

새 기술 새 정보

무선 전력전송 기술의 응용

조정구
(그린파워 대표)

최근 IT 기술의 발달로 인한 전자기기 사용의 증가와 전기 자동차의 상용화로 에너지 저장 기술 및 저장의 편리성에 대한 요구가 증가하게 되었다. 이에 안전하고 편리한 에너지 충전 방법을 제공하는 무선 전력전송 기술의 상용화에 관심이 집중되고 있다.

본 기고문에서는 최근의 다양한 무선 전력전송 기술 및 응용에 대하여 소개한다. 특히 자기 유도현상을 이용한 무선 전력전송 기술을 개괄하고, 자기공진 방식으로 전력을 전송하는 무선 전력전송 기술의 분류, 원리, 및 적용 사례에 대하여 소개한다.

1. 서론

무선 전력전송(Wireless Power Transfer, 이하 WPT라고 함) 기술은 선이 없이 전력을 원하는 곳으로 전송하는 기술을 말한다. 19세기말에 전력 전송분야에서 라인 전송의 대안으로 제안되었다. Tesla는 1898년에 무선전력전송이 가능함을 실험으로 증명하였지만 상용화는 되지 못하였다.

이후 WPT 기술에 대한 연구가 진행되어 왔지만 전동칫솔을 제외하면 최근까지 거의 상용화가 되지 못하다가 2000대에 와서 공장 자동화 설비용으로 상용화되기 시작하였다. 2006년에 MIT에서 자기공진을 이용한 근거리 WPT 기술을 발표하면서부터 최대의 관심사가 되었으며 전 세계적으로 활발한 연구개발이 진행이 되고 있다.^[4]

IT기술의 발달로 최근 사용량이 증가한 배터리의 급격한 소모 문제는 해결해야 될 큰 이슈로 대두되고 있다. 무선충전 기술이 보급될 경우 그 편리성 때문에 자주 또는 상시 충전이 가능하므로 배터리 소모에 관한 문제를 해결할 수 있으며, 전기 자동차의 상용화와 더불어 안전하고 편리하게 충전을 할 수 있는 방법을 제공함으로써 전기 자동차의 보급을 확산 할

수 있을 것으로 전망된다. 또한, 전기 철도에서 가선을 제거함으로써 도시미관을 개선하고 지하터널의 높이를 줄여줘 터널 공사비를 획기적으로 줄일 수 있을 뿐만 아니라 기존의 접촉식에서 발생하던 유지 보수, 안전 등의 문제를 해결하는 기술이 되리라 본다.^[1,2]

WPT 기술은 크게 자기유도를 이용한 방식, 전자기유도를 이용한 방식으로 나뉘며, 에너지 변환 효율이 낮은 자기유도 방식보다는 변환 효율이 획기적으로 증가된 자기공진 유도 방식에 대한 연구가 최근에 많은 분야에서 진행되고 있다.

보 기고에서는 WPT 기술의 분류 및 원리와 WPT 기술의 응용, 및 국내외 기술의 현황에 대하여 정리하였다.

2. 무선 전력전송 기술의 분류 및 원리

2.1 무선 전력전송 기술의 분류

WPT 기술은 그림 1과 같이 전송 거리관점에서 구분하여 근거리 WPT 기술과 원거리 WPT 기술로 나눌 수 있다.

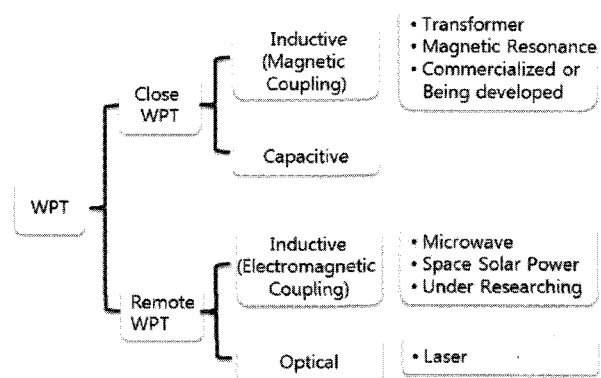


그림 1 무선 전력전송 기술의 분류

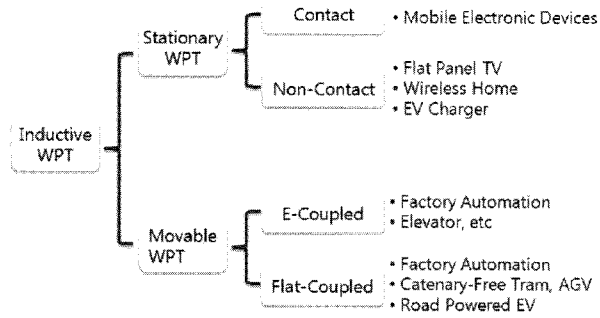


그림 2 자기 유도 무선 전력전송의 분류

근거리 WPT 기술은 다시 자계결합(magnetic coupling)을 이용한 자기유도(inductive) 방식과 전계결합을 이용한 Capacitive 방식으로 나눌 수 있다.

원거리 WPT 기술은 마이크로웨이브로 대변되는 전자기 유도(electromagnetic coupling)에 의한 전력전송방식과 레이저 등의 광학방식으로 나눌 수 있다.

마이크로웨이브에 의한 원거리 WPT 기술은 우주 태양광 발전 등의 분야에서 오래 전부터 연구가 되어 왔지만 엄청난 양의 구조물을 우주로 쏘아 올리는 문제와 강력한 전자파가 미치는 문제를 해결하지 못해서 상용화 되지 못하고 있으며 상용화에 수십년 이상이 걸릴 것으로 예상하고 있다. 레이저를 이용한 광학식 WPT 기술은 현재도 상용화 되어 있지만 용량과 cost의 한계로 그 응용분야가 극히 제한되어 있다.

근거리 WPT 기술에서 캐패시티브 WPT 기술은 거의 사용이 되지 않고 있으며 자기 유도 방식의 WPT 기술이 대부분이라고 할 수 있다.

자기유도 방식의 WPT 기술은 다시 고정식(stationary)과 이동이 가능한 이동식(movable)으로 구분할 수 있으며 고정식 WPT는 다시 접촉식과 비접촉식으로 나눌 수 있으며 접촉식의 대표적인 예는 휴대폰 충전기이고 비접촉식의 대표적인 예는 무선 TV, 무선 홈(wireless home), 전기 자동차 무선 충전기 등이다.

이동식 WPT 기술은 1차 권선 (Track)이 돌출되어 있고 2차 권선 (픽업)이 E-type의 코어에 감겨져서 1차권선이 E-type 코어 내부로 지나가는 형태의 구조(이하 E-Coupled라고 함)를 가지는 기술이 1차 권선과 2차 권선이 완전히 분리되어 자계결합을 이루는 방식(이하 Flat Coupled라고 함)으로 나누어지며 E-Coupled WPT의 대표적인 예는 주로 공장 자동화기기, 엘리베이터 등이고, Flat-Coupled WPT의 예는 주로 AGV(Automatic Guided Vehicle), 무가선 트램, 온라인 전기 자동차 등이다.

2.2 자기유도 무선 전력전송 기술의 원리

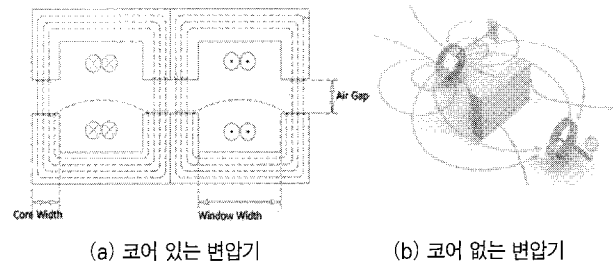


그림 3 자기유도 전력전송의 원리

자기유도 방식은 그림 3(a)와 같이 일종의 변압기로서 변압기 코어에 공극(air gap)을 둔 것으로 보면 쉽게 이해가 된다. 공극이 아주 작을 때는 일반 변압기와 특성의 차이가 별로 없겠지만 공극이 커지면서 결합도(coupling 계수)가 점점 떨어지고 누설 인덕턴스(leakage inductance)는 증가하게 된다. 누설 인덕턴스가 많이 커지면 전력전달 효율이 많이 떨어지는 문제가 발생한다. 그림 3(b)와 같이 변압기의 코어가 아예 없는 경우도 있는데 1/2차측 권선이 멀어지게 되면 전력 전달 효율이 훨씬 더 떨어지게 된다. 누설 인덕턴스가 큰 경우에 전력전달 효율은 50%를 넘기기가 어렵다. 누설 인덕턴스 문제를 해결하기 위해서 변압기의 1/2차측에 공진회로를 구성함으로써 누설 인덕턴스를 상쇄하여 전력전달 효율을 높이는 기술 (자기공진 또는 자기공명이라고 함)이 개발되어 WPT의 전력전달 효율이 상당히 높아졌다. 경우에 따라서는 90% 이상의 효율도 가능하게 되었다.⁽³⁾

전력전송 거리관점에서 보면 일반 방식이 수mm 정도의 전송거리를 가졌다면 공진방식은 수m 까지도 전송이 가능하게 되었다.

2007년 MIT의 Soljacic 교수는 기존의 자기유도방식에서 코일 간의 자기공진 유도 방식을 적용하여 기존의 자기유도 방식에 비해 높은 전력 변환 효율의 장치를 제안하였다.⁽⁴⁾ 이후 자기공진 유도방식은 다양한 분야와 전자기기의 무선 전력 전송 분야에서 연구 및 개발이 진행되고 있다.

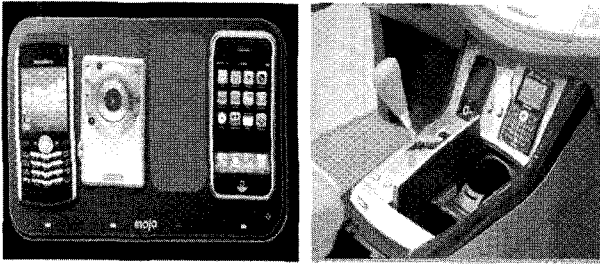
3. 무선 전력 전송 기술의 응용

최근에 WPT 방식의 제품들이 우리 생활 주변에 확대 되고 있으며 향후 그 추세는 IT 기술과 전기 자동차 기술의 발달과 함께 급속히 증대 되리라 본다. 현재 우리 주변에 WPT 기술이 적용된 제품 및 분야에 대하여 정리하였다.

3.1 Stationary WPT 분야

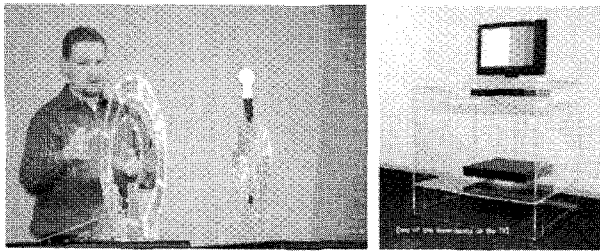
3.1.1 Contact WPT 분야

Contact WPT 분야의 대표적인 예는 휴대형 전자기기용 충전기로서 2008년부터 제품이 나왔고 2010년 7월 무선전



(a) 일반용 (b)차량용

그림 4 휴대폰 무선 충전기



(a) Intel (b) Sony

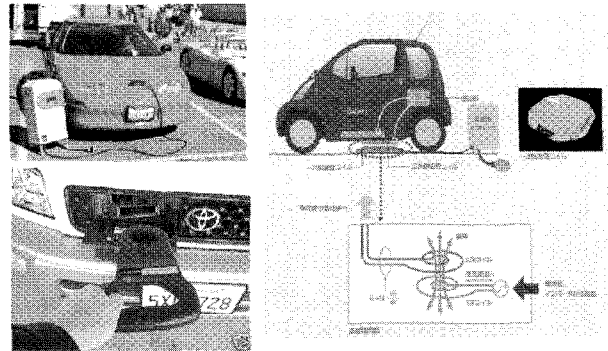
그림 5 근거리 WPT 기술의 예

력 컨소시엄(Wireless Power Consortium)에 의해서 국제 표준(5W 이하)이 만들어 진 이후에 본격적으로 많은 제품이 시장에 나올 것으로 예상된다. 그림 4(b)와 같이 차량용 충전기도 개발이 진행 중에 있으며 고급 자동차를 중심으로 출시가 잇따를 전망이다. 대표적인 제품은 Powermat, Qualcomm eZone, Fulton e-Coupled, Parm TouchStone, Mojo Mobility MojoPad, Convinent Power 등이 있으며 국내 제품은 Hanlim, WisePower, LS전선 등이 있다.

3.1.2 Non-Contact WPT 분야

Non-Contact WPT는 비접촉으로 근거리에서 무선 전력 전송을 하는 것으로 대표적인 예는 수십 cm의 근거리에서 무선으로 전력전송을 하는 것으로 2006년 MIT에서 자기공진 방식으로 50cm 직경의 코일을 이용해 2m 거리에서 60W 출력에 40% 효율을 얻은 이후에 2008년에 그림 5(a)와 같이 Intel에서 같은 자기공진 방식을 적용하여 거리 60cm에서 60W, 75% 효율을 갖는 전송 시스템을 선보였고, Sony에서는 거리 50cm에서 60W, 60% 효율의 시스템을 전시하였다. 이 기술은 벽걸이 TV 등에 적용을 목적으로 여러 대기업들이 기술개발을 하고 있으나 공간적인 한계와 대용량 저효율 때문에 상용화가 쉽지 않은 문제점을 갖고 있다.

이에 더 나아가서 하나의 송신기로 특정 구역내에 다수의 전자기기를 충전할 수 있는 무선 홈(Wireless Home) 기술에 대해서도 WPT 기술의 궁극적인 목표로 연구를 하고 있지만



(a) Plug-in 방식 (b) Plug Free 방식

그림 6 전기 자동차용 무선 충전기

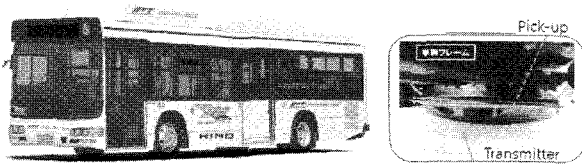
개념정립 단계에 머무르고 있다고 볼 수 있다.^[5]

Non-Contact WPT의 다른 예로 10cm 전후의 거리에서 무선 전력전송을 하는 전기 자동차 무선 충전기가 있다.

기존의 비접촉 무선 전력전송은 GM의 EV1에 적용이 되었던 Plug-in 방식으로 그림 6(a)와 같이 접촉식과 마찬가지로 차량에 플러그를 꽂아서 충전하는 방식이다. 초기에는 접촉식 충전기의 감전 위험 때문에 개발이 되어 현재까지도 사용이 되고 있지만 최근 플러그 커넥터의 발달로 안전문제가 해결됨으로서 비접촉 충전기의 필요성이 거의 없어지고 접촉식 충전기로 표준화가 진행되고 있는 상황이다.

이러한 상황에서 WPT 기술의 발달로 그림 6(b)와 같이 Plug-in 하지 않고 주차장 바닥에 송전장치를 설치하고 차량의 바닥에 집전장치를 설치하여 차량을 주차장에 세우기만 하면 자동으로 충전하는 무선 충전기에 대한 개발이 많이 진행이 되고 있다. 이런 방식을 Plug-Free 또는 Plugless 방식이라고 하고 주요 전기 자동차 메이커들이 개발을 하고 있다. Plug-in 방식 충전기들의 단점은 좁은 주차장 공간에서 Plug를 꽂고 빼는 불편함이 있고 야외 주차장에서 우천시 혹은/혹서기 등에서 먼지 묻은 Plug를 꽂고 빼는 것이 매우 불편한 문제를 가진다. Plug-Free 무선 충전기는 이런 문제를 모두 해결하여 매우 편리하게 충전할 수 있는 장점을 가진다. 일부 저효율에 대한 우려가 있지만 설계를 잘하면 90% 정도까지 고효율을 얻을 수 있어서 향후 고급 전기 자동차를 시작으로 시장에 보급이 확대 될 가능성이 높다고 할 수 있다. 전기 자동차용 무선 충전기에 대해서 언론에 발표된 제품은 Nissan, Evatron, Wampfler 등이 있으며 이외에도 많은 자동차 메이커들이 연구를 하고 있는 것으로 파악이 되고 있다. 국내 기업으로는 그린파워가 승용차용 및 버스용으로 개발을 진행하고 있으며, Smart Grid과제로 제주도에서 실증시험을 진행 중에 있다.

전기버스의 경우에는 이미 2003년도에 이태리 Torino에 설치가 되어 운용 중에 있으며, 그림 7과 같이 일본 히노버스



(a) 전기버스 (b) Transmitter/Receive 모양

그림 7 전기 버스용 무선 충전기

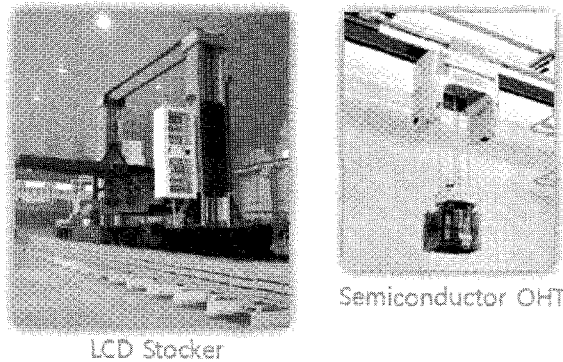


그림 8 E-Coupled WPT 장치가 적용된 반도체/LCD 제조라인의 각종 이송장치

가 2008년에 하네다 공하에 설치 셔틀버스로 운용 중에 있다. 전기버스용 무선 충전기는 주차 중에 충전이 목적이 아니고 정차 중 짧은 시간에 충전을 하는 것이 목적이기 때문에 대용량화가 되어야 하고 배터리가 짧은 시간에 급속충전을 받아 드릴 수 있어야 하는 문제가 있다. 관련 기업으로는 Wampfler, Showa Aircraft 등이 있고, 국내에는 그린파워가 있다.

3.2 Movable WPT 분야

Movable WPT 기술은 트랙을 따라 움직이는 물체에 무선으로 전력을 전송하는 기술로서 전기적 기계적 접촉이 없기 때문에 먼지 발생이 없고, 속도를 빠르게 할 수 있으며, 유지보수가 거의 필요가 없는 장점을 가진다.

3.2.1 E-Coupled WPT 분야

Movable WPT 중에서 E-Coupled 방식은 1982년 뉴질랜드 Auckland 대학에서 개발하여 특허권을 가진 이후에 1990년 후반에 들어서 먼지(particle) 발생이 극히 제한되는 반도체/LCD 제조라인의 각종 이송장치에 무선으로 전원을 공급하는 용도로 상용화되기 시작하여 현재까지 설치, 운영되고 있다.

E-Coupled WPT는 반도체/LCD 뿐만 아니라 그림 8과 같이 자동차 제조라인의 각종 이송장치에도 적용이 확대되고

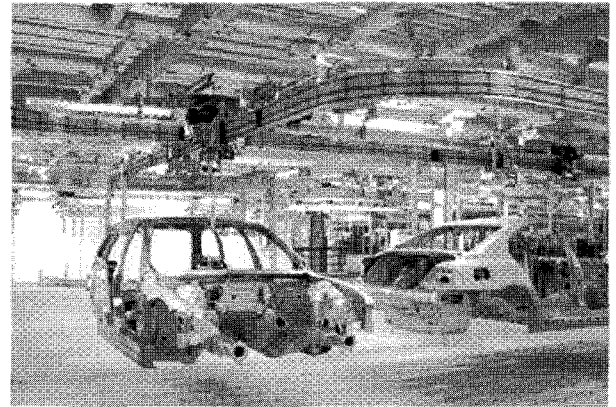


그림 9 E-Coupled WPT 장치가 적용된 자동차 제조라인의 각종 이송장치



(a) 반도체 AGV (b) 자동차 라인의 AGV

그림 10 Flat-Coupled WPT 장치가 적용된 각종 이송장치: (a) 반도체 AGV, (b) 자동차 라인의 AGV

있다. 이외에도 식품제조라인, 놀이기구, 엘리베이터, 등에도 적용이 되고 있다. 이와 관련된 대표적인 업체는 독일의 Wampfler, Vahle, 일본의 Daifuku, 국내에는 그린파워가 있다.

3.2.2 Flat-Coupled WPT 분야

Flat-Coupled WPT 기술은 송전부와 수신부가 완전히 독립이 되어 떨어져 있기 때문에 E-Coupled WPT 보다 결합계수가 낮고 효율이 떨어지며, 따라서 대용량화가 상대적으로 어려운 측면이 있다. 그러나, 송전트랙이 지표면 아래에 매설이 되기 때문에 다른 장비나 사람의 통행에 지장을 주지 않는 장점이 있다. E-Coupled WPT는 주로 레일을 따라 이동하기 때문에 좌우 변위가 거의 없지만 Flat-Coupled WPT는 아무런 구분이 없는 지표면을 이동하기 때문에 트랙이 매설된 급전선을 따라갈 수 있도록 별도의 운전 제어를 해주어야 한다. 대표적인 예로는 AGV (Automatic Guided Vehicle)가 있는

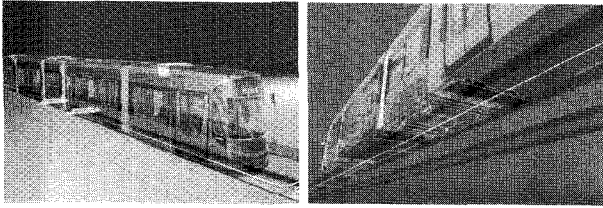


그림 11 Flat-Coupled WPT 장치가 적용된 Bombardier의 무가선 경전철 개념도

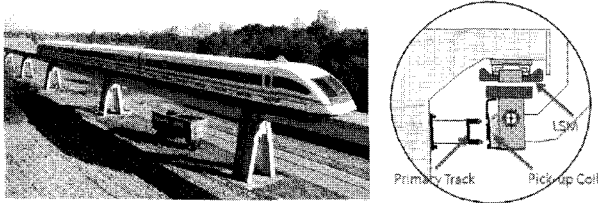


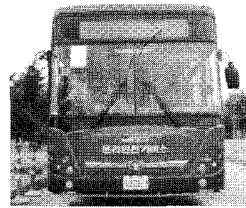
그림 12 Flat-Coupled WPT 장치가 적용된 Transrapid 자기부상 열차

며 그림 10과 같이 반도체/LCD 라인이나 자동차 제조라인에 2000년대 초부터 적용이 많이 되고 있다.

최근 들어서 Flat-Coupled WPT 기술은 경전철에 적용을 위해서 개발을 하고 있다. 그림 11은 Bombardier 사가 개발 중인 WPT 기술이 적용된 무가선 방식의 경전철이다.¹⁶⁾ 공극 6.5cm에 250kW 정도의 전력을 93%의 효율로 전력을 전달한다. 비접촉으로 전력을 전달받기 때문에 기존 접촉식 가선 방식에 비해서 유지보수가 거의 필요가 없고 고속화가 용이하며, 상부가선이 필요 없기 때문에 도시미관을 해치지 않으며, 지하터널을 통과할 경우에 터널 높이를 낮출 수 있어서 공사비를 대폭 줄일 수 있는 장점도 있다. 그래서 경전철은 물론이고 지하철, 일반 전철 및 더 나아가서 고속철까지 확대방안을 검토하고 있지만 수백kW - 수십MW에 이르는 전력을 전달하는 것이 매우 어렵고 비현실적이라 경전철 이상의 대용량 전철의 경우에는 많은 연구가 필요하다.

독일의 Transrapid 자기 부상열차에도 그림 12와 같이 Flat-Coupled WPT가 적용이 되어 있다. Transrapid는 LSM(Linear Synchronous Motor)로 추진을 하기 때문에 추진전력은 지상에서 공급한다. 부상전력과 에어컨 등 차량에서 필요로 하는 전력은 그렇게 크지 않으며 LSM을 통해서 비접촉으로 공급을 받는다. 그러나, 정지상태나 저속에서는 전력공급이 원활하지 않기 때문에 별도의 비접촉 전력전송이 필요하다 이를 위해서 그림 11과 같이 E-Coupled WPT 기술이 적용이 되었다. 이와 관련된 대표적인 기업은 독일의 Wampfler, Vahle, 일본의 Daifuku, 국내에는 그린파워가 있다.

최근에 KAIST와 그린파워는 E-Coupled WPT 기술을 레



(a) OLEV Bus



(b) OLEV Train

그림 13 Online 전기 충전 시스템

일을 따라 이동하는 전철이 아닌 일반 버스에 적용하여 달리면서 충전을 할 수 있는 온라인 전기 자동차(OLEV)를 개발하였으며, 1차적으로 그림 12(a)와 같이 공극 20cm에 75kW 전력을 70%-80% 정도의 효율로 전달하는 OLEV 버스를 개발하여 KAIST 캠퍼스 내에 시험 운행 중이며, 2차적으로 그림 12(b)와 같이 서울대공원 내부를 순환하는 코끼리 열차를 OLEV로 개조하여 운행 중이다. (공극 12cm, 60kW, 70-80% 효율)

OLEV는 기본적으로 레일이 없기 때문에 매설된 트랙을 따라 가도록 자동으로 운전을 해주던가 아니면 좌우 변위 허용 폭을 넓게하여 ($\pm 30\text{cm}$ 정도) 대충 차선을 따라가기만 해도 전력전달 효율에 문제가 없도록 해야 한다. 자동조향운전은 반도체/LCD 라인이나 자동차 제조라인에서 사용하고 있는 AGV처럼 저속 주행에서는 큰 문제가 없지만 고속 주행 시에는 매우 위험하여 사용하기가 어려운 점이 있고, 좌우변위 허용 폭을 넓게 가져가는 것은 효율을 많이 떨어뜨리고 WPT 장치를 크고 무겁게 하며 cost가 높아지기 문제가 있다. 따라서, 기술 난이도 측면에서 다른 여타의 WPT 기술보다 매우 어려운 기술이라 상용화를 위해서는 많은 기술개발이 필요하다.

4. 결론

무선 전력전송 기술에 대한 분류, 원리, 및 응용분야에 대해서 정리하였으며 기술적인 장벽에 대해서도 간단한 언급하였다.

무선 전력전송은 편리함을 갖다 주지만 효율이 떨어지는 단점을 갖는다. 따라서, 얻는 것(편리성)과 잃는 것(에너지, Cost)에 대한 상호 평가를 통해서 얻는 것이 많으면 상용화가 될 것이고 잃는 것이 많으면 도태될 것이다.

공장 자동화용 이송장비 분야는 Particle-Free, 고속운전, 유지보수-Free, 등 이득이 많고 효율도 90% 정도로 높기 때문에 이미 상용화가 완료 되었다.

휴대형 전자기기 충전분야는 효율은 70-80% 정도로 낮지만 전력용량이 5W 이하로 낮고 편리성이 가져다 주는 이득이 많기 때문에 현재 상용화 중에 있으며 빠르게 확산이 될 것

으로 예상된다.

벽걸이 TV 분야는 현재 기초기술개발 단계이지만 수백W 정도로 용량이 큰데 반해서 70-80% 정도로 효율이 낮고 구조적인 문제도 많아서 상용화가 쉽지 않을 것으로 사료된다.

전기 자동차 충전기 분야도 90% 정도의 높은 효율에 편리성이 많고 Cost도 그렇게 높지 않기 때문에 수년내에 상용화가 가능할 것으로 예상된다.

무가선 전철 분야는 용량이 수백kW 정도로 높지만 효율이 90% 이상으로 높기 때문에 Cost를 줄이면 수년내에 경전철부터 상용화가 될 것으로 예상된다.

이외에도 향후 무선 전력 전송 기술을 적용한 다양한 제품들이 개발 및 상용화 되어 새로운 시장을 창출 할 수 있을 것으로 사료된다. ■

참고 문헌

- [1] 장변준, "무선전력전송 기술 동향 및 주요 이슈", 정보통신산업진흥원, 주간기술동향 통권 1445호, pp 1-10, 2010.5.12
- [2] 강승영, 김용해, 이명래, 정태형, "무선 에너지 전송 기술", ETRI, 전자통신 동향 분석, Vol. 23, No. 3, pp. 59-69, 2008.12.
- [3] Takehiro Imura, Yoichi Hori, "Wireless Power

Transfer using Electromagnetic Resonant Coupling", The Journal of The Institute of Electrical Engineers of Japan, Vol. 129, No. 7, 2009. 7.

- [4] A. Kurs et al., "Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances", Science, Vol. 317, pp. 83-86, 2007.
- [5] A. Karalis et al., "Efficient Wireless Non-radiative Mid-range Energy Transfer", Annals of Physics, Vol. 323, pp. 34-48, 2008.
- [6] "Catenary-Free Primove System", Bombardier Brochure.

〈 필 자 소 개 〉



조정구(趙貞九)

1963년 3월 28일생. 1986년 경북대 전자공학과 졸업. 1988년 KAIST 전기전자과 졸업(석사). 1992년 KAIST 전기전자과 졸업(공학박). 1993년 ~1994년 Virginia Tech. 연수. 1995년~2002년 한국전기연구원 선임연구원. 1999년~현재

(주)그린파워 대표.