

국내 데이터를 고려한 전기 자동차 충전 시 순시전압강하에 관한 연구

(A Study on the Voltage Sag During the EVs Charging Considering Domestic Data)

고효상* · 김준혁 · 김용상 · 김철환**

(Hyo-Sang Go · Jun-Hyeok Kim · Eung-Sang Kim · Chul-Hwan Kim)

Abstract

In order to charge EVs, they have to be connected to distribution system. Therefore, if unprecedented numbers of EVs are connected to power systems, it could result in deterioration of power quality, overload, and other system problems. In this paper, the effects of voltage sag on the distribution system due to the connection of EVs is evaluated by considering related field data of Republic of Korea such as the number of gasoline-fueled vehicles, seasonal load of power system and the monthly and daily real-time traffic volume. The distribution system and EVs are modeled using the Electro Magnetic Transients Program (EMTP).

Key Words : Voltage Sag, Electro Magnetic Transients Program (EMTP), Real-Time Traffic Volume, Electric Vehicle(EV), Distribution system, Power Quality

1. 서 론

오늘날 산업발전을 위한 화석연료의 무분별한 소비로 인한 천연자원의 고갈과 온실가스에 의한 환경오염에 대한 사회적 관심이 증가함으로써, 대체에너지의 필요성이 대두되고 있다. 또한 1997년 교토의정서,

2009년 코펜하겐 기후변화 회의 등에서 CO₂를 감축하기 위한 정책을 제정 및 시행하고 있다. 우리나라의 CO₂ 감축목표는 BAU(Business As Usual) 대비 30%(약 246백만톤)이다. 이에 따라 친환경 패러다임 전환의 필요성이 대두되고 있으며, 저탄소 녹색성장, 지구환경문제, 화석연료의 사용자제 등에 대한 사회적 관심이 높아지고 있다. 따라서 세계적인 동향에 발맞추어 CO₂ 및 배기가스의 발생량을 감소시키고 환경오염이 거의 없는 동력원이 적용된 EV(Electric Vehicle), PHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle), HEV(Hybrid Electric Vehicle) 등의 전기 자동차에 대한 사회적 관심 역시 높아지고 있다.

우리나라는 2020년까지 국내 소·중형차 중 10%를 전기 자동차로 확보하는 것을 목표로 연구개발 및 상

* Main author : Combined master's and doctorate course, College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

** Corresponding author : Professor, College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

Tel : 031-290-7124, Fax : 031-299-4137

E-mail : hmwkim@hanmail.net

Received : August 11, 2014

Accepted : November 3, 2014

용화를 추진 중이다[1]. 많은 전기 자동차가 보급되면 동시에 충전을 원하는 고객들이 증가하게 된다. 하지만 전기 자동차는 충전을 위해 배전계통과의 연계가 필요하기 때문에, 다수의 전기 자동차가 동시에 배전계통에 연계되면, 수급 불균형으로 인하여 전압변동이 발생하게 된다. 이는 전압의 불안정한 정도에 따라서 배전계통에 정전 등 부적절한 영향을 야기할 수 있다. 그러므로 전기 자동차가 계통에 연계된 경우에는 순시전압강하, 고조파, 주파수 변동 등의 전력품질 저하를 야기할 수 있다. 기존연구의 대부분은 전기 자동차의 증가로 인한 전력수요증가와 현재 발전량과의 비교, 경제성 분석 또는 전력수급패턴을 이용하여 전력수급 예측에 관한 연구이었다[2-5]. 이러한 연구는 우리나라의 자동차 실시간 교통량과 주행거리 등 실제 충전 조건을 고려하지 않았으며, 실제로 전기 자동차와 연계되는 배전계통의 영향에 대한 연구는 미미하다.

우리나라는 사계절이 뚜렷한 나라로써, 계절에 따라 배전계통에서 소비하는 부하량의 차이가 존재하므로 배전계통 전압이 계절에 따라서 변동하고, 교통량 또한 계절에 따라 차이가 있으므로 계절별로 연계되는 전기 자동차 대수도 달라진다. 그러므로 한전 실 배전계통과 연계되는 전기 자동차 대수를 계절별로 다르게 설정하여 전압변동을 평가할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 우리나라의 실정에 적합한 충전 조건을 고려하기 위해서 계절별 부하량, 한전 실 배전계통, 계절 및 요일별 실시간 교통량, 전기 자동차 보급 계획 등의 조건을 고려하여 자동차가 배전계통에 연계될 때, 발생하는 전압변동을 측정하였다.

2. 전기 자동차 충전기 및 배터리

2.1 전기 자동차 충전기

전기 자동차는 배터리를 에너지원으로 사용하기 때문에 최소 15kWh 이상의 대용량 배터리를 탑재하고 있어 반드시 내·외부 충전장치가 필요하다. 이러한 배터리 충전기는 일반적으로 30분 이내에 충전이 가

능한 급속충전기와 가정용 전원을 사용할 수 있는 완속 충전기가 있다. 급속 충전기는 30분 이내에 완벽한 충전을 위해서 50kW급 이상의 충전용량을 보유하여야 한다. 가정용 완속 충전기는 가정 내 계약전원을 고려하여 3.3kW급이 주로 사용되고 있다[6].

본 논문에서는 가정에서의 충전을 가정하였다. 따라서, 가정용 완속 충전기 모델링을 위해서 참고문헌 [7]에서 모델링된 3.3kW급 완속 충전시스템을 이용하였다. 그림 1은 전기 자동차용 충전기와 배터리를 나타낸 그림이다.

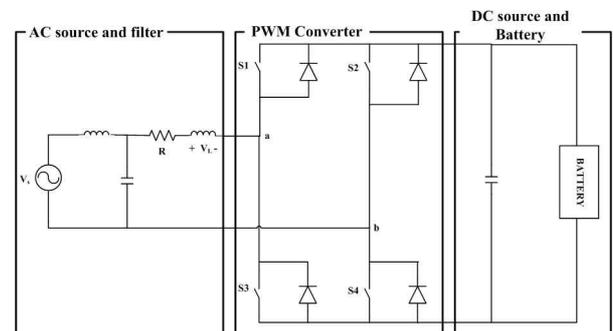


그림 1. 전기 자동차용 충전기 및 배터리
Fig. 1. Charger for electric vehicle and battery

2.2 전기 자동차 배터리

기존에 전기 자동차용 배터리로 적용되었던 니켈 수소전지의 경우 낮은 단위 셀 전압, 낮은 에너지 밀도 및 효율, 충방전 및 사이클 특성의 불안정성, 메모리 효과, 자가방전 등의 문제점을 내재하고 있다. 그러나 최근 이러한 문제점을 대부분 해결한 고 에너지 밀도의 리튬이온 배터리가 개발되어 실제 전기 자동차에 적용되고 있다. 리튬이온 배터리는 초기 개방전압 약 4.2V, 평균 동작전압 약 3.6V로 니켈 수소전지에 비해 약 3배 정도의 전압을 가진다[6]. 이러한 경우 리튬이온 배터리는 니켈 수소전지에 비해 약 3배 높은 전압을 가지고 있기 때문에 부피는 3배 작아진다. 따라서 리튬이온 배터리는 큰 에너지 밀도와 경량화가 요구되는 전기 자동차에 적합하다.

본 논문에서는 참고문헌 [8]에서 모델링된 리튬이온 배터리를 이용하였다.

3. 국내 데이터 기반 모의조건

3.1 국내 전기 자동차 보급 전망

우리나라는 2020년까지 전체 소·중형 자동차 등록 대수를 약 1,000만대 가량으로 추정하고 있다. 그 중 전기 자동차 보급대수는 약 100만대로써 전체 소·중형 자동차 등록대수의 10%가 전기 자동차로 보급 될 것이라고 예상하고 있다[1].

본 논문에서는 우리나라 전체 소·중형 자동차 등록 대수를 이용하지 않고 본 연구에 적용한 배전계통 지역의 소·중형 자동차 등록 대수를 조사한 후, 참고문헌 [1]에서 예측한 소·중형 자동차 등록대수의 10%를 적용하여 배전계통에 연계되는 전기 자동차 대수를 예측하였다. 또한 소·중형 자동차 등록대수의 20%, 30%에 해당하는 전기 자동차 대수를 추가로 설정하여 연구를 진행하였다.

- ① X 변전소~Z 배전선로 지역 전기 자동차 → 896대(소·중형 자동차의 10%가 EV라고 가정)
- ② X 변전소~Z 배전선로 지역 전기 자동차 → 1,792대(소·중형 자동차 20%가 EV라고 가정)
- ③ X 변전소~Z 배전선로 지역 전기 자동차 → 2,688대(소·중형 자동차 30%가 EV라고 가정)

3.2 전기 자동차 배터리 용량 및 소비용량

국내 가솔린 자동차(화석연료자동차) 종류는 자동차 배기량의 크기에 따라 구분된다. 그러나 국내 전기 자동차를 구분하는 정확한 배터리 용량이 설정되어 있지 않은 관계로 가솔린 자동차와 같은 모델을 조사하여 배터리 사양에 따라 자동차를 구분하였다. 다음 표 1은 전기 자동차와 가솔린 자동차용량비교를 나타낸 것이다. 본 논문에서 소형과 중형 자동차로 구분된 이유는 전기 자동차 보급계획 및 추진전략에서 소·중형 자동차를 고려하고 있기 때문이다.

전기 자동차의 일평균 주행 거리는 지식경제부에서 발간한 전기 자동차 충전인프라 구축방안에 따라 가솔린 자동차 일평균 이동거리인 40km로 설정하였다

[1]. 본 논문에서는 소·중형자동차를 고려하였기 때문에, 삼성 자동차 ‘SM3’의 배터리 용량을 이용하였다. 따라서 참고문헌 [1]에서 계산된 일평균 전기 자동차 배터리 소비전력량은 약 6.2kWh이다. 이 전력량은 가정용 충전기용량을 3.3kW로 설정하였을 때, 약 2시간 안에 충전이 완료될 수 있다[1].

표 1. 가솔린 자동차와 전기 자동차의 용량 비교
Table 1. Comparison of capacity of gasoline vehicle and electric vehicle

자동차 형태 자동차 모델	가솔린 자동차	전기 자동차
기아 자동차 ‘레이’	1,000cc 미만(경차)	16.4kWh
삼성 자동차 ‘SM3’	2,000cc 미만 (소·중형자동차)	24.4kWh

3.3 계절별 부하량[9]

본 논문에서 전기 자동차가 배전계통에 연계된 경우 계절에 따른 전력품질 영향을 분석하기 위해 국내 계절별 총 부하량을 한진 실 배전계통에 적용하였다.

그림 2는 2012년도에 해당하는 국내 총 부하량이다. 해당 부하곡선에서 10~12시, 18~20시 사이에 총 2번의 최대 부하가 형성이 된다. 또한 다른 계절에 비해 여름철은 최소·최대 부하량에 대한 편차가 크고, 겨울철은 평균 부하량의 크기가 크다.

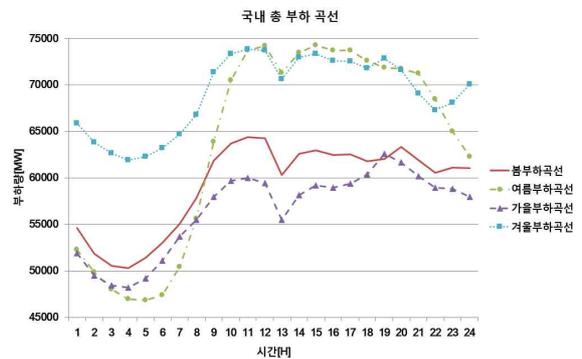


그림 2. 계절에 따른 시간별 국내 총 부하곡선
Fig. 2. Hourly domestic load curve according to seasons

3.4 계절에 따른 한전 실 배전 계통 부하 값 설정

본 논문에서는 계절에 따른 한전 실 배전 계통 부하 값을 설정을 위하여, 참고문헌 [10]에 나타난 배전계통을 EMIP/ATPDraw를 이용하여 모델링하였다. 하지만 서론에서 언급한 바와 같이 계절에 따른 순시전압 강하를 평가하기 위해서 배전계통의 임피던스는 계절에 따라 변화시킬 필요가 있어, 부하 임피던스를 변화하도록 설정하였다.

부하 임피던스를 설정하기 위해서 3.2절에서 설명한 계절별 부하량, 역률과 유효전력의 크기를 조사한 후, 다음 식 (1)~(3)에 적용시켜 임피던스 값을 계산하였다.

$$P = \frac{V^2}{|Z|} \cos\theta \quad (1)$$

$$R = |Z| \cos\theta \quad (2)$$

$$X = |Z| \sin\theta \quad (3)$$

여기서 P 는 유효전력, V 는 계통전압, Z 는 부하 임피던스, $\cos\theta$ 는 역률을 의미한다. 표 2는 우리나라 계절별 역률을 나타내는 표이다.

표 2. 계절별 역률 [11]
Table 2. Power factor according to season

봄	여름	가을	겨울
97.6%	95.1%	97.8%	97.5%

3.5 계절, 요일, 시간별 평균 교통량

본 논문에서는 3.7절의 충전 시나리오를 바탕으로 한 시뮬레이션을 실행하기 위해서 계절, 요일 및 시간별 교통량을 이용하여 충전되는 전기 자동차 대수를 시간별로 다르게 설정하였다. 따라서 주행 후 배터리를 재-충전하기 위해 배전계통에 연계되는 전기 자동차 대수는 실시간 교통량에 따라 달라진다.

3.5.1 국내 계절별 평균 교통량

교통량 또한 계절에 따른 변화가 필요하다. 따라서 계절에 따른 교통량을 설정하기 위해 배전계통을 계절별로 구성한 뒤, 국내 계절별 교통량을 조사하여 계절별 전기 자동차 총 운행 대수를 설정하였다. 아래의 식 (4), (5)는 표 3에 나타나있는 국내 계절별 평균 교통량을 이용하여 계절에 따른 전기 자동차 총 운행 대수를 설정하는 방식이다.

$$V_p = \frac{V_m}{V_T} \times 100 \quad (4)$$

$$E_m = V_p \times E_T \quad (5)$$

여기서 V_T 는 총 가솔린 자동차 대수, V_m 는 계절별 가솔린 자동차 운행 대수, V_p 는 계절별 가솔린 자동차 운행 비율, E_T 는 총 전기 자동차 대수, E_m 는 계절별 전기 자동차 총 운행 대수를 의미한다.

표 3. 계절별 국내 평균 교통량
Table 3. Average domestic traffic volume according to seasons

계절	차량대수	비율(%)	구분	차량대수	비율(%)
봄	16,183	95.1	여름	17,022	100
가을	16,656	97.9	겨울	14,707	86.4

3.5.2 국내 요일별 평균 교통량

3.5.1절에서 계산된 계절별 전기 자동차와 표 4의 요일별 국내 평균 교통량을 이용하여 식 (6), (7)에 적용하면 하루에 연계되는 총 전기 자동차 대수가 설정된다. 이와 같이 하루에 연계되는 전기 자동차 대수[11]를 설정하면, 계절별보다 더 정밀한 연계 대수를 설정할 수 있고, 배전계통에 연계되는 시점을 평일과 주말로 분리하여 배전계통에 미치는 전압변동을 분석할 수 있다. 다음의 식 (6), (7)은 국내 요일별 평균 교통량을 이용하여 요일에 따른 전기 자동차 운행 대수를 설정하는 방식이다.

$$V_{dP} = \frac{V_d}{V_{wT}} \times 100 \quad (6)$$

$$E_d = V_{dP} \times E_m \quad (7)$$

여기서 V_{wT} 는 월별 가솔린 자동차 총 운행 대수, V_d 는 요일별 가솔린 자동차 운행 대수, V_{dP} 는 요일별 가솔린 자동차 운행 비율, E_d 는 요일별 전기 자동차 운행 대수, E_m 는 계절별 전기 자동차 운행 대수를 의미한다.

표 4. 요일별 국내 평균 교통량
Table 4. Average domestic traffic volume according to day

요일	차량 대수	비율(%)
월요일	15,902	93.5
화요일	15,612	91.8
수요일	15,517	91.2
목요일	15,644	92
금요일	16,406	96.5
토요일	17,004	100
일요일	14,812	87.1

3.5.3 국내 시간별 평균 교통량

표 5에 나타나있는 시간별 국내 평균 교통량은 전기 자동차가 실시간으로 배전계통에 연계되는 대수를 설정하기 위한 필수적인 데이터이다[11]. 이 데이터를 이용하여 다음의 식 (8), (9)에 적용하면 시간에 따라 운행하는 전기 자동차 대수를 설정할 수 있다. 또한 3.6절 충전 시나리오에서 한 시간(우리나라 평균 주행 시간이 보통 45분이다) 주행 후, 배전계통에 전기 자동차를 연계하여 재충전되도록 설정하였으므로, 시간에 따라 전기 자동차가 배전계통에 연계되는 대수[12]와 실시간으로 배전계통에 미치는 전압변동을 분석할 수 있다.

$$V_{hP} = \frac{V_h}{V_{dT}} \times 100 \quad (8)$$

$$E_h = V_{hP} \times E_d \quad (9)$$

여기서 V_{dT} 는 일일 가솔린 자동차 총 운행 대수, V_h

는 시간별 가솔린 자동차 운행 대수, V_{hP} 는 시간별 가솔린 자동차 운행 비율, E_h 는 시간별 전기 자동차 운행 대수, E_d 는 요일별 전기 자동차 운행 대수이다.

표 5. 시간별 국내 평균 교통량
Table 5. Average domestic traffic volume according to hour

시간	차량대수	비율(%)	시간	차량대수	비율(%)
1	112	0.71	13	1,002	6.32
2	83	0.52	14	1,045	6.59
3	74	0.47	15	1,055	6.66
4	94	0.60	16	1,063	6.70
5	189	1.19	17	1,132	7.14
6	466	2.94	18	1,134	7.16
7	871	5.49	19	834	5.26
8	997	6.29	20	644	4.06
9	890	5.62	21	527	3.33
10	946	5.97	22	382	2.41
11	957	6.04	23	254	1.60
12	927	5.85	24	168	1.06

3.6 전기 자동차 연계 방법

전기 자동차용 충전기를 가정용 완속 충전기로 가정하였기 때문에 전기 자동차가 충전되는 장소는 특정 충전소가 아닌 가정(집)으로 한정하였고, 그림 3 지역의 가솔린 자동차 대수는 8,961대이다. 따라서 그림 3 하단에 표시되어 있는 L1~L11 부하에 분포되어 충전한다고 가정하였다. 또한 L1~L11 부하에 분포되는 전기 자동차 설정 방식 및 설정 계산 과정은 참고문헌 [13]과 동일하다.

표 6은 상기에서 설명한 계산과정을 통해서 L1에서 L11까지 전기 자동차 보급률이 10%일 때, 연계되는 자동차 대수를 계산하여 나타낸 표이다. 보급률 20%와 30%는 10%와 동일한 방식으로, 연계되는 전기 자동차 대수를 계산할 수 있다.

국내 데이터를 고려한 전기 자동차 충전 시 순시전압강하에 관한 연구

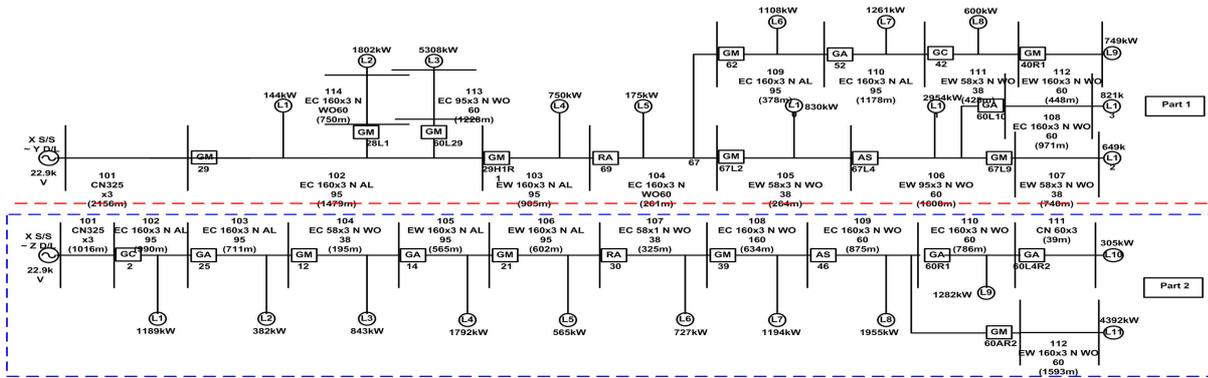


그림 3. 실 배전계통
Fig. 3. Real Distribution System

표 6. 지점별 전기 자동차 연계 대수
Table 6. Electric vehicle connected to Point of Load

구 분	부하량(kW)	비율(%)	자동차 대수
L1	1,189	8.12	73
L2	382	2.61	23
L3	843	5.76	52
L4	1,792	12.25	110
L5	565	3.86	34
L6	727	4.97	44
L7	1,194	8.16	73
L8	1,955	13.37	120
L9	1,282	8.77	79
L10	305	2.09	19
L11	4,392	30.03	269
총합	14,626	100	896

3.7 시나리오

본 논문에서 전기 자동차가 계통에 미치는 영향을 분석하기 위해 그림 4와 같은 충전 시나리오를 설정하였다. 국내 데이터를 기반으로 배터리 용량, 전기 자동차 대수, 전기 자동차 연결 시점, 동시 충전율[1], 한전 실 배전계통 부하설정 등에 모의조건을 설정한 후, 시나리오 순서에 따라 계통전압을 측정하여 배전계통에서의 전압 강하를 모의하였다.

본 논문에서 설정된 시나리오는 다음과 같은 순서에 의해서 진행된다.

- Step 1. 전기 자동차 총 대수 설정
- Step 2. 전기 자동차 배터리 용량 및 소비용량 설정
- Step 3. 전기 자동차 연계 시점 설정
- Step 4. 계절에 따른 배전계통 설정
- Step 5. 동시 충전율에 따른 시간대별 전기 자동차 대수 설정
- Step 6. 배전계통과 전기 자동차 연계
- Step 7. 전기 자동차 충전 대수에 따른 순시전압강하 측정

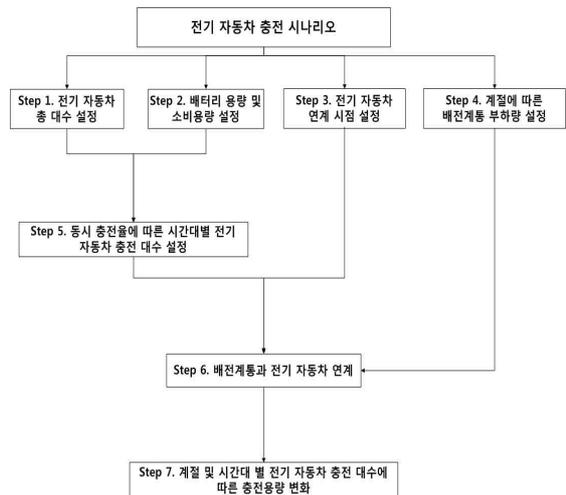


그림 4. 충전 시나리오
Fig. 4. Charging scenario

4. 시뮬레이션

4.1 모의계통

그림 3은 본 논문에서 사용한 모의계통으로 한전 실 배전계통을 모델링하였다. X~Y, X~Z 구간으로 약 1.5km 길이의 2단장주로 구성되고, 이후 2단장주 구간을 지나 2개의 배전선로로 나뉜다. 또한 변전소로부터 22.9kV를 공급받아 Part 1의 13개소 부하와 Part 2의 11개소 부하에 전력을 공급하며 총 유효부하는 28.6MW, 총 무효부하는 13.9Mvar이다[12].

본 논문에서 적용한 지역은 Part 2 구간의 11개소 부하이다. Part 2 지역만 적용한 이유는 Part 1과 2는 서로 다른 지역으로써, Part 2 지역에 해당하는 모의 조건을 조사하여 본 연구에 적용하였기 때문이다. 또한 3장에서 설명한 것과 같이 Part 2에 연계되는 전기 자동차의 대수는 각 부하량 비율에 비례하여 설정하였다.

4.2 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 국내 데이터를 기반(우리나라의 실시간 교통량 및 계절별 부하패턴 등)으로 모의조건을 설정하여 전기 자동차가 배전계통에 연계될 시, 배전계통에서 발생하는 순시전압강하를 평가하였다. 또한 본 논문에서는 가장 최악의 상황을 측정하기 위해서 부하 11개소 중 가장 말단에 위치하면서 부하량이 가장 많고, 전기 자동차가 가장 많이 연계되는 지점인 L11부하의 전압 값만을 측정하였다. 이 때 측정하는 방법은 참고문헌 [14]에서 명시된 순시전압강하 제한 기준(지속시간, 크기 등)을 고려하여 측정하였다. 그림 5는 3장의 모의조건을 따르며, 전기 자동차 연계대수가 가장 많은 여름철 토요일에 해당하는 전압과형을 보여준다.

시뮬레이션 시간은 0.1초당 1시간으로 가정하였다. 따라서 0.1초가 오전 1시, 2.4초가 오후 12시를 나타내며, 총 2.5초 동안 시뮬레이션이 진행된다. 또한 KS 표준 IEC 61851-1에서 정의하였듯이, 일반적인 가정용

충전기의 전압 레벨은 단상 250V, 32A이하 이다. 따라서 가정용 충전기의 전압 레벨은 220~250V사이로 설정이 가능하다. 본 논문에서 설정한 전압은 가정용 충전기 전압 레벨에 포함되고 선로임피던스 등으로 인한 전압강하를 감안하여, 전압을 245V로 설정하였다. 4.2.1절과 4.2.2절에서 나타난 모든 그래프는 그림 5에서 나타난 측정결과를 p.u.로 표현한 그래프이다.

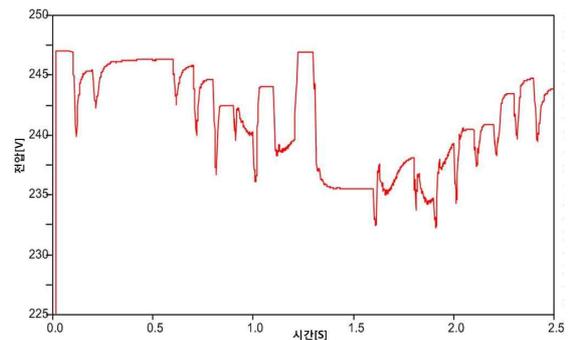


그림 5. L11부하에서의 실효치 전압
Fig. 5. RMS voltage in L11

4.2.1 계절과 요일에 따른 전압 강하 및 시뮬레이션 결과 검토

그림 6은 국내 데이터를 기반(우리나라의 실시간 교통량 및 계절별 부하 패턴 등)으로 모의조건을 설정하여 가장 많은 전기 자동차가 연계된 L11 부하에서의 측정된 전압 그래프이다.

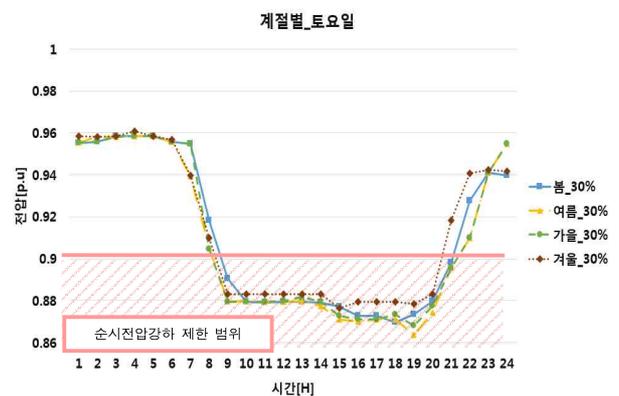


그림 6. 계절과 요일에 따른 L11 부하의 전압
Fig. 6. L11 load of voltage according to season and daily

상기 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이 계절, 요일 및 시간별 교통량과 계절별 부하량에 따라서 순시전압강하 값이 시간에 따라 변동하는 것을 볼 수 있다. 하지만, 그림 6은 전기 자동차 점유율 30%, 그리고 교통량이 가장 많은 토요일에 해당하는 결과만을 나타내었다. 따라서 자세한 시뮬레이션 결과를 언급하기 위해 아래와 같이 전기 자동차 보급률에 따라서 정리하고 결과 값이 비슷한 요일을 구분하여 참고문헌 [14]에서 제시하고 있는 순시전압강하 기준치와 비교하였다.

- (1) 전기 자동차 점유율 10%(전기 자동차 : 896대)
 - 모든 계절 및 요일에서 순시전압강하가 발생하지 않고 IEEE에서 제시하고 있는 순시전압강하 허용범위 안에 포함된다[14].
 - 평일(일요일~목요일)보다 주말(금, 토요일)에 큰 전압 강하가 발생하지만 순시전압강하 기준에 포함되지 않는다.
 - 출근시간(8시로 가정) 후, 9시부터 급격한 전압 강하가 발생한다.
- (2) 전기 자동차 점유율 20%(전기 자동차 : 1,792대)
 - ① 월요일
 - 모든 계절에서 순시전압강하가 발생하지는 않지만 순시전압강하 기준에 근접한 전압 강하가 발생하며, 19시에 발생하는 최저 전압이 순시전압강하 기준보다 0.004p.u. 높다.
 - ② 화요일, 목요일
 - 봄, 가을, 겨울철에는 IEEE 전압 변동 허용 범위 안에 포함이 되지만, 여름철 19시에는 허용 범위를 벗어나는 것을 확인할 수 있다.
 - ③ 수요일
 - 모든 계절에서 순시전압강하가 발생하지는 않지만 순시전압강하에 근접한 전압 강하가 발생하며, 19시에 발생하는 최저 전압이 순시전압강하 기준보다 0.002p.u. 높다.
 - ④ 금요일
 - 겨울철을 제외한 봄, 여름, 가을철 19시에 순시 전압 강하가 발생하는 것을 볼 수 있다.
 - ⑤ 토요일

- 겨울철을 제외한 봄, 여름, 가을철 순시전압 강하가 발생하는 것을 볼 수 있다.
- 여름철은 17시, 가을철은 18시부터 순시전압 강하가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

⑥ 일요일

- 모든 계절에서 순시전압강하가 발생하지 않지만 순시전압강하 기준에 근접한 전압 강하가 발생하고, 19시에 발생하는 최저 전압이 순시전압강하보다 0.004p.u. 높다.

(3) 전기 자동차 점유율 30%(전기 자동차 : 2,688대)

① 월, 화, 수, 목, 일요일

- 모든 계절에서 9시부터 20시 사이에 순시전압강하가 발생한다.

② 금요일

- 모든 계절에서 9시부터 20시 사이에 순시전압강하가 발생한다.
- 여름철에는 순시전압강하가 1시간 더 지속된다(21시까지 발생).

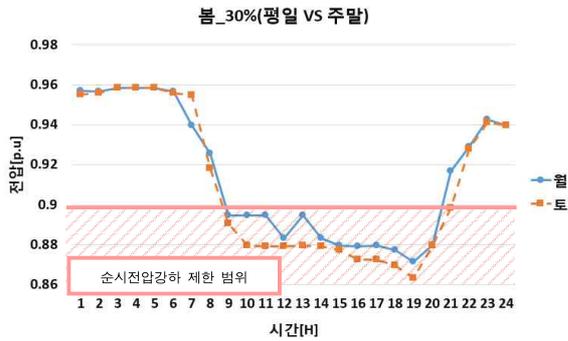
③ 토요일

- 겨울철을 제외한 모든 계절에서 8시부터 22시 사이에 순시전압강하가 발생하고 겨울철에는 21시까지 순시전압강하가 발생한다.
- 다른 요일에 비해 1시간 빨리 순시전압강하가 발생하고 1시간 더 지속되는 것을 확인할 수 있다.

4.2.2 주중 및 주말별 전압 강하

본 절에서는 전압을 측정된 케이스가 다양하기 때문에, 세밀한 분석을 위해서 평일과 휴일을 나누어 각각의 조건 중 교통량이 가장 많은 월요일과 토요일을 선정하고, 보급률이 가장 높은 30%를 선정하였으며, 측정 위치 및 연계방법은 3~4장에서 설명한 방법과 동일하다. 위와 같은 조건에 따라 모의한 결과는 그림 7에 나타내었다.

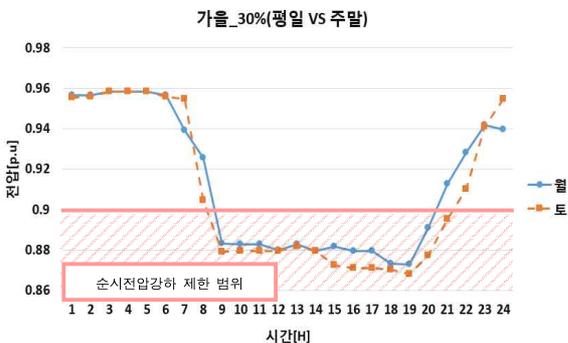
평일보다 주말에 발생하는 최소 전압이 봄에는 약 0.00402p.u. 여름에는 약 0.00432p.u. 가을에는 약 0.00358p.u. 겨울에는 약 0.00512p.u. 낮다. 즉 주말에 발생하는 순시전압강하가 평일보다 크다. 하지만 평일과 주말의 교통량 차이는 심하지 않기 때문에 순시전



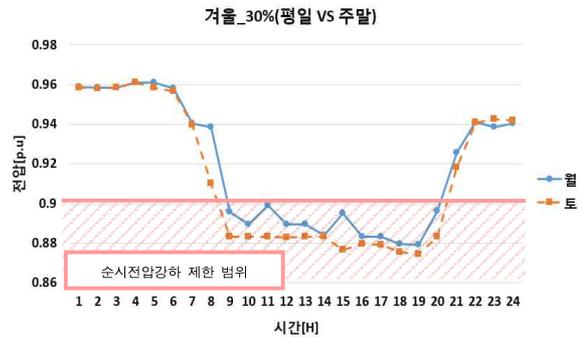
(a) 봄철 주중 및 평일에 따른 전압 강하



(b) 여름철 주중 및 평일에 따른 전압 강하



(c) 가을철 주중 및 평일에 따른 전압 강하



(d) 겨울철 주중 및 평일에 따른 전압 강하

그림 7. 계절별 평일과 주말 전압 강하

Fig. 7. voltage drop on weekdays and weekends according to season

압강하의 차이는 심하지 않다. 따라서 보상대책방안을 연구할 때, 평일과 주말을 구분하여 대책을 설정하는 것보다는 교통량에 초점을 맞춰서 설정해야 한다.

5. 결 론

계절에 따라 변하는 수요량을 예측하고 대책을 연구 하듯이, 전기 자동차가 계절 및 요일에 따라 배전 계통에 연계될 때, 배전계통에서 일어나는 현상을 예측하고 대책을 연구하는 것은 매우 중요하다. 따라서 본 논문에서는 계절별 부하 패턴 및 계절, 요일별 실시간 교통량 그리고 한전 실 배전계통 같은 국내 실제 데이터를 기반으로 전기 자동차가 배전계통에 연계될 때, 미치는 전압 강하에 대해서 계절 및 요일별로 평가하였다. 전압 강하는 부하량과 교통량이 가장 많은 여름철이 다른 계절에 비해 심하다는 것을 알 수 있고, 주

말이 평일보다 전압 강하가 크지만 경미한 차이를 가진다는 것을 알 수 있다. 이를 바탕으로, 전압 강하가 계절별 부하량보다는 전기 자동차가 배전계통에 연계되는 대수(실시간 교통량)에 더욱 민감한 것을 확인할 수 있었다. 그 이유는 동일한 시간에 출·퇴근하는 차량이 많이 존재하므로, 동일한 시간에 충전을 개시하는 차량의 수 역시 상당량 존재하기 때문이다. 본 논문에서 모의한 계절 및 요일에 따른 전기 자동차의 연계에 따라 배전계통에 미치는 영향의 분석을 통해, 향후 전기 자동차의 보급 증가에 따른 배전계통의 영향을 예측하고 그에 따른 대책을 미리 수립함으로써, 전력품질을 향상시킬 수 있다. 또한 본 논문의 분석 결과를 바탕으로 전기 자동차 충전인프라 구축 시, 계절에 따라 전기 자동차의 충전부하를 적절하게 분산하여 배전계통에 연계하는 방법, 전력품질 보상장치 및 기기에 대한 연구, 그리고 설비용량 부족 시 요구되는

배전계통 설비용량 산정 등에 이용할 수 있다. 또한 적절한 설비용량이 추가되지 않았을 시, 배전계통에 영향을 미칠 수 있다는 것을 보여주기 위한 1단계적인 연구 결과이다.

본 연구는 2014년도 산업통상자원부의 재원으로 한국 에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20124010203300)입니다.

References

[1] South Korea Smart Institute, "Establishment Guideline for EV Charging Infrastructure", Seoul Development Institute, September 2010.

[2] Si-Yeon Kim, Jae-Dong Hwang, Jong-Hun Lim, Kyung-Bin Song, "A Study of Comparing and Analyzing Electric Vehicle Battery Charging System and Replaceable Battery System by Considering Economic Analysis", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol 61, No.9, pp. 1242-1248, September. 2012.

[3] Mukesh Singh, Praveen Kumar, and Indrani Kar, "Implementation of Vehicle to Grid Infrastructure Using Fuzzy Logic Controller", IEEE Trans. on Smart Grid, Vol.3, No 1, pp.565-577, March 2012.

[4] K. Shimizu, T. Masuta, Y. Ota, and A. Yokoyama, "Load frequency control in power system using vehicle-to-grid system considering the customer convenience of electric vehicles," in Proc. Int. Conf. Power Syst. Technol. (POWERCON), pp. 1 - 8, October 2010.

[5] J. Pillai and B. Bak-Jensen, "Integration of vehicle-to-grid in the western Danish power system", IEEE Trans on Sustainable Energy, Vol.2, No.1, pp.12 - 19, January 2011.

[6] Jun-Hyeok Kim, Soon-Jeong Lee, Eung-Sang Kim, Seul-Ki Kim, Chul-Hwan Kim, Laszlo Prikler, "Modeling of Battery for EV using EMTP/ATPDraw", Journal of Electrical Engineering & Technology, Vol.9, No.1, PP. 98-105, January 2014.

[7] Doo-Ung Kim, Jun-Hyeock Kim, Hyo-Sang Go, Hun-Chul Seo, Chul-Hwan Kim, Eungsang Kim "Modeling of Single Phase PWM AC/DC Converter for EV using EMTP/MODELS", KIEE Summer Conference & General Meeting, July 2012.

[8] Jun-Hyeok Kim, Hyo-Sang Go, Doo-Ung Kim, Hun-Chul Seo, Chul-Hwan Kim, Eung-Sang Kim, "Modeling of Battery for Electric Vehicle Using EMTP/MODELS", IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, October 2012.

[9] Korea Power Exchange, "http://www.kpx.or.kr/"

[10] 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 on Power

Delivery, Vol. 24, No.3, pp1483~1489, July 2009.

[11] MLTM(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs), "Statistical yearbook of MLTM", December 2012.

[12] Hyo-Sang Go, Doo-Ung Kim, Jun-Hyeock Kim, Soon-Jeong Lee, Chul-Hwan Kim, Eung-Sang Kim, "Analysis of Power Quality Effects due to Real-Time Traffic Volume of Electric Vehicles", KIEE Fall Conference & General Meeting, October. 2012.

[13] Soon-Jeong Lee, Jun-Hyeok Kim, Doo-Ung Kim, Hyo-Sang Go, Chul-Hwan Kim, Eung-Sang Kim, Seul-Ki Kim, "Evaluation of Voltage Sag and Unbalance due to the System Connection of Electric Vehicles on Distribution System", Journal of Electrical Engineering & Technology, Vol.9, No.2, PP. 452-460, November 2013.

[14] IEEE Standards Coordinating Committee 22 on Power Quality, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, June 1995.

◆ 저자소개 ◆



고효상(高孝相)

1985년 8월 26일생. 2010년 충북대 물리학과 졸업. 2012년~현재 성균관대 정보통신대학 석·박사통합과정.



김준혁(金俊赫)

1985년 5월 17일생. 2012년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2014년 동 대학원 정보통신대학 졸업(석사). 2014년~현재 동 대학원 정보통신대학 박사과정.



김응상(金應相)

1962년 6월 21일생. 1988년 서울산업대 전기공학과 졸업. 1991년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전기연구원 스마트배전연구센터 센터장.



김철환(金喆煥)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 성균관대 정보통신대학 교수. 전력IT인력양성센터 센터장.