

전기자동차 보급에 따른 기존 아파트의 변압기용량 한계시점에 대한 연구

A Study on the Transformer Spare Capacity in the Existing Apartments for the Future Growth of Electric Vehicles

최 지 훈* · 김 성 열** · 이 주†
(Jihun Choi · Sung-Yul Kim · Ju Lee)

Abstract - Rapid Expansion of EVs(Electric Vehicles) is inevitable trends, to comply with eco-friendly energy paradigm according to Paris Agreement and to solve the environment problems such as global warming. In this paper, we analyze the limit point of transformer acceptable capacity as the increase of power demand considering EVs supply in the near future. Through the analysis of transformer utilization, we suggest methods to analyze the spare capacity of transformer for the case of optimal efficiency operation and emergency operation respectively. We have the results of 18.4~29% spare capacity for the charging infrastructure to the rated capacity of transformer by analyzing the existing sample apartments. It is analyzed that the acceptable number of EVs is 0.09~0.14 for optimal efficiency operation and 0.06~0.13 for emergency operation. Therefore, it is analyzed the power demand of EV will exceed the existing transformer spare capacity in 7~8 years as the annual growth rate of EVs is prospected 112.5% considering current annual growth rate of EVs and the government EV supply policy.

Key Words : Electric vehicle, Transformer spare capacity, Existing apartment, Limit point

1. 서 론

교토의정서를 대체하는 유엔기후변화협약 당사국총회에서 195 개 당사국 모두 온실가스 감축합의 이후, 우리나라는 2030년까지 온실가스 배출전망치대비 37% 감축이라는 목표를 설정하고 신재생에너지 및 친환경차량 확대 등의 노력을 기울이고 있다. 최근에는 환경문제 해결대책으로 전기자동차 보급계획을 당초 2020년까지 20만대에서 25만대로 확대하는 등 전기자동차 보급을 위한 노력을 강화하고 있다. 국내 전기자동차 보급규모는 2015년 기준으로 전국에 5,767대로 절대적인 규모는 작은 편이지만[1], 2011년 이후 연평균 112%로 급격한 성장세를 보여주었다. 그 동안의 공공중심의 구축력 있는 보급에서 향후 민간을 중심으로 전기자동차가 보급추세가 전환되면, 기존 입주 아파트에도 전기자동차의 보급이 확대되고 전력수요 증가로 변압기 용량에 대한 리스크 분석이 필요하다. 2016년 8월의 경우는 기록적인 폭염으로 인해 전력수요가 사상 최대치를 기록하여 전력예비율이 5.98%로 떨어지고, 전국에 노후 아파트에서 전력과다 사용으로 정전이 발

생하는 등 전력사용증가로 인한 기존설비의 한계용량을 초과하는 경우가 급증하였다.

기존 연구사례에서는 신규아파트에 전기충전인프라 구축시 설계기준과 설치방안들이 다루어졌지만[2,3], 기존 아파트에 변압기의 허용용량과 한계시점에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 입주를 완료한 분양아파트 단지를 대상으로 변압기의 이용실태를 분석하여 전기자동차 충전인프라구축을 위한 변압기 여유용량 산정식을 제안하였다. 그리고 기존 단지 내 수용 가능한 전기충전인프라와 전기자동차의 규모를 분석하고 향후 전기자동차 보급 전망결과를 바탕으로 변압기의 용량한계시점을 분석하였다.

2. 충전인프라 구축을 위한 변압기 여유용량 분석

2.1 분양아파트의 변압기 이용실태 분석

변압기는 단지 내 전기를 공급하기 위해 한전과 같은 전기공급자로부터 받은 특고압(22.9kV)의 전기를 저압(220-380V)으로 변압하여 주는 전력시설물로 아파트 수전용량을 결정한다. 적정용량의 변압기가 설치가 필요한 이유는 변압기는 일단 설치가 완료되면 공간적·경제적 여건을 고려할 때 증설이 거의 불가하고, 이와 반대로 과다한 용량 적용시 불필요한 전기요금 발생 및 각종 전력시설물이 불필요하게 커져 많은 초기비용이 투입되어 사회적

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University, Korea.
E-mail : julee@hanyang.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University, Korea.

** Dept. of Electrical Energy Engineering, Keimyung University, Korea.

Received : August 19, 2016; Accepted : November 25, 2016

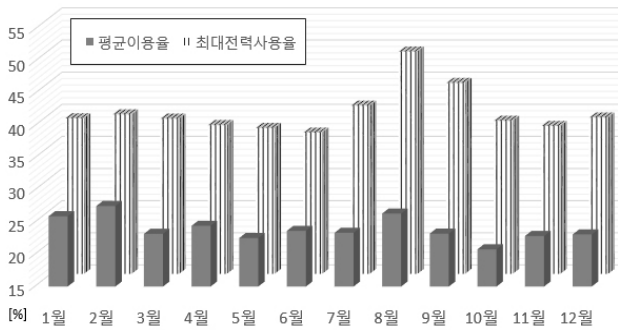


그림 1 아파트변압기 평균이용률 및 최대전력사용률 분석[4]
 Fig. 1 Utilization Rate & Peak Power Usage Rate of the Apartment Transformer

비용낭비를 초래하기 때문이다.

기존에 입주완료 된 38개 분양아파트의 변압기 이용실태를 분석한 논문에 따르면 분양아파트에 설치된 변압기의 이용률은 평균적으로 정격용량대비 20~27% 수준으로 나타난다. 38개의 분양아파트의 월별평균 변압기 이용률과 최대수요전력비율을 분석하여 그림 1에서 살펴보았다[4]. 변압기의 이용률은 냉난방부하의 사용이 급증하는 동절기와 하절기에 이용률이 상대적으로 높게 나타나고, 월별평균 최대전력사용비율은 냉방부하가 급증하는 8월에 49.58%로 높은 수치를 보여주었다.

2.2 충전인프라 구축용 변압기 여유용량 분석방법

충전인프라 구축에 필요한 변압기의 여유용량을 분석하기 위하여 아파트의 평균수요전력, 최대수요전력, 비상부하, 향후 예상되는 증설부하 등을 종합적으로 고려하였다. 본 연구에서는 충전인프라구축용 용량을 두 가지 방식으로 제안하였다. 첫 번째는 전기자동차용 충전인프라 부하와 평상시 사용부하의 합이 변압기의 최적효율점 근처에서 운영되도록 여유용량을 (식1)로 제안하였다. 여유용량식을 제시하면서 각 용량의 단위가 kW와 kVA로 상이하지만, 기존 아파트의 유효전력, 무효전력, 피상전력을 분석한 결과 역률이 1에 매우 근접하여 kW와 kVA를 동일 단위로 적용하였다.

$$Tr_{SI} = Tr_R \times LF_{op} - P_{av} \tag{식 1}$$

여기서,

- Tr_{SI} = 최적효율운전을 고려한 변압기 여유용량
- Tr_R = 변압기 정격용량
- LF_{op} = 최적효율운전 부하율
- P_{av} = 평균수요전력

두 번째로 단지 내 비상운전시를 고려하여 변압기의 정격용량에서 최대수요전력값과 비상부하를 제외한 값을 여유용량으로 한 (식 2)를 제안하였다.

$$Tr_{S2} = Tr_R - P_{peak} - P_{emg} \tag{식 2}$$

여기서,

- Tr_{S2} = 비상운전을 고려한 변압기 여유용량
- Tr_R = 변압기 정격용량
- P_{peak} = 최대수요전력
- P_{emg} = 비상용 부하(소방부하, 승강기 부하 등)

앞에서 제안 된 충전인프라구축용 변압기 여유용량은 최대수요전력이나 평균수요전력에 값에 따라 결과 값이 다르다. 단지에 최대수요전력과 평균수요전력값이 변동추이를 살펴보기 위해 입주 10년 이상 지난 단지들을 대상으로 2005년 7월부터 2012년 7월까지 7년 동안 최대수요전력과 평균수요전력의 변동추이를 그림 2, 3에서 살펴보았다. 그 결과 조사 기간동안 계절별로 일정한 패턴을 보이면서 매년 비슷한 수준을 값을 보여주었고 값이 크게 증가하거나 줄어들지 않고 평균적으로 비슷하게 유지되는 모습을 보여주었다. 이러한 결과는 소비·생활패턴 변화에 따라 가전수요가 증가하지만, 고효율제품 등 기술개발에 따른 에너지 절감 등의 효과로 인하여 전력사용량이 크게 변화하지 않음을 보여준다. 따라서 향후에도 최대수요전력이나 평균수요전력에 큰 변화가 없을 것으로 분석되어 전기자동차 충전인프라구축용 변압기 여유용량을 고려함에 있어 충전인프라용량 이외에 기타조건은 고려하지 않도록 하였다.

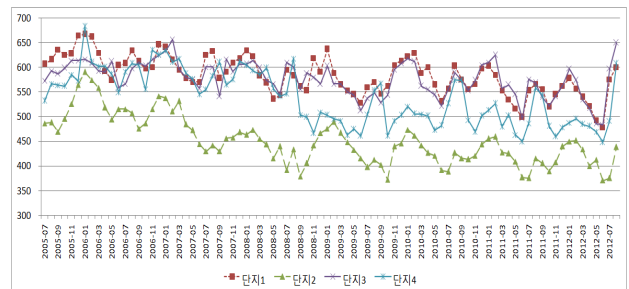


그림 2 아파트의 최대수요전력 변동추이 분석
 Fig. 2 Analysis of Maximum Demand Power in the Apartments

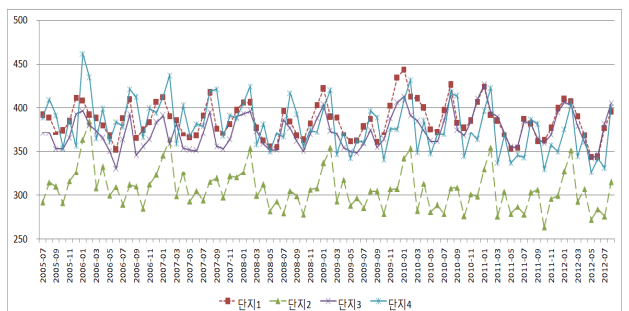


그림 3 아파트의 평균수요전력 변동추이 분석
 Fig. 3 Analysis of Average Demand Power in the Apartments

3. 수용가능한 전기자동차 대수 분석

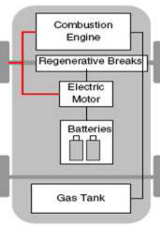
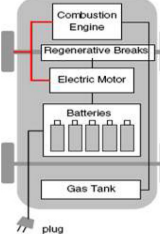
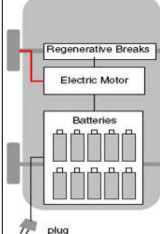
3.1 전기자동차와 충전인프라의 개념

3.1.1 친환경 자동차의 개념

친환경자동차는 일반적으로 기존 내연기관 차량에 전기모터와 배터리를 추가 장착하여 주행상태에 따라 내연기관과 전기모터를 적절히 사용하여 연비를 향상시킨 하이브리드(HEV, Hybrid Electric Vehicle), 하이브리드보다 대용량의 배터리를 사용하여 전기를 주유량으로 사용하는 플러그인하이브리드(PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicle)와 순수하게 전기공급원으로부터 충전 받은 전기에너지를 동력원으로 사용하는 전기자동차(EV, Electric Vehicle ; BEV, Battery Electric Vehicle)로 분류된다. 그림 4를

표 1 친환경차량의 종류[6]

Table 1 Type of Eco-Friendly Vehicle

구분	하이브리드 자동차(HEV)	플러그인 하이브리드차 (PHEV)	전기자동차 (EV, BEV)
구동원	엔진+모터	모터, 엔진(방전시)	모터
에너지원	화석연료, 전기	전기, 화석연료 (방전시)	전기
구동 형태			
특징	구동시 내연기관/모터를 적절히 작동시켜 연비향상	단거리는 전기로만 주행, 장거리 주행시 엔진사용	무공해 차량
주요 차량	프리우스(도요타), 시빅(혼다)	Volt(GM), F3DM(BYD), Karma(Fisker)	Leaf(닛산), iMeve(미쓰비시)

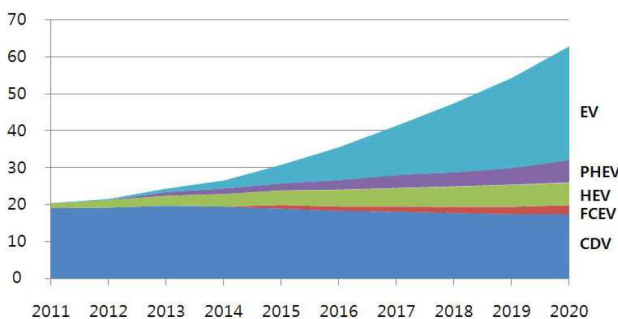


그림 4 국내 그린카 시장 차종별 점유율[7]

Fig. 4 Market Share of Domestic Green Car by Model

보면 향후 친환경차 중에서 EV의 비중이 가장 확대가 예상되고 이러한 흐름은 국내뿐만 아니라 해외보고서에서도 나타나고 있다 [5]. 본 연구에서는 전력수요에 가장 큰 영향을 미치는 순수 전기자동차(EV, BEV)에 대해 다루었다.

3.1.2 전기자동차 충전인프라의 개념

전기자동차 충전인프라는 전기자동차에 전력을 공급하고 충전을 관리하는데 필요한 기반시설을 의미한다. 즉 충전인프라는 이용자가 충전할 때 직접 사용하는 충전장치를 포함하여 충전이 원활하게 이루어질 수 있도록 지원하는 제반 시설을 포함한다. 그림 5에서 세부구성을 살펴보면 전력계통망과 연계되어 전원을 공급하는 전력공급설비, 전력을 변환하는 충전기, 충전보호장치, 커플러, 케이블을 포함한 충전단말장치와 사용자인증, 요금과금을 하는 충전망 관리시스템으로 구성되어 있다[8].

충전인프라의 주요기기인 충전기는 충전방식에 따라 세 가지로 분류된다. 전기자동차와 충전을 직접 연결하여 충전하는 직접충전방식이 있으며, 이 방식은 충전소요시간에 따라 완속충전기와 급속충전기로 분류되며, 표 2에서 특성을 비교하였다. 다음으로 주차장 바닥부에 교류를 발생시켜 자동차에 유도전류를 발생시켜 에너지를 전달받는 비접촉식 충전방식이 있으며, 충전소에서 전기자동차 배터리를 교체하는 배터리교환방식이 있다. 국

표 2 완속충전기와 급속충전기의 비교[9]

Table 2 Comparison Charging System and Quick Charging System

구분	전압		공급용량	충전시간
	입력	출력		
완속	교류단상 220V	교류단상 220V	6~7kW	5~6시간
급속	교류삼상 380V	직류 450V	50kW	15~30분

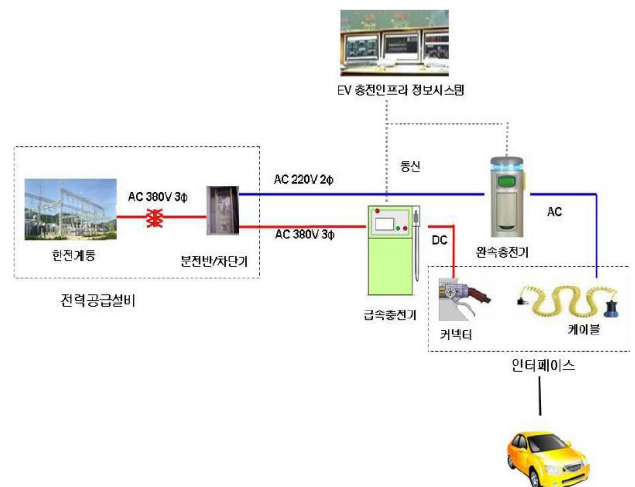


그림 5 충전인프라 구성도[9]

Fig. 5 Configuration of EV Charging Infrastructure

내에서는 직접충전방식 충전인프라를 적용하고 있으며 환경부, 한국전력공사와 같은 공공기관에서 공공 급속충전기를 보급하였고, 앞으로는 민간수요증가에 따라 민간중심의 완속충전기의 보급이 확대 될 것으로 보인다[9].

3.2 아파트에 수용가능한 전기자동차 대수 분석

3.2.1 샘플아파트의 변압기 여유용량 분석

본 연구에서는 경기도에 위치한 세대규모, 입주시기, 수전용량 및 주차대수 등이 유사한 3개 분양아파트를 선정하여 분석을 하였다. 샘플단지의 수전설비 구성을 보면 세대 전용부위에 전력을 공급하는 주택용변압기와 공용부위, 엘리베이터, 소방부하 등 기타 부하에 전력을 공급하는 동력용변압기 그리고 비상발전기로 구성되어 있다.

표 3 조사대상 단지현황

Table 3 Overview of Sample Apartments

구분	Case 1	Case 2	Case 3
세대수	982	1,034	1,000
연면적[m ²]	121,675	96,779	125,136
수전용량[kVA]	2,150	1,700	2,200
주택용변압기[kVA]	1,500	1,100	1,500
동력용변압기[kVA]	650	600	700
주차면수[대]	996	854	1,043
세대당주차대수[대]	1.01	0.83	1.04
입주년도	2006	2006	2007

선정된 아파트의 변압기 이용률(변압기 정격용량 대비 평균수요전력 비율)을 살펴보면, 입주완료 이후 시점부터 3개 단지의 변압기 평균수요전력과 최대사용전력 데이터를 바탕으로 변압기 이용실태를 분석한 결과 평균 이용률이 각 단지별로 21.6%, 23.6%, 20.9%, 최대수요전력 43.0%, 46.3%, 42.5%로 분석되었다. 이는 기존연구에서 조사된 분양아파트의 아파트의 변압기 평균이용률이 20~27%, 최대수요전력 37~49%와 비교하였을 때 유사한 결과값이다.

표 4 변압기 이용실태 분석

Table 4 Analysis of Usage pattern of Apartment Transformer

구분	Case 1	Case 2	Case 3	평균
수전용량[kVA]	2,150	1,700	2,200	-
평균수요전력[kW]	464	402	461	-
변압기이용률[%]	21.6	23.6	20.9	22.1
최대수요전력[kW]	923	787	934	-
최대수요전력비율[%]	43.0	46.3	42.5	42.9

샘플로 선정된 3개 단지의 충전인프라 구축을 위한 변압기 여유용량 분석을 위하여 (식1)로 제안한 최적효율운전을 고려한 여유용량의 범위를 표 5에서 분석하였다. 현재 공동주택에 적용되는 대부분의 변압기는 고효율몰드변압기로 그림 6에서 보듯이 부하가 정격용량의 50%에서 가장 효율이 좋으며 부하가 더 올라가거나 내려가게 되면 효율이 떨어진다[10]. 비상부하용량은 샘플단지의 동력용변압기가 소방부하, 승강기부하, 공용부위 부하 등에 해당하여 P_{emg} 값은 동력용변압기 용량으로 적용하였다. Tr_{s1} 의 범위는 각 단지별로 611kVA, 448kVA, 639kVA로 분석되었다. 이 결과는 변압기 정격용량 대비하여 각각 28.4%, 26.4%, 29.0%로 평균 27.9%값을 보여주었다. 두 번째, (식2)로 제안한 비상운전시를 고려한 변압기 여유용량은 각각 577kVA, 313kVA, 566kVA, 변압기 정격용량 대비하여 26.8%, 18.4%, 25.7%로 평균 23.7%값을 보여주었다. 앞에서 제시한 두 가지 방법으로 변압기 여유용량을 비교한 결과, 최적효율운전시 변압기 여유용량이 평균 27.9% 비상운전시 변압기 여유용량이 평균 23.7%로 최적효율운전시 여유용량이 4.2%포인트 크게 나타난 결과를 확인하였다.

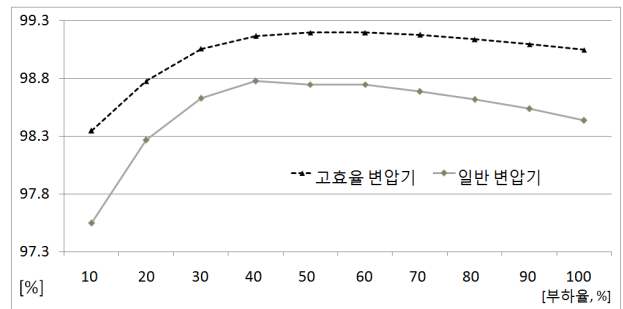


그림 6 변압기 효율곡선[10]

Fig. 6 Efficiency Curve of Transformer

표 5 충전인프라 구축을 위한 변압기 여유용량 분석

Table 5 Analysis of the Transformer Spare Capacity for EV Infrastructure

구분	Case 1	Case 2	Case 3	평균
Tr_R [kVA]	2,150	1,700	2,200	-
P_{peak} [kW]	923[43%]	787[46%]	934[43%]	42.9%
P_{emg} [kW]	650[30%]	600[35%]	700[32%]	32.4%
LF_{op}	50%	50%	50%	-
P_{av} [kW]	464[22%]	402[23%]	461[21%]	22.1%
Tr_{s1} [kVA]	611	448	639	-
Tr_{s1}/Tr_R [%]	28.4	26.4	29.0	27.9%
Tr_{s2} [kVA]	577	313	566	-
Tr_{s2}/Tr_R [%]	26.8	18.4	25.7	23.7%

3.2.2 전기자동차 충전인프라 대수 분석

샘플로 선정한 3개 단지의 변압기 여유용량을 바탕으로 최대 수용가능한 충전인프라 규모를 검토하였다. 충전인프라는 충전시간이 5~6시간 소요되는 완속충전기와 15~30분 소요되는 급속충전기가 있다. 급속충전기는 충전시간이 짧은 대신 설치비와 전기요금에 완속충전기에 비하여 상대적으로 고가이다. 본 연구에서는 완속충전기와 급속충전기의 설치 비율을 타 논문의 조사 결과를 바탕으로 81.5%와 18.5% 비율로 구분하였으며[3], 충전기 대수 산정 시 국내에서 생산되는 완속충전기와 급속충전기의 용량을 조사하여 각각 7.7kW, 50kW를 적용하였다[1]. 또한, 경제성을 고려하여 설치가격이 고가인 급속충전기의 비율이 18.5%를 넘지 않도록 하여 단지별에 최대로 설치 가능한 충전인프라 규모에 대하여 분석하였다.

$$No.Q_c \times C_{Q_c} + No.S_c \times C_{S_c} \leq Tr_{s1}, Tr_{s2} \quad (식 3)$$

(where, $\frac{No.Q_c}{No.Q_c + No.S_c} \leq \text{ratio of } Q_c$)

여기서,

- $No.Q_c$ = 급속충전기의 대수
- $No.S_c$ = 완속충전기의 대수
- C_{Q_c} = 급속충전기의 용량
- C_{S_c} = 완속충전기의 용량

3.2.3 전기자동차 대수 분석

선정된 아파트에 최대 수용가능한 전기자동차의 분석을 위해 운전자의 운전패턴을 분석하였다. 교통안전공단 자료 표 7에 따르면 경기도 운전자의 일일주행거리 평균은 45.3km로 전체 평균인 43.9km보다 약간 높은 수준이다[11]. 아파트에 거주하는 차량의 입고현황을 차량통제시스템 자료를 통해 분석해 보면, 새벽 자정부터 오전 6시까지는 차량입고수량이 거의 없고 이후 점진적으로 차량입고가 시작되어 퇴근 무렵인 오후 5시부터 입고 차량이 증가하여 오후 9시까지 4시간 동안 전체 입고차량의 약 43%가 입고되었다. 국내 보급중인 전기자동차의 1회충전 주행거리가 90~130km로 이상적으로 운전시 1.9일에서 2.8일 정도 운전이 가능하지만, 일반 가솔린·경유 차량이 1회 주유로 500km 이상 주행이 가능한 점을 고려한다면 운전자는 충전인프라가 충분히 확보되지 않은 상황에서 연료부족으로 인한 불안감을 겪고 싶지 않을 것이므로 아파트로 돌아오는 즉시 전기자동차 충전기를 이용할 것으로 판단된다. 다른 연구결과 설문조사에 따르면 전기자동차의 구입을 기피하는 주요원인으로 짧은 주행거리, 전기충전소의 부족 등의 사유가 큰 것으로 조사되었다[8,12]. 이 설문조사의 결과는 운전자의 경우 1회 충전에 따른 주행거리가 최대로 확보가 되어야 불안감 없이 운행을 할 수 있음을 보여준다.

표 6에서 분석한 충전인프라 대수를 바탕으로 기존 단지에 수용가능한 전기자동차의 대수를 추정하기 위하여 각각의 충전기 1

표 6 충전인프라 대수 분석

Table 6 Analysis of EV Infrastructure Number

구 분		Case 1	Case 2	Case 3
최적 효율 운전	여유용량[kVA]	611	448	639
	완속충전기[기]	33	25	37
	급속충전기[기]	7	5	7
	충전기합계[기]	40	30	44
	충전기용량[kW]	604	442	634
비상 운전	여유용량[kVA]	577	313	566
	완속충전기[기]	35	21	34
	급속충전기[기]	6	3	6
	충전기합계[기]	41	24	40
	충전기용량[kW]	569	311	561

표 7 차종별·용도별 1대당 1일평균 주행거리(경기도)[11]

Table 7 Mileage per 1day·1unit by Use·Car(GyeongGiDo)

구 분	주행거리[km]	구 분	주행거리[km]
승용차	36.4	관용	33.8
승합차	66.2	자가용	37.6
화물차	60.0	사업용	135.0
특수차	106.2		
계	45.3	계	45.3

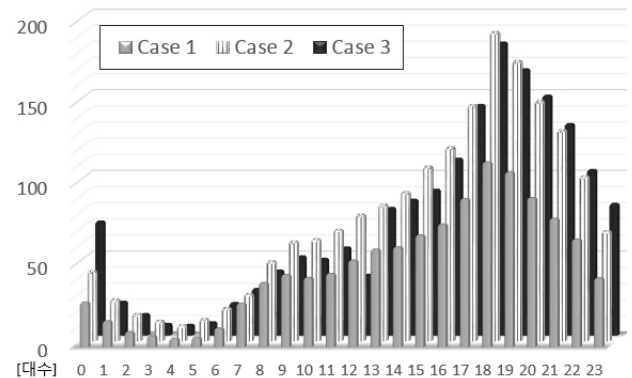


그림 7 차량입고 현황

Fig. 7 Situation of Entering Car in the Apartment

대로 일일 몇 대의 전기자동차를 충전할 수 있는지 분석하였다. 완속충전기와 급속충전기는 충전시간이 각각 5~6시간, 15~30분으로 큰 차이를 보이고, 충전요금도 급속충전기에 완속충전기에 비해 고가이다. 각각의 충전시간을 고려하여 충전기가 24시간 이용된다고 가정하면 완속충전은 최대 4대, 급속충전은 48대까지 충전이 가능하다.

표 8 수용가능한 전기자동차 대수 분석

Table 8 Analysis of Acceptable EVs Number

구분		Case 1	Case 2	Case 3
최적 효율 운전	완속충전기에 의한 전기차[대]	49	37	55
	급속충전기에 의한 전기차[대]	84	60	84
	합 계[대]	133	97	139
	주차대수 대비 전기차 비중[%]	13.4	11.4	13.3
	세대당 전기차 대수	0.14	0.09	0.14
비상 운전	완속충전기에 의한 전기차[대]	52	31	51
	급속충전기에 의한 전기차[대]	72	36	72
	합 계[대]	124	67	123
	주차대수 대비 전기차 비중[%]	12.4	7.8	11.8
	세대당 전기차 대수	0.13	0.06	0.12

다른 연구에서는 운전자의 습관과 일상생활을 고려할 때 대부분은 충전이 차량의 입고가 많이 이루어지는 오후 5시 이후부터 충전이 시작되는 것으로 가정하여, 완속충전기는 1회에서 2회 정도까지 충전이 가능할 것으로 판단되어 1.5회, 그리고 급속충전의 경우는 충전시간을 고려할 때 충전이 되면 바로 차량을 다른 장소로 이동하는 것으로 보아 12회 정도 충전이 가능할 것으로 분석하였다[2]. 본 연구에서도 샘플 아파트의 차량입고현황을 분석한 결과 43%에 비중의 차량이 퇴근 무렵(오후 5시~9시)에 집중되는 결과를 보여주어 타 연구결과와 비슷한 모습을 보여주었다.

위 결과를 바탕으로 각각의 단계에서 수용가능한 최대 전기자동차의 수량을 분석하였다. 먼저 최적효율운전시 변압기 여유용량을 적용하여 전기자동차의 대수를 산정한 경우에는 각각 133, 97, 139대로 분석되었으며, 전체 주차면수 대비하여 13.4%, 11.4%, 13.3% 세대당 0.09~0.14대 정도의 전기자동차가 수용가능한 것으로 분석되었다. 두 번째로 비상운전시 변압기 여유용량을 적용하여 전기자동차의 대수를 산정한 경우에는 각각 124, 67, 123대로 분석되었으며, 전체 주차면수 대비하여 12.4%, 7.8%, 11.8% 세대당 0.06~0.13대 정도의 전기자동차가 수용가능한 것으로 분석되었다.

4. 전기자동차 증가에 따른 변압기용량 한계시점 분석

4.1 전기자동차 보급현황 및 증가율 분석·전망

4.1.1 국내 전기자동차 및 충전인프라 보급현황

2009년 10월 '전기자동차산업 활성화방안'을 발표하면서 우리나라도 정부정책과 예산지원 등을 시작으로 본격적인 전기자동차 산업에 뛰어 들었다. 2011년 전기자동차 338대 보급을 시작으로

2015년 말 기준으로 전기자동차 누적대수 5,767대가 전국에 보급되었다[1]. 특히 제주도는 2012년 '탄소 없는 섬 구축 계획'을 수립하여 2030년까지 100%를 전기차로 대체하여 세계적 녹색성장 도시 구축을 위한 노력을 기울이며 국내 전기자동차의 40%가 넘는 2,367를 보급하였다. 국내 등록차량에 보급률과 비교해 보면 2014년 말 기준으로 전체 등록차량은 1,977만대로 2005년도 1,514만대에서 연평균 3%정도로 비교적 일정하게 늘어나는 추세이며[11], 전기자동차는 2011년 338대로 집계된 이후 2015년 기준 총 5,767대가 보급되었고, 보급초기 기저효과로 인하여 연평균 112%의 높은 증가율을 보이고 있다[1]. 이는 2015년 기준으로 전체 차량 약 200만대에 비교하였을 때 0.03%에 해당하는 규모이다.

충전인프라는 2015년 9월 기준으로 급속충전기 337대, 완속충전기 4,865대가 보급되었다[13]. 급속충전인프라는 환경부의 지원으로 고속도로 휴게소, 공영주차장, 대형마트, 공공기관 같은 공용장소에 설치되었으며, 본 연구에서 다루는 아파트는 법적인 설치근거가 부재하고 원가상승을 유발 등의 사유로 설치가 일부 단계에만 시범 적용되고 있다.

4.1.2 해외 전기자동차 보급현황

국제에너지기구 IEA에서 발표한 2016년 전기자동차 전망을 보면 2015년 말 기준으로 전 세계 친환경차(EV+PHEV)의 누적

표 9 국내 전기자동차 보급현황[1]

Table 9 Status of Domestic EV Supply

연도	연간 전기자동차 보급대수	전기자동차 누적대수	전기자동차연간증가율
2011	338	338	-
2012	753	1,091	223%
2013	780	1,871	71%
2014	1,075	2,946	57%
2015	2,821	5,767	96%
연평균 증가율			112%

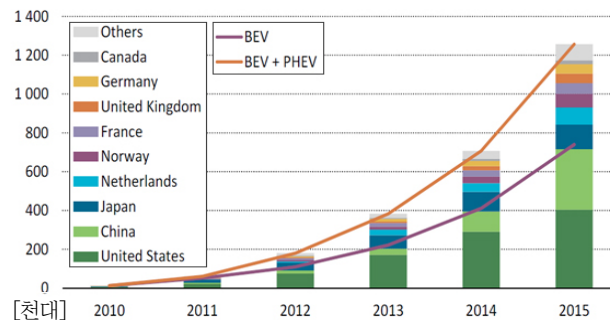


그림 8 세계 전기자동차의 누적대수의 발전 [5]

Fig. 8 Evolution of the Global EV Stock

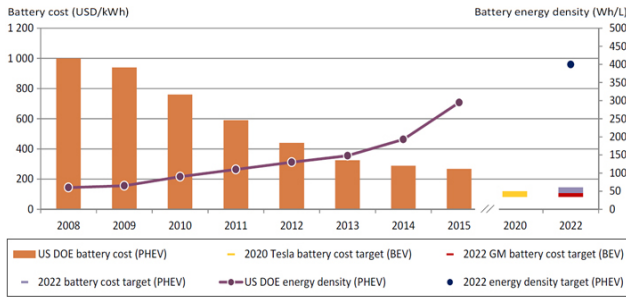


그림 9 배터리 에너지밀도와 가격의 발전 [5]

Fig. 9 Evolution of Battery Energy Density and Cost

대수가 126만대로 처음으로 100만대를 돌파하는 놀라운 성장세를 보여주었다[5]. 그림 8을 보면 전기자동차(BEV)의 누적대수가 플러그인하이브리드(PHEV) 차량을 앞서는 모습을 보여주고 있으며, 불과 1년 만에 2014년도 친환경차량 누적대수의 거의 두 배가 되었음을 확인할 수 있다. 이는 2005년도 친환경 차량이 100여대 수준이었음을 고려하면 전기자동차의 보급이 초기단계계를 지나 성장기에 돌입하면 수년내 급격하게 증가할 수 있음을 보여준다.

이렇게 전 세계적으로 전기자동차 시장이 급격히 성장할 수 있었던 요인으로는 전기자동차의 가격을 결정하는 배터리의 가격은 지속적으로 하락하고 에너지밀도는 개선이 되었기 때문이다. Telsa, GM과 같은 글로벌 자동차제조사는 배터리 가격을 2022년까지 1kWh당 100달러 공급을 목표로 기술개발중이다[5].

4.1.3 국내 전기자동차 증가율 전망

2016년 6월 초미세먼지로 인한 심각한 환경문제를 해결하기 위한 특별대책을 수립하면서, 당초 2020년까지 전기자동차를 20만대까지 보급하기로 한 계획을 25만대로 대폭 확대하였다. 현재 2015년까지 누적 전기자동차의 대수가 5,767대이므로 2020년까지 25만대 보급이 이루어지기 위해서는 매년 112.5%의 증가율로 성장하여야 한다. 국내 전기자동차 증가율 112%로 성장할 경우 2020년에 246,962대가 보급되므로 현재의 증가율을 유지한다면 정부목표달성이 가능할 것으로 보인다.

하지만 이러한 증가율은 보급 초기단계에는 거저효과로 인하여 성장률이 크게 나오는 경우가 일반적이고, 그 동안 행정·공공기관 저공해자동차 구매의무제도와 같은 구속력 있는 제도와 정부와 지자체의 보조금 지원으로 인한 적극적인 인센티브제도의 초기구매유입을 위한 적극적인 정부정책의 결과이므로 2020년까지 현재의 증가율을 유지하기 위해서는 정부의 적극적인 재정지원과 정책이 필요하다.

4.2 아파트 변압기용량 한계시점 분석

국내 전기자동차의 증가율이 112%를 유지한다면 향후 분양아파트 내 전기자동차의 증가에 따라 충전인프라의 수요가 증가하

표 10 국내 전기자동차 보급 전망

Table 10 Prospect of Domestic EV Supply

연도	증가율 112.5%		증가율 112%	
	연간보급대수	누적대수	연간보급대수	누적대수
2015	5,767	5,767	5,767	5,767
2016	6,489	12,256	6,459	12,226
2017	13,790	26,047	13,693	25,919
2018	29,308	55,354	29,030	54,949
2019	62,284	117,638	61,543	116,491
2020	132,363	250,000	130,470	246,962

표 11 샘플단지 전기자동차 누적대수 전망

Table 11 Prospect of EV stock in the sample Apartments

구 분	Case 1		Case 2		Case 3	
	EV대수	세대당 EV대수	EV대수	세대당 EV대수	EV대수	세대당 EV대수
2015	0.3	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0
2016	0.6	0.0	0.5	0.0	0.7	0.0
2017	1.3	0.0	1.2	0.0	1.4	0.0
2018	2.9	0.0	2.5	0.0	3.0	0.0
2019	6.1	0.01	5.2	0.01	6.4	0.01
2020	12.9	0.01	11.1	0.01	13.6	0.01
2021	27.5	0.03	23.6	0.02	28.8	0.03
2022	58.5	0.06	50.1	0.05	61.2	0.06
2023	124.2	0.13	106.5	0.10	130.1	0.13
2024	264.0	0.27	226.4	0.22	276.5	0.28

고, 인프라 증가수요에 따른 전력량이 급증할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 선정된 3개의 분양아파트에서 전기자동차가 정부정책 목표달성이 가능한 수준인 연평균 112.5%로 증가할 경우 현재 단지에서 보유한 변압기의 허용용량 한계시점에 대하여 분석하였다. 샘플 3개 단지의 최대허용 전기자동차 대수는 최적효율운전시 133, 97, 139대, 비상운전시 124, 67, 123대로 분석되었다. 한계시점 분석을 위해 전기자동차의 대수가 연평균 112.5%로 증가할 경우 2025년까지 누적대수를 산정하였고, 현재 샘플단지의 전기자동차 초기보유대수는 2015년 기준으로 전기자동차가 전체 등록자동차의 0.3%인 점을 고려하여, 단지 전체 주차대수의 0.3%에 전기자동차를 보유하는 것으로 보았다. 2023년이 되면 단지에 보유 예상되는 전기자동차의 규모가 124, 106, 130대로 CASE 2단지의 경우에 수용한계시점에 도달하며, 2024년이 되면 보유 예상되는 전기자동차가 264, 226, 276대로 모든 단지에서 앞에서 분석된 수용가능한 전기자동차의 규모를 초과하게 된다. 따라서 향후 7~8년 후인 2023~2024년 시점이면 기존 아파트 변압기의 허용용량에 한계시점에 도달하는 것으로 분석되었다.

$$EV_n = EV_0(1 + G)^n \quad (\text{식 4})$$

여기서, EV_n = N년 후에 전기자동차 누적대수
 EV_0 = 전기자동차 초년도 대수
 G = 연간 증가율

5. 결 론

본 연구에서는 기존 분양아파트 단지에 전기자동차가 보급될 경우 전력수요가 증가에 따른 변압기의 허용용량 한계시점 분석을 하였다. 경기도 소재의 3개 아파트단지를 선정하여 변압기 이용실태를 분석한 결과 평균수요전력은 변압기정격용량 대비하여 22.1%, 최대수요전력은 42.9%로 분석되었다. 그리고 전기자동차 충전인프라구축용 여유용량산정을 위한 산정식을 최적효율운전시와 비상운전시 각각 두 가지로 제안하였다. 각각의 제안된 산정식에 따라 변압기의 여유용량을 분석한 결과 최적효율운전시에는 변압기 정격용량대비하여 27.9%의 여유용량이 비상운전시에는 23.7%의 여유용량이 산정되었다. 샘플 단지에 수용가능한 충전인프라와 전기자동차의 규모를 기존연구사례와 실증자료를 바탕으로 분석한 결과 최적효율운전시에는 세대당 수용가능한 전기자동차의 대수가 단지별로 0.09~0.14대로 분석되었고, 비상운전시에는 0.06~0.13대로 분석되었다. 다음으로 국내 전기자동차의 증가율을 정부목표와 국내 전기자동차 성장률을 고려하여 112.5%로 전망하였고, 그 결과 앞으로 7~8년 후인 2023~2024년이 되면 단지 내 변압기의 허용용량 한계시점에 도달할 것으로 분석되었다.

본 연구에서 분석된 결과는 향후 신재생에너지나 ESS와 같은 추가전원설비의 설치, 충전알고리즘 기술개발 등의 연구로 보완이 가능할 것으로 보인다. 하지만, 샘플로 선정된 단지는 입주 10년차로 비교적 노후화가 많이 진행되지 않았지만 입주 20년을 초과하는 노후 단지들은 변압기 여유용량자체가 매우 부족하거나 변압기 노후화로 성능이 저하되어 전기자동차 증가에 대응하기 어려운 것으로 판단된다. 따라서 향후 민간중심의 전기자동차 보급이 본격화되면 노후아파트에 대한 충전인프라 구축과 해결방안 등에 대한 연구가 추가로 이루어져야 할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2015R1C1A1A02037544).

References

[1] Ministry of Environment, "EV charging information system, ev.or.kr"

[2] Seong-Kyoo Jang, Jae-Sun Huh, Sung-Min Cho, Hee-Sang Shin, Jae-Chul Kim, "The Study on Planning of EV Charging Facilities using Prevalence Estimates of EV in the Public Housing", Journal of KIIEE, Vol.24, No. 10, pp. 118, 2010.

[3] Kihong Lee, Hoyoung Kee, Wanhee Byun, "Review of Design Components of Recharging Infrastructure for Electrical Vehicles in Apartments", Journal of KIIEE, Vol. 26, No. 10, pp. 113, 2012.

[4] Jihun Choi, "A Study on Optimal Design of an Apartment Housing Transformer Capacity", Hanyang University, pp. 20, 2013.

[5] IEA, "Global EV Outlook 2016", pp. 4, 5, 2016.

[6] The export-import bank of Korea, "EV market status and prospect", Vol.2011-01, pp. 6, 2011.

[7] KERI, "A Development Planning of Electric Power Supply Technologies for Electric Vehicle Charging Infrastructure System", pp. 22, 2011.

[8] Ministry of Environment, "A Study on the support standard & demand-based composition for EV supply", pp. 20, 97, 2011.

[9] Ministry of Environment, "2011 Guideline for Electric Vehicle public charging infrastructure", pp. 11-12, 2011.

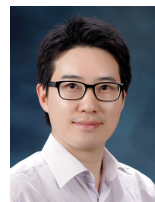
[10] LSIS, "LS Mold Transformer Catalog", pp. 7, 2016.

[11] Korea Transportation Safety Authority, "2015 car mileage statistics", pp. 3, 76, 2015.

[12] The Korea Transport Institute, Sangkyu Hwang, Kyuok Kim, Younshik CHUNG, "Policy Implications for global electric Vehicle Market Changes", pp. 44, 2010.

[13] Ministry of Trade, Industry and Energy, "2030 energy new industry strategy for new climate system", pp19, 2015.

저 자 소 개



최지훈 (Jihun Choi)

1981년 1월 19일생. 2006년~현재 한국토지주택공사 근무. 2007년 한양대학교 전기전자컴퓨터공학부 졸업. 2013년 동 대학교 공학대학원 전기공학부 졸업(석사). 2013년 9월~현재 동 대학교 대학원 전기공학과 박사과정
 Tel : 031-960-9848
 E-mail : jihun81@lh.or.kr



김 성 열 (Sung-Yul Kim)

1980년 3월 23일생. 2007년 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸업, 2012년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 2012년~2013년 미국 Georgia Institute of Technology, PSCAL 연구원. 현재 계명대학교 전기에너지공학과 조교수

Tel : 053-580-5251

E-mail : energy@kmu.ac.kr



이 주 (Ju Lee)

1963년 8월 30일생, 1986년 한양대학교 전기공학과 졸업, 1988년 동 대학원 전기공학과 석사 졸업, 1988~1993년 국방과학연구소 연구원, 1997년 일본 큐슈대학교 System 정보과학 연구과 박사졸업, 1997년 한국철도기술연구원 선임연구원, 1997년~현재 한양대학교 전기생체공학부 교수

Tel : 02-2220-0342

E-mail : julee@hanyang.ac.kr