

# 전기자동차 부하 특성을 고려한 마이크로그리드의 최적 전원 구성에 관한 연구

## A Study on the Optimal Resource Configuration Considering Load Characteristics of Electric Vehicles in Micro Grid Environment

황성욱\* · 채우규\*\* · 이학주\*\* · 윤상윤\*\* · 김정훈†  
(Sung-Wook Hwang · Woo-Kyu Chae · Hak-Ju Lee · Sang-Yun Yun · Jung-Hoon Kim)

**Abstract** - In power system research fields, one of current key issues is the construction and commercialization of micro grid site which is called green island, carbon zero island, energy independent island, building micro grid, etc. and various affiliated technologies have been being vigorously developed to realize. In addition, various researches about electric vehicles (EVs) are in progress and it is expected to penetrate rapidly with the next a few years. Some new load models should be developed integrating with electric vehicle loads because the EVs' deployment could cause the change of load composition rate on power system planning and operations. EVs are also resources for micro grid as well as distributed generation and demand response so that various supply and demand side resources should be considered for micro grid researches. In this paper, the load composition rate of residential sectors is prospected considering the deployment of EVs and the resource configuration of micro grid is optimized based on net present cost. In the optimization, the load patten of case studies includes EV's charging characteristics and various cases are simulated comparing micro grid environment and normal condition. HOMER is used to compare various cases and economic effects.

**Key Words** : Micro grid, Electric vehicle, Battery, Charging, Discharging, Load composition rate, Optimal configuration, Renewable energy, Diffusion model, Net present cost, Economic analysis, HOMER

### 1. 서 론

최근 에너지산업계의 큰 이슈 중 하나가 에너지자립섬, 녹색섬, 탄소제로섬, 캠퍼스 마이크로그리드, 빌딩 마이크로그리드 등과 같은 크고 작은 마이크로그리드의 실증과 상용화이다. 마이크로그리드는 통상 메인 전력계통 연계 여부에 따라 연계형 마이크로그리드와 독립형 마이크로그리드로 구분하는데, 캠퍼스 또는 빌딩 마이크로그리드가 대표적인 연계형 마이크로그리드이며, 에너지자립섬과 같은 도서지역 또는 오지를 대상으로 하는 것이 독립형 마이크로그리드이다. 마이크로그리드를 구성하는 자원에는 신재생에너지, 가스터빈, 디젤발전기, 소형열병합 등 다양한 형태의 발전자원과 함께 각종 수요자원 또한 포함된다. 아울러 보급 추진 중인 전기자동차는 배터리 충방전 특성에 따라 수요자원 또

는 공급자원으로 활용 가능하다. 즉, 전기자동차의 배터리 충전부하 관리를 통해 수요자원으로 활용할 수 있고, V2G(Vehicle to Grid)를 통하여 공급자원으로 활용할 수 있게 된다. 이에 따라 향후 전기자동차 보급 확대에 따라 충전부하를 감당할 수 있는 규모의 공급능력이 적기에 확충되어야 하며, 이를 위해 V2G 기능을 포함하여 적정 수준의 공급자원 확보가 필요하다. 최근 이와 관련된 연구들이 다양하게 진행되고 있는데, 특히 마이크로그리드의 자원으로 전기자동차를 고려한 연구들이 활발히 진행되고 있다[1-3]. 본 논문에서는 선행 연구에서 진행된 전기자동차 충전부하를 포함한 부하구성비와 보급모형 개발 및 부하모델링 연구 결과[4-8]를 기반으로 마이크로그리드에서 전기자동차 부하가 증가되는 추이를 고려하여 최적의 전원 구성을 하기 위한 방안을 검토한다.

본 논문에서 마이크로그리드의 최적 전원 구성을 검토하기 위한 방법은 순현재가비용(Net Present Cost)에 기반한 경제성 평가로서, 마이크로그리드를 구성하는 신재생에너지, 배터리 및 디젤발전기의 가장 경제적인 조합을 찾는 방법이다. 사례연구로는 계통 미연계 도서에 전기자동차가 보급되는 조건을 가정하여 기존 디젤발전기 및 신규 마이크로그리드 환경 각각에 대하여 전기자동차의 보급비율에 따른 최적 전원 구성을 평가하였다. 시뮬레이션 툴로는 미국 NREL (National Renewable Energy Laboratory)에서 개

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

\*\*Micro Grid Research and Business Development Center, KEPCO Research Institute, Daejeon, Korea

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

E-mail: kimjh@hongik.ac.kr

Received : January 07, 2015 ; Accepted : January 27, 2015

발하여 소규모 하이브리드 전력시스템 및 마이크로그리드의 경제성 평가에 널리 활용되고 있는 HOMER[9]를 사용하였다. 본 논문은 향후 능동배전망 환경 하에서 연계형 마이크로그리드의 V2G 기능을 고려한 최적 전원 구성을 평가하기 위하여 독립형 마이크로그리드를 대상으로 사전 연구로 수행된 결과이다.

## 2. 전기자동차 보급에 따른 부하구성비 변화

하루 중 전기자동차의 주요 충전 시간은 대체로 퇴근 후부터 다음 날 출근 전까지 나타난다고 가정하는 것이 일반적이다[10]. 이는 근무일 중 출퇴근용 차량을 대상으로 한 것으로, 휴일이나 영업용 차량의 충전 패턴은 다르게 나타날 것으로 예상된다. 본 논문에서는 가장 일반적인 형태인 전자의 조건에 국한하며, 그림 1과 같이 선행 연구[8][10]에서 제시한 바와 동일한 시간대별 충전비율을 가정하였다. 향후 V2G 도입에 따라 전기자동차가 공급자원으로 기능하게 되면 충전 및 방전 패턴은 전력계통 상태 및 전력시장 신호에 따라 달라질 것으로 예상되며 이러한 충전방전 패턴을 예측하기 위해서는 신경회로망, 퍼지이론, PSO(Particle Swarm Optimization) 등 최적화기법을 활용한 연구가 활발히 진

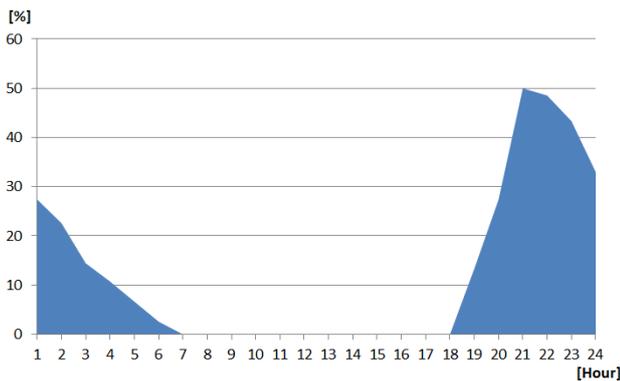


그림 1 전기자동차 충전 비율  
Fig. 1 Hourly charging ratio of electric vehicle

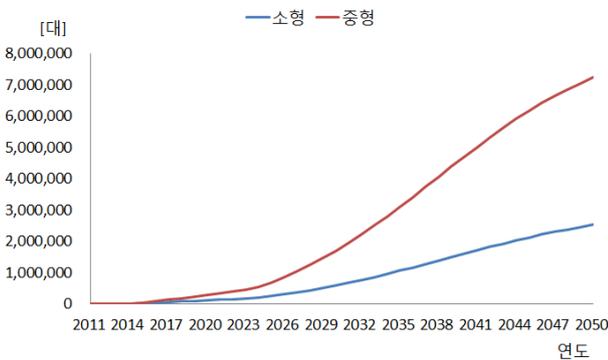


그림 2 전기자동차 보급 추이 전망  
Fig. 2 Cumulated diffusion of electric vehicles

행되고 있다.

선택기반 확산모형을 기반으로 다단계로 구분하여 전기자동차의 보급을 예측한 선행 연구[11]에 따르면 다음 그림 2와 같은 보급 추이를 나타낸다. 2050년까지도 우리나라 전체 자동차를 전기자동차가 대체하지는 못하는 것으로 예상하고 있는데 이는 관련 정책에 따라 달라질 것으로 판단된다.

그림 2의 보급추이에 준하여 전기자동차 보급을 고려한 마이크로그리드 환경의 부하구성비 변화 추이를 예상해보면 다음 그림 3과 같은데, 전기자동차 보급에 따라 저녁시간대와 새벽시간대의 부하가 상대적으로 증가하는 것을 보인다.

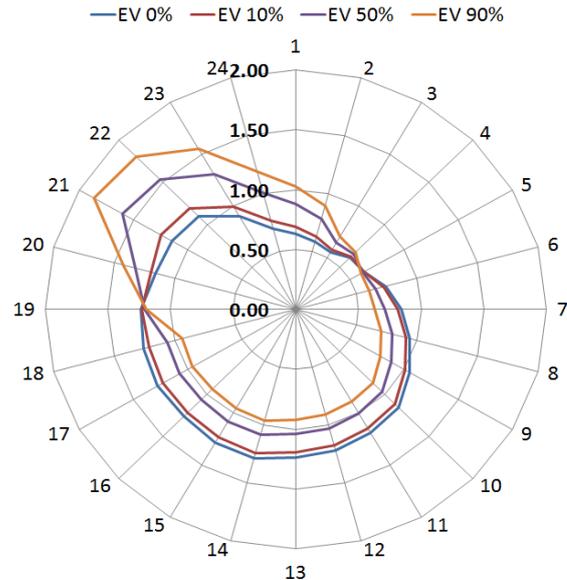


그림 3 전기자동차 보급에 따른 부하구성비 변화  
Fig. 3 Load composition ratio by electric vehicle diffusion

현재까지 구축되었거나 구축되고 있는 마이크로그리드 실증사이트에는 대부분 전기자동차가 수요자원 또는 공급자원으로 고려되지 않고 일부 전시용 목적으로 포함되어 있기는 하지만, 향후 전기자동차 인프라 관련 정책과 시장 환경의 개선에 따라 보급이 활성화될 경우 전력계통의 계획 및 운영에 크고 작은 영향을 미칠 것으로 보인다. 특히, 적절한 공급능력 확충이 필요하며 고객 측면에서도 충전기 설치에 따른 수전설비 증설이 필수적이다.

## 3. 순현가비용에 기반한 최적 전원 구성 평가

본 논문에서는 경제성 평가 방법 중 하나인 순현가비용을 각 사례에 대하여 대상기간 20년으로 검토하여 최적의 전원 구성을 찾고자 한다. 순현가비용은 검토 대상 기간에 한하여 할인율을 고려하여 투자비, 교체비, 운영비 등 모든 소비비용을 현재 가치로 비교하는 것인데, 기존의 디젤발전기만으로 전기를 공급하고 있는 계통 미연계 도시에 마이크로그리드를 구축할 경우 전기자동차에 의한 부하구성비 변화에 따라 어떠한 최적 전원 구성이

가능한지 검토한다.

우선 기존 사례로서 국내의 계통 미연계 도서 A를 고려하였으며, 표 1과 같이 도서 A에 기존 디젤발전기와 기존 부하패턴을 고려한 경우를 기준으로 마이크로그리드 및 전기자동차의 보급 여부를 조합하여 사례 계통을 구성하였다. Case II와 Case IV의 경우에는 전기자동차 보급률 수준에 따라 더 세분화된다. 표 2는 도서 A의 월별 부하패턴을 보인 것으로서, 평균 부하 90kW, 최대부하 167kW로 디젤발전기 100kW 2대로 전력을 공급받고 전기자동차는 보급 이전인 상태를 기준 사례(Case I)로 가정하였다. Case II는 마이크로그리드를 도입하지 않았으나 전기자동차가 보급되는 경우로서, 마이크로그리드 및 전기자동차를 모두 고려한 Case IV와 비교 대상이 된다. Case III의 경우에는 마이크로그리드를 도입했으나 전기자동차는 고려되지 않은 경우이다.

표 1 사례 계통 구성

Table 1 Case study configuration

구분	Case I (Base)	Case II	Case III	Case IV
MG 유무	X	X	O	O
EV 유무	X	O	X	O

먼저 기준 사례인 Case I과 마이크로그리드를 고려한 Case III를 20년간 운전한 경우를 비교한 것으로서, 표 2와 같이 PV 300kW, 디젤 200kW, 리튬이온 배터리 1MWh, PCS 250kW로 구성된 Case III가 디젤발전기 200kW만으로 운전되는 Case I보다 더 경제성이 있는 것으로 나타났다. 이는 마이크로그리드의 추가적인 설비 투자에도 불구하고 디젤 운전량 감소로 인한 연료비 및 유지보수비용이 감소한 것에 기인한다.

표 2 Case I과 Case III의 경제성 비교

Table 2 Comparison of Case I and Case III

구분	PV (kW)	디젤 (kW)	배터리 (kWh)	PCS (kW)	NPC (1,000\$)
Case I	-	200	-	-	8,043
Case III	300	200	1,000	250	6,907
	200	200	-	-	7,840
	-	200	1,000	250	8,113

표 3은 전기자동차의 보급비율을 50%로 가정했을 때 디젤발전기만으로 전력을 공급하는 Case II와 마이크로그리드 환경인 Case IV를 비교한 결과이다. 표 2와 마찬가지로 디젤발전기만으

표 3 Case II과 Case IV의 경제성 비교

Table 3 Comparison of Case II and Case IV

구분	PV (kW)	디젤 (kW)	배터리 (kWh)	PCS (kW)	NPC (1,000\$)
Case II	-	300	-	-	11,456
Case IV	300	200	1,000	250	6,821
	800	300	-	-	8,875
	-	200	1,000	250	9,310

로 공급하는 경우보다 마이크로그리드를 구축한 경우가 더 경제성이 있는 것으로 나타났다.

100% 신재생에너지만으로 공급하는 경우는 투자비 부담과 불안정한 출력으로 인한 배터리 용량 증가를 야기하기 때문에, 본 논문에서는 디젤발전기 연료 소비량에 제약을 두면서 민감도를 분석하여 경제적인 디젤발전기의 운전 범위를 탐색하였다. 도서 A의 경우 연간 약 30만 리터의 연료를 소비하는데 Case II가 이를 고려한 경우이다. Case IV와 25만 리터 제약을 둔 경우의 순현재비용이 유사한데, 계통 운영자가 연료비 제약을 10만 리터로 더 강하게 설정할 경우 신재생에너지 투자비 증가로 경제성은 불리해지나 환경비용 측면을 고려할 경우 새로운 대안이 될 수 있다. 약 20만 리터의 제약을 둔 경우에는 디젤발전기만으로 운전하는 경우와 순현재비용은 비슷하나 환경적 측면의 이익을 얻을 수 있는 대안이다.

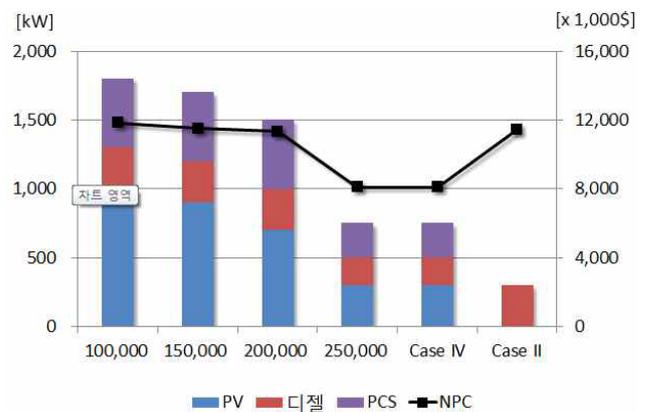


그림 4 연료소비량 제약에 따른 민감도 분석 결과

Fig. 4 Sensitivity results by fuel consumption limit

#### 4. 결 론

본 논문에서는 향후 보급이 활성화될 것으로 예상되는 전기자동차의 충전패턴을 고려하여 이를 최적으로 공급하기 위한 전원 구성을 마이크로그리드 환경 하에서 검토하였다. 순현재비용에 기반하여 신재생에너지, 디젤 및 배터리의 최적 조합을 도출하였고 향후 시장 상황에 따라 달라지는 태양광 및 배터리 가격에 대한 전원 구성의 민감도를 검토하였다. 이를 기반으로 전기자동차 보급 및 마이크로그리드의 적정 규모 및 구축 시기를 판단하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2012년 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었으며, 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행된 연구과제입니다 (No. 20123010020080).

## References

- [1] Cui Shumei, et. al., "The construction and simulation of V2G system in micro-grid", International Conference on Electrical Machines and Systems, pp. 1-4, August 2011.
- [2] S. Tomohiko, et. al., "Modeling and control of a benchmark micro grid with vehicle-to-grid smart connection", 2011 30th Chinese Control Conference, pp. 6121-6126, July 2011.
- [3] P. T. Baboli, et. al., "Micro-Grid's primary frequency control by supporting Vehicle-to-Grid concept", 2nd International Conference on Control, Instrumentation and Automation (ICCIA), pp. 74-78, December 2011.
- [4] 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.
- [5] KEPCO, *Final Report: Development of Accurate Load Model for Detailed Power System Stability Analysis*, 2001.
- [6] Ministry of Knowledge and Economy, *Final Report: Development of Residential Load Model for Power System Analysis of Smart Place*, 2012.
- [7] Hyeon-Jeong Park and Jung-Hoon Kim, "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.
- [8] 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", KIEE Conference, pp. 233-234, July 2013.
- [9] F. Farret, et. al., *Integration of Alternative Sources of Energy*, John Wiley & Sons, Inc., pp. 379-417, 2006.
- [10] 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.
- [11] 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, Oct. 2011.
- [12] 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