ISSN 1975-8359(Print) / ISSN 2287-4364(Online)
The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 63, No. 2, pp. 217~223, 2014
http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2014.63.2.217

스마트 플레이스 부하모델 개발을 위한 이동성 부하 및 보급 패턴에 관한 연구

A Study on Mobility Loads and the Deployment Patterns for the Development of Smart Place Load Model

황 성 욱* · 송 일 근* · 김 정 훈†
(Sung-Wook Hwang · Il-Keun Song · Jung-Hoon Kim)

Abstract - Recently, various researches and projects about electric vehicles are in progress vigorously and continuously and it is expected to penetrate rapidly with the next a few years. This deployment will cause the change of load composition rate affecting on power system planning and operations. Therefore, a new load model should be developed integrating with electric vehicle loads. In this paper, the load composition rate of residential sectors is analyzed considering the deployment of this mobility load such as electric vehicles and a new diffusion model is proposed based on the classification of the replacement patterns. Additionally, electric vehicle charging loads are basically modeled by some individual load experiments to develop new load models for smart place and some new conceptual power systems such as micro grids.

Key Words : Load model, Load composition rate, Load forecasting, Mobility load, Electric vehicle, Deployment pattern, Diffusion model, Smart place, Micro grid

1. 서 론

최근 전기자동차 개발 및 보급과 관련 연구가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있으며, 우리나라의 경우 현재 공공기관을 대상으로 시범보급사업을 진행하고 있고 민간 판매를 앞두고 있다. 이러한 전기자동차의 보급은 전력소비량의 증가와 전력사용패턴의 변화를 가져오기 마련인데, 보급 초기에는 전력계통에 큰 영향이 없겠지만 보급 확대에 따라 전력수급 및 전력품질 측면에서 전력계통에 전반적으로 영향을 미칠 것으로 판단된다. 이런 관점에서 전기자동차 충전부하의 특성을 분석하고 전력계통에 미치는 영향을 평가할 필요가 있는데, 전력계통해석 시 필수적으로 요청되는 부하모델이 우선적으로 개발되어야 한다. 부하모델 개발을 위해서는 부하구성비 추정과 부하실험이 선행되어야 하는데, 본 논문에서는 이를 위한 기초 단계로서 전기자동차의 일정 비율 보급 시마다 변화하는 부하구성비의 변화를 분석하였고 이에 따른 전기자동차 충전부하의 예측 및 보급모형 개발 필요성을 제시하였으며, 실제 전기자동차 충전기를 대상으로 부하실험을 수행하여 개별기기 수준의 부하모델을 도출하였다. 전기자동차 충전부하의 부하구성비는 충전부하가 이동한다는 특성상 단일한 부하구성비가 아닌 장단기적으로 시계열의 부하구성비가 필요한데, 극단적으로 명절과 같은 특수일의 경우를 대상으로 부하예측을 통하여 그 필요성을 확인하였고, 장기적으로 기존 자동차를 전기자동차가 교체해나가는 패턴을 분석하고 이를 기반으로 전기자동차의 보급모형을 제시하였다. 전기자동차의 보급 추이 산정을 위해서는 자연현상 및 사회현상을 설명하는데 널리 활용되어온 Bass의 확산모형 및 관련 선행연구의 보급 패턴을 활용하였다. 추정하고자 하는 부하구성비는 전기자동차의 시계열 보급 추이를 반영한 연도별로 상이한 부하구성비로서, 이는 전력계통계획 시 중장기적인 부하 변화를 적절히 반영하는데 도움이 될 것으로 판단되며, 전기자동차 충전부하의 수리모델은 향후 전기자동차와 같은 이동성 부하를 포함한 부하모델 개발의 기초 자료로 활용될 것으로 기대된다. 아울러 본 논문에서 논하고 있는 전기자동차와 같이 기존과 다른 특성과 규모를 갖는 부하를 포함한 부하모델의 개발은 독립형 또는 연계형 마이크로그리드의 도입과 같은 전력계통의 패러다임 변화에 대응하기 위한 선제적 연구로서 향후 대규모뿐만 아니라 소규모의 계통해석에 있어서 반드시 필요한 분야라 할 수 있다.

* Micro Grid R&BD Center, KEPCO Research Institute, Korea
† Corresponding Author : School of Electrical Engineering, Hongik University, Korea
E-mail : kimjh@hongik.ac.kr
Received : January 7, 2014; Accepted : January 20, 2014

2. 전기자동차 충전부하에 의한 계통 부하 특성 변화

2.1 전기자동차 충전부하 특성

전기자동차의 보급 초기에는 충전부하가 전력계통에 미치는 영향이 미미하겠으나, 보급 확대에 따라 전력 수급의 양적인 측면과 질적인 측면에 모두 영향을 줄 것으로 예상된다. 이는 자동차의 운전패턴이 하루 중에는 출퇴근시간에 집중되고, 명절과 같은 특수한 시기에 차량 운행이 집중되는

현상에 따라 전기자동차의 충전패턴도 영향을 받아서 전력계통에 미치는 영향이 통상적인 수준을 넘을 것으로 판단되기 때문이다. 급속충전하고 있는 전기자동차 1대를 놓고 본다면, 일반적으로 정전류(CC: Constant Current)로 충전을 하다가 충전이 일정 수준에 이르면 정전압(CV: Constant Voltage)로 충전을 하게 된다[1]. 이는 마치 컵에 물을 따를 때 가득 채우기 위해서는 처음에는 일정한 양의 물을 따르다가 마지막에 가서는 양을 서서히 줄이고 조금씩 수위를 봐가면서 물을 채우는 것과 유사한 것이라고 볼 수 있다. 완속충전의 경우에는 컵에 물을 매우 천천히 일정한 양으로 끝까지 따르는 것과 마찬가지로, 정전류 모드로 충전을 하게 되므로 급속충전과는 또다른 부하 특성을 나타낸다. 이러한 부하 특성이 계통해석 시 전기자동차의 부하모델링에 반영되어야 하는데, 급속충전과 완속충전의 비율에 따라 계통의 특성이 달라진다. 급속충전의 경우에는 주유소와 같이 수시로 충전이 가능한 특성을 갖고 있는 반면에 완속충전의 경우에는 주로 심야시간에 주택의 주차장에서 장시간 충전을 하거나, 마찬가지로 낮 시간에 업무용 건물의 주차장에서 연속적인 충전을 하는 특성이 있는데, 본 논문에서는 이러한 장시간 및 연속 충전하는 완속충전에 초점을 맞추었다.

2.2 주택용 부하 특성의 변화

선행연구[2]에서는 전기자동차 교통량 변화에 따른 전압변동 특성에 대하여 분석하였는데, 이 연구에서는 전기자동차 1대당 일일 전력사용량을 약 5.1kWh로 산정하였고, 귀가 후 주택에서만 충전을 한다고 가정하여 그림 1과 같은 전기자동차 충전 비율을 산출하였다. 이 연구에서 고려한 홈충전기의 용량은 3.1kW이다.

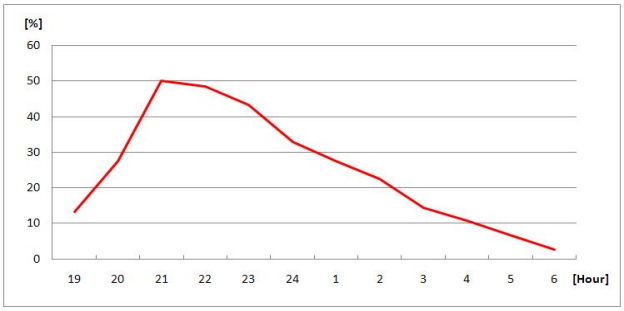

그림 1 전기자동차 충전 비율[2]
Fig. 1 Hourly charging ratio of electric vehicle[2]

그림 1과 같은 전기자동차 충전비율은 그림 2와 같은 주택용 부하곡선의 변화를 가져오는데, 21시를 전후로 기존의 주택용 부하의 부하구성비가 크게 달라지는 결과를 가져온다. 본 논문에서 고려한 주택용 부하는 660세대로 구성된 아파트 고객으로서, 전기자동차의 보급률에 따른 부하구성비의 변화를 그림에 보였다. 단, 여기서는 여름철의 경우를 비교하였다. 전기자동차의 보급률이 높아질수록 귀가 이후 저녁시간대의 부하 수준이 높아지는 것을 보이는데, 21시를 기준으로 전기자동차 보급 전에 비하여 50% 보급되었을 때 약 40%의 사용량이 증가한다. 이러한 부하 수준의 증가는 주택용 부하의 저녁시간 및 심야시간대 피크 발생에 더욱 악영향을 미쳐서 아파트 수전설비의 증설을 가져오는 요인이 된다. 반면에 보급률 10% 수준까지는 저녁시간대 부하가 증가하기는 하지만 기존의 피크 수준 정도에 머무르기 때문에 수전설비 용량에 여유가 있다. 따라서, 향후 전기자동차의 보급 시에는 수전설비 증설을 필요로 하는 보급률을 정밀하게 예측하여 관련 고객에게 증설 안내 및 지원 제도 마련이 고려되어야 한다.

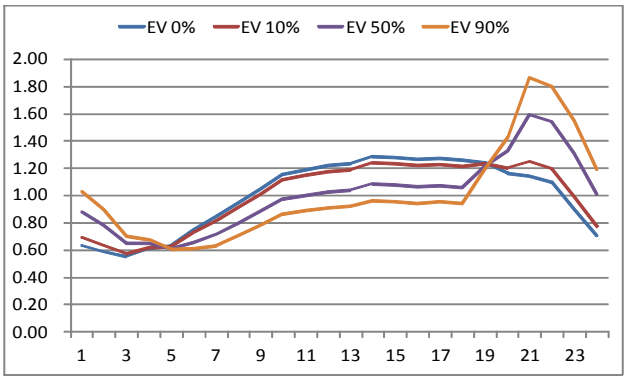

그림 2 전기자동차 보급에 따른 부하구성비 변화
Fig. 2 Load composition ratio by electric vehicle diffusion

3. 전기자동차 보급모형 제안

3.1 전기자동차 이동성 부하 예측

먼저 전기자동차 부하예측을 위해서는 우선 예측 대상 지역 및 연도를 설정하고 확산모형에 입력하여 지역별로 주거용으로 보유하고 있는 고정성 전기자동차의 수를 예측한다. 여기서, 배터리 및 자동차의 기술개발로 확산모형의 계수가 변형되면 확산모형에 입력하여 변경한다. 그 이후 교통량을 조사하여 한 지역에 유입되는 전기자동차 수량을 예측하여 밤사이 유입되어 충전하는 이동성 전기자동차 수량을 예측한다. 그 절차를 다음 그림 3에 보였다.

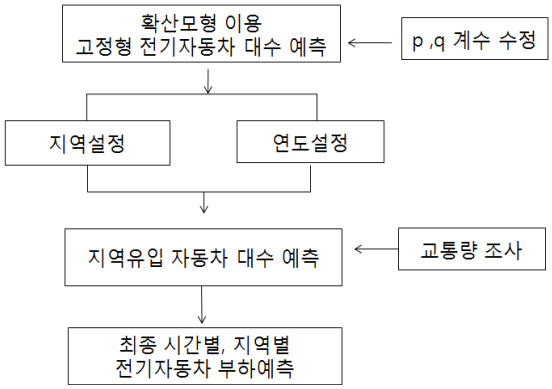

그림 3 전기자동차 부하 예측 절차
Fig. 3 Process of electric vehicle load forecasting

전기자동차는 전기적 특성을 가지면서 이동한다는 특징을 가지고 있기 때문에 어디로 이동하여 부하가 발생할 것인지 예측하는 것이 중요하다. 전기자동차가 자동차라는 사실에 입각하여 몇 백만 명의 인구가 이동하는 설과 추석 연휴 기간의 교통량 자료[3]를 이용하여 전기자동차의 이동 부하 예측을 할 수 있다. 본 논문에서는 전기자동차 예측 지역을 5개의 권역으로 나누고, 이동 중의 충전은 제외하기로 한다. 그 이유는 이동 중의 충전은 산발적이고 그 충전부하량이 크지 않을 것으로 예상되므로 전력수급에 큰 문제를 끼치지 않을 것으로 판단되기 때문이다.

유입된 차량에서 유출된 차량의 수를 빼면 총 그 지역에 유입된 자동차 수를 알 수 있다. 그 중 전기자동차의 보급이 확산모형에 따라 혹은 전기자동차 로드맵에 따라 고르게 보급 된다고 가정하여 전기자동차의 대수를 계산 할 수 있다. 아래의 표 1은 전기자동차 로드맵을 기준으로 한 특수일의 전기자동차 이동 상황을 분석한 것이다. 마이너스 부호가 유출을 의미한다. 이처럼 전기자동차의 이동량이 도출되면, 자동차의 충전용량을 산정 할 수 있는데 본 논문에서는 국내 판매된 자동차 중에서 가장 비중이 높은 준중형세단(96km)의 배터리 용량을 기준으로[4] 표 2와 같이 산정해 보았다.

표 1 특수일 전기자동차 이동_10% 보급 시 (단위: 천대)
Table 1 Shift of electric vehicles at special days (unit: 1000)

기간 / 지역	설		추석	
	귀성시	귀경시	귀성시	귀경시
수도권	-99.9	62.8	-96.8	142.9
강원	11.2	0.2	11.4	-2.9
충청	17.4	-3.2	3.9	-9.1
경상	59.8	-27.9	51.7	-54.9
전라	11.5	-31.9	29.8	-76

표 2 지역별 충전용량_준중형 10% 보급 시 (단위: MW)
Table 2 Local charging capacity of semi sedan (unit: MW)

기간 / 지역	설		추석	
	귀성시	귀경시	귀성시	귀경시
수도권	-9.60	6.04	-9.30	13.73
강원	1.08	0.02	1.10	-0.28
충청	1.67	-0.31	0.37	-0.87
경상	5.75	-2.68	4.97	-5.28
전라	1.11	-3.07	2.86	-7.30

위에서 예측한 전기자동차 이동성 충전부하는 향후 수립되는 초기의 보급 정책이 어떠냐에 따라 그 추이가 달라질 수밖에 없기 때문에 추정하기가 매우 어려운데, 이는 전기자동차 외에 하이브리드 자동차, 수소연료전지 자동차 등의 경쟁관계에 있는 운송수단의 개발 및 보급 추이와 기존 자동차의 연료비용 변화 추이, 자동차산업의 내수 및 수출 경기 등 다양한 영향변수가 있기 때문이다. 이와 같이 보급 추이 추정에는 다양한 가정과 전제조건이 따를 수밖에 없으며, 정책수단별로 보급 추이를 추정하거나 보급 추이에 영향을 주는 인자들에 의한 민감도 분석을 수행하는 것이 더욱 가치가 있다. 본 논문에서는 전기자동차의 보급 추이 추정을 위하여 전기자동차의 보급 패턴을 상세히 분류하고 이를 수리모형화하는 것에 초점을 맞추었으며, 이를 기반으로 후속 연구에서 초기의 전기자동차 보급실적을 활용하여 실제 보급 추이를 추정하고자 한다.

3.2 보급모형 개발을 위한 전기자동차 보급 패턴 분류

전기자동차의 보급 추이를 추정하기 위하여 다양한 관련 연구[2][5][6]에서 다양한 확산모형을 이용한 방법론과 확산계수들을 제안한 바 있는데, 본 논문에서는 정밀한 보급 추이 추정을 목적으로 하는 것이 아니기 때문에 통상적으로 사회현상 및 자연현상 설명에 널리 활용되어온 Bass 확산모형과 같은 보급모형을 개발을 전제로 기존자동차의 보급 패턴을 바탕으로 전기자동차의 가능한 보급 패턴을 분류한다. 제안하는 전기자동차의 보급 패턴 분류는 중장기적으로 전기자동차에 의하여 변화하게 부하구성비를 표현할 수 있는 시계열 기반 부하구성비 추정 모델 개발의 전 단계가 된다. 제안하는 보급 패턴 분류는 하이브리드 자동차나 수소연료전지 자동차와 같은 다른 운송수단의 영향은 배제하고 휘발유, 디젤, LPG 등을 사용하는 기존의 자동차를 순수한 전기자동차로 교체하는 것만을 고려한다. 단순한 교체가 아닌 자동차의 수명과 신차 또는 중고차의 경우까지 반영했을 때 표 3과 같이 매우 다양한 교체 패턴이 나타난다. 우선 향후 전기자동차의 중장기적 보급을 전제로 ①~④와 같은 기존의 자동차 교체 패턴은 배제한다. 전기자동차 보급 초기에는 ⑤와 ⑥과 같은 기존자동차(신차 및 중고차)를 전기자동차 신차로 교체하는 경우가 발생하고, 이후 보급이 활성화되면 ⑦, ⑧과 같이 기존자동차를 중고 전기자동차로 교체하는 경우도 나타날 것이다. 이 경우에는 성능이 검증되고 가격이 저렴한 것을 선택하려는 소비패턴이 작용하게 된다. 보급 초기에 경우에 따라서는 전기자동차의 성능이 마음에 들지 않아 ⑨~⑫처럼 전기자동차에서 기존자동차로 다시 돌아가는 경우도 있을 수 있으나 이는 매우 극히 드문 경우라 할 수 있겠다. 기존자동차에 전기자동차로 시장전환이 대부분 이루어진 경우에는 ⑬~⑯의 교체 패턴이 다양하게 나타날 것이다.

표 3 전기자동차 교체 패턴 분류
Table 3 Classification of electric vehicle replacement pattern

현재 \ 미래	기존자동차 신차	기존자동차 중고차	전기자동차 신차	전기자동차 중고차
기존자동차 신차	①	③	⑤	⑦
기존자동차 중고차	②	④	⑥	⑧
전기자동차 신차	⑨	⑩	⑬	⑭
전기자동차 중고차	⑪	⑫	⑮	⑯

표 3에서 정리한 전기자동차 교체 패턴 중 ⑤와 ⑥은 보급 개시단계, ⑦과 ⑧은 보급 초기단계, ⑬~⑯은 시장전환 단계에서 나타날 것으로 판단되는데, 이러한 교체 패턴은 기존에 차량을 소유하고 있는 경우만을 고려한 것이고, 생애 최초 차량 구입 시와 폐차를 하는 경우는 반영되지 않았다.

또한, 전기자동차가 지속적으로 보급되더라도 여전히 자동차의 수명과 감가상각 등을 고려하여 기존자동차를 유지하는 경우가 있기 때문에 모든 교체 패턴을 표 3과 같이 분류할 수는 없다. 이를 단순하게 처리하기 위해서 기존자동차를 계속 유지하는 경우와 폐차 후 재구입하지 않는 경우는 일정 비율로 처리하고, 최초로 전기자동차를 채택하는 경우만을 고려한다. 또한, 기존자동차의 신차 및 중고차는 하나의 경우로 단순화하면 전기자동차 신차 선택을 포함하여 총 8가지의 교체 패턴이 나온다. 여기서, 수명이 다 되지 않은 경우 교체하는 것은 중고 전기자동차의 잠재량 발생을 의미하며, 이러한 보급 특성이 기존의 고효율기기 교체 패턴[7]과 다른 점이다. 이를 고려하여 교체 패턴을 다시 정리하면 다음 그림 4와 같다.

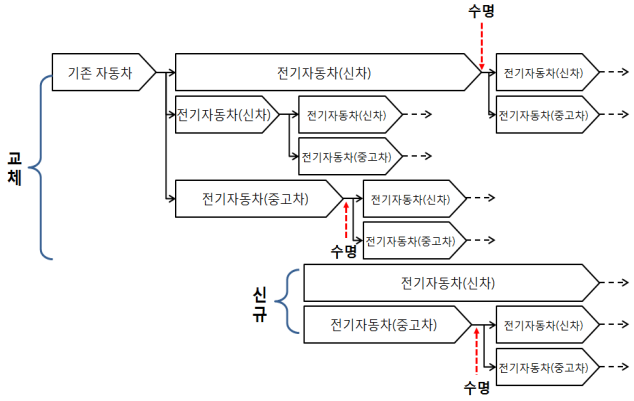

그림 4 전기자동차 교체 추이 모델

Fig. 4 Replacement progress model of electric vehicle

3.3 전기자동차 교체 패턴 분류를 활용한 보급모형 제안

표 3과 그림 4를 통해 설명한 전기자동차의 교체 패턴을 이용하여 전기자동차 보급 패턴을 다음과 같이 정립한다. 선행 연구[7][8][9]에서 고효율기기의 보급을 신규, 기기 수명이 소진된 경우 교체 및 기기 수명이 소진되지 않은 경우 대체 등 세 가지로 분류한 것과 마찬가지로 본 논문에서도 이와 같은 분류를 하되, 자동차의 경우 중고 자동차의 사용이 많다는 점에서 보다 세분화된 보급 패턴을 고려한다. 따라서, 앞에서 분류한 교체 패턴에 수명의 소진 여부를 조합하고 신규 보급의 경우도 신차와 중고차로 구분한다면 다음 표 4와 같이 총 18가지로 구분할 수 있다. 각 인덱스는 신규(N), 교체(S), 대체(A)에 대하여 전기자동차(EV)와 기존자동차(CV)가 어떻게 보급되는지를 NO, UO, NN, NU, UN, UU 등의 아래첨자로 표시하였다. 여기서, N과 U는 각각 신차와 중고차를 의미하며, NO와 UO는 각각 신차와 중고차의 신규 보급을 의미한다.

분류한 보급 패턴을 기반으로 널리 활용되고 있는 Bass의 확산모형을 활용하여 전기자동차의 보급모형을 다음 식(1)~(4)와 같이 수립할 수 있다. 각 식에서 적분 부분이 보급 확산 형태를 결정짓는 부분으로서, p와 q는 각각 혁신계수와 모방계수이며 이들 계수는 기존의 보급통계로부터 추정하거나 유사 재화의 계수를 적용하기도 하는데, 매우 다양한 계수 추정 방법이 존재하나 전기자동차의 경우 보급 초기이기 때문에 보급 정책과 전제조건에 따라 다르게 적용하므로 본 논문에서는 다루지 않고 추후 연구로 남겨둔다. 식 (2)~(4)에서 적분의 앞부분은 t 시점의 보급 잠재량을 의미한다. 식 (2)에서 신규 보급의 잠재량은 보급추이 추정을 대상으로 하는 최종년도의 전기자동차 예상 시장규모 FV에서 t 시점의 기존 자동차 누적보급대수 CV_t를 뺀 값이 된다. 교체 및 대체 보급의 경우 기존 자동차와 전기자동차의 수명을 고려해야 하는데, 식 (6)과 (7)에 그 잠재량 식을 표현하였다. 식 (4)에서 L은 기존 자동차 및 전기 자동차의 신차와 중고차 수명을 나타내기 위한 표현으로서, 식 (4)의 적분 앞부분을 상세히 나타내면 식 (8)과 같다.

표 4 고효율기기와 전기자동차의 보급 패턴 비교

Table 4 Deployment pattern comparison of high-efficient appliances and electric vehicles

고효율기기 보급 패턴	전기자동차 보급 패턴	인덱스
신규	전기자동차 신차 신규	$NEV_{NO,t}$
	전기자동차 중고차 신규	$NEV_{UO,t}$
교체	기존차 신차 → 전기차 신차 교체	$SCV_{NN,t}$
	기존차 신차 → 전기차 중고차 교체	$SCV_{NU,t}$
	기존차 중고차 → 전기차 신차 교체	$SCV_{UN,t}$
	기존차 중고차 → 전기차 중고차 교체	$SCV_{UU,t}$
	전기차 신차 → 전기차 신차 교체	$SEV_{NN,t}$
	전기차 신차 → 전기차 중고차 교체	$SEV_{NU,t}$
	전기차 중고차 → 전기차 신차 교체	$SEV_{UN,t}$
	전기차 중고차 → 전기차 중고차 교체	$SEV_{UU,t}$
대체	기존차 신차 → 전기차 신차 대체	$ACV_{NN,t}$
	기존차 신차 → 전기차 중고차 대체	$ACV_{NU,t}$
	기존차 중고차 → 전기차 신차 대체	$ACV_{UN,t}$
	기존차 중고차 → 전기차 중고차 대체	$ACV_{UU,t}$
	전기차 신차 → 전기차 신차 대체	$AEV_{NN,t}$
	전기차 신차 → 전기차 중고차 대체	$AEV_{NU,t}$
	전기차 중고차 → 전기차 신차 대체	$AEV_{UN,t}$
	전기차 중고차 → 전기차 중고차 대체	$AEV_{UU,t}$

$$DV_t = NV_t + SV_t + AV_t \tag{1}$$

$$NV_t = (FV - CV_t)\int_t^{t+1} \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)t}}{(p+q\,e^{-(p+q)t})^2} dt \tag{2}$$

$$SV_t = (\Delta CV_t + \Delta EV_t)\int_t^{t+1} \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)t}}{(p+q\,e^{-(p+q)t})^2} dt \tag{3}$$

$$AV_t = \sum_{i=1}^{L-1} (\Delta CV_{t-i} + \Delta EV_{t-i})\int_t^{t+1} \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)t}}{(p+q\,e^{-(p+q)t})^2} dt \tag{4}$$

$$NV_t = NEV_{NO,t} + NEV_{UO,t} \tag{5}$$

$$\Delta CV_t = SCV_{NN,t-l_{CN}} - SCV_{NN,(t-1)-l_{CN}} + SCV_{NU,t-l_{CN}} - SCV_{NU,(t-1)-l_{CN}} + SCV_{UN,t-l_{CU}} - SCV_{UN,(t-1)-l_{CU}} + SCV_{UU,t-l_{CU}} - SCV_{UU,(t-1)-l_{CU}} \tag{6}$$

$$\Delta EV_t = SEV_{NN,t-l_{EN}} - SEV_{NN,(t-1)-l_{EN}} + SEV_{NU,t-l_{EN}} - SEV_{NU,(t-1)-l_{EN}} + SEV_{UN,t-l_{EU}} - SEV_{UN,(t-1)-l_{EU}} + SEV_{UU,t-l_{EU}} - SEV_{UU,(t-1)-l_{EU}} \tag{7}$$

$$\sum_{i=1}^{L-1}(\Delta CV_{t-i}+\Delta EV_{t-i})=\sum_{i=1}^{l_{CN}-1}(SCV_{NN,t-i-l_{CN}}-SCV_{NN,(t-1)-i-l_{CN}}+SCV_{NU,t-i-l_{CN}}-SCV_{NU,(t-1)-i-l_{CN}}) \quad (8)$$

$$+\sum_{i=1}^{l_{CU}-1}(SCV_{UN,t-i-l_{CU}}-SCV_{UU,(t-1)-i-l_{CU}}+SCV_{UU,t-i-l_{CU}}-SCV_{UU,(t-1)-i-l_{CU}})$$

$$+\sum_{i=1}^{l_{EN}-1}(SEV_{NN,t-i-l_{EN}}-SEV_{NN,(t-1)-i-l_{EN}}+SEV_{NU,t-i-l_{EN}}-SEV_{NU,(t-1)-i-l_{EN}})$$

$$+\sum_{i=1}^{l_{EU}-1}(SEV_{UN,t-i-l_{EU}}-SEV_{UU,(t-1)-i-l_{EU}}+SEV_{UU,t-i-l_{EU}}-SEV_{UU,(t-1)-i-l_{EU}})$$

여기서,

DV_t : t 시점의 전기자동차 총 누적보급대수

NV_t : t 시점의 전기자동차 신규 누적보급대수

SV_t : t 시점의 전기자동차 교체 누적보급대수

AV_t : t 시점의 전기자동차 대체 누적보급대수

FV : 최종년도 전기자동차 시장 규모

CV_t : t 년도 기존 자동차 누적보급대수

l_{CN} : 기존 자동차의 신차 수명

l_{CU} : 기존 자동차의 중고차 수명

l_{EN} : 전기 자동차의 신차 수명

l_{EU} : 전기 자동차의 중고차 수명

제안한 전기자동차 보급모형에서는 기존 자동차가 전기자동차로 교체될 수 없는 특수한 경우와 전기자동차가 기존 자동차로 돌아가는 경우는 배제하였는데, 이는 실제 보급 추정 시 적절한 일정 비율로 처리할 수 있을 것으로 판단되기 때문이다.

4. 전기자동차 충전부하 모델링

4.1 전기자동차 충전 부하실험

본 논문에서는 미시적 방법에 입각한 부하모델[10]을 기반으로 전기자동차의 개별 부하실험을 수행한 결과에 관하여 논한다. 이 개별 부하실험을 통해 전기자동차의 5차식 형태의 개별 특성방정식을 만들고 전기자동차 부하예측을 동한 부하구성비를 도출하여 전기자동차 부하모델을 만들 수 있다. 이에 따라 전기자동차 부하모델을 만드는 가장 첫 번째 단계로 전기자동차의 개별 부하실험을 수행하였다. 본 논문에서 말하는 전기자동차의 전기적 부하특성은 충전부하 특성을 의미하며, 이는 전기자동차 충전기를 대상으로 한 부하실험을 필요하다는 뜻으로서, 실제 한전에서 시범 운영되고 있는 전기자동차 및 완속충전기를 대상으로 실험을 수행하였다. 실험 대상으로 한 전기자동차 및 충전기의 정격용량은 약 3.1kW이다. 실험의 구성 및 방법은 기존에 수행한 주거용 부하모델의 개별 부하실험[11]과 같이 설계하였다. 단, 여기서 전기자동차 충전기 개별 부하실험에서 달라지는 점은 안전상의 이유로 주파수 56Hz, 전압 198V 이하 및 242V 이상에서는 전기자동차 충전기가 작동하도록 설계되었기 때문에 주파수는 58Hz, 60Hz, 62Hz에서, 전압은 198~242V 사이를 변화시켜 실험하였다. 각 주파수에 대한 실험 결과는 다음 그림 5, 그림 6 및 그림 7과 같다.

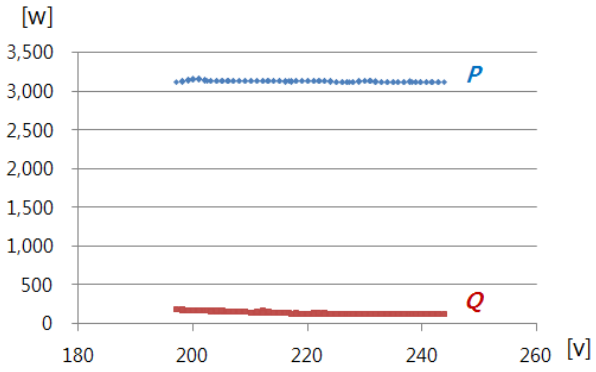

그림 5 전기자동차 부하특성(58Hz)

Fig. 5 Load characteristics of an electric vehicle (58Hz)

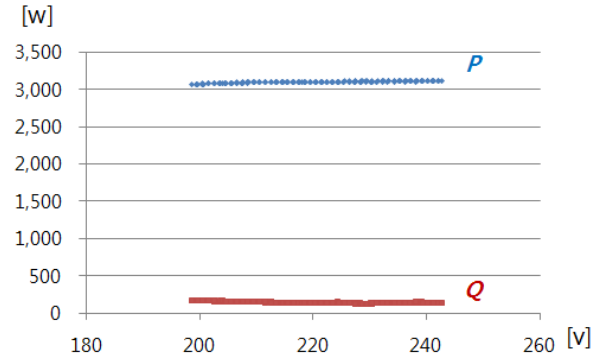

그림 6 전기자동차 부하특성(60Hz)

Fig. 6 Load characteristics of an electric vehicle (60Hz)

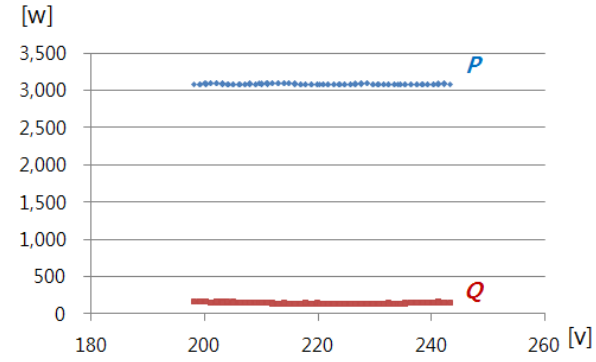

그림 7 전기자동차 부하특성(62Hz)

Fig. 7 Load characteristics of an electric vehicle (62Hz)

4.2 전기자동차 충전 부하모델

실험 결과에서 볼 수 있듯이 전기자동차 충전기는 정전력 부하 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 미시적 방법론에 의한 부하모델에 함께 반영하기 위해서 위의 유효전력 및 무효전력 특성을 5차 다항식으로 나타내면 다음 식 (9) 및 식 (10)과 같고, 각각의 계수는 표 5와 같다. 본 모델은 전기자동차 1대를 대상으로 한 실험을 기반으로 한 것이며, 추가적으로 여러 대를 시차를 두고 동시에 충전할 때의 부하실험을 수행함으로써 일반적으로 적용할 수 있는 전기자동차 충전 부하모델의 개발이 추가적으로 요청된다. 아울러, 전력계통해석의 정밀도를 높이기 위해서는 전기자동차가 포함된 다양한 부하기기를 집단으로 하는 부하실험을 통한 부하모델의 개발 또한 후속 연구로 진행되어야 한다.

$$P(V,\ f) = a_p + b_p \triangle V + c_p \triangle V^2 + d_p \triangle V^3 + e_p \triangle V^4 + f_p \triangle V^5 + g_p \triangle V \triangle f + h_p \triangle V^2 \triangle f + i_p \triangle f \tag{9}$$

$$Q(V,\ f) = a_q + b_q \triangle V + c_q \triangle V^2 + d_q \triangle V^3 + e_q \triangle V^4 + f_q \triangle V^5 + g_q \triangle V \triangle f + h_q \triangle V^2 \triangle f + i_q \triangle f \tag{10}$$

표 5 전기자동차 완속충전 부하모델 계수

Table 5 Load model coefficients of electric vehicle charging

	a_p	b_p	c_p	d_p	e_p	f_p	g_p	h_p	i_p
P	1.0091	-0.0522	0.3712	-1.269	-49.3962	434.5053	-0.0751	6.0829	-0.2829
Q	0.0483	-0.0705	0.952	2.3726	-19.8156	27.6823	0.9018	4.1799	-0.0207

5. 결 론

본격적인 전기자동차의 보급을 앞두고 있는 현재, 관련 제도와 시장 여건을 판단하기 어려운 상태에서 전기자동차의 보급 추이 자체를 추정하는 것은 쉽지 않은 일이므로, 그보다는 가이드라인 형태의 예상되는 보급 추이를 바탕으로 정책수단 및 각종 영향변수에 의한 민감도 분석 차원에서 전기자동차의 보급 패턴을 분석하고 적절한 정책을 수립하는 것이 바람직하다. 이를 위하여 본 논문에서는 향후 전기자동차가 고객의 수전설비 용량을 넘어서는 수준으로 보급되는 경우 수전설비의 증설을 야기하고 피크 발생시간대가 변동하는 등 부하구성비가 현저하게 달라질 것으로 평가하여 장단기적 시계열 부하구성비 추정이 필요함을 확인하였다. 대표적인 이동성 부하인 전기자동차의 보급 패턴은 그 교체 형태에 따라 매우 다양한 양상을 나타내는데, 본 논문에서는 기존자동차의 중고차 및 신차 교체 특성을 고려하여 전기자동차의 교체 패턴을 분류하고 이에 따른 새로운 보급모형을 제안하였다. 한편, 향후 기술 개발의 촉진에 따라 보급이 확산될 것으로 예상되는 전기자동차의 특수일 이동량을 지역별로 예측하고, 이를 바탕으로 도출되는 부하구성비와 전기자동차의 개별 부하실험 결과를 이용한 부하모델 개발에 대하여 논하였다.

향후에는 제안한 전기자동차의 보급 패턴을 고려한 보급모형을 기반으로 중장기적 시계열 부하구성비 변화와 지역적으로 이동하는 충전부하의 단기적 부하구성비 변화를 동시에 고려한 종합적인 부하구성비 추정에 관한 연구가 요청된다. 본 논문에서 제안한 전기자동차 교체 패턴을 고려한 확산모형 기반의 시계열 부하구성비 추정 모델에 의한 부하구성비 추정 방안은 보다 향후 마이크로그리드 환경과 같은 새로운 형태의 전력계통해석에 있어서 전기자동차를 포함한 다양한 부하실험을 기반으로 한 부하모델 개발에 활용함으로써 정밀한 해석이 가능하도록 할 것이다. 또한, 보급 지원 정책에 따라 보급 속도가 영향을 받는 것을 고려하여 보다 정밀한 전기자동차 보급모형의 개발과 향상된 배터리 기술이 포함된 전기자동차 부하특성을 반영하여 실제 전력계통해석에 활용할 수 있는 부하모델의 개발이 요청되는데, 본 논문에서 제시한 보급모형과 부하모델링 결과가 후속연구에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원(No. 20123010020080) 및 국토해양부 미래철도기술개발사업(13PRTD-C061729-02)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

References

[1] Moon-Gyu Jeong, et. al., “Test Device for EV Quick Charger”, Proceedings of KIEE Summer Conference, pp. 1208-1281, July 2011.

[2] Chulwoo Kim, et. al., “Influence Evaluation of Electric Vehicle Load on Distribution Systems by the Penetration Rate of Electric Vehicle”, Proceedings of KIEE Summer Conference, pp. 256-257, July 2011.

[3] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Press Release of Transportation Demand Survey in Special Traffic Policy Period of Lunar New Year's Days and Chuseok, 2011

[4] KPX, Electricity Supply Influence and the Implication by the Deployment of Electric Vehicle, November 2009.

[5] Ah-Rom Chae, et. al., “A Demand forecasting for Electric vehicles using Choice Based Multigeneration Diffusion Model”, The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol. 10, No. 5, pp.113-123, October 2011.

[6] Hyeon-Jeong Park and Jung-Hoon Kim, “A Study for Local Load Forecast of Electirc Vehicle to Resident Load Model in Smart Grid”, Proceedings of KIEE Smart Grid Research Committee Spring Conference, May 2012.

[7] S.C. Chang, A study on the probabilistic production simulation in electricity resource planning considering

demand-side management, Ph.D. Dissertation, Hongik University, 2000.
[8] S.I. Kim, et. al., “A Study on Developing Mathematical Model for DSM Monitoring”, Proceedings of KIEE Summer Conference, pp. 764-766, July 1997.
[9] Seungchan Chang, et. al., "A Comparative Simulation on Generation Expansion Planning Considering the Diffusion of High Efficient End-Uses”, Proceedings of KIEE Summer Conference, pp. 328-330, July 2000.
[10] KEPCO, Final Report: Development of Accurate Load Model for Detailed Power System Stability Analysis, 2001.
[11] H.J. Park, et. al., “A Study on Load Composition Rate and Load Experiment for Load Modelling of Resident Load Equipment having Various Mode”, Proceedings of KIEE PES Spring Conference, pp. 67-69, May 2012.
[12] Sung-Wook Hwang, et. al., “A Basic Study on the Load Composition Rate Estimation Method Based on Diffusion Models Considering the Charging Load of Electric Vehicles”, Proceedings of KIEE Summer Conference, pp. 233-234, July 2013.
[13] Ji-Sang Yu, et. al., “A Study on DSM Screening Model in Nation-wide Perspective", Proceedings of KIEE Summer Conference, pp. 781-783, July 1996.
[14] Seung-Kwon Yang, "The Strategy of Development and Design for EV Charging Infra Management System Connected with Power Grid", Proceedings of KIEE Summer Conference, pp. 1120-1121, July 2010.
[15] H.J. Lee, et. al., "Architecture Design of Investment Decision Making System for Microgrid", Proceedings of KIEE Summer Conference, pp. 459-460, July 2010.
[16] Taek-Ho Song, et. al., "Comparison of Bi-directional Charging Results by EV Slow & Quick Charger", Proceedings of KIEE Summer Conference, pp. 1526-1527, July 2012.
[17] Jung-Hoon Kim, Jae-Yoon Lim and Hyoung-Seob Kim, “A Study on the Reasonable Load Composition Rate Estimation Method for the Load Model", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 42, No. 12, pp. 21-31, December 1993.
[18] F. M. Bass, "A New Product Growth Model for Consumer Durables", Management Science, vol. 15, pp. 215-227, January 1969.
[19] F. M. Bass, "New Product Diffusion Models in Marketing: A Review and Directions for Research", Journal of Marketing, vol. 54, pp. 1-26, January 1990.
[20] Ministry of Knowledge and Economy, Final Report: Development of Residential Load Model for Power System Analysis of Smart Place, 2012.

저 자 소 개

황 성 욱 (黃 盛 郁)

1974년 4월 20일생. 2012년 홍익대학교 전기정보제어공학과 졸업(박사). 2008년 한국전력공사 입사. 현재 한전 전력연구원 MicroGrid연구사업단 일반연구원.
Tel : 042-865-5266
E-mail : outward@kepco.co.kr

송 일 근 (宋 一 根)

1960년 9월 30일생. 1997년 숭실대학교 전기공학과 졸업(박사). 1984년 한국전력공사 입사. 현재 한전 전력연구원 Micro Grid연구사업단 단장.
Tel : 042-865-5500
E-mail : songilk@kepco.co.kr

김 정 훈 (金 正 勳)

1955년 9월 13일생. 1985년 서울대학교 전기공학과 졸업(박사). 1981년~현재 홍익대학교 전자전기공학부 교수. 현재 대한전기학회 부회장.
Tel : 02-320-1621
E-mail : kimjh@hongik.ac.kr