

논문 2013-50-1-25

# 전기자동차 운행특성 모의를 통한 충전패턴 분석에 관한 연구

( The Research about Analyzing the Charging Pattern using the  
Electric Vehicle Running Feature Simulation )

임 유 석\*, 방 창 현\*\*, 한 승 호\*

( You Seok Lim, Chang Hyun Bang, and Seung Ho Han )

## 요 약

본 논문에서는 전기자동차 충전인프라를 효율적으로 보급하는데 도움이 되도록 가상 충전인프라 시뮬레이터를 구현하여 다양한 전기자동차 충전인프라 정보들(충전현황, 충전패턴, 충전부하량, 충전요금 등)를 생성하고 그 결과를 분석하였다. 제안하는 시뮬레이터는 교통량정보제공시스템과 국토해양부 등의 통계자료를 바탕으로 전기자동차의 운행특성을 모의하였으며, 그에 따른 충전부하량 및 충전패턴을 분석할 수 있도록 구현되었다. 또한, 한국전력공사(KEPCO)에서 고시한 전기자동차 충전요금(안)을 적용하여 충전유형별, 차량용도별 및 시간대별 충전요금정산 결과를 분석해 볼 수 있었다. 본 논문에서는 제안하는 전기자동차 충전인프라 시뮬레이터를 통하여 전기자동차 충전인프라를 구성할 때 고려해야하는 요소들을 현실적인 상황과 유사하게 모의하여 분석할 수 있었다.

## Abstract

In this paper, we analyzed the various EV charging-infra information(charging status, charging pattern, charging rate, charging fee, etc.) through the charging infra simulator which would be of help to effectively construct the EV charging infrastructure. The proposed simulator virtually made the EV motoring pattern referred to TMS(Traffic Monitoring System) & Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, and analyzed the charging-infra information(amount of charging, accumulated charging fee, etc.) based on vehicle types, charging type, time and days using EV charging-fee list noticed by KEPCO. Through this simulator, we deducted some considerable contents to build the EV charging infrastructure similarly with real environment

**Keywords :** Electric Vehicle, Charging Pattern, EV Charging Infrastructure Simulator.

## I. 서 론

최근 탄소배출량의 증가로 인한 지구온난화의 우려에 따라 세계 여러 나라들이 환경문제에 이목을 집중시키고 있다. 특히 기존의 내연기관 자동차가 배출하는 탄소량이 전체 탄소배출량 대비 상당히 큰 비중을 차지

하고 있어, 많은 국가들이 탄소배출이 전혀 없는 전기자동차 연구개발에 박차를 가하고 있다. 이러한 각국의 관심도를 증명하듯이 매년 국제 모터쇼에서는 여러 자동차 제조사가 전기자동차, 하이브리드자동차 및 수소연료전지자동차 등 실제 판매가 가능한 친환경 차량을 대거 소개하고 있다. 이와 같은 세계동향에 발맞추어 우리나라도 2010년 G20 정상회의를 즈음해서 서울시내(한국전력공사 본사사옥 등)와 제주 스마트그리드 실증단지에 전기자동차 충전소를 구축하고 전기자동차 및 전기버스를 운행하는 등 실증을 통한 전기자동차 충전인프라 보급에 앞장서기 위해 노력하고 있다. 또한 국

\* 정회원, 한국전력공사 전력연구원  
(Korea Electric Power Research Institute)

\*\* 정회원, (주)원넷뷰  
(OneNetView)

접수일자: 2012년7월30일, 수정완료일: 2013년1월3일

제적으로 ISO/IEC(국제표준화기구), SAE(미국자동차공학회) 및 ChadeMo(일본 협의체) 등을 중심으로 전기자동차 충전인프라와 관련된 국제표준 제정활동이 활발하게 이루어지고 있으며, 우리나라의 경우 2011년 일부 분야에 대해서 ISO/IEC와 연계된 KS국가표준 3종을 제정한 바 있다.[1~4]

하지만 최근 들어 부쩍 증가한 관심에도 불구하고 전기자동차가 급속하게 보급되지 않은 것에는 몇 가지 이유가 있다. 첫째, 전기자동차의 성능과 배터리는 지속적으로 발전하여 안정성을 확보해 가고 있는 반면 고가의 배터리가 장착된 전기자동차의 높은 가격에 따른 소비자의 구매욕구 저하, 높은 인프라 구축비용에 따른 투자심리 위축 및 이에 따른 전기자동차의 양산 규모 산정에 어려움 등이 상충함에 따라 충전인프라의 구축이 현실적인 기대에 미치지 못하고 있는 실정이다. 둘째, 전기자동차 충전시간은 기존의 가솔린 및 경유 차량의 주유시간에 비해 긴 편으로 기존 운전자의 습관 및 욕구를 만족시키지 못하고 있다. 셋째, 현재 국제적으로 표준화 진행 중인 전기자동차 관련 규격들 중 전기자동차 전용 커넥터가 각 국가별로 상이하게 논의되고 있는데, 이는 글로벌한 자동차 시장에서 상호 운용성을 확보하기 힘들다는 점 때문에 전기자동차 대량생산을 방해하는 요인으로 작용하기도 한다.[5~6]

본 논문에서는 위에서 언급한 충전인프라의 구축 및 보급을 앞당기기 위해서 가상의 전기자동차 충전인프라 시뮬레이터를 구현하였다. 제안하는 시뮬레이터는 기존의 교통량 통계정보 및 전기자동차 충전유형 등을 바탕으로 전기자동차 운행특성을 가상으로 모의하였고 한국 전력공사(KEPCO)에서 고시한 전기자동차 충전전력요금을 적용하여 전기자동차 충전패턴과 정산된 충전요금 등을 분석할 수 있도록 구현되었다. II장에서는 전기자동차 충전인프라의 개요를 소개하고, III장에서는 제안하는 전기자동차 충전인프라 시뮬레이터에 대한 상세한 설명과 시나리오에 따른 모의실험 수행결과를 분석하였다. 끝으로 IV장에서는 본 논문의 결론을 맺고자 한다.

## II. 본 론

전기자동차를 충전하는 방식에는 크게 3가지의 형태로 구분할 수 있는데, 먼저 케이블을 사용하여 전기를 급전하는 방식의 접촉식 충전방식과 케이블 없이 전자

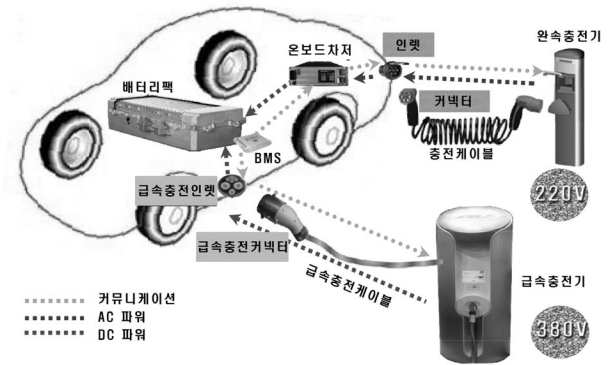


그림 1. 전기자동차 접촉식 충전시스템  
Fig. 1. The electric vehicle conductive charging system.

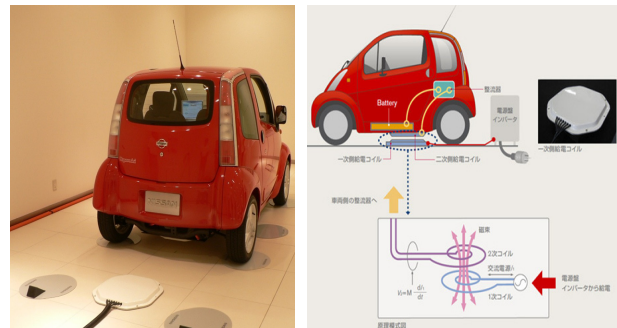


그림 2. Nissan의 비접촉 충전시스템  
Fig. 2. The inductive charging system of Nissan.

기 유도 현상을 활용하는 비접촉 충전방식 그리고 배터리 자체를 교환하는 배터리 교체형이 있다.

첫째는, 그림 1과 같이 일반적으로 공공장소에 보급될 것으로 예상되는 형태인 접촉식 충전방식이며, 충전기를 통해 전기자동차에 충전을 할 수 있도록 전력변환을 수행하여 충전케이블을 통해 차량과 직접연결 후 충전이 이루어지는 방법이다.

둘째는, 그림 2와 같이 케이블 없이 전자기 유도현상을 이용한 비접촉 충전시스템이다. 비접촉 충전시스템은 크게 고정식과 이동식 충전시스템으로 구분된다. 고정식은 전력을 공급하는 급전부(Primary Core)가 고정되어 있고, 수전부(Secondary Core)가 포함된 차량이 주차 또는 정차 했을 경우 충전이 가능한 시스템이며, 이동식은 KAIST의 OLEV (On-line Electric Vehicle)와 같이 차량 또는 전차 등이 이동하면서 지속적으로 전력을 급전 받는 시스템이다.[7]

셋째는, 위에서 설명한 2가지 방식과는 약간 다른 미국의 Better Place사에서 제안한 배터리 교체방식이다. 이는 배터리 부착위치와 형상 및 크기를 표준화하고 배

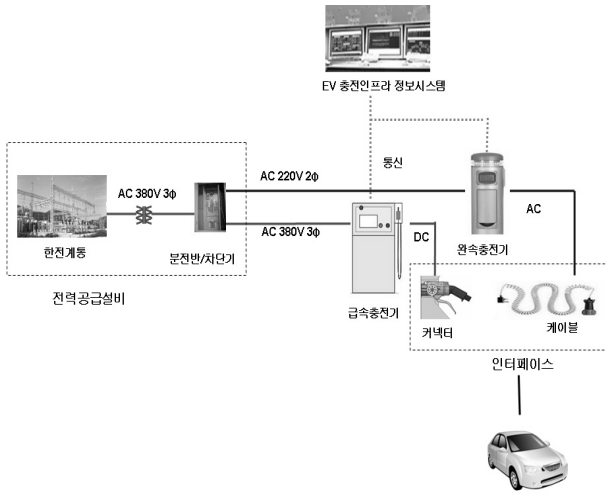


그림 3. 전기자동차 충전인프라  
Fig. 3. The EV charging infrastructure.

터리를 임대 또는 공유한다는 개념이며, 수 분내에 충전되어있는 배터리로 교체하여 운행하는 방식이다.<sup>[8]</sup>

전기자동차 충전인프라는 그림 3과 같이 전력공급설비, 충전소, 충전기와 충전인프라 운영시스템 등으로 구성된다. 전력공급설비는 일반적으로 한국전력의 전력계통으로부터 충전방식/용량에 따라 적절한 급전을 받을 수 있도록 배선이 연결되며, 차단기 및 분전반 그리고 전력량계 등으로 구성된다. 이러한 시설을 비교적 크게 갖추고 여러 대의 충전기를 구축하여 충전소를 구성하기도 한다.

충전기는 현재 우리나라에서는 완속충전기는 단상 220V를 급속충전기는 3상 380V를 입력으로 하며 충전기측의 커넥터와 전기차의 인렛(Inlet)을 통해 전력을 전송하는 인터페이스로 구성된다. 또한 이러한 충전(소)기의 설치 위치 및 이용 상태정보, 요금정보 전송 등 실시간으로 데이터를 수집하고 충전인프라 운영상태(충전 상황, 부하관리 등)를 모니터링하며, 필요시 충전부하를 직접제어하기 위한 운영시스템으로 구성된다. 이러한 운영시스템은 웹 또는 스마트 폰 어플리케이션 등으로 사용자 편의사항을 제공할 수도 있다.<sup>[9]</sup> 또한, 현재 한국전력공사에서는 제주도 스마트그리드 실증단지에 충전기를 설치하고 전기자동차 운행을 통해 충전인프라를 실증하고 있으며, 최근에는 가파도(탄소제로섬)에 전기자동차를 운행수단로 적용하여 마이크로그리드 환경을 실증하고 있다.<sup>[10~11]</sup>

### III. 시뮬레이터 구현 및 수행결과 분석

#### 1. 전기자동차 충전인프라 시뮬레이터 구현

본 논문에서는 가상의 전기자동차 운행특성을 모의하여 충전패턴, 충전전력 및 그에 따른 충전요금정산 등의 결과를 분석하고 충전인프라 구축의 기초자료를 제공하기 위한 전기자동차 충전인프라 시뮬레이터를 제안한다. 제안하는 시뮬레이터는 그림 4와 같이 충전데이터를 생성하는 가상 충전데이터 발생서버들과 Web 정보 제공 및 시뮬레이터 운영을 담당하는 Web/운영서버, 그리고 데이터 기록/유지를 위한 DB서버로 구성된다. 외부의 Client PC에서는 원격으로 입력변수를 설정하여 시뮬레이션을 구동하고 그 진행 상태를 모니터링할 수 있으며, 웹페이지 접속을 통해 시뮬레이션 결과 확인이 가능하도록 구현하였다.

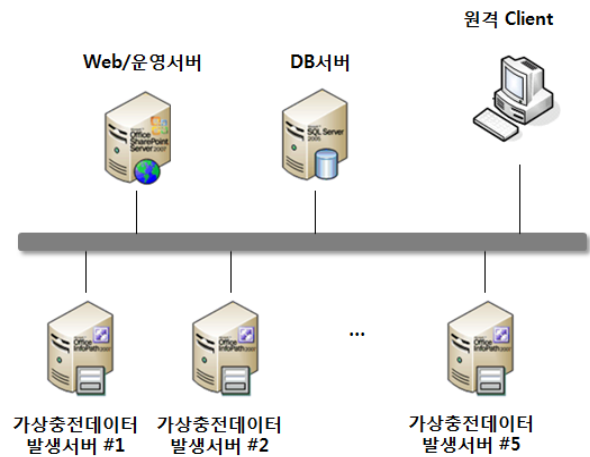


그림 4. 충전인프라 시뮬레이터 네트워크 구성  
Fig. 4. The network architecture for charging-infra simulator.



그림 5. 충전인프라 시뮬레이터  
Fig. 5. The charging-infra simulator.

위와 같이 구성된 시뮬레이터의 H/W구성은 그림 5와 같다. 또한, 시뮬레이션이 수행된 결과 중의 일부는 아래 그림 6과 같이 Web 기반 모니터링이 가능하도록 구현되어 그 결과를 확인할 수 있다.

시뮬레이터에서 구현된 전기자동차의 운행은 그림 7과 같이 먼저 차량이 운행 가능한 상태인지(충전 중 여부)를 확인하고, 충전 중이 아니면 배터리의 잔량 확인한 뒤 운행이 가능하다면 종료위치를 생성하여 차량운행을 시작한다. 운행 중일 경우 시뮬레이터는 지속적으로 차량의 배터리 소모율을 계산하고 운행이 종료되면 소모율을 최종 계산하여 충전전력량을 산정한다. 이후 차량을 충전하고 배터리의 잔량을 최신상태로 갱신하며 해당시간에 맞는 충전전력요금에 따라 충전한 만큼의 요금을 정산하여 DB에 업데이트 한 후 프로세스를 종료한다. 또한 차량이 충전중이거나 운행가능하지 않은 상태의 경우에는 충전량을 산정하여 충전프로세스를 진행하고 배터리 상태 갱신 및 전력요금을 정산을 수행한다. 구현한 시뮬레이터에서는 입력변수를 다양하게 하여 여러 개의 시나리오로 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 구현하였는데, 본 논문에서는 표 1과 같이 2가지의 운행시나리오를 가정하여 시뮬레이션을 수행하였

다. 첫 번째 방법은 차량을 용도(관용, 자가용, 영업용)에 따라 구분하여 분석하는 방법이다. 이때 각 차량의 수는 전기자동차 보급대수를 가정하고 기존의 내역기관 차량의 등록대수 비율에 따라 정의하였다. 표 2에 나타난 용도별 승용차의 등록대수는 국토해양부 홈페이지에

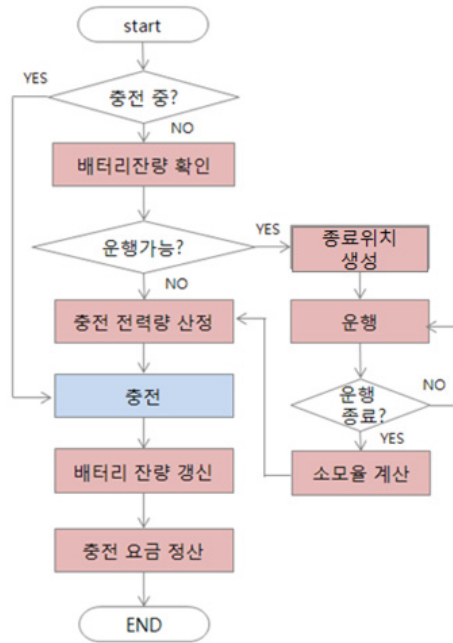


그림 7. 전기자동차 운행 및 충전알고리즘  
Fig. 7. The algorithm for EV running and charging.

표 1. 전기자동차 운행시나리오  
Table 1. The EV running scenario.

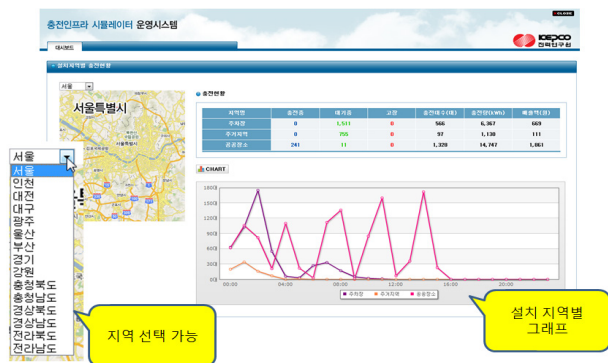
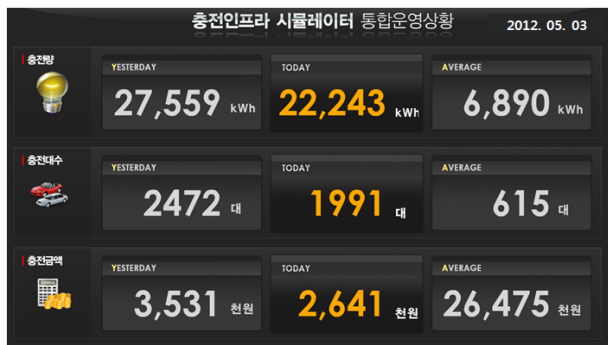


그림 6. 충전인프라 시뮬레이션 운영상황  
Fig. 6. The status for charging-infra simulation.

시뮬레이터 시나리오 구분		
구분	시나리오 #1	시나리오 #2
차량유형	3종 (관용, 자가용, 영업용)	1종
차량 생성위치	랜덤	고정
운행패턴	랜덤	4개 유형
운행도로	3종 (도시고속, 주간선, 보조간선)	
계절구분	여름철	
충전방식	완속(3.3kWh) / 급속(50kWh)	
배터리 용량	16kWh (기아자동차 Ray EV 참고)	
주행가능거리	140km (기아자동차 Ray EV 참고)	
차종별 등록대수	<국토해양부 통계자료> 2010년 서울시 승용차 등록 통계 참고	임의선정
운행속도 /거리	<교통량 정보제공시스템>/<traffic.seoul.go.kr> 2010년 서울시 차량통행속도 통계자료	
충전요금	한전 전기자동차 충전요금(안)	

표 2. 2010년 승용차 유형별 등록대수  
Table 2. The registration number of car in 2010.

차량등록대수				
용도별 차종	2010년 12월			
	관용	승용	영업	계
승용차	3,980	2,283,176	147,074	2,434,230
전기차(예)	8	4,690	302	5,000

표 3. 운행유형별 차량 운행시간  
Table 3. The car running time according to various types.

운행 유형별 차량운행시간 설정				
유형별	출근	외근/외출 출발	외근/외출 복귀	퇴근
유형 1	5:00~7:00	-	-	18:00~20:00
유형 2	5:00~7:00	10:00~12:00 12:00~14:00	14:00~18:00 15:00~19:00	18:00~20:00 19:00~20:00
유형 3	-	10:00~12:00 12:00~14:00 17:00~20:00	14:00~18:00 15:00~19:00 19:00~22:00	-
유형 4	6:00~10:00	10:00~13:00	13:00~16:00	17:00~19:00
유형별	외출	도착	이동	복귀

공개된 2010년 자동차 등록대수 현황 중 서울시의 등록대수를 발췌하여 적용하였고, 표 2에 나타난 것과 같이 총 전기자동차의 등록대수를 5,000대라고 가정하였을 경우 기존 차량의 총 대수 2,434,230대에 비례하여 자가용의 전기자동차는 식 (1)과 같이 계산되어 총 4,690대가 등록되었다고 가정하였다.<sup>[12~13]</sup>

전기자동차(자가용) 등록수

$$= \frac{\text{승용(자가용) 등록대수}}{\text{총 승용차 등록대수}} \times \text{총 전기자동차수} \quad (1)$$

$$= \frac{2,283,176}{2,434,230} \times 5,000 = 4,690$$

두 번째 방법은 전기자동차 충전인프라를 구체적으로 분석하기 위해 차량의 용도를 구분하지 않고 차량의 운행패턴을 4가지로 구분하여 그 결과를 분석하는 것이다. 먼저, 전기자동차는 운행이 종료될 위치를 설정하는데 출근/퇴근 유형은 출근 시에는 출발위치가 주거지이

표 4. 도로별/시간대별 통행속도 평균(2010년)  
Table 4. The mean-speed according to roads and time.

시간대별 통행속도					
도로별	시간대별	2010년 평균(km/h)			
		오전	낮	오후	전일
도시고속도로 (115 km)		38.6	51.3	34.8	42.9
주간선도로 (102 km)		22.5	22.8	18.9	21.9
보조간선도로 (55 km)		19.9	19.7	16.8	19.1

표 5. 전기자동차 충전전력 요금  
Table 5. The KEPCO's EV charging price.

전기자동차 충전전력 요금표					
구분	기본 요금	전력량요금(원/kWh)			
		시간대	여름철	봄/가을철	겨울철
저압	2,130	경부하	51.20	52.10	71.70
		중간부하	129.10	62.60	113.80
		최대부하	206.50	67.90	169.50
고압	2,290	경부하	46.60	47.50	62.10
		중간부하	98.40	57.10	89.70
		최대부하	145.40	60.60	123.30

계절별 / 시간대별 구분			
계절별 시간대별	계절별		
	여름철	봄/가을철	겨울철
경부하 시간대	7월 1일 ~ 8월 31일	3월 1일 ~ 6월 30일 9월 1일 ~ 10월 31일	11월 1일 ~ 약년 2월 말일
중간부하 시간대	23:00~09:00	23:00~09:00	23:00~09:00
중간부하 시간대	09:00~11:00 12:00~13:00 17:00~23:00	09:00~11:00 12:00~13:00 17:00~23:00	09:00~10:00 12:00~17:00 20:00~23:00
최대부하 시간대	11:00~12:00 13:00~17:00	11:00~12:00 13:00~17:00	10:00~12:00 17:00~20:00 22:00~23:00

고 도착위치는 자신의 회사가 될 것이며, 퇴근시는 반대의 경우가 될 것이다. 또한 기타 외근 및 외출의 경우는 목적지를 랜덤으로 생성하여 적용한다. 이때 차량의 현재위치는 기존 운행종료위치 또는 주거지(최초)가 된다. 이렇게 운행방향이 설정되는 동시에 운행시작시간

을 설정하는데 이는 4가지 운행유형에 따라 설정되는 운행시간의 범위를 표 3과 같이 설정하였고 그 범위 안에서 랜덤으로 생성된다.

또한, 운행시작시간에 따라 표 4와 같이 도시고속도로, 주간선도로 및 보조간선도로로 구분된 운행도로를 랜덤으로 설정하고 그에 따른 시간대별 운행속도를 적용한다. 이때 고려한 운행속도는 서울특별시 홈페이지에서 공개한 자료를 통해 발췌하여 2010년 통계자료를 바탕으로 적용하였다.<sup>[14]</sup>

운행종료시간

$$= \text{운행시작시간} + \frac{\text{운행거리}}{\text{운행속도(평균)}} \quad (2)$$

이렇게 운행거리, 속도 등이 결정되면 도착위치와 출발위치 사이의 운행거리를 계산하고 표 4에 나타낸 것과 같이 평균 운행속도를 활용하여 도착시간을 식 (2)와 같이 계산한다. 이때 해당 운행종료시간은 표 5의 시간대별 충전전력요금을 결정하는 요소가 된다.<sup>[15]</sup>

위에서 언급한 2가지의 운행시나리오에 공통적인 사항으로, 운행거리가 멀어서 중간에 충전이 필요할 경우는 급속충전을 하고 최종도착지점에서는 완속충전을 하는 것으로 가정하였고, 시나리오 #1에서 택시의 경우만 항상 급속충전을 하는 것으로 가정하였다. 표 1에 나타낸 것처럼 시뮬레이션에 사용한 전기자동차 규격에 따라 16kWh 용량의 배터리가 140km를 운행할 수 있다면 1km 운행에 0.1143 kWh의 전력을 사용할 것이고, 이는 배터리 SOC(State of Charge) 기준으로는 약 0.72%의 배터리 소모를 나타낸다.<sup>[16]</sup>

연비 (km/kWh)

$$= \frac{\text{차량의 최대주행가능거리 (km)}}{\text{차량의 배터리 용량 (kWh)}} \quad (3)$$

$$= \frac{140}{16} = 8.75 \text{ [km/kWh]}$$

이러한 관계를 기존 내연기관 자동차의 연비 개념으로 살펴보면 식 (3)과 같이 나타낼 수 있으며, 차량의 다른 요소에 의한 연비 저하를 고려하지 않는다면 RayEV의 경우는 kWh당 8.75 km를 이동할 수 있다.

이러한 정보를 바탕으로 현재 배터리의 양에서 소모될 전력량을 미리 계산하고 배터리의 잔량이 30%가 되는 시점에서 전기자동차는 가장 가까운 위치에서 급속

충전을 시행하는 것으로 가정하였다. 예를 들어 현재 전기자동차의 배터리가 60%인데 예상되는 총 이동거리가 80km라면, 1km이동에 0.72%의 배터리가 소모되므로 80km의 이동에는 57.6%의 배터리가 소모될 것이다. 그런데 차량이 이동 중에 배터리 SOC가 30% 이하가 되면 바로 충전한다고 가정했으므로 기존의 배터리 SOC 60%-30%, 즉 현재의 배터리 잔량(SOC)으로는 본 운행에 필요한 57.6%의 전력량을 감당할 수 없고, 30%의 배터리 SOC가 되는 위치까지 이동을 한 후 급속으로 충전을 하고 나머지 운행을 재개하는 것으로 가정하였다. 표 1에 나타낸 것처럼 완속충전기는 3.3kWh용량으로 차량의 배터리를 완충하는데 4~5시간이 걸리기 때문에 충전이 완료되는 시간을 계산하지만, 50kWh용량의 급속충전기는 15분 내외의 완전충전(20% → 80%, SOC)시간이 소요되므로 시간단위로 수행되는 본 시뮬레이션에서는 급속충전에 소요되는 시간은 고려하지 않았다. 또한, 전기자동차의 배터리 특성에 따라 완전충전의 개념이 급속방식과 완속방식이 다르게 설정되는데, 일반적으로 고전류로 급속충전을 하게 되면 배터리 수명에 영향을 미치는 것으로 알려져 있어 급속충전의 경우는 80%까지만 충전을 하고 완속충전은 90%까지 충전하는 것으로 설정하였다.<sup>[17]</sup>

## 2. 시뮬레이션 수행 및 결과분석

앞의 1절에서 제시한 2가지의 운행시나리오 중에서 시나리오 #1을 바탕으로 한달(30일)동안의 운행상황을 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

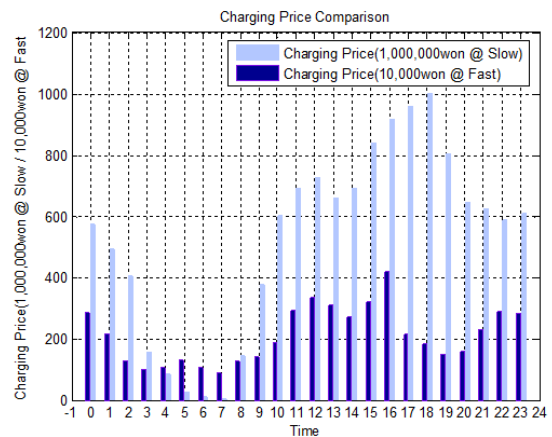


그림 8. 시간대별 완속/급속충전기 누적 충전요금  
Fig. 8. The comparison of total time-based charging price on the slow- / fast-charger.

먼저 그림 8은 완속충전기와 급속충전기의 누적 충전요금을 비교하여 나타낸 그래프이다. 표 2에 따르면 현재 관용차량과 자가용차량의 등록대수 합(4,698대)이 택시의 등록대수(302대)보다 월등히 많게 설정되어 있고 급속충전의 비중이 크지 않기 때문에 절대적인 누적 충전요금은 완속충전기가 많다. 하지만 급속충전의 경우는 택시의 운행이 거의 하루 종일 이루어지기 때문에 충전부하패턴이 시간대별로 크게 차이는 나지 않으며, 운행이 많을 것으로 예상되는 오전/오후 시간대(09:00~16:00)와 관용 및 자가용의 운행이 크게 줄어드는 저녁/심야 시간대(21:00~01:00)의 충전비중이 높은 것을 알 수 있다. 반면, 완속충전의 경우는 오전에 출근 이후에 충전과 퇴근 후의 충전이 맞물리면서 오전 10시 이후부터 익일 2시까지 충전 부하가 몰려있음을 알 수 있어 향후, 피크부하를 평균화할 수 있는 대안이 마련되어야 할 것으로 생각된다.

그림 9에는 시나리오 #1을 적용하여 시뮬레이션을 수행한 결과에 따라 급속충전이 필요한 지점을 나타내었다. 그림 9에서 왼쪽 위의 지역(A)은 급속충전의 밀도가 매우 높게 나타났고, 우측 아래의 지역(B)은 비교적 급속충전의 밀도가 낮게 나타났다. 만약 A 지역이 B 지역에 비해 급속충전을 수행한 횟수가 약 5배 정도 많다면 산술적으로 A 지역은 B 지역에 비해 평균 5배 이상의 전력이 필요할 것이며, 이러한 충전요구량을 수용하고 전력부하의 집중을 막기 위해서는 같은 면적 대비 5배 이상의 급전충전기가 설치되어야 할 것이다. 본 논문에서는 시뮬레이션 변수 설정에 랜덤성을 부여하여

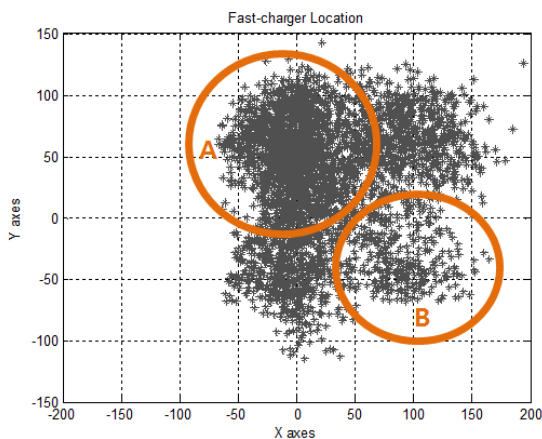


그림 9. 급속충전 요구지점  
Fig. 9. The location of demand for the fast-charging.

결과를 도출했기 때문에 실제 충전기의 구축을 위한 결과는 아니지만, 관용 및 자가용의 위치를 실제 지리정보시스템의 정보로 적용하고 택시의 운행을 보다 현실적으로 설정한다면, 이러한 결과를 급속충전기 인프라 구축을 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

다음으로, 운행시나리오 #2를 통한 시뮬레이션을 수행하기 위해 총 150대의 전기자동차가 운행되도록 설정을 하고 해당 차량의 주거지 위치(150개/차량 1대당 1 곳)와 회사 위치(3개 회사)를 정의하여 주간/월간 단위로 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 표 3에 나타낸 것과 같이 차량의 운행을 출근, 퇴근, 외근 및 외출(마트, 나들이 등) 등으로 보다 현실적으로 운행특성을 모의하여 결과를 분석해 보았다. 먼저 시뮬레이션을 통해 설정된 차량의 하루 평균 충전현황은 그림 10과 같다. 운행가장 많이 한 차량은 하루에 56kWh의 전력을 충전하였고 이는 16kWh 용량의 전기자동차를 3.5회 완전 충전한 것으로 분석되며, 마지막 충전횟수를 제외하여 2.5회 충전전력량(40kWh)을 완전히 소모했다고 가정하면 하루 동안 약 350km[배터리 소모량(kWh)\*연비(km/kWh)]의 거리를 운행했다고 분석될 수 있다.

다음 그림 11에 평일과 주말에 완속충전기로 충전한 전력사용량의 평균을 비교하여 나타내었다.

평일과 주말에 완속충전기로 소비하는 전력부하의 패턴은 오전에 이동한 차량에 대한 충전(회사)과 저녁에 이동한 차량에 대한 충전(주거지)이 주를 이루며, 주말 충전량이 평일 충전량에 비해 대체로 높은 이유는 주말에 비교적 장거리 이동이 많기 때문인 것으로 분석

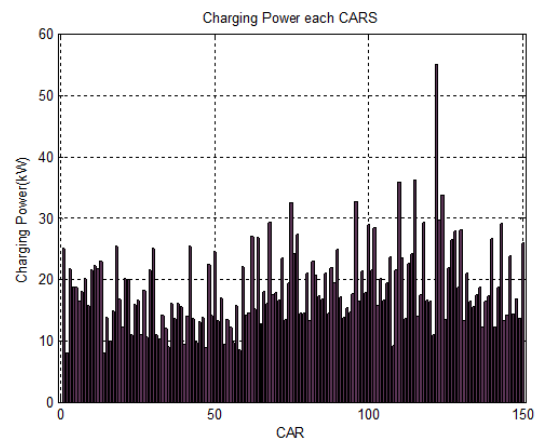


그림 10. 차량별 충전현황(일일)  
Fig. 10. The amount of day-charging on each cars.

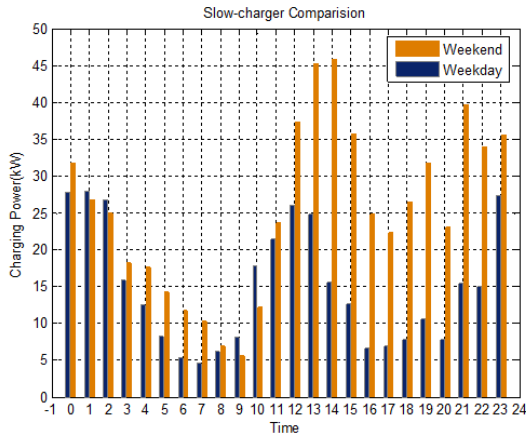


그림 11. 평일/주말의 완속충전 현황 비교  
 Fig. 11. The comparison of the slow-charging between weekday and weekend.

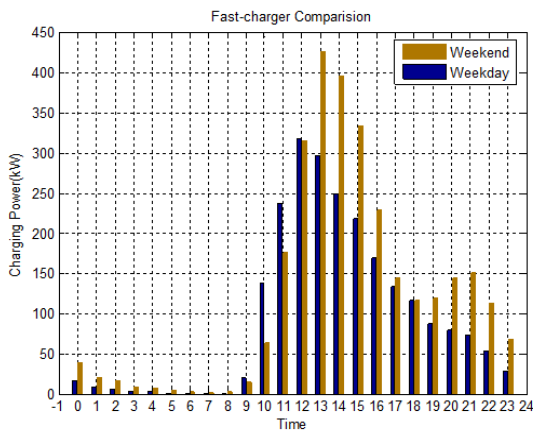


그림 12. 평일/주말의 급속충전 현황 비교  
 Fig. 12. The comparison of the fast-charging between weekday and weekend.

되었다. 또한, 이른 아침시간(4:00~7:00)까지도 충전부하가 있는 것으로 보아 일부차량들이 장거리 이동 후 늦은시간 주거지로 복귀함에 따라 평일에 비해 충전 완료시점까지 비교적 더 오랜 시간이 소요되는 것으로 분석되었다.

그림 12는 평일과 주말에 급속충전기로 충전한 전력 사용량의 평균을 비교하여 나타낸 것으로 완속충전기의 경우처럼 주말에는 이동거리가 길어 충전부하가 평일에 비해 더 많을 것으로 예상되는 반면, 낮/야간 시간대에 충전부하가 집중되는 현상을 확인할 수 있다. 또한 그림 12에 나타난 것처럼 시나리오 #2에서는 택시 등의 운행유형을 설정하지 않았기 때문에 심야시간에는 급속충전기로의 충전이 거의 이루어지지 않음을 알 수 있

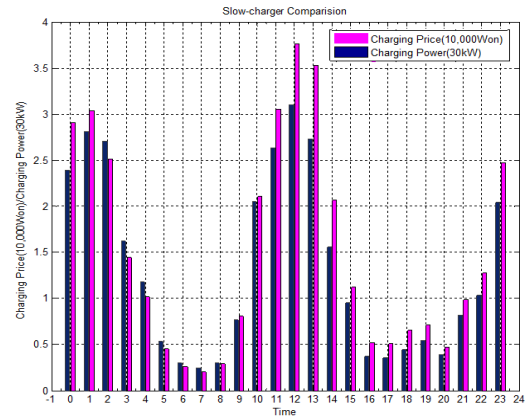


그림 13. 완속 충전현황과 충전요금과의 관계  
 Fig. 13. The relation with slow-charge power and price.

고, 아침에 출근차량들로 인해 오전시간대(09:00~11:00)의 충전량이 평일에 비해 주말에 비교적 많음을 알 수 있다.

다음의 그림 13은 완속충전기로 충전한 충전부하와 충전요금을 비교한 것이다. 그림 13과 표 5에서 확인할 수 있듯이 오전 8시(경부하시간대)에는 9kW의 충전량에 3,000원의 충전요금을 지불해야하는 반면 충전요금이 가장 비싼 오후 12시(최대부하시간대)에는 약 90kW의 충전량에 37,000원의 충전요금을 지불해야한다. 만약, 경부하시간대에 90kW의 전력을 충전하였다면 30,000원의 충전요금을 지불하면 되겠지만, 최대부하시간대에 충전을 했기 때문에 37,000원 즉, 7,000원을 더 지불해야만 한다. 이와 같이 고부하 시간에 더 높은 충전요금을 부과하는 요금정책으로 인해 소비자들은 비교적 충전요금이 낮은 시간대에 충전하려고 할 것이고, 상대적으로 낮은 충전요금을 요구하는 저부하시간대에 충전을 수행함으로써 전력계통 입장에서는 자연스럽게 피크부하를 분산시킬 수 있을 뿐만 아니라 사용자들 입장에서는 충전요금을 절감할 수 있을 것이다.

다음으로 시나리오 #2에 따른 충전인프라를 아래의 그림 14에 나타내었다. 시나리오 #2에 도착(운행종료)시에 완속충전을 한다고 가정하였으므로 완속충전기의 위치(●)는 그림 14의 주거지(◇)와 회사(●)와 일치하였다. 그리고 급속충전기의 위치(\*)는 주거지와 회사를 중심으로 밀집되어 있고 그 외부 지역으로 멀어져 갈수록 그 분포가 줄어들었다.

본 논문에서는 단순한 가정으로 결과를 분석하였지만, 실제 한 지역에 충전인프라를 분석하기 위해서는



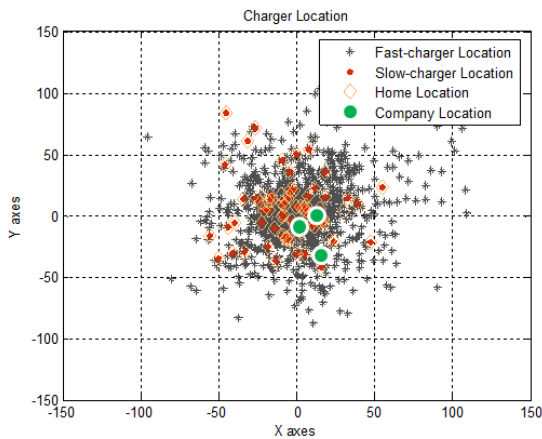


그림 14. 전기자동차 충전인프라 현황  
Fig. 14. The EV charging infrastructure.

입력변수에 주거지의 위치와 해당 전기자동차가 이동하는 목적지(회사, 마트, 병원 등)를 설정해 놓고 시간에 따라 시뮬레이션을 한다면, 실제 충전기가 필요한 위치가 밀도로 나타나게 될 것이며 해당 지역을 면적으로 구분하고 그 지역에 충전량 통계를 바탕으로 몇 대의 급속충전기와 완속충전기를 설치해야하는지 등을 분석해 볼 수 있을 것이다.

끝으로, 지역별로 필요한 급속충전기 수량을 분석해 보기 위해 시나리오 #2를 기준으로 총 50,000대의 전기자동차가 운행된다고 가정하여 시뮬레이션을 수행하였고, 급속충전이 필요한 지점을 검정색(\*)으로 표시하였다. 시나리오 #2에 따라 급속충전을 수행하는 경우는 배터리의 용량이 30%에서 80%까지 즉 50%(8kWh)를 충전하는 것으로 설정하였으므로, 1대의 급속충전기로 1시간에 충전할 수 있는 차량의 수는 식 (4)와 같이 계산되어 시간당 약 6대의 전기자동차를 충전할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{충전가능대수}/1h &= \frac{\text{급속충전기용량}(kWh)}{\text{급속충전량}(kWh)} \\ &= \frac{50}{8} = 6.25 \approx 6 \text{ 대} \end{aligned} \quad (4)$$

이러한 결과를 바탕으로 지역별 필요한 급속충전기의 수량을 파악하기 위해 그림 15의 노란색 블록지역(⊠)을 보다 세분화하여 분석해 보았다. 각 노란색 블록지역을 세부지역으로 나누고, 해당 지역에서 시간당 요구되는 급속충전 전력량(kWh)을 팝업에 나타내었다. 그리고 각 세부지역 일부를 합쳐서 충전전력량이 50kWh정도가 되면 빨간색(A), 파란색(B), 초록색(C), 보라색(D)의 중간지역으로 구분하였다. 시뮬레이션에서

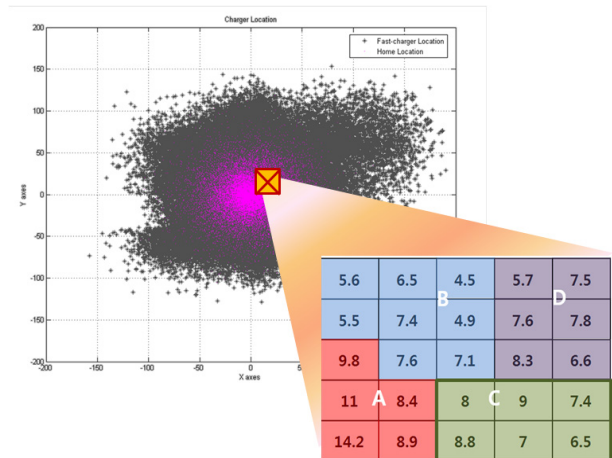


그림 15. 국소지역 급속충전기 요구수량 분석  
Fig. 15. The analysis about the number of demand for fast-charger at small area.

급속충전기 용량을 50kWh로 설정하였기 때문에 급속충전 요구차량을 대기시간 없이 수용하려면 각 중간지역에 1대씩의 급속충전기가 설치되던 된다. 하지만 본 논문에서 수행한 시뮬레이션에서는 실제 지리적 특성을 반영하지는 못하였으므로, 향후 실제 지형 및 거리 특성을 시뮬레이션 변수로 적용한다면 보다 현실적인 분석을 할 수 있을 것이다. 예를 들어 “각 중간지역 2곳(A와 B)을 묶어서 한 곳(A와 B의 중간지점)에 2대의 급속충전기가 구비된 한곳의 충전소를 구축하거나, 모든 중간지역간 거리가 가깝고 접근이 용이하다면 A, B, C, D 중간지역의 중앙에 1곳의 충전소를 구축하고 급속충전기 4대를 한 번에 설치하여 충전인프라 구축에 효율성을 높일 수 있다”는 등의 보다 현실적인 분석도 해 볼 수 있을 것이다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 전기자동차 충전인프라를 효율적으로 보급하는데 도움이 될 수 있는 가상 충전인프라 시뮬레이터를 구현하여 전기자동차 운행특성을 모의하고 운행 유형 및 충전요금(안) 등의 정보설정을 통해 전기자동차 충전패턴 및 충전요금 정산결과 등을 분석하였다. 시뮬레이터의 제약조건에 따라 실제상황을 100% 모의하기는 어려웠지만 교통량정보제공시스템과 국토해양부 등의 통계자료를 참고로 시뮬레이션을 수행한 결과로 충전부하패턴이 차량의 운행유형, 충전기 타입 및 시간대에 따라 어떻게 나타나는지 분석해 볼 수 있었

다. 또한, 한국전력공사에서 고시한 전기자동차 충전요금이 전력부하율에 따라 다르게 산정되어 있어 고부하 시간대에는 상대적으로 높은 요금을 지불해야하며, 전기자동차 충전이 기존의 부하패턴과 동일하게 맞물린다면 현재 문제가 되고 있는 피크부하의 수치가 보다 높아 질 것이 예상됨을 알 수 있었고, 전기자동차 확대 보급에 따른 충전부하 분산방안을 필히 강구해야 할 것이다. 향후, 현실적인 지리정보 및 차량 운행특성을 시뮬레이터에 적용한다면 실질적인 충전인프라 분석을 할 수 있을 것으로 생각된다. 끝으로, 본 논문에서 제안한 시뮬레이터가 전기자동차 보급 및 충전인프라 확산을 위한 사전 분석도구로 활용될 수 있길 기대해본다.

**참 고 문 헌**

[1] 손홍관, “전기자동차 충전인프라와 스마트그리드,” 전기의 세계, 제59권, 제4호, pp. 47-53, Apr., 2010.  
 [2] 고준호, “전기자동차와 충전인프라,” 한국도로학회 도로, 제11권, 제4호, pp. 45-49, Dec., 2009.  
 [3] 안상필 외, “전기자동차 충전인터페이스 표준화 동향 연구,” 한국조명·전기설비학회 2010 추계학술대회 논문집, pp. 182-183, Oct., 2010.  
 [4] <http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=101&oid=001&aid=0005137024>.  
 [5] 한동희, “전기자동차 보급 활성화와 스마트그리드 정책,” 도로교통 Bi 위클리, Vol. 150, pp. 1-3, Jul., 2011.  
 [6] 남문석, “전기차 보급의 열쇠, 충전 인프라,” 도로교통 Bi 위클리, Vol. 150, pp. 4-7, Jul., 2011.  
 [7] <http://olev.kaist.ac.kr>.  
 [8] 홍일선, “전기차 충전에서 다양한 사업모델 나온다,” LG Business Insight, Weekly 포커스, pp. 50-56, Sep., 2009.  
 [9] “전기자동차 충전인프라 설치·운영지침,” 환경부, pp. 5-11, Jan., 2012.  
 [10] <http://www.kepco.co.kr/sg/>.  
 [11] <http://www.jejudomin.co.kr/news/articleView.html?idxno=1605>.  
 [12] [http://www.index.go.kr/egams/stts/jsp/potal/stts/PO\\_STTS\\_IdxMain.jsp?idx\\_cd=1257&bbbs=INDX\\_001&clas\\_div=C](http://www.index.go.kr/egams/stts/jsp/potal/stts/PO_STTS_IdxMain.jsp?idx_cd=1257&bbbs=INDX_001&clas_div=C).  
 [13] [www.road.re.kr](http://www.road.re.kr).  
 [14] [http://traffic.seoul.go.kr/wp-content/themes/transport/data/2010\\_2.pdf](http://traffic.seoul.go.kr/wp-content/themes/transport/data/2010_2.pdf).  
 [15] [http://cyber.kepco.co.kr/cyber/popup\\_cyber/pop\\_2010/pop\\_20100801/pop\\_20100801\\_2.html](http://cyber.kepco.co.kr/cyber/popup_cyber/pop_2010/pop_20100801/pop_20100801_2.html).

[16] 박종건, 임영철, 이홍수, 변성천, 류영재, “마이크로 콘트롤러를 이용한 전기자동차용 배터리 잔존용량 계의 개발,” 대한전자공학회 학술발표회 논문집, pp. 304-307, Feb., 1996.  
 [17] [http://www.onenetview.com/bbs/board.php?bo\\_table=onenetviewnews&wr\\_id=3](http://www.onenetview.com/bbs/board.php?bo_table=onenetviewnews&wr_id=3).

**저 자 소 개**



**임 유 석**(정회원)-교신저자  
 2004년 인하대학교 전자공학과 학사 졸업.  
 2009년 인하대학교 정보통신 대학원 정보통신공학과 석사 졸업.  
 2009년~현재 한국전력공사 전력연구원 스마트에너지 연구소 재직 중.

<주관심분야 : 이동/무선통신, 정보보안, 제어시스템, 전기자동차 충전인프라>



**방 창 현**(정회원)  
 1988년 숭실대학교 전자계산학 학사 졸업.  
 1995년 (주)타이온스 연구소장  
 2005년 (주)삼정데이터시스템 연구소장  
 2008년~현재 (주)원넷뷰 정보통신연구소장 재직 중

<주관심분야 : 통신, 분산처리컴퓨팅, 알고리즘, 대규모DBMS >



**한 승 호**(정회원)  
 1984년 부산대학교 물리학과 학사 졸업.  
 1986년 고려대학교 물리학과 석사 졸업.  
 1994년 캘리포니아 주립대학교 물리학과 박사 졸업.

1997년~현재 한국전력공사 전력연구원 스마트에너지연구소 재직 중.

<주관심분야 : 전기자동차, 충전인프라, 전력전자, 컴퓨터, 정보처리, 통신>