

2011

서울시 친환경버스 도입방안 연구

Strategies for Delivering Environmentally Friendly Buses
in Seoul

고준호

서울시 친환경버스 도입방안 연구

Strategies for Delivering Environmentally Friendly Buses in Seoul

2011

■ 연구진 ■

연구책임 고 준 호 • 도시교통연구실 연구위원
연구원 심 진 섭 • 도시교통연구실 연구보조원

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서
서울특별시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

요약 및 정책건의

I. 연구의 개요

1. 연구의 배경 및 목적

서울시는 2011년 7월에 2014년까지 전기이륜차를 포함한 전기차 4만대 보급을 목표로 하는 “서울시 전기차(EV) 보급 마스터플랜 2014”를 발표하였음. 이 마스터플랜에는 전기승용차뿐만 아니라 대중교통 수단 중 하나인 버스에 전기 버스를 도입하겠다는 계획도 포함되어 있음. 이에 따라 버스운영 특성을 파악하여 전기버스 도입에 대한 구체적이고 단계적인 도입 방안 수립이 필요함.

서울시의 대기질은 2000년에 비하여 점차 나아지고 있는 추세이나 EIU (Economist Intelligence Unit)가 개발한 아시아 녹색도시 인덱스(Asian Green City Index)에 따르면 총 22개 아시아 주요 도시 중 서울의 환경질은 중간 이상 수준이고 대기질은 중간 수준에 머무르고 있음.

서울시 수송부문의 에너지 소비 비중은 2005년 28.1%를 기록한 이후로 계속 증가하여 2009년에는 32.3%를 나타냄. 2008년 수송부문 온실가스 배출량을 살펴보면 도로부문이 95.2%로 가장 높은 비중을 나타냄. 또한 서울시의 지역내총생산(GRDP)당 탄소배출량은 123.7ton CO₂/Mil. USD로 해외 주요도시(스톡홀름 : 67ton CO₂/Mil. USD, 도쿄 : 68.8ton CO₂/Mil. USD, 뉴욕 : 95.7ton CO₂/Mil. USD, 런던 : 95ton CO₂/Mil. USD)에 비해 많은 수준이며, 특히 교통부문의 배출량은 41.5ton CO₂/Mil. USD로 다른 도시들(스톡홀름 - 20.8ton CO₂/Mil. USD, 도쿄 - 17.9ton CO₂/Mil. USD, 뉴욕 - 21.6ton CO₂/Mil. USD, 런던 - 19.9ton CO₂/Mil. USD)의 두 배에 달함.

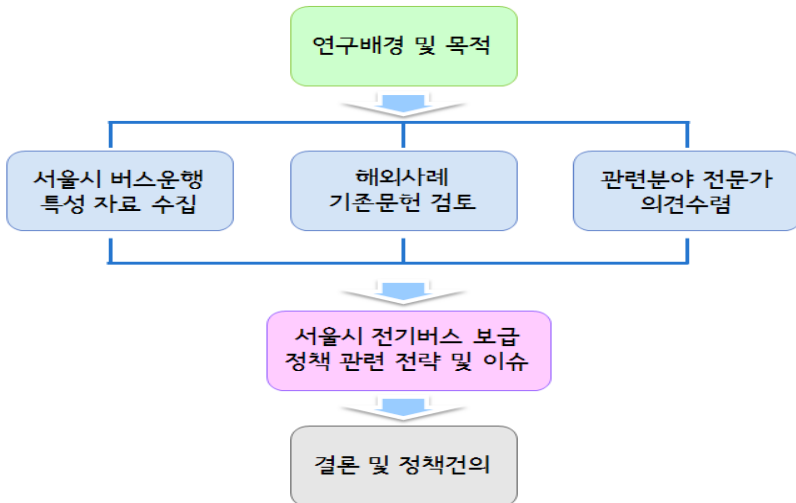
서울시는 이러한 배경하에 교통부문의 탄소배출량을 감축하기 위해 전기차 보급 계획을 추진하고 있으며 그 중에서도 많은 시민들이 이용하는 대중교통수

단 중 하나인 버스에 전기버스를 도입하려고 함.

이 연구에서는 전기버스 도입 전략 구축에 필요한 기초 자료를 확보하여 서울시 교통특성에 맞는 세부적인 전기버스 도입 전략을 제시하고 향후 전기버스 도입 시 검토해야 할 사항들을 제시하고자 함. 더불어 전기버스의 특성에 따라 적용될 수 있는 노선들의 특징을 제시하여 향후 전기버스를 도입하는 데에 있어 가이드라인 역할을 수행하고자 함.

2. 연구의 주요 내용 및 수행 절차

- 서울시 전기버스와 충전시설 보급 현황 및 목표 조사
- 해외 주요도시 전기버스 도입사례 조사
- 서울시 친환경버스 도입의 필요성 검토
- 전기버스 추가비 회수기간 분석
- 차종별, 시기별 전기버스 보급 전략 제시
- 전기버스 보급에 따른 경제성 분석



〈그림 1〉 연구의 수행 절차

II. 주요 연구 결과

1. 서울시 전기버스 보급 계획 분석

1) 서울시 전기버스 보급 현황

2011년 3월 기준 서울시 전기차 등록대수는 45대(저속전기차 31대)로 전국 전기차 등록대수 93대(저속전기차 79대)의 약 48%를 차지하고 있음. 그 중에서 현재 서울시에서 운행되고 있는 전기버스는 남산을 순환하는 노선인 02번, 03번, 05번 노선 14대 중 9대이며, 2011년 5월부터 서울대학교는 서울대입구역부터 서울대학교 행정관까지 운행하는 셔틀버스에 전기버스 1대를 투입하여 시범적으로 운영하고 있음. 더불어 서울대공원은 ‘코끼리전기열차’라 불리는 OLEV열차 3대를 2011년 7월부터 상용운행하고 있음.

2) 서울시 전기버스 보급 목표

서울시는 2010년 11월에 2020년까지 전기차 12만대 보급을 골자로 하는 ‘그린카 스마트 서울 선언’을 발표한 데 이어, 2011년 7월에 2014년까지 전기이륜차를 포함한 전기차 4만대를 보급하겠다는 “서울시 전기차(EV) 보급 마스터플랜 2014”를 발표하면서 전기버스 도입 목표를 기간별로 단계적으로 달성하겠다고 밝혔음.

〈표 1〉 서울시 전기차 보급 목표(누적대수)

| 차종 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|-------|------|------|-------|--------|--------|
| 전기승용차 | 36 | 86 | 1,536 | 9,716 | 28,600 |
| 전기버스 | 5 | 25 | 65 | 165 | 400 |
| 전기택시 | 0 | 10 | 60 | 360 | 1,000 |
| 전기이륜차 | 393 | 568 | 1,568 | 3,568 | 10,000 |
| 합계 | 434 | 689 | 3,229 | 13,899 | 40,000 |

출처 : 서울특별시, 서울시 전기차(EV) 보급 마스터 플랜 2014, 2011

버스부문의 경우 서울시는 2012년까지 서울시 순환버스 노선에 전기버스 시범운행을 시작하면서 총 65대의 전기버스를 보급할 계획임. 또한 2014년까지는 대기오염이 심하고 활동인구가 많은 지역인 강남, 홍대, 도심을 지나는 22개 노선 170대를 중심으로 총 400대의 전기버스를 보급할 방침임. 장기적으로는 서울시 시내버스 등록대수의 절반 수준으로 전기버스를 보급하고 25km 이하 단거리 노선을 운행하는 전 차량을 전기버스로 전환할 계획임.

하지만 전기차의 기술 개발 수준, 경제성 확보 여부 및 시범사업 진행 상황에 따라 2014년까지 목표 달성이 어려울 경우를 대비하여 전기차 보급목표를 25,000대로 수정하는 방안도 검토 중임.

〈표 2〉 서울시 전기차 보급 목표(서울시 내부자료 기준)

| 차 종 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 합계 |
|-------|------|------|------|-------|--------|--------|
| 전기승용차 | 36 | 37 | 365 | 5,000 | 13,962 | 19,400 |
| 전기버스 | 5 | 9 | 16 | 50 | 120 | 200 |
| 전기택시 | - | - | 20 | 50 | 330 | 400 |
| 전기이륜차 | 160 | 175 | 320 | 1,000 | 3,345 | 5,000 |
| 합계 | 201 | 221 | 721 | 6,100 | 17,757 | 25,000 |

출처 : 서울시 내부자료

2. 전기버스 보급 관련 이슈 및 해결방안

1) 도입 차종 관련 전략

현재 개발되어 상용화 단계로 들어간 전기버스의 종류에는 배터리 충전식 전기버스와 온라인 전기버스가 있음. 배터리 충전식 전기버스는 저렴한 전기료로 인해 기존 압축천연가스(CNG)버스 연료비의 30% 수준으로 절감이 가능하다는 장점이 있음. 그러나 배터리 충전식 전기버스는 1회 충전 후 주행할 수 있는 거리가 제약되어 있고 배터리를 충전하기 위해서는 20~30분 정도가 소요되어 일반 가솔린 및 LPG 충전시간의 7배 시간이 필요함. 또한 현재 개발되고 있는

배터리도 상당히 비싼 가격으로 책정되어 있어 전기버스 보급에서 비용문제가 가장 큰 걸림돌이 되고 있음.

온라인 전기버스(OLEV, On-Line Electric Vehicle)는 배터리 충전식 전기버스와 마찬가지로 저렴한 전기료로 인해 기존 버스 연료비의 40% 수준으로 절감이 가능함. 그리고 환경오염 물질 배출량 감소가 가능하고 정차 및 주행 중 충전이 가능해 배터리 충전시간이 따로 필요 없다는 장점을 가지고 있음.

고가의 차량 및 배터리 가격으로 인해 발생하는 전기버스의 추가비 회수기간을 분석해보면 차량 보조금 지급 시에는 2.8~5.5년이고, 보조금 미지급 시에는 11.7~23.1년으로 전기버스의 추가비 회수기간을 낮추기 위해서는 보조금 지급이 필수적일 것으로 판단됨. 보조금 지급과 더불어 CNG버스에 주어지는 환경개선부담금 면제혜택을 전기버스에만 제한적으로 부여하는 경우, 전기버스의 추가비 회수기간은 1.4~1.8년으로 상당히 짧아짐.

전기버스는 기존의 CNG버스에 비해 긴 충전시간이 필요한 교통수단이므로 전기버스로만 한 노선을 운행하게 될 경우, 기존 CNG 버스 운행대수보다 더 많은 운행대수를 요구함. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 기존 CNG버스와 혼합 운영하여 총 투입대수를 낮추는 방식도 고려해야 함.

OLEV는 급전시설 공사비가 많이 들어 장거리 노선에 도입하기 어려우므로 단거리 노선에 우선적인 도입을 검토해봐야 함. 반면, 배터리 충전식 전기버스는 급속충전 시간으로 인하여 추가적인 버스의 투입이 필요하고 배터리 1kWh당 가격도 100만 원 수준으로 상당히 높음. 향후 급속충전 기술 개발상황과 배터리 가격 추이 등을 감안하여 단계적인 배터리 충전식 전기버스의 도입이 필요함.

2) 도입 시기 및 장소 관련 전략

서울시는 2011년 7월에 ‘서울시 전기차(EV) 보급 마스터플랜 2014’에서 전기이륜차를 포함한 전기차 4만대를 2014년까지 보급한다고 밝혔음. 그 중에서 전기버스는 2014년까지 총 400대를 단계별로 도입하는 계획을 세웠음. 도입 초

기에는 배차간격이 길거나 노선길이가 짧아 전기버스 운행에 유리한 순환노선 위주로 보급을 추진하고, 그 후에는 대기오염이 심하고 활동인구가 많은 도심과 강남·홍대와 같은 거점 지역의 지선노선에 전기버스 보급을 추진할 계획임. 그리고 장기적으로는 25km 이하 노선의 모든 버스를 전기버스로 전환하고 동시에 중형 전기버스 개발을 통해 시내버스 이외의 버스에도 전기버스 도입이 가능하도록 기술개발을 유도해야 함.

3) 시범사업 관련 전략

배터리 충전식 전기버스는 남산 순환노선과 서울대학교 셔틀버스로 시범 운영되고 있으나 OLEV는 서울대공원 코끼리전기열차로 운행되는 것이 전부임. 서울대공원 코끼리전기열차는 버스의 성격보다 열차의 성격이 강하고 일반 시민들이 아니라 관람객을 대상으로 운행하기 때문에 서울시 시내버스에 OLEV를 도입하기 위한 시범적 사업으로는 부족한 점이 있다고 판단됨. OLEV와 배터리 충전식 전기버스의 경제성을 분석한 결과, OLEV는 시범사업을 추진할 때 6~7km 정도의 단거리 노선에 도입하는 것이 적절하다고 판단되지만 OLEV 관련 국가 R&D 산출결과와 기술개발수준 등을 감안하여 신중하게 결정할 필요가 있음.

3. 서울시 전기버스 도입 방향 및 경제성 분석

1) 전기버스 도입 방향

서울시가 전기버스를 도입할 때 고려해야 할 사항은 크게 세 가지임. 첫 번째는 전기버스의 경제성임. 현재 전기버스 1대당 가격은 기존 CNG버스의 두 배 수준으로 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 차량보조금이 필수적일 것으로 판단됨. 두 번째는 편의성임. 현재는 전기버스가 충전을 할 수 있을 만한 인프라가 구축되어 있지 않은 상황이므로, 전기버스의 성공적인 도입을 위해서는

전기버스가 편리하게 충전을 할 수 있을 만큼 큰 규모의 차고지 혹은 버스의 기·종점에 여러 대의 급속충전기를 도입하여 전기버스 충전인프라를 구축할 필요가 있음. 세 번째는 전기버스 차종의 다양화임. 현재 개발되어 상용화 단계로 들어가고 있는 전기버스는 대형버스뿐임. 서울시 25km 이하 노선의 버스 크기 분포를 분석해보면 중형버스가 49.4%로 대형버스(50.6%)와 비슷한 비중을 차지하고 있음. 단거리 노선에 전기버스를 도입하기 위해서는 대형버스뿐만 아니라 중형 전기버스에 대한 개발이 필요함.

공공기관과 민간은 위에서 언급한 고려사항을 감안하고 적극적으로 서로 협조하여 전기버스의 성공적인 도입을 추진해야 함.

2) 경제성 분석

2014년까지 전기버스 400대를 도입하기 위해서는 총 1,131~1,245억 원의 비용이 소요될 것으로 예상됨. 그 중 차량보조금은 CNG버스 가격과 비교했을 때 788.9억 원, 디젤버스 가격과 비교했을 때 902.3억 원이 추가로 필요하게 됨. 배터리 교환비용으로는 약 290억 원이 필요하고 충전인프라 구축을 위해서는 약 52.5억 원의 비용이 소요될 것으로 추정됨.

서울시가 2014년까지 목표로 하는 전기버스 400대를 보급하게 되면 약 511억 원의 환경오염 절감편익과 약 1,194~1,562억 원의 연료비 절감편익이 발생하게 됨.

한편, 200대의 전기버스를 보급하기 위해서는 총 592~648억 원의 비용이 소요될 것으로 예상되며 그 중에서 차량보조금은 CNG버스 가격과 비교 시에는 약 394억 원, 디젤버스 가격과 비교 시에는 약 451억 원이 필요할 것으로 예상됨. 배터리 교환비용으로는 약 145억 원이 필요할 것으로 예상됨. 충전인프라는 기존과 동일한 비용이 소요될 것으로 가정하였음. 전기버스 200대 보급으로 인하여 약 256억 원의 환경오염 절감편익과 약 597~781억 원의 연료비 절감편익이 발생하게 됨.

전기버스 보급 목표대수를 줄이게 되더라도 환경오염 및 연료비 절감편익은 전기버스 보급에 필요한 예산보다 큰 것으로 나타남. 따라서 전기버스 도입은 경제성이 있는 것으로 판단됨.

Ⅲ. 정책제안

1. 전기버스 차량 보조금 적극적 지원

전기버스의 1대당 가격은 기존 CNG버스나 디젤버스 가격의 두 배 수준임. 차량의 높은 가격과 더불어 전기버스가 사용하는 배터리의 가격도 1kWh당 100만 원 수준으로 상당히 높음. 차량 및 배터리의 높은 가격으로 인하여 전기버스의 보급이 쉽지 않은 상황임. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 기존 차량과의 차액만큼 차량 보조금을 지원해주는 정책과 향후 배터리 교환 시 그에 필요한 비용을 지원해주는 정책을 검토해 볼 수 있음. 그와 더불어 환경개선 및 국가의 산업경쟁력 향상 측면에서 전기버스 도입에 대한 국비의 지원도 필요함.

기존 CNG버스 가격과의 차액만큼 차량 보조금을 지원해주게 되면 1대당 약 2억 1천만 원 정도가 필요하게 되고, 디젤버스 가격과의 차액만큼 차량 보조금을 지원해주게 되면 1대당 약 2억 4천만 원 정도가 필요하게 됨. 서울시가 목표로 하는 전기버스 400대 보급을 위해 들어가는 총 차량 보조금은 약 789~902억 원 수준임. 또한 전기버스 배터리는 3년마다 교체를 해주어야 하므로 차량 내구연한이 다하는 9년 사이에 2~3번의 배터리 교환이 필요하게 됨. 이때 필요하게 되는 배터리 교환비용은 배터리 잔존가치가 30% 수준이라고 가정을 하여도 약 290억 원 정도임.

전기버스 200대 보급을 위해서는 총 394~451억 원의 차량 보조금이 필요하게 되고 약 145억 원의 배터리 교환비용이 필요하게 될 것으로 예상됨.

2. 차종별 보급계획 필요

배터리 충전식 전기버스는 급속충전을 위해 30분이라는 시간이 필요하게 되고 그에 따라 추가적인 버스의 투입이 필요하게 됨. 반면 OLEV는 정차 및 주행 중 충전으로 추가적인 버스의 투입이 필요 없지만 급전구간 공사비용이 비싸고 유지보수비용이 많이 필요하다는 단점을 가지고 있음. 배터리 충전식 전기버스와 OLEV의 특성을 잘 파악하여 각 버스에 맞는 노선을 찾아 도입하는 것이 효율적일 것으로 판단됨.

OLEV의 경우 급전시설 공사비가 비싸 장거리 노선보다 단거리 노선에 도입하는 것이 적절할 것으로 판단됨. OLEV는 약 6~7km 노선보다 긴 구간에 적용하게 되면 배터리 충전식 전기버스보다 경제성이 안 좋게 나타남. 따라서 OLEV는 7km 이하 노선에 도입하는 것이 적절할 것으로 판단되고, 배터리 충전식 전기버스는 7km 이상 구간에 도입하는 것이 적절할 것으로 생각됨. 그러나 OLEV가 급전구간을 다른 노선과 공유하게 되면 상대적으로 급전구간 설치 비용을 줄일 수 있어 OLEV 도입 가능 노선이 확대될 수 있을 것으로 판단됨.

3. 기술검증 및 시범사업 우선 시행

배터리 충전식 전기버스는 남산과 서울대학교에서 시범적으로 운영되고 있지만 1회 충전 후 주행할 수 있는 거리가 길지 않고 급속충전 시간으로 인하여 버스의 기·종점에 머물러 있는 시간이 길어지게 됨. OLEV의 경우 정차 및 주행 중 충전이라는 장점을 가지고 있어 따로 충전시간이 필요하지는 않지만 OLEV 급전도로 관련 기술에 대한 검증이 아직 완료되지 않은 상태임. 따라서 전기버스와 관련된 기술검증이 완료될 때까지는 시범사업으로 도입하는 것이 적절하다고 판단됨.

배터리 충전식 전기버스는 지금 시행되고 있는 지역의 운영 경험을 바탕으로

향후 기술개발에 따라 점진적 확대를 고려하여야 함. OLEV는 관련 기술 개발 여부에 따라 도입 가능한 지역을 선정하고 도입 시기를 신중하게 검토한 후 도입하여야 할 것임. OLEV의 시범사업에서 가장 적절하다고 판단되는 상암 DMC 지역은 최근에 조성된 친환경 단지로 버스 노선 신설 수요가 있고, 도로 보수 공사도 적은 편임. 또한 OLEV는 향후 노선 간 급전시설 공유가 가능하도록 버스노선이 집중해 있는 지역에 도입을 검토할 필요가 있음.

목 차

| | |
|---------------------------------|----|
| 제1장 연구의 개요 | 3 |
| 제1절 연구의 배경 | 3 |
| 제2절 연구의 주요 내용 및 수행 절차 | 6 |
| 1. 연구의 주요 내용 | 6 |
| 2. 연구 수행 절차 | 7 |
| 제2장 친환경버스 도입의 필요성 | 11 |
| 제1절 국내·외 여건 및 정책추진 현황 | 11 |
| 1. 서울시 전기버스 및 충전인프라 구축 목표 | 11 |
| 2. 국내 전기버스 도입 사례 | 13 |
| 3. 해외 전기버스 도입 사례 | 15 |
| 제2절 서울시 친환경버스 도입 필요성 | 18 |
| 1. 수단별 대기오염물질 배출계수 비교 | 18 |
| 2. 연료비 감축 및 전기차 사업 확대 추진 | 20 |
| 제3장 친환경버스 도입 전략 | 25 |
| 제1절 도입 차종 관련 전략 | 25 |
| 1. 전기버스 특성 | 25 |
| 2. 전기버스 보급 시 고려사항 | 27 |
| 3. 추가비 회수기간 분석 | 29 |
| 4. 전기버스 추가 투입대수 분석 | 33 |
| 5. OLEV 경제성 분석 | 35 |

| | |
|----------------------------------|----|
| 제2절 도입 시기 및 장소 관련 전략 | 51 |
| 1. 친환경버스 도입 목표 설정 | 51 |
| 2. 전기버스 파트너십(공공+민간) | 52 |
| 3. 도입 초기 전기버스 보급 전략 | 53 |
| 4. 중기적 전기버스 보급 전략 | 54 |
| 5. 장기적 전기버스 보급 전략 | 56 |
| 제3절 시범사업 관련 전략 | 57 |
| 제4절 기대효과 및 비용 | 58 |
| 1. 전기버스 도입 시 기대효과 | 58 |
| 2. 전기버스 및 충전인프라 보급 소요예산 추정 | 60 |
| 3. 전기버스 도입 타당성 평가 | 64 |
| | |
| 제4장 결론 및 정책건의 | 69 |
| | |
| 참 고 문 헌 | 75 |
| 영 문 요 약 | 79 |

표 목 차

| | |
|---|----|
| 〈표 2-1〉 서울시 전기차 보급 목표대수(EV 마스터플랜 기준) | 11 |
| 〈표 2-2〉 서울시 전기차 보급 목표대수(서울시 내부자료 기준) | 12 |
| 〈표 2-3〉 테네시주 채터누가시 전기버스 제원 | 15 |
| 〈표 2-4〉 오염물질 배출계수식 | 18 |
| 〈표 2-5〉 수단별 단위거리당 대기오염물질 배출량 | 19 |
| 〈표 2-6〉 수단별 평균 재차인원 현황 | 19 |
| 〈표 2-7〉 버스 1대당 연간 연료비 현황 | 21 |
| 〈표 3-1〉 배터리 충전식 전기버스 제원 | 26 |
| 〈표 3-2〉 CNG버스 오염물질 배출계수 산출식 | 36 |
| 〈표 3-3〉 대기오염 비용 원단위(원/kg) | 37 |
| 〈표 3-4〉 OLEV 경제성 분석 시나리오 | 37 |
| 〈표 3-5〉 항목별 비용 비교(Case 1-시나리오 1) | 39 |
| 〈표 3-6〉 항목별 비용 비교(Case 1-시나리오 2) | 40 |
| 〈표 3-7〉 항목별 비용 비교(Case 1-시나리오 3) | 41 |
| 〈표 3-8〉 항목별 비용 비교(Case 1-시나리오 4) | 42 |
| 〈표 3-9〉 항목별 비용 비교(Case 2-시나리오 1) | 46 |
| 〈표 3-10〉 항목별 비용 비교(Case 2-시나리오 2) | 46 |
| 〈표 3-11〉 항목별 비용 비교(Case 2-시나리오 3) | 47 |
| 〈표 3-12〉 항목별 비용 비교(Case 2-시나리오 4) | 48 |
| 〈표 3-13〉 Case 구분에 따른 시나리오별 총 비용 | 50 |
| 〈표 3-14〉 서울시 노선거리별 노선 현황 | 56 |
| 〈표 3-15〉 전기버스 보급에 따른 기대효과(EV 마스터플랜 기준) | 59 |
| 〈표 3-16〉 전기버스 보급에 따른 기대효과(200대 보급 목표 기준) | 59 |
| 〈표 3-17〉 전기버스 차량 보조금 예상 소요예산(EV 마스터플랜 기준) | 60 |

〈표 3-18〉 전기버스 차량 보조금 예상 소요예산(200대 보급 목표 기준) 61
〈표 3-19〉 전기버스 배터리 교환비용 추정(EV 마스터플랜 기준) 61
〈표 3-20〉 전기버스 배터리 교환비용 추정(200대 보급 목표 기준) 62
〈표 3-21〉 서울시 박차대수 100대 이상 차고지 현황 63

그림목차

| | |
|---|----|
| 〈그림 1-1〉 서울시 연도별 대기오염물질 배출량 추이 | 3 |
| 〈그림 1-2〉 서울시 환경질 지표(Asia Green City Index) | 4 |
| 〈그림 1-3〉 서울시 연도별 수송부문 에너지 소비 비중 | 5 |
| 〈그림 1-4〉 수송부문 부문별 온실가스 배출량(2008년 기준) | 5 |
| 〈그림 1-5〉 연구의 수행 절차 | 7 |
| 〈그림 2-1〉 주요도시 충전기 구축 목표량(목표연도) | 12 |
| 〈그림 2-2〉 남산 순환전기버스 | 13 |
| 〈그림 2-3〉 서울대학교 전기셔틀버스 | 14 |
| 〈그림 2-4〉 서울대공원 코끼리전기열차 | 14 |
| 〈그림 2-5〉 테네시주 채터누가시 전기버스 | 15 |
| 〈그림 2-6〉 코네티컷주 뉴헤이븐시 전기트롤리 | 16 |
| 〈그림 2-7〉 미츠비시 중공업 전기버스 배터리 교환 시스템 | 17 |
| 〈그림 2-8〉 교토시 전기버스 시범운영 구간 및 버스 제원 | 17 |
| 〈그림 2-9〉 수단별 단위거리당 대기오염물질(CO, VOC, NOx) 배출량 | 18 |
| 〈그림 2-10〉 수단별 단위거리당 이산화탄소 배출량 | 19 |
| 〈그림 2-11〉 수단별 1인당 대기오염물질(CO, VOC, NOx) 배출량 | 20 |
| 〈그림 2-12〉 수단별 1인당 이산화탄소 배출량 | 20 |
| 〈그림 3-1〉 배터리 충전식 전기버스 | 26 |
| 〈그림 3-2〉 OLEV의 작동 원리 | 27 |
| 〈그림 3-3〉 추가비 회수기간 분석절차 | 29 |
| 〈그림 3-4〉 전기버스 추가비 회수기간 | 32 |
| 〈그림 3-5〉 전기버스 추가 투입대수 분석 | 33 |
| 〈그림 3-6〉 운영방식과 배차간격에 따른 소요 차량대수의 변화 | 34 |
| 〈그림 3-7〉 수단별 총 비용 비교(Case 1-시나리오 1) | 39 |

| | |
|---|----|
| 〈그림 3-8〉 수단별 총 비용 비교(Case 1-시나리오 2) | 40 |
| 〈그림 3-9〉 수단별 총 비용 비교(Case 1-시나리오 3) | 41 |
| 〈그림 3-10〉 수단별 총 비용 비교(Case 1-시나리오 4) | 42 |
| 〈그림 3-11〉 시나리오별 총 비용 비교 | 43 |
| 〈그림 3-12〉 급전구간 공유 비율에 따른 OLEV 경제성 비교(Case 1) | 43 |
| 〈그림 3-13〉 운행거리 변화에 따른 OLEV의 경제성 비교(Case 1) | 44 |
| 〈그림 3-14〉 수단별 총 비용 비교(Case 2-시나리오 1) | 45 |
| 〈그림 3-15〉 수단별 총 비용 비교(Case 2-시나리오 2) | 46 |
| 〈그림 3-16〉 수단별 총 비용 비교(Case 2-시나리오 3) | 47 |
| 〈그림 3-17〉 수단별 총 비용 비교(Case 2-시나리오 4) | 48 |
| 〈그림 3-18〉 급전구간 공유 비율에 따른 OLEV 경제성 비교(Case 2) | 49 |
| 〈그림 3-19〉 운행거리 변화에 따른 OLEV의 경제성 비교(Case 2) | 50 |
| 〈그림 3-20〉 서울시 단계별 친환경버스 보급 목표 | 52 |
| 〈그림 3-21〉 서울시 순환노선 현황 | 54 |
| 〈그림 3-22〉 서울시 활동인구 집중 지역 분포 | 55 |
| 〈그림 3-23〉 서울시 도로변 이산화질도 농도 현황 | 55 |
| 〈그림 3-24〉 OLEV 시범사업 도입 가능 지역 | 57 |
| 〈그림 3-25〉 전기버스 보급 기대효과 및 소요예산 추정(EV 마스터플랜 기준) | 64 |
| 〈그림 3-26〉 전기버스 보급 기대효과 및 소요예산 추정(200대 보급 목표 기준) | 65 |

제1장 연구의 개요

제1절 연구의 배경

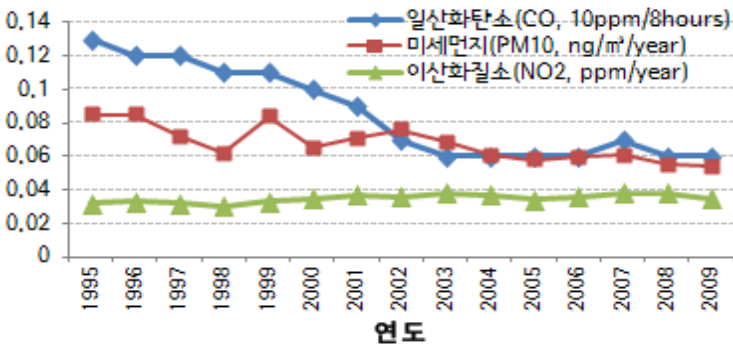
제2절 연구의 주요 내용 및 수행 절차

제 1 장

연구의 개요

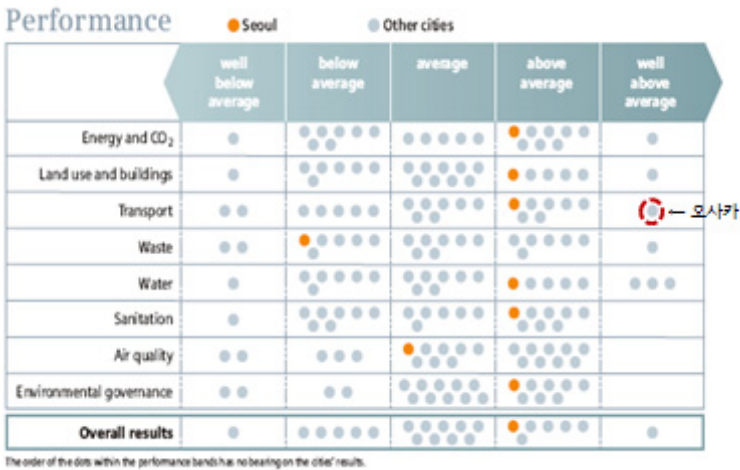
제1절 연구의 배경

서울시는 2010년 11월에 2020년까지 전기차 12만대 보급을 골자로 하는 “그린카 스마트 서울 선언”을 발표한 데 이어 2011년 7월에 2014년까지 전기이륜차를 포함한 전기차 4만대 보급을 목표로 하는 “서울시 전기차(EV) 보급 마스터플랜 2014”를 발표하였음. 이 마스터플랜에는 전기승용차뿐만 아니라 대중교통 수단 중 하나인 버스에 전기버스를 도입하겠다는 계획도 포함되어 있음. 이에 따라 버스운영 특성을 파악하여 전기버스 도입에 대한 구체적이고 단계적인 도입 방안 수립이 필요함.



〈그림 1-1〉 서울시 연도별 대기오염물질 배출량 추이

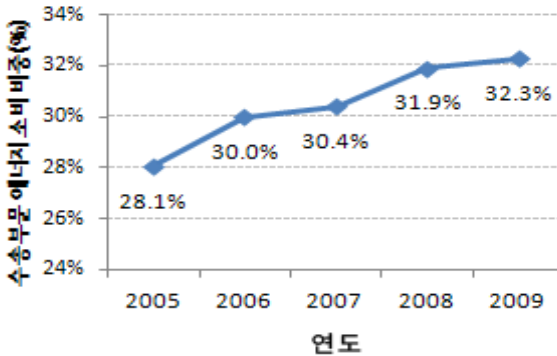
서울시의 대기질은 2000년에 비하여 점차 나아지고 있는 추세이나 아직 아시아 주요 도시에 비교하면 중간 이상의 수준에 머무르고 있음. EIU(Economist Intelligence Unit)가 개발한 아시아 녹색도시 인덱스(Asian Green City Index)에 따르면 총 22개 아시아 주요 도시 중 서울의 환경질은 중간 이상 수준이고 대기질은 중간 수준임. 대중교통 네트워크, 도시 대중교통 정책, 교통혼잡 저감정책 등 다각도의 노력에도 불구하고 서울시의 교통수준은 평균 이상에 머무르고 있음. 따라서 세계 5대 도시 진입에 걸림돌인 대기질 및 교통부문 개선을 위해 대중교통 차량의 친환경 차량화가 필요함.



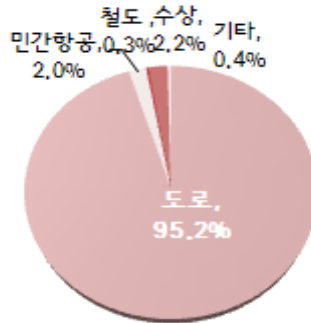
〈그림 1-2〉 서울시 환경질 지표(Asia Green City Index)

서울시 수송부문의 에너지 소비 비중은 2005년 28.1%를 기록한 이후로 계속 증가하여 2009년에는 32.3%를 나타냄. 2008년 수송부문 온실가스 배출량을 살펴 보면 도로부문이 95.2%로 가장 높은 비중을 나타냄. 또한 서울시의 GRDP당 탄소배출량은 123.7ton CO₂/Mil. USD로 해외 주요도시(스톡홀름 : 67ton CO₂/Mil. USD, 도쿄 : 68.8ton CO₂/Mil. USD, 뉴욕 : 95.7ton CO₂/Mil. USD, 런던 : 95ton

CO₂/Mil. USD)에 비해 많은 수준이며, 특히 교통부문의 배출량은 다른 도시들의 두 배에 달함.¹⁾



〈그림 1-3〉 서울시 연도별 수송부문 에너지 소비 비중



〈그림 1-4〉 수송부문 부문별 온실가스 배출량(2008년 기준)

서울시는 이러한 배경하에 교통부문의 탄소배출량을 감축하기 위해 전기차 보급 계획을 추진하고 있으며 그 중에서도 많은 시민들이 이용하는 대중교통수단 중 하나인 버스에 전기버스를 도입하려고 함. 2011년 6월 기준, 서울시 시내

1) 교통부문 GRDP당 탄소배출량

: 서울 - 41.5ton CO₂/Mil. USD, 스톡홀름 - 20.8ton CO₂/Mil. USD, 도쿄 - 17.9ton CO₂/Mil. USD, 뉴욕 - 21.6ton CO₂/Mil. USD, 런던 - 19.9ton CO₂/Mil. USD

버스는 총 7,138대가 운행 중이며 하루 평균 4,595천 명이 이용하는 것으로 나타났다. 교통안전공단에서 발표한 ‘2008년 자동차 주행거리 실태조사’에 따르면 서울시 시내버스의 일평균 주행거리는 227.1km²)이며 연간 평균 주행거리는 약 780만km로 나타났다. 이렇듯 서울시민들의 주요한 대중교통 수단이며 일평균 주행거리도 긴 버스에 환경오염 물질 배출량이 거의 없는 전기버스를 도입하게 된다면 서울시 대기질 개선에 도움을 줄 수 있을 것으로 예상된다.

이 연구에서는 전기버스 도입 전략 구축에 필요한 기초 자료를 확보하여 서울시 교통특성에 맞는 세부적인 전기버스 도입 전략을 제시하고 향후 전기버스 도입 시 검토해야 할 사항들을 제시하고자 함. 더불어 전기버스의 특성에 따라 적용될 수 있는 노선들의 특징을 제시하여 향후 전기버스를 도입하는 데에 있어 가이드라인 역할을 수행하고자 함.

제2절 연구의 주요 내용 및 수행 절차

1. 연구의 주요 내용

- 서울시 전기버스와 충전시설 보급 현황 및 목표 조사
- 해외 주요도시 전기버스 도입사례 조사
- 서울시 친환경버스 도입의 필요성 검토
- 전기버스 추가비 회수기간 분석
- 차종별, 시기별 전기버스 보급 전략 제시
- 전기버스 보급에 따른 경제성 분석

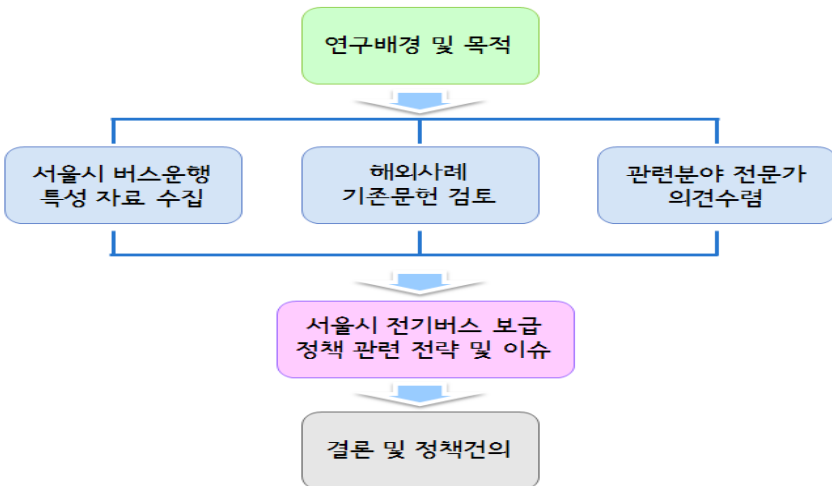
2) 서울시 차종별 일평균 주행거리 현황
: 개인승용 - 33.7km/일, 법인택시 - 338.7km/일, 개인택시 - 155.7km/일,
상업용 화물 - 106.1km/일

2. 연구 수행 절차

이 연구를 수행하기 위해서 먼저 서울시내 대기오염 현황, 부문별 에너지 소비량 및 대기오염 배출량 등을 조사하고 서울시내 버스노선의 길이, 배차간격, 운행대수, 운행시간 등 버스운행 특성을 파악함으로써 서울시 버스운행 특성에 맞는 전기버스 도입 전략을 제시하기 위한 기초 자료를 확보하였음.

현재 서울시내 전기버스 보급 현황뿐만 아니라 해외 여러 도시들의 전기버스 보급 사례들을 검토함으로써 세계적으로 전기버스에 대한 관심이 높아지고 있다는 사실과 타 수단과의 대기오염물질 배출량을 비교하여 전기버스 도입 필요성에 대한 타당성을 검토하였음. 또한 각 차종의 주행 및 운영특성을 비교·분석하여 서울시내 버스 노선의 유형에 따라 도입이 가능할 것으로 예상되는 전기버스를 분석하였음.

위 자료들을 바탕으로 전기버스 도입에 필요한 전략 및 이슈들을 도출해내어 각 차종에 맞는 전기버스 도입 전략을 제시하고 향후 전기버스 도입 시 고려해야 할 사항들을 살펴보았음. 더불어 전기버스 보급에 따른 기대효과(대기질 개선, 에너지 및 연료비 절감)를 추정하였음.



〈그림 1-5〉 연구의 수행 절차

제 2 장 친환경버스 도입의 필요성

제1절 국내외 여건 및 정책추진 방향

제2절 서울시 친환경버스 도입 필요성

제 2 장

친환경버스 도입의 필요성

제1절 국내·외 여건 및 정책추진 현황

1. 서울시 전기버스 및 충전인프라 구축 목표

서울시는 2011년 7월에 2014년까지 전기이륜차를 포함한 전기차 4만대 보급과 전기차 충전시설 8,000대 보급을 목표로 하는 “서울시 전기차(EV) 보급 마스터플랜 2014”를 발표하였음. 그 중 전기버스의 2014년 보급 목표는 총 400대로 2011년 1월말 기준 서울시 시내버스 인가대수인 7,548대의 5% 수준임.

〈표 2-1〉 서울시 전기차 보급 목표대수(EV 마스터플랜 기준)

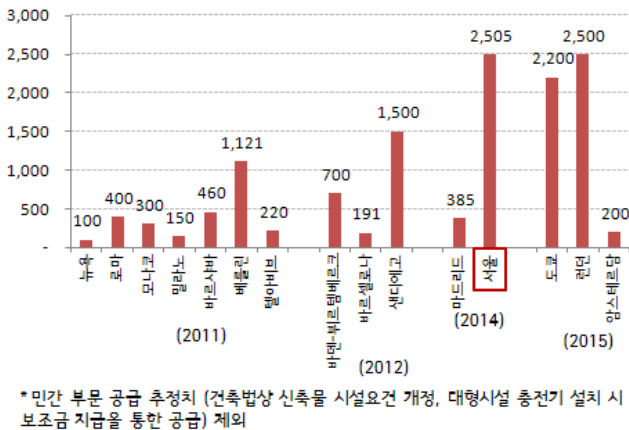
| 차종 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 합계 |
|-------|------|------|-------|--------|--------|--------|
| 전기승용차 | 36 | 50 | 1,630 | 8,120 | 18,764 | 28,600 |
| 전기버스 | 5 | 20 | 50 | 100 | 225 | 400 |
| 전기택시 | 0 | 10 | 50 | 300 | 640 | 1,000 |
| 전기이륜차 | 393 | 175 | 1,000 | 2,000 | 6,432 | 10,000 |
| 합계 | 434 | 255 | 2,730 | 10,520 | 26,061 | 40,000 |

서울시는 전기차의 기술 개발 수준, 경제성 확보 여부 및 시범 사업의 진행 상황에 따라 2014년까지 목표 달성이 어려울 경우를 대비하여 전기차 보급 목표대수를 25,000대 수준으로 수정하는 방안도 검토 중임.

〈표 2-2〉 서울시 전기차 보급 목표대수(서울시 내부자료 기준)

| 차종 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 합계 |
|-------|------|------|------|-------|--------|--------|
| 전기승용차 | 36 | 37 | 365 | 5,000 | 13,962 | 19,400 |
| 전기버스 | 5 | 9 | 16 | 50 | 120 | 200 |
| 전기택시 | - | - | 20 | 50 | 330 | 400 |
| 전기이륜차 | 160 | 175 | 320 | 1,000 | 3,345 | 5,000 |
| 합계 | 201 | 221 | 721 | 6,100 | 17,757 | 25,000 |

서울시 2014년 전기차 충전시설 보급 목표는 총 8,000대로 그 중에서 공공부문 2,505대, 민간부문 5,495대 보급을 목표로 하고 있음. 서울시가 목표로 하는 공공부문 2,505대는 세계 주요도시들과 비교해 보았을 때 도쿄, 런던과 유사한 수준이며 전기버스 운영을 위해서는 버스 차고지 내 충전시설 확충 등 추가적인 노력이 필요함.



〈그림 2-1〉 주요도시 충전기 구축 목표량(목표연도)

2. 국내 전기버스 도입 사례

1) 남산순환 전기버스(서울시)

서울시는 2010년 12월 남산 주변을 운행하는 02번, 03번, 05번 시내버스에 전기버스 도입을 시작하였음. 시행 당시 총 5대의 전기버스를 투입하였고 2011년 2월 9대로 증편 운행하였음. 향후 운행결과를 바탕으로 5대의 전기버스를 추가로 투입할 계획임.



〈그림 2-2〉 남산 순환전기버스

2) 서울대 그린캠퍼스 GI(Green Zone Initiative) 사업(환경부)

서울대학교는 환경부의 지원을 받아 2011년 5월부터 지하철 2호선 서울대입구역부터 서울대학교 행정관까지 총 7km 구간을 왕복운행하는 셔틀버스에 전기버스를 도입하였음. 전기버스의 충전시설은 서울대학교 제2파워플랜트 주변 셔틀버스 차고지에 위치해 있음.



〈그림 2-3〉 서울대학교 전기셔틀버스

3) 서울대공원 ‘코끼리전기열차’ 운행 개시

서울대공원은 2011년 7월 새로 제작된 OLEV 열차 3대의 상용 운영을 개시 하였음. 기존 ‘코끼리열차’의 이름을 변경한 ‘코끼리전기열차’는 총 연장 2.2km의 순환 구간을 운행하고 성능 모니터링을 실시 중임. 코끼리전기열차의 급전 구간은 전체 노선의 약 17%인 372.5m이며 도로 하부에 설치된 무선 공급시설을 통해 차량에 전기를 공급하고 나머지 구간은 배터리에 충전된 에너지로 운행을 함.



〈그림 2-4〉 서울대공원 코끼리전기열차

3. 해외 전기버스 도입 사례

1) 미국 테네시주 채터누가시 전기버스

1991년 채터누가 지역교통국(Chattanooga Area Regional Transportation Authority, CARTA)은 도시의 심각한 대기오염을 줄이기 위해 전기버스 도입을 시도 하였음. 처음에는 참여 회사가 없어서 어려움을 겪었지만 결국 연방교통국(Federal Transit Administration, \$15.7 million), 테네시강 유역개발공사(Tennessee Valley Authority, \$2 million), 테네시주 교통국(Tennessee Department of Transportation, \$2 million)의 재정적 뒷받침으로 전기버스 도입에 성공하였음.

1992년 CARTA는 Advanced Vehicle Systems(AVS)이란 회사와 파트너십을 맺어 12대의 전기버스를 도입하고 운행을 시작하였음.

〈표 2-3〉 테네시주 채터누가시 전기버스 제원

| | 구 분 | 특 성 |
|-----|--------------|---|
| 차 량 | 22ft | \$ 160,000 |
| | 31ft | \$ 180,000 |
| 비 용 | 연료비 | \$0.04~0.05/mile (디젤 \$0.16/mile) |
| | 유지비 | \$0.045~0.075/mile (디젤 \$0.185/mile) |
| | 연료소모량 | 1.2~1.8kWh/mile (디젤 4mpg) |
| 운 행 | 최고속도 | 40mph |
| | 1회 충전 후 주행거리 | 45~60miles |



〈그림 2-5〉 테네시주 채터누가시 전기버스

출처 : U.S. Department of Energy, 1997, Electric Buses Energize Downtown Chattanooga, Argonne National Laboratory

2) 미국 코네티컷주 뉴헤이븐시 전기트롤리

2002년 연방교통국(Federal Transit Administration) 지원으로 전기트롤리 프로젝트가 개발되고 2011년에는 Greater New Haven Transit District, New Haven 시정부, New Alliance Bank, United Illuminating Co.가 공동으로 전기트롤리 4

대를 운영 중임. 전기트롤리 고속충전기 및 인프라 구축비용으로 총 1,066,900 달러가 소요되었음.)³⁾



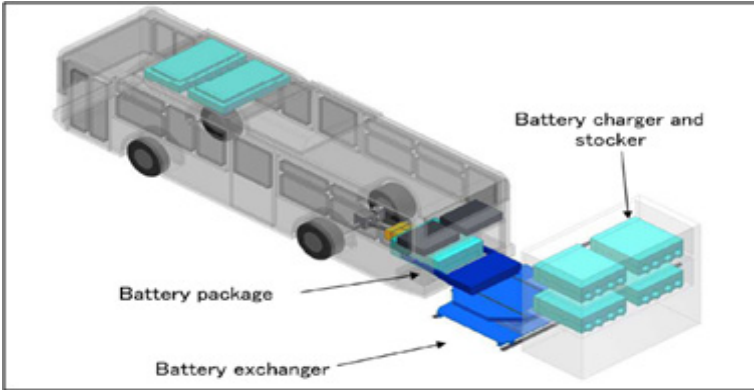
〈그림 2-6〉 코네티컷주 뉴헤이븐시 전기트롤리

3) 일본 미츠비시 중공업 전기버스 배터리 교환 시스템

배터리 충전식 전기버스를 운영하기 위해서 가장 문제가 되는 것은 긴 충전 시간으로 급속충전을 해도 30분~1시간 정도의 시간이 필요하고 사용하는 전력량도 높음. 이러한 문제점에 대응하기 위해서 미츠비시 중공업은 배터리 교환형 전기버스를 개발 중임. 배터리 교환형 전기버스는 디젤버스 주유시간과 비슷한 수준의 배터리 교환시간이 필요하고 버스 외부에서 충전이 이루어지므로 충전인프라 규모 및 비용의 절감이 가능하다는 장점이 있음. 미츠비시는 316만 달러의 예산으로 캐나다 Manitoba 정부, Red River College, 캐나다 Manitoba 수력, New Flyer Industries, 캐나다 ULC와 공동으로 2011년 5월부터 3년간 프로젝트를 개시하였음.)⁴⁾

3) 출처 : City of New Haven, 2011, Trolley Fact Sheet
 뉴헤이븐시 전기트롤리 웹사이트(<http://www.cityofnewhaven.com/trafficparking/trolley.asp>)
 New Haven Transportation Department, 2007, Downtown Electric Trolley Future Service Proposal

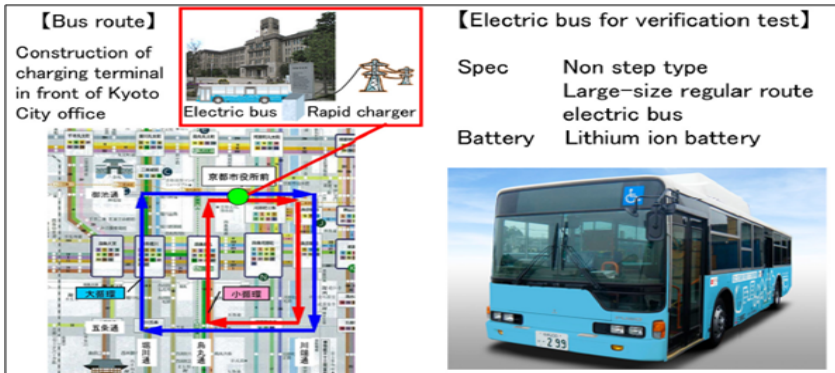
4) 출처 : Kakuham, Y. et al., 2011, Next-generation public transportation: electric bus infrastructure project. Mitsubishi Heavy Industries Technical Review 48(1): 1-4.



〈그림 2-7〉 미츠비시 중공업 전기버스 배터리 교환 시스템

4) 일본 교토시 전기버스 시범운영

일본 교토시는 2011년 2월에 5km 구간과 7km 구간에 2대의 전기버스를 10일간 시범운영 하였음. 교토시는 시범운영 모니터링 후 2012년부터 전기버스 사업을 본격적으로 추진할 예정임.⁵⁾



〈그림 2-8〉 교토시 전기버스 시범운영 구간 및 버스 제원

5) 출처 : http://www.shimbun.denki.or.jp/en/news/20110215_01.html
 교토시정부 웹사이트(http://www.city.kyoto.jp/koho/eng/topics/2011_1/index.html)

제2절 서울시 친환경버스 도입 필요성

1. 수단별 대기오염물질 배출계수 비교

소형승용차에 비해 버스 1대가 배출하는 단위거리당 대기오염물질 배출량은 상당히 많음. 버스 1대의 단위거리당 대기오염물질(CO, VOC, NOx) 배출량은 소형승용차의 30.4배에 달하고 이산화탄소 배출량은 소형승용차의 4.3배에 이룸.

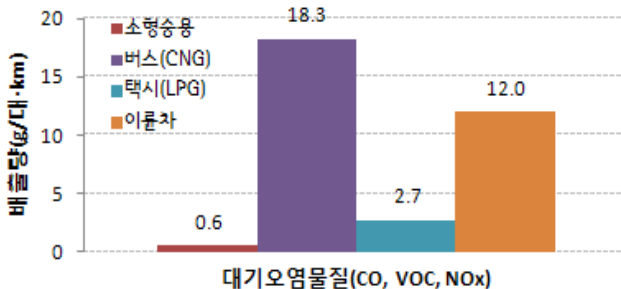
〈표 2-4〉 오염물질 배출계수식

| | CO(g/km) | VOC(g/km) | NOx(g/km) | CO ₂ (g/km) |
|--------------------|----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 승용차 (1600cc 미만) | $1.4898 \cdot V^{-0.3837}$ | $0.1738 \cdot V^{-0.7268}$ | $0.1563 \cdot V^{-0.2671}$ | $1313.7 \cdot V^{-0.6}$ |
| 버스(CNG) | $18.235 \cdot V^{0.3767}$ | $8.0544 \cdot e^{(-0.0174 \cdot V)}$ | $8.6975 \cdot e^{(-0.013 \cdot V)}$ | $5019.8 \cdot V^{-0.5582}$ |
| 택시(LPG) | $13.38 \cdot V^{-0.5948}$ | $6.3304 \cdot V^{-1.2443}$ | $2.2994 \cdot V^{-0.6773}$ | $1805.7792 \cdot V^{-0.6233}$ |
| 이륜차 | 50cc 미만 | 8.300 | 3.68 | 0.04 |
| | 50cc 이상 | 7.33* | 1.1 | 0.1 |

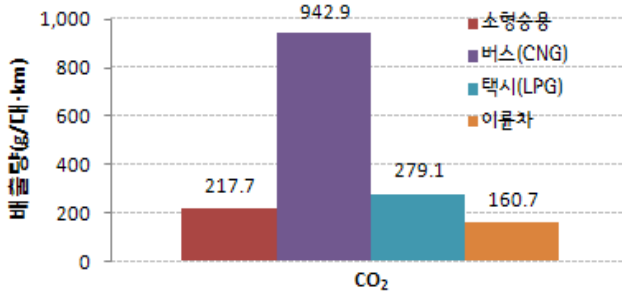
출처 : 대기오염물질(CO, NOx, VOC); 국립환경과학원, “국가대기오염물질 배출량 산정방법 편람”, 2010, CO₂; 국립환경과학원, “수송부문 온실가스 기후변화대응 시스템구축”, 2009

주 : 1) V=속도

2) 이륜차의 경우 CO₂ 배출계수식이 없어 승용차 1000cc 미만의 배출계수식 활용



〈그림 2-9〉 수단별 단위거리당 대기오염물질(CO, VOC, NOx) 배출량



〈그림 2-10〉 수단별 단위거리당 이산화탄소 배출량

〈표 2-5〉 수단별 단위거리당 대기오염물질 배출량

| | | 오염물질 배출량(단위 : g/대·km) | | | | | | | |
|-----------------|-----|-----------------------|--------|---------|--------|---------|--------|-------|--------|
| | | 소형승용 | | 버스(CNG) | | 택시(LPG) | | 이륜차 | |
| 대기 오염 물질 | CO | 0.47 | 84.0% | 5.90 | 32.2% | 2.25 | 83.2% | 8.30 | 69.1% |
| | VOC | 0.02 | 3.5% | 5.67 | 31.1% | 0.15 | 5.6% | 3.68 | 30.6% |
| | NOx | 0.07 | 12.5% | 6.71 | 36.7% | 0.30 | 11.2% | 0.04 | 0.3% |
| | 계 | 0.56 | 100.0% | 18.29 | 100.0% | 2.71 | 100.0% | 12.02 | 100.0% |
| CO ₂ | | 217.7 | | 942.9 | | 279.1 | | 160.7 | |

주 : 이륜차의 경우, CO₂ 배출량은 산출식이 존재하지 않는 관계로 경형승용차(1000cc 미만)의 산출식을 적용하였음

수단별 평균 재차인원을 고려하여 버스 승객 1명이 1km를 가는 동안 배출하는 대기오염 물질을 계산해보면 버스 1대와 소형승용차 1대가 배출하는 대기오염 물질 배출량은 조금 다른 추세를 나타냄.

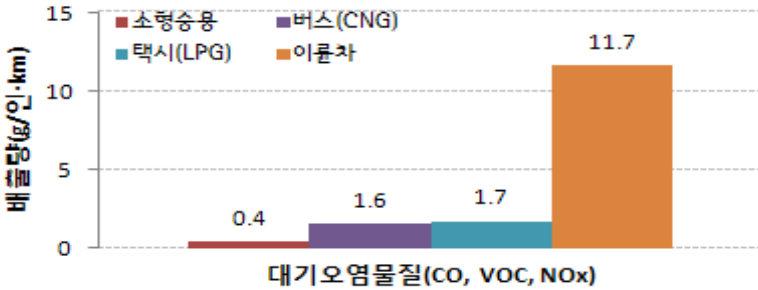
〈표 2-6〉 수단별 평균 재차인원 현황

| 수단 | 승용차 | 택시 | 승합차 | 버스 |
|---------------|------|------|------|-------|
| 평균 재차인원 (명/대) | 1.18 | 1.43 | 1.38 | 14.56 |

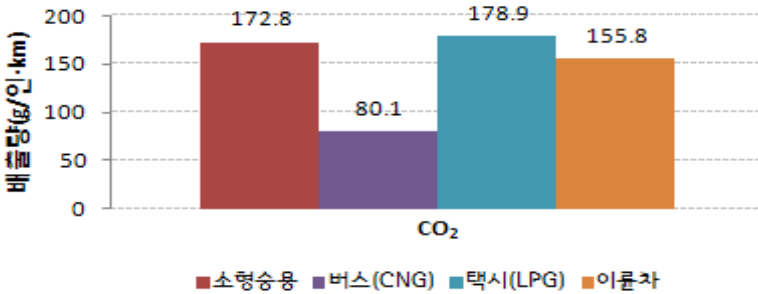
출처 : 한국교통연구원, 2011, 「2010년 국가교통수요조사 및 DB 구축사업」

버스 이용객 1인당 대기오염물질(CO, VOC, NOx) 배출량은 소형승용차의 4배 수준이고 이산화탄소 배출량은 소형승용차의 절반 수준을 나타냄. 이는 대

기환경 개선에 기여하기 위해 1인당 대기오염물질 배출량이 많은 CNG버스를 친환경버스로 전환해야 할 필요가 있음을 시사함.



〈그림 2-11〉 수단별 1인당 대기오염물질(CO, VOC, NOx) 배출량



〈그림 2-12〉 수단별 1인당 이산화탄소 배출량

2. 연료비 감축 및 전기차 사업 확대 추진

CNG버스 1대를 전기버스로 전환하게 되면 1대당 연간 3.3~4.4천만 원의 연료비 절감 효과가 나타남. CNG버스에 사용되는 CNG의 가격은 902.56원/Nm³를 적용하였고, 전기버스에 사용되는 전기료는 비침두 시에는 51.2원/kWh, 침두 시에는 206.5원/kWh를 적용하였음. 또한 버스의 일평균 주행거리는 227.1km

로 적용하였고 CNG버스의 연비는 1.6km/Nm³, 전기버스의 연비는 1.26km/kWh로 적용하여 분석하였음.

〈표 2-7〉 버스 1대당 연간 연료비 현황

| | CNG버스 | | 전기버스 | | |
|----|--------------------------------|------------------|--------------------|--------------|--------|
| | 연평균사용량 (Nm ³ /년) | 총 연료비 (천 원/년) | 연평균 사용량 (kWh/년) | 총 연료비(천 원/년) | |
| | | | | 비침두 | 침두 |
| 버스 | 51,800 | 46,753 | 65,778 | 3,368 | 13,583 |

앞서 언급했듯 해외에서도 전기버스에 대한 관심이 높아지고 있는 추세임. 국내에서도 전기버스와 관련된 사업들이 확대되고 있는 추세로 서울시는 가장 먼저 남산 순환 전기버스를 2010년 12월부터 운영을 시작하여 2011년 10월 현재 9대를 운영 중임. 더불어 서울대공원은 2011년 7월부터 OLEV 열차 3대를 제작하여 운영을 시작하였고 서울대학교는 2011년 5월부터 서울대입구역부터 서울대학교 행정관 앞까지 운행하는 셔틀버스에 전기버스 1대를 투입하여 운영을 하고 있음.

제 3 장 친환경버스 도입 전략

제1절 도입 차종 관련 전략

제2절 도입 시기 및 장소 관련 전략

제3절 시범사업 관련 전략

제4절 기대효과 및 비용

제 3 장

친환경버스 도입 전략

제1절 도입 차종 관련 전략

1. 전기버스 특성

현재 개발되고 상용화 단계로 들어간 전기버스의 종류에는 배터리 충전식 전기버스와 온라인 전기버스가 있음. 배터리 충전식 전기버스는 현재 남산을 순환하는 노선 및 서울대학교 셔틀버스로 운행되고 있음. 배터리 충전식 전기버스의 장점은 기존 디젤버스나 CNG버스에 비해 저렴한 전기료로 인해 연료비 절감이 가능하다는 것임. 전기버스의 전기료는 기존의 CNG버스 연료비의 30% 수준으로 상당히 낮음. 또한 전기버스에서 배출하는 환경오염물질 배출량 또한 기존 CNG버스의 38% 수준으로 낮아 서울시 대기질 개선에 기여할 수 있을 것으로 예상됨.

그러나 배터리 충전식 전기버스는 1회 충전 후 주행할 수 있는 거리가 60km/h로 정속주행 했을 때 110km 수준으로 거리의 제약을 상당히 받음. 그리고 배터리를 충전하기 위해 걸리는 시간도 상당히 김. 급속충전기를 사용하여

배터리를 충전하기 위해서는 20~30분 정도가 소요되고, 이는 일반 가솔린 및 LPG 충전시간의 7배 수준임. 완속충전으로 배터리를 충전할 경우, 5~10시간 이 소요되어 배터리 충전시간으로 인한 배차간격 조정이나 투입대수 조정이 불가피함. 또한 현재 개발되고 있는 배터리도 상당히 비싼 가격으로 책정되어 있어 전기버스 보급에서 경제적으로 가장 큰 걸림돌이 되고 있음. 100kWh 배터리를 구입하기 위해서는 현재 약 1억 원 정도가 필요함. 추후 기술개발로 인해 배터리의 가격이 낮아질 것으로 예상되지만 대용량 배터리가 필요한 버스의 경우에는 단계별 보급 전략 마련이 불가피할 것으로 예상됨.



〈그림 3-1〉 배터리 충전식 전기버스

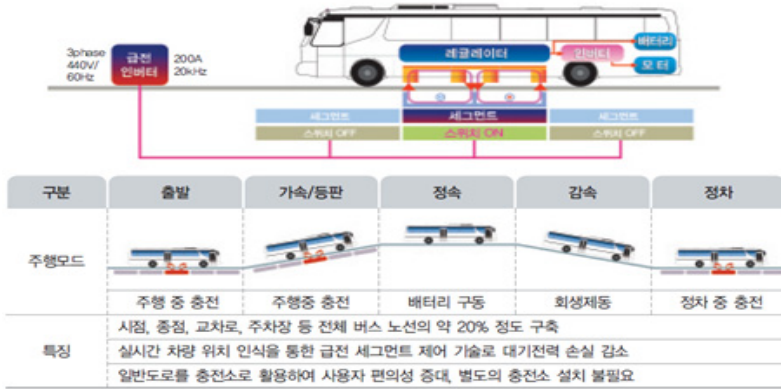
〈표 3-1〉 배터리 충전식 전기버스 제원

| | 구분 | 특성 |
|-----|--------------------|-------------------------------|
| 차 량 | 무게 | 10,7ton |
| | 크기 | 11m(길이) × 2.49m(폭) × 3.5m(높이) |
| 엔진 | 모터 | 240kW(322hp) |
| | 배터리 | 리튬-이온 폴리머(80kWh) |
| 주행 | 최고속도 | 100km/h |
| | 등판능력 ¹⁾ | 30%(17°) |
| | 1회 충전 후 주행거리 | 110km(60km/h 정속주행 시) |
| | 충전 시간 | 20분(급속) |

주 : 1) 자동차가 오를 수 있는 최대 구배를 말하며, 엔진의 힘과 중량과 관계가 있으며, 최대경사각(tanθ)으로 표시함

온라인 전기버스는 배터리 충전식 전기버스와 마찬가지로 저렴한 전기료로 인해 연료비 절감이 가능함. 온라인 전기버스의 경우 기존 디젤버스나 CNG버

스 연료비의 40% 수준에 불과한 전기료가 필요함. 온라인 전기버스도 환경오염 물질 배출량 감소가 가능하고 정차 및 주행 중 충전도 가능해 배터리 충전시간이 따로 필요 없다는 장점을 가지고 있음.



〈그림 3-2〉 OLEV의 작동 원리

배터리 충전식 전기버스와 온라인 전기버스 이외에도 배터리 교환형 전기버스도 고려해 볼 필요가 있음. 배터리 교환형 전기버스는 정차 중이나 차고지 또는 교환소에서 사용된 전기버스의 배터리를 새 배터리로 교환하는 방식의 버스임. 앞서 언급했던 일본의 미츠비시 중공업이 추진했던 전기버스 배터리 교환 시스템과는 다른 방식의 배터리 교환형 전기버스가 우리나라에서 개발되고 있음. 그러므로 향후에는 배터리 교환형 전기버스에 대한 검토도 필요하다고 판단됨.

2. 전기버스 보급 시 고려사항

전기버스를 보급할 때 고려해야 할 사항은 크게 3가지로 볼 수 있음. 그 첫 번째는 경제성임. 배터리 충전식 전기버스는 대형 배터리를 장착함으로써 가격이 높음. 현재 남산에서 운행되고 있는 전기버스의 경우 부가가치세를 포함한

가격이 대당 5.5억 수준⁶⁾으로 매우 고가임. 그리고 큰 배터리 부하로 인해 3~5년 주기로 배터리 교체가 필요하게 됨. 배터리 충전식 전기버스의 이러한 경제적 문제점에 대응하기 위한 방안으로는 차량 구매 시에 기존 버스와 차액의 일정 부분을 보조금으로 지원해주는 방안, 장기저리융자를 통한 경제적 부담을 낮춰주는 방안, 세제 혜택 및 수익 보조와 같은 전기버스 구매에 대한 대응방안, 배터리를 분리하여 판매하는 방안, 상대적으로 작은 배터리를 사용하는 OLEV(On-Line Electric Vehicle)를 도입하는 방안이 있음.

두 번째는 편의성임. 전기버스는 일반 승용 전기차에 비해 운행효율이 낮아 잦은 충전이 필요하게 됨. 그리고 전기버스 배터리가 일반 승용 전기차의 배터리에 비해 상당히 크기 때문에 방전하게 되었을 경우, 신속한 대처를 하기 어려운 점이 있음. 이러한 편의성 문제에 대응하기 위한 방안으로는 차고지에서 충전시간 확보가 용이한 단거리 노선에 전기버스를 우선 도입하는 방안과 방전 우려가 적은 OLEV(On-Line Electric Vehicle)를 도입하는 방안이 있음.

세 번째는 차량 공급의 안정성임. 현재 전기버스는 대형 전기버스 중심으로 개발이 진행되고 있지만 아직 대량생산계획이 확정되지 않았기 때문에 차량공급이 안정적이지 못 함. 이러한 차량 공급 안정성 문제에 대응하기 위한 방안으로 버스회사에서 전기버스를 구매할 계획을 가지고 있으면 그 규모와 시기를 미리 예고하여 예정된 차량 대수만큼을 생산하여 차량생산에 차질이 일어나지 않게 하는 구매예고제를 고려해 볼 수 있음.

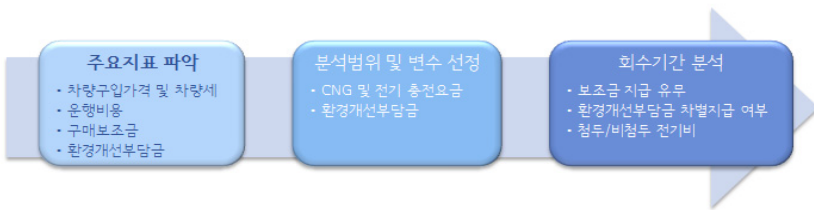
서울시가 전기버스 보급에서 어려움을 겪지 않기 위해서는 위에서 말한 전기버스의 경제성, 편의성, 차량공급 안정성 등 여러 가지 문제들을 하나하나씩 해결해나가야 한다고 판단됨.

6) 한국화이버에서 개발한 e-Primus의 초기 구입 가격은 약 6억 5천만 원이나 재납품 시에는 약 4억 5천만 원 수준으로 낮아져 평균 5억 5천만 원으로 책정하였음.

3. 추가비 회수기간 분석

1) 분석절차 및 주요지표

전기버스의 경제성을 객관적으로 파악하기 위해 전기버스의 높은 초기 가격으로 인해 발생하는 추가비용을 연료비 절감분, 보조금, 유지관리비 절약분 등으로 나누어 회수할 수 있는 기간을 분석하였음. 이를 위해 차량 구입 가격, 차량세, 운행비용, 구매보조금 등의 주요 지표들을 파악하고 분석 범위 및 변수를 설정한 후 전기버스의 추가비 회수기간을 도출하였으며 환경개선부담금의 적용 유무에 따른 회수기간 변화 또한 살펴보았음.



〈그림 3-3〉 추가비 회수기간 분석절차

전기버스 추가비 회수기간 분석을 위해서 필요한 몇 가지 주요 지표 중 가장 중요한 지표는 차량의 구입 가격임. 세금 책정 전, 배터리 가격을 포함한 전기버스의 가격은 현대자동차에서 개발한 Elec-City가 약 4억 5천만 원 수준이며, 한국화이바에서 개발한 e-Primus가 약 6억 5천만 원 수준⁷⁾이고, 기존 버스의 대표차종으로 사용한 뉴 슈퍼 에어로시티 CNG 초저상 도시표준형 버스가 약 2억 1천만 원 수준임.

구매단계 및 운행단계에서의 우대세제는 CNG버스와 동일수준의 혜택을 가정하였음.⁸⁾ 총 1,200만 원(부가가치세 900만 원, 취득세 300만 원)의 세제 혜택

7) e-Primus 초기 구입 가격은 약 6억 5천만 원이나 재납품 시 약 4억 5천만 원 수준으로 낮아짐.

을 가정하였고, 전기버스 운행 시 연간 환경개선부담금 166만 원을 면제해준다고 하였으며, 전기버스 운행비용은 유지관리비(maintenance) 및 배터리 교환비용(battery replacement)으로 구성되어 있다고 가정하였음.⁹⁾ 또한 배터리 교환주기는 5년으로 가정하였고 100kWh 배터리의 가격은 1억 원으로 책정하였으며 차량 구매 시, 정부는 기존 버스와의 차액 50%를 보조금으로 지원해주고 지자체는 기존 버스와의 차액 25%만큼을 보조금으로 지원해준다고 가정하였음.

현재 운행되고 있는 CNG버스에 적용되는 구매/운행 보조 지원현황을 살펴보면 환경부에서 적용하는 방식과 서울시에서 적용하는 방식이 있음. 먼저 환경부에서 적용하는 구매/운행 보조 지원현황에서 버스 구입보조금은 대당 2,250만 원으로 국가에서 50%, 지자체에서 50%를 지원해 주고 있음.¹⁰⁾ 세제감면은 대당 900만 원의 부가가치세와 약 300만 원의 취득세를 감면해주고, 대당 연간 환경개선부담금 166만 원을 면제해주며, 충전소당 약 1,500만 원의 법인세를 감면해줄 뿐만 아니라 실린더 등 기타 부품 수입 시 관세도 감면해주고 있음. 운행보조 지원은 천연가스와 경유의 가격차가 115원 이하인 경우에 차액을 지원해주고, 충전소가 왕복 4km 이상 떨어진 경우에 공차운행으로 인한 손실액을 최대 22km까지 지원해주고 있음.¹¹⁾

서울시는 차령(9년)이 만료된 시내버스에 대해 CNG버스 도입을 의무화하고 있음.¹²⁾ CNG버스 도입 의무화와 동시에 경유버스와의 가격차에서 발생하는

8) 출처 : 조세연구원, 2010, 친환경 자동차세제 개편방안,
한국교통연구원, 2010, 온실가스 저감을 위한 자동차세제 개편방안,
매일경제 · 조세일보 · 이코노믹 리뷰 기사

9) 출처 : en.wikipedia.org/wiki/Electric_car

10) 출처 : 환경부 교통환경기획과, 2007, 천연가스 자동차 보급정책

11) 공차운행연료비 : 버스업체가 분기별로 사후 신청하며, 충전대수와 공차거리(충전소 지정) 및 공차운행횟수에 따라 차고지 - 충전소 이동에 따른 연료비(충전소 단가에 따름)를 지급(최소 왕복 4km 이상)하고, 2010년 3/4분기부터는 계산프로그램(충전소 개별 자료와 e-BusNet 운행 자료, 버스운행기록이 담겨 있는 스마트카드 자료를 연계하여 데이터베이스화한 프로그램)을 이용해 신청 이전에 정부가 업체에 통보(업체는 계산내역 확인 후 동의 혹은 이의신청)

12) 출처 : 파이낸셜뉴스 (2006/9/13) “서울 시내버스 CNG버스 교체”

차액(대당 3,100만 원)을 보조금 2,250만 원(국가 50%, 서울시 50%)과 장기저리융자금 850만 원으로 전액 지원해주고 있음. 그리고 버스업체가 연간 40대 이상 CNG버스를 구입하거나 CNG버스 보유 비율이 80% 이상인 경우, 시책지원금을 지원해주고 있음. 또한 조기 폐차 후 CNG버스로 교체하는 경우, 손실보조금 70~550만 원을 지원해주고 있으며 충전소를 확충하고 있음.

서울시는 통근·통학용으로 사용되는 버스에도 CNG버스 도입을 추진하고 있음.¹³⁾ 2011년 CNG 관광버스의 대당 구입비는 약 1억 5천만 원 수준으로 경유 관광버스보다 1,850만 원이 비싸지만 이 차액을 모두 보조금으로 지원하고 있음. 그리고 차령 9년 이하 경유버스를 CNG버스로 교체 시, 손실 보전을 위해 차연식 9년을 기준으로 남은 개월 수에 25~950만 원의 특별보조금을 지원해주고 있음. 또한 연식에 따라 850~4,250만 원만큼 2%의 저리융자금을 지원해주고 있으며 공영주차장 야간 우선 이용 및 주차료 50% 감면 혜택을 제공하고 있음.

2) 변수 산정 및 분석결과

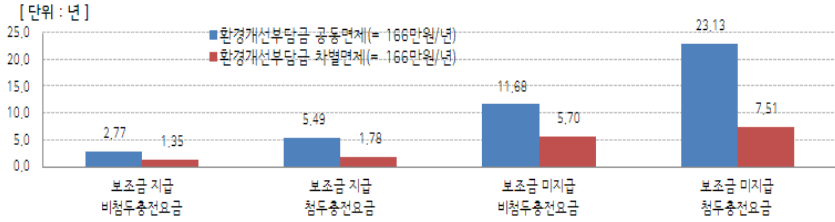
전기버스의 추가비 회수기간을 분석하기 위해 설정된 변수에는 앞서 언급한 차량 구입 가격, 보조금, 유지관리비, 배터리 교환비용, 세제혜택과 더불어 전기버스가 사용하는 전기료, CNG 단가, 버스의 일평균 주행거리, 각 버스의 연비 등이 있음.

2010년 7월, 한전에서 제시한 전기버스가 사용하는 전기료는 침두 시간대에 kWh당 206.5원, 비침두 시간대에는 kWh당 51.2원임. CNG 단가는 2011년 1월 기준으로 849.5원/nm³임. 2008년 서울시 버스의 일평균 주행거리는 227.07km, 전기버스(현대자동차 Elec-City)의 연비는 1.26km/kWh, CNG버스(뉴 슈퍼에어로 시티 CNG 초저상 도시표준형)의 연비는 1.60km/nm³로 나타남.¹⁴⁾

투데이에너지 (2006/9/13) “서울시, CNG버스 보급 확대 적극 추진”

13) 출처 : 서울특별시 보도자료(<http://www.newswire.co.kr/newsRead.php?no=534383>, 2011)

14) 출처 : 지식경제부 보도참고자료(2010/07/30),



〈그림 3-4〉 전기버스 추가비 회수기간

이러한 변수들을 바탕으로 전기버스의 추가비 회수기간을 분석해보면 <그림 3-4>에서 보이는 것처럼 보조금 지급 시에는 2.8~5.5년, 보조금 미지급 시에는 11.7~23.1년으로 나타남. 이에 따라 전기버스의 추가비 회수기간을 낮추기 위해서는 보조금 지급이 필수적일 것으로 판단됨. 보조금 지급과 더불어 CNG버스에 주어지는 환경개선부담금 면제혜택을 전기버스에만 제한적으로 부여하는 경우, 전기버스의 추가비 회수기간은 1.4~1.8년으로 상당히 줄어들게 됨.15)

보조금을 지급하지 않고 환경개선부담금 면제혜택을 전기버스에만 부여하는 경우, 전기버스의 추가비 회수기간은 5.7~7.5년이 되어 환경개선부담금 면제혜택만으로도 추가비 회수기간을 단축시키는 데에 어느 정도 효과를 거둘 수 있을 것이라 판단됨.

환경부 보도참고자료(2011/1/26),
 교통안전공단, 2009, 2008년도 자동차 주행거리 실태조사
 교통신문 (2010/06/22) 일렉시티 제원(http://www.gyotongn.com/auto-in/news/news_view.html?no_news=16097)에 지경부 계산식(= 최대주행거리 / 배터리용량) 적용

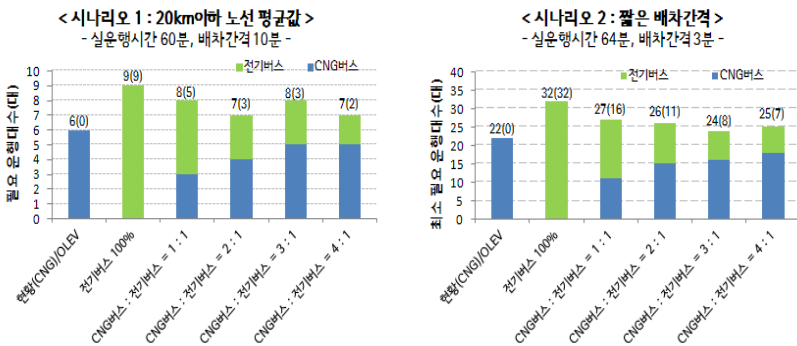
15) - CNG버스 오염물질 배출량에 따라 오염유발계수(현재 개선금 면제) 조정 필요(상대적으로 전기버스 오염유발계수 = 0)
 - 환경개선부담금 산정식 = 대당기본부과금액 × 오염유발계수 × 차령계수 × 지역계수(오염유발계수는 디젤엔진크기에 따라 1.00~5.00; 환경개선비용부담법 제10조 개선부담금의 산정기준)
 - 환경개선효과(디젤 : CNG)
 $CO_2(\text{ton/대} \cdot \text{년}) = 160 : 137$ $PM10(\text{kg/대} \cdot \text{년}) = 4.9 : 0$ $CO(\text{kg/대} \cdot \text{년}) = 370 : 10$
 $HC(\text{kg/대} \cdot \text{년}) = 12 : 365$ $NOx(\text{kg/대} \cdot \text{년}) = 864 : 625$
 출처 : 환경부 보도자료(11/1/26)

4. 전기버스 추가 투입대수 분석

전기버스는 기존의 CNG버스에 비해 긴 충전시간이 필요한 교통수단임. 따라서 전기버스로만 한 노선을 운행하게 될 경우, 기존 CNG버스 운행대수보다 더 많은 버스 운행대수가 필요함. 전기버스 배터리 충전시간에 대한 기술적인 발전이 이루어지기 전까지는 기존 CNG버스와의 혼합 운영이 불가피할 것으로 판단됨.

서울시 시내버스 노선 중 20km 이하 노선들의 평균 운행시간(59분), 평균 배차간격(9.2분)과 비슷한 운행특성을 가진 노선에 전기버스를 도입하여 전기버스만으로 운행하였을 경우에 필요한 전기버스의 대수를 살펴보면 <그림 3-5>의 시나리오 1과 같음. 전기버스만으로 운행했을 경우, 기존 CNG 버스대수인 6대보다 약 1.5배 정도 많은 9대의 버스가 필요하게 되지만 CNG버스와 혼합 운영을 하게 됐을 경우에는 약 1.2~1.3배 수준인 7~8대의 버스가 필요하게 됨.

<그림 3-5>의 시나리오 1과 비슷한 노선길이에 배차간격이 짧은 노선에 전기버스만 운행했을 경우에는 기존 CNG 버스대수인 22대의 1.45배 수준인 32대의 버스가 필요하게 되지만 CNG 버스와 혼합운영을 하게 되었을 때에는 1.1~1.2 배 수준인 24~27대의 버스만 필요하게 됨(<그림 3-5>의 시나리오 2).

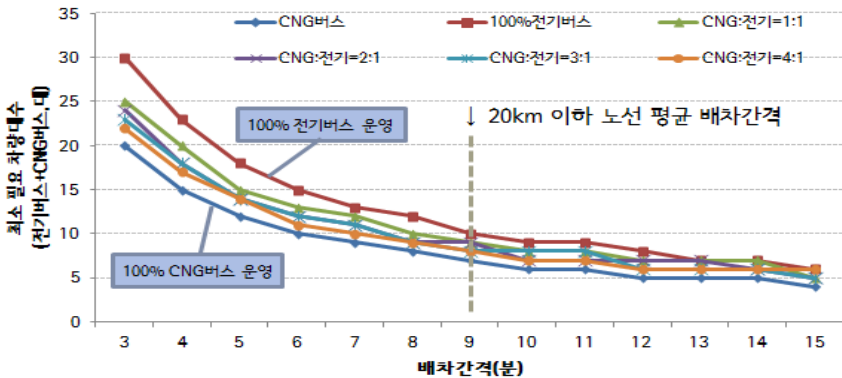


주) 전기버스 급속충전시간(30분) 고려, 괄호 안 숫자는 전기버스 대수임.

<그림 3-5> 전기버스 추가 투입대수 분석

동일한 노선을 운행하는 경우에는 배차간격이 길어질수록 필요한 차량대수는 줄어드는 추세를 나타냄. 전기버스 투입 비율에 따른 기존 버스대수와와의 차이를 살펴보면 전기버스 100% 전환 시에는 기존 버스 차량대수의 40~60% 정도 증가할 것으로 분석되었고, 전기버스 50% 전환 시(전기버스와 CNG 버스 1:1 비율로 혼합 운영 시)에는 기존 버스 차량대수의 25~40% 정도 증가할 것으로 분석되었음. 이러한 차이를 줄이기 위해서는 배터리 충전식 전기버스와 CNG버스의 운행대수 차이가 적은 배차간격 15분 이상인 15개 노선에 우선적으로 전기버스 도입을 검토해 봐야 함.16)

전기버스 도입에서 배차간격이 짧은 노선은 기존 CNG버스의 운행이 더 유리하다고 판단되지만 배차간격에 따라 적절한 혼합비율을 적용하여 운행하게 되면 기존의 버스 서비스 수준을 유지하면서 전기버스를 효과적으로 도입할 수 있을 것으로 예상함.



〈그림 3-6〉 운영방식과 배차간격에 따른 소요 차량대수의 변화

16) 서울시 시내버스 총 노선 : 377개 노선(2011년 8월 기준)

5. OLEV 경제성 분석

1) 분석 전제 조건

경제성을 분석하기에 앞서 OLEV와 배터리 충전식 전기버스의 차량 가격, 인프라 설치비용, 유지보수 비용, 전기요금, 전기버스 효율, 연비, 환경오염물질 배출비용 등을 조사하였음.

먼저 차량 가격을 살펴보면 OLEV는 배터리를 제외하고 5천만 원 상당의 집전장치를 포함한 가격이 약 3억 6천만 원이고 배터리 충전식 전기버스는 배터리를 제외한 가격이 약 3억 1천만 원 수준임. OLEV나 배터리 충전식 전기버스에 사용되는 배터리의 가격은 1kWh당 100만 원 수준으로 적용하였음.¹⁷⁾ 전기버스 배터리의 1kWh당 가격은 매년 8.8% 수준으로 낮아질 것으로 예상하였음. 또한 전기버스 배터리의 짧은 수명을 감안하여 향후 배터리를 교환하게 될 때 배터리 잔존가치를 고려하지 않은 Case 1과 배터리 잔존가치를 30%로 고려한 Case 2로 구분하여 분석하였음.

배터리 충전식 전기버스는 급속 충전기 대당 7천 5백만 원이 소요되고, 이중 4천 5백만 원은 급속충전기 가격이고, 3천만 원은 급속충전기 설치비로 가정하였음. 급속충전기 필요대수는 각 노선의 배차간격과 급속충전시간(30분)을 고려하여 추정하였음.¹⁸⁾ OLEV는 급속충전기 대신에 왕복 운행구간의 25% 구간에 급전도로를 가설한다는 가정하에 급전도로 1km당 공사비가 기술개발 여부에 따라 변할 것으로 예상하여 각각 6.5억, 8억, 12억 원으로 구분하여 분석하였음.

이러한 인프라를 유지보수하기 위해 드는 비용은 다음과 같음. 먼저 배터리 충전식 전기버스의 경우 급속 충전기 대당 매년 8%의 유지보수가 필요할 것으

17) 출처 : McKinsey, 2009, Electrifying Cars : How three industries will evolve

18) 예를 들어 배차간격이 10분인 노선의 경우, 첫 번째 급속충전기를 사용한 버스가 다시 출발하기 위해서는 30분이 필요하고 그 버스가 떠나기 전까지 2대의 버스가 충전이 필요하기 때문에 2대의 급속충전기가 더 필요하게 되어 총 3대의 급속충전기가 필요하게 됨.

로 가정하고 유지보수비를 산정하였음. 또한 OLEV의 경우 매년 급전도로 건설비의 50%에 해당하는 비용(기계설비비)의 8% 비용만큼 유지보수비가 필요하다고 가정한 Case 1과 매년 급전도로 총 건설비의 8% 비용만큼 유지보수비가 필요하다고 가정한 Case 2로 구분하여 분석하였음.

배터리 충전식 전기버스와 OLEV가 사용하는 충전용 전기요금은 한전에서 제시한 전기자동차용 전기료 평균 가격인 kWh당 91.9원을 적용하였고, 각 전기버스의 효율은 배터리 충전식 전기버스 80%, OLEV 65%를 적용하였음. 또한 연비는 전기버스가 1kWh당 1km를 간다고 가정하고 각 버스의 효율을 고려하여 배터리 충전식 전기버스 0.8km/kWh, OLEV 0.65km/kWh를 적용하였음.

환경오염물질 배출비용은 CNG 버스의 배출량을 기준으로 전기버스의 경우 CNG 버스의 50% 수준, OLEV의 경우 CNG버스의 60% 수준으로 가정하여 분석하였음. CNG버스의 환경오염물질 배출량은 평균 운행속도와 일평균 주행거리¹⁹⁾를 기반으로 <표 3-2>와 같이 산출식을 이용하여 분석하였음.

<표 3-2> CNG버스 오염물질 배출계수 산출식

| | | CNG |
|----------------|-----------------|-----------------------------|
| 환경 오염 물질 | CO | $Y = 18,235 * V^{0.3767}$ |
| | VOC | $Y = 8,0544 * e^{-0.0174V}$ |
| | NOx | $Y = 8,6972 * e^{-0.013V}$ |
| | CO ₂ | $Y = 5019.8 * V^{0.5582}$ |

출처 : 대기오염물질(CO, VOC, NOx) ; 국립환경과학원, "국가대기오염물질 배출량 산정방법 편람", 2010
CO₂ ; 국립환경과학원, "수송부문 온실가스 기후변화대응 시스템구축", 2009

주 : V=속도

산출된 환경오염물질은 <표 3-3>의 대기오염 비용 원단위를 이용하여 도출하였음.

19) 수도권 버스 평균 운행속도 : 25km/h(출처 : 국가교통조사2010)
일평균 주행거리 = 버스 노선 길이 × 일평균 운행횟수

〈표 3-3〉 대기오염 비용 원단위(원/kg)

| 오염물질 | UNEP(1998), 강광규(2003) | Holland/Watkiss (2002) | 한국개발연구원 (2008) | 본 연구 적용치 |
|-----------------|--------------------------|---------------------------|-------------------|----------|
| CO | 7,276 | 240.4 | 7,877 | 7,877 |
| NOx | 8,755 | 6,572 | 9,477 | 9,477 |
| VOC | 8,456 | - | - | 8,456 |
| CO ₂ | - | 28.4 | 42.4 | 42.4 |

출처 : UNEP, 1998, "A. Markandya Economics of Greenhouse Gas Limitations : The Indirect Cost and Benefits of Greenhouse Gas Limitations"
 강광규, 2003, "저공해차량의 균형보급 방안 연구"
 Holland/Watkiss, 2002, "BE TA Benefits Table database : Estimates of the Marginal External Costs of Air Pollution in Europe"
 한국개발연구원, 2008, "도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구"

2) 시나리오 분석

OLEV의 경제성을 살펴보기 위해서 서울시에서 실제 운행 중인 4개의 노선 유형에 따라 시나리오를 구상하고 전기버스로 9년간 운영을 하기 위해 필요할 총 비용(버스 비용, 인프라 비용, 에너지 비용, 환경오염물질배출 비용)을 분석하였음.

〈표 3-4〉 OLEV 경제성 분석 시나리오

| | Scenario 1. 긴 운행거리 긴 배차간격 | Scenario 2. 긴 운행거리 짧은 배차간격 | Scenario 3. 짧은 운행거리 긴 배차간격 | Scenario 4. 짧은 운행거리 짧은 배차간격 |
|------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 운행거리(km) | 94,93 | 88,04 | 3,2 | 2,84 |
| 배차간격(분) | 10 | 6 | 10 | 4 |
| 운행시간(분) | 208 | 210 | 35 | 15 |
| 버스대수(대) | 21 | 35 | 4 | 4 |
| 일 운행횟수(회) | 69 | 87 | 72 | 132 |
| 일 운행거리(km) | 6,550 | 7,659 | 230 | 375 |

버스 비용은 차량 자체의 가격과 배터리 가격의 합이며 배터리 가격은 1kWh 당 100만 원으로 적용하였음. 배터리 1kWh당 가격은 매년 8.8%의 감소폭을 보인다고 가정하였으며, 배터리 충전식 전기버스는 3년에 한 번, OLEV는 5년에

한 번 배터리를 교체해준다고 가정하였음. 배터리 충전식 전기버스의 배터리 용량은 운행, 공조, SOC 유지 등을 고려하여 운행 구간 4배 만큼의 용량이 필요하다고 판단하였으며, OLEV의 배터리 용량은 배터리 충전식 전기버스 배터리의 용량의 30% 수준 만큼만 필요하다고 가정하였음.

인프라(충전설비) 비용은 급속충전기 설치비용과 유지보수비용의 합으로 나타내었음. 에너지 비용은 버스의 내구연한이 다하는 9년간 발생하는 에너지 비용²⁰⁾으로 산출하였고, 환경오염물질배출 비용의 경우 CNG버스를 기준으로 배터리 충전식 전기버스는 50%, OLEV는 60% 수준으로 발생한다고 가정하였음.²¹⁾

(1) Case 1 : 배터리 잔존가치 미고려, 급전도로 공사비 4% 수준 유지 보수비 고려

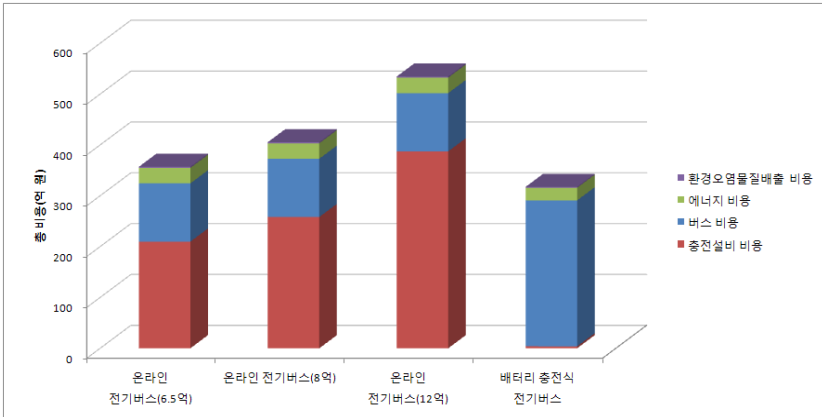
전기버스의 배터리 잔존가치를 고려하지 않고 OLEV 급전도로 공사비의 4% 수준만큼 유지보수비가 필요하다는 가정하에 각 시나리오의 수단별 총 비용을 분석해보면 다음과 같음.

– 시나리오 1(노선거리 94.93km, 배차간격 10분)

: 장거리를 운행하고 배차간격이 긴 노선의 경우 1km당 급전도로 공사비가 비싼 온라인 전기버스보다는 추가 투입이 필요한 배터리 충전식 전기버스가 더 유리함.

20) p.36에서 언급한 전기료와 각 전기버스의 연비, 연간 운행거리를 고려하여 산출하였음.

21) OLEV의 경우, 배터리 충전식 전기버스보다 낮은 효율로 인하여 더 많은 전력을 소비하게 되므로 그로 인해 발생하는 환경오염물질 배출량을 고려하였음.



〈그림 3-7〉 수단별 총 비용 비교(Case 1-시나리오 1)

〈표 3-5〉 항목별 비용 비교(Case 1-시나리오 1)

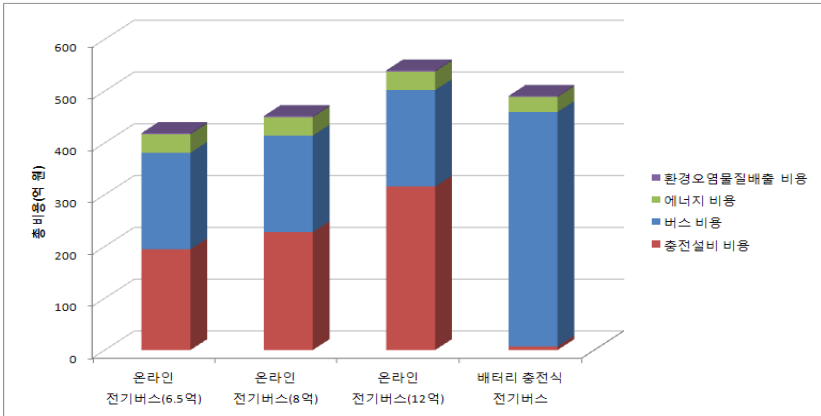
| | 온라인 전기버스 (공사비 6.5억 원/km) | 온라인 전기버스 (공사비 8억 원/km) | 온라인 전기버스 (공사비 12억 원/km) | 배터리 충전식 전기버스 |
|-------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|
| 총전설비 비용 | 209.8 | 258.2 | 387.3 | 3.9 |
| 버스 비용 | | 114.6 | | 287.1 |
| 에너지 비용 | | 30.4 | | 24.7 |
| 환경오염물질배출 비용 | | 2.4 | | 2.0 |
| 합계 | 357.2 | 405.6 | 534.7 | 317.7 |

급전도로 설치비용이 운행거리에 비례하는 OLEV는 타 수단에 비해 가격 경쟁력이 떨어지나, 여러 노선이 한 차선을 중복해서 이용하는 버스 중앙차선에 사용할 경우에는 급전도로 설치비용을 줄일 수 있음.

– 시나리오 2(노선거리 88.04km, 배차간격 6분)

: 짧은 배차간격은 배터리 충전식 전기버스의 배터리 충전시간 동안 필요한 예비 버스대수에 큰 영향을 미쳐 OLEV의 1km당 총전설비 비용을 6.5억 원으로 가정한 경우 OLEV보다 더 많은 비용이 소요되고 OLEV의

1km당 충전설비 비용을 8억 원으로 가정한 경우 OLEV와 유사한 수준으로 나타남.



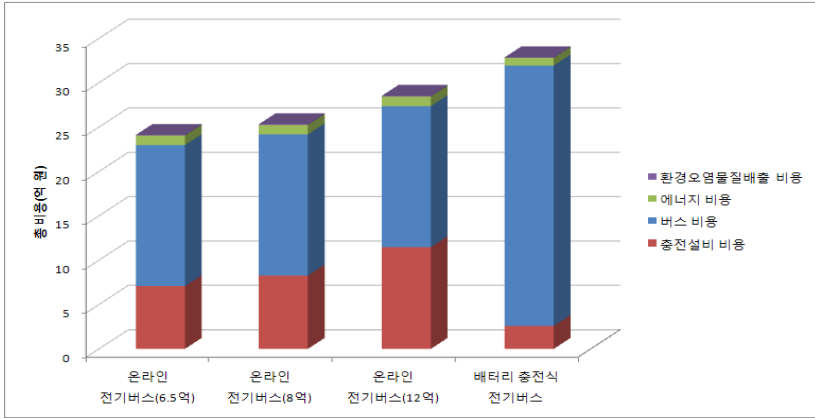
〈그림 3-8〉 수단별 총 비용 비교(Case 1-시나리오 2)

〈표 3-6〉 항목별 비용 비교(Case 1-시나리오 2)

| | 온라인 전기버스 (공사비 6.5억 원/km) | 온라인 전기버스 (공사비 8억 원/km) | 온라인 전기버스 (공사비 12억 원/km) | 배터리 충전식 전기버스 |
|-------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|
| 충전설비 비용 | 194.6 | 227.6 | 315.6 | 6.9 |
| 버스 비용 | | 186.3 | | 452.8 |
| 에너지 비용 | | 35.6 | | 28.9 |
| 환경오염물질배출 비용 | | 2.8 | | 2.3 |
| 합계 | 419.2 | 452.3 | 540.3 | 490.9 |

- 시나리오 3(노선거리 3.2km, 배차간격 10분)

: 단거리를 운행하는 시나리오 3의 경우 추가 투입 버스대수가 많은 배터리 충전식 전기버스보다 추가 투입 버스가 필요하지 않은 OLEV가 조금 더 경쟁력을 갖는 것으로 나타남.



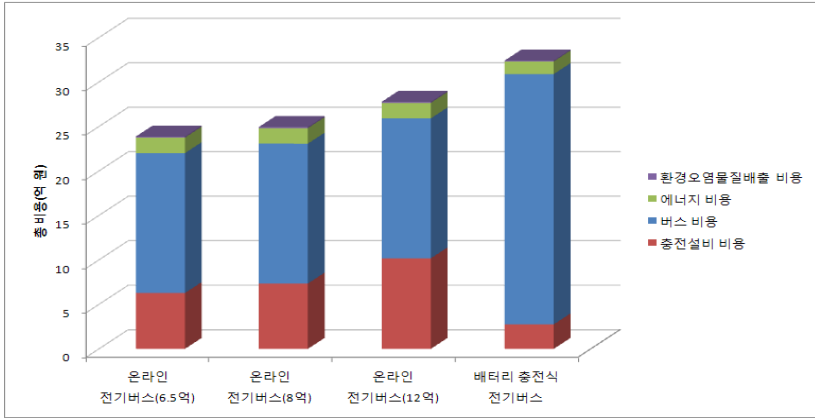
〈그림 3-9〉 수단별 총 비용 비교(Case 1-시나리오 3)

〈표 3-7〉 항목별 비용 비교(Case 1-시나리오 3)

| | 온라인 전기버스 (공사비 6.5억 원/km) | 온라인 전기버스 (공사비 8억 원/km) | 온라인 전기버스 (공사비 12억 원/km) | 배터리 충전식 전기버스 |
|-------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|
| 충전설비 비용 | 7.1 | 8.3 | 11.5 | 2.6 |
| 버스 비용 | | 15.9 | | 29.4 |
| 에너지 비용 | | 1.1 | | 0.9 |
| 환경오염물질배출 비용 | | 0.1 | | 0.1 |
| 합계 | 24.1 | 25.3 | 28.5 | 32.9 |

－ 시나리오 4(노선거리 2.84km, 배차간격 4분)

: 단거리를 짧은 배차간격으로 가정한 시나리오 4는 비슷한 노선 길이에 배차간격이 긴 시나리오 3에 비해 전체적으로 버스 비용이 증가하게 되나, 수단별 비용 패턴은 시나리오 3과 유사함.

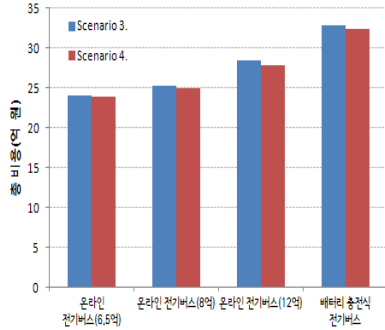
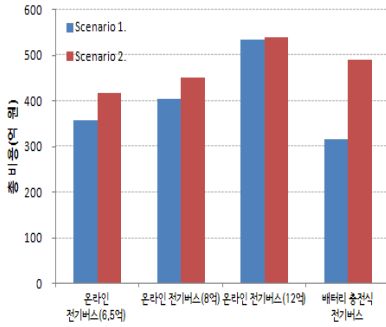


〈그림 3-10〉 수단별 총 비용 비교(Case 1-시나리오 4)

〈표 3-8〉 항목별 비용 비교(Case 1-시나리오 4)

| | 온라인 전기버스 (공사비 6.5억 원/km) | 온라인 전기버스 (공사비 8억 원/km) | 온라인 전기버스 (공사비 12억 원/km) | 배터리 충전식 전기버스 |
|-------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|
| 충전설비 비용 | 6.3 | 7.3 | 10.2 | 2.8 |
| 버스 비용 | | 15.7 | | 28.1 |
| 에너지 비용 | | 1.7 | | 1.4 |
| 환경오염물질배출 비용 | | 0.1 | | 0.1 |
| 합계 | 23.9 | 25.0 | 27.8 | 32.4 |

시나리오별 총 비용을 비교해보게 되면 단거리를 운행하는 시나리오 3, 4의 경우 배터리 충전식 전기버스보다는 충전설비 비용이 적고 버스 비용이 적은 OLEV가 더 효율적인 것으로 나타남. 장거리 운행의 경우 OLEV가 에너지 비용, 버스 비용 측면에서 효율적이지만 충전설비 비용이 많이 드는 단점이 있음. 그러나 여러 개의 노선이 OLEV의 충전설비를 공동으로 이용하면 비용을 줄일 수 있을 것으로 예상됨.

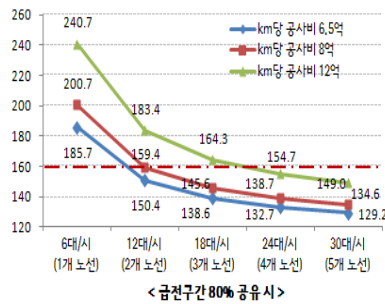
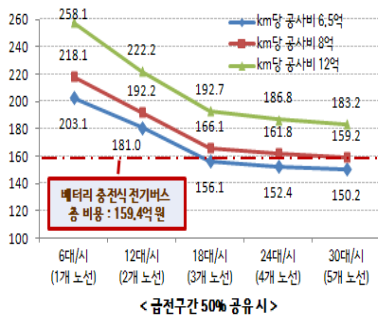


주) OLEV의 경우, 1km당 공사비를 6.5억, 8억, 12억 원으로 분류하여 분석하였음.

〈그림 3-11〉 시나리오별 총 비용 비교

앞서 언급했듯이 OLEV의 급전구간 설치비용은 운행거리에 비례하여 증가하지만 다른 노선과 급전구간을 공유하게 되면 급전구간 설치비용은 공유하는 노선의 수나 비율에 따라 줄어들게 됨.

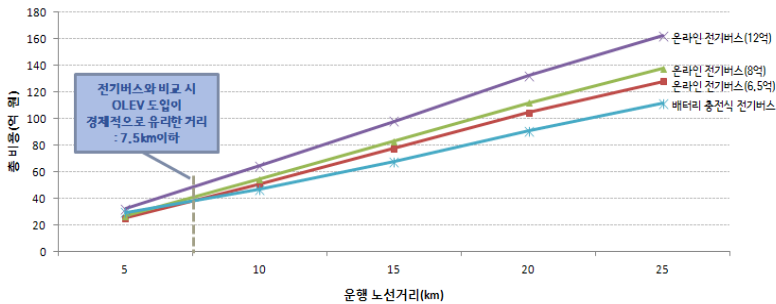
총 운행구간 40km, 운행시간 165분, 배차간격 10~15분인 노선에 CNG버스와 배터리 충전식 전기버스, OLEV를 도입한다고 가정하고 OLEV의 급전구간 공유 노선 수와 비율에 따른 차이를 분석해보면 <그림 3-12>와 같음. 이때, OLEV의 급전구간 설치율은 총 운행구간의 25%이고 배터리 충전식 전기버스는 급속충전시간 30분을 고려하였음.



〈그림 3-12〉 급전구간 공유 비율에 따른 OLEV 경제성 비교(Case 1)

분석 결과, 급전구간의 50%를 다른 노선과 공유하게 될 경우에는 적어도 3개 이상 노선이 급전구간을 공유하고 OLEV의 km당 급전도로 공사비가 6.5억 원 수준으로 낮아져야 OLEV의 경제성이 배터리 충전식 전기버스보다 높게 나타남. 급전공유구간을 80%로 변경하게 되면 OLEV의 km당 급전도로 공사비가 8억 원 수준으로 낮아지고 2개 이상 노선이 급전구간을 공유해야 OLEV의 경제성이 배터리 충전식 전기버스와 비슷하게 나타남.

운행거리에 따른 OLEV와 배터리 충전식 전기버스의 총 비용 변화를 1km 운행에 평균 5분이 소요되고 배차간격이 9~14분인 노선을 기준으로 살펴보았음. 그 결과, 약 7.5km 지점을 전·후로 OLEV와 배터리 충전식 전기버스의 경제성이 뒤바뀌는 것을 확인할 수 있었음. 이때, 배터리 충전식 전기버스는 급속충전 시간 30분을 고려하고 OLEV의 급전구간 설치율은 총 운행구간의 25%로 가정하였음. OLEV는 급전구간 1km당 공사비가 불분명하므로 기술개발 여부에 따른 변동을 감안하여 급전구간 1km당 공사비를 6.5억 원, 8억 원, 12억 원으로 구분하여 분석하였음.



주) 온라인전기버스(6.5억/8억/12억)는 km당 공사비용이 6.5억/8억/12억 원 임을 의미함.

〈그림 3-13〉 운행거리 변화에 따른 OLEV의 경제성 비교(Case 1)

OLEV는 급전구간 1km당 공사비용이 상당히 커서 운행구간 증가에 따른 급전구간의 설치비용이 상당히 큰 폭으로 상승하여 OLEV 도입에 필요한 총 비용이 크게 증가함. 따라서 OLEV를 배터리 충전식 전기버스보다 경제적으로 운영

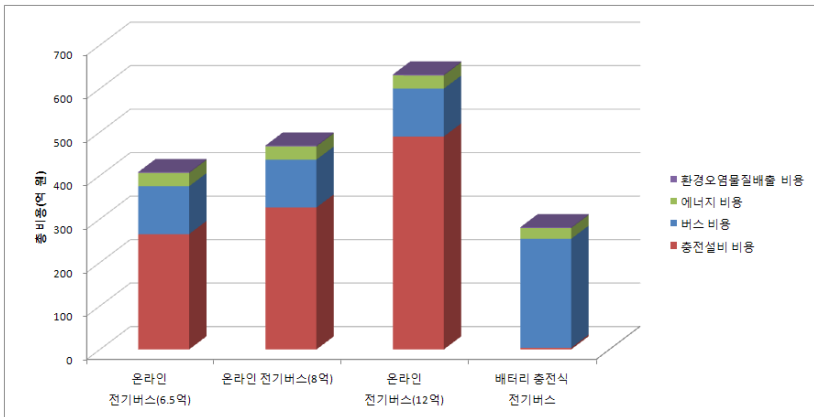
하기 위해서는 초기에 7.5km 이하 노선에 시범적으로 적용하는 것이 적절하다고 판단됨.

(2) Case 2 : 배터리 잔존가치 30% 고려, 급전도로 공사비의 8% 수준 유지보수비 고려

전기버스의 배터리 잔존가치를 30% 수준으로 가정하고 OLEV의 유지보수비를 급전도로 공사비의 8% 수준으로 가정하게 되면 추가 투입 버스대수가 많은 배터리 충전식 전기버스의 버스비용이 줄어들게 되는 반면, OLEV의 유지보수비 증가로 인하여 OLEV의 총 비용은 늘어나게 됨.

- 시나리오 1(노선거리 94.93km, 배차간격 10분)

: Case 1과 비교해보면 배터리 잔존가치를 고려하게 됨으로써 추가 투입 버스로 인한 필요 배터리 개수가 많아지는 배터리 충전식 전기버스의 총 비용은 상당히 줄어들음. 반면 OLEV는 유지보수비용이 증가함에 따라 총 비용이 늘어나게 되고 배터리 충전식 전기버스에 비해 경제성이 안 좋게 나타남.



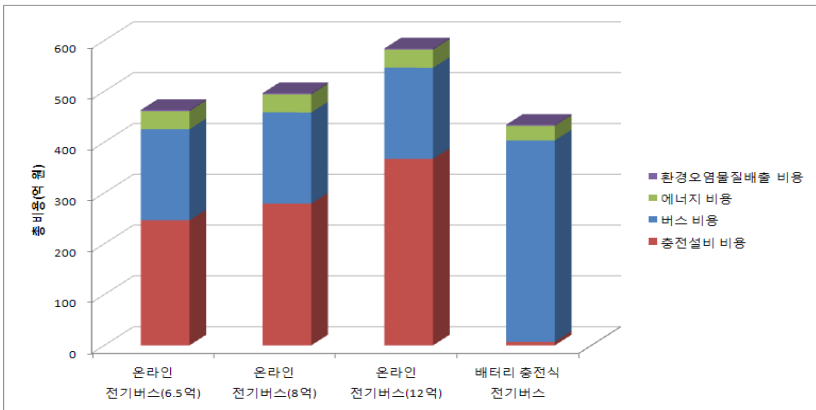
〈그림 3-14〉 수단별 총 비용 비교(Case 2-시나리오 1)

〈표 3-9〉 항목별 비용 비교(Case 2-시나리오 1)

| | 온라인 전기버스 (공사비 6.5억 원/km) | 온라인 전기버스 (공사비 8억 원/km) | 온라인 전기버스 (공사비 12억 원/km) | 배터리 충전식 전기버스 |
|-------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|
| 총전설비 비용 | 265,3 | 326,6 | 489,8 | 3,9 |
| 버스 비용 | | 110,1 | | 250,6 |
| 에너지 비용 | | 30,4 | | 24,7 |
| 환경오염물질배출 비용 | | 2,4 | | 2,0 |
| 합계 | 408,2 | 469,5 | 632,7 | 281,2 |

- 시나리오 2(노선거리 88.04km, 배차간격 6분)

: 시나리오 1과 마찬가지로 배터리 충전식 전기버스의 총 비용이 줄어들게 되어 OLEV의 1km당 공사비가 6.5억 원 수준으로 낮아져도 배터리 충전식 전기버스의 경제성이 더 좋게 나타남.



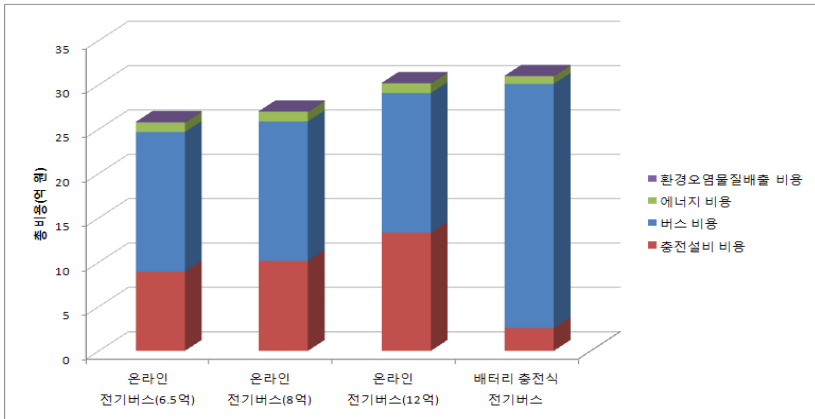
〈그림 3-15〉 수단별 총 비용 비교(Case 2-시나리오 2)

〈표 3-10〉 항목별 비용 비교(Case 2-시나리오 2)

| | 온라인 전기버스 (공사비 6.5억 원/km) | 온라인 전기버스 (공사비 8억 원/km) | 온라인 전기버스 (공사비 12억 원/km) | 배터리 충전식 전기버스 |
|-------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|
| 총전설비 비용 | 246,1 | 279,1 | 367,1 | 6,9 |
| 버스 비용 | | 179,3 | | 396,4 |
| 에너지 비용 | | 35,6 | | 28,9 |
| 환경오염물질배출 비용 | | 2,8 | | 2,3 |
| 합계 | 463,7 | 496,8 | 584,8 | 434,5 |

- 시나리오 3(노선거리 3.2km, 배차간격 10분)

: 추가 투입 버스 비용과 추가적인 배터리 비용으로 인하여 배터리 충전식 전기버스의 경제성이 OLEV보다 좋지 않게 나타남. 단거리 노선의 경우 OLEV의 급전시설 설치구간이 짧기 때문에 충전설비 비용이 적게 들어 OLEV의 경제성이 배터리 충전식 전기버스보다 좋게 나타남.



(그림 3-16) 수단별 총 비용 비교(Case 2-시나리오 3)

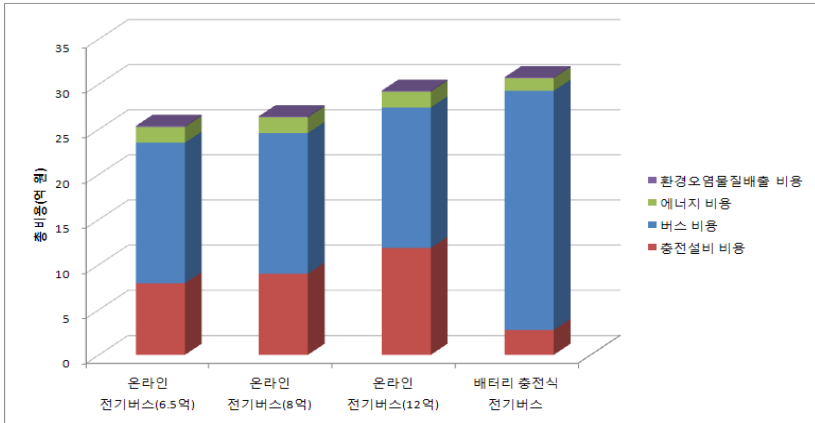
<표 3-11> 항목별 비용 비교(Case 2-시나리오 3)

| | 온라인 전기버스 (공사비 6.5억 원/km) | 온라인 전기버스 (공사비 8억 원/km) | 온라인 전기버스 (공사비 12억 원/km) | 배터리 충전식 전기버스 |
|-------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|
| 충전설비 비용 | 8.9 | 10.1 | 13.3 | 2.6 |
| 버스 비용 | | 15.7 | | 27.5 |
| 에너지 비용 | | 1.1 | | 0.9 |
| 환경오염물질배출 비용 | | 0.1 | | 0.1 |
| 합계 | 25.8 | 27.0 | 30.2 | 31.0 |

- 시나리오 4(노선거리 2.84km, 배차간격 4분)

: 단거리 노선을 짧은 배차간격으로 운행하는 시나리오 4의 경우 Case 1의 시나리오 4와 마찬가지로 단거리 노선을 긴 배차간격으로 운행하는

시나리오 3보다 전체적인 비용이 증가하지만 OLEV의 경제성이 배터리 충전식 전기버스보다 좋은 것으로 나타남.

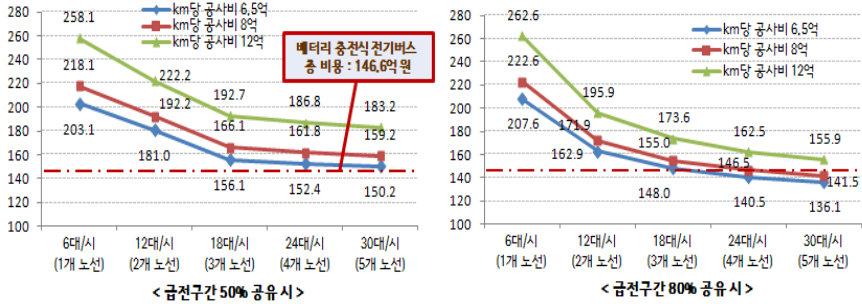


(그림 3-17) 수단별 총 비용 비교(Case 2-시나리오 4)

<표 3-12> 항목별 비용 비교(Case 2-시나리오 4)

| | 온라인 전기버스 (공사비 6.5억 원/km) | 온라인 전기버스 (공사비 8억 원/km) | 온라인 전기버스 (공사비 12억 원/km) | 배터리 충전식 전기버스 |
|-------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|
| 충전설비 비용 | 7,9 | 9,0 | 11,8 | 2,8 |
| 버스 비용 | 15,6 | | | 26,5 |
| 에너지 비용 | 1,7 | | | 1,4 |
| 환경오염물질배출 비용 | 0,1 | | | 0,1 |
| 합계 | 25,4 | 26,5 | 29,3 | 30,8 |

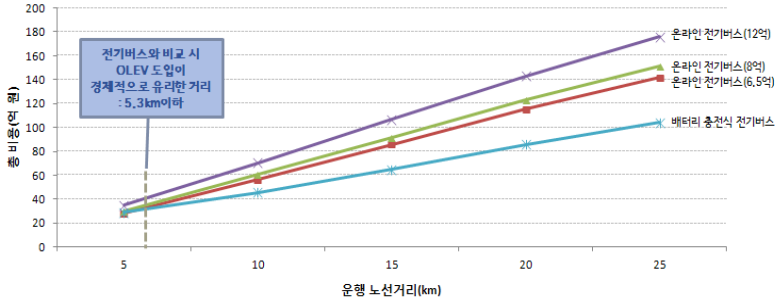
Case 1과 마찬가지로 총 운행구간 40km, 운행시간 165분, 배차간격 10~15분인 노선에 CNG버스와 배터리 충전식 전기버스, OLEV를 도입한다고 가정하고 OLEV의 급전구간 공유 노선 수와 비율에 따른 차이를 분석하였음. 이때, Case 1과 동일하게 OLEV의 급전구간 설치율은 총 운행구간의 25%이고 배터리 충전식 전기버스는 급속충전시간 30분을 고려하였음.



〈그림 3-18〉 급전구간 공유 비율에 따른 OLEV 경제성 비교(Case 2)

분석결과, 급전구간을 50% 공유하는 경우에는 OLEV 공사비 단가에 관계없이 5개 노선이 급전구간을 공유하게 되어도 OLEV가 배터리 충전식 전기버스보다 낮은 경제성을 보이게 됨. 급전구간을 80% 공유하는 경우에는 1km당 공사비가 8억 원 수준으로 낮아지고 4개 이상 노선(24대/시)이 급전구간을 공유해야 OLEV의 경제성이 배터리 충전식 전기버스와 비슷한 수준을 나타냄.

운행거리에 따른 OLEV의 경제성을 살펴보면 Case 1에 비하여 배터리 충전식 전기버스의 총 비용은 낮아지고 OLEV의 총 비용이 증가함에 따라 OLEV가 배터리 충전식 전기버스보다 경제적으로 유리한 도입 가능 거리가 7.5km에서 5.3km로 줄어들었음. 이에 따라 초기 OLEV 시범사업은 5.3km 이하 노선에 도입하는 것이 적절할 것으로 예상됨. OLEV는 급전구간 1km당 공사비가 불분명하므로 기술개발 여부에 따른 변동을 감안하여 급전구간 1km당 공사비를 6.5억 원, 8억 원, 12억 원으로 구분하여 분석하였음.



주) 온라인전기버스(6.5년/8년/12년)는 km당 공사비용이 6.5억/8억/12억 원 임을 의미함.

〈그림 3-19〉 운행거리 변화에 따른 OLEV의 경제성 비교(Case 2)

(3) Case 비교

배터리 잔존가치 고려여부와 OLEV의 유지보수비 수준에 따른 전기버스의 총 비용을 살펴본 결과, 배터리 잔존가치를 고려하게 되면 배터리 전기버스의 총 비용이 줄어들게 되고 OLEV의 유지보수비 수준을 높이면 OLEV의 총 비용이 증가하게 됨.

〈표 3-13〉 Case 구분에 따른 시나리오별 총 비용

| | | 시나리오 1 | 시나리오 2 | 시나리오 3 | 시나리오 4 |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| OLEV (공사비 6.5억 원/km) | Case 1 | 357,2 | 419,2 | 24,1 | 23,9 |
| | Case 2 | 408,2 | 469,5 | 25,8 | 25,4 |
| OLEV (공사비 8억 원/km) | Case 1 | 405,6 | 452,3 | 25,3 | 25,0 |
| | Case 2 | 469,5 | 496,8 | 27,0 | 26,5 |
| OLEV (공사비 12억 원/km) | Case 1 | 534,7 | 540,3 | 28,5 | 27,8 |
| | Case 2 | 632,7 | 584,8 | 30,2 | 29,3 |
| 배터리 충전식 전기버스 | Case 1 | 317,7 | 409,9 | 32,9 | 32,4 |
| | Case 2 | 281,2 | 434,5 | 31,0 | 30,8 |

주) Case 1 : 배터리 잔존가치 미고려, 급전구간 공사비의 4% 수준 OLEV 유지보수비
 Case 2 : 배터리 잔존가치 30% 고려, 급전구간 공사비의 8% 수준 OLEV 유지보수비

급전구간 공유노선의 수와 비율에 따른 변화를 살펴보면 Case 1에서는 급전구간 50% 공유 시 적어도 3개 이상 노선이 공유하고 OLEV 급전도로 1km당 공사비가 6.5억 원 수준으로 낮아져야 OLEV가 배터리 충전식 전기버스보다 경

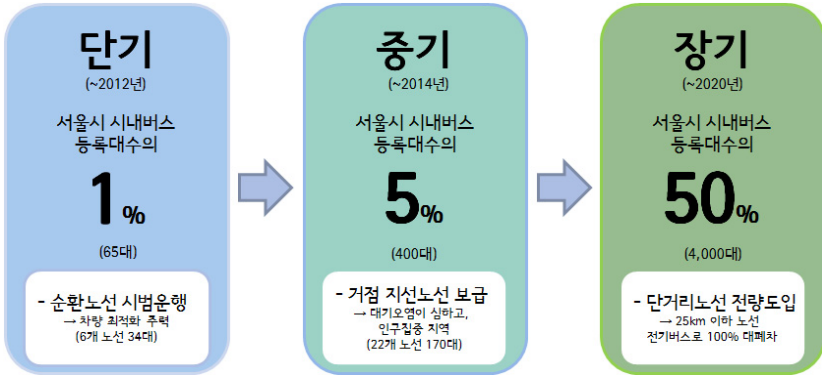
제성이 높게 나타남. 급전구간 80% 공유 시에는 2개 이상 노선이 급전구간을 공유하고 OLEV 급전도로 1km당 공사비가 8억 원 수준이 되어야 OLEV가 배터리 충전식 전기버스와 비슷한 경제성을 보임. 반면 Case 2에서는 급전구간 50% 공유 시, 5개 노선이 급전구간을 공유해도 OLEV 공사비 수준(6.5억/km ~ 12억/km)에 관계없이 OLEV의 경제성이 배터리 충전식 전기버스보다 낮게 나타나고, 급전구간 80% 공유 시에는 4개 이상 노선이 급전구간을 공유하고 OLEV 급전도로 1km당 공사비가 8억 원 수준이 되어야 OLEV의 경제성이 배터리 충전식 전기버스와 비슷하게 나타남.

운행거리에 따른 배터리 충전식 전기버스와 OLEV의 경제성을 살펴본 결과, Case 1에서는 7.5km 이하 노선에서 OLEV의 경제성이 배터리 충전식 전기버스보다 높게 나타나 초기 시범사업을 진행하기 위해서는 7.5km 이하 노선을 검토하는 것이 적절하다고 판단됨. 배터리 충전식 전기버스의 총 비용이 줄어들고 OLEV의 총 비용이 증가하게 되는 Case 2에서는 5.3km 이하 노선에서 OLEV의 경제성이 배터리 충전식 전기버스보다 높게 나타남.

제2절 도입 시기 및 장소 관련 전략

1. 친환경버스 도입 목표 설정

서울시는 2010년 11월에 2020년까지 전기차 12만 대 보급을 골자로 하는 ‘그린카 스마트 서울 선언’을 발표한 데 이어, 2011년 7월에 2014년까지 전기이륜차를 포함한 전기차 4만대를 보급하겠다는 “서울시 전기차(EV) 보급 마스터플랜 2014”를 발표하면서 전기버스 도입 목표를 기간별로 단계적으로 달성하겠다고 밝혔음.



(그림 3-20) 서울시 단계별 친환경버스 보급 목표

우선 2012년까지 서울시는 순환버스 6개 노선 34대에 전기버스 시범운행을 시작하면서 서울시 특성에 맞는 전기버스 차량 최적화에 주력해 65대의 전기버스를 보급할 계획이며 이는 서울시 시내버스 등록대수의 1% 수준임.

2014년까지는 대기오염이 심하고 활동인구가 많은 지역인 강남, 홍대, 도심을 지나는 22개 노선 170대를 중심으로 총 400대를 보급할 방침이며 이는 서울시 시내버스 등록대수의 5% 수준임. 2020년까지 장기적으로는 서울시 시내버스 등록대수의 절반 수준으로 보급하고 25km 이하 단거리 노선을 운행하는 전차량을 전기버스로 전환할 계획임.

“서울시 전기차(EV) 보급 마스터플랜 2014” 발표 이후, 서울시는 전기차의 기술 개발 수준, 경제성 확보 여부 및 시범사업의 진행 상황에 따라 2014년까지 보급목표 달성이 어려울 경우를 대비하여 전기차 보급 목표대수를 25,000대로 수정하는 방안도 검토 중임. 그 중에서 전기버스는 기존 목표의 절반 수준인 200대로 보급 목표를 설정하였음.

2. 전기버스 파트너십(공공+민간)

전기버스를 성공적으로 도입하고 운영하기 위해서는 정부, 지자체 등의 공공

기관과 차량제작업체, 인프라 제작업체 등의 민간 기업들의 상호 협조가 필요하다. 공공기관은 구매보조금, 저리융자금, 배터리 관리(분리 판매용) 및 대여 등의 전기버스 관련 정책과 급속충전소 설치, OLEV용 급전구간 설치 등의 충전인프라 관련 정책 추진을 위해 노력해야 한다. 민간 차량제작업체는 전기버스의 기술개발 및 생산에 주력하고 운수업체는 전기버스의 유지·관리에 힘써야 하며 OLEV 인프라 제작업체 및 급속충전기 개발업체는 충전인프라 기술개발 및 생산에 주력해야 한다.

전기버스의 성공적 도입이 실현되면 장기적으로 마을버스, 셔틀버스, 통근버스 등 시내버스 이외의 버스차량도 전기버스로의 전환을 추진하여 한다. 서울시 마을버스 등록대수는 총 1,373대로 그 중 1,336대는 중형이고 7대는 소형버스임. 서울시 장애인 셔틀버스는 총 26대로 그 중 22대는 대형이고 4대는 중형버스임. 청소년 수련관 셔틀버스는 총 75대로 그 중 35대는 대형이고 39대는 중형버스, 1대는 봉고차임. 그 외에도 대학교 셔틀버스, 통근버스, 학교 및 학원 스쿨버스 등에도 전기버스 도입을 검토해 볼 수 있음. 하지만 현재 개발되고 있는 전기버스는 대형버스 위주이기 때문에 중·장기적으로는 중형버스 규모의 전기버스 개발도 필요하다고 판단됨.

3. 도입 초기 전기버스 보급 전략

서울시는 전기버스 도입 초기에는 노선거리가 길지 않고 배차간격이 길어 전기버스 운행에 유리한 순환노선 위주로 시범사업을 진행할 계획임. 특히 현재 서울시에서 운행하고 있는 순환노선 버스는 문화유산이 많고 관광객이 많은 남산, 여의도, 강남을 운행하고 있어 관광객들에게 전기버스에 대한 인지도를 높일 수 있을 것으로 판단됨.



- 남산 순환
- 총 노선 : 16km
- 운행대수 : 7대
- 운행시간 : 60분
- 배차간격 : 10~14분

< 02번 버스 >



- 남산 순환
- 총 노선 : 14km
- 운행대수 : 4대
- 운행시간 : 50분
- 배차간격 : 20~24분

< 03번 버스 >



- 남산 순환
- 총 노선 : 18m
- 운행대수 : 3대
- 운행시간 : 70분
- 배차간격 : 16~19분

< 05번 버스 >



- 강남 순환
- 총 노선 : 24,5km
- 운행대수 : 11대
- 운행시간 : 120분
- 배차간격 : 12~15분

< 41번 버스 >



- 여의도 순환
- 총 노선 : 5,9km
- 운행대수 : 5대
- 운행시간 : 28분
- 배차간격 : 7~9분

< 61번 버스 >



- 여의도 순환
- 총 노선 : 5,1km
- 운행대수 : 4대
- 운행시간 : 25분
- 배차간격 : 7~8분

< 62번 버스 >

〈그림 3-21〉 서울시 순환노선 현황

이 중에서 02번, 03번, 05번 노선에는 전기버스가 2010년 12월부터 운행 중이며 운행하는 전기버스 대수를 증가시키고 있는 상황임.

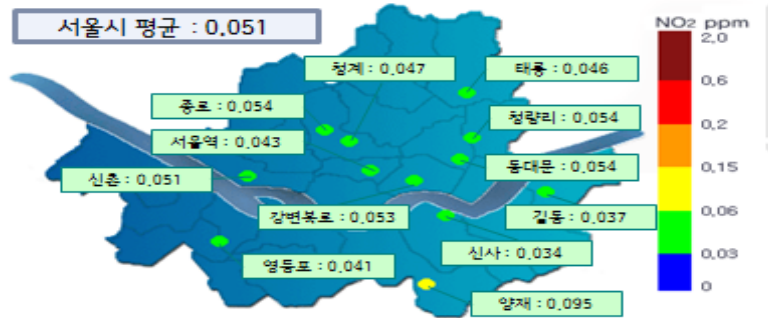
4. 중기적 전기버스 보급 전략

전기버스 시범사업이 성공적으로 끝난 후에는 전기버스에 대한 인지도를 높여 본격적인 사업을 추진하기 위해서 대기오염이 심하고 활동인구가 많은 지역에 전기버스를 운행할 필요가 있음. 이러한 지역을 찾아보면 도심과 쇼핑·관광지역인 강남과 홍대 지역이 있으며 이 지역들을 통과하는 노선 중 대·폐차연한이 도래한 차량을 우선적으로 전기버스로 전환할 필요가 있음. 도심을 통과하는 12개 노선과 강남·홍대를 통과하는 10개 노선을 합친 총 22개 노선

170대의 전기버스 전환 시, 유동인구가 많은 지역의 특성상 일반 시민들에게 전기버스 홍보효과가 뛰어날 것으로 예상됨.



<그림 3-22> 서울시 활동인구 집중 지역 분포



※ 출처 : 대기환경정보시스템 홈페이지(<http://air.seoul.go.kr/>)
2011.09.15 AM 09:00 기준

<그림 3-23> 서울시 도로변 이산화질소 농도 현황

<그림 3-23>에서 보듯이 서울시 도로변 이산화질소 농도를 살펴보면 앞서 언급했던 도심, 강남, 홍대를 제외하고 청량리, 동대문 지역의 이산화질소가 서울시 평균보다 높은 것을 확인할 수 있음. 도심·강남·홍대 지역 이외에 추가적인 전기버스 보급이 필요할 지역으로는 청량리·동대문 지역을 선택해 볼 수 있음.

5. 장기적 전기버스 보급 전략

전기버스는 1회 충전 후 주행할 수 있는 거리에 한계가 있기 때문에 도입에 어려움이 있음. 따라서 25km 이하 노선을 중심으로 전기버스를 보급해야 할 필요성이 있음. 서울시 시내버스 노선거리별 현황을 살펴보면 25km 이하 노선은 서울시 전체 377개 노선 중 125개 노선으로 1,205대가 운행 중인 것으로 나타났음. 그러나 1,205대 중 중형버스가 589대 포함되어 있어 대형 전기버스는 616대에 불과함.

〈표 3-14〉 서울시 노선거리별 노선 현황

| 노선거리(km) | 노선 수(개) | 운행대수(대) | | |
|----------|---------|---------|-------|-----|
| | | 합계 | 대형 | 중형 |
| ≤ 5 | 3 | 10 | 2 | 8 |
| ≤ 15 | 52 | 354 | 104 | 250 |
| ≤ 25 | 70 | 841 | 510 | 331 |
| ≤ 35 | 69 | 1,238 | 1,110 | 128 |
| ≤ 45 | 65 | 1,544 | 1,537 | 7 |
| ≤ 55 | 54 | 1,580 | 1,580 | - |
| ≤ 65 | 37 | 1,149 | 1,124 | 25 |
| > 65 | 27 | 794 | 794 | - |
| 합계 | 377 | 7,510 | 6,761 | 749 |

출처 : 서울특별시 교통정보센터 버스 상세운영정보(2011)

대형버스에만 전기버스를 도입하여 전기버스 보급목표를 충족시키기 위해서는 도입 노선거리를 45km 이하 노선까지 확대해야 하거나 중형 전기버스의 개발이 필요함. 중형 전기버스가 개발되게 되면 마을버스의 전기버스로 전환도 가능하게 되므로 장기적으로 전기버스를 확대보급하기 위해 중형 전기버스의 개발을 유도해야 함. 더불어 셔틀버스, 통근버스, 스쿨버스 등 시내버스 이외의 버스에도 전기버스 도입을 검토해 볼 수 있음.

배터리 충전식 전기버스와 OLEV 이외에 배터리 교환형 전기버스의 도입도 검토해 볼 수 있음. 일본 미츠비시 중공업도 배터리 교환형 전기버스에 대한 기술을 개발 중이며 우리나라도 일본과 다른 방식의 배터리 교환형 전기버스에 대한 기술이 개발 중임.

제3절 시범사업 관련 전략

서울시에서 배터리 충전식 전기버스는 남산을 순환하는 3개의 노선에 시범 운행 후 확대 도입되고 있지만 OLEV는 서울대공원에 2.2km 노선의 ‘코끼리전 기열차’가 운행되고 있는 것이 전부임. 코끼리전기열차는 버스의 성격보다 열차의 성격이 강하고 일반 승객들이 이용하는 것이 아니라 관람객들을 위한 것이기 때문에 서울시내를 운행하여 일반 승객들을 태우는 시내버스에 OLEV를 도입하기 위한 전단계의 시범사업이라고 보기 어려움. 따라서 OLEV의 시내버스 도입 가능 여부를 확인하기 위해서는 OLEV 시범사업이 이루어져야 함. 서울시에서 OLEV의 시범사업이 이뤄지기에 가장 적합한 지역으로는 상암 DMC를 꼽을 수 있음. 상암 DMC는 최근 조성된 친환경, 첨단지역으로 버스노선 신설 수요가 있고, 도로보수 공사도 적어 OLEV의 시범사업을 시행하기에 적합하다고 판단됨.



〈그림 3-24〉 OLEV 시범사업 도입 가능 지역

상암 DMC지역에 OLEV를 도입하게 된다면 약 6~7km의 노선구간에 걸쳐 시범사업이 가능할 것으로 보이며 이를 위해 OLEV 차량을 제작하고 몇 개월간

의 시범운행을 통해 기술검증을 한 후 추가 투입여부를 결정하는 방식의 도입 방안이 예상됨. OLEV 추가 도입 시에는 노선 간 급전시설 공유가 가능하도록 버스노선이 집중해있는 지역에 도입을 검토할 필요가 있음.

단, 현재 OLEV는 아직 기술검증이 완료가 완벽하게 끝나지 않은 상태이기 때문에 OLEV 시범사업의 추진 시기는 OLEV 관련 국가 R&D 산출결과와 기술개발수준 등을 감안하여 신중하게 결정할 필요가 있음.

제4절 기대효과 및 비용

1. 전기버스 도입 시 기대효과

서울시가 2014년까지 목표로 하는 전기버스 보급 목표(400대)를 달성하게 되고 전기버스 도입 후 그 버스의 내구연한(9년)이 다 할 때까지 운영을 하였을 때 발생하는 CNG버스 대비 환경오염 절감편익과 연료비 절감편익을 추정해보면 <표 3-15>와 같음.

대기오염물질(CO, VOC, NO_x)과 CO₂ 배출량은 <표 2-2>의 배출계수 산출식을 이용하였고, 산출된 배출량은 대기오염 비용 원단위(CO : 7,877원/kg, NO_x : 9,477원/kg, CO₂ : 42.4원/kg, VOC : 8,456원/kg²²)를 이용한 대기오염 비용을 도출하였음. CNG의 가격은 902.6원/Nm³, 전기버스의 전기료는 침두 시 206.5원/kWh, 비침두 시에는 51.2원/kWh를 적용하였음.

대기오염물질(CO, VOC, NO_x)과 CO₂ 배출감축량으로 인한 환경오염 절감편익은 총 511억 원, 연료비 절감편익은 1,194~1,562억 원이 발생할 것으로 예상됨.

22) <표 3-3>참고

〈표 3-15〉 전기버스 보급에 따른 기대효과(EV 마스터플랜 기준)

| 연도 | 누적 보급대수(대) | 대기오염물질 (CO, VOC, NOx) 배출감축량 (ton/년) | CO ₂ 배출감축량 (ton/년) | 환경오염 절감편익 (억 원/년) | 연료비 절감편익(억 원/년) | |
|------|------------|--|-------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------|
| | | | | | 야간 충전 | 주간 충전 |
| 2011 | 25 | 38 | 1,219 | 3.5 | 10.9 | 8.3 |
| 2012 | 65 | 99 | 3,170 | 9.2 | 28.2 | 21.6 |
| 2013 | 165 | 252 | 8,048 | 23.4 | 71.6 | 54.7 |
| 2014 | 400 | 610 | 19,510 | 56.8 | 173.5 | 132.7 |
| 2015 | 400 | 610 | 19,510 | 56.8 | 173.5 | 132.7 |
| 2016 | 400 | 610 | 19,510 | 56.8 | 173.5 | 132.7 |
| 2017 | 400 | 610 | 19,510 | 56.8 | 173.5 | 132.7 |
| 2018 | 400 | 610 | 19,510 | 56.8 | 173.5 | 132.7 |
| 2019 | 400 | 610 | 19,510 | 56.8 | 173.5 | 132.7 |
| 2020 | 375 | 572 | 18,290 | 53.2 | 162.7 | 124.4 |
| 2021 | 335 | 511 | 16,339 | 47.5 | 145.3 | 111.1 |
| 2022 | 235 | 359 | 11,462 | 33.3 | 102.0 | 78.0 |
| 누계 | 400 | 5,491 | 175,588 | 511 | 1,562 | 1,194 |

주 : CO₂ 배출감축량 계산 시, 전력 생산에서 발생하는 CO₂를 고려(1kWh당 424g 발생)하고, 버스 내구연한 9년 고려

마찬가지로 전기버스 보급 목표 수준이 200대일 경우(<표 2-2 참고>), 환경오염 절감편익은 256억 원, 연료비 절감편익은 597~781억 원 수준으로 나타남.

〈표 3-16〉 전기버스 보급에 따른 기대효과(200대 보급 목표 기준)

| 연도 | 누적 보급대수(대) | 대기오염물질 (CO, VOC, NOx) 배출감축량 (ton/년) | CO ₂ 배출감축량 (ton/년) | 환경오염 절감편익 (억 원/년) | 연료비 절감편익(억 원/년) | |
|------|------------|--|-------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------|
| | | | | | 야간 충전 | 주간 충전 |
| 2011 | 14 | 21 | 683 | 2.0 | 6.1 | 4.6 |
| 2012 | 30 | 46 | 1,463 | 4.3 | 13.0 | 10.0 |
| 2013 | 80 | 122 | 3,902 | 11.4 | 34.7 | 26.5 |
| 2014 | 200 | 305 | 9,755 | 28.4 | 86.8 | 66.3 |
| 2015 | 200 | 305 | 9,755 | 28.4 | 86.8 | 66.3 |
| 2016 | 200 | 305 | 9,755 | 28.4 | 86.8 | 66.3 |
| 2017 | 200 | 305 | 9,755 | 28.4 | 86.8 | 66.3 |
| 2018 | 200 | 305 | 9,755 | 28.4 | 86.8 | 66.3 |
| 2019 | 200 | 305 | 9,755 | 28.4 | 86.8 | 66.3 |
| 2020 | 186 | 284 | 9,072 | 26.4 | 80.7 | 61.7 |
| 2021 | 170 | 259 | 8,292 | 24.1 | 73.8 | 56.4 |
| 2022 | 120 | 183 | 5,853 | 17.0 | 52.1 | 39.8 |
| 누계 | 200 | 2,745 | 87,795 | 256 | 781 | 597 |

주 : CO₂ 배출감축량 계산 시, 전력 생산에서 발생하는 CO₂를 고려(1kWh당 424g 발생)하고, 버스 내구연한 9년 고려

2. 전기버스 및 충전인프라 보급 소요예산 추정

현재 전기버스의 초기 구입 가격은 기존의 디젤버스나 CNG버스에 비해 상당히 높게 책정되어 있음. 이에 따라 운수업체들의 자발적인 전기버스 구입이 어려운 상황이므로 현재 CNG버스에 적용되고 있는 보조금 제도를 전기버스에도 도입해야 함. 기존의 디젤버스의 가격을 살펴보면 대우 BS120 초저상 버스는 약 1억 6천 5백만 원 수준이고, 기존의 CNG버스의 가격을 살펴보면 현대 뉴 슈퍼에어로 시티 CNG 초저상 버스는 약 1억 9천 3백만 원 수준임.²³⁾ 반면 배터리 가격을 제외한 배터리 충전식 전기버스의 가격은 약 3억 1천만 원 수준임. 분석에서 사용된 배터리 충전식 전기버스는 100kWh 배터리를 장착하였고, 이 배터리의 가격은 1kWh당 100만 원이며 해마다 8.8%의 감소폭을 보일 것으로 가정하였음.

2014년 전기버스 보급 목표(400대) 달성을 위하여 먼저 디젤버스와의 차액만큼 차량보조금을 지원할 경우, 약 902억 원의 보조금이 필요하게 되며 CNG버스와의 차액만큼 차량보조금을 지원할 경우, 약 789억 원의 보조금이 필요할 것으로 예상됨.

〈표 3-17〉 전기버스 차량 보조금 예상 소요예산(EV 마스터플랜 기준)

| 연도 | 보급대수(대) | 디젤 버스와의 차액만큼 차량 보조금 지원 시 | CNG 버스와의 차액만큼 차량 보조금 지원 시 |
|------|---------|--------------------------|---------------------------|
| 2011 | 25 | 61,3 | 54,2 |
| 2012 | 40 | 94,5 | 83,1 |
| 2013 | 100 | 228,2 | 199,9 |
| 2014 | 235 | 518,4 | 451,8 |
| 합계 | 400 | 902,3 | 788,9 |

2014년까지의 전기버스 보급 목표가 200대 수준일 경우(<표 2-2 참고>), 전기버스 차량 보조금 또한 절반 수준으로 낮아져 디젤버스 가격과 비교 시에는

23) 출처 : http://english.hani.co.kr/arti/english_edition/e_opinion/147491.html

약 451억 원의 보조금이 필요하고, CNG 버스 가격과 비교 시에는 약 394억 원의 보조금이 필요할 것으로 예상됨.

〈표 3-18〉 전기버스 차량 보조금 예상 소요예산(200대 보급 목표 기준)

| 연도 | 보급대수(대) | 디젤 버스와의 차액만큼 차량 보조금 지원 시 | CNG 버스와의 차액만큼 차량 보조금 지원 시 |
|------|---------|--------------------------|---------------------------|
| 2011 | 14 | 34.3 | 30.3 |
| 2012 | 16 | 37.8 | 33.3 |
| 2013 | 50 | 114.1 | 99.9 |
| 2014 | 120 | 264.7 | 230.7 |
| 합계 | 200 | 450.9 | 394.2 |

현재 사용되고 있는 전기버스 배터리의 수명은 약 3년으로 버스의 평균 내구 연한이 다하는 9년 사이에 전기버스 배터리의 교환이 2~3번 필요하게 됨. 이러한 배터리 교환비용을 고려할 경우, 전기버스 400대가 폐차될 때까지 드는 배터리 교환비용은 약 290억 원 수준이 될 것으로 분석됨. 이때, 배터리의 잔존가치는 30%로 가정하였고 앞서 언급했던 바와 마찬가지로 배터리 1kWh당 가격은 1백만 원으로 가정하였으며 매년 8.8%의 감소폭을 보일 것으로 가정하였음.

〈표 3-19〉 전기버스 배터리 교환비용 추정(EV 마스터플랜 기준)

| 연도 | 보급대수(대) | 배터리가격 (억 원/100kWh) | 배터리 교환 버스대수(대) | 배터리 교환비용(억 원) |
|------|---------|--------------------|----------------|---------------|
| 2011 | 25 | 1.00 | - | - |
| 2012 | 65 | 0.64 | - | - |
| 2013 | 165 | 0.58 | - | - |
| 2014 | 400 | 0.53 | 25 | 13.3 |
| 2015 | 400 | 0.48 | 40 | 19.4 |
| 2016 | 400 | 0.44 | 100 | 44.2 |
| 2017 | 400 | 0.40 | 235 | 94.7 |
| 2018 | 400 | 0.37 | 25 | 9.2 |
| 2019 | 400 | 0.34 | 40 | 13.4 |
| 2020 | 375 | 0.31 | 100 | 30.6 |
| 2021 | 335 | 0.28 | 235 | 65.5 |
| 2022 | 235 | 0.25 | - | - |
| 합계 | | | | 290 |

2014년까지의 전기버스 보급 목표가 200대 수준일 경우(<표 2-2 참고>), 약 145억 원의 배터리 교환비용만 필요할 것으로 예상된다.

〈표 3-20〉 전기버스 배터리 교환비용 추정(200대 보급 목표 기준)

| 연도 | 보급대수(대) | 배터리가격 (억 원/100kWh) | 배터리 교환 버스대수(대) | 배터리 교환비용(억 원) |
|------|---------|-----------------------|----------------|---------------|
| 2011 | 14 | 1.00 | - | - |
| 2012 | 30 | 0.64 | - | - |
| 2013 | 80 | 0.58 | - | - |
| 2014 | 200 | 0.53 | 14 | 7.4 |
| 2015 | 200 | 0.48 | 16 | 7.7 |
| 2016 | 200 | 0.44 | 50 | 22.1 |
| 2017 | 200 | 0.40 | 120 | 48.3 |
| 2018 | 200 | 0.37 | 14 | 5.1 |
| 2019 | 200 | 0.34 | 16 | 5.4 |
| 2020 | 186 | 0.31 | 50 | 15.3 |
| 2021 | 170 | 0.28 | 120 | 33.4 |
| 2022 | 120 | 0.25 | - | - |
| 합계 | | | | 145 |

전기버스의 원활한 운영을 위해서는 전기버스를 위한 충전인프라가 잘 구축되어 있어야 함. 2011년 8월 기준으로 서울시에는 총 74개소 106대의 전기차 충전기가 설치되어 있으며 그 중 급속충전기는 15개소에 19대가 설치되어 있음.²⁴⁾ 그러나 버스가 이용할 수 있는 급속충전기는 3개소의 7대뿐이며 이 중에서 5대는 현재 남산 순환 전기버스의 기·종점인 남산에 설치되어 있어 다른 노선의 버스들이 이용하는 것이 불가능함. 따라서 전기버스 보급을 위해서는 전기버스가 이용할 수 있는 충전인프라의 구축이 필요함.

버스의 운행 특성상 차고지에 머물러 있는 시간이 길기 때문에 다른 곳에 급속충전기가 설치되어 있는 것보다는 버스 차고지에 설치되는 것이 전기버스의 운영에서 편리할 것으로 판단됨. 서울시내 80개 버스 차고지 현황을 살펴본 결과, 평균 면적은 7,537㎡, 차고지당 평균 박차대수는 73대, 대당 평균 박차면적

24) 출처 : 서울시 내부자료

은 89.6m²/대로 나타남. 전기버스 충전기를 도입하기 위해서는 충전기 설치 공간이 필요하고 충전기 활용도를 높이는 차원에서 박차대수가 많은 대형차고지 위주로 충전기 설치를 검토할 수 있음. 서울시에는 박차대수가 100대가 넘는 대형 차고지가 총 14개소에 있는데 이들 차고지에 5대 규모의 급속충전시설을 도입한다고 가정하면 총 70대 규모의 전기버스 충전인프라 구축이 가능할 것으로 예상됨.

급속충전기 1대 당 4천 5백만 원의 가격과 3천만 원의 공사비가 소요된다고 가정하면 70대 규모의 급속충전기 인프라를 구축하기 위해서는 약 52.5억 원의 비용이 소요될 것으로 예상됨. 이때, 충전소 부지비용은 기존의 차고지를 활용하기 때문에 고려하지 않았음.

〈표 3-21〉 서울시 박차대수 100대 이상 차고지 현황

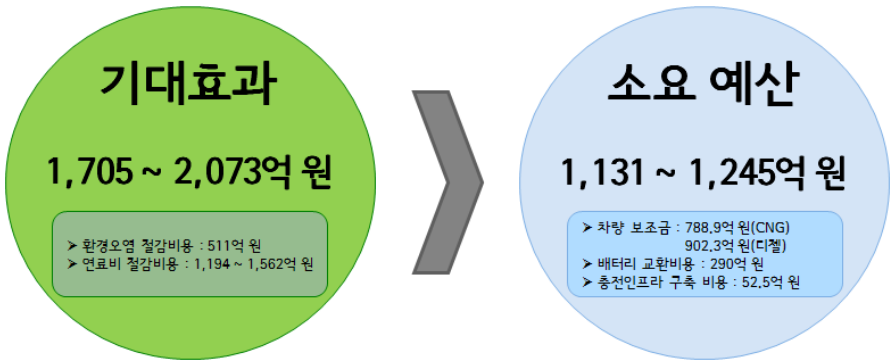
| 구청명 | 동명 | 실제사용규모(m ²) | 박차대수(대) | 대당 박차면적(m ² /대) |
|-----|-----|-------------------------|---------|----------------------------|
| 송파구 | 장지동 | 56,233 | 452 | 124.4 |
| 은평구 | 수색동 | 46,399 | 352 | 131.8 |
| 중랑구 | 신내동 | 51,476 | 319 | 161.4 |
| 양천구 | 신정동 | 47,450 | 287 | 165.3 |
| 송파구 | 장지동 | 25,330 | 253 | 100.1 |
| 강동구 | 강일동 | 34,326 | 248 | 138.4 |
| 강서구 | 개화동 | 56,544 | 163 | 346.9 |
| 도봉구 | 도봉동 | 30,294 | 159 | 190.5 |
| 은평구 | 진관동 | 16,529 | 140 | 118.1 |
| 노원구 | 하계동 | 9,853 | 115 | 85.7 |
| 강북구 | 번동 | 7,162 | 113 | 63.4 |
| 강남구 | 개포동 | 7,857 | 109 | 72.1 |
| 양천구 | 신월동 | 3,911 | 105 | 37.2 |
| 도봉구 | 도봉동 | 5,496 | 104 | 52.8 |

2014년까지 전기버스 400대를 보급하고 70대 규모의 급속충전 인프라를 구축하기 위해 드는 총 비용은 약 1,131~1,245억 원으로 추정됨. 그 중에서 충전 인프라 구축비용은 약 52.5억 원, 배터리 교환비용은 290억 원 수준으로 나타나고 차량 보조금은 전 차량을 CNG버스 가격과 비교했을 때에는 약 789억 원, 디젤버스 가격과 비교했을 경우에는 약 902억 원 수준인 것으로 나타남.

전기버스 200대 보급을 위해서는 총 592~648억 원의 비용이 소요될 것으로 추정됨. 그 중 배터리 교환비용은 145억 원, 차량 보조금은 CNG버스 가격과 비교 시에는 약 394억 원, 디젤버스 가격과 비교했을 시에는 약 451억 원이 소요됨. 충전인프라 구축비용은 2014년까지의 전기버스 보급 목표가 절반 수준으로 줄어들었지만 향후 추가적인 전기버스의 보급이 있을 것으로 예상하여 기존의 충전인프라 구축비용과 동일하다고 가정하였음.

3. 전기버스 도입 타당성 평가

서울시가 2014년까지 목표로 하는 전기버스 400대 보급 및 전기버스 충전인프라 구축을 위해 소요되는 총 예산과 그로 인해 향후 버스 내구연한이 다하는 9년까지 발생하는 기대효과를 비교해 보면 <그림 3-25>와 같음(기존의 CNG버스 400대를 전기버스로 대체한다는 가정).



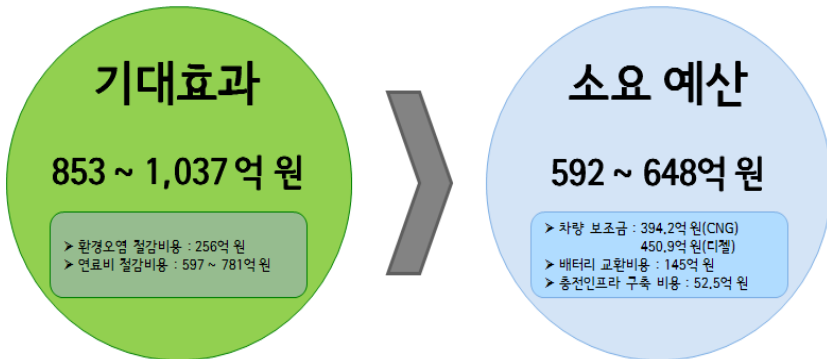
<그림 3-25> 전기버스 보급 기대효과 및 소요예산 추정(EV 마스터플랜 기준)

전기버스 보급을 위해 드는 총 비용은 약 1,131~1,245억 원 수준이며 이 중에서 차량 보조금으로 CNG버스 가격과 비교했을 때에는 약 789억 원, 디젤버스 가격과 비교했을 때에는 약 902억 원이 필요함. 또한 배터리 교환비용으로

290억 원, 급속충전기 70대 규모의 충전인프라를 구축하는 데 약 52.5억 원이 소요될 것으로 예상됨. 반면 전기버스 400대 보급으로 인해 발생하는 환경오염 절감비용은 약 511억 원이고 연료비 절감비용은 1,194~1,562억 원으로 나타나 총 1,705~2,073억 원의 편익이 발생할 것으로 기대됨.

전기버스 보급으로 인한 편익과 그에 필요한 비용을 고려해보면 연료비 절감 효과가 탁월하여 전기버스 도입과 관련된 B/C가 1.37~1.83 수준으로 나타남.

전기버스 보급 목표 수준이 200대일 경우의 총 예산과 그로 인해 발생하는 기대효과를 비교해보면 <그림 3-26>과 같음.



<그림 3-26> 전기버스 보급 기대효과 및 소요예산 추정(200대 보급 목표 기준)

전기버스 보급을 위해 드는 총 비용은 약 592~648억 원 수준이며 이 중에서 차량 보조금으로 CNG버스 가격과 비교했을 때에는 약 394억 원, 디젤버스 가격과 비교했을 때에는 약 451억 원이 필요함. 또한 배터리 교환비용으로 145억 원, 급속충전기 70대 규모의 충전인프라를 구축하는 데 약 52.5억 원이 소요될 것으로 예상됨. 반면 전기버스 200대 보급으로 인해 발생하는 환경오염 절감비용은 약 256억 원이고 연료비 절감비용은 597~781억 원으로 나타나 총 853~1,037억 원의 편익이 발생할 것으로 기대됨.

전기버스 보급으로 인한 편익과 그에 필요한 비용을 고려해보면 연료비 절감

효과가 탁월하여 전기버스 도입과 관련된 B/C가 1.32~1.75 수준으로 나타남.
하지만 이는 여러 가지 가정하에서 추정된 수치이므로 향후 전기버스 관련 기술개발 속도와 공공기관 및 민간의 참여도에 따라 상이하게 나타날 수도 있음.

제 4 장 결론 및 정책건의의



제 4 장

결론 및 정책건의

서울시는 버스전용차로제, 친환경차 이용 활성화, 기업체교통수요관리 등 그동안 다양한 정책을 추진하여 대기오염 물질 배출량을 점차 줄이고 있음.

하지만 이런 다각도의 노력에도 불구하고 EIU(Economist Intelligence Unit)가 개발한 아시아 녹색도시 인덱스(Asian Green City Index)에 따르면 총 22개 아시아 주요도시 중 서울의 환경질은 중간 이상 수준에 머무르고 있음. 더불어 서울시의 수송부문 에너지 소비 비중은 2005년 28.1%를 기록한 이후로 2009년 32.3% 수준으로 꾸준히 증가하고 있는 추세임. 따라서 이 연구에서는 교통부문의 탄소배출량을 감축하기 위해 많은 시민들이 이용하는 대중교통수단 중 하나인 버스에 전기버스를 도입하기 위해 필요한 기초자료를 확보하여 서울시 교통 특성에 맞는 세부적인 전기버스 도입 전략을 제시하고 향후 전기버스 도입 시 필요한 사항들을 검토하고자 하였음.

현재 전기버스는 기존의 디젤버스나 CNG버스에 비해 높은 가격으로 인해 가격경쟁에서 매우 불리한 상황임. 버스 운수업체들의 자발적인 전기버스 구입을 위해서는 기존 버스 가격과의 차액만큼 차량 보조금 지원이 필요함. 기존 CNG버스 가격과 비교하게 되면 전기버스 1대당 약 2.17억 원의 차량 보조금이 필요하고 디젤버스 가격과 비교하게 되면 전기버스 1대당 약 2.45억 원의 차량 보조금이 필요한 실정임.

또한 배터리 충전식 전기버스는 긴 충전시간(30분)으로 인하여 기존의 CNG 버스보다 더 많은 버스대수가 필요함. 특히 배차간격이 짧아질수록 배터리 충전식 전기버스는 더 많은 투입대수가 필요하기 때문에 이러한 문제를 최소화하기 위해서는 배차간격 15분 이상 노선에 우선적으로 전기버스를 도입하는 것을 검토해 볼 수 있음. 배차간격 15분 이상 노선은 총 15개 노선이며 이는 서울시 시내버스 377개 노선의 약 3.9% 수준임. 또는 전기버스 50% 미만의 구성비를 가지게 하여 CNG버스와의 혼합운영하는 방안도 검토해 볼 수 있음.

배터리 충전식 전기버스와 OLEV의 도입에 필요한 총 비용을 배터리 잔존가치 고려여부와 OLEV 유지보수비 비율 변화에 따라 구분하여 분석하였음. 분석 시나리오는 배터리 잔존가치를 고려하지 않고 OLEV 급전도로 공사비의 4% 수준의 유지보수비를 가정한 Case 1과 배터리 잔존가치를 30%로 가정하고 OLEV 급전도로 공사비의 8% 수준의 유지보수비를 가정한 Case 2로 분류하였음.

먼저 Case 1을 살펴보면 장거리 노선에서는 배터리 충전식 전기버스보다 OLEV보다 경제성이 좋게 나타났고 단거리 노선에서는 OLEV가 배터리 충전식 전기버스보다 경제성이 좋게 나타났음. OLEV 급전구간 설치비용은 노선의 길이에 비례하므로 노선의 길이가 길어질수록 급전구간 설치비용이 높아지게 되어 OLEV의 경제성이 배터리 충전식 전기버스보다 낮아지게 됨을 의미함. 하지만 OLEV 급전구간을 다른 노선과 공유하게 되면 급전구간 설치비용을 줄일 수 있을 것으로 판단되어 분석을 시도하였음. 그 결과, 급전구간 50% 공유 시 OLEV 급전도로 1km당 공사비가 6.5억 원 수준으로 낮아지고 3개 이상의 노선이 급전구간을 공유해야 OLEV의 경제성이 배터리 충전식 전기버스보다 좋게 나타남. 급전구간 80% 공유 시에는 OLEV 급전도로 1km당 공사비가 8억 원 수준이 되고 2개 이상 노선이 급전구간을 공유해야 OLEV의 경제성이 배터리 충전식 전기버스와 비슷하게 나타남. 노선길이의 변화에 따라 경제성을 분석한 결과, OLEV는 7.5km 이하 노선에 도입하는 것이 배터리 충전식 전기버스보다 경제적으로 유리하다는 분석 결과가 도출되었음.

Case 2의 경우, 배터리 잔존가치를 고려하였기 때문에 추가적인 배터리 구매 개수가 많은 배터리 충전식 전기버스의 총 비용은 줄어들지만 OLEV의 유지보수비를 8%로 높여 책정하였기 때문에 OLEV에 상대적으로 불리한 결과가 도출되었음. 급전구간 50% 공유 시, 5개 노선이 급전구간을 공유해도 OLEV 공사비 수준(6.5억 원/km~12억 원/km)에 관계없이 OLEV의 경제성이 배터리 충전식 전기버스보다 낮게 나타나고, 급전구간 80% 공유 시에는 4개 이상 노선이 급전구간을 공유하고 OLEV 급전도로 1km당 공사비가 8억 원 수준이 되어야 OLEV의 경제성이 배터리 충전식 전기버스와 비슷하게 나타남. 노선길이 변화에 따른 OLEV의 도입이 경제적으로 유리하다고 판단되는 노선의 최대 길이는 5.3km 수준으로 Case 1에 비하여 짧아졌음.

OLEV의 시내버스 도입 가능 여부를 확인하기 위해서는 OLEV 시범사업이 이루어져야 함. 하지만 OLEV의 비싼 급전도로 공사비로 인하여 장거리 노선 도입에 어려움이 예상되므로 OLEV 시범사업은 약 6~7km 정도의 단거리 노선에 시범적으로 도입하는 것이 적절하다고 판단됨.

서울시가 2014년까지 목표로 하는 전기버스 400대와 향후 2020년까지 서울시 버스 50%의 전기버스 전환을 달성하기 위해서는 단계적으로 전략을 추진하고 도입해야 함. 먼저 초기에는 6개 순환노선의 34대의 버스를 전기버스로 전환하여 시범운행을 할 필요가 있고 중기적으로는 대기오염이 심하고 활동인구가 많은 거점 지역 지선노선의 버스를 전기버스로 전환하면서 확대 추진할 필요가 있음. 장기적으로는 25km 이하 단거리 노선의 버스를 전기버스로 전환할 뿐만 아니라 중형 전기버스의 개발을 통해 시내버스 이외의 버스에도 전기버스 도입이 가능하도록 유도하여야 함.

전기버스 400대 보급 및 70대 규모의 급속충전 인프라 구축을 위해서는 총 1,131~1,245억 원의 비용이 소요될 것으로 예상되지만 그로 인해 약 1,705~2,073억 원의 연료비 절감편익 및 환경오염 절감편익이 발생할 것으로 기대됨.

한편, 전기버스 200대 보급 및 70대 규모의 급속충전 인프라 구축을 위해서는

총 592~648억 원의 비용이 소요될 것으로 예상되지만 그로 인해 약 853~1,037억 원의 연료비 절감편익 및 환경오염 절감편익이 발생할 것으로 기대됨.

전기버스의 성공적인 도입을 위해서는 공공기관이 선도적으로 나서고 민간의 자발적인 참여를 유도하기 위한 인센티브 발굴 등 공공기관의 적극적인 노력이 필요함. 또한 지자체의 행·재정적 노력과 더불어 장기적인 관점에서 관련 기술의 개발과 친환경 교통수단의 활성화라는 차원에서 국가 예산의 적극적인 지원이 필요할 것으로 판단됨.

참 고 문 헌



참고문헌

- 강광규, 2003, 「저공해차량의 균형보급 방안 연구」
- 교통안전공단, 2009, 「2008년 자동차 주행거리 실태조사」
- 국립환경과학원, 2009, 「수송부문 온실가스 기후변화대응 시스템구축」
- 국립환경과학원, 2010, 「국가대기오염물질 배출량 산정방법 편람」
- 서울시정개발연구원, 2010, 「서울시 교통부문 탄소배출량 관리 전략 개발을 위한 기초연구」
- 서울특별시, 2011, 서울시 전기차(EV) 보급 마스터 플랜 2014
- 서울특별시 교통정보센터, 2011, 버스 상세운행정보
- 조세연구원, 2010, 「친환경 자동차세제 개편방안」
- 한국개발연구원, 2008, 「도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구」
- 한국교통연구원, 2010, 「온실가스 저감을 위한 자동차세제 개편방안」
- 한국교통연구원, 2011, 「2010년 국가교통수요조사 및 DB 구축사업」
- 환경부, 2007, 천연가스 자동차 보급정책 보도자료
- City of New Haven, 2011, Trolley Fact Sheet
- Holland/Watkiss, 2002, *BE TA Benefits Table database : Estimates of the Marginal External Costs of Air Pollution in Europe*
- Kakuhama, Y. et al., 2011, Next-generation public transportation : electric bus infrastructure project. Mitsubishi Heavy Industries Technical Review 48(1) : 1-4.
- Mckinsey, 2009, Electrifying Cars : How three industries will evolve
- New Haven Transportation Department, 2007, Downtown Electric Trolley Future Service Proposal

UNEP, 1998, *A. Markandya Economics of Greenhouse Gas Limitations : The Indirect Cost and Benefits of Greenhouse Gas Limitations*

U.S. Department of Energy, 1997, *Electric Buses Energize Downtown Chattanooga*
<http://www.cityofnewhaven.com/trafficparking/trolley.asp>(뉴 헤이븐시 전기트롤리 웹사이트)

http://www.city.kyoto.jp/koho/eng/topics/2011_1/index.html(교토 시정부 웹사이트)

<http://www.kesis.net/>(국가에너지 통계종합정보시스템)

<http://www.kosis.kr/>(국가통계포털)

<http://air.seoul.go.kr/>(대기환경정보시스템 홈페이지)

<http://stat.seoul.go.kr/>(서울시 통계자료)

영문 요약 (Abstract)



Strategies for Delivering Environmentally Friendly Buses in Seoul

Joonho Ko · Jinseop Shim

Seoul Metropolitan Government (SMG) has tried to deliver electric vehicles (EV) to reduce CO₂ emissions in transportation sector as suggested in the Seoul EV Master Plan announced in July 2011. In particular, SMG declared that 400 city buses operated in the activity areas would be replaced with EV buses by 2014 as many citizens often use them. Based on this background, this study intends to identify strategies for delivering EV buses in Seoul based on bus related data.

This study suggests that battery charging based EV buses should be operated with a mix of current CNG buses since a fleet composed of solely EV buses require more buses to provide the same level of service as the fleet of CNG buses. This is because EV buses need more refueling (charging) time than CNG buses. As can be expected, this consideration should be more given to bus routes with a long distance or high service frequency.

An economic analysis is conducted for the comparison of on-line electric vehicles (OLEV) and battery charging based EV. The result indicates that OLEV pilot project should be implemented for short bus routes with a length of 6 to 7 km, considering the cost of building electric power supply infrastructure in roadways. Concerning the time of OLEV pilot project implementation, it should be very carefully determined, taking into account of OLEV technology improvement and related R&D outputs.

SMG may consider three aspects when delivering EV buses. First, SMG should consider a provision of subsidy for the purchase of EV buses because of the high price of EV buses compared to CNG buses. Second, charging facilities should be provided at convenient locations. Large bus depots would be the candidates for the locations of charging facilities. Third, SMG may lead the development of mid-size EV buses. Although mid-size buses are operated for numerous city bus routes, in particular for rather short routes and shuttle buses, only full size EV buses are developed and under operation. A variety of types of EV buses would facilitate the EV delivery, providing more flexibility on the application of EV buses. These aspects may suggest the importance of cooperations between public and private sectors for the successful EV bus delivery.

It is expected that the total cost amounts to approximately 113 to 125 billion KRW for the delivery of 400 EV buses by 2014. Of the cost, vehicle purchase subsidy would be 79 billion KRW when the subsidy fills the difference between the prices of CNG and EV buses. When compared to diesel bus prices, it would be 90 billion KRW. In addition, the battery replacement and charging infrastructure would cost 29 billion KRW and 5 billion KRW, respectively. Meanwhile, it is estimated that benefits from emissions reduction and fuel saving for the 400 EV bus delivery would be 51 billion KRW and 120 to 160 billion KRW, respectively, exceeding the estimated cost. This result indicates that the EV bus delivery would generate positive benefits, and thus SMG needs to actively implement its plan at least in the sector of buses.

Table of Contents

Chapter 1 Introduction

1. Background
2. Study Framework

Chapter 2 Needs for Delivering Environmentally Friendly Buses

1. Trends of Foreign and Domestic Policies
2. Needs for Delivering Environmentally Friendly Buses in Seoul

Chapter 3 Strategies for Delivering Environmentally Friendly Buses

1. Strategies for Bus Types
2. Strategies for Delivery Phase and Location
3. Strategies for Pilot Project
4. Economic Analysis

Chapter 4 Conclusion and Policy Suggestions

References

시정연 2011-PR-38

서울시 친환경버스 도입 방안 연구

발행인 서울시정개발연구원
발행일 2011년 11월 15일
발행처 서울시정개발연구원
137-071 서울특별시 서초구 남부순환로 340길 57
(서초동 391번지)
전화 (02)2149-1234 팩스 (02)2149-1025

값 6,000원 ISBN 978-89-8052-844-8 93530

본 출판물의 저작권은 서울시정개발연구원에 속합니다.