

태양광 발전을 이용한 전기자동차 배터리 충전 및 공급시스템에 관한 연구

최 회 균[†]

협성대학교 도시공학과

A Study on Battery Charging and Supply System of Electric Vehicle Using Photovoltaic Generation

Choi, Hoi-Kyun[†]

Dept. of Urban Planning & Engineering, Hyupsung University, Hwaseong, Korea

ABSTRACT

Recently the Paris Climate Change Accord has been officially put into effect, making global efforts to implement Greenhouse Gas (GHG) reductions, and also International environmental regulations in the automotive sector will be further strengthened. The electric vehicle, which minimizes the particulate matter generated by existing internal combustion engine automobiles, is evaluated as a representative eco-friendly automobile. However, charging the battery of an electric vehicle is not fully environment-friendly if it is fueled by electricity that is being generated by fossil fuels as an energy source. The energy generated by the photovoltaic power generation system, which is an infinite clean energy, can be used to charge an electric vehicle's battery. Currently, shortage of charging facilities, time of charging, and high battery prices are the problem of activating the supply of electric vehicles. This study is to build a conjunction between the EVBSS (Electric Vehicle Battery Supply System) and ESS (Energy Storage System), which can quickly supply the photovoltaic charged battery to the required demand. If the charged battery in the Battery Swapping Station (BSS) is swapped swiftly, it will dramatically shorten the waiting time for charging the battery. As a result, if the battery is rented when it is needed, electric vehicles can be sold without the cost of a battery, which accounts for a large portion of the total cost, then the supply of electric vehicles are expected to expand. Furthermore, it will be an important alternative to maneuver climate change by minimizing GHG emissions from internal combustion engine vehicles.

Key words: Photovoltaic Generation, Electrical Vehicle Battery Supply System (EVBSS), Energy Storage System(ESS), Battery Swapping Station (BSS)

1. 서 론

1.1 배경 및 목적

최근 한국과 미국이 공동 연구하여 우리나라 미세먼지 발생 요인의 52%가 국내에 원인이 있다는 결과를 발표하였다 (ME, 2017). 또한 지역별로 차이가 있지만, 서울시의 경우 미세먼지 자체 발생량 중 자동차 배출이 37%를 차지한다고 조사되었다(Seoul City, 2017). 낮은 경유차량과 건설기계 폐차를 유도하고, 매연저감장치 부착 및 엔진교체 등을 위한 예산을 투자해도 미세먼지 배출 문제를 근원적으로 해결할 수 없

다. 2015년에 조사된 OECD 자료에서 우리나라의 미세먼지 (PM_{2.5}) 농도는 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 OECD 회원국 중 하위권이며, OECD 평균치(15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 2배 정도 심한 것으로 나타나고 있다(HEI, 2017). 지난 2011년부터 약 4년간 진행된 한국형 오토-오일(Auto-Oil) 사업 결과를 보면, 국내 차량의 연료 생산과 공급 그리고 운행 단계까지 자동차 온실가스 배출량 전 과정 평가(Life Cycle Analysis; LCA)에서 내연기관 자동차의 배출량이 친환경 자동차의 2배 수준으로 나타났다. 차종별 온실가스 배출량은 전기자동차 94 g/km로 가장 낮고, 하이브리드자동차 141 g/km, 경유자동차 189 g/km, 그리고 휘발유자

[†] Corresponding author: hkchoi@uhs.ac.kr

Received August 25, 2017 / Revised September 4, 2017 / Accepted September 20, 2017

동차 192 g/km로 가장 높게 나타났다(ME, 2015).

이러한 상황으로 인해 우리나라뿐 아니라, 많은 국가들이 친환경자동차에 관한 정책을 수립하고 추진하고 있다. 역사적으로 보면 전기 모터를 사용한 전기자동차는 19세기에 소개되었지만, 가솔린자동차가 보급되면서 경쟁력을 잃고 도로에서 사라지게 되었다. 그러나 1990년대에 배기가스 규제를 자동차 제조사에 적용하면서 전기자동차에 대한 관심이 급증하였고, 화석연료를 사용하여 발생하는 온실가스 및 미세먼지 문제는 전기자동차 전환 당위성을 확보하였다. 전기자동차 시장이 세계적으로 급성장하는 추세이고, 전기자동차 보급률이 높은 노르웨이는 최근 전기자동차 판매대수가 내연기관자동차를 추월하였다(NCRTI, 2017). 우리나라도 국토교통부 통계에 따르면 2017년 6월말 전기자동차 등록은 15,869대로 5년 만에 35배 증가하였다(MOLIT, 2017). 전기자동차는 주행 시 이산화탄소나 배기가스가 배출되지 않고, 소음 및 진동이 없으며, 연료비도 10~30% 정도 저렴하다. 그러나 상대적으로 짧은 주행거리와 높은 구매가격, 그리고 충전 시설 부족이 주요 문제점으로 지적되고 있다. 전기자동차 주행거리를 늘리기 위해서는 차량을 경량화하고, 배터리 용량(밀도)을 비약적으로 향상시킬 수 있는 기술이 요구된다. 현재 일상적인 주행에서 큰 불편을 겪지 않을 수준까지 배터리 용량 기술이 향상되었다고 평가되고 있지만, 충전 시설 부족은 전기자동차 대중화에 문제점으로 대두되고 있다.

국제에너지기구(International Energy Agency; IEA) 보고서에 따르면 2016년 기준으로 전 세계 전기자동차 2백만 대 중 중국과 미국이 60%를 차지하고 있으며, 공공 충전기도 중국, 미국, 일본, 노르웨이, 영국, 프랑스 순으로 설치되어 있다(IEA, 2017). 환경부는 2017년 기준 우리나라의 전기자동차 충전기는 2,726기(급속 1,320기, 완속 1,406기)이며, 2017년 말까지 급속충전기 1,290기를 추가하여 전기자동차 약 6대당 급속충전기 1기가 설치될 것으로 예상하고 있다(EV, 2017). 전기자동차 수요가 지속적으로 증가하면 충전기 보급도 확대되겠지만, 충전 소요시간이 30분 이내인 급속충전기와 4~6시간이 소요되는 완속충전기의 설치지점을 효율적으로 선정하여 운영하더라도 모든 수요를 만족시키기 어려울 것이다. 최근 2030년에 전기자동차가 100만 대 보급되었을 경우를 가정하여 시간대별 차량 이용유형과 충전유형 그리고 예상 부하를 종합적으로 분석해 예측한 결과, 부하가 피크일 때 전기차로 인해 늘어나는 전력수요는 약 60만 kW로 전체 전력수요의 1% 미만이라는 결과가 발표되었다(Shin, 2017). 따라서 전기자동차의 성장 속도가 예상보다 빠르면 추가되는 전기수요를 충족시킬 수 없어 전력난이 예상된다 주장하는 의견은 설득력이 낮

다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서는 전기자동차 충전을 위한 전력을 태양광발전과 에너지저장시스템(Energy Storage System; ESS)과 연계한 발전시설에서 전기자동차 배터리를 충전하고, 충전된 배터리를 배터리교환소(Battery Swapping Station; BSS)로 공급하여 소비자에게 제공하는 전기자동차 배터리 공급시스템(Electrical Vehicle Battery Supply System; EVBSS)을 제안하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 내용

현재 전기자동차 배터리를 충전하기 위한 전력은 대부분 화력발전소 및 원전에서 생산되는 전기로 충전되고 있으며, 전기자동차 수요가 계속 증가할수록 기존 전력용량에 영향을 줄 수 있다는 우려를 하고 있다. 또한 전기자동차 배터리 충전시설 부족과 충전소요시간으로 소비자들의 선택이 쉽지 않은 측면이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 무한한 재생에너지인 태양광발전으로 생산된 전기를 에너지저장시스템(ESS)에 저장하여 전기자동차 배터리를 충전하고, 실시간 정보를 바탕으로 배터리가 필요한 소비자에게 배터리교환소(BSS)를 통해 제공할 수 있도록 연구를 진행하였다.

본 연구에서는 전기자동차 배터리를 태양광발전과 ESS를 결합한 시스템으로 충전하고, 충전된 배터리를 지정된 장소에서 제공할 수 있는 전기자동차 배터리 공급시스템(EVBSS)을 제안하고자 한다. 충전된 배터리를 지정된 장소에서 교환하면, 배터리 충전을 위한 대기시간을 획기적으로 단축하게 된다. 또한 자동차 전체 원가의 약 40%를 차지하는 배터리를 대역한다면, 차량 구입비용이 내려가 전기자동차 보급 확대에 기여할 것이다. 나아가 배터리 충전시 재생에너지를 사용하고, 배기가스를 배출하지 않는 전기자동차로 전환한다면, 기존 내연기관자동차에서 발생하는 미세먼지를 줄이기 위한 가장 적극적인 대안이 될 것이다.

2. 관련 연구

기존에 전기자동차 보급 확대를 위한 연구를 보면, 황상규(2009)는 전기자동차 보급 활성화 및 인프라 구축방향에 대한 연구에서 설문조사를 통하여 국내 전기자동차의 충전인프라 유형 및 성능의 영향도를 분석하였다. 이에 따른 전기자동차의 보급 활성화와 충전인프라 구축을 위한 지원 방안으로 다양한 세제 지원 및 주차우선권 등을 제시하였다(Hwang, 2009). 채아름 외(2011)에서 전기자동차 수요예측을 통해 전기자동차의 인프라 구축의 효율성과 전기자동차 도입에 따른 전력망

수요 예측을 하였다. 전기자동차 도입 초기의 문제점인 차량 가격, 배터리 충전 소요시간 등이 개선되면 전기자동차를 선택하는 시장규모가 빠르게 증가하는 것을 보여주었다(Chae *et al.*, 2011).

김규옥(2011)은 전기자동차 이용자가 충전소 위치 및 충전 경로 정보와 배터리의 충전 상태, 방전 등 위급 상황 시 정보를 스마트 폰을 활용한 텔레매틱스 서비스를 제공하는 방안을 제안하였다. 또한 차량공유제도 이용 사례를 분석하여 전기자동차 공유제도가 전기자동차 보급 활성화를 위한 중요한 역할을 할 것이라고 예측하였다(Kim, 2011). 박지영(2014)은 전기자동차 운행환경을 안정적으로 조성하기 위해 우선적으로 해결되어야 할 문제는 충전인프라 보급 확대이며, 주거지 기반 개인 충전시설 확보가 필요하다고 하였다. 그리고 전기자동차와 같은 친환경차량들에 적합한 판매시장 형성과 관련 정책 개발을 하여 친환경적인 소비패턴으로 전환하는 것을 제안하였다(Park, 2014). 강철구 외(2017)는 경기도 전기자동차 공공 충전시설 적정 설치기준을 제안하였다. 공공충전시설 시·군별 설치수량 배분, 설치지점(설치시설), 설치수량, 설치종류 등 4단계 순서로 추진하고, 가능한 공공 급속충전기 수요가 많은 곳을 우선적으로 설치할 것을 제시하였다(Kang and Jeon, 2017).

또한 전기자동차 배터리 교환시스템에 관한 연구를 보면, 현재 전기자동차 배터리 충전 소요시간에 따라 운전자가 운행 도중 대기하는 시간이 긴 완속충전이나 짧은 시간에 충전하여 배터리 수명에 영향을 주는 급속충전기 모두 문제점을 갖고 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 권양현 외(2011)는 배터리 교체식 전기자동차 시스템의 효율성 및 필요성을 조사하였다. 배터리 품질 보증 및 사용한 전기량에 요금 부과와 연관된 사용자 인증, 배터리 정품 식별, 배터리 성능 측정 등 보안 요소를 도출하였다(Kwon *et al.*, 2011). 김승지 외(2013)는 전기버스를 위한 배터리 자동 교환 및 충전시설의 적합한 위치를 선정하기 위한 방법을 제시하였다. 이 방법을 이용하여 각 지역에 전기버스 충전인프라를 단순히 버스 노선별로 설치하는 것보다 제안된 모형을 적용하여 가장 효율적인 위치를 선정한다면 인프라 구축비용을 절감할 수 있음을 예측하였다(Kim *et al.*, 2013).

그리고 태양광발전은 태양이 있는 시간대에만 발전할 수 있는 재생에너지이므로 발전된 전기를 저장하여 필요시 사용할 수 있는 ESS가 연계되어야 안정적인 전력 운용이 가능해진다. 김응상(2014)은 태양광발전을 통해 주간에 생산된 전기를 ESS에 저장하고, 태양광발전이 적거나 불가능한 흐린 날씨와 야간에 부족한 전력을 공급해 줄 수 있는 솔라 하이브리

드 시스템(Solar Hybrid System)을 제안하였다(Kim, 2014). 이 용봉 외(2015)는 태양광 및 풍력 등 재생에너지를 연계한 ESS 기술개발에 따른 ESS 보급량 추정과 경제성 분석을 실시하였고, 향후 신재생에너지와 연계하여 ESS를 운영할 경우 경제성 분석이 필요하다고 제시하였다(Lee and Kim, 2015).

3. 태양광발전 및 에너지저장시스템 (Energy Storage System; ESS) 개요

일반적인 전기자동차 충전시설은 전원을 공급하기 위한 전력공급설비(전력량계, 인입구 배선, 분전반, 배선용 차단기 등), 전원을 공급받는 충전기(완속 및 급속), 충전기와 전기자동차를 연결하는 인터페이스(커플러, 케이블 등), 충전정보시스템으로 구성되어 있다. 충전기 유형에는 전기자동차를 직접 충전기에 연결하는 직접 충전, 차량 바닥의 집전장치에 충전장소 바닥하부 급전선로와 자성재료(코어)에서 발생한 교류를 이용하여 충전하는 비접촉식 충전방식, 그리고 충전소에서 전기자동차 배터리를 교환하는 유형이 있다. 본 연구에서는 지정된 장소에서 태양광발전으로 생산된 전력으로 충전된 배터리를 배터리 교환소(Battery Swapping Station; BSS)에서 제공하는 공급시스템을 제안하고자 한다.

전기자동차는 배기가스와 오염물질을 배출하지 않는 친환경차로 규정되어 있지만, 화력발전소에서 생산되는 전기로 배터리를 충전한다면 대기오염을 일부만 저감시키는 결과를 초래한다. 따라서 전기자동차 배터리를 무한한 청정에너지인 태양광을 이용한 발전으로 충전한다면 재생에너지 확대정책과 연계하여 추진할 수 있다. 태양광에너지를 이용한 전력생산량은 자연에 의존할 수밖에 없어 시간, 지역, 기후 등의 영향을 크게 받는다. 이러한 태양광에너지의 단점을 보완하고, 안정적인 전기 공급을 위한 ESS가 필요하다. 태양광에너지를 배터리에 저장할 수 있는 ESS를 연계하면 보다 안정적인 태양광 에너지 인프라를 구축할 수 있다. ESS로 태양에너지를 시간의 제약 없이 언제든지 사용할 수 있어 지속적으로 운영할 수 있다.

태양광의 광전효과를 이용하여 태양광을 직접 전기에너지로 변환하는 과정을 태양광발전이라 한다. 태양광발전장치는 태양광을 전기에너지로 변환시키는 태양전지(solar cell)로 구성된 모듈(module) 및 어레이(array), 직류를 교류로 바꾸는 전력변환장치인 인버터(inverter), 축전장치, 제어장치, 계통연계장치 등으로 구성되어 있다. 태양광발전 장소는 온도, 일사량, 일조시간, 강수량 등 기후 조건을 고려하고, 태양전지모듈은 정남향으로 30도 내외의 경사각으로 설치하는 것이 가장

효율적이다. 일반적으로 연간 태양광발전량=설치용량×일평균일조시간×365일로 산정하며, 1 kW 태양광을 생산하기 위한 면적은 평년 기준으로 약 8~12 m²이다. 1년에 1 MW의 전기를 생산하기 위해서는 약 760 kW 용량의 태양전지모듈과 약 7,600 m²(약 2,300坪)의 부지가 소요된다(KECA, 2017).

주로 쾌청한 주간에 전력을 생산하는 태양광은 야간에는 생산이 불가능하고, 기후조건이 안 좋을 때는 전력 생산량이 저조하게 나타난다. 지속적이고 안정적으로 전력을 공급하기 위해서는 ESS로 생산된 전력을 저장하고, 필요시에 전력을 공급해야 한다. ESS는 전력을 저장하는 배터리(battery), 태양광에서 생산된 전력을 충전(저장)하고 방전시 직류를 교류 전력으로 변환하는 양방향 PCS(Power Conditioning System), ESS의 작동 방식을 제어하고 관리하는 EMS(Energy Management System), 배터리를 제어하고 관리하는 BMS(Battery Management System)로 구성되어 있으며, EMS는 BMS와 PCS를 동시에 제어하는 기능을 수행한다. 이처럼 ESS는 생산된 전력을 발전소, 변전소 및 송전선 등을 포함한 각각의 연계 시스템에 저장을 하고, 전력이 필요한 시기에 선택적으로 사용하여 에너지 효율을 극대화 시킬 수 있다. 나아가 태양광발전과 ESS를 연계하면 전기자동차 배터리를 지속적이고 안정적으로 충전할 수 있다(Fig. 1).

4. 전기자동차 배터리 공급시스템

4.1 전기자동차 배터리 현황

현재 우리나라 자동차 등록대수는 2016년 12월말 기준으로

약 2,180만 대이고, 전기자동차도 1만 대를 넘어섰다(E-country Index, 2017). 특히 100만대 이상 등록된 서울, 부산, 대구, 인천, 경기, 경북, 경남 등이 전기자동차 보급도 상대적으로 많이 보급되어 있고, 제주, 전남, 광주 등은 지자체에서 전기자동차 활성화 정책을 적극 추진하고 있다. 전기자동차 구매가 늘고 있지만, 충전기(급속 및 완속) 설치는 충분하지 않고, 충전에 소요되는 시간도 전기자동차 보급을 어렵게 만들고 있다(Table 1). 전기충전소에서 충전을 하는 경우라면 충전횟수가 많은 지점이 설치 입지로서 경쟁력이 있다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 전기자동차에 이미 충전된 배터리를 교환하는 공급시스템을 기존의 주유소 형태로 추진하는 것을 고려하였다. 2016년 8월부터 국내 주유소에 전기자동차 충전기 설치가 허용되었고, 주유소 설치를 위한 배치계획도 관련 법령으로 규정하고 있다(MOIS, 2016). 전기자동차가 지속적으로 증가한다면 현재 설치된 주유소를 전기자동차 BSS로 전환하여 이용이 가능할 것이다.

Table 2에서 지역별 주유소(대리점과 판매점 제외)와 등록 차량대수를 비교하여 주유소 1개소당 차량대수를 비교하였다. 서울특별시, 광역시(부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산), 경북, 제주 등이 주유소 1개소당 차량 1,000대를 초과하고, 특히 서울과 인천은 각각 5,000대와 3,000대 이상을 나타내고 있다(KNOC, 2015). 2012년 7월 1일에 출범한 세종특별자치시는 예외적으로 주유소가 상당히 부족하였다. 기존 주유소는 위치구조 및 설비 기준이 위험물안전관리에 관한 법령에 규제를 받지만, 독립된 전기자동차 충전소는 설치 기준이 상대적으로 용이할 것이다.

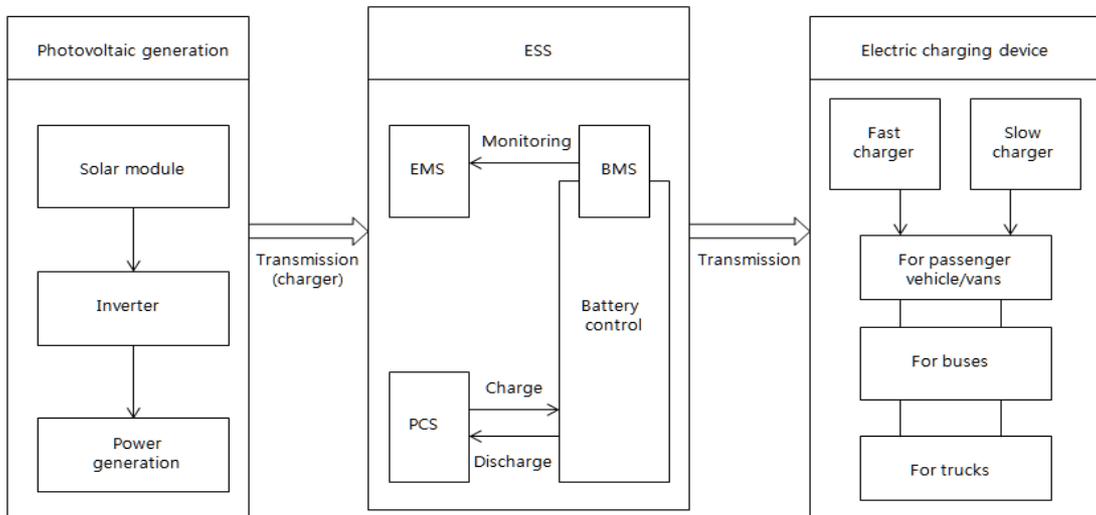


Fig. 1. Electric vehicle battery charging diagram linking PV and ESS.

Table 1. Vehicle, electric vehicle and charger registration status by region (unit: each)

Region	Vehicle type All vehicles (as of end of December 2016)	Electric vehicles (as of end of June 2017)	Fast and slow charger (as of end of April 2017)
Seoul	3,083,007	2,327	349
Busan	1,295,316	478	119
Daegu	1,130,811	1,125	150
Incheon	1,437,373	303	84
Gwangju	633,375	346	94
Daejeon	648,084	153	65
Ulsan	538,720	171	40
Sejong	110,360	54	6
Gyeonggi	5,160,921	1,162	419
Gangwon	722,333	248	100
Chungbuk	760,701	129	94
Chungnam	1,015,203	199	100
Jeonbuk	869,002	186	123
Jeonnam	952,004	601	199
Gyeongbuk	1,353,654	400	145
Gyeongnam	1,625,244	743	205
Jeju	467,243	7,244	434
Total	21,803,351	15,869	2,726

* All vehicles: passenger vehicles, buses/vans, trucks, special vehicles.

기존 주유소 중에서 차량 통행량이 상대적으로 많고, 접근성이 용이하며, 대기차량 공간이 충분한 곳부터 BSS로 선정한다. 전기자동차 배터리 수요는 충전 수요 발생 가능성과 설치 용이성을 고려한 지역별 차량대수를 추정하여 공급 계획을 수립하고, 전기자동차의 성능, 배터리 가격, 소비자 선호도 등 가변적인 속성이 수요 예측에 반영되어야 한다.

4.2 공급시스템 운영 방안

태양광발전과 ESS를 연계한 센터(PV-ESS Operation Center; PEOC)에서 충전되어 고유번호가 부여된 배터리는 센터 운영자에 의해 승용자동차와 승합자동차(승차정원 15인 이

Table 2. Gas station and vehicle registration status by region (as of the end of December 2014)

Region	Division	Gas station (units) (A)	All vehicles (unit: 10,000) (B)	Ratio (vehicle number) (A/B)
Seoul		601	301	1/5,009
Busan		461	121	1/2,625
Daegu		418	107	1/2,560
Incheon		379	125	1/3,299
Gwangju		316	59	1/1,868
Daejeon		281	62	1/2,207
Ulsan		269	51	1/1,896
Sejong		55	47	1/8,546
Gyeonggi		2,514	470	1/1,870
Gangwon		742	67	1/903
Chungbuk		791	70	1/885
Chungnam		1,101	93	1/845
Jeonbuk		960	81	1/844
Jeonnam		937	84	1/897
Gyeongbuk		1,376	126	1/916
Gyeongnam		1,244	151	1/1,214
Jeju		202	38	1/1,882
Total		12,647	2,053	1/1,624

하) 전용, 버스 전용, 트럭 전용으로 구분되어, 각각 전기자동차 BSS, 택시회사 BSS, 버스회사 BSS, 트럭회사 BSS에 배송된다. 우리나라 자동차관리법에서 규정한 차종과 용도별 등록 비율을 보면 승용차가 전체에서 79.5%이고, 트럭이 승합차보다 약 4배 정도 많은 349만 대를 차지하고 있다. 용도별로 보면 자가용이 93.3%인 2,035만 대이고, 138만 대가 영업용 그리고 8만 대는 관용차로 등록되어 있다(E-country Index, 2017). 향후 승용차뿐만 아니라, 버스와 트럭에 배터리 공급이 확산되면 배터리 수요를 차종별로 예측하기 위한 기본 자료로 사용이 가능하다(Table 3). 2017년 환경부에서 전기자동차를 전기승용자동차, 전기화물자동차, 전기승합자동차 등 3종으로 구분하였지만, 본 연구에서는 기존 차종과의 연계성을 갖기 위하여 승용자동차, 승합자동차(승차정원 15인 이하), 버스, 트럭으로 구분하여 분석하였다.

Table 3. Vehicle registration status by vehicle type and application (as of the end of December 2016)

Vehicle type	Registration number (ratio) (unit: 10,000)	By application	Registration number (ratio) (unit: 10,000)
Passenger vehicles	1,734(79.5%)	Own vehicle	2,035(93.3%)
Buses/vans	89(4.1%)	Business	138(6.3%)
Trucks	349(16.0%)		
Special vehicles	8(0.4%)	Government office vehicle	8(0.4%)
Total	2,180(100.0%)	Total	2,180(100.0%)

태양광발전이 가능한 부지를 선정하여 차량대수에 비례하여 설치한다. 거리와 소요 시간을 고려하여 배치된 발전소의 PEOC에서 충전된 배터리를 수요가 발생한 BSS에 제공한다. BSS에서 직접 배터리 수요 요청도 가능하지만, 실시간으로 모든 BSS의 배터리 재고를 모니터링한다. PEOC에서는 실시간으로 지자체 및 유관기관으로부터 교통정보를 파악하여, 시간과 거리를 고려한 최단경로를 선택하여 공급할 수 있다. 승용차와 승합차를 위한 배터리는 BSS로 공급하고, 택시, 버스,

트럭 배터리는 해당 회사로 공급하여 자체적으로 배터리를 교환할 수 있는 시설을 이용하여 배터리를 교체한다. 방전된 배터리는 교환후 PEOC로 반납한다(Fig. 2).

자가용 이용자와 회사 차량을 PEOC에 등록을 하고, 정보를 모바일로 제공 받으며, 사업용 차량은 회사 간 네트워크를 구성하여 충전된 배터리를 공동으로 교환할 수 있다. 주행 중 이용자 정보제공을 단계별로 보면, 1단계에서는 차량 내부에 있는 배터리 충전 필요성을 운전자가 인지한다. 2단계로 운전자는 등록 시 저장된 모바일 애플리케이션에 접속하여 현 위치에서 가장 가까운 PEOC로 연결되면, 현 위치에서 최단 시간과 거리를 근거로 가장 가까운 BSS 정보를 제공받는다. 최종적으로 BSS에서 배터리를 교환하면 새로운 배터리 고유번호가 PEOC에 자동으로 저장되어 관리된다. 이러한 운영은 PEOC, BSS, 회사 간의 정보공유가 실시간으로 가능하다는 전제로 진행되어야 한다(Fig. 3).

4.3 전기자동차 운행에 따른 미세먼지 저감효과

미세먼지의 주요 배출원은 지역에 따라 다르지만, 도로에서 주행하는 모든 이동체에서는 대기오염이 발생하며, 2013년 기준 도로이동오염원이 전체 미세먼지의 24.4%를 차지한다(NIER, 2015). 특히 도로이동 오염원인 자동차는 배기가스에서 직접 나오는 1차 미세먼지(PM₁₀)와 배출된 질소산화물이 대

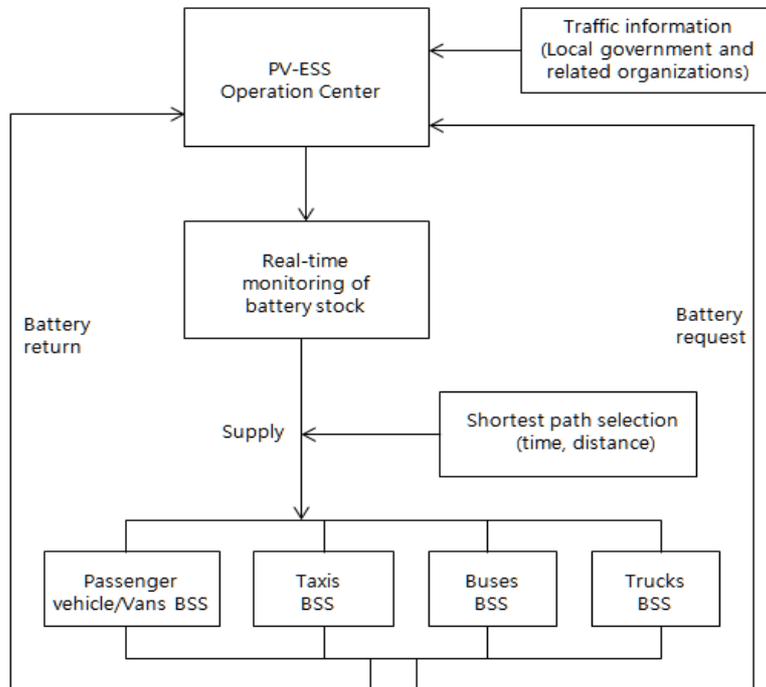


Fig. 2. Battery supply system diagram.

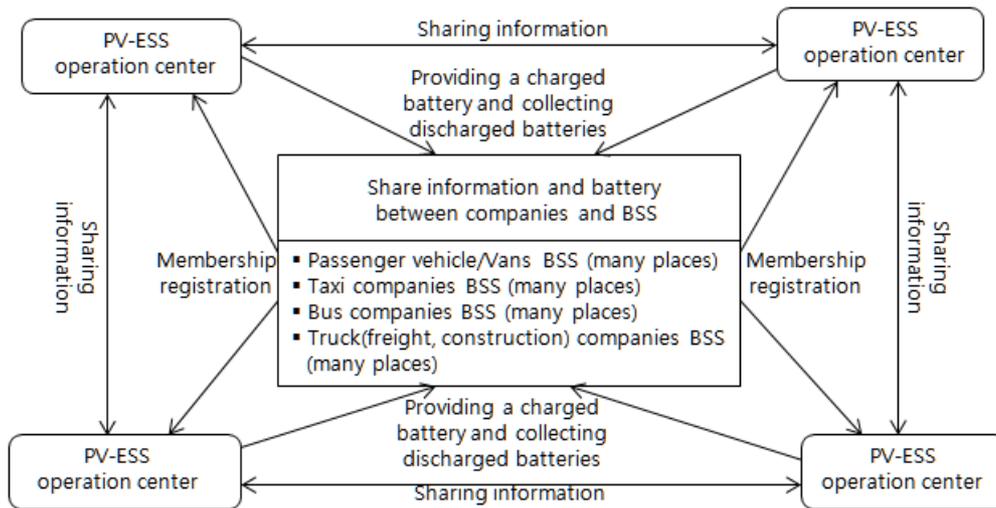


Fig. 3. Interconnection diagram between PEOC, BSS and company BSS.

기 중에서 광화학반응을 하여 발생하는 2차 미세먼지($PM_{2.5}$)로 구분된다. 차종별 미세먼지 배출량은 화물자동차, RV 차량(6인승 이상), 승합차, 버스, 특수차, 승용차 순으로 배출된 것으로 조사되었다. 이 결과에 따르면 미세먼지를 가장 많이 배출하는 차종을 우선적으로 전기자동차로 운행해야 하지만, 대형 화물자동차는 배터리 용량이 크고 비용이 높으므로, 초기에 적용하기 어려운 측면이 있다. 화물자동차에서는 이동 구간도 일정하고, 운행 거리가 100~120 km로 짧은 1 ton급 택배 트럭을 먼저 전기화물자동차로 대체해 나가야 한다. 또한 현재 전기승용자동차와 전기버스 운행은 지속적으로 증가하

고 있다.

정부의 미세먼지 감축 대책으로 전기자동차 보급 확대를 위해 충전기 설치 계획을 수립하고 추진하고 있지만, 아직 충전기 시설 부족과 충전 대기시간 등이 문제점으로 나타나고 있다. 본 연구에서 제한한 전기자동차 배터리 공급시스템을 적용하여 신속하게 배터리를 교환하면 기존의 주유소에서 소요되는 시간과 비슷하게 운영될 수 있다. 현재 전기자동차 배터리를 충전하기 위한 에너지를 기존 발전시설을 이용하는 과정에서 전력소모와 미세먼지가 발생한다는 근거로 전기자동차를 완전한 친환경자동차로 인정하지 않고 있다. 그러나

Table 4. Comparison of the effect of particulate matter reduction by switching to electric vehicles (as of 2013)

Ranking	Vehicle type	When $PM_{10} = 9.9\%$ and $PM_{2.5} = 14.5\%$ among the road pollution source emissions, the particulate matter reduction ratio		
		PM_{10} [emissions (ton)/ratio (%)]	$PM_{2.5}$ [emissions (ton)/ratio (%)]	Sub-total (ton)
1	Trucks	8,409/ 69.5	7,736/ 69.5	16,145
2	RV (6 or more seats)	2,675/ 22.1	2,461/ 22.1	5,136
3	Vans	599/ 4.9	551/ 4.9	1,150
4	Buses	274/ 2.3	252/ 2.3	526
5	Special vehicles	84/ 0.7	77/ 0.7	161
6	Passenger vehicles	62/ 0.5	57/ 0.5	119
Total		12,103/100.0	11,134/100.0	26,237

* Taxis and motorcycles are classified into sub-categories of emission sources, but there is no emission data.

** Photovoltaic generation charges the battery, and there is no air pollution caused by fossil fuel combustion, so Eco friendly road movement is possible.

무한 청정에너지인 태양광발전을 ESS와 연계하여 전기자동차 배터리를 충전한다면, 미세먼지 발생을 제로화할 수 있는 무공해 전기자동차로 평가될 것이다. 도로이동오염원 대기오염물질 중 배출된 물질 중에서 PM₁₀과 PM_{2.5} 비율을 식 (1)을 이용하여 구하고, 차량 유형별 배출량 비율은 식 (2)를 이용해 산출되어진다(Table 4). 도로이동오염원인 트럭, RV, 승합차, 버스, 특수차, 승용차의 PM₁₀과 PM_{2.5} 배출량은 국립환경과학원에서 측정한 자료(2013년)에 근거하여 비율을 산정하였다.

$$\text{PM}_{10}(\text{PM}_{2.5}) \text{ emission ratio} = \frac{\text{PM}_{10}(\text{PM}_{2.5}) \text{ emission}}{\text{Road transport pollution source emission}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{PM}_{10}(\text{PM}_{2.5}) \text{ reduction ratio} = \frac{\text{Emission by vehicle type}}{\text{PM}_{10}(\text{PM}_{2.5}) \text{ emission}} \times 100 \quad (2)$$

Table 4에서 트럭, RV, 승합차, 버스, 특수차, 승용자동차 등에 나타난 배출량은 전기자동차로 전환되는 차량 대수에 따라 미세먼지 저감 비율로 상세될 수 있다. 도로이동오염원에서 발생한 미세먼지 총합계 26,237 ton은 전기자동차로 대체되어 줄어드는 배출량만큼 저감되며, 배터리를 충전할 때 화력발전이 아닌 태양광발전을 활용하므로 실질적인 저감 효과는 더 많아질 것으로 예상된다. 태양광발전으로 생산된 전력으로 충전한 배터리를 장착하고, 도로를 주행하는 전기자동차는 미세먼지 발생을 최소화할 수 있을 것이다.

5. 결론 및 향후 연구계획

현재 우리나라 자동차 등록대수는 인구 약 2.3명당 1대를 보유하는 것으로 나타났으며, 매년 지속적으로 증가하는 추세이다. 도로에서 자동차 주행을 금지한다면 미세먼지가 발생하지 않겠지만, 현실적으로 불가능하다. 자가용 통행을 줄이고, 대중교통 이용을 활성화하는 정책도 한계가 있다. 따라서 자동차에서 발생하는 미세먼지를 줄이기 위한 적극적인 대안은 전기자동차로 전환하는 것이다. 기존의 내연기관자동차와는 다른 구조인 배터리와 전기모터로 구동하는 전기자동차는 배기가스를 배출하지 않는다.

본 연구에서는 현재 전기자동차의 문제점으로 부각되고 있는 충전시설 부족과 충전 소요시간, 고가의 배터리 가격, 충전을 위한 전력증가 등에 관한 대안 방안을 제시하였다. 첫째, 태양광발전으로 생산된 전력으로 전기자동차용 배터리를 충

전한다. 각 지역별로 적절한 위치에 태양광발전소를 설치하여 생산된 전력을 저장하고, 안정적으로 운영할 수 있는 에너지 저장시스템(ESS)을 연계하여 운영한다. 태양광발전과 ESS를 연계한 센터(PEOC)에서 실시간으로 회원으로 등록된 이용자들에게 배터리를 공급할 수 있는 전기자동차 배터리 공급시스템(EVBSS)을 제안하였다.

둘째, 전기승용자동차를 이용하는 운전자는 배터리 충전이 필요하면 실시간으로 PEOC로부터 가장 가까운 배터리 교환소(BSS)를 안내받아 이용할 수 있다. 회사에 소속된 택시, 버스, 화물트럭도 PEOC를 경유하여 가장 가까운 회사 BSS에서 배터리를 교환할 수 있다. 이는 회사 간 네트워크를 구성하여 실시간으로 배터리를 관리하기 때문에, 신속한 이동과 편리한 접근성을 이용자들에게 제공할 수 있다. 셋째, 전기자동차 보급 속도와 관련이 있지만, 도로이동오염원에서 배출되는 PM₁₀과 PM_{2.5} 배출량을 감축해 나간다면 미세먼지와 지구온난화의 주원인인 온실가스도 저감시켜 기후변화에 적극적으로 대응해 나갈 수 있다.

전 세계적으로 자율주행차에 관한 연구가 자동차회사뿐만 아니라, 통신관련 회사들도 투자와 기술개발에 매진하고 있다. 향후 자율주행차가 완전 상용화된다면 전기자동차 배터리 수요는 더욱 증가할 것으로 예상되고 있다. 본 연구에서 제안된 태양광발전으로 생산된 전력으로 충전된 배터리를 배터리 교환소에서 신속하게 장착하고 이동한다면, 보다 저렴한 비용의 환경 친화적인 전기자동차로 쾌적한 도로를 주행하게 될 것으로 기대된다.

하지만, 본 연구에서 제시한 배터리공급시스템은 배터리 충전소와 배터리 교환소와의 연계시스템을 제안하였고, 기존 미세먼지 배출량으로 저감효과를 추정하였지만, 구체적인 차종별 미세먼지 저감량과 배터리 수요를 예측하지 못하고 있다. 현재 전기자동차가 승용차 위주로 전환되고 있으며, 미세먼지 배출이 큰 트럭은 전기트럭으로 전환하는데 시간이 필요할 것이다. 차종별 전기자동차 전환 수요와 이에 따른 미세먼지 저감효과를 예측할 수 있는 연구를 수행해야 할 것으로 보인다. 또한 배터리 표준화에 관한 연구를 하여 차종별 표준화된 배터리를 모든 자동차회사에서 생산되는 차량이 공통으로 호환되어 사용할 수 있도록 추진된다면 배터리 수요와 공급에 보다 효율적으로 대처할 수 있을 것이다.

REFERENCES

Chae AR, Kim WK, Kim SH, Kim BJ. 2011. A demand forecasting for electric vehicles using choice based multi-

- generation diffusion model. The J of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems 10(5): 113-123.
- E-Country Index. 2017. Vehicle registration status. Ministry of Land Infrastructure and Transport.
- EV. 2017. Electric vehicle charger installation status by region. Ministry of Environment Electric Vehicle Charging Station.
- HEI. 2017. First world atmospheric annual report. USA Health Effects Institute.
- Hwang SK. 2009. Reviews on the strategies of recharging infrastructures for promoting electric vehicles. The Korea Transport Institute.
- IEA. 2017. Global EV outlook 2017. International Energy Agency.
- Lee HY, Kim DI. 2011. Photovoltaic generating system theory and installation guide book. Book Publishing Singisul.
- Lee YB, Kim JH. 2015. Energy storage system model for facility plan connected with solar and wind power plant. J Inst Korean Electr Electron Eng 19(3):295-303.
- Kang CG, Jeon SY. 2017. A study on establishment of proper installation criteria of electric vehicle charging station in Gyeonggi-do. Gyeonggi Research Institute.
- KECA. 2017. Solar power installation guidebook. Korea Electrical Contractors Association.
- Kim ES, 2014. Energy storage system. InfotheBooks.
- Kim KO. 2011. Car-sharing application for electric vehicle with smart phone. The Korea Transport Institute.
- Kim SJ, Kim WK, Kim BJ, Im HS. 2013. A case study on optimal location modeling of battery swapping & charging facility for the electric bus system. The J of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems 12(1): 121-135.
- KNOC. 2015. Status of distributors, gas stations, sales offices by region. Korea National Oil Corporation.
- Kwon YH, Choi YJ, Choi DH, Kim HW. 2011. Security analysis on battery exchanges system for electric vehicle. The J of the Korea Information and Communications Society 16(2):279-287.
- ME. 2015. A study on the strategy for Korean auto-oil business. Ministry of Environment.
- ME Press Releases. (2017. 7. 19). Korea-US joint research result. 52% domestic effect of particulate matter higher than overseas. Ministry of Environment.
- MOIS. 2016. Amendments to the enforcement regulations of the dangerous goods safety management act. Ministry of the Interior and Safety.
- MOLIT Press Releases. (2017. 7. 13). Electric vehicle's steep growth, 35 times in 5 years. Ministry of Land Infrastructure and Transport.
- NIER. 2015. 2013 National air pollutants emission. National Institute of Environmental Research.
- NCRTI. 2017. Norway, June sales by vehicle type. Norwegian Council for Road Traffic Information.
- Park JY. 2014. Electric vehicle deployment in Korea. Transportation Technology and Policy 11(4):101-106.
- Seoul City Press Releases. (2017. 8. 3). Seoul City, in partnership with the government, promotes the reduction of particulate matter in aging cars. Seoul Metropolitan Government.
- Shin BY. 2017. The result of electric power demand review due to the expansion of electric vehicles. Seminar for building eco-friendly power supply system.