

자기유도 방식 기반 전기자전거 무선충전 시스템 연구

오준영¹, 이은수², 박용주¹
 한국전자기술연구원¹, 한양대학교 ERICA²

Wireless Charging System for Electric Bicycle based on Magnetic Induction Method

Junyeong Oh¹, Eunsoo Lee², Yongju Park¹
 Korea Electronics Technology Institute¹, Hanyang University ERICA²

ABSTRACT

본 논문에서는 표준화 기구인 한국정보통신기술협회(TTA)의 스마트전력전송(PG909) 프로젝트 그룹의 정보통신단체표준인 “수백 W급 이동형 모빌리티 무선전력전송 송수신단 기술 규격 - 제 1부: 전기자전거”를 참고하여 개발한 자기유도 방식 기반 전기자전거 무선충전 시스템을 제안하였다. 제안하는 시스템의 송수신단 하드웨어 구조, 운용 시나리오를 기술하였고, 시스템 성능으로 수신부의 부하가 5Ω일 때 205kHz의 동작주파수에서 부하 출력 전력 64W, DC-DC 효율 70%임을 실험을 통해 확인하였다.

1. 서론

가스 배출이 없는 녹색 에너지를 향한 국제적인 변화와 화석 연료 의존도를 최소화하려는 지정학적 추세에 따라 여러 국가에서 2030년까지 운송 전기화를 달성하겠다는 목표를 세웠다^[1]. 그 중 친환경 교통수단인 전기자전거의 수요 증가로 인해 관련 서비스가 활성화되고 있다. 기존의 전기자전거의 접촉식 전도성 충전 혹은 고정 장치에 의한 플러그인형 충전 방식은 고정 장치가 약간 변형되거나 파손된 경우 작동하지 않아 충전 자유도가 낮다. 또한 전도성 부품이나 플러그인 부품의 빈번한 연결, 분리로 마찰로 인해 충전 포트가 물리적으로 손상되어 충전 시스템의 수명이 저하된다^[2]. 자기유도 방식의 무선 충전은 전기자전거의 무선전력 수신부를 무선전력 송신단에 근접하게 배치하는 것만으로 충전하여 플러그를 연결해야 하는 번거로움을 줄여 편리성을 확보할 수 있다. 다양한 전기자전거 유형 간의 확장성과 상호 운용성을 위한 전기자전거 무선충전 시스템 관련 표준화 및 그에 따른 규격화된 시스템으로 시장의 활성화를 촉진하는 것이 필수적이다. 국내에서 전기자전거 표준화 관련하여 공공임대형 전기자전거 무선충전 시스템 개발 및 표준화에 대한 연구가 진행되었지만 서비스에 적용을 위한 사용자 인터페이스를 위한 통신에 대한 연구가 미진하고 무선전력전송 방식이 모호하다.^[3]

본 논문에서는 제정한 국내단체표준을 기반으로 관련 서비스에 적용할 수 있도록 사용자 경험 향상을 고려한 자기유도 방식의 전기자전거 무선충전 시스템을 제안하였다. 제안하는 무선전력 시스템은 외부 기기와 블루투스 통신 후에 송수신단간 NFC(Near Field Communication) 통신을 통해 무선전력 서비스를 제공하며, 수신부 출력전압제어를 위해 송수신부에서는 동작 주파수를 제어한다. 본 논문에서는 표준화 규격을 고려한 최대 65W급 무선전력시스템을 제작하였고 실험을 통해 제안하는 시스템의 전력과 효율 성능을 검증하였다.

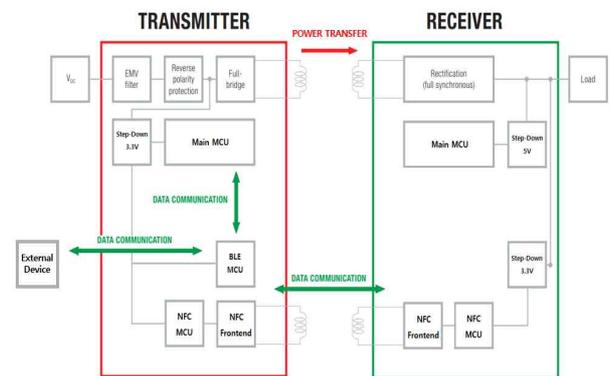


그림 1. 제안하는 전기자전거 무선충전 시스템 블록 다이어그램

2. 제안하는 전기자전거 무선충전 시스템 구조

본 논문에서는 표준화 기구인 한국정보통신기술협회(TTA)의 스마트전력전송(PG909) 프로젝트 그룹에 2023년 정보통신단체표준으로 제정한 “수백 W급 이동형 모빌리티 무선전력전송 송수신단 기술 규격 - 제 1부: 전기자전거”을 기반으로 전기자전거 무선충전 시장의 활성화를 촉진하고자 사용자 경험 향상을 고려한 시스템을 구현하였다^[4]. 그림 1은 제안하는 자기유도 방식 기반 전기자전거 무선충전 시스템의 블록도를 나타내며, 송수신단은 각각 구동부, 제어부, 통신부로 구성되고 송수신단은 전원부를 포함한다^[5]. NFC 통신은 전력 전송을 위한 전원 제어 용도로 사용되어 전기자전거 충전을 위해 전기자전거의 수신단을 전력 송신단에 근접하게 배치 후 NFC 태그 시에 전기자전거가 충전된다. 블루투스 통신은 사용자 인터페이스 용도로 사용되어 스마트폰 등 블루투스 통신이 지원되는 외부 기기와 충전 시스템을 연동하여 사용할 수 있다.

그림 2는 구현한 전기자전거 무선충전 송수신단 운용 시나리오를 나타낸다. 전기자전거에 부착된 수신단을 근접하게 배치 시키면 무선충전 송수신단의 MCU가 시스템 초기화한 후 외부 기기와 블루투스 통신으로 연동하여 사용을 등록한다. NFC 통신이 R/W(Read/Write) 모드로 동작하여 Reader인 NFC 송수신단에 CE(Card Emulator)인 NFC 수신단을 태그하면 무선충전 송수신단은 전력전송을 오토모드로 시작하며, 오토모드는 고정된 동작 주파수로 송수신단이 전력전송하는 것을 의미한다. 충전이 완료되면 송수신부를 이를 판단하여 전력 전송을 종료한다.

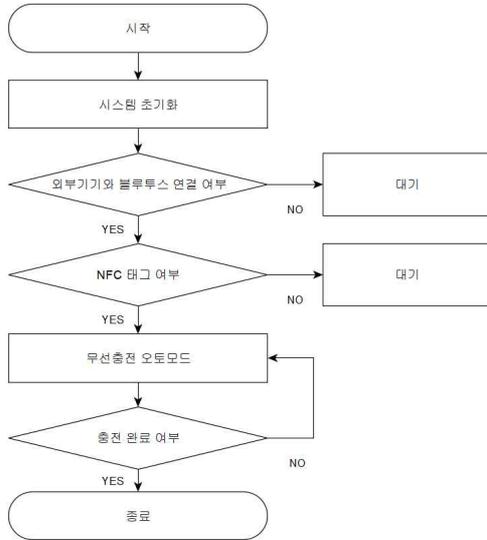


그림 2. 전기자전거 무선충전 송신단 운용 시나리오

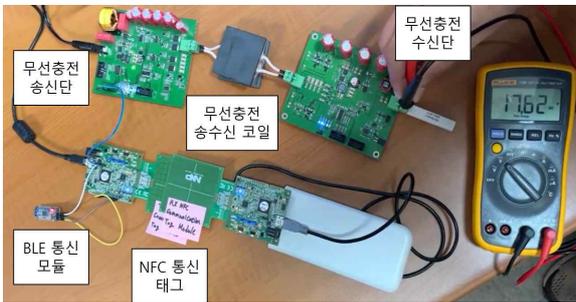


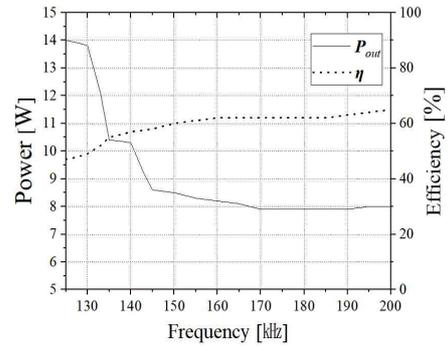
그림 3. 전기자전거 무선충전 시스템 실험환경 및 결과

그림 2에 제시된 무선전력시스템의 블루투스 통신으로 스마트폰 등의 외부 기기 혹은 애플리케이션과 연동되는 등 사용자 경험을 향상시킬 수 있다. 자전거 도난 등 보안 측면에서 안전성을 강화하거나 외부 기기로 원격으로 충전을 모니터링하는 기능으로 확대 가능하여 애플리케이션을 활용한 전기자전거 공유 서비스 및 플랫폼에 적용하여 각 전기자전거의 배터리 가용량을 확인하는 용도로 사용될 수 있다.

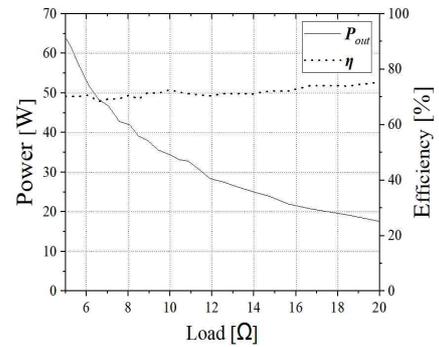
3. 실험 검증

그림 3은 수신부의 부하가 220Ω인 경우, 205 kHz의 동작주파수에서 송수신 코일의 이격거리를 4mm로 조절하고 정렬을 맞춘 상태로 NFC 송수신 보드를 태그하여 무선충전 송신단에서 수신단으로 전력을 전송하는 상태를 나타내었다. 이 경우, 무선충전 송신단에서 수신단으로 전력을 전송하여 수신단 부하의 전압이 17.62V임을 나타낸다.

그림 4는 조건부 변화에 따른 출력 전력과 DC-DC 효율 측정 결과로 P_{out} 은 수신부의 출력 전력이고 η 은 시스템의 DC-DC 변환 효율이다. 그림 4(a)는 주파수 제어 방식으로 구동되는 시스템의 부하를 220Ω으로 설정하고 동작주파수 f 를 125kHz에서 205kHz로 가변함에 따른 출력 전력과 DC-DC 효율을 측정된 결과로서 동작 주파수 제어를 통해 출력전력을 제어할 수 있음을 알 수 있다. 그림 4(b)는 동작주파수를 205kHz로 설정하여 부하 저항의 크기를 가변함에 따라 출력 전력과 DC-DC 효율을 측정된 결과로 부하가 5Ω일 때 출력 전력 64W, DC-DC 효율 70%로 확인되었다.



(a) Output power and efficiency by switching frequency



(b) Output power and efficiency by Load

그림 4. 제안하는 WPT 출력 전력 및 DC-DC 효율 실험 결과

4. 결론

본 연구에서는 무선통신 기반 자기유도 전기자전거 무선충전시스템을 제안하였다. 제안하는 시스템의 조건부 변화에 따른 출력 전력과 DC-DC 효율 성능을 검증하였으며, 그 결과 4mm에서 64W 전송시 70%의 효율을 달성하였음을 확인하였다. 본 시스템은 차후 BLE & NFC 통신을 활용하므로 전기자전거 사용자에게 유저 친화적 인터페이스를 제공할 수 있다.

본 연구는 2024 과학기술정보통신부의 재원으로 정보통신기획평가원(IITP) 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2024-00397612, 자율행동체 글로벌 기술 주도권 선점과 생태계 확산을 위한 자율행동체 접촉-무선 충전 인터페이스 국내외 표준 개발)

참고 문헌

- [1] A. Annaswamy, "IEEE Vision for Smart Grid Control: 2030 and Beyond Roadmap", IEEE Vision for Smart Grid Control: 2030 and Beyond Roadmap, pp.1-12, 24 Oct. 2013.
- [2] Eun S. Lee, "Frequency Modulation based IPT with Magnetic Communication for EV Wireless Charging", IEEE Trans. Ind. Electron., pp.1398-1408, 15 March. 2022.
- [3] 윤우열, "공공입대형 전기자전거 무선충전 시스템 개발과 표준화", 한국통신학회 하계종합학술발표회, pp.1473-1474, 20 June, 2018.
- [4] 오준영, "전기자전거 무선충전 시스템 기술 규격 표준화 연구", 한국통신학회 동계종합학술발표회, pp.783-784, 9 Feb. 2023.
- [5] 박용주, "수백 W급 이동형 모빌리티 무선전력전송 송수신단 기술 규격 - 제 1부: 전기자전거", 한국정보통신기술협회, pp.3-14, 7 Feb, 2022.