경제성을 고려한 전기자동차 충전시스템과 배터리 교체형 시스템의 비교분석 연구

A Study of Comparing and Analyzing Electric Vehicle Battery Charging System and Replaceable Battery System by Considering Economic Analysis

김 시 연[†] · 황 재 동^{*} · 임 중 훈^{*} · 송 경 빈^{**}

(Si-Yeon Kim · Jae-Dong Hwang · Jong-Hun Lim · Kyung-Bin Song)

Abstract - Electric vehicle usage is currently very low, but it will be increase with development of electric vehicle technology and a good government policy. Moreover in 2020, advanced electric vehicle manufacturing system will give high performance for its price and mass production. Electric vehicle will become widespread in Korea. From an operational and a planned viewpoint, the electric power demand should be considered in relation to diffusion of electric vehicles. This paper presents the impact of the various battery charge systems. A comparison is performed for electric vehicle charging methods such as, normal charging, fast charging, and battery swapping. In addition, economic evaluation for the replaceable battery system and the quick battery charging system is performed through basic information about charging Infrastructure installation cost. The results of the evaluation show that replaceable battery system is more economical and reliable in side of electric power demand than quick battery charging system.

Key Words : Electric vehicle, Battery charging system, Replaceable battery system, EV load pattern

1. 서 론

쾌적성, 편리성, 무소음과 더불어 에너지 사용의 효율성 및 환경문제 등을 고려하여 전기자동차의 보급이 확대될 것으로 전망되는 시점이다. 전기자동차의 기술 발전과 가격 경쟁력을 갖는 정책이 지원되어 전기자동차의 보급이 활성화된다면 이에 따른 전력수요의 증가가 전력계통에 미치는 영향을 체계적으로 검토할 필요가 있다. 현재까지 시간대별 요금제 및 실시간 요금제 등에 대한 연구가 수행되고 연구를 지속하여 전력수요 증가에 대한 영향을 최소화하기 위한 방안을 제시하고 있다. 전기자동차 보급의 지역적 집중도, 고객의 충전패턴, 인프라 구성 등에 따라 지역별 배전망에 미치는 영향은 상이할 것으로 예상되어 보다 세밀하고 체계적인 연구가 기대된다. 향후 가격대별 품질 및 성능이 좋아지고 대량생산이 가능해진다면 전기자동차의 보급률이 급등하게 될 것이고 보급률이 급등한다면 충전 인프라 구성과 고객의 충전패턴에 따라 전력수요에 미치는 영향이 더욱 클 것으로 예상된다. 현재 전기 자동차 배터리 방식을 두고 업계 및 학계에서는 편의성, 안전성, 비용 등에 관한 연구가 꾸준히 이루어지고 있다. 반면, 충전 인프라 구성에 따른 전력계통에 대한 영향 분석은 거의 연구의 초기 단계이다. 따라서 본 논문에서는 국내·외 전기자동차 충전시스템에 대해 살펴보고, 충전스탠드 형태와 배터리 교환방식 충전인프라의 개략적인

경제성 분석을 한다. 또한, 단순추세를 적용하여 2020년 서울시 전기자동차 보급을 전망한다. 마지막으로, 전기자동차의 스탠드형 충전방식과 배터리 교체형 충전방식에 대해 시나리오별로 충전패턴을 분석하여 전기자동차의 보급에 따른 전력계통에 대한 영향을 검토하여 제시한다.

2. 전기자동차 충전시스템과 배터리 교환방식

2.1 전기자동차 충전시스템

전기자동차의 보급과 더불어 충전 인프라는 필수적이며, 완속충전방식, 급속충전방식과 배터리 교환방식이 있다. 완속 충전방식은 주택용, 주차장용(공용/아파트/오피스텔 등)위주로 보급될 것이다.[1] 완속 충전기로 충전할 경우 완속하는데 약 5시간이 필요하므로, 일반적으로 완속 충전은 전기자동차 운행자가 퇴근이후 오후 19시 ~ 익일 오전 5시에 이루어질 것이다. 또한 현재 전기자동차 충전전력 요금은 시간대별 요금제(TOU: Time of Use)로 최대부하, 중간부하, 경부하로 구분하여 요금에 차등을 두어 소비자에게 공급하고 있으므로 일반적으로 가격이 저렴한 오후 19시 ~ 익일 오전 5시에 완속 충전이 이루어질 것이다. 현재 국내 전기 자동차 충전방식이 급속 충전에서 완속 충전으로 이동 중인 것으로 나타나고 있다. 투자비용 측면에서도 급속충전보다 비용이 적게 소요되는 완속 충전기를 활용하여 전기자동차 충전 인프라의 보급률을 높이려는 계획이다. 배터리 가격과 오랜 충전시간이 걸림돌이라 판단한 정부와 민간 업계에서는 급속보다는 완속 충전으로 문제를 해결하고 배터리 자체를 교환하는 방식까지 고려하여 단점을 보완하려는 추세이다.[2] 완속 충전방식의 특성에 대해서는 표 1에 나타내었다.

[†] 교신저자, 준회원 : 숭실대학교 전기공학과 석사과정

E-mail : gosiy@naver.com

^{*} 준 회 원 : 숭실대학교 전기공학과 석사과정

^{**} 종신회원 : 숭실대학교 전기공학부 부교수, 공박

접수일자 : 2012년 3월 20일

최종완료 : 2012년 7월 25일

표 1 완속 충전 스탠드 특성[3]

Table 1 An investigation on fact of normal charging system characteristic

구 분	완속 충전스탠드	비고(사진)
최대출력	7.7kW	<p><한국 환경공단에서 설치된 충전기></p>
최대전류	35A	
최대전압	AC 220V	
충전시간	약 5시간 (up to 80% charging)	
결제방식	회원카드 (선불제, 지로), 신용카드	
고객인식	RFID Card	
안전장치	Emergency Switch, 과전압·전류 차단기, 누전차단기 등	
제공정보	사용방법, 충전상태, 충전요금, 충전시간 등	
기 타	전기자동차와 통신 (방식: CAN)	

전기자동차 급속 충전은 주유식 충전 방식의 하나로, 전기 자동차 운행으로 인한 배터리 방전 시 고전압으로 단시간, 즉 약 30분 내에 충전하는 방식이다. 현재 급속 충전은 전기 자동차 배터리 종류, 충전기 효율에 따라 그 충전 시간에 차이가 발생하게 된다. 충전 시간은 약 30분의 시간이 소요된다. 가솔린 차량 연료 보충 시간보다 긴 배터리충전 시간은 전기자동차의 보급에 부정적인 측면이 있지만, 급속 충전 방식은 배터리 교환 방식에 비해 전체적인 시스템의 구조가 단순하여 설비의 투자 및 운용 비용에서 많은 절감 효과가 있다. 전기 자동차 급속 충전기는 편의성을 위한 과제에 직면해있다. 충전 시간의 경우, 기존 가솔린 자동차의 주유 서비스에서 제공하는 편의성을 훼손하지 않기 위해 15 ~ 30분의 충전 시간은 단축되어야 한다. 또한 소비자들은 전기 자동차 운행 중 배터리가 방전되는 경우를 염려하므로 도로 운행 중 긴급 충전에 대비하여 운행자의 수요와 지역의 특성에 맞는 충전인프라를 구축하고 전기차를 함께 보급해야한다.[3] 이러한 편의성이 보장된 급속 충전기 인프라는 전기 자동차 보급 활성화의 중추적인 역할을 할 것이다. 국내 기업의 급속 충전기 현황에 대해서는 표 2에 나타내었다.

표 2 국내 기업의 급속 충전기 현황

Table 2 An investigation on fact of fast charging system of domestic industry

제조사	주요 제원		
	입력	출력 전압/전류	용량
LS전선	AC 3상 380V	DC 100~450V / 110A	50kWh
코디에스		DC 50~450V / 120A	
피엔이 솔루션		DC 50~450V / 120A	
효성		DC 50~450V / 120A	
시그넷		DC 50~450V / 120A	

2.2 전기자동차 배터리 교환방식

배터리 교환시스템은 기존 전기자동차 충전 인프라 구성방식 중 스탠드형 충전방식과 다르게 차량의 방전된 배터리를 교환소에서 충전된 배터리로 교환하는 방식을 말한다. 전기자동차의 충전 시간은 기존 스탠드형 충전 시 완속 약 5시간, 급속 약 30분의 시간이 소요되며, 1회 충전 시 중형차 기준 약 160 ~ 200km를 주행할 수 있다. 그러나 배터리가 방전되면 운행도중 다시 충전하기 위해 약 30분에서 5시간을 소모해야 한다는 문

제점이 발생하며, 영업용 차량의 경우 이런 충전시간은 영업에 영향을 미칠 수 있다. 그런 문제점을 해결하기 위하여 휴대폰의 배터리 교체방식과 같이 미리 충전된 배터리로 교환하는 개념이 등장하게 되었다. 이스라엘, 미국, 덴마크는 르노에서 출시한 플루언스 Z. E에 배터리를 임대하여 월 110달러, 한화로 약 13만원의 배터리 임대료를 지불하는 사업을 시행중에 있다. 플루언스 Z. E를 구매할 경우 배터리가격인 2000만원이 제품가격에서 제외되어 소비자는 2500만 원대에 가격으로 제품을 구매할 수 있다. 프랑스에서는 배터리를 제외한 가격에 정부 보조금을 지원하여 소비자는 약 2300만원에 제품을 구매할 수 있다. 또한 72유로, 한화로 약 11만원의 가격으로 배터리 임대료를 받는 사업을 시행중이다.

표 3 해외 배터리 교환소 동향

Table 3 An investigation on fact of battery-switching station of foreign industry

이스라엘	르노, Better Place 와 인프라구축 제휴 '11년까지 전 국토에 100개소의 배터리 교환소 설치 계획
덴마크	'11년부터 전국적인 확대 보급을 위해 DONG 에너지와 Better Place사에 위임하여 전기자동차 공급계획
호주	AGL에너지사와 협력 하, '12년까지 전기자동차 보급계획
캘리포니아	전기자동차 인프라 구축위해 10억 달러 투자 계획
일본	'08년 11월 Better Place Japan 설립 '09. 05월 요코하마 프로토 타입 배터리 교환스테이션 1호 공개

국토해양부는 배터리 교체형 전기버스의 배터리 교환방식에 대한 연구를 진행 중이다. QTP(Quick Pick-up)방식은 표준화된 배터리를 공유할 수 있도록 버스 상층부에 교환형 배터리를 탑재하여 배터리 교환 플랫폼 또는 기존의 버스정류장에서 방전된 배터리를 수거하고 완충된 배터리로 교체하는 시스템을 말한다. 전기버스용 배터리는 40kWh급 배터리이며 QCM(Quick Charging Machine)의 급속충전모듈을 이용할 경우 30분의 시간이 소요되고, 로봇기반 배터리 교환 장치로 리프트 메커니즘 기술을 이용해 전기자동차 핵심부품인 배터리의 빠른 교체를 목표하고 있다.[4]

3. 전기자동차 보급전망과 인프라 구축비용

3.1 전기자동차 보급전망

국토해양부 자동차등록현황의 2011년 10월 통계자료를 보면 서울시 자동차 등록현황은 승용차 2,453,056대, 승합차 168,852대, 화물차 358,618대, 특수차 3,914대이다.[5] 최근 5년(06~10년) 간 자동차 등록현황은 승용차 4.15% 승합차 -1.36%, 화물차 0.65% 특수차 3.29%, 전체 3.11% 증가율을 보이고 있다. 단순 추세를 적용하여 자동차 보급수를 예측하면 2020년 서울시 자동차 보급 전망은 승용차 3,537,048대, 승합차 149,274대, 화물차 380,151대, 특수차 5,238대이며 총 4,071,710대 이다. 서울시에서는 전기 자동차 보급계획 및 추진전략을 세워 2014년, 2020년의 목표를 설정하고 전기자동차 보급을 서두르고 있다.[6] 본 논문에서는 전기자동차가 2020년 자동차 등록대수 대비 10%보급 될 경우로 가정하여 전기자동차 보급전망을 예측하였으며, 전기자동차는 승용차(대형차 제외)와 승합차 위주로 보급 확대가 예상되므로 화물차와 기타 차종은 제외되는 것으로 가정하였다.[7]

표 4 서울시 전기자동차 보급 전망

Table 4 The forecasting data of electric vehicle in Seoul, 2020

구분	승용차				승합차				총계
	경차 1000CC 미만	소형차 1500CC 미만	중형차 2000CC 미만	중형차 2000CC 미만	15인승 이하	15인승 초과	15인승 이하	15인승 초과	
2020년 [대]	26,242	63,240	243,534	20,690	12,898	471	383	1,176	368,634

3.2 인프라 구축비용 비교

서울시의 2020년도 자동차 보급수는 단순 추세를 적용하여 예측하였고 전체 자동차 중에서 전기자동차는 약 10%인 약 36만대가 보급 될 것이라 예상한다. 급속충전기의 보급전망은 한국스마트그리드 사업단의 '전기자동차 충전인프라 구축방안'을 보면 2020년 기준으로 전기자동차 보급대수의 약 1% 수준이고, 전체 충전기의 약 1% 수준이다.[8] 서울시정개발연구원의 '그린카 스마트시티 구현을 위한 기초연구'를 보면 2020년 기준으로 서울시 충전인프라 중에서 급속충전기는 전기자동차 보급대수의 약 2%, 전체 충전기의 약 2.15% 이다.[6] 위의 내용을 반영하여 서울시의 급속충전기 보급대수를 산정하면, 전기자동차 보급대수의 1% 보급 시 약 3,686기, 1.5% 보급 시 5,529기, 2% 보급 시 약 7,372기 이다. 전기자동차 보급에 따른 서울시의 급속충전기 설치 대수는 전기자동차 보급대수의 약 2% 로 예상된다.[8] 전기자동차 보급대수의 약 2%로 급속충전기가 보급된다면, 한 기의 충전 용량은 50kWh이고, 급속 충전기가 공급할 수 있는 총 용량은 약 1,228MWh이다. 이 용량은 24kWh용량의 Renault Samsung의 SM3 Z. E. 약 51,166대를 한 시간 내에 충전이 가능하다. 2020년의 급속 충전기 설치 지역은 공공기관, 대형마트, 백화점, 주유소 등이고 이외에 외부 주차장, 공원 등이 될 것이다. 현재 시범사업은 대형마트에서 실시되므로, 외부 주차장의 경우 실제 인프라 구축 시 설치된다고 가정한다. 서울시의 급속충전기는 2020년 전기자동차 보급대수의 2%로 구축된다고 가정하여 설치 지역 개소와 설치 개소 별 충전기 개수를 본 논문의 저자가 산정하여 표 5에 나타내었다. 급속 충전기 설치비용을 기당 약 6,000만원으로 적용하면, 2020년까지의 누적 설치비용은 1% 보급 시 약 2,212억 원, 1.5% 보급 시 약 3,317억 원, 2% 보급 시 약 4,423억 원으로 추산된다.

표 5 2020년 급속 충전기 인프라 설치 개수 산정

Table 5 The forecasting data of fast charging infrastructure in Seoul, 2020

설치 지역	설치 지역 개소 (개소)	설치 개소 별 충전기 개수 (기)	전체 충전기 개수(기)
공공기관	54	20	1,080
대형마트	58	30	1,740
백화점	25	30	750
주유소	537	5	2,685
기타	-	-	1,117
전체 급속 충전기 개수 (기)			7,372

배터리 교환소는 전국 400개소를 설치할 예정이다.[9] 서울시의 전기자동차 예상 보급대수인 36만대는 LPG차량 보급대수인 약 36만대와 비슷한 규모이다.[5] 서울권역의 배터리 교환소 설치개소는 LPG 충전소 설치개소와 비슷할 것이라 추정할 수 있을 것이다. 따라서 LPG 충전소와 비교하여 본다면 약 77개소가 서울시에 설치될 것이라 예상된다. 배터리 교환소에서 보유하여야 하는 배터리는 약 60개가 필요하다. 이는 교환소에서 배터리를

보유 운영할 때 최소 2일에 한번은 순환될 수 있는 적정 수량을 보유하는 것을 전제한 것이며, 이는 일일 배터리 소요수량과 교환소 운영실적에 따라 적절히 판단되어야 한다. 24kWh급 배터리를 교환소에서 보유한다고 가정한다면 배터리 가격은 3000만원이며, 60개의 보유량을 가진다고 하면 총 배터리확보 비용은 약 18억이다. 위 사항들을 고려한다면 2010년의 경우 300평형 배터리 교환소의 설치비용은 약 35억 원이 소요될 것이며, 이는 서울소재 300평형 주유소의 매매가 45억과 LPG 충전소 매매가격인 34억과 비교하였을 때 기존 사업에 비해 유사하거나 저렴한 가격을 보이고 있다. 국내 배터리 교환소의 보급이 예정된 2020년의 토지가격은 매년 평균적으로 5%의 상승률을 가정하였을 경우 서울시 평균 공시지가가 약 650만원이 될 것이라 가정한다. 또한, 리튬이온배터리 기술력 상승과 대량생산으로 배터리 가격은 0.2\$/Wh 수준으로 예상되기에 배터리 팩 당 가격은 528만원수준으로, 교환소 당 배터리 보유비용은 60개 기준 3억 2천만 원 내외가 될 것이다. 따라서 2020년의 300평형 배터리교환소 총 설치비용은 약 25억~ 28억 원이 될 것이라 추산한다.

표 6 배터리 교환소 1개소 설치비용 산정

Table 6 The cost of installing the battery-switching station in Seoul, 2020

항 목	비 용(2020년)
배터리교환소	5억 원
배터리 보유량(60개)	3억 2천만 원
부지 300평	19억 5천원
기타 부대비용	5천만 원
합 계	28억 2천만 원

서울시에 설치되는 급속 충전기와 배터리 교환소의 목표 설치대수에서 제공하는 충전 가능 용량은 2020년 서울시 전기자동차 목표 보급대수인 36만대의 충전 요구량을 상회한다. 각 충전기의 전체 설치비용은 아래 표와 같다.

표 7 급속충전, 배터리 교환 인프라 비용 비교

Table 7 The cost of installing the comparable data for fast charging system and battery-switching station

항 목	비 용(2020년)	목표 설치 대수	소요 비용	기타
급속충전 인프라	6천만 원	3,686 기	약 2,212억 원	2020년 전기자동차 보급의 1%
	6천만 원	5,529 기	약 3,317억 원	2020년 전기자동차 보급의 1.5%
	6천만 원	7,372 기	약 4,423억 원	2020년 전기자동차 보급의 2%
배터리 교환소	28억 2천만 원	77 개소	약 2,171억 원	

4. 전기자동차 보급이 전력계통에 미치는 영향분석

4.1 전기자동차 충전방식에 따른 일일 전력 소비량

전기 자동차 개발 동향에 따른 전기자동차의 효율과 차종별 평균 주행거리를 사용하고 배터리 안전성을 고려하기 위해 배터리 잔존용량(SOC: State of Charge) 73%를 기준으로 전기자동차 일일 전력량을 계산하였다.[10][11] 배터리를 사용하는 모든 전자기기에서는 잔존용량(SOC)결정이 가장 중요한 부분이다.[12] 잔존용량(SOC)은 배터리의 상태를 나타내는 배터리 하나의 인덱스로써 % 단위를 가진다. 잔존용량(SOC) 100%는 배터리 완충, 0%는 배터리가 완전히 방전되었다는 것을 의미한다. 대부분의 시스템들은 잔존용량(SOC)가 매우 높거나 매우 낮을

경우 배터리에 심각한 손상을 입히기 때문에 과방전이나 과충전에 대해 아주 민감하다. 그림 1은 배터리 잔존용량과 전기자동차 배터리 충전부하를 나타내는 그래프로써 배터리마다 각기 다른 곡선의 형태를 가진다. 대부분 배터리 관련 제조업체들은 잔존용량(SOC)의 상한선과 하한선을 결정하게 되는데 상한선은 약 95%정도, 하한선은 약 20%정도이다.[13] 본 논문에서는 리튬이온(lithium-ion) 배터리를 내장한 Nissan Altra의 충전특성 곡선을 기준으로 전기자동차 일일 전력량을 계산하였다.[12]

그림 1 배터리 잔존용량(SOC)과 전기자동차 배터리 충전부하[13]

Fig. 1 The state of charge of Li-Ion battery and EV battery charging load

전기자동차 관련 배터리 용량은 주로 kWh단위로 나타내게 되는데 전기자동차 배터리 충전부하 그래프의 면적을 구하게 되면 배터리의 전체 용량이 나오게 된다. 전기자동차 배터리 충전부하의 면적은 30kWh로써 Altra의 배터리 용량을 나타낸다. 용량이 30kWh인 배터리의 실제 충전 가능한 용량은 계산결과 22.1kWh이며 이는 실제 용량에 비해 잔존용량 제한선 때문에 약 73% 배터리 효율을 가진다는 것을 알 수 있다.[13]

표 8 전기자동차 일일 충전전력량

Table 8 The forecasting of the charge in electric vehicle battery for a day

구분	승용차(대)				승합차(대)			
	경차 1000CC 미만	소형차 1500CC 미만	중형차 2000CC 미만	중형차 2000CC 미만	15인승 이하	15인승 초과	15인승 이하	15인승 초과
배터리용량 (kWh)	16	24	35	35	95	87	95	87
SOC(73%) 배터리 용량	11.68	17.52	25.55	25.55	69.35	63.51	69.35	63.51
SOC를 고려한 최대 주행거리(km)	94.9	116.8	116.8	116.8	187.61	80.3	187.61	80.3
전기자동차 주행효율(km/kWh)	8.09	6.67	4.57	4.57	2.71	1.26	2.71	1.26
1일 평균 주행거리(km)	25.4	26.6	35.55	248.15	18.29	40.85	23.92	145.79
한 대당 일일 전력 소비량(kWh)	3.13	3.99	7.78	54.28	18.29	40.85	23.92	145.79
2010년 전기자동차 일일 전력 소비량(kWh)	82,136	252,325	1,894,692	1,123,055	235,905	19,241	9,151	171,408
비교 차량	Mitsubishi (i-MEV)	Renault Samsung (SM3 Z. E.)	Phoenix Motorcars (Phoenix SUV EV)	Phoenix Motorcars (Phoenix SUV EV)	Tesla motors (Model-s)	현대 (e-Primus)	Tesla motors (Model-s)	현대 (e-Primus)

고객의 전기자동차 충전패턴은 요금차이에서 기인한 비용절감 요인 이외에도 충전편의성, 개별 고객의 운전습관 및 전기자동차 소유동기, 경제력 및 환경적 요인 등에 의해서도 크게 영향을 받을

수 있기 때문에, 전기자동차 구매자의 소비성향/충전패턴 및 요금에 대한 소비자 반응 및 신규 배전투자 소요 등도 반영하여 충전 방식에 따른 일일 전력 소비량을 계산해야한다.[3][14] 전기자동차는 용도에 따라 영업용과 자가용으로 구분하며, 영업용 승용차는 택시, 영업용 승합차는 버스이다. 전기자동차 택시와 버스는 완속충전을 이용해 충전하지 않고 급속 충전이나 배터리 교환방식을 이용해 충전한다고 가정하였다. 자가용 전기자동차는 일일 전력 소비량에서 오후 19시 ~ 익일 오전 5시에 완속 충전을 하는 비율이 70%이고 나머지 30%가 오후 19시 ~ 익일 오전 5시를 제외한 나머지 시간에 급속충전이나 배터리 교환방식을 이용해 충전한다고 가정하였다. 자가용 전기자동차의 충전 비율 30%를 급속충전과 배터리교환방식 사용으로 구분하여 3가지 충전 시나리오를 제시한다.

표 9 전기자동차 충전 시나리오

Table 9 EV battery charging scenario

구분		자가용			영업용	총계
		70%	30%	계		
I	전기자동차 일일 전력 소비량(kWh)	1,739,010	745,290	2,484,300	1,303,615	3,787,915
	급속, 완속충전 효율을 고려한 일일 전력소비량(kWh)	1,965,082	804,913	2,769,995	1,407,904	4,177,899
II	전기자동차 일일 전력 소비량(kWh)	1,739,010	745,290	2,484,300	1,303,615	3,787,915
	급속, 완속충전 효율을 고려한 일일 전력소비량(kWh)	1,965,082	823,546	2,788,628	1,440,495	4,229,123
III	전기자동차 일일 전력 소비량(kWh)	1,739,010	745,290	2,484,300	1,303,615	3,787,915
	급속, 완속충전 효율을 고려한 일일 전력소비량(kWh)	1,965,082	842,178	2,807,260	1,473,085	4,280,345
시나리오		충전시간 범위				
I 완속충전(자가용 70%), 급속충전(영업용 100%, 자가용 30%)		자가용 전기자동차 완속충전(19~익일5시), 자가용 전기자동차 급속충전(6~18시), 영업용 전기자동차 급속충전(24시간)				
II 완속충전(자가용 70%), 급속충전(영업용 50%, 자가용 15%), 배터리 교환방식(영업용 50%, 자가용 15%)		자가용 전기자동차 완속충전(19~익일5시), 자가용 전기자동차 급속충전(6~18시), 자가용 전기자동차 배터리교환(23~익일9시), 영업용 전기자동차 급속충전(6~18시), 영업용 전기자동차 배터리교환(23~익일9시)				
III 완속충전(자가용 70%), 배터리 교환방식(영업용 100%, 자가용 30%)		자가용 전기자동차 완속충전(19~익일5시), 자가용 전기자동차 배터리교환(23~익일9시), 영업용 전기자동차 배터리교환(23~익일9시)				

4.2 전기자동차 충전패턴 분석

2010년 국토해양부 상시조사 교통량에서 시간 평균현황과 월 평균 전체현황을 분석하여 하계와 동계의 시간대별 교통량 패턴을 모델링 하였고, 각 시간당 충전하는 자동차의 비율을 산정하기 위해서 시간대별 교통량 패턴을 이용한다. 시간대별 교통량 패턴 모델링 결과 하계와 동계의 교통량은 월별 유사한 패턴을 보이는 것을 볼 수 있었다.[15]

그림 2 2010년 하계, 동계 시간대별 교통량 패턴

Fig. 2 The analysis of traffic volume for summer season and winter season in 2010

전기자동차는 시나리오에 따라 전력량을 분배하여 일일 전력 수요 패턴을 추정하였다. 자가용 전기자동차(승용차, 승합차) 전력 충전량을 오전 6시 ~ 오후 18시와 오후 19시 ~ 익일 오전 5시로 구분하여 충전 비율 3:7로 일일 전력수요 패턴을 예측하였다. 충전 패턴 중 출근시간(6시~9시)과 퇴근시간(18시)에는 자동차 시간대별 교통량의 변동을 고려하여 예측하였다. 오후 19시 ~ 익일 오전 5시의 충전 전력수요 패턴은 시간대별 교통량을 활용하여 퇴근시간(19시) 후 줄어드는 차량은 귀가 차량으로 가정하였으며 귀가 즉시 완속 충전 3시간을 한다는 가정 하에 동시충전율을 고려하였다. 자가용 전기자동차는 전력 충전량 30%를 충전 패턴 시나리오에 따라서 급속 충전과 배터리 교환 방식 사용 비율을 다시 산정하였다. 시나리오1에서는 급속충전기 30%, 시나리오2에서는 급속충전기 15%, 배터리 교환 15%, 시나리오3에서는 배터리 교환 30%를 적용한다. 영업용 전기자동차는 운영 패턴을 고려하여 택시는 24시간 동안 급속충전과 배터리 교환방식 만을 사용한다는 가정으로 충전패턴 시나리오에 따라 구분하였으며, 버스는 6~ 24시까지 운영한다는 가정으로 급속충전과 배터리 교환방식을 사용하여 충전패턴 시나리오에 따라 구분하였다. 충전방식에 따라 충전시간도 달라진다. 충전시간은 배터리 용량에 따라 상이하나 본 시나리오에서는 완속충전은 3시간, 급속충전은 30분으로 통일하여 적용한다. 또한 배터리 교환방식의 충전은 시간대별 요금제(TOU: Time of Use)를 고려하여 경 부하 시간대의 가장 싼 전기요금으로 배터리를 충전해 교환해 준다고 가정하였다.[16] 시간당 충전수요는 시나리오별 충전방식 차량 대수와 동시비율, 배터리 용량, 충전 시간, 충전기 효율을 이용하여 산정한다.

그림 3 2020년 전기자동차 충전에 따른 전력수요 패턴

Fig. 3 The analysis of electrical load patterns resulting from EV battery charge in 2020

현재 전기자동차 충전전력 요금은 시간대별 요금제(TOU: Time of Use)이며 우리나라는 계절별로, 그리고 전력 수요에 따라 시간대별로 구분하여 요금을 차등하여 부과하고 있다.[16] 미국에서 시간대별 요금제 프로그램이 소비자의 전기요금 절감에

도움이 되고 있다. 미국의 Connecticut Light & Power, Pacific Gas & Electric, Wisconsin Public Service, Narragansett Electric Company, Wisconsin Electric Power의 보고서에 따르면 각 각 피크 시간에 약 23%, 18%, 15%, 7%, 4%의 절감효과를 보았다.[17][18] 평균 약 13.4%의 절감효과를 보이므로 이를 반영하였고, 하계와 동계는 각 각 최대, 중간, 경부하 시간이 다르므로 하계와 동계로 구분하여 전기자동차 충전 전력수요 패턴을 추정하였다.

4.3 전기자동차 충전전력이 전력수요에 미치는 영향분석

제5차 전력수급기본계획의 최대전력량(99,653 MW)과 2010-2011년도의 전력수요피크를 기록한 날의 데이터를 가져와 동·하계 전력수요피크를 추정하였다.[19] 2010년도 전력수요피크를 기록한 하계 2010년 8월 20일, 동계 패턴 A, B는 각 각 2010년 12월 15일, 2011년 1월 17일의 시간 별 전력수요 비율을 반영하여 하계 및 동계 일일 전력수요 패턴을 추정하였다.[20]

그림 4 2020년 하계 및 동계 전력수급 패턴

Fig. 4 The forecasting of electrical load patterns for summer season and winter season in 2020

2020년 하계 부하패턴의 최대 피크 15시에는 전기자동차 충전으로 인한 부하증가율이 시나리오1에서는 0.16% 증가, 시나리오2에서는 0.06% 증가, 시나리오3에서는 0% 증가를 보인다. 또한 2020년 동계A 부하패턴의 최대 피크 18시에는 전기자동차 충전으로 인한 부하증가율이 시나리오1에서는 0.11% 증가, 시나리오2에서는 0.05% 증가, 시나리오3에서는 0% 증가를 보인다. 마지막으로 2020년 동계B 부하패턴의 최대 피크 12시에는 전기자동차 충전으로 인한 부하증가율이 시나리오1에서는 0.12% 증가, 시나리오2에서는 0.06% 증가, 시나리오3에서는 0% 증가를 보인다. 결과적으로 시나리오3이 시나리오1과 시나리오2 보다는 전력 계통망의 영향성이 더 작음을 알 수 있다.

그림 5 2020년 전기자동차 충전전력을 포함한 피크타임 전력수요

Fig. 5 The forecasting of electrical load patterns and EV charge adding up the total for peak time in 2020

본 논문의 시나리오 분석결과, 전기자동차로 인한 전력소비가 많이 미미하여 수요비중은 거의 변화 없다. 하지만 향후 전기자동차의 보급이 확대될 경우를 대비해야 한다. 현재 전력수급 상황은 마음을 놓을 수 있을 만큼 여유롭지 않다. 수급 불균형은 말 그대로 공급과 수요의 비중이 적절하지 않은 상태이므로 전력도 공급과 수요관점에서 앞으로의 수급불안 요인을 찾아 볼 수 있다. 총 에너지원 중 전력의 비중은 2000년 13.7%에서 2011년에는 19.8%로 대폭 증가한 것을 확인할 수 있다.

표 10 연도별 동·하계 최대전력 현황('09~12)[21]

Table 10 On the Investigation of Annual maximum electric power of summer and winter('09~12)

동계			하계		
일시	최대전력 (MW)	비고	일시	최대전력 (MW)	비고
2012.2.2	73,833	-	-	-	-
2011.1.17	73,140	-	2011.8.31	72,190	최대전력 경신
2010.1.13	68,960	-	2010.8.20	69,890	-
2009.1.12	62,650	-	2009.8.19	63,210	-

전력수급상황이 언제든지 비상단계로 진입 할 수 있는 가능성이 상존하므로 상시 감시체제와 최대전력이 발생하는 동·하계에는 전력수급 안정을 위한 적극적인 수요관리가 절실하다고 할 수 있다.[21] 전기 자동차의 일반적인 운행시간을 감안하면 충전은 늦은 저녁이나 이른 아침에 이루어 질 전망이다. NYISO 보고서는 충전의 70%가 경부하 시간대 발생한다고 예상하였다. 따라서 30%의 충전전력이 전력수요 피크 시간대 발생한다는 가정이다. 계절적 부하패턴을 고려할 때 하계는 14~17시, 동계는 11~12시 및 18~19시 시간대의 충전은 바람직하지 않다. 특히, 겨울철 충전부하가 퇴근 후 집중된다면 동계피크에 영향을 준다. 2011년도 기준으로 지역별 전력수요는 수도권에 약 38%가 집중되어 있고, 서울에는 약 10.3%(455,070,260MWh)가 집중되어있다.[22] 지역별 자동차는 서울에 약 16%(2,995,251대)가 집중되어있다.[5] 전기자동차의 충전에 따른 부하는 대부분 수도권에 집중될 전망이다. 따라서 송·배전 설비의 용량보강 및 기준 재정비가 필요하고, 전기자동차 배터리의 충전에 따른 전력수요 피크에 대한 영향을 분산시킬 수 있는 적절한 대책 강구가 필요하다. 일부 연구결과 전기요금에 타 연료가격에 비하여 상대적으로 낮아, 실시간요금제만으로 충전부하를 분산시키는데 한계가 있을 것으로 전망하고 있다.

5. 결 론

전기자동차의 보급에 따른 전기자동차의 보급을 개략적으로 전망하고 이에 따른 충전 인프라인 충전 스탠드 방식과 배터리 교환 방식에 대한 구축비용을 분석하여 제시하였다. 충전 인프라는 기본적으로 완속 충전방식을 기반으로 급속충전기의 보급을 전기자동차 보급 대수의 약 1%~2%로 구축하거나 급속충전기와 배터리 교환 방식의 적절한 혼합 설치 방안이 적절한 것으로 예상된다. 본 연구는 효율적인 충전 인프라 구축을 위해 2020년 전기자동차 보급률을 전체 자동차 등록 대수의 10%, 급속 충전기를 전기자동차 보급 대수의 2%로 가정하고 배터리 교환소 77개설치를 가정하여 서울시에 급속 충전기를 설치할 경

우와 배터리 교환 방식을 설치할 경우의 구축비용을 개략적으로 계산한 결과 2,252억을 절감하는 것으로 나타난다. 급속 충전기의 설치율을 전기자동차의 보급 대수의 1%로 계산할 경우 배터리 교환 방식이 충전 인프라 구축을 위해 41억 원을 절감할 수 있다. 본 연구 결과를 바탕으로 배터리 교환 방식을 시범 지역에서 실시하여 체계적인 검토 후 전기자동차 충전 인프라 구축의 보다 체계적인 방안이 수립되어야 할 것이다. 또한, 2020년 전기자동차 보급률을 10%로 가정하여 전기자동차 운전자의 충전 특성을 고려하고 충전방식에 따른 충전 패턴 시나리오에 따라 전기자동차 충전 전력이 전력수요에 미치는 영향을 분석한 결과, 각각의 시나리오에 대해 최대전력수요의 0.12% 이하로 증가하여 전력계통에 대한 영향은 크지 않게 나타났다. 전기자동차 보급과 충전인프라 구축 시 충전부하를 피크 시간대에서 분산시킬 수 있도록 꾸준한 연구와 지속적인 관심이 필요하다. 전기자동차 보급의 지역적 집중도, 고객의 충전패턴 등에 따라 지역별 배전계통의 변압기 용량 및 차단기 용량 등에 미치는 영향은 상이할 것으로 예상된다. 전기자동차 충전에 따른 전력요금제도와 다양한 운전자의 충전패턴, 충전요금에 대한 소비자 반응과 가격탄력성 등을 반영하여 전력계통에 대한 영향을 최소화하고 전기자동차 효율을 극대화하여 체계적으로 전기자동차 보급 활성화를 추진해야 한다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20114010203110)

참 고 문 헌

- [1] Hyeontaek Jeong, "EV charge a battery all over the country", KEC, CECC, pp.1~2, 2011. 9.
- [2] Auto-Times, "Normal charging is advantageous than fast charging for EV charging", 2011. 4.
- [3] ME, "Guideline for EV Public Charging Infrastructure Installation in 2011", pp.6~32, 2011. 2.
- [4] Honggwon Son, "Construction Direction and Trend for EV Charging Infrastructure", KERI, pp.4~34, 2009.
- [5] MLTM, "Report of Vehicle registration condition" MLTM-related statistics, 2011. 11.
- [6] Junho Ko, "Supply Plan and Promotion Strategy for EV in Seoul", Seoul Development Institute, pp.7~15, 2011.
- [7] Green Growth Institute, "Result of 3 years for Green Growth and further Directions", 2011. 8.
- [8] Korea Smart Grid Institute, "Establishment Guideline for EV Charging Infrastructure", MKE, pp.52~58, 2010. 9.
- [9] KATRI, "Establishment Guideline for EV Charging Infrastructure", KOTSA, 2009. 12.
- [10] KOTSA, "Survey of Vehicle mileage in 2009", Seoul Mileage, pp.93~98, 2010. 12.

- [11] Kejun Qian, Chengke Zhou, Malcolm Allan, Yue Yuan, "Modeling of Load Demand Due to EV Battery Charging in Distribution Systems", IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, pp.802-810. 2011. 5.
- [12] Christopher Madrid, Juan Argueta, Jordan Smith, "1999 NISSAN ALTRA-EV WITH LITHIUM-ION BATTERY", SCE ELECTRIC TRANSPORTATION DIVISION, 1999. 12.
- [13] Power System Planning Team, "A Study for Impact of Long-term Electricity Demand by DR in Smart-Grid", KPX, pp.82-114, 2012. 1.
- [14] Demand Forecasting Team, "Implications and Impact to Power Supply and Demand by EV Coverage", KPX, pp.2, 2009. 11.
- [15] MLTM, "Traffic Survey", Average condition. 2010.
- [16] MKE Report Reference, "Electricity Gas rate raises", pp.10, 2010. 7.
- [17] Chris S. King, American Energy Institute, "The Economics of Real-Time and Time and Time-of-Use Pricing For Residential Consumers", 2001. 6.
- [18] S. Shengnam, Z. Tianshu, P. Manisa and R. Saifur, "Impact of TOU Rates on Distribution Load Shapes in a Smart Grid with PHEV Penetration", IEEE PES, 2010.
- [19] MKE, "Fifth Electric Supply and Demand Planning", pp.67, 2010. 12.
- [20] Siyeon Kim, Jaedong Hwang, Kyungbin Song, "An Analysis of Effect to the Electrical Demand on Increasing Electric Vehicles", The Korean institute of Electrical Engineers, An Autumn Academic Conference, 2011. 10.
- [21] Dongsup Kim, "Demand Management and Stability for Power supply and demand", Elec-Times ISSUE & ISSUE, 2012.
- [22] KEPCO, "The Monthly Report on Major Electric Power Statistics", No. 402, pp.66-67, 2012.

저 자 소 개

김 시 연 (金是燃)

1985년 6월 30일생. 2012년 숭실대 전기공학부 졸업. 현재 숭실대학교 전기공학과 석사과정.

Tel : 02-820-0640

E-mail : gosiy@naver.com

황 재 동 (黃載東)

1983년 3월 20일생. 2009년 숭실대 전기공학부 졸업. 현재 숭실대학교 전기공학과 석사과정.

Tel : 02-820-0640

E-mail : goldhjd@naver.com

임 종 훈 (林鐘勳)

1985년 4월 22일생. 2012년 숭실대 전기공학부 졸업. 현재 숭실대학교 전기공학과 석사과정.

Tel : 02-820-0640

E-mail : cercaria@naver.com

송 경 빈 (宋敬彬)

1963년 9월 15일생. 1986년 연세대전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 텍사스 A&M전기공학과 졸업(공학). 현재 숭실대학교 전기공학부 부교수.

Tel : 02-820-0648

E-mail : kbsong@ssu.ac.kr