

Time-of-Use 가격 및 실제 데이터를 고려한 전기 자동차 스마트 충전기법에 대한 연구

A Study on EVs Smart Charging Scheme Considering Time-of-Use Price and Actual Data

김 준 혁* · 김 철 환*
(Junhyeok Kim · Chulhwan Kim)

Abstract - As one of the main trends in global industries is eco-friendly energy, the interest on Electric Vehicle(EV) has been increased. However, if large amount of EVs start to charging, it could cause rapid increase in demand power of the power system. To guarantee stable operation of the power system, those unpredictable power consume should be mitigated. In this paper, therefore, we propose a practical smart EVs charging scheme to prevent the rapid increase of the demand power and also provide load flattening function. For that we considered Time-of-Use(ToU) price and actual data such as driving pattern and parameters of distribution system. Simulation results show that the proposed method provides proper load flattening function while preventing the rapid increase of the demand power of the power system.

Key Words : Electric vehicle, Time-of-Use price, Smart charging, Load flattening

1. 서 론

근래에 다수의 국가와 단체에서 친환경 에너지에 대한 연구를 활발히 수행하고 있다. 또한 환경을 지키기 위한 규제를 제정하는 활동 또한 활발히 진행되어오고 있다. 교토 의정서와 코펜하겐 기후변화 회의가 그 대표적인 예라고 할 수 있다. 이러한 흐름에서 화석연료를 사용하지 않으며, 유해가스 또한 배출하지 않는 전기 자동차에 대한 관심 역시 자연스레 증가하고 있다[1]. 전기 자동차는 주행을 위하여 전기를 사용하며, 이는 주기적인 충전이 필요함을 의미한다. 그러나 만일 다수의 전기 자동차가 동시에 충전을 개시하다면, 이는 필연적으로 계통에 여러 가지 악영향을 야기하게 된다. 참고문헌 [2-10]은 전압 변동, 부하율 저감, 전력 손실의 증가, 수요전력의 증가 등의 다양한 악영향을 설명한다. 이러한 여러 가지 악영향을 보완하고 최소화하기 위해서는 추가적인 보상 기기 등이 요구되지만 이 역시 별도의 비용 증가를 야기한다는 문제점을 가지게 된다. 해당 문제점에 착안하여 다양한 연구들이 추가적인 보상 기기의 설치 없이 악영향을 최소화 할 수 있는 충전기법의 개발에 초점을 맞추고 있다. 참고문헌 [11]은 특정 지역에서 전기 자동차의 영향을 측정하기 위

하여 스마트 전기 자동차 충전 프로파일이 사용되었다. 그러나 해당 문헌은 제안하는 스마트 충전기법이 고정되어 있어 특정 조건하에서만 적용이 가능하다는 단점을 가진다. 참고문헌 [12]는 decentralized protocol을 이용하여 부하 평활화를 제공하는 전기 자동차 충전기법을 제안하였다. 그러나 해당 기법에서 제안한 decentralized protocol의 경우, 다량의 전기 자동차가 존재하여 처리해야 하는 데이터가 많은 경우에만 장점을 가진다. 참고문헌 [13]의 경우, 부하 평활화를 제공하는 전기 자동차 충전기법을 제안하였으나, 이 역시 모든 전기 자동차가 동일한 용량으로 동일한 시간 동안 충전을 수행한다는 가정을 설정하였다는 한계점을 가진다.

본 논문은 기존의 논문과 비교하여 다음의 사항을 추가로 고려하여 보다 실제적인 충전기법을 제안한다.

- ① 전기 자동차 소유주의 운행 패턴: 운행 패턴에 따라서 전기 자동차가 충전을 위하여 계통에 연계되었을 때, 배터리의 잔존 용량이 달라지며 이는 곧 충전에 필요한 시간이 달라짐을 의미한다.
- ② 충전기법에 대한 전기 자동차 소유주의 반응: 기존의 연구들은 전력 계통 운영자의 입장만을 고려한 전기 자동차 충전기법을 다루고 있다. 즉, 해당 기법에서 제안하는 충전 및 방전 신호를 전기 자동차 소유주들이 무조건 적으로 따름을 가정하고 있다. 이는 현실적이지 못하며, 이를 보완하기 위하여 본 논문에서는 Time-of-Use(ToU) 가격 기반의 충전기법을 적용하여 해당 충전기법에 대한 전기 자동차 소유주의 반응을 반영하였다.

† Corresponding Author : Dept. of Electrical and Electronic Engineering, SungKyunkwan University, Korea/Energy IT Convergence Research Center, Convergence System R&D Division, Korea Electronics Technology Institute, Korea
E-mail: kim_jh@keti.re.kr

* Dept. of Electrical and Electronic Engineering, SungKyunkwan University, Korea

Received : February 24, 2016; Accepted : September 28, 2016

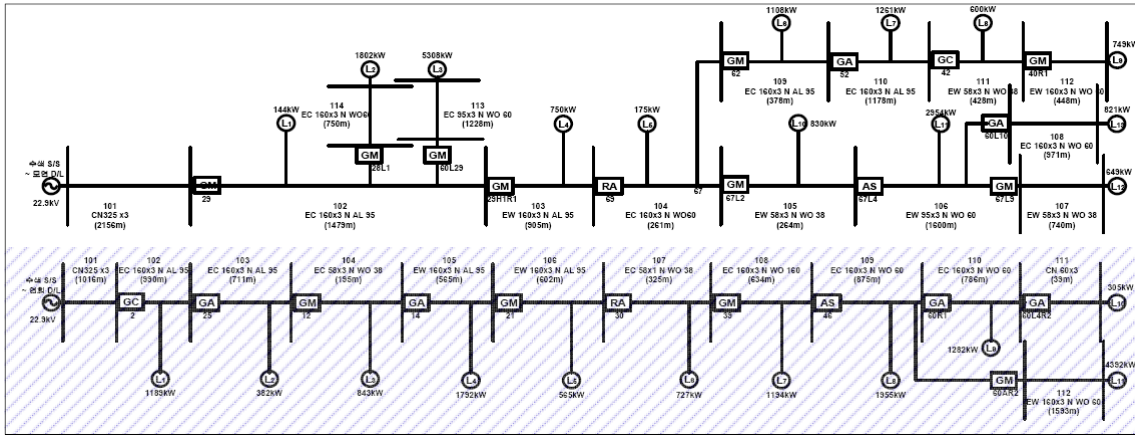


그림 1 테스트 배전계통의 단선도
 Fig. 1 Single line diagram of test distribution system

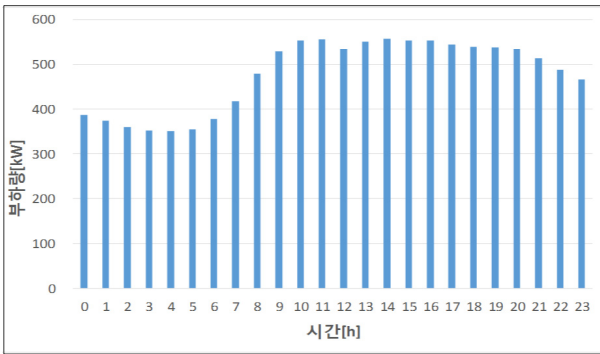


그림 2 일일 부하량 (여름)
 Fig. 2 Daily load profile (summer)

표 1 각 부하군별 전기 자동차 대수
 Table 1 The number of EVs at each load point

위치	부하량 [kW]	EV 대수 [대]	부하 비율 [%]
L1	1189	77	8.574
L2	382	25	2.754
L3	843	54	6.079
L4	1792	116	12.927
L5	565	37	4.074
L6	727	47	5.243
L7	1194	77	8.610
L8	1955	77	8.618
L9	1282	83	9.245
L10	305	20	2.199
L11	4392	284	31.674
Total	13866	896	100

2. 일일 부하곡선 및 전기 자동차 충전 프로파일

2.1 일일 부하곡선

본 논문에서는 실제 데이터를 이용해 정확한 전기 자동차의 대수를 설정하기 위하여 서울의 특정 지역에 존재하는 배전계통을 선정하였다. 해당 계통은 총 1.5 km의 길이를 가지고 있으며, 28.6 MW의 유효전력과 13.9 Mvar의 무효전력을 부하에 공급하고 있다. 해당 배전계통 및 해당 배전계통의 일일 부하량은 그림 1과 2에 나타내었다[14].

2.2 전기 자동차 대수 산정

만일 참고문헌 [15]에 의하면, 2012년 해당 지역의 소형차는 총 8,961대이다. 대한민국은 소형차의 10%를 전기 자동차로 대체하는 목표를 세우고 있으므로, 이를 이용해 해당 지역의 총 전기 자동차를 896대로 설정하였다[16]. 일반적으로 많은 가구가 존재하는 지역이 더 큰 부하량을 가지므로 각 부하군별 전기 자

동차의 대수를 산정하기 위하여 부하량이 큰 지역에 많은 전기 자동차가 존재한다는 가정을 설정하였다. 또한 각 시간별 전기 자동차의 대수를 산정하기 위하여 실시간 교통량 데이터를 적용하였으며, 이를 표 1과 2에 나타내었다[17]. 해당 정보를 이용하여 각 시간별 교통량의 비율을 (1)과 같이 계산할 수 있다.

$$R_k = \frac{C_k}{C_{tot}} \tag{1}$$

여기서, R_k : k 시간의 교통량 비율
 C_k : k 시간의 자동차 대수
 C_{tot} : 전체 자동차 대수

표 1과 2를 이용하여 각 부하군별 그리고 시간별 전기 자동차의 대수를 산정할 수 있으며, 이 때 계산식은 (2)와 같다. 그림 2에 계산 결과에 따른 L1지점과 L11지점의 시간별 전기 자동차 대수를 나타내었다.

표 2 각 시간별 목적의 따른 자동차의 교통량 및 비율

Table 2 Traffic volume and ratio of vehicles at each hour

시간	통근	개인	통학	비즈니스	Total	비율 [%]
0	672	437	159	710	1979	0.89
1	255	172	11	339	776	0.35
2	135	63	1	179	378	0.17
3	114	19	2	110	245	0.11
4	103	32	0	35	170	0.07
5	732	197	4	75	1009	0.45
6	2230	465	29	299	3023	1.36
7	4974	1645	224	545	7388	3.32
8	6713	5495	1041	1121	14370	6.47
9	3988	5772	1003	1780	12543	5.65
10	1696	6886	1027	2202	11811	5.32
11	1079	8624	966	2556	13225	5.95
12	1230	9764	682	3346	15022	6.76
13	1913	10100	901	3775	11689	7.51
14	1754	9360	666	3247	15027	6.76
15	2298	9652	558	3081	15589	7.02
16	3791	9845	658	3149	17443	7.85
17	4886	9031	596	3711	18224	8.20
18	5740	7469	764	4405	18378	8.27
19	3004	5361	826	4564	13755	6.19
20	1563	3981	492	3845	9881	4.45
21	1096	2688	515	2928	7227	3.25
22	886	1560	352	2134	4932	2.22
23	846	806	15	1263	2930	1.32
Total	51699	109424	11492	49398	222012	100

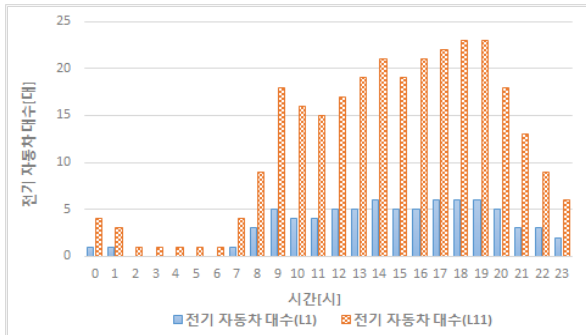


그림 3 시간별 전기 자동차 대수 (L1, L11)

Fig. 3 The number of EVs at each hour (L1, L11)

$$EV_{j,k} = R_k \times EV_{j,tot} \quad (2)$$

여기서, $EV_{j,k}$: k 시간에 j번째 부하군의 EV 대수

$EV_{j,tot}$: k 시간에 j번째 부하군의 총 EV 대수

2.3 전기 자동차 초기 SoC 산정

앞서 언급한 것과 같이, 전기 자동차 소유주에 따라 운행 패턴

표 3 용도에 따른 일평균 주행거리

Table 3 Average daily driving distance for each purpose

	표본	평균(km)	표준 편차	범위(km)
공공기관용	28,354	31.2	21.5	199.8
개인용	4,746,297	38.8	21.9	384.2
사업용	400,416	157.5	97.8	777.0

이 달라지고, 이는 전기 자동차가 충전을 위하여 계통에 연계되었을 때 초기 SoC에 영향을 미친다. 본 논문에서는 운전자의 운행 패턴을 확률적인 방법으로 해석하였다. 이를 위하여 가우시안 분포를 적용하였으며, 운행 거리에 대한 가우시안 분포는 표 3[17]과 식 (3)을 이용하여 계산할 수 있다[18].

$$p(\mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(X-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

여기서, μ : 평균 주행 거리

σ : 주행거리에 대한 표준편차

X : 실제 주행 거리

식 (3)을 통하여 계산된 주행거리를 이용하여 전기 자동차의 초기 SoC를 계산할 수 있으며, 이를 식 (4)에 나타내었다[18].

$$SoC_{ini} = (1 - \frac{\alpha X}{d_R}) \times 100\% \quad (4)$$

여기서, SoC_{ini} : 전기 자동차의 초기 SoC

d_R : 최대 주행 가능 거리

α : 충전 사이클(1일 1회 충전 시 1)

X : 실제 주행 거리

3. 전기 자동차 충전기법

3.1 Time-of-Use 가격 기반의 충전기법

Time-of-Use 즉, ToU 충전기법이란 시간대에 따라 상이한 충전 요금을 설정한 후에 전기 자동차가 충전을 희망하는 시간에 따라서 충전 요금을 부과하는 충전기법이다. 우리나라에서도 경부하, 중간부하, 최대부하 시간대에 따라서 상이한 전기 자동차 충전요금을 설정하고 있으며, 이를 표 4에 나타내었다[19].

참고문헌 [20]에 의하면 전기 요금이 100% 변화할 때, 약 20%의 고객이 반응한다. 이는 다시 말해 전기 자동차 충전 요금이 100% 인상된다면, 약 20%의 고객이 다른 시간대에 충전을 희망한다는 것이다.

이를 이용하면 다음과 같은 가정을 설정할 수 있다.

- ① 경부하: 경부하 시간에 충전을 수행하는 고객은 다른 시간대로 충전시간 변경을 희망하지 않는다.
- ② 중간부하: 중간부하 시간에 충전을 수행하는 고객 중 50%는 경부하 시간대로 충전시간 변경을 희망한다.

표 4 국내 전기 자동차 충전 요금

Table 4 Electricity price for EV charging in Korea

전기 자동차 충전 요금 (원/kWh)			
시간대	여름 (7~8)	봄/가을 (3~6/9~10)	겨울 (11~2)
경부하	55.80	56.90	78.20
중간부하	140.80	68.30	124.20
최대부하	225.30	73.10	184.90

③ 최대부하: 최대부하 시간에 충전을 수행하는 고객 중 80%는 경부하 시간대로 충전시간 변경을 희망한다.

2.2절에서 계산한 결과와 상기의 가정을 이용하여 각 시간별로 충전을 희망하는 전기 자동차의 대수를 산정할 수 있다.

3.2 제안하는 스마트 충전기법

ToU 가격 기반의 충전기법의 경우, 경부하시에 허용대수 이상의 전기 자동차가 충전을 희망하더라도 이를 별도로 제어할 수 있는 방법이 없기에 충전을 그대로 수행하게 된다. 반면 제안하는 충전기법의 경우, 계통의 수요전력을 고려하여 전기 자동차 충전을 제어하고 이를 통하여 부하율을 향상시키는 역할까지 수행할 수 있다. 제안하는 충전기법은 다음의 과정을 통하여 수행된다.

① 수요전력 측정: 제안하는 충전기법은 수요전력만을 사용하여 제어를 수행한다.

$$P_k = V_k I_k \tag{5}$$

여기서, P_k : k번째 부하군의 수요전력
 V_k : k번째 부하군의 전압
 I_k : k번째 부하군의 전류

② 충전 시간대 고려: 전기 자동차의 충전시간 변경을 고려하고 있는 전기 자동차 소유주는 중간부하나 최대부하 시간대에 충전을 희망하지 않으므로, 경부하시간인지를 확인하는 절차를 수행한다.

$$\begin{cases} S_k = 1 (\text{경부하시}) \\ S_k = 0 (\text{중간부하 및 최대부하시}) \end{cases} \tag{6}$$

여기서, S_k : k번째 부하군의 충전 제어 신호

③ 각 시간별 충전희망 전기 자동차의 충전 상태 추정: 본 과정을 통하여 각 시간별로 충전을 희망하는 전기 자동차의 대수를 산정한다. 여기서 모든 전기 자동차는 정전류 충전을 수행하고, 100% 충전이 될 때까지 충전을 지속적으로 수행한다는 가정을 설정하였다. 각 시간별 충전희망 전기 자동차의 대수는 행렬 형태로 저장하였으며, 이는 식 (7)과 같다.

$$A_{charge} = \sum_{n=1}^{24} A_n, \quad A_n = \begin{bmatrix} a_{(1,1)}^n & \cdots & a_{(1,24)}^n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{(r_p,1)}^n & \cdots & a_{(r_p,24)}^n \end{bmatrix} \tag{7}$$

$$\begin{cases} a_{(x,y)}^n = 1 (n \leq y \leq T_{n,req,x} + n) \\ a_{(x,y)}^n = 0 (y \geq T_{n,req,x} + n \text{ or } y < n) \end{cases}$$

여기서, A_{charge} : 전기 자동차 충전상태 행렬
 A_n : n시간에 충전하는 모든 전기 자동차의 충전 상태
 $a_{(x,y)}^n$: y시간, x번째 전기 자동차의 충전상태
 $T_{n,req,x}$: n시간, x번째 전기 자동차의 충전을 위하여 필요한 시간
 n : 시간 (1시~24시)
 r_n : n시간에 충전을 개시하는 전기 자동차의 총 대수

n시간에 충전을 수행하고 있는 전기 자동차의 총 대수는 식 (8)을 이용하여 계산된다.

$$N_{EV,n} = (A_{charge(n,1)} + A_{charge(n,2)} + \cdots + A_{charge(n,r_{can}^n - 1)} + A_{charge(n,r_{can}^n)}) \tag{8}$$

여기서, $N_{EV,n}$: n시간의 총 전기 자동차 대수

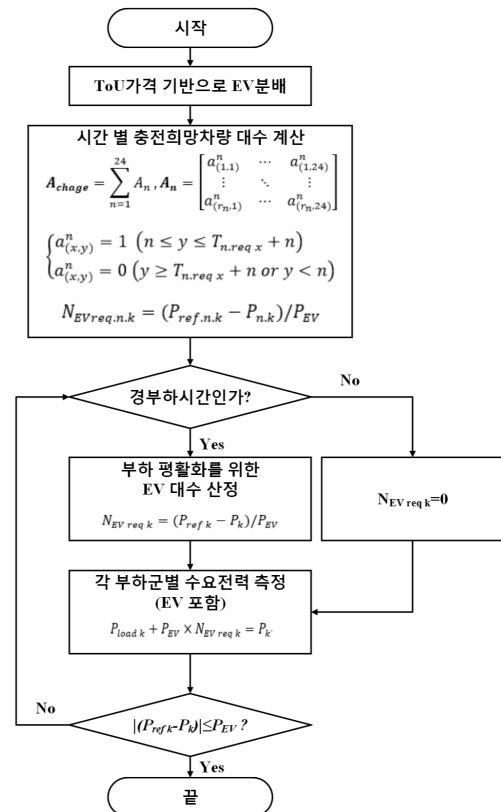


그림 4 전기 자동차 스마트 충전 알고리즘
Fig. 4 Smart EV charging algorithm

r_{cum}^n : n시간에 충전을 희망하는 전기 자동차의 총 누적 대수

④ 부하 평활화를 위한 필요 전기 자동차 대수 산정: 앞선 과정은 각 시간별로 충전을 희망하는 전기 자동차의 대수를 계산하는 과정이다. 그러나 부하 평활화를 위해서는 충전을 희망하는 전기 자동차 중 현재 계통의 수요전력을 고려하여 전체 혹은 일부만 충전을 하도록 제어해야 한다. 부하 평활화를 위하여 필요한 전기 자동차의 대수를 계산하는 식은 (9)와 같다.

$$N_{EVreq-n,k} = (P_{ref-n,k} - P_{n,k}) / P_{EV} \quad (9)$$

여기서, $N_{EVreq-n,k}$: n시간의 k번째 부하에서 부하 평활화를 위해 필요한 전기 자동차 대수
 $P_{ref-n,k}$: n시간의 k번째 부하에서 기준 수요전력
 P_{EV} : 단일 전기 자동차의 소비전력

상기에 언급한 일련의 과정을 알고리즘으로 구성하여 그림 4에 나타내었다.

4. 사례 연구

본 논문에서는 실제적인 분석을 위하여 국내 실제 교통량과 요금시스템을 적용하였다. 또한 가장 가혹한 상황에서 모의를 진행하기 위하여 부하가 빈번히 변하고 최소 수요전력과 최대 수요전력의 차가 가장 큰 여름을 기준으로 사례 연구를 진행하였다.

4.1 Time-of-Use 가격 기반의 충전기법

ToU 가격 기반의 충전기법이 적용되었을 때, 해당 기법은 최대부하 시간대에 수요전력의 증가를 상당부분 제한시킬 수 있다. 그러나 앞서 언급한 것과 같이, 해당 충전 기법은 전기 자동차 소유주에게 경부하 시간대에 충전을 하도록 권고할 뿐 별도의 제어를 가지지 않는다. 이러한 특성 때문에, 특정 경부하 시간에 전기 자동차 충전이 집중될 수 있으며, 최대부하 시간대에 수요전력 증가를 제한하지만 여전히 부하율 향상을 보장하지 못한다.

4.2 제안하는 스마트 충전기법

제안하는 전기 자동차 스마트 충전기법과 기존 ToU 가격 기반 충전기법의 가장 큰 차이는 경부하 시간대에서 충전을 희망하는 전기 자동차의 분배이다. 제안하는 기법의 경우, 계통의 수요전력을 고려하여 전기 자동차 충전 대수를 제한한다. 스마트 충전기법이 적용되는 경우, 계통의 최대 수요전력이 제한되며, 시간별 수요전력의 평활화를 수행한다. 또한 이를 통하여 부하율도 향상됨을 확인할 수 있다. 상세한 모의 결과는 그림 5, 6 그리고 표 5에 나타내었다.

표 5 충전기법에 따른 모의 결과

Table 5 Simulation results with different charging schemes

	Base case	ToU 충전기법	스마트 충전기법
평균 수요전력 (kW)	477.4004	666.08	686.05
최대 수요전력 (kW)	556.99	885.2	733.77
부하율(%)	85.71077	75.25	93.50

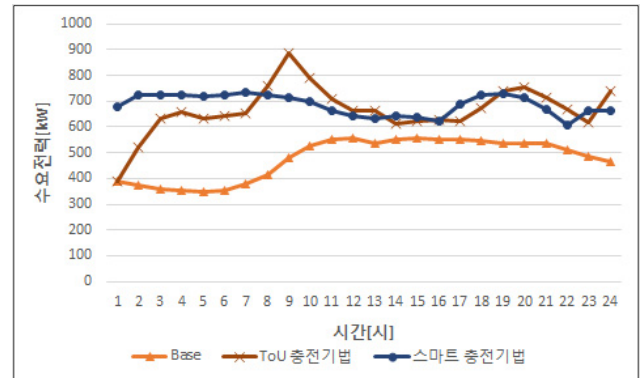


그림 5 충전기법에 따른 계통의 수요전력

Fig. 5 System demand power with different charging schemes

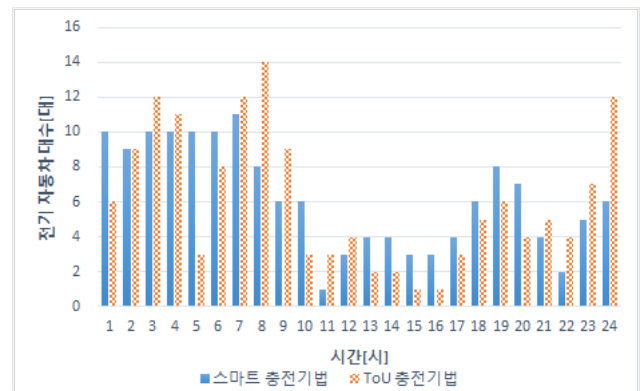


그림 6 충전기법에 따른 시간별 전기 자동차 충전 대수

Fig. 6 Number of charging EVs with different charging schemes

5. 결 론

친환경 자동차인 전기 자동차의 대중화를 위해서는 전기 자동차가 전력계통에 미치는 영향을 분석하고 발생 가능한 다양한 영향을 연구하는 것이 필요하다. 이러한 과정 없이는 전기 자동차의 대중화는 불가능할 것이다. 다수의 전기 자동차가 계통에 연계된다면, 전압 변동, 주파수 변동, 수요전력 증가, 부하율 감소

등의 악영향이 발생할 수 있다. 이러한 악영향을 최소화하고 방지하기 위한 다양한 연구가 진행되어왔으며, 특히 수요전력 증가를 방지하기 위해 다양한 전기 자동차 충전기법들이 제안되었다. 그러나 기존에 제안된 충전기법의 경우, 전력계통 운영자의 입장만을 고려하거나 실제적이지 않다는 문제점을 가진다. 본 논문은 이러한 문제를 해소하기 위하여 ToU 가격 기반의 충전기법을 적용하고, 실제 교통량 데이터와 가우시안 분포를 적용하였다. ToU 가격 기반의 충전기법의 경우, 요금제에 대한 전기 자동차 소유주의 반응을 반영하며, 실제 교통량 및 가우시안 분포를 적용하여 전기 자동차의 초기 SoC를 실제로 계산하였다.

제안된 스마트 충전기법은 먼저 ToU 가격 기반의 충전기법을 적용하여 각 시간대에 충전을 희망하는 전기 자동차의 대수를 산정하고, 그 후 계통의 수요전력을 측정하여 적절히 전기 자동차의 충전 대수를 제어한다. 사례 연구를 통하여 제안된 기법이 1) 계통의 최대 수요전력을 제한하면서 2)시간별 수요전력의 평활화를 수행하여 3)부하율 역시 개선함을 확인할 수 있었다.

낮은 부하율은 최대 수요전력과 평균 수요전력 사이에 큰 차이가 있음을 의미하고, 이를 보완하기 위하여 추가적인 전력원이나 기기가 요구됨을 의미한다. 본 논문에서 제안하는 충전기법을 적용할 경우, 부하율을 상당히 개선할 수 있음을 확인하였으므로 제안된 전기 자동차 충전 기법은 안정적인 계통운영에 공헌할 수 있으며, 나아가 전기 자동차 충전 시 위험요소 중 하나를 보완 및 완화함으로써 전기 자동차의 대중화에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

이 성과는 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2015R1A2A1A10052459).

References

[1] "Toward an Ontario action plan for plug-in electric vehicles (PEVs)", WISE Report to Ontario's Centers for Excellence, May. 2010.
 [2] Jonathan Donadee and Marija Ilić, "Stochastic Co-Optimization of Charging and Frequency Regulation by Electric Vehicles", North American Power Symposium (NAPS), 2012.
 [3] Sekyung Han, Soohee Han, "Economic Feasibility of V2G Frequency Regulation in Consideration of Battery Wear", Energies Vol. 6, pp. 748-765, 2013.
 [4] Yuki Mitsukuri, Ryoichi Haraa, Hiroyuki Kitaa, Eiji Kamiyab, Shoji Takib and Eiji Kogureb, "Study on Voltage Regulation in a Distribution System Using Electric Vehicles-Optimal Real and Reactive Power Dispatch by

Centralized Control", Journal of International Council on Electrical Engineering, Vol. 3, No. 2, pp. 134~140, 2013.
 [5] C. Roe, F. Evangelos, J. Meisel, A. P. Meliopoulos, and T. Overbye, "Power system level impacts of PHEVs," in Proc. 42nd Hawaii International Conference on System Sciences 2009, pp. 1-10.
 [6] L. Pieltain Fernandez, T. Gomez San Roman, R. Cossent, C. M. Domingo, and P. Frias, "Assessment of the impact of plug-in electric vehicles on distribution networks" IEEE Transaction on Power System, vol. 26, no. 1, pp. 206-213. Feb. 2011.
 [7] K. Dyke, N. Schofield, and M. Barnes, "The impact of transport electrification on electrical networks" IEEE Transaction on Industrial Electronics, vol. 57, no. 12, pp. 3917-3926, Dec. 2010
 [8] J. Taylor, A. Maitra, M. Alexander, D. Brooks, and M. Duvall, "Evaluation of the impact of plug-in electric vehicle loading on distribution system operations," IEEE Power Energy Society General Meeting, 2009
 [9] A. Boulanger, A. Chu, S. Maxx, D. Waltz, "Vehicle electrification: Status and issues", Proceedings of IEEE, vol. 99, no. 6, pp. 1116-1138, Jun. 2011
 [10] O. Sundstorm, C. Binding, "Flexible charging optimization for electric vehicles considering distribution grid constraints", IEEE Transaction on Smart Grid, vol. 3, no. 1, pp. 26-37, Mar. 2012
 [11] K. P. Schneider, C. E. Gerkenmeyer, M. C. W. Kintner-Meyer, R. Fletcher, "Impact assessment of plug-in hybrid vehicles on pacific northwest distribution systems" Power Energy Society General Meeting Jul. 2008
 [12] L. Gan, U. Topcu, S. Low, "Optimal decentralized protocol for electric vehicle charging", IEEE Transaction on Power System, vol. 28, no. 2, pp. 940-951, May. 2013
 [13] Z. Ma, D. s. Callaway, I. A. Hiskens, "Decentralized charging control of large populations of plug-in electric vehicles", IEEE Conference of Decision and Control, 2010
 [14] Keon-Woo Park, Hun-Chul Seo, Chul-Hwan Kim, Chang-soo Jung, Yeon-Pyo Yoo, Yong-Hoon Lim, "Analysis of the Neutral Current for Two-Step-Type Poles in Distribution Lines," IEEE Transactions onPower Delivery, Vol. 24, pp. 1483~1489, 2009
 [15] Statics Korea, <http://www.index.go.kr>
 [16] Korea Smart Grid Institute, "A Research of Charging Infrastructure for Electric Vehicle," 2010
 [17] Korea Transport Database, <http://www.ktdb.go.kr>
 [18] Kejun Qian, Chengke Zhou, Malcolm Allan, Yue Yuan, "Modeling of Load Demand Due to EV Battery Charging in Distribution Systems", IEEE Transaction on Power Systems, vol.26, no.2, May 2011

- [19] Korea Electric Power Corporation, "Electric Price", 2013
[20] EPRI, Electric Electricity Research Institute, January, "Price Elasticity of Demand for Electricity: A Primer and Synthesis", 2008

저 자 소 개



김 준 혁(Junhyeok Kim)

1985년 5월 17일생. 2012년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2014년 동 대학원 정보통신공학부 졸업(공학석사). 2014년~현재 동 대학원 정보통신공학부 박사과정. 현재 전자부품연구원 에너지IT융합연구센터 전임연구원
Tel: 031-460-5913
Fax: 031-460-5028
E-mail: kim_jh@keti.re.kr



김 철 환(Chulhwan Kim)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 성균관대 정보통신공학부 교수
Tel: 031-290-7124
Fax: 031-299-4137
E-mail: hmwkim@hanmail.net