2018 기획연구과제

인천광역시 전기버스 운행체계 기초연구

한종학·강동윤

인천연구원
THE INCHEON INSTITUTE

연구책임

한 종 학 교통물류연구실 연구위원

연구참여

강 동 윤 교통물류연구실 초빙연구원

본 연구결과는 연구진의 견해로서
인천광역시의 정책과는 다를 수 있습니다.

연구요약

Ⅰ. 연구배경 및 목적

○ 전기자동차 보급확대는 미세먼지 저감 및 온실가스 감축 등 시민 생활환경뿐만 아니라 내연기관 자동차의 연관산업, 전기차 기반 교통물류 모빌리티(mobility) 서비스 산업 및 에너지 신산업 창출 등 다양한 산업경제 분야에도 유무형의 영향이 예상됨

- 주행거리가 길고, 온실가스 배출량이 많은 내연기관(경유 및 CNG) 버스를 전기버스로 교체할 경우 온실가스 배출 저감, 재생에너지 보급확대 정책을 견인할 것으로 예상
- 전기버스 차량과 관련된 배터리산업, 충전 인프라 산업, 충전서비스 산업 등의 새로운 연관산업이 발전하고, 전기버스 관련 기술개선과 차량 가격경쟁력 향상으로 시내버스 운송사업의 연료비용과 유지비용이 떨어져 인천시내버스 준공영제 예산 절감이 기대됨

○ 정부는「2030 에너지 신산업 확산전략」을 통해 2030년까지 시내버스를 전기버스로 전환한다는 목표를 제시하였음. 인천광역시는 2016년 8월 인천광역시 전기자동차 보급활성화 추진계획을 수립하였고, 시내버스노선에 전기버스 10대 시범 운영을 위해 2018년 4월 전기버스 제작사를 선정하였음

- 2018년 4월 인천광역시는 내연기관 자동차에 의한 배출가스를 줄이기 위해 2022년까지 친환경 전기자동차 1만 5천 대(전기버스 150대) 보급계획을 수립함[1)]

○ 이 연구는 인천광역시 시내버스 부문에서 전기버스 사업의 기술성, 경제성, 환경성 등을 파악하여 정책결정자의 전기버스 사업 불확실성을 줄이는 데 연구목적이 있음

- 인천광역시는 2022년까지 친환경 전기버스 도입계획은 수립되어 있으나, 전기버스 운행과 관련된 차량 및 전지팩 개발기술에 대한 체계적인 연구분석이 진행된 바 없고, 관련 정책부서의 전기버스 운행체계 배터리, 충전 인프라, 전력여건 등 기술검토 기초 자료와 실제 운행노선의 전기버스 도입 가능 대수 분석 등 버스운행여건 도입 타당성 검토는 사전 연구된 바 없음

1) 자료 : 인천광역시 전기자동차 보급활성화 추진계획(2018.4.)

- 또한 전기버스 운행과 관련된 차량, 전지팩(배터리), 충전기 등에 대한 기술표준, 전기버스 차량 보급 및 충전소 설치 재정지원 확대방안 등이 명확한 기준이 검토된 바 없음
- 이 연구는 전기에너지를 100% 동력원으로 사용하는 순수 전기버스를 기술범위로 하며, 수소연료를 이용한 연료전지 전기버스는 연구에서 제외하며, 각각의 에너지 동력원에 대한 비교분석은 연구 범위에서 제외함

Ⅱ. 전기버스 기술 수준 및 법제도 검토

전기버스 정의

○ 전기버스는「환경친화적 자동차 개발 및 보급촉진에 관한 법률」제2조 전기자동차의 정의를 만족하고,「자동차관리법」제3조 및 시행규칙 제2조에서 정의하는 승합자동차로 정의할 수 있음

- 「환경친화적 자동차의 개발 및 보급촉진에 관한 법률」제2조에서 전기자동차를 “전기 공급원으로부터 충전받은 전기에너지를 동력원으로 사용하는 자동차”로 정의함



〈그림 1〉 전기버스시스템의 구성요소

자료 : 국토교통과학기술진흥원(2016)

- 전기버스는 운행에 필요한 차량, 운영전략, 충전인프라, 정류장 등 모든 구성요소를 포함하는 개념으로, 운행여건에 따라 모든 요소가 유기적으로 연계되는 하나의 전기버스시스템으로 규정할 수 있음

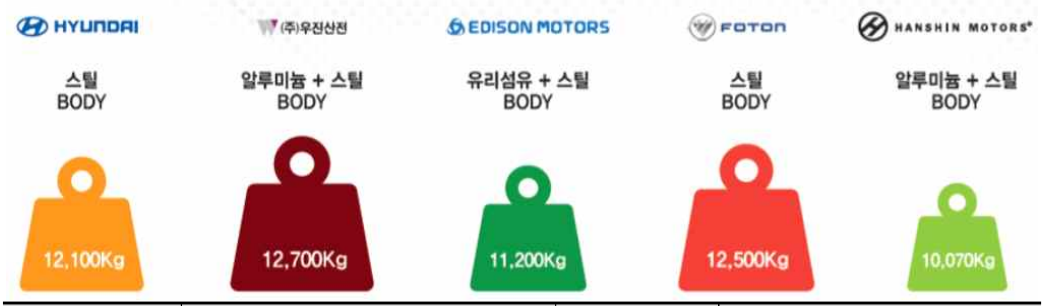
- 환경부(ev.or.kr) 인증 전기버스 차량(2018.10. 기준)은 16대임. 대형 전기버스가 14대이고, 중형 전기버스가 2대임. 대형 전기버스는 30인, 41인, 45인, 48인 승차 인원이 가능하며, 중형 전기버스는 15인, 18인 승차 인원이 가능함

전기버스 차체(body) 소재

○ 전기버스 차체 소재는 스틸, 알루미늄+스틸, 유리섬유+스틸 등 다양함. 차체 소재에 따라 차량 중량이 다르고, 전기버스 연비에 영향을 미침

- 알루미늄은 대형버스 기준 1톤을 감량할 수 있음. 대신 개발비와 제작단가가 높음. 차체 재질에 따라 스틸의 경우 천장에 배터리를 장착하고, 알루미늄은 바닥이나 차량 후면부에 배치함

〈표 1〉 전기버스 차체(body) 소재별 특성

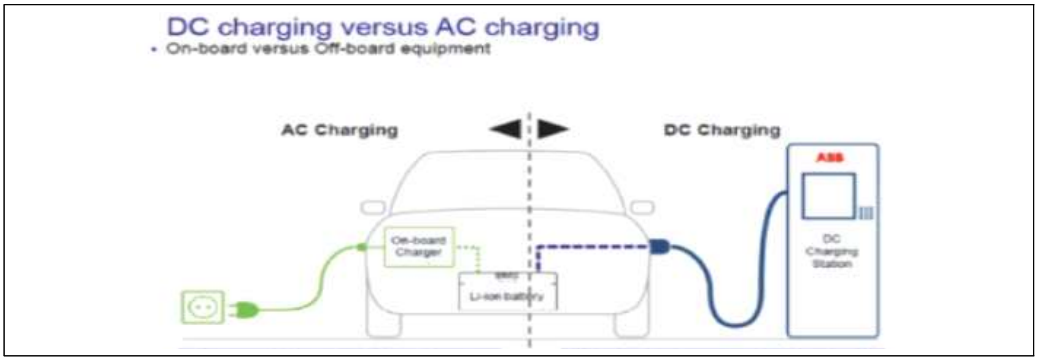


구분	알루미늄	스틸	화이버글라스
중량	가벼움, 대형버스 기준 1톤 감량 (전체면적의 약 70% 사용)	무거움	가벼움 (전체면적의 약 23% 사용)
상부하중	최대 허용 하중 1.8톤 이내	관계없음	관계없음(바디부분 사용 불가)
개발비	고비용 구조(금형개발 요구)	저비용 구조	저비용 구조
제작단가	상	중	하
내구성 (내부식성)	상	하	중

자료 : 김점산 외(2018), 『수도권 전기버스 도입 확대 방안(자문회의자료, 2018.9.20.)』,경기연구원.

전기버스 충전기 및 충전인프라 기술

○ 전기버스 충전기는 전압의 출력방식에 따라 급속충전용 직류 충전(DC charging)과 완속충전용 교류 충전(AC charging)방식으로 구분함



〈그림 2〉 교류와 직류 충전방식

자료 : 김인택(2016)

〈표 2〉 전기자동차 충전기 커넥터(Outlet)

구분	AC단상5핀 (완속)	AC3상7핀 (완속/급속)	DC차데모 (급속)	DC콤보1 (완속/급속)	DC콤보2 (완속/급속)
충전기 커넥터					
특징		·급속/완속 충전구 일체형 전력망으로 효율적 관리 가능	급속전용 전파간섭 작음 (유선통신)	급속/완속 충전기 커넥터 일체형	
				미국표준 국내 전기차 표준	유럽표준
적용 주요국가	미국, 일본, 한국	유럽, 한국	일본, 한국	미국, 유럽, 한국	미국, 유럽, 한국

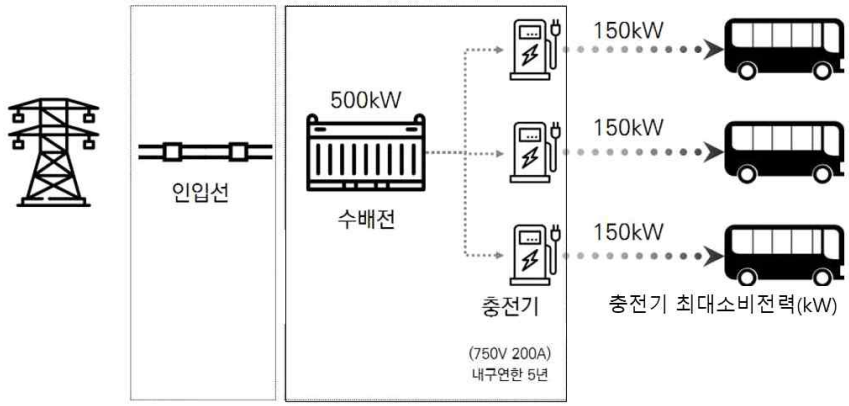
자료 : 김점산 외(2018), 재작성

- 국가기술표준원은 2017년 12월에 전기차 급속 충전방식을 '콤보1'으로 권장하는 내용의 한국산업규격(KS) 개정을 고시했으나, 전기버스 충전기 국내 표준은 정해지지 않았음
- 중국 방식(GB/T)을 채택한 업체는 5개사, 유럽 방식 '콤보 타입2'는 1개사, 일본 '차데모(CHAdeMO)'는 2개사로 확인됨. GB/T는 비야디(BYD), 포톤, 중통, 하이거 등 중국 전기버스 업체 4곳과 대우자일이 채택했음. 콤보 타입2는 유일하게 현대차만 사용함

○ 전기버스 충전인프라는 전력공급설비, 충전기, 인터페이스 및 정보시스템으로 구성됨

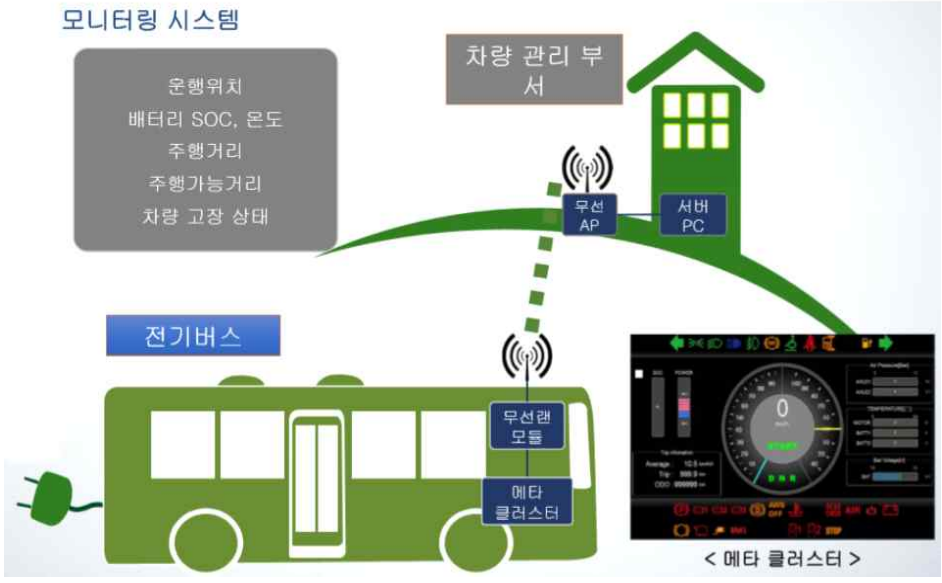
- 전력공급설비는 전기차에 전원을 공급하기 위한 전기설비임. 전력량계로 인입구 배선, 분전반, 배선용 차단기 등이 포함됨. 전기버스 급속충전기는 150kW(750V/200A)수준이 가장 표준화된 전원임. 충전기 최대소비전력을 500kW(1,000V/500A)수준까지 개발 가능함. 급속충전기 최대소비전력이 클수록 배터리 수명이 짧아질수 있는 기술문제 개선 필요

- 충전기의 전력공급은 한국전력 수전방식이 주로 적용되고, 태양광 발전시설, 소각시설의 폐열을 이용한 발전시설 등에서 전력을 공급받는 신재생에너지 활용방식도 가능함
- 스마트충전기술은 통합운영센터(TOC : Total Operating Center)와 전기버스간 무선통신을 통해 실시간 배터리 상태를 관리하고, 충전시기, 운행노선의 배차간격 및 투입차량대수 등을 결정함. 이를 통해 운행의 효율과 안전성 향상을 도모함



〈그림 3〉 전기버스 충전인프라 구성도

자료 : 유경상 외(2018), 재구성



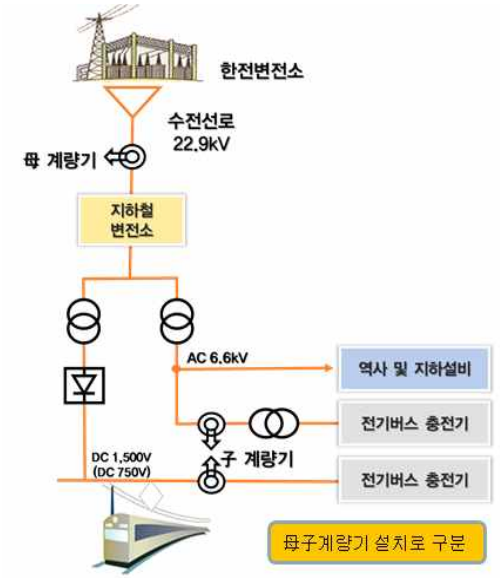
〈그림 4〉 전기버스 배터리 상태 모니터링 시스템

자료 : 서울특별시(2018)

지하철 전력망을 활용한 '경로중 충전방식' 충전기설치 가능 대수

○ 인천지하철 전력망을 이용한 전기버스 충전인프라 설치를 위해 지하철 변전소로 수전되는 전력량을 계량을 위한 모(母)계량기와 전기버스 충전기 전력량을 계량하는 자(子)계량기 설치를 통해 가능함

- 전기버스 충전기 설치 및 전력공사 등 인프라 설치비 필요, 300kW급 급속충전기 기준 충전기 약 8,000만 원, 전기공사 및 인프라 설치비 약 8,000만 원 예상됨



설비명	예상가격(천원)	비고
LBS반	8,000	
MOF반	7,000	
VCB/PT/CT	16,000	
TR반	28,000	
ACB반	8,000	
MCCB반	7,000	
정류기반	7,000	
충전설비	80,000	300kW급/1대
전기공사	35,000	계통연계 포함
합계	196,000	

1. 설비용량은 300kW급 충전설비 3대를 설치하는 용량
2. 지하철변전소→버스충전소 배전선로(가공/지중) 제외

〈그림 5〉 인천지하철 전력망을 이용한 전기버스 충전인프라 개념

자료 : 우진산전(2018)

○ 2017년 연중 최대전력 피크값을 기준으로 인천지하철 1호선(DC1500V)과 인천지하철 2호선(DC750V) 급전망을 이용하여 전기버스 급속충전기 및 완속충전기의 최소 설치 가능 대수를 산출

- 인천지하철 1호선은 300kW급 급속충전기는 143대, 200kW급 급속충전기는 217대 설치 가능하고, 인천지하철2호선은 300kW급 급속충전기는 90대, 200kW급 급속충전기는 137대 설치 가능
- 지하철 여유전력을 활용한 충전은 '경로중 충전방식'의 전력공급방식으로 활용가능함

〈표 3〉 인천지하철 1호선 DC 1,500V를 이용한 충전기 설치가능 대수

구 분		1호선							
		차량 기지	작전	부평 삼거리	신연수	동춘	테크노 파크	센트럴 파크	계
변압기용량[kW]		9,600	9,600	9,600	9,600	9,600	9,600	9,600	
최고피크치[kW]		3,062	3,725	4,954	4,474	2,141	2,604	2,148	-
충전기에 공급가능한 여유전력[kW]		6,538	5,875	4,646	5,126	7,459	6,996	7,452	
급속충전기 설치가능 대수(대)	300kW	21	19	15	17	24	23	24	143
	200kW	32	29	23	25	37	34	37	217
	100kW	65	58	46	51	74	69	74	437

〈표 4〉 인천지하철 2호선 DC 750V를 이용한 충전기 설치가능 대수

구 분		2호선						
		주박 기지	왕길	완정	검바위	서구청	가정중앙 시장	인천 가좌
변압기용량[kW]		4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
최고피크치[kW]		566	1,718	1,766	1,541	1,706	2,006	2,304
충전기에 공급가능한 여유전력[kW]		3,434	2,282	2,234	2,459	2,294	1,994	1,696
급속충전기 설치가능 대수(대)	300kW	11	7	7	8	7	6	5
	200kW	17	11	11	12	11	9	8
	100kW	34	22	22	24	22	19	16

구 분		주안 국가산단	시민 공원	석천 사거리	남동 구청	차량 기지	계
변압기용량[kW]		4,000	4,000	4,000	4,000	4,800	-
최고피크치[kW]		2,064	1,824	2,486	1,488	660	-
충전기에 공급가능한 여유전력[kW]		1,936	2,176	1,514	2,512	4,140	-
급속충전기 설치가능 대수(대)	300kW	6	7	5	8	13	90
	200kW	9	10	7	12	20	137
	100kW	19	21	15	25	41	280

2차 전지 종류 및 리튬이온계 2차 전지 특징

○ 충·방전을 반복하는 전기에너지를 전달하는 2차 전지는 구성 재료와 전기화학적 특성에 따라 니켈카드뮴전지(Ni-Cd), 니켈수소 전지(Ni-MH), 리튬이온(Li-Ion) 2차 전지, 리튬이온 폴리머 전지 등이 2차 전지시장의 대부분을 차지하고 있음

- 리튬이온계 2차 전지는 사이즈 대비 용량이 크고, 리튬이온폴리머전지는 리튬이온전지의 고용량화, 슬림화와 자유로운 형상을 가질 수 있음. 메모리 현상이 없고, 배터리 수명이 길어 전기버스 배터리로 활용됨

〈표 5〉 2차전지 종류

항목		니켈카드뮴전지	니켈수소전지	리튬계 2차전지
전압(V)		1.2	1.2	3.7
에너지 밀도	부피(Wh/l)	150~170	180~220	330~400
	무게(Wh/kg)	50~60	60~80	160~200
자기방전(%)		25	20~25	0.1
메모리효과		있음	있음	없음
기타 특성	가격	○	○	△
	안전성	○	○	△
	박형/대면적화	X	X	○
	온도환경	△	△	○
	기타	환경문제(cd)	고율방전 양호	소형, 경량화

자료 : ㈜지엘비이(GLBE), “ 이차전지 종류”, http://www.glbe.co.kr/page/page6

전기자동차 충전사업 모델

○ 충전서비스사업은 충전기를 설치할 수 있는 부지를 확보한 개인, 민간사업자(법인), 광역 및 기초자치단체에 따라 민영, 공영, 개인(비공용)으로 구분함

- 전기버스 충전서비스 사업의 경우, 버스운수업체내 차고지에서 충전서비스를 하고 있으며, 충전서비스를 위한 모회사 또는 자회사를 운영하고 있음

〈표 6〉 전기자동차 충전사업 모델

충전 사업모델	부지(장소)	충전기 설치 (지원금 신청자)	충전서비스	지원금(보조금)
민영	주유소,프랜차이즈, 주차장 등	개인, 민간사업자(법인)	공용 개방	급속충전기1기당 설치비용 50%(최대20백만원이내) : 충전기구입, 공사비, 안내표지, 보호덮개 등 포함(부가세제외) 공용충전기2년 의무유지
	공동주택,사업장, 대규모주차장	공동주택,사업자 소유자 및 주차장 운영주체	완전개방 부분개방	완속충전기 완전개방 1기 400만원 부분개방 1기 320만원
공영	공공시설(시군구청, 읍면동사무소,지방공기업사무소 등)	광역 및 기초자치단체	공용 개방 (1기당 주차면2개)	급속충전기 최소2기 이상 설치, 1기당 국고보조금 35백만원 (국비70:지방비30)
개인	거주지 또는 직장	개인	비공용	완속충전기 1기 150만원

자료 : 한국에너지공단(2017), 환경부(2018), 환경부(2018) 관련 지침자료 재작성

전기버스 법제도 검토

○ 전기버스 차량 구입 보조금

- 환경부는 CNG버스 차량 구입보조금으로 환경부와 지자체 50:50의 매칭펀드 지원
- 전기버스는 차량크기에 따라 차등지원(대형 : 1억 원, 중형 : 6,000만원)
- 국토교통부에서 초저상버스 구입보조금으로 대당 1억 원, 50:50의 매칭 펀드지원

〈표 7〉 국내 버스차량 구입비 지원현황 (2018년)

구분		주요내용	소관부처
CNG 버스	일반[1]	- 대형(배기량 11,000cc 이상) : 1,200만원/대 - 중형(배기량 11,000cc 미만) : 700만원/대 ※ 국비 50% 지방비 50%	환경부[2]
	초저상	- 1,200만원/대(환경부) - CNG 일반버스와 가격차 보조(국토교통부) ※ 서울시 40%, 광역시 50%, 도지역 60% 지원	환경부 국토교통부
CNG 하이브리드		- CNG하이브리드 : 6,000만원 ※ 초저상버스의 경우 추가지원(국토교통부)	환경부 (국토교통부)
전기 버스	대형	- 1,000만원/대(환경부)	환경부[3]
	중형	- 6,000만원/대(환경부)	

자료 : 1)환경부(2018),『천연가스자동차 보급사업 보조금 업무처리지침』
2)환경부(2018),『'18 전기자동차 보급 및 충전인프라 구축사업 보조금 업무처리지침』
주 : 일반 CNG버스 구매보조금은 특·광역시를 제외한 시·군에 한해 지원

○ 시내버스 차량 세금지원

- 전기버스차량 구입 취득세 감면 적용 : 일반버스, CNG버스에 기 적용
- 전기버스 차량에 대한 부가가치세, 환경개선부담금 면제를 기 시행 중

〈표 8〉 국내 버스차량 세금지원 관련 법제도

구분	주요내용
지방세특례제한법	- 제70조(운송사업 지원을 위한 감면) · 일반버스 : 취득세 100분의 50 감면 · CNG버스 : 취득세 면세
조세특례제한법	- 제106조(부가가치세의 면세 등) · CNG버스 : 면세 · 전기버스 : 면세
환경개선비용부담법	- 제9조(환경개선부담의 부과·징수) · 배출가스가 현저히 적게 배출되는 자동차의 경우 면제

자료 : 산업통상자원부(2016), 『공공운수분야 전기차신산업 활성화 전략연구』

○ 전기버스 급속충전기 구축사업 보조금 지원

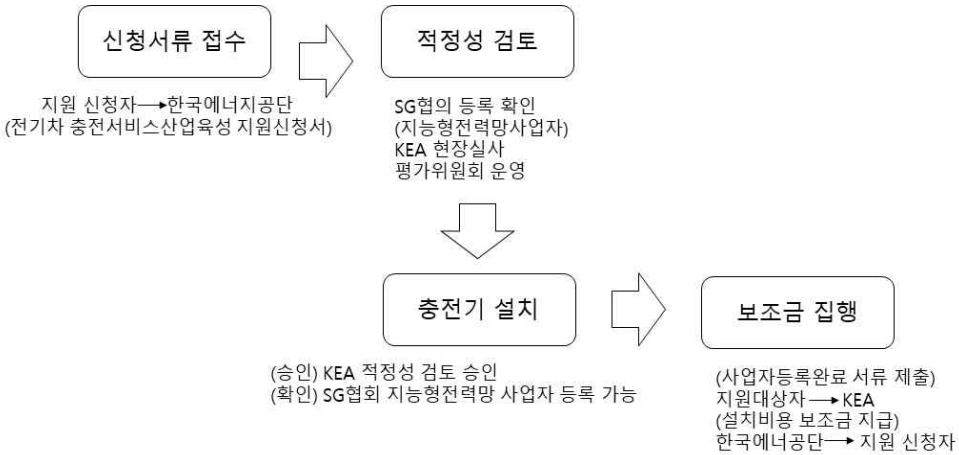
- 공공부문 보조금 지원사업은 환경부 「전기자동차보급 및 충전인프라 구축사업 보조금 업무처리 지침」에 근거하여 광역 및 기초지방자치단체에 충전기 1기당 최대 3,500만원(국비70%, 지방비30%) 지원가능함



〈그림 6〉 급속충전기 보조금 집행절차

- 민간부문 보조금 지원사업은 한국에너지공단 「전기차 중전서비스 산업 육성사업 운영지침」에 따라 전기차 민간충전사업자에게 충전기 구축비용의 일부(급속충전기 1기당 설치비용*의 50% 환급(최대 20백만원 이내)

* 충전기 구입, 공사비, 안내표지, 보호덮개 등을 포함, 부가가치세 제외



〈그림 7〉 민간충전사업자 충전기 설치 보조금 집행 절차

○ 전기버스 충전서비스 사업 육성 및 활성화 관련 법제도 검토

- 전기버스 충전시설의 도로점용료 2분의 1감액. 경로 중 충전방식을 위해 운행노선 중 전기충전 인프라 구축시 점용료 감면이 가능함
- 노선버스 기종점 회차지 인근 공영주차장내 급속충전시설 설치시 주차장내 친환경 전기버스 전용주차공간 설치 가능하고, 주유소내 전기버스 충전시설 설치 가능

- 전기버스 충전서비스 사업과 관련하여 소규모 전력중개사업자의 진입장벽을 낮춰줌으로써 전기버스 충전서비스 요금 경쟁이 가능함
- 공공부문 보조금 지원사업은 환경부 「전기자동차보급 및 충전인프라 구축사업 보조금 업무처리 지침」에 근거하여 광역 및 기초지방자치단체에 충전기 1기당 최대
- 개발제한 구역내 전기버스 차고지내 충전시설 설치 가능

〈표 9〉 전기자동차 충전서비스사업 육성 및 활성화 관련 법제도

시행령	내용
도로법 시행령	• 충전인프라 확충 지원(2017.11.28.) - 수소차·전기차 충전 인프라 구축을 지원하기 위한 방안으로 충전시설을 도로변 설치를 허용하고, 해당 시설물에 대한 도로점용료를 50% 감면조치
주차장법 시행령	• 환경친화적 자동차 전용주차구획 설치비율(2016.7.20.) - 전기차 등 환경친화적 자동차의 보급촉진을 위하여, 택지개발사업 등 단지조성 사업에 따라 조성된 노외주차장에 경형자동차와 환경친화적 자동차 전용주차구획을 10% 이상 설치하도록 규정 * 기존에는 경형자동차 전용주차구획만 5% 이상 설치하도록 규정 * 경차와 친환경차 전용주차구획의 구체적인 비중은 지역별 경차와 친환경차 보급수준 등을 고려해 관할 지방자치단체에서 결정
전기사업법	• 소규모 전력 중개, 전기차 충전사업 신설(2018.12.13. 시행) - 1MW이하 신재생에너지, 에너지저장장치, 전기차에서 생산 또는 저장된 전기를 모아 전력시장에서 거래하는 전력중개사업이 시행 - 현재 지능형전력망법(지능형전력망의 구축 및 이용촉진에 관한 법률)에 근거해 사업 중인 전기자동차 충전사업을 전기차에 유상으로 전기를 공급하는 사업으로 정의 · 신설, 전기사업법상으로도 사업자의 법적 지위를 명료화
위험물 안전관리법 시행규칙	• 주유소 전기차 충전설비기준 완화(2017.7.26.) - 주유소의 전기자동차 충전설비 기준개선 : 일정거리 이상 이격한 경우 방폭성능이 없어도 충전설비 설치 가능 - 위험물안전관리자 대리자 자격요건 현실화 : 일정수준의 안전관리교육 수료만으로 대리자의 지정이 가능
개발제한구역의 지정 및 관리에 관한 특별조치법	• 개발제한구역 허가대상 간축물 또는 공작물의 종류(시행령제13조제1항) - 개발제한구역을 통과하는 선형시설 및 필수시설 : 버스차고지 및 그 부대시설(자동차 전기공급시설)을 설치할 수 있음 - 자동차정비시설 중 '도장시설 및 건조시설'은 개발제한구역내 설치불가

Ⅲ. 국내·외 전기버스 사업 추진사례

국내 전기버스 추진사례

○ 미세먼지 경감과 유지비용(연료비,정비비) 절감을 위해 도시부 대중교통수단으로 전기버스 도입 검토. 국내에서는 2010년 12월 서울 남산에서 최초로 운행을 시작하였음

- 2018년말까지 운행예정 대수를 포함하여 국내 전기버스 보급대수는 175대 수준으로 파악됨. 전기버스 운행대수가 가장 많은 운수회사는 제주 동서교통과 경기 김포 선진버스에서 각각 59대와 76대로 파악됨

〈표 10〉 국내 전기버스 보급 대수

구분	경기	제주	서울	부산	구미	포항	세종	계
대수	89	59	10	10	4	2	1	175

주 1) 2018년말 까지 운행예정 대수 포함
2) 배터리교환형 등 전기버스 포함

〈표 11〉 경기 김포 선진버스 전기버스 추진사례

구분		내용	사진
제조사(모델명)		한신자동차(엔비온)	
차량 특성	차량가격	3억 2천만원 (저상버스 : 1억원, 전기버스1억원 자부담 1억2천만원)	
	차량제원	차체소재 : 알루미늄(좌석 19개)	
배터리 특성	배터리용량	117.6kWh	
	충전방법	회당 급속충전(1일 5-6회/대 충전) 1회 약 23분 충전	
충전기 특성	충전기	300kW급 급속충전기(5기)	
		충전기 : 9.3천만원/대 설비비 : 8천만원/대	
	충전요금	500원/kW(감가상각 3년)	
	운영	선진네트웍스(선진버스 모회사)	
기타	차량관리	한신자동차 관리직원 상주	

자료 : 김점산 외(2018), 재구성

〈표 12〉 제주 동서교통 전기버스 추진사례

구분		내용	사진
제조사(모델명)		에디스모터스(e-FIBIRD)	
차량 특성	차량가격	4억6천만원 (저상버스1억원, 전기버스1억원 지방비 1억5천만원, 자부담 1억1천만원)	
	차량제원	차체소재 : 알루미늄+스틸 좌석수 24개	
배터리 특성	배터리용량	163kWh	
	충전방법	매회 30분 충전	
충전기 특성	충전기	200kW급(5대), 100kW(6대)	
		계량기+한전불입금+전기설치비용+캐노피 등 기타 설치비용 2-3천만원 추가	
		충전기(200kW) : 8천만원대, 설비비 : 2천만원/대	
	충전요금	498원/kWh	
	운영	동서교통 자회사(위탁운영, 감가상각 5년)	
기타	차량관리	에디스모터스 직원 2명 파견	
	기사만족도	피로강도 적음	



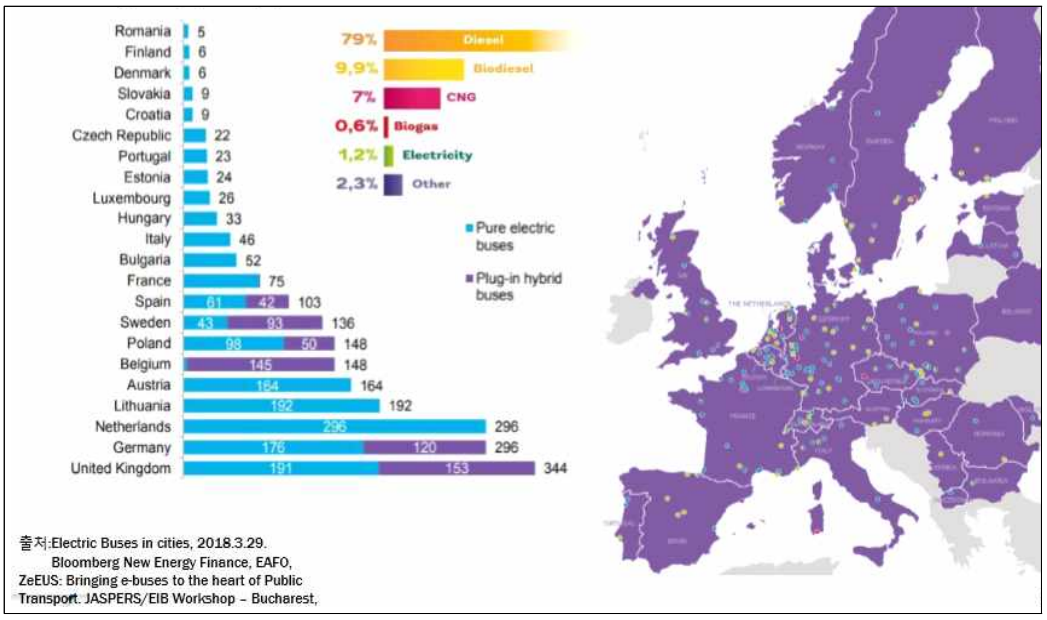


자료 : 김점산 외(2018), 재구성

유럽 전기버스 사업 추진사례

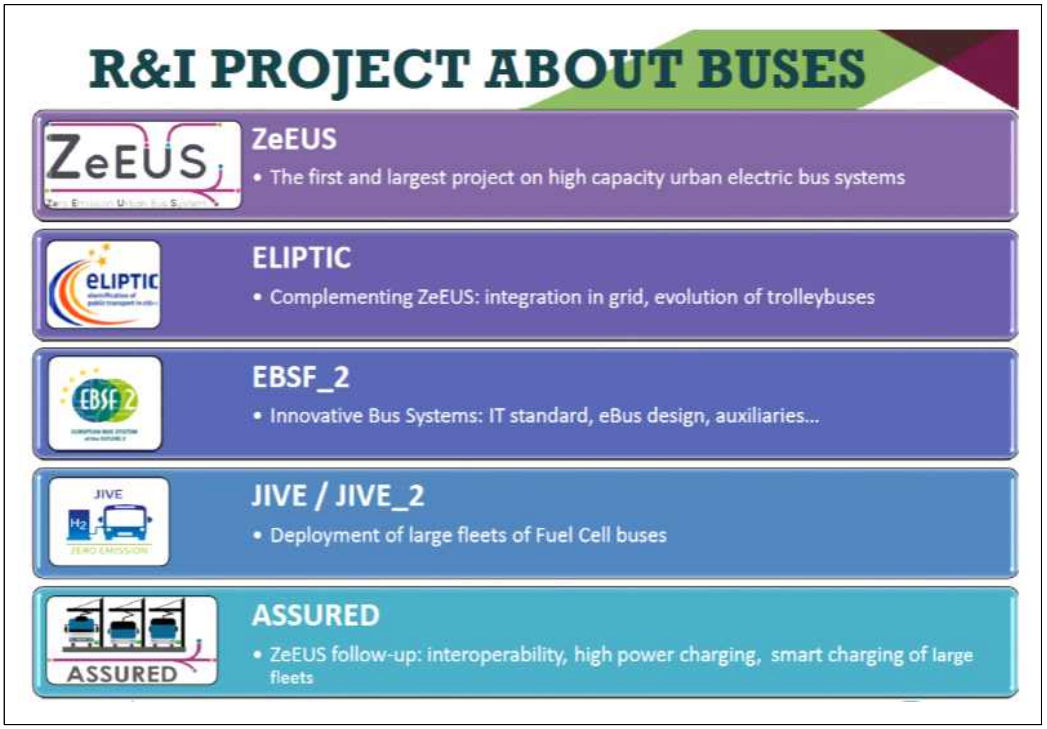
○ 유럽의 순수 전기버스 보급대수는 2017년 기준 1,560대 수준이며, 전체 유럽 버스대수의 1.2%를 차지함. 영국은 ULEV(Ultra Low Emission Vehicles)정책을 통해 유럽나라 중 가장 많이 전기버스가 보급되었음

- 유럽은 전기버스 차량은 완성차 양산체제가 구축되어 있지 않는데, 볼보(Volvo)와 비야비(BYD)는 각각 비야디의 배터리시스템과 ADL차체 제작사와 협업하는 방식으로 전기버스를 공급하고 있음
- 유럽은 2002년부터 수소연료전지 버스 및 전기버스에 대한 기술개발과 실증사업을 진행하고 있으며, 대규모 사용화 시범사업을 추진중임
- 전기버스 보급사업은 2018-2020년 동안 유럽연합의 연구 및 혁신 기금 지원 계획인 Horizon 2020프로그램을 통해 전기버스 보급을 위해 ZeEUS(제우스), JIVE(자이브), ASSURED(어슈어드) 등 다양한 연구혁신 프로젝트(R&I PROJRCT)를 진행 중임



〈그림 8〉 유럽국가별 전기버스 보급 현황

자료 : 박지영(2018)



〈그림 9〉 유럽의 전기버스 보급사업 지원 프로젝트

자료 : 박지영(2018)

미국 전기버스 사업 추진사례

○ 미국의 전기버스는 2017년 기준 351대가 운행 중이고, King County에서 미국내 가장 큰 규모로 전기버스 81대가 운행 중임. King County Metro는 연방정부 TIGGER프로그램의 지원을 받아 프로테라사의 40ft급속충전방식 전기버스를 도입하였음. 이 전기버스의 배터리 보증기간은 12년임

Table 1-Timeline of zero-emission transit fleets across U.S.

Agency	Buses	2002	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
BATTERY ELECTRIC BUSES																	
Antelope Valley Transit Authority (CA)	41													■	■	■	■
Capital District Transportation Authority (NY)	1															■	■
Central Contra Costa Transit Authority (CA)	8															■	■
Chicago Transit Authority (IL)	6													■	■	■	■
Clemson Area Transit (SC)	10													■	■	■	■
Dallas Area Rapid Transit (TX)	7														■	■	■
Foothill Transit (CA)	31									■	■	■	■	■	■	■	■
Indianapolis Public Transportation Corporation (IN)	21												■	■	■	■	■
King County Metro (WA)	84															■	■
Lexington-Fayette Urban County (KY)	6														■	■	■
Los Angeles County Transportation Authority (CA)	5															■	■
Pioneer Valley Transit Authority (MA)	3															■	■
Regional Transportation Commission Washoe (NV)	4									■	■	■	■	■	■	■	■
Santa Barbara MTD (CA)	30	Active since 1991															
Shreveport Area Transit (LA)	5															■	■
Southern Pennsylvania Transportation Authority (PA)	25														■	■	■
Springfield Area Transit Company (MA)	3															■	■
Star Metro Transit (FL)	6									■	■	■	■	■	■	■	■
Stanford University (CA)	39									■	■	■	■	■	■	■	■
University of California Los Angeles (CA)	2															■	■
Utah Transit Authority (UT)	6														■	■	■
VIA Metropolitan Transit (TX)	3															■	■
Washington Metropolitan Area Transit Authority (DC)	1														■	■	■
Worcester Regional Transit Authority (MA)	7															■	■

〈그림 10〉 미국 전기버스 도입지역 차량대수

자료 : 박지영(2018)



〈그림 11〉 King County 전기버스 경로중 충전방식

자료 : 박지영(2018)

- 미국 교통부(U.S. DOT)는 온실가스와 에너지절감을 위한 TIGGER프로그램(Transsit Investments for Greenhouses Gas and Energy Reduction)을 추진하고, 미국 에너지부(U.S. DOE)는 국가연료전지버스 프로그램을 추진중에 있음
- 연방대중교통국(FTA)은 2013년 이후 LoNo program(Low or No Emission Bus Program)을 추진하면서 전기버스 관련 사업이 증가하고 있음. LoNo program은 신기술버스를 도입하는 도시에 버스 구매, 임대자금, 충전설비 등을 지원하며 2020년까지 매년 5천 5백만 달러를 지원함. 사업 추진 형태는 연방정부 차원의 공모사업을 통해 지역별 사업을 선정하고, 차량구매 뿐만 아니라 인프라 구축 등 전체 사업비의 최대 85%까지 지원하여 기술 실증을 함께 추진하고 있음

중국 전기버스 사업 추진사례

○ 중국 전기버스는 2008년~2009년에 걸쳐 시작하였는데, 최초 13개 도시에서 현재 25개 도시로 확대 도입되었음. 선전(shenzhen, 深圳)시의 전기차 도입은 중앙정부와 과학기술부 지원으로 2009년부터 추진하였음. 선전시가 도입한 계기는 차량보유대수가 많고, 환경오염대문에 시작하였음. 선전시 도시특성이 개혁개방의 창구라는 도시이미지에 부합하였음. 선전도시발전계획(국가발전개혁위원회)에서 수립

〈표 13〉 중국 선전시 시기별 전기버스 주요 정책 내용

시기	주요내용
(2009년 ~2012년)	• 본격적으로 전기차 도입을 시작 • 친환경자동차의 기술표준을 제시하고, 개인의 전기자동차 구입비 지원 실시 • 26회 세계대학생대회에 2,011대의 전기자동차를 투입해서 긍정적인 효과 • 2013년에는 국가적으로 제1차 전기자동차 투입도시로 인정 • 2012년말 기준 전기차는 공공버스(하이브리드) 3,000대, 택시 800대, 공용차 200대, 자가용 1,000대
(2013년 ~2015년)	• 정부의 발전계획에 따라 차량, 배터리, 충전기 및 충전시설 등 정책 수립 • 전기차로 공공버스, 택시 및 승용차 대수의 5%가 대체 (버스, 택시는 주행거리가 길기 때문에) 주행거리로 환산하면 전체의 30%가 대체 • 다만 2015년까지 관련 정책 추진의 투입대비 효과는 크게 않은 수준
(2016년 ~ 현재)	• 지난 10년간 세계적인 전기차 제조사(BYD社), 운영시스템, 관련 산업(모터, 배터리, 충전기, 기타 전장부품 등)을 발전됨 • 선전시는 2017년말 현재 전기차가 12만대 : 공공버스 16,359대, 택시 10,000대, 통근차량 2,000대, 물류차량트럭 30,000대, 렌트카 9,000대, 자가용 50,000대, 기타차량 1,000대 • 선전시의 공공버스 전체가 교체되었으며, 개인용 승용차를 제외하고 택시, 인터넷 e버스까지 5년 내 전체가 교체될 계획임

- 현재 2017년 말까지 전기차 15만 6천대가 보급되었음. 전기시내버스는 1.6만대, 전기택시 1만대, 화물차 3만대, 그 외 개인승용차임. 이는 시내버스의 100%, 택시의 60% 수준이며, 택시는 2020년까지 전체 전기차로 교체 예정임
- 전기버스는 2011년부터 2017년 7년간 1.6만대 모두 교체됨. 2014년까지 3,000대 수준으로 전기버스 도입되고, 2015년부터 13,000대가 공급되었음

○ 전기버스 도입시 전기버스 제조사에 표준기술요구수준을 만들어 제안하였음. 1회 충전 안전운행거리, 배터리용량 250kWh이상/이하일 때 혜택차이를 줌. 버스회사의 재정부담을 줄이기 위해 배터리소유권은 제3자 캐피탈회사에서 갖도록 유도하였고, 폐배터리를 ESS에 활용하는 정책을 첫 번째 추진 전기버스의 배터리 회수정책을 추진하고 있음

○ 선전시는 2012년부터 전기버스 운영효과 평가를 시행하고 있음

- 평가지표는 운영 효과, 경제적 효과, 사회적 효과, 차량 안전성, 충전시설 용량 등
- (유지비용 절감) 전기버스는 1일 운행거리 240km 기준으로 보면, 연간 연료비 635만원, 정비비 120만원으로 대당 연간 유지비용 755만원 발생함. 이는 경유버스 대비 24.4%(23.4백만원 절감), CNG버스 대비 23.4%(24.8백만원 절감)수준 임

〈표 14〉 중국 선전시 동부교통 전기버스 추진사례

구분		전기버스 (BYD eBUS-12)	CNG버스	경유버스
연료비	연비	0.8km/kWh	2km/Nm^3	2.8km/L
	연료사용량(일/대) : 운행거리 240km기준	300kWh	120Nm^3	85.71L
	에너지 가격 (심야 기준)	심야 58원/kWh (주간 145원/kWh)	652.75원/Nm^3	870원/L
	일 연료비	17,400원	78,330원	74,568원
	연간 연료비 (365일 운행기준)	6,351,000원	28,590,450원	27,217,211원
정비비	월 정비비 (부품비, 유류비, 타이어비)	100,000원	312,000원	312,000원
	연간 정비비 (12개월 기준)	1,200,000원	3,744,000원	3,744,000원
대당 연간 유지비용 (대당1일 유지비용)		7,551,000원 (20,688원)	32,334,450원 (88,588원)	30,961,211원 (84,825원)

자료 : 경기연구원·인천연구원(2018)

시사점

○ 유럽과 미국은 중앙정부 차원의 전기버스 보급을 위한 지원 프로젝트를 시행하고 있으나, 우리나라는 중앙정부 차원의 전기버스차량보급, 충전인프라 확충을 위한 보조금 지원과 관련된 지침 및 가이드라인을 제시하고 있음

- 유럽의 경우, 유럽연합의 연구 및 혁신 기금 지원 계획인 Horizon 2020프로그램을 통해 다양한 프로젝트를 지원하고 있음. ZeEUS 프로젝트를 통해서 정보교류를 등의 협력사업으로 유럽연합 내 전기버스 사업을 확대하고 있음
- 미국은 연방대중교통국(FTA)이 2013년 이후 LoNo program(Low or No Emission Bus Program)을 통해 전기버스 구매, 임대자금, 충전설비 등을 지원하고 있으며, 연방대중교통국의 TIGGER 프로그램의 지원을 받아 전기버스 도입사업 기술평가 및 전기버스 도입지역간 기술평가 및 실증사업자료 공유를 통해 전기버스 제조회사의 기술개발을 견인하고 있음

○ 전기버스 시범사업수준의 소규모 운영전략보다는 대규모 도입시 발생할 수 있는 여러 가지 운영전략을 고려하며, 단계별 도입방안의 검토가 필요함

- 선전시는 전기버스 차량 보급과 충전인프라의 부조화가 발생함에 따라 전기버스 보급 초기단계에 전기버스 보급이 많지 않았음
- 중국 선전시의 경우 차고지 심야충전기 설치시 20~30% 추가 부지가 필요한 경험을 고려할 때, 인천시의 경우 시내버스 운행특성과 차고지내 부지의 제약을 고려한 경로중 충전방식과 차고지 충전방식의 공간적 제약을 극복하는 충전인프라 설계가 요구됨

○ 전기버스 전지팩(배터리), 충전기 등 기술표준을 통해 전기버스 제조사의 기술수준을 견인할 수 있는 제도적 장치가 마련되어야 함

- 배터리 보증기간, 배터리 에너지밀도 등에 대한 보증기간을 통해 전기버스 기술개선을 유도할 수 있는 제도개선이 필요함
- 선전시는 버스제조사를 강제하여 배터리 및 전장부품의 AS기간을 3년에서 8년으로 연장함으로써, 버스업체의 전기버스 도입을 독려했음
- 우리나라의 경우, 전기버스 차량구입 보조금이 차량크기에 따라 단순히 지원금이 결정되는 방식은 개선되어야 함

Ⅳ. 인천광역시 전기버스 사업 추진방안

전기버스 사업 추진 필요성

○ 준공영제 시내버스 업체 재무건전성 개선 유도

- 시내버스 수송분담율이 2015년 27%에서 매년 감소하여 준공영제 재정지원이 증가하고 있음. 2017년 기준 준공영제 시내버스 운송원가 중 인건비와 연료비가 각각 51%와 18%으로 나타남. 에너지효율이 높고 배터리를 포함한 차량부품수가 내연기관에 비교해 단순한 전기버스 특성상 사업 추진으로 연료비와 차량정비비 절감이 예상됨
- 리튬이온 전지팩(battery pack) 평균 가격은 2010년 $1,000/kWh에서 연평균 19.5% 하락하면서 2016년 약 $273/kWh를 기록함. 리튬이온 전지 가격은 금융 조달 비용의 하락, 규모의 경제, 공정 과정의 개선 등으로 지속적으로 하락하여 2025년에 약 $109/kWh, 2030년에 $73/kWh를 기록할 것으로 보임[2)]

○ 에너지 전환시대의 온실가스 감축 및 환경개선

- 전기버스 에너지원의 연료생산, 공급과정의 온실가스 배출량은 나라와 지역마다의 재생에너지 활용여건에 따라 차이는 발생할 수 있으나, 전기버스는 운행단계에서 무공해 대중교통수단임
- 재생에너지 활용 비중을 높이고, 2030년 전후로 내연기관 자동차 판매 금지와 전기차 운행만 허가하는 대책이 외국 선진국을 중심으로 발표되고 있음

○ 장기 국가 재생에너지 활성화 정책 견인

- 국가 시책으로 추진되는 “재생에너지 3020 이행계획”과 태양광 재생에너지의 비용절감 추세로 인해 머지 않아 그리드패리티(grid parity)에 도달할 것으로 예상됨
- 전기버스 사업 추진은 태양광 재생에너지에 기반한 전기에너지 비중을 높이는 계기를 제공할 것임

전기버스 사업 단계별 추진

○ 현재 운행 중인 내연기관 시내버스 차령과 전기버스 충전인프라 여건, 중앙정부 차원의 전기버스 기술표준 및 법제도 정비 추진상황 등을 고려하여 2030년 최종 목표연도로 단기, 중기, 장기의 단계별 전기버스 추진. 사업 초기, 공공주도에서 중장기, 민간자율로 점차 확대 추진함

---

2) Bloomberg, “Global EV sales outlook to 2040”, Advanced Transport Research Note, 25 February 2016에서는 2030년 리튬이온 전지팩 가격을 약120/kWh로 전망함

〈표 15〉 인천광역시 전기버스 단계별 추진사업

구분	추진사업
단기 (~2020년)	• 전기버스 보급확대와 기술 수준 제고를 위한 보조금 지원확대 • 시범사업 도시 간 자료공유로 제조사 기술개발 및 기술표준 정립 • 공공주도의 공영차고지 기반 개방형 급속충전기 설치 및 충전서비스 • 전기버스 보급확대를 위한 공공주도의 전기버스 차량 리스제 시행
중기 (~2025년)	• 시내버스 대폐차 시 CNG·경유 버스의 전기버스 교체 • 차고지 충전인프라 구축을 위한 신규 공영차고지 확충 • 버스 노선 회차지 주변 국공유지에 개방형 급속충전기 설치 및 지하철 전력망 활용한 경로 중 충전인프라 사업(제3자 민간충전사업자)
장기 (~2030년)	• 재생에너지 기반 전기버스 에너지 인프라 구축 • 시내버스 전기버스 100% 도입 • 공공부문의 전기버스 보조금 지원은 축소 또는 폐지 (배터리 가격 인하에 따른 전기차 가격경쟁력 발생 시)

전기버스 기술표준 제시

○ 국내 시내버스 차량 및 노선운행여건 등을 고려한 전기버스 기술표준(예, 차량연비, 배터리성능 및 보증기간, 충전기 규격 및 성능 등)을 통해 전기버스 제조사의 기술개발을 유도하고, 전기버스 도입여건 개선유도

〈표 16〉 전기버스 기술표준(안) 제시

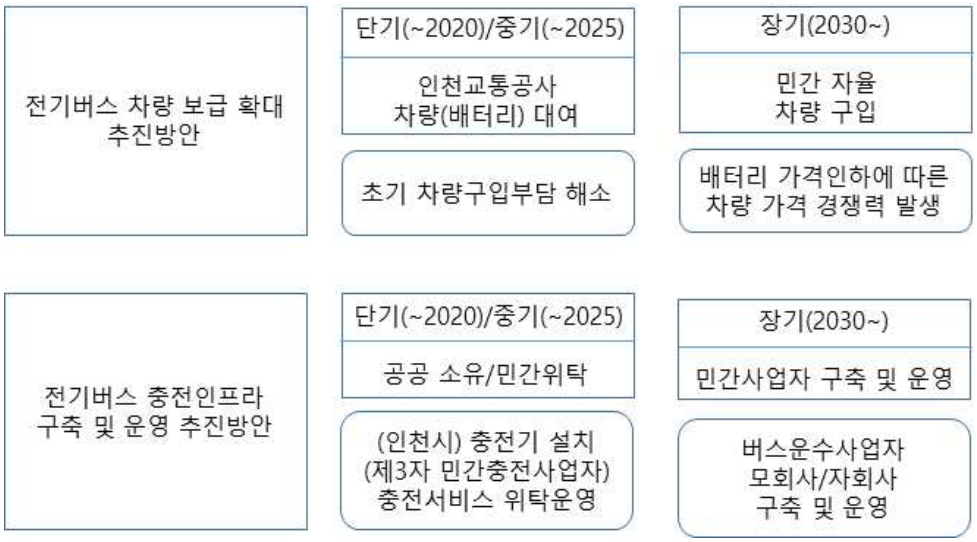
구분	내용	구분	내용
차량 (전기버스)	• 공인연비 : 1km/kWh • 혹한(서)기 연비 : 0.8km/kWh • 1회 충전 운행거리:300km이상 (잔량 20%기준) • 모터최대출력:200kW(268hp)이상 • 충전기인렛:DC콤보2 • 배터리 및 전장부품 보증기간 : 보증 9년이상 • 안전성 : 운행율 98% 이상	전지팩 (battery pack)	• 보증기간 : 9년 이상 • SOH : 80% 이상 • 에너지밀도:135Wh/kg이상 • 충방전효율:급속충전3C (급속충전시간 20분이내)
		충전기 (charger)	• 보증기간 : 9년 이상 • 충전기커넥터 : DC콤보2 • 경로 중 급속충전기 최대전력(1MW급 인증) • 차고지 급속충전기 최대전력 (100kW/200kW/300kW인증)

주 : 수도권 전기버스 도입 확대 방안 참여 연구기관(한국교통연구원, 경기연구원, 서울연구원, 인천연구원, 수원시정연구원)간 논의하여 기술표준안 제시

전기버스 차량 보급 확대 및 충전소 확대

○ 전기버스 사업 초기, 운수사업자의 차량구입비용 부담 해소를 위해 지방공기업 인천교통공사에서 공공주도의 전기버스 차량(배터리)대여사업 및 충전인프라 구축 및 충전서비스 사업 운영

- 민간자율로 전기버스 차량구입을 유도하여 규모의 경제수준으로 보급되었을 경우, 충전인프라 구축 및 충전서비스 사업에 민간참여가 가능함



〈그림 12〉 전기버스 차량 보급확대 및 충전소 확대방안

전기버스 차량 보급 및 충전소 설치 재정지원 확대

○ 배터리 용량과 보증기간에 따른 전기버스 차량 보조금 차등, 충전기 최대소비전력별 차등지원, 충전 인프라 설치부지 세제 감면(토지 취득세 50% 감면, 도로점용료 100% 감면 등)

〈표 17〉 전기버스 구입비 지방비 보조금 차등 지원(안)

배터리 용량	배터리 보증기간	보조금
125kWh 기준	9년 미만	0원/대
250kWh 이상	9년 이상	5천 만원/대
340kWh 이상	9년 이상	1억 원/대

지방보조금기준으로 250kWh이상 200,000원/kWh, 300kWh이상 300,000원/kWh 적용
단, 향후 배터리 가격동향 및 기술수준에 따라 유동적

〈표 18〉 충전 인프라 설치 보조금 차등 지원(안)

충전기 최대소비전력	광역 및 기초자치단체 1)	민간충전사업자 2)
50kW 이상	3,500만원	2,000만원
80kW 이상	4,500만원	2,500만원
100kW 이상	5,500만원	3,500만원
200kW 이상	6,500만원	4,500만원
300kW 이상	8,000만원	5,000만원

주) 1. 환경부(2018), 『'18 전기자동차 보급 및 충전인프라 구축사업 보조금 업무처리지침』 참고 재구성
2. 한국에너지공단(2017), 『전기차 충전서비스 산업 육성사업 운영지침』 참고 재구성

인천시내버스 노선운행여건을 고려한 전기버스 운행 가능 대수

○ 전지팩(battery pack)용량 수준별 운행가능 대수

- 2018년 6월 인천광역시 준공영제 시행 시내버스 운행 156개 노선과 1,861대 면허 대수 분석함. 전기버스 전비 1km/kWh 기준 적용. 잔량 10%, 20%, 30% 적용
- 심야충전으로 전일 운행시 현 노선여건에서 잔량30%기준으로 37개 노선 214대 수준에서 운행이 가능함. 매회 충전시 모든 잔량수준에서 100% 전기버스 운행이 가능함. 차고지 심야충전방식과 경로중 충전방식을 병행하는 충전방식이 필요함

〈표 19〉 300kWh 수준일 때 운행 가능 노선 및 대수

구분	배터리 용량(kWh)	잔량(%)	운행 가능 노선		운행 가능 대수	
			노선수	비율(%)	대수	비율(%)
전일 (심야충전)	300	30%	37	23.7%	214	11.5%
		20%	64	41.0%	494	26.5%
		10%	108	69.2%	1176	63.2%
반일 (중간충전)	300	30%	143	91.7%	1735	93.2%
		20%	150	96.2%	1802	96.8%
		10%	152	97.4%	1824	98.0%
2회당 1번 충전	300	30%	146	93.6%	1751	94.1%
		20%	148	94.9%	1771	95.2%
		10%	153	98.1%	1826	98.1%
매회 충전	300	30%	156	100.0%	1861	100.0%
		20%	156	100.0%	1861	100.0%
		10%	156	100.0%	1861	100.0%

○ 전기버스 충전기 최대소비전력 수준별 추가 증차 대수

- 완속충전이 급속충전에 비해서 충전시간이 많이 소요됨에 따라 전기버스 대당 1일 총 운행시간이 짧아지고, 추가 증차대수를 통해 전기버스 도입이전과 동일한 서비스 제공이 가능하도록 해야 함을 확인
- 급속충전기를 이용할 경우, 회당 운행거리가 긴 일부 특이노선을 제외하고, 반일(중간충전), 2회당 1회충전, 매회 충전 등 모든 충전방식과 100~300kWh급 배터리 용량 모든 전기버스에서 추가 증차 없이 전기버스 운행이 가능

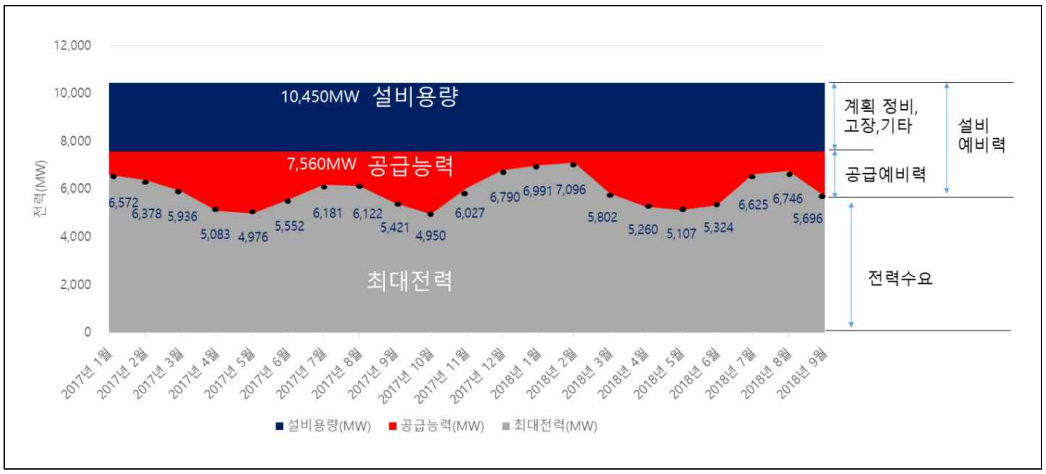
〈표 20〉 충전방식별 추가 증차 대수

배터리용량	구분	잔량(%)	완속충전		급속충전	
			증차대수	비율(%)	증차대수	비율(%)
100kWh	반일 (중간충전)	30%	0	0.0	0	0.0
		20%	0	0.0	0	0.0
		10%	0	0.0	0	0.0
	2회당 1번 충전	30%	2	0.1	0	0.0
		20%	3	0.2	0	0.0
		10%	5	0.3	0	0.0
	매회 충전	30%	26	1.4	0	0.0
		20%	37	2.0	0	0.0
		10%	47	2.5	0	0.0
200kWh	반일 (중간충전)	30%	65	3.5	0	0.0
		20%	59	3.2	0	0.0
		10%	39	2.1	0	0.0
	2회당 1번 충전	30%	29	1.6	0	0.0
		20%	26	1.4	0	0.0
		10%	23	1.2	0	0.0
	매회 충전	30%	73	3.9	0	0.0
		20%	83	4.5	0	0.0
		10%	83	4.5	0	0.0
300kWh	반일 (중간충전)	30%	14	0.8	0	0.0
		20%	15	0.8	0	0.0
		10%	14	0.8	0	0.0
	2회당 1번 충전	30%	17	0.9	0	0.0
		20%	12	0.6	0	0.0
		10%	16	0.9	1	0.1
	매회 충전	30%	83	4.5	0	0.0
		20%	83	4.5	0	0.0
		10%	83	4.5	0	0.0

인천지역 전력공급여건 및 전기버스 전력부하

○ 한국전력공사 인천지역본부에서 관리하는 인천지역의 전력공급능력은 7,560MW, 전력설비용량은 10,450MW 수준임. 2017년~2018년 9월 말 기간 중 최대부하전력은 2018년 2월 7,096MW(공급 예비율 : 6.1%, 설비예비율 : 32.1%)임

- 준공영제 시내버스 1,861대에 500kW충전기 1,861기로 동시급속충전을 하는 경우, 총 전력부하는 930.5MW수준으로 설비예비력과 공급예비력 범위내에서 전력공급이 가능함



〈그림 13〉 인천지역 전력 설비용량, 공급능력 및 최대전력 현황

전기버스 사업 버스운송업체 설문 조사

○ 전기버스 도입 의사와 관련하여 32개 업체 중 22개 업체(1,322대)가 긍정적 의사를 보였고, 전기버스 사업 취지 및 필요성에 대해서 24개 업체(1,462대)가 긍정적 응답을 보였음. 전기버스 사업이 회사이익에 부합하는냐는 질문에 20개 업체(1,238대)가 긍정적인 응답을 하였음

- 전기버스 사업 업체 설문조사에 미온적 태도를 보여 설문응답에 참여하지 않은 업체의 경우, 주로 인천국제공항을 기반으로 하는 장거리 운행노선이거나 기존 CNG충전소 사업자로서 전기버스 사업에 다소 반대의 입장을 갖는 것으로 이해됨

○ 인천지역 준공영제 시내버스업체의 전기버스 도입의사는 사업취지와 필요성에 대해서 대부분 공감하지만, 5년 이후 전기버스 사업의 안정성을 확인후 본격적인 도입의사가 있는 것으로 조사됨. 또한 전기버스 사업의 장애요인으로 차량/충전설비의 초기투자비 과다와 정부보조금의 부족을 지적하였고, 전기버스 차량선정시 1회 충전운행거리를 우선 고려사항으로 꼽았음

Ⅴ. 전기버스 사업 타당성 분석

재무성 분석

○ 준공영제 시내버스 차량의 9년간(2019년~2028년) 단계별 대·폐차 시 전기버스 전환시 총 소요예산 6,048억 원(국비 : 3,722억 원, 지방비 : 2,326억 원)

- 전기버스 차량가격은 4억 5,000만 원 선에서 차량 가격을 설정하였고, 각종 보조금을 감안하여 1억 2500만 원으로 자부담가격을 설정함
- 환경부 보조금 1억 원, 국토부 및 인천시 저상버스 보조금 1억 원, 인천시에서 실 가격에 50%를 지원금을 보조함

〈표 21〉 인천광역시 2028년까지 전기버스 전환시 보조금 소요재원 산출

(단위 : 대, 억 원)

구분		연도										합계
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	
전환대수(대·폐차대수)		74	118	74	111	216	229	332	284	302	121	1,861
저상 버스	국비	44	71	44	67	129	137	199	170	181	73	1,115
	지방비	44	71	44	67	129	137	199	170	181	73	1,115
	소계	89	141	89	133	259	274	398	340	362	145	2,230
전기 버스	국비	148	236	148	222	432	458	664	568	604	242	3,722
	지방비	93	148	93	139	270	286	415	355	378	151	2,326
	소계	241	384	241	361	702	744	1,079	923	982	393	6,048

○ 표준연비 기준, CNG→전기버스 절감비용은 유류보조금 미반영 시(343억 원), 유류보조금 반영 시(317억 원)이고, 절감비율은 각각 51.7%, 49.7%로 분석됨

〈표 22〉 CNG/경유버스 대비 전기버스 연간 연료 절감 비용 및 비율

(단위 : 천원/년, %)

구분		전기버스 연료비	유류 보조금 미반영		유류 보조금 반영	
			CNG→전기 절감 비용	경유→전기 절감 비용	CNG→전기 절감 비용	경유→전기 절감 비용
			절감 비율(%)	절감 비율(%)	절감 비율(%)	절감 비율(%)
연간 총 연료비	표준연비 기준	32,028,849	34,257,865	43,353,585	31,691,357	19,710,342
			51.5%	57.3%	49.5%	38.0%
	실제연비 기준	40,036,061	28,617,291	38,022,296	25,959,150	13,539,766
			41.7%	48.7%	39.3%	25.3%

경제성 분석

○ 전기버스 도입에 따른 편익 및 비용항목의 구성은 다음과 같음

- 분석 기간은 도입 후 10년이며, 2017년 평균 국고채 수익률(10년 만기) 2.28% 적용

〈표 23〉 전기버스 도입에 따른 편익 및 비용항목

구분	항목	세부내용
편익	대기오염 저감 편익	• 대기오염물질(CO2, NOX, THC, CO) 원단위 (2015년 기준)
	연료비용 절감 편익	• CNG 및 경유버스 감소인한 연료절감 효과
	CNG/경유 차량구입 비용 절감	• CNG 및 경유 버스 감소로 인한 비용 (2.4억원/대,)
비용	전기버스 구입비용	• 제조사별 전기버스 평균비용 (4.5억원/대)
	수배전 설치비용	• 전력사용량에 따른 수배전 설치비용 (내구연한 10년)
	전기 인입비용	• 변전소→차고지까지 전력을 가져오는 비용
	전력전문원 인건비용	• 전력관리를 위한 전문인원 배치 (차고지당 1명, 2017년 정비직 인건비)
	전기요금 비용	• 한국전력공사 전기자동차 충전요금을 기저로 산출된 전기비용
	배터리 및 충전기 교체비용	• 대·폐차 기간 중 배터리 교체비용 및 충전기 교체비용 (배터리 교체비용 : 1.2억원, 충전기 교체비용 : 1억원)

○ 전기버스 도입시 경제성 분석결과, B/C는 0.73, NPV는 −252,608 백만 원

- 편익항목에서는 CNG/경유 차량 구입비용 절감 편익이 53.1%로 가장 큰 비중을 차지했고, CNG 및 경유버스 감소로 인한 연료비용 절감 편익이 39.3%로 나타남
- 비용항목에서는 전기버스 구입비용이 78.3%로 가장 큰 비중을 차지했고, 배터리 및 충전기 교체비용이 9.7%로 나타남

〈표 24〉 전기버스 도입에 따른 비용 및 편익항목별 금액

구분	항목	금액(백만 원)	비율(%)
편익	대기오염 저감 편익	52,032	7.5
	연료비용 절감 편익	268,569	38.7
	CNG/경유 차량구입 비용 절감	372,903	53.8
	소 계	**693,504**	**100**
비용	전기버스 구입비용	742,181	78.4
	수배전 설치비용	9,750	1.0
	전기 인입비용	7,802	0.8
	전력전문원 인건비용	12,313	1.3
	전기요금 비용	84,613	8.9
	배터리 및 충전기 교체비용	89,453	9.5
	소 계	**946,112**	**100**

○ 전기버스의 민감도 분석결과 전기버스 가격이 미치는 영향이 큰 것으로 분석됨

- 전기버스 가격의 10~50% 감소를 가정할 경우 발생할 B/C는 0.73~1.29로 나타남

○ 향후 전기버스 배터리 및 차량기술의 발전으로 전기차가 상용화되면 전기버스의 도입이 더욱 가속화될 것으로 판단됨

- 현재 민감도 분석에서는 배터리 교체비용을 고려하지 않았지만, 전기차 가격과 직결되는 요소로 전기버스 차량 가격이 내려가면 B/C는 더 크게 나타날 것으로 판단됨

〈표 25〉 민감도분석 결과

구분		충전시설 구축비용			
		기본	10% 감소	20% 감소	30% 감소
전기버스 가격 (100%)					
충전 요금	기본	0.73	0.74	0.74	0.74
	50% 증가	0.71	0.71	0.71	0.72
	30% 증가	0.72	0.72	0.72	0.73
	10% 증가	0.73	0.73	0.74	0.74
	10% 감소	0.74	0.74	0.75	0.75
	30% 감소	0.75	0.76	0.76	0.76
	50% 감소	0.76	0.77	0.77	0.78
전기버스 가격 (90%)					
충전 요금	기본	0.80	0.80	0.81	0.81
	50% 증가	0.76	0.77	0.77	0.78
	30% 증가	0.78	0.78	0.78	0.79
	10% 증가	0.79	0.79	0.80	0.80
	10% 감소	0.80	0.81	0.81	0.82
	30% 감소	0.82	0.82	0.83	0.83
	50% 감소	0.83	0.84	0.84	0.85
전기버스 가격 (70%)					
충전 요금	기본	0.96	0.97	0.97	0.98
	50% 증가	0.91	0.92	0.92	0.93
	30% 증가	0.93	0.94	0.94	0.95
	10% 증가	0.95	0.96	0.96	0.97
	10% 감소	0.97	0.98	0.98	0.99
	30% 감소	0.99	1.00	1.00	1.01
	50% 감소	1.01	1.02	1.03	1.03
전기버스 가격 (50%)					
충전 요금	기본	1.21	1.22	1.23	1.24
	50% 증가	1.14	1.14	1.15	1.16
	30% 증가	1.16	1.17	1.18	1.19
	10% 증가	1.19	1.20	1.21	1.22
	10% 감소	1.22	1.23	1.24	1.25
	30% 감소	1.26	1.27	1.28	1.29
	50% 감소	1.29	1.30	1.31	1.33

Ⅵ. 정책 건의

○ 전기자동차가 새로운 에너지 인프라, 정보기술 플랫폼, 신규 자동차연관산업에 미치는 영향을 고려할 때 전기버스 도입사업은 단순히 지역 내 새로운 대중교통수단 차량 보급계획 차원을 넘어서 지역의 사회경제부문에 큰 변화를 견인하는 정책으로 이해할 필요가 있음

- 전기버스 보급확대는 미세먼지 저감 및 온실가스 감축 등 시민 생활환경뿐만 아니라 내연기관 자동차의 연관산업 및 에너지 신산업 생태계 조성, 자율주행 기반 전기버스의 교통물류 모빌리티(mobility) 서비스 산업 창출 등 다양한 산업경제 분야에도 유무형의 큰 변화를 끌어올리는 마중물 사업이라 할 수 있음

○ 전기버스 사업 경제성 분석결과, B/C는 0.73, NPV는 -252,608 백만 원으로 나타났으나, 차량 가격이 50% 수준으로 인하할 경우 전기버스 사업의 경제성은 있는 것으로 나타남

- 법 제도적으로 전기버스 차량 구입 시 취득세가 감면될 수 있도록 함
- 향후 전기버스 배터리 가격 인하와 차량기술 발전을 유도하는 정책추진이 필요하고, 이를 위해 광역 및 기초지자체 간 협력사업이 필요함. 전기버스 사업 기술평가 및 전기버스 도입지역 간 기술평가 및 실증사업자료를 지자체 간 공유를 통해 전기버스 제조사의 기술개발과 중앙정부 차원의 기술표준을 견인할 수 있음
- 협력사업 모델을 유인하기 위해 관련 중앙정부의 인센티브 예산 제도가 필요함

○ 전기버스 사업 초기 공공주도의 차량 보급 및 충전 인프라 구축 및 운영을 위한 정책자문 및 의결기구의 설치가 필요함. 가칭 '전기버스 정책위원회'를 인천광역시 버스정책위원회 산하 소위원회로 신설함

- 전기버스 관련 차량, 배터리, 충전기, 전기인프라 기술과 시내버스 노선운영체계에 대한 전문지식 등이 종합적으로 검토 분석되고 적정 전기버스 운행체계를 선정할 수 있는 정책자문기구가 필요함

○ 2018년 4월 선정된 전기버스 시범사업 차량 10대가 2019년 초에 실제 시내버스노선에 운행될 예정임. 시범사업 노선에서 전기버스의 운행 효과를 분석할 수 있는 '인천광역시 전기버스 시범사업 모니터링 연구용역'사업이 필요하며, 이를 위한 평가지표체계 수립이 필요함

차 례

Ⅰ 서론

1. 연구배경 및 목적 ····· 3
2. 연구 범위 ····· 5
3. 연구수행방법 ····· 6

Ⅱ 전기버스 기술 수준 및 법제도 검토

1. 전기버스 기술 수준 분석 ····· 9
2. 전기버스 법제도 검토 ····· 49

Ⅲ 국내·외 전기버스 사업 추진사례

1. 국내 전기버스 사업 추진사례 ····· 63
2. 국외 전기버스 사업 추진사례 ····· 67
3. 시사점 ····· 87

Ⅳ 인천광역시 전기버스 사업 추진방안

1. 전기버스 사업추진 필요성 ····· 91
2. 인천광역시 전기버스 사업 추진계획 ····· 97
3. 전기버스 운행 가능 대수 분석 ····· 102
4. 인천지역 전력공급여건 및 전기버스 전력 부하 ····· 122
5. 전기버스 사업 버스운송업체 설문 조사 ····· 123

차 례

V 전기버스 타당성 분석

1. 재무성 분석 ····· 139
2. 경제성 분석 ····· 145

VI 결론 및 정책제언

1. 결론 ····· 161
2. 정책 건의 ····· 164

참고문헌 ····· **166**
부록 ····· **168**

표 차례

<표 2-1> 자동차관리법(제2조)상 승합자동차 유형 ····· 10
<표 2-2> 전기버스 차량별 성능 및 재원 비교(국내 제조사) ····· 12
<표 2-3> 전기버스 차량별 성능 및 재원 비교(중국 제조사) ····· 12
<표 2-4> 전기버스 차체(body) 소재별 특성 ····· 14
<표 2-5> 전기버스 차량구조 관련 규정 ····· 16
<표 2-6> 전기자동차 종류별 주요구성부품 ····· 16
<표 2-7> 전기자동차 종류별 주요구성부품 ····· 16
<표 2-8> 전기자동차 충전기 커넥터(Outlet) ····· 20
<표 2-9> 각 국가별 전기자동차 충전구(Inlet) ····· 20
<표 2-10> 전기자동차 충전방식 ····· 26
<표 2-11> 인천지하철 변전소별 전력사용량 ····· 28
<표 2-12> 인천지하철 1호선 변전소 설비현황 ····· 29
<표 2-13> 테크노파크 및 센트럴파크 변전소 세부 설비현황 ····· 29
<표 2-14> 인천지하철 2호선 변전소 설비현황 ····· 30
<표 2-15> 인천지하철 2호선 변전소 설비현황(계속) ····· 30
<표 2-16> 인천지하철 1호선 DC 1500V를 이용한 충전기 설치가능 대수 ····· 31
<표 2-17> 인천지하철 2호선 DC 750V를 이용한 충전기 설치가능 대수 ····· 32
<표 2-18> 인천지하철 1호선 AC 급전망을 이용한 충전기 설치가능 대수 ····· 33
<표 2-19> 인천지하철 2호선 AC 급전망을 이용한 충전기 설치가능 대수 ····· 33
<표 2-20> 자가소비용 전기자동차 충전전력 요금 ····· 34
<표 2-21> 계절별 시간대별 구분 ····· 34
<표 2-22> 전기자동차 충전서비스 제공사업자 충전 전력요금 ····· 35
<표 2-23> 전기자동차 충전서비스 제공사업자 충전 이용요금 ····· 35
<표 2-24> 전기자동차 충전사업 모델 ····· 36
<표 2-25> 충전사업 모델 및 특징 ····· 37
<표 2-26> 2차전지 종류 ····· 38
<표 2-27> 배터리 양극 활물질 ····· 42
<표 2-28> 배터리 음극 활물질 ····· 43

표 차례

<표 2-29> 전기차 배터리 셀-모듈-팩 요약 ····· 45
<표 2-30> 리튬전지와 전고체전지의 특징 비교 ····· 48
<표 2-31> 국내 버스차량 구입비 지원현황 (2018년) ····· 49
<표 2-32> 국내 버스차량 구입비 지원 관련 법제도 ····· 50
<표 2-33> 국내 버스차량 세금지원 관련 법제도 ····· 51
<표 2-34> 전기자동차 구입 절차 및 충전인프라 설치운영관련 환경부 지침 ····· 52
<표 2-35> 완속충전기 보조금 지원기준 ····· 54
<표 2-36> 급속충전기 보조금 지원기준 ····· 54
<표 2-37> 전기자동차 보급 및 충전인프라 설치운영 인천광역시 조례 ····· 56
<표 2-38> 전기자동차 충전서비스사업 육성 및 활성화 관련 법제도 ····· 59
<표 3-1> 국내 전기버스 보급 대수 ····· 63
<표 3-2> 경기도 전기버스 현황 ····· 64
<표 3-3> 제주 동서교통 전기버스 추진사례 ····· 65
<표 3-4> 경기 김포 선진버스 전기버스 추진사례 ····· 66
<표 3-5> 경기 김포 선진버스 전기버스 운행 효과(2017.5. 운행기준) ····· 66
<표 3-6> 중국 선전시 시기별 전기버스 주요 정책 내용 ····· 82
<표 3-7> 중국 선전시 동부교통 전기버스 추진사례 ····· 86
<표 4-1> 교통수단분담율 변화추이 ····· 92
<표 4-2> 우리나라 신재생에너지 보급현황 ····· 96
<표 4-3> 인천광역시 전기버스 단계별 추진사업 ····· 98
<표 4-4> 전기버스 기술표준(안) 제시 ····· 99
<표 4-5> 전기버스 구입비 지방비 보조금 차등 지원(안) ····· 101
<표 4-6> 충전 인프라 설치 보조금 차등 지원(안) ····· 101
<표 4-7> 인천광역시 준공영제 버스업체 차량 보유 현황 (2017년 12월) ····· 103
<표 4-8> 인천광역시 준공영제 버스업체 종사자 현황 (2017년 12월) ····· 104
<표 4-9> 인천광역시 공영차고지 현황 (2017년 12월) ····· 105
<표 4-10> 인천광역시 준공영제 버스업체 차고지 현황 (2017년 12월) ····· 106
<표 4-11> 인천시내버스 노선별 면허대수 현황 (2018년 6월) ····· 108

표 차례

<표 4-12> 인천광역시 시내버스 노선거리 현황 (2018년 6월) ····· 109
<표 4-13> 인천광역시 시내버스 대당 하루 운행거리 현황 (2018년 6월) ····· 110
<표 4-14> 인천광역시 시내버스 대당 하루 운행시간 현황 (2018년 6월) ····· 111
<표 4-15> 전기버스 분석 운행 기준 ····· 112
<표 4-16> 100kWh 수준일 때 운행 가능 노선 및 대수 ····· 113
<표 4-17> 200kWh 수준일 때 운행 가능 노선 및 대수 ····· 114
<표 4-18> 300kWh 수준일 때 운행 가능 노선 및 대수 ····· 115
<표 4-19> 100kWh 수준일 때 증차대상 노선 및 대수 ····· 117
<표 4-20> 200kWh 수준일 때 증차대상 노선 및 대수 ····· 118
<표 4-21> 300kWh 수준일 때 증차대상 노선 및 대수 ····· 119
<표 4-22> 300kWh 수준일 때 증차대상 노선 및 대수 ····· 120
<표 4-23> 충전방식별 추가 증차 대수 ····· 121
<표 4-24> 인천지역 최대전력 현황(2017년~2018년) ····· 122
<표 4-25> 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 여건조사 개요 ····· 123
<표 4-26> 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 의사 ····· 124
<표 4-27> 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입취지 및 필요성 동감 여부 ····· 125
<표 4-28> 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입시 회사이익 부합 여부 ····· 126
<표 4-29> 준공영제 버스운송업체 전기버스 기대 편익 ····· 127
<표 4-30> 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 장애요인(회사 사정) ····· 128
<표 4-31> 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 장애요인(정부정책) ····· 129
<표 4-32> 준공영제 버스운송업체 전기버스 최초 도입 가능년도 ····· 130
<표 4-33> 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 계획 선호전략 ····· 131
<표 4-34> 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입시 충전소 운영 선호전략 ····· 132
<표 4-35> 준공영제 버스운송업체 운행관리상 전기버스 충전회수 ····· 133
<표 4-36> 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 차량 선정 조건 ····· 134
<표 5-1> 시내버스 실구매가격 및 인천광역시 보조금 ····· 140
<표 5-2> 인천광역시 2028년까지 전기버스 전환시 보조금 소요재원 산출 ····· 140
<표 5-3> 인천시 시내버스 차량유형별 연료단가 ····· 139

표 차례

<표 5-3> 인천시 시내버스 차량유형별 연료단가 ····· 141
<표 5-4> 인천시내버스 차량유형별 연비 ····· 142
<표 5-5> 인천시내버스 CNG/경유 차량별 1㎞당 연료 비용 ····· 143
<표 5-6> 인천시내버스 전기/CNG/경유 버스 차량 연료 비용 비교 ····· 143
<표 5-7> CNG/경유버스 대비 전기버스 연간 연료 절감 비용 및 비율 ····· 144
<표 5-8> 인천시내버스 현황 ····· 145
<표 5-9> 인천시내버스 차고지 현황 ····· 146
<표 5-10> 인천시내버스 연도별 전기버스 전환 대상 차량 대수 ····· 147
<표 5-11> 한국전력공사 전기자동차 충전전력요금(자가소비용) ····· 148
<표 5-12> 연료유형별 연비 및 연료비용 ····· 149
<표 5-13> 노선별 운행시간에 따른 휴식시간 적용기준 ····· 150
<표 5-14> 표준시설부담금 단가표 ····· 151
<표 5-15> 연도별 충전기 설치 개수 및 전력 전문원 ····· 152
<표 5-16> 차고지별 전기버스 대수 및 필요 충전기 개수 ····· 153
<표 5-17> 오염물질 발생량 및 사회적 비용 ····· 154
<표 5-18> 전기버스 도입에 따른 편익/비용항목 ····· 155
<표 5-19> 전기버스 비용편익 분석 ····· 156
<표 5-20> 전기버스 편익/비용항목별 금액 ····· 156
<표 5-21> 민감도 분석 결과 ····· 157

그림 차례

<그림 1-1> 연구수행과정 ····· 6
<그림 2-1> 전기버스시스템의 구성요소 ····· 10
<그림 2-2> 환경부 인증 국내 전기버스 현황 ····· 11
<그림 2-3> 전기버스시스템 운영최적화를 위한 고려항목 ····· 13
<그림 2-4> 전기자동차 차량 내부 구조 ····· 15
<그림 2-5> 내연기관 자동차 차량 내부 구조 ····· 15
<그림 2-6> 전기버스 내부 구조 : ㈜한국화이바 e프리머스 전기버스 사양(2009년) ····· 17
<그림 2-7> 전기버스 외부 구조 : ㈜한국화이바 e프리머스 전기버스 사양(2009년) ····· 17
<그림 2-8> 교류와 직류 충전방식 ····· 18
<그림 2-9> 전기버스 충전인프라 구성도 ····· 21
<그림 2-10> 일반 전기자동차 충전기 전력공급 방식 : 한국전력공사(KEPCO) ····· 22
<그림 2-11> 충전기 전기공급 방식 ····· 23
<그림 2-12> ESS기반 전기자동차 급속충전기 전기공급 개념 ····· 23
<그림 2-13> 전기버스 배터리 상태 모니터링 시스템 ····· 24
<그림 2-14> 전기버스 통합운영센터(TOC) 사례(제주 동서교통) ····· 24
<그림 2-15> 인천지하철 전력망을 이용한 전기버스 충전인프라 개념 ····· 27
<그림 2-16> 리튬이온 배터리 작동 원리 ····· 39
<그림 2-17> 리튬이온배터리 충·방전 원리 ····· 40
<그림 2-18> 리튬이온 배터리의 4대 구성요소 ····· 40
<그림 2-19> 음극에서 리튬을 저장하고 있는 흑연의 모습 ····· 43
<그림 2-20> 전해액 물질 ····· 44
<그림 2-21> 전기차 배터리 셀-모듈-팩 기술 개요 ····· 45
<그림 2-22> 배터리 관리 기술 ····· 46
<그림 2-23> 전기차 배터리 타입별 특징 ····· 47
<그림 2-24> 완속충전기 보조금 집행절차 ····· 54
<그림 2-25> 급속충전기 보조금 집행절차 ····· 54
<그림 2-26> 민간충전사업자 충전기 설치 보조금 집행 절차 ····· 58
<그림 3-1> 국내 전기버스 보급지역 분포(2017.7.기준) ····· 64

그림 차례

<그림 3-2> 유럽국가별 전기버스 보급 현황 ····· 67
<그림 3-3> 유럽 전기버스 사업 주요 이슈 ····· 68
<그림 3-4> 유럽의 전기버스 보급사업 지원 프로젝트 ····· 69
<그림 3-5> 유럽의 전기버스 충전방식 개념도 ····· 70
<그림 3-6> 유럽의 전기버스 충전방식 권고표준안 ····· 71
<그림 3-7> 영국 고어헤드런던 버스운송업체 차고지 충전방식 사례 ····· 72
<그림 3-8> 유럽 전기버스 정류장 : 경로 중 충전방식(기회충전) ····· 72
<그림 3-9> 유럽 전기버스 사업 추진절차 ····· 73
<그림 3-10> 미국 전기버스 도입지역 차량대수 ····· 74
<그림 3-11> 미국 전기버스 도입지역 ····· 75
<그림 3-12> 미국 연방대중교통국 Lo-No program ····· 76
<그림 3-13> 미국 전기버스 도입지역 기술평가 및 실증사업 추진일정 ····· 77
<그림 3-14> 미국 전기버스 기술평가 및 실증사업 평가항목 ····· 77
<그림 3-15> 미국 전기버스 제작사 현황 ····· 78
<그림 3-16> King County 전기버스 경로중 충전방식 ····· 78
<그림 3-17> 일본 구마모토 전기버스 주행노선 ····· 79
<그림 3-18> THOSHIBA 충전인프라 시스템 개념 ····· 80
<그림 3-19> THOSHIBA 급속 충전 인프라 실증사업 ····· 80
<그림 3-20> 중국 선전시 간선도로 전기버스 운행전경 ····· 81
<그림 3-21> 중국 선전시 동부교통 전기버스 차고지 ····· 83
<그림 3-22> 중극 선전시 동부교통 전기버스 충전기 ····· 83
<그림 3-23> 중국 선전시 동부교통 전기버스 정비직 ····· 83
<그림 4-1> 인천시내버스 준공영제 인천시내버스 연도별 1일 대당 표준운송원가 추이 ····· 92
<그림 4-2> 전지팩 가격 조사결과(BNEF 2016) ····· 93
<그림 4-3> 에너지원별 시내버스 온실가스, NOx 배출량 비교 ····· 95
<그림 4-4> 전기버스 시스템 각 이해주체별 검토과제 ····· 97
<그림 4-5> 전기버스 차량 보급확대 및 충전소 확대방안 ····· 100
<그림 4-6> 시내버스 운송업체 수 및 버스 보유대수 현황(2017년 12월 기준) ····· 102

그림 차례

<그림 4-7> 시내버스 운송업체 차고지 현황(2017년 12월 기준) ····· 105
<그림 4-8> 인천시내버스 노선별 면허대수 분포 (2018년 6월 기준) ····· 108
<그림 4-9> 인천시내버스 노선거리 분포 (2018년 6월 기준) ····· 109
<그림 4-10> 인천시내버스 대당 하루 운행거리 분포 (2018년 6월 기준) ····· 110
<그림 4-11> 인천시내버스 대당 하루 운행시간 분포 (2018년 6월 기준) ····· 111
<그림 4-12> 인천지역 전력 설비용량, 공급능력 및 최대전력 현황 ····· 122
<그림 4-13> 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 의사 ····· 124
<그림 4-14> 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입취지 및 필요성 동감 여부 ····· 125
<그림 4-15> 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입시 회사이익 부합 여부 ····· 126
<그림 4-16> 준공영제 버스운송업체 전기버스 기대 편익 ····· 127
<그림 4-17> 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 장애요인(회사사정) ····· 128
<그림 4-18> 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 장애요인(정부정책) ····· 129
<그림 4-19> 준공영제 버스운송업체 전기버스 최초 도입 가능년도(도입여건 개선 전제) ···· 130
<그림 4-20> 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 계획 선호전략 ····· 131
<그림 4-21> 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입시 충전소 운영 선호전략 ····· 132
<그림 4-22> 준공영제 버스운송업체 운행관리상 전기버스 충전회수 ····· 133
<그림 4-23> 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 차량 선정 조건 ····· 134
<그림 5-1> 2017년 인천시 CNG, 경유 단가 변화 ····· 141
<그림 5-2> 차고지별 대기차량 동시충전 개념 ····· 152
<그림 5-3> 연도별 누적 대기오염물질 감축 비용 ····· 154

Ⅰ

서 론

Ⅰ. 서 론

1. 연구배경 및 목적

○ 우리나라는 POST-2020 온실가스 감축 목표를 2030년까지 예상배출량 대비 37% 감축안을 목표치로 제안하였으며, 여기서 주행거리가 길고 온실가스 배출량이 많은 내연기관(경유 및 CNG) 버스를 전기버스로 교체할 경우 온실가스의 배출 저감을 기대할 수 있음

- 전기버스는 운행단계에서 온실가스 배출이 없는 무공해 차량임. 다만, 연료생산·공급과정의 온실가스 배출량은 해당 국가 및 지역의 전력 에너지원의 친환경 수준에 따라 감축효과가 예상됨[3)]

○ 내연기관의 에너지효율이 20% 수준인 데 반해 전기자동차의 에너지 전환 효율성은 99% 수준으로 우리나라를 포함하여 모든 나라에서 친환경 전기자동차에 대한 투자를 지속적으로 증대하고 있음

- 블룸버그 뉴에너지 파이낸스(BNEF)는 2016년 2월의 보고서를 통해 2040년까지 전 세계 신차판매의 34%를 전기차가 차지할 것으로 전망하고 있음

○ 전기자동차는 기존의 중앙집중식 에너지 인프라를 기반으로 하는 내연기관 자동차와는 구별되는 다양한 특성을 갖는 교통수단이며, 전기차 생태계 조성 및 에너지 신산업 창출 등 다양한 산업경제 분야에도 유무형의 영향이 예상됨

- 첫째 운송수단으로써 높은 에너지효율, 저렴한 연료비용, 단순한 차량 내부구조 등으로 전통적인 내연기관 자동차의 연관산업에 큰 영향을 미치게 됨. 둘째 인터넷 연결, 모바일, 정보기술 플랫폼을 기반으로 기하급수적 전기자동차의 기술개선은 새로운 다양한 모빌리티(mobility) 서비스 산업(예, 카풀, 카쉐어링, 핀란드 MaaS, 토요타 e-palette 등)을 촉진하고 기존 교통물류 운송산업시장에 영향을 미칠 것으로 보임. 셋째 친환경 전기자동차의

3) 국제에너지기구(IEA) 2016년(잠정치) 통계에서 우리나라의 신재생에너지 비중은 1.7% 수준으로 독일(12.7%), 덴마크(30.0%), 프랑스(9.6%), 스페인(14.5%), 일본(4.8%), 미국 (7.1%) 등으로 선진국(IEA 추정치)과 비교해서 아직 낮은 수준임[출처 : 산업통상자원부(2017), 2016년 신재생에너지 보급통계]

에너지원으로 태양광과 풍력 에너지 등 재생에너지 구성 비율의 전환을 유도하여 기존 화석연료 기반 에너지산업에 영향을 미칠 것으로 보임

○ 시내버스 운송산업의 전기버스 도입은 재생에너지 보급확대를 위한 초석이 되고 관련 연관 신산업(배터리산업, 충전 인프라 산업, 충전서비스 산업 등)의 창출 효과가 기대되며, 시내버스 운송사업에서도 향후 기술개선과 차량 가격경쟁력 향상으로 연료비용, 유지비용 등이 상대적으로 낮아 업체의 재무건전성 개선에 도움이 될 것으로 기대됨

- 전기버스는 최근 전지팩(battery pack) 기술이 빠르게 성숙 되어감에 따라 향후 차량 가격 경쟁력이 예상되며 중국, 미국, 유럽 등을 중심으로 충전 인프라 구축과 전기버스 도입과 관련하여 많은 실증사업이 진행되고 있음

○ 정부는 2015년 11월 「2030 에너지 신산업 확산전략」을 통해 2030년까지 시내버스를 전기버스로 전면 전환한다는 목표를 제시하였음. 서울시가 2010년 12월에 세계 최초로 시내버스노선에 전기버스를 운행한 바 있음. 인천광역시는 2018년 전기버스를 시내버스노선에 10대 시범사업추진을 위해 전기버스 제작사 입찰을 통해 선정하였고, 2019년 초 운행예정임

- 2009년부터 시내버스 준공영제를 시행하고 있는 인천광역시는 시내버스 운송원가의 25% 수준을 차지하는 연료비의 원가절감과 차량 부품 수의 감소에 따른 정비비 절감으로 준공영제 예산 절감을 기대할 수 있음

○ 이 연구는 인천광역시 시내버스 부문에서 전기버스 도입을 위한 기술 수준 및 법 제도 검토, 단계별 도입방안, 사업 타당성 분석 등을 통해 정책결정자의 전기버스 사업 불확실성을 줄이는 데 연구목적이 있음

- 지역 내 전기버스 사업추진 시 간과하였던 전지팩(battery pack) 및 충전기 개발기술 최근 동향, 기술표준, 법 제도적 보완과 국내외 추진사례, 인천시내버스 버스운행여건 내 운행가능 대수 및 도입 타당성 등을 검토 제안함

- 이 연구는 전기에너지를 100% 동력원으로 사용하는 순수 전기버스를 기술범위로 하며, 수소연료를 이용한 연료전지 전기버스는 연구에서 제외하며, 각각의 에너지 동력원에 대한 비교분석은 연구 범위에서 제외함

2. 연구 범위

1) 공간적 범위

○ 인천광역시 시내버스 운행권역

2) 시간적 범위

○ 기준년도 : 2018년

○ 목표연도 : 2030년

3) 내용적 범위

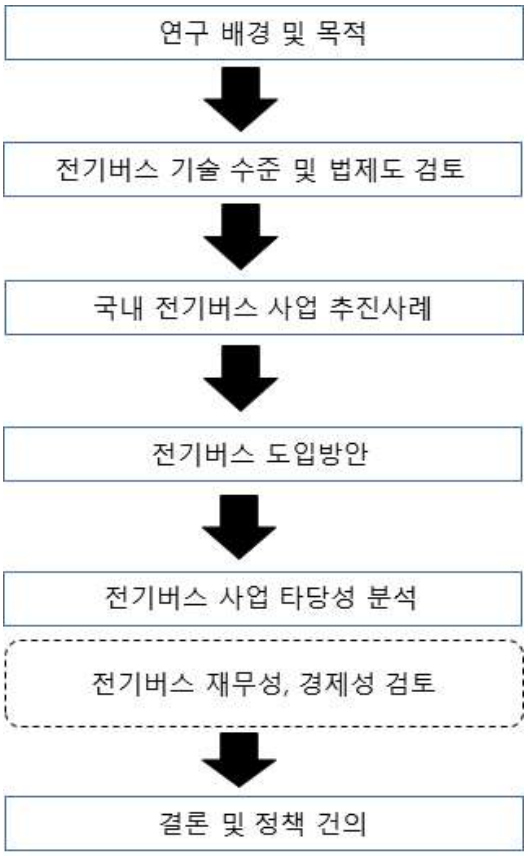
○ 주요 연구내용은 다음과 같음

- 전기버스 기술 수준 및 법제도 검토
- 국내외 전기버스 사업 추진사례
- 전기버스 도입방안 검토
- 인천시내버스 전기버스 사업 타당성 검토

3. 연구수행방법

○ 이 연구는 수도권 지자체 출연 연구기관(서울연구원, 인천연구원, 경기연구원, 수원시정연구원)과 국책연구기관(한국교통연구원, 한국철도기술연구원)간 협력연구를 통해 전기버스 기술 수준 및 국내외 추진사례, 타당성 분석에 대한 의견, 자료, 연구 방법론을 공유하였음

- 충전기, 배터리, 차량구조, 법제도, 분석방법론 등 전문가 자문회의 개최
- 경기 김포, 제주 등 국내 전기버스 사업 추진사례 현장 공동조사
- 중국 선전시 국외 전기버스 사업 추진사례 공동 출장(인천연구원,경기연구원)
- 유럽, 미국, 일본 등 전기버스 사업 추진사례 전문가 세미나 개최



〈그림 1-1〉 연구수행과정

Ⅱ

전기버스 기술 수준 및 법제도 검토

Ⅱ. 전기버스 기술 수준 및 법제도 검토

1. 전기버스 기술 수준 분석

1) 전기버스 정의

○ 전기버스는 「환경친화적 자동차 개발 및 보급촉진에 관한 법률」제2조 전기자동차의 정의를 만족하고, 「자동차관리법」제3조 및 시행규칙 제2조에서 정의하는 승합자동차로 정의할 수 있음

- 법률에서는 "환경친화적 자동차"로 전기자동차(엄밀히, 배터리 전기자동차), 태양광자동차, 하이브리드자동차, 연료전지자동차 또는 배출가스허용기준 적용 자동차, 환경기준 부합 자동차 등으로 폭넓게 정의하고 있음
- 「환경친화적 자동차의 개발 및 보급촉진에 관한 법률」제2조에서 전기자동차를 "전기 공급원으로부터 충전받은 전기에너지를 동력원으로 사용하는 자동차"로 정의함
- 전기를 동력원으로 움직이는 자동차라는 범주에서 보면, 하이브리드 전기자동차(Hybrid EV:HEV), 플러그인 하이브리드(Plug-in Hybrid EV), 배터리 전기자동차(Battery EV), 수소연료전지 자동차(Fuel Cell EV)로 구분하기도 함
- 이 연구에서는 법률에서 전기자동차로 정의하고 있는 순수 외부 전기공급원으로 배터리(전지)에 충전된 전기에너지를 동력원으로 사용하는 전기버스를 연구대상으로 함

○ 전기버스는 운행에 필요한 차량, 운영전략, 충전인프라, 정류장 등 모든 구성요소들을 포함하는 개념으로, 운행여건에 따라 모든 요소들을 유기적으로 연계하는 하나의 전기버스 시스템으로 규정할 수 있음

○ 환경부(ev.or.kr) 인증 전기버스 차량(2018.10.기준)은 16대임. 대형 전기버스가 14대이고, 중형 전기버스가 2대임. 대형 전기버스는 30인, 41인, 45인, 48인 승차 인원이 가능하며, 중형 전기버스는 15인, 18인 승차인원이 가능함

〈표 2-1〉 자동차관리법(제2조)상 승합자동차 유형

종류	경형		소형	중형	대형
	초소형	일반형			
승합 자동차	배기량이 1,000시시 미만이고, 길이 3.6미터·너비 1.6미터·높이 2.0미터 이하인 것		승차정원이 15인 이하이고, 길이 4.7미터·너비 1.7미터·높이 2.0미터 이하인 것	승차정원이 16인 이상 35인 이하이거나, 길이·너비·높이 중 어느 하나라도 소형을 초과하고, 길이가 9미터 미만인 것	승차정원이 36인 이상이거나, 길이·너비·높이 모두 소형을 초과하고, 길이가 9미터 이상인 것



〈그림 2-1〉 전기버스시스템의 구성요소

자료 : 국토교통과학기술진흥원(2016),『자동차시스템 및 인프라 핵심융합기반기술 연구사업 중 상세기획보고서 (친환경 도시대중교통 혁신을 위한 전기버스시스템 상용화 기술개발)』,국토교통부.

○ 국내 제조사는 에디스모터스, 우진산전, 자일대우, 현대자동차 4개사이며, 중국 제조사는 비야디(BYD), 한신자동차(구,에빅코리아) 대양기술, 피라인 4개사임

한신자동차 : 매그넘150



승차인원 : (대형)45인승
최고속도출력 : 75km/h
1회충전주행거리 : 202.1km
배터리 : 리튬폴리머(151.4kWh)
국고보조금 : 10,000만원

한신자동차 : 매그넘9



승차인원 : (대형) 30인승
최고속도출력 : 75km/h
1회충전주행거리 : 145.1km
배터리 : 리튬폴리머(117.6kWh)
국고보조금 : 10,000만원

BYD : eBUS 12



승차인원 : (대형) 41인승
최고속도출력 : 75km
1회충전주행거리 : 319.8km
배터리 : 리튬인산철(349.98kWh)
국고보조금 : 10,000만원

현대자동차 : 일렉시티



승차인원 : (대형) 48인승
최고속도출력 : 90km/h
1회충전주행거리 : 156.2km
배터리 : 리튬이온폴리머(128kWh)
국고보조금 : 10,000만원

조이롱코리아 : E6



승차인원 : (중형)18인승
최고속도출력 : 110km/h
1회충전주행거리 : 160.9km
배터리 : 리튬이온(60kWh)
국고보조금 : 6000만원

한신자동차 : 매그넘



승차인원 : (대형)45인승
최고속도출력 : 75km/h
1회충전주행거리 : 144.6km
배터리 : 리튬폴리머(117.6kWh)
국고보조금 : 10,000만원

BYD : eBUS-7



승차인원 : (중형)15인승
최고속도출력 : 75km/h
1회충전주행거리 : 145.9km
배터리 : 리튬인산철(157kWh)
국고보조금 : 6,000만원

현대자동차 : 일렉시티



승차인원 : (대형)48인승
최고속도출력 : 90.6km/h
1회충전주행거리 : 319.2km
배터리 : 리튬이온폴리머(256kWh)
국고보조금 : 10,000만원

에디슨모터스 : eFIBIRD(배터리교환형)



승차인원 : (대형)48인승
최고속도출력 : 76km/h
1회충전주행거리 : 83.68km
배터리 : 리튬이온폴리머 (97.2kWh)
국고보조금 : 10,000만원

에디슨모터스 : eFIBIRD(플러그인)



승차인원 : (대형)44인승
최고속도출력 : 85km/h
1회충전주행거리 : 178.2km
배터리 : 리튬이온폴리머(162.5kWh)
국고보조금 : 10,000만원

우진산전 : 우진산전 저상 전기버스



승차인원 : (대형)49인승
최고속도출력 : 85km/h
1회충전주행거리 : 94.3km
배터리 : 리튬티타네이트(97.15kWh)
국고보조금 : 10,000만원

우진산전 : APOLLO



승차인원 : (대형)49인승
최고속도출력 : 83km/h
1회충전주행거리 : 200.7km
배터리 : 리튬폴리머(204kWh)
국고보조금 : 10,000만원

자일대우버스 : BS110



승차인원 : (대형)46인승
최고속도출력 : 85km/h
1회충전주행거리 : 86.02km
배터리 : 리튬폴리머(99.36kWh)
국고보조금 : 10,000만원

에빅코리아 : 엔비온



승차인원 : (대형)48인승
최고속도출력 : 75km/h
1회충전주행거리 : 107.5km
배터리 : 리튬이온폴리머(100.8kWh)
국고보조금 : 10,000만원

대양기술 : 그린어스



승차인원 : (대형)45인승
최고속도출력 : 75km/h
1회충전주행거리 : 118.9km
배터리 : 리튬티탄산(109.44kWh)
국고보조금 : 10,000만원

피라인 : HYPERS



승차인원 : (대형)45인승
최고속도출력 : 75km/h
1회충전주행거리 : 129.5km
배터리 : 리튬티타늄(109.26kWh)
국고보조금 : 10,000만원

〈그림 2-2〉 환경부 인증 국내 전기버스 현황

주 : 환경부 전기차 충전소 (www.ev.or.kr) 2018년 10월 4일 기준

〈표 2-2〉 전기버스 차량별 성능 및 재원 비교(국내 제조사)

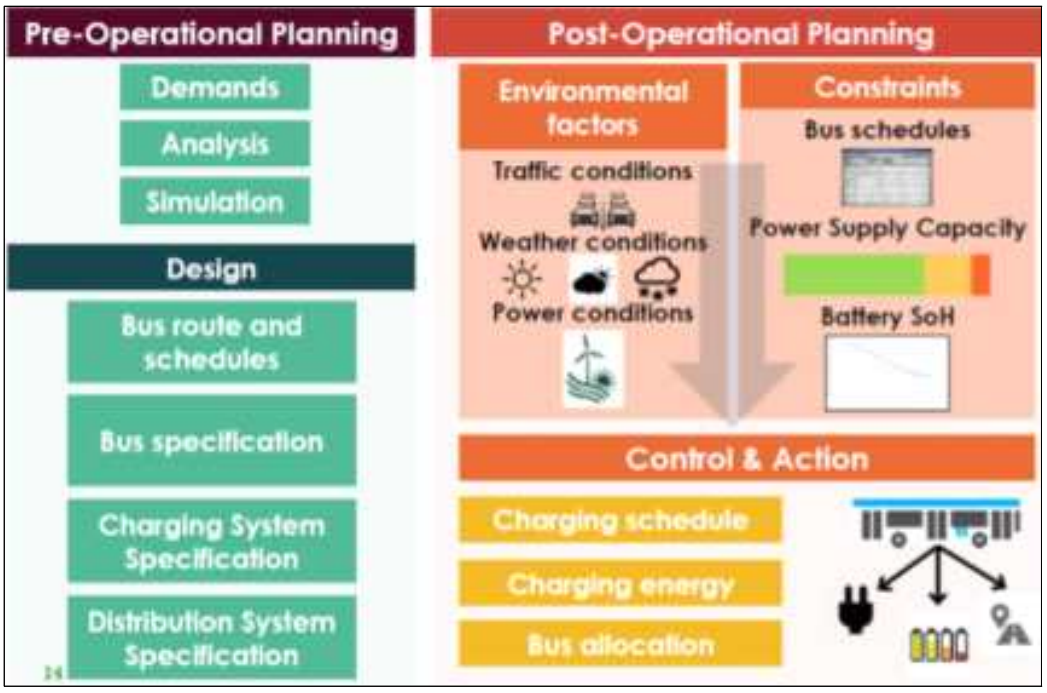
구 분		우진산전	에디슨모터스	자일대우	현대자동차
모델명		APOLLO 1100	e-FIBIRD	NEW BS110	일렉시티
시트재질		-	-	플라스틱, 쿠션	고급 인조가죽
배터리	타 입	리튬폴리머	리튬폴리머	리튬폴리머	리튬폴리머
	셀	LG화학	LG화학	삼성SDI	LG화학
	팩킹	CS에너텍	CS에너텍	PMGrow	현대엘지그린파워
	용량(실사용량)	204(173)	163(130)	187(150)	256(217)
공인연비(km/kWh)		1.38	1.43	1.36	1.07
주행거리(km)		242	182	203	319
실주행거리(km)		123~170	117~143	170	141~200
충전기	용량(kWh)	204	200	200	300
	충전시간(분)	50	39	40	72
	충전소 운영방법	자사제작 충전기 공급·관리	자사 주관운영	중앙제어주식회사	충전기 지원 (버스업체운영/운영대행)
구동모터	타 입	1Motor	In-Wheel-Motor	In-Wheel-Motor	In-Wheel-Motor
	제 작 사	Siemens	ZF	ZF	현대로템
	최대출력	160kW(214ps)	250kW(333ps)	125kW	240kW(326ps)
제원	좌석수	25	24	24	27
	전장/전폭/전고(m)	11.0/2.5/3.4	11.0/2.5/3.4	11.0/2.5/3.3	11.0/2.5/3.4
	바디재질	알루미늄	복합재바디	스틸	스틸

자료 : 서울특별시(2018),『전기버스 도입 설명회 자료집(2018.3.14)』재구성

〈표 2-3〉 전기버스 차량별 성능 및 재원 비교(중국 제조사)

구 분		대양기술 (포톤)	BYD (이지웰)	피라인 (하이거)	한신자동차 (구 에빅코리아)
모델명		그린어스	Ebus-12	HYPERS	매그넘 표준형
시트재질		PU(폴리우레탄)	-	-	-
배터리	타 입	리튬티탄산	리튬인산철	리튬티타늄	리튬폴리머
	셀	마이크로베스트	BYD(자사)	마이크로베스트	삼성SDS
	팩킹	마이크로베스트	BYD(자사)	마이크로베스트	PMGrow
	용량(실사용량)	109.44(95.21)	350(324)	109.26(92.5)	117.6(94.08)
공인연비(km/kWh)		1.0	1.0	1.4	1.23
주행거리(km)		118.9	407	129.5	144.6
실주행거리(km)		70~80	272~357	75	58
충전기	용량(kWh)	360	324	360	200
	충전시간(분)	20	180	24	30
	충전소 운영방법	신설법인 설립(컨소시엄)	-	운수사 또는 충전사업자 운영	선진그룹 에너지사업부
구동모터	타 입	1Motor	In-Wheel-Motor	1Motor	1Motor
	제 작 사	Presolite	BYD(자사)	Presolite	Presolite
	최대출력	235kW(313ps)	300kW(408ps)	200kW(271ps)	200kW(272ps)
제원	좌석수	23	27	21	22
	전장/전폭/전고(m)	10.6/2.5/3.3	11.0/2.5/3.3	10.5/2.5/3.3	10.6/2.5/3.3
	바디재질	스틸	알루미늄	스틸	알루미늄

자료 : 서울특별시(2018),『전기버스 도입 설명회 자료집(2018.3.14)』재구성



〈그림 2-3〉 전기버스시스템 운영최적화를 위한 고려항목

자료 : 국토교통과학기술진흥원(2016),『자동차시스템 및 인프라 핵심융합기반기술 연구사업 중 상세기획보고서(친환경 도시대중교통 혁신을 위한 전기버스시스템 상용화 기술개발)』,국토교통부.

○ 전기버스의 기술특성을 고려한 운행노선의 선택, 배차간격 및 투입차량대수 결정, 충전방식 등 전기버스의 시스템적 접근이 필요함

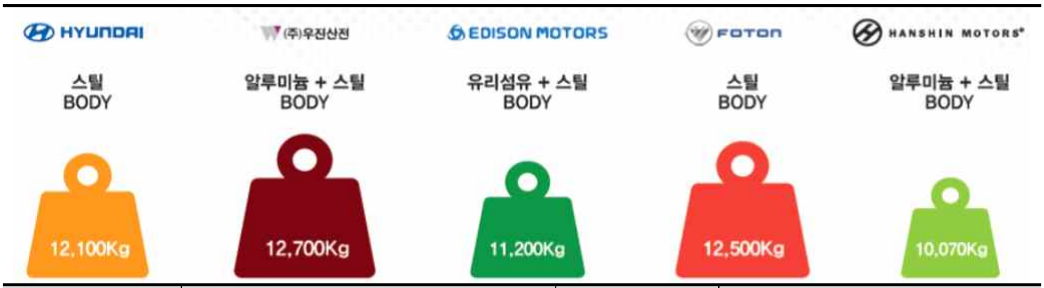
- 준공영제 운행노선의 경우, 충전인프라는 주행거리가 길고 배차간격, 운행일정 등에 따라 충전시간의 제약과 운행환경을 고려한 충전솔루션으로 심야 충전(Overnight charging)과 기회충전(opportunity charging)이 가능함
- 환경부에서 인증된 국내 전기버스 차량별 적용된 충전기의 최대소비전력과 배터리 용량에 따른 1회 충전 운행 거리와 충전시간에 따라 전기버스 도입가능대수 검토 필요

2) 전기버스 차량 기술

○ 전기버스 차체 소재는 스틸, 알루미늄+스틸, 유리섬유+스틸 등 다양함. 차체 소재에 따라 차량 중량이 다르고, 전기버스 연비에 영향을 미침

- 알루미늄은 대형버스기준 1톤 감량이 가능함, 대신 개발비와 제작단가가 높음, 차체재질에 따라 스틸의 경우 천장에 배터리를 장착하고, 알루미늄은 바닥이나 차량후면부에 배치함

〈표 2-4〉 전기버스 차체(body) 소재별 특성



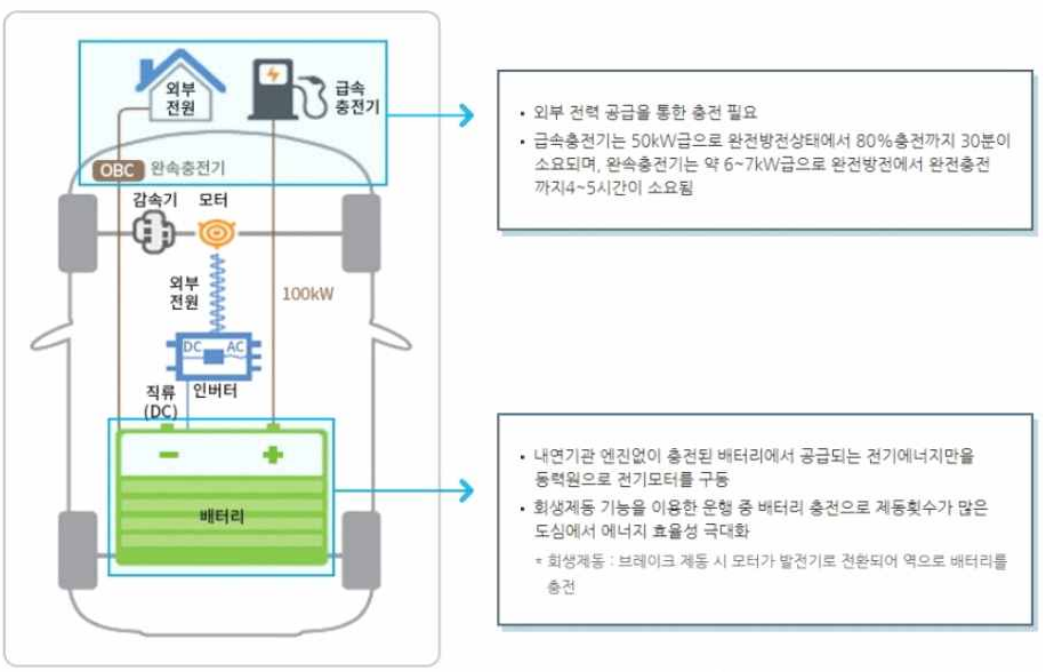
구분	알루미늄	스틸	화이버글라스
중량	가벼움, 대형버스 기준 1톤 감량 (전체면적의 약 70% 사용)	무거움	가벼움 (전체면적의 약 23% 사용)
상부하중	최대 허용 하중 1.8톤 이내	관계없음	관계없음(바디부분 사용 불가)
개발비	고비용 구조(금형개발 요구)	저비용 구조	저비용 구조
제작단가	상	중	하
내구성 (내부식성)	상	하	중

자료 : 김점산 외(2018), 『수도권 전기버스 도입 확대 방안(자문회의자료, 2018.9.20.)』,경기연구원.

○ 전기버스 내부 구조는 기본적으로 전지팩(battery pack), 전기모터 및 감속기, 인버터, 컨버터 및 차내충전기, 배터리, 배터리관리시스템 등으로 구성됨[4)]

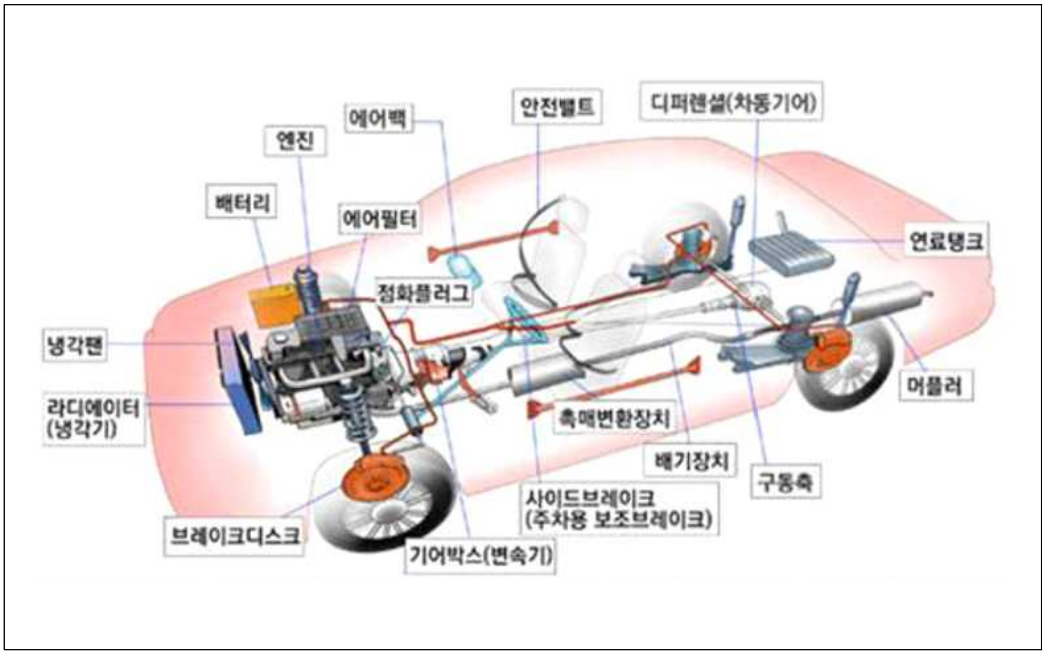
- 전기버스는 배터리에 저장된 전기에너지가 제어부인 컨버터와 인버터를 거쳐 모터에 전달되어 구동함으로써 운행이 이루어짐. 반면, 내연기관자동차의 부품수는 엔진부품을 포함하여 30,000개 수준이나 전기자동차 부품수는 18,900개 수준으로 63% 수준임
- 전지(battery)는 전기자동차의 핵심기술로서 기존의 납축전지에서 니켈-수소전지, 리튬이온전지, 리튬이온폴리머 전지 등 성능 및 안전성 등에서 개발과 발전을 해옴
- 전기차의 모터는 전기에너지를 기계에너지로 변환하여 드라이브 라인에 동력을 공급함. 모터는 구동전원의 형태에 따라 직류모터와 교류모터로 구분함. 교류모터는 구조가 비교적 간단하고, 모터크기를 소형화, 경량화할 수 있어 전기차에 주로 사용됨
- 차내충전기는 교류전원을 직류전원으로 변환해 차량내부 배터리를 충전하는 장치임
- 인버터는 배터리에서 직류전원을 주행에 필요한 교류전원으로 변환시켜 모터를 구동하게 하는 장치임. 컨버터는 배터리의 직류전원을 전장제품(5V) 직류전원으로 고전압을 저전압으로 변환하는 전자회로장치임
- 전지시스템(BMS)는 전지의 충전, 방전을 조절하고 보호하는 역할을 하여 전지의 품질을 향상시킴. 급속충전통신모듈은 외부충전설비로부터의 전력공급을 제어함

4) 자료 : 배중호(2013),「전기자동차 구조 및 보급전망」, 교통안전공단 자동차안전연구원(재작성)



〈그림 2-4〉 전기자동차 차량 내부 구조

자료 : 환경부(2015.12.),『친환경 자동차(하이브리드차·플러그인하이브리드차·전기차·수소차)』



〈그림 2-5〉 내연기관 자동차 차량 내부 구조

자료 : 골든벨(2010),『What's 자동차 속이 보인다.』

〈표 2-5〉 전기버스 차량구조 관련 규정

종류	자동차관리법 규모별 분류기준 (승차정원, m)	전기차 보조금 차종분류기준 (승차정원, m)	보조금	비고
경형	3.6(L)*1.6(W)*2.0(H) 이하	3.6(L)*1.6(W)*2.0(H) 이하	검토중	
소형	≤15인 4.7(L)*1.7(W)*2.0(H) 이하	≤15인 4.7(L)*1.7(W)*2.0(H) 이하	검토중	
중형	16인 ≤ 정원 ≤ 36인 1.7(W)*2.0(H) 초과 4.7m < 길이 < 9m	16인 ≤ 정원 ≤ 36인 1.7(W)*2.0(H) 초과 4.7m < 길이 < 7.62m	60백만원	중형-가
		16인 ≤ 정원 ≤ 36인 1.7(W)*2.0(H) 초과 7.62m < 길이 < 9m	검토중	중형-나
대형	36≤정원 1.7(W)*2.0(H) 초과 9m ≤ 길이	36≤정원 1.7(W)*2.0(H) 초과 9m ≤ 길이	1억원	

자료 : 김점산 외(2018), 『수도권 전기버스 도입 확대 방안(자문회의자료, 2018.03.06.)』, 경기연구원.

〈표 2-6〉 전기자동차 종류별 주요구성부품

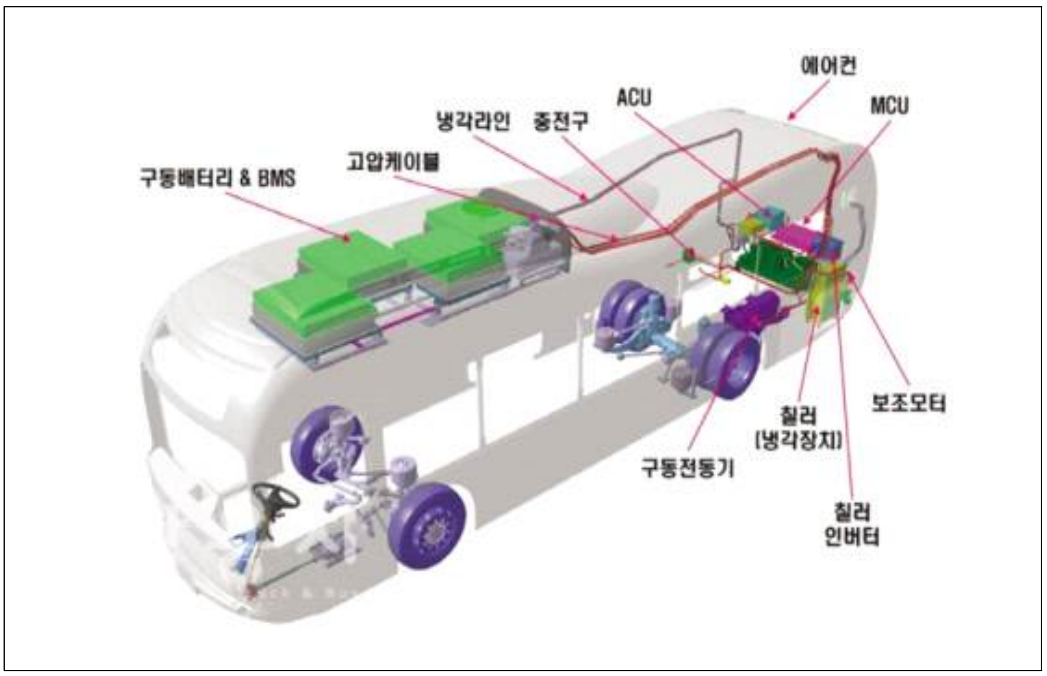
부품명	하이브리드전기자동차	전기자동차(EV)	수소연료전기자동차
전기모터	●	●	●
전지	●	●	●
BMS	●	●	●
인버터/컨버터	●	●	●
차량제어기	●	●	●
엔진	●	-	-
변속기	●	-	-
수소저장탱크	-	-	●
연료전지	-	-	●

자료(출처) : 정용욱·정구섭(2017), 『친환경 전기차』, GS인터비전

〈표 2-7〉 전기자동차 종류별 주요구성부품

구분	내연기관차 부품수		전기자동차 부품수	
엔진부품	6,900개	23%	-	-
구동, 전달 및 제동장치	5,700개	19%	3,600개	19%
차제	4,500개	15%	4,500개	24%
현기(서스펜션) 및 제동	4,500개	15%	4,500개	24%
전장품, 전자부품	3,000개	10%	900개	5%
기타	5,400개	18%	5,400개	18%
합계	30,000개	100%	18,900개	100%

자료 : 정용욱·정구섭(2017), 전게서



〈그림 2-6〉 전기버스 내부 구조 : ㈜한국화이바 e프리머스 전기버스 사양(2009년)
자료 : 상용차신문(2011.10.24.), "세계 최초 노선 전기버스...경제성+친환경"



〈그림 2-7〉 전기버스 외부 구조 : ㈜한국화이바 e프리머스 전기버스 사양(2009년)
자료 : 상용차신문(2011.10.24.), "세계 최초 노선 전기버스...경제성+친환경"

3) 전기버스 충전기 및 충전 인프라

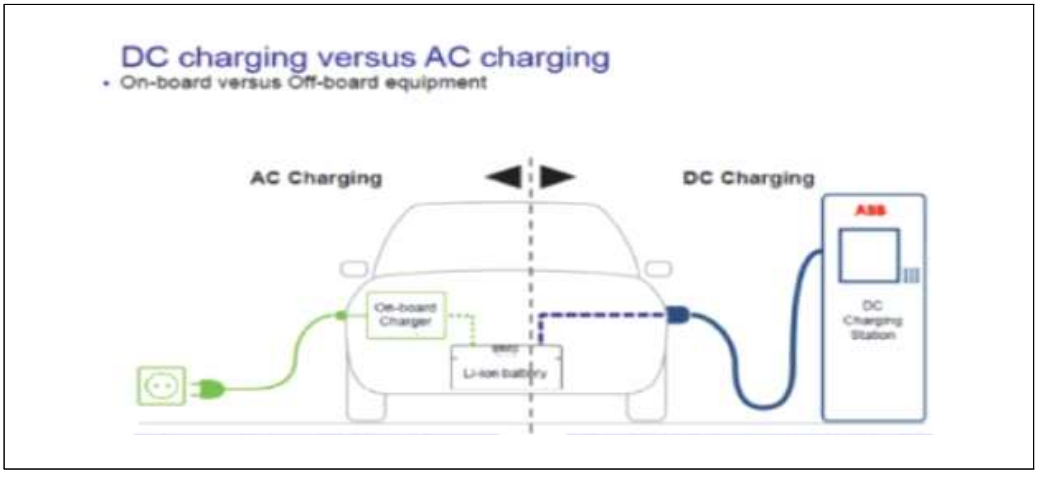
충전기

○ 충전기는 전압의 출력방식에 따라 직류 충전(DC charging)과 교류 충전(AC charging)으로 구분함[5)]

- 직류 충전은 높은 전력의 직류충전소(off-board charger)가 필요하고, 급속충전이라 할 때 1시간내 직류충전을 말함
- 교류 충전은 EV내에서 교류를 직류로 전환시켜주는 차내충전기(on-board charger)가 필요함. 교류충전은 전력크기에 제한이 있어 완속충전으로 장시간 충전시켜야 함

○ 완속 충전기는 Type 1(단상)과 Type 2(3상) 방식으로 나눌 수 있음

- 완속 충전은 전력망의 교류 전원을 차내충전기를 통해 직류로 변환해 배터리에 4~5시간 정도 충전해야 함
- Type 1(단상)은 하나의 교류전압과 그에 대응하는 전류만이 있는 경우를 단상교류라 하며, 보통 가정용 전기로 2선 220V를 사용함



〈그림 2-8〉 교류와 직류 충전방식

자료 : 김인택(2016), "전기차 충전방식의 국내외 표준 동향과 정책", 『Journal of Standards and Standardization』, Vol. 6, No. 3, 30

5) 전류는 건전지같이 일정한 전압과 전류를 갖는 '직류(DC)' 가 있고, 집에 있는 콘센트에서 나오는 '교류(AC)'가 있음. 교류는 시간에 따라 전압과 전류의 크기와 방향이 변화하는데, 그 이유는 발전소에서 전기를 만들 때 자석의 회전운동을 활용하기 때문임

- Type 2(3상)은 전압주기가 같고, 위상(2/3π, 120°)이 다른 3개의 교류전압에 의해 발생하는 전류를 의미함. 전압이 더 높은 산업용 전기기계기구의 380V 전원에 3개의 전원용 단자가 사용됨

○ 급속 충전기는 DC콤보1, DC콤보2방식과 차데모(CHAdeMO)를 사용함

- 급속충전은 별도 변환을 거치지 않고 직류로 바로 충전하는 방식이기 때문에 완속충전보다 충전속도가 훨씬 빠르며, 대략 30분 내외면 충전됨
- 'DC콤보' 방식은 완속 충전용 교류 모듈에 급속충전용 직류 모듈을 동시에 사용할 수 있는 방식으로, 공간 활용도나 커넥터 통합 등의 이점이 있음. 완속 충전용 교류 모듈(Type 1과 Type 2)에 따라 DC콤보1, DC콤보2방식로 구분함
- 미국과 유럽은 완속과 급속을 통합으로 콤보 방식을 규격화하여 충전구가 하나임. 미국은 콤보 Type 1을 택하였고 유럽은 콤보 Type 2를 택하여서 규격이 다름
- '차데모'는 직류 방식만을 이용한 충전 방식으로 급속 충전을 목표로 개발됨. 교류 충전은 별도의 커텍터 등이 필요하여 공간 활용성이 떨어진다는 단점이 있음

○ 충전기는 전기자동차에 전기를 공급하기 위해 연결되는 커플러, 케이블, 커넥터, 인렛 등이 포함됨

- 커플러는 충전케이블과 전기자동차의 접속을 가능케 하는 장치로, 충전케이블에 부착된 커넥터와 전기자동차의 인렛(Inlet)으로 구성됨
- 커넥터는 충전케이블에 부착되어 있으며, 전기자동차 인렛에 접속하기 위한 장치를 나타냄
- 인렛은 자동차 커플러의 구성부분으로서, 전기자동차에 부착되어 충전케이블의 커넥터와 연결되는 부분임

전기차 충전기 국내 표준화

○ 국가기술표준원은 2017년 12월에 전기차 급속 충전방식을 '콤보1'으로 권장하는 내용의 한국산업규격(KS) 개정을 고시했으나, 환경부 '전기차 보조금 지급 자격'을 획득한 8개 전기버스 업체의 충전기 방식은 국가가 권고한 충전 규격 '콤보 타입1'은 단 한 곳도 없음

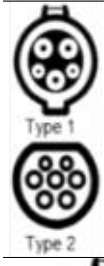
○ 중국 방식(GB/T)을 채택한 업체는 5개사, 유럽 방식 '콤보 타입2'는 1개사, 일본 '차데모(CHAdeMO)'는 2개사로 확인됨. GB/T는 비야디(BYD), 포톤, 중통, 하이거 등 중국 전기버스 업체 4곳과 대우자일이 채택했음. 콤보 타입2는 유일하게 현대차만 사용함

〈표 2-8〉 전기자동차 충전기 커넥터(Outlet)

구분	AC단상5핀 (완속)	AC3상7핀 (완속/급속)	DC차데모 (급속)	DC콤보1 (완속/급속)	DC콤보2 (완속/급속)
충전기 커넥터					
특징		·급속/완속 충전구 일체형 전력망으로 효율적 관리 가능	급속전용 전파간섭 작음 (유선통신)	급속/완속 충전기 커넥터 일체형	
				미국표준 국내 전기차 표준	유럽표준
적용 주요국가	미국, 일본, 한국	유럽, 한국	일본, 한국	미국, 유럽, 한국	미국, 유럽, 한국

자료 : 김점산 외(2018), 『수도권 전기버스 도입 확대 방안(자문회의자료, 2018.9.20.)』,경기연구원.(재작성)

〈표 2-9〉 각 국가별 전기자동차 충전구(Inlet)

한국 (KS)		미국 (SAE)		유럽 (IEC)		일본 (CHAdeMO)		중국 (GB)	
AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC
									
									

자료 : 엠에스리 네이버블로그(2017.4.1.), “전기차 충전구 종류와 충전방식”, https://m.blog.naver.com

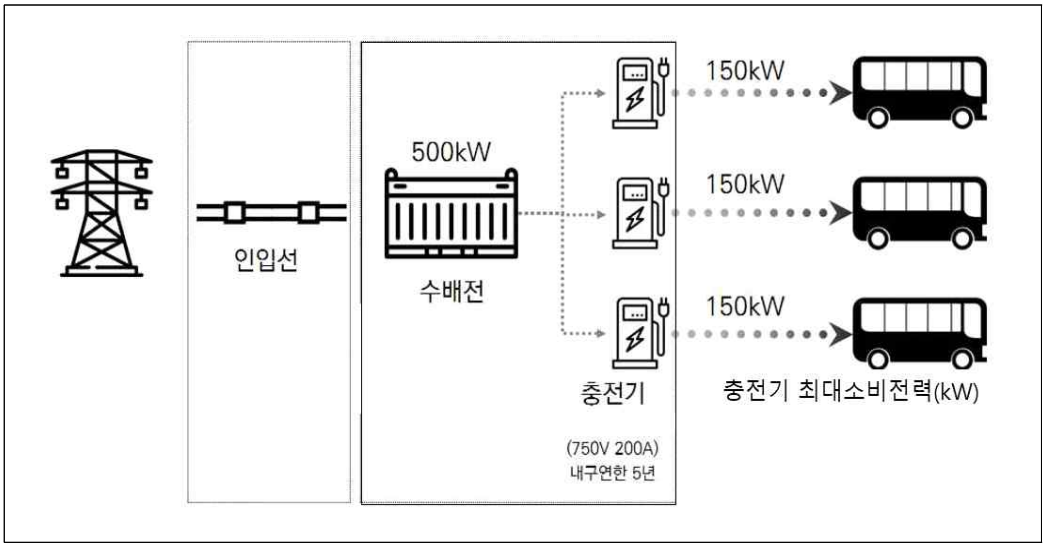
충전인프라

○ 관련법규

- 전기자동차 보급 및 충전인프라 구축사업에 대한 주요 법적 근거로는 대기환경보전법 제58조 제3항(저공해자동차의 운행 등)이며 여기서는 전기를 연료로 사용하는 자동차에 전기를 충전하기 위한 시설로써 환경부장관이 정하는 시설에 대하여 지원할 수 있다고 규정되어 있음

○ 충전인프라 구성

- 전기버스 충전 인프라는 전력공급설비, 충전기, 인터페이스 및 정보시스템으로 구성됨
- 전력공급설비는 전기자동차에 전원을 공급하기 위한 전기설비임. 전력량계 인입구 배선, 분전반, 배선용 차단기 등이 포함됨. 일반 전기자동차 충전기는 전원을 단상 2선식 220V로 공급받는 완속충전기와 3상 4선식[6]으로 380V로 공급받는 급속충전기로 구분됨. 전기버스 급속충전기는 150kW(750V/200A)수준이 가장 표준화된 전원임. 충전기 최대소비전력을 500kW(1,000V/500A)수준까지 개발 가능함. 급속충전기 최대소비전력이 클수록 배터리 수명이 짧아질 수 있는 기술문제 개선 필요
- 한국전력공사(KEPCO)는 한전 전력망을 통한 전기차 충전방식을 개발하였는데, 단상 220V로 완속 충전하고, 삼상 380V를 급속충전기에서 직류100~450V로 급속 충전함



〈그림 2-9〉 전기버스 충전인프라 구성도

자료 : 유경상 외(2018),『서울시 친환경 시내버스 도입 타당성 검토(자문회의자료,2018.9.20.)』,서울연구원(재구성)

6) 4개의 도선으로 3상 기기에 전기를 공급하는 방법인데, 도선 중 중성점 1개에 다른 3개의 상에 접속됨

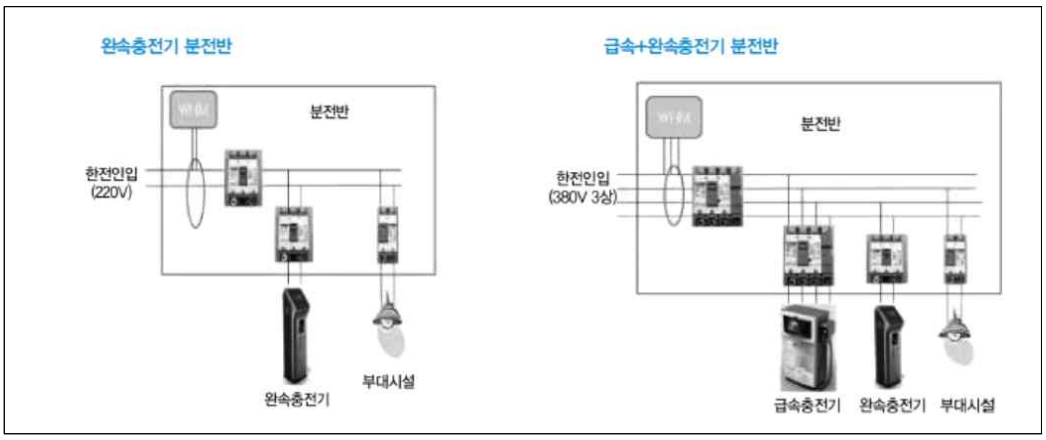


〈그림 2-10〉 일반 전기자동차 충전기 전력공급 방식 : 한국전력공사(KEPCO)

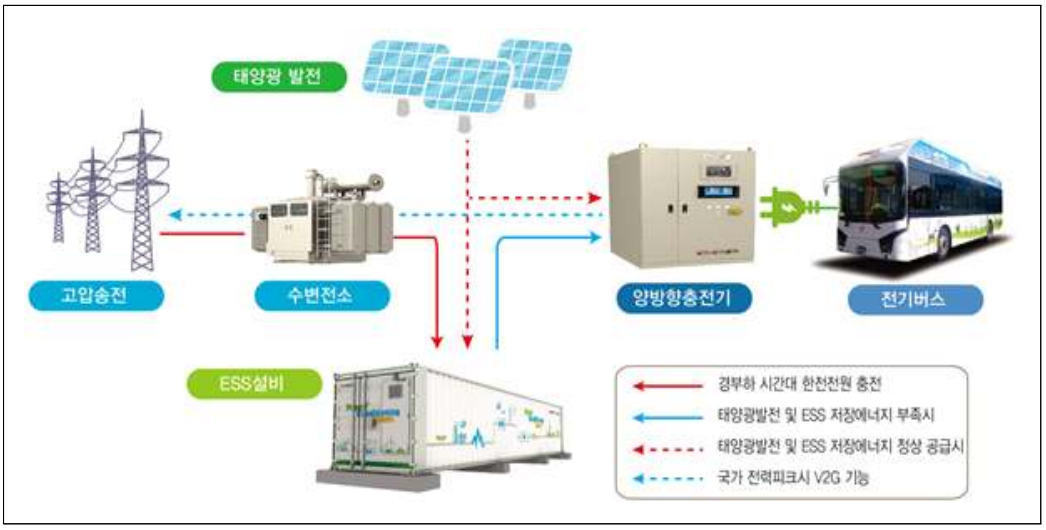
자료 : 에너지경제신문(2014.5.28.), "전기차 충전방식 세계표준 놓고 日vs美·獨 '으르렁' "

○ 충전기 전기공급 설비

- 충전기의 전력공급은 한국전력으로부터 수전하는 방식이 주로 적용되나, 환경적 측면에서 태양광 발전시설, 소각시설의 폐열을 이용한 발전시설 등에서 전력을 공급받는 신재생에너지 활용 방식도 있음
- 신재생 에너지 발전 전력을 활용하는 경우 발전용량이 비교적 작으므로 완속충전기에 소요되는 전력의 전부 또는 일부를 충당하도록 설치할 수 있으나 급속충전기에 대한 적용은 면밀한 기술적 사전 검토가 필요함
- 전기자동차의 충전전력은 전력부하관리, 전기자동차용 전력요금 적용을 받기 위해 별도의 충전용 전력을 한전으로부터 수전하여 사용하여야 하며 별도의 계량기의 설치가 필요함
- 인입구 배선에 있어서는 인입선로는 지중인입과 가공인입으로 설치할 수 있으며, 충전기 설치지점의 현장 여건에 따라 설치 가능한 방식과 비용이 다름
- 분전반 설치는 전기를 안전하게 사용하기 위해 필요한 누전차단기나 배선용 차단기 설치가 필요하며, 전기회로를 쉽게 조작할 수 있도록 충전소 인근에 시설하여야 함
- 안전을 위한 누전차단기는 기계설비 및 사용자 보호를 위해 분전반 내에, 과부하 및 단락보호 겸용 누전차단기를 설치하며 배선용 차단기는 전선 및 기계 기구를 보호하기 위해 분전반 내 설치함



〈그림 2-11〉 충전기 전기공급 방식



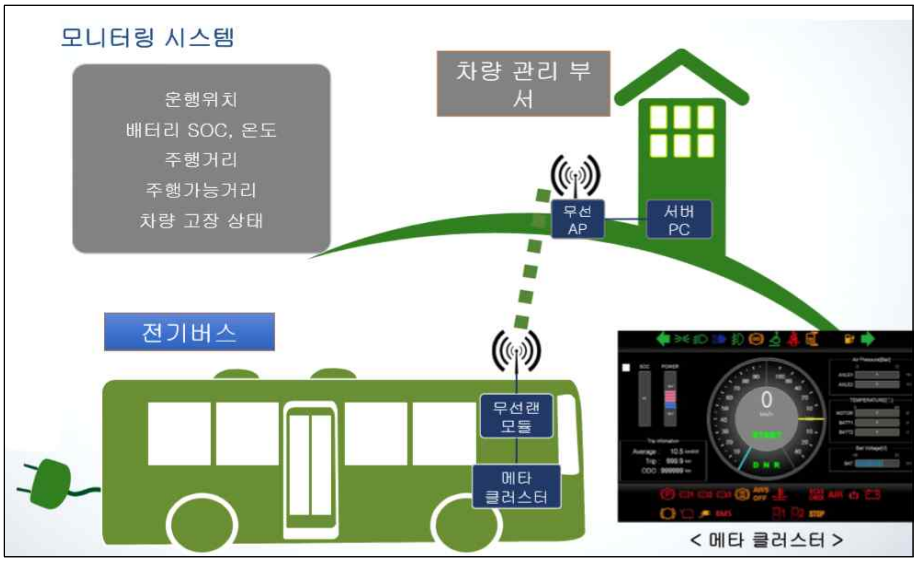
〈그림 2-12〉 ESS기반 전기자동차 급속충전기 전기공급 개념

자료 : 우진산전(2018),『인천지하철 전력을 활용한 전기버스 충전 인프라 구축 및 운영방안(자문회의자료, 2018.6.20.)』, 인천연구원.

○ 스마트충전기술

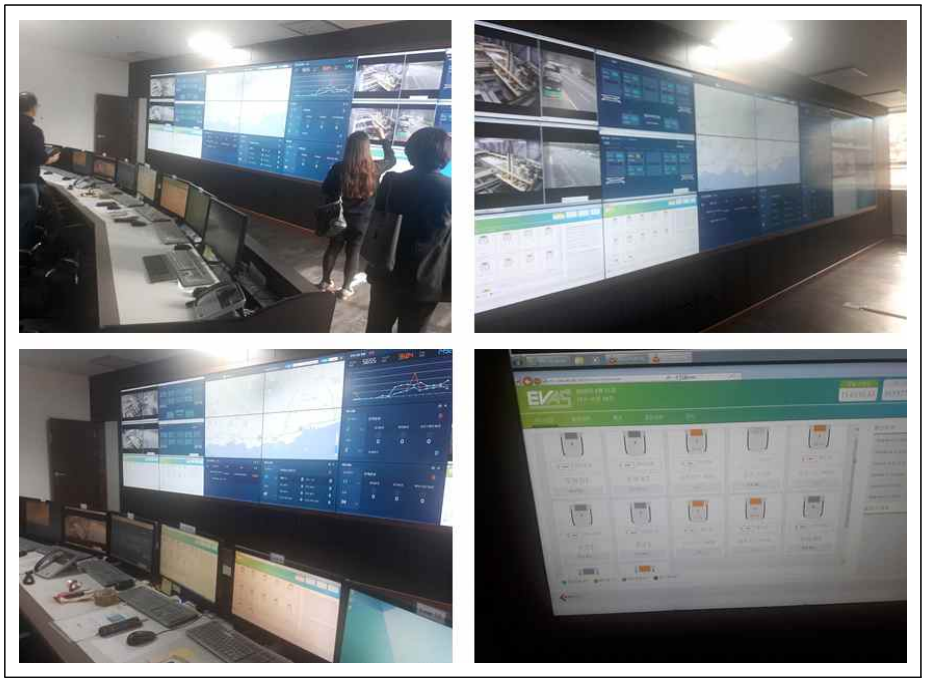
- 전기버스의 노선운행여건에 따라 배터리충전방식(심야충전 및 회당충전)을 결정하고, 운행노선의 배차간격 및 투입차량대수 등을 결정함. 이를 통해 운행의 효율과 안전성 향상을 도모함
- 통합운영센터 및 관제센터를 통한 실시간 배터리 상태 확인을 통해 SOC(State of charge: 배터리잔존용량)에 따른 충전시기 결정
- 스마트충전기술은 통합운영센터(TOC : Total Operating Center)와 전기버스간 무선통신을 통해 실시간 배터리 상태의 관리가 가능하도록 함

- 경기 김포선진버스에서 TOC운영하고, 제주 동서교통에서 기존 버스 제조사에서 운영하던 TOC를 현재 시설만 유지하고 있음



〈그림 2-13〉 전기버스 배터리 상태 모니터링 시스템

자료 : 서울특별시(2018),『전기버스 도입 설명회 자료집(2018.3.14)』



〈그림 2-14〉 전기버스 통합운영센터(TOC) 사례(제주 동서교통)

©인천연구원(2018)

○ 충전방식

- 충전기는 한국전력과 같은 전기공급자로부터 송전 받은 전기를 전기자동차의 배터리에 공급하는 역할을 하며, 직접 충전, 비접촉식 충전, 전지교환 방식 등이 있음
- 직접 충전방식은 전기자동차의 충전구와 충전기를 직접 연결하여 전력을 공급하며, 전기자동차 내부에 장착된 배터리를 일정 수준까지 재충전하는 방식으로 충전시간에 따라 완속충전과 급속충전으로 구분됨
- 비접촉식 충전방식은 기존의 주차장 바닥하부에 교류를 발생시키는 급전 선로를 자성재료(코어)와 함께 매설하고, 자동차 바닥부에는 지하에서 발생한 교류에 의한 자기장을 받아 유도전류를 발생시켜 에너지를 전달받는 집전장치가 장착되며, 집전장치에서 발생된 전류는 정류를 거쳐 배터리로 충전이 되는 방식임
- 전지교환방식은 충전소 사업자가 부하율이 낮은 시간대의 전력을 활용하여 예비용 배터리를 충전하고, 운전자가 충전소 스테이션에서 전기자동차 배터리를 반자동으로 교환받는 방식임
- 한국과학기술원(KAIST)에서 개발한 무선충전 전기버스[7]는 자기공진 형상화기술(SMFIR)을 활용하여 도로 밑에 매설된 전선에서 발생하는 자기장을 차량 하부에 장착된 집전장치를 통해 전기 에너지로 변환하여 충전하는 원리임. 버스에 적용하려면 운행 노선 중 시점, 종점, 정류장, 교차로 부근 및 주차장 등 전체 노선 중 약 5% 이내 정도의 구간에 급전 레일을 구축하여야 함. 차량에도 배터리와 차량하부에 집전장치를 설치가 필요함

7) 한국과학기술원(KAIST)에서 개발한 무선충전 전기버스는 디젤대비 38%, CNG 대비 33% 연료비를 절감됨. 충전의 형태가 플러그인(plug-in) 방식이나 배터리 교환방식에 비해 배터리의 무게가 1/3수준임.
[출처 : e4dsnews, 전기버스, 무선충전방식으로 달리나, 2018.4.12.]

〈표 2-10〉 전기자동차 충전방식

구분	온라인 무선충전방식	배터리 교체방식	플러그인 방식
개요	• 도로 하부에 매설된 전선에서 발생하는 자기장을 차량 하부에 장착된 집전장치를 통해 전기에너지로 변환하여 이를 동력으로 배터리 충전 및 차량을 구동하는 기술	• 차량에 장착된 탈착이 가능한 배터리를 통해 전기에너지로 전동모터를 구동시켜 차량을 운행하는 기술	• 급속충전설비에 플러그를 이용하여 차량에 장착되어 있는 배터리를 충전하는 방식
사진			
장점	• 전기사용에 따른 소음·진동이 적고 조용함 • 주행 중 CO2 배출이 없어 친환경적임 • 별도의 충전설비가 없으므로 충전 대기시간 감소 및 배터리 용량 최소화 가능 • 충전면 설치부지 다소 적음 • 국내 적용사례 다수	• 전기사용에 따른 소음·진동이 적고 조용함 • 주행 중 CO2 배출이 없어 친환경적임 • 탈착이 가능한 배터리를 사용하므로 별도의 충전 대기시간 없음 (배터리 교체시간 필요)	• 전기사용에 따른 소음·진동이 적고 조용함 • 주행 중 CO2 배출이 없어 친환경적임 • 배터리 충전설비가 간단하고 시설비 저렴 • 충전소 설치부지 매우 적음
단점	• 장거리 운행 시 급전선로 추가에 따른 비용 발생 • 차량에 장착되 배터리 용량이 상대적으로 적어 주행거리 다소 제한	• 배터리 용량이 크고 예비배터리가 최소 3개 필요 (사업비 고가) • 별도의 배터리 교환설비가 필요 - 초기설치비·운영비용 고가 - 설치부지 매우 넓음 - 별도의 관리운영인원 필요 • 국내 적용사례 적음	• 배터리 충전을 위한 대기시간 필요 • 국내 적용사례 적음
차량 및 배터리 제원	• 33~48인승 등 다양 (디젤자동차 개조) • 배터리 용량 : 50kWH~100kW 등 • 배터리 완충시 최대 주행거리 : 60Km 이내 (도로 여건에 따라 변동) • 배터리 교체주기 : 약 2년 내외 • 배터리 충전시간 : 약 30분 이내 (리튬폴리머 전지 사용) • 최고속도 : 80Km/h 이하 제한	• 44인승 (33인승 개발 중) (전기버스 전용차량 제작) • 배터리 용량 : 최소 120kW 이상 • 배터리 완충시 최대 주행거리 : 104Km 이내 (도로 여건에 따라 변동) • 배터리 교체주기 : 약 2년 내외 • 배터리 충전시간 : 약 30분 이내 (리튬폴리머 전지 사용) • 최고속도 : 80Km/h 이하 제한	• 48인승 (33인승 개발 중) (전기버스 전용차량 제작) • 배터리 용량 : 최소 150kWh 이내 • 배터리 완충시 최대 주행거리 : 104Km 이내 (도로 여건에 따라 변동) • 배터리 교체주기 : 약 2년 내외 • 배터리 충전시간 : 약 30분 이내 (리튬폴리머 전지 사용) • 최고속도 : 80Km/h 이하 제한
적용 사례	세종시 시내버스(1대), 구미시 시내버스(4대) 등	포항시 순환버스(2대)	서울(14대)

자료 : 산업통상자원부(2016), 『공공운수분야 전기차신산업 활성화 전략연구』

4) 인천지하철 전력망을 활용한 전기버스 충전인프라 활용

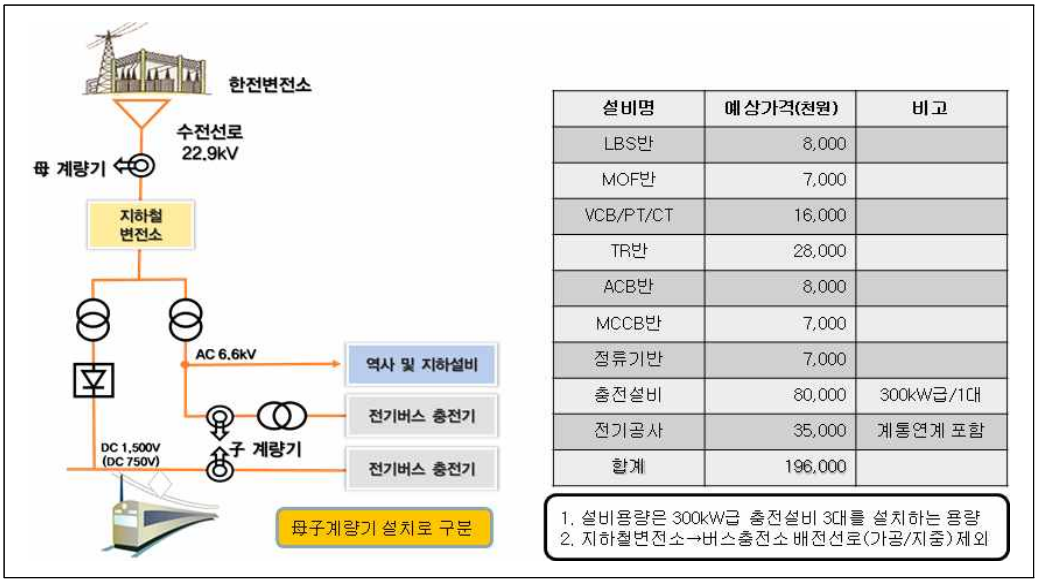
지하철 전력망 현황 및 전기버스 충전인프라 개념

○ 지하철도용 전철 변전소는 22.9kV를 수전하여 변압기군(정류용 변압기, 고배용 변압기, 소내용 변압기)를 거쳐서 각각 전차선로용 전력은 직류 고압 1,500V, 고배용 전력은 교류 고압 6,600V, 소내용 전력은 교류 저압 380/220V로 강압시키고 있음

- 전차선로용 전력은 정류용 변압기로 강압된 전력을 이용하는데, 직류용 전차선로는 인접한 전철 변전소와 병행운전을 시켜서 전차선로에서 발생하는 전압강하를 최소화시키고 있음
- 역사용 전력은 고배용 변압기로 강압된 전력을 이용하는데, 이는 전철 변전소로부터 지하터널따라 부설한 전선로를 통해서 역사 내에 시설한 변전실로 보내고 여기에서 다시 교류 저압 380/220V로 강압시켜서 공급하고 있음

○ 인천지하철 전력망을 이용한 전기버스 충전인프라 설치를 위해 지하철 변전소로 수전되는 전력량을 계량을 위한 모(母)계량기와 전기버스 충전기 전력량을 계량하는 자(子)계량기 설치 필요함

- 전기버스 충전기 설치 및 전력공사 등 인프라 설치비 필요, 300kW급 급속충전기 기준 충전기 약 8,000만 원, 전기공사 및 인프라 설치비 약 8,000만 원 예상됨



설비명	예상가격(천원)	비고
LBS반	8,000	
MOF반	7,000	
VCB/PT/CT	16,000	
TR반	28,000	
ACB반	8,000	
MCCB반	7,000	
정류기반	7,000	
충전설비	80,000	300kW급/1대
전기공사	35,000	계통연계 포함
합계	196,000	

1. 설비용량은 300kW급 충전설비 3대를 설치하는 용량
2. 지하철변전소→버스충전소 배전선로(가공/지중)제외

〈그림 2-15〉 인천지하철 전력망을 이용한 전기버스 충전인프라 개념

자료 : 우진산전(2018),『인천지하철 전력을 활용한 전기버스 충전 인프라 구축 및 운영방안(자문회의자료, 2018.6.20.)』, 인천연구원.

인천지하철 변전소별 전력사용량(2017년)

○ 인천지하철 변전소는 1호선에 7개소, 2호선에 12개소가 설치되어 있음

- 최대전력과 전력사용량은 1호선의 부평삼거리역이 4,954kW/22,253,376kWh로 가장 높고, 2호선의 석천사거리역이 2,486kW/6,464,832kWh로 가장 높게 나타남.
- 무효전력량은 인천지하철 1호선의 센트럴파크역이 591,000kVAR로 가장 높고, 인천지하철 2호선은 서구청역이 56,952kVAR로 가장 많은 것으로 나타남. 인천지하철 변전소별 전력 부하율[8]은 전체적으로 40%~60%수준으로 나타남.

〈표 2-11〉 인천지하철 변전소별 전력사용량

변전소		최대전력	전력사용량[kWh]			무효 전력량	부하율
		[kW]	계	열차용	고배용	[kVAR]	
1호선	차량기지	3,062	13,935,264	8,417,583	5,517,681	240,480	62.82%
	작전	3,725	19,069,248	11,518,761	7,550,487	50,976	61.28%
	부평삼거리	4,954	22,253,376	13,442,131	8,811,245	313,824	57.66%
	신연수	4,474	21,502,752	12,988,717	8,514,035	471,840	58.27%
	동춘	2,141	8,128,320	4,909,904	3,218,416	86,880	47.99%
	테크노파크	2,604	10,975,800	6,629,922	4,345,878	264,720	49.07%
	센트럴파크	2,148	9,513,840	5,746,826	3,767,014	591,000	54.28%
2호선	주박기지	566	1,994,736	665,237	1,329,499	8,496	48.04%
	왕길	1,718	5,387,616	1,796,751	3,590,865	15,264	53.63%
	완정	1,766	5,872,224	1,958,366	3,913,858	3,552	60.08%
	검바위	1,541	4,517,568	1,506,593	3,010,975	5,256	54.80%
	서구청	1,706	5,509,224	1,837,306	3,671,918	56,952	58.49%
	가정중앙시장	2,006	5,452,704	1,818,457	3,634,247	8,544	57.34%
	인천가좌	2,304	5,827,776	1,943,542	3,884,234	3,264	57.76%
	주안국가산단	2,064	5,158,176	1,720,233	3,437,943	6,720	54.65%
	시민공원	1,824	6,216,672	2,073,238	4,143,434	7,104	60.98%
	석천사거리	2,486	6,464,832	2,155,998	4,308,834	8,256	59.63%
	남동구청	1,488	5,095,680	1,699,391	3,396,289	1,344	64.24%
	차량기지	660	2,097,900	699,642	1,398,258	1,500	46.32%

*임대시설 전력량 포함

8) 전력 부하율은 최대수요전력에 대한 시간당 유효전력의 비율로 산출됨

$$\frac{\text{시간당 유효전력}}{\text{최대수요전력}} = \frac{\frac{13,935,264[kWh]}{365일 \times 24시간[h]}}{3,062[kW]} = \frac{1.591}{3.062} = 52\%$$, 인천지하철 전력 부하량 산출방식(1호선 차량기지)

계산상의 부하율과 실제 부하율은 각종 점검에 따른 변전소 단전시간 미산입, 순수지하철 운영에 따른 임대 부하전력 미고려 등의 이유로 실제부하율보다 낮은 값을 보임. 인천지하철1호선 차량기지의 계산상 부하율은 아래 식과 같이 52%로 계산되나, 실제 부하율은 62.82%로 나타남

인천지하철 변전소 설비용량

○ 인천지하철 1호선은 7개소 변전소 각각의 설비용량은 23,000~26,000kVA임. 계약전력은 7개소 변전소 전체 계약전력은 141,000kW임. 인천지하철 1호선 7개소의 정류용 전체 전력은 67,200kW이고, 고배용 전체 전력은 68,400kW임

○ 인천지하철 2호선은 12개소 변전소 각각의 설비용량은 6,550kVA~11,900kVA임. 계약전력은 131,000kW임. 인천지하철 2호선 12개소의 정류용 전체 전력은 48,800kW이고, 고배용 전체 전력은 55,960kW임

〈표 2-12〉 인천지하철 1호선 변전소 설비현황

구 분		1호선						
		차량기지	작전	부평 삼거리	신연수	동춘	테크노파크	센트럴파크
변전소수용설비 용량	[kVA]	25,500	23,000	24,000	23,000	23,000	25,000	26,000
계약전력	[kW]	111,500					14,500	15,000
정류기용 변압기	[kVA]	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
	[kW]	9,600	9,600	9,600	9,600	9,600	9,600	9,600
고배용 변압기	[kVA]	13,500	11,000	12,000	11,000	11,000	13,000	14,000
	[kW]	10,800	8,800	9,600	8,800	8,800	10,400	11,200
2017년 최고피크치	[kW]	3,062	3,725	4,954	4,474	2,141	2,604	2,148

〈표 2-13〉 테크노파크 및 센트럴파크 변전소 세부 설비현황

구 분		변압기 용량[kVA]			설비용량[kVA]
테크노파크 변전소	정류기용 변압기	4,000	4,000	4,000(예비)	12,000
	고배용 변압기	6,500	6,500(계절성)		13,000
	계약전력	14,500[kW]			
센트럴파크 변전소	정류기용 변압기	4,000	4,000	4,000(예비)	12,000
	고배용 변압기	7,000	7,000(계절성)		14,000
	계약전력	15,000[kW]			

〈표 2-14〉 인천지하철 2호선 변전소 설비현황

구 분		2호선						
		주박기지	왕길	완정	검바위	서구청	가정중앙시장	인천가좌
변전소 수용설비 용량	[kVA]	6,550	11,250	11,400	9,950	10,700	12,050	11,900
계약전력	[kW]	6,550	11,250	11,400	9,950	10,700	12,050	11,900
정류기용 변압기	[kVA]	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
	[kW]	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
고배용 변압기	[kVA]	1,550	6,200	6,400	4,950	5,700	7,050	6,800
	[kW]	1,240	4,960	5,120	3,960	4,560	5,640	5,440
2017년 최고피크치	[kW]	566	1,718	1,766	1,541	1,706	2,006	2,304

〈표 2-15〉 인천지하철 2호선 변전소 설비현황(계속)

구 분		2호선				
		주안국가산단	시민공원	석천사거리	남동구청	차량기지
변전소 수용설비 용량	[kVA]	11,050	12,700	13,200	11,550	8,800
계약전력	[kW]	11,050	12,700	13,200	11,550	8,800
정류기용 변압기	[kVA]	5,000	5,000	5,000	5,000	6,000
	[kW]	4,000	4,000	4,000	4,000	4,800
고배용 변압기	[kVA]	6,050	7,700	8,200	6,550	2,800
	[kW]	4,840	6,160	6,560	5,240	2,240
2017년 최고피크치	[kW]	2,064	1,824	2,486	1,488	660

인천지하철 1호선(DC 1500V) 급전망을 이용한 급속충전기 설치

○ 지하철 전력망 DC1500V 급전망을 이용하여 2017년 연중 최대전력 피크값을 기준으로 전기버스 급속충전기 및 완속충전기의 최소 설치 가능 대수를 예측함

○ 예측방법은 각 역사의 변압기의 정류기용 최대 용량에서 2017년도 연중 최대전력 피크값 중 최대 피크값을 빼주어 여유전력을 산출함

○ 여유전력에서 급속충전기는 300kW, 200kW(급속충전기 용량)을 완속충전기는 100kW(완속충전기 용량)으로 나누어 각각 최소 설치 가능한 급속/완속 충전기의 대수를 예측함

- 300kW급 급속충전기는 인천지하철 1호선에서 143대 설치 가능하며, 200kW급 급속충전기는 217대 설치 가능함.
- 100kW급 완속충전기는 인천지하철 1호선에서 437대 설치 가능함

〈표 2-16〉 인천지하철 1호선 DC 1500V를 이용한 충전기 설치가능 대수

구 분		1호선							
		차량기지	작전	부평삼거리	신연수	동춘	테크노파크	센트럴파크	계
변압기용량[kW]		9,600	9,600	9,600	9,600	9,600	9,600	9,600	
최고피크치[kW]		3,062	3,725	4,954	4,474	2,141	2,604	2,148	-
충전기에 공급가능한 여유전력[kW]		6,538	5,875	4,646	5,126	7,459	6,996	7,452	
급속충전기 설치가능 대수(대)	300kW	21	19	15	17	24	23	24	143
	200kW	32	29	23	25	37	34	37	217
	100kW	65	58	46	51	74	69	74	437

인천지하철 2호선(DC750V) 급전망을 이용한 급속충전기 설치

○ 인천지하철2호선은 경전철시스템으로 지하철 전력망 DC750V 급전망을 이용함

○ 2017년 연중 최대전력 피크값을 기준으로 전기버스 급속충전기 및 완속충전기의 최소 설치 가능 대수를 예측함

- 예측방법은 각 역사의 변압기의 정류기용 최대 용량에서 2017년도 연중 최대전력 피크값 중 최대 피크값을 빼주어 여유 전력을 산출함

○ 여유 전력에서 충전기 용량별(300kW, 200kW, 100kW) 각각 최소 설치 가능한 충전기 설치 가능 대수를 예측함

- 300kW급 급속충전기는 인천지하철 2호선에서 90대 설치 가능하며, 200kW급 급속충전기는 137대 설치 가능함.
- 100kW급 완속충전기는 인천지하철 2호선에서 280대 설치 가능함

〈표 2-17〉 인천지하철 2호선 DC 750V를 이용한 충전기 설치가능 대수

구 분		2호선						
		주박 기지	왕길	완정	검바위	서구청	가정중앙 시장	인천 가좌
변압기용량[kW]		4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
최고피크치[kW]		566	1,718	1,766	1,541	1,706	2,006	2,304
충전기에 공급가능한 여유전력[kW]		3,434	2,282	2,234	2,459	2,294	1,994	1,696
급속충전기 설치가능 대수(대)	300kW	11	7	7	8	7	6	5
	200kW	17	11	11	12	11	9	8
	100kW	34	22	22	24	22	19	16

구 분		주안 국가산단	시민 공원	석천 사거리	남동 구청	차량 기지	계
변압기용량[kW]		4,000	4,000	4,000	4,000	4,800	-
최고피크치[kW]		2,064	1,824	2,486	1,488	660	-
충전기에 공급가능한 여유전력[kW]		1,936	2,176	1,514	2,512	4,140	-
급속충전기 설치가능 대수(대)	300kW	6	7	5	8	13	90
	200kW	9	10	7	12	20	137
	100kW	19	21	15	25	41	280

인천지하철 AC 급전망을 이용한 완속충전기 설치

○ 인천지하철 전력망 AC급전망을 이용하여 2017년 월별 피크값을 이용하여 전기버스 급속충전기 및 완속충전기의 최소 설치 가능대수를 예측함

〈표 2-18〉 인천지하철 1호선 AC 급전망을 이용한 충전기 설치가능 대수

구 분		1호선							
		차량기지	작전	부평삼거리	신연수	동춘	테크노파크	센트럴파크	계
변압기용량[kW]		10,800	8,800	9,600	8,800	8,800	10,400	11,200	-
최고피크치[kW]		3,062	3,725	4,954	4,474	2,141	2,604	2,148	-
충전기에 공급가능한 여유전력[kW]		7,738	5,075	4,646	4,326	6,659	7,796	9,052	-
충전기 용량별 설치가능 대수[대]	300kW	25	16	15	14	22	25	30	147
	200kW	38	25	23	21	33	38	45	223
	100kW	77	50	46	43	66	77	90	449

〈표 2-19〉 인천지하철 2호선 AC 급전망을 이용한 충전기 설치가능 대수

구 분		2호선					
		주박기지	왕길	완정	검바위	서구청	가정중앙시장
변압기용량[kW]		1,240	4,960	5,120	3,960	4,560	5,640
최고피크치[kW]		566	1,718	1,766	1,541	1,706	2,006
충전기에 공급가능한 여유전력[kW]		674	3,242	3,354	2,419	2,854	3,634
충전기 용량별 설치가능 대수[대]	300kW	2	10	11	8	9	12
	200kW	3	16	16	12	14	18
	100kW	6	32	33	24	28	36

구 분		2호선						
		인천가좌	주안국가산단	시민공원	석천사거리	남동구청	차량기지	계
변압기용량[kW]		5,440	4,840	6,160	6,560	5,240	2,240	-
최고피크치[kW]		2,304	2,064	1,824	2,486	1,488	660	-
충전기에 공급가능한 여유전력[kW]		3,136	2,776	4,336	4,074	3,752	1,580	-
충전기 용량별 설치가능 대수[대]	300kW	10	9	14	13	12	5	115
	200kW	15	13	21	20	18	7	173
	100kW	31	27	43	40	37	15	352

5) 충전요금 및 충전사업

전기자동차 자가소비용

○ 환경친화적 자동차의 개발 및 보급촉진에 관한 법률 제2조 제3호에 따른 전기자동차의 충전요금은 기본요금과 전력량 요금으로 나뉨. 계절/시간대별 전기부하 수준에 따라 전력량 요금이 다름. 2019년 12월 31일까지 기본요금은 전액, 전력량 요금은 저압에 한해 50% 감면함. 단, 이동형 충전기는 기본요금 1만1,000원임

- 자가소비용 충전전력요금은 여름철 경부하 52.5원/kWh, 겨울철/최대부하 190.8원/kWh으로 금액이 차이 남

〈표 2-20〉 자가소비용 전기자동차 충전전력 요금

구분		기본요금 (원/kW)	전력량 요금(원/kWh)			
			시간대	여름철	봄·가을철	겨울철
자가소비	저압	2,390	경부하	57.6	58.7	80.7
			중간부하	145.3	70.5	128.2
			최대부하	232.5	75.4	190.8
	고압	2,580	경부하	52.5	53.5	69.9
			중간부하	110.7	64.3	101.0
			최대부하	163.7	68.2	138.8

〈표 2-21〉 계절별 시간대별 구분

구분	여름철, 봄·가을철	겨울철
	(6~8월), (3월~5월, 9월~10월)	(11월~2월)
경부하 시간대	23:00~09:00	23:00~09:00
중간부하 시간대	09:00~10:00 12:00~13:00 17:00~23:00	09:00~10:00 12:00~17:00 20:00~22:00
최대부하 시간대	10:00~12:00 13:00~17:00	10:00~12:00 17:00~20:00 22:00~23:00

전기자동차 충전서비스 제공사업자용

○ 지능형전력망의 구축 및 이용촉진에 관한 법률 제12조 및 동법 시행령 제8조에 따른 전기자동차 충전서비스 제공사업자의 경우 별도의 요금체계 적용

- 환경부는 국내 전기차 충전서비스 시장에서 급속충전기를 통해 제공되는 충전서비스의 충전요금을 2017년 1월 173.8원/kWh로 고시한 바 있음. 2016년 4월 환경부가 책정, 고시한 가격은 충전서비스 공급원가를 산정하여평균 313.1원/kWh임
- 민간충전사업의 경우 한전 충전 전기요금외 투자된 충전인프라 감가상각비 및 충전 서비스비용이 요금에 반영됨. 요금 결제는 충전사업자별 회원카드 또는 교통카드 기능이 있는 신용카드를 이용함. 회원카드는 사전에 회원가입 후 결제 카드를 등록

〈표 2-22〉 전기자동차 충전서비스 제공사업자 충전 전력요금

구분		기본요금 (원/kW)	전력량 요금(원/kWh)			
			시간대	여름철	봄·가을철	겨울철
선택 1 :기본요금이 낮고, 전력량 요금이 높음 (전기사용시간 월 200시간 이하 유리)	저압	2,390	경부하	69.2	58.7	83.9
			중간부하	135.5	70.5	116.4
			최대부하	176.8	75.4	145.3
	고압	2,580	경부하	63.1	53.5	72.7
			중간부하	103.2	64.3	91.7
			최대부하	124.5	68.2	105.7
선택 2 :전기사용시간 월 200시간~400시간 이하 유리	저압	2,390	경부하	56.4	58.7	79.1
			중간부하	113.3	70.5	100.0
			최대부하	244.1	75.4	200.3
	고압	2,580	경부하	51.5	53.5	68.5
			중간부하	86.3	64.3	78.8
			최대부하	171.9	68.2	145.7
선택 3 : 기본요금 높고 전력량 요금 낮음 (전기사용시간 월 500시간 초과 유리)	저압	2,390	경부하	63.4	58.7	88.8
			중간부하	111.9	70.5	98.7
			최대부하	209.3	75.4	171.7
	고압	2,580	경부하	57.8	53.5	76.9
			중간부하	85.2	64.3	77.8
			최대부하	147.3	68.2	124.9
선택 4	저압	2,390	계절별 단일단가	145.3	70.5	128.2
	고압	2,580		110.7	64.3	101.0

〈표 2-23〉 전기자동차 충전서비스 제공사업자 충전 이용요금

구 분		충전이용요금	비 고
공공	환경부	173.8원/kWh	회원가 비회원가(313.1원/kWh)
민간 충전사업자	포스코ICT	150.0원/kWh	충전 전기요금 + 충전서비스 요금
	한국전기차충전서비스(주)	173.8원/kWh	
	KT	170.0원/kWh	
	에버온	103.7원/kWh	
	지엔텔	63.5원/kWh	
버스운수사 (모회사/자회사)	김포선진(선진네트웍스)	500원/kWh	설치에 따른 3년 감가상각 적용
	동서교통(자회사)	498원/kWh	설치에 따른 5년 감가상각 적용

자료 : 김점산 외(2018), 『수도권 전기버스 도입 확대 방안(자문회의자료, 2018.9.20.)』,경기연구원. (재작성)

충전사업 모델

○ 충전서비스사업은 충전기를 설치할 수 있는 부지를 확보한 개인, 민간사업자(법인), 광역 및 기초자치단체에 따라 민영, 공영, 개인(비공용)으로 구분함

○ 민영 모델은 전기차 민간충전사업자, 공동주택 및 사업장 소유자, 주차장 운영주체에게 충전기 구축비용의 일부를 지원하여 전기차 보급 및 운행을 활성화하고 관련 서비스 산업 육성을 목적으로 함

○ 공영 모델은 광역 및 기초자치단체에게 공공시설에 급속충전기 보급을 활성화하기 위해 급속충전기 설치비용 지원함

○ 개인(비공용) 모델은 거주지 또는 직장에 개인이 비공용으로 완속충전기를 설치하는 경우 설치비 일부 지원함

○ 전기버스 충전서비스 사업의 경우, 버스운수업체내 차고지에서 충전서비스를 하고 있으며, 충전서비스를 위한 모회사 또는 자회사를 운영하고 있음

〈표 2-24〉 전기자동차 충전사업 모델

충전 사업모델	부지(장소)	충전기 설치 (지원금 신청자)	충전서비스	지원금(보조금)
민영	주유소,프랜차이즈,주차장 등	개인, 민간사업자(법인)	공용 개방	급속충전기1기당 설치비용 50%(최대20백만원이내) : 충전기구입, 공사비, 안내표지, 보호덮개 등 포함(부가세제외) 공용충전기2년 의무유지
	공동주택,사업장, 대규모주차장	공동주택,사업자 소유자 및 주차장 운영주체	완전개방 부분개방	완속충전기 완전개방 1기 400만원 부분개방 1기 320만원
공영	공공시설(시군구청, 읍면동사무소,지방공기업사무소 등)	광역 및 기초자치단체	공용 개방 (1기당 주차면2개)	급속충전기 최소2기 이상 설치, 1기당 국고보조금 35백만원 (국비70 : 지방비30)
개인	거주지 또는 직장	개인	비공용	완속충전기 1기 150만원

자료 : 1. 한국에너지공단(2017),『전기차 충전서비스산업육성사업 운영지침』
2. 환경부(2018), 『'18년 전기자동차 충전인프라 설치·운영 지침』
3. 환경부(2018), 『'18년 전기자동차 보급 및 충전인프라 구축사업 보조금 업무처리지침』

〈표 2-25〉 충전사업 모델 및 특징

방식	내용	국가 및 기업	운영 형태	특징
배터리 교체 및 리스 모델	• 전기자동차 업체와 충전사업자의 제휴로 충전소에서 전지를 교환	• 미국 • 자동차 업체 : Nissan • 충전사업자 : Better Place	• 충전사업자 • 인프라 구축 및 거리차등 배터리 충전/교환(100마일 기준) 서비스 제공 • 자동차 업체 • 리스를 휘한 배터리 표준화	• 전기자동차 초기 구입 비용 절약 • 충전시간 단축 • 현재 기술적 측면에서 실현가능성 큼 • 초기 인프라 구축 비용(15억)이 높음 • 향후 전지 기술 혁신으로 무용한 시스템이 됨
충전망 네트워크 모델	• 충전기 지역 사업지와 충전사업자의 제휴로 충전사업자는 충전 서비스만 제공	• 미국 • 충전기 지역 사업자 : Coulomb Tchnology	• 충전기 지역 사업자 • 설비 판매/관리 및 인프라 구축 • 충전사업자 • 충전서비스 제공	• 충전사업자의 초기비용 절약 • 일관된 인프라 보급
부지 제공자 협력 모델	• 부지소유업체와 충전사업자의 제휴로 주차장에 주차하고 있는 사이에 충전	• 미국 • 부지 소유업체 : Mcdonald's, Rabo Bank America 등 • 충전사업자 : NOVA CHARGE • 일본 : 파크 24 • 한국 : GS 파크 24	• 부지소유업체 • 유동성이 풍부한 부지 제공 • 충전사업자 • 인프라 구축 및 충전서비스 제공	• 부지확보 용이 • 초기 구축비용 낮음 • 빠른 인프라 확산 • 기존 ITS에 의해 위치정보, 공중정보 제공 가능
정부 참여 모델	• 정부 및 지자체 주도로 충전소 및 전기자동차 운영	• 프랑스(파리) • 영국(런던)	• 초기 보급을 위한 보조금 및 인프라 구축 • 충전서비스 및 전기자동차 렌탈서비스 제공	• 초기 충전사업자의 경제성 향상
Direct 운영 모델	• 충전사업자의 직접적인 인프라 구축 및 충전소를 운영하는 형태	• 독일 • 충전사업자 : RWE(전력사) • 일본 • 충전사업자 : 신일본석유, idemitsu 흥산 • 한국 • GS Caltex	• 전력회사가 인프라 구축 및 충전서비스 제공 • 기존 주유소에 충전 인프라를 구축하여 충전서비스 제공	• 주유소 방식과 유사 • 급속충전이라도 현행 기술로는 장시간 소요 • 국내의 경우 전기요금이 저렴하여 종래의 연장선 모델에서 단체 비즈니스로는 부적합
Line/Coil 모델	• Line(접촉) 또는 Coil(비접촉)을 통한 전기충전	• 독일 • Freburg시 • 한국 • KAIST 및 정부, 지방단체, 버스운영사업자 등	• 주로 대중교통인 버스를 대상으로 한 충전 서비스 제공	• 국내의 경우 버스전용 노선이 발달해 있는 서울시에서 가능성 큼 • 기술적 완성도 미흡 • 모든 전기자동차를 대상으로는 방대한 인프라 투자가 필요

자료 : 지식경제부(2010),『전기자동차 충전인프라 구축방안』

6) 전지팩(battery pack) 기술

2차전지 종류

○ 충·방전을 반복하는 전기에너지를 전달하는 2차 전지는 한 번의 방전을 통해 전기에너지를 이용하게 되는 1차 전지에 비하여 환경 보전, 자원 절약 등 다양한 면에서 이점을 가짐

- 태양광, 풍력 등 재생에너지를 시공간에 구속되지 않고, 저장해 놓고, 언제 어디서든 에너지를 쓸 수 있다는 점은 2차 전지 배터리의 가장 큰 장점임

○ 구성 재료와 전기화학적 특성에 따라 니켈카드뮴전지(Ni-Cd), 니켈수소 전지(Ni-MH), 리튬이온(Li-Ion) 2차 전지, 리튬이온 폴리머 전지 등이 2차 전지시장의 대부분을 차지하고 있음

〈표 2-26〉 2차전지 종류

항목		니켈카드뮴전지	니켈수소전지	리튬계 2차전지
전압(V)		1.2	1.2	3.7
에너지 밀도	부피(Wh/l)	150~170	180~220	330~400
	무게(Wh/kg)	50~60	60~80	160~200
자기방전(%)		25	20~25	0.1
메모리효과		있음	있음	없음
기타 특성	가격	○	○	△
	안전성	○	○	△
	박형/대면적화	X	X	○
	온도환경	△	△	○
	기타	환경문제(cd)	고율방전 양호	소형, 경량화

자료 : ㈜지엘비이(GLBE), “ 이차전지 종류”, http://www.glbe.co.kr/page/page6

- 니켈카드뮴전지(Ni-Cd)는 음극재로 쓰이는 중금속인 카드뮴의 인체와 환경 유해성과 낮은 에너지 밀도로 시장에서 빠르게 위축되고 있음
- 니켈수소전지(Ni-MH)는 에너지 밀도가 높고 가격이 저렴함. 리튬이온 전지에 비해 싸고, 품질이 안정적임. 주로 휴대용 기기의 개발에 적용

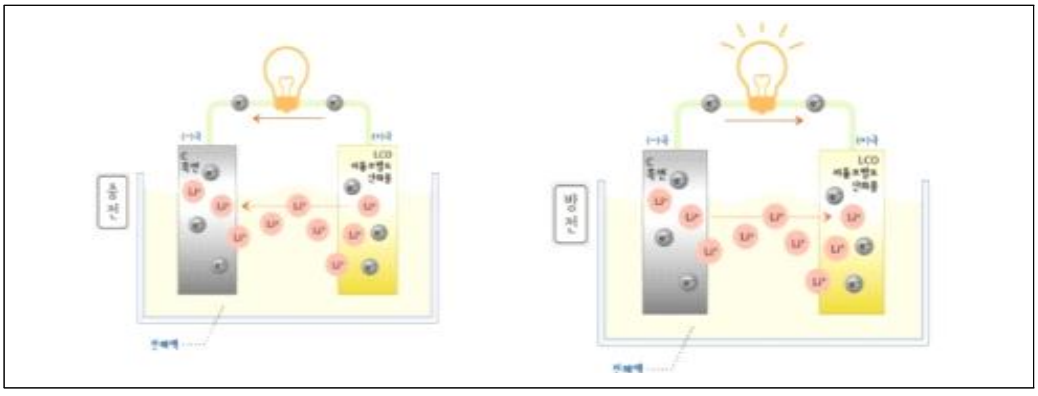
- 리튬이온계 2차 전지는 사이즈 대비 용량이 크고, 리튬이온폴리머전지는 리튬이온전지의 고용량화, 슬림화와 자유로운 형상을 가질 수 있음. 메모리 현상[9]이 없고, 배터리 수명이 길어 전기버스 배터리로 활용됨

리튬이온 배터리 원리

○ 리튬이온 배터리는 양극(+)과 음극(−) 물질의 '산화환원 반응[10]'으로 화학에너지를 전기에너지로 변환시키는 일종의 장치

○ 산화·환원 과정에서 리튬이온과 분리된 전자(e−)가 도선을 따라 음극과 양극 사이를 오갈 때, 전기가 발생함[11]

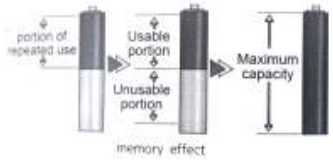
○ 외부전원에 의해 음극(−) 탄소격자구조와 양극(+) 결정구조의 내부로 리튬이온이 오가면서 충·방전을 반복하게 됨



〈그림 2-16〉 리튬이온 배터리 작동 원리

자료 : 전자신문(2018.2.11.) "리튬이온 배터리 원리와 소개"

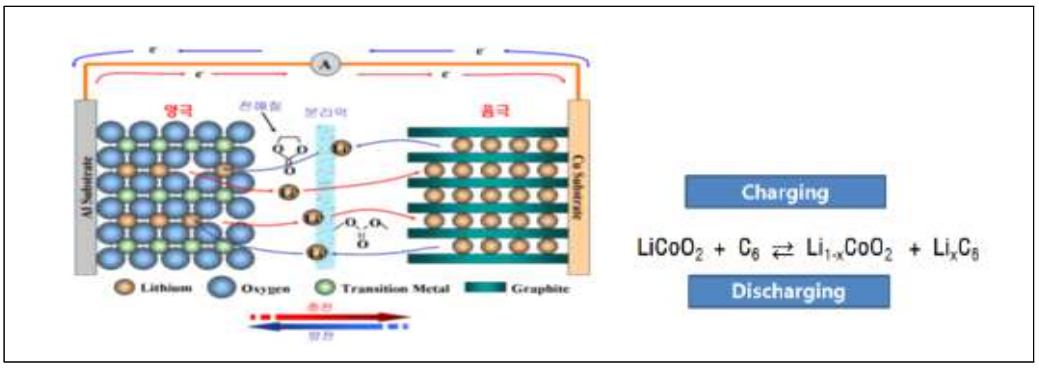
9) 니켈로 만든 전지에서 활물질로 사용된 수산화니켈(NiOH)이 소량의 충방전 과정(shallow Charge-discharge)에서 고용체가 생성되어 소량의 충방전량을 배터리 용량한계로 기억하는 현상임.



출처 : 정용욱·정구섭(2017),『친환경 전기차』, GS인터비전

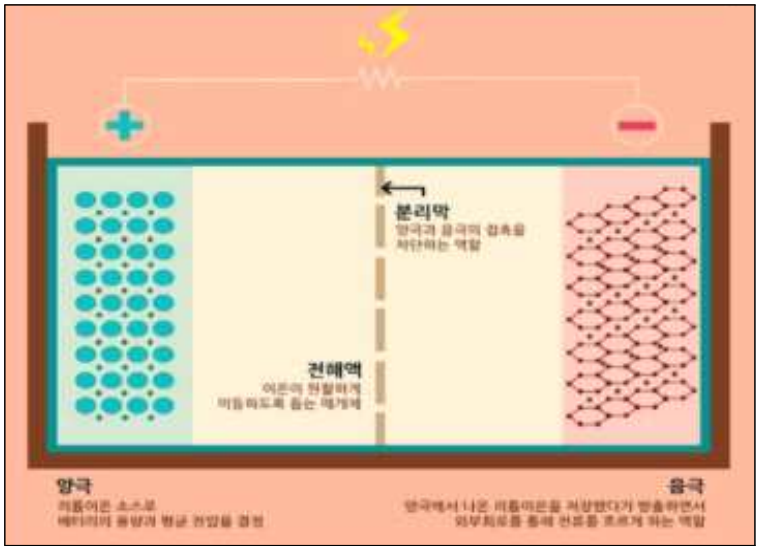
10) 산화환원 반응이란 반응물 간의 '전자(e-) 이동'으로 일어나는 반응임. 다시 말해 전자를 잃은 쪽을 '산화'됐다고 하고 전자를 얻은 쪽을 '환원'됐다고 함

11) 리튬이온 배터리는 리튬이온에서 분리된 전자가 양극에서 음극으로 이동하면 충전되고(음극에서 환원이 일어나 에너지를 저장), 반대로 음극에서 양극으로 이동하면 방전(양극에서 환원이 일어나 에너지 방출)되는 원리임



〈그림 2-17〉 리튬이온배터리 충·방전 원리

자료) : ㈜지엘비이(GLBE),"이차전지 종류", http://www.glbe.co.kr/page/page6



〈그림 2-18〉 리튬이온 배터리의 4대 구성요소

자료 : 전자신문(2018.2.11.) "리튬이온 배터리 원리와 소개"

리튬이온배터리 구성요소

○ 충·방전이 가능한 리튬이온 배터리를 이루는 4대 구성요소에는 양극, 음극, 분리막, 전해질이 있음

- 양극은 리튬(Li)과 산소(O)가 만난 리튬산화물(Li+O)로 구성됨. 차량 충전 시에는 양극을 이루는 물질 중에서 리튬이온만 쏙 빠져 나와 음극으로 이동함. 반대로 방전할 때는 리튬이온이 원래 있었던 양극으로 돌아가고, 이 때 전기가 발생함
- 음극은 최근에 천연흑연을 기본으로 사용함. 흑연은 층상구조를 이루고 있는데, 양극에서 빠져 나온 리튬이온이 층상구조 사이로 이동함

- 배터리의 양극과 음극사이에 있는 '분리막'은 미세한 구멍이 있어 리튬이온이 양극과 음극을 오갈 수 있도록 함. 하지만 양극과 음극의 물리적 접촉은 절대로 허락하지 않는 격리막 역할도 함
- 전해액은 유기용매(액체 등을 녹일 수 있는 액체유기화합물)로 이뤄져 있음.
- 전해액은 양극과 음극 간 이온 이동을 가능하게 하는 중간 매개체로 리튬이온의 원활한 이동을 돕는 역할을 함

배터리 양극 활물질[12)]

○ 활물질이란 배터리 양극에서 안전한 리튬산화물 형태로 배터리의 전극 반응에 관여하는 물질을 의미함

○ 양극 활물질의 적절한 조합이 저장되는 전자(e−)의 수에 영향을 미치고, 배터리의 용량과 전압이 성능을 결정함

- 양극 활물질은 리튬과 금속성분의 조합으로 구성됨, 금속의 종류와 비율에 따라 서로 다른 특성을 나타냄. 금속 종류별로 Ni(니켈)은 고용량 특성, Mn(망간)과 Co(코발트)는 안전성, AI(알루미늄)은 출력 특성을 향상시키는 역할을 함

○ 리튬과 산소, 다른 물질이 만나 무수한 수의 리튬산화물 중에서 현재 배터리로서 적합한 성능을 내는 활물질은 크게 5가지 종류임

- LCO(LiCoO2)[13)], NCM(L(Ni, Co, Mn)O2)[14)], NCA(L(Ni, Co, Al)O2)[15)], LMO(LiMn2O4), LNO(LiNiO2), LFP(LiFePO2)[16)] 등의 리튬산화물이 양극재 소재로 사용되고 있음

○ LFP(리튬인산철)는 높은 안전성으로 중국 전기차 업체가 채택하고 있지만, 에너지 밀도가 낮아 부피가 크고 출력이 낮아 중국을 제외한 나머지 업체는 거의 사용하지 않음

○ LCO는 아주 오래 전부터 리튬이온 배터리에 사용된 물질이며, 현재 배터리 시장의 대부분을 차지함

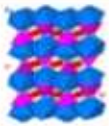
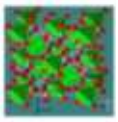
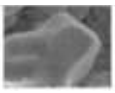
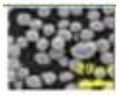
- 층상 구조에서 충전과 방전 과정으로 산화환원 가역 반응을 하는 물질임. 공칭전압 3.7V에 정격 용량이 g당 약 150mA 수준으로 물질의 밀도가 높아 동일한 부피에 많은 전기 에너지를 담을 수 있음

12) 선우준(2015),「2차전지 road to the TOP」, 서울대학교출판문화원 (재구성)
13) LCO(Lithium Cobalt Oxide, $LiCoO_2$) - 리튬코발트산화물 계열 배터리
14) NCM : 니켈코발트망간
15) NCA : 니켈코발트알루미늄
16) LFP : 리튬인산철 계열 배터리

○ NCM은은 LNO의 용량, LCO의 출력, LMO의 안전성을 조합시키기 위해 개발된 양극재 소재임

- 고용량 구현을 위하여 니켈 함량을 50%이상 증가시키는 방향으로 NCM관련 연구가 진행중임
- NCA는 대용량 배터리를 제조하는데 적합하지만, 가능한 충방전 횟수가 수백번 정도에 불과함

〈표 2-27〉 배터리 양극 활물질

구 분	LCO 전지	NMC 전지	NCA 전지	LFP 전지	LTO 전지
분자식	$LiCoO_2$	$Li[Ni,Co,Mn]O_2$	$Li[Ni,Co,Al]O_2$	$LiFePO_4$	$LiTisO_{12}$
구조	층상구조	층상구조	층상구조	올리빈 구조	올리빈 구조
	 				
					
스타일	고 용 량	장 수 명	고 출 력	장수명, 안전성	장수명, 안전성
전지용량	145 mAh/g	120 mAh/g	160 mAh/g	150 mAh/g	150 mAh/g
작동 전압	3.7 V	3.6 V	3.6 V	3.2 V	2.4 V
안전성	낮음	다소 우수	낮음	매우 우수	매우 우수
수명	우수	우수	우수	우수	우수

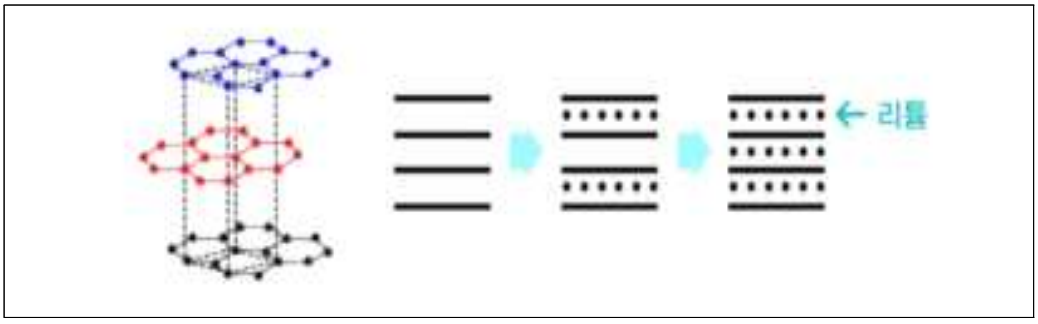
자료 : 세방전지(2018), 『전기버스용 battery Pack 기술 개발 현황(자문회의자료, 2018.6.14.)』,서울연구원.

배터리 음극재료

○ 음극활물질은 양극에서 나온 리튬이온을 흡수/방출하면서 외부회로를 통해 전자를 이동시켜(전류를 흐르게 하여)전기를 발생시키는 역할을 함

○ 음극 활물질로 리튬이온을 안정성 있게 많이 저장할 수 있는 흑연(graphite)이 가장 활용되고 있음. 흑연은 탄소들이 결합하여 구성되는 층상구조를 이루고 있음

○ 전지의 고용량화를 위해서는 고용량을 가지는 새로운 음극 재료로 고용량 금속재에 대한 연구가 활발히 이루지고 있음



〈그림 2-19〉 음극에서 리튬을 저장하고 있는 흑연의 모습

자료 : 삼성SDI블로거(2018.9.7.), "음극의 주요소재 Graphite(흑연)", http://www.sdistory.net/graphite/

〈표 2-28〉 배터리 음극 활물질

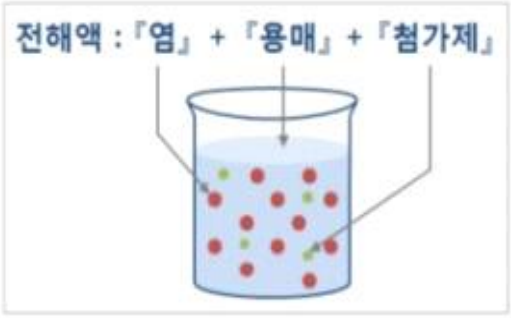
구 분	탄 소 계 (상용화)		금 속 계 (개발 중)		
	인조흑연	천연흑연	실리콘 (Si)	주석 (Sn)	리튬 (Li)
이론용량 (mAh/g)	372	←	4,200	959	3,862
코스트	Moderate	Low	Low	-	-
친환경	Good	←	←	-	-
안전성	Good	←	Poor (부피 팽창)	Poor (부피 팽창)	Poor (리튬 석출)
구 조					-
응용분야	IT용	산업용/자동차용	고 용 량	고 용 량	고 용 량

자료 : 세방전지(2018), 『전기버스용 battery Pack 기술 개발 현황(자문회의자료, 2018.6.14.)』,서울연구원.

전해액[17)]

○ '배터리 내부의 양극과 음극 사이에서 리튬이온이 이동할 수 있도록 매개체 역할을 하는 물질'임. 양극과 음극의 표면을 안정화시키고, 배터리의 수명이나 셀 특성을 향상시키는 기능을 함. 염과 용매, 첨가제로 구성됨

- 염은 리튬의 이동통로, 용매는 염을 용해, 첨가제는 보호막 형성 및 셀의 특성을 향상시키는 역할을 하고 있습니다.



〈그림 2-20〉 전해액 물질

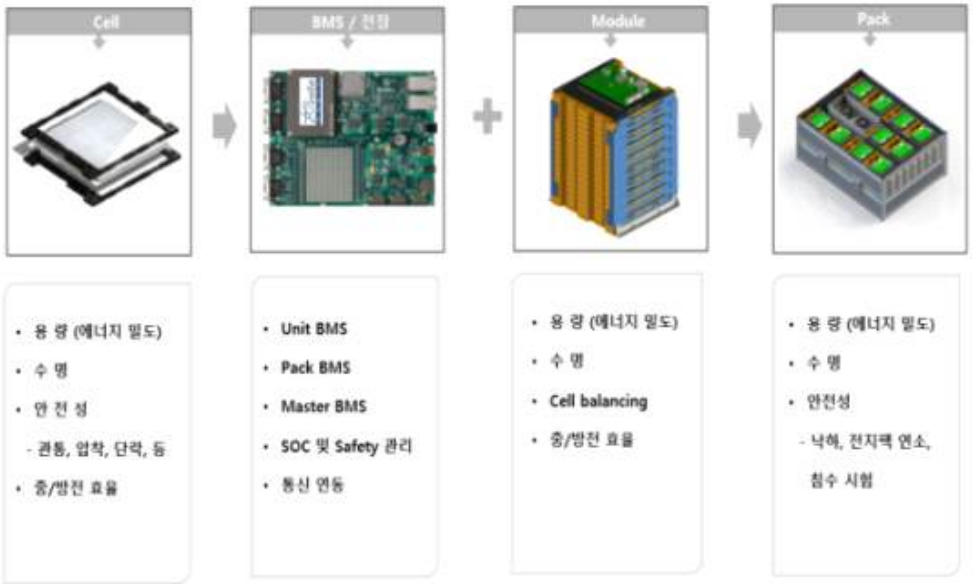
자료 : 삼성SDI블로거(2018.3.28.), "리튬이온이 타는 자동차-전해액" ,http://sdistory.com/221239066600

배터리 구성

○ 전기차 배터리는 여러개의 셀(Ccell)들이 모듈(Module)을 이루고 다시 이모듈들이 모여 팩(Pack)을 구성하여 팩의 형태로 전기차에 탑재되어 전기를 충전함

- 셀은 배터리의 성능을 발휘할 수 있는 최소단위로 이 다량의 셀들을 안전하고 효율적으로 관리하기 위해 모듈과 팩을 구성하는 것임
- 배터리의 기본이 되는 셀은 자동차 내 제한된 공간에서 최대한의 성능을 발휘할 수 있도록 부피당 높은 용량을 지녀야 함
- 주행 중 전달되는 충격에 견디고, 저온/고온에서도 문제 없을 만큼 높은 신뢰성과 안전성을 가져야 함. 여러 개의 셀은 낙하, 연소, 침수, 저온 등에서 보호될 수 있도록 하나로 묶어 프레임에 넣은 상태를 모듈이라고 함
- 모듈 여러개를 모아 배터리의 온도나 전압등을 관리해 주는 배터리관리시스템(BMS, Battery Management System)과 냉각장치 등을 추가한 것이 배터리 팩임

17) 전해액을 구성하는 염, 용매, 첨가제에 대한 내용은 부록을 참고



〈그림 2-21〉 전기차 배터리 셀-모듈-팩 기술 개요

자료 : 세방전지(2018),『전기버스용 battery Pack 기술 개발 현황(자문회의자료, 2018.6.14.)』,서울연구원.

〈표 2-29〉 전기차 배터리 셀-모듈-팩 요약

구 분	정 의
셀(Cell)	전기에너지를 충전, 방전해 사용할 수 있는 리튬이온 배터리의 기본 단위
모듈(Module)	배터리 셀을 외부 충격과 열, 진동 등으로부터 보호하기 위해 일정한 개수로 묶어 프레임에 넣은 배터리 조립체
팩(Pack)	전기차에 장착되는 배터리 시스템의 최종 형태 배터리 모듈에 BMS(Battery Management System) 냉각시스템 등 각종 제어 및 보호 시스템을 장착하여 완성

자료 : 삼성SDI블로거(2018.3.28.), “전기차 배터리, 어떻게 구성될까?”, http://sdistory.com/221255019632

○ 배터리 모듈과 팩의 설계에서 중요한 관건은 전기차의 부품 수를 절감하고, 무게와 부피를 줄이는 데 있음

- 전기차 ‘주행가능 거리’는 같은 부피에 더 많은 에너지를 넣을 수 있도록 ‘고 에너지 밀도’ 배터리 셀과 관련성이 높음
- 전기차의 전반적인 디자인은 모듈과 팩을 얼마나 더 효율적으로 설계하고 구성하느냐와 관련성이 높음

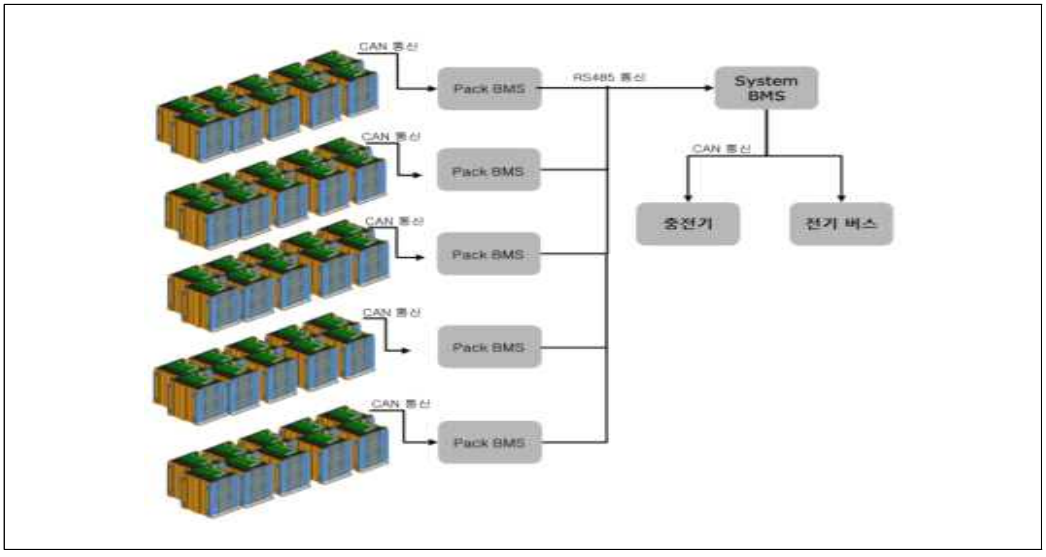
배터리 관리 시스템(BMS:Battery Management System)

○ BMS는 차량내 배터리와 타제어시스템과 통신으로 실시간 2차 전지의 전류, 전압, 온도 등을 측정해 에너지의 충방전 상태와 잔여량을 제어하고, 배터리가 최적의 동작환경을 조성하도록 환경을 제어하는 2차 전지의 필수부품임

- 배터리를 관리이외에도 차량기능을 통합하고, 가속 제동, 공회전 또는 중지 여부, 차량운영의 원하는 모드를 결정하고 관련 전력관리 작업을 구현함

○ 전기자동차에 대한 BMS의 기능은 다음과 같음

- 배터리를 이루는 개별 셀의 상태를 모니터링
- 응급의 경우에는 배터리를 분리
- 배터리 충전 상태에 대한 정보제공
- 배터리 상태에 대한 정보 제공
- 운전자 디스플레이 및 경보에 대한 정보 제공
- 전지의 사용가능 범위를 예측
- 관련 차량 제어 시스템에서 지시사항을 수락하고 구현
- 셀 충전을 위한 최적의 충전 알고리즘 제공
- 차량운영 모드의 변화에 대응



〈그림 2-22〉 배터리 관리 기술

자료 : 세방전지(2018),『전기버스용 battery Pack 기술 개발 현황(자문회의자료, 2018.6.14.)』, 서울연구원.

배터리 포장 타입

○ 리튬이온배터리는 포장타입에 따라 원통형, 각형, 파우치형으로 구분됨

- 각형은 내구성이 우수하고, 대량생산 용이성으로 현재 많이 사용됨. BYD/ATL/삼성SDI 등이 사용함
- 파우치형은 자유로운 형태 변화와 배터리용량 Scaling이 가능함. 순수 전기 자동차에서 용이함. LG화학/SK이노베이션이 사용함
- 원통형은 단가가 낮고 안정성은 높지만, 에너지밀도가 낮고 성능저하가 조기에 발생하며, 파나소닉 및 테슬라가 사용함



〈그림 2-23〉 전기차 배터리 타입별 특징

자료 : 세방전지(2018), 『전기버스용 battery Pack 기술 개발 현황(자문회의자료, 2018.6.14.)』,서울연구원.

차세대 이차전지 : 전고체전지[18)]

○ 리튬이온 이차전지의 한계와 전고체저지 개발

- 액체나 젤 형태의 전해질을 갖는 리튬전지는 충격이나 압력으로 발화 위험성이 높고, 충전 소요시간이 길어지는 취약성을 가짐. 향후 5~10년 이내 리튬전지 용량이 한계점에 것으로 전망

18) 자료(출처) : 주대영(2018),『국내 이차전지 산업현황과 발전과제』,산업연구원.(재구성)

- 국내는 삼성SDI나 LG화학, 현대자동차 등이 전고체전지 개발에 역량 집중
- 도요타는 이미 상당한 기술개발 성과를 이루어 전고체전지의 전기차를 시험주행하고 있으며, 2022년 전고체전지의 전기자동차를 출시할 목표를 수립 중

○ 전고체전지 특징 및 장잔점

- 기존 리튬이온전지의 양극과 음극 사이에서 리튬이온을 전달하도록 채워 넣은 액체전해질과 분리막을 고체전해질 층으로 대체한 것
- 현재 개발 중인 고체 전해질은 소재별로 세라믹(황화물계·산화물계), 고분자, 세라믹 및 고분자의 복합재 등으로 구분됨
- 고체전해질은 액체에서의 발열·인화성이 없어져 안전성을 대폭 높일 수 있고, 충전 속도를 획기적으로 향상시킬 수 있음.
- 또한 구동 전압도 대폭 높일 수 있고 에너지 밀도를 현재 리튬이온전지의 상한선(약 250wh/kg) 이상으로 향상시킬 수 있고, 고온이나 고전압 환경에도 성능 저하를 막을 수 있어, 자동차를 비롯한 수송기계에 매우 적합한 꿈의 배터리라고 할 수 있음
- 아직까지 고체전해질이 액체보다 리튬이온 이동이 원활하지 않아 기존 리튬이온전지와 비슷한 수준의 성능확보가 달성되지 않고 있음
- 용량 측면에서는 기존 리튬전지와 비슷한 수준에 도달했지만, 수명을 늘리는 기술은 해결해야 할 과제임

〈표 2-30〉 리튬전지와 전고체전지의 특징 비교

	리튬이온전지	전고체전지
전해질	액체	고체
충전시간	수시간	5분만에 80%충전, 초급속충전 가능
주행거리	400km	리튬이온전지의 2배 이상
문제점	인화성, 누수액, 충전시간, 전압 및 밀도 한계	재료개선, 수명장기화, 전기차용 고성능품의 화재취약성, 전극과 전해질의 계면저항 증대, 전기차용 고성능품의 양산기술 미확립
장점	기술진화, 성능개선	안정성 향상, 고에너지밀도화 가능, 자기방전 대폭저감, 전지설계 자유도 증대, 다층화 가능, 플렉서블화 가능, 기판부착 가능

자료 : 주대영(2018),『국내 이차전지 산업현황과 발전과제』, 산업연구원.

2. 전기버스 법제도 검토

1) 시내버스 차량 구입 보조금

○ 대기오염물질 발생이 적은 저공해자동차, 교통약자의 이동편의 증진을 위한 저상버스, 환경친화적 자동차에 대하여 관련법에 의거하여 차량 구입비 지원

○ 환경부, 국토부 매칭펀드 지원 및 정액보조 방식으로 정부지원

- 환경부는 CNG버스 차량 구입보조금으로 환경부와 지자체 50:50의 매칭펀드 지원
- 전기버스에 대해서는 대형은 대당 1억 원, 중형은 대당 6,000만원의 정액보조 시행
- 국토교통부에서 초저상버스 구입보조금으로 대당 1억 원, 50:50의 매칭 펀드지원

〈표 2-31〉 국내 버스차량 구입비 지원현황 (2018년)

구분		주요내용	소관부처
CNG 버스	일반[1]	- 대형(배기량 11,000cc 이상) : 1,200만원/대 - 중형(배기량 11,000cc 미만) : 700만원/대 ※ 국비 50% 지방비 50%	환경부[2]
	초저상	- 1,200만원/대(환경부) - CNG 일반버스와 가격차 보조(국토교통부) ※ 서울시 40%, 광역시 50%, 도지역 60% 지원	환경부 국토교통부
CNG 하이브리드		- CNG하이브리드 : 6,000만원 ※ 초저상버스의 경우 추가지원(국토교통부)	환경부 (국토교통부)
전기 버스	대형	- 1,000만원/대(환경부)	환경부[3]
	중형	- 6,000만원/대(환경부)	

자료 : 1)환경부(2018),『천연가스자동차 보급사업 보조금 업무처리지침』
2)환경부(2018),『'18 전기자동차 보급 및 충전인프라 구축사업 보조금 업무처리지침』
주 : 일반 CNG버스 구매보조금은 특·광역시를 제외한 시·군에 한해 지원

○ 버스유형별 차량 구입 지원액은 다음과 같음

- CNG 일반버스 : 대당 1,200만원 지원
- CNG 초저상버스 : 대당 11,200만원 지원
  ※ 천연가스 자동차 구입보조금(1,200만원)+저상버스 구입보조금(1억 원)
- CNG 하이브리드 초저상버스 : 대당 1억 6,000만 원 지원
  ※ CNG 하이브리드 자동차 구입보조금(6,000만원)+저상버스 구입보조금(1억 원)
- 전기버스 : 대당 1억원 지원(대형), 대당 6,000만원 지원(중형)

〈표 2-32〉 국내 버스차량 구입비 지원 관련 법제도

구분	주요내용
대기환경보존법	• 제58조(저공해자동차1)의 운행 등) - 저공해자동차 구입 또는 개조 시 - 저공해자동차 연료공급시설 설치 시(천연가스, 전기 등) ※ CNG버스 차량구입비 및 연료비 지원 근거(환경부)
교통약자의 이동편의 증진법	• 제14조(노선버스의 이용 보장 등) - 저상버스 도입 시 재정지원 ※ 저상버스 구입지원 근거(국토교통부)
수도권 대기환경 개선에 관한 특별법	• 저공해자동차의 보급/구매, 노후차량의 조기폐차지원, 재정지원 - 제4조(국가 및 지방자치단체의 책무) - 제23조(저공해자동차의보급) - 제24조(저공해자동차의구매) • 저공해자동차 구매에 필요한 재정적 지원 ※ CNG버스 차량구입비 및 연료비 지원 근거(환경부) - 제24조의2(저공해자동차의구매계획) - 제27조(노후차량의 조기폐차지원등) - 제34조(대기오염저감을위한재정적지원등)
대중교통의 육성 및 이용촉진에 관한 법률	• 제12조(대중교통육성을 위한 재정지원 - 저상버스 도입 시 보조 또는 융자 ※ 현재 저상버스 구입지원 근거(국토교통부)
환경친화적 자동차의 개발 및 보급촉진에 관한 법률	• 공공기관 및 공기업 친환경차 구매의무, 주차장 설치, 충전인프라 보급 - 제5조(환경친화적 자동차의 보급시행계획 등) - 제10조(환경친화적 자동차의 구매자 및 소유자에 대한 지원) · 환경친화적 자동차의 구매자 및 소유자에게 지원 ※ CNG버스, 하이브리드버스, 전기버스 지원 근거(환경부) - 제10조의 2(공공기관의 환경친화적 자동차의 구매의무) - 제11조의2(환경친화적 자동차의 충전시설 등)
환경친화적 자동차의 요건 등에 관한 규정	• 친환경차 에너지소비효율 기준, 기술세부사항 등 - 제58조(저공해자동차의운행등) 환경친화적 자동차의 요건 등에 관한 규칙 - 제3조(에너지소비효율의 기준) - 별표1 에너지소비효율의 기준(제3조관련)

주 : 1) 저공해자동차는 대기오염물질의 배출이 없는 자동차와 제작차의 배출허용기준보다 오염물질을 적게 배출하는 자동차를 말함(「수도권 대기환경개선에 관한 특별법」 제2조제6호 규정 의거)
2) 환경친화적 자동차는 전기자동차, 태양광자동차, 하이브리드자동차, 연료전지자동차, 천연가스자동차 또는 클린디젤자동차를 말함

2) 시내버스 차량 세금지원

○ 버스차량 구입 관련한 세금지원으로 여객운송사업 부담완화를 위한 취득세 감면과 CNG와 전기버스 등 친환경차량에 대한 취득세, 부가가치세, 환경개선부담금 면제를 시행하고 있음

○ 지방세특례제한법 제70조(운송사업지원을 위한 감면)

- 여객자동차운수사업법에 따라 시내버스운송사업·마을버스 운송사업에 사용하기 위한 차량을 취득하는 경우 취득세의 50%를 2018년 12월 31일까지 경감
- 천연가스버스(CNG버스)를 취득하는 경우 2018년 12월 31일까지 면세
- 전기버스 구입시 취득세 면제 필요(CNG버스와 형평성)

○ 조세특례제한법 제106조(부가가치세의 면세 등)

- 여객자동차운수사업법에 따른 시내버스 및 마을버스 운송사업용으로 공급하는 천연가스버스 및 전기버스

○ 환경개선비용부담법 제9조(환경개선부담금의 부과징수)

- 환경부장관은 경유를 연료로 사용하는 자동차의 소유잘로부터 환경개서누담을 부과징수함
- 배출가스가 현저히 적게 배출되는 자동차로서 경유에 다른 연료를 혼합하여 사용하거나 매연여과장치를 부착하는 등 배출가스가 현저하게 줄어든다고 환경부장관이 인정하여 고시하는 자동차

〈표 2-33〉 국내 버스차량 세금지원 관련 법제도

구분	주요내용
지방세특례제한법	• 제70조(운송사업 지원을 위한 감면) - 일반버스 : 취득세 100분의 50 감면 - CNG버스 : 취득세 면세
조세특례제한법	• 제106조(부가가치세의 면세 등) - CNG버스 : 면세 - 전기버스 : 면세
환경개선비용부담법	• 제9조(환경개선부담의 부과·징수) - 배출가스가 현저히 적게 배출되는 자동차의 경우 면제

자료 : 산업통상자원부(2016), 『공공운수분야 전기차신산업 활성화 전략연구』

3) 전기자동차 구입 절차 및 충전인프라 설치 운영관련 규정

전기자동차 보급 및 충전인프라 구축사업 보조금 업무처리 지침

○ 전기자동차 보급사업추진절차

- 공공부문 전기자동차 보급사업은 구매기관 조달처 계약절차에 따라 구매신청. 구매기관은 자체 예산으로 구매대금 납부 후, 보조사업을 시행하는 지자체에 보조금 지급요청
- 민간부분 전기자동차 보급사업에서 구매신청서 접수순 또는 추첨의 경우, 구매자는 차량 구매대금과 보조금의 차액을 자동차 제조·판매사에 납부하고, 자동차 제조·판매사는 지방자치단체 (국고 +지방 보조금)로부터 보조금 수령
- 민간부분 전기자동차 보급사업에서 출고·등록순 집행의 경우, 차량구매 대금과 보조금의 차액을 자동차 제조·판매사에 납부하고, 자동차 제조·판매사는 지방자치단체(국고 +지방 보조금) 또는 한국환경공단(국고보조금)으로부터 보조금 수령

○ 전기자동차 충전인프라 구축사업 추진절차

- 완속(공용)충전기의 경우 한국환경공단(시도 업무대행 위탁)에서 충전사업자 공모, 국고보조금 신청/수령, 충전기설치, 충전기 보조금 신청/지급
- 완속(비공용)충전기의 경우 한국환경공단에 등록된 충전기 제조사 제품을 충전기 설치희망자와 충전기 제조사간 구매계약과 설치가 이루어지고, 한국환경공단은 충전기 제조사에 보조금을 지급하고, 한국환경공단은 환경부에 국고보조금을 신청

〈표 2-34〉 전기자동차 구입 절차 및 충전인프라 설치운영관련 환경부 지침

법률	세부 조항
전기자동차 보급 및 충전인프라 구축사업 보조금 업무처리 지침	• 전기자동차 구매 및 충전기 설치 관련 보조금 지원기준 및 절차 등 관련 업무를 처리하는데 필요한 사항 규정 - 사업추진절차 - 전기자동차보급사업 - 충전인프라구축사업
전기자동차 충전인프라 설치운영 지침	• 충전기 설치 운영에 필요한 기준 및 각종 준수사항 - 충전기 설치 - 충전기 운영 - 보조금 신청

- 급속충전기 구축사업은 광역·기초자치단체에서 사업예산(국비+지방비) 편성하고, 국고보조금 신청/수령, 급속충전기 설치공사 등의 업무 수행함. 지자체는 급속충전기 관련 업무를 한국환경공단에서 공모한 사업수행기관, 한국자동차환경협회, 지방공기업 등에 위탁할 수 있음

○ 전기자동차 보급사업

- 보조금 지원대상은 개인, 법인, 공공기관, 지자체, 지방공기업 등(중앙행정기관 제외)이 전기자동차 보조금 지원대상 자동차를 신규로 구매, 국내에 등록한 경우이며, 전기차 제작사는 자기차량을 구매시 보조금 미지원
- 보조금 지원차량은 환경부 전기자동차 통합포탈(ev.or.kr)에서 열람 가능
- 보조금 지원기준은 전비(연비)와 저온성능, 배터리용량 등 자동차의 성능을 고려하여 차등(최대 1,200만원)하여 지원

$$\text{기본보조금} = \text{기본금액} + \left\{\text{배터리용량} \times \left(\text{단위보조금} \times \frac{\text{가중전비}}{\text{최저가중전비}}\right)\right\}$$

· 기본금액 : 350만원(최소한의 보조금)
· 가중전비 : 저온성능 25%반영한 전비(겨울철 주행거리 감소 불편 최소화 목적
· 가중전비=(상온전비×0.75)+(저온전비×0.25)
· 저온전비=(저온주행거리/상온주행거리)×상온전비
· 최저가중전비 : 대상 차종 중 가장 낮은 가중전비
· 상온 주행거리 및 저온 주행거리는 한국환경공단에서 시행한 '보급대상 평가시험결과' 사용

- 전기택시는 200만원 추가 지원함. 총 지급액 1,200만원 넘을 수 없음. 구매자가 택시사업 자면허를 가진 경우 지원 가능(면허증 제출)
- 전기승합차 보조금 : 차량 크기에 따라 차등지원(대형:1억원, 중형:6,000만원)
- 초소형전기차 : 차종 관계없이 450만원 정액 지원
- 전기화물차 : 차량 크기에 따라 차등지원(경형:1,100만원, 소형 : 2,000만원)

○ 전기자동차 충전인프라 구축사업

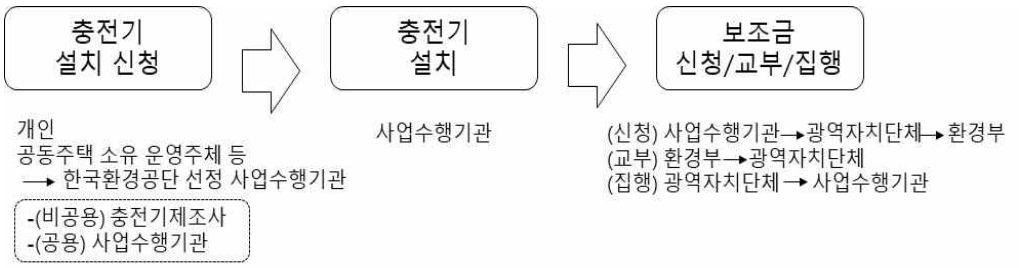
- 완속충전기 보조금 지원대상은 비공용충전기는 전기차 구매자(전기차 보조금 대상자)중 거주지 또는 직장에 충전기 설치를 위한 부지를 확보한 자이며, 공용충전기는 공동주택, 사업장, 대규모 주차장 등의 소유 및 운영주체
- 완속충전기 보조금 지원기준은 충전기 개방(공동사용)여부와 충전기 설치수량에 따라 차등지원

- 완속충전기 충전인프라 구축관련 보조금 집행,정산업무 한국환경공단에 위탁가능하며, 위탁기관의 보조금 집행 적정 여부 지도,감독

〈표 2-35〉 완속충전기 보조금 지원기준

(단위 : 만원)

구분	완전개방			부분개방			비공용 (기)
	1기	2~5기	6기 이상	1기	2~5기	6기 이상	
보조금	400	350	300	320	280	230	최대150



〈그림 2-24〉 완속충전기 보조금 집행절차

- 급속충전기 보조금 지원대상은 광역 및 기초지방자치단체이며, 보조금 지원 충전기는 국내 KS규격에 적합한 50kW 이상급 전기자동차 급속충전기임. 다만, 100kW이상 등 국내 인증기준 없는 경우 한국기계전기전자시험연구원 등 공인기관으로부터 시험성적서 취득 제품이어야 함
- 급속충전기 설치장소는 시군구청, 읍면동사무소, 지방공기업 사무소 등에 설치가능함. 최소 2기 이상 급속충전기 설치해야 하고, 1기당 주차면 2개 이상 확보 필요



〈그림 2-25〉 급속충전기 보조금 집행절차

〈표 2-36〉 급속충전기 보조금 지원기준

구분	급속충전기(기)	비고
보조금(만원)	최대 3500	국비(70%), 지방비(30%)

전기자동차 충전인프라 설치운영 지침

○ 전기자동차 충전기 설치

- 설치대상 충전기는 등록된 충전기중 전기차 구매자 또는 소유자가 신청한 충전기를 의미함
- 충전사업자는 환경부장관이 매 분기 정하는 비율 이상을 공용충전기로 설치해야 함
- 공용충전기는 전기차 보급실적 및 보급계획 물량이 많은 지역을 위주로 설치
- 공동주택 충전기 설치시 입주민간 분쟁예방을 위해 공동주택 관리주체 등에 충전기 설치관련 동의를 구해야 함

○ 전기자동차 충전인프라 운영

- 충전사업자가 공용충전기를 운영하고자 할때는 한국환경공단에 운영 신고함
- 국가 또는 지방자치단체로부터 보조금을 받은 공용충전기 충전사업자는 최소 2년간 운영·관리 하여야 함. 지자체로부터 충전기를 대행하여 설치하는 경우 2년간 사용허가를 받은 것으로 봄
- 충전요금 산정 및 변경은 한국환경공단에 통보하여야 함
- 충전사업자는 완전개방 공용충전기의 위치와 상태에 관한 정보를 충전정보시스템에서 실시간으로 공유하여야 함
- 공용충전기 공동이용을 위해서 충전사업자별 회원제로 운영하고, 타 충전사업자가 발급한 회원카드와 공용될 수 있도록 필요한 조치를 취해야 함
- 효율적인 충전기 운영관리를 위해 운영관리와 관련된 사항을 타 사업자와 공동으로 이행하거나 한국자동차환경협회에 그 업무를 대행하도록 함

4) 전기자동차 보급 및 충전인프라 설치 운영관련 인천광역시 조례

○ 인천광역시 기후변화대응조례 (제24조 친환경자동차 구매보급)

- 시 및 자치군, 구가 자동차를 구매할 때 하이브리드자동차, 전기자동차 등 친환경자동차를 우선적으로 구매하여야 하며, 친환경자동차보급에 노력하여야 함
- 시는 치환경 자동차 구매자에 대하여 재정지거 지원 등 필요한 지원을 할 수 있음
- 시장은 전기자동차 충전시설 설치자에 대한 재정지원을 할 수 있음

○ 인천광역시 전기자동차 보급촉진 및 이용활성화에 관한 조례

- 활성화 기본계획에 전기자동차 이용추진 방향과 목표, 보급계획 및 실적, 충전시설 구축과 관리 운영방안, 재원조달 및 재정지원방안 등
- 전기자동차 운행에 대한 지원과 관련하여 전기자동차 공영주차장 및 시청사 및 산하기관 부설주차장 주차요금감면과 주차장내 전기자동차 전용주차구역 설치 등
- 충전시설 설치대상 시설은 「환경친화적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률 시행령」 제18조의4에 따른 시설에서 주차장 주차단위구획을 100개 이상 갖춘 시설

〈표 2-37〉 전기자동차 보급 및 충전인프라 설치운영 인천광역시 조례

조례	내용	관련부서
인천광역시 기후변화대응 조례	제24조 친환경자동차 구매보급 - 전기차구매자 재정지원 - 전기차 충전시설 설치 재정지원	녹색기후과
인천광역시 전기자동차 보급촉진 및 이용 활성화에 관한 조례	- 활성화 기본계획 등 수립 - 전기자동차 운행에 대한 지원 - 충전시설 설치대상 시설 - 충전시설 설치비율 - 운영위탁	에너지 정책과
인천광역시 건축 조례	제33조의2(자동차 충전설비) -「환경친화적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」 제2조제2호에 의한 전기자동차 이용자 편의를 제공하기 위하여 기존건축물 및 신축건축물 등에 대하여 전기자동차 충전설비를 설치하도록 권고	건축계획과
인천광역시 주차장 설치 및 관리조례	제4조의2(주차요금의 감면) -「환경친화적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」 제2조제2호에 따른 환경친화적 자동차 : 주차요금 50%감면 - 전기자동차가 충전을 위하여 주차하는 경우에는 최초 1시간의 주차요금은 면제한다	교통관리과

- 충전시설 설치비율은 주차장 주차단위 구획 총수를 200으로 나눈 수 이상으로 하며, 주차장 주차단위구획 100개 이상인 시설의 경우 급속충전시설을 1기 이상 설치해야 함
- 시장은 전기자동차 충전시설의 효율적인 관리운영을 위해 충전시설의 설치 및 유지관리업무 등이 일부 또는 전부를 공공기관이나 지방공기업에 위탁운영할 수 있음

○ 인천광역시 건축 조례(제33조의2 자동차 충전설비)

- 「환경친화적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」제2조제2호에 의한 전기자동차 이용자 편의를 제공하기 위하여 기존 건축물 및 신축 건축물 등에 대하여 진기자동차 충전설비를 설치하도록 권고할 수 있음

○ 인천광역시 주차장 설치 및 관리조례(제4조의2 주차요금의 감면)

- 「환경친화적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」제2조제2호에 의한 환경친화적 자동차에 대하여 공영주차장의 주차요금 50%감면할 수 있음

5) 전기자동차 충전서비스사업 육성 및 활성화

○ 도로법 제68조(점용료 징수의 제한) 및 법 시행령 제73조(점용료의 감면)

- 도로법제68조제3호 국민경제에 중대한 영향을 미치는 공익사업으로서 대통령령으로 정하는 사업의 경우 점용료의 2분의 1감액됨. 법시행령 제73조에 전기자동차 충전시설, 수소자동차 충전시설을 설치하는 사업이 해당됨

○ 주차장법 시행령 제4조(경형자동차 및 환경친화적 자동차 전용주차구획의 설치비율)

- 주차장법제12조의3(단지조성사업등에 따른 노외주차장)제3항에 다라 대통령령으로 단지조성사업등으로 설치되는 노외주차장에는 경형자동차를 위한 전용주차구획과 환경친화적 자동차를 위한 전용주차구획을 합하여 주차구획이 노외주차장 총 주차대수의 100분의 10이상이 되도록 설치하여야 함

○ 전기사업법 제31조 (전력거래)

- 법제31조제6항 소규모전력중개사업자는 모집한 소규모전력자원에서 생산 또는 저장한 전력을 제43조에 따른 전력시장운영규칙으로 정하는 바에 따라 전력시장에서 거래하여야 함

○ 위험물 안전관리법 시행규칙 제37조(주유취급소의 기준) 관련 별표13

- 주유취급소의 위치구조 및 설비의 기준에 관한 사항에서 주유소 전기차 충전설비기준 완화 : 일정 거리 이상 이격한 경우 방폭 성능 없어도 충전기기 사용 가능

○ 개발제한구역의 지정 및 관리에 관한 특별조치법

- 개발제한구역내 버스차고지 설치가 가능하고, 차고지 내부에 전기버스 급속충전시설(자동차 전기공급시설) 설치가 가능함

○ 전기차 충전서비스 산업 육성사업 운영지침(2017.5.한국에너지공단)

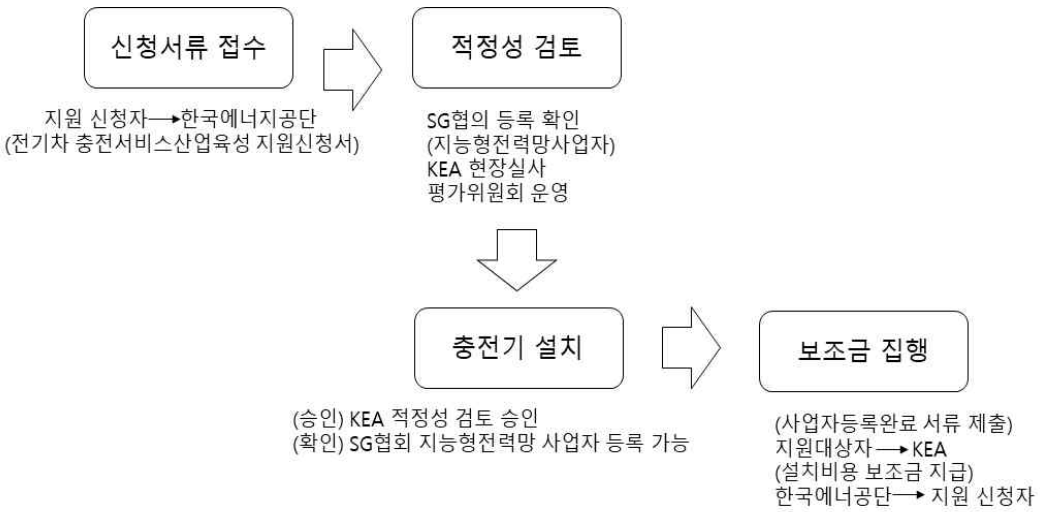
- 목적 : 전기차 민간충전사업자에게 충전기 구축 비용의 일부를 지원
- 충전서비스 사업자 지원 신청자 : 「지능형전력망의 구축 및 이용촉진에 관한 법률」제12조 제1항(지능형전력망 사업자의 등록 등)에 따라 전문인력, 자본금 등의 등록기준을 갖추어 산업통상자원부장관에게 등록하고, 주유소, 프랜차이즈, 주차장 등 설치부지를 확보한 개인 또는 민간사업자(법인 포함)
- 사업추진체계 : 충전서비스 사업자 보조금 지원 신청자는 자체적으로 전기차 급속충전기를 설치하거나 충전설비전문기업*에 설치를 대행

  * 충전설비전문기업은 「지능형전력망의 구축 및 이용촉진에 관한 법률」에 따라 지능형전력망 사업자로 등록된 기업으로서 전기차 충전서비스분야의 사업을 영위하는 기업를 말함

- 지원기준 : 급속충전기 1기당 설치비용*의 50%(최대 20백만원 이내) 환급

  * 충전기 구입, 공사비, 안내표지, 보호덮개 등을 포함, 부가가치세 제외

- 예산운용 : 한국에너지공단은 기간별 수요를 고려하여 2~3차에 걸쳐 사업예산 배분, 운영하고, 접수 및 평가를 통해 적정성 검토후 탄력적으로 지원대상을 선정



〈그림 2-26〉 민간충전사업자 충전기 설치 보조금 집행 절차

〈표 2-38〉 전기자동차 충전서비스사업 육성 및 활성화 관련 법제도

시행령	내용
도로법 시행령	• 충전인프라 확충 지원(2017.11.28.) - 수소차·전기차 충전 인프라 구축을 지원하기 위한 방안으로 충전시설을 도로변 설치를 허용하고, 해당 시설물에 대한 도로점용료를 50% 감면조치
주차장법 시행령	• 환경친화적 자동차 전용주차구획 설치비율(2016.7.20.) - 전기차 등 환경친화적 자동차의 보급촉진을 위하여, 택지개발사업 등 단지조성 사업에 따라 조성된 노외주차장에 경형자동차와 환경친화적 자동차 전용주차구획을 10% 이상 설치하도록 규정 * 기존에는 경형자동차 전용주차구획만 5% 이상 설치하도록 규정 * 경차와 친환경차 전용주차구획의 구체적인 비중은 지역별 경차와 친환경차 보급수준 등을 고려해 관할 지방자치단체에서 결정
전기사업법	• 소규모 전력 중개, 전기차 충전사업 신설(2018.12.13. 시행) - 1MW이하 신재생에너지, 에너지저장장치, 전기차에서 생산 또는 저장된 전기를 모아 전력시장에서 거래하는 전력중개사업이 시행 - 현재 지능형전력망법(지능형전력망의 구축 및 이용촉진에 관한 법률)에 근거해 사업 중인 전기자동차 충전사업을 전기차에 유상으로 전기를 공급하는 사업으로 정의 · 신설, 전기사업법상으로도 사업자의 법적 지위를 명료화
위험물 안전관리법 시행규칙	• 주유소 전기차 충전설비기준 완화(2017.7.26.) - 주유소의 전기자동차 충전설비 기준개선 : 일정거리 이상 이격한 경우 방폭성능이 없어도 충전설비 설치 가능 - 위험물안전관리자 대리자 자격요건 현실화 : 일정수준의 안전관리교육 수료만으로 대리자의 지정이 가능
개발제한구역의 지정 및 관리에 관한 특별조치법	• 개발제한구역 허가대상 간축물 또는 공작물의 종류(시행령제13조제1항) - 개발제한구역을 통과하는 선형시설 및 필수시설 : 버스차고지 및 그 부대시설(자동차 전기공급시설)을 설치할 수 있음 - 자동차정비시설 중 '도장시설 및 건조시설'은 개발제한구역내 설치불가
전기차 충전서비스 산업 육성사업 운영지침 (한국에너지공단)	• 전기차 민간충전사업자에게 충전기구축 비용의 일부를 지원하여 전기차 보급 및 운행을 활성화하고 관련 서비스 산업을 육성 - 충전서비스 사업자 지원신청자 - 사업추진체계 - 지원기준 - 예산운용

Ⅲ

국내·외 전기버스 사업 추진사례

Ⅲ. 국내·외 전기버스 사업 추진사례

1. 국내 전기버스 사업 추진사례

1) 국내 전기버스 보급현황[19)]

도입 배경

○ 미세먼지 경감과 유지비용(연료비,정비비) 절감을 위해 도시부 대중교통수단으로 전기버스 도입 검토. 국내에서는 2010년 12월 서울 남산에서 최초로 운행을 시작하였음

보급 현황

○ 서울시는 2010년 12월 남산 순환노선에 전기버스 5대를 투입하였으며 2011년 추가로 4대를 도입하여 운영하였으나 정비비용 과다, 정시운행의 어려움, 차량제조사의 사업 철수 등의 문제로 2016년 12월 운행을 중단하였음

- 서울시는 2018년 8월 서울시 첫 노선용 전기버스 사업에 현대자동차 14대, 에디슨 모터스 5대, 중국 하이거 10대를 2018년 11월 노선투입예정임

〈표 3-1〉 국내 전기버스 보급 대수

구분	경기	서울	제주	부산	구미	포항	세종	계
대수	89	10	59	10	4	2	1	175

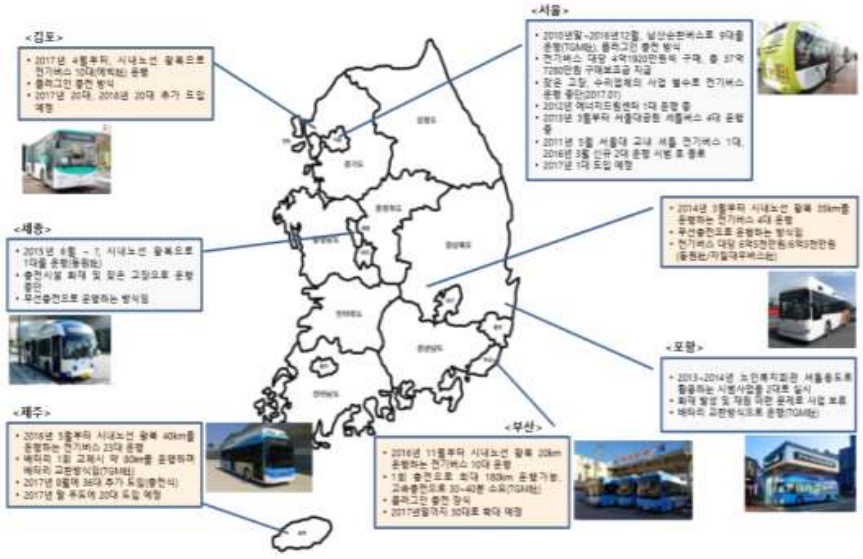
주 : 1. 2018년말 까지 운행예정 대수 포함
2. 배터리교환형 등 전기버스 포함

19) 자료 : 환경부(2017),『버스·택시 등 공공교통수단에 대한 친환경차 보급계획 수립에 관한 연구』(재구성)

○ 경기도는 2018년 3월 기준 25대 운행 중이고, 2018년 말까지 관용 및 관광용 포함하여 64대가 추가도입 예정임

○ 구미시는 2013년부터 온라인 무선충전 전기버스에 대한 시범운행을 시작하였으며 2014년부터 정기 노선에 버스 2대를 투입하여 운영하고 있으며 2016년에는 신규 모델 2대를 추가 도입하여 현재 총 4대의 전기버스를 운영 중임

○ 포항시는 2013년부터 배터리 교환형 전기버스에 대한 시범운행을 시작하였으며, 제주도 동서교통에서는 2016년 5월부터 11대의 배터리 교환형 전기버스에 대한 운행을 시작하였음



〈그림 3-1〉 국내 전기버스 보급지역 분포(2017.7.기준)

자료 : 세방전지(2018),『전기버스용 battery Pack 기술 개발 현황(자문회의자료, 2018.6.14.)』,서울연구원.

〈표 3-2〉 경기도 전기버스 현황

구분	시군명	수량(대)	추진현황
2016년 (20대)	김포시	20	2017년 9월 운행시작(김포선진운수)
2017년 (19대)	김포시	5	2018년 3월 운행시작(선진운수)
		12	2018년 8월 운행예정(강화운수)
	광주시	2	2018년 9월 운행예정(곤지암리조트)
2018년 (50대)	수원시	10	2018년 11월 운행예정(용남고속)
	김포시	39	2018년 11월 운행예정 (김포선진운수, 강화운수)
	안산시	1	2018년 10월 운행예정 (관용 전기버스)

자료 : 김점산 외(2018),『수도권 전기버스 도입 확대 방안(자문회의자료,2018.9.20.)』,경기연구원.

2) 전기버스 사업 추진사례

제주 동서교통의 전기버스

○ 전기버스 운행노선은 100번대 노선으로 노선연장은 왕복 70km

- 배터리 교환형 전기버스 : 2015년 23대 리스(에디슨모터스, e-FIBIRD)
- 플러그인 전기버스 : 2017년부터는 36대 구매

○ 전기버스 차량가격

- 배터리 교환형은 5억 2천만 원, 플러그인 충전방식은 4억 6천만 원
- 구매보조금은 환경부 1억 원, 도비 1억 5천만 원 지원(저상버스 지원금 포함)

○ 전기버스 배터리 용량

- 배터리 교환형 버스 : 100kWh로 50kWh 1개의 패키지 교환(5분 소요)
- 배터리 교환 스테이션은 2개소 설치(노선 경로상 1개소, 회차지점 1개소)
- 플러그인 충전 전기버스 : 163kWh 배터리 탑재됨. 차고지와 회차지에서 충전

〈표 3-3〉 제주 동서교통 전기버스 추진사례

구분		내용	사진
제조사(모델명)		에디스모터스(e-FIBIRD)	
차량 특성	차량가격	4억6천만원 (저상버스1억원, 전기버스1억원 지방비 1억5천만원, 자부담 1억1천만원)	
	차량제원	차체소재 : 알루미늄+스틸 좌석수 24개	
배터리 특성	배터리용량	163kWh	
	충전방법	매회 30분 충전	
충전기 특성	충전기	200kW급(5대), 100kW(6대)	
		계량기+한전불입금 +전기설치비용+캐노피 등 기타 설치비용 2-3천만원 추가	
		충전기(200kW):8천만원대, 설비비:2천만원/대	
	충전요금	498원/kWh	
	운영	동서교통 자회사 (위탁운영, 감가상각 5년)	
기타	차량관리	에디스모터스 직원 2명 파견	
	기사만족도	피로강도 적음	





자료 : 김점산 외(2018),『수도권 전기버스 도입 확대 방안(자문회의자료,2018.9.20.)』,경기연구원. 재구성

경기 김포 선진버스의 전기버스

○ 2017년 4월 5대 도입, 2017년 5월 33번 노선 20대 운행시작, 2018년 8대 추가

○ 차량가격 및 연비개선을 위한 선진버스 기술개발 참여로 노선에 최적화된 차량 개발하여 도입(AVIC ENVYON)

○ 충전서비스운영은 선진버스 모회사 선진네트웍스 위탁운영

○ 김포~일산 33번 노선, CNG버스 대비 전기버스 대당 34.6% 연료비 절감

- 전기요금 2019년까지 한시적 50% 할인으로 연료비 저렴

〈표 3-4〉 경기 김포 선진버스 전기버스 추진사례

구분		내용	사진
제조사(모델명)		한신자동차(엔비온)	
차량 특성	차량가격	3억 2천만원 (저상버스:1억원, 전기버스1억원 자부담 1억2천만원)	
	차량제원	차체소재 : 알루미늄(좌석 19개)	
배터리 특성	배터리용량	117.6kWh	
	충전방법	회당 급속충전(1일 5-6회/대 충전) 1회 약 23분 충전	
충전기 특성	충전기	300kW급 급속충전기(5기)	
		충전기:9.3천만원/대 설비비 : 8천만원/대	
	충전요금	500원/kW(감가상각 3년)	
	운영	선진네트웍스(선진버스 모회사)	
기타	차량관리	한신자동차 관리직원 상주	

자료 : 김점산 외(2018), 전게서(재구성)

〈표 3-5〉 경기 김포 선진버스 전기버스 운행 효과(2017.5. 운행기준)

구분	CNG버스	전기버스	김포~일산33번 노선
월 운행횟수(A)	1,282회	1,251회	• 1회 운행거리 : 왕복58km • 운행시간 : 2시간50분(첨두) 2시간20분(비첨두) • 전비(km/kWh) : 1.15(첨두) 1.21(비첨두)
월 사용량(B)	33,511루베	68,207kWh	
월 납입 연료비(C)	25,362,758원	16,192,439원	
연료단가(C/B)	756.8원	237.4원	
회당 연료비(C/A)	19,784원	12,944원	
비고	CNG버스 대비 6,849원/회 절감(34.6%)		

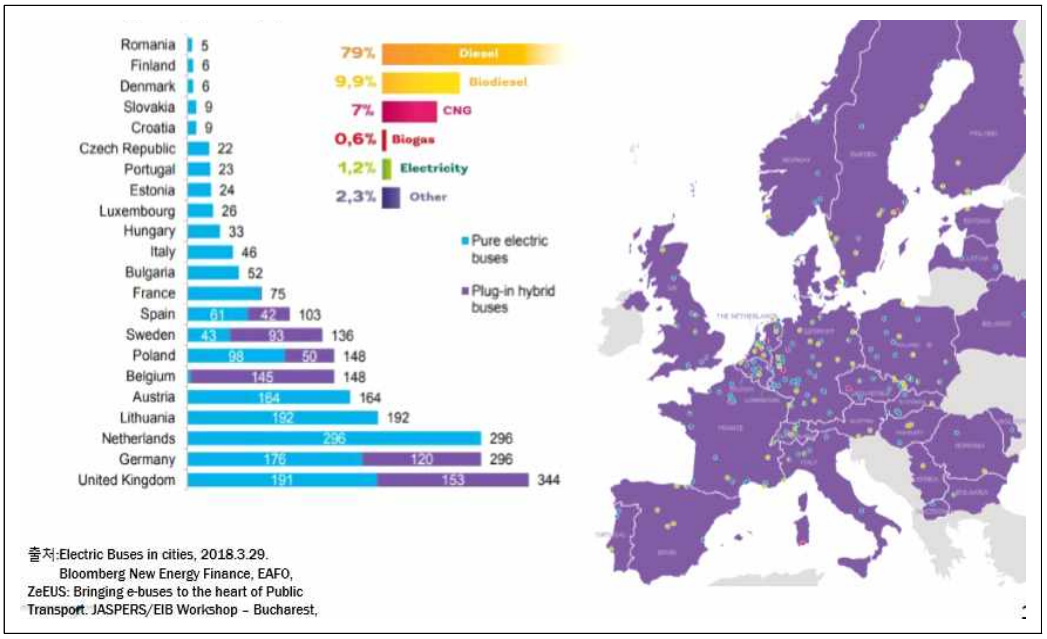
자료 : 김점산 외(2018), 전게서(재구성)

2. 국외 전기버스 사업 추진사례[20)]

1) 유럽

전기버스 보급 대수

○ 유럽의 전기버스 보급대수는 2017년 약 2,100대 규모이고, 앞으로 확대되어갈 것으로 예상됨. 순수전기버스 비중은 총 1,560대를 차지하며, 유럽 버스대수의 전기버스 점유율이 1.2% 차지함. 특히 영국이 전기버스가 많은 것은 ULEV(Ultra Low Emission Vehicles) 정책, 즉 모든 차량을 저공해차량으로 도입하는 정책과 관련성이 많음



〈그림 3-2〉 유럽국가별 전기버스 보급 현황

자료 : 박지영(2018),『2018 미래차 기반 교통체제 지원사업 중 수도권 전기버스 도입 확대 방안 연구(자문회의자료, 2018.9.21.)』,한국교통연구원.

○ 2002년부터 수소연료전지 버스 및 전기버스에 대한 기술개발과 실증사업을 진행하고 있으며, 이와 관련한 대규모 상용화 시범사업을 추진하고 있음

○ 최근 들어서 전기버스 상용화에 대한 혁신사업이 증가하고 있으며, 차량의 기술적인 개발보다는 충전 인프라의 구축 및 확대, 전기버스 최적화를 위한 비즈니스 모델 발굴, 대규모 상용화 지원방안 등에 초점을 맞추고 있음

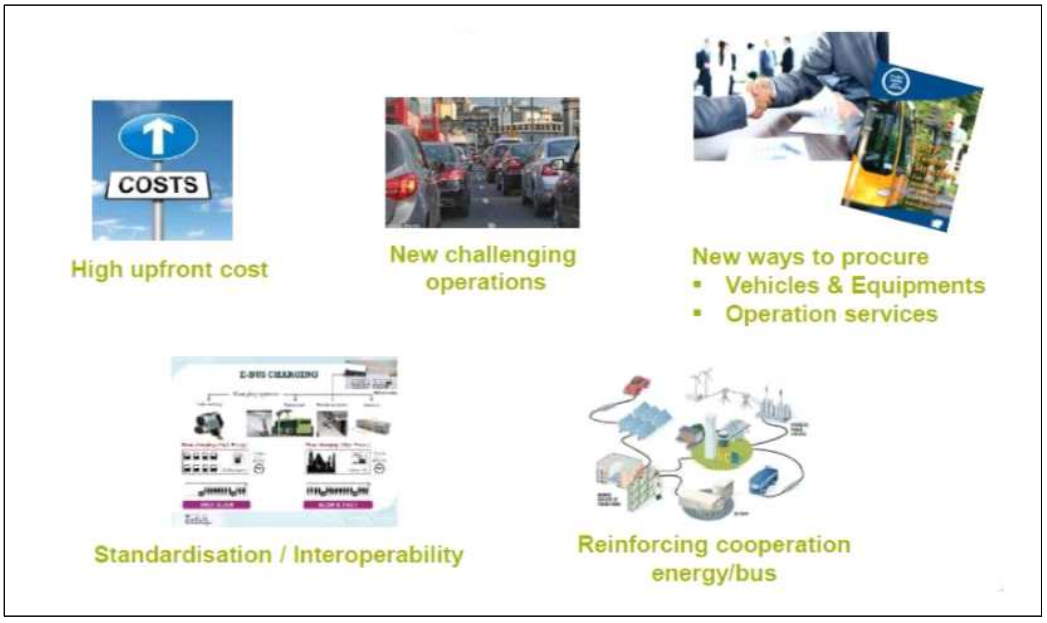
20) 박지영(2018),『2018 미래차 기반 교통체제 지원사업 중 수도권 전기버스 도입 확대 방안 연구(자문회의자료, 2018.9.21.)』,한국교통연구원(녹취자료 요약정리)

○ 유럽은 전기버스 차량의 양산체계가 완전하지 않음. 진보적인 제조사가 볼보(Volvo)가 전기버스의 글로벌 메이커이며, 또 하나는 비야디(BYD)임. 비야디는 배터리와 충전시스템 기술을 기반으로 자체기술은 영국의 유명한 차량제작사 ADL(영국 스코틀랜드 Alexander Dennis Limited)과 협업하여 영국시장에 진출함. 볼보는 2020년까지 내연기관 버스생산을 중단하고, 배터리시스템은 비야디(BYD)시스템이 적용됨. 비야디는 차량 9년 내 배터리건강상태(SOH:State Of Health)가 80% 수준으로, 배터리 보증기간을 9년으로 하고 있음

○ 유럽 전체의 전기버스 시범사업을 통해 유럽시장의 전기버스 제작사와 전기시스템 공급자에 대한 객관적 자료가 제공되고 있음

유럽 전기버스 사업 주요 이슈

○ UTIP와 공동으로 ZeEUS가 정의한 전기버스 사업의 도전과제를 5개로 정의하고 있음. 첫째 높은 초기투자비용, 둘째 일반버스와 다른 새로운 전기버스 운영방식, 셋째 새로운 전기버스의 발주과정과 조달문제, 특히 버스대수가 많을수록 조달하는데 상당한 기간이 소요된다고 함. 이 기간을 어떻게 관리할 것인가 등의 문제, 넷째 충전방식의 호환 및 표준화를 어떻게 가져갈 것인가임. 유럽의 경우 2019년 확정예정이라고 함. 마지막으로 에너지와 전기버스를 어떻게 연계할 것인가의 문제임



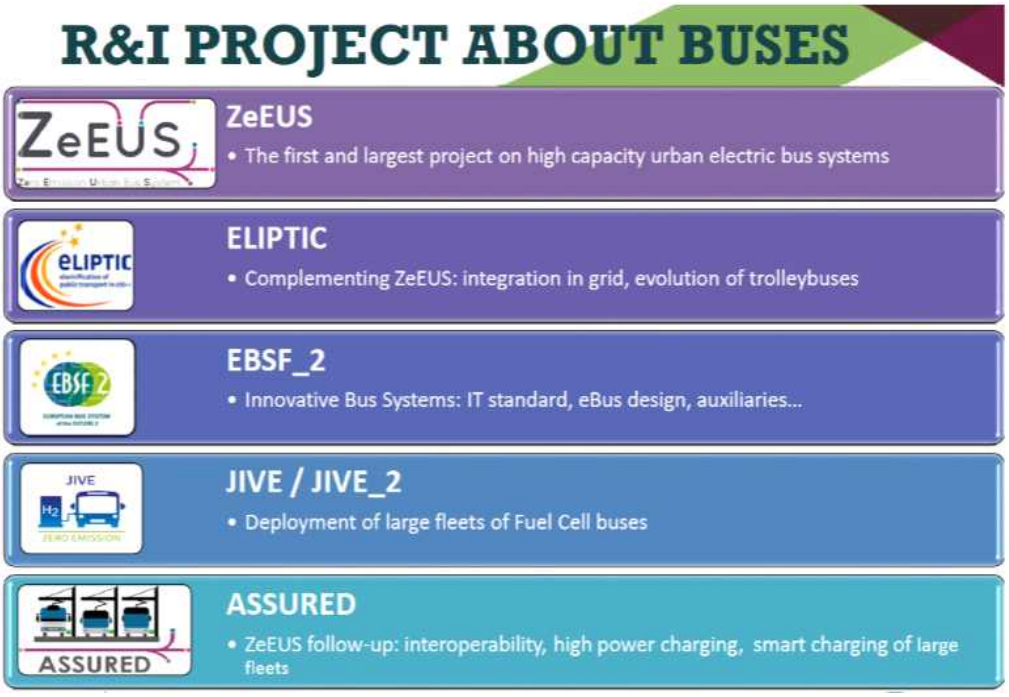
〈그림 3-3〉 유럽 전기버스 사업 주요 이슈

자료 : 박지영(2018), 전게서(재구성)

전기버스 보급사업 지원 프로젝트

○ 2017년 10월 27일, 유럽연합 집행위원회는 2018-2020년 동안 유럽연합의 연구 및 혁신 기금 지원 계획인 Horizon 2020프로그램을 통해 사회적 도전과 혁신을 위한 새로운 솔루션에 300억 유로를 투입하고 있는데, 그 일환 중 하나의 사업으로 교통(Transportation)사업 중 전기버스 지원사업을 진행하고 있음

○ ZeEUS(제우스사업)은 개발사업이 아니라 지역내 전기버스 도입을 위한 상용화를 지원하는 사업임, 전기버스 도입 과정 중에서 서로가 사업추진내용을 공유하고 앞으로 어떤 과정을 통해서 전기버스를 도입해야 하는지 대한 연구와 혁신사업이 주요 내용임



〈그림 3-4〉 유럽의 전기버스 보급사업 지원 프로젝트

자료 : 박지영(2018), 전게서

○ ELIPTIC(일립틱)은 전기버스 충전에 대한 개발이 많이 이루어졌음. 특히 독일에서 많이 진행되었는데, 충전시스템과 전력망의 연계구축 사업을 추진해오고 있음

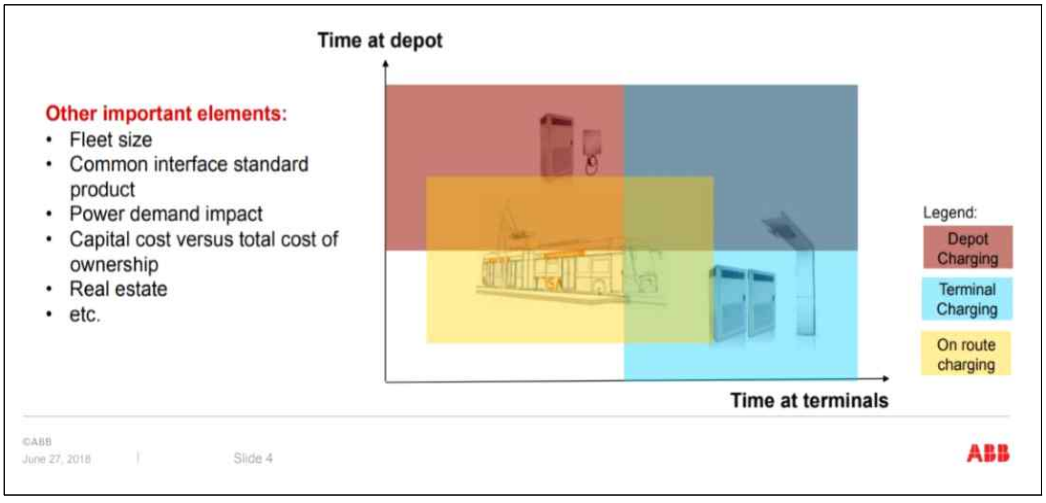
○ EBSF-2(이비에스에프투) European Bus Service For Future 의 약자임. 버스차량내 공조시스템에 대한 개발이 많이 포함됨. 에어컨, 냉난방과 관련된 공조시스템의 효율적 운영이 전기버스의 주요 이슈임. 전기버스시스템에서 이러한 공조시스템을 어떻게 개선시킬 것인지 기술개발과 지원사업을 함. 전기버스의 차고지(garage) 관리에 IT기술을

어떻게 관리할 것인가도 포함됨. 특히 차고지 내 진입/진출을 IT기술로 관리하는 기술개발 등이 포함됨

○ JIVE(자이브)는 유럽에서 2000년대 초반부터 수소버스에 대한 차량기술도 안정화되고, 적은 규모에 대해서 운영이 가능함. 큰 규모에 대한 운영 솔류션은 아직 없음. 자이브는 대규모 수소버스 운영에 대한 실증사업을 수행함

○ ASSURED(어슈어드)는 충전에 관련된 사업을 수행함. 제우스 사업을 통해 많은 전기버스 실적사업을 추진했지만, 충전시스템의 조화가 충분히 이루어지지 않았음. 급속충전과 충전설비를 다수 설치하여 어떻게 충전을 잘 관리할 것인지. 스마트충전기술에 대한 지원사업임

○ 유럽 전기버스 추진사업의 특징은 자체사업으로 추진하는 전기버스 사업도 있지만, 버스운송업체들이 자체 예산으로 전기버스도입사례도 있음. 유럽연합에서 지원하는 많은 프로젝트를 통한 협력사업으로 전기버스 도입사업을 추진함. 정보교류를 하고 자료공개를 하는 등의 협력사업을 진행함. 특히, ZeEUS 프로젝트를 통해서 유럽연합 내 전기버스 사업이 많이 확대되었음



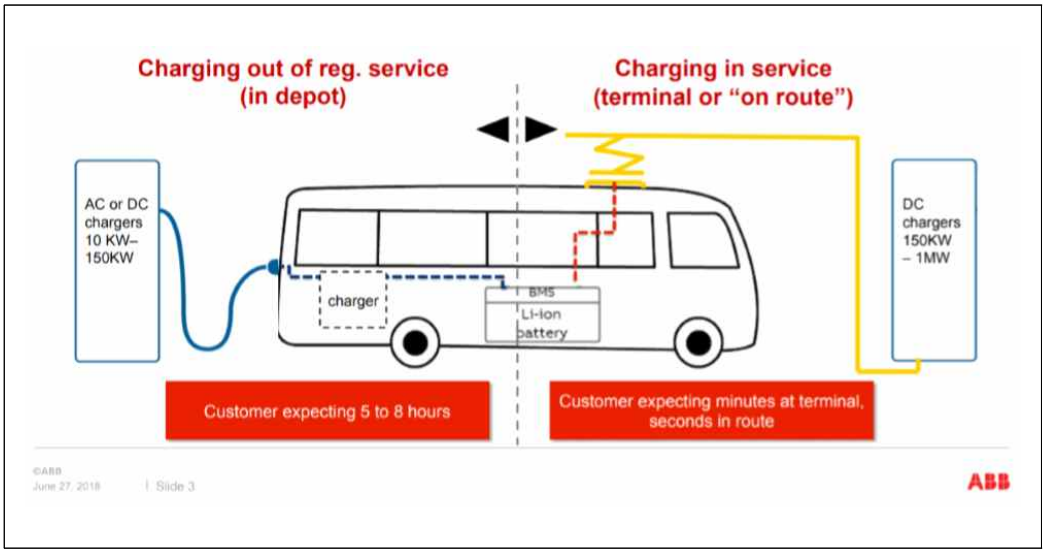
〈그림 3-5〉 유럽의 전기버스 충전방식 개념도

자료 : 박지영(2018), 전게서

유럽의 전기버스 충전시스템

○ 유럽의 전기버스 운행을 위한 충전시스템에 대한 기술은 아직 진행단계로 보임. ABB사(철도차량전기시설공급업체)는 Siemens사와 함께 Pan-Canadian project를 통해 충전기술 표준을 검토하였음. 전기버스 운행을 위한 충전시스템으로 '차고지 충전방식'과 '경로 중 충전방식(flashing charging)'을 모두 검토 중으로 상용화 기술개발 중임

- 차고지 충전은 10kW-150kW급 플러그인(plug-in) 방식
- 경로 중 충전은 150~1MW급 팬터그래프(pantagraph)방식이 권고표준안임



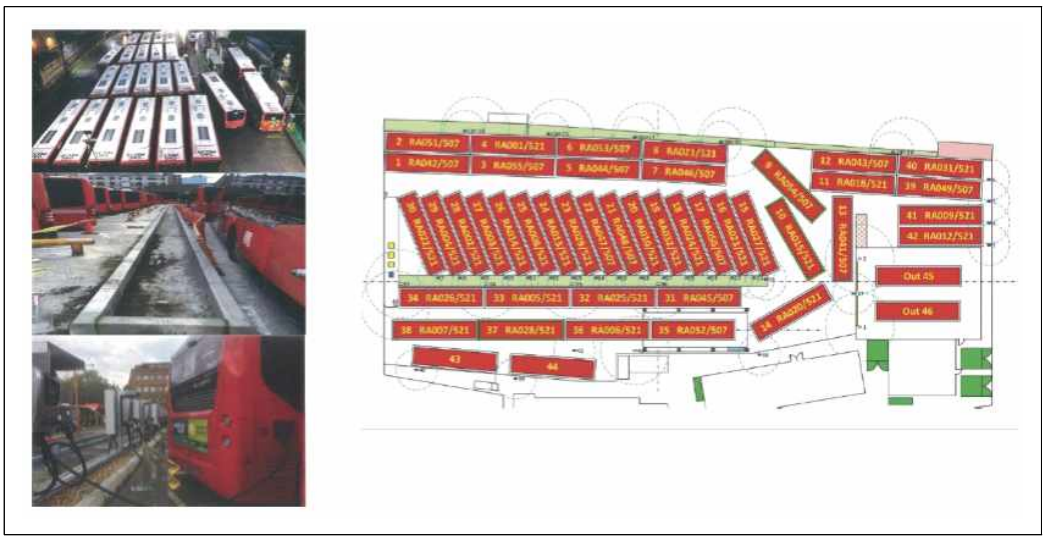
〈그림 3-6〉 유럽의 전기버스 충전방식 권고표준안

자료 : 박지영(2018), 전게서

○ 유럽은 차고지 충전과 경로 중 충전의 하이브리드 형태로 진화되어 오고 있음. 일반적으로 차고지 충전이 안정적이고, 비용효율성이 높음. 그러나 전기버스 보유대수가 증가하고 차고지내 동시충전 전기버스 규모가 커지면 전력배분(power distribution) 문제가 발생할 수 있어 경로 중 충전방식을 병행추진하고 있음

○ 영국 버스운영업체 고어헤드런던(Go-ahead-London)사는 차고지충전과 경로중 충전의 하이브리형태로 운행함. 워털루 차고지에 50kW급 충전기가 설치되어 있고, 두 개의 케이블(22kW, 23kW)이 설치되어 있고, 두 케이블간 전력량 배분을 위해 스마트 충전(smart charging)이 가능함

- 런던교통공사 주체로 전기버스 시범사업 추진 중, 차량구매보조금 및 인프라구축비용 지원



〈그림 3-7〉 영국 고어헤드런던 버스운송업체 차고지 충전방식 사례

자료 : 박지영(2018), 전게서

○ 경로 중 충전(기회충전)은 에너지저장장치(ESS)를 설치하여 플래싱 차징(flasing charging)이 가능하도록 에너지분야와 협력하여 진행함. 스웨덴 예테보리정류장의 경우, 사람들이 책을 읽고, 대기할 수 있는 공간이 마련되어 있음. 전기버스 정차시 충전이 가능함. 스웨덴의 전기버스는 볼보(Volvo)차량이 주요 메이커임. 스위스 제네바는 Vanhool과 VDL(트롤리 차량제작사)에서 전기버스 차체를 제작하고, 전력시스템은 ABB사에서 담당함. 제네바 교통국에서 전기버스 운영하는 연합체 TOSA를 운영하고 있음



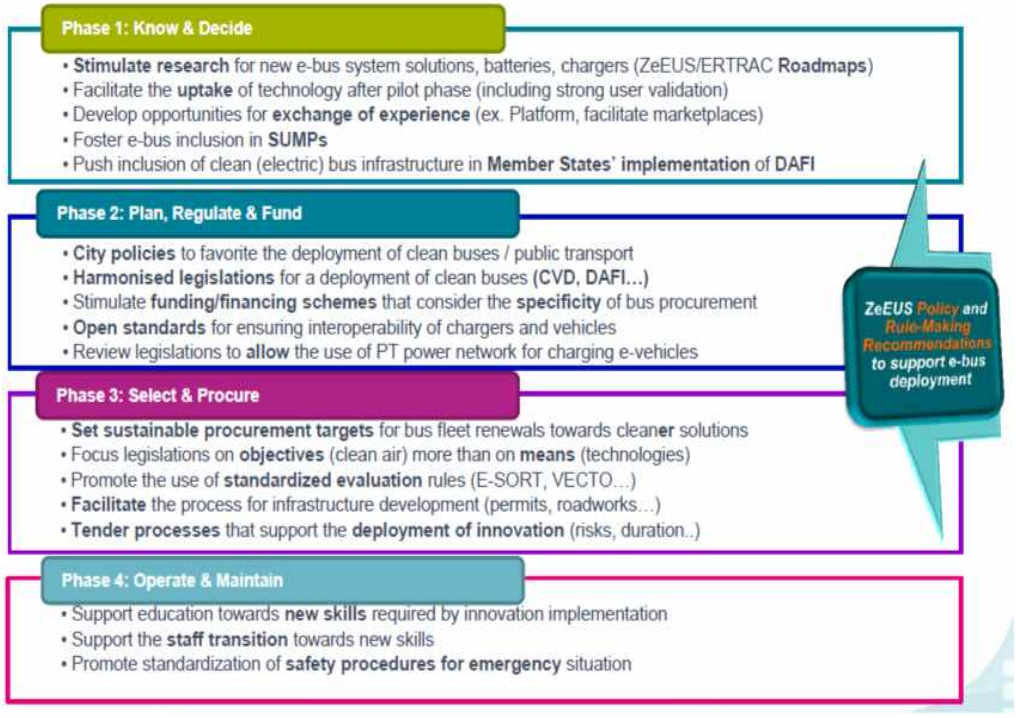
〈그림 3-8〉 유럽 전기버스 정류장 : 경로 중 충전방식(기회충전)

자료 : 박지영(2018), 전게서

유럽 전기버스 사업 추진절차

○ 유럽의 경우, 전기버스를 도입 시 지방정부에 권고하는 정책 결정 가이드 라인을 두고 있음. 교육프로그램에 많이 운용되는데 특히 지방공무원, 운송업체, 버스업체를 대상으로 함

○ 총 네 단계로 구성되는데, 첫 단계는 교육(Know & Decide)인데 주로 전기버스 솔류션, 배터리, 충전 등에 대한 연구결과로 교육을 진행함. 둘째 단계는 도입계획(Plan, Regulate & Fund)임. 전기버스 도입계획을 어떻게 수립할지, 어떤 제도를 도입할지, 소요재원을 어떻게 마련할지에 대해서 다룸. 셋째 단계는 수립된 계획에 따라 전기버스 선정과 조달방안(Select & Procure)를 다룸. 대기환경개선을 위한 지속가능한 전기버스 차량의 조달을 목표로 하며, 표준화된 평가체계를 적용함. 마지막 단계는 운영과 유지관리(Operate and Maintain)에 관한 사항임. 전기버스사업의 혁신을 위한 새로운 기술 교육 등이 포함됨



〈그림 3-9〉 유럽 전기버스 사업 추진절차

자료 : 박지영(2018), 전게서

2) 미국

전기버스 운행현황

○ 미국의 전기버스는 2017년 기준 351대가 운행 중이고, King County에서 미국내 가장 큰 규모로 전기버스 81대가 운행 중임. King County Metro는 연방정부 TIGGER프로그램의 지원을 받아 프로테라사의 40ft급속충전방식 전기버스를 도입하였음. 이 전기버스의 배터리 보증기간은 12년임

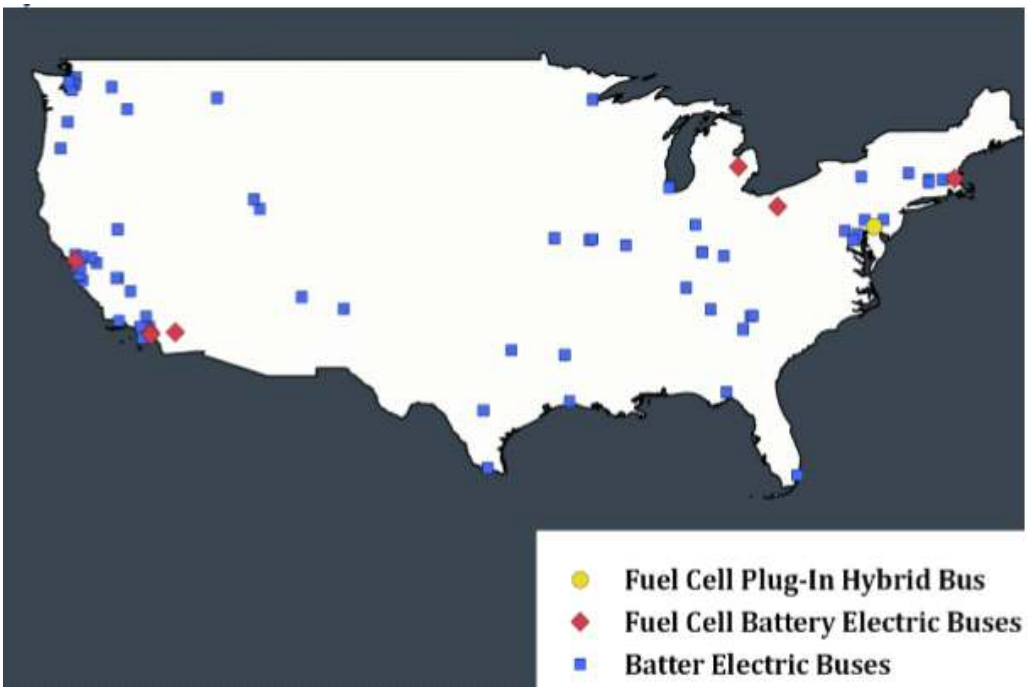
○ 캘리포니아주는 전체 156대의 전기버스를 운행 중임. 캘리포니아 대기보전국은 2000년부터 ACT(Advanced Clean Transit)를 통해 대체·재생연료 기반의 저공해 버스차량 구매를 의무화함. 대기보전국은 무배출 버스의 경우 보조금 바우처를 통해 버스의 중량과 배터리 용량을 고려하여 최대 9만 5천 달러까지 지급함

Table 1-Timeline of zero-emission transit fleets across U.S.

Agency	Buses	2002	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
BATTERY ELECTRIC BUSES																	
Antelope Valley Transit Authority (CA)	41													■	■	■	■
Capital District Transportation Authority (NY)	1															■	■
Central Contra Costa Transit Authority (CA)	8															■	■
Chicago Transit Authority (IL)	6													■	■	■	■
Clemson Area Transit (SC)	10													■	■	■	■
Dallas Area Rapid Transit (TX)	7														■	■	■
Foothill Transit (CA)	31									■	■	■	■	■	■	■	■
Indianapolis Public Transportation Corporation (IN)	21												■	■	■	■	■
King County Metro (WA)	84																■
Lexington-Fayette Urban County (KY)	6														■	■	■
Los Angeles County Transportation Authority (CA)	5																■
Pioneer Valley Transit Authority (MA)	3																■
Regional Transportation Commission Washoe (NV)	4									■	■	■	■	■	■	■	■
Santa Barbara MTD (CA)	30	Active since 1991															
Shreveport Area Transit (LA)	5																■
Southern Pennsylvania Transportation Authority (PA)	25														■	■	■
Springfield Area Transit Company (MA)	3															■	■
Star Metro Transit (FL)	6									■	■	■	■	■	■	■	■
Stanford University (CA)	39									■	■	■	■	■	■	■	■
University of California Los Angeles (CA)	2															■	■
Utah Transit Authority (UT)	6														■	■	■
VIA Metropolitan Transit (TX)	3																■
Washington Metropolitan Area Transit Authority (DC)	1														■	■	■
Worcester Regional Transit Authority (MA)	7																■

〈그림 3-10〉 미국 전기버스 도입지역 차량대수

자료 : 박지영(2018), 전게서



〈그림 3-11〉 미국 전기버스 도입지역

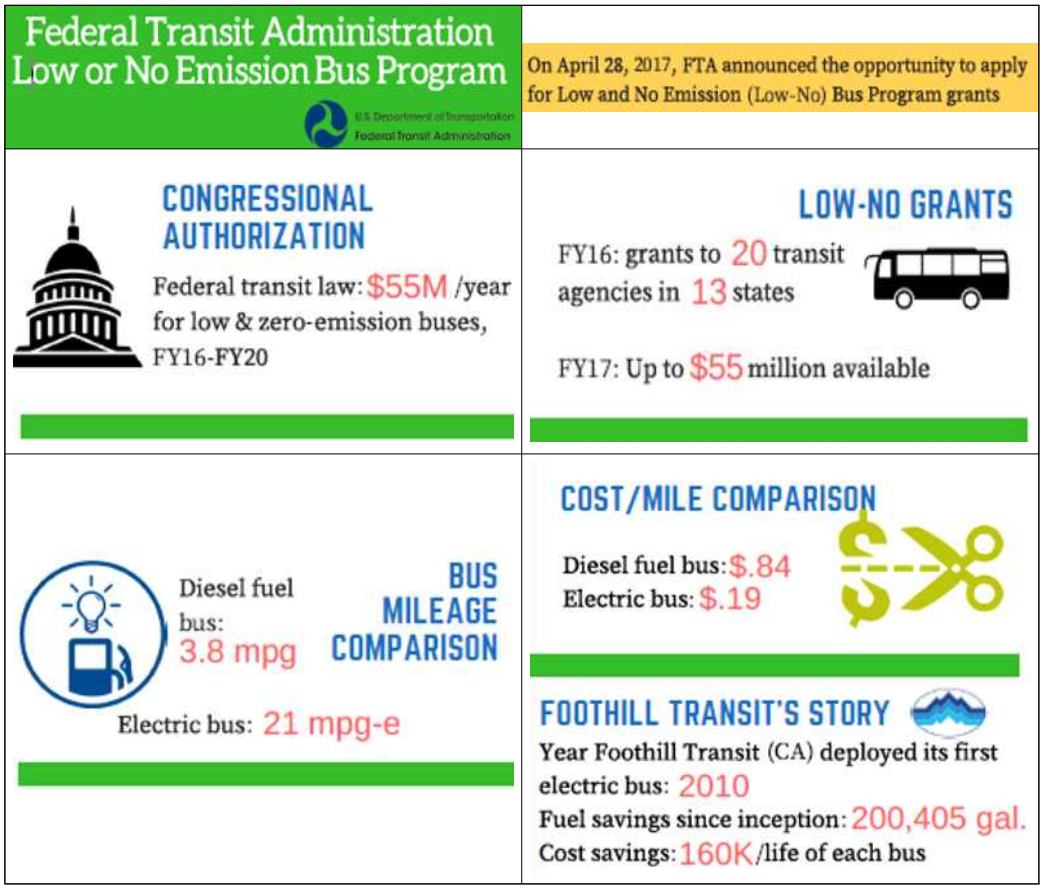
자료 : 박지영(2018),『해외전기버스 도입사례(자문회의 자료, 2018.6.28.)』,한국교통연구원.

미국 전기버스 보급사업 지원 프로그램

○ 연방대중교통국(FTA)은 2013년 이후 LoNo program(Low or No Emission Bus Program)을 추진하면서 전기버스 관련 사업이 증가하고 있음. 미국 교통부(U.S. DOT)는 온실가스와 에너지절감을 위한 TIGGER프로그램(Transsit Investments for Greenhouses Gas and Energy Reduction)을 추진하고, 미국 에너지부(U.S. DOE)는 국가연료전지버스 프로그램을 추진중에 있음

○ LoNo program은 신기술버스를 도입하는 도시에 버스 구매, 임대자금, 충전설비 등을 지원하며 2020년까지 매년 5천 5백만 달러를 지원함

○ 사업 추진 형태는 연방정부 차원의 공모사업을 통해 지역별 사업을 선정하고, 차량구매뿐만 아니라 인프라 구축 등 전체 사업비의 최대 85%까지 지원하여 기술 실증을 함께 추진하고 있음



〈그림 3-12〉 미국 연방대중교통국 Lo-No program

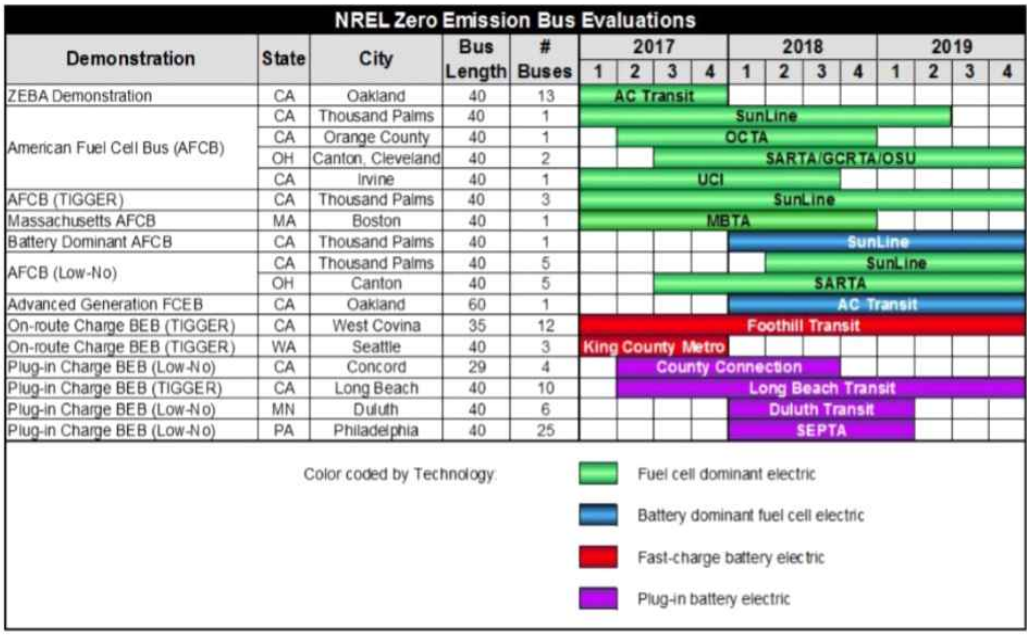
자료 : 박지영(2018),『2018 미래차 기반 교통체제 지원사업 중 수도권 전기버스 도입 확대 방안 연구(자문회의자료, 2018.9.21.)』, 한국교통연구원.

실 운영 데이터 기반의 기술평가와 실증사업

○ 미국 재생에너지연구소(NREL)에서 연방대중교통국의 TIGGER 프로그램의 지원을 받아 전기버스 운영에 대한 기술평가와 실증사업 비교평가 보고서 작성

○ 전기버스 도입사업을 하면서 기술평가를 실시하고, 전기버스 도입지역간 기술평가 및 실증사업자료 공유 및 전기버스 제조회사에서 기술개발을 위한 기초자료로 활용

○ 유럽의 제우스(ZeEUS) 프로젝트에서 각 전기버스 사업들의 진행상황, 버스성능, 연비 자료, 운영상 문제점 등 각 보고자료 공유



〈그림 3-13〉 미국 전기버스 도입지역 기술평가 및 실증사업 추진일정

자료 : 박지영(2018), 전게서

Data Item	Battery	Hybrid	Diesel	Trolley
Number of buses	3	10	3	10
Total mileage in data period	83,128	435,552	69,329	180,554
Average mileage per bus	27,709	43,555	23,110	18,055
Average monthly mileage per bus	2,309	3,630	1,926	1,505
Availability (85% is target)	80.6	90.5	86.4	84.9
Fuel economy (kWh/mile)	2.36	—	—	2.57
Fuel economy (miles/dge[a])	15.9	6.3	5.3	14.7
Average speed, including stops (mph)[b]	14.8	15.2	14.6	9.0
Miles between roadcalls (MBRC) – bus[c]	2,771	7,641	17,332	1,641
MBRC – propulsion system only[c]	6,927	29,037	34,665	2,960
Total maintenance cost ($/mile)[d]	0.26	0.32	0.46	0.46
Maintenance – propulsion system only ($/mile)	0.05	0.12	0.13	0.17

[a] Diesel gallon equivalent.
[b] Based on scheduled revenue service.
[c] MBRC data cumulative through March 2017.
[d] Work order maintenance cost.

〈그림 3-14〉 미국 전기버스 기술평가 및 실증사업 평가항목

자료 : 박지영(2018), 전게서

미국 전기버스 기술 수준

○ 미국 전기버스는 Nova, Proterra, Newflyer 등 자국 버스제작사에서 전기버스 제공함. Buy America ACT에 따라 미국 내에서 생산하지 않는 전기버스 차량은 지원금을 신청할 수 없음. 버스부품비용의 65%를 미국 내 생산부품을 이용해야 함. 중국 BYD는 미국 캘리포니아 랭커스터(Lancaster)공장 전기버스 제작공장설립, 연간 8,000대 규모 차량 생산함

Technology	Manufacturer	Bus Type	Charge/Fuel Time
Battery	BYD	30'	2-4 hours
Battery	BYD	35'	2-4 hours
Battery	BYD	40'	2-4 hours
Battery	BYD	60' Articulated	2-3 hours
Battery	Proterra	35'	Fast Charge (<10 min.) Slow Charge (90 min.)
Battery	Proterra	40'	Fast Charge (<10 min.) Slow Charge (90 min.)
Battery	Nova	40'	Fast Charge (6 min.)
Battery	New Flyer	40'	Slow Charge 96 min. Fast charge 4-6 min.



〈그림 3-15〉 미국 전기버스 제작사 현황

자료 : 박지영(2018), 전게서

○ King County에서 프로테라사 전기버스가 경로 중 충전방식 운영. 버스회차지점에서 500kW충전기로 10분간 충전함. 프로테라사는 충전기 표준화도 많이 진행하였음



〈그림 3-16〉 King County 전기버스 경로중 충전방식

자료 : 박지영(2018),『해외전기버스 도입사례(자문회의 자료, 2018.6.28.)』,한국교통연구원.

3) 일본

시내 중심으로 전기버스 실증 실험

○ 일본은 상대적으로 전기버스 사업이 많이 진행되지 않았음. 2016년부터 2018년까지 'CO2배출 삭감 대책 강화 기술개발 실증사업' 추진

○ 닛산 리프의 배터리 기술을 이용하여 구마모토 시내 중심으로 120km운행. 오키나와는 2017년 12월부터 오키나와 유람선 관광객들을 대상으로 BYD전기버스 10대 도입하였으며, 최대 80대까지 도입예정임

○ 최근 일본에서는 2030년까지 수소버스를 3%수준의 1,000대 도입예정임. 토요타에서 나온 수소버스 상용차가 2017년 생산됨. 실증사업을 진행 중임



〈그림 3-17〉 일본 구마모토 전기버스 주행노선

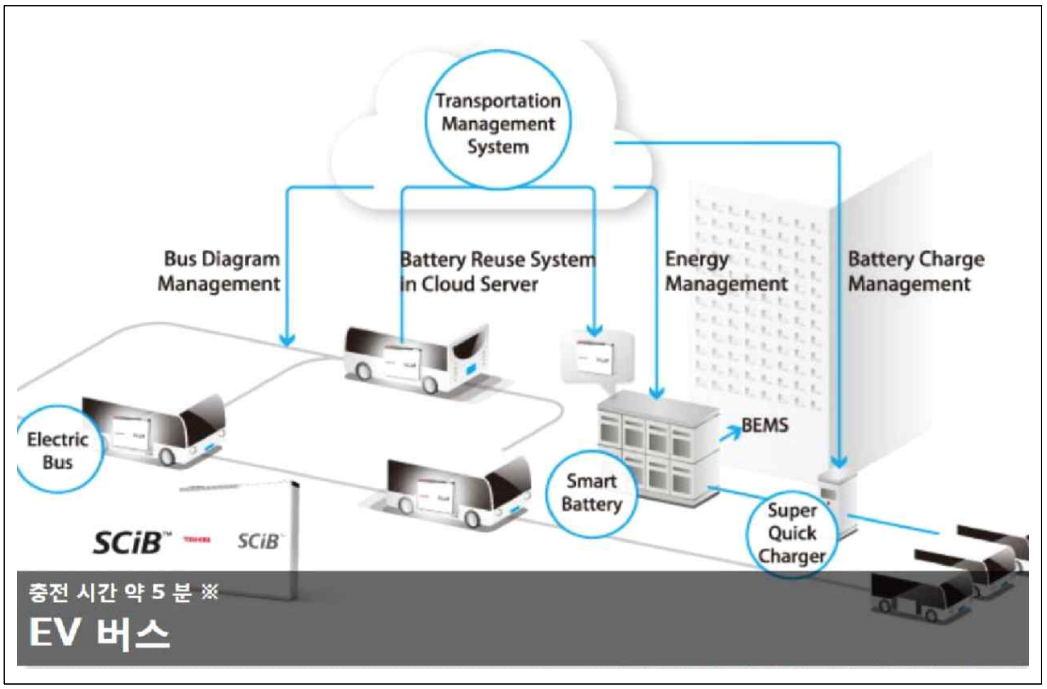
자료 : 박지영(2018),『2018 미래차 기반 교통체제 지원사업 중 수도권 전기버스 도입 확대 방안 연구(자문회의자료, 2018.9.21.)』,한국교통연구원.(재구성)

일본 전자 및 전기기 제조사 'THOSIBA'에서 충전인프라 개발

○ THOHIBA에서는 초급속 충전 시스템, 배터리 재사용 시스템으로 구성

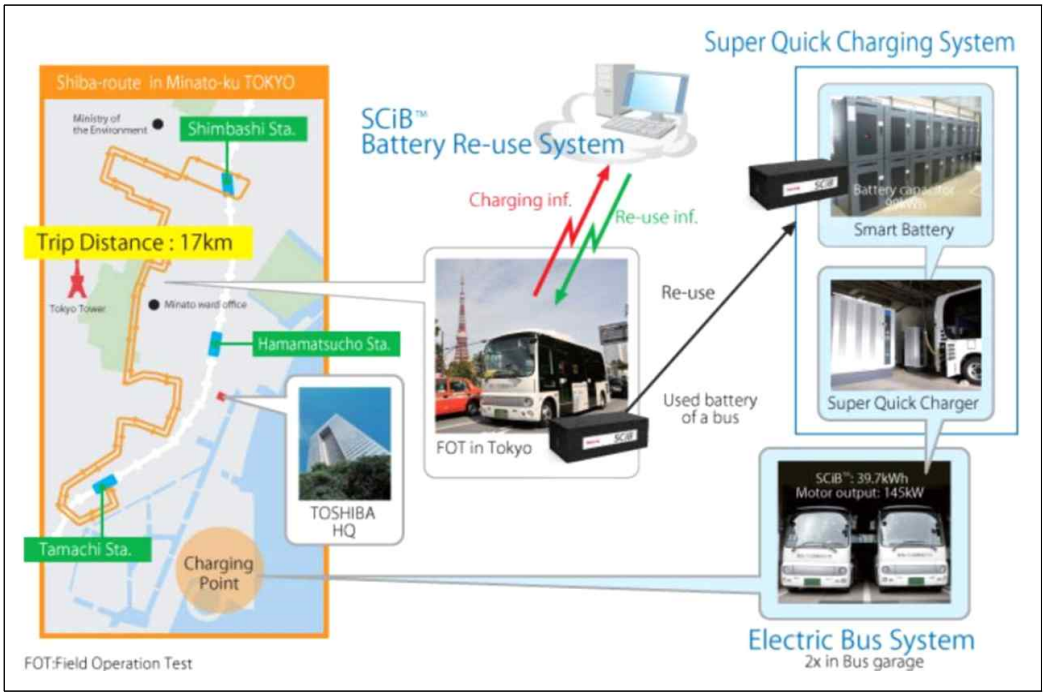
○ 스마트 배터리와 초급속 충전기를 사용하여 충전시간 대폭 단축

○ 전기버스를 이용한 교통서비스를 일괄하는 교통서비스 플랫폼 제안 중



〈그림 3-18〉 THOSHIBA 충전인프라 시스템 개념

자료 : 박지영(2018), 전게서



〈그림 3-19〉 THOSHIBA 급속 충전 인프라 실증사업

자료 : 박지영(2018), 전게서

4) 중국 선전시 전기버스 보급현황 및 사례[21)]

선전시 기본현황

○ 선전시는 중국 개혁개방의 선도도시로 30년간 발전함. 현재 세계 11번째, 인구 1천 2백만의 도시로 성장함

○ 선진시의 전기차 도입은 환경오염 저감, 지속적인 도시발전을 위해 중앙정부와 과학기술부의 지원으로 2009년부터 추진하였음. 현재 2017년 말기준 전기버스는 16,359대, 이중 대형버스는 13,755대, 중형버스 2,034대임



〈그림 3-20〉 중국 선전시 간선도로 전기버스 운행전경

©경기연구원·인천연구원(2018)

선전시 도입현황

○ 중국 전기버스는 2008년~2009년에 걸쳐 시작하였는데, 최초 13개 도시에서 현재 25개 도시로 확대 도입되었음. 선전시가 도입한 계기는 차량보유대수가 많고, 환경오염대문에 시작하였음. 선전시 도시특성이 개혁개방의 창구라는 도시이미지에 부합하였음. 선전도시발전계획(국가발전개혁위원회)에서 수립

○ 선전시는 2008년부터 전기차 도입, 버스, 택시, 물류업계, 개인자가용을 중심으로 도입했음. 현재 2017년 말까지 전기차 15만 6천대가 보급되었음. 전기시내버스는 1.6만대, 전기택시 1만대, 화물차 3만대, 그 외 개인승용차임. 이는 시내버스의 100%, 택시의 60% 수준이며, 택시는 2020년까지 전체 전기차로 교체 예정임

21) 경기연구원·인천연구원(2018), 「중국 선전시 전기버스 도입관련 국외출장 보고서」재구성

○ 전기버스는 2011년부터 2017년 7년간 1.6만대 모두 교체됨. 2014년까지 3,000대 수준으로 전기버스 도입되고, 2015년부터 13,000대가 공급되었음

- 차량의 법적내구연한은 버스가 8년(우리나라는 9년, 최대 11년까지 연장 가능), 택시가 5년임

○ 전기버스 도입 초기인 1기(2009~2014년)에 3000대 수준이 도입됨. 이 시기 버스업체가 차량을 소유하고, (버스업체가 배터리 구입과 충전기 설치의 부담이 크기 때문에)공기업인 푸텐과 (2010년 이후) 다수의 민간기업이 배터리를 리스하고, 전기충전기 설치한 후 버스업체로부터 서비스 비용을 받았음. 남방전력이 협력업체를 통해 전기충전기를 시공하고, 전력을 공급 하였음

○ 2기(2015년~현재)에는 13,328대가 도입됨. 전기버스관련 기술발전과 전기충전 인프라 확충으로 도입 대수가 급격히 증가하였음. 이 시기 버스업체별로 차이가 있는데, 선전교통은 차량과 배터리를 소유하고, 충전시설 설치(소유), 유지 관리하는 두 개의 민간업체에 서비스 비용을 지불한다. 반면 동부교통과 서부교통은 차량, 배터리 및 충전시설을 모두 소유하고, 다만 충전시설의 유지 관리를 민간업체에 위탁하고 있음.

○ 중앙 및 지방정부는 전기버스 구입 보조금을 지급하고 있으며, 선전시의 경우 전기버스 연간 운행거리가 3만km이상일 경우, 운영비를 보조하고 있음

〈표 3-6〉 중국 선전시 시기별 전기버스 주요 정책 내용

시기	주요내용
(2009년 ~2012년)	• 본격적으로 전기차 도입을 시작 • 친환경자동차의 기술표준을 제시하고, 개인의 전기자동차 구입비 지원 실시 • 26회 세계대학생대회에 2,011대의 전기자동차를 투입해서 긍정적인 효과 • 2013년에는 국가적으로 제1차 전기자동차 투입도시로 인정 • 2012년말 기준 전기차는 공공버스(하이브리드) 3,000대, 택시 800대, 공용차 200대, 자가용 1,000대
(2013년 ~2015년)	• 정부의 발전계획에 따라 차량, 배터리, 충전기 및 충전시설 등 정책 수립 • 전기차로 공공버스, 택시 및 승용차 대수의 5%가 대체 (버스, 택시는 주행거리가 길기 때문에) 주행거리로 환산하면 전체의 30%가 대체 • 다만 2015년까지 관련 정책 추진의 투입대비 효과는 크게 않은 수준
(2016년 ~ 현재)	• 지난 10년간 세계적인 전기차 제조사(BYD社), 운영시스템, 관련 산업(모터, 배터리, 충전기, 기타 전장부품 등)을 발전됨 • 선전시는 2017년말 현재 전기차가 12만대 : 공공버스 16,359대, 택시 10,000대, 통근차량 2,000대, 물류차량트럭 30,000대, 렌트카 9,000대, 자가용 50,000대, 기타차량 1,000대 • 선전시의 공공버스 전체가 교체되었으며, 개인용 승용차를 제외하고 택시, 인터넷 e버스까지 5년 내 전체가 교체될 계획임



〈그림 3-21〉 중국 선전시 동부교통 전기버스 차고지

©경기연구원·인천연구원(2018)



〈그림 3-22〉 중극 선전시 동부교통 전기버스 충전기

©경기연구원·인천연구원(2018)



〈그림 3-23〉 중국 선전시 동부교통 전기버스 정비직

©경기연구원·인천연구원(2018)

선전시 전기충전기 설치 현황

○ 전기충전소(버스 및 공용포함)는 2015년기준 200개소이며, 급속충전기 3,100개, 완속충전기 15,000개가 설치됨. 2020년까지 전기차 수요를 충당하기 위해 충전기 84,000개를 설치할 계획임 (※ 전기충전기는 버스 2~3대 당 1개, 택시는 3 : 1, 자가용은 5 : 1, 물류차량은 6 : 1의 비율로 필요)

○ 전기 충전인프라 투자는 2008년 도입 초기에는 공기업인 푸텐(보천)이 주도했음(푸텐은 초기 민간자본 10억 원을 투자했으나 적자를 면치 못했음), 2010년 이후에는 민간기업이 참여하면서 현재 20여 업체가 설립 운영 중임. 이들 기업은 시설의 유지관리 대가로 서비스 요금(1kW당 0.45위안)을 받아 이익을 창출함

○ 버스업체는 전기버스 충전소 설치를 위한 차고지 부족 문제에 직면했었음. 초기에는 차고지 부지 부족으로 운행 후 심야에 도로상에 박차하는 상황 발생하였음. 차고지는 1,000대 규모의 대형차고지와 기종점에 설치하는 20여 대 규모의 소형차고지로 운영되고 있음

선전시 전기버스 도입 지원(정책)

○ 전기버스 구매 시 지원정책은 중앙 및 지방정부가 각각 40만 위안 보조하고(최근 30만 위안으로 축소), 그 외 선전시의 경우 충전소의 설치를 지원함.

- 전기차 도입 지원(쟁책)은 2011년이래 매년 조금씩 변화해 왔음. 기본적으로 전기차 구입비, 운영비 지원, 충전기 설치 지원, 전기차용 전기요금 할인, 승용차 번호판 우선 배정, 공공 주차장 할인, 고속도로 통행료 할인 등이 있음

○ 중앙정부의 전기차관련 기술표준과 지원정책은 동일하지만, 지방정부의 지원 몫은 전기차 도입 의지와 재정여건에 따라 조금씩 다름. 또한 관련 기술의 발전에 따라 그 혜택이 줄어들고 있음. 전기차의 구입비 지원은 과거 1회 충전 운행거리가 250km이면 50만위안을 지원했으나, 현재는 운행거리가 300km여야 50만위안을 지원함. 선전시의 전기차 구입비 지원은 1일 운행거리가 150km 미만은 지원이 없어, 250km, 350km, 400km 등에 따라 차등 지원함

- 전기차의 1회 충전 운행거리는 전기 배터리 기술 및 용량 외에 전기시스템을 전반에 대한 기술 진보에 영향을 받음. 중국의 이러한 차등보조금 정책은 기술발전을 견인하고 있음

○ 전기차용 전기료(전력회사가 공공 또는 민간 충전사업자에게 공급하는 요금)는 30%할인을 적용함. 전기요금은 시간대(낮 vs 밤)에 따라 차이가 있으며, 일반적으로 이용자가 부담하는 비용은 1도(1kw)당 0.9위안(전기료 0.5 + 서비스비용 0.4)이다.

○ 전기버스 도입시 전기버스 제조사에 표준기술요구수준을 만들어 제안하였음. 1회 충전 안전운행거리, 배터리용량 250kWh이상/이하일 때 혜택차이를 줌. 버스회사의 재정부담을 줄이기 위해 배터리소유권은 제3자 캐피탈회사에서 갖도록 유도하였고, 폐배터리를 ESS에 활용하는 정책을 첫 번째 추진 전기버스의 배터리 회수정책을 추진하고 있음

전기버스 운영 효과

○ 선전시는 2012년부터 전기버스 운영효과 평가를 시행하고 있음. 평가지표는 운영 효과, 경제적 효과, 사회적 효과, 차량 안전성, 충전시설 용량 등임

○ (운영 효과) 전기버스의 충전시간과 고장율을 고려한 2017년 기준 1일 운행거리는 185km로 경유버스의 228.8km의 81% 수준임(1 : 1.25). 동일 버스서비스(영업거리)를 유지하기 위해 차량이 25% 추가적으로 필요함

- 전기버스 운행율(1-고장율)은 98.4%수준으로 경유버스와 비슷함. 기술발전으로 전기버스의 충전시간이 짧아지고, 고장이 줄어들고 있음. 다만 전기버스로 교체(수동미션->자동미션)에 따른 사고건수의 감소는 유의하지 않음

○ (경제적 효과) 전기버스의 도입 확대에 따라 중앙정부 및 지방정부의 재정지출은 증가하였음

○ (사회적 효과) 전기버스의 도입에 따라 경유버스의 운행거리 7.76억km를 대체하면서 석탄 소비가 28.93톤 감소하였음. 이산화탄소 배출량은 29.5% 감소하였음. 소음은 전기버스가 경유버스에 비해 적지만, 경우에 따라 이용자가 전기버스의 중고음 소음에 불편을 표출하기도 함

○ (차량 안전성) 아직까지 배터리와 전기시스템의 고장이 문제임

○ (충전시설용량) 충전시설이 버스차고지 또는 기종점마다 설치되어야 하나, 아직까지 위치나 장소여건에 따라 충분치 못함. 선전시의 2017년말 현재 버스충전기는 4,496개임

○ (유지비용 절감) 전기버스는 1일 운행거리 240km 기준으로 보면, 연간 연료비 635만원, 정비비 120만원으로 대당 연간 유지비용 755만원 발생함. 이는 경유버스 대비 24.4%(23.4백만원 절감), CNG버스 대비 23.4%(24.8백만원 절감)수준 임

〈표 3-7〉 중국 선전시 동부교통 전기버스 추진사례

구분		전기버스 (BYD eBUS-12)	CNG버스	경유버스
연료비	연비	0.8km/kWh	2km/Nm^3	2.8km/L
	연료사용량(일/대) :운행거리 240km기준	300kWh	120Nm^3	85.71L
	에너지 가격 (심야 기준)	심야 58원/kWh (주간 145원/kWh)	652.75원/Nm^3	870원/L
	일 연료비	17,400원	78,330원	74,568원
	연간 연료비 (365일 운행기준)	6,351,000원	28,590,450원	27,217,211원
정비비	월 정비비 (부품비, 유류비, 타이어비)	100,000원	312,000원	312,000원
	연간 정비비 (12개월 기준)	1,200,000원	3,744,000원	3,744,000원
대당 연간 유지비용 (대당1일 유지비용)		7,551,000원 (20,688원)	32,334,450원 (88,588원)	30,961,211원 (84,825원)

자료 : 경기연구원·인천연구원(2018), 『중국 선전시 전기버스 도입관련 국외출장 보고서』

3. 시사점

전기버스 보급 확대 지원사업(프로젝트)

○ 유럽과 미국은 중앙정부차원의 전기버스 보급을 위한 지원 프로젝트 시행

- 유럽은 전기버스 보급 확대를 위한 지원사업으로 유럽연합의 연구 및 혁신 기금 지원 계획인 Horizon 2020프로그램을 통해 다양한 프로젝트를 중심으로 지원하고 있음
- 유럽 전기버스 보급사업은 유럽연합에서 지원하는 많은 프로젝트에 기반한 협력사업으로 추진함. 특히, ZeEUS 프로젝트를 통해서 정보교류를 하고 자료공개를 하는 등의 협력사업으로 유럽연합 내 전기버스 사업을 확대하고 있음
- 미국은 연방대중교통국(FTA)은 2013년 이후 LoNo program(Low or No Emission Bus Program)을 추진하면서 전기버스 관련 사업이 증가하고 있음. LoNo program은 신기술버스를 도입하는 도시에 버스 구매, 임대자금, 충전설비 등을 지원함
- 미국 재생에너지연구소(NREL)에서 연방대중교통국의 TIGGER 프로그램의 지원을 받아 전기버스 도입사업 기술평가 및 전기버스 도입지역간 기술평가 및 실증사업자료 공유를 통해 전기버스 제조회사에서 기술개발을 견인하고 있음

○ 우리나라의 경우, 중앙정부 차원의 전기버스차량보급, 충전인프라 확충을 위한 보조금 지원과 관련된 지침 및 가이드라인을 제시하고 있음

- 전기버스 보급 도시간 정보교류 및 전기버스 도입이후 기술평가, 전기버스 운행도시별 국가차원의 실증사업이 추진되지 못하고 있음

전기버스 충전방식

○ 시내버스 차고지 공간이 제한적이기 때문에 심야충전방식 도입시 차고지내 차량운행스케줄에 따른 진출입계획과 차량 충전계획, 정비인력 운용계획 등 엔지니어링 관점에서 검토해야함

- 버스업체의 차량 및 인력이 증가함. 선전시의 경우, 동일 서비스 제공을 위한 차량 및 운전직, 그리고 전기장치 정비직 인력이 증가함. 전기장치 정비직은 기존 정비직의 재교육을 통해 전환 가능함

○ 전기버스 도입시 최초 시범사업수준의 소규모 운영전략보다는 대규모 도입시 발생할 수 있는 여러 가지 운영전략을 고려하며, 단계별 도입방안의 검토가 필요함

- 선전시는 관련부처가 달라 차량 도입과 충전시설 설치의 부조화 발생함. 차량 도입에 맞추어 충전시설 구축이 중요함

○ 시내버스 운행특성과 차고지내 부지의 제약을 고려하여 경로 중 충전방식과 차고지 충전방식의 적절한 조화가 필요해 보임

- 버스차고지의 확보가 중요함. 중국 선전시의 경우 전기충전기 설치의 설치를 위하여 20~30% 추가 부지가 필요함. 하나의 충전기를 두 대이상의 차량이 이용하는 방안을 검토중이라 함

○ 지방정부가 전기버스 도입과 관련하여 평가시스템을 구축 운영함으로써, 지방정부의 전기버스 발전계획을 지속 추진할 수 있도록 해야 함

전기버스 충전인프라

○ 전력공급이 커질 경우 에너지저장장치(ESS)를 사용한 효율화 검토가 필요함. 배터리 성능 향상으로 12년 이후에도 60%이상 활용 가능함

○ 버스업체가 전기버스 도입에 따른 비용부담을 해소할 수 있도록, 공공(정부) 및 민간기업을 통한 배터리 리스, 충전인프라 투자 유도가 필요함

○ 배터리 보증기간, 배터리 에너지밀도 등에 대한 보증기간을 통해 전기버스 기술개선을 유도할 수 있는 제도개선이 필요함.

○ 선전시는 버스제조사를 강제하여 배터리 및 전장부품의 AS기간을 3년에서 8년으로 연장함으로써, 버스업체의 전기버스 도입을 독려했음

○ 미국자동차엔지니어협회(SAE), 유럽표준화위원회(CEN), 전기기술 유럽 표준화 위원회(CENELEC) 등에서 전기버스 충전서비스 운용을 위해서 충전방식의 표준화가 논의중임. 국제전기기술위원회(IEC)에서 권고하는 표준안은 플러그인 충전은 DC콤보2방식 등 경로 중임. 충전(기회충전)방식은 팬터그래프방식, 충전통신프로토콜 등의 국제표준이 필요해 보임

○ 전기버스의 기술표준이 규정되어야 함. 중국 선전시의 경우 과거 지방정부차원의 표준이 있었지만, 현재는 중앙정부의 표준을 따르고 있음. 충전기의 형식(AC 또는 DC)은 확정하지 않고, 검토중에 있는 단계임

Ⅳ

인천광역시 전기버스 사업 추진방안

Ⅳ. 인천광역시 전기버스 사업 추진방안

1. 전기버스 사업추진 필요성

1) 준공영제 시내버스 업체 재무건전성 개선유도

○ 인천지역에서 공공교통수단으로 시내버스는 대시민 안정적 서비스 공급을 위해서 2009년부터 준공영제를 도입하여 운영하고 있음. 2015년 약 27%의 수단분담율을 보이며, 매년 감소 추이를 나타냄

- 2009년 대비 2017년 시내버스 준공영제 총 운송원가는 24.7% 증가, 변동비는 28.8% 증가, 고정비는 16.6% 증가하였음. 운전직 인건비는 매년 임단협 결과로 인상, 연료비는 유가 영향으로 변동되는 특성일 보이나, 2017년 총운송원가 중 운전직 인건비는 51%, 연료비는 18%로 총 69%를 차지함

○ 에너지효율[22]이 높고, 유지보수비용이 저렴하여 연료비와 차량정비비 절감 기대[23]

- 전기버스를 운행노선에 100% 도입한 중국 선전시의 경우 연간 연료비는 CNG대비 23.4% 수준이고, 연간 정비비는 32.1% 수준임
- 내연기관은 엔진을 가열하는 특성상 열역학의 법칙에 따라 열이 유용한 에너지로 전환하는 최대경계치는 25~30%이고, 70~75%의 연료가 낭비됨. 라디에이터, 피스톤, 배기관, 크랭크출, 클러치, 펌프 등 내연기관 엔진이 에너지를 낭비하게 하는 많은 부품이 원인임
- 전기자동차(전기버스)의 에너지 전환 효율성은 99.99% 수준임. 부드러운 승차감과 4~5배 좋은 에너지 효율성을 보임
- 전기자동차는 전기모터를 동력으로 사용하기 때문에 연소에 필요한 부품들이 필요 없어 수리와 유지보수 대상이 90%정도 적어 차령기간동안 90%정도의 수리비 절감을 기대할

22) 에너지 효율이란 재료에서 추출할 수 있는 잠재적인 물리적 양 대비 유용한 양의 비율, 즉 생산해서 이용할 수 있는 에너지 대비 실질적인 유효에너지의 비율을 의미함
23) 토니세바(2014),『에너지혁명2030(박영숙 옮김)』, 교보문고.

수 있음. 전기자동차에는 점화플러그, 시동모터, 발전기, 연료분사기, 연소실, 피스톤, 피스톤헤드, 실린더, 필터, 배기관, 크랭크축, 타임벨트, 촉맨전환장치가 없음

〈표 4-1〉 교통수단분담율 변화추이

구분	2011	2012	2013	2014	2015	연평균 증가율(%)
합계	5,867(100.0)	5,944(100.0)	6,060(100.0)	6,217(100.0)	6,250(100.0)	1.59
버스	1,738(29.6)	1,702(28.6)	1,703(28.1)	1,723(27.7)	1,687(27.0)	-0.74
택시	441(7.5)	438(7.4)	442(7.3)	443(7.1)	443(7.1)	0.11
지하철	643(11.0)	722(12.1)	738(12.2)	774(12.5)	782(12.5)	5.01
승용차	2,630(44.8)	2,655(44.7)	2,734(45.1)	2,824(45.4)	2,871(45.9)	2.22
기타	415(7.1)	427(7.2)	443(7.3)	453(7.3)	467(7.5)	3.00

자료 : 인천광역시(2017), 『인천광역시 통계연보』



〈그림 4-1〉 인천시내버스 준공영제 인천시내버스 연도별 1일 대당 표준운송원가 추이

자료 : 인천광역시(2018), 『2018 준공영제 시내버스 경영실태 정산점검 및 표준운송원가 산정용역(최종보고서)』

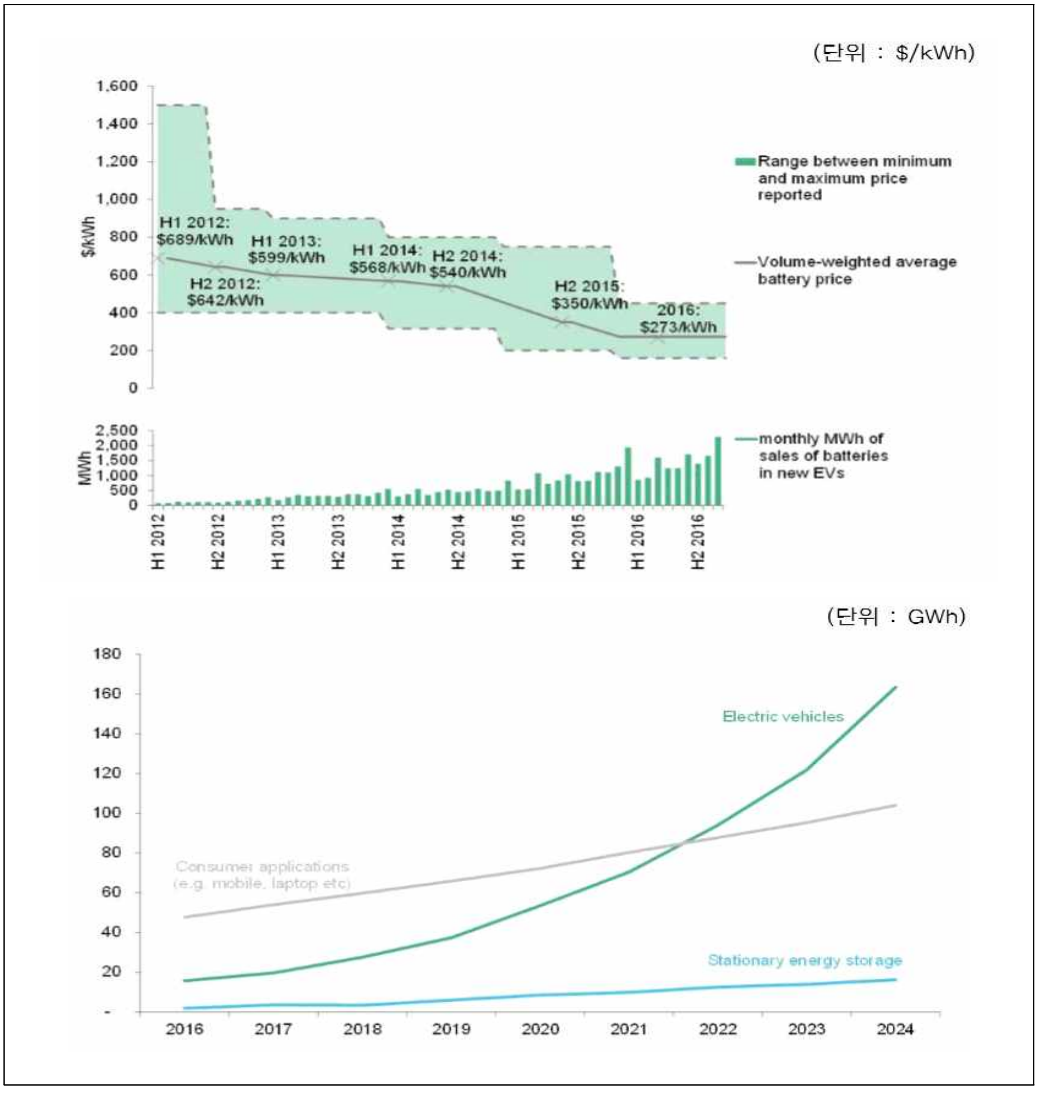
주 : 대형CNG기준

○ 전지팩(battery pack) 가격 하락 추세

- 리튬이온 전지팩(battery pack) 평균 가격은 2010년 $1,000/kWh에서 연평균 19.5% 하락하면서 2016년 약 $273/kWh를 기록함
- 2016년 평균가격은 약 $273/kWh이지만, 전기자동차를 생산하는 자동차 기업에 제공되는 평균가격은 대규모 주문과 장기 계약 등으로 약 $200~260kWh에 형성됨. ESS(에너지

저장장치)를 제조하는 소규모 구매자와 PHEV용 전지 구매자의 평균 가격은 약 $300/kWh에 형성됨

- 리튬이온 전지셀(battery cell)의 평균 가격은 2013년 $411/kWh에서 연평균 21.5% 하락하여 2016년 $199/kWh를 기록함. 전지 가격에서 셀이 차지하는 비중은 거의 70%에 이름
- 리튬이온 가격은 전지 기술의 발전, 규모의 경제 실현, 전지 공급주체 간 경쟁, 장기 계약의 증가 등으로 지속적으로 하락해 옴



〈그림 4-2〉 전지팩 가격 조사결과(BNEF 2016)

자료 : 이승문(2017), "중국의 전기자동차 보급 증가와 리튬이온 전지 산업의 발전", 『세계 에너지시장 인사이트』 제17-15호, p3~14, 에너지경제연구원.

주 : Bloomberg, "2016 lithium-ion battery price survey", 『Advanced Transport Research』 Note, 14 December 2016

○ 리튬이온 전지의 수요는 2016년 65.1GWh에서 연평균 20.2% 증가하면서 2024년에 약 283.5GWh를 기록할 전망임

- 2016년 리튬이온 전지 수요의 약 73%를 차지하였던 가전제품 부분은 연평균 10.3%증가하여 204년 약 104.0GWh를 기록할 전망임
- 전기자동차용 리튬이온 전지의 수요는 전기자동차 보급의 확대로 연평균 34.0%증가하여 2024년 163.4GWh에 도달하면서 세계 리튬이온 전지 수요 증가를 주도할 전망임

○ 리튬이온 전지 가격은 2016~2020년까지는 연평균 10% 정도 하락하고, 2030년까지는 연평균 7%하락하여 약 $73/kWh에 이를 전망임

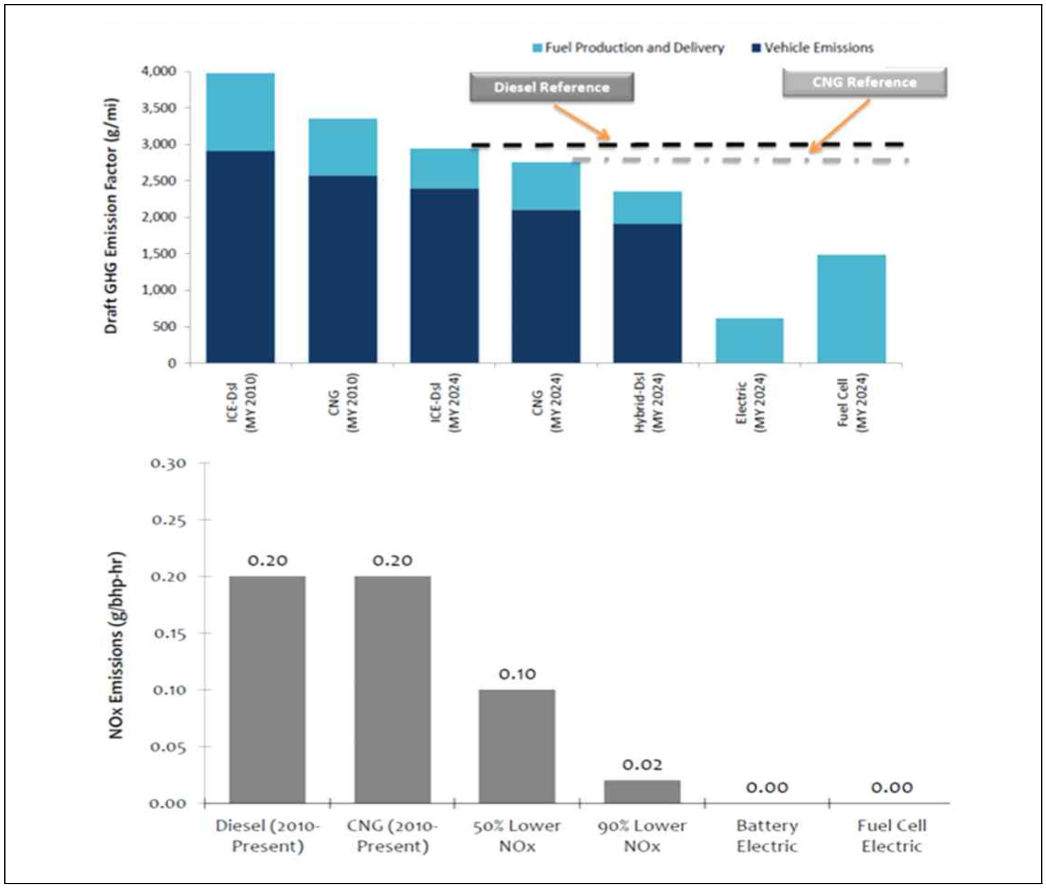
- 리튬이온 전지 가격은 금융 조달 비용의 하락, 규모의 경제, 공정 과정의 개선 등으로 지속적으로 하락하여 2025년에 약 $109/kWh, 2030년에 $73/kWh를 기록할 것으로 보임[24)]

2) 에너지 전환시대의 온실가스 감축 및 환경개선

○ 전기버스는 운행단계에서 배출오염이 없는 무공해 대중교통수단임. 캘리포니아 ARB 분석결과(2015)에 따르면 연료생산·공급과정의 온실가스 배출량을 고려해도 가장 배출량이 적은 차량임

- 나라와 지역마다 신재생에너지 보급수준과 화석연료에너지 사용량에 따라 전기자동차(전기버스) 에너지원의 연료생산, 공급과정의 온실가스 배출량은 차이가 발생할 수 있음
- 궁극적으로 전기버스가 태양광에너지기반의 재생에너지를 100% 에너지원으로 할 경우, 대기질 개선 등 환경개선 효과가 기대됨. 외국 선진국의 경우 2030년을 전후로 내연기관 자동차 판매 금지 및 전기차 운행만 허가하는 대책 추진 예정

24) Bloomberg, “Global EV sales outlook to 2040”, Advanced Transport Research Note, 25 February 2016에서는 2030년 리튬이온 전지팩 가격을 약120/kWh로 전망함



〈그림 4-3〉 에너지원별 시내버스 온실가스, NOx 배출량 비교

자료 : 국토교통과학기술진흥원(2016.11.),『자동차시스템 및 인프라 핵심융합기반기술 연구사업 중 상세기획보고서 (친환경 도시대중교통 혁신을 위한 전기버스시스템 상용화 기술개발)』, 국토교통부.

주) 캘리포니아 Air Resource Board발표자료, Advanced Clean Transit, 2015

3) 장기 국가 재생에너지 활성화 정책 견인

○ 미국 에너지정보청(Energy Information Agency)은 2030년의 전 세계에너지 수요량을 16.9테라와트로 예측함. 태양광발전이 기하급수적 비용 절감과 발전량을 증가한다면 2030년 에너지 인프라는 태양광으로 100% 충족될 것으로 전망함[25)]

○ 우리나라는 국가시책으로 '재생에너지 3020 이행계획'에 2030년 재생에너지 발전량 비중 20%를 목표로 총 48.7GW 신규설비를 설치할 계획임[26)]

25) 토니세바(2014),「에너지혁명 2030」, 교보문고, 박영숙 옮김.

26) 국제에너지기구(IEA) 2016년(잠정치) 통계에서 신재생에너지 비중은 한국(1.7%), 독일(12.7%), 덴마크(30.0%), 프랑스(9.6%), 스페인(14.5%), 일본(4.8%), 미국 (7.1%) 등으로 한국은 선진국(IEA 추정치)과 비교해서 아직 낮은 수준임 [출처 : 산업통상자원부(2017), 2016년 신재생에너지 보급통계]

- 특히, 신규설비 95% 이상을 태양광, 풍력 등 청정에너지로 공급할 예정이며, 국민참여형 사업과 대규모 프로젝트를 통하여 목표를 달성할 계획

○ 정보기술분야에서 다양하게 목격되는 무어의 법칙(지수성장곡선의 비용절감)이 태양광 재생에너지에서 이미 나름 지수곡선을 나타내고 있음

- 재생에너지는 기존의 전통 에너지원에 비해 생산단가가 높다는 단점이 있었으나 최근 그리드패리티(grid parity)[27]에 근접하고 있음. 일본, 독일, 호주는 2015년에 그리드패리티에 도달한 것으로 평가되고 있으며, 미국, 중국, 영국, 인도 등은 2020년에 그리드패리티에 도달할 것으로 예상됨[28]

- 태양광 재생에너지의 분산화, 모듈방식, 개방형, 지식기반 등 이용자 중심의 전기에너지를 공급원으로 하는 전기버스의 경쟁력은 높아질 것으로 판단됨

〈표 4-2〉 우리나라 신재생에너지 보급현황

(단위 : 천toe)

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
공급량	6,856.3	7,582.8	8,850.7	9,879.2	11,537.4	13,293.0	14,178.0
폐기물	4,862.3	5,121.5	5,998.5	6,502.4	6,904.7	8,436.2	8,742.7
수력	792.3	965.4	814.9	892.2	581.2	453.8	603.2
바이오	754.6	963.4	1,334.7	1,558.5	2,822.0	2,765.7	2,765.5
풍력	175.6	185.5	192.7	242.4	241.8	283.5	355.3
태양광	166.2	197.2	237.5	344.5	547.4	849.4	1,092.8
태양열	29.3	27.4	26.3	27.8	28.5	28.5	28.5
지열	33.4	47.8	65.3	87.0	108.5	135.0	162.0
수소.연료전지	42.3	63.3	82.5	122.4	199.4	230.2	241.6
(공급비중,%)	2.6	2.8	3.2	3.5	4.1	4.6	4.8
해양	0.2	11.2	98.3	102.1	103.8	104.7	104.6
IGCC	-	-	-	-	-	1.3	76.1

자료 : 한국에너지공단 신재생에너지센터(2017),『신재생에너지보급통계』

주 1) toe(ton of equivalent) : 원유 1ton의 발열량인 107kcal를 기준으로 표준화한 단위
2). 공급비중은 1차에너지 중 신·재생에너지의 비중임
3). IGCC(석탄을 액화·가스화한 에너지)

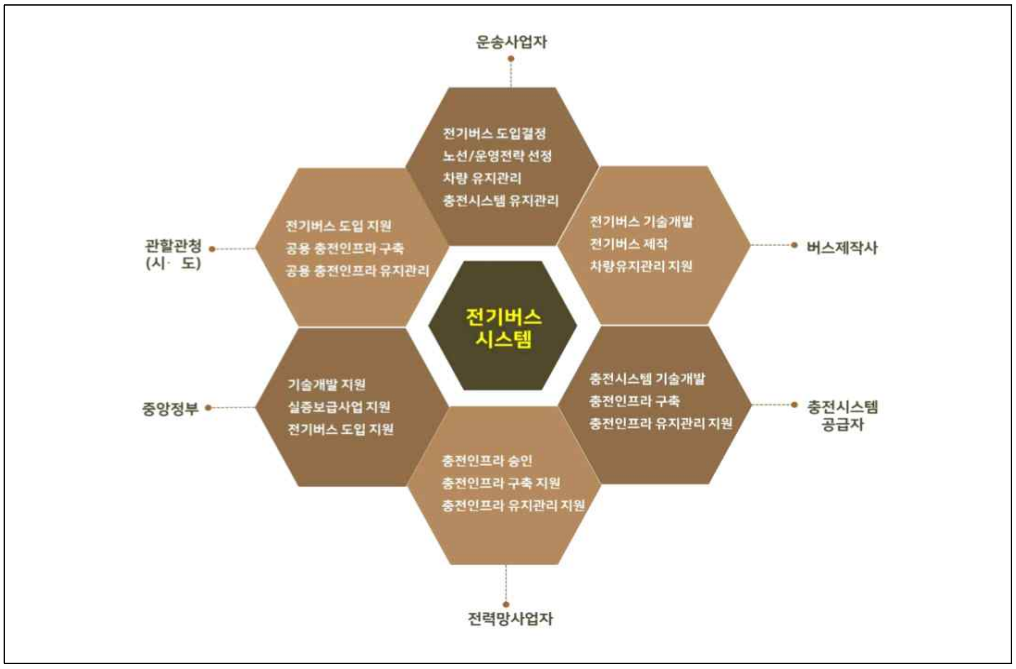
27) 재생에너지의 발전단가가 전통적인 에너지원의 발전단가와 동일해지는 지점을 의미

28) 백흥기(2018.9.5.), "국내외 에너지 신산업 트랜드 및 활성화 과제(startup4)", http://www.startup4.co.kr/news/articleView.html?idxno=10696

2. 인천광역시 전기버스 사업 추진계획

○ 전기버스 도입을 검토 중인 인천광역시의 경우 현재 기술수준에 대한 불확실성으로 전기버스 도입에 어려움이 있음

- 전기버스 도입의 주요 장애요인은 높은 초기비용(upfront cost), 현재 개발기술에 대한 신뢰성 문제, 새로운 이해관계자들과 협력문제, 전기버스 운영을 위한 물리적, 제도적 인프라 문제 등을 꼽을 수 있음
- 현재 기술수준에 대한 신뢰성 문제는 전지팩(battery pack) 1회 충전거리, 충전방식, 충전전략 등이 운행노선, 배차간격, 투입차량대수, 충전횟수 등 전기버스 운영에 필요한 현재 기술수준을 의미함
- 새로운 이해관계자들과 협력문제는 전기버스시스템 도입 및 운영과정에서 참여가 필요한 주요 이해관계자들은 운송사업자, 관할관청 및 중앙정부, 버스제작사, 충전시스템 공급자, 전력망 공급자 등 다양함
- 전기버스 관련 법제도 미비는 전기버스시스템과 관련된 보조금, 안전기준, 형식승인 등을 포함함



〈그림 4-4〉 전기버스 시스템 각 이해주체별 검토과제

출처 : 국토교통과학기술진흥원(2016.11.),『자동차시스템 및 인프라 핵심융합기반기술 연구사업 중 상세기획보고서(친환경 도시대중교통 혁신을 위한 전기버스시스템 상용화 기술개발)』, 국토교통부.

인천광역시 전기버스 사업 단계별 추진

○ 현재 운행 중인 내연기관 시내버스 차령과 전기버스 충전인프라 여건, 중앙정부 차원의 전기버스 기술표준 및 법제도 정비 부족 등을 고려하여 2030년 최종 목표연도로 단기, 중기, 장기의 단계별 전기버스 추진. 사업 초기, 공공주도에서 중장기, 민간자율로 점차 확대 추진함

- 2020년까지 전기버스 사업 단기방안은 전기버스 보급확대와 기술수준 제고를 위한 보조금 지원 확대, 전기버스 시범사업 도시 간 자료공유를 통한 전기버스 제조사 기술개발 및 기술표준 정립, 공공주도의 전기버스 공영차고지기반 개방형 급속충전기 설치 및 충전서비스사업 운영, 전기버스 보급확대를 위한 공공주도의 전기버스 차량리스제 시행 등을 시행함
- 2025년까지 전기버스 사업 중기방안은 이 기간까지 매년 발생하는 시내버스 대폐차시 기존 CNG버스와 일부 경유버스를 전기버스로 교체함. 차고지 충전인프라 구축을 위한 신규 공영차고지 확충사업과 병행하여 시내버스 노선 회차지 주변 국공유지에 개방형 급속충전기 설치사업과 인천지하철 전력망을 활용한 경로 중 충전인프라 사업(기회충전) 등 충전인프라 확충사업을 제3자 민간충전사업자 주도로 추진함
- 2030년까지 재생에너지 기반 전기버스 에너지 인프라 구축하고, 시내버스 전체 차량의 전기버스 도입함. 이 시기에 전기차 배터리 가격의 인하로 내연기관 전기차의 가격경쟁력으로 공공부문의 전기버스 보조금 지원은 축소 또는 폐지함

〈표 4-3〉 인천광역시 전기버스 단계별 추진사업

구분	추진사업
단기 (~2020년)	• 전기버스 보급확대와 기술 수준 제고를 위한 보조금 지원확대 • 시범사업 도시 간 자료공유로 제조사 기술개발 및 기술표준 정립 • 공공주도의 공영차고지 기반 개방형 급속충전기 설치 및 충전서비스 • 전기버스 보급확대를 위한 공공주도의 전기버스 차량 리스제 시행
중기 (~2025년)	• 시내버스 대·폐차 시 CNG·경유 버스의 전기버스 교체 • 차고지 충전인프라 구축을 위한 신규 공영차고지 확충 • 버스 노선 회차지 주변 국공유지에 개방형 급속충전기 설치 및 지하철 전력망 활용한 경로 중 충전인프라 사업(제3자 민간충전사업자)
장기 (~2030년)	• 재생에너지 기반 전기버스 에너지 인프라 구축 • 시내버스 전기버스 100% 도입 • 공공부문의 전기버스 보조금 지원은 축소 또는 폐지 (배터리 가격 인하에 따른 전기차 가격경쟁력 발생 시)

전기버스 기술표준 제시

○ 전기버스 기술표준은 시내버스 차량 및 노선운행 여건 등을 고려한 차량연비(전비), 배터리, 충전기의 도입여건 개선을 위해서 필요함. 이를 통해 전기버스 제조사의 기술개발을 유도하고, 전기버스 도입여건 개선하는데 목적이 있음

- 전기버스(차량)은 공인연비가 1km/kWh이고, 혹한기 및 혹서기 냉난방을 위한 전력소비를 고려한 연비가 0.8km/kWh가 되도록 함. 모터의 최대출력는 200kW이상(268마력수준)급으로 배터리용량과 모터최대출력을 고려하여 정함. 1회 충전거리는 지역내 시내버스 일평균 운행거리수준 250~300km수준을 만족해야하며, 차량내 충전기 인렛(Inlet)은 대형승합차 배터리용량에 충전기 최대출력 수준을 고려하여 DC콤보2방식을 표준으로 제시, 차체 및 전장부품 보증기간은 시내버스 차령기간 9년을 만족하도록 함, 차량 안전성 등은 운행율 90%이상을 만족하도록 함
- 전지팩(battery pack)은 에너지밀도는 135kW/kg이상, 충방전효율은 급속충전시간 20분 이내 수준을 고려한 충전기 최대출력을 3C수준, 배터리수명보증기간은 시내버스 차령기간 9년 이상동안 배터리건강상태(SOH) 80%이상을 만족해야함
- 충전기는 전기버스 충전기 커넥터 표준은 DC콤보2이고, 충전기 보증기간 9년 이상, 충전기 최대전력 인증기준은 경로 중 급속충전은 1MW급, 차고지 급속충전은 100~300kW급의 최대전력을 인증받도록 함

〈표 4-4〉 전기버스 기술표준(안) 제시

구분	내용	구분	내용
차량 (전기버스)	• 공인연비 : 1km/kWh • 혹한(서)기 연비 : 0.8km/kWh • 1회 충전 운행거리 : 300km이상 (잔량 20%기준) • 모터최대출력:200kW(268hp)이상 • 충전기인렛:DC콤보2 • 배터리 및 전장부품 보증기간 : 보증 9년이상 • 안전성 : 운행율 98% 이상	전지팩 (battery pack)	• 보증기간 : 9년 이상 • SOH : 80% 이상 • 에너지밀도:135Wh/kg이상 • 충방전효율:급속충전3C (급속충전시간 20분이내)
		충전기 (charger)	• 보증기간 : 9년 이상 • 충전기커넥터:DC콤보2 • 경로 중 급속충전기 최대전력 (1MW급 인증) • 차고지 급속충전기 최대전력 (100kW/200kW/300kW인증)

주 : 수도권 전기버스 도입 확대 방안 참여 연구기관(한국교통연구원, 경기연구원, 서울연구원, 인천연구원, 수원시정연구원)간 논의하여 기술표준안 제시

전기버스 차량 보급 확대 및 충전소 확대

○ 전기버스 사업 초기, 운수사업자의 차량구입비용 부담 해소를 위해 공공주도의 전기버스 차량(배터리)대여사업 추진

- 지방공기업 인천교통공사에서 전기버스 차량(배터리)대여사업 및 충전인프라 구축 및 충전서비스 사업 운영함. 전기버스 차량대여사업은 여객자동차운수사업법 시행규칙 제67조 개정으로 가능함
- 배터리 가격 인하로 전기버스 가격 경쟁력이 일정 수준 도달하였을 때 민간자율로 차량구입을 유도

○ 민간자율로 전기버스 차량구입을 유도하여 규모의 경제수준으로 보급되었을 경우, 충전인프라 구축 및 충전서비스 사업에 민간참여가 가능함

- 충전서비스 사업에 민간사업자 참여방안은 첫째, 충전인프라 시설을 공공이 소유한 상태에서 운영을 제3자 민간충전전문사업자에게 위탁하는 경우임
- 둘째로, 운수사업자가 모회사 또는 자회사를 통해 민간충전사업자로 등록하여 충전인프라 구축과 운영이 가능함. 다만, 이 경우 준공영 인천시내버스 연료비(충전 요금)가 한전 전기요금외 충전서비스 요금 수준을 과다하게 설정할 경우, 인천시의 연료비 운송원가가 올라갈 수 있음



〈그림 4-5〉 전기버스 차량 보급확대 및 충전소 확대방안

전기버스 차량 보급 및 충전소 설치 재정지원 확대

○ 전기버스 차량 구입, 충전소 설치 시 운수사업자 및 충전소 사업자의 부담 최소화를 위한 재정지원 확대 및 선도 사업자의 초기 인센티브 최대 지원

○ 전기버스 구입비 지원

- 기존 경유버스 가격과 차액 전액 지원으로 전기버스 전환 촉진
- 전기버스(환경부)+저상버스(국토부+인천광역시)지원금 외 추가지원금 신설
- 추가지원금은 배터리 용량 및 보증기간에 따라 차등지원

○ 전기버스 충전소 설치비 지원

- 충전기 및 전기설비비의 최대 70% 지원
- 급속충전기 최대소비전력별 차등지원

○ 충전 인프라 설치부지 확보 지원

- 전기충전소 설치부지(1기당 전기버스 2대 면적) 토지 취득세 50%감면
- 기회 충전시설 도로점용료 100% 감면

〈표 4-5〉 전기버스 구입비 지방비 보조금 차등 지원(안)

배터리 용량	배터리 보증기간	보조금
125kWh 기준	9년 미만	0원/대
250kWh 이상	9년 이상	5천 만원/대
340kWh 이상	9년 이상	1억 원/대

지방보조금기준으로 250kWh이상 200,000원/kWh, 300kWh이상 300,000원/kWh 적용
단, 향후 배터리 가격동향 및 기술수준에 따라 유동적

〈표 4-6〉 충전 인프라 설치 보조금 차등 지원(안)

충전기 최대소비전력	광역 및 기초자치단체[1)]	민간충전사업자[2)]
50kWh 이상	3,500만원	2,000만원
80 kWh 이상	4,500만원	2,500만원
100kWh 이상	5,500만원	3,500만원
200kWh 이상	6,500만원	4,500만원
300kWh 이상	8,000만원	5,000만원

주) 1. 환경부(2018), 『'18 전기자동차 보급 및 충전인프라 구축사업 보조금 업무처리지침』 참고 재구성
2. 한국에너지공단(2017), 『전기차 충전서비스 산업 육성사업 운영지침』 참고 재구성

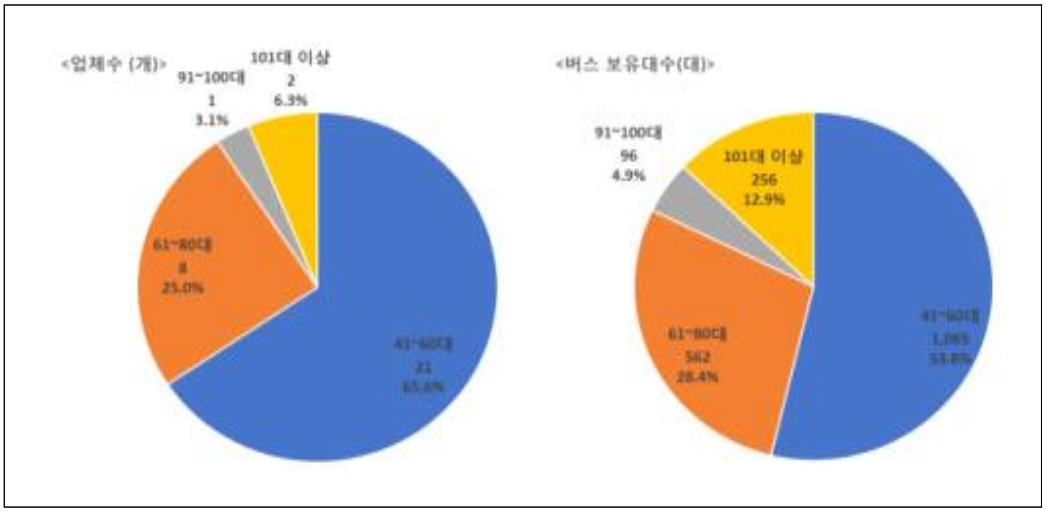
3. 전기버스 운행 가능 대수 분석

1) 시내버스 업계 현황

보유대수

○ 인천광역시 시내버스 준공영제 운송업체 수는 2017년 12월 기준으로 32개이며, 총 1,979대의 버스를 보유하고 있음

- 업체 규모별로는 버스 보유대수 41~60대 업체가 전체의 65.6%를 차지하고 있으며, 61대~80대 보유 업체가 25.0%, 100대 초과 보유 업체가 6.3%, 91~100대 보유 업체가 3.1%를 차지하고 있음
- 보유 중인 버스의 대수를 기준으로 볼 때 41~60대 보유 업체가 53.8%, 61~80대 보유 업체가 28.4%, 101대 이상 보유 업체가 12.9%의 버스를 보유하고 있음
- 즉, 101대 이상을 보유한 업체는 기업 수 비중에서 6.3%에 불과하지만, 이들 업체가 보유한 버스는 전체에서 12.9%를 차지하고 있음



〈그림 4-6〉 시내버스 운송업체 수 및 버스 보유대수 현황(2017년 12월 기준)

자료 : 인천광역시(2017), 버스정책과 내부자료

CNG, 경유 보유 대수

○ 인천광역시 시내버스 준공영제 보유 대수 1,979대 중 92.7%에 해당하는 1,835대는 CNG버스(저상CNG버스 포함)이며, 나머지 7.3%에 해당하는 144대는 경유버스(저상버스 포함)임

〈표 4-7〉 인천광역시 준공영제 버스업체 차량 보유 현황 (2017년 12월)

업체	보유대수	경유	CNG
강인교통	54		54
강인여객	67		67
강화선진버스	49		49
대인교통	51		51
도영운수	57		57
동화운수	106		106
미래교통	48		48
부성여객	62		62
삼성여객	45	34	11
삼일여객	51	6	45
삼환교통	150		150
삼환운수	55	23	32
선진여객	80		80
성민버스	59		59
성산여객	43		43
성원운수	56	19	37
세운교통	45		45
송도버스	61		61
시영운수	70		70
신동아교통	47		47
신화여객	52		52
신흥교통	77		77
영풍운수	96		96
원진운수	45	7	38
인천교통공사	42		42
인천선진교통	55		55
인천스마트	72		72
인천제물포교통	54		54
청라교통	54		54
청룡교통	44	6	38
태양여객	59	8	51
해성운수	73	41	32
합계	1,979	144	1,835

자료 : 인천광역시(2017), 버스정책과 내부자료

종사자 수

○ 2017년 12월 인천광역시 시내버스 준공영제 업체 종사자 수는 5,162명으로 1개 업체당 평균 161명이 종사하고 있는 것으로 나타남

- 시내버스 업체의 운전자 수는 총 4,579명이며, 임원과 관리자, 정비원의 수는 583명으로 나타남

〈표 4-8〉 인천광역시 준공영제 버스업체 종사자 현황 (2017년 12월)

업체	임원직	관리직	정비직	운전직	계
강인교통	2	5	4	122	133
강인여객	3	7	6	150	166
강화선진버스	5	13	8	112	138
대인교통	4	10	3	128	145
도영운수	2	7	3	136	148
동화운수	3	20	11	251	285
미래교통	3	7	4	100	114
부성여객	5	8	9	146	168
삼성여객	4	10	3	108	125
삼일여객	8	7	3	118	136
삼환교통	10	23	12	345	390
삼환운수	6	11	4	121	142
선진여객	2	12	12	188	214
성민버스	1	7	4	145	157
성산여객	2	7	3	100	112
성원운수	7	11	5	121	144
세운교통	3	6	3	105	117
송도버스	4	10	5	140	159
시영운수	2	13	7	167	189
신동아교통	4	8	4	107	123
신화여객	3	6	5	122	136
신흥교통	4	9	6	183	202
영풍운수	1	11	7	219	238
원진운수	2	4	4	104	114
인천교통공사	0	5	4	98	107
인천선진교통	3	8	4	128	143
인천스마트	2	13	6	171	192
인천제물포교통	2	7	4	122	135
청라교통	5	8	5	121	139
청룡교통	2	8	5	102	117
태양여객	1	7	4	136	148
해성운수	8	9	6	163	186
합계	173	297	173	4,579	5,162

자료 : 인천광역시(2017), 버스정책과 내부자료

차고지 현황

○ 2017년 12월 인천광역시 시내버스 준공영제 업체 차고지는 대부분 소유형태가 임대이며, 11개 업체는 소유권이 자가로 나타남

○ 공영차고지는 장수공영차고지, 송도공영차고지, 남동권역공영차고지 총 3개소임

〈표 4-9〉 인천광역시 공영차고지 현황 (2017년 12월)

공영차고지	주소지
장수공영차고지	인천광역시 남동구 수현로 9
송도공영차고지	인천광역시 연수구 아카데미로 51번길 42
남동권역공영차고지	인천광역시 남동구 서창방산로 136

자료(출처) : 인천광역시 버스정책과 내부자료, 2017



〈그림 4-7〉 시내버스 운송업체 차고지 현황(2017년 12월 기준)

자료 : 인천광역시(2017), 버스정책과 내부자료

〈표 4-10〉 인천광역시 준공영제 버스업체 차고지 현황 (2017년 12월)

업체	주소지	면적	소유 형태	기타
강인교통	인천광역시 부평구 백범로 570	1,503	임대	
	인천광역시 서구 석남동 223-204	1,014	자가	
강인여객	인천광역시 연수구 먼우금로 1	2,843	자가	
	인천광역시 부평구 백범로 570	6,978	자가	
	인천광역시 서구 건지로 95번길 42	651	자가	
강화선진버스	인천광역시 강화군 선원면 중앙로 219외 8필지	4,428	임대	자기자본
	경기도 김포시 구래동 796-2외 4필지	1,000	임대	자기자본
	인천광역시 남동구 서창방산로 136	319	임대	서창동 공영차고지
대인교통	인천광역시 연수구 아카데미로 51번길42	2,116	임대	송도 공영차고지
	인천광역시 서구 석남동 223-1	496	임대	
	인천광역시 부평구 경원대로 1154	230	임대	
도영운수	인천광역시 연수구 먼우금로 2	3,537	임대	자기자본
동화운수	인천광역시 계양구 효서로 56	2,458	자가	
미래교통	인천광역시 부평구 십정동 261-2	1,612	임대	자기자본
	인천광역시 석남동 223-204번지	834	자가	
부성여객	인천광역시 서구 가좌로95번길 48	4,424	자가	
삼성여객	인천광역시 서구 원창로 74	2,966	임대	
	인천광역시 계양구 효서로 450-11	500	임대	
삼일여객	인천광역시 동구 만석부두로7번길 3	1,028	임대	
	인천광역시 부평구 서달로 306	486	임대	
삼환교통	인천광역시 중구 항동 7가 73		임대	
	인천광역시 중구 신흥동3가 60-15		임대	
	인천광역시 남동구 수현로 9		임대	장수동 공영차고지
	인천광역시 남동구 장수동 388-1		임대	
	인천광역시 서구 왕길동 61-8		임대	
	인천광역시 서구 보도진로 18번길 24-1		임대	
삼환운수	인천광역시 남동구 서창방산로 136	2,364	임대	서창동 공영차고지
	인천광역시 남동구 수현로 9	814	임대	장수동 공영차고지
	인천광역시 동구 송현3동 140-6	521	임대	자기자본
	인천광역시 남구 도화동 957 트럭터미널	400	임대	
선진여객	인천광역시 서구 원창로89번길 42	1,983	임대	자기자본
	인천광역시 서구 백석동 212-148	1,926	임대	
	인천광역시 서구 경서동 936-1	1,200	임대	
성민버스	인천광역시 연수구 동춘동 930-2		자가	
성산여객	인천광역시 서구 방축로 333	794	임대	자기자본
	인천광역시 서구 원당대로 227-12	561	임대	
	인천광역시 중구 항동7가 65-1	651	임대	

자료 : 인천광역시(2017), 버스정책과 내부자료

〈표 4-10〉 인천광역시 준공영제 버스업체 차고지 현황 (2017년 12월) -계속-

업체	주소지	면적	소유형태	기타
성원운수	인천광역시 남동구 간석동 1-476		임대	
	인천광역시 남동구 서창방산로 136		임대	서창동 공영차고지
	인천광역시 남동구 수현로 9		임대	장수동 공영차고지
	인천광역시 남동구 음실서로 46		임대	
송도버스	인천광역시 남동구 서창방산로 136		임대	서창동 공영차고지
	인천광역시 연수구 앵고개로 86	5,511	임대	
시영운수	인천광역시 서구 보도진로 18번길 24-1	2,893	임대	
신동아교통	인천광역시 서구 거월로 39	3,574	임대	
	인천광역시 중구 축항대로 291번길 42	1,649	임대	
신화여객	인천광역시 서구 원창로 90	2,572	임대	
	인천광역시 연수구 동춘동 930-2	452	자가	
신흥교통	인천광역시 중구 축항대로290번길 124	4,960	임대	
영풍운수	인천광역시 서구 석남동223-394	2,866	임대	
	인천광역시 서구 석남동642-80	2,245	임대	
원진운수	인천광역시 서구 원창로 46	852	자가	
	인천광역시 연수구 아카데미로 51번길 42	2,208	임대	송도 공영차고지
인천교통공사	인천광역시 연수구 아카데미로 51번길 42	2,847	자가	송도 공영차고지
	인천광역시 서구 경서동 936-1		임대	
인천선진교통	인천광역시 중구 축항대로86번길 129	4,289	자가	
	인천광역시 서구 거월로 39	3,574	임대	
인천스마트	인천광역시 미추홀구 아암대로287번길 63	5,689	임대	
인천제물포교통	인천광역시 서구 거월로 39	3,574	임대	
청라교통	인천광역시 부평구 십정동259번지 외 9필지	1,683	임대	
	인천광역시 서구 석남동 223-204번지	834	자가	
청룡교통	인천광역시 서구 한서로 53번길 16	4,810	임대	자기자본
태양여객	인천광역시 부평구 삼산동 326-15	1,530	임대	
	인천광역시 부평구 삼산동 2-7		임대	
	인천광역시 서구 방축로 333	250	임대	
해성운수	인천광역시 서구 석남동 223-1	825	임대	
	인천광역시 서구 원창동93-3	992	임대	
	인천광역시 서구 원창로74(원창동)	500	임대	
	인천광역시 남동구 서창방산로 136	253	임대	서창동 공영차고지

시내버스 운행특성 분석

○ 노선별 면허대수

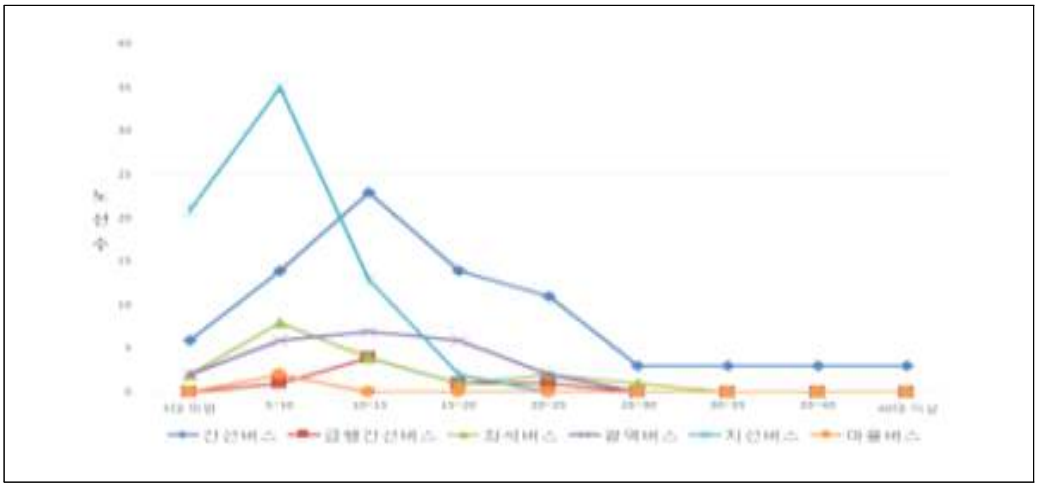
- 2018년 6월 기준 인천시내버스 노선별 면허대수를 보면, 간선버스는 5대 미만부터 40대 이상까지 다양한 분포를 보이고, 그 중 10대 미만의 면허로 운행하는 노선이 가장 많음. 지선버스는 모든 노선이 20대 미만의 면허로 운행되고 있음
- 좌석버스와 급행간선버스, 광역버스는 모든 노선이 30대 미만의 면허로 운행되며 좌석버스는 5~10대 면허로 운영되는 노선이 가장 많고 급행간선버스는 10~15대 면허를 운영되는 노선이 가장 많고 광역버스는 5~10대, 15~20대 면허로 운영되는 노선이 가장 많음

〈표 4-11〉 인천시내버스 노선별 면허대수 현황 (2018년 6월)

(단위 : 노선수, 개)

구분	간선	급행간선	좌석	광역	지선	마을	합계
5대 미만	6	0	2	2	21	0	31
5~10	14	1	8	6	35	2	66
10~15	23	4	4	7	13	0	51
15~20	14	1	1	6	2	0	24
20~25	11	1	2	2	0	0	16
25~30	3	0	1	0	0	0	4
30~35	3	0	0	0	0	0	3
35~40	3	0	0	0	0	0	3
40대 이상	3	0	0	0	0	0	3
계	80	7	18	23	71	2	201

자료 : 인천광역시(2018), 버스정책과 내부자료



〈그림 4-8〉 인천시내버스 노선별 면허대수 분포 (2018년 6월 기준)

○ 노선거리

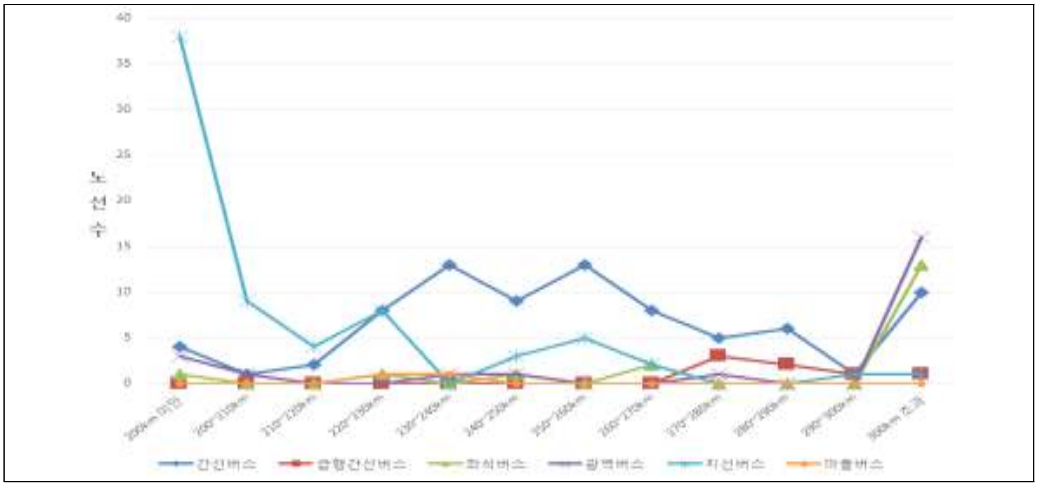
- 2018년 6월 기준 인천시내버스 노선거리 분포를 살펴보면 간선버스는 대부분 10~60km 이고 60km 이상을 운행하는 노선도 23개로 다양한 분포를 보이는 반면 지선버스는 대부분이 20km 미만을 운행하는 것으로 나타남.
- 간선버스 중 운행거리 60km이상의 장거리 노선은 대부분 강화, 영종, 검단, 청라를 경유하는 노선으로 인천광역시의 지리적 특징에 의한 것으로 고려됨.
- 급행간선버스는 30~70km를 운행하고 있고, 좌석버스와 광역버스는 모두 30km 이상을 운행하며 노선거리별 고른 분포를 보임

〈표 4-12〉 인천광역시 시내버스 노선거리 현황 (2018년 6월)

(단위 : 개)

구분	간선	급행간선	좌석	광역	지선	마을	합계
10km 미만	0	0	0	0	18	0	18
10~20km	7	0	0	0	27	2	36
20~30km	1	0	0	0	16	0	17
30~40km	10	1	3	0	8	0	22
40~50km	19	3	0	2	1	0	25
50~60km	20	2	0	5	1	0	28
60~70km	12	1	0	1	0	0	14
70~80km	2	0	4	3	0	0	9
80~90km	4	0	1	2	0	0	7
90~100km	2	0	2	3	0	0	7
100km 이상	3	0	8	7	0	0	18
계	80	7	18	23	71	2	201

자료 : 인천광역시(2018), 버스정책과 내부자료



〈그림 4-9〉 인천시내버스 노선거리 분포 (2018년 6월 기준)

○ 대당 하루 운행거리

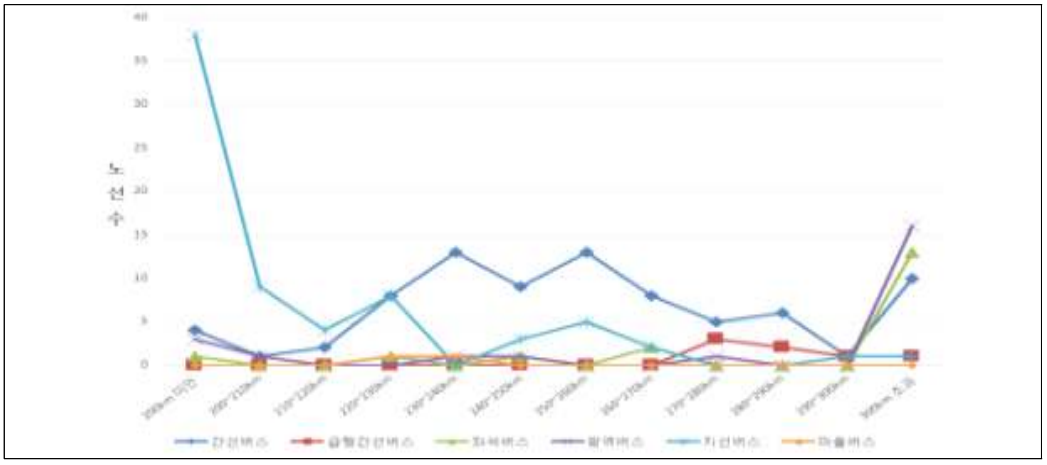
- 2018년 6월 기준 인천시내버스 대당 하루 운행거리 분포를 살펴보면 간선버스는 대부분 220~290km이고 300km 이상을 운행하는 노선도 10개로 다양한 분포를 보이는 반면 지선버스는 대부분이 200km 미만을 운행하는 것으로 나타남.
- 간선버스 중 운행거리 300km이상의 장거리 노선은 대부분 강화, 영종, 검단, 청라를 경유하는 노선으로 인천광역시의 지리적 특징에 의한 것으로 고려됨.
- 급행간선버스는 대부분 270~300km를 운행하고 있고, 좌석버스와 광역버스는 대부분 300km 이상을 운행하는 것으로 나타남.

〈표 4-13〉 인천광역시 시내버스 대당 하루 운행거리 현황 (2018년 6월)

(단위 : 개)

구분	간선	급행간선	좌석	광역	지선	마을	합계
200km 미만	4		1	3	38		46
200~210km	1			1	9		11
210~220km	2				4		6
220~230km	8		1		8	1	18
230~240km	13			1		1	15
240~250km	9		1	1	3		14
250~260km	13				5		18
260~270km	8		2		2		12
270~280km	5	3		1			9
280~290km	6	2					8
290~300km	1	1			1		3
300km 초과	10	1	13	16	1		41
계	80	7	18	23	71	2	201

자료 : 인천광역시(2018), 버스정책과 내부자료



〈그림 4-10〉 인천시내버스 대당 하루 운행거리 분포 (2018년 6월 기준)

○ 대당 하루 운행시간

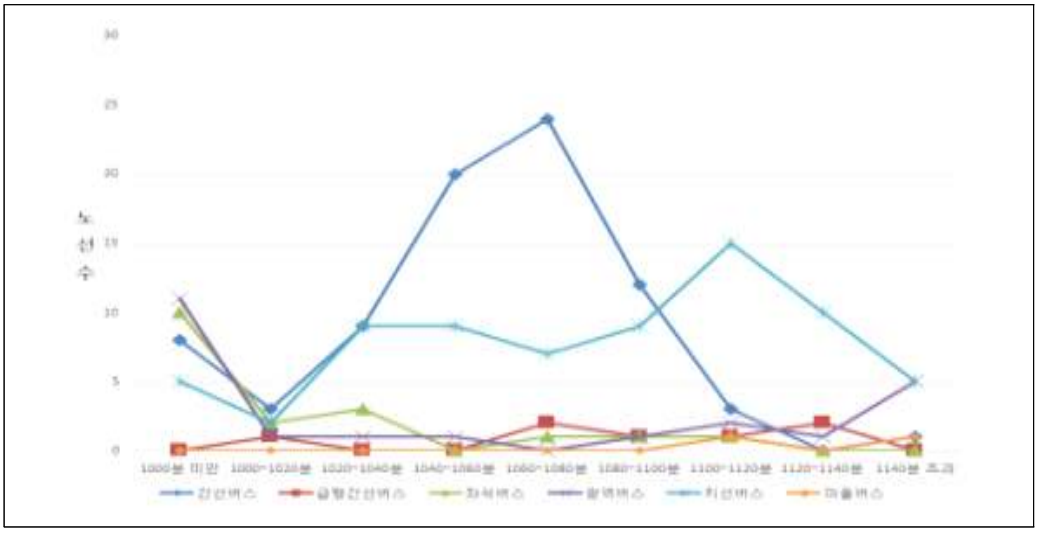
- 2018년 6월 기준 인천시내버스 대당 하루 운행시간 분포를 살펴보면 간선버스는 대부분 1040~1080분으로 운행하는 반면 지선버스는 고른 분포로 나타남
- 급행간선버스는 고른 분포로 나타나고 있고, 좌석버스와 광역버스는 대부분 1,000분 미만을 운행하는 것으로 나타남

〈표 4-14〉 인천광역시 시내버스 대당 하루 운행시간 현황 (2018년 6월)

(단위 : 개)

구분	간선	급행간선	좌석	광역	지선	마을	합계
1000분 미만	8	0	10	11	5	0	34
1000~1020분	3	1	2	1	2	0	9
1020~1040분	9	0	3	1	9	0	22
1040~1060분	20	0	0	1	9	0	30
1060~1080분	24	2	1	0	7	0	34
1080~1100분	12	1	1	1	9	0	24
1100~1120분	3	1	1	2	15	1	23
1120~1140분	0	2	0	1	10	0	13
1140분 초과	1	0	0	5	5	1	12
계	80	7	18	23	71	2	201

자료 : 인천광역시(2018), 버스정책과 내부자료



〈그림 4-11〉 인천시내버스 대당 하루 운행시간 분포 (2018년 6월 기준)

2) 전지팩(battery pack) 용량 수준별 운행 가능 대수

전기버스 분석 운행기준

○ 2018년 6월 인천광역시 준공영제 시행 시내버스 운행 156개 노선과 1,861대 면허 대수 분석함

- 이용 가능한 전기버스 전지팩 용량으로 100kWh, 200kWh, 300kWh를 설정함. 전비(km/kWh) 1.0을 기준으로 전지팩 용량의 크기는 전기버스의 1일 운행 거리와 비례함
- 전지팩 잔여 전력량(잔량) 비율은 배터리 수명과 관련된 사항인데, 전지팩 용량의 10%, 20%, 30% 수준으로 구분하여 배터리 용량별 1일 운행 거리를 산출하고, 각 노선별 충전횟수에 따른 준공영제 시내버스노선의 운행 가능 대수를 분석함

〈표 4-15〉 전기버스 분석 운행 기준

배터리 용량(kWh)	잔량(%)	전비(km/kWh)	1회 충전운행거리(km)
100	30	1.0	70.0
	20	1.0	80.0
	10	1.0	90.0
200	30	1.0	140.0
	20	1.0	160.0
	10	1.0	180.0
300	30	1.0	210.0
	20	1.0	240.0
	10	1.0	270.0

100kWh 수준(준공영제 시행 노선 156개, 1,861대)

○ 전지팩 용량의 30%를 잔여 전력량(잔량)으로 남겨두는 경우, 가용 배터리 용량은 70kWh이고, 1회 충전 시 운행 가능한 거리는 전비 1.0을 기준으로 70km임. 충전횟수에 따른 운행 가능 노선수 및 대수를 분석하면 다음과 같음

- 전일(심야충전)일 때 준공영제 시행 전체 노선 충전 불가능하며, 반일(중간충전)일 때 3개 노선, 7대가 운행 가능하며, 2회당 운행 후 1번 충전일 때 71개 노선, 467대에서 전기버스 운행이 가능함. 매회 충전일 때 129개 노선, 1,428대가 가능함

○ 잔량 20% 기준 운행 가능 노선수 및 대수는 전일(심야충전)일 때 준공영제 시행 전체 노선 충전 불가능함. 반일(중간충전)일 때 4개 노선, 8대 가능함. 2회당 1번 충전일 때 79개 노선, 543대 가능하며, 매회 충전일 때 136개 노선, 1,578대에서 전기버스 운행이 가능함

○ 잔량 10%를 기준으로 충전횟수별 운행 가능 노선과 대수는 전일(심야충전)일 때 준공영제 시행 전체 노선과 면허 대수 충전 불가능함. 반일(중간충전)일 때 7개 노선, 25대에서 가능하며, 2회당 1번 충전일 때 86개 노선, 643대에서 가능함. 매회 충전일 때 141개 노선, 1,685대에서 전기버스 운행이 가능함

〈표 4-16〉 100kWh 수준일 때 운행 가능 노선 및 대수

구분	배터리 용량(kWh)	잔량(%)	운행 가능 노선		운행 가능 대수	
			노선수	비율(%)	가능대수	비율(%)
전일 (심야충전)	100	30%	0	0.0%	0	0.0%
		20%	0	0.0%	0	0.0%
		10%	0	0.0%	0	0.0%
반일 (중간충전)	100	30%	3	1.9%	7	0.4%
		20%	4	2.6%	8	0.4%
		10%	7	4.5%	25	1.3%
2회당 1번 충전	100	30%	71	45.5%	467	25.1%
		20%	79	50.6%	543	29.2%
		10%	86	55.1%	643	34.6%
매회 충전	100	30%	129	82.7%	1428	76.7%
		20%	136	87.2%	1578	84.8%
		10%	141	90.4%	1685	90.5%

200kWh 수준(준공영제 시행 노선 156개, 1,861대)

○ 전지팩 용량의 30%를 잔량으로 두는 경우, 140kWh 배터리 용량의 1회 충전 운행거리는 140km이며, 충전횟수별 운행 가능 노선수 및 대수는 다음과 같음

- 전일(심야충전)일 때 3개 노선(1.9%), 14대(0.8%)가 가능함. 반일(중간충전)일 때 122개 노선(78.2%), 1,433대(77.0%)에서 운행 가능하며, 2회당 1번 충전일 때 129개 노선(82.7%), 1,428대(76.7%)에서 전기버스 도입이 가능함. 매회 충전일 때 153개 노선(98.1%), 1,826대(98.1%)에서 운행 가능함

○ 잔량 20%일 경우, 160kWh 배터리 용량으로 1회 충전 운행거리는 160km임. 각 노선별 전기버스 운행 가능 노선수 및 대수는 전일(심야충전)일 때 4개 노선(2.6%), 8대(0.4%)이며, 반일(중간충전)일 때 135개 노선(86.5%), 1,669대(89.7%)에서 운행 가능함. 2회당 1번 충전일 때 136개(87.2%), 1,578대(84.8%)에서 전기버스 운행이 가능함. 매회 충전일 때 준공영제 시행 전체 노선에서 전기버스 운행이 가능함

○ 잔량 10%일 경우, 180kWh 배터리 용량으로 1회 충전 운행거리는 180km임. 각 노선별 전기버스 운행 가능 노선수 및 대수는 전일(심야충전)일 때 7개 노선(4.5%), 25대(1.3%)에서 운행가능하며, 반일(중간충전)일 때 138개 노선(88.5%), 1,699대(91.3%)에서 가능함. 2회당 1번 충전일 때 141개 노선(55.1%), 1,685대(34.6%)에서 가능하고, 매회 충전일 때 준공영제 시행 전체 노선에서 전기버스 운행이 가능함

〈표 4-17〉 200kWh 수준일 때 운행 가능 노선 및 대수

구분	배터리 용량(kWh)	잔량(%)	운행 가능 노선		운행 가능 대수	
			노선수	비율(%)	가능대수	비율(%)
전일 (심야충전)	200	30%	3	1.9%	14	0.8%
		20%	4	2.6%	8	0.4%
		10%	7	4.5%	25	1.3%
반일 (중간충전)	200	30%	122	78.2%	1,433	77.0%
		20%	135	86.5%	1,669	89.7%
		10%	138	88.5%	1,699	91.3%
2회당 1번 충전	200	30%	129	82.7%	1,428	76.7%
		20%	136	87.2%	1,578	84.8%
		10%	141	90.4%	1,685	90.5%
매회 충전	200	30%	153	98.1%	1,826	98.1%
		20%	156	100.0%	1,861	100.0%
		10%	156	100.0%	1,861	100.0%

300kWh 수준(전체 노선 156개, 1,861대)

○ 전지팩 용량의 30%를 잔량으로 두는 경우, 210kWh 배터리 용량으로 1회 충전 운행거리는 210km이며, 충전횟수별 운행 가능 노선수 및 대수는 다음과 같음

- 전일(심야충전)일 때 37개 노선(23.7%), 214대(11.5%)가 가능함. 반일(중간충전)일 때 143개 노선(91.7%), 1,735대(93.2%)에서 운행 가능하며, 2회당 1번 충전일 때 146개 노선(93.6%), 1,751대(94.1%)에서 전기버스 도입이 가능함. 매회 충전일 때 준공영제 시행 전체 노선 충전 가능함

○ 잔량 20%일 경우, 240kWh 배터리 용량으로 1회 충전운행거리는 240km임. 각 노선별 전기버스 운행 가능 노선수 및 대수는 전일(심야충전)일 때 64개 노선(41.0%), 494대(26.5%)이며, 반일(중간

충전)일 때 150개 노선 (96.2%), 1,802대(96.8%)에서 전기버스 운행이 가능함. 2회당 1번 충전일 때 148개 노선(94.9%), 1,771대(95.2%)에서 가능함. 매회 충전일 때 준공영제 시행 전체 노선에서 가능함

○ 잔량 10%일 경우, 270kWh 배터리 용량으로 1회 충전 운행거리는 270km임. 각 노선별 전기버스 운행 가능 노선수 및 대수는 전일(심야충전)일 때 108개 노선(69.2%), 1,176대(63.2%)이며, 반일(중간충전)일 때 152개 노선(97.4%), 1,824대(98.0%)에서 가능함. 2회당 1번 충전일 때 153개 노선(98.1%), 1,826대(98.1%)에서 전기버스 운행이 가능함. 매회 충전일 때 준공영제 시행 전체 노선에서 가능함

〈표 4-18〉 300kWh 수준일 때 운행 가능 노선 및 대수

구분	배터리 용량(kWh)	잔량(%)	운행 가능 노선		운행 가능 대수	
			노선수	비율(%)	가능대수	비율(%)
전일 (심야충전)	300	30%	37	23.7%	214	11.5%
		20%	64	41.0%	494	26.5%
		10%	108	69.2%	1176	63.2%
반일 (중간충전)	300	30%	143	91.7%	1735	93.2%
		20%	150	96.2%	1802	96.8%
		10%	152	97.4%	1824	98.0%
2회당 1번 충전	300	30%	146	93.6%	1751	94.1%
		20%	148	94.9%	1771	95.2%
		10%	153	98.1%	1826	98.1%
매회 충전	300	30%	156	100.0%	1861	100.0%
		20%	156	100.0%	1861	100.0%
		10%	156	100.0%	1861	100.0%

3) 충전시간에 따른 추가 증차 대수

추가 증차 대수 산정방법

○ 전기버스 도입시 충전시간이 길어지고, 충전횟수가 많아질수록 하루 중 운영시간 동안 시민들에게 제공되는 운행횟수가 줄어들고, 배차시간이 증가할 수 있음

- 전기버스 도입 이전 수준의 대시민 시내버스 서비스 수준을 충족시키기 위해서 추가 운행 대수 도입이 필요함

○ 충전시간은 전기버스의 배터리 용량(kWh)에 대해 충전기의 전력 크기(kW)에 따라 결정됨. 충전기의 전력 크기는 완속충전기(80kW)와 급속충전기(300kW)로 설정하고, 전기버스 전비를 1.0㎞/kWh, 전기버스 배터리 용량을 100kWh, 200kWh, 300kWh로 구분하고, 배터리 잔량은 30%, 20%, 10%로 구분함

○ 배터리 충전횟수를 주간 1회(반일 중간충전), 노선거리(왕복) 1회당 1회 충전, 노선거리(왕복) 2회당 1회 충전으로 구분하고, 충전 시 충전기 전력 크기별 충전시간을 계산하고, 하루 중 운영시간에서 충전시간을 뺀 실제 전기버스 1일 운영시간을 산출함

- 전기버스 1일 운영시간은 인천시내버스 운행계통을 통해 산출한 첫차-막차 운행시간에서 휴게 시간을 고려한 전기버스 충전시간을 뺀 시간을 의미함
- 전기버스 충전시간의 경우 충전할 때마다 완전충전하는 것이 아니라 첫차 출발 시에만 완충된 배터리로 운행하고, 이후부터는 노선 운행거리만큼 충전하는 것으로 정하였고, 간선, 좌석, 지선별 노선거리에 따른 정해진 휴게 시간을 계산에 반영함

○ 전기버스 추가 증차 대수 산출식은 아래와 같음

■ 전기버스 추가 증차 대수 $= -\frac{\text{면허대수} \times \text{1일 운행시간}}{\text{전기버스 1일 운행시간}} - \text{면허대수}$

- 1일 운행시간=막차 시간-첫차 시간
- 전기버스 1일 운행시간=실제 운행시간-전기버스 충전시간
  - 전기버스 충전시간은 휴게 시간보다 충전시간이 오래 걸릴 경우만 계산함

가) 완속충전기(80kW)

100kWh 수준(준공영제 시행 노선 156개, 1,861대)

○ 전지팩 용량의 30%를 잔량으로 남겨두고, 완속충전기(80kW)로 충전시 노선별 운영 시간 동안 운전자 휴게 시간 외 추가 충전시간으로 인한 대시민 서비스 불편개선을 위해 해당 노선의 증차가 필요함

- 완속충전기로 작은 배터리 용량을 갖는 전기버스에 충전할 경우, 충전횟수에 따라 운행 가능 노선이 결정됨. 즉, 충전횟수가 많을수록 운행 가능 노선이 많아지고, 적을수록 운행 가능 노선이 감소함. 충전시간이 상대적으로 짧을 경우, 증차대상 노선도 적음.
- 반일(중간충전)시 3개 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 증차 대상노선 및 증차대수 없음. 2회당 1번 충전일 때 71개 노선에서 전기버스 운행 가능하며, 2개 노선에서 2대 증차가 필요한 것으로 분석됨. 매회 충전일 때 전기버스 운행 가능 노선은 129개 노선이며, 완속충전에 따라 25개 노선에서 총 26대 증차 필요함

○ 잔량 20% 기준, 증차대상 노선수 및 추가 증차 대수는 반일(중간충전)시 4개 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 추가 증차대상 노선이 필요 없음. 2회당 1번 충전시 79개 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 3개 노선에서 총 3대의 증차가 필요함. 매회 충전일 때 136개 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 31개 노선에서 총 37대 증차가 필요한 것으로 분석됨

○ 잔량 10%일 경우, 증차대상 노선수 및 추가 증차 대수는 반일(중간충전)시 7개 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 증차대상 노선 및 추가 증차 대수 없음

〈표 4-19〉 100kWh 수준일 때 증차대상 노선 및 대수

구분	배터리 용량(kWh)	잔량(%)	증차대상 노선	동일 서비스 운행 시
			노선수	증차대수
반일 (중간충전)	100	30%	0	0
		20%	0	0
		10%	0	0
2회당 1번 충전	100	30%	2	2
		20%	3	3
		10%	5	5
매회 충전	100	30%	25	26
		20%	31	37
		10%	35	47

- 2회당 1번 충전일 때 86개 노선에서 전기버스 운행 가능하며, 5개 노선에서 총 5대 증차 필요함. 매회 충전일 때 141개 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 35개 노선에서 총 47대 증차 필요함

200kWh 수준(준공영제 시행 노선 156개, 1,861대)

○ 전지팩 용량의 30%를 잔량으로 할 경우, 200kWh 충전 시 노선별 운영시간 동안 운전자 휴게 시간 외 추가 충전시간으로 인한 대시민 서비스 불편개선을 위한 증차대상 노선수 및 추가 증차 대수는 다음과 같음

- 완속충전기(80kW)로 반일(중간충전)일 때 122개 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 54개 노선에서 총 65대 증차가 필요함. 2회당 1번 충전일 때 129개 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 28개 노선에서 총 29대 증차가 필요함. 매회 충전일 때 153개 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 45개 노선에서 총 73대 증차가 필요함

○ 잔량 20% 기준, 증차대상 노선수 및 추가 증차 대수는 반일(중간충전)일 때 135개 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 50개 노선에서 총 59대 증차가 필요함. 2회당 1번 충전일 때 136개 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 19개 노선에서 총 26대 증차가 필요함. 매회 충전일 때 156개 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 48개 노선에서 총 83대 증차 필요함

○ 잔량 10% 기준, 증차대상 노선수 및 추가 증차 대수는 반일(중간충전)일 때 138개 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 35개 노선에서 총 39대 증차 필요함. 2회당 1번 충전일 때 141개 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 17개 노선에서 총 23대 증차 필요함. 매회 충전일 때 모든 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 48개 노선에서 총 83대 증차가 필요함

〈표 4-20〉 200kWh 수준일 때 증차대상 노선 및 대수

구분	배터리용량(kWh)	잔량(%)	증차대상 노선	동일 서비스 운행 시
			노선수	증차대수
반일 (중간충전)	200	30%	54	65
		20%	50	59
		10%	35	39
2회당 1번 충전	200	30%	28	29
		20%	19	26
		10%	17	23
매회 충전	200	30%	45	73
		20%	48	83
		10%	48	83

300kWh 수준(준공영제 시행 노선 156개, 1,861대)

○ 전지팩 용량의 30%를 잔량으로 할 경우, 300kWh 충전 시 노선별 운영시간 동안 운전자 휴게 시간 외 추가 충전시간으로 인한 대시민 서비스 불편개선을 위한 증차대상 노선수 및 추가 증차 대수는 다음과 같음

- 완속충전기(80kW)로 300kWh 전지팩 용량을 갖는 전기버스에 충전할 경우, 반일(중간충전)일 때 143개 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 13개 노선에서 총 14대 증차가 필요함. 2회당 1번 충전일 때 146개 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 13개 노선에서 총 17대 증차가 필요함. 매회 충전일 때 모든 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 48개 노선 총 83대 증차가 필요함

○ 잔량 20% 기준, 증차대상 노선수 및 추가 증차 대수는 반일(중간충전)일 때 150개 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 12개 노선에서 총 15대 증차가 필요함. 2회당 1번 충전일 때 148개 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 10개 노선에서 총 12대 증차가 필요함. 매회 충전일 때 모든 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 48개 노선에서 총 83대 증차가 필요함

○ 잔량 10% 기준, 증차대상 노선수 및 추가 증차 대수는 반일(중간충전)일 때 152개 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 10개 노선에서 총 14대 증차가 필요함. 2회당 1번 충전일 때 153개 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 9개 노선 총 16대 증차가 필요함. 매회 충전일 때 모든 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 48개 노선에서 총 83대 증차가 필요함

〈표 4-21〉 300kWh 수준일 때 증차대상 노선 및 대수

구분	배터리용량(kWh)	잔량(%)	증차대상 노선	동일 서비스 운행 시
			노선수	증차대수
반일 (중간충전)	300	30%	13	14
		20%	12	15
		10%	10	14
2회당 1번 충전	300	30%	13	17
		20%	10	12
		10%	9	16
매회 충전	300	30%	48	83
		20%	48	83
		10%	48	83

나) 급속충전(300kW)

300kWh 수준(준공영제 시행 노선 156개, 1,861대)

○ 급속충전기(300kW)로 전기버스를 충전할 경우, 충전횟수와 충전시간에 상관없이 거의 모든 노선에서 운전자 휴게 시간 내에서 차량 충전이 완료됨에 따라 추가 증차 대수가 필요한 노선 없이 현재와 같은 대시민 서비스 수준을 유지할 수 있음. 배터리 용량 100kWh, 200kWh 수준일 때, 증차대상 노선 및 증차 대수 없음

○ 다만, 2회당 1번 충전일 시 잔량 10% 기준으로 153개 노선에서 전기버스 운행이 가능하며, 1개 노선에서 총 1대 추가 증차가 필요한 것으로 분석됨. 매회 충전 시 배터리 잔량에 상관없이 모든 노선이 운행 가능하며, 추가 증차 대수가 필요한 노선이 없는 것으로 분석됨

〈표 4-22〉 300kWh 수준일 때 증차대상 노선 및 대수

구분	배터리용량(kWh)	잔량(%)	증차대상 노선	동일 서비스 운행 시
			노선수	증차대수
반일 (중간충전)	300	30%	0	0
		20%	0	0
		10%	0	0
2회당 1번 충전	300	30%	0	0
		20%	0	0
		10%	1	1
매회 충전	300	30%	0	0
		20%	0	0
		10%	0	0

완속충전(80kW)과 급속충전(100kW) 시 추가 증차 대수 비교

○ 완속충전이 급속충전에 비해서 충전시간이 많이 소요됨에 따라 전기버스 대당 1일 총 운행시간이 짧아지고, 추가 증차대수를 통해 전기버스 도입이전과 동일한 서비스 제공이 가능하도록 해야 함을 확인

- 완속충전기를 이용할 경우, 최대 추가 증차대수가 발생한 경우는 300kWh급 배터리 전기버스가 "매회 충전"방식으로 이용할 경우 발생하는 것으로 확인
- 급속충전기를 이용할 경우, 회당 운행거리가 긴 일부 특이노선을 제외하고, 반일(중간충전), 2회당 1회 충전, 매회 충전 등 모든 충전방식과 100~300kWh급 배터리 용량 모든 전기버스에서 추가 증차 없이 전기버스 운행이 가능

〈표 4-23〉 충전방식별 추가 증차 대수

배터리용량	구분	잔량(%)	완속충전		급속충전	
			증차대수	비율(%)	증차대수	비율(%)
100kWh	반일 (중간충전)	30%	0	0.0	0	0.0
		20%	0	0.0	0	0.0
		10%	0	0.0	0	0.0
	2회당 1번 충전	30%	2	0.1	0	0.0
		20%	3	0.2	0	0.0
		10%	5	0.3	0	0.0
	매회 충전	30%	26	1.4	0	0.0
		20%	37	2.0	0	0.0
		10%	47	2.5	0	0.0
200kWh	반일 (중간충전)	30%	65	3.5	0	0.0
		20%	59	3.2	0	0.0
		10%	39	2.1	0	0.0
	2회당 1번 충전	30%	29	1.6	0	0.0
		20%	26	1.4	0	0.0
		10%	23	1.2	0	0.0
	매회 충전	30%	73	3.9	0	0.0
		20%	83	4.5	0	0.0
		10%	83	4.5	0	0.0
300kWh	반일 (중간충전)	30%	14	0.8	0	0.0
		20%	15	0.8	0	0.0
		10%	14	0.8	0	0.0
	2회당 1번 충전	30%	17	0.9	0	0.0
		20%	12	0.6	0	0.0
		10%	16	0.9	1	0.1
	매회 충전	30%	83	4.5	0	0.0
		20%	83	4.5	0	0.0
		10%	83	4.5	0	0.0

4. 인천지역 전력공급여건 및 전기버스 전력 부하

○ 한국전력공사 인천지역본부의 전력공급능력은 7,560MW, 전력설비용량은 10,450MW 수준임. 2017년~2018년 9월 말 기간 중 최대부하전력은 2018년 2월 7,096MW(공급 예비율 : 6.1%, 설비예비율 : 32.1%)임

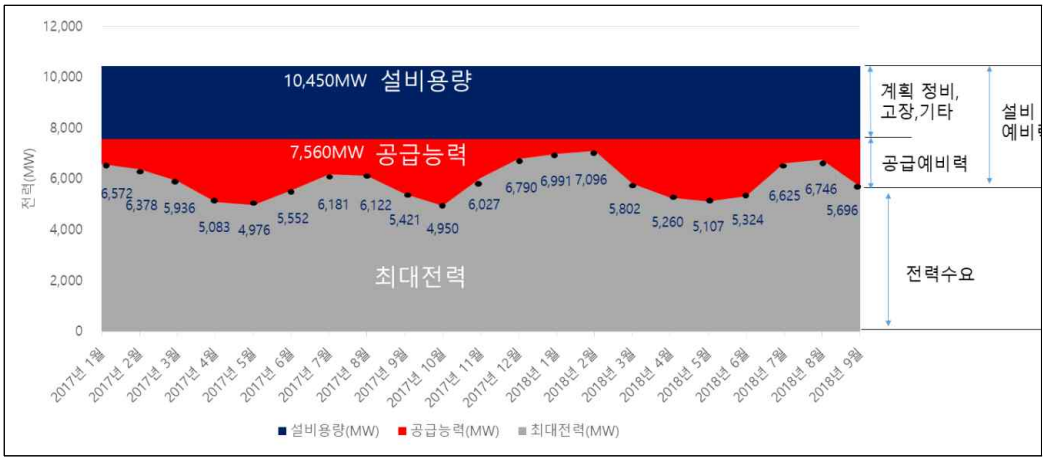
○ 준공영제 시내버스 1,861대에 500kW충전기 1,861기로 동시급속충전을 하는 경우, 최대부하 전력 발생시점에 전력을 공급하더라도 소요되는 총 전력부하는 930.5MW수준으로 설비예비력과 공급예비력 범위내에서 전력공급이 가능함

- 동시급속충전시 소요전력 : 1,861 × 500kW = 930.5MW

〈표 4-24〉 인천지역 최대전력 현황(2017년~2018년)

2017년	최대전력(MW)	2018년	최대전력(MW)	비고
2017년 1월	6,572	2018년 1월	6,991	
2017년 2월	6,378	2018년 2월	7,096	
2017년 3월	5,936	2018년 3월	5,802	
2017년 4월	5,083	2018년 4월	5,260	
2017년 5월	4,976	2018년 5월	5,107	설비용량(MW) :10,450
2017년 6월	5,552	2018년 6월	5,324	
2017년 7월	6,181	2018년 7월	6,625	공급능력(MW) : 7,560
2017년 8월	6,122	2018년 8월	6,746	
2017년 9월	5,421	2018년 9월	5,696	
2017년 10월	4,950	2018년 10월	-	
2017년 11월	6,027	2018년 11월	-	
2017년 12월	6,790	2018년 12월	-	

자료 : 한국전력공사(KEPCO) 인천지역본부, 『2017년~2018년 최대부하전력현황』



〈그림 4-12〉 인천지역 전력 설비용량, 공급능력 및 최대전력 현황

5. 전기버스 사업 버스운송업체 설문 조사[29)]

1) 조사개요

○ 정부의 친환경 정책의 일환으로 친환경 자동차에 대한 관심이 증대되고 있으며, 대기오염 물질 저감 및 연료비, 차량정비비의 절감효과 기대

○ 본 조사는 인천시 버스운송업체의 전기버스 도입의사, 도입여건 및 선호전략을 조사 분석하여, 관력정책 수립에 반영하고자 함

○ 인천시 준공영제 32개 업체를 대상으로 조사를 실시하였으며, 전기버스 사업 업체 설문조사에 미온적인 6개 업체(강인교통, 강인여객, 미래교통, 신화여객, 영풍운수, 청라교통)를 제외한 26개 업체의 유효표본으로 분석함

〈표 4-25〉 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 여건조사 개요

구 분	내 용
조사 목적	인천시 전기버스 도입여건 조사
조사 기간	2018.10.25.(금)~2018.11. 9.(금)
조사 대상	인천시 준공영제 시내버스운송사업자(32개 업체)
유효 표본	26개 업체(6개 업체 미제출)
조사 내용	**전기버스 도입 의사** : 도입검토 여부, 도입취지 및 필요성, 회사 이익에 부합여부 **전기버스 도입여건 및 선호전략** : 기대편익, 장애요인(업체사정, 정부정책), 최초 도입 가능 년도, 도입계획 선호전략, 충전소 운영 선호전략, 운행관리상 허용가능 충전회수, 차량조건 중요도

29) 본 설문조사는 협력연구기관인 경기연구원(수도권 전기버스 도입확대 방안 연구)과 논의된 공통 설문항목으로 시행하였음

2) 전기버스 도입 의사

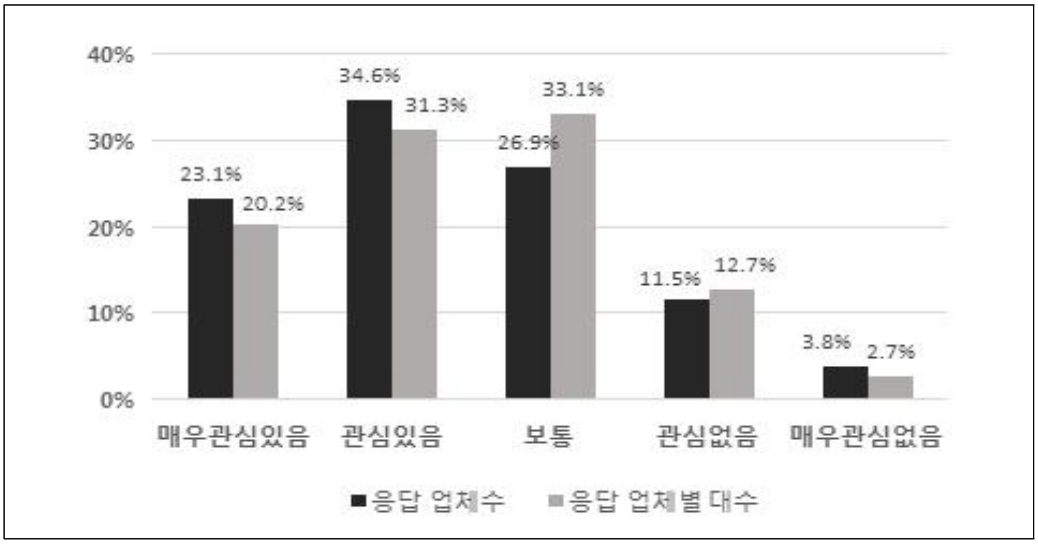
도입 검토 여부

○ 인천시 준공영제 버스운송업체의 전기버스 도입의사는 22개 업체, 84.6%가 보통이상의 긍정적인 응답을 했으며, 4개 업체가 부정적으로 응답함

○ 응답업체가 보유한 버스대수에 따라 환산하면 전체 1,563대 중 1,322대, 84.6%가 보통이상의 긍정적인 응답을 보임

〈표 4-26〉 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 의사

구분		응답	비율(%)
응답 업체수	매우관심있음	6	23.1
	관심있음	9	34.6
	보통	7	26.9
	관심없음	3	11.5
	매우관심없음	1	3.8
	합계	26	100.0
응답 업체별 대수	매우관심있음	316	20.2
	관심있음	489	31.3
	보통	517	33.1
	관심없음	199	12.7
	매우관심없음	42	2.7
	합계	1,563	100.0



〈그림 4-13〉 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 의사

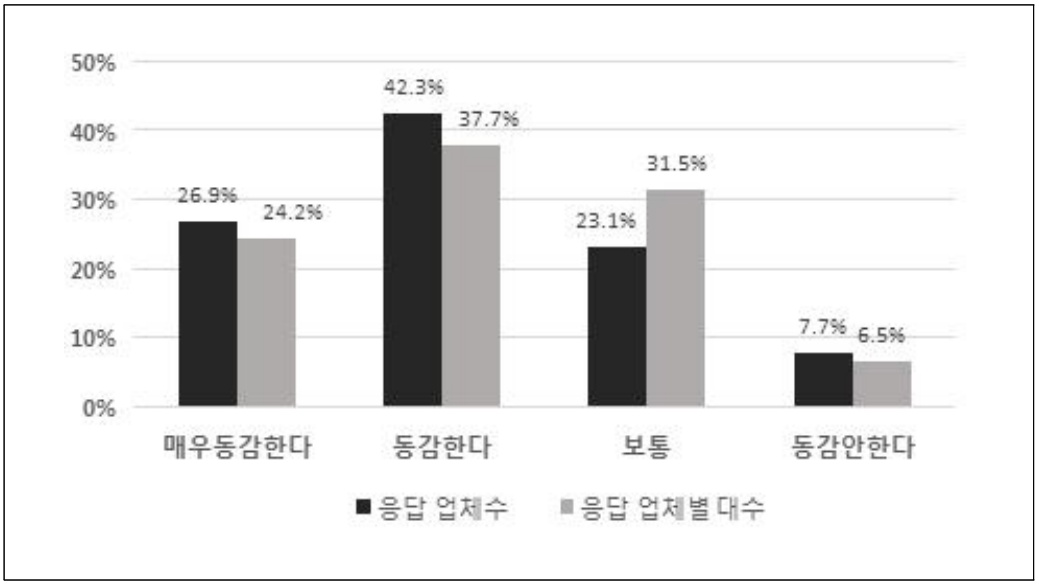
도입취지 및 필요성 동감 여부

○ 전기버스 도입 취지 및 필요성 동감 여부는 24개 업체, 92.3%가 보통이상의 긍정적 응답을 하였고, 도입의사가 부정적이었던 4개 업체 중 2개업체가 도입 취지에 동감하는 것으로 나타남

○ 버스대수로 환산할 경우 1,462대, 93.4%가 긍정적으로 응답함

〈표 4-27〉 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입취지 및 필요성 동감 여부

구분		응답	비율(%)
응답 업체수	매우동감한다	7	26.9
	동감한다	11	42.3
	보통	6	23.1
	동감안한다	2	7.7
	매우동감안한다	0	0.0
	합계	26	100.0
응답 업체별 대수	매우동감한다	379	24.2
	동감한다	590	37.7
	보통	493	31.5
	동감안한다	101	6.5
	매우동감안한다	0	0.0
	합계	1,563	100.0



〈그림 4-14〉 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입취지 및 필요성 동감 여부

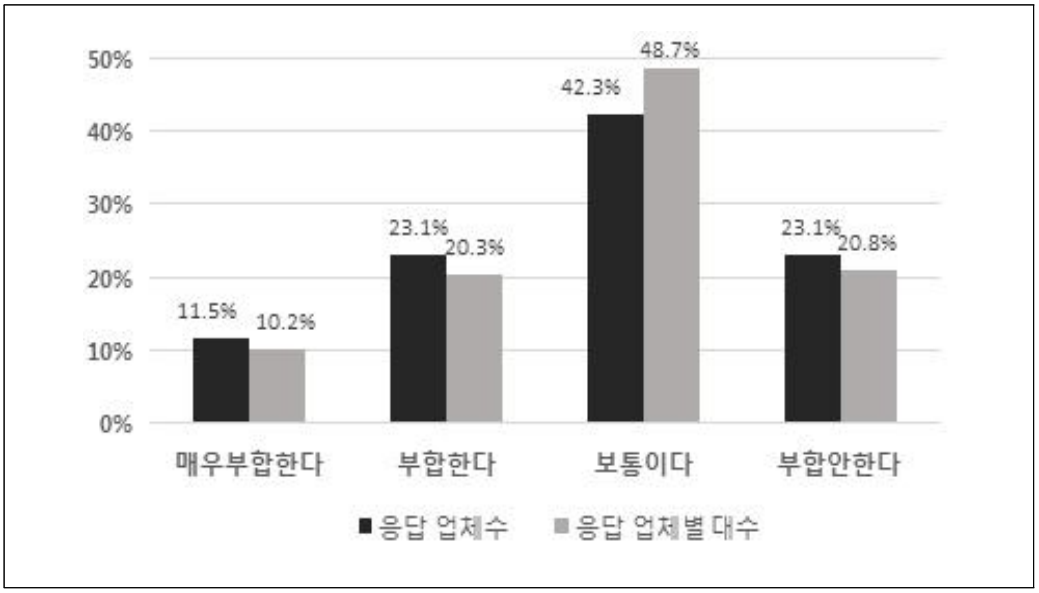
회사 이익에 부합 여부

○ 전기버스 도입이 회사 이익에 부합하는지 여부는 20개 업체, 76.9%가 보통이상의 긍정적 응답을 하였고, 도입의사가 부정적이었던 4개 업체에서 2개 업체가 추가로 부정적으로 응답

○ 버스대수로 환산할 경우 1,238대, 79.2%가 긍정적으로 응답함

〈표 4-28〉 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입시 회사이익 부합 여부

구분		응답	비율(%)
응답 업체수	매우부합한다	3	11.5
	부합한다	6	23.1
	보통이다	11	42.3
	부합안한다	6	23.1
	매우부합안한다	0	0.0
	합계	26	100.0
응답 업체별 대수	매우부합한다	159	10.2
	부합한다	318	20.3
	보통이다	761	48.7
	부합안한다	325	20.8
	매우부합안한다	0	0.0
	합계	1,563	100.0



〈그림 4-15〉 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입시 회사이익 부합 여부

3) 전기버스 도입 인프라 여건 및 선호전략

기대 편익

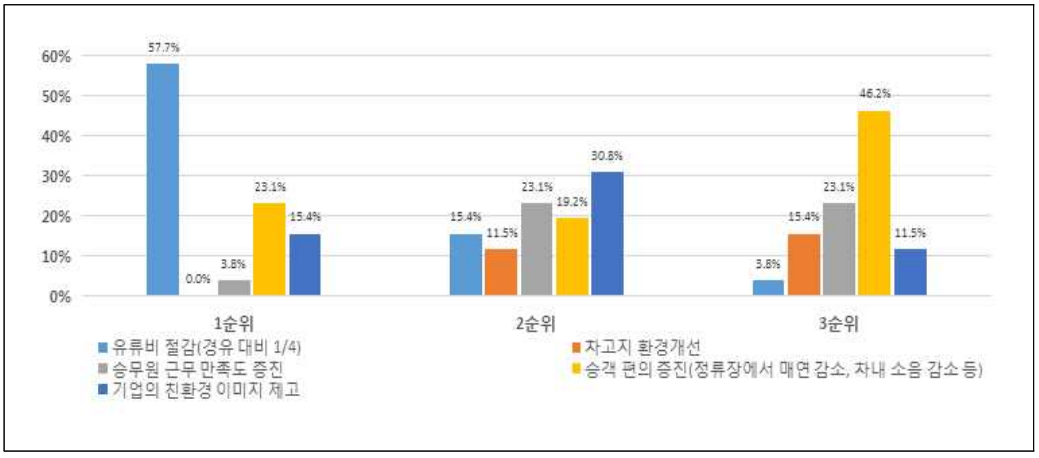
○ 인천시 준공영제 버스운송업체의 전기버스 기대편익 우선순위는 ① 유류비 절감, ② 승객 편의 증진, ③ 기업의 친환경 이미지 제고 순으로 산정함

○ 종합순위 1위인 유류비 절감은 1순위 응답 중 57.7%로 절반 이상의 업체가 유류비 절감을 기대 편익으로 생각하고 있음

〈표 4-29〉 준공영제 버스운송업체 전기버스 기대 편익

구분	종합 순위	1순위		2순위		3순위	
		응답	비율(%)	응답	비율(%)	응답	비율(%)
유류비 절감(경유 대비 1/4)	1	15	57.7	4	15.4	1	3.8
차고지 환경개선	5	0	0.0	3	11.5	4	15.4
승무원 근무 만족도 증진	4	1	3.8	6	23.1	6	23.1
승객 편의 증진 (정류장에서 매연 감소, 차내 소음 감소 등)	2	6	23.1	5	19.2	12	46.2
기업의 친환경 이미지 제고	3	4	15.4	8	30.8	3	11.5
합계	-	26	100.0	26	100.0	26	100.0

주 : 종합순위는 각 순위별 가중평균 적용



〈그림 4-16〉 준공영제 버스운송업체 전기버스 기대 편익

도입 장애 요인(회사 사정)

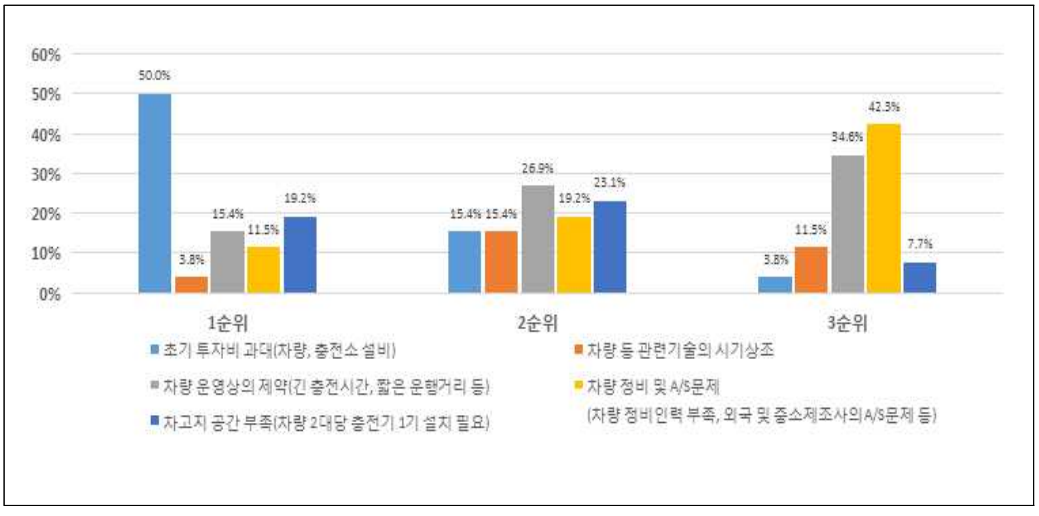
○ 인천시 준공영제 버스운송업체의 전기버스 도입시 회사사정에 따른 장애 요인은 ① 초기 투자비 과대, ② 차량 운영상의 제약, ③ 차량 정비 및 A/S문제 순으로 분석됨

○ 종합 1순위인 초기 투자비 과대의 1순위 응답은 13개 업체, 50.0%, 2순위인 차량 운영상의 제약은 4개 업체, 15.4%로 산정됨

〈표 4-30〉 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 장애요인(회사 사정)

구분	종합 순위	1순위		2순위		3순위	
		응답	비율(%)	응답	비율(%)	응답	비율(%)
초기 투자비 과대 (차량, 충전소 설비)	1	13	50.0	4	15.4	1	3.8
차량 등 관련기술의 시기상조	5	1	3.8	4	15.4	3	11.5
차량 운영상의 제약 (긴 충전시간, 짧은 운행거리 등)	2	4	15.4	7	26.9	9	34.6
차량 정비 및 A/S문제 (차량정비인력부족,외국및중소 제조사의A/S문제등)	3	3	11.5	5	19.2	11	42.3
차고지 공간 부족 (차량 2대당 충전기 1기 설치 필요)	4	5	19.2	6	23.1	2	7.7
합계	-	26	100.0	26	100.0	26	100.0

주 : 종합순위는 각 순위별 가중평균 적용



〈그림 4-17〉 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 장애요인(회사사정)

도입 장애 요인(정부정책)

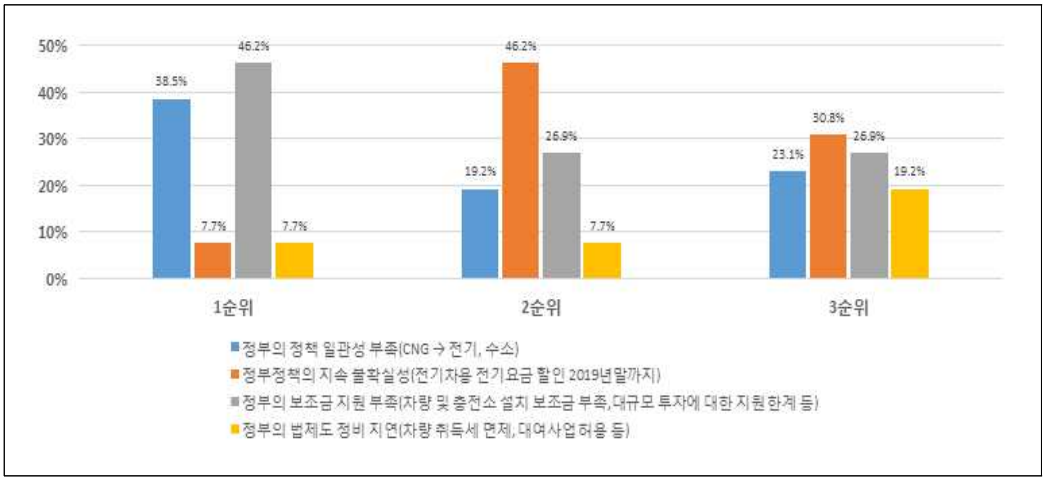
○ 인천시 준공영제 버스운송업체의 전기버스 도입시 정부정책에 따른 장애 요인은 ① 정부의 보조금 지원 부족, ② 정부의 정책 일관성 부족, ③ 정부정책의 지속 불확실성 순으로 분석됨

○ 종합 1순위인 정부 보조금 지원 부족의 1순위 응답은 12개 업체, 46.2%, 2순위인 정책 일관성 부족은 38.5%로 다른 요인에 비해 많은 격차를 보임

〈표 4-31〉 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 장애요인(정부정책)

구분	종합 순위	1순위		2순위		3순위	
		응답	비율(%)	응답	비율(%)	응답	비율(%)
정부의 정책 일관성 부족 (CNG →전기, 수소)	2	10	38.5	5	19.2	6	23.1
정부정책의 지속 불확실성 (전기차용 전기요금 할인 2019년말까지)	3	2	7.7	12	46.2	8	30.8
정부의 보조금 지원 부족 (차량 및 충전소 설치 보조금 부족,대규모 투자에 대한 지원 한계 등)	1	12	46.2	7	26.9	7	26.9
정부의 법제도 정비 지연 (차량 취득세 면제, 대여사업 허용 등)	4	2	7.7	2	7.7	5	19.2
합계	-	26	100.0	26	100.0	26	100.0

주 : 종합순위는 각 순위별 가중평균 적용



〈그림 4-18〉 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 장애요인(정부정책)

최초 도입 가능년도(인프라 여건 개선을 전제로)

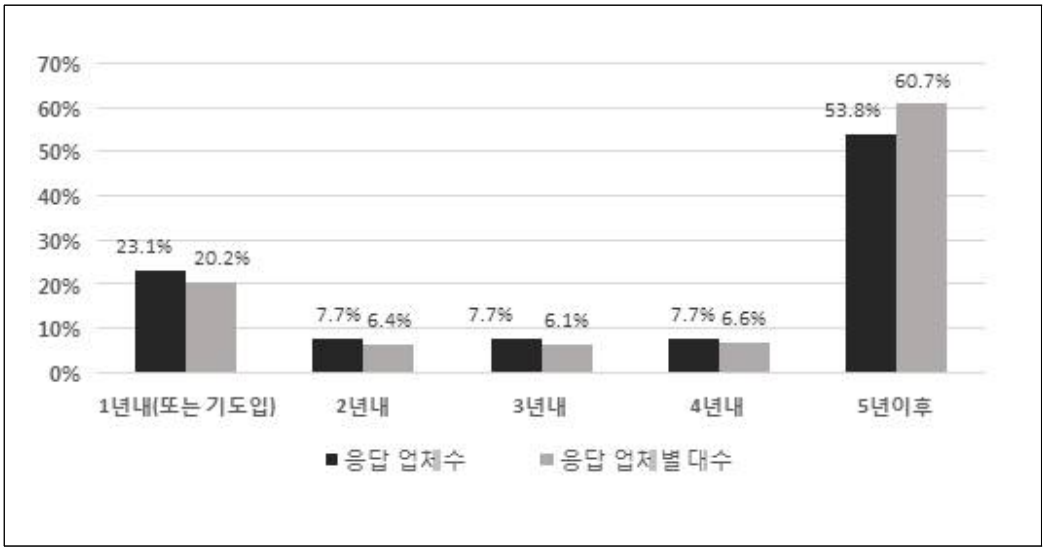
○ 인천시 준공영제 버스운송업체의 전기버스 최초 도입 가능년도(도입여건 개선 전제)는 14개 업체, 53.8%가 5년 이후로 응답함

○ 구체적으로 1년 이내(또는 기도입) 23.1%, 2년에서 4년이내가 각 7.7%로 응답함

○ 응답 업체별 버스대수로 환산할 경우 949대, 60.7%가 5년 이후에 도입 가능할 것으로 응답함

〈표 4-32〉 준공영제 버스운송업체 전기버스 최초 도입 가능년도

구분		응답	비율(%)
응답 업체수	1년내(또는 기도입)	6	23.1%
	2년내	2	7.7%
	3년내	2	7.7%
	4년내	2	7.7%
	5년이후	14	53.8%
	합계	26	100.0%
응답 업체별 대수	1년내(또는 기도입)	315	20.2%
	2년내	100	6.4%
	3년내	96	6.1%
	4년내	103	6.6%
	5년이후	949	60.7%
	합계	1,563	100.0%



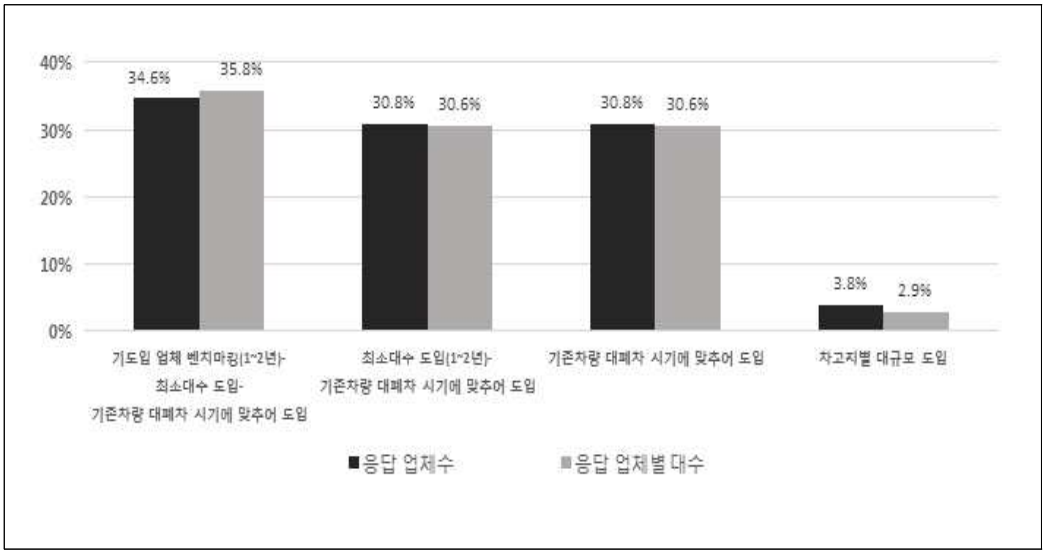
〈그림 4-19〉 준공영제 버스운송업체 전기버스 최초 도입 가능년도(도입여건 개선 전제)

도입 계획 선호전략

○ 인천시 준공영제 버스운송업체의 전기버스 도입계획 선호 전략은 ① 기도입 업체 벤치마킹(1~2년)-최소대수 도입-기존차량 대폐차 시기에 맞추어 도입(9개 업체, 34.6%), ② 최소대수 도입(1~2년)-기존차량 대폐차 시기에 맞추어 도입(8개 업체, 30.8%), 기존차량 대폐차 시기에 맞추어 도입(8개 업체, 30.8%) 순으로 응답함

〈표 4-33〉 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 계획 선호전략

구분		응답	비율(%)
응답 업체수	기도입 업체 벤치마킹(1~2년)-최소대수도입-기존차량대폐차시기에맞추어도입	9	34.6
	기도입 업체 벤치마킹(1~2년)-최소대수도입-차고지별대규모도입	0	0.0
	기도입 업체 벤치마킹(1~2년)-차고지별대규모도입	0	0.0
	최소대수 도입(1~2년)-기존차량대폐차시기에맞추어도입	8	30.8
	최소대수 도입(1~2년)-차고지별대규모도입	0	0.0
	기존차량 대폐차 시기에 맞추어 도입	8	30.8
	차고지별 대규모 도입	1	3.8
	합계	26	100.0



〈그림 4-20〉 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 계획 선호전략

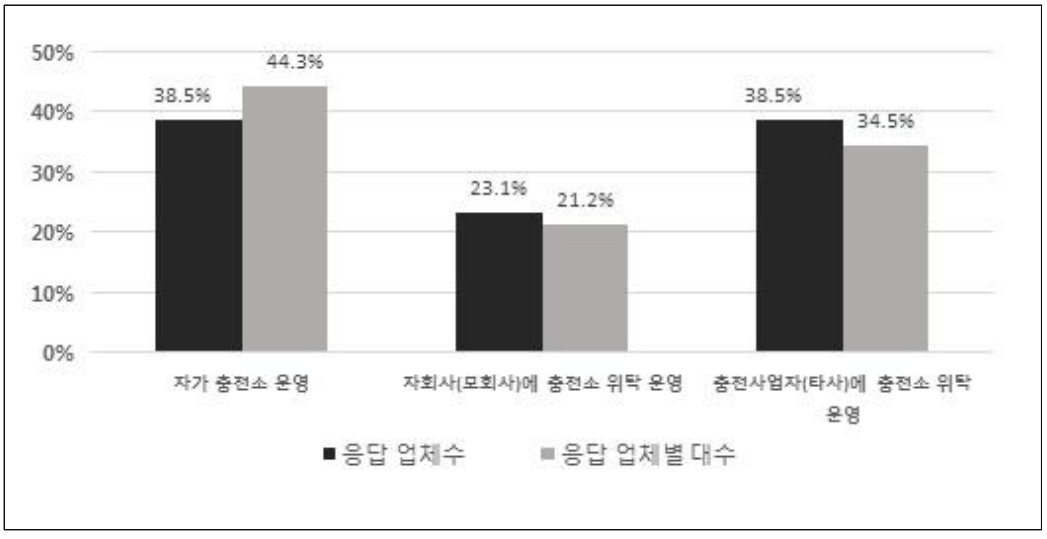
충전소 운영 선호전략

○ 인천시 준공영제 버스운송업체의 전기버스 도입 시 충전소 운영 선호전략은 ① 자가 충전소 운영(10개 업체, 38.5%), 충전사업자(타사)에 충전소 위탁 운영(10개 업체, 38.5%) 순으로 응답함

○ 응답 업체의 버스대수로 환산할 경우 ① 자가 충전소 운영(692대, 44.3%), ② 충전사업자(타사)에 충전소 위탁 운영(540대, 34.5%)으로 규모가 큰 업체일수록 자가 충전소 운영을 선호하는 것으로 나타남

〈표 4-34〉 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입시 충전소 운영 선호전략

구분		응답	비율(%)
응답 업체수	자가 충전소 운영	10	38.5
	자회사(모회사)에 충전소 위탁 운영	6	23.1
	충전사업자(타사)에 충전소 위탁 운영	10	38.5
	합계	26	100.0
응답 업체별 대수	자가 충전소 운영	692	44.3
	자회사(모회사)에 충전소 위탁 운영	331	21.2
	충전사업자(타사)에 충전소 위탁 운영	540	34.5
	합계	1,563	100.0



〈그림 4-21〉 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입시 충전소 운영 선호전략

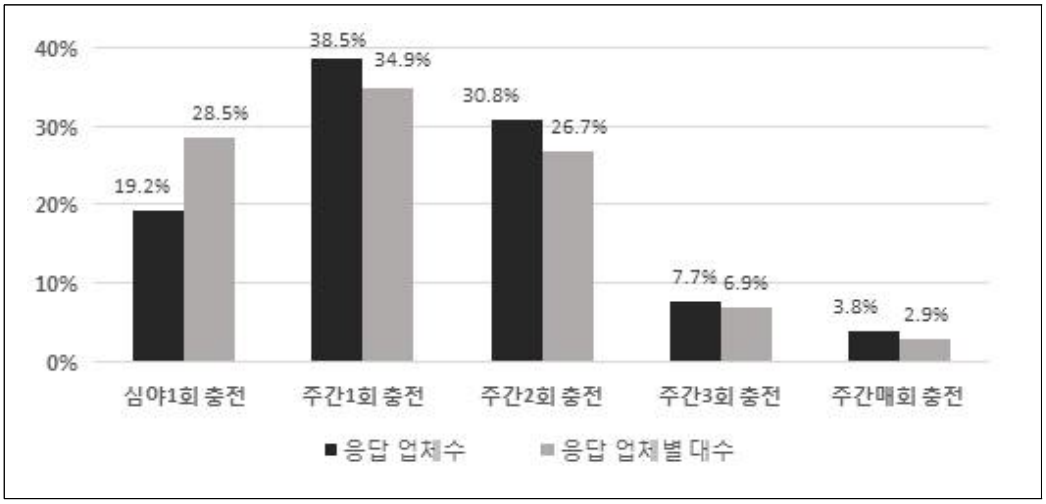
운행관리상 허용 가능 충전 회수

○ 인천시 준공영제 버스운송업체의 전기버스 도입 시 운행관리상 허용가능 충전회수는 ① 주간1회 충전(10개 업체, 38.5%), ② 주간2회 충전(8개 업체, 30.8%), ③ 심야1회 충전(5개 업체, 19.2%) 순으로 나타남

○ 응답 업체의 버스대수로 환산할 경우 ① 주간1회 충전(545대, 34.9%), ② 심야1회 충전(446대, 28.5%), ③ 주간2회 충전(418대, 26.7%) 순으로 배터리의 용량을 큰 것을 사용하여, 충전회수를 줄이는 전략을 선호하는 것으로 판단됨

〈표 4-35〉 준공영제 버스운송업체 운행관리상 전기버스 충전회수

구분		응답	비율(%)
응답 업체수	심야1회 충전	5	19.2
	주간1회 충전	10	38.5
	주간2회 충전	8	30.8
	주간3회 충전	2	7.7
	주간매회 충전	1	3.8
	합계	26	100.0
응답 업체별 대수	심야1회 충전	446	28.5
	주간1회 충전	545	34.9
	주간2회 충전	418	26.7
	주간3회 충전	108	6.9
	주간매회 충전	46	2.9
	합계	1,563	100.0



〈그림 4-22〉 준공영제 버스운송업체 운행관리상 전기버스 충전회수

차량 선정 조건

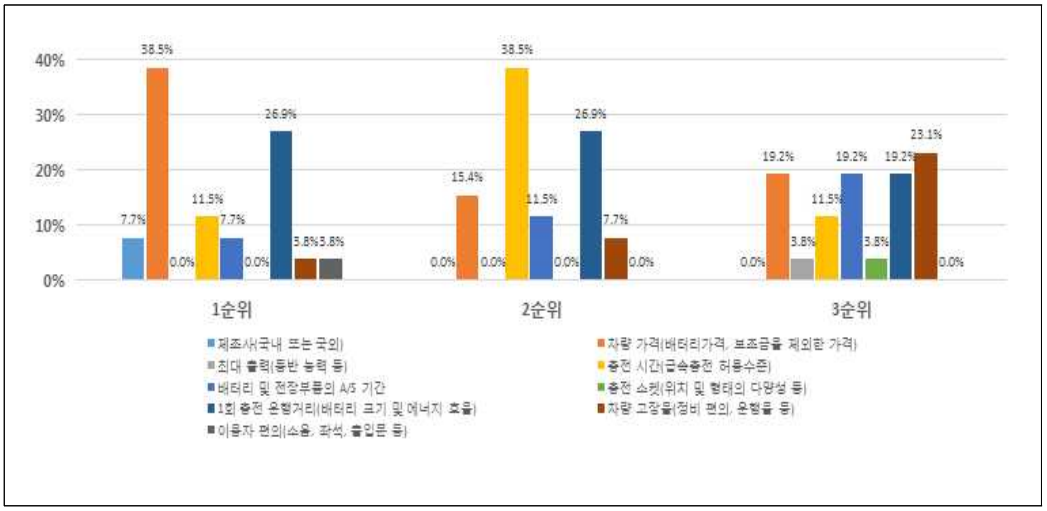
○ 인천시 준공영제 버스운송업체의 전기버스 도입 시 차량 선정 조건은 ① 1회 충전 운행거리, ② 차량 가격, ③ 충전시간 순으로 나타남

○ 종합순위 1순위인 1회 충전 운행거리의 1순위 응답은 7개 업체, 26.9%, 2순위인 차량가격은 10개 업체, 38.5%로 나타나 다른 요인과 상당한 격차를 보여 업체들의 차량 선정 조건으로 1회 충전시 운행거리 및 차량가격에 주안점을 두고 있는 것으로 나타남

〈표 4-36〉 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 차량 선정 조건

구분	종합 순위	1순위		2순위		3순위	
		응답	비율(%)	응답	비율(%)	응답	비율(%)
제조사(국내 또는 국외)	7	2	7.7	0	0.0	0	0.0
차량 가격 (배터리가격, 보조금을 제외한 가격)	2	10	38.5	4	15.4	5	19.2
최대 출력(등반 능력 등)	6	0	0.0	0	0.0	1	3.8
충전 시간(급속충전 허용수준)	3	3	11.5	10	38.5	3	11.5
배터리 및 전장부품의 A/S 기간	5	2	7.7	3	11.5	5	19.2
충전 소켓(위치 및 형태의 다양성 등)	9	0	0.0	0	0.0	1	3.8
1회 충전 운행거리 (배터리 크기 및 에너지 효율)	1	7	26.9	7	26.9	5	19.2
차량 고장율(정비 편의, 운행율 등)	4	1	3.8	2	7.7	6	23.1
이용자 편의(소음, 좌석, 출입문 등)	8	1	3.8	0	0.0	0	0.0
합계	-	26	100.0	26	100.0	26	100.0

주 : 종합순위는 각 순위별 가중평균 적용



〈그림 4-23〉 준공영제 버스운송업체 전기버스 도입 차량 선정 조건

4) 요약 및 시사점

○ 전기버스 도입 의사와 관련하여 32개 업체 중 22개 업체(1,322대)가 긍정적 의사를 보였고, 전기버스 사업 취지 및 필요성에 대해서 24개 업체(1,462대)가 긍정적 응답을 보였음. 전기버스 사업이 회사이익에 부합하는냐는 질문에 20개 업체(1,238대)가 긍정적인 응답을 하였음

○ 전기버스 도입 인프라여건 및 사업선호도 조사결과, 전기버스 사업의 기대 편익항목으로 15개 업체에서 유류비 절감을 꼽았음. 전기버스 사업의 장애요 인으로 업체 내부 관점에서 차량/충전설비 등 초기투자비 과대를 선택하였고, 정부정책 관점에서 차량 및 충전소 설비 정부 보조금의 부족을 꼽았음. 전기버스 도입 인프라 여건이 개선된다는 전제하에서 전기버스 도입 가능 연도는 14개 업체(949대)에서 5년 이후로 가장 많이 응답하였음

○ 전기버스 사업 추진전략으로 기도입 업체 벤치마킹(1~2년)후 최소대수 도입 운영하고, 순차적으로 기존 차량 대·폐차 시기에 따라 도입하는 방식을 가장 선호하는 것으로 나타남. 충전소 운영은 자가충전소운영(10개 업체), 충전사업자(타사) 충전소 위탁운영(10개 업체), 자회사(모회사)충전소 위탁 운영 등의 순으로 선호하는 것으로 나타남

○ 업체별 노선운행계통 특성상 전기버스 허용 가능 충전회수에 대해서 주간 1회 충전(10개 업체, 545대), 주간 2회 충전(8개 업체, 418대), 심야 1회 충전(5개업체 446대) 순으로 선호하는 것으로 조사됨. 전기버스 차량 선정 시 고려사항으로 1회 충전운행거리-차량가격-충전시간 순으로 나타났음

○ 정책적 시사점으로 인천지역 준공영제 시내버스업체의 전기버스 도입의사는 사업취지와 필요성에 대해서 대부분 공감하지만, 5년 이후 전기버스 사업의 안정성을 확인후 본격적인 도입의사가 있는 것으로 조사됨. 또한 전기버스 사업의 장애요인으로 차량/충전설비의 초기투자비 과다와 정부보조금의 부족을 지적하였고, 전기버스 차량선정시 1회 충전운행거리를 우선고려사항으로 꼽았음

○ 한편, 전기버스 사업 업체 설문조사에 미온적 태도를 보여 설문응답에 참여하지 않은 업체의 경우, 주로 인천국제공항을 기반으로 하는 장거리 운행노선이거나 기존 CNG충전소 사업자로서 전기버스 사업에 다소 반대의 입장을 갖는 것으로 이해됨

Ⅴ

전기버스 사업 타당성 분석

Ⅴ. 전기버스 사업 타당성 분석

1. 재무성 분석

1) 분석을 위한 가정 및 전제

○ 국내·외 사례 및 버스 시장의 전망으로 볼 때, 경유 버스 및 CNG 버스의 연료효율 및 환경성에 대한 문제로 친환경적인 무배출 차량으로 전환되고 있음

○ 현재 전기버스 충전인프라 및 차량이 상용화되기 전 단계이므로 단기간에 100% 전환은 어려운 실정이며, 우선적으로 경유 및 노후차량의 단계적인 전환이 필요함

○ 현재 인천시는 CNG 및 경유에 대한 보조금을 지급하고 있어. 전기버스의 비용절감효과를 위해서 실제발생액과 보조금을 감안한 금액으로 비교·검토함

2) 전기버스 차량 구매비용

○ 전기버스 차량 구매가격은 각 제조사 별 내부자료를 근거로 전기버스 차량가격을 산정하였고, CNG 및 경유 버스의 차량 구매가격은 2017년 인천시 버스업체들의 차량 취득가액 평균값으로 산출하였음

- 전기버스 업체별 차량은 현대 일렉시티, 대우 e_BS110, 에디슨모터스 e-FIBIRD, 우진산전 일렉트릭, BYD Ebus, 에빅 엔비온, PHOTON 그린어스 자료를 활용함
- CNG버스 차량은 뉴슈퍼에어로시티, 블루시티초저상하이브리드, 그린시티, 화이버드, 뉴퍼에어로시티, BS106 차량 취득가액을 이용하였고, 경유버스 차량은 BS090 자료를 활용함

○ 전기버스 차량가격은 4억 5,000만 원 선에서 차량 가격을 설정하였고, 각종 보조금을 감안하여 1억 2,500만 원으로 자부담가격을 설정함

- 환경부 보조금 1억 원, 국토부 및 인천시 저상버스 보조금 1억 원, 인천시에서 실가격에 50%를 지원금을 보조함

○ CNG버스 차량 가격은 1억 2,200만 원 선에서 차량가격대가 형성되었고, 저상버스는 차량 가격 2억 4,100만 원, 구매가격 1억 2,100만 원으로 자부담가격으로 설정함

- CNG 저상버스는 차종에 따라 보조금을 지원하고 있고, 2017년 평균 1억 2,000만 원의 보조금을 지원하였음

○ 경유버스 차량 가격은 9,200만 원 선에서 차량 가격 및 자부담가격이 형성되었음

○ CNG 버스 및 경유버스 대비 전기버스의 가격 차이를 살펴보면, 일반 도시표준 CNG버스 340만 원, 저상 도시표준 CNG버스 400만 원, 경유버스 3,300만 원의 가격 차이를 보임

○ 준공영제 시내버스 차량의 9년간(2019년~2028년) 단계별 대·폐차 시 전기버스 전환시 총 소요예산 6,048억 원(국비 : 3,722억 원, 지방비 : 2,326억 원)

- 2028년까지 총 1,861대 전환 통해 인천광역시 전역 전기버스 도입 가능

〈표 5-1〉 시내버스 실구매가격 및 인천광역시 보조금

(단위 : 천 원)

구분	전기버스	CNG버스		경유버스
		도시표준	저상 도시표준	
차량가격	450,000	121,583	240,821	92,263
보조금	200,000	-	119,846	-
실가격	250,000	121,583	120,975	92,263
자부담금	125,000	121,583	120,975	92,263
가격 격차	-	3,417	4,025	32,737

주 1) 전기버스 가격은 업체별 차량가격 평균(2018년)
2) CNG버스 및 경유버스 가격은 인천시 내부자료(2017년)
3) 보조금은 환경부 전기버스 보조금1억원, 그 밖에 국토부(광역시 지방비 50%매칭) 저상버스 보조금 1억원을 추가로 받을 경우(저상버스요건(연비 1.6㎞/kWh 이상, 1충전 주행거리 110㎞ 이상(60kph 정속연비) 충족해야 함
4) 전기버스 자부담금의 경우 실가격에서 인천시 지원금 50% 반영

〈표 5-2〉 인천광역시 2028년까지 전기버스 전환시 보조금 소요재원 산출

(단위 : 대, 억 원)

구분		연도										합계
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	
전환대수 (대·폐차대수)		74	118	74	111	216	229	332	284	302	121	1,861
저상 버스	국비	44	71	44	67	129	137	199	170	181	73	1,115
	지방비	44	71	44	67	129	137	199	170	181	73	1,115
	소계	88	142	88	134	258	274	398	340	362	146	2,230
전기 버스	국비	148	236	148	222	432	458	664	568	604	242	3,722
	지방비	93	148	93	139	270	286	415	355	378	151	2,326
	소계	241	384	241	361	702	744	1,079	923	982	393	6,048

3) 전기버스 연료비 절감

연료단가 산정

○ 2017년 인천시 시내버스 연료단가는 상반기 하락하는 경향을 보였으나, 7월을 기점으로 다시 상승하는 경향을 보임

○ 전기료는 현재 국내 전기차 충전서비스 시장에서 고정단가로 제공되는 173원/kWh을 전기료로 산정함

- 전기차를 충전하기 위해 이용되는 전기료는 현재 국내 전기차 충전서비스 시장에서 급속충전기를 통해 제공되는 충전요금을 반영한 값으로 2017년 1월 환경부에서 고시한 173.8원/kWh(고정단가)을 사용함

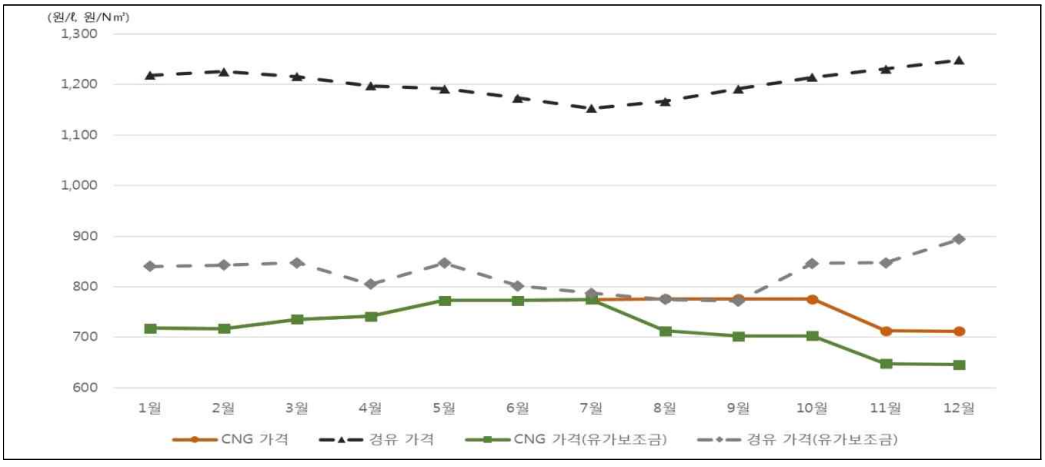
○ 유류 보조금 비적용 시 CNG 가격은 749원/Nm³, 경유 가격은 1,202원/ℓ로 산출되었고, 유류 보조금을 적용한 금액은 CNG 720원/Nm³, 경유 825원/ℓ로 분석됨

- CNG 및 경유 가격은 2017년 업체별 실제 발생한 연료사용량 및 유류비용과 인천시에서 지원하는 유류 보조금 금액임. CNG의 경우 2017년 8월 발생분부터 보조금을 지원함

〈표 5-3〉 인천시 시내버스 차량유형별 연료단가

구분	전기료 (원/kWh)	유류 보조금 미반영		유류 보조금 반영	
		CNG가격 (원/Nm³)	경유가격 (원/ℓ)	CNG가격 (원/Nm³)	경유가격 (원/ℓ)
2017년 평균	173	749	1,202	720	825

주 1) 전기료는 2017년 1월 환경부에서 고시한 173원/kWh 적용
2) CNG가격 및 경유 가격은 인천시 내부자료(2017년)



〈그림 5-1〉 2017년 인천시 CNG, 경유 단가 변화

차량연비 산정

○ 차량연비는 표준연비와 업체별로 실제 발생 된 연비로 분류하여 각각 분석함

○ 전기버스 표준연비는 1.0㎞/kWh, 실제연비는 0.8㎞/kWh로 설정함

- 전기버스 연비는 제조사별 공인연비 및 실제연비와 이전 보고서자료를 근거

○ CNG버스 표준연비는 2.09㎞/Nm³, 실제연비 2.02㎞/Nm³로 분석되었고, 경유버스 표준연비는 2.95㎞/ℓ, 실제연비 2.85㎞/ℓ로 분석됨

- CNG 및 경유 버스의 연비는 2017년 실제 운행한 노선별 운행이력과 연료사용량을 통해 산출되었고, 차종별, 계절별 가산비율을 적용해 확정한 표준연비 자료를 활용함

〈표 5-4〉 인천시내버스 차량유형별 연비

구분	전기료 연비(㎞/kWh)	CNG버스 연비(㎞/Nm³)	경유버스 연비(㎞/ℓ)
표준연비	1.0	2.09	2.95
실제연비	0.8	2.02	2.85

자료 : 인천광역시 내부자료

주 1) 표준연비는 인천시에서 확정한 2017년 표준연비 사용

2) 실제연비는 노선별 운행거리와 공차거리를 합한 주행거리를 연료사용량으로 나누어 산정

전기버스 차량 연료비 절감

○ 전기버스와 CNG 및 경유버스의 차이를 비교하기 위해 연료단가와 차량연비 분류에 따라 표준연비 및 실제연비로 구분하여 각각의 경우에 대한 재무성 분석을 검토함

○ CNG/경유 버스 차량별 1㎞당 연료비용은 표준연비 기준 전기버스 173원/㎞, CNG버스 358원/㎞, 경유버스 407.2원/㎞(유류 보조금 비적용)로 분석되었고, 유류 보조금 적용 시 CNG버스 344.2원/㎞, 경유버스 279.5원/㎞으로 분석됨

○ 실제연비 기준 1㎞당 연료비용은 전기버스 216.3원, CNG버스 370.8원/㎞, 경유버스 421.6원/㎞(유류 보조금 미반영)으로 분석되었고, 유류 보조금 적용 시 CNG버스 356.5원/㎞, 경유버스 289.4원/㎞으로 분석됨

- 표준연비의 경우 유류 보조금 적용 시 경유버스 1㎞당 연료비용이 279.5원/㎞으로 전기버스 연료비 173원/㎞에 가장 근접하게 나타남

- 실제연비는 유류 보조금 적용 시 경유버스의 1㎞당 연료비용이 289.4원/㎞으로 전기버스 216.3원/㎞에 가장 근접하게 분석됨

○ 전기버스로 전환할 경우 1㎞당 연료비용이 표준연비 기준으로 38~58% 비용을 절약할 수 있으며, 실제연비 기준 25~49% 비용을 절약할 수 있는 것으로 나타남

〈표 5-5〉 인천시내버스 CNG/경유 차량별 1㎞당 연료 비용

(단위 : 원/㎞)

구분	전기버스	유류 보조금 미반영		유류 보조금 반영	
		CNG버스	경유버스	CNG버스	경유버스
표준연비	173.0	358.0	407.2	344.2	279.5
실제연비	216.3	370.8	421.6	356.5	289.4

○ 인천시 시내버스 156개 노선, 1,861대(2018년 6월 기준)를 기준으로 전기/CNG/경유 시내버스 차량의 연료비용 산출

- 1일 대당 연료비용을 보면 표준연비 기준, 전기버스(46천 원), CNG버스(유류 보조금 미반영 : 96천 원, 유류 보조금 반영 : 92천 원), 경유버스(유류 보조금 미반영 : 109천 원, 유류 보조금 반영 : 75천 원)으로 분석됨. 실제연비 기준, 전기버스(58천 원), CNG버스(유류 보조금 미반영 : 99천 원, 유류 보조금 반영 : 95천 원), 경유버스(유류 보조금 미반영 : 112천 원, 유류 보조금 반영 : 77천 원)으로 분석됨
- 연간 총 연료비용을 보면 표준연비 기준, 전기버스 (320억 원), CNG버스(유류 보조금 미반영 : 663억 원, 유류 보조금 반영 : 637억 원), 경유버스(유류 보조금 미반영 : 754억 원, 유류 보조금 반영 : 517억 원)으로 분석됨. 실제연비 기준, 전기버스(400억 원), CNG 버스(유류 보조금 미반영 : 687억 원, 유류 보조금 반영 : 660억 원), 경유버스(유류 보조금 미반영 : 781억 원, 유류 보조금 반영 : 536억 원)으로 분석됨

〈표 5-6〉 인천시내버스 전기/CNG/경유 버스 차량 연료 비용 비교

구분		전기버스	유류 보조금 미반영		유류 보조금 반영	
			CNG버스	경유버스	CNG버스	경유버스
표준연비 기준	연료단가(원/kWh,㎥,ℓ)	173	749	1,202	720	825
	연비(㎞/kWh,㎥,ℓ)	1.00	2.09	2.95	2.09	2.95
	㎞당 연료비용(원/㎞)	173	358	407	344	279
	1일 대당 연료비(천원)	46	96	109	92	75
	연간 대당 연료비(천원)	16,860	34,893	39,681	33,542	27,235
	연간 총 연료비(천원)	32,028,849	66,286,714	75,382,434	63,720,206	51,739,191
실제연비 기준	연료단가(원/kWh,㎥,ℓ)	173	749	1,202	720	825
	연비(㎞/kWh,㎥,ℓ)	0.80	2.02	2.85	2.02	2.85
	㎞당 연료비용(원/㎞)	216	371	422	356	289
	1일 대당 연료비(천원)	58	99	112	95	77
	연간 대당 연료비(천원)	20,996	36,003	40,935	34,609	28,096
	연간 총 연료비(천원)	40,036,061	68,653,352	78,058,357	65,995,211	53,575,827

○ CNG/경유버스 대비 전기버스 “연간 대당 연료 절감 비용(비율)” 산출

- 표준연비 기준, CNG→전기버스 절감비용은 유류보조금 미반영 시(18백만 원), 유류 보조금 반영 시(17백만 원)이고, 절감비율은 각각 51,5%, 49.5%로 분석됨. 경유→전기버스 절감비용은 유류보조금 미반영 시(23백만 원), 유류 보조금 반영 시(10백만 원)이고, 절감비율은 각각 57,3%, 38.0%로 분석됨
- 실제연비 기준, CNG→전기버스 절감비용은 유류보조금 미반영 시(15백만 원), 유류 보조금 반영 시(14백만 원)이고, 절감비율은 각각 41,7%, 39.3%로 분석됨. 경유→전기버스 절감비용은 유류보조금 미반영 시(20백만 원), 유류 보조금 반영 시(7백만 원)이고, 절감비율은 각각 48,7%, 25.3%로 분석됨

○ CNG/경유버스 대비 전기버스 “연간 총 연료 절감비용(비율)” 산출

- 표준연비 기준, CNG→전기버스 절감비용은 유류보조금 미반영 시(343억 원), 유류 보조금 반영 시(317억 원)이고, 절감비율은 각각 51,7%, 49.7%로 분석됨. 경유→전기버스 절감비용은 유류보조금 미반영 시(434억 원), 유류 보조금 반영 시(197억 원)이고, 절감비율은 각각 57,5%, 38.1%로 분석됨
- 실제연비 기준, CNG→전기버스 절감비용은 유류보조금 미반영 시(286억 원), 유류 보조금 반영 시(260억 원)이고, 절감비율은 각각 41.7%, 39.3%로 분석됨. 경유→전기버스 절감비용은 유류보조금 미반영 시(380억 원), 유류 보조금 반영 시(135억 원)이고, 절감비율은 각각 48.7%, 25.3%로 분석됨

〈표 5-7〉 CNG/경유버스 대비 전기버스 연간 연료 절감 비용 및 비율

(단위 : 천원/년, %)

구분		전기버스 연료비	유류 보조금 미반영		유류 보조금 반영	
			CNG→전기 절감 비용	경유→전기 절감 비용	CNG→전기 절감 비용	경유→전기 절감 비용
			절감 비율(%)	절감 비율(%)	절감 비율(%)	절감 비율(%)
연간 대당 연료비	표준연비 기준	16,797	17,966	22,735	16,620	10,336
			51.5%	57.3%	49.5%	38.0%
	실제연비 기준	20,996	15,007	19,940	13,613	7,101
			41.7%	48.7%	39.3%	25.3%
연간 총 연료비	표준연비 기준	32,028,849	34,257,865	43,353,585	31,691,357	19,710,342
			51.5%	57.3%	49.5%	38.0%
	실제연비 기준	40,036,061	28,617,291	38,022,296	25,959,150	13,539,766
			41.7%	48.7%	39.3%	25.3%

2. 경제성 분석

1) 분석자료

인천시내버스 일반 현황

○ 2018년 6월 기준, 인천시 156개 노선 1,861대를 대상으로 전기버스 도입에 대한 경제성 및 경제성 분석을 검토함

- 간선버스 88개 노선, 1,387대, 지선버스 68개 노선, 474대를 분석자료로 활용함

○ 인천시내버스의 1일 평균 운행거리는 123㎞~655㎞로 장거리 노선이 일부 존재해 1일 1회 충전으로 운행이 불가능한 노선이 존재하나, 노선연장이 1.59㎞ ~ 154.30㎞로 매회 충전시 모든 노선의 운행이 가능한 것으로 조사됨

○ 휴게 시간의 경우 노선별 운행시간을 고려하여 휴게시간을 산정함

- 간선형 버스 : 최소 15분(운행시간 120분 이하), 최대 35분(운행시간 180분 이상)
- 지선형 버스 : 최소 10분(운행시간 60분 이하), 최대 25분(운행시간 120분 이상)

〈표 5-8〉 인천시내버스 현황

구분	간선버스	지선버스	전체	비고
노선수	88	68	156	
차량대수 (대)	1,387	474	1,861	면허대수 기준
평균 노선연장 (㎞)	62.05	16.91	42.38	최소 1.59㎞ ~ 최대 154.30㎞
1일 평균 운행거리 (㎞)	309	211	266	공차거리 포함
휴게시간 (분)	29	17	23	노선별 운행시간에 따른 휴게시간 반영

자료 : 인천시내버스 운행계통(2018.6.30.기준)

차고지 현황

○ 인천시내버스 차고지는 총 42개로 공영차고지 3개, 민영차고지 39개가 위치하는 것으로 조사됨

- 대부분 노선이 공영차고지 및 민영차고지에서 출발하여 출발지(기점)로 가서 운행하고 도착지(종점)에서 운행을 종료하고 차고지로 들어오는 것으로 조사됨
- 출발지 혹은 도착지로 들어오지 않고 순환하는 지선버스, 순환버스는 노선연장이 짧은 것으로 조사되었으며, 식사시간 및 휴게 시간, 교대시간을 이용하여 예비차를 운행할 경우 1일 1회, 운행 중 1회 충전으로 전기버스 운행이 가능한 것으로 분석됨

○ 차고지 규모에 따른 노선 및 버스 대수는 가좌동 차고지(8개 노선, 148대), 동춘동 차고지(12개 노선, 114대), 동화운수 차고지(4개 노선, 103대), 항동7가 버스차고지(4개 노선, 91대), 강인여객 차고지(5개 노선, 80대) 순으로 규모가 큰 것으로 나타남

- 규모가 작은 차고지로는 남동구 간석동에 위치한 성원운수 차고지(1개노선, 4대), 남동구 운연동에 위치한 성원운수 차고지(1개 노선, 9대), 510번 차고지(1개노선, 8대) 등 10대 미만의 버스로 운영되는 차고지는 6곳으로 파악됨. 이러한 규모가 작은 차고지를 통합한다면 전기버스 도입 시 충전인프라 시설 구축비용이 절감될 것으로 판단됨

〈표 5-9〉 인천시내버스 차고지 현황

구분	개소 수	노선수	버스대수
공영차고지	3	18	189
민영차고지	39	138	1,672
전 체	42	156	1,861

자료 : 인천시(2018.5.31.), 버스정책과 내부자료

2) 경제성 분석을 위한 가정 및 전제

차량 구매가격 및 배터리 교체비용

○ 2017년 인천시내버스 업체들의 평균 차량 구매가격은 CNG 저상버스 241백만 원, 경유버스 92백만 원으로 조사됨

- 대·폐차 시 저상버스 도입 통해 교통약자를 위한 인천광역시 정책을 반영함

○ 전기버스 차량구매가격은 현대 일렉시티, 대우 e_BS110 등 7개 업체 평균 가격인 450백만 원을 이용함

- 인천시내버스 장거리 노선을 고려해 배터리 용량 큰 차량을 고려한 가격임

전기버스 전환 가능한 차량 대수

○ 현재 인천시내버스 차령은 9년이며, 최대 4회 연장 시 11년까지 운행할 수 있음. 따라서 본 연구에서는 차령 기준을 10년으로 설정하고, 최종적으로 2028년까지 인가된 1,861대 모두를 전기버스로 전환하도록 가정함

- 2019년 대·폐차되는 74대의 전기버스 전환을 시작으로 2028년까지 1,861대 모든 차량의 전기버스 전환이 가능함
- 최종적으로 CNG버스 1,678대, 경유버스 183대를 전기버스로 전환 가능함
- 모든 차량을 대형버스를 기준으로 분석함

〈표 5-10〉 인천시내버스 연도별 전기버스 전환 대상 차량 대수

(단위 : 대)

구분	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	합계
■ 전기버스 전환 가능한 차량 대수											
CNG→전기	71	111	68	103	182	173	291	271	295	113	1,678
경유→전기	3	7	6	8	34	56	41	13	7	8	183
계	74	118	74	111	216	229	332	284	302	121	1,861
■ 전기버스 전환 가능한 누적 차량 대수											
CNG→전기	71	182	250	353	535	708	999	1,270	1,565	1,678	-
경유→전기	3	10	16	24	58	114	155	168	175	183	-
계	74	192	266	377	593	822	1,154	1,438	1,740	1,861	-

주 1) 시내버스 차령은 인천시 버스정책과 내부자료를 통해 연도별 전기버스 전환 대상 검토
2) 차량구매가격 : CNG(240,821,000원/대), 경유(92,263,000원/대), 전기(450,000,000원/대)

전기버스 전비 및 연료비용

○ 현재 출시되는 전기버스 제조사별 공인연비(㎞/kWh)는 1.0 ~ 1.43㎞ 수준으로 나타남. 그러나 계절성 및 주행여건 등을 고려한 실제연비는 이보다 더 낮은 수준으로 예상됨에 따라 이전 보고서 및 업체별 관련자료를 토대로 본 연구에서는 실제전비를 0.8(㎞/kWh)로 설정함

○ 전기버스 전력요금은 한국전력공사 전기자동차 충전요금을 이용하여 계절별, 시간대별 전력요금의 가중평균을 통해 2019년까지 41.37원/kWh, 2020년 이후는 82.75원/kWh으로 가정함

- 2019년까지 기본요금 면제, 이용요율 50%할인을 가정함
- 전기요금 산정식은 다음와 같음

■ 연간 총 전기요금 = (기본요율 + 이용요율) × 12개월

- 기본요율(원/월) : 기본요금(원/kW·월) × 충전기 최대소비전력(kW/개) × 충전기설치 수
- 이용요율(원/월) : 전력량요금(원/kWh·월) × 사용전력량(kWh/월)
  - 전력량요금(원/kWh) : 계절별 시간대별 경부하·중간부하·최대부하 가중평균의 합
  - 사용전력량(kWh) : 전기버스 주행거리 ÷ 전비
  - 기본요금(kW) : 고압기준 2,580원/kW
  - 충전기 최대소비전력(kW) : 300kW
  - 충전기설치 수 : 연간 누적 충전기수(최대 294개)

〈표 5-11〉 한국전력공사 전기자동차 충전전력요금(자가소비용)

구분	기본요금 (원/kW)	전력량요금 (원/kWh)			
		시간대	여름철 (6~8월)	봄·가을철 (3~5, 9~10월)	겨울철 (11~2월)
저압	2,390	경부하	57.6	58.7	80.7
		중간부하	145.3	70.5	128.2
		최대부하	232.5	75.4	190.8
고압	2,580	경부하	52.5	53.5	69.9
		중간부하	110.7	64.3	101.0
		최대부하	163.7	68.2	138.8

자료 : 한국전력공사 전기요금(종합), 2017년 1월 1일 시행

○ CNG 및 경유버스의 연비는 2017년 인천시 시내버스 운행이력(공차거리 포함) 및 연료사용량을 통해 산출하였고, 차종별, 계절별 가산비율을 적용해 CNG버스 2.02(㎞/Nm³), 경유버스 2.85(㎞/ℓ)로 산출하였음

- CNG 및 경유버스의 연료단가는 2017년 인천시 버스업체들의 실제 연료사용금액 및 실제 연료사용량 자료를 통해 CNG가격 749원/㎥, 경유가격 1,202원/ℓ을 이용함

〈표 5-12〉 연료유형별 연비 및 연료비용

연료유형	연비(전비)	연료비용	비고
CNG	2.02 ㎞/Nm³	749 원/Nm³	-
경유	2.85 ㎞/ℓ	1,202 원/ℓ	-
전기	0.80 ㎞/kWh	41.37 원/kWh	2019년까지 적용
		121.54 원/kWh	2020년부터 적용

자료 : 인천시 버스정책과 내부자료(2017)

전기버스 주행 가능 거리

○ 전기버스 배터리용량은 제조사 및 출시모델에 따라 최소 109.26kWh ~ 최대 350kWh로 출시되고 있음. 전기버스의 경우 배터리의 효율성을 고려하여 70%만을 사용하는 것이 일반적인 업계 의견이며, 이를 환산할 경우 최소 76.48kWh ~ 최대 245kWh까지 사용 가능함. 이 연구에서는 인천시 노선별 1회 주행 가능 거리를 고려하여 배터리용량을 300kWh로 가정함

- 300kWh급 배터리를 사용했을 때, 배터리의 효율성 및 안정성을 위해 70%인 210kWh만을 사용하고, 실제 전비 0.8㎞/kWh를 적용하면 최대 168㎞주행이 가능함
- 인천시내버스 156개 노선의 1일 평균 주행거리는 266㎞로 1회 충전시 운행 불가능한 노선이 존재함. 매회 충전할 경우 가장 긴 노선 700-1번의 1회 주행거리가 158.89㎞로 주행 가능하기 때문에 전체 노선에 적용 가능함

• 1회 주행거리 (168 ㎞) = 배터리용량 (300 kWh) × 배터리 효율성 (70%) × 전비 (0.8 ㎞/kWh)

배터리 충전시간

○ 인천시 시내버스는 장거리 노선이 많고, 노선별 운행 거리 및 기점-차고지 간 거리 등을 고려했을 때, 1일 1회 충전(심야 충전) 또는 운행 중 1회 충전으로 전기버스를 충전하는 데 한계가 있음. 따라서 본 연구에서는 운행 후 휴게 시간을 활용한 매회 충전방식으로 가정함

- 일부 지선 및 순환노선의 경우 회당 주행거리가 짧아 차고지를 이용하지 않고, 기점↔종점을 순환하는 노선이 존재함. 이 경우 식사시간 및 운전자 교대시간을 활용하여 예비차 투입을 통해 충전시간을 확보하는 것을 가정함
- 휴게 시간 및 매회 충전하기 위해서는 급속으로 충전할 수 있는 급속충전기가 필요함. 본연구에서는 300kWh를 60분에 충전 가능한 급속충전기 도입을 가정함

〈표 5-13〉 노선별 운행시간에 따른 휴식시간 적용기준

구분	노선 운행시간	휴게 시간
간선형 시내버스	180분 이상	30분
	150 ~ 180분	25분
	120 ~ 150분	20분
	120분 이하	15분
좌석형 시내버스	180분 이상	35분
	150 ~ 180분	30분
	120 ~ 150분	25분
	120분 이하	20분
지선형 시내버스	120분 이상	25분
	90~120분	20분
	60 ~ 90분	15분
	60분 이하	10분

자료 : 인천광역시(2016), 『인천 시내버스 노선개편 연구(최종보고서)』

배터리 교체비용

○ 인천시 시내버스의 경우 장거리 노선이 존재해 300kWh급 대용량 배터리가 필요하며, 이를 근거로 배터리 1회 교체시 1.2억 원의 교체비용을 가정함

- 배터리 교체비용은 차령 10년 기준, 1회 교체하는 것을 가정하였으며, 현재 100kWh급 배터리의 평균 가격이 400달러 수준임을 고려함

전기버스 충전시설 구축

○ 전기버스 충전을 위한 충전시설은 수배전 및 충전기와 변전소에서 차고지까지 전기를 끌어오기 위한 전기 인입비용을 가정함

- 수배전은 1,000kW급 설치했을 경우 건설비 1 억원, 내구연한 10년으로 가정함
- 전기 인입비용은 기본시설부담금의 경우 고압 또는 특별고압 35,000 원/kW, 거리시설부담금 110,000 원/m로 가정함. 거리시설의 경우 변전소와 차고지간 거리가 1㎞로 가정하였고, 지중공급의 경우 50m 무료인 것을 감안하여 산출함

■ 충전시설 구축비용 = 수배전 비용 + 전기인입 비용 + 충전기 설치비용

- 수배전 비용(원/10년) : 1,000kW 기준 1억원 (100,000 원/kW, 내구연한 10년)
- 전기인입 비용(원) : 기본시설부담금(원) + 거리시설부담금(원)
- 충전기 설치비용(원/개) : 300kW급 충전기 기준 1억원/개 (내구연한 5년)
  - 기본시설부담금(원) : 35,000(원/kW) × 수배전 최대소비전력(kW)
  - 거리시설부담금(원) : 110,000(원/m) × 950m (지중공급 50m 무료)

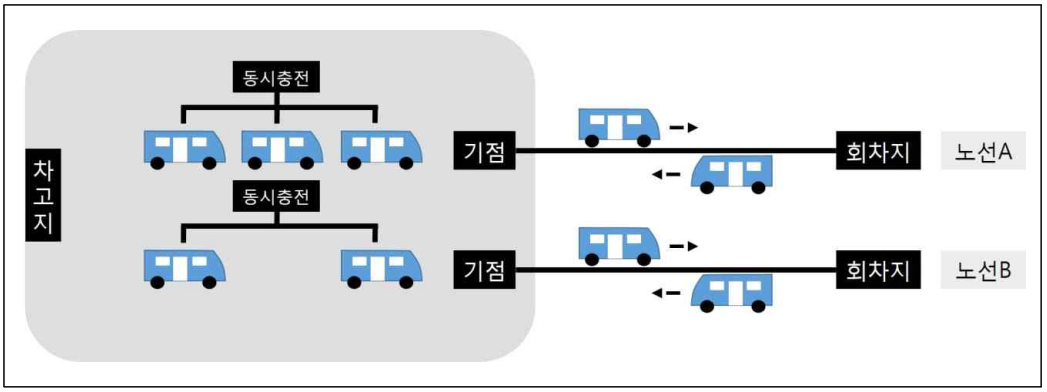
〈표 5-14〉 표준시설부담금 단가표

<table>
<tr><th colspan="4" rowspan="2">구분</th><th colspan="2">금 액</th></tr>
<tr><th>공중공급</th><th>지중공급</th></tr>
<tr><td colspan="6">■ 기본시설부담금</td></tr>
<tr><td rowspan="2">저압</td><td colspan="3">매 1계약에 대하여 계약전력 5kW까지</td><td>220,000원</td><td>421,000원</td></tr>
<tr><td colspan="3">계약전력 5kW 초과분의 매 1kW에 대하여</td><td>86,000원</td><td>98,000원</td></tr>
<tr><td>고압 또는 특별고압</td><td colspan="3">신중설 계약전력 매 1kW에 대하여</td><td>17,000원</td><td>35,000원</td></tr>
<tr><td colspan="6">■ 거리시설부담금 (지중공급 50m 무료)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">신설거리 시설부담금</td><td rowspan="3">기본거리를 초과하는 신설거리 매 1m에 대하여</td><td rowspan="2">저압</td><td>단상</td><td>39,000원</td><td rowspan="2">60,000원</td></tr>
<tr><td>삼상</td><td>43,000원</td></tr>
<tr><td>고압 또는 특별고압</td><td colspan="2">43,000원</td><td>110,000원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">첨가거리 시설부담금</td><td rowspan="2">기본거리를 초과하는 첨가거리 매 1m에 대하여</td><td>저압</td><td colspan="2">5,000원</td><td>-</td></tr>
<tr><td>고압 또는 특별고압</td><td colspan="2">10,000원</td><td>-</td></tr>
</table>

자료 : 한국전력공사, http://cyber.kepco.co.kr/ckepco/front/jsp/CY/D/C/CYDCHP00404.jsp

○ 충전기는 300kW급 급속 충전기 1기당 설치비 1억 원, 내구연한 5년으로 가정하였고, 총 294기의 충전기의 도입이 필요함

- 동시 충전 가능한 충전기 산출은 인천시 운행계통자료 및 업체별 배차일지를 통해 노선별 운행시간대를 분석하고, 1회 운행종료 후 휴게 시간 동안 동시 충전할 수 있는 충전기 대수를 산출함
- 차고지 규모에 따라 최소 1기 ~ 최대 20기의 충전기가 필요한 것으로 분석하였으며, 동춘동 차고지 20기, 가좌동 차고지 18기 순으로 나타남
- 동시 충전용 충전기 수 : 노선별 기점(차고지)에서 대기 차량을 고려하여 동시 충전하는데 필요한 충전기 수 산출



〈그림 5-2〉 차고지별 대기차량 동시충전 개념

○ 전기버스 충전시설을 관리하기 위한 전력 전문원은 차고지 당 1명으로 가정하였고, 2017년 인천시 버스업체의 실제 정비직 급여를 기준으로 1인당 4,000만 원 수준으로 가정함

- 2019년 15개 차고지(15명), 2028년 42개 차고지(42명)에 전력 전문원 배치를 가정함

〈표 5-15〉 연도별 충전기 설치 개수 및 전력 전문원

구분	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	합계
충전기(개)	20	18	11	17	39	33	49	45	48	14	294
설치비용 (백만 원)	2,000	1,800	1,100	1,700	3,900	3,300	4,900	4,500	4,800	1,400	29,400
전력 전문원 누적인원(명)	15	26	29	33	37	38	41	42	42	42	-

〈표 5-16〉 차고지별 전기버스 대수 및 필요 충전기 개수

연번	차고지	전기버스 대수	충전기 수
1	경기도 김포시 양촌면 구래리 796-2	7	2
2	인천광역시 강화군 선원면 중앙로 219	39	7
3	인천광역시 계양구 서운동 55-36	9	4
4	인천광역시 계양구 효서로 56	103	16
5	인천광역시 남구 도화동 957 트럭터미널	10	2
6	인천광역시 남구 아암대로 278번길 63	69	12
7	인천광역시 남동구 간석동 1-476	4	1
8	인천광역시 남동구 서창방산로 136	57	11
9	인천광역시 남동구 수현로 9	73	10
10	인천광역시 남동구 음실서로 46	6	1
11	인천광역시 동구 만석부두로 7번길 3	33	7
12	인천광역시 동구 방축로9번길 56	8	2
13	인천광역시 부평구 경원대로 1154	10	1
14	인천광역시 부평구 두레로 34-1	19	4
15	인천광역시 부평구 백범로 570	80	13
16	인천광역시 부평구 서달로 306	15	3
17	인천광역시 부평구 송내대로373번길 54	27	4
18	인천광역시 서구 가좌로 95번길 48	60	6
19	인천광역시 서구 거월로 37	39	5
20	인천광역시 서구 거월로 39	56	10
21	인천광역시 서구 건지로 45-28	49	9
22	인천광역시 서구 건지로153번길 41	40	5
23	인천광역시 서구 건지로95번길 42	68	15
24	인천광역시 서구 길주로44번길 13	40	9
25	인천광역시 서구 방축로 333	17	2
26	인천광역시 서구 보도진로 18번길 24-1	148	18
27	인천광역시 서구 원당대로 227-12	22	4
28	인천광역시 서구 원창로 46	19	2
29	인천광역시 서구 원창로 74	51	11
30	인천광역시 서구 원창로 89번길 42	17	3
31	인천광역시 서구 원창로 90	70	12
32	인천광역시 서구 첨단동로164번길 29	34	5
33	인천광역시 서구 한서로 53번길 16	42	6
34	인천광역시 서구 한서로 67	40	5
35	인천광역시 연수구 먼우금로 1	55	6
36	인천광역시 연수구 먼우금로 2	114	20
37	인천광역시 연수구 아카데미로 51번길 42	60	12
38	인천광역시 연수구 앵고개로 86	58	7
39	인천광역시 중구 연안부두로107번길 19-10	9	1
40	인천광역시 중구 축항대로 290번길 124	73	6
41	인천광역시 중구 축항대로 291번길 42	20	3
42	인천광역시 중구 축항대로 86번길 129	91	12
합 계		1,861	294

자료 : 인천시 버스정책과 내부자료(2018)

대기오염물질

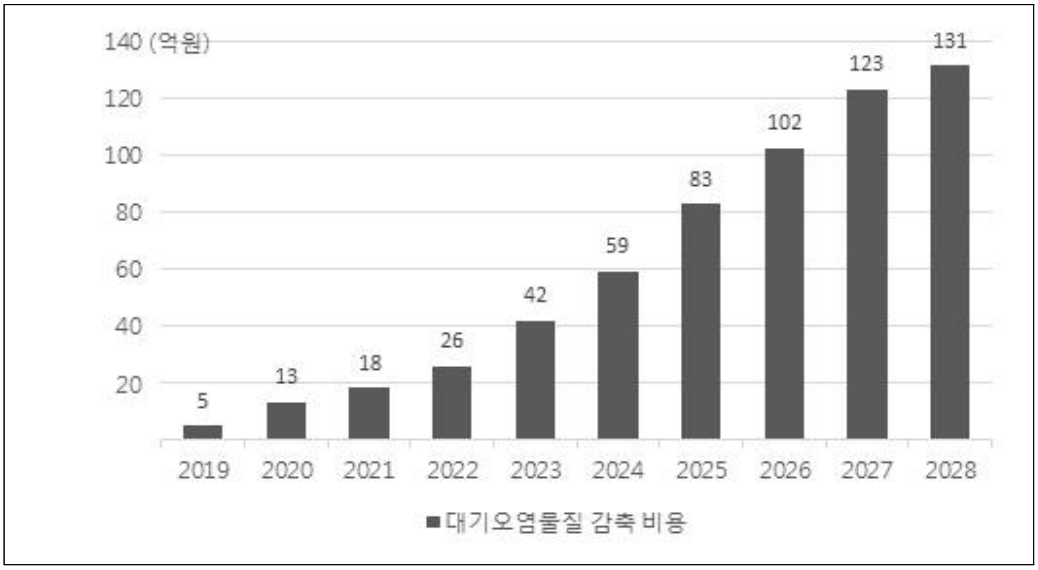
○ 오염물질 발생량은 한국환경정책평가연구원(2015)의 「경유버스 및 CNG버스 환경, 경제성 분석」의 발생량을 적용함. CNG버스의 오염물질 배출계수는 NIER-5 모드에서 측정된 오염물질 배출결과 중 현대자동차 배출계수를 활용함

○ 오염물질별 사회적 비용은 환경부(2015) 「대기오염물질 사회적 비용 재평가 연구」의 사회적 비용을 이용하였고, 소비자 물가상승률 1.9% 적용해 원단위를 산정함

〈표 5-17〉 오염물질 발생량 및 사회적 비용

연료유형	CO_2	대기오염물질		
		NO_X	THC	CO
■ 오염물질 발생량 (단위 : g/㎞)				
CNG	960.1	1.255	0.066	0.299
경유	965.2	1.909	0.041	1.802
전기	-	-	-	-
■ 오염물질 사회적 비용 (단위 : 원/kg)				
2014년 기준 원단위	8.3	45,971	2,825	2,825
2016년 기준 원단위	8.4	46,756	2,873	2,873
2017년 기준 원단위	8.6	47,644	2,927	2,927

자료 : 박지영(2018),『2018 미래차 기반 교통체제 지원사업 중 수도권 전기버스 도입 확대 방안 연구(자문회의자료, 2018.9.21.)』,한국교통연구원.



〈그림 5-3〉 연도별 누적 대기오염물질 감축 비용

3) 전기버스 도입 경제성 분석

편익/비용항목 선정 개요

○ 전기버스 도입에 따른 편익과 비용을 화폐가치로 환산하고, B/C 비율을 검토함으로써 전기버스 도입이 경제적인 관점에서 타당성 여부를 추정함

- 현재의 화폐가치와 미래 화폐가치를 고려해 2017년 평균 국고채 수익률(10년 만기) 2.28% 적용함
- 편익 및 비용항목의 구성은 다음과 같음

〈표 5-18〉 전기버스 도입에 따른 편익/비용항목

구분	항목	세부내용
편익	대기오염 저감 편익	• 대기오염물질(CO2, NOX, THC, CO) 원단위 (2015년 기준)
	연료비용 절감 편익	• CNG 및 경유버스 감소인한 연료절감 효과
	CNG 및 경유버스 구입비용	• CNG 및 경유 버스 감소로 인한 비용 (2.4억원/대,)
비용	전기버스 구입비용	• 제조사별 전기버스 평균비용 (4.5억원/대)
	수배전 설치비용	• 전력사용량에 따른 수배전 설치비용 (내구연한 10년)
	전기 인입비용	• 변전소→차고지까지 전력을 가져오는 비용
	전력전문원 인건비용	• 전력관리를 위한 전문인원 배치 (차고지당 1명, 2017년 정비직 인건비)
	전기요금 비용	• 한국전력공사 전기자동차 충전요금을 기저로 산출된 전기비용
	배터리 및 충전기 교체비용	• 대·폐차 기간 중 배터리 교체비용 및 충전기 교체비용 (배터리 교체비용 : 1.2억원, 충전기 교체비용 : 1억원)

편익/비용 분석 결과

○ 전기버스 사업의 B/C는 0.73, NPV는 −252,608 백만 원으로 분석됨

- 분석 기간은 도입 후 10년이며, 2017년 평균 국고채 수익률(10년 만기) 2.28% 적용함

○ 전기버스 구입비를 고려했을 때, 연료비용 절감으로 인한 편익의 비중이 높음

- 편익항목에서는 CNG 및 경유버스 구입에 대한 편익이 53.8%로 가장 큰 비중을 차지했고, CNG 및 경유버스 감소로 인한 연료비용 절감 편익이 38.7%로 나타남. 비용항목에서는 전기버스 구입비용이 78.4%로 가장 큰 비중을 차지했고, 배터리 및 충전기 교체비용이 9.5%로 나타남

〈표 5-19〉 전기버스 비용편익 분석

(단위 : 백만원)

연도	편익	비용
2019	20,561	53,823
2020	34,867	56,923
2021	27,172	36,981
2022	39,110	53,617
2023	66,506	100,067
2024	74,059	114,290
2025	108,708	161,058
2026	110,418	136,502
2027	123,140	147,385
2028	88,963	85,465
합 계	693,504	946,112
B/C = 0.73, NPV = -252,608		

〈표 5-20〉 전기버스 편익/비용항목별 금액

구분	항목	금액(백만 원)	비율(%)
편익	대기오염 저감 편익	52,032	7.5
	연료비용 절감 편익	268,569	38.7
	CNG/경유 차량구입 비용 절감	372,903	53.8
	소 계	693,504	100
비용	전기버스 구입비용	742,181	78.4
	수배전 설치비용	9,750	1.0
	전기 인입비용	7,802	0.8
	전력전문원 인건비용	12,313	1.3
	전기요금 비용	84,613	8.9
	배터리 및 충전기 교체비용	89,453	9.5
	소 계	946,112	100

민감도 분석

○ 전기버스의 민감도 분석결과 전기버스 가격이 미치는 영향이 큰 것으로 분석됨

- 전기버스 가격의 10~50% 감소를 가정할 경우 발생할 B/C는 0.73~1.29로 나타남
- 충전요금의 증감으로 인한 B/C는 0.73~0.76로 분석됨
- 충전시설 구축비용을 10~30% 감소할 경우 발생할 B/C는 0.73~0.74로 큰 변화를 보이지 않음

○ 향후 전기버스 배터리 및 차량기술의 발전으로 전기차가 상용화되면 전기버스의 도입이 더욱 가속화될 것으로 판단됨

- 현재 민감도 분석에서는 배터리 교체비용을 고려하지 않았지만, 전기차 가격과 직결되는 요소로 전기버스 차량 가격이 내려가면 B/C는 더 크게 나타날 것으로 판단됨

〈표 5-21〉 민감도 분석 결과

구분			충전시설 구축비용			
			기본	10% 감소	20% 감소	30% 감소
■ 전기버스 가격 (100%)						
	충전 요금	기본	0.73	0.74	0.74	0.74
		50% 증가	0.71	0.71	0.71	0.72
		30% 증가	0.72	0.72	0.72	0.73
		10% 증가	0.73	0.73	0.74	0.74
		10% 감소	0.74	0.74	0.75	0.75
		30% 감소	0.75	0.76	0.76	0.76
		50% 감소	0.76	0.77	0.77	0.78
■ 전기버스 가격 (90%)						
	충전 요금	기본	0.80	0.80	0.81	0.81
		50% 증가	0.76	0.77	0.77	0.78
		30% 증가	0.78	0.78	0.78	0.79
		10% 증가	0.79	0.79	0.80	0.80
		10% 감소	0.80	0.81	0.81	0.82
		30% 감소	0.82	0.82	0.83	0.83
		50% 감소	0.83	0.84	0.84	0.85
■ 전기버스 가격 (70%)						
	충전 요금	기본	0.96	0.97	0.97	0.98
		50% 증가	0.91	0.92	0.92	0.93
		30% 증가	0.93	0.94	0.94	0.95
		10% 증가	0.95	0.96	0.96	0.97
		10% 감소	0.97	0.98	0.98	0.99
		30% 감소	0.99	1.00	1.00	1.01
		50% 감소	1.01	1.02	1.03	1.03
■ 전기버스 가격 (50%)						
	충전 요금	기본	1.21	1.22	1.23	1.24
		50% 증가	1.14	1.14	1.15	1.16
		30% 증가	1.16	1.17	1.18	1.19
		10% 증가	1.19	1.20	1.21	1.22
		10% 감소	1.22	1.23	1.24	1.25
		30% 감소	1.26	1.27	1.28	1.29
		50% 감소	1.29	1.30	1.31	1.33

Ⅵ

결론 및 정책제언

Ⅵ. 결론 및 정책제언

1. 결론

○ 인천광역시는 2016년 8월과 2018년 4월에 각각 전기자동차 보급 활성화 추진계획을 발표하여, 2022년까지 친환경 전기자동차 1만 5천 대 보급계획을 수립하였음

○ 전기버스 보급은 이 기간까지 150대 보급목표를 제시하였으며, 2018년 1차적으로 배터리 전기버스 10대 시범사업을 위한 입찰을 진행하였고, 2019년 초 운행예정임

- 전기버스 보급계획이 수립되고, 시범사업이 추진예정이나 전기버스 관련 차량 및 전지팩(battery pack), 충전 인프라 및 지역 전력여건 등의 기술 수준 및 기술표준 분석과 지역 시내버스노선의 전기버스 운행 타당성 검토는 진행된 바 없음

○ 이 연구는 인천시내버스 노선 전기버스 도입여건 및 타당성을 중심으로 검토하였음. 인천시내버스 부문에서 전기버스 사업의 기술성, 경제성, 환경성 등을 파악하여 정책결정자의 전기버스 사업 불확실성을 줄이는 데 연구목적이 있음

○ 전기버스는 “전기공급원으로부터 충전 받은 전기에너지를 동력원으로 사용하는 자동차관리법에서 정의하는 승합자동차”로 정의됨. 2018년 10월 기준 환경부(ev.or.kr) 인증 전기버스는 대형 14대와 중형 2대로 총 16대임

○ 전기버스 관련 기술분석은 차량 차체 소재, 충전기 및 충전 인프라 구성, 인천지하철 전력망을 활용한 ‘경로중 충전방식’에 필요한 충전기설치 가능 대수, 충전사업 모델, 관련 법제도 등에 대해서 검토하였음

○ 국내외 전기버스 사업추진은 중앙정부 창원의 전기버스 차량 보급, 충전 인프라 확충을 위한 보조금 지원과 관련된 지침 및 가이드라인을 제시하고, 각 지자체에서 매칭펀드 방식으로 전기버스 차량과 충전기 확충사업을 진행함. 2018년 말까지 운행예정 대수를 포함하여 국내 전기버스 보급대수는 175대 수준으로 파악됨. 전기버스 운행대수가 가

장 많은 국내 운수회사는 경기 김포선진버스 76대와 제주 동서교통 59대임. 두 회사는 전지팩(battery pack)용량이 100kW급과 160kW급으로 운행 시 매회 충전방식이며, 충전기 운영은 운수회사 모회사 또는 자회사에서 담당하고 있음

○ 유럽과 미국은 중앙정부 차원의 연구 및 기금의 지원 프로젝트를 통해 전기버스 구매, 임대자금, 충전설비 등을 지원하고 있고, 특히 전기버스 보급 프로젝트를 통해 전기버스 보급 사업간 정보교류와 기술평가 및 실증사업 자료공유를 통해 전기버스 제조회사의 기술개발을 견인하고 있음. 유럽의 순수 전기버스 보급대수는 2017년 기준 1,560대 수준이며, 전체 유럽 버스대수의 1.2%에 해당됨. 미국은 2017년 기준 351대가 운행 중임

○ 중국은 중앙정부와 과학기술부 지원으로 2009년부터 전기차 도입을 시작하였으며, 2017년 말까지 전기차 15만 6천 대가 보급되었음. 전기버스는 2011년부터 2017년까지 16,359대 100% 교체되었음. 전기버스 도입 시 차량제조사에 표준기술 요구 수준을 만들어 전기버스 기술 수준을 견인하는 제도적 장치를 만들었고, 2012년부터 전기버스 운영 효과 평가를 시행하고 있음

○ 이 연구에서 인천광역시 전기버스 사업 단계별 추진방안을 제안하였음. 내연기관 시내버스 차령과 전기버스 충전 인프라 여건, 중앙정부 차원의 전기버스 기술표준 및 법제도 정비 추진상황 등을 고려하여 2030년 목표연도로 단기(~2020년), 중기(~2025년), 장기(~2030년)의 단계별 전기버스 사업을 추진하도록 함. 사업 시행 초기 공공주도로 하고, 중장기적으로 민간자율로 확대 추진함

○ 차량 소재 및 중량, 전비(km/kWh), 배터리 성능 및 보증기간, 충전기 표준 규격 및 최대소비전력 등 중앙정부 차원의 전기버스 기술표준을 제시하여 전기버스 제조사의 기술개발을 유도하고, 전기버스 도입여건 개선을 유도할 수 있는 제도적 여건을 만들어야 함

○ 인천광역시는 전기버스 보급확대 및 충전소 확대를 위한 단계별 추진계획이 필요함

- 전기버스 차량 보급 확대 추진을 위해 2025년까지 공공주도로 전기버스 차량과 차량 배터리를 구입/대여하여 민간사업자의 전기버스 초기 차량 구입 부담 해소방안을 검토할 필요가 있음, 이후 2030년 장기적으로 배터리 가격 인하에 따른 전기버스 가격경쟁력을 고려하여 민간자율로 차량을 구입하도록 함
- 전기버스 급속충전소 확충을 위해서 2025년까지 급속충전기는 공공주도로 설치하고, 제3자 민간 충전 사업에게 위탁 운영하도록 함. 이후 2030년 장기적으로 민간사업자 구축 및 운영하도록 함

○ 전기버스 차량보급 및 충전소 설치 재정지원 확대를 위해 현재와 같은 버스차량 크기(대형, 중형 등)에 따른 차등지원방식보다는 전기버스 차량 전지팩(battery pack) 용량(kWh)에 따라 차등지원하는 방식으로 하고, 배터리 보증기간은 9년 이상이 되도록 규정함. 충전인프라 설치 보조금은 충전기 최대소비전력(kW)에 따라 공공주도 설치사업과 민간주도 설치사업에 따라 차등지원하도록 함

○ 전지팩 용량(kWh), 전기버스 전비(km/kWh), 배터리 효율성(SOC,%) 및 노선별 대당 1일 총 운행거리(km/일/대)에 따라 인천시내버스 노선운행여건을 고려한 전기버스 충전방식과 운행 가능 대수를 분석하였음

- 300kWh 배터리 용량, 잔량 30%, 전비 1km/kWh 조건에서 심야 충전(전일 운행)으로 운행 가능한 노선 및 운행대수는 37개 노선(23.7%), 214대(11.5%) 수준이고, 매회 충전 시 156개 전체 노선, 1,861대 전체 운행 대수에 전기버스 운행이 가능함
- 완속충전기를 이용한 매회 충전 시 휴게 시간을 초과하는 충전시간만큼 운행횟수가 줄고, 배차시간이 줄 수 있어 대시민 서비스 수준을 전기버스 도입 이전과 같은 수준으로 유지하기 위해 추가 증차 대수가 필요할 수 있음

○ 한국전력공사에서 관리하는 인천지역 전력공급능력은 7,569MW, 전력설비용량은 10,450MW 수준 임. 2017년~2018년 9월 말 기간 중 최대부하전력은 2018년 2월 7,096MW(공급 예비율 : 6.1%, 설비예비율 : 32.1%) 수준으로 나타남.

- 시내버스 1,861대에 500kW 충전기 1,861기로 동시 급속충전을 하는 경우, 총 전력 부하는 930.5MW 수준으로 설비 예비력과 공급 예비력 범위 내에서 전력공급이 가능함

○ 인천시내버스 차량을 10년 간(2019년~2028년)간 대·폐차 시 전기버스 차량으로 전환 시 총 소요예산은 6,048억 원(국비:3,722억 원, 지방비 : 2,326 억 원)이 소요됨

- 표준연비 기준, CNG→전기버스 절감 비용은 유류보조금 미반영 시(343억 원), 유류 보조금 반영 시(317억 원)이고, 절감 비율은 각각 51,7%, 49.7%로 분석됨

○ 인천시내버스 전기버스 사업 경제성 분석결과, B/C는 0.73, NPV는 －－252,608 백만 원임. 경제성분석 시 전기버스 차량 가격의 미치는 영향이 가장 크게 작용함

- 차량 가격이 50% 수준으로 인하할 경우 전기버스 사업의 경제성은 있는 것으로 나타남. 향후 전기버스 배터리 가격 및 차량기술의 발전으로 전기버스의 상용화가 더욱 가속화될 것으로 예상됨

2. 정책 건의

○ 전기자동차가 새로운 에너지 인프라, 정보기술 플랫폼, 신규 자동차연관산업에 미치는 영향을 고려할 때 전기버스 도입사업은 단순히 지역 내 새로운 대중교통수단 차량 보급계획 차원을 넘어서 지역의 사회경제부문에 큰 변화를 견인하는 정책으로 이해할 필요가 있음

- 전기버스 보급확대는 미세먼지 저감 및 온실가스 감축 등 시민 생활환경뿐만 아니라 내연기관 자동차의 연관산업 및 에너지 신산업 생태계 조성, 자율주행 기반 전기버스의 교통물류 모빌리티(mobility) 서비스 산업 창출 등 다양한 산업경제 분야에도 유무형의 큰 변화를 끌어올리는 마중물 사업이라 할 수 있음

○ 인천시내버스 전기버스 사업 경제성 분석결과, B/C는 0.73, NPV는 −252,608 백만원으로 분석됨. 차량 가격이 50% 수준으로 인하할 경우 전기버스 사업의 경제성은 있는 것으로 나타남. 향후 전기버스 배터리 가격 인하와 차량기술 발전을 유도하는 정책추진이 필요하고, 이를 위해 광역 및 기초지자체 간 협력사업이 필요함. 협력사업 모델을 유인하기 위해 관련 중앙정부의 인센티브 예산 제도가 필요함

- 법제도적으로 전기버스 차량 구입시 취득세가 감면될 수 있도록 함
- 전기버스 사업 기술평가 및 전기버스 도입 지역 간 기술평가 및 실증사업자료를 지자체간 공유를 통해 전기버스 제조사의 기술개발과 중앙정부 차원의 기술표준을 견인할 수 있음
- 환경부 인증 8개 전기버스 제조사의 버스 차량의 실제 운행자료의 공유와 충전 인프라 구축 운영 경험을 공유함으로써 국내 전기버스 기술 수준과 기술표준을 정립할 수 있는 계기가 됨
- 차량 소재 및 중량, 전비(km/kWh), 배터리 에너지밀도 및 보증기간, 충전기 표준 규격 및 최대소비전력 등 중앙정부 차원의 전기버스 기술표준을 통해 전기버스 제조사의 기술개발을 유도하고, 전기버스 도입여건 개선을 유도해야 함
- 전기버스 차량 전지팩(battery pack) 용량(kWh)에 따른 차등지원 방식과 배터리 보증기간 9년 이상 규정, 충전기 최대소비전력(kW)에 따른 차등지원 등으로 전기버스 도입여건 개선 유도

○ 전기버스 사업 초기 공공주도의 차량 보급 및 충전 인프라 구축 및 운영을 위한 정책자문 및 의결기구의 설치가 필요함. 가칭 '전기버스 정책위원회'를 인천광역시 버스정책위원회 산하 소위원회로 신설함

- 전기버스 관련 차량, 배터리, 충전기, 전기인프라 기술과 시내버스 노선운영체계에 대한 전문지식 등이 종합적으로 검토 분석되고, 적정 전기버스 운행체계를 선정할 수 있는 정책자문기구가 필요함

○ 2018년 4월 선정된 전기버스 시범사업 차량이 2019년 초에 실제 시내버스노선에 운행될 예정임. 시범사업 노선에서 전기버스의 운행 효과를 분석할 수 있는 '인천광역시 전기버스 시범사업 모니터링 연구용역'사업이 필요하며, 이를 위한 평가지표체계 수립이 필요함

○ 한편, 수소기반 사회와 자동차산업에 대한 국가 차원의 정책이 추진되고 있고, 2018년 하반기에 수소버스를 포함한 친환경 버스 도입사업에 대한 정책추진이 활발히 검토되고 있음. 전기버스와 수소버스의 운행체계 비교 연구 등의 후속연구가 필요함

주제어 ▶ 전기자동차, 전기버스 도입사업, 전기버스 사업 경제성, 협력사업, 기술개발, 기술표준, 전기버스 정책위원회, 전기버스 시범사업

참고문헌

김인택(2016), “전기차 충전방식의 국내외 표준 동향과 정책”, 『Journal of Standards and Standardization』, Vol. 6, No. 3, 30.

김점산 외(2018), 『수도권 전기버스 도입 확대 방안(자문회의자료,2018.3.24.)』, 경기연구원.

김점산 외(2018), 『수도권 전기버스 도입 확대 방안(자문회의자료,2018.9.20.)』, 경기연구원.

경기연구원·인천연구원(2018), 『중국 선전시 전기버스 도입관련 국외출장 보고서』.

국토교통과학기술진흥원(2016.11.), 『자동차시스템 및 인프라 핵심융합기반기술 연구사업 중 상세기획보고서(친환경 도시대중교통 혁신을 위한 전기버스시스템 상용화 기술개발)』, 국토교통부.

박지영(2018), 『해외전기버스 도입사례(자문회의자료, 2018.6.28.)』, 한국교통연구원.

박지영(2018), 『2018 미래차 기반 교통체제 지원사업 중 수도권 전기버스 도입 확대 방안 연구(자문회의자료, 2018.9.21.)』, 한국교통연구원.

배중호(2013), 『전기자동차 구조 및 보급전망』, 교통안전공단 자동차안전연구원.

산업통상자원부(2016), 『공공운수분야 전기차신산업 활성화 전략연구』.

산업통상자원부(2017), 『2016년 신재생에너지 보급통계』.

서울특별시(2018), 『전기버스 도입 설명회 자료집(2018.3.14.)』

셋방전지(2018), 『전기버스용 battery Pack 기술 개발 현황(자문회의자료, 2018.6.14.)』, 서울연구원.

우진산전(2018), 『인천지하철 전력을 활용한 전기버스 충전 인프라 구축 및 운영방안, (자문회의자료, 2018.6.28.)』, 인천연구원.

유경상 외(2018), 『서울시 친환경 시내버스 도입 타당성 검토(자문회의자료,2018.9.20.)』, 서울연구원

이승문(2017), “중국의 전기자동차 보급 증가와 리튬이온 전지 산업의 발전”, 『세계 에너지시장 인사이트』제17-15호, pp. 3~14, 에너지경제연구원.

인천광역시(2017), 『인천광역시 통계연보』.

인천광역시(2018), 『2018 준공영제 시내버스 경영실태 정산점검 및 표준운송원가 산정용역(최종보고서)』.

주대영(2018.3.), 『국내 이차전지 산업 현황과 발전과제』, 산업연구원.

지식경제부(2010), 『전기자동차 충전인프라 구축방안』.

한국에너지공단(2017),『전기차 충전서비스산업육성사업 운영지침』.

한국전력공사(KEPCO), 인천지역본부,『2017년~2018년 최대부하 전력 현황』.

한국철도기술연구원(2018), 『도시철도인프라 연계형 전기자동차 충전시스템(자문회의자료 2018.5.23.)』, 수원시정연구원.

환경부(2015),『친환경 자동차(하이브리드차·플러그인하이브리드차·전기차·수소차)』.

환경부(2017),『버스·택시 등 공공교통수단에 대한 친환경차 보급계획 수립에 관한 연구』.

환경부(2018),『'18년 전기자동차 보급 및 충전인프라 구축사업 보조금 업무처리지침』.

환경부(2018),『'18년 전기자동차 충전 인프라 설치·운영 지침』.

환경부(2018),『천연가스자동차 보급사업 보조금 업무처리지침』.

골든벨(2010),『What's 자동차 속이 보인다』.

정용욱·정구섭(2017),『친환경 전기차』, GS인터비전.

선우준(2015),『2차전지 Road to Top』, 서울대학교출판문화원.

토니세바(2014),『에너지혁명 2030(박영숙 옮김)』, 교보문고.

오토저널(2016.01.25.), "전기자동차 충전시스템"

에너지경제신문(2014.5.28.), "전기차 충전방식 세계표준 놓고 日 vs 美·獨 '으르렁' "

전자신문(2018.2.11.), "리튬이온 배터리 원리와 소개"

상용차신문(2011.10.24.), "세계 최초 노선 전기버스...경제성+친환경"

㈜지엘비이(GLBE), "이차전지 종류", http://www.glbe.co.kr/page/page6

삼성SDI블로거(2018.9.7.), "음극의 주요소재 Graphite(흑연)", http://www.sdistory.net/graphite/

삼성SDI블로거(2018.3.28), "리튬이온이 타는 자동차-전해액", http://sdistory.com/221239066600

삼성SDI블로거(2018.3.28), "전기차 배터리, 어떻게 구성될까?", http://sdistory.com/221255019632

엠에스리 네이버블로그(2017.4.1.), "전기차 충전구 종류와 충전방식", https://m.blog.naver.com

백흥기(2018.9.5.), "국내외 에너지 신산업 트랜드 및 활성화 과제(startup4)", http:// www.startup4. co.kr/news/articleView.html?idxno=10696

환경부 전기차 충전소, www.ev.or.kr

부록

업무 협약서

한국교통연구원, 경기연구원, 서울연구원, 인천연구원 및 수원시정연구원은 수도권 전기버스 등 친환경버스 도입 관련 정책 연구 역량 강화를 위해 다음과 같이 협약을 체결한다.

제1조 (목적) 본 협약은 한국교통연구원, 경기연구원, 서울연구원, 인천연구원 및 수원시정연구원(이하 '연구기관')의 수도권 전기버스 등 친환경버스 도입 관련 정책(이하 '수도권 전기버스 연구') 연구 역량 강화를 목적으로 한다.

제2조 (범위) ① 각 연구기관의 수도권 전기버스 연구라 함은 연구과제, 현안검토 등(이하 '연구과제 등') 예산수립 여부와 관계없이 모든 연구형태를 포괄한다.

② 수도권 전기버스 연구의 내용적 범위는 법제도 및 상위계획, 국내외 사례연구, 도입현황 및 문제점, 도입타당성 분석, 기술수준 조사, 도입가능 대수산정, 도입확대 방안, 시범사업 구상, 중앙 및 지방정부의 역할 등이다.

제3조 (업무) ① 각 연구기관은 수도권 전기버스 연구와 관련하여 상호 협의를 통해 연구기관별 주요 연구 분야를 포함하는 연구과제 등을 계획하고 책임 있는 연구를 수행한다.

② 각 연구기관은 수도권 전기버스 연구관련 정책을 수립 시 여기에 참여하는 타 연구기관의 의견을 듣고 이를 반영한다.

③ 각 연구기관은 수도권 전기버스 연구관련 초청특강, 세미나 개최 시 타 연구기관의 참여를 독려하고 의견을 듣는다. 주관 연구기관이 이 비용을 부담하되, 필요할 경우 연구기관간 협의를 통해 분담할 수 있다.

제4조 (비밀유지) 각 연구기관은 이 협약의 이행과 관련하여 파악한 상대방에 관한 비밀 정보를 상대방의 서면에 의한 사전 승낙 없이 제3자에게 명시 또는 누설해서는 안 된다.

제5조 (유효기간) 본 협약은 협약 당사자 대표자의 서명일로부터 발생하고 2018년 12월 31일까지 유효하다.

제6조 (협약의 변경) ① 본 협약내용은 각 연구기관이 서면 합의에 의하여 협약 내용을 변경 또는 추가할 수 있다.
② 각 연구기관이 본 협약에 정한 내용을 변경하거나, 보완 할 필요가 있을 때 상호 서면 합의서를 교환한다.

제7조 (협약의 효력 발생) 협약 내용을 증명하기 위하여 협약서 5부를 작성하고, 각 연구기관이 각각 1부씩 보관한다.

2018년 9월 21일

한국교통연구원	4차산업혁명교통연구본부장	신희철	(인)
경기연구원	휴먼교통연구실장	송제룡	(인)
서울연구원	교통시스템연구실장	김원호	(인)
인천연구원	교통물류연구실장	김종형	(인)
수원시정연구원	기획조정본부장	송창석	(인)

2018년도 기획연구과제

인천광역시 전기버스 운행체계 기초연구

발행인 이용식

발행일 2018년 11월 30일

발행처 인천연구원

인쇄처 032디자인(주)

ISBN 978-89-5678-764-0 93320

주 소 22711 인천광역시 서구 심곡로 98(심곡동 307)

ⓒ 인천연구원 2018

이 보고서의 내용은 연구책임자의 견해로서 인천연구원의 공식적 입장과는 다를 수 있습니다.

출처를 밝히는 한 자유로이 인용할 수 있으나 무단 전재나 복제는 금합니다.