECC는 코일 정렬 요청을 받을 때 LF 동작 주파수 정보가 포함된 메시지를 EVCC에 전송하여 요청에 응답한다. LF

동작 주파수는 예시로 19kHz~300kHz의 주파수를 사용하도록 61980-2 표준의 부록에 제공하며, 표 3과 같은 주파수 사용을 후보로서 권장하고 있다.

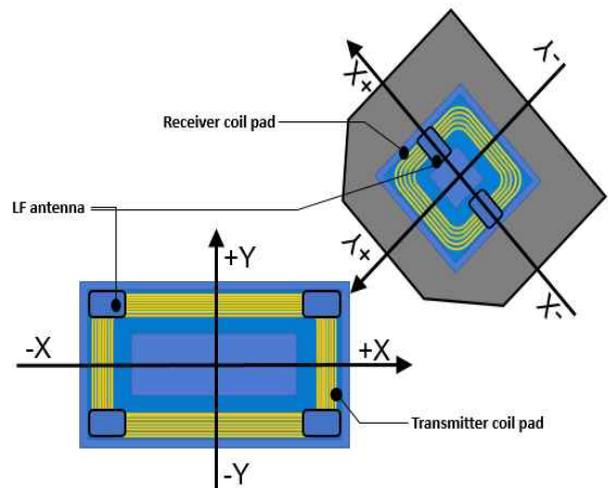


그림 10. 코일 패드에 LF 방식의 안테나 추가 예시
 Fig. 10. Example of LF antenna installation on coil pad

표 3. 61980-2 표준의 LF 신호 권장 주파수
 Table 3. LF signal frequency recommended by 61980-2 standard

| Frequency [kHz] | Recommended value | | | | | |
|-----------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 125 | 134 | 145 | 165 | 185 | 205 |
| | | | | | | |

61980-2 표준에서 LF 방식의 코일 정렬 프로세스의 예시는 다음과 같다. EVCC는 SECC에 코일 오정렬 검출을 요청한다. SECC는 표 3의 LF 동작 주파수 중 하나를 선택하여 주파수 정보를 EVCC에 전송한다. EV Device는 선택된 동작 주파수에 일치하는 LF 신호를 P2PS(Point to Point Signal) Controller를 통해 Primary Device에 전송한다. SECC는 Supply Device 안테나에 수신된 LF 신호의 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 값을 EVCC에 전송한다. EV Device는 RSSI 값을 기반으로 Primary Device의 위치 계산하여 위치정보를 전기자동차 사용자에게 제공하며, 사용자는 제공된 정보를 바탕으로 차량을 주차한다. 주차 완료 후 Primary Device와 Secondary Device가 정렬되었을 시 EVCC는 코일 오정렬 검출 종료를 요청하여 프로세스를 종료한다. 61980-2 표준에서 LF 방식의 코일 오정렬 검출은 안테나 추가를 통해 검출 범위를 늘릴 수 있는 장점이 있지만, 검출 범위, 주파수, 사용 전력 등에 따른 안테나 선정 및 모양 최적화, 안테나 부착 개수, 부착 시 최적화 모양 등의 조건들을 고려해야 하는 제약이 있다.

3.2 코일 오정렬 검출 기술 동향

전기자동차용 무선전력 전송 시스템에서 코일 오정렬을 위한 검출 기술은 기존의 실내외 차량 위치 추적 기술들을 이용하여 코일 오정렬 검출 기술에 맞게 적용한다. 기존의 차량 위치 추적을 위한 실내외 측위 기술들은 크게 통신 기반의 기술과 영상 기반의 기술로 나뉜다. 통신 기반의 기술들은 GPS(Global Positioning System), WLAN(Wireless Local Area Network), UWB(Ultra Wide Band), RFID(Radio Frequency Identification), BLE(Bluetooth Low Energy) 등을 이용해 실내외 측위를 결정하는 기술이며, 영상 기반의 기술은 카메라를 사용하여 사용자에게 측위를 알려주는 기술이다.

표 4는 전기자동차 충전을 위한 코일 오정렬 검출 기술들을 비교한 것이다. 표 4의 [15][16]과 같이 영상 기반의 기술들은 영상 정보 매칭 방법과 마커 인식을 기반으로 하는 방법으로 나뉘며 카메라를

이용한다. 정보 매칭 방법은 카메라로 촬영된 영상을 미리 저장 및 분류하고 현재 촬영되고 있는 영상과 데이터를 비교하여 위치를 추정하는 방법이다. [15]에서는 차량에 부착된 카메라의 이미지 정보뿐만 아니라 주차장의 CCTV와 같은 외부 카메라의 이미 정보를 추가하여 차량 내부 및 외부적인 이미지 정보들을 비교하여 위치를 추정하였다. 마커 인식을 기반으로 하는 방법은 QR(Quick Response) 코드나 패턴 같은 인식 특화 식별 장치를 두어 카메라로 식별하여 위치를 측정하는 방법이다.

[16]에서는 기존의 QR코드 패턴 인식 기술에 EHF(Extended H-infinity Filter)를 이용하여 위치추정의 오류를 줄여 정확한 위치를 추정하여 전기자동차 코일 오정렬 검출 기술에 사용될 가능성을 보였다. 그러나 차량에 부착된 카메라를 이용하여 영상 기반의 기술을 코일 오정렬 검출 기술에 사용할 경우 카메라 사각지대, 환경적 요인, 카메라 단가 등의 제약을 고려할 필요가 있다.

통신 기반의 방식 중 UWB 기술을 이용한 방식은 500MHz의 넓은 대역폭을 가지며, 고해상도로 인하여 높은 수준의 위치 정확도를 가지는 장점이 있다. 표 4의 [17][18]은 TDOA(Time Difference of Arrival) 및 TOA(Time of Arrival)와 같은 시간 기반 방식을 사용하여 위치를 측정하였다. 특히 [12]에서는 TDOA로 측정된 값을 DFP(Davidon Fletcher Powell)로 반복해서 추정하여 위치 추적 오차를 줄이는 방식을 보였다. UWB 기반의 기술이 코일 오정렬 검출에 사용되기 위해서는 높은 단가, UWB 태그 구성, 차량 전자파 적합성 규격 등의 제약을 고려할 필요가 있다.

LPE 방식은 SAE의 J2954 표준 및 IEC 61980-2 표준에서 제안된 것과 같이 25W 미만의 낮은 전력을 이용하며 기존의 송수신코일을 사용하는 방법이다.

송수신코일 간 거리가 10cm 미만의 짧은 거리에서는 오정렬을 검출하여 정밀한 코일 정렬을 할 수 있으나[19], 10cm 이상의 거리에서는 코일 오정렬 검출을 할 수 없는 범위 제약적인 단점이 있다. 범위 제약을 보완하기 위해 [20]과 같이 보조 장치들을 송수신코일 패드들 주변에 추가 부착하여 코일

오정렬 검출하는 연구가 진행되고 있다. LPE 방식이 코일 오정렬 검출 기술에 사용되기 위해서는 범위 제약, 저전력 에너지 변환 회로 설계 등을 고려할 필요가 있다.

LF 방식은 SAE의 J2954 표준 및 IEC 61980-2 표준에서 제안된 것과 같이 기존의 송수신코일 패드에 코일 오정렬 검출을 위한 안테나들을 추가하여 송수신코일 간 오차를 줄이는 방법이다. [21]에서는 코일 오정렬 검출에 사용되기 위한 FRA의 모양, 장착될 안테나 개수, 안테나 위치 등의 최적화를 연구하였고 [22]에서는 코일 오정렬 검출에 사용되기 위한 FRA의 개수, 범위 제약을 고려한 안테나 장착 모양 등을 연구하여 코일 오정렬 검출 기술에 사용될 가능성을 보였다. LF 방식이 코일 오정렬 검출 기술에 사용되기 위해서는 안테나 장착 공간 확보, 자기장의 모양과 방향, 범위 제약 등을 고려할 필요가 있다.

표 4. 전기자동차 충전을 위한 코일 오정렬 검출 기술 비교

Table 4. Comparison of coil misalignment detection technology for electric vehicle charging

| Method | Feature |
|-----------------|--|
| Camera [15][16] | Using image processing and marker recognition |
| UWB [17][18] | 500MHz or higher bandwidth, high location accuracy |
| LPE [19][20] | Coil alignment using transmitter and receiver coil |
| LF [21][22] | Coil alignment using added devices(antennas) attached to transmitter and receiver coil |

IV. 결 론

본 논문에서는 전기자동차의 무선충전 시스템에서 충전 효율을 높이기 위한 송수신코일 간 코일 오정렬 검출 기술의 연구 동향 및 표준에 대해 살펴보았다. J2954, 61908-2 표준에서 논의된 코일 오정렬 검출 기술은 LF, LPE 방식을 사용하여 오정렬을 줄여 정렬 손실을 감소시켰다. 또한, 코일 오정렬 검출 기술은 기존의 실내외 차량 위치 추적 기

술들인 영상 기반의 기술, 통신 기반의 기술들을 이용하여 정렬 손실을 방지하기 위해 다양한 관점에서 연구가 진행되고 있다.

References

- [1] S. Li and C. C. Mi, "Wireless power transfer for electric vehicle applications", IEEE journal of emerging and selected topics in power electronics, Vol. 3, No. 1, pp. 4-17, Mar. 2015. <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2014.2319453>.
- [2] H. H. Wu, A. Gilchrist, K. Sealy, and D. Bronson, "A 90 percent efficient 5kW inductive charger for EVs", 2012 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition(ECCE), Raleigh, NC, USA, pp. 15-20, Sep. 2012. <https://doi.org/10.1109/ECCE.2012.6342812>.
- [3] J. Sallán, J. L. Villa, A. Lionbart, and J. G. Sanz, "Optimal design of ICPT systems applied to electric vehicle battery charge", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 56, No. 6, pp. 2140-2149, Jun. 2009. <https://doi.org/10.1109/TIE.2009.2015359>.
- [4] S. Chopra and P. Bauer, "Analysis and design considerations for a contactless power transfer system", 2011 IEEE 33rd International Tele communications Energy Conference(INTELEC), Amsterdam, Netherlands, pp. 1-6, Oct. 2011. <https://doi.org/10.1109/INTLEC.2011.6099774>.
- [5] U. K. Madawala and D. J. Thrimawithana, "A bidirectional inductive power interface for electric vehicles in V2G systems", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 58, No. 10, pp. 4789-4796, Oct. 2011. <https://doi.org/10.1109/TIE.2011.2114312>.
- [6] H. K. Bai, D. Costinett, L. M. Tolbert, R. Qin, Li. Zhu, Z. Liang, and Y. Huang, "Charging Electric Vehicle Batteries: Wired and Wireless Power Transfer: Exploring EV charging technologies", IEEE Power Electronics Magazine,

- Vol. 9, No. 2, pp. 14-29, Jun. 2022. <https://doi.org/10.1109/MPEL.2022.3173543>.
- [7] Y. R. Kumar, D. Nayak, M. Kumar, and S. Pramanick, "A Solar Powered Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Charging", 2022 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Merced, CA, USA, pp. 1-6, Nov. 2022. <https://doi.org/10.1109/VPPC55846.2022.10003449>.
- [8] E. Aydin, M. T. Aydemir, A. Aksoz, M. E. Baghdadi, and O. Hegazy, "Inductive Power Transfer for Electric Vehicle Charging Applications: A Comprehensive Review", *Energies*, Vol. 15, No. 14, pp. 1-24, Jul. 2022. <https://doi.org/10.3390/en15144962>.
- [9] Y. M. Kim, S. W. Choi, K. W. Lee, J. H. Bang, and B. C. Ahn, "A High-Efficiency Wireless Charger Having the Optimum Tx/Rx Coils", *Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol. 13, No. 5, pp. 11-18, May 2015. <http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2015.13.5.11>.
- [10] M. Pinuela, D. C. Yates, S. Lucyszyn, and P. D. Mitcheson, "Maximizing DC-to-load efficiency for inductive power transfer", *IEEE Transactions on power electronics*, Vol. 28, No. 5, pp. 2437-2447, May 2012. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2012.2215887>.
- [11] T. Y. Eom, C. S. Oh, and S. J. Park, "Wireless power transfer technologies trends", *Journal of Energy Engineering*, Vol. 24, No. 2, pp. 174-178, Jun. 2015. <https://doi.org/10.6113/TKPE.2019.24.2.78>.
- [12] Y. Gao, K. B. Farley, and Z. T. Tse, "A uniform voltage gain control for alignment robustness in wireless EV charging", *Energies*, Vol. 8, No. 8, pp. 8355-8370, Aug. 2015. <https://doi.org/10.3390/en8088355>.
- [13] M. Behnamfar, H. Jafari, and A. Sarwat, "Development of a Mixed Inductive and Capacitive Wireless Power Transfer to Improve Misalignment Performance for Charging Electric Vehicles", 2022 IEEE Transportation Electrification Conference & Expo(ITEC), Anaheim, CA, USA, pp. 600-605, Jun. 2022. <https://doi.org/10.1109/ITEC53557.2022.9814029>.
- [14] S. A. Birrell, D. Wilson, C. P. Yang, G. Dhadyalla, and P. Jennings, "How driver behaviour and parking alignment affects inductive charging systems for electric vehicles", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 58, pp. 721-731, Sep. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.04.011>.
- [15] N. Isozaki, D. Chugo, S. Yokota, and K. Takase, "Camera-based AGV navigation system for indoor environment with occlusion condition", 2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Beijing, China, pp. 778-783, Aug. 2011. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2011.5985760>.
- [16] P. Nazemzadeh, D. Fontanelli, D. Macii, and L. Palopoli, "Indoor localization of mobile robots through QR code detection and dead reckoning data fusion", *IEEE/ASME Transactions On Mechatronics*, Vol. 22, No. 6, pp. 2588-2599, Dec. 2017. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2017.2762598>.
- [17] G. I. Mary and V. Prithiviraj, "Test measurements of improved UWB localization technique for precision automobile parking", 2008 International Conference on Recent Advances in Microwave Theory and Applications, Jaipur, India, pp. 550-553, Nov. 2008. <https://doi.org/10.1109/AMTA.2008.4763224>.
- [18] Y. Zhou, C. L. Law, Y. L. Guan, and F. Chin, "Indoor elliptical localization based on asynchronous UWB range measurement", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 60, No. 1, pp. 248-257, Jan. 2010. <https://doi.org/10.1109/TIM.2010.2049185>.
- [19] H. H. Wu, H. Malek, and M. P. Masquelier, "Determining physical alignment between magnetic couplers for wireless power transfer", U.S. Patent, Sep. 2018.

- [20] Y. Gao, C. Duan, A. A. Oliveira, A. Ginart, K. B. Farley, and Z. T. H. Tse, "3-D coil positioning based on magnetic sensing for wireless EV charging", IEEE Transactions on Transportation Electrification, Vol. 3, No. 3, pp. 578-588, Sep. 2017. <https://doi.org/10.1109/TTE.2017.2696787>.
- [21] J. Y. Seong and S. S. Lee, "A study on precise positioning for an electric vehicle wireless power transfer system using a ferrite antenna", Electronics, Vol. 9, No. 8, pp. 1-27, Aug. 2020. <https://doi.org/10.3390/electronics9081289>.
- [22] J. Y. Seong and S. S. Lee, "Optimization of the Alignment Method for an Electric Vehicle Magnetic Field Wireless Power Transfer System Using a Low-Frequency Ferrite Rod Antenna", Energies, Vol. 12, No. 24, pp. 1-47, Dec. 2019. <https://doi.org/10.3390/en12244689>.

김 동 완 (Dongwan Kim)



2003년 8월 : 고려대학교(공학사)
2006년 2월 : 포항공과대학교
(공학석사)
2015년 2월 : 고려대학교(공학박사)
2017년 3월 ~ 현재 : 동아대학교
전자공학과 부교수
관심분야 : 무선전력전송,

Edge 컴퓨팅, 저전력 임베디드 설계

저자소개

이 태 목 (Taemok Lee)



2019년 2월 : 동아대학교
전자공학과(공학사)
2022년 3월 ~ 현재 : 동아대학교
ICT융합해양스마트시스템공학과
석사과정 재학 중
관심분야 : 무선전력전송,
IoT 기반융합시스템 설계

배 진 석 (Jin-Seok Bae)



1997년 2월 : 동국대학교
전자공학과(공학사)
1999년 2월 : 동국대학교
일반대학원 전자공학과(공학석사)
2019년 3월 ~ 현재 : 동국대학교
일반대학원 신재생에너지공학과
(박사수료)

관심분야 : 무선전력전송, 전기자동차 표준화,
신재생에너지, ESS