

아파트에서의 전기자동차 충전인프라 설계를 위한 요소 고찰

(Review of Design Components of Recharging Infrastructure for Electrical Vehicles in Apartments)

이기홍* · 기호영 · 변완희**

(Kihong Lee · Hoyoung Kee · Wanhee Byun)

Abstract

Electric vehicles (EVs) are the most promising alternative substitute to a significant amount of gasoline vehicles for climate friendly transportation. This paper conducted an EV consumer survey through the telephone for 200 residents living in apartments to predict the EV penetration level in the year 2020. The results of EV consumer survey revealed that EV will be penetrated to 10% of the total vehicles in rental apartments and to 23.6% of the total vehicles in apartments for sale(condominium) until 2020.

High EV penetration level, however, will lead to an increase of power consumption and over loading of electrical installations. Integrating more electric vehicles, the capacity of transformer related in apartments should be checked to prevent the over loading of the transformer. This paper checked the possibility of over loading at transformer and suggested the load control system as one of the solutions to reduce the over loading of transformers in apartments. Also this paper reviewed other components that should be checked in the designing of EV recharging infrastructure in apartments.

Key Words : EV, Transformer, Electrical Installations, Consumer Survey, Over Load, Load Control

1. 서 론

신재생에너지의 급속한 보급 및 스마트그리드 사업

-
- * 주저자 : 토지주택연구원 수석연구원
 - ** 교신저자 : 토지주택연구원 수석연구원
 - * Main author : Land & Housing Institute, Research Fellow
 - ** Corresponding author : Land & Housing Institute, Research Fellow
- Tel : 042-866-8445, Fax : 042-866-8472
E-mail : newday94@daum.net
접수일자 : 2012년 9월 18일
1차심사 : 2012년 9월 20일
심사완료 : 2012년 10월 4일

의 추진과 함께 전기자동차의 확산은 지구환경 보존에 크게 기여할 것으로 보인다. 특히 전기자동차는 환경적인 장점뿐만 아니라 경제적인 측면에서도 강점을 가지고 있다. 최근에 전기자동차는 기술적으로도 크게 발전하고 있지만 화석연료의 급속한 가격 상승에 따라 각국의 소비자들로 하여금 큰 반응을 일으키고 있다[1-5].

전기자동차는 장착된 전력저장장치에 충전된 전력을 이용하여 구동되는 자동차를 말한다. 다수의 전기자동차 충전은 전력공급설비에 영향을 미치게 된다. 구체적으로는 변압기 과부하에 의한 전력품질저하, 고조파에 의한 변압기의 열화, 상(Phase)별 부하의 불균

형 등을 들 수 있다. 특히 과부하에 의한 전력품질의 저하는 충전으로 인해 전력공급설비에 직접 발생될 수 있는 영향으로 볼 수 있다.

본 논문에서는 공동주택에서 전기자동차의 충전설비, 전원공급설비, 관리시스템 등으로 구성되는 충전인프라를 설계할 때 고려하여 하는 요소들에 대하여 검토하고 문제점들을 파악하여 그 대안들을 제시하고자 한다.

2. 전기자동차의 보급률 예측

2.1 전기자동차 보급 전망

세계적인 전기자동차의 보급 전망에 대하여 컨설팅 회사인 포로스트 앤 설리반(Frost & Sullivan)은 표 1과 같이 2020년 전기자동차는 보수적으로는 4%, 낙관적으로는 12%가 판매될 것으로 예측하고 있다[6].

표 1. 포로스트 앤 설리반의 전기자동차 세계 시장 전망

Table 1. Analysis of the Global Electric Vehicles Market(2009) by Frost & Sullivan
(단위 : 1,000대)

전망기준	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2020 ¹⁾
낙관적	5	17	94	273	574	863	1,389	2,163	12%
표준	5	8	38	110	251	462	779	1,212	7%
보수적	5	8	26	73	169	273	395	521	4%

주1) : 2020년은 전체 승용차 판매에서 전기자동차가 차지하는 비중임.

반면에 국내의 전기자동차 시장은 현재, 보급초기단계에 있으며 정부에서는 표 2와 같이 전기자동차 보급계획을 수립하여 발표하였다.

표 2. 정부가 제시한 전기자동차 보급 계획

Table 2. Supply plan of Electric Vehicles(2009) in Korea

연도	2011	2013	2015	2020
누적 보급대수(천대)	0.88대	13.2대	85.7대	1,046대

2.2 전기자동차 보급에 대한 설문조사

2.2.1 설문조사 개요

전기자동차는 환경적인 측면에서도 우수한 특성이 있지만 수요자 입장에서는 경제적 우수성이 강점으로 크게 영향을 미칠 수가 있다. 따라서 일반적인 수요자를 대상으로 조사하여 제시되는 전기자동차의 보급 예측 및 목표치들을 경제적 수준이 유사한 세대들끼리 모여 있는 아파트에 적용하기에는 다소 부정확성을 포함하게 된다.

따라서 본 연구에서는 아파트를 분양아파트와 임대아파트로 분류하여 전기자동차 수요에 대한 설문조사를 실시하였다.

설문조사의 응답자는 분양아파트와 임대아파트 거주자 각 200명이며, 일반사항은 표 3과 같다. 본 논문에서 분양아파트는 그 크기가 60m² 초과, 임대아파트는 그 크기가 60m² 이하를 말한다.

설문은 훈련된 텔레마케터의 도움을 받아 전화설문으로 시행하였다. 설문조사의 응답자들 대부분이 전기자동차에 대한 정보가 부족함 점을 고려하여 설문 전에 전기자동차의 특성, 경제적 및 환경적 편익, 유지관리 등에 관한 일반적인 내용 등을 설명하여 주고, 전기자동차에 대한 이해를 확인한 상태에서 설문을 시행하였다. 주요 설문내용은 향후 10년까지의 차량 교체 및 추가 구입 계획, 가격대별 전기자동차 구매비율, 충전설비의 종류별 선호도 등이다.

표 3. 설문조사 일반사항

Table 3. Overview of Survey

구분		빈도	백분율(%)
거주지	서울특별시	99	24.8
	경기도	272	68.0
	인천광역시	29	7.3
	합계	400	100
성별	남성	177	44.3
	여성	223	55.8
	합계	400	100
거주형태	분양아파트	200	50
	임대아파트	200	50
	합계	400	100

2.2.2 설문조사 결과

설문조사 결과 향후 10년간 차량교체 및 추가 구입 계획은 표 4와 같이 조사되었다.

표 4. 향후 10년간 보유차량 교체 및 신규 구입계획
Table 4. Plan for Vehicle Purchases and Replacements of Households for 10 years

구분	전체		분양아파트		임대아파트	
	빈도	비율	빈도	비율	빈도	비율
계획 있음	306	76.5%	163	81.5%	143	71.5%
계획 없음	94	23.5%	37	15.5%	57	23.5%
계	400	100%	200	100%	200	100%

전기자동차의 가격을 다양하게 상정하고, 상정된 가격대별 전기자동차 구매 의향 비율을 분양아파트와 임대아파트로 구분하여 조사한 결과는 표 5와 같다. 표 5에서와 같이 분양아파트가 임대아파트에 비해 동일 가격에 대한 구매비율이 높게 나타났다.

표 5. 가격대별 전기자동차 구매 의향을 보인 설문응답자 비율
Table 5. Price Sensitivity of Electric Vehicles

가격	분양아파트	임대아파트
5천만원	29.00%	14.00%
4천만원	45.00%	25.50%
3천만원	84.50%	61.50%
2천만원	96.00%	88.50%

전기자동차 충전설비의 완속충전설비와 급속충전설비에 대하여 선호도 조사 결과는 표 6과 같다. 설문하기 전에 급속충전설비와 완속충전설비의 특성, 운영방법, 충전 요금 등에 대한 특성을 사전에 설명하여 주고 설문을 시행하였다. 구체적으로 급속충전설비에서의 충전시간은 30분, 충전비용은 월 평균 10만원, 충전 완료 후에는 곧바로 다른 주차공간으로 이동하여야 한다는 조건을 제시하였다. 반면에 완속충전설비에서의 충전시간은 약 6시간 정도, 충전비용은 약 1만 5천원, 충전 후에는 차량이동이 필요 없다는 조건을 제시하였다.

표 6. 충전설비의 종류별 선호도
Table 6. Preference rate by charging system type

구분	선호 충전설비	
	완속충전설비	급속충전설비
분양아파트	167(83.5%)	33(16.5%)
임대아파트	159(79.5%)	41(20.5%)
전체	326(81.5%)	74(18.5%)

2.2.3 2020년 전기자동차 보급률 예측

설문조사 결과를 이용하여 향후 10년간(2020년으로 표현함) 아파트에서 전기자동차의 보급률을 예측하였다. 보급률의 예측은 현행 전기자동차의 기술수준이나 가격을 고려하여 전기자동차의 가격을 5천만 원으로 상정하여 계산하였다.

보급률을 예측하기 위하여 향후 10년간 자동차 구매 계획(표 3)에 전기자동차 가격이 5천만 원일 때의 구매의향(표 5)을 곱하여 구매비율을 표 7과 같이 산출하였다.

표 7. 아파트 유형별 향후 10년내 전기자동차 구매 예상 비율
Table 7. Purchase intention rate of EV by Residence Types

구분	분양아파트	임대아파트
보유자동차 교체나 신규 구입 계획	163명 (81.5%)	143명 (71.5%)
전기자동차 가격이 5천만원일 때 구매 의향	29.0%	14.0%
향후 10년내 전기자동차 구매비율	23.6%	10.0%

향후 10년 후의 전기자동차 보급률은 전체 자동차의 10년 후 보급률에서 전기자동차 구매비율을 반영하여 산출할 수 있다. 향후 10년 후의 자동차 보급률과 수도권 아파트 보급률은 기존의 통계자료를 이용하여 시계열분석(최소 제곱 선형 회귀(Least Square Linear Regression) 기법 적용)으로 추정하여 2020년 전기자동차의 보급률을 예측한 결과 표 8과 같이 가구당 분양아파트는 0.25대, 임대아파트는 0.06대로 예측되었다[7].

아파트에서의 전기자동차 충전인프라 설계를 위한 요소 고찰

표 8. 2020년 아파트 유형별 가구당 전기자동차 보유대수 예측 결과

Table 8. Forecast of EV per household by Apartment types in 2020

구분		분양아파트	임대아파트
가구수(천가구)		4,680,728	911.810
자동차 대수(천대)		5,008,379	519,732
자동차 보유대수(대/가구)		1.07	0.57
전기 자동차	전기자동차 구매비율	0.236	0.10
	전기자동차 대수(천대)	1,181,977	51,973
	가구당 전기자동차 보유대수(대/가구)	0.25	0.057

3. 충전인프라 설계 요소 고찰

3.1 전기자동차 충전설비의 종류 선정

3.1.1 전기자동차 충전설비의 개요

아파트 주차장에 적용되는 전기자동차 충전설비는 전기자동차에 교류 전원을 공급하는 완속충전설비와 직류전원을 공급하는 급속충전설비로 구분할 수 있다. 완속충전설비는 220V, 15A(또는 30A)의 전원을 공급하는 3.3kW(또는 6.6kW) 정도의 용량이 주로 사용되며 충전시간은 약 6시간 정도가 소요된다.

표 9. 국가별 충전인프라 전원 규격
Table 9. Power specifications of recharging infrastructure in the country

구분	충전 방식	
	완속 충전	급속 충전
일본	1Φ 100V	3Φ 200V/50kW
미국	1Φ 120V/15A or 20A, 1Φ 240V/40A	3Φ 480V/60~150kW
유럽	1Φ 230V/16A	1Φ 230V/32A(준급속충전) 3Φ 400V/63A
한국	1Φ 220V, 3~10kW	3Φ 380V, 60kW

반면에 급속충전설비는 AC 3상 380V를 받아 DC 50~500V, 120A의 출력으로 50kW(또는 60kW)의 전

력을 배터리에 공급하며 충전시간은 약 15~20분 정도가 소요된다. 표 9는 국가별 충전인프라의 전원 규격을 나타낸다[8].

3.1.2 충전설비의 종류 선정

아파트에는 입주자뿐만 아니라 방문자와 같이 외부인들의 출입 및 주차가 발생할 수 있으며 이들의 주차 시간은 입주자에 비해 짧은 시간만 이루어질 수 있다. 또한 입주자들의 생활양식도 다양하여 전기자동차의 신속한 충전을 필요로 하는 경우도 발생할 수 있다. 따라서 이러한 급속충전의 수요에 대응하여 최소한의 급속충전설비를 설치하는 것이 필요하다고 판단된다. 표 6에서와 같이 설문조사에서도 급속충전설비의 충전요금 부담에도 불구하고 설문응답자의 18% 정도가 급속충전설비의 설치를 필요로 하고 있다. 따라서 아파트에서의 전기자동차 충전설비는 전원설비의 용량 및 설치비용이 증가하더라도 적정대수의 급속충전설비를 설치하는 것이 바람직하다고 판단된다.

3.2 전원설비의 용량

3.2.1 아파트전원설비의 개요

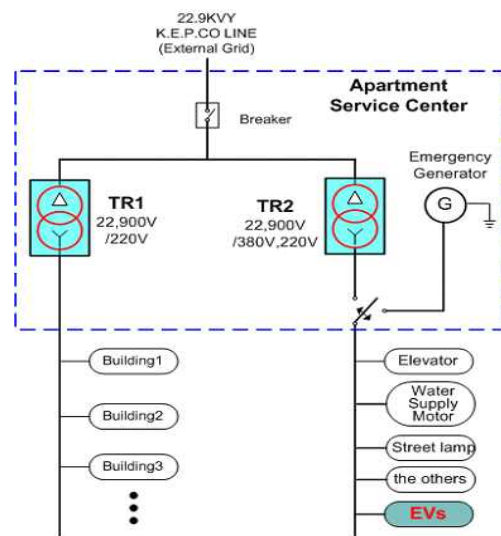


그림 1. 아파트의 전원공급설비 계통도
Fig. 1. Configuration of power supply system in apartments

국내의 아파트 전원설비는 일반적으로 22.9kV로 수전하여 변압기를 거쳐 220V/380V로 변환시켜 세대 및 아파트 공용부의 전기 및 전자설비에 공급하고 있다. 이들 수변전설비 중 변압기는 그림 1과 같이 일반적으로 세대용 전등변압기(TR1)와 공용설비를 위한 동력변압기(TR2)로 구분된다. 아파트에서의 전기자동차 충전인프라는 아파트의 공용설비에 해당되므로 동력변압기로부터 전원을 공급받아야 할 것으로 판단된다. 따라서 전기자동차 충전인프라의 설치에 따른 동력변압기의 과부하 여부를 검토하는 것이 필요하다.

3.2.2 변압기 용량의 검토

일반적으로 아파트에 설치되는 변압기는 부하율이 약 50%일 때 효율이 가장 높도록 설계되어 있다. 국내의 아파트에서 운전되는 변압기의 부하율도 매우 낮게 운전되고 있는 것도 현실이다. 표 10은 국내의 임대아파트에서 운전되고 있는 동력변압기의 부하율 사례를 나타낸다.

표 10. 임대아파트에서의 동력변압기 부하율 사례
Table 10. Load factors of transformer for public loads in the sample apartments

아파트	최저 부하율	평균 부하율	최고 부하율
A	10%	20%	34%
B	16%	25%	36%
C	10%	19%	34%
D	7%	16%	35%
E	4%	19%	33%

이러한 변압기의 운전 부하율에 전기자동차의 충전 부하가 더해지면 동력변압기에는 급속한 부하증가가 일어날 수 있다. 이러한 현상을 임대아파트를 대상으로 검토하면 다음과 같다.

향후 2020년도에 임대아파트에 예측되는 전기자동차의 충전용량은 식 (1)과 같이 설문조사의 결과를 활용하여 계산할 수 있다. 그 결과 표 10의 D 아파트를 사례로 2020년도에 소요되는 전기자동차 총 충전용량을 식 (1)과 같이 계산하면

98kVA로 산출된다.

$$EV_{load} = C_{cha} \times N_{cph} \times H_{nth} \times D \times C_{wva} \text{ kVA} \quad (1)$$

$$= 3.3 \times 0.057 \times 475 \times 1 \times 11 / 10 = 98 \text{ kVA}$$

Where,

EV_{load} : 전기자동차 총 충전용량 kVA

C_{cha} : 충전기 1대당 충전용량(3.3kW)

N_{cph} : 임대아파트의 예상 가구당 전기자동차 보유 대수(0.057)

H_{nth} : 총 세대수(475, D 아파트)

D : 부동률(부하제어가 없을 경우=1 [9])

C_{wva} : 유효전력의 피상전력 변환계수(11/10, 역률 =0.9(가정))

이와 같이 계산된 전기자동차의 총 충전용량을 현행의 D아파트 동력변압기의 부하곡선에 추가하면 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

그림 2에서 동력변압기 용량은 200kVA이며 현재의 부하곡선에 전기자동차의 충전부하(98kVA)가 더해져도 약 20kVA 이상의 변압기 용량에 여유분이 남게 되는 것을 알 수 있다.

따라서 임대아파트의 경우에는 기존의 변압기 용량에 별도의 용량 증설이 없어도 일정기간 동안은 과부하현상이 나타나지 않을 것으로 분석된다[10].

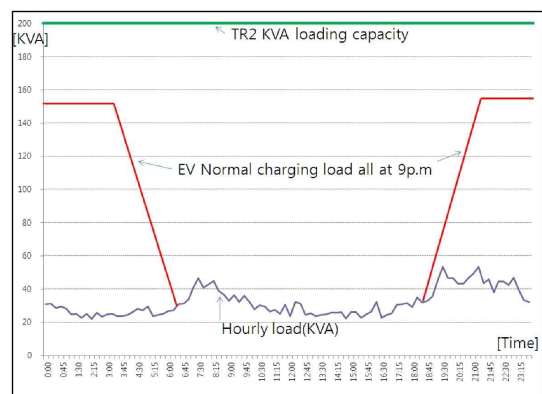


그림 2. 전기자동차 충전부하를 고려한 동력변압기의 예상 부하곡선

Fig. 2. Predicted load profile with EV battery charging load(uncontrolled charging)

그러나 일반 분양아파트에서는 2020년에 보급될 것으로 예측되는 가구당 전기자동차의 보급대수가 0.25대(표 8)로서 임대아파트의 0.057대 보다 4배 이상이어서 현행 변압기의 용량 기준에서는 과부하가 발생할 수 있다. 따라서 변압기의 용량증설이나 추가 설치 등이 필요하게 될 것으로 예상된다.

3.2.3 충전부하 제어시스템의 적용

전기자동차의 보급률은 기술발전이나 다양한 사회적, 정책적 요인들에 의하여 영향을 받으므로 정확히 예측하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 단순히 과부하가 예상되므로 변압기 용량을 과대하게 증가시키는 것은 경제적 부담 및 에너지 손실을 증대시킬 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 전기자동차의 충전부하제어시스템을 적용하는 것이 필요하다. 전기자동차 충전부하제어시스템은 그림 3과 같이 충전하고자 하는 다수대의 전기자동차들이 일시적으로 집중될 경우 전기자동차의 충전부하를 분산시킬 수 있다. 이러한 기능은 그림 3과 같이 변압기 부하측의 간선에 흐르는 부하전류와 각 전기자동차 배터리의 충전상태를 감지하고 배터리의 충전 잔여량이 많이 남아있는 전기자동차는 충전시간대를 뒤로 미루게 함으로써 이루어진다.

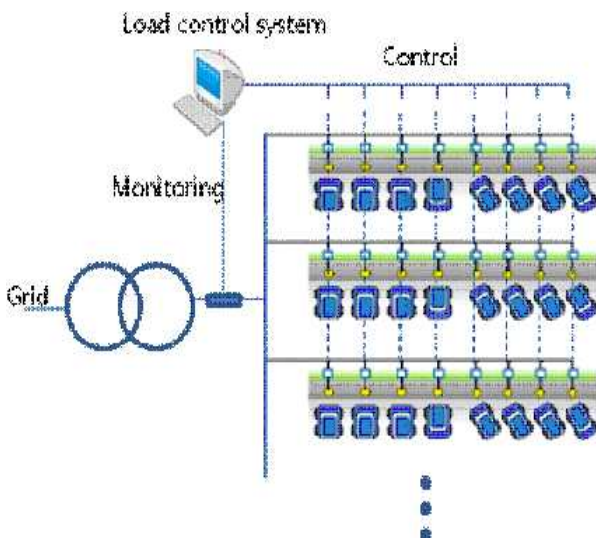


그림 3. 전기자동차 충전부하 제어시스템의 개념도
Fig. 3. Schematic of charging load control system

아파트에서의 전기자동차 충전부하는 대부분 거의 동일한 시간(저녁시간)에 충전하게 됨으로서 발생된다. 따라서 변압기의 부하나 전기자동차 배터리의 충전상태를 모니터링하여 충전시간을 분산시킴으로써 변압기의 과부하문제를 일정부분 해결할 수 있다.

따라서 아파트에서는 그림 3과 같은 충전부하 제어시스템의 도입이 필요한 것으로 판단된다.

3.3 충전요금관리시스템

최근 아파트에는 홈네트워크를 기반으로 하는 정보시스템이 구축되고 있다. 따라서 전기자동차의 충전요금에 대한 과금시스템도 아파트의 홈네트워크 기반 정보시스템과 연동되어 구축할 수 있다.

그러나 아파트에는 입주자 뿐만 아니라 방문자에 의한 충전도 이루어질 수도 있고, 급속충전의 경우에는 충전완료 시 주차이동을 위하여 이를 알려주는 기능도 필요하다. 따라서 아파트에서의 전기자동차 충전요금관리시스템은 홈네트워크기반의 정보시스템과 연동된 시스템보다는 휴대전화 등을 이용한 무선 기반의 충전요금 관리시스템이 더 유용하다고 할 수 있다.

한편 전기자동차의 충전인프라가 아파트의 공용설비에 전력을 공급하는 동력변압기로부터 전원을 공급받는 전원공급체계에서는 전기자동차를 소유하지 않은 세대에 전기자동차 충전에 소요된 전력요금도 부과하는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 아파트 전체 세대에 부과되는 공용전기요금에서 전기자동차 충전에 소요된 전력요금이 포함되지 않도록 하는 제도 및 시스템적인 보완 노력이 필요하다.

4. 결 론

본 논문에서는 전기자동차가 향후 아파트에서 얼마나 보급될 것인가를 알아보기 위해 설문조사를 실시하여 분석하였다. 그 결과 2020년경에는 분양아파트에서는 가구당 0.25대, 임대아파트는 가구당 0.057대가 보급될 것으로 예측되었다. 이러한 전기자동차의 보급에 따라 필요한 충전인프라를 설계하기 위해서 필

요한 요소들로서 급속충전설비의 필요성, 변압기의 과부하 상태를 방지하기 위한 충전부하 제어시스템, 그리고 합리적 충전요금 관리를 위한 무선기반 충전요금관리시스템 등을 제안하였다.

본 논문은 한국토지주택공사의 재원으로 토지주택연구원에서 수행하였습니다.

References

- [1] Ryan Liu, Luther Dow, Edwin Liu, "A Survey of PEV Impacts on Electric Utilities", Innovative Smart Grid Technologies(ISGT), 2011 IEEE PES.
- [2] K.J. Yunus, MReza,H.Zelaya-De La Parra,K.Srivastava, "Impacts of Stochastic Residential Plug-In Electric Vehicle Charging on Distribution Grid, Power and Energy Society General Meeting, 2011.
- [3] Kejun Qian, Chengke Zhou, Malcolm Allan, Yue Yuan, "Load Model for Prediction of Electric Vehicle Charging Demand", 2010 International Conference on Power System Technology. 2010.
- [4] Shengnan Shao, Manisa Pipattanasomporn, Saifur Rahman, "Challenges of PHEV Penetration to the Residential Distribution Network", Power & Energy Society General Meeting. 2009.
- [5] Pia Grahn, Johanna Rosenlind, Patrik Hilber, Karin Alvehag, Lennart Soder, "A method for evaluating the impact of electric vehicle charging on transformer hotspot temperature", Innovative Smart Grid Technologies(ISGT Europe), 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition, 2011.
- [6] Frost & Sullivan, Analysis of the Global Electric Vehicles.
- [7] Wanhee Byun, Kihong Lee, Sanghyuk Lee, Hoyoung Kee, "Demand Forecasts Analysis of Electric Vehicles for Apartment in 2020, ITS Journal, Vol.11 No.3, 2012.6.
- [8] KERI, "Technical Trend of Charging Infrastructure for EV", 2011.12.
- [9] IEC64/1819/CD, "Low-voltage electrical installations-Part 7-722: Requirements for special installations of locations-Supply of electric vehicle, 2011.
- [10] Kihong Lee, Wanhee Byun, Hoyoung Kee, Myeong soo Kim, "Electric Vehicle Consumer Survey and Verification of Transformer Capacity for the Electric Vehicle Battery Charging in Rental Apartments", APEI, 2012.8.

◆ 저자소개 ◆



이기홍 (李起弘)

1962년 11월 17일생. 1988년 충남대 공대 전기공학교육과 졸업. 1990년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992년~현재 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원. 한국조명전기설비학회 편수이사. IEC TC 81 MT 8 국제전문위원(Member). IEC TC 37/SC 37A WG 3.4.5 국제전문위원(Member). IEC TC 37 국내 전문위원회 위원장. IEC TC 64 & 81 국내 전문위원. APL(아시아태평양 낙뢰 컨퍼런스) 한국위원장. APEI(아시아태평양 전기설비 컨퍼런스) 한국위원장.

E-mail : lkh21@lh.or.kr



기호영 (奇浩永)

1970년 8월 5일생. 1994년~현재 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원. 2007년 Florida State Univ. 객원연구원. 1999년 전남대학교 전산학과 수료(박사). E-mail : hykee@lh.or.kr



변완희 (邊琬熙)

1966년 1월 15일생. 2004년 일본 교토대학교 도시사회공학 공학박사 학위 취득. 2009년~현재 한국 ITS학회 편집위원. 2007년 6월~2009년 6월 서울교통환경포럼 이사 및 기술분과위원장. 2006년 5월 8일~현재 토지주택연구원 수석연구원. 2003년 11월 1일~2006년 5월 4일 한국 IBM 유비쿼터스 컴퓨팅 연구소 실장. 2003년 3월~2003년 7월 일본 시스템과학 연구소 연구원. 1999년 4월~2001년 2월 서울특별시청 교통운영개선기획단.

E-mail : newday94@daum.net