



[2019-6-RP-009]

재생에너지 변동성 대응을 위한 전기차 활용 방안 연구

윤성권¹⁾ · 김윤성²⁾ · 문효동³⁾ · 임현지³⁾ · 권필석⁴⁾*

Study on Utilizing Electric Vehicles for the Variability of Renewable Energy

Seonggwon Yun¹⁾ · Yunsoung Kim²⁾ · Hyodong Moon³⁾ · Hyunji Im³⁾ · Pilseok Kwon⁴⁾*

Received 29 March 2019 Revised 8 May 2019 Accepted 27 May 2019

ABSTRACT As renewable energy generation is expanding, technology (Electric Vehicles, Energy Storage Systems, etc.) is being developed to respond to the variability of renewable energy and improve the grid stability. This study analyzed the effects of EV expansion on both renewable energy variability and power system flexibility. The scenarios were based on the combined modeling for the electric and transport sector. As a result of modeling, EV expansion has contributed significantly to reducing curtailment. The RE20% (Renewable Energy Power Generation Share 20%) scenario did not result in curtailment when EV reached 3 million units. The RE30% Scenario showed that EV reached 7 million units or other ESS technologies should be applied together to reduce curtailment significantly. This modeling considered smart charging. In reality, other charging types are more common than smart charging. Various institutional devices and policies will be needed to realize that. In addition, it will be necessary to study the unique characteristics of transportation.

Key words Electric vehicles(전기자동차), Variability of renewable energy(재생에너지 변동성), Flexibility(유연성), Vehicle to grid(V2G)

1. 서론

전 세계적으로 청정에너지 기술의 개발 촉진 및 활용이 장려되고 있다. 청정에너지 확대 캠페인 ‘Mission Innovation’은 재생에너지와 더불어 에너지 효율도 ‘청정에너지 기술’의 하나로 간주하고 있다. 효율향상 분야는 온실가스 감축 효

과, 기술 확보, 현재시장 중요도 측면에서 높게 평가된다. 에너지 효율향상이 특히 기대되는 분야는 전기자동차를 필두로 하는 수송부문, 산업, 건물 부문 등이 해당한다. 특히 전기차는 동일한 운송수요로 보다 적은 에너지로, 보다 낮은 온실가스 배출로 달성할 수 있어 미래 전망이 더욱 밝은 기술이다.

전세계 전력수요는 2014년 20,577TWh에서 연평균 2% 증가하여 2040년 34,250TWh가 될 전망이다. 부문별로는 전기차 등 수송부문의 전력소비가 빠르게 증가할 것으로 예상되고 있다^[1]. 전 세계 전기차는 2017년 기준 약 300만 대 이상 보급된 것으로 추정되고, 주요 선진국과 중국 등의 수요 확대로 2030년에는 누적으로 1억대가 넘을 것으로 예측된다^[2].

또한 전 세계적으로 재생에너지가 빠르게 증가하고 있다.

1) Senior Researcher, Green Energy Strategy Institute

2) Research Fellow, Green Energy Strategy Institute

3) Researcher, Green Energy Strategy Institute

4) Director, Green Energy Strategy Institute

*Corresponding author: pilseok.kwon@gmail.com

Tel: +82-2-552-0940

Fax: +82-2-883-8042

특히 신규 발전설비의 60% 이상을 태양광, 풍력 등 재생에너지 설비가 차지하고 있고, 우리나라도 2030년까지 재생에너지 발전량 비중 20%를 달성하기 위해서 총 48.7GW의 재생에너지 신규 설비를 보급할 예정이다^[3]. 재생에너지 전원이 확대됨에 따라 재생에너지 변동성 문제에 대응하기 위한 기술 개발이 적극적으로 추진 중이다. 전기차, 에너지 저장 시스템 등 전력시스템 유연성을 보완할 수 있는 기술은 화석연료 발전과 원자력 “기저부하”가 없어도 변동하는 재생에너지 발전을 상당한 비중으로 높이는 것이 가능하다. 이러한 종류의 유연성 확대 요소들은 변동성 재생에너지 발전의 균형을 맞출 수 있을 뿐 아니라 시스템을 최적화하고 전반적인 발전비용을 낮추는 데 기여할 수 있다.

변동성 있는 재생에너지 확대로 전력시스템 통합 기술에 대한 수요가 크게 증가함에 따라 유연성 자원 중 하나인 전기차(V2G) 관련 기술의 경제 및 산업 규모도 확대되고 있고, 전기차 충전패턴 및 시나리오가 반영된 모델링 기술도 발전하고 있다.

본 연구에서는 전력시스템과 수송부문을 결합한 모형을 바탕으로 재생에너지 발전 비중 확대에 따른 시나리오 분석을 통해 전기차 활용 방안을 분석해보고자 한다.

2. 미래 에너지 시나리오에서 전기자동차 보급전망 분석

청정 수송과 탈탄소화를 위해서는 세계 전기차 보급률이 높아지는 과정이 필수적이다^[1]. 세계 배터리 전기자동차의 증가 속도는 2013년부터 플러그인 하이브리드 전기자동차의 증가속도를 뛰어넘었다. IEA는 2016년 현재 전세계 200만대를 기준으로 2030년까지 전기차 보급을 높이는 시나리오들을 제시하고 있는데 이는 다음과 같다^[4].

- 레퍼런스 시나리오(RTS: The Reference Technology Scenario): 현재까지 발표되었거나 고려중인 에너지 효율, 에너지원 다양화, 대기질 및 탈탄소화 정책목표를 반영한 보급 시나리오. 2030년까지 5600만대 보급. (2016년보다 28배 증가한 규모)
- 2DS 시나리오: 이번 세기 지구평균기온 상승 2°C 목표 달성가능성 50% 수준. 2030년 전기차 1억 6000만대 보급
- B2DS 시나리오: 2060년 이후 에너지부문 온실가스 순배출 0 달성. 2020년까지 전기차 보급 2500만대하고 2030년까지 2억대 이상 보급

정부간 정책 포럼인 EVI(Electric Vehicles Initiative)는 전기차가 2륜차를 제외한 전체 시장에서 2030년까지 30%를 점유하는 것을 목표로 한다(EV30@30캠페인)^[2]. 2016년 이후 시나리오에서 가장 위쪽의 초록색 선은 B2DS 시나리오를 보여주며 2030년까지 2억대 보급을 목표로 한다. 파리협약 이행을 기준으로 하는 시나리오(그림의 회색선)에서도 2030년 전기차 보급은 세계 1억 2천만대에 이를 전망이다^[4].

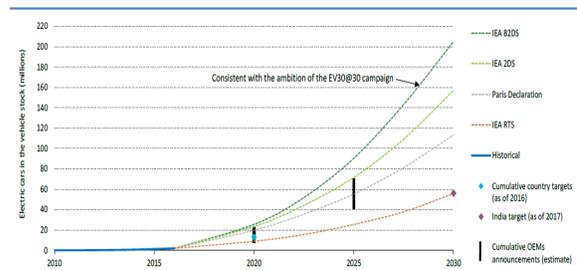


Fig. 1. Global EV Scenarios

블룸버그 뉴에너지 파이낸스(BNEF)는 전기차 판매량이 2025년 1,100만대, 2030년 3,000만대로 급상승 할 것으로 전망한다. 중국은 2025년 세계 전기차 판매의 절반을 차지할 것으로 보인다^[5].

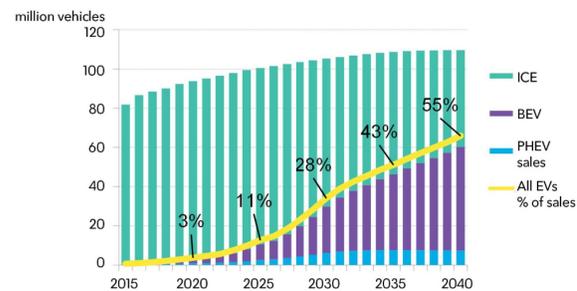


Fig. 2. Global Light Duty Vehicle Sales

Source : BNEF(2018)

Morgan Stanley 웹페이지에서는 2050년까지 전세계 약 10억대의 전기차가 보급될 것으로 전망하고 있다. 이 보고서는 전기차는 2050년까지 전세계 시장의 80%를 차지할 것이고, 정부 규제와 기술속도에 따라 90%까지 확대될 수 있다^[6,7].

Table 1. EV Forecast by Organization

	Scenario	EV Sales (Units)	Target Year
IEA	RTS	120 million	2030
	2DS	160 million	
	B2DS	200 million	
Morgan Stanley	-	1 billion	2050
Bloomberg	-	30 million	2030
	-	600 million	2040

3. 전기차 판매 현황 및 정책

2017년 기준 전세계 전기차 신규 판매는 약 100만대를 기록했고, 2016년 대비 54% 증가했다. 전기차 누적 판매는 300만대를 넘어섰고, 중국이 약 40%를 차지하고 있다. 전기차 충전기는 2017년에 누적으로 약 300만대가 설치되었다^[2].

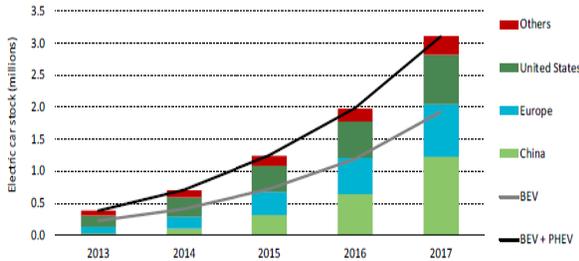


Fig. 3. EV Sales Status in Major Regions

Source : IEA(2018)

전기차는 판매는 대부분 국가 정책의 영향을 받는다. 전기차 지원 정책은 크게 산업정책 부문, 규제 부문, 소비자 지원 부문, 충전 인프라 지원 부문으로 구분된다. 가장 많은 국가에서 환경 기준, 에너지효율, 온실가스 배출 기준 강화 등 규제 부문을 활용하고 있다. 동시에 보조금, 구매 지원 등 인센티브 정책도 추진하고 있으며, 중국은 세계 최고 수준의 보조금을 지급하여 전기차 성장을 견인하고 있다^[7,8].

2020~2030년 전기차 보급 목표는 국가별로 다양하다. 전기차 선도국인 중국은 2020년까지 전기차 500만대, 2030년까지 친환경차 비중을 40~50%까지 확대할 전망이고, 독일은 2022년까지 전기차 100만대, 미국(8개주)은 2025년

	EV Target in 2020-2030
China	<ul style="list-style-type: none"> • 5 million EVs by 2020, including 4.6 million PLDVs, 0.2 million buses and 0.2 million trucks. • NEV sales share: 7-10% by 2020, 15-20% by 2025 and 40-50% by 2030.
India	<ul style="list-style-type: none"> • 30% EV sales by 2030 • 100% BEV sales for urban buses by 2030
Germany	• 1 million EVs sales by 2022
Japan	• 20-30% EV sales by 2030
Norway	• 100% EV sales in PLDVs, LCVs and urban buses by 2025.
US	• 3.3 million EVs 8 States combined by 2025*
Korea	• 3 million EVs sales by 2030

*California, Connecticut, Maryland, Massachusetts, New York, Oregon, Rhode Island, Vermont.

Source : IEA(2018)

까지 330만대를 보급할 전망이다^[2].

우리나라는 미세먼지 감축, 에너지 전환 등 변화된 대기 에너지 정책을 반영하여 2030년까지 전기차 300만대를 보급할 계획이지만, 2018년 11월 기준 54,715대를 보급했다. 지역별로는 제주가 15,735대로 가장 많고, 서울 11,162대, 대구 5,925대, 경기 5,277대 순으로 나타난다. 주무부처인 환경부는 2019년에 전기차 42,000대, 완속충전기 12,000기 보급하는 예산을 확정했다. 전기차는 대당 최대 900만 원을 지원하고, 충전기는 기당 약 300만 원을 민간에서 보조한다^[9].

4. 전력 및 수송분야 모델링

전력수요($ED_h^{pattern}$)는 식 (1)과 같이 2016년 시간대별 전력수요 패턴이 미래에도 유지된다고 가정하였고, 미래 전력수요(ED_h^{2030})는 식 (2)와 같이 제8차 전력수급계획 전력수요전망 자료를 활용하였다.

$$ED_h^{pattern} = \frac{ED_h^{2016}}{\sum_h ED_h^{2016}}, h \in 1, \dots, 8760 \quad (1)$$

$$ED_h^{2030} = ED_h^{pattern} * Annual D^{2030}, h \in 1, \dots, 8760 \quad (2)$$

재생에너지 설비는 재생에너지 3020 계획과 같이 태양광과 풍력을 중심으로 고려하였고, 2016년 시간대별 실측 데이터^[10]를 사용하여 식 (3)과 같이 태양광, 풍력을 패턴화하였고, 시간대별 재생에너지 출력 패턴은 미래 재생에너지 설비용량($IC_{pv, wt}^{2030}$)과 곱해져서 식 (4)와 같이 재생에너지 출력(MWh)으로 계산된다.

$$PV_h^{pattern} = \frac{PV_h^{2016}}{MAX(PV_h^{2016})}, \quad WT_h^{pattern} = \frac{WT_h^{2016}}{MAX(WT_h^{2016})} \quad (3)$$

$$EP_h^{PV} = PV_h^{pattern} * IC_{PV}^{2030}, \quad EP_h^{WT} = WT_h^{pattern} * IC_{WT}^{2030} \quad (4)$$

재생에너지 변동성은 재생에너지 출력의 변동 폭 만큼을 양수발전과 가스발전이 담당한다고 가정하였다. 정부는 전력망 유연성 대비로 양수발전의 발전용량을 2030년까지 6.7GW로 증가시킬 예정이다. 양수발전 저장용량은 현재 양수발전용량 대비 저장용량 비율($\cong 12$)을 사용하여 80.4GW로 추정하였다. 그 밖에 설비 계산식은 생략하였다.

시간대별 전력수급제한식(EG_h^{tech})은 아래와 같다. 전력기기 전력소비(ED_h^{normal})와 양수발전 전력소비(ED_h^{pump})로 나누어지고, 전력공급은 태양광, 풍력, 원자력 및 급전가능 발전에서 발생한 전력과 양수발전에서 발전된 양을 포함한다. 또한 태양광, 풍력, 원자력 등의 전력공급량이 전력수요보다 클 경우 출력제약(*curtailment*)이 발생한다. 송전망 제약은 고려하지 않았다.

$$ED_h^{normal} + ED_h^{pump} + curtailment_h = \sum_{tech} EG_h^{tech},$$

$$h \in 1, \dots, 8760$$

수송 모델링을 위해서 차량 주행패턴, 주행거리, 주차 패턴 등을 고려해야 하지만, 본 연구에서는 재생에너지 확대에 따라 전기차가 재생에너지 변동성 대응이 가능한지 여부를 분석할 예정이기 때문에 주행거리, 패턴 등은 고려하지 않았다. 전기차는 하나의 모델만 운용되는 것으로 가정하였고, 배터리 용량은 70kWh, 효율은 6km/kWh로 가정하였다. 전기차 전력량($Driving_{h,p}^{MWh}$)은 주행거리($Driving_{h,p}^{km}$)와 운전효율(η^{EV})을 고려하여 계산된다.

$$Driving_{h,p}^{MWh} = Driving_{h,p}^{km} / \eta^{EV} / 1000$$

전력시스템과 수송시스템 연계는 물리적으로 충전기를 통해 이루어진다. 전기차동차 충전량(ED_h^{EV})을 포함한 연결식은 아래와 같다.

$$ED_h^{normal} + ED_h^{pump} + ED_h^{EV} + curtailment_h = \sum_{tech} EG_h^{tech},$$

$$h \in 1, \dots, 8760$$

충전기에 연결될 수 있는 시간과 충전기를 통해 충전할 수 있는 전력량은 전기차 운행 일정, 주차 여부, 주차장 충전기 보급 여부, 충전용량, 전기차 충전상태 등에 따라 주로 결정되지만^[11], 본 연구에서는 잉여전력이 발생하면 전기차 운행 일정, 주차 여부, 충전기 보급 여부, 충전용량, 전기차 충전상태와 상관없이 항상 충전이 가능한 것으로 전제하였다. 즉, 전기차가 전력수급 상황을 고려하여 최적의 충전패턴을 하는 것으로 가정하는 스마트 충전 방식이다.

$$ED_h^{EV} \leq C_{rate} * battery^{EV} \quad h \in 1, \dots, 8760$$

전기차 충전속도는 한 시간에 배터리 용량의 20%(C rate : 0.2)를 충전한다고 가정하였고, 전기차 보급 대수는 정부의 전기차 보급목표에 따라 300만대로 가정하였다.

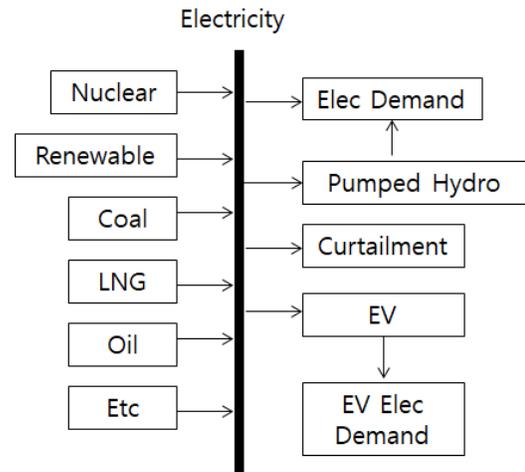


Fig. 4. Combined Electric Supply and Transport

5. 시나리오 분석

5.1 레퍼런스 시나리오

레퍼런스 시나리오는 현재 국내 상황과 같이 전력시스템과 수송부문의 결합이 이루어지지 않았다고 가정하였다. 현재 전기차 확산속도와 정부의 보급계획을 감안하면 전기가 늘어나는 것은 확실하지만 이 시나리오는 레퍼런스 시나리오로서 전기차의 확대가 가지는 효용에 대해 대비해서 설명하고자 작성된 시나리오다.

2016년 승용차의 평균 주행 거리는 36,1km/일이고, 연간으로 환산하면 13,177km가 된다. 승합차나 화물차의 경우에는 승용차에 비해 주행거리가 훨씬 더 길다. 따라서 긴 충전시간으로 인해서 주행거리에 제한이 있는 전기차가 승합차나 특수차량의 수요를 대체하는 것은 승용차량 수요에 비해 어렵다고 가정하였다.

본 시나리오는 재생에너지 발전량 비중 20%의 전력시스템과 전기차 없이 내연기관 자동차만 있다고 가정했고, 재생에너지 발전량 비중이 확대되는 시나리오와 비교를 통해 전기차의 효용을 검증할 수 있다.

레퍼런스 시나리오의 전력시스템 구성은 8차 전력수급 계획의 2030 전력시스템 시나리오를 따른다. 최대부하는 88.13GW이고 출력제약으로 연간 버려지는 양은 전체 생산전력량의 0.0027%인 24.894GWh이고, 출력제약으로 버려지는 양의 최대부하 6.774GW으로 나타났다.

5.2 재생에너지 발전량 비중 20%

본 시나리오는 재생에너지 3020 이행계획에 따라 2030년에 재생에너지 발전량 20%를 달성하는 것을 전제로 설정하였다. 결과를 살펴보면 전기차 300만대를 보급할 때 연간 충전량은 7.3TWh이고, 연간 최대 부하량은 약 90GW로 나타났다. 전기차는 버려지는 전력을 흡수하여 출력제약을 0으로 줄였다.

전기차가 출력제약을 줄이는 과정을 살펴보기 위하여 2016년에 시간대별 전력수요가 가장 낮았던 2월 12일부터 2월 18일(1009시간~1176시간) 전력수급상황을 분석해 보았다. 전기차가 없을 때 해당 기간에 출력제약(적색)이 21.7GWh으로 나타났다. 같은 기간 양수발전이 저장한 전력량(황색)은 29.5GWh이다. 전기차가 300만대가 됨에 따라

출력제약과 양수발전은 줄어들고 전기차 충전수요(녹색)로 대체되는 것을 확인할 수 있다. 양수발전이 저장한 전력량은 전기차 300만대 보급시에는 사라졌다.

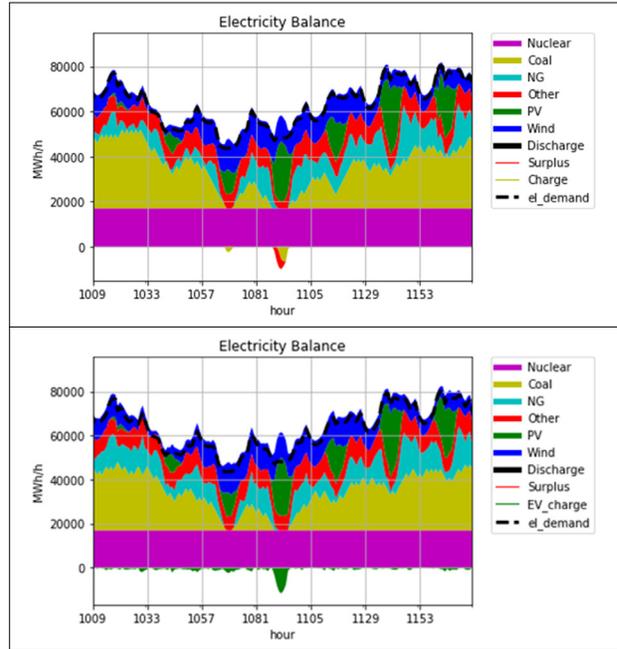


Fig. 5. Electric Supply and Demand in RE 20%

5.3 재생에너지 발전량 비중 30%

본 시나리오는 더 야심찬 계획으로 재생에너지 비중 30%를 가정하였다. 이는 재생에너지 비중이 높아지는 전력시스템에서 전기차의 역할을 살펴보고자 함이다. 재생에너지 발전량 비중 30% 시나리오를 가정하기 위해서는 재생에너지 설비용량 수준을 결정해야 한다. 재생에너지 3020계획의 태양광과 풍력의 설비용량 비중을 선형적으로 증가한다고 적용하여 재생에너지 발전비중을 30%로 증가시켰다. 그 결과 태양광과 풍력의 설비용량은 64.5GW, 33.2GW로 가정하였다.

재생에너지 30% 시나리오에서 전기차가 없을 때 출력제약은 762회 발생하였고, 총 출력제약은 7,584.7GWh였다. 전기차 300만대를 보급할 때 연간 충전량은 7.4TWh이고, 연간 최대 부하량은 약 102GW로 나타났다. 재생에너지 비중은 일반전력 사용시 비중이 30%인데 반해 전기차 충전에 들어가는 전력의 재생에너지 비중은 66%에서 69%로 나타났다. 이는 출력제약이 생길 때 전력이 전기차 충전에 많이

사용되었기 때문이라고 분석된다.

마찬가지로 전기차가 출력제약을 줄이는 과정을 살펴보기 위하여 2016년에 시간대별 전력수요가 가장 낮았던 2월 12일부터 2월 18일(1009시간~1176시간) 전력수급상황을 분석해 보았다. 전기차가 없을 때 전력 시스템 수급 상황은 출력제약(적색)이 415.5GWh으로 나타났다. 같은 기간 양수발전이 저장한 전력량(황색)은 203.2GWh이다. 해당 기간에 출력제약을 없애기 위해서는 전기차 수를 100만대 단위로 확대해보았고, 약 700만대에 이르렀을 때 출력제약이 없어지는 것으로 나타났다.

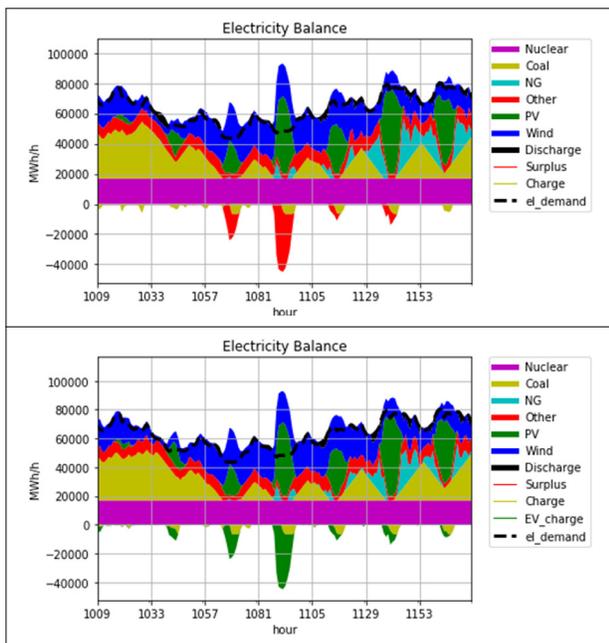


Fig. 6. Electric Supply and Demand in RE 30%

6. 결론 및 시사점

2018년 5월에 1MW 이하 신재생에너지, 에너지저장장치, 전기차에서 생산 및 저장된 전기를 중개사업자가 대신해 전력시장에 전력을 거래할 수 있게 하는 전기사업법 개정안이 통과됨으로써 V2G를 유연성 자원으로 활용할 수 있는 방안이 작게나마 조성되었다.

재생에너지 전원이 확대됨에 따라 재생에너지 변동성 문제 대응 및 전력계통 안정성을 높이기 위한 기술개발이 적극적으로 추진 중이고, 전기차는 재생에너지 변동성과 불

확실성을 보완하는 유연성 자원으로써 가치가 높아질 것이다. 본 연구에서는 전력시스템과 수송부문을 결합한 모형을 바탕으로 시나리오 분석을 통해 전기차 확대가 재생에너지 변동성과 전력 시스템 유연성 문제 대응에 유의미한 효과가 있는 것으로 나타났다.

전기차는 출력제약을 줄이는 데 기여할 수 있다. 재생에너지 발전량 비중 20% 시나리오에서는 전기를 300만대 보급했을 때 출력제약이 발생하지 않았지만, 재생에너지 발전량 비중 30% 시나리오에서는 연간 3.68TWh의 출력제약이 발생했다. 즉 재생에너지 발전량 비중이 30%를 넘으면 전기차 뿐만 아니라 다른 전력 저장 기술이 함께 적용되어야 출력제약을 현저히 낮출 수 있다.

본 연구에서는 전기차 충방전에 대한 제약이 없기 때문에 전기차가 리튬이온 배터리 방식의 에너지저장장치(ESS)와 특성이 유사할 수 있다. 그러나 국내 300만대 보급을 계획한 전기차와 비교하여 ESS는 REC 가중치 우대, 전기요금 할인제도 등 유인책이 없으면 경제성 문제로 보급이 어렵고, 안정성과 대용량 셀 구성의 어려움 등의 한계로 전기차와 구별된다고 판단된다.

단, 전기를 유연성 자원으로써 활용을 극대화하기 위해서는 전기차와 관련된 주요 특성(충전패턴, 충전방식, 요금 등)을 면밀히 고려해야 한다. 향후에 다양한 충전형태 뿐만 아니라 수송부문의 특성을 고려한 모델링 연구가 필요하다.

Acknowledgment

본 연구는 2018년 한국에너지기술연구원 주요사업 위탁 연구로 수행되었습니다.

References

- [1] International Energy Agency (IEA), 2018, "World energy outlook 2018".
- [2] International Energy Agency (IEA), 2018, "Global EV Outlook 2018".
- [3] Ministry of Trade, Industry and Energy, December 2017,

Implementation plan for “Renewable Energy 3020”.

- [4] International Energy Agency (IEA), 2017, “Global EV Outlook 2017”.
- [5] Bloomberg New Energy Finance (BNEF), 2018, “Electric Vehicle Outlook 2018”.
- [6] Morgan Stanley, 2017, “Auto Industry Braces for Electric Shock”, <https://www.morganstanley.com/ideas/electric-car-supply-chain>
- [7] KEPCO Economy & Management Research Institute, 2018, “KEMRI electric power economy review”, **14**, 14-17.
- [8] International Council on Clean Transportation (ICCT), 2018, “Power play : How governments are spurring the electric vehicle industry”, White Paper.
- [9] Ministry of Environment, 2019, “2019 Eco-friendly car policy presentation materials”.
- [10] Korea Power Exchange, 2016, “2016 Hourly electricity trading data by fuel”.
- [11] Korea Energy Economy Institute, 2017, “A Study for the vitalization of electric vehicle charging service industry in Korea”, MOTIE.