인공신경망을 이용한 캠퍼스 V2G 연계 용량 추정 및 활용 방안

손정호, 안우섭, 손예지, 윤성국
숭실대학교

Estimation and Application of Linkage Capacity of Campus V2G using Artificial Neural Network

Jeong-Ho Son, Woo-Sub An, Ye-Ji Son, Sung-Guk Yoon
Soongsil University

Abstract - 정부는 '재생에너지 3020 계획'에서 온실가스 배출 억제의 수단 중 하나로 전기자동차 확산 계획을 발표하였다. 전기자동차는 기존 내연기관 차량보다 온실가스 배출량이 적다는 이점이 있으나, 전력 계통의 부하를 증대시켜 신뢰도에 악영향을 미칠 수 있다. 반면 전기자동차는 V2G(Vehicle to Grid) 기술로 전력 계통에 도움이 되는 방향으로 사용될 수 있다. 본 논문에서는 캠퍼스 V2G 연계 용량 추정 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 인공신경망을 활용하여 하루 중 건물 내 전기자동차의 수를 예측하여 V2G 연계 용량을 추정하였다. 숭실대학교 사례 연구를 통해 최대부하평준화의 경제적인 이익을 분석하였다.

1. 서 론

지구 온난화 문제는 21세기 인류가 당면한 최대 문제 중 하나이다. 이를 대비하기 위해 전 세계는 2015년 12월 파리 협정을 체결하여 온실가스 배출량 감소를 위한 노력을 기울이고 있다. 우리 정부는 파리 협정의 내용을 이행하기 위해 '재생에너지 3020 이행 계획'을 발표하였고 그 중 내연기관 차량의 온실가스 배출 억제의 목적으로 전기자동차 활용 신에너지 서비스 창출 및 확산 계획이 포함되었다.[1]

하지만 전기자동차의 보급으로 인한 부하의 증대는 전력 계통 신뢰도 유지에 영향을 끼치며, 전력수요 패턴 변화와 최대부하 증가를 초래한다. 하지만 전기자동차는 V2G(Vehicle to Grid) 기술로 전력 계통에 도움이 되는 방향으로 사용될 수 있다. V2G는 전기자동차의 저장된 전력을 전력계통으로 역송하는 기술로, 부하 평준화, 예비력 확보 등으로 활용할 수 있다.

V2G를 효과적으로 사용하기 위해서는 정확한 V2G 사용량 예측 기법이 필요하다. 본 논문에서는 V2G 연계 효과를 분석하기 위해 인공신경망을 이용한 캠퍼스 V2G 연계 용량 추정 기법을 제시한다. 주차장 출입 데이터를 이용하여 시간대별 주차 차량 대수를 추정하며, 이를 기반으로 V2G 용량을 계산한다. 추정된 V2G 용량으로 보조서비스로 이용했을 경우 최대부하 감축 효과를 분석하였다. 사례 분석은 숭실대학교 주차 데이터를 기반으로 진행하였으며, 캠퍼스단위 V2G 경제적 가치를 분석하였다.

2. 본 론

2.1 V2G의 기능

V2G를 통해 전력의 흐름은 전력 계통과 전기자동차로 양방향으로 제어가 가능하다. 전기 요금이 저렴할 때 충전하는 단순 충전 최적화 기법에서 저장된 전력을 적시에 전력 계통에 공급함으로 부하평준화, 예비력 확보, 수요자원 등으로 활용할 수 있다.

2.1.1 부하평준화

부하평준화는 전력 수요 증가에 대처하는 방법 중 하나로, 최대부하를 감축하고 전력 소모가 적은 시간대의 부하를 증가시키는 방법이다. 계통은 부하평준화를 위해 시간대별 요금제를 도입하고, 접속자가 최대부하시간대에 전력을 전력망으로 송전하며 경부하시간대에 전기자동차를 충전하도록 한다. 전기자동차를 계통 연계형 에너지 저장장치로 사용하여 전력 수요 증가에 대처하고 전력망의 신뢰도를 확보할 수 있다. 접속자는 비교적 비싼 가격으로 잉여전력을 판매함과 동시에 전기자동차 충전 요금을 절감하여 금전적인 이득을 가진다.

2.1.2 예비력 확보

전력망에는 전력수급 균형과 신뢰도 유지를 위한 공급여유능력이 필수적이다. 예비율은 최대전력수요에 대한 발전 설비 용량의 여유분을 의미한다. 최대부하시간대에 V2G 접속자가 역전송한 잉여전력을 공급예비력으로 사용하여 예비율을 증가시킬 수 있다. 계통에 접속한 공급예비력은 빠른 응답속도를 필요로 하는 주파수 조정 예비력과 대기·대체 예비력으로 사용된다.[2]

2.1.3 수요자원 거래시장 활성화

수요자원 거래시장은 소비자가 감축한 전력 사용량을 계통에 판매하고 금전적인 이익을 얻는 제도이다. 실제 발전량 증가를 통해 수급 균형을 유지했던 이전과 달리 소비자 측면의 수요를 감축시킴으로써 안정성을 유지할 수 있다. V2G는 전기자동차를 소유한 소비자로 하여금 전기자동차 충방전을 통해 수요 거래에 참여하도록 하여 접근성을 높이고 수요자원 거래시장을 활성화한다.[3]

2.2 사용 데이터

숭실대학교의 2016~2017년도의 차량 평균 대수 데이터를 <표 1>과 같이 분류하였다. 정기차량의 차량 대수가 전반적으로 높은 수치를 기록하였다. 2016~2017년 정기차량의 주간 주차장 출입 차량 평균 그래프는 <그림 1>과 같다. 이 중 요일에 따른 경향을 보이는 월~금 평일의 데이터를 사용하였다.

<표 1> 최대부하시간 중 일반차량과 정기차량의 평균 대수

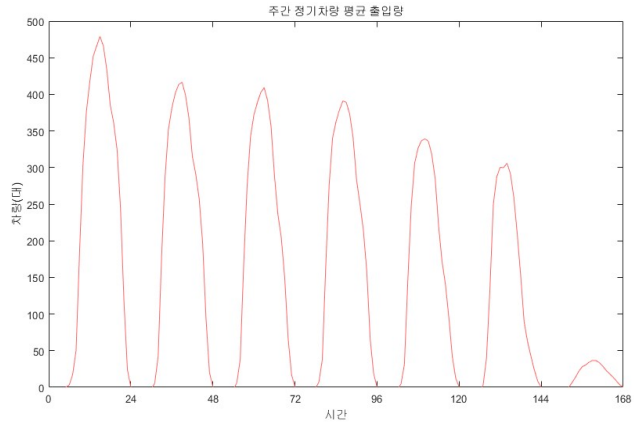
일반차량	학기	평일	69.8대
		주말	99.1대
	방학	평일	74.6대
		주말	65.6대
정기차량	학기	평일	382.4대
		주말	164.6대
	방학	평일	263.2대
		주말	47.6대

<표 2>의 보급형 전기자동차 성능을 기준으로 숭실대학교 사례 분석의 전기자동차 스펙을 정의하였다. 승용차 이용자가 매일 주행을 위해 사용하는 에너지 사용률(S)은 일평균 주행거리(D_a)와 최대충전 시 주행가능거리(연비(m)와 배터리용량(C)의 곱)의 비이며 이는 식(1)과 같다. S는 11%로 남은 용량은 전기자동차 SoC(State of Charge)에 따라 필요시 C의 50%까지 방전하고 피크 외 시간에 충전하는 것으로 가정하였다.[4]

$$S = \frac{D_a}{m \times C} \quad (1)$$

<표 2> 기준 전기자동차 스펙

모델명	현대 일렉트릭 코나(기본형)
연비(m)	5.6[km/kWh]
배터리 용량(C)	64[kWh]
일평균 주행거리(D_a)	40[km]



<그림 1> 주간 정기차량 출입량 그래프

2.3 연계 용량 추정

적절한 인공신경망 입력 데이터를 선별하기 위해 요일 및 평균기온 인덱스 적용 여부에 따른 예측 오차를 계산하였다. 정기차량의 평일 데이터를 기본으로 각 인덱스 데이터를 추가해 입력데이터를 구성하고 예측일 이전 5일을 학습하여 다음 날의 주차 차량 대수를 추정하였다.

각 인덱스 적용 여부에 따른 오차는 <표 3>와 같다. 오차로는 RMSE(Root Mean Squared Error), MAE(Mean Absolute Error), MAPE(Mean Absolute Percentage Error)를 사용하였다. 전체적인 오차가 가장 적은 요일 인덱스를 적용하여 인공신경망의 입력 데이터를 구성하였다.

<표 3> 각 인덱스 적용 여부에 따른 오차

	RMSE	MAE	MAPE(%)
인덱스 미사용	44.67	40.12	16.41
요일 인덱스 사용	16.99	14.28	5.96
평균기온 인덱스 사용	73.80	70.64	29.74
요일, 평균기온 인덱스 사용	39.27	32.20	12.92

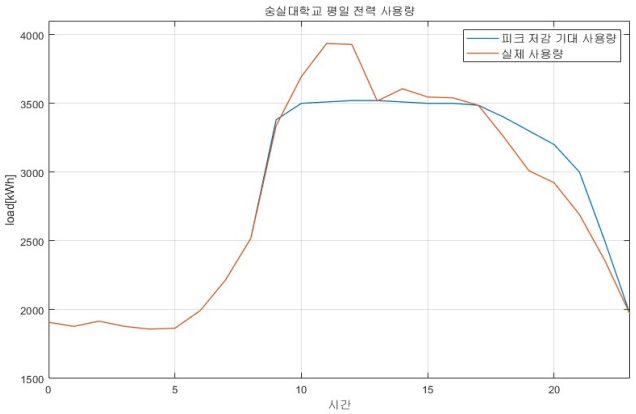
식 (1)에서 가정한 SoC를 고려하여 V2G로 역송할 수 있는 가용용량을 계산하였다. 최대부하시간대인 10~15시의 시간대별 정기차량 평균 대수의 예측값(N_r)과 일반차량의 평균값(N_n)을 사용하였다. 이에 정기차량 중 전기자동차 비율(r_r)과 일반차량 중 전기자동차 비율(r_n)을 곱하여 총 전기자동차 수를 계산하였다. 최대부하 시간 중 배터리 방전 용량(C_p)을 곱해 평균적인 가용 전력량(P)을 구하였다. 평균 가용 전력량은 식(2)와 같다.

$$P = (N_n \times r_n + N_r \times r_r) \times C_p \quad (2)$$

최대부하시간동안 평균 정기차량대수는 약 370대로 예측되었고, 평일의 평균적인 일반차량대수는 72대이다. 본 논문에서는 미등록 일반차량의 10%, 등록 정기차량의 25%를 전기자동차로 가정한다. 따라서 정기차량 93대와 일반차량 7대, 따라서 최대부하시간에 주차되어 있는 370대 중 100대의 전기자동차가 V2G에 참여하게 된다. 따라서 V2G에 접속한 전기자동차가 평일 최대부하시간 동안 역전송할 수 있는 최대 전력량은 평균 3,200kWh이다.

2.4 효과

<그림 2>는 주간 숭실대학교의 평균 전력 사용량 그래프와 V2G를 통해 10~15시까지 기대되는 최대부하 저감과 부하 평준화를 나타낸 그래프이다. 실제 최대부하 전력 3,935kWh에서 3,520kWh로 최대부하 전력이 415kWh만큼 저감된 것을 확인하였다. 피크 시간 동안 전기자동차에서 방전시킨 전력량 1,206kWh만큼 피크 외 시간대로 전력사용량이 이동하였다. V2G 기술이 도입되면 숭실대학교에 적용된 고압B 선택 Ⅱ요금제의 기본요금 6,980원/kW× 415kW에 의해 월 2,896,700원의 기본요금 절감 효과를 볼 수 있다. 전력량 요금으로는 10~17시의 최대부하 요금 150.2원/kWh× 1,206kWh를 중간부하 요금 87.3/kWh× 1,206kWh이 적용되는 시간대로 옮김으로써 월 2,275,722원의 전력량 요금 절감 효과를 확인하였다.[5][6]



<그림 2> 평일의 숭실대학교 전력 사용량 그래프

3. 결 론

본 논문에서는 인공신경망을 이용하여 숭실대학교 캠퍼스의 V2G 연계 용량을 추정하고, 연계를 통한 경제적인 효과를 확인하였다. 높은 상관관계를 보인 요일 인덱스를 입력 데이터로 사용해 최대부하시간의 평균 정기차량대수를 예측하였고 접속 가능한 전기자동차 비율을 적용하여 V2G 연계 용량을 추정하였다. 숭실대학교 사례 연구를 통해 V2G 기술이 도입되었을 경우 기본 요금 절감과 부하평준화 효과가 있음을 확인하였다. V2G 기술이 도입되었을 때, 현재 요금제도 하에서 매달 5,172,422원의 전기요금 절감을 가져옴을 확인하였다.

후속 연구로 본 논문에서 최대부하시간에 한정한 적용시간을 24시간으로 확장한 V2G 계통 연계 충방전 스케줄링에 관한 연구가 있다.

감사의 글

본 논문은 한국전력공사의 2018년 착수 에너지 거점대학 클러스터 사업의 지원을 받아 수행된 연구임. (Grant number.R18XA04)

[참 고 문 헌]

[1] 황우현, “4차 산업혁명 시대의 국내외 전기자동차 보급 확대 정책과 전력망 재편 방향. 전기의세계”, 68(1), 8-16p, 2019

[2] 김선교, 문승필, 서인용, “운영예비력 확보용량 기준 개선에 대한 연구. 전기의세계”, 63(6), 16-19p, 2014

[3] 이승미, 김진호, 손찬, “V2G 서비스 활성화를 위한 전력시장 참여여건 분석 및 수요반응자원시장 정책 및 제도 개선방안 연구”, 대한전기학회 학술대회 논문집, 434-435p, 2016

[4] 김영환, 이재승, “총소유비용 분석을 이용한 국내 V2G 도입에 대한 연구”, 129-143p, 2015

[5] 손예지, 백승준, 윤성국, “기본 요금 절감을 위한 기계학습 기반 건물 최대 부하 예측”, 대한전기학회 학술대회 논문집, 384-386p, 2018

[6] 전력통계정보시스템(전력시장-연료비단가), Retrieved from http://epsis.kpx.or.kr/epsisnew/selectEkmaFucUpgGrid.do?menuId=050103