

대중교통 혁신을 위한 전기차 무선충전 솔루션

2019. 05. 17.

(주)와이파워윈

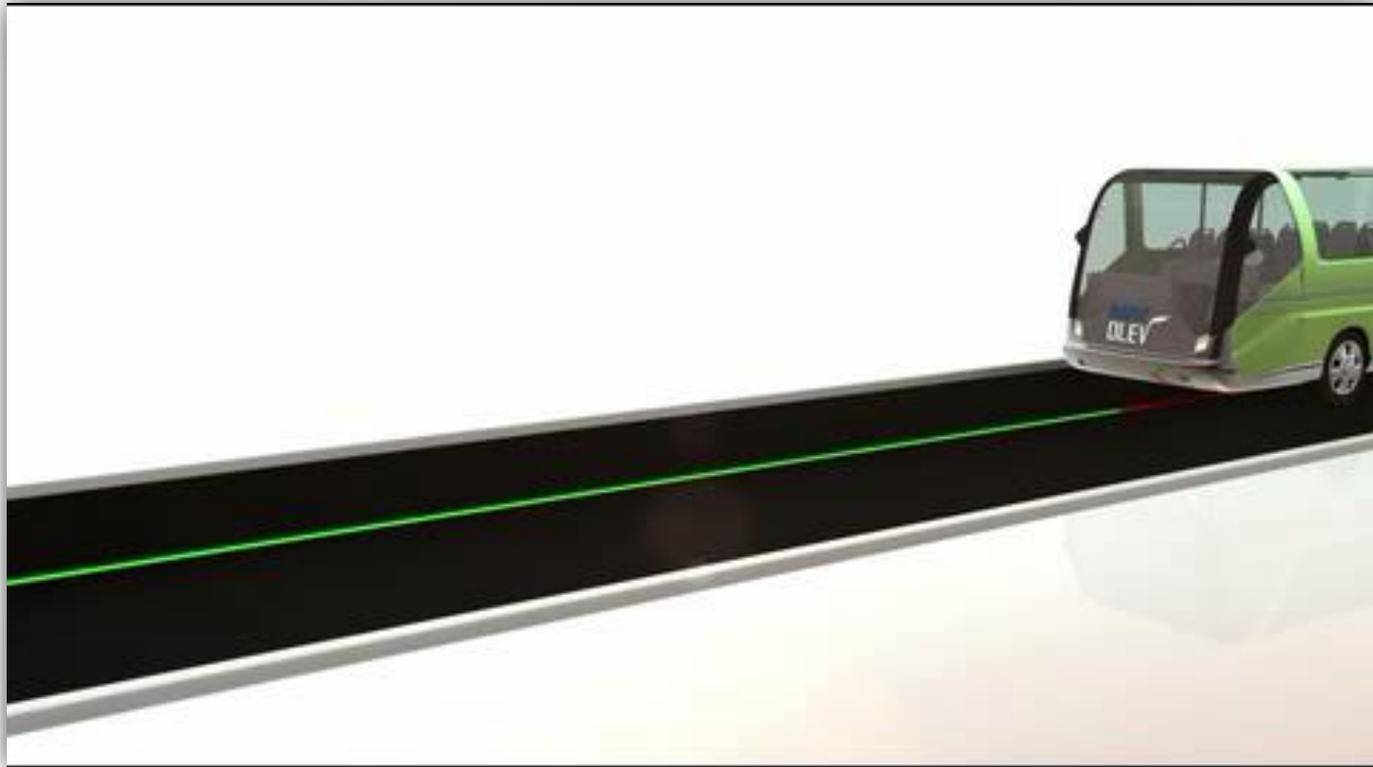


Confidential

목 차

1. 동영상	-2-
2. 배경	-3-
3. 문제점	-5-
4. 솔루션	-12-
5. 핵심 기술	-16-
6. 기술개발 현황	-19-
7. 도입 및 운영 사례	-22-
8. 무선충전의 장점	-24-
9. 대중교통에 적용	-30-
[무선충전 기술 적용 제안]	-32-

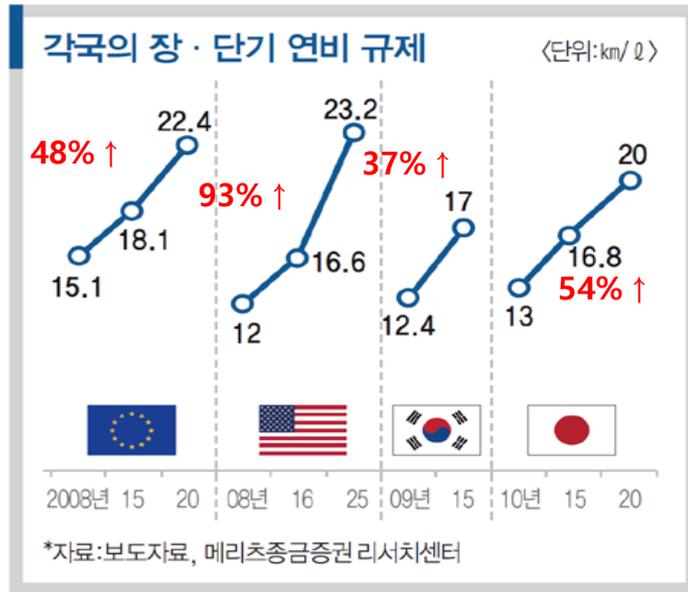
1. 동영상



2. 배경 : 전기자동차 시장

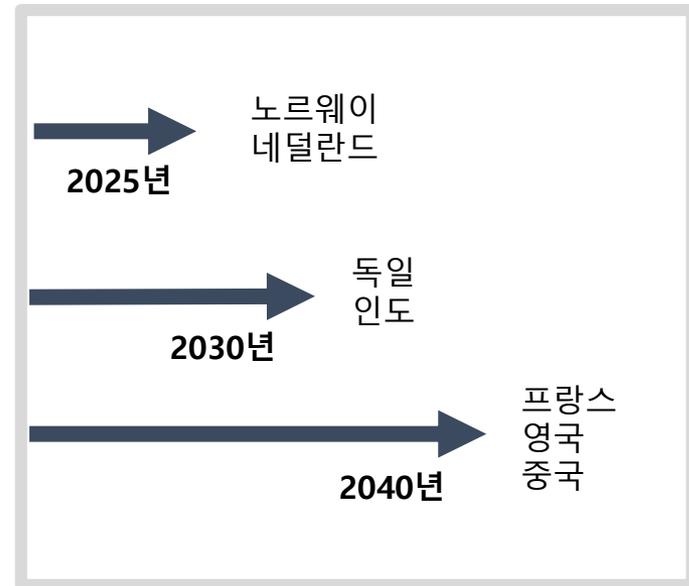
➤ 친환경 기조에 따라 전세계 정부는 친환경 자동차의 생산을 장려

각국의 연비 규제



지난 12년간 연비 규제를 통해 50% 이상의 연비개선 요구(2008~2025)

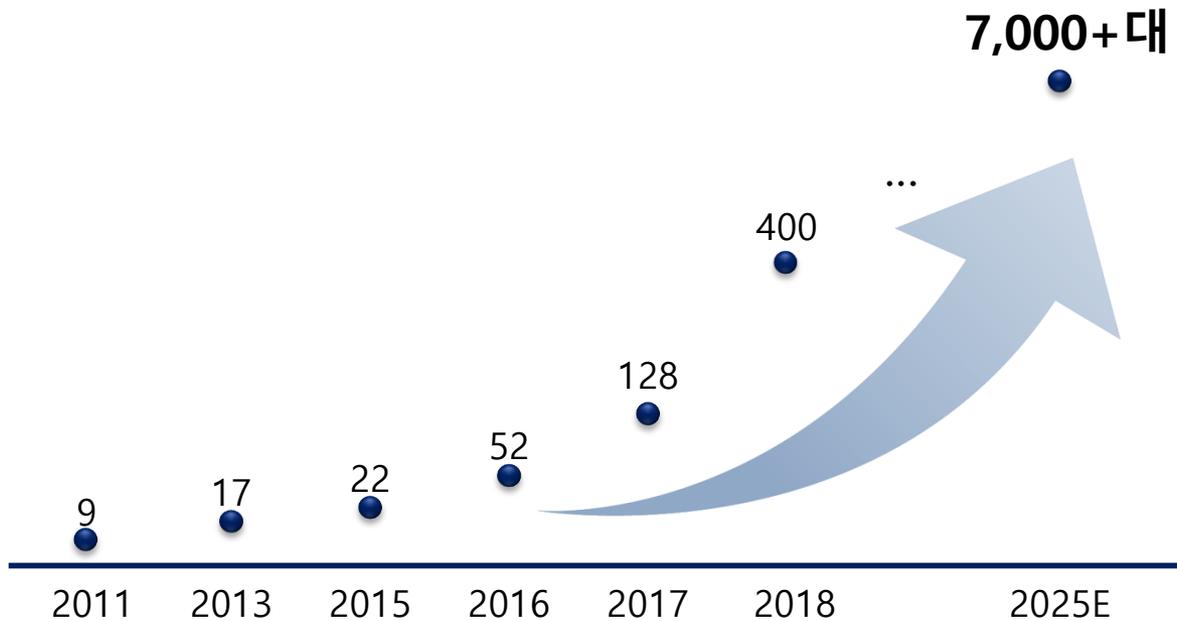
내연기관 차량 판매 금지



내연기관 승용차 판매 금지 조항으로 친환경자동차 생산 촉진

2. 배경 : 전기자동차 시장 규모

- 현재 계획에 따르면 앞으로 4년 후('23년), 전세계 전기버스는 연 100만대로 성장
- 국내의 경우, 2025년까지 7,000대 이상의 시내버스를 전기버스로 전환



국내 전기 시내버스 도입 현황

중국 선전시 시내버스 100%
1만 6천대

제주시 148대 도입 계획
('21년)

경기 4,000대 도입 계획
('27년)

서울 3,000대 도입 계획
('25년)

3. 문제점 : 1) 전기버스 유선충전의 불편함과 위험성

▶ 전기차 유선충전기에 대한 안전사고 문제가 발생

- 기존 유선충전시 외부환경 더위, 추위, 강우 등에 영향을 받음
- 특히 플러그가 외부에 노출되어 있어 접촉부분의 마모, 이물질 발생으로 폭발·감전 위험

외부환경에 노출된 유선충전기



외부환경에 노출된 유선충전기

전기차 충전 중 감전사고...안전장치도 대책도 없었다

SBS 뉴스, 2018.04.17



충전 도중 '꽝' ... 대구서 전기차 충전기 부품 폭발

국민일보, 2018.07.05



출처 : 파손되고 벗겨지고... 전기차충전기가 위험하다, - 제주교통복지신문

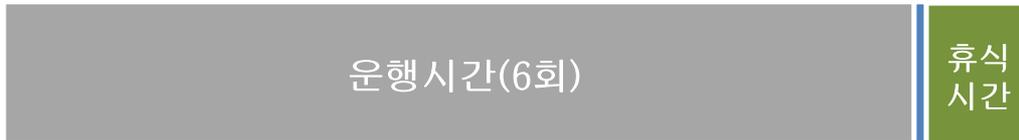
Confidential

3. 문제점 : 2) 유선충전으로 시내버스 운영효율 감소

▶ 기존 유선충전 방식으로는 시내버스를 하루 종일 운행할 수 없음



디젤버스



3분 → 72분

전기버스



추가 전기버스 구비 필요



더 많은 버스

2025년까지
7,000대 기준

추가 버스구매
비용

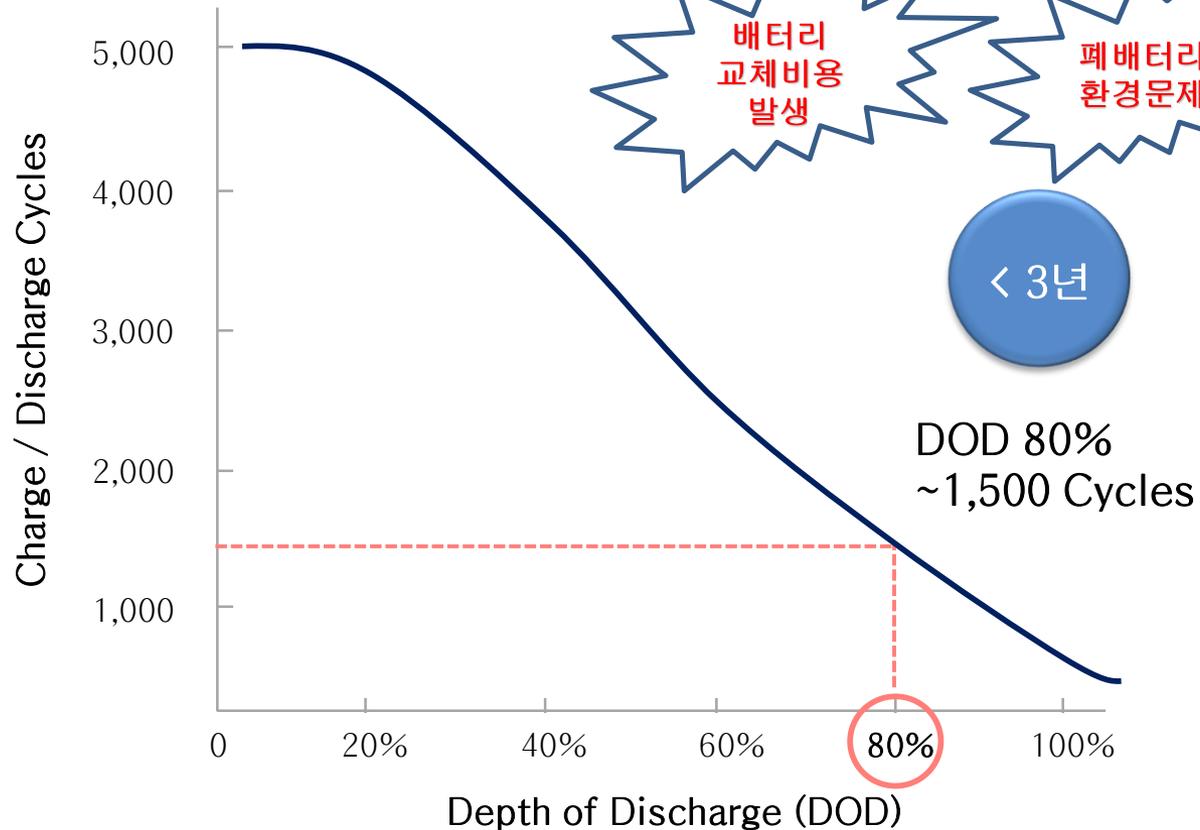
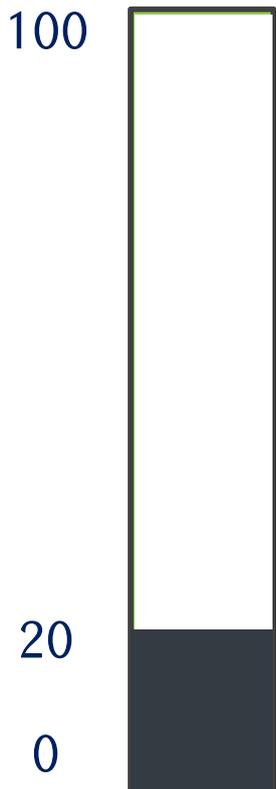
*국산 전기버스 중 최장거리. 현대 일렉시티 기준

** 외부 온도가 낮을 때와 HVAC 을 가동할 때 전기차의 주행거리는 60% 감소함

3. 문제점 : 3) 간헐적 충전시 배터리 효율 감소

➤ 리튬이온 배터리의 특성상 완충과 방전을 반복할 수록 배터리 효율이 낮아짐

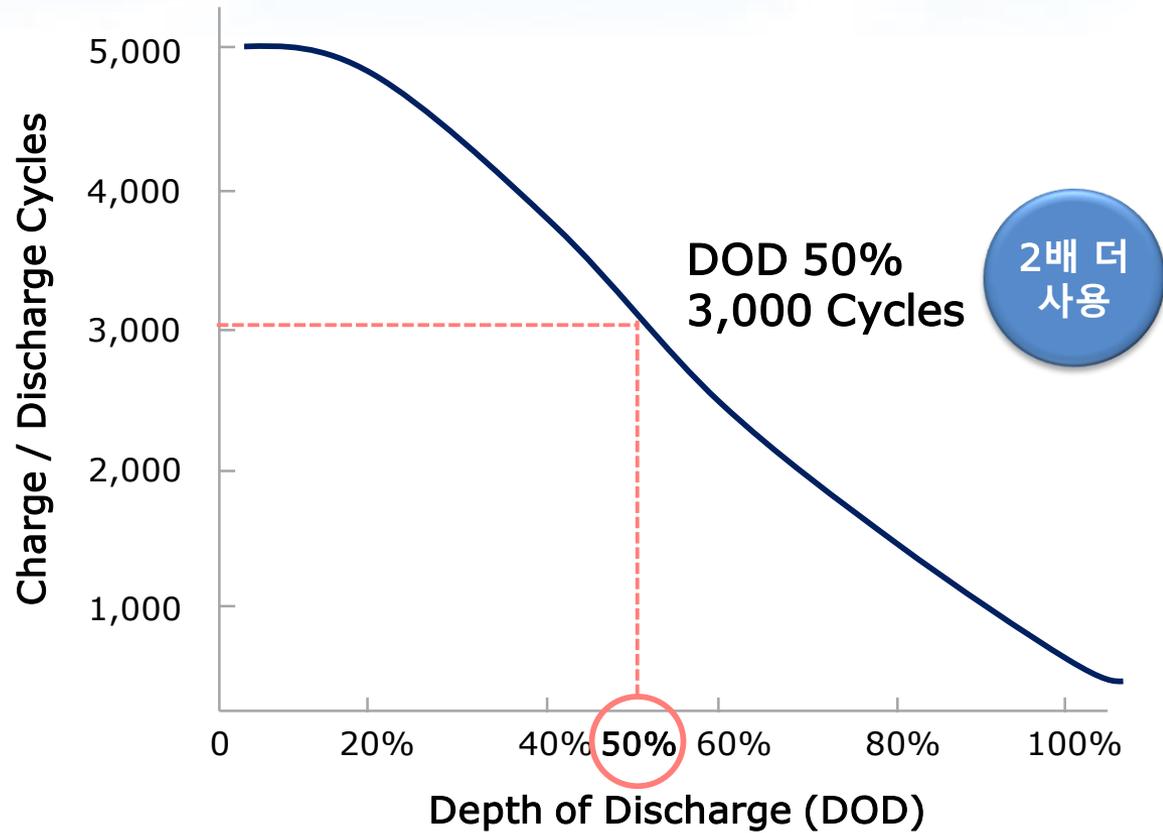
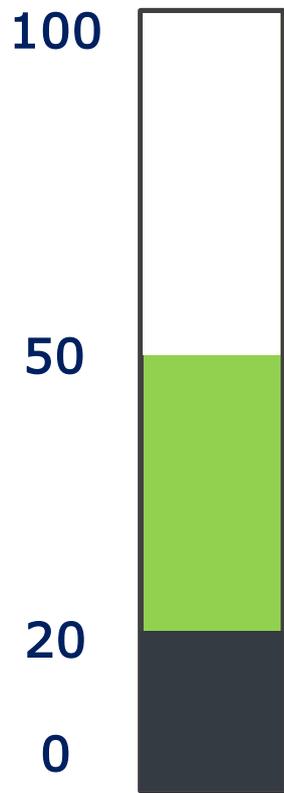
- 배터리 잔량이 20%일 때 충전 사용시, 배터리의 수명은 3년에 불과함



리튬폴리머배터리, 1C 충전 기준

3. 문제점 : 3) 간헐적 충전시 배터리 효율 감소

- 배터리 잔량이 50%일 때 충전 사용시, 20% 충전 사용시보다 배터리의 수명이 2배 증가함



리튬폴리머배터리, 1C 충전 기준

3. 문제점 : 4) 미래 자동차 기술 적용에 유선충전의 한계

▶ 전기차 증가와 자율 주행과 무인 주행이 도입될 수록 충전 자동화 추진 필요

- 4차 산업혁명 기술이 인프라에 도입되면서 교통과 물류 분야에 새로운 패러다임 제공

미래자동차 2030년 생산/판매 전망

	2017년	2020년	2030년	비 고
세계 자동차 생산*	9,446만대	9,877만대	11,460만대	매년 1.5% 증가
전기차	122만대 [1.5만대]	345만대(약 3.5%) [14만대]	2,100만대(약 18%) [84만대]	예측기관 중간값 [생산량의 4%]
수소자동차	3,652대(2016년) [1,387대]	16,602대(2022년) [1,509대]	73,441대 [3,300대]	- [생산량의 4%]
자율주행자동차	운전자보조	특정상황 운전자 개입	완전자율주행	자율주행 수준
	-	5.1만대 (약 0.5%)	450만대(약 4%)	-

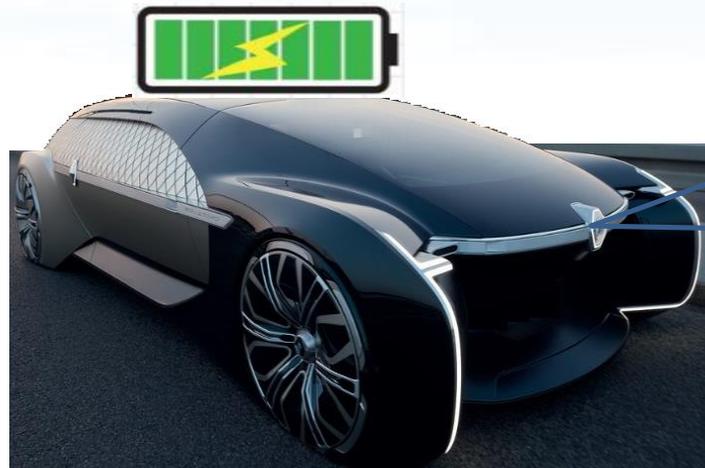
주 : * 상용차 제외, ()전체생산 대비 비중, [] 한국계 생산/판매 대수
 자료 : IHS, 블룸버그, Continental Automotive, 환경부



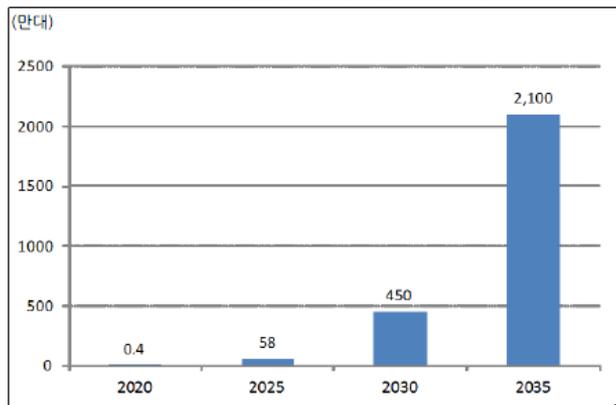
< 자율주행 미래 수송 이미지 >

3. 문제점 : 4) 미래 자동차 기술 적용에 유선충전의 한계

- 친환경 전기차의 보급 및 차량의 공유 함께 자율/무인 기술 도입으로 기존 사람이 직접 충전하는 유선충전 방식으로는 기술 적용 한계 발생

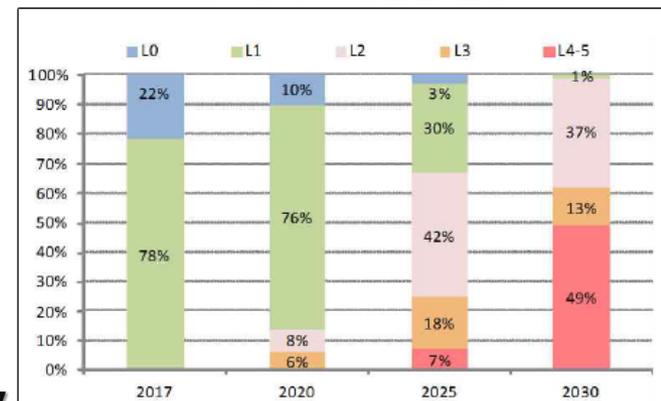


L4-5 자율주행차 생산 전망



자료 : IHS(2016)

자율주행차 기술발전 전망



자료 : PwC(2016)

Confidential

3. 문제점

➤ 유선의 대안으로 배터리 교환 및 상부가선 방식이 상용화 되었으나 한계 존재

배터리 교환



- 스테이션 기계가 자동으로 배터리 교환
- 충전 과정 생략, 4분만에 교환 가능

상부 가선 방식



- 트롤리와 같은 급전 케이블 접촉 방식
- 슈퍼캐패시터 사용으로 초급속 충전 (1분)

배터리팩 구비 비용 부담, 엔지니어링 정합성 부족

→ 캘리포니아와 제주 실증사업 실패

* 두 방식 모두 다른 전기 수송수단(승용차, 트럭, Tram등)과 충전 인프라의 공유가 전혀 안됨

4. 솔루션 : 무선충전 시스템

도로에 급전선로를 설치하고 전기버스에는 집전장치를 장착하여 자기공진방식으로 대용량의 에너지를 무선으로 고효율 전송



안전성

접촉부분
외부 미노출

운영
효율성

별도의 긴 충전
시간 생략

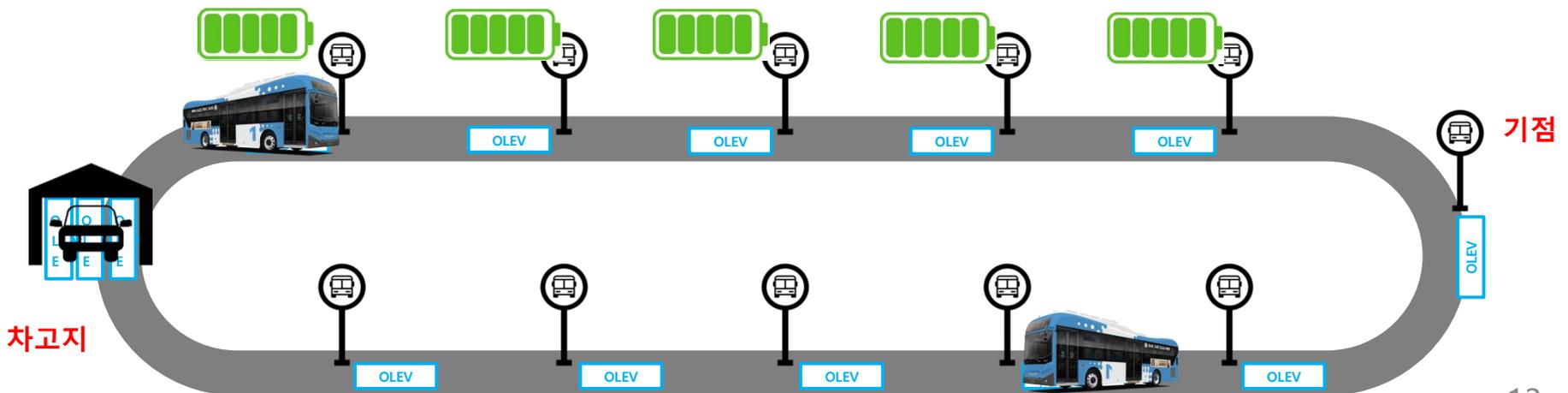
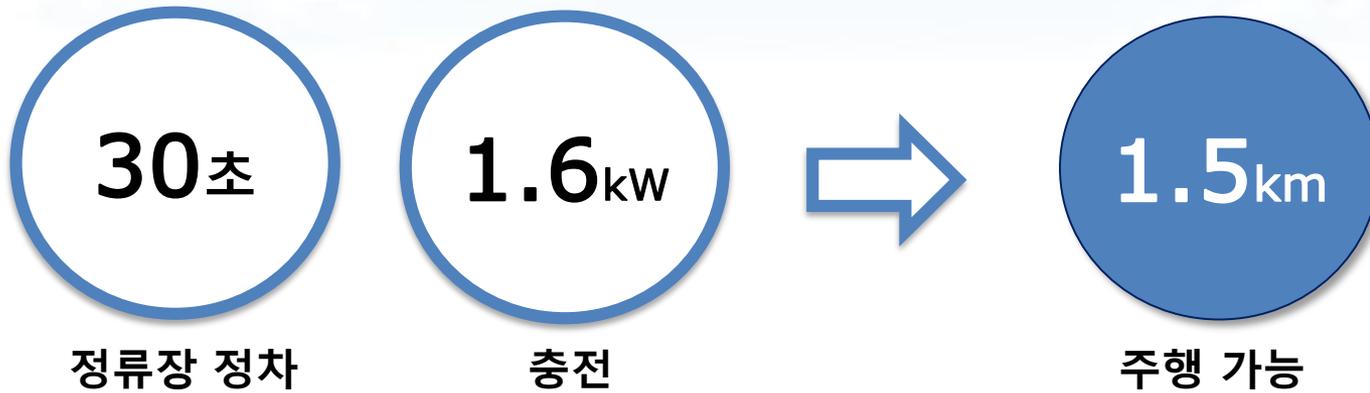
배터리
수명

도로 위에서
언제 어디서나 충전

4. 솔루션 : 무선충전 시스템 특징

➤ 중간 충전 없이 하루 운행거리 충족으로 운영 효율성 증대 가능

* 200kW 인버터 기준



Confidential

4. 솔루션 : 무선충전 시스템 특징

➤ 배터리 충전량을 일정 수준으로 유지하여 배터리 효율 및 수명 증대

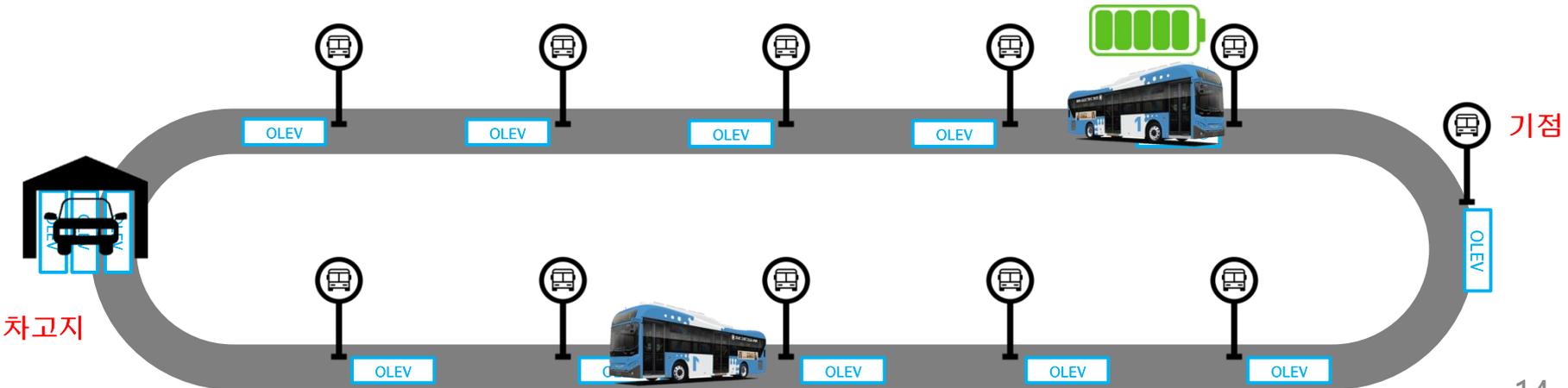
유선충전 전기버스

배터리 방전시 차고지에 돌아와야 함



무선충전 전기버스

정류장에서의 무선 충전으로 배터리 충전량 유지 가능



4. 솔루션 : 무선충전 시스템 특징

▶ 배터리 용량 절감 가능

- 왕복 90km 노선 운행시, 유선충전의 경우에는 150kWh 용량이 필요하나, 무선충전은 정류장에 정차하는 동안 충전이 가능하여 50kWh 용량으로도 운행이 가능
- 배터리 용량을 획기적으로 절감 가능하여 대량의 전기버스 도입시, 차량 가격을 낮출 수 있음

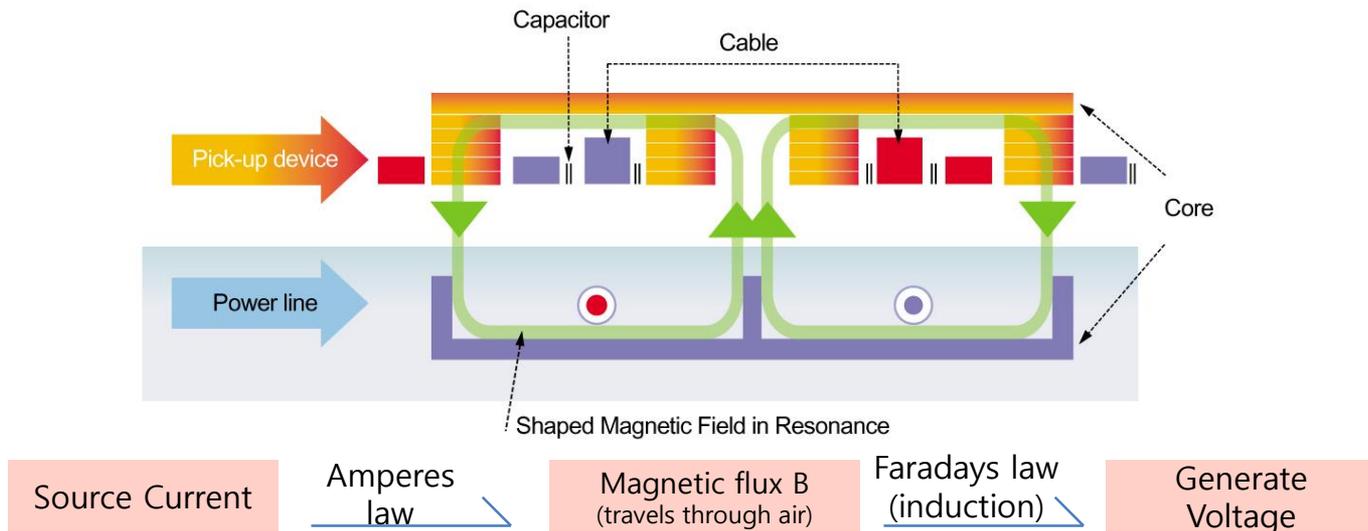
* 배터리 성능 유지를 위하여 전체 용량의 60% 사용 가정, 정거장 간격 500~700m 가정



5. 핵심기술 : 자기공진형상화 기술

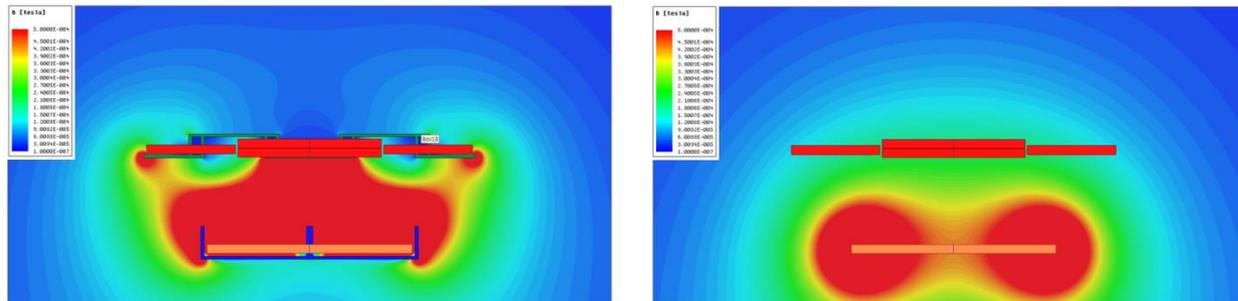
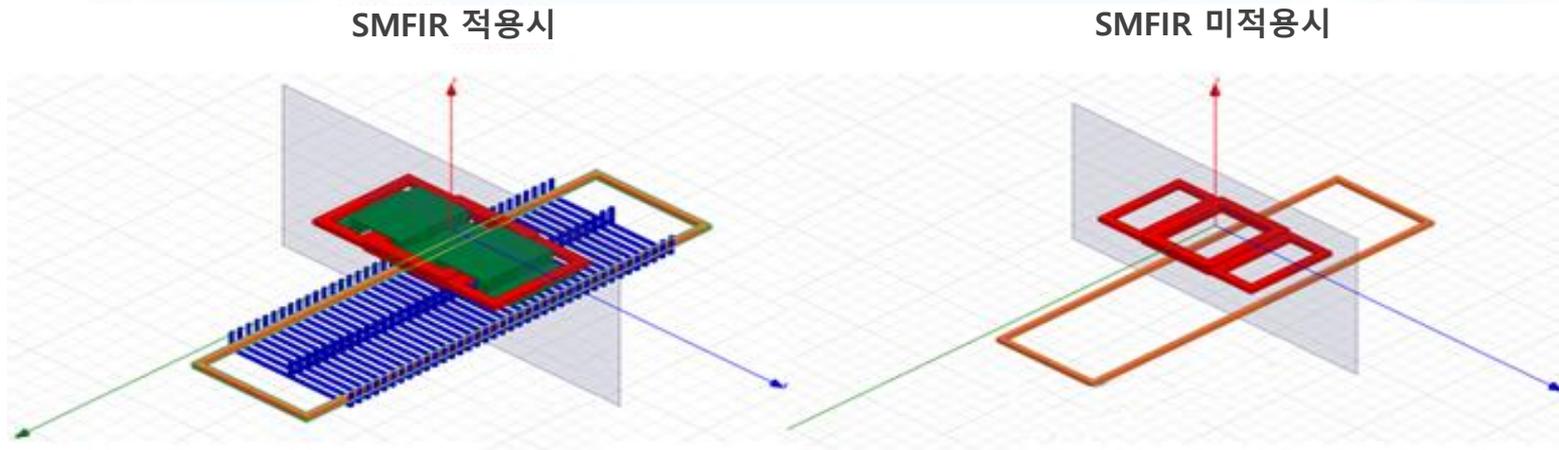
➤ 자기공진형상화(Shaped Magnetic Field In Resonance, SMFIR) 기술

- 2009년 기존의 무선충전 한계를 극복하여 세계 최초로 대용량의 전기에너지를 무선으로 안전하게 전달할 수 있는 핵심 기반기술 개발 완료
- 일반적으로 전선(코일)을 중심으로 자기장이 형성(암페어 법칙)될 때 둥글게 퍼지므로 자기장의 손실이 발생
- SMFIR 기술은 전선의 아래쪽에 투자율(permeability)이 높은 페라이트(Ferrite)로 코어를 만들어 자기장을 위쪽 방향으로만 형성하는 기술



5. 핵심기술 : 자기공진형상화 기술

- SMFIR 기술 적용으로, 하부 급전선로에서 만들어진 자기장이 높은 효율로 위쪽의 집전 패드로 모아 전달함



< 자기장 형성 모습 >

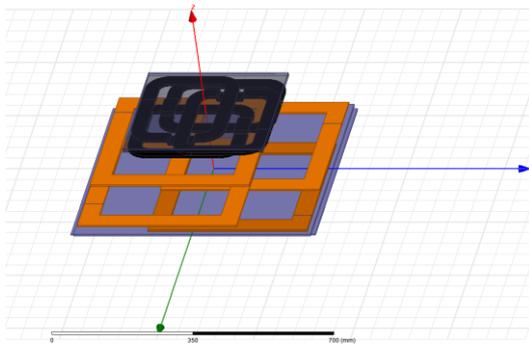
Confidential

5. 핵심기술 : 자기장 빔형성 기술

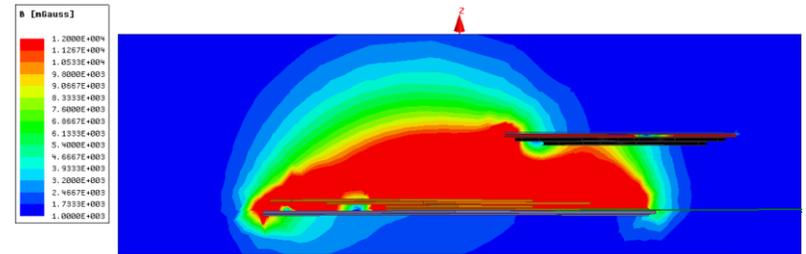
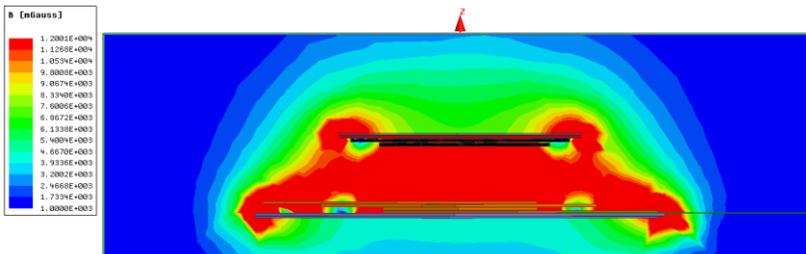
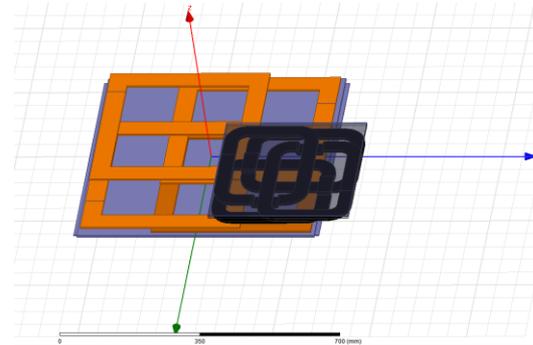
➤ 자기장 빔형성 기술(Magnetic Beam Shaping Technology)

- 작은 4개 사각코일을 겹쳐진 구조로 필요에 따라 전류를 다르게 흘려주어 원하는 방향으로 자기장 위상 변형시켜 전력을 전달하는 기술
- 자기장 빔형성 기술을 통해 기존 허용오차의 2배 (좌우 $\pm 20\sim 25\text{cm}$, 상하 $\pm 15\sim 20\text{cm}$)이상 제공

충전장치가 정중앙에 위치한 경우



정중앙으로 부터 2배거리에 위치한 경우



6. 기술개발 현황

▶ 전기버스 및 전기 승용차용 무선충전 솔루션 상용화 확보 완료

전기버스용 급집전 상용제품개발

- Air gap : 20cm (coil to coil: 35cm)
- Power transfer efficiency: 90 % 이상
- Capacity(집전용량) : 100 kW
- EMF : Max. 62.5 mG (규제 허용치 270mG의 1/4)

* 전자파 인체 안전성



전기버스 적용 사례 - 구미 버스(100kW)

전기승용차용 급집전 상용제품개발

- Air gap : 12cm (coil to coil: 14cm)
- Power transfer efficiency: 91.85 % @56% SOC
- Capacity(집전용량) : 22 kW
- EMF : 5.7 mG (규제 허용치 270mG의 1/47)

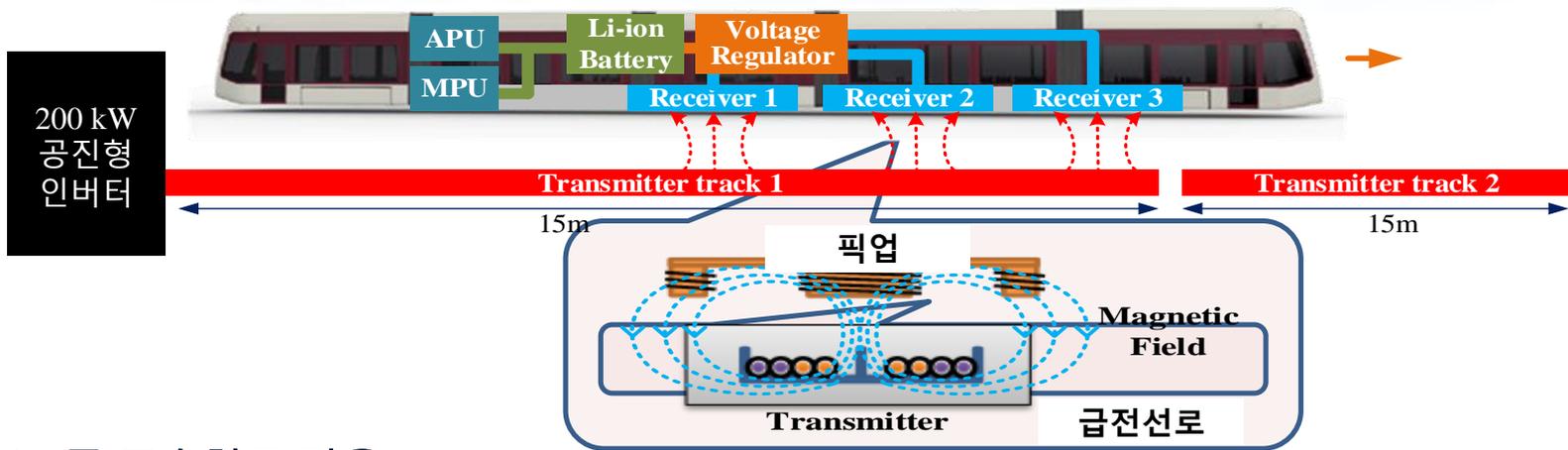


전기승용차 테스트 - 22kW

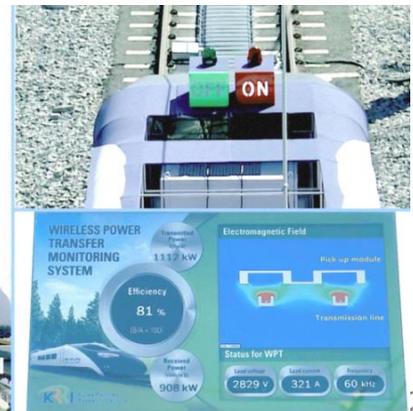
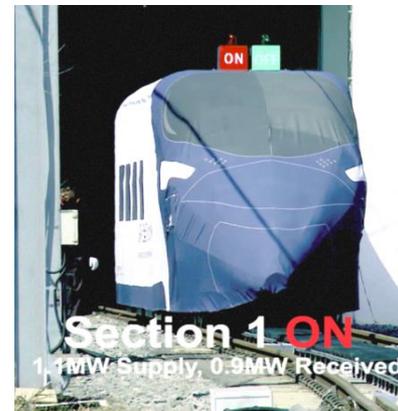
6. 기술개발 현황

▶ 자동차 이외에도 트램 및 철도 분야에 적용 기술 확보 완료

- 200kW급 무가선 트램 적용



- 1MW급 고속철도 적용



6. 기술의 우수성 : 경쟁 우위

➤ 영국 교통연구소(Transport Research Laboratory) 보고서(2018년)

- 세계 무선충전 기술 중에서 기술성숙도가 가장 높은 것으로 평가(TRL 단계 9)

Table 4-1: Dynamic inductive ERS overview

System	Organisation	Power & Efficiency	Vehicle Suitability	TRL
OLEV	Dongwon Inc. / KAIST	15-85kW, 71-91% ^{3,4,5,11,14,15}	Buses, LVs, LDVs Tram/Rail	9
CWD	Politecnico di Torino / CRF	20kW, 75-85% ^{3,114}	LVs, LDVs	3-4
IPV	Seat Emmedi Group	20kW, 70-80% ^{5,27}	LVs, LDVs, HGVs Buses & Shuttles	3-4
PRIMOVE	Bombardier / Scania	Up to 200kW, 68.8-90% ^{5,32,45}	LVs, LDVs, Buses	5-6
HALO	Qualcomm	20kW, 80% ⁵	LVs, LDVs	3-4
WPT	Oak Ridge National Laboratories / OEM's	2.5-20kW, 88-95% ^{5,48,49,51}	LVs	3-4
INTIS	Integrated Infrastructure Solutions	11-60kW, 88-93% ^{107,108,110}	Small Plant, LVs	3-4
Electreon	Electreon Inc.	5-20kW, 88-90% ¹⁶⁶	LVs & Buses	5-6
Victoria	CIRCE	Up to 50kW, 92% ¹⁶⁷	Buses & Shuttles	7-8
WPT	University of California	Up to 200kW, 60% ⁵	LVs, LDVs, HGVs	2-3

7. 도입 및 운행사례(1/2)

◆ 2012 여수엑스포 시범운행

- 운영 기간 : 2012. 5. ~ 2012. 8.



◆ 2012 KAIST 교내 셔틀버스 운행

- 2012년 10월부터 운행



◆ 구미시 노선버스 운행

- 2014년 3월부터 운행, 2016년 추가 2대 도입



7. 도입 및 운행사례(2/2)

➤ 안전성 인증

● 전자파 안전 인증

Test Item	Test Standard		Test Result
EMF	ICNIRP	270mG	56.5mG

* 국내기준 62.4mG

- 충전중 픽업/레굴레이터 전자파 공인인증서
- 차량 전자파 공인인증서
- 전자파 인체 보호기준에 대한 공인 인증서 (한국표준과학연구원 전자기 센터)

● 전기안전 공인인증

- 급전인버터 (전기안전공사 안전인증센터)
- 급전케이블, 접전코일용 케이블 (한국기계전기전자 시험연구원)

● 도로 안전 인증

- 압축강도 및 휨강도 (한국건설생활환경시험연구원)

● 전기버스 법규 적합성 시험 (자동차안전연구원)

➤ 신뢰성 확보

세계에서 가장 긴 무선충전 레퍼런스 보유

150만 km

*2018년 12월 기준

2012년~ KAIST 셔틀 2대 운행중

2014년~ 구미시 시내전기버스 2대 운행

2016년~ 구미시 2대 증차 운행 (총 4대)

8. 무선충전의 장점

➤ 안전성

- 유선충전 방식은 직접 케이블을 연결하기 때문에 접촉부분의 마모나 이물질로 인하여 파손 및 케이블 열화 등으로 인한 폭발 위험과 감전의 위험이 존재함
- 장마나 태풍시에 감전의 위험으로 운전자가 충전에 부담이 큼
- 무선충전 방식은 별도의 충전기 접촉 없이 급전라인에 주차하는 것으로만 충전이 가능하고 차량에 전력을 공급하는 케이블이 매설되기 때문에 감전의 위험이 없고, 사용자와 일정한 거리가 유지되기 때문에 문제 발생시에도 안전함



(유선충전)



(무선충전)

8. 무선충전의 장점

➤ 편의성

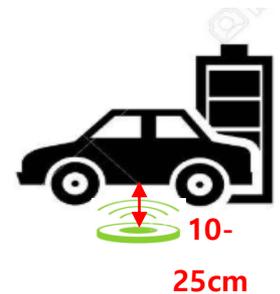
- 유선충전 방식은 사람이 매뉴얼에 의해 차량에 맞는 플러그를 선택하여 차량의 충전구에 꽂아 충전하고, 충전이 완료되면 다시 플러그를 제거한 후에 운행
- 무선충전 방식은 차량을 무선충전 라인에 차량을 주차하면 자동으로 충전이 되고, 완충 되면 그대로 차량을 운행
- 무선 충전방식의 편의성이 매우 높음



(유선충전)



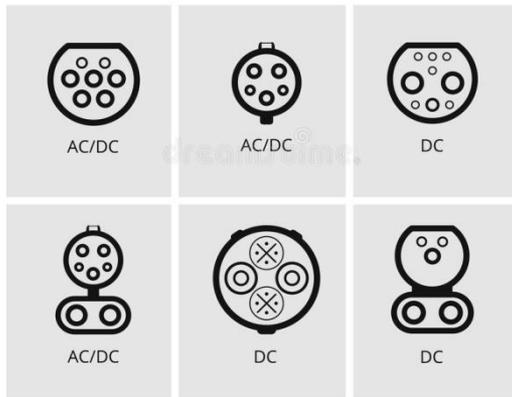
(무선충전)



8. 무선충전의 장점

➤ 호환성

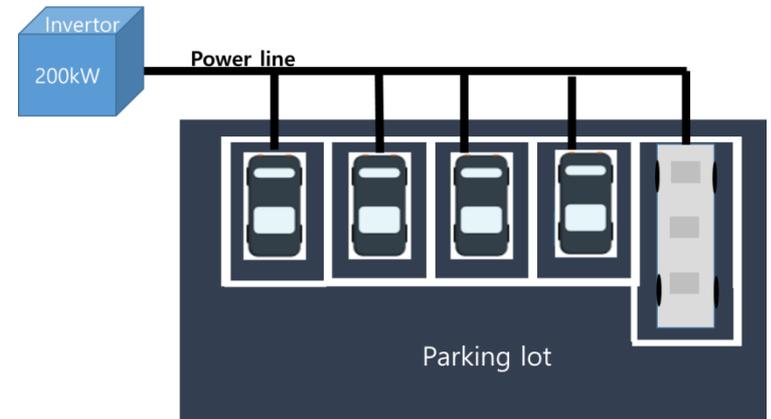
- 유선충전 방식은 차량 업체 또는 차량 종류에 따라서 개별 타입의 충전 플러그를 사용하고 있어, 국제표준이 확립된 현재에도 다른 타 방식의 충전기는 사용 못함
- 무선충전 방식은 집전 픽업을 통하여 충전을 하므로 차량의 종류와 충전 용량에 따라서 무선충전 픽업의 크기가 다를 뿐, 모든 무선충전 급전 인프라를 활용 가능



(유선충전)



k16954004 www.fotosearch.com



(무선충전)

8. 무선충전의 장점

➤ 확장성

- 유선충전 방식은 지정된 플러그로 되어 있는 전기차만 충전할 수 있고, 차량이 무인이나 자율로 운행되어도 충전시에는 충전 인력이 필요하여 타 분야 적용시 한계가 존재함
- 무선충전방식은 정차중 충전 뿐만 아니라 주행 중 충전도 가능하여 무인 및 자율차 충전에 적용이 원활하며, 자동차 뿐만 아니라 기차, 공항, 항만 등의 타 분야에서 적용이 가능하여 기술적 확장성이 매우 높음



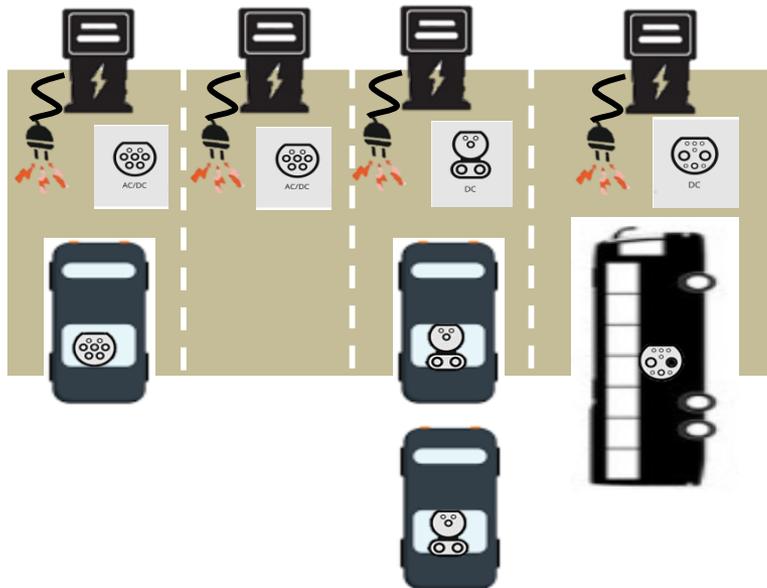
무선충전 시스템

Confidential

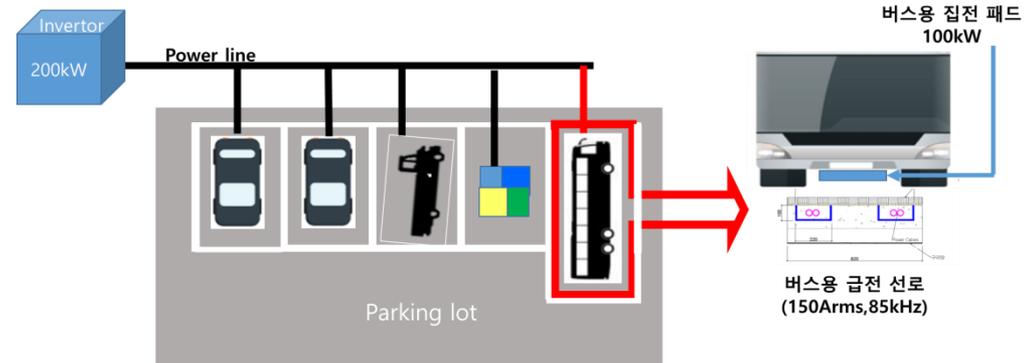
8. 무선충전의 장점

➤ 경제성

- 유선충전 방식은 지정된 플러그로 되어 있는 충전기만 사용할 수 있고 충전기 1대당 1대의 전기차만 충전 할 수 있기에 커넥터 형태에 따라서 별도의 충전기 설치가 필요함
- 무선충전방식은 호환성이 높으며, 인버터 1대 당 다수의 전기차를 충전할 수 있기 때문에 별도의 충전기 설치나 추가 설치가 필요 없어 경제적임
- 지속적으로 충방전이 이루어져 배터리 수명 증가되어 배터리 교환 횟수 감소 가능



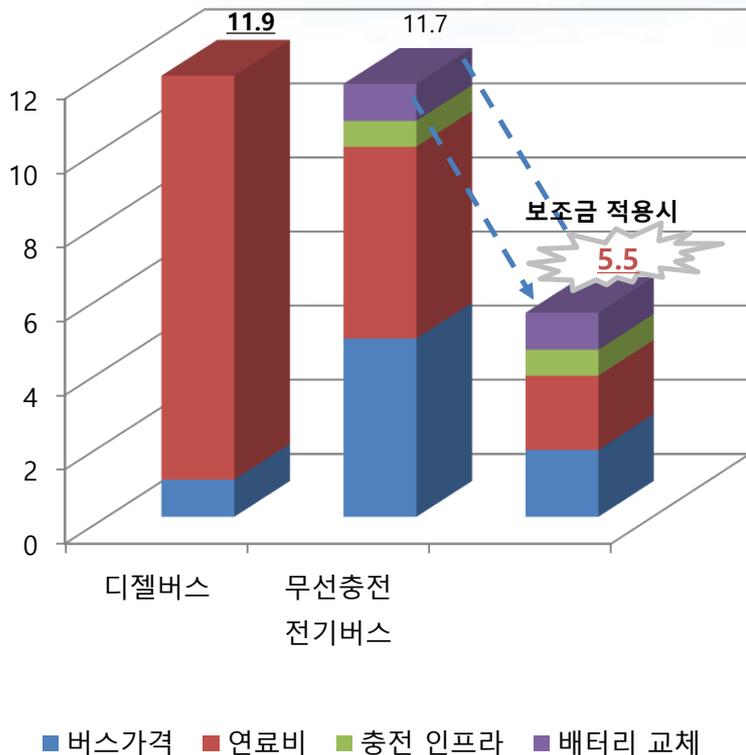
(유선충전 1 : 1 충전)



(무선충전 1 : N 충전)

8. 무선충전의 장점

Lifetime Cost (9yrs)



	디젤버스	무선충전 전기버스
버스가격	1억	4.8억 (보조금적용시 1.8억)
연료비	1,010만원/월	480만원/월 (보조금 적용시 185만원)
충전인프라		2.8억/4대 <i>인버터공유효과</i>
배터리교체		1번
추가 비용	+ 환경비용 배기가스 대기오염	???

* 구미시 운행 실제데이터 ('17년, 20kHz 100kW 무선전력전송)

9. 대중교통에 적용

➤ 대중교통에 무선충전 도입 단계

- 무선충전 방식 도입을 3개 단계로 구별하여 확대 적용 추진

1 단계

- 도입 차량 규모 : 소규모(회사별 10대 미만)
- 충전장소 : 차고지
- 공유효과 : 보통



2 단계

- 도입 차량 규모 : 중간규모(회사별 50대 이상)
- 충전장소 : 차고지, 버스 정류장
- 공유효과 : 다소 높음



3 단계

- 도입 차량 규모 : 대규모(회사별 100대 이상)
- 충전장소 : 차고지, 버스 정류장, 주행 중 충전
- 공유효과 : 매우 높음



9. 대중교통에 적용 - 미래 대중교통의 모습



[무선충전기술 적용 제안] : 제주도 친환경 공항 운송 시스템 안

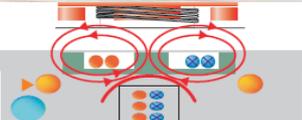
➤ 무선충전 공항 운송 시스템 적용 안

- 제주공항과 신규 공항을 대상으로 지상조업 차량 및 셔틀버스를 무선충전이 가능한 eGSE (electric Ground Support Equipment, 전동지상조업차량)화 추진
- 내연기관 대비 획기적인 운영비 절감, 친환경 물류 시스템 구축



3phase
440V/60Hz

급전
인버터



도로면

세그먼트

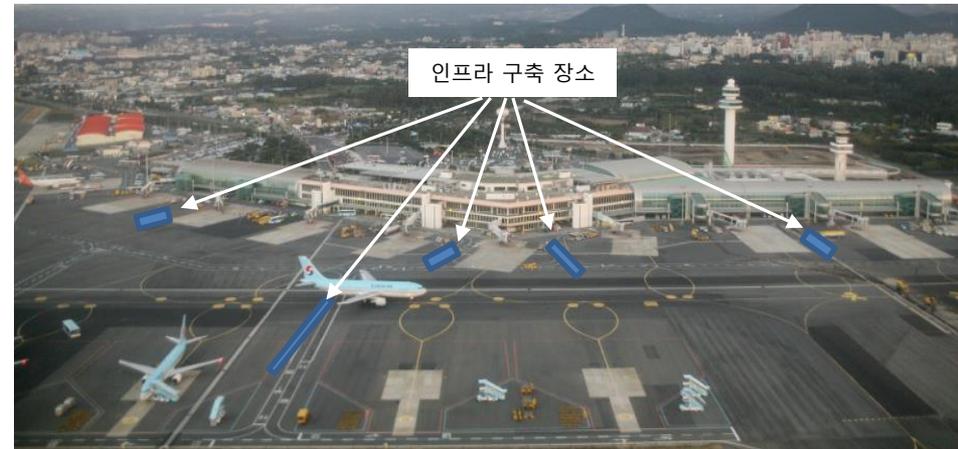
세그먼트

세그먼트

세그먼트

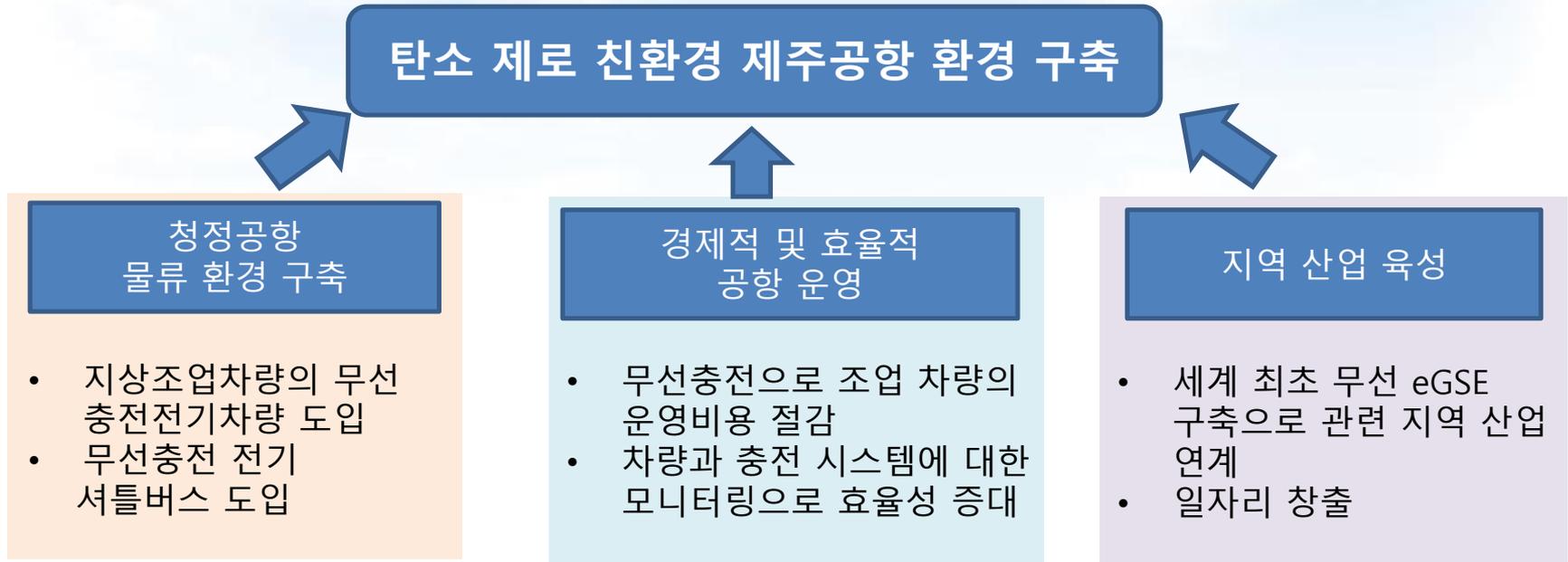
세그먼트

< 개념도 >



< 제주공항 예상 인프라 구축도 >

[무선충전기술 적용 제안] : 제주도 친환경 공항 운송 시스템 안



기대 효과

- 세계 최초 무선충전 친환경 물류 시스템 구축으로 첨단 신공항 이미지 확보
- 제주도 특유의 친환경 관광지라는 이미지 증대
- 무선충전 시스템 관련 산업 유치 및 운영으로 일자리 창출과 산업의 시너지 효과 예상
- 충전 시간과 공간이 필요 없어, 조업 차량의 운영 효율성 증대
- 저렴한 전기를 사용하여 내연기관 대비 획기적인 운영비 절감

[무선충전기술 적용 제안] : 제주도 친환경 대중교통시스템 도입안

➤ 스마트 대중교통 시스템 도입 안

- 전기버스 도입이 많은 서귀포 지역의 전기버스가 지속적으로 증가됨에 따라서 충전 공간 한정 문제와 전기버스 운영의 효율성 해결을 위하여 무선충전 시스템 적용을 통한 개선 사업 추진
- 무선충전 시스템 도입을 통하여 향후 자율주행 및 협력 주행 등 신기술 도입에 기여하고, 추가 도입된 전기택시 및 전기트럭 등과도 인프라 공유로 경제성 확보 가능



[무선충전기술 적용 제안] : 제주도 친환경 대중교통시스템 도입안



기대 효과

- 무선충전 인프라의 경우, 제주도 환경 특성상 발생하는 염수, 해풍에 의해 피해를 원천적 차단하여 관리 비용 절감
- 무선충전 인프라는 공유가 가능하기 때문에 전기버스 뿐만 아니라 향후 전기트럭, 전기 택시 및 승용차 등 도입시, 활용이 가능하여 충전시설의 경제성 및 활용성 향상
- 무선충전 기술은 지역 신산업 육성과 자율주행 및 협력 주행 등 4차산업 분야 기술 적용이 원활하기 때문에 향후 제주도의 미래형 스마트 도시 구성에 기여

[무선충전기술 적용 제안] : 제주 첨단과학기술단지 무선충전 셔틀버스 시범사업 안

▶ 제주 첨단과학기술단지 무선충전 셔틀버스 시범사업 안

- 첨단과학기술 단지 내에 무선충전 전기셔틀버스 및 공유형 무선충전 전기 승용차를 도입하고 주행 중 충전 시스템을 활용하여 자율주행 및 협력 주행 등 신기술 도입 자율주행 시범사업 추진
- 무선충전 전기차를 기반으로 하는 자율주행 기술과 드론을 이용한 스마트 도로 구축으로 향후 도래될 스마트 교통 혁신 기술 검증 추진

1차년도 (핵심 기술)	2차년도 (시스템 개발)	3차년도 (테스트베드 구축)	4차년도 (테스트베드 실증)
<ul style="list-style-type: none"> - 무선충전 전기버스 2대 투입 - 정차 중 충전 인프라 설치 	<ul style="list-style-type: none"> - 자율협력주행 무선충전 전기셔틀 2대 투입 - 주행 중 충전인프라 설치 	<ul style="list-style-type: none"> - 자율협력주행 무선충전 전기버스 2대, 전기 승용차(공유활용) 4대 투입 - 공유 승용차용 정차중 충전, 주행 중 충전 인프라 확대 및 개선 - 스마트 도로 인프라 설치 	<ul style="list-style-type: none"> - 주행 중 충전인프라 확대 및 최적화 - 디지털 도로 인프라 확대 및 최적화 - 논리도로 인프라 확대 및 최적화

[무선충전기술 적용 제안] : 제주 첨단과학기술단지 무선충전 셔틀 버스 시범사업 안

주요 추진 방향

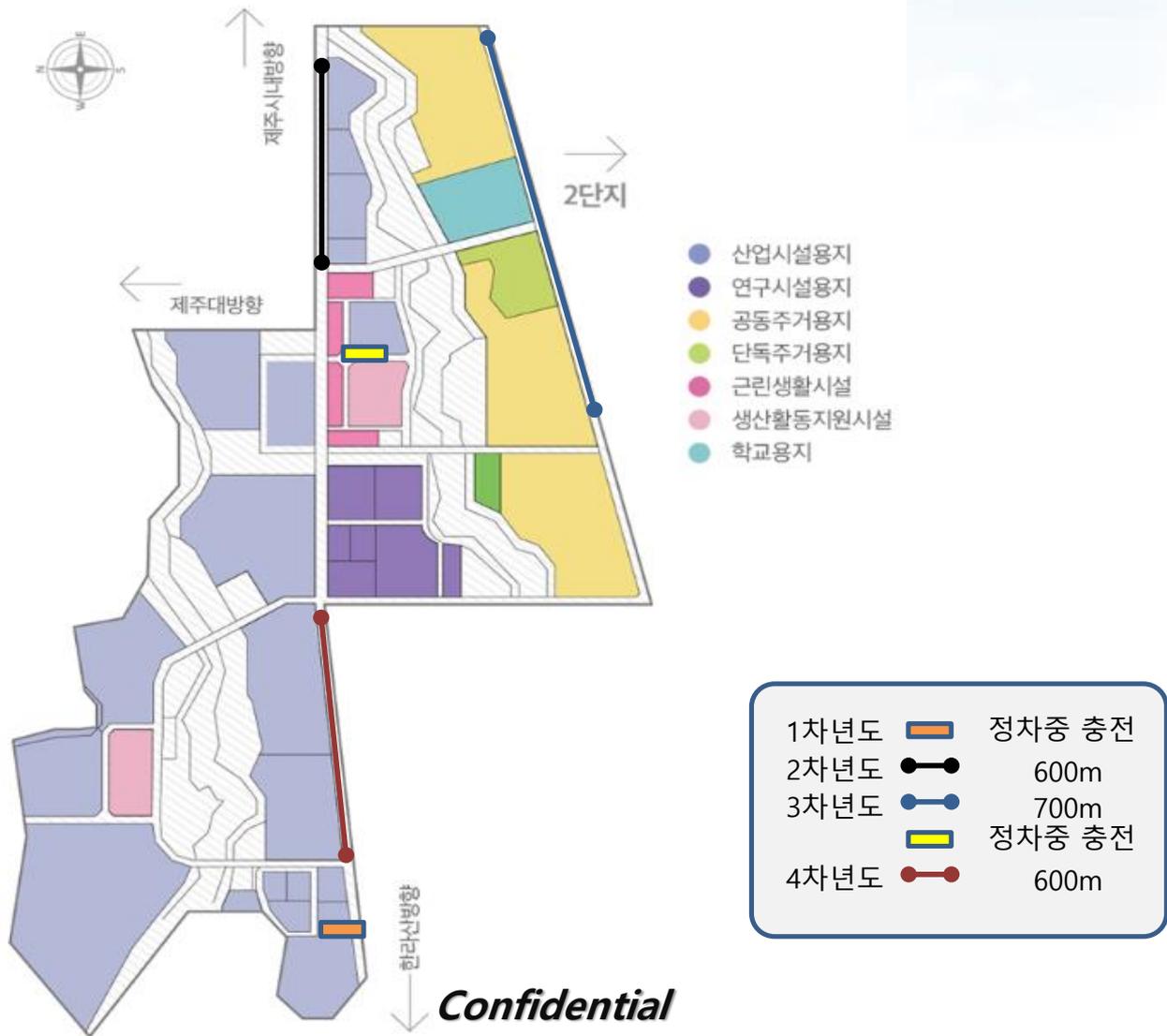
- 제주시와 한라산 방향을 가로지르는 제주 중심지에 위치하고 있는 첨단과학기술 국가 산업 단지를 중심으로 세계 최초의 스마트 전기도로 구축
- 스마트 교통플랫폼 구축 후, 다양한 세계적 경쟁력 있는 교통 서비스 창출
- 세계 최초의 무인 자율협력 주행셔틀, 무선충전 전기버스 및 무선충전 전기승용차 운행

기대 효과

- 무선충전전기버스 도입으로 인하여 미래형 첨단 산업 도시 인프라 조성 및 자연 친화형 선도 도시 선점
- ICT 융합기술이 적용된 무선충전전기버스 운행에 따른 첨단과학기술단지 이미지 증대
- 무선충전 인프라는 공유가 가능하기 때문에 향후 2단지 구축시 연계버스와 서귀포 및 주변 지역과 연계하는 전기버스 증차 혹은 입주 기업의 물류 수송을 위한 전기트럭, 전기택시 등의 도입시 공용 충전시설로 활용할 수 있어 경제성 확보 가능

[무선충전기술 적용 제안] : 제주 첨단과학기술단지 무선충전 셔틀 버스 시범사업 안

• 제주 첨단과학기술단지 스마트 도로 인프라 설치 계획



[무선충전기술 적용 제안] : 친환경 광역도로교통시스템 구축 안

▶ 제주도 무선충전 광역도로교통 시스템 구축 안

- 제주시와 서귀포 시를 연결하는 주 도로와 관광지를 연계하는 순환 도로에 주행중 및 정차장 무선충전 기술을 적용한 BRT 노선을 적용하여 광역 도로망 구축하여 원활한 친환경 광역 도로교통 시스템 구축
- 복잡한 도심 간 교통 혼잡 감소 가능 및 친환경 관광 교통 시스템 구축



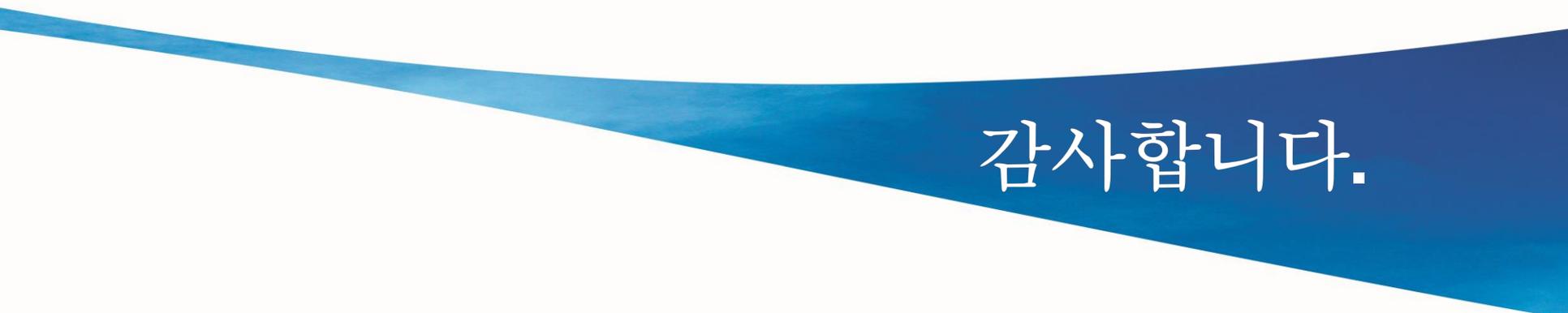
Confidential

[무선충전기술 적용 제안] : 친환경 광역도로교통시스템 구축 안



기대 효과

- 무선충전 전기차를 기반으로 친환경 제주 이미지 증대 및 제주도 순환 노선으로 관광객 증가 효과 예상
- 무선충전 인프라는 공유가 가능하기 때문에 트램 전기버스 뿐만 아니라 향후 전기트럭, 전기택시 및 승용차 등 도입시, 활용이 가능하여 충전시설의 경제성 및 활용성 향상
- 전기차 분야 뿐만 아니라 무선충전 기술을 관련 지역 기업과 협력 및 기술 공유가 가능하여 지역 신산업 육성 및 일자리 창출 가능



감사합니다.

Confidential