

## EV 충전기를 이용한 전력부하관리

한승호, 임유석, 김철우, 송택호  
KEPCO 전력연구원

### Power Load Leveling with EV Charger

Seung-Ho Han, You Seok Lim, Chulwoo Kim, Taek Ho Song  
KEPCO KEPRI

**Abstract** - 본 논문은 전기자동차(EV, Electric Vehicle) 충전기를 이용하여 차량에 충전전력을 공급할 때, 전력수요가 최지이며 차량의 운행도 하지 않는 심야시간에 충전하는 전력부하관리 방법에 대한 연구결과이다. 향후 전기자동차의 보급이 가속화 되어 전체 승용자동차의 약 10% 정도가 전기자동차로 변환된다면 이의 충전전력으로 인한 전력수요 피크가 발생할 수도 있다. 그러나 급속충전기 사용할 때와 같이 소비자가 즉각적인 충전전력사용을 원하는 경우를 제외하고는, 심야시간대의 충전용 전력요금이 상대적으로 저렴하다면 소비자는 차량이 운행하지 않는 심야시간에 충전을 선택할 가능성이 있다. 그러므로 여기서는 심야시간에 충전을 유도할 수 있는 알고리즘을 개발하여 홈 충전기에 탑재하고 그 실증시험을 하여 사용가능성을 검증하여 보았다.

#### 1. 서 론

기후협약과 님비(Nimby) 현상 그리고 전력산업에 경제성을 요구하는 사회적 압력으로 향후 발전소 건설이 점차로 어려워지는 상황에서 전력수요 피크의 증가는 필연적으로 발전예비율의 감소를 야기하여 전력수급의 안전마진을 저해하게 된다. 전력수요의 조절을 통한 부하관리는 발전량의 증가를 용이하게 할 수 없는 상황에서 매우 효과적이다. 이러한 부하관리 중에서 피크시간대에 발생하는 전력부하를 저부하 시간대로 보내는 부하이전은 매우 중요하며 반드시 소비자의 자발적 참여가 필요하다.

EV는 기본적으로 이차전지, BMS(Battery Management System), OBC(On Board Charger), MCU(Motor Control Unit), Motor 등으로 구성되어 외부의 전력을 에너지원으로 공급받아 배터리에 저장하고 모터로 구동하는 차량이다. EV에 전력을 공급하는 충전기는 크게 약 30분 이내에 충전이 가능하고 주로 DC전력을 공급하는 급속충전기, 약 1~4hr 정도에 AC전력으로 충전하는 (완속) 충전스탠드, AC전력으로 약 3~8hr의 충전시간을 갖는 홈충전기가 있다.

EV는 외부전력으로 충전을 하므로 운행 시에 충전을 하지 못하고 주차 시에만 충전이 가능하다. EV의 배터리 수명을 길게 유지하기 위해서는, 적은 전력으로 서서히 충전하는 것이 좋고 차량이 장시간 주차하는 시간대가 충전의 적기이므로, 통상, 홈충전기를 통해 퇴근이후 충전을 할 가능성이 많다. 그러므로 차량이 주거지로 돌아올 퇴근시간대에서 자정을 전후하여 수 시간 동안이 주 충전시간대가 될 가능성이 많고 하계와 동계와 같이 저녁시간대에 부하가 집중되는 경우를 고려해본다면 이 시간대에 EV 충전부하가 가중되어 전력수요피크를 야기할 가능성이 많다.

통상, 전력설비는 미래에 예상되는 전력수요 피크에 안전마진을 고려하여 건설한다. 전국적 규모의 전력수요는 심야시간대가 저부하가 되는 것이 주지의 사실이므로 전력부하 피크시의 전력수요를 저부하시간대로 이전한다면 그만큼 국가적으로도 전력설비를 적게 건설하여도 되므로 '전력설비투자 회피비용'이라고 하여 중요하게 다루고 있다. 본 논문에서는 저녁시간대의 홈충전기를 이용한 충전전력사용을 효과적으로 줄이고 심야시간대로 이전할 수 있는 경제적인 방법이 제시하고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 전력수요 부하이전

전국적 규모에서의 시간대별 전력수요는 통상 주간시간대에 사용량이 많고 심야시간대에 사용량이 적다. 이러한 전력을 생산하기 위해서는 발전가격이 싼 순으로 원자력, 석탄(화력)발전이 있고 이는 시간에 무관하게 일정한 전력을 생산하는 기저부하를 감당하고 있다. 그 위로 발전가격이 비싼 LNG, 중유(Crude Oil), 복합화력발전 등이 시간대별 전력수요에 반응하며 발전량을 변화하고 있다. 그러므로 같은 전력사용량이라 하더라도 가능하면 매시간대의 전력사용을 일정하게 하여 부하평균

화에 가깝게 사용한다면 기저부하용 발전량을 늘릴 수 있으므로 국가적 에너지 수입비용이 절약되며 또한 전력수요 피크 대비 발전, 송/변전, 배전 등의 전력설비 투자회피가 가능하다. 이를 정량적으로 표현하기 위해 전력부하율을 다음과 같이 정의한다.

$$\text{전력부하율(\%)} = (\text{일평균수요전력(kW)} / \text{최대 수요전력(kW)}) \times 100 \quad \text{-----(1)}$$

현재 국내의 연평균 전력부하율은 약 76% 정도이며 이 부하율 1% 올릴 경우 약 1,680 억원/년 정도의 전력설비 투자회피비용이 달성된다<sup>[1]</sup>. 그러므로 상기 식(1)에서 최대수요전력을 저부하 시간대로 이전하여 분모를 줄여 부하율 향상을 꾀한다면 국가적으로도 효율적인 발전설비의 활용이 달성된다.

현재 운행되고 있는 국내 승용차 수의 약 10%(130만대)가 미래에 EV로 대체된다면 국내 총 전력수요는 약 2% 정도가 증가되는 것으로 추정된다. 더욱이 이 전력수요 증가분이 퇴근시간 직후 EV충전으로 야기된다면 저녁시간대의 전력피크 발생 가능성도 있다. 그러므로 약 7~8시 정도 퇴근하더라도 충전용 커넥터는 연결하되 소비자가 버턴을 선택하여 즉각적으로 충전을 시작하지 않고 심야시간대에 자동적으로 충전이 될 수 있는 충전기의 기능의 구현이 필요하다. 이는 아래 표1 및 표2와 같이 현행 EV용 충전용 전력요금체제를 고려한다면 소비자에게도 전력요금을 절약할 수 있는 방법이 될 것이다.

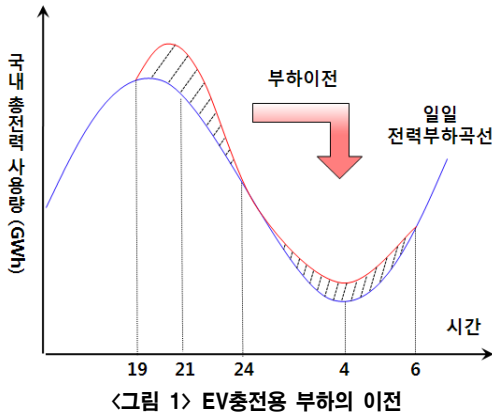
<표 1> EV 충전전력 요금표

구분	기본요금 (원/kW)	충전 전력량 요금 (원/kW)			
		시간대	여름철	봄/가을철	겨울철
저압 (380V 이하)	2,130	경부하	51.2	52.1	71.70
		중간부하	129.1	62.6	113.8
		최대부하	206.5	67.9	123.3
고압 (3,300V 이상)	2,290	경부하	46.6	47.5	62.1
		중간부하	98.4	57.1	89.7
		최대부하	145.4	60.6	123.3

<표 2> EV 충전전력의 계절/시간대 구분

시간대별(00분)	계절별		
	여름철	봄/가을철	겨울철
경부하시간대	7.1~8.31	3.1~6.30 9.1~10.31	11.1~익년 2월말일
중부하시간대	23~09	23~09	23~09
	09~11	09~11	09~10
	12~13	12~13	12~17
최대부하시간대	17~23	17~23	20~22
	11~12	11~12	10~12
	13~17	13~17	17~20 22~23

다음 그림은 퇴근 후 홈충전기를 이용하여 즉각 충전하였을 경우와 충전을 연기하여 기저부하시간대에 충전을 하는 부하이전의 예를 나타낸 것이다. EV의 보급이 130만대 정도가 되고 이 차량의 약 절반이 저녁시간대 이후에 충전을 하고 이 충전에너지를 저부하시간대로 부하이전을 한다면 전력부하율 증가로 1,680 억원/년의 국가적인 전력설비 투자회피가 달성될 것이다.

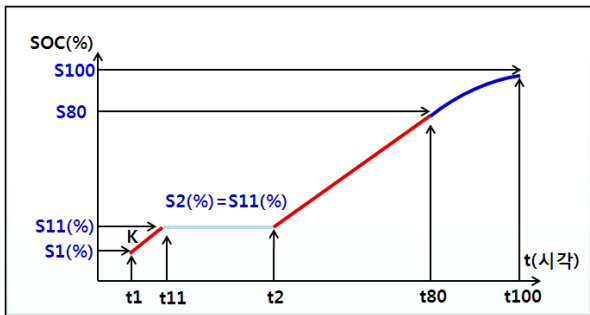


〈그림 1〉 EV충전용 부하의 이전

### 2.2. 심야충전 자동제어 알고리즘

EV의 심야충전은 주로 저부하시간대에 시행하게 되므로 언제부터 충전을 시작해야 출근시간 전에 차량의 배터리가 완충전 상태에 도달하는지 결정할 수 있어야 한다. 이 충전시작시간은 차량 내 배터리의 상태와 충전 속도에 따라 결정되므로 타이머 등으로 일률적으로 정할 수가 없다. 이 시간을 결정하기 위해서는 충전기가 우선 배터리의 충전률(%), State of Charge)이 차량과의 통신을 통해 측정가능 하여야하고, 충전속도(정속 충전인 경우, 단위시간별 충전률의 증가, 현재시각을 인지하며 토입시간을 자동적으로 계산할 수 있어야 한다. 충전시작시간을 결정하는 순서는 다음과 같다.

먼저 충전률을 S(%), 충전속도를 K(%/hr), 매 시각을 t, 각 구간에 소요되는 시간을 Δt라 하자. 다음 그림은 심야충전시간을 자동으로 계산하는 알고리즘을 나타낸 것이다.



〈그림 2〉 EV충전용 부하의 이전

우선 충전기에 커넥터를 연결하고 심야충전 버튼을 누르면 충전기는 현재(t1)의 충전률, S1을 읽는다. 그리고 1차 충전을 시작하며 10분 뒤 시각 t11에 충전률 S11을 결정한다. 통상, 완속충전의 경우 일정한 충전속도를 하므로 약간의 오차를 감안하면, 충전속도 K는 다음과 같이 결정된다.

$$K(\%/hr) = \Delta S / \Delta t = [S11 - S1] / [t11 - t1] \text{ -----(2)}$$

이 K를 결정한 후에 충전기는 즉각 충전전력을 차단하고 충전지연시간 Δt21을 계산한다. 이 때, 계산과 실사용의 편의를 위해 심야시가지 외기온도 변화가 있지만 배터리의 온도 변화를 무시하고 충전속도는 충전률이 80%(S80)가 될 때까지는 일정하고 이는 K와 같다고 가정하며 이 때의 시각 t80을 통상적인 일일 최저부하의 이후 시각인 5:00 AM으로 정한다. 그러면 충전 지연시간 Δt21은 다음 식으로 결정된다.

$$\begin{aligned} \Delta t21 &= t2 - t11 \\ &= \{t80 - [(S80 - S2) / K]\} - t11 \\ &= \{t80 - [(S80 - S11) / K]\} - t11 \text{ -----(3)} \end{aligned}$$

제충전이 시각 t2에서 시작되면 충전기는 실제로 완충전 시각 t100에 충전률 S100이 100% 되도록 계속 충전한다. 이때 EV의 탑재형충전기(OBC)에 따라서 S80부터 S100 사이의 충전속도는 배터리 보호를 위해 변화가 있어도 무방하고 이는 충전지연시간 Δt21 결정에 영향을 미치지 않는다. 충전기 내부에서 타이머를 쓸 경우에는 현재시각으로 부터 시간 Δt21만큼 지연을 하거나 Real-time Clock을 쓸 경우에는 시각 t2에서 전력을 투입하도록 알고리즘을 구성하는 것은 동등하다.

### 2.3 부하관리 알고리즘 적용

상기 부하관리 알고리즘을 충전기에 탑재하고 Full Speed EV에 충전을 하여 충전시작시간을 측정하여 부하이전 가능성을 확인하였다. 이를 위해 부하관리 알고리즘 시험장치를 만들어 현재시각 및 EV의 SOC 정보를 충전기에 실제 EV와 PLC 통신을 하는 것처럼 입력하고 충전지연시간 및 제어시각을 충전기와 독립적으로 계산하였다. 다음 그림은 부하관리 알고리즘을 적용한 충전기 및 알고리즘 시험장치의 예이다. 충전기에는 붉은색 등그라미와 화살표로 표시한 바와 같이 '심야충전'이라는 선택스위치가 부착되어 본 알고리즘을 적용할 수 있고 이의 모니터링은 아래 시험장치에서 수행하였다.



〈그림 3〉 부하관리용 공동형 출 충전기



〈그림 4〉 부하관리 알고리즘 시험장치

다음 표는 Full Speed EV에 본 알고리즘을 적용한 결과이다.

시각	S값	SOC(%)	t1	t11	t2	t80
	S1	34	20:00			
	S11	37		20:10		
	S80	79			02:37	
						5:00

우선 S1에서 S11 사이에 SOC가 3% 증가하였으므로 10분간 충전속도 K는 18 %/hr 가 된다. 이를 이용하여 식 (3)을 계산하면

$$\begin{aligned} t2 &= t80 - [(S80 - S2) / K] \\ &= 5:00AM - [(80 - 37) / 18] = 2:37AM \end{aligned}$$

이 된다. 이는 실제 측정된 값 t2의 2:37AM과 오차도 없이 정확히 일치하여 이 지연 알고리즘이 성공적으로 작동하는 것을 알 수 있다. 추가적으로 5:00AM에서 SOC 80%가 동작되는지 확인하기 위해서 충전을 차단하고 SOC를 측정하여 79%를 얻었다. 이 1% SOC 오차를 상기 충전속도를 이용해서 시간으로 환산하면 약 3.3 min이며 이는 배터리 내부 온도의 차이와 80%까지 증가하는 동안의 전류에 대한 SOC의 비선형성으로 기인한다고 볼 수 있을 것이다. 외기온도가 급변한다면 이 오차는 약 5분 정도도 확대될 수 있을 것으로 보인다. 실제 심야시간의 부하곡선은 매우 폭넓은 기저부하를 이루며 ±30분 정도의 오차범위를 허용할 것으로 보이며 이 실험의 오차범위를 고려할 때, 본 알고리즘이 충분히 부하관리 역할을 감당할 수 있을 것으로 보인다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 EV 충전기에 부하관리 기능을 부여하고 실제 Full Speed EV에 적용하여 그 구현 가능성을 확인하였다. 이 방식의 장점은 충전기와 충전인프라 사이에 통신이 필요가 없고 '스마트한 홈충전기'가 그 부하관리를 결정한다는 것이다. 향후 이러한 부하관리 기능이 구현된다면 완속충전스탠드 뿐만 아니라 홈충전기에서도 EV와 통신을 해야 할 필요가 있다. 이 통신을 통해 차량의 SOC 등의 정보를 읽어서 부하관리에 활용할 수 있을 것이다. 국내의 충전기와 EV들 사이에 통신이 표준으로 결정되지만 한다면 국가적으로 에너지 안보에 크게 기여할 것으로 사료된다.

### [참 고 문 헌]

[1] 제2회 전력수요관리 심포지엄, 2006년, 34p