

특수일 이동을 고려한 전기자동차 충전부하의 전력계통 영향에 관한 연구

A Study on Power System Analysis Considering Special-days Load Mobility of Electric Vehicle

황성욱* · 김정훈†
(Sung-Wook Hwang · Jung-Hoon Kim)

Abstract - In this paper, the power system with electric vehicles is analyzed considering the mobility and diffusion rate of electric vehicles in the smart grid environment. In the previous studies, load modeling and load composition rates have been researched and the results are applied to develop a new load model to explain the mobility of electric vehicles which could affect on the power system status such as power flow and stability. The results would be utilized to research and develop power system analysis methods considering movable charging characteristics of electric vehicles including movable discharging characteristics which could be affected by the diffusion progress of electric vehicles.

Key Words : Electric vehicle, Charging load, Mobility, Special-day, Diffusion model, Power flow, Dynamic stability, ZIP model, Power system analysis

1. 서 론

스마트그리드 환경에서 중요한 기술 세 가지는 전기자동차, 전 기저장장치, 전력IT라고 볼 수 있다. 그 중에서도 가장 주목 할 것은 전기자동차로서, 향후 전기자동차의 보급이 확대되면 전기 자동차의 충전으로 많은 양의 전기를 사용하게 되고 지금까지와는 다른 전력사용 패턴을 보이게 될 것이다. 이는 실제적으로 전 력조류의 양과 흐름에 영향을 주고 계통의 안정도 특성이 달라질 수 있는 여지를 주게 된다. 이러한 전기자동차의 전력계통 영향 력을 평가하기 위해서는 전기자동차 개별특성을 포함한 주거용 부하모델이 새롭게 필요하게 되는데, 모델링을 위해서는 전기자 동차의 개별부하특성식이 필요하다. 이를 위해서는 주거용 부하 기기의 개별부하실험과 같은 방법의 실험을 통해 전압, 주파수 특성을 구하고 5차 특성방정식을 도출한다. 최근 연구[1]에서 이 러한 부하모델 연구가 수행된 바 있는데, 전기자동차를 주거용 부하모델에 합성하기 위해 필요한 부하량 산정 및 구성비 추정과 관련된 연구도 수행되었다. 본 논문에서는 관련 연구에서 수행된 전기자동차 충전부하의 특성실험 결과를 이용하여 개별 5차 특성 방정식을 도출하고, 확산곡선과 교통량을 이용해 이동하는 전기

자동차의 부하예측을 통해 추정된 부하구성비를 이용하여 부하모 델을 도출하고, 최종적으로 이를 기반으로 전력계통해석의 예를 보인다.

2. 전기자동차의 특수일 이동 특성 예측

한 지역의 전기자동차 수는 해당 지역의 주거용과 외부 지역 에서 전기자동차를 타고 와서 한 지역에 머물며 충전을 할 경우 의 수도 생긴다. 이런 경우에는 교통량을 조사하여 일정지역으로 차가 유입되고 나가는 수를 조사하여 그 차이만큼이 지역에 머무 르는 차라는 가정을 하고, 이동성 전기자동차의 부하를 예측하게 된다. 이러한 이동성 전기자동차는 새벽 내(오전 12시~오전 6 시)에만 충전을 한다고 가정한다. 이 같은 이동성 부하는 민족대 이동이라 불리는 설날, 추석과 같은 명절이거나 황금연휴에 크게 나타날 것으로 보인다.

전기자동차는 전기적 특성을 갖고 이동한다는 특징이 있기 때 문에 어디로 이동하여 부하가 발생할 것인지 예측하는 것이 중요 하다. 본 논문에서는 전기자동차가 자동차라는 사실에 입각하여 몇 백만 명의 인구가 이동하는 설과 추석의 교통량 자료를 이용 하여 전기자동차의 이동성 부하를 예측한다.

전기자동차의 이동이 예측되는 지역을 5개의 권역으로 나누고, 이동 중의 충전은 제외하기로 한다. 그 이유는 이동 중의 충전은 산발적이고 그 충전부하량이 크지 않을 것으로 예측되므로 전력 수급에 큰 문제를 끼치지 않을 것으로 예상되기 때문이다. 그림 1에서 보는 바와 유입된 차량에서 유출된 차량의 수를 빼면 총

† Corresponding Author : School of Electrical Engineering,
Hongik University, Seoul, Korea

E-mail : kimjh@hongik.ac.kr

* R&D Strategy Office, KEPCO Research Institute, Daejeon,
Korea

Received : January 11, 2016; Accepted : January 26, 2016

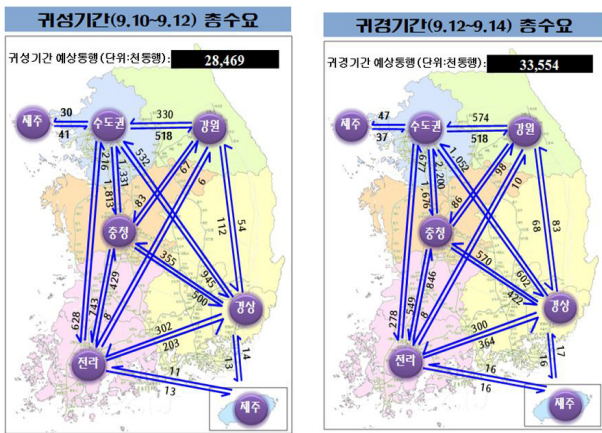


그림 1 명절기간 통행량 변화의 예(2011년 추석)[2]
 Fig. 1 Traffic Change Sample of Chuseok 2011[2]

그 지역에 순수하게 유입된 자동차 수를 알 수 있다. 그 중 전기자동차의 보급이 확산모형에 따라 혹은 전지자동차 로드맵에 따라 고르게 보급된다고 가정하여 각 지역으로 이동한 자동차 수에 보급률을 곱해 전기자동차의 대수를 계산할 수 있다.

표 1 보급률 3%시 이동한 전기자동차 수(대)
 Table 1 EV Movement in Diffusion of 3%

지역	귀성	귀경
서울	-7,603	4,770
경기	-8,335	5,056
강원	1,989	-841
충북	1,641	-798
충남	-725	2,646
전북	3,581	-2,531
전남	4,681	-3,337
대구경북	5,139	-3,283
경남	1,202	-387
부산	-395	187

표 1의 이동 전기자동차 대수를 이용하여 전기자동차의 부하용량을 산정하는 방법은 다음과 같다.

$$\text{부하용량} = \text{전기자동차대수} \times \text{배터리용량} \times \text{동시충전율} \quad (1)$$

여기서 동시 충전율은 관련 연구[3]에서 30%를 넘지 않는다는 것에 의거하여 최대피크값이 발생하는 30%로 설정하였다. 산정한 값을 표 2에 보였다. 이와 같이 산정된 전기자동차의 부하용량으로 이동 시 각 지역에 증가하는 전력과 합성모델을 변화시켜 새로운 부하모델을 도출한다.

표 2 보급률 3%시 이동한 전기자동차 부하(MW)
 Table 2 EV Load Moved in Diffusion of 3%

지역	귀성	귀경
서울	-5.70193	3.57766
경기	-6.25154	3.792275
강원	1.491481	-0.63107
충북	1.230465	-0.59823
충남	-0.54402	1.984164
전북	2.685522	-1.89854
전남	3.510882	-2.50298
대구경북	3.854567	-2.46233
경남	0.901693	-0.29013
부산	-0.29607	0.140472

3. 전기자동차 이동을 고려한 부하모델링

부하 축약의 경우 손실률 데이터를 취득하지 못해 부하 구성비만으로 축약하였고, 이를 식으로 나타내면 다음 식 (2)와 같다.

$$\sum_i ((i\text{기} 5\text{차식}) \times \frac{j\text{지역 } i\text{기 전력}}{j\text{지역 전체 전력}}) \quad (2)$$

이 식에 따라, 2019년 확산곡선에 의한 전기자동차 보급 시 이동한 전기자동차 부하량은 표 2와 같고 주거용 부하구성비에 전기자동차의 구성비를 이용하여 각 지역의 부하모델을 ZIP모델로 변경하여 총 이동된 전기자동차의 부하량을 이용해 각 지역별 주거용 부하모델에 전기자동차 부하구성비를 도출해 새로 합성한 ZIP모델은 다음 표 3과 같다.

전력계통해석을 위하여 PSS/E를 이용하였으며, 전력조류계산을 한 결과 지역간 조류의 흐름은 그림 2와 같이 나타났다. 전기

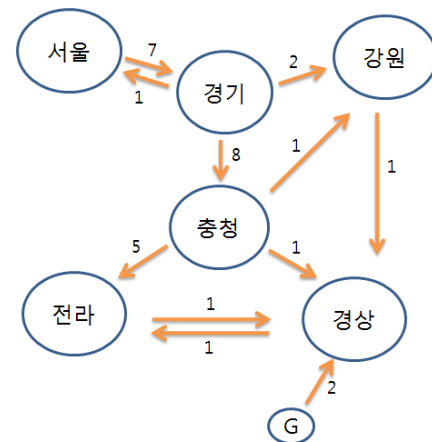


그림 2 보급 3% 귀성 시 지역간 전력조류
 Fig. 2 Power Flow in Diffusion of 3% (Going Home)

표 3 이동성 전기자동차 충전부하의 ZIP 모델(귀성 시)
Table 3 ZIP Model Parameters of the Charging Load

구분		상수	Δv	Δv^2
서울	P	44.80055	14.44012	40.75933
	Q	15.02841	31.81969	53.1518
경기	P	49.62638	16.55859	33.81503
	Q	28.1254	25.79288	46.08182
강원	P	52.67371	10.74601	36.58028
	Q	25.47078	24.64555	49.88367
충북	P	52.67397	10.74595	36.58008
	Q	25.47119	24.64542	49.88339
충남	P	52.75222	12.22267	35.02511
	Q	27.56762	26.37059	46.06179
전북	P	50.79204	14.12568	35.08227
	Q	26.34709	29.29675	44.35617
전남	P	52.75091	12.22301	35.02608
	Q	27.56561	26.37133	46.06307
대구경북	P	52.54024	14.23027	33.22949
	Q	32.47339	33.0061	34.52052
경남	P	50.84541	14.44653	34.70806
	Q	31.28793	20.14777	48.5643
부산	P	48.54702	14.53828	36.9148
	Q	30.24901	30.30839	39.4426

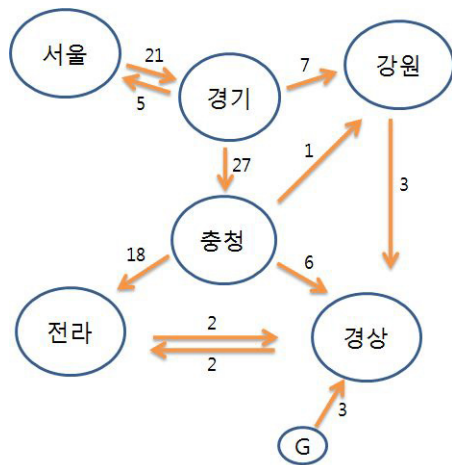


그림 3 보급 10% 귀성 시 지역간 전력조류
Fig. 3 Power Flow in Diffusion of 10% (Going Home)

자동차가 경상 및 전라지역으로 이동한 만큼 복사조류가 줄고 남하하는 조류의 형태로 변하는 모습을 살펴볼 수 있다. 여기서 보급률 3%일 때 총 이동한 전기자동차의 부하량은 13MW인데, 각 지역의 총 유입된 부하량을 합치면 12MW이다. 1MW는 조류계산 시 슬랙모션이 손실을 감당할 것으로 볼 수 있다. 따라서 전기자

동차의 이동으로 인해 오차 없이 조류가 흘러갔다고 볼 수 있다. 그림 3에는 전기자동차 보급이 10%일 경우 귀성 시의 지역간 조류변화를 보였다.

과도안정도는 급격한 계통 동요 시 과도 상태에서의 전력 상차각 특성을 검토하는 것으로서, 계통이 안정한가, 불안정한가의 판별은 보통 외란 발생 후 수초(대략 3초) 이내에 결정되는 것이므로 1차 동요시의 특성을 살펴보고, 발전기의 위상각이 1파(또는 2파)에서 수렴하지 않고 계속 상승하게 되면 불안정한 것으로 판정한다. 그림 4에서는 사고 후 약 4초까지 크게 진동하다가 점점 수렴하는 형태를 살펴볼 수 있으며 외란 이후 불안정한 상태가 3초 이상 지속되어 계통이 조금 불안정한 모습을 확인할 수 있다.

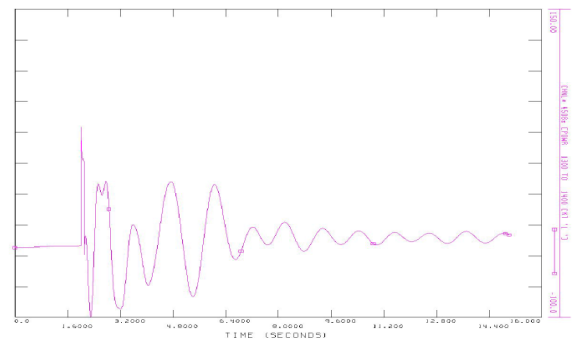


그림 4 보급 3% 귀성 시 과도 안정도 결과(유효전력)
Fig. 4 Dynamic Stability Result of Diffusion 3% (P)

그림 4와 그림 5를 비교해보면 두 경우 사고 후 약 4초까지 크게 진동하다가 점점 수렴하는 형태를 살펴볼 수 있으며 외란 이후 불안정한 상태가 3초 이상 지속되어 계통이 조금 불안정한 모습을 살펴볼 수 있다. 여기서, 전기자동차 보급 수준이 3%인 경우와 10%인 경우를 비교해보면, 3% 수준일 때 동요의 진폭이 10%일 때보다 크게 나타난다. 이는 전기자동차가 귀성하면서 남하조류가 발생하여 계통이 좀 더 안정적이라는 점을 시사한다.

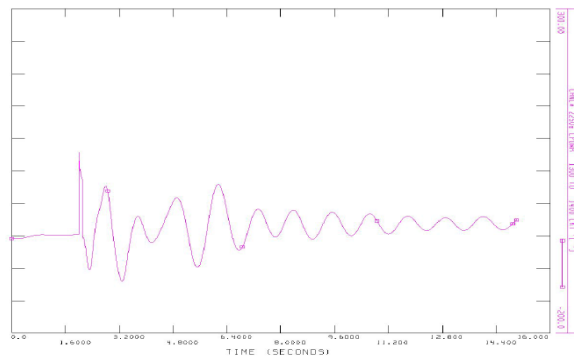


그림 5 보급 10% 귀성 시 과도 안정도 결과(유효전력)
Fig. 5 Dynamic Stability Result of Diffusion 10% (P)

4. 결 론

본 논문에서는 전기자동차의 보급 확산에 따라 전력계통에 미치는 영향을 평가하기 위해 대표적 특수일인 명절의 귀성 및 귀경 시에 발생할 수 있는 전기자동차 충전부하의 이동성과 전망되는 보급 수준을 예측하였다. 또한, 선행연구의 부하실험과 부하구성비 결과를 이용하여 부하축약을 수행하고 전력계통해석을 위해 필요한 부하모델을 도출하였다. 본 논문에서 시도한 이동성 전기자동차 충전부하를 고려한 전력계통해석 방안은 향후 충전 및 방전 특성을 모두 고려한 전기자동차의 전력계통 영향을 평가하는데 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 전기자동차 배터리의 부하관리 기능이 보급 확산한다는 가정 하에 전력계통의 신뢰도와 안정도에 미치는 영향을 평가하는 방안 개발이 후속 연구로서 요청된다.

감사의 글

이 논문은 2012년 정부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업이며(No.2012R1A1A2008071), 한국전력공사 지원에 의하여 전력연구원의 주관으로 수행된 과제(R15DA13)의 연구 결과입니다.

References

- [1] Ministry of Knowledge and Economy, *Final Report: Development of Residential Load Model for Power System Analysis of Smart Place*, 2012.
- [2] 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.
- [3] KPX, *Electricity Supply Influence and the Implication by the Deployment of Electric Vehicle*, November 2009.
- [4] Sung-Wook Hwang, et. al., "A Study on Mobility Loads and the Deployment Patterns for the Development of Smart Place Load Model", Transactions of KIEE, Vol. 63, No. 2, pp. 217-213, February 2014.
- [5] 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.
- [6] Sung-Wook Hwang and Jung-Hoon Kim, "A Study on Power System Analysis Considering the Mobility and Diffusion Rate of Electric Vehicle", Proceedings of KIEE Autumn Meeting, pp. 329-330, October 2012.
- [7] Hyeon-Jung Park, *A Study of Electric Vehicle and Residential Load Model for Power System Interpretation in Smart Grid*, Master's Dissertation, Hongik University, 2012.
- [8] Hyeon-Jung Park, et. al., "A Study on Load Models of Electric Vehicle for Power System Analysis", Proceedings of KIEE Summer Conference, July 2012
- [9] Hyeon-Jung Park, et. al., "A Study for Local Load Forecast of Electric Vehicle to Resident Load Model in Smart Grid", Proceedings of KIEE Smart Grid Research Committee Spring Conference, May 2012.
- [10] KEPCO, *Final Report: Development of Accurate Load Model for Detailed Power System Stability Analysis*, 2001.
- [11] Jung-Hoon Kim, et. al., "A Study on the Reasonable Load Composition Rate Estimation Method for the Load Model", Transactions of KIEE, Vol. 42, No. 12, pp. 21-31, December 1993.
- [12] 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.
- [13] F. M. Bass, "A New Product Growth Model for Consumer Durables", Management Science, vol. 15, pp. 215-227, January 1969.

저 자 소 개



황 성 욱 (Sung-Wook Hwang)

1974년 4월 20일생. 2012년 홍익대학교 전기정보제어공학과 졸업(박사). 2008년 한국전력공사 입사. 현재 한전 전력연구원 전략사업실 근무.

Tel : 042-865-5136

E-mail : outward@kepcoco.kr



김 정 훈 (Jung-Hoon Kim)

1955년 9월 13일생. 1985년 서울대학교 전기공학과 졸업(박사). 1981년~현재 홍익대학교 전자전기공학부 교수

Tel : 02-320-1621

E-mail : kimjh@hongik.ac.kr