제주도에서 전기자동차 보급이 전력계통에 미치는 영향

The Effects of Penetration of the Electric Vehicles on the Electric Power Grid in the Jeju Island

오 성 보* · 이 개 명* · 황 충 구**

(Seong-Bo Oh · Gae-Myoung-Lee · Choong-Gu Hwang)

Abstract - The Jeju Special Self-Government Provincial Government has made the plan penetrating gradually electric vehicles(EVs) in the Jeju Special Self-Government Province(Jejudo). However the effects of EVs penetration on the electrical grid of the Jejudo is not reported. In this paper the yearly electric energy consumed by the EVs was calculated and the effects of the EV penetration on the peak power of the grid were analyzed in the Jejudo for the future 10 years, and we hope that our study results will help the governors realize the EVs penetration plan in the Jejudo. The calculation results show that the rate of the electric energy used by the EVs will become to 2.9% at its maximum at the 2017 year when the penetration rate of EVs in passenger cars becomes 10%, and the rate of the electric energy consumed by the EVs will become to 9.4% at its maximum at the 2020 year when the penetration rate of EVs in passenger cars becomes 30%. The concepts of smart-charging capacity and 100%-valley-filling charging capacity of the grid were defined and calculated for the Jeju Grid, and the grid was analyzed to have the sufficient EV charging capacity until the 2022 year.

Key Words : EV(electrical vehicle), Estimation of electrical energy, Fuel economy, Penetration of EVs, Smart-charging capacity

1. 서 론

한국공업규격의 분류에 의하면 원동기의 종류에 따라 자동차는 휘발유자동차, 디젤자동차, 가스자동차, LP가스자동차, 전기자동차, 트롤리버스, 배터리카, 가스터빈자동차로 분류되며, 통상적으로 일반인이 사용하는 자동차는 전자의 5종이다[1]. 전기자동차에는 내연기관과 모터로 운행이 가능하고 외부전원으로부터 배터리 충전이 가능한 PHEV(Plug-in hybrid electric vehicle), 모터로만 운행이 가능하고 외부전원으로부터 배터리 충전 전기에너지를 공급받는 EV(electric vehicle) 그리고 내연기관과 모터로 운행이 가능하지만 외부전원으로부터 충전이 불가능한 HEV(hybrid electric vehicle)로 구분된다. HEV는 외부에서 공급되는 에너지가 석유류 연료이므로 모터 기반의 구동시스템을 갖추고 있지만 연비가 개선된 기존의 석유류 자동차(휘발유자동차, 디젤자동차, 가스자동차, LP가스자동차를 총칭)로 분류할 수도 있다. 외부로부터 충전이 가능하다는 점에서 EV와 PHEV를 PEV(plug-in electric vehicle)로 총칭하기도 한다[2].

PEV는 배터리와 관련되어 배터리의 가격, 무게, 부피, 충전시간, 1회충전이동거리 등에서 약점을 갖고 있지만 높은 연비, 운행 중 공해를 유발하지 않는다는 점, 연료 즉 전기

에너지를 신재생에너지로 공급 가능하다는 점 등으로 인해 향후 발전 가능성이 높은 운송수단이다.

우리나라에서 표시연비를 평가받고 “에너지관리공단 수송에너지” 사이트에 등록된 EV는 2011년 고속 전기자동차 1종, 2012년 고속 전기자동차 1종, 저속 전기자동차 1종이며, PHEV는 1종도 출시되지 않았다[3]. 미국의 경우 연비를 평가받고 EPA(Environmental Protection Agency) 사이트에 등록된 EV는 2011년 4종, 2012년 7종, 2013년 7종이며, PHEV는 2011년 1종, 2012년 3종, 2013년 3종이다[4, 5].

PEV는 전력계통 또는 외부의 독립된 전기에너지원으로부터 전기에너지를 공급 받아 운행되므로 PEV의 보급은 전력계통의 설비와 전원계획에 영향을 주게 된다. 현재까지는 PEV의 보급이 저조하여 전력계통에 미치는 영향이 미미하지만, 향후 보급이 확대될 가능성이 있으므로 PEV 보급이 전력계통에 미치는 영향을 평가하여 대비할 필요가 있으며, PHEV가 등장하면서부터 전 세계적으로 이 분야에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다[2, 6-10]. 국내에서는 아직 전기자동차의 보급이 미진한 관계로 연구 사례가 많지는 않다[11-15].

제주특별자치도는 “Carbon Free Island Jeju by 2030 계획”을 실현하기 위해 “제주 전기자동차 시범도시 세부추진 계획”을 수립하였다. 이 계획에 의하면 1단계로 2017년까지 운행 자동차의 10%를, 2단계로 2020년까지 30%를, 3단계로 2030년까지 100%를 전기자동차로 대체하는 것으로 되어 있다. 전기자동차 보급계획은 수립되었으나 전기자동차의 보급에 따른 전기에너지 증가량에 대한 예측과 전력계통에 미치는 영향에 대한 연구는 아직 이루어지고 있지 않다. 본

* Dept. of Electrical Eng., Jeju National University, Korea

** Incheon Thermal Power Site Division, KOMIPO, Korea

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Eng., Jeju National University, Korea

E-mail : myounglk@jejunu.ac.kr

Received : May 27, 2013; Accepted : December 13, 2013

논문에서는 이런 계획 일정에 따라 전기자동차 보급이 이루어지면 2022년까지 예상되는 전기자동차 대수와 전기자동차가 사용할 전기에너지를 예측하고 제주 전력계통에 미치는 영향을 분석하고자한다. 단, 승합자동차와 화물자동차 분야의 전기자동차 상용화는 지연되고 있으므로 승용차에 국한하여 석유류 자동차가 전기자동차로 대체되는 것으로 전제하였고, 또 보급될 전기자동차의 유형도 PHEV형은 고려하지 않고 EV형 전기자동차만 보급되는 것을 전제로 연구내용을 한정하였다. 이하 기술에서 전기자동차는 EV를 의미한다.

전기자동차 보급에 따른 사용 전기에너지 증가량을 예측함에 있어 기존의 연구에서는 전기자동차의 1일주행거리, 충전전력, 충전시간, 충전 시나리오, 및 전기자동차 예측 대수를 기반으로 필요 전기에너지량을 계산하고 있다. 본 연구에서는 공인된 전기자동차의 연비, 1일주행거리, 보급될 전기자동차 예측 대수를 기반으로 향후 10년간 전기자동차 보급에 따른 사용 전기에너지 증가량과 피크전력 증가분을 계산하고, 이 값을 제6차 전력수급계획에서 제시하고 있는 제주지역 전기에너지 및 피크전력 전망치와 비교하고자 한다. 계산과정에서 자동차의 용도에 따라 1일주행거리가 크게 다르기 때문에 예측의 정확도를 높이기 위해 승용 전기자동차의 분류를 관용, 자가용, 영업용으로 구분하여 사용 전기에너지 증가량을 계산하였다.

2. 전기자동차가 사용하는 전기에너지

2.1 전기자동차가 사용하는 전기에너지 계산방법

전기자동차가 연간 사용하는 총 전기에너지 E

$$E = \sum_i \frac{N_i L_i}{\alpha} \times 365 \text{ [kWh]} \quad (1)$$

로 표시된다. 여기서, α : 연비[km/kWh], N_i : 전기자동차 대수, L_i : 1일주행거리[km]이다. 첨자 i 는 전기자동차의 용도별 분류를 표시하기 위해 도입된 것으로, 승용 전기자동차를 용도별로 관용, 자가용, 영업용으로 구분하여 계산하였다. 위 식에서 $N_i L_i$ [km]는 각 소속군 전기자동차 전체의 1일주행거리이며, $\frac{N_i L_i}{\alpha}$ [kWh]는 소속군 전기자동차 전체의 1일 사용 전기에너지가 된다.

2.2 전기자동차 인증 연비

우리나라와 미국은 자동차 연비를 도심주행연비(City Fuel Economy), 고속도로주행연비(Highway Fuel Economy) 및 이 두 값을 55%대 45%로 가중평균한 복합연비(Combined Fuel Economy)로 구분하고 이들 3가지 연비정보를 제공하고 있다.

우리나라에서 표시연비를 평가받고 “에너지관리공단 수송에너지” 사이트에 등록된 전기자동차는 표 1과 같이 2011년 고속 전기자동차 1종, 2012년 고속 전기자동차 1종, 저속 전기자동차 1종이다. PHEV는 1종도 출시되지 않았다[3].

미국의 경우 연비를 평가받고 EPA(Environmental

표 1 우리나라 전기자동차의 표시연비

Table 1 Formally expressed fuel economy of EVs in the Korea

모 델 명	도심 주행연비	고속도로 주행연비	복합연비	공차 중량 [kg]	등 급	출시 년도
	[km/kWh]					
레이	5.4	4.6	5	1,185	고속	2012
Change	4.3		4.3	840	저속	2012
SM3 ZE	4.2	3.9	4	1,565	고속	2011

※ 2013년 2월 28일 기준

표 2 미국에서 공인된 EV의 연비

Table 2 Formally expressed fuel economy of EVs in the USA

모델명	도심 주행연비	고속도로 주행연비	복합 연비	차종 분류	출시 연도
	[km/kWh]				
SCION iQ EV	6.59	5.01	5.78	small car	2013
HONDA Fit	6.30	5.01	5.64	station wagon	2013
MITSUBISHI i-MiEV	6.02	4.73	5.35	small car	2013
SMART ForTwo Cabriolet	5.83	4.44	5.11	small car	2013
SMART ForTwo Coupe	5.83	4.44	5.11	small car	2013
FORD Focus BEV	5.25	4.73	5.01	small car	2013
CODA Coda	3.68	3.25	3.49	small car	2013
Azure Dynamics Transit Connect Electric	2.96	2.96	2.96	special purpose	2012
BYD e6	2.87	3.06	2.96	van	2012
CODA Coda	3.68	3.25	3.49	small car	2012
NISSAN Leaf	5.06	4.39	4.73	midsize car	2012
TESLA Model S	4.20	4.30	4.25	large car	2012
TOYOTA RAV4 EV	3.72	3.53	3.63	SUV	2012

※ 2013년 2월 28일 기준

Protection Agency) 사이트에 등록된 EV는 2011년 4종, 2012년 7종, 2013년 6종이며, PHEV는 2011년 1종, 2012년 3종, 2013년 3종이다[4, 5, 16]. 표 2에 2012과 2013년 미국에서 연비를 인증받고 출시된 전기자동차의 현황을 보여준다. 미국 EPA는 휘발유 1 Gallon이 갖고 있는 에너지를 열량을 기준으로 33.7 kWh의 전기에너지로 전환되는 것으로 설정하고 있다. 이 에너지 변환값을 적용하여 전기자동차의 연비 단위를 MPGe(Miles per Gallon of Gasoline Equivalent)에서 km/kWh로 바꾸어 표 2에 나타내었다.

2.3 전기자동차의 연비 범위와 소비 전기에너지

표 1과 표 2에 나타나 있는 바와 같이 우리나라와 미국에서 인증을 받은 전기자동차의 연비는 2.96~5.78[km/kWh]의 범위에 있다. 기술의 발전에 따라 전기자동차의 연비가 향상되는 요인도 있고 전기자동차 차량 구입 후 사용에 따른 전기자동차의 연비의 저하 요인도 있다. 본 연구에서는 향후 10년간 우리나라에 전기자동차가 보급되어 운행될 때 전기자동차의 연비가 대략 이 범위에 있을 것으로 추정하였다. 전기자동차의 연비가 최고 높을 때 전기자동차가 사용할 전기에너지가 최소가 되며, 전기자동차의 연비가 최하일 때 전기자동차가 사용할 전기에너지가 최대가 된다. 따라서 보급된 전기자동차가 사용할 전기에너지의 범위를 이 두 값의 사이로 추정하였다.

2.4 전기자동차 보급대수 예측

전기자동차 보급 대수를 추정하기 위하여, 먼저 2006년도부터 2012년도까지 제주특별자치도에 등록된 관용, 자가용 및 영업용으로 구분된 승용자동차 통계를 기반으로 단순 회귀분석하여 2013년부터 2022년까지 석유류를 연료로 사용하는 자동차 보급대수를 예측하였다[17, 18]. 이 예측된 보급대수에 제주특별자치도의 전기자동차 보급목표를 곱하여 예상되는 전기자동차 보급 대수를 결정하였다. 그 결과는 표 3에 나타내었다.

표 3 제주지역 전기자동차 보급 대수 전망

Table 3 The estimation the number of EVs to be penetrated in the Jeju Special Self-Government Province

년도	승용 석유류 자동차 보급 전망[대]			전기자동차 보급 목표	승용 전기자동차 보급 전망[대]		
	관용	자가용	영업용		관용	자가용	영업용
2013	577	181,094	22,857	1.0%	6	1,811	229
2014	612	189,285	24,433	3.0%	18	5,679	733
2015	648	197,477	26,008	5.0%	32	9,874	1,300
2016	683	205,668	27,584	7.0%	48	14,397	1,931
2017	719	213,860	29,160	10.0%	72	21,386	2,916
2018	754	222,051	30,736	16.0%	121	35,528	4,918
2019	790	230,242	32,312	23.0%	182	52,956	7,432
2020	825	238,434	33,888	30.0%	248	71,530	10,166
2021	861	246,625	35,464	37.0%	318	91,251	13,122
2022	896	254,817	37,040	44.0%	394	112,119	16,298

2.5 전기자동차 1일 주행거리

본 연구에서는 전기자동차의 1일주행거리를 일반자동차의

1일주행거리와 같을 것으로 추정하였고, 교통안전공단의 2010년도 자동차 주행거리 실태분석 연구에서 제시된 제주특별자치도의 자가용, 관용, 영업용 승용자동차의 1일주행거리 수치를 사용하였다[19]. 그 수치는 표 4에 나타내었다.

표 4 제주특별자치도 승용차 1일주행거리

Table 4 The average daily driving distance of the passenger cars in the Jeju Special Self-Government Province

용도 구분	1일주행거리[km]
관용	36.1
자가용	31.8
사업용	109.6

2.6 전기에너지 사용량 예측

식 (1)에 따라, 표 3의 승용 전기자동차의 용도별 연간 보급 전망치에 표 4의 각각의 1일주행거리를 곱하고, 연비로 나누고, 365일을 곱하여 연간 전기자동차가 사용하는 전기에너지를 구하였다. 연비는 3절에서 제시한 미국과 한국의 전기자동차의 표시(공인)연비의 최소값 2.96[km/kWh]와 최대값 5.78[km/kWh]을 사용하여 전기자동차가 사용하는 전기에너지 전망치의 최대값과 최소값을 각각 결정하였다. 이와 같이 제주특별자치도가 세운 전기자동차 대체 목표에 따라 석유류 승용차를 전기자동차로 대체하였을 때 추가로 사용하게 될 전기에너지량의 예측 범위를 구하였고, 이 결과를 표 5에 나타내었다. 표 5에서 제주특별자치도 전기에너지 기본 전망치는 6차 전력수급기본계획에서 인용한 수치이다[20]. 전기자동차 보급률과 전기자동차가 사용할 1년간 전기에너지 비율을 그림 1에 나타내었다.

표 5 제주도에서 EV가 1년간 소비할 전기에너지 전망치

Table 5 The estimation of the electrical energy consumed during 1 year by the EVs in the Jeju Island

년도	전기에너지 기본 전망치 [GWh]	EV 보급률	EV 사용 전기 에너지[GWh]		EV 사용 전기 에너지 비율	
			최대 (연비 =2.96)	최소 (연비 =5.78)	최대 (연비 =2.96)	최소 (연비 =5.78)
2013	3,908	1.0%	10.2	5.2	0.3%	0.1%
2014	3,996	3.0%	32.3	16.5	0.8%	0.4%
2015	4,081	5.0%	56.4	28.9	1.4%	0.7%
2016	4,161	7.0%	82.8	42.4	2.0%	1.0%
2017	4,234	10.0%	123.6	63.3	2.9%	1.5%
2018	4,314	16.0%	206.3	105.7	4.8%	2.4%
2019	4,385	23.0%	308.9	158.2	7.0%	3.6%
2020	4,435	30.0%	419.0	214.6	9.4%	4.8%
2021	4,424	37.0%	536.6	274.8	12.1%	6.2%
2022	4,399	44.0%	661.7	338.8	15.0%	7.7%

그림 1 전기자동차 보급률과 연간 소비 전기에너지 예측치
Fig. 1 The EVs penetration rate and estimation of the electrical energy consumed during 1 year by the EVs in the Jeju Special Self-governed Province

이 계산 결과는 제주특별자치도에서 2017년 전기자동차가 10% 보급되었을 때 1년간 전기자동차가 사용할 전기에너지는 전체 사용 전기에너지 대비 1.5%~2.9% 범위에 있음을 보여준다. 또 제주특별자치도에서 2020년 전기자동차가 30% 보급되었을 때 1년간 전기자동차가 사용할 전기에너지는 전체 사용 전기에너지 대비 4.8%~9.4% 범위에 있음을 보여준다.

3. 전기자동차 스마트충전용량

3.1 전기자동차 스마트충전 용량의 정의

유럽전기산업협회(The Union of Electric Industry)의 EUROELECTRIC 분과에서 스마트충전(Smart charging)을 “전력공급시설에 추가적인 투자를 최소화하고 신재생에너지원의 수용이 용이하도록 하면서 전력공급시설과 여분의 전기에너지를 효과적으로 이용하여 전기자동차를 충전하는 통제된 충전과정을 스마트충전”으로 정의하고 있다[21]. 전기자동차의 충전에 신재생에너지원을 효과적으로 활용하는 문제는 향후 기술의 발전함에 따라 점진적으로 향상될 것이다. 큰 규모의 풍력과 태양광 등의 신재생에너지원은 계통에 연계되므로 전기에너지 공급인프라의 스마트충전 용량을 평가하는 본 연구에서는 신재생에너지원을 별도로 고려하지는 않는다. 또 전력공급시설에 추가적인 투자를 최소화하는 스마트충전의 개념은 다소 불확정적인 표현이지만 본 연구에서 스마트충전 용량을 전기자동차를 충전하기 위해 발전시설을 추가적으로 건설하지 않고 운영상의 조정을 통해 안정적으로 공급할 수 있는 전기에너지 공급 용량으로 정의한다. 단 분명히 구분되어 이해되어야 할 사항은 우리나라 대부분 배전시설 말단에서의 여건은 전기자동차를 충전하기 위해서는 전기시설 용량의 증설이 필요하다는 것이다. 특히 주택의 경우 3kW를 기본 계약전력으로 하고 이에 준하는 전기설비가 시설되어 있기 때문에 전기자동차를 충전하기 위해서는 전기에너지 공급시설의 용량증설은 반드시 필요하다.

3.2 전기자동차 스마트충전 용량의 결정

일간 스마트충전 용량은 전력 공급능력에서 예비율 만큼

그림 2 스마트충전 용량의 개념
Fig. 2 Concept of the smart-charging capacity

그림 3 100%-골채움충전용량의 개념
Fig. 3 Concept of 100%-valley-filling charging capacity

을 제외한 전력으로 24시간 공급 가능한 전기에너지량에서 일간 사용한 전기에너지량을 빼고 남은 전기에너지량으로 볼 수 있다. 그림 2에서 이러한 스마트충전 용량의 결정에 관계된 도표를 보여주고 있다. 연중 대표되는 스마트충전 용량 값은 1년 내내 어떤 날에도 확보되어야 할 충전용량이므로 연중 일간 전기에너지를 최대 사용하는 날의 일간 전기에너지량에서 결정하면 된다. 예비율은 전국적으로 예비력이 500만kW일 때부터 전력경보 준비단계가 되고, 2013년의 경우 10월까지 7,000만kW 이상의 최대전력을 기록한 날이 56일임을 고려하여 본 연구에서는 안정적인 예비율의 한계를 10%로 결정하였다. 그림 3에서 일간 100%-골채움충전 용량(100%-valley-filling charging capacity)의 개념을 보여주고 있다. 일간 100%-골채움충전 용량은 부하선으로부터 최대전력까지의 영역을 나타낸다. 스마트충전 용량과 마찬가지로 연중 대표되는 100%-골채움충전 용량 값은 연중 일간 전기에너지를 최대 사용하는 날의 일간 전기에너지량에서 결정하면 된다. 이 때 최대전력 값은 연중 최고값을 선택한다.

6차전력수급계획에서 제시하고 있는 데이터 값을 활용하여 2013년부터 2022년까지 스마트충전 용량과 100%-골채움충전 용량을 결정하였다. 연중 일간 전기에너지 사용량의 최대값은 2013년의 경우 동년 10월까지의 기간 중 전기에너지를 최대 사용한 2013년 8월 9일 자의 14.94GWh를 선택

하였으며, 2014년부터는 2013년의 이 값에 6차전력수급계획에서 제시한 연간 전기에너지사용량의 증가율을 곱하여 결정하였다. 100%-골채움충전 용량을 결정함에 있어 2013년 최대전력은 2013년 최대를 기록한 2013년 8월 9일자의 716MW를 사용하였고, 2014년부터의 최대전력 값은 6차전력수급계획에서의 최대전력 전망값을 사용하였다.

3.3 제주지역 전기자동차 스마트충전 용량

계산된 일간최대전기에너지소비량, 스마트충전 용량 및 100%-골채움충전 용량을 표 6에 나타내었다. 표 5의 전기자동차가 사용할 전기에너지의 최소값과 최대값을 일간으로 환산한 값과 표 6의 스마트충전용량과 100%-골채움충전용량을 그림 4에 함께 나타내었다. 전기자동차가 약 13만대, 비율로는 전체 승용자동차의 44%까지 보급된 2022년에도 전기자동차가 사용하게 될 전기에너지가 전력계통의 스마트충전용량에 크게 못 미치고 있으며, 100%-골채움충전용량의 60% 정도이다.

그림 4 전력계통의 스마트충전용량과 전기자동차 소비전력
Fig. 4 Smart-charging capacity of power grid and electric energy consumed by EV

3.4 전기자동차 보급이 피크전력에 미치는 영향

전기자동차의 충전은 급속충전방식, 완속충전방식 그리고 테슬러사의 모델S처럼 두 개의 완속충전기가 장착되어 2배 이상의 속도로 완속충전이 되는 이중 완속충전방식 및 배터리 교환방식으로 충전이 가능하다. 이러한 다양한 충전방식에 의한 충전과 많은 수의 전기자동차가 보급됨에 따라 거시적 관점에서 하루 24시간 내내 일정한 비율로 전기자동차 충전이 이루어질 가능성을 높여준다. 반면에 출퇴근 시간 새벽녘 등의 시간대에서는 전기자동차의 충전이 저조하게 이루어 질 수 있다. 한편, 시간대별 차등 전기자동차 충전 전기요금제도의 도입과 중앙 충전관제센터나 충전기 자체에 수요반응 프로그램에 의해 통제되는 충전기술방식의 구현 등에 의해 전기자동차의 충전이 전력 비피크시간대에 이루어 질 가능성도 높아 진다.

전력피크시간에 전기자동차의 충전이 어느 정도 집중될지를 예상하는 문제에 있어서, 향후 스마트그리드 기술의 발전함에 따라 또 전체 전력수요에 영향을 줄 정도로 전기자동차

표 6 전기에너지, 최대전력, 설비용량의 전망치 및 스마트충전 용량

Table 6 Estimation of electric energy, peak power and power capacity, and smart-charging capacity

연도	연간 전기 에너지 소비량 [GWh]	최대전력 [MW]		피크 기여도 설비 용량 [MW]	최대 일간 전기 에너지 소비량 [GWh]	일간 스마트 충전 용량 [GWh]	일간 100%-골채움 충전 용량 [GWh]
		하계	동계				
2013	3,908	716	634	1,034	14.94	7.39	1.12
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

※ 연간전기에너지 소비량, 최대전력 및 피크기여도 설비용량은 제6차 전력수급기본계획의 데이터임. 단, 붉은 색 값은 실측값임

그림 5 전기자동차 보급에 따라 증가된 % 피크전력과 전력계통의 예비력

Fig. 5 Increased % peak power according to EV penetration and the power margin of the grid

차 대수가 늘어나는 상황에서 충전 수요관리를 위해 적절하게 잘 계획되고 통제되는 충전방식과 범위가 마련될 것이기 때문에 피크타임 충전부하의 집중을 평시의 2배정도로 제한하고자 한다. 본 연구에서는 전력계통의 전력 피크시간에 전기자동차의 충전전력이 24시간 평균 충전전력의 0.5배, 1배, 2배로 집중할 때 전력계통의 피크전력에 미치는 영향을 살펴본다. 여기서 24시간 평균 전기자동차 충전전력이라 함

은 하루 전기자동차가 사용하는 전기에너지량 최대 예측값을 24시간으로 나눈 평균전력이다. 특히 연중 전력이 피크에 이르는 시점에 대해 영향을 조사하였으며, 제6차 전력수급기본계획에 의하면 제주지역은 하계에 연중 최대 전력피크가 발생하는 것으로 예측하고 있다.

그림 5에 제6차 전력수급기본계획에서 예측하는 제주전력계통의 예비력과 함께 이 결과를 나타내고 있다. 전체 승용자동차의 44%가 전기자동차로 보급되는 2022년 충전부하가 평균의 2배 집중 시 연중 최대 피크전력이 18.1%가 증가할 수 있다. 이 경우도 전기자동차 보급되기 전 전력계통이 43%의 예비력을 갖고 있었으므로 전기자동차가 계획대로 보급되더라도 제주 전력계통은 전력피크시간에도 24% 이상의 예비력을 갖게 된다.

3.5 전기자동차 충전에 관한 제주지역 4 계절 부하특성의 고려

2012년 제주지역의 4계절 일 부하곡선의 대표적인 유형을 그림 6에 나타내었다. 최근 겨울철 난방에 전기에너지를 선호하는 경향이 증가하고 있어 겨울철에 여름철의 전력 피크치 가까운 전력이 소비되고 있다. 그림 6를 살펴보면 겨울철에 전기난방 수요로 인해 심야 시간대에서 전력 수요가 매우 높아 다른 계절에 비해 기저부하가 높게 형성됨을 알 수 있다. 심야시간대 부하가 낮은 시기의 유휴 전력을 전기자동차 충전에 사용하고자하는 스마트충전의 관점에서 보면 겨울철 스마트충전 용량이 여름철 보다 적고, 또 겨울철 심야시간대 높은 기저부하로 계통의 안정성에 더 영향을 미칠 수 있으므로 스마트충전 용량의 결정시기가 겨울철이 되어야 함을 알 수 있다.

그림 6 제주지역 4계절 부하곡선

Fig. 6 4-seasons load lines in the Jeju Island

제주지역은 육지부와 다르게 봄, 가을, 겨울에는 두드러지게 오후 6시 이후 저녁시간대에 일간 피크전력이 발생하고 여름철에도 일간 최대전력에 가까운 피크전력이 이 시간대에 발생한다. 제주계통이 육지부계통과 직류방식으로 연계되어 있고, 육지부는 저녁시간대가 전력피크시간대가 아니기 때문에 제주지역에서 전기자동차 충전으로 인한 저녁 전력 피크시간에 발생하게 될 수도 있는 피크전력 증가분은 육지부 전력계통으로 부터 효과적으로 공급받을 수 있다.

4. 결과 고찰

제주특별자치도가 “Carbon Free Island Jeju by 2030 계획” 실현하기 위해서 2030년까지 모든 자동차를 전기자동차로 보급하기 위한 야심찬 계획을 수립하였다. 제주특별자치도가 목표로 하는 2017년에 자동차의 10%, 2020년에 30%를 전기자동차로 보급하기에는 아직까지 전기자동차의 배터리에 대한 획기적인 기술 진전이 이루어지고 있지 않다.

본 연구의 결과에 의하면 2017년 전기자동차 10% 보급시 최대 2.9%의 전기에너지가 증가할 수 있으며, 2020년 전기자동차 30% 보급시 최대 9.4%의 전기에너지가 증가할 수 있다. 피크타임을 피해 전기자동차를 충전하게 하는 법제도와 시스템의 준비가 선행되지 않으면, 하루 중 전기자동차 충전이 피크타임에 몰릴 수 있으며 이런 경우 피크 전력은 전기에너지 증가량에 비해 훨씬 더 증가할 수 있다.

계산 결과값에서 전기자동차가 사용하게 될 전기에너지의 최소값과 최대값의 차이가 매우 큼을 알 수 있다. 이는 전기자동차 연비의 최소값과 최대값의 차이가 크기 때문이다. 아직까지 보급되는 전기자동차 유형에 대한 충분한 통계치를 구할 수 없기 때문에 전기자동차 연비의 범위를 크게 설정되었으나 향후 전기자동차 보급 유형이 드러나면 전기자동차 연비의 범위는 축소할 수 있을 것이며, 이에 따라 전기자동차가 사용하게 될 전기에너지량의 예측 범위도 줄어들 것이다.

제6차 전력수급기본계획과 기존 전력사용 통계의 데이터에 근거하여 계산된 제주 전력계통의 스마트충전용량과 100%-끝채움충전용량은 2022년까지 제주특별자치도의 전기자동차보급계획에 따라 보급되는 전기자동차가 사용할 전기에너지보다 충분히 크다. 아울러 2022년 승용차의 44%가 전기자동차로 보급되었을 때, 즉 대략 13만대의 승용전기자동차가 보급되었을 때 제주지역 연중 최대 피크시간에 최대 예측한 24시간 균등 전기자동차 충전부하의 2배의 충전부하가 집중되더라도 전력계통의 예비력이 20%이상 여력을 갖게 된다. 따라서 거시적인 관점에서 전기자동차 충전부하가 전력피크시간에 편중되지 않는 잘 통제된 충전인프라가 구현된다면 제주특별자치도의 보급계획은 현재 추진 및 계획되고 있는 국가의 전기에너지공급계획에 큰 변동없이 수용될 수 있다.

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

본 연구에서는 미국과 우리나라에서 공인된 연비를 분석해 전기자동차가 사용하는 연료량, 즉 전기에너지를 계산하였으며 우리나라에서 통계가 이루어지고 있는 승용차 부분의 관용, 자가용, 영업용의 분류를 이용해 각 부문 전기자동차가 사용하는 전기에너지를 계산함으로써 예측의 정확도를 높였다.

5. 결 론

제주특별자치도는 Carbon Free Island Jeju by 2030 계획을 실현하기 위해 제주 전기자동차 시범도시 세부추진계획을 수립하였다. 본 연구에서는 이 계획에 따라 제주특별자치도에 EV형 전기자동차가 보급될 경우 예상되는, 추가적으로 필요한 전기에너지 사용량을 산정하였으며, 제주지역 전력계통에 미치는 영향을 분석하였다.

2011년부터 2013년까지 출시되어 미국과 한국의 공식사이트에 등록된 전기자동차의 연비는 2.96~5.78[km/kWh] 범위에 있으며, 향후 우리나라에 보급될 전기자동차의 연비가 이 범위 내에 있을 것으로 가정하고 EV형 전기자동차 보급에 따른 전기에너지 사용량을 계산하였다. 이 결과로부터 제주지역에 2017년 승용차 중 EV형 전기자동차가 10% 보급되면 제주지역 전기에너지는 최소 1.5%에서 최대 2.9% 증가하게 되며, 2020년 30% 보급되면 전기에너지는 최소 4.8%에서 최대 9.4% 증가하게 됨을 알 수 있었다.

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

향후 전기자동차의 보급이 이루어지고 추가적인 전기자동차 보급 통계자료가 확보되면 전기자동차가 사용하게 될 전기에너지에 대한 좀 더 정확한 예측과 제주지역 전력계통에 미치는 영향에 대한 좀 더 정확한 분석이 가능할 것이다. 아울러 전기자동차 보급이 우리나라 전체의 전력계통에 미치는 영향에 대한 추가적인 연구와 장기 전력수급계획 하에서 전기자동차 운영이 전력계통에 미치는 영향을 평가할 수 있는 방법의 일반화에 대한 논의가 필요하다고 생각한다.

감사의 글

이 논문은 2013학년도 제주대학교 학술진흥연구비 지원사업에 의하여 연구되었음.

References

- [1] Korean Agency for Technology and Standard, Glossary Of Terms Relating To Kinds Of Automobiles - Part 1 : Kinds Of Automobiles (KS R0011:2012), 2012.
- [2] 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.
- [3] http://bpms.kemco.or.kr/transport_2012/main/main.aspx
- [4] U.S. Environmental Protection Agency, Fuel Economy Datafiles, 2011-2013.
- [5] www.fueleconomy.gov
- [6] S. W. Hadley, Impact of plug-in hybrid vehicles on the electric grid. Technical Report ORNL/TM-2006/554 Oak Ridge National Laboratory, TN, 2006.
- [7] K. Clement, E. Haesen, J. Driesen, "The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on the distribution grid", Proceedings 2008-4th IEEE BeNeLux young researchers symposium in electrical power engineering, Eindhoven, The Netherlands, pp. 1 - 6, 2008.
- [8] M. Kintner-Meyer, K. Schneider, and R. Pratt, "Impacts Assessment of Plug-in Hybrid Vehicles on Electric Utilities and Regional US Power Grids", Part 1: Technical Analysis, Electric Utilities Environmental Conference, pp. 1-23, 2007.
- [9] Zahra Darabi and Mehdi Ferdowsi, "Aggregated Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Electricity Demand Profile", IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY, VOL. 2, NO. 4, pp. 501-507, OCTOBER 2011.
- [10] Robert C. Green II, Lingfeng Wang, Mansoor Alam, "The impact of plug-in hybrid electric vehicles on distribution networks: A review and outlook", Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, pp. 544-553, 2011.
- [11] Sang-Keun Moon, Hyung-geun Kwag and Jin-O Kim, "Evaluation of the Charging effects of Plug-in Electrical Vehicles on Power Systems, taking Into account Optimal Charging Scenarios", Trans. KIEE, vol. 61, No. 6, pp783-790, 2012
- [12] Chul-woo Kim, Seung-Ho Han, Taek-Ho Song and Moon-Gyu Jeong, "Influence Evaluation of Electric Vehicle Load on Distribution Systems by the penetration rate of Electric Vehicle", Proceeding of the 42th the KIEE Summer Conference 2011, pp256-257, 2011
- [13] Mi-Yeon Hwang, Jung-Mu Yoon and Jun-Min Cha, "A Study for Forecasting of Power Consumption due to Increase of Electric Vehicle", Proceeding of the 42th the KIEE Summer Conference 2011, pp. 23-24, 2011.
- [14] Korea Energy Economics Institute, Analysis on Effects of EV Penetration on Electric Power Supply and Demand, General Research Report 12-01, 2012.
- [15] Korea Power Exchange(KPX), Effects of EV Penetration on Electric Power Supply and Demand and Their Implications, KPX Report, 2009.
- [16] U.S. Environmental Protection Agency, Model 2013 Fuel Economy Guide: Fuel Economy Leaders, p. 5,

2013.

- [17] The Jeju Special Self-Government Provincial Government, 2012 Jeju Statistical Yearbook, 2012.
- [18] The Ministry of Land, Infrastructure and Transport, The Statistics of Automobile Enrollment, 2012.
- [19] Korea Transportation Safety Authority(KTSA), The Study on Status Analysis of 2010 Year Driving Distance, KTSA Politics Study 2011-05, 2011.
- [20] The Ministry of Trade, Industry and Energy, The 6th Master Plan on Electric Power Supply and Demand, 2013.
- [21] A EURELECTRIC Position Paper, "European Electricity Industry Views on Charging Electric VEHICLES", 2011

저 자 소 개

오 성 보 (吳 性 寶)

1953년 3월 26일생
 1976년 중앙대학교 전기공학과 졸업
 1988년 동대학 전기공학과 박사
 현 재 제주대학교 전기공학과 교수

이 개 명 (李 開 明)

1961년 8월 19일생
 1984년 연세대학교 전기공학과 졸업
 1990년 동대학 전기공학과 박사
 현 재 제주대학교 전기공학과 교수

황 충 구 (黃 忠 九)

1959년 12월 12일생
 2002년 제주대학교 산업대학원 전자전기공학과 석사
 현 재 중부발전(주) 인천화력본부 발전운영실장