

정책과 기술 02

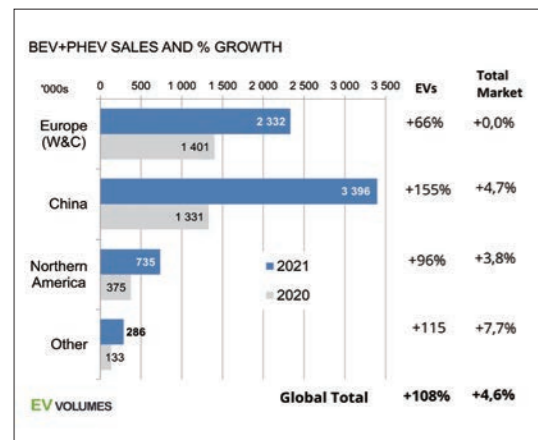
EV 무선충전도로 설치 및 유지관리 기술 동향

강규병 | Purdue University 건설관리학과 교수
 서성철 | 충북대학교 건설관리 및 시스템 박사과정
 오다현 | 충북대학교 건설관리 및 시스템 석사과정

1. 서론

2021년 전 세계 전기차(EV, Electric vehicle) 판매량은 <그림1>과 같이 2020년 대비 108% 증가했다. 또한, 한국자동차연구원에 따르면 국내 전기차 시장은 2021년 3분기까지 7만 1,006대가 판매되었으며, 중국, 미국, 독일, 영국, 프랑스, 노르웨이 에 이어 세계 7위 판매량을 기록했다.

<그림 1> 2020년 대비 2021년 전기차 판매량¹⁾

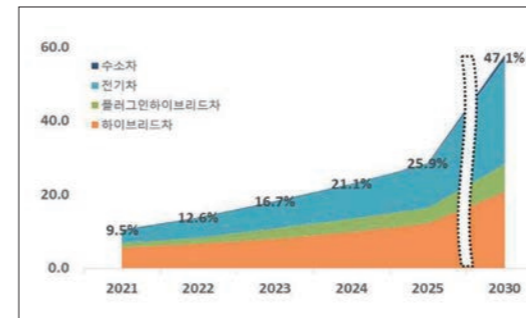


1) Roland Irle, Global EV Sales for 2021, EV-volumes.

전 세계 전기차 점유율은 <그림2>와 같이 2030년까지 약 28.5%까지의 점유율 증가를 예측하고 있다. 이러한 전기차 판매량 증가와 2030년까지의 점유율 증가 추이는 전 세계 전기차에 대한 판매 및 수요가 꾸준히 증가함을 의미하며, 전기차 배터리 충전 기술 발전 및 연구가 지속되도록 만들고 있다.

전기차 판매량이 증가함에 따라 자연스럽게 전기차 충전 시설에 대한 소비자 요구 역시 증가하고 있다. 이러한 충전소 확대 요구에 따라 국내에서는 2025년까지 급속충전기 1만 2,000기, 완속충전기 50만기 추가 설치 계획을 추진하고 있다. 그러나 전기차 배터리 특성상 충전시간은 최소 10분에서 최대 30분 이상까지 필요하다는 문제는 아직 해결되고 있지 않다.

<그림 2> 2030년 전기차 종류별 점유율 예측치²⁾



실제 이러한 문제는 <그림3>에서 확인 가능하다. 딜로이트 글로벌 자동차 소비자 연구결과에서는 주요 전기차 시장 소비자들을 대상으로 배터리를 동력으로 사용하는 전기차를 구매할 때 가장 크게 우려하는 부분을 조사했다. 그 결과 한정적 주행거리, 충전소 부족, 높은 가격, 내연기관 대비 긴 충전시간으로 나타났다. 이러한 소비자 우려와 배터리 기술의 한계점을 극복하고자 집중적 관심을 받고 있는 기술은 전기차 무선충전기술 및 무선충전도로이다.

무선충전도로는 전기차 운행 시 지속적으로 배터리 충전이 가능하기 때문에 운전자가 충전소에서 전기를 충전할 필요가 없다. 이러한 무선충전도로의 기능은 현재 전기차가 갖고 있는 가장 큰 문제점인 한정적 주행거리, 부족한 충전소, 내연기관 차량 대비 긴 충전시간에 대한 해결책이다. 또한, 지속적인 전기차 충전으로 배터리 용량이 작은 전기차의 보급화가 가능하다. 이러한 이유로 전기차가 가격의 안정화로 소비자들의 전기차 접근성이 확대될 수 있다.

2) 제 4차 친환경자동차 기본계획, 관계부처 합동, 프로그레스&설리번(2019), SNE Research(2020), Automotive From Ultima Media(2020) 등 3개 기관 차종별 전망치 종합(30년은 2개 기관 종합)

3) Deloitte Consulting, 2020 글로벌 자동차 소비자 연구

배터리 충전시간에 대한 문제점 해결 방법으로 전기차 배터리 교체 기술이 거론되었지만, 배터리 교체 기술은 안전 및 배터리 소유권에 대한 문제로 인해 배터리 교체 기술보다 전기차 무선충전도로 기술이 더욱 큰 관심을 받고 있다. 최근 대기업들은 전기차 전환에 적극적으로 나서면서 무선충전을 상용화하기 위한 특허 및 연구개발을 활발히 진행하고 있다. 지난 10년간 우리나라에서의 차량 무선충전 관련 특허출원 건수는 총 299건으로 송수신 패드, 이물질 감지, 자기차폐 저감 기술, 충전 과금 시스템이 주요 내용이다. 이렇듯 전기차 배터리의 한계를 해결하는 방안으로 무선충전도로 연구 및 투자에 대한 관심이 높아졌고, 지난 수년간 학계 및 벤처기업들을 중심으로 전기차 무선충전 기술 및 무선충전도로에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있다.

<그림 3> 전기차구매 시 가장 큰 우려 원인³⁾

배터리만을 동력으로 사용하는 전기차 구매의 가장 큰 우려 원인은 무엇인가?	2020 글로벌 자동차 소비자 연구					
	프랑스	독일	이탈리아	영국	중국	미국
주행거리	28%	33%	27%	22%	22%	25%
가격	22%	15%	13%	16%	12%	18%
충전시간	15%	14%	16%	16%	15%	14%
충전소 부족	22%	25%	32%	33%	20%	29%
배터리 기술 관련 안전 문제	11%	10%	10%	12%	31%	13%
기타	2%	3%	2%	1%	0%	1%
합계	100	100	100	100	100	100
모집단 수	1,266	3,002	1,274	1,264	3,019	3,006

2. 무선충전도로 현황

무선충전도로는 크게 두 가지 형태로 구분된다. 첫 번째는 단거리 무선충전도로이다. 차량이 주기적으로 정차하는 지점 및 주차공간을 중심으로 전기 충전 송신체를 설치 및 매립하여 전기차의 전력 송수신을 가능하도록 하는 형태이다. 송신체의 매립 시공 길이가 상대적으로 짧으며 차량의 신호대기 지점 및 버스 정류장 등을 대상으로 설치한다. 두 번째는 장거리 무선충전도로이다. 전기차 주행 중 전력 송수신이 가능하도록 하는 형태로 송신체의 매립 시공 길이가 상대적으로 길고 차량 주행과 배터리 충전을 동시에 하는 형태이다.

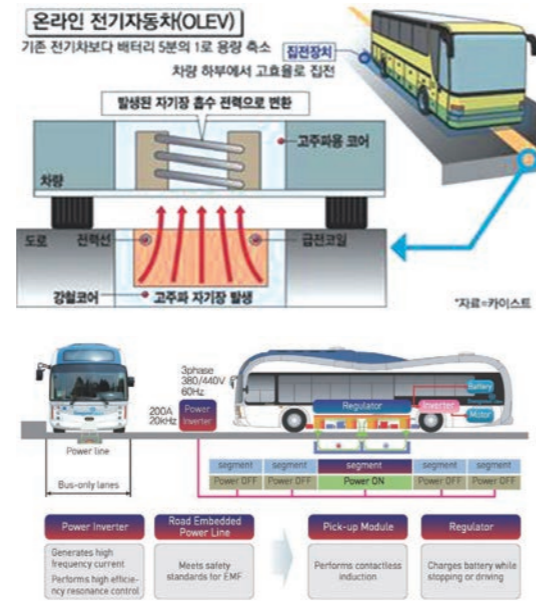
2.1 국내 무선충전도로 기술 현황

국내에서는 현재 단거리 무선충전도로 현황만 있으며, 국내 무선충전도로 기술은 KAIST에서 2007년에 개발을 완료하였다. 해당 기술은 버스 정류장과 버스 주차장으로 한정적인 적용이 가능한 기술이다. 최근 OLEV(On-Line Electric Vehicle) 버스가 대전에서 2021년 8월 23일부터 개통하였다. OLEV 버스는 2년간의 시범운행 기간을 거쳐 기술적 문제점과 시민 편의성 등을 검증하는 단계를 진행 중이다.

OLEV 버스는 1시간에 150kW 충전이 가능하며, 150kW로 150km를 주행할 수 있다. 무선충전 스테이션은 버스 정류장 및 버스 주차장에 설치되어 있으며, 버스가 정류장 진입 전후, 승객 승하차를 위한 정차 시 무선충전이 가능하다. 대전 OLEV 버스에서 사용하고 있는 무선충전도로 기술은 <그

림4>와 같이 기존 도로에 급전 케이블 매립한다. 매립된 급전 케이블은 고주파 자기장을 발생시키고, 버스 내 고주파 수신체는 수신 받은 고주파를 통해 전력을 발생 및 공급한다.

<그림 4> 대전 OLEV 버스 및 무선충전도로⁴⁾



2.2 국외 무선충전도로 기술 현황

2.2.1 미국 무선충전도로 기술 현황

미국 Qualcomm社は 퀄컴 헤일로(Qualcomm Halo)라는 전기차 전용 무선충전 시스템 개발을 진행하고 있다. Qualcomm社は 2015년 처음 자기공진방식의 무선충전 기술로 6.6kW의 전기자동차 무선충전 기술을 발표했다. 현재 주차 시 고정 무선충전방식, 신호대기 등 특정 구간에 정차 시 충전이 가능한 세미-다이내믹 충전방식, 지속적인 주행을 하면서 충전이 가능한 다이내믹 충전

방식 등 3가지 옵션으로 개발되고 있다.

그 중 DEVC(Dynamic Electric Vehicle Charging) 기술은 전력 송신체가 도로에 매립되는 형태로, 전력 수신체인 차량이 100 km/h 이상의 시속에서도 20kW급의 무선충전이 가능한 기술이다. 비슷한 속도의 차량 2대가 달리는 상황과 차량이 갑작스럽게 후진을 하는 상황에서도 무선 충전을 제공한다. 미국 내에서는 Qualcomm社가 가장 많은 기술적 선도를 보이고 있으나, 무선충전도로 상용화는 전무한 상태이다.

<그림 5> Qualcomm Halo 테스트 현장 사진⁵⁾



2.2.2. 이스라엘 무선충전도로 기술 현황

무선충전도로와 관련하여 가장 많은 기술과 사례를 갖고 있는 국가는 이스라엘이며, 이스라엘 ElectReon社가 시장을 이끌고 있다. <그림6>에서 볼 수 있듯이 실제 상용화에 성공했으며, 이스라엘

텔아비브대학 철도역에서 클라츠킨 터미널까지 약 2km 구간 공사를 시공 완료했다. 그중 실제 충전 가능 구간은 약 600m이다. 시범운영 2개월을 문제 없이 진행했으며 현재 정기적으로 운행하고 있다. 또한, 이탈리아에서도 밀라노와 브레시아 간 고속도로 1km 구간에서도 무선충전도로 실험을 진행하고 있으며, 스웨덴의 스톡홀름 알란다 공항과 물류 현장 사이 1.9km 구간의 경로에서 무선충전도로를 개통했다.

<그림 6> 무선충전도로 실제 시공 사례⁶⁾



4) 카이스트 무선 전력 전송 연구센터

5) Qualcomm社, <https://www.qualcomm.com/news/onq/2017/05/wireless-dynamic-ev-charging-evolution-qualcomm-halo>

6) ElectReon社, <https://electreon.com/projects/gotland>

ElectReon社は 도로 아래 구리 송전 코일을 설치하는 방식으로 시공했으며, 무선충전도로 1km 시공 공기는 총 하루의 시간이 소요된다고 발표했다. 충전량 또한 최대 60km/h 속도로 200m를 주행했을 때, 평균 70kw의 충전 속도 결과를 얻었다. 눈과 비가 오는 날씨 환경에서도 간섭이 없었으며 효율적으로 전기차 무선충전이 가능하다는 것을 확인했다. 또한, 동시에 화물차 5대가 주행하는 상황에서도 무리 없이 무선충전 기술을 이용한 전력 송수신이 가능함을 확인했다. ElectReon社は 지속적으로 시공 사례를 추진하는 계획을 발표했으며, 추후 2023년 미국 디트로이트에 1.6km의 전기차용 무선충전도로 시공을 계획하고 있으며, 독일 무선충전도로 설치를 위한 인허가 행정절차를 진행하고 있다.

3. 무선충전도로 유지관리 현황

무선충전도로 유지관리 연구는 시작단계로 아직까지 많은 연구가 진행되지 않았다. 무선충전도로는 신기술을 사용하는 기술이 아닌 기존 무선충전기술을 활용한 기술로, 무선충전도로에서 전기차 배터리 충전 효율성과 안전성을 검증하는 단계의 무선충전도로 사용 가능성 중심의 연구가 주를 이루고 있다. 또한 이러한 사용 가능성 증대를 위한 시공성 연구가 활발하게 진행되고 있다.

기본적으로 사회기반시설물은 20년 이상의 생애주기를 가지고 있어서 유지관리 측면에서 연구를 진행할 경우 LCA(Life Cycle Assessment)의 방법을 주로 사용하고 있다. 무선충전도로의 유지관리는 기존 도로와 비교했을 때 충전시설(급전인프라)

에 대한 유지보수를 위해 추가 금액이 발생한다. 주요 사회기반시설물 대상 중 하나인 무선충전도로 유지관리에 대한 연구를 진행할 때 기존 도로의 유지관리 분석과 비슷하게 LCA 방법이 주로 이용되고 있다. 이러한 이유로 유럽에 있는 연구자들을 중심으로 무선충전도로의 시공 및 유지관리 시 환경적 영향에 대한 LCA 연구가 진행 중이다. 무선충전도로의 시공 후 유지보수 기간 동안의 지속가능성(sustainability)에 대한 분석 연구에서는 지속가능성을 분석하는 카테고리 중 환경적 영향을 중점적으로 CO2 배출량의 변화에 미치는 정도를 정량적으로 분석하였다. 본 연구에 따르면 무선충전도로의 유지관리는 생애주기 동안 같은 길이의 기존 도로 시공 및 유지관리에 비해 약 180% 높은 CO2 배출량을 보였다. 충전방식에 따른 자기공진 및 자기공진 방식이 Copper, Steel과 같은 재료의 유지보수로 인해 CO2 발생량이 더욱 큰 것으로 나타났다.

이와 같이 LCA 환경적 측면에서의 무선충전도로 CO2 발생량이 기존도로 대비 높은 수치를 보이고 있다. 이는 당연한 결과로 기존 도로 대비 더 많은 시공 시 공정과 자재가 필요하기 때문이다. 그렇기 때문에 무선충전도로 상용화로 발생하는 전체적인 환경적 관점 측면의 연구가 필요하다.

4. 무선충전도로 상용화 도전과제

전기차 무선충전도로는 아직 해결해야 하는 도전과제들이 많다. 대표적으로 시공성과 효율성 측면이다. 무선충전기술 특성상 기존도로의 전력 송신체를 매립하기 위해서는 정밀한 시공계획이 필요

하며, 정밀한 시공은 무선충전도로 전기차 충전 효율과 직결되는 부분이다.

무선충전도로 기술에서 가장 큰 이슈는 효율성이다. 제한된 실험상황에서는 높은 전력 송수신 효율성을 확인 가능한 것과 다르게 실제 현장에서는 실험값 보다 낮은 효율성과 안정성을 보이기 때문이다. 이러한 문제점은 무선충전도로에서 시공성을 확보하기 위해서 가장 먼저 개선이 필요한 부분이다. 그러기 위해서는 초기 연구단계에서 실증연구에 중점을 둔 연구추진전략이 필요하다. 무선충전도로 시공은 도로 하부의 전력 송신체를 매립하여 시공하기 때문에 기존도로를 이용할 수 있다. 하지만 무선충전도로는 고전력 급전 인프라가 필수적으로 필요하기 때문에 수십km 이상의 무선충전도로를 상용화하기 위해서는 고전력 송신방법에 대한 문제점도 해결해야 한다.

또한, 무선충전도로 유지관리를 위한 도전과제는 초기 아스팔트 및 콘크리트 균열에 따른 전력 송신체(급전 케이블 및 코일) 손상이다. 전력 송신체 손상은 무선충전도로 품질과 직결되는 문제로 전력 송신체를 균열로부터 보호하는 연구가 필요하다. 그리고 무선충전도로 전력 송신체로 급전을 송신하기 위해서는 무선충전도로 주변 급전 인프라 설치가 필요하다. 급전 인프라의 경우 고전력을 사용하기 때문에 정기적인 유지관리 및 사고 상황 발생 시 대처를 위한 가이드라인 제시 연구가 필요하다.

무선충전도로 안전성과 유지관리를 위한 측면에서는 무선충전도로 위 금속물체 발생 시 관리방안이 필요하다. 금속물체는 전력 송수신을 위한 자기장

을 교란시켜 무선충전 안전성과 효율성 저하 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 자동차 차폐 기능 조건 및 금속물체를 제거하기 위한 유지관리 방안이 필요하다.

5. 맺음말

무선충전도로의 최종목표는 전기차 사용을 위한 충전단계 불필요다. 무선충전도로의 상용화는 전기차 운전자들에게 전기차를 충전해야 한다는 압박감에서 해방시켜 줄 것이다. 이러한 해방감은 전기차 수요를 더욱 증대시키고 소비자는 전기차를 구매하지 않을 이유가 없어진다.

하지만 무선충전도로는 많은 도전과제가 존재하며, 한 명의 연구자 또는 하나의 기업에서 해결할 수 있는 과제들이 아니다. 특히 무선충전도로를 사용하는 전기차의 전력 수신체를 표준화 및 규격화해야 하며, 무선충전도로 충전 전력 효율 극대화를 위한 상황과 조건별 시공계획을 수립해야 한다. 이러한 일련의 과정들은 정부 주도 하에 정책적으로 의논이 필요한 문제이다. 향후 도로산업 IT분야에서 새로운 사업의 한 부분으로 발전하길 기대하면서 글을 마친다. 🇰🇷