

전기차 보급이 제주 전력계통에 미치는 영향



이개명
제주대학교 전기공학과 교수

1. 개황

제주특별자치도는 'Carbon Free Island Jeju by 2030 계획'을 실현하기 위해 제주 전기자동차 시범도시 세부추진 계획을 수립하였다. 이 계획에 의하면 1단계로 2017년까지 운행 자동차의 10%를, 2단계로 2020년까지 20%를, 3단계로 2030년까지 100%를 전기차로 대체하는 것으로 되어 있다.

본고에서는 이런 계획 일정에 따라 승용차 분야에 국한하여 전기차 보급이 이뤄질 경우 2023년까지 예상되는 전기차 대수와 전기차가 사용할 전기에너지를 예측하고 제주 전력계통에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

전기차 보급에 따른 사용 전기에너지 증가량을 예측함에 있

어 기존의 연구에서는 전기차의 1일 주행거리, 충전 전력, 충전시간, 충전 시나리오, 전기차 예측 대수를 기반으로 필요 전기에너지량을 계산하고 있다. 본고에서는 공인된 전기차의 연비, 1일 주행거리, 보급될 전기차 예측 대수를 기반으로 향후 10년간 전기차 보급에 따른 사용 전기에너지 증가량과 피크전력 증가분을 계산하고, 이 값을 제6차 전력수급계획에서 제시하고 있는 제주지역 전기에너지 및 피크전력 전망치와 비교한다.

2. 전기차가 사용하는 전기에너지

가. 전기차가 사용하는 전기에너지 계산방법

전기차가 연간 사용하는 총 전기에너지 E 는

$$E = \sum_i \frac{N_i L_i}{\alpha} \times 365 \text{ [kWh]} \text{로 표시된다.}$$

여기서 α : 연비 [km/kWh], N_i : 전기자동차 대수, L_i : 1일 주행거리 [km] 이다.

첨자 i 는 전기차의 용도별 분류를 표시하기 위해 도입된 것으로, 승용 전기차를 용도별로 관용, 자가용, 영업용으로 구분하여 계산하였다.

위 식에서 $N_i L_i$ [km]는 각 소속군 전기차 전체의 1일 주행거리이며, $\frac{N_i L_i}{\alpha}$ [kWh]는 소속군 전기차 전체의 1일 사용 전기에너지가 된다.

나. 전기차가 사용하는 전기에너지

우리나라와 미국에서 인증을 받은 전기차의 연비는 3.01~6.00km/kWh의 범위에 있다. 기술의 발전에 따라 전기차의 연비가 향상되는 요인도 있고 전기차 차량 구입 후 사용에 따른 전기차의 연비의 저하 요인도 있다. 본고에서는 향후 10년간 우리나라에 전기차가 보급되어 운행될 때 전기차의 연비가 대략 이 범위에 있을 것으로 추정하였다. 전기차의 연비가 최고 높을 때 전기차가 사용할 전기에너지가 최소가 되며, 전기차의 연비가 최하일 때 전기차가 사용할 전기에너지가 최대가 된다. 따라서 보급된 전기차가 사용할 전기에너지의 범위를 이 두 값의 사이로 추정한다.

다. 전기차 보급대수 예측

전기차 보급 대수를 추정하기 위하여 먼저 2006년도부터 2013년도까지 제주도에 등록된 관용, 자가용 및 영업용으로 구분된 승용자동차 통계치를 기반으

[표 1] 제주지역 전기차 보급 대수 전망

연도	승용 석유류 자동차 보급 전망[대]			전기차 보급 목표	승용 전기차 보급 전망[대]		
	관용	자가용	영업용		관용	자가용	영업용
2014	623	202,908	32,306	0.4%	63	812	129
2015	661	213,370	35,194	1.0%	101	2,134	352
2016	698	223,832	38,083	5.0%	138	11,192	1,904
2017	735	234,294	40,971	10.0%	175	23,429	4,097
2018	773	244,756	43,859	16.0%	213	39,161	7,017
2019	810	255,218	46,747	23.0%	250	58,700	10,752
2020	848	265,680	49,636	30.0%	288	79,704	14,891
2021	885	276,142	52,524	37.0%	325	102,172	19,434
2022	922	286,604	55,412	44.0%	362	126,106	24,381
2023	960	297,065	58,300	51.0%	400	151,503	29,733

로 단순 회귀분석하여 2014년부터 2023년까지 석유류를 연료로 사용하는 자동차 보급대수를 예측하였다. 단, 2014년부터 증가되는 관용차는 100% 전기차로 대체되는 것으로 추정하였다. 이 예측된 보급대수에 제주도의 전기차 보급목표를 곱하여 예상되는 전기차 보급 대수를 결정하였다. 그 결과는 [표 1]에 나타내었다.

라. 전기차 1일 주행거리

본고에서는 전기차의 1일 주행거리를 일반자동차의 1일 주행거리와 같을 것으로 추정하였고, 교통안전공단의 2012년도 자동차 주행거리 실태분석 연구에서 제시된 제주도의 자가용, 관용, 영업용 승용자동차의 1일 주행거리 수치를 사용하였다. 그 수치는 [표 2]에 나타내었다.

[표 2] 제주도 승용차 1일 주행거리

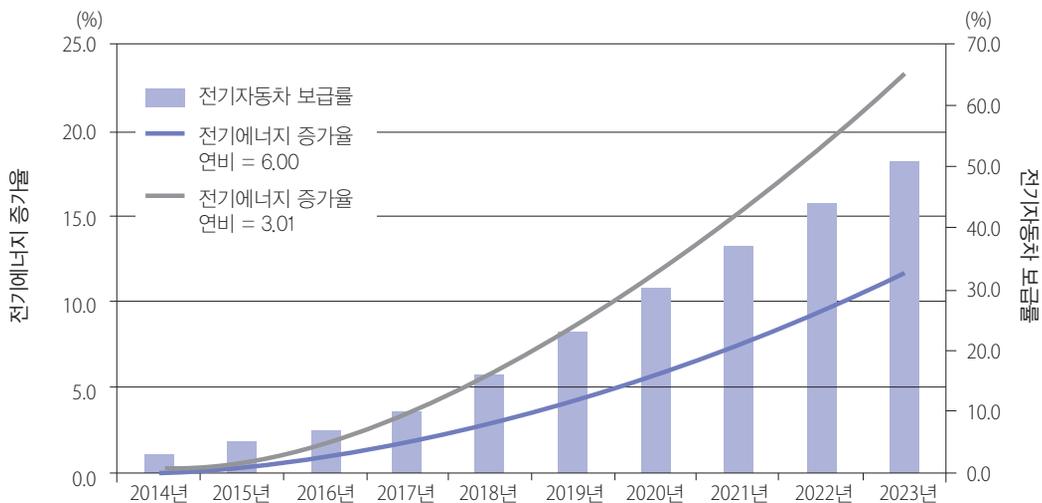
용도 구분	1일 주행거리[km]
관용	33.9
자가용	31.8
사업용	117.9

마. 전기에너지 사용량 예측

전기차가 연간 사용하는 총 전기에너지(E) 식에 따라, [표 1]의 승용 전기차의 용도별 연간 보급 전망치에 [표 2]의 각각의 1일 주행거리를 곱하고, 이를 연비로 나누고, 다시 365일을 곱하여 연간 전기차가 사용하는 전기에너지를 구하였다.

연비는 앞서 제시한 미국과 한국의 전기차의 표시(공인)연비의 최소값 3.01km/kWh와 최대값 6.00km/kWh를 사용하여 전기차가 사용하는 전기에너지 전망치의 최대값과 최소값을 각각 결정하였다. 이와 같이 제주도가 세운 전기차 대체 목표에 따라 석유류 승용차를 전기차로 대체하였을 때 추가로 사용하게 될 전기에너지량의 예측 범위를 구하였다. 전기차 보급률과 전기차가 사용할 1년간 전기에너지 비율을 [그림 1]에 나타내었다.

이 결과는 제주도에서 2017년 전기차가 10% 보급되었을 때 1년간 전기차가 사용할 전기에너지는 전체 사용 전기에너지 대비 1.8~3.5% 범위에 있음을 보여준다. 또 제주도에서 2020년 전기차가 30% 보급되었을 때 1년간 전기차가 사용할 전기에너지는 전체 사용 전기에너지 대비 5.9%~11.7% 범위에 있음을 보여준다.



[그림 1] 전기차 보급률과 1년간 사용 전기에너지 예측치

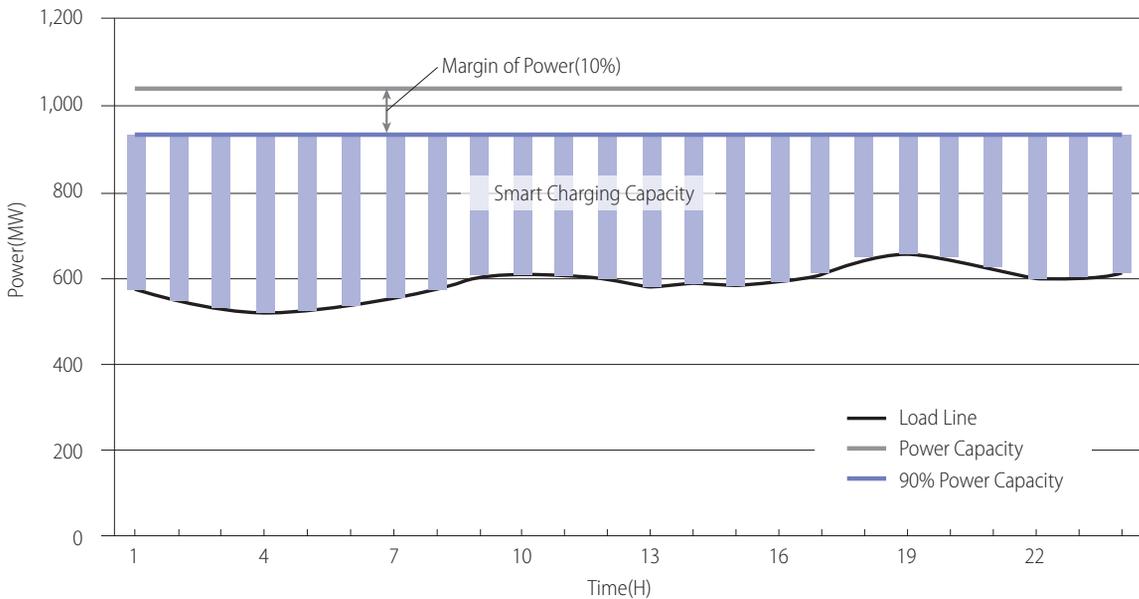
3. 전력계통의 전기차 수용 여력

가. 제주지역 전기차 스마트 충전 용량

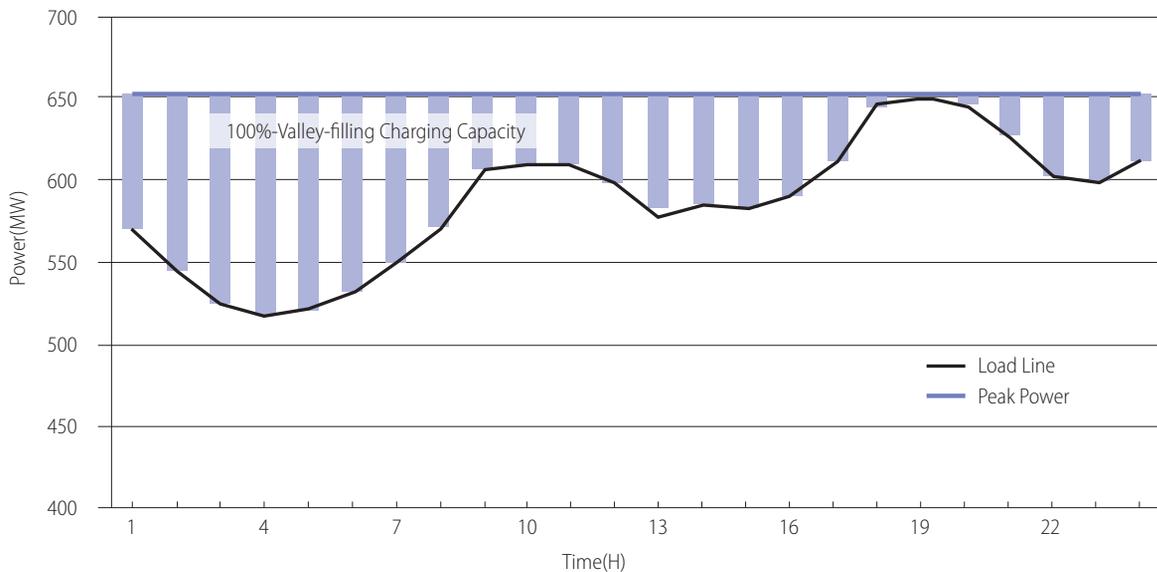
일간 스마트 충전 용량은 [그림 2]처럼 전력 공급능력에서 예비율 만큼을 제외한 전력으로 24시간 동안 공급 가능한 전기에너지량에서 일간 사용한 전기에너

지량을 빼고 남은 전기에너지량으로 정의할 수 있다.

또 [그림 3]에서 일간 100%-골채움 충전 용량(100%-valley-filling charging capacity)의 개념을 보여주고 있다. 일간 100%-골채움 충전 용량은 부하선으로 부터 최대전력까지의 영역을 나타낸다.



[그림 2] 스마트 충전 용량의 개념



[그림 3] 100%-골채움 충전 용량의 개념

[표 3] 전기에너지, 최대전력, 설비용량의 전망치 및 스마트 충전 용량

연 도	연간 전기 에너지소비량 [GWh]	최대전력[MW]		피크 기여도 설비용량[MW]	최대 일간 전기 에너지소비량 [GWh]	일간 스마트 충전 용량 [GWh]	일간 100%-골채움 충전 용량 [GWh]
		하계	동계				
2014	3,996	720	648	1,039	15.28	7.17	1.91
2015	4,081	738	663	1,043	15.60	6.93	1.68
2016	4,161	758	680	1,045	15.91	6.66	1.80
2017	4,234	777	697	1,249	16.19	10.79	2.01
2018	4,314	798	714	1,194	16.49	9.30	2.16
2019	4,385	808	720	1,194	16.76	9.03	2.39
2020	4,435	815	724	1,194	16.95	8.84	2.44
2021	4,424	827	731	1,194	16.91	8.88	2.65
2022	4,399	835	737	1,194	16.82	8.97	3.03
2023	4,361	842	738	1,194	16.67	9.12	3.37

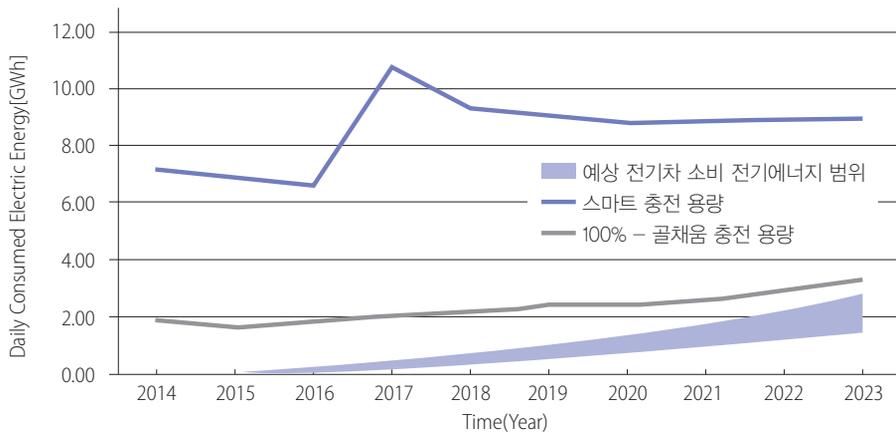
※ 연간 전기에너지 소비량, 최대전력 및 피크기여도 설비용량은 제6차 전력수급기본계획의 데이터임

계산된 일간 최대 전기에너지소비량, 스마트 충전 용량 및 100%-골채움 충전 용량을 [표 3]에 나타내었다. 전기차가 사용할 일간 전기에너지의 최소값, 최대값과 [표 3]의 스마트 충전 용량과 100%-골채움 충전 용량을 [그림 4]에 함께 나타내었다. 전기차가 약 15만 대, 비율로는 전체 승용자동차의 51%까지 보급된 2023년에도 전기차가 사용하게 될 전기에너지가 전력계통의 스마트 충전 용량에 크게 못 미치고 있으며, 100%-골채움 충전 용량의 약 80% 정도임

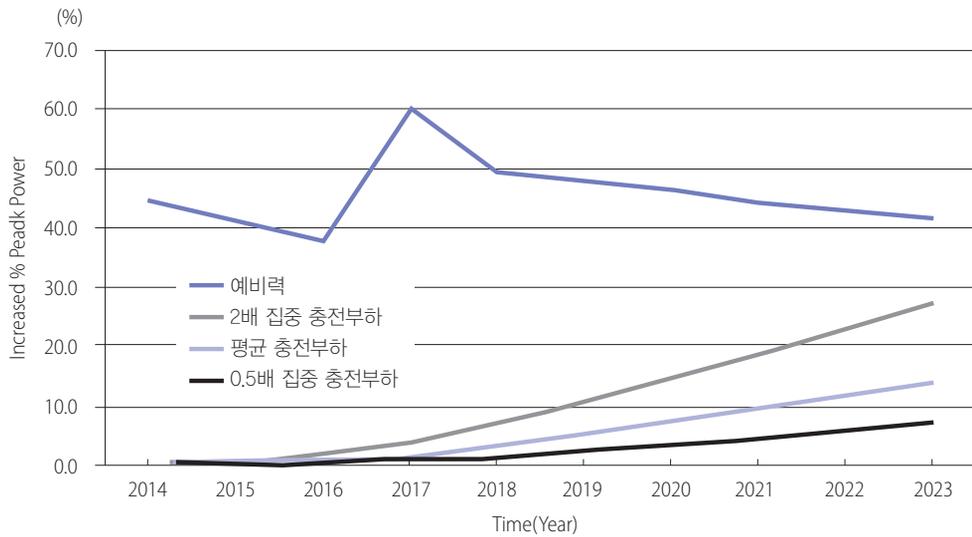
을 알 수 있다.

나. 전기차 보급이 제주지역 피크전력에 미치는 영향

전기차는 급속충전방식, 완속충전방식 그리고 테슬러사의 모델S처럼 두 개의 완속충전기가 장착되어 2배 이상의 속도로 완속충전이 되는 이중 완속충전방식 및 배터리교환방식으로 충전이 가능하다. 이러한 다양한 충전방식에 의한 충전과 많은 수의 전기차 보급이 거시적 관점에서 하루 24시간 내내 일정한 비율



[그림 4] 전력계통의 스마트 충전 용량과 전기차 소비전력



[그림 5] 전기차 보급에 따라 증가된 % 피크전력과 전력계통의 예비력

로 전기차 충전이 이루어질 가능성을 높여 준다. 반면에 출퇴근 시간, 새벽녘 등의 시간대에서는 전기차의 충전이 저조하게 이루어 질 수 있다. 한편, 시간대별 차등 전기요금제도의 도입과 중앙충전관제센터나 충전기 자체에 수요반응 프로그램에 의해 통제되는 충전기술방식의 구현 등에 의해 전기차의 충전이 전력피크시간대를 피해서 이루어 질 가능성도 높다.

전력피크시간에 전기차의 충전이 어느 정도 집중될지를 예상하는 문제에 있어, 향후 스마트그리드 기술이 발전함에 따라, 또 전체 전력수요에 영향을 줄 정도로 전기차 대수가 늘어나는 상황에서 충전 수요 관리를 위해 적절하게 잘 계획되고 통제되는 충전방식과 법규가 마련될 것이기 때문에 피크타임 충전부하의 집중을 평시의 2배 정도로 제한하였다.

본고에서는 전력계통의 전력 피크시간에 전기차의 충전전력이 24시간 평균 충전전력의 0.5배, 1배, 2배로 집중할 때 전력계통의 피크전력에 미치는 영향을 살펴보았다. 여기서 24시간 평균 전기차 충전전력이라 함은 하루 전기차가 사용하는 전기에너지량 최대 예측값을 24시간으로 나눈 평균전력이다. 특히 연

중 전력이 피크에 이르는 시점에 대해 영향을 조사하였는데, 제6차 전력수급기본계획에 의하면 제주지역은 하계에 연중 최대 전력피크가 발생하는 것으로 예측하고 있다.

[그림 5]에 제6차 전력수급기본계획에서 예측하는 제주 전력계통의 예비력과 함께 이 결과를 나타내고 있다. 전체 승용자동차의 51%가 전기차로 보급되는 2023년 충전부하가 평균의 2배 집중 시 연중 최대 피크전력이 27.4%가 증가할 수 있다. 이 경우도 전기차가 보급되기 전 전력계통이 43%의 예비력을 갖고 있었으므로 전기차가 계획대로 보급되더라도 제주 전력계통은 14% 이상의 예비력을 갖게 된다.

4. 결론 및 전망

2011년부터 2013년까지 출시되어 미국과 한국의 공식사이트에 등록된 전기차의 연비는 2.96~5.78km/kWh 범위에 있으며, 향후 우리나라에 보급될 전기차의 연비가 이 범위 내에 있을 것으로 가정하고 전

기차 보급에 따른 전기에너지 사용량을 계산하였다. 이 결과 제주지역에 2017년 승용차 중 전기차가 10% 보급되면 제주지역 전기에너지는 최소 1.8%에서 최대 3.5% 증가하게 되며, 2020년 30% 보급되면 전기에너지는 최소 5.9%에서 최대 11.7% 증가하게 됨을 알 수 있었다.

제6차 전력수급기본계획과 기존 전력사용 통계에 의거하여 분석한 제주지역 전력계통은 제주도의 전기차 보급계획에 따른 전기차 보급을 충분히 감당할 수 있는 충전여력을 갖고 있었다.

궁극적으로 피크타임을 피해 전기차를 충전하게 하는 법제도와 시스템이 사전에 적절하게 마련된다면 기존 발전소의 추가적인 도입 없이 전기차가 사용하게 될 전기에너지를 공급할 수 있다. 기존의 전기에너지공급시설을 최대한 이용하고 여분의 전기에너지를 전기차에 공급함으로써 전기차 충전에 공급되는 전기에너지 가격을 낮게 가져갈 수 있으며, 나아가 투자를 최소화하면서 판매량(전기에너지 공급량)이 늘어나기 때문에 특정지역 전체적인 규모에서도 전기에너지 공급비용을 낮출 수 있을 것으로 판단된다. 

[참고문헌]

1. David Steen, Impact on the Distribution System due to Plug-In Electric Vehicles and Changes in Electricity Usage, THE DEGREE THESIS, Division of Electric Power Engineering, Department of Energy and Environment, Chalmers University of Technology, Sweden, 2012.
2. http://bpms.kemco.or.kr/transport_2012/main/main.aspx
3. U.S. Environmental Protection Agency, Fuel Economy Datafiles, 2011-2013
4. www.fueleconomy.gov
5. 문상근, 광형근, 김진오, “전기차 충전부하 모델링 및 충전 시나리오에 따른 전력계통 평가”, 대한전기학회논문지, vol. 61, No. 6, pp783-790, 2012
6. 김철호, 한승호, 송택호, 정문규, “전기차 보급 전망에 따른 배전계통에서의 영향 평가”, 2011년도 대한전기학회 하계학술대회논문집, pp256-257, 2011
7. 황미연, 윤정무, 차준민, “전기차 보급 증가에 따른 소비전력량 예측에 관한 연구”, 2011년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 23-24, 2011
8. 최도영, 박찬국, 김수일, 조은정, 원두환 “전기차 보급의 에너지수급 영향분석”, 에너지경제연구원 기본보고서 12-01, 2012
9. 박희범, “전기차 보급에 따른 전력수급영향 및 시사점”, 전력거래소 보고서, 2009
10. 오성보, 이개명, 황충구, “제주도에서 전기자동차 보급이 전력계통에 미치는 영향”, 전기학회논문지, vol. 63, No. 1, pp10-17, 2014
11. 교통안전공단, 2012년도 자동차 주행거리 실태분석, 2013
12. 지식경제부, 제6차 전력수급기본계획, 2013