ISSN:1226-7244 (Print)
ISSN:2288-243X (Online)
논문번호 18-01-36
216
j.inst.Korean.electr.electron.eng.Vol.22,No.1,216~222,March 2018
http://dx.doi.org/10.7471/ikeee.2018.22.1.216

장거리 무선전력전송 기술동향

Technical Trend of Long-range Wireless Power Transfer

정 영 배*★

Young-Bae Jung*★

Abstract

Long-range wireless power transmission technology goes beyond mere cell phones and small appliances, and is the core technology of 4'th industrial revolution such as robot, electric car, and IoT sensor network. In this paper, we will explore the evolution of long-range wireless power transmission technologies that have already become commercially available, with rapid advances in technology, beyond the traditional short-range technology that has become technologically common. Through this, it is intended to check the domestic research level and progress by identifying core technologies and technical challenge.

요 약

장거리 무선전력전송 기술은 단순한 핸드폰 및 소형가전을 넘어서, 4차 산업혁명의 핵심기술로 자리 잡은 드론, 로봇, 전기자동차, IoT 센서 네트워크 등에 폭넓게 적용될 수 있다. 본 논문에서는 이미 기술적으로 보편화된 기존의 근거리 무선전력전송 기술을 벗어나, 급속한 기술발전으로 통하여 상용화 단계에 이른 장거리 무선전력전송 기술의 발전방향을 살펴보고자 한다. 이를 통하여, 핵심기술을 파악과 기술적인 극복과제를 도출함으로써 국내의 연구수준과 나아갈 바를 점검하고자 한다.

Key words : wireless power transfer, wireless power transmission, long-range, phased array, antennas

Ⅰ. 서론

무선전력전송(WPT, Wireless Power Transfer or Transmission)기술은 전자 및 전기기기를 포함하여, 전기에너지가 요구되는 모든 사물에 무선으로 전력을 공급하기 위한 에너지 전송기술을 의미한다. 현재, 다양한 전자제품에 널리 활용되고 있는 자기유도방식(Inductive Power Transfer)의 경우, 높은 효율로 큰 전력을 전송할 수 있다는 장점을 가지나, 코일(Coil) 간의 누설결합으로 인하여 거리증가에 따라 전송효율이 급격하게 감소하여, 수 Cm 이내의 근거리에서 제한적으로 사용되고 있다. 이에 비하여, 동일한 자기에너지 전력전송방식이나, 수 m 이내에서 전력을 전송할 수

*Dept. of Electronics and Control Engineering, Hanbat National University
★ Corresponding author
E-mail:ybjung@hanbat.ac.kr, Tel: +82-42-821-1136
※ Acknowledgment
This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion(IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) (No.2017-0-00653, Research on middle- and long-range wireless power transfer core technologies using magnetic field)
Manuscript received Mar 14, 2018; revised Mar. 24, 2018 ;accepted Mar. 26, 2018
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

있는 자기공명방식(Magnetic Resonance Coupling)은 2007년 MIT의 Marin Soljacic 교수팀의 시연성공 이후 급속한 기술발전의 촉매 역할을 해왔으나, 전송거리에 따른 코일 크기가 커져야 하고, 송수신 코일 간의 배열 자유도 등의 현실적인 제약으로 아직까지 상업적인 성공을 거두지 못하고 있다[1][2]. (그림 1)은 상술한 무선전력 전송거리와 전송전력에 따른 적용 서비스를 보여주고 있다.

지금은 4차 산업혁명이라는 거대한 기술적 변환기를 맞고 있다. 이러한 기술변화의 핵심에는 드론, 로봇, 전기자동차 및 IoT 센서 네트워크 기술이 포함되어 있으며, 해당 기술에 대한 효용성 증대를 위하여 장거리 무선전력전송 기술에 대한 관심이 뜨거워지고 있다. 이러한, 무선전력전송 시장은 2018년 이후 상용 기술로서의 기술적인 발전을 통하여, 2022년까지 50억 달러의 시장을 형성할 것으로 예측된다[3].

본 논문에서는 이러한 장거리 무선전력전송 기술의 연구개발 동향을 살펴보고, 이를 통하여, 기술적 발전방향과 극복과제를 도출하고자 한다.

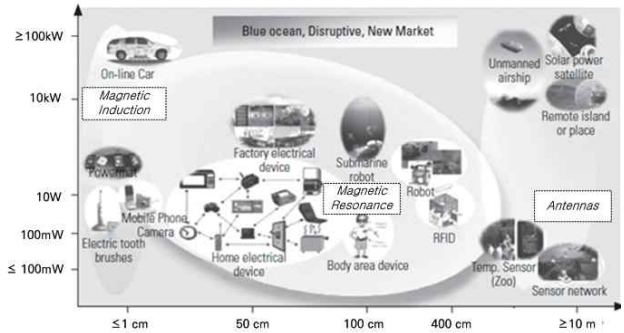


Fig. 1. Service and technology classification by the transfer distance and transmission power

그림 1. 무선전력전송 거리와 전송전력에 따른 서비스 및 기술분류

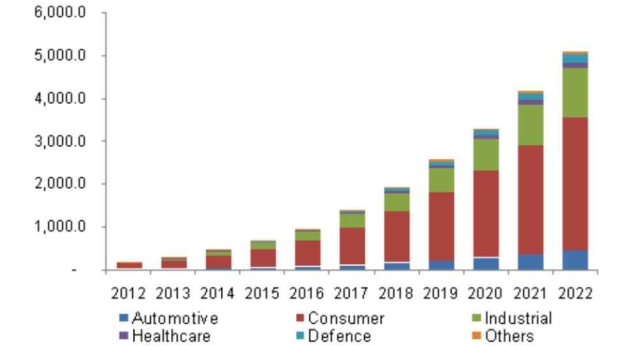


Fig. 2. Wireless Power Transmission Market Forecast by Service Area

그림 2. 서비스 영역에 따른 무선전력전송 시장 예측

II. 장거리 무선전력전송 기술현황

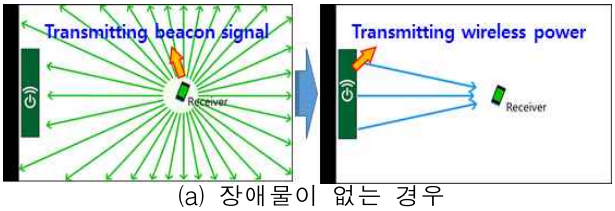
본 장에서는 장거리 무선전력전송 기술개발을 선도하고 있는 국외 전문기업의 연구개발 동향을 집중적으로 살펴본다.

1. Ossia

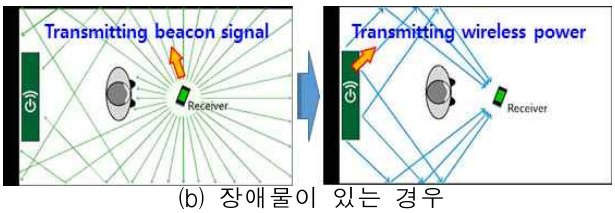
미국 워싱턴 주에 위치한 Ossia사는 주력기술인 Cota를 이용하여, 장거리 무선전력 솔루션을 제공하는 업체이다. Cota는 무선전력전송을 위한 송신기와 전력수신과 기기의 위치 파악을 위한 수신기로 구성된다. Cota의 핵심기술은 송신전력이 사람이나 여타 기기에 영향을 미치지 않도록 Lytro camera 원리를 이용하여 안전하게 전력을 전송할 수 있는 최적의 경로 설정기능에 집중되어 있다.

(그림 2)의 (a)는 Cota 송수신기 사이에 아무런 장애물이 없는 경우에 대한 전력전송 방법을 설명한다. 전력전송 경로를 설정하기 위하여, 우선, 수신기가 전방향(omni-directional)으로 비콘(beacon) 신호를 방사하면, 수 백개의 무지향성 안테나로 구성된 송신기는 수신기로부터 송출된다수의 RF 신호 경로를 파악하고, 그 방향 그대로 전력을 송신함으로써, 수신기에 정확히 전력을 공급한다. (그림 2)의 (b)는 송신기와 수신기 사이에 사람이 위치한 경우를 예시하고 있다. 이때에도 수신기는 전방향으로 비콘신호를 방사하며, 수신기로부터 방사된 신호는 사람이 위치한 방향을 제외한 다른 경로를 통하여 송신기에 도달한다. 이때, 송신기는 비콘신호가 도래한 방향으로 전력을 방사함으로써, 무선전력전송에 가장 큰 문제점으로 지적되는 인체 피해와 기기에 대한 간섭문제를 해결 할 수 있다[3].

Ossia사는 지속적인 연구개발의 결과물로 CES(Consumer Electronic Show) 2018에 'Cota tile'이라고 명명한 송신기와 'Forever Battery'라고 불리는 AA (혹은, AAA) 배터리 형상의 수신기를 선보였다. (그림 3)와 같이, 정사각형의 'tile' 형상의 송신기는 실내의 임의 위치에 놓이거나, 천장에 설치될 수 있으며, 수신기는 리모컨 등의 전자기기에 배터리로 직접 채용될 수 있다. 본 제품은 2.4GHz에서 동작하며, 3 Watt의 최대 방사전력과 10m의 전송거리를 갖는다[4].

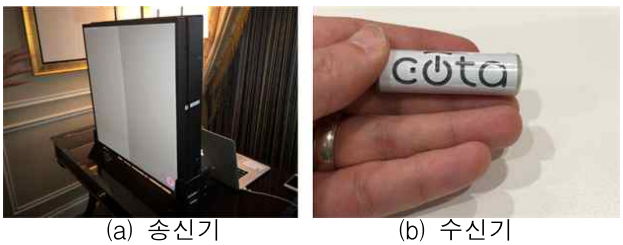


(a) 장애물이 없는 경우



(b) 장애물이 있는 경우

Fig. 2. Cota System's Power Transmission Path Setup Technology for Wireless Power Transmission
그림 2. Cota 시스템의 무선전력전송을 위한 전력전송 경로설정 기술



(a) 송신기 (b) 수신기

Fig. 3. Cota transceiver announced in CES 2018
그림 3. CES 2018에서 발표한 Cota 송수신기

이외에도 Cota 송수신기는 수 bit의 데이터 통신을 통하여, 충전서비스를 요청하는 수신기를 정확하게 구분하여 전력을 전송할 수 있으며, 다수의 송신기를 이용하여, 전송 전력을 높이거나, 전송 거리를 확장할 수 있다. 또한, CES 2018에서, Ossia 사는 인도의 Motherson Innovations사와의 합작회사를 통하여, Cota 무선전력전송 기술을 승객, 상업 및 대중 교통수단에 통합하겠다는 계획을 발표하였다. 이 합작회사는 개인용 차량뿐만 아니라 브레이크 센서, 열쇠고리 및 타이어 압력 게이지와 같은 차량 안팎의 다양한 센서에 무선으로 전력을 공급하는 솔루션을 개발할 예정이며, 2021 년까지 자체 및 공용 차량에 개발된 시스템을 배치할 예정이다[4-5].

2. Wi-charge

Wi-charge사는 이스라엘의 대표적인 무선전력전송 스타트업(start-up)이다. Wi-charge사는 무선전력전송을 위하여, RF신호가 아닌 적외선(infrared)을 사용한다. 또한, 상용화를 위하여, 2017년 미국 식품의약국(FDA)의 승인을 받았으며, 국제시장에서 통용되는 IEC 60825-1(Laser products) 규격을 만족함으로써 상용화를 위한 가장 큰 장애물인 인체 유해성을 해결하였다[6].

Wi-charge사의 적외선 무선전력전송 시스템 구조는 (그림 4)에 도식되어 있다. 본 시스템은 무선전력전송을 위하여 크게 3개의 구성부로 이루어져 있다.

먼저, 적외선을 통한 전력 전송을 위하여, 송신기에는 역반사경(Retro-reflector)과 광원(Laser diode)으로 구성되어 있으며, 수신기에 위치한 역반사경은 송신기로부터 방사된 광자(Photon)를 재 반사하여 링 공진(Ring resonance)을 통한 높은 전력을 생성하며, 태양광 전지(Photovoltanic cell)를 이용하여 수신된 광 에너지를 DC전력으로 변환한다. 또한, 송신기와 수신기 사이에 사람이나 사물의 존재 여부를 파악하기 위하여, 송신기에는 LED 등의 광원(Light source)이 추가되어 있으며, 광원으로부터 방사된 광신호가 수신기의 반사경을 거쳐 다시 송시기의 검출부(Detector)로 돌아오도록 설계되어 있다. 이 때, 송신기와 수신기 사이에 장애물 존재 여부에 따라서, 검출부의 수신신호의 세기가 변화하게 되며, 이를 통하여, 송신기의 동작을 차단할 수 있다. 마지막으로, 데이터 송수신기(Data transceiver)가 구비되어, 수신기의 상태정보를 송신기에 전달하며, 이를 통하여, 보다 원활하고 안전한 전력전송이 이루어질 수 있도록 구성되어 있다[8].

이외에도 Wi-charge사의 적외선 무선전력전송 시스템의 경우, 일반적인 레이저와 달리 두 개의 반사경을 송신기와 수신기에 분리하여 배치하였다. 따라서, 중간에 장애물이 존재하는 경우, 반사판 사이에서 이루어지는 광자의 반사 및 공진현상이 차단됨으로써 자연스럽게 전력공급이 차단되도록 고안되었다. 따라서, Wi-charge사의 제품은 송신기와 수신기 사이에 장애물이 존재하지 않는 가시선(Line-of-sight) 조건에서만 전력이 전송될 수 있다. 또한. 송수신기 구조에 따라 최대 6개의 빔을 이용하여, 5m 거리를 기준으로 최대 5 Watt의 전력을 전송할 수 있으며, 최대 서비스 거리는 10m 로 파악되고 있다[9-10].

현재, 제품으로 판매되고 있는 상용제품의 주요사양은 (그림 5)와 같다. 송신기는 가정이나

사무실에서 일반적으로 사용될 있는 등(Light)과 함께 구성되어 있으며, 수신기는 제품의 인터페이스에 연결하여 전력을 공급받을 수 있도록 내장형과 외장형으로 구성되어 있다[11].

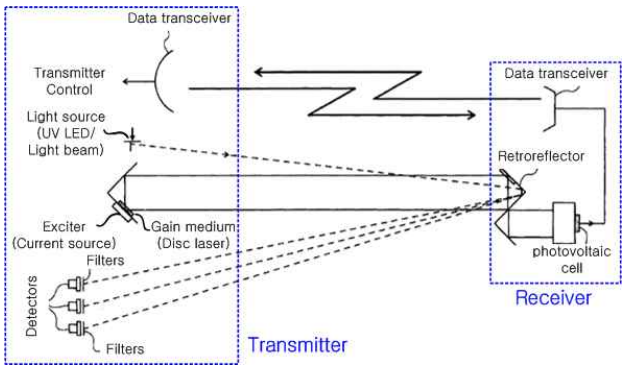
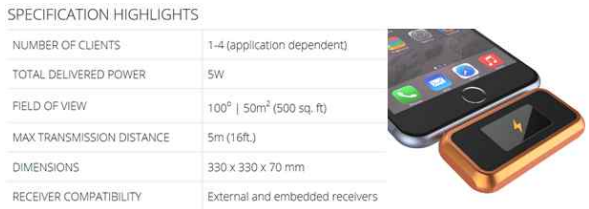


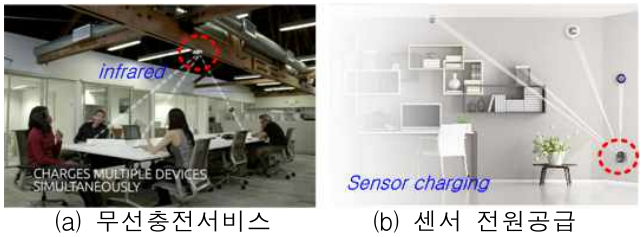
Fig. 4. Structure of the Infrared wirelss power transmission System of Wi-charge Inc.
그림 4. Wi-charge사의 적외선 무선전력전송 시스템 구조

(a) Light형 송신기



(b) 외장형 수신기

Fig. 5. Commercial Transmitters Main Specifications of Wi-charge Inc.
그림 5. Wi-charge사의 송수신기 상용제품 주요사양



(a) 무선충전서비스 (b) 센서 전원공급

Fig. 6. Concept drawing of Commercial Products of Wi-charge Inc.
그림 6. Wi-charge사의 제품 상용화 개념도

Wi-charge사는 개발된 기술을 통하여, 사무실, 커피숍 등에서 다수의 고객에서 무선 충전서비스를 제공하거나, IoT 센서 네트워크 구축을 위하여, 다양한 센서에 전원을 공급할 수 있도록 상용화를 진행하고 있다[10].

3. Energous

미국의 캘리포니아주 산호세에 위치한 Energous사는 RF기반의 무선전력을 공급하는 스타트업으로서, WattUp이라고 명명된 제품을 통하여 최근 상용제품 출시에 성공하였다. WattUp은 Wi-Fi 라우터(Router)와 동일한 동작특성을 가지며, 통신용 데이터 대신에 RF 전력을 송신한다. 따라서, 주파수대역을 가변하며 송신전력을 제어하고, 송신기에 위치한 다수의 안테나를 제어함으로써 수신기 안테나에 정확하게 RF 전력을 공급한다[12]. WattUp의 구조는 최근에 공개된 내용이 없으나, 2015년 말 기준으로 IEEE Spectum지에 공개된 기사를 통하여 동작원리를 확인할 수 있다[13].

(a) 송신용 (b) 수신용

Fig. 7. Transmitting and receiving array of Energous Inc.
그림 7. Energous사의 송수신용 배열안테나

WattUp 송신기는 5.8GHz Wi-Fi 대역에서 동작하며, 2차원 평면에 수십 개에서 수백 개의 안테나로 구성된다. (그림 7)의 (a)에는 24개의 안테나로 구성된 송신용 배열안테나를 보여주고 있다. 송신용 배열안테나는 미세 전력을 방사하는 다수의 마이크로 빔(micro beams)을 통하여 전력을 송신하고, 수신기는 직경기준 수 inch 이내의 공간에서 RF전력을 합성한다. Energous사에서는 이러한 수신기의 RF전력 수신기능을 하베스팅(Harvesting)이라고 표현한다. 수신전력 하베스팅을 위하여, 수신기에는 메타소재의 초소형 배열안테나로 구성되어 있으며, (그림 7)의 (b)와 같이, 핸드폰을 비롯한 다양한 소형 가전에 손쉽게 장착할 수 있도록 개발되었다. 또한, 블루투스(Blootooth, BLE)

통신을 통하여, 수신기의 충전상태와 함께, 수신기의 위치를 정확하게 파악할 수 있다[13].

전송되는 전력의 세기와 거리는 송신기를 구성하는 송신용 ASIC과 안테나의 숫자에 따라 결정되며, 크기에 따라 최대 9m(30 feet)까지 전력전송이 가능하다. Energous사의 제품은 전력전송 거리에 따라 크게 세 가지로 나누어진다. 장거리용 Far field WattUp 송신기의 경우, TV의 베젤(Bezel)이나, 벽, 천장 등에 위치할 수 있으며, 다수의 송신기를 이용한 전력 메쉬망(Mesh network)을 구성하여 전송거리와 전력의 세기를 높일 수 있다. 중거리용 Mid field Wattup 송신기의 경우, 0.9m(2~3 feet)까지 충전서비스가 가능하며, 주로 데스크탑 PC의 모니터에 배치된 송신기를 통하여, 인근에 놓인 무선 키보드, 마우스 및 핸드폰과 같은 소형 가전을 충전할 수 있다. 또한, 단거리용 Near field Wattup 송신기는 노트북, 게임기, 가구나 다양한 장치에 내, 외장으로 설치될 수 있으며, 이를 통하여, 인접한 기기에 케이블 없이 전력을 공급하거나, 데이터 송수신 할 수 있는 기능을 갖는다. 전송거리에 따른 제품의 서비스 개념은 (그림 8)와 같다.

2017년 12월28일, Energous사는 미국 연방통신위원회(FCC)로부터 WattUp 시스템에 대한 승인을 획득하였으며, 5Watt의 전력이 필요한 스마트폰의 경우 1.5m 거리까지 무선충전이 가능하며, 6m 거리에서는 1Watt 수준의 전력을 무선으로 공급할 수 있음을 보여주었다.

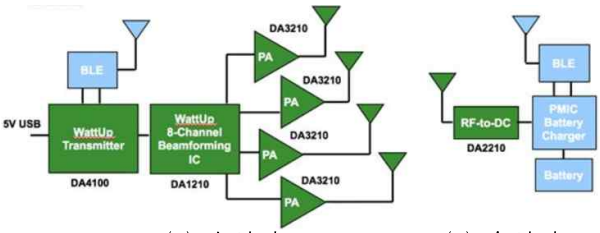
근래, Energous사는 WattUp의 상용화를 위하여 소형화와 성능 최적화를 위하여, 시스템에 필수적으로 요구되는 다수의 집적회로(IC)를 개발하였다. 송신용으로는 8-채널 Mid field Beam-forming IC(DA1210, D)와 함께, 다양한 증폭기 IC(DA3210, DA 4100, DA 3210)를 개발하였으며, 송신용 Beamforming IC와 증폭기 IC를 추가함으로써 송신 전력 및 전송거리를 제어할 수 있도록 하였다. 수신기에는 고효율 4-채널 RF-DC 정류기 IC(DA2210)가 개발되어, 기존의 5.8GHz 제품군을 비롯하여, 신규 900MHz 제품군에도 적용되고 있다. (그림 9)는 RF 전력 수신용 IC를 보여주고 있으며, 개발된 다수의 IC를 이용한 Mid field WattUp 송수신기 구조는 (그림 10)과 같다 [14].

(a) 장거리 (b) 중거리

(b) 단거리

Fig. 8. Product Service Concept of Energous Inc.
그림 8. Energous사의 제품 서비스 개념도

Fig. 9. RF power receiving ASIC of Energous Inc.
그림 9. Energous사의 RF 전력 수신용 ASIC



(a) 송신기 (b) 수신기

Fig. 10. Mid field WattUp Transmitter and receiver of Energous Inc.
그림 10. Energous사의 Mid field WattUp 송수신기

3. uBeam

2011년 21세의 펜실베니아 대학생인 Meredith Perry가 설립한 uBeam은 Wall Street Journal의 'All Things Digital Conference'에 초음파(Ultrasonic)로 무선 충전하는 새로운 기술을 선보였고, 이 아이디어로 2600만 달러의 엄청난 투자금을 모금하면서 세계적인 주목을 받게 되었다. 개발 초기의 uBeam 송수신기의 형상 및 서비스 개념도는 (그림 11)과 같다.

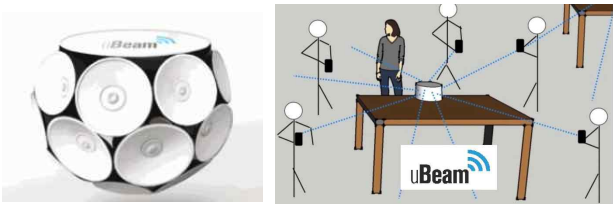
uBeam으로 명명된 초음파 무선충전장치는 스피커와 같은 송신기를 통하여, 사람이나 동물이 듣지

못하는 45 kHz~75 kHz의 높은 초음파대역의 주파수를 사용한다. 송신기는 에너지와 데이터를 초음파로 변환하고, 전력공급을 요청하는 수신기의 위치를 감지하여 초음파 전력을 송신한다. 이때, 송신기는 위상배열안테나의 전기적 원리를 이용한 수천개의 소형 스피커를 통하여 초음파 빔을 형성하고 원하는 방향으로 전력을 송신할 수 있다. 수신기는 초음파 변환기(Transducer)를 사용하여 초음파를 다시 전기 에너지와 데이터로 변환한 다음 연결된 장치로 전달하는 구조를 갖는다[15].

그러나, 지금까지 uBeam의 초음파 무선충전 기술은 대기 중에서 초음파가 보이는 높은 감쇄특성으로 인하여 전력전송 효율에 대한 회의적인 의견이 많았다[16]. 이외에도 uBeam의 가장 큰 한계는 초음파 전력전송이 가시선 조건에서만 이루어질 수 있다는 것이다. uBeam 송신기는 일반적인 스피커와 달리 전방향으로 초음파 전력을 송신하지 않고, 수신기의 위치를 감지한 뒤, 상술한 지향성 빔을 이용하여 수신기에 집중적으로 전력을 전송한다. 이때, 송신기는 수신기와의 사이에 사람이나 기타 장애물을 감지하는 경우 자동으로 송신기능을 차단하도록 설계되어 있다. 따라서, uBeam의 초음파는 사람이나 동물에게 영향을 주지 않으며, 기존의 통신 시스템이나 전자 장치에 간섭을 일으키지 않으므로, FCC를 비롯한 다양한 기술적 요구사항을 충족하는 것으로 알려져 있다.

uBeam사는 자사 기술에 대한 대중의 높은 관심에도 불구하고, 2016년까지 현실성 있는 시제품을 선보이지 못했고, 이로 인하여 많은 시비에 휘말렸다[17]. 그러나, 2017년 5월에 비로서 USA Today를 통하여 자사의 시제품을 통한 충전 시연을 보였으며, 시연장면은 (그림 12)와 같다. 본 시연에서, 송신기에는 동시에 여러 대의 핸드폰을 추적하도록 프로그래밍 된 적외선 카메라가 장착되어 있으며, 이를 통하여, 최대 3m(10 feet)에서 5 대의 핸드폰 및 기타 단말기를 추적하여 전원을 공급할 수 있음을 보여주었다.

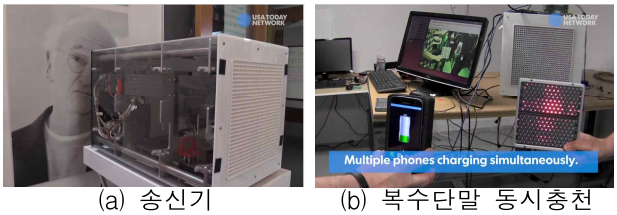
uBeam사는 2017년 기준으로 5종의 신규 초음파 변환기를 개발하였으며, 이를 통하여 세계에서 가장 작고, 저렴하나 가장 강력한 무선충전 시스템을 공급하겠다는 계획을 밝혔다[18].



(a) 송신기 (b) 충전서비스

Fig. 11. Operational concept drawing of initial uBeam trasceiver

그림 11. 초기 uBeam 송수신기 동작 개념도



(a) 송신기 (b) 복수단말 동시충전

Fig. 12. Demonstration of uBeam ultrasonic wireless charging system

그림 12. 초음파를 이용한 uBeam 무선충전 시연

III 결론

본 논문에서는 장거리 무선전력전송에 대한 최근 기술개발 동향을 살펴보았다. 무선전력전송은 크게 RF, 적외선 및 초음파를 매개로 이루어지고 있으며, RF의 경우, 무선전력으로 인한 인체영향과 여타 기기에 대한 간섭문제가 가장 큰 단점으로 지목되고 있다. 이에 비하여, 적외선과 초음파는 RF에 비하여 인체영향 및 기기간섭이 적으나, 높은 전력을 전송하는데 상대적으로 불리하며, 가시선 조건이 아닌 경우 전력전송에 제한된다는 단점을 가지고 있다. 또한, 무선전력전송에 있어서 가장 큰 기술적 장애인 인체영향(Human hazard)에 대해서는, 모든 업체가 수십~수천 개의 송신용 소자를 집적하여 송신 빔을 제어하는 위상배열(Phased array) 기술을 적용하고 있다. 이러한 높은 기술력을 바탕으로 주요업체들은 2017년 이후 FDA 승인을 비롯한 국제 기술기준을 만족시켰으며, 가정과 사무실 등의 실내공간에 적용 가능한 다양한 상용제품을 선보이고 있다.

무선전력전송 시장은 앞으로도 급속하게 성장할 것으로 예측되며, 전자, 전기 분야를 넘어 자동차, 산업인프라 분야로 폭넓게 적용될 것이다. 국내의 기술개발 수준은 국외에 비교할 수 없는 시작단계에

머물러 있다. 체계적인 기술개발과 정책지원을 통하여, 미래의 무선전력전송 시장을 선도할 수 있는 현실적인 대안이 마련되어야 할 것이다.

References

[1] Hyo-Sang Choi and In-Sung Jeong,"Status and Trends of Wireless Power Transmission System," World of Eletricity, vol.66, no.2, pp.24-28.
[2] T.Y. Eom, C.S. Oh, S.J. Park, "Wireless Power Transfer Technologies Trends," *Journal of Energy Engineering,*, vol.24, no.2, pp.174-178, 2015.DOI:10.5855/ENERGY.2015.24.2.174
[3] Wurth Electronics, "Introduction to Wireless Power Transfer: Benefits, Markets, and Applications"
http://www.we-online.com/web/en/passive_components_custom_magnetics/blog_pbcm/blog_detail_electronics_in_action_100414.php
[4] Mark Spoonauer, "This Wireless Charging 'Forever Battery' Will Never Die"
https://www.tomsguide.com/us/ossia-cota-forever-battery,news-26444.html
[5] Eric Olson, "Longer Range Wireless Power has Arrived with Ossia's Cota Technology"
http://electronics360.globalspec.com/article/10928/longer-range-wireless-power-has-arrived-with-ossia-s-cota-technology
[6] Alona Stein, "Wi-Charge Wins CES 2018 Best of Innovation Award"
https://www.businesswire.com/news/home/20180110006324/en/Wi-Charge-Wins-CES-2018-Innovation-Award
[7] Ortal Alpert, Directional light transmitter and receiver, Patent No, WO/2007/036937
[8] Ortal Alpert and , Rudiger Paschotta, Wireless laser system for power transmission utilizing a gain medium between retroreflectors, Patent No. US 8,525,097 B2
[9] https://www.wi-charge.com/faq/
[10] Wi-charge homepage, "Frequently Asked Questions"
http://www.epochtimes.co.kr/news/articleView.html?idxno=401374
[11] Wi-charge homepage, "Products"
https://www.wi-charge.com/products/
[12] Energous homepage, "Technology"
http://energous.com/technology/product-overview/
[13] Evan Ackerman, "Can Energous Deliver on Wireless Power Promises?"
https://spectrum.ieee.org/energywise/energy/the-smarter-grid/can-energous-deliver-on-wireless-power-promises
[14] Energous homepage, "Energous Unveils Industry-First Wireless Charging 2.0 Integrated Circuit (IC) Solutions at CES 2018"
https://content.equisolve.net/energous/news/2018-01-08_Energous_Unveils_Industry_First_Wireless_Charging__598.pdf
[15] uBeam homepage, "Technology"
https://ubeam.com/technology/
[16] Josh Constine, "uBeam Finally Reveals The Secret Of How Its Wireless Charging Phone Case Works Safely"
https://techcrunch.com/2015/10/08/how-ubeam-works/
[17] Gomes Lee, "Can uBeam's Through-the- Air Phone Charging System Live Up to the Hype?"
https://techcrunch.com/2015/10/08/how-ubeam-works/
[18] Marco della Cava, "uBeam's Meredith Perry shows her stealth wireless charging technology really works"
https://www.usatoday.com/story/tech/news/2017/06/01/ubeams-meredith-perry-shows-her-stealth-wireless-charging-technology-really-works/102336880/

BIOGRAPHY

Young-Bae Jung (Member)

1998 : BS degree in radio science and engineering, Kwangwoon University.
2001 : MS degree in information and communications engineering, KAIST
2009 : PhD degree in information and communications engineering, KAIST
2001~2011 : Senior researcher, Electronics and Telecommunication Rearch Institute (ETRI)
2011~2018 : Professor, Hanbat university