

E-mobility 성장에 따른 석유 · 전력 · 신재생에너지 산업 대응 전략 연구(신재생에너지)(2/4)

| 조상민 · 조일현 |



KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE



저 자 조상민, 조일현

연 구 진

연구책임자 조상민 (에너지경제연구원 연구위원)

조일현 (에너지경제연구원 부연구위원)

연구참여자 박상규 (에너지경제연구원 부연구위원)

외부연구진

연구참여자 전우영 (전남대학교 부교수)

연구참여자 장동식 (전력연구원 책임연구원)

기타기여자

설문조사 리쿱협동조합

〈요 약〉

1. 연구의 필요성 및 목적

□ 연구의 배경과 필요성

- 우리나라를 포함한 세계 각국은 기후위기 극복을 위해 온실가스 감축과 에너지전환 실현을 위해 노력 중
 - 많은 UNFCCC 당사국들은 파리협정 하에 자국의 감축 목표를 스스로 결정한 국가결정기여(NDC)를 제시
 - NDC가 기후위기 극복을 위해 충분하지 않다는 지적이 제기, 각국 정부는 UN기후행동 정상회의에서 탄소 중립 달성 약속
 - 우리나라는 정부의 ‘2050 장기 저탄소 발전전략(LEDs)’ 수립, 국회의 ‘기후위기 비상 대응 촉구 결의안’ 의결 등 노력 중
- 기후위기와 코로나19로 인해 촉발된 복합적 위기 극복을 위한 대안으로써 친환경에너지에 대한 투자확대 중요성이 더욱 부각
 - (미국) 바이든 당선인은 ‘50년 탄소중립을 목표로 2조 달러 투자 공약,
 - (EU) 집행위원회가 녹색혁신을 포함하는 유럽회복계획안 의결,
 - (중국) 시진핑 주석이 유엔총회에서 ‘60년 넷제로 달성 선언
 - 우리나라 정부는 ‘20년 7월 14일 ‘한국판 뉴딜 정책’을 발표, 그린 뉴딜을 양대 축 중 하나로 설정
- 기후위기 극복과 에너지전환 실현을 위해서는 통합에너지시스템 구축 필요

- 기후위기 극복과 에너지전환 비전 실현을 위한 핵심 수단 중 하나는 신재생에너지인데 변동성과 불확실성 리스크 존재
- 한편, 발전부문과 달리 수송부문 등 최종에너지 수요 부문은 탈탄소화의 어려움이 존재
- 통합에너지시스템을 통해 최종에너지 수요를 전력화하고, 에너지시스템의 신재생에너지 수용성을 확보하여 탈탄소화 실현
- 본 연구에서는 수송 부문에서의 에너지시스템 통합에 집중하고 있으며, 이를 실현하기 위해서는 스마트 충전 기술의 도입과 통합에너지시스템 하에서 최적화가 요구됨
- 수송 부문은 온실가스 배출 비중이 증가하는 부문이며, 발전부문과 달리 탈탄소화 수단이 부족함.
- 수송 부문에서의 에너지시스템 통합과 이를 위한 온실가스 감축 실현을 위해서는 전력계통 내에서의 신재생에너지와 E-Mobility 간의 상호작용을 제어할 필요
- 에너지전환 비전 달성을 위해 통합에너지시스템, 수송 부문에서의 신재생에너지와 **E-Mobility** 간 상호연계와 관련한 장기적이면서도 심층적인 연구 필요
- 아직까지 국내에서 통합에너지시스템, 수송 부문에서의 신재생에너지와 E-Mobility 간 상호연계와 관련한 연구 부족

□ 연구의 목적과 기대효과

- (목적) 본 연구는 총 4개년 연구로서 **E-Mobility** 성장에 따른 신재생에너지 산업의 대응 방안을 제시하는 것을 목적으로 함

- E-Mobility와 신재생에너지의 연계성을 통합에너지시스템의 관점에서 접근
- 1차연도 연구는 통합에너지시스템의 필요성과 현황을 파악하고 E-Mobility의 성장에 따른 신재생에너지 산업의 중장기 대응 전략을 도출
- (목적) 2차연도 연구는 **E-Mobility**와 신재생에너지의 상호 연계에 기반한 새로운 비즈니스 모델 실현 가능성을 파악하고 이를 활성화하기 방안을 제시하는 것을 목적으로 함
 - (공급측면) E-Mobility와 신재생에너지간 상호 연계성이 가지는 전력계통 운영 상의 가치(편익) 도출 : MPSOPF(Multi-Period Security-Constraint Optimal Power Flow) 모델
 - (수요측면) E-Mobility의 전력계통 접목과 제어를 보장하는 기술, 즉 스마트 충전에 대한 소비자의 수용의사액(WTA) 도출 : 조건부 가치측정법(CVM)
 - 둘의 비교를 통해 E-Mobility와 신재생에너지간 시너지효과를 확인하고, 전기차 충전 서비스를 활성화하기 위한 방안 제시
- (기대효과) 신재생에너지 산업, **E-Mobility** 산업, 에너지 전환-저장-운반 산업과 관련 서비스업의 성장에 기여하고 수송부문의 통합에너지시스템 기반 구축에 기여

2. 연구내용 및 주요 분석 결과

□ 스마트 충전 기술과 비즈니스 모델

- **E-Mobility(이후 전기차)가 증가할수록 통제되지 않은 충전은 계통에 영향을 줄 수 있으며 이를 최소화하기 위해 스마트 충전 필요**
 - 전기차는 대규모 확산 단계로 진입 중이며, 전기차의 충전이 관리되지 않을 시 전력수요, 피크부하 및 배전계통에 영향을 미칠 것으로 예상됨.
 - 충전관리를 통한 신재생에너지 발전과 충전부하 최적화를 통해 전기차 및 변동성 신재생에너지 확대에 의한 전력계통 문제 해결 가능
- **스마트 충전은 수동적인 방식(TOU)과 적극적(V1G, V2G)인 방식으로 나뉘며, 각국에서 실증이 활발히 이루어지고 있음.**
 - TOU(Time of Use)는 부하이전효과와 배전 선로 피크 부하 감소에도 효과가 있음이 확인되어 현재 제도화 단계로 진입.
 - V1G(Grid to Vehicle)는 2015년부터 세계 각국의 실증 연구가 진행되어 기술 검증이 완료되었으며 일부 지역에는 시장제도화 단계
 - 충·방전을 동시에 제어하는 V2G(Vehicle to Grid)는 실증단계로 아직 제도화 단계에 도달하지 못함.
- **스마트 충전 비즈니스모델은 다양한 형태가 논의되며 TSO 모델이 가장 많이 논의되고 있음.**
 - 스마트 충전은 도매 전력시장/TSO(Transmission System Operator), DSO(Distribution System Operator), P2P(Peer to Peer),

BTM(Behind the Meter) 서비스가 가능하며 이러한 모든 서비스를 통합관리하는 플랫폼 서비스(Charging Market Operator, CMO)도 가능함.

- 현재 V2G 충전 실증은 대부분 TSO 서비스 실증으로 이루어졌으며 실현 가능성도 높음.
- 본 연구에서도 TSO 기반 서비스를 기준 비즈니스모델로 가정함.

□ 전기차와 신재생에너지의 전력계통 상호영향 분석 - 스마트 충전 서비스 가치(편의)

○ 전기차가 유연성 자원으로 활용될 때 전력계통 내에서의 가치를 TSO 서비스 측면에서 분석하고자 함.

- 분석 모형은 MPSOPF 모형으로, 태양광과 풍력과 같은 변동성 신재생에너지의 불확실성을 반영하는 전력시스템 최적화 모형
- TSO 서비스 하에서 적용 가능한 스마트 충전 기술은 TOU, V1G, V2G로 정의하였으며, V2G는 전기차 배터리 활용(DoD)을 40%와 70%로 나누어 추가 분석함.
- 전기차와 신재생에너지 보급목표 등은 정부의 계획(제8차 전력수급기본계획 등)을 반영하여 설정함.

○ 전기차의 전력계통 내에서의 가치는 전기차에 대한 제어수준, 신재생에너지 보급 수준, 전기차의 스마트 충전 참여율에 따라 차별적인 것으로 나타남.

- 전기차에 대한 제어수준이 높아질수록 전기차 대당 순경감액은 증가 : 스마트 충전 참여율 30% 수준에서 월평균 순경감액(편

익)은 Case 2(TOU), Case 3(V1G), Case 4(V2G_DoD40%)에서 각각 4,797원/월, 9,948원/월, 26,835원/월로 나타남.

- 신재생에너지 보급수준이 증가할수록 전기차 수요자원의 가치는 증가 : 2030년 전기차 수요자원의 월평균 경감액은 2020년 대비 약 2.0배~2.9배 높게 나타나는 것으로 분석됨.
- 전기차 스마트 충전 참여율이 높아질수록 해당 가치는 하락 : 보상 수준에 따라 스마트 충전 참여율과 전력계통 내에서의 총편익이 결정

□ 스마트 충전 서비스 소비자 수용성 분석 - 스마트 충전 보상

- 전력계통에서 V2G 충전 서비스로 인해 발생하는 편익과 소비자의 수용의사액을 비교하여 스마트 충전 실현 가능성과 예상 참여율을 분석하고자 함.
 - 현재 전기차를 사용하고 있는 소비자를 대상으로 조건부 가치평가법(CVM)을 적용함.
 - 전문가 자문을 통해 현실적으로 적용 가능한 서비스 상황을 가정하였고, 보상수단은 현금으로 가정함.
- 분석결과 전기차 운전자의 스마트 충전 서비스 참여에 대한 월 수용의사액은 28,786원으로 도출됨.
 - 수용의사액은 지역별로 큰 편차를 보였으며, 급속충전소 또는 공용충전소 1기당 전기차 대수가 낮은 지역일수록 V2G 서비스에 대한 수용의사액이 낮아짐.

- V2G 서비스 수용성을 유의하게 높이는 변수는 주로 충전기와 관련된 변수로, 충전 용이성을 높이면 V2G 서비스의 수용성을 높일 수 있을 것으로 전망됨.
- 해당 수준의 보상 하에서 2030년 전기차의 V2G 충전 서비스 참여율 가능 비율은 약 28%로 도출됨.
 - 해당 비율을 초과하여 참여할 경우 전기차의 전력계통 편익이 보상 수준보다 감소
 - 장기적으로 신재생에너지 비중이 증가하면 전기차 1대당 편익과 V2G 충전 참여 가능 비율 증가 전망

3. 결론

- 수송 부문에서의 에너지시스템 통합 실현 과정에서 세계적으로 전기차 스마트 충전 기술 도입과 제도화를 위한 실증 연구가 활발하게 진행되고 있음.
 - TOU 요금제는 제도화 진행, V1G 기술은 기술 검증 완료, V2G는 아직 기술 검증단계
 - BTM, TSO, DSO, P2P, VPP, CMO 등의 비즈니스모델이 검토되고 있으며 TSO 기반의 비즈니스모델이 주로 실증 중
- 전기차의 수요자원 가치에 상응하는 합리적 보상이 주어질 경우 전기차 보유자의 상당수가 V2G 충전 서비스에 참여 가능, 전력계통 비용 감축 전망
 - 28,786원/월의 보상 수준이 요구되며, 해당 보상 수준 하에서 2030년 기준 28%의 전기차 소유자가 스마트 충전 참여 가능 전망
 - 이 경우 신재생에너지 비중 확대에 의해 발생할 수 있는 전력계

통비용을 크게 경감할 수 있을 것으로 예상되며, 이는 전력계통의 신재생에너지 수용성 확대로 이어질 전망

○ 스마트 충전 비즈니스모델 구현을 통해 신재생에너지에 대한 전력계통 수용성을 확보하고 수송부문의 탈탄소화를 실현하기 위해서는 다음과 같은 정책 개선이 요구됨

- 전력계통 가치가 큰 V2G 기술에 대한 R&D와 실증을 통해 기술 검증이 완료되어야 함
- 스마트 충전 확대를 위한 충전 편의성(특히 직장과 거주지 내 충전기 확대 등) 확보, 스마트 충전에 대한 홍보 확대가 필요
- 관련 요금제 및 거래시장 도입, 애그리게이터 등 신규사업자의 시장진입을 허용하는 제도적 기반 마련 필요

제 목 차 례

제1장 서론	1
1. 연구의 배경과 필요성	1
2. 연구의 목적	8
3. 연구의 내용과 구성	10
제2장 E-Mobility와 신재생에너지 연계 - 스마트 충전	13
1. 스마트 충전 필요성	13
1.1. 전기차 시장 현황과 전망	13
1.2. 전기차 충전 관리의 필요성 - 피크부하 및 배전계통 영향	15
1.3. 전기차 충전 관리의 필요성 - 신재생 발전 연계	19
2. 스마트 충전 기술과 실증	24
2.1. 스마트 충전 유형	24
2.2. 스마트 충전 기술과 실증	26
3. 스마트 충전 비즈니스 모델	35
3.1. BTM(behind the meter) 서비스	36
3.2. TSO/도매 전력시장 서비스	37
3.3. DSO 서비스	37
3.4. P2P 서비스	38
3.5. VPP 서비스	38

3.6. CMO 플랫폼 서비스	39
4. 소결	41

제3장 E-Mobility와 신재생에너지의 전력계통 상호영향 분석 스마트 충전 편익

1. 3장 서론	43
2. 모형 및 자료	44
2.1. 신재생에너지 발전 프로파일 추정	44
2.2. 전력시스템 최적화 모형	49
2.3. 전기차 관련 주요 가정 및 전제조건	53
3. 수요제어 방법별 가치 분석	59
3.1. 시나리오 설정	59
3.2. 비용 경감효과 분석	61
3.3. 순 비용 경감효과 분석	70
4. 소결	76

제4장 E-mobility 서비스 소비자 수용성 분석 -스마트 충전 보상 ..79

1. 4장 서론	79
2. 분석 방법론	81
3. 실험설계	86
3.1. 평가대상 재화	86
3.2. 설문조사 설계	87
3.3. 보상금 수령 수단	88

4. 응답자 특성	91
5. 분석 결과	97
6. 소결	102
제5장 종합	103
1 연구의 필요성과 목적	103
2. 연구의 주요내용	104
2.1. 스마트 충전 기술과 비즈니스모델	104
2.2. 신재생에너지와 E-Mobility의 상호 영향 - 스마트 충전 가치 (편익)	105
2.3. 스마트 충전 서비스의 소비자 수용성 - 스마트 충전 보상	107
3. 결언	108
참고문헌	111
부록 - 설문조사지	119

표 차례

<표 2-1> 전기차 확산으로 인한 전력 수요 영향	16
<표 2-2> 충전 부하의 계통 피크 영향 연구	18
<표 2-3> 충전이 배전계통에 미치는 영향 연구	19
<표 2-4> 스마트 충전 시뮬레이션	22
<표 2-5> V2G 기술 발전과정	30
<표 2-6> TSO 기대 편익	37
<표 3-1> 풍력 확률 모형 추정 결과	46
<표 3-2> 태양광 확률 모형 추정 결과	46
<표 3-3> 발전원별 열량단가	53
<표 3-4> 전기차 물리적 전제조건	58
<표 3-5> 전기차 기타 가정조건	58
<표 3-6> 분석 시나리오 설정	60
<표 3-7> 2020년 일일 발전량 및 예비력 분석, 여름철 대표일	63
<표 3-8> 2020년 일일 전력시스템 운영비용 분석, 여름철 대표일	64
<표 3-9> 2030년 일일 발전량 및 예비력 분석	66
<표 3-10> 2030년 일일 전력시스템 운영비용 분석	67
<표 3-11> 2030년 전기차의 수요자원 참여율별 월평균 경감액 분석	68
<표 3-12> 전기차 수요자원 월평균 경감액 비교, 2020 vs 2030	70
<표 3-13> 2030년 전기차의 수요자원 참여율별 배터리 사이클링 비용	73
<표 3-14> 2030년 전기차의 수요자원 참여율별 월평균 구현비용	74

<표 3-15> 2030년 전기차의 수요자원 참여율별 월평균 순경감액	74
<표 4-1> 편익의 구분	81
<표 4-2> CVM 연구단계와 단계별 수행내용	82
<표 4-3> 지역별 응답자의 비율 및 전기자동차 보급비율 현황	92
<표 4-4> 응답자 보유 차종	93
<표 4-5> 독립변수 특성	94
<표 4-6> 전기차 사용자 V2G 서비스 참여 수용의사액	97
<표 4-7> 편익이전과 소비자 수용성 확보 범위	97
<표 4-8> 지역별 전기차 사용자 V2G 서비스 참여 수용의사액	99
<표 4-9> 전기차 사용자 V2G 서비스 참여 수용의사액 분석결과	101

그림 차례

[그림 1-1] 통합에너지시스템의 개념과 본 연구의 분석대상	9
[그림 2-1] 충전관리가 없는 경우와 저녁 충전을 심야로 이전한 경우의 2030년 지역별 피크시간 전기차 충전 전력 및 비중 전망	17
[그림 2-2] 변동성 재생에너지 발전과 스마트 충전	21
[그림 2-3] 스마트 충전 효과 모델링 연구 사례 및 결과 비교	23
[그림 2-4] 스마트 충전 분류	25
[그림 2-5] TOU 요금제 실시 여부에 따른 충전 프로파일 비교 (고정요금제 : LA, 워싱턴 주, TOU: 샌디에고, 샌프란시스코) ..	27
[그림 2-6] TOU 요금제의 배전 선로 영향 비교	28
[그림 2-7] Global V2G 프로젝트 추진 현황 조사 결과	32
[그림 2-8] Smart Solar Charging 실증 프로젝트 시스템 구성	34
[그림 2-9] 스마트 충전 제공 가능 서비스	35
[그림 2-10] 일본 Denso의 V2H 솔루션 구성	36
[그림 2-11] V2G 자원을 활용한 VPP 서비스 개념	39
[그림 2-12] CMO 플랫폼 서비스 개념	40
[그림 3-1] 풍력 24시간 예측 프로파일, 여름철과 겨울철 대표일	47
[그림 3-2] 태양광 24시간 예측 프로파일, 여름철과 겨울철 대표일 ..	48
[그림 3-3] 2030년 계절별 순수요 예측 프로파일 추정치	49
[그림 3-4] MPSOPF 모형 개념적 구조	50

[그림 3-5] 한국 104-Bus 전력시스템	51
[그림 3-6] 원별 발전 설비용량, 2020년 vs 2030년	52
[그림 3-7] 전기차 충전 비율 프로파일	54
[그림 3-8] 자동차 주행 비율 프로파일	54
[그림 3-9] 2020와 2030 순수요 및 최적 TOU 구조	55
[그림 3-10] 최적 TOU에 반응한 전력수요패턴 추정	56
[그림 3-11] 시나리오별 수요자원 제어수준과 구현비용 관계도	61
[그림 3-12] 2020년 일일 발전원별 발전 프로파일, 여름철 대표일 ..	62
[그림 3-13] 2030년 일일 발전원별 발전 프로파일, 여름철 대표일 ..	65
[그림 3-14] 2030년 전기차 대당 월 경감액	69
[그림 3-15] 2030년 일일 전기차 SOC 변동 프로파일	72
[그림 3-16] 2030년 전기차 대당 월 순경감액	75
[그림 4-1] DBDC 문항의 구조	83
[그림 4-2] V2G 기술의 개요	86
[그림 4-3] 상황 가정(설명문1)과 검증문항	89
[그림 4-4] 검증문항에 설명문에 부합하지 않는 응답을 한 경우	89
[그림 4-5] 서비스 가정(설명문2)	90
[그림 4-6] 서비스 참여 조건(설명문3)	90
[그림 4-7] CVM 질문과 각 Type 별 응답 결과	95

제1장 서론

1. 연구의 배경과 필요성

세계 각국은 전 지구적 기후위기를 극복하기 위해 파리협정(2015년)을 체결하였다. 해당 협정을 통해 세계 각국은 지구의 평균온도 상승폭을 산업화 이전의 2°C 이하로 억제하고, 1.5°C를 넘지 않도록 노력하기로 하였다. 그리고 이를 위해 온실가스를 감축하기로 합의하였다. 많은 기후변화협약 당사국들은 파리협정 하에 자국의 감축 목표를 스스로 결정한 국가결정기여(Nationally Determined Contribution, NDC)를 제시하였다.¹⁾

이러한 NDC가 기후위기 극복을 위해 충분하지 않다는 지적이 제기되는 가운데 각국 정부는 UN기후행동 정상회의에서 탄소 중립 달성 등 파리협정 목표 달성을 위해 노력하기로 약속했다.²⁾ EU의 경우 집행위원회가 2020년 9월 온실가스 감축목표 상향조정안을 발표하는 등 이러한 노력이 가시화되고 있다.³⁾ 우리나라는 BAU(Business as Usual, 기준안) 대비 37%의 온실가스를 감축하는 NDC 목표를 제시하였다. 이후 우리나라는 감축 목표 중 국내 감축량 목표를 25.7%p에서 32.5%p로 상향 조정하였다.⁴⁾

2020년 2월 환경부는 국가 온실가스 감축 장기 계획을 담은 ‘2050

1) 에너지경제연구원(2020a), p.3.

2) 전계서, p.3.

3) 에너지경제연구원(2020b), p.12.

4) 환경부(2018), p.1.

장기 저탄소 발전전략 - 「2050 저탄소 사회 비전 포럼」 검토안(이하 LE DS 검토안)⁵⁾을 발표하였다.⁵⁾ LE DS 검토안에서는 2050년 우리나라의 온실가스 배출량을 2017년 대비 최대 75%(1안)에서 최저 40%(5안) 감축하는 5개의 시나리오가 제시되었다. 환경부는 LE DS 검토안을 바탕으로 사회 각계의 의견을 수렴하여 올해 연말까지 ‘2050 장기 저탄소 발전전략(LE DS)’ 정부안(이하 LE DS 정부안)을 수립할 예정이다. LE DS 정부안이 수립되면 정부 차원에서의 대응이 보다 강도 높고 체계적으로 이루어질 것으로 전망된다.

한편, 2020년 9월 여야가 공동으로 '기후위기 비상 대응 촉구 결의안'을 의결하였다. 해당 결의안은 파리협정의 목표와 '기후변화에 관한 정부 간 협의체(the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)'의 「지구온난화 1.5℃ 특별보고서」⁶⁾의 권고를 이행하기 위해 채택되었다.⁷⁾ 구체적으로 2050년 온실가스 순배출 제로(net-zero)를 목표로 장기저탄소발전전략(LE DS: Long-term low GHGs Emission Development Strategies)을 수립하여 국제사회에 제출하고, 국회 내 '기후위기 대응을 위한 특별위원회'를 설치하며, '정의로운 전환의 원칙'을 준수하는 것 등을 주요 내용으로 하고 있다. 국회의 기후위기 비상 대응 촉구 결의안을 계기로 기후위기에 대응하기 위한 국회 차원의 대응이 강화될 것으로 전망된다.

이렇게 전 지구적 기후위기에 대한 우려가 증가하고, 위기 극복을

5) 이하 2050 저탄소 사회 비전 포럼(2020), p.22.를 참고하여 작성.

6) 2018년 10월 6일 IPCC 총회에서 채택된 보고서. 파리협정에 따른 NDC 제출에도 불구하고 지구 평균온도 1.5℃ 상승제한은 어려울 것이고, 목표 달성을 위해서는 2030년까지 2010년 대비 온실가스 배출량을 최소 45% 감축해야 하고 2050년까지 총 배출량이 0(net-zero)이 되어야 함을 제시. 자료: 기후변화홍보포털(최종접속일: 2020.10.14.).

7) 칸 기사(최종접속일 2020.10.14.), 오마이뉴스 기사(최종접속일 2020.10.14.).

위해 우리나라를 포함한 전 세계가 전략 수립과 역량 결집을 추진하는 와중에 코로나19가 발생하였다. 코로나19는 심각한 경제위기를 유발하였고, 이러한 경제위기 극복 과정에서 기후위기에 집중해야 할 우리의 역량이 분산될 수 있다. 게다가 코로나19가 언제까지 이어질지 모르는 상황에서, 이러한 역량 분산이 장기화될 경우 기후위기에 어떠한 영향을 미칠지 가늠하기 힘들다는 것도 우려스러운 점이다.

코로나19로 촉발된 복합적 위기를 돌파하기 위한 정책 수단으로 친환경 에너지 산업에 대한 투자 확대가 과거보다 더 주목받고 있다. 미국의 바이든 대통령 당선인은 2020년 7월 ‘50년 탄소중립을 목표로 2조 달러를 투자하고 2050년까지 탄소중립을 달성하는 공약을 제시하였다.’⁸⁾ 구체적으로 5억 개의 태양광 모듈과 6만개의 풍력 터빈을 설치하겠다는 구상과 공공 전기자동차 충전소 50만개소 보급 계획을 제시하였다.⁹⁾ 프랑스의 경우 2020년 9월 코로나19 극복을 위한 1,000억 유로의 경기 부양책을 제시하였다. 부양책은 친환경 분야 공공 투자 확대가 주요 내용으로 담겼다.¹⁰⁾ 중국은 2020년 9월 시진핑 주석이 유엔총회에서 2060년까지 넷제로 달성을 선언했다.¹¹⁾ 이는 코로나19 극복과 포스트 코로나 시대를 대비한 것이며 차기 경제개발 5개년 계획에서 구체화될 것으로 전망된다. 유럽의 경우 EU 집행위원회가 유럽 회복계획안(Recovery Plan for Europe)을 2020년 7월에 발표하였다.¹²⁾ 해당 계획안에는 녹색(green)과 디지털(digital) 혁신을 통해 지속가능한 일자리와 성장을 확보하는 것을 포함하고 있다.

8) 에너지경제연구원(2020c), p.22.

9) 대한민국 정책브리핑 기사(최종접속일: 2020.12.14.).

10) 연합뉴스 기사(최종접속일: 2020.10.14.).

11) The Guardian 기사(최종접속일: 2020.10.14.).

12) European Commission 홈페이지(최종접속일: 2020.10.14.).

우리나라 정부는 2020년 7월 14일 ‘한국판 뉴딜 정책’을 발표하였다.¹³⁾ 한국판 뉴딜은 디지털 뉴딜과 그린 뉴딜을 양대 축으로 하고 있으며 코로나19로 촉발된 경제위기를 7개 분야(디지털 뉴딜 4개 분야, 그린 뉴딜 3개 분야)의 25개 핵심 프로젝트로 극복한다는 계획을 담고 있다. 한국판 뉴딜에서 주목할 부분은 바로 그린 뉴딜이 양대 축 중 하나로 설정되었다는 점이다.

한편, 정부는 지난 2017년 에너지전환 비전을 제시하고 ‘재생에너지 3020이행계획’을 발표하였다. 에너지전환은 탈탄소화, 분산화, 디지털화를 3대 축으로 하며¹⁴⁾, 재생에너지가 그 중심에 있다. 재생에너지 3020이행계획에 따르면 우리나라는 2030년까지 재생에너지 발전비중을 20%로 확대하는 것을 목표로 설정했으며 이는 2014년 수립된 ‘제4차 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획’ 대비 50% 이상 증가한 수준이다.¹⁵⁾ 그린 뉴딜은 이러한 에너지전환 실현을 위한 가교, 그리고 코로나19로 촉발된 경제 위기 극복을 위한 단기 해법으로서의 성격을 가진다고 볼 수 있다. 즉, 한국판 뉴딜은 기후위기 극복과 에너지전환 실현이라는 중장기 비전 및 목표 하에서 실행되고 있다는 것이다.

우리가 놓치지 말아야 할 것은 기후위기 해결과 에너지전환 실현이라는 중장기 비전을 추구하면서 코로나19로 인한 경제 위기를 극복하기 위해 노력해야 한다는 것이다. 그 이유는 기후위기가 우리 앞에 닥친, 더 이상 미룰 수 없는 가장 큰 전 지구적 위협이기 때문이고 코로나19라는 위협이 제거된다 하더라도 반드시 해결해야 할 문제이기 때문이다.

13) 이하 관계부처합동(2020), 「한국판 뉴딜 종합계획」을 참고하여 작성

14) 심성희(2018), p.7.

15) 이하 관계부처합동(2017), 「재생에너지 3020 이행계획(안)」을 참고하여 작성

기후위기 극복과 에너지전환 비전 실현을 위해서는 장기적으로 통합 에너지시스템 구축이 반드시 필요하다. 기후위기 극복과 에너지전환 비전 실현을 위한 핵심 수단 중 하나는 바로 재생에너지이다. 재생에너지는 에너지시스템의 탈탄소화는 물론, 새로운 성장동력 확보 측면에서 가치가 높게 평가된다. 그런데 재생에너지 중 핵심 분야인 태양광과 풍력은 대표적인 변동성 재생에너지로 전력 생산에 있어 불확실성과 변동성이라는 리스크를 내포하고 있다. 에너지시스템에 있어 가장 중요한 요소 중 하나가 공급의 안정성이라는 점을 고려하면 이는 치명적인 단점이 될 수 있다. 이를 극복하기 위해 BESS(Battery Energy Storage System)와 같은 각종 저장기술이 개발되어 접목되고 있고 출력제한제도(Curtailment) 시행, 실시간시장/보조서비스시장의 도입 등의 시장제도의 개편도 추진되고 있다.¹⁶⁾ 그러나 궁극적으로는 통합에너지시스템의 구축을 통해 부문간 에너지 생산-저장-변환-거래가 자유롭게, 그리고 최적으로 이루어지도록 보장해야 에너지시스템의 재생에너지에 대한 수용성을 효율적으로 확대할 수 있다.

한편, 발전부문의 경우 태양광, 풍력 등의 다양한 신재생에너지원을 활용하여 빠르게 탈탄소화가 진행되고 있지만, 수송부문을 포함하는 최종에너지수요 부문의 탈탄소화는 상대적으로 느리게 진행되고 있다.¹⁷⁾ 그 이유 중 하나는 전력과 비교해 열과 수송용 연료를 대체할 수 있는 신재생에너지 기술이나 자원은 상대적으로 부족하기 때문이다. 이 때문에 수송부문 등의 최종에너지수요 부문을 탈탄소화하기 위해서는 전력화가 요구된다.

이처럼 통합에너지시스템은 전력화와 탈탄소화의 두 개 축으로 구성

16) 산업통상자원부(2019), p.98.

17) 이승문·조상민(2019), p.1.

된다. 전력화를 통해 최종에너지수요 부문의 온실가스 배출을 감축하고 부문간 연계를 통해 에너지시스템, 특히 전력계통의 신재생에너지 수용성을 확대함으로써 탈탄소화를 실현하는 것이다.

주요국의 추진 통합에너지시스템 구축 현황은 1차연도 연구에서 자세히 제시한바 있다.¹⁸⁾ 이미 IRENA, EU, 미국 등은 부문 결합(sector coupling),¹⁹⁾ 통합에너지시스템(Integrated Energy System)²⁰⁾ 등의 명칭으로 재생에너지 중심의 에너지시스템 통합을 적극적으로 추진하고 있다. 에너지시스템의 통합은 재생에너지의 변동성을 효과적으로 제어하여 에너지전환 실현을 보장한다. 에너지시스템 통합을 위해서는 신재생에너지, 전기차(BEV, FCEV)와 같은 탈탄소화 수단 외에 P2G(Power to Gas), P2H(Power to Heat), V2G(Vehicle to Grid)와 같은 에너지 전환 및 에너지 저장 기술의 접목이 필수적이다.

본 연구는 특히 수송부문에 초점을 맞추고 있다. 그 이유는 수송 부문에서의 온실가스 감축이 다른 부문에 비해 더디게 진행되고 있고²¹⁾ 바이오연료를 제외하면 마땅한 대안이 부족하여 신재생에너지 보급이 가장 어려운 부문이기 때문이다. 수송부문의 탈탄소화를 위해서는 전력화, 즉 E-Mobility의 확대가 요구되는데 이는 에너지시스템의 변화를 유발한다. 수송부문에서의 이러한 변화와 전력계통에서의 신재생에너지 증가에 효과적으로 대응하기 위해서는 신재생에너지와 E-Mobility 간의 상호작용을 제어할 필요가 있다. 이를 위해서는 TOU(Time of Use), V1G(Grid to Vehicle), V2G(Vehicle to Grid)와 같은 스마트 충

18) 이승문·조상민(2019)

19) IRENA(2018), Nuffel et.al.(2018), NREL(홈페이지) 등.

20) Karlsson, et.al.(2015)

21) 이승문·조상민(2019), p.1.

전 기술의 도입과 이들의 ICT 기술과의 접목을 통한 효율적인 총·방전 관리, 그리고 에너지 거래 시장의 도입을 통한 자유로운 에너지 거래 보장 등이 요구된다. 물론 이러한 상호작용의 제어는 통합에너지시스템 하에서 최적화되어야 한다.

그러나 아직까지 국내에서 통합에너지시스템, 수송 부문에서의 신재생에너지와 E-Mobility간 상호연계 가능성과 그 효과에 관한 연구가 부족하다. 제3차 에너지기본계획 민관워킹그룹 권고안에서 “재생에너지 중심의 통합 스마트 에너지시스템”의 구축이 제안된 바 있으나²²⁾, 아직 우리나라의 재생에너지 발전 비중이 낮은 상황에서 통합에너지시스템 구축은 먼 미래의 문제로 치부되는 경향이 있는 것으로 보인다. 관련 연구도 주로 개념과 사례 분석에 그치고 있다. 박종배(2019)는 통합 스마트 에너지시스템의 개념과 적용 사례를 분석하고, 현재의 전력시장의 문제점을 지적하면서 저탄소 에너지시장 구축 필요성을 강조하였다. 윤성권·임현지(2019)는 부문 결합(Sector Coupling)의 개념과 국내외 사례를 분석하고, 부문 결합 도입의 필요성을 제기하였다. 이승문·조상민(2019)은 수송부문을 중심으로 통합에너지시스템을 구축하기 위한 장기 전략과 신재생에너지와 E-Mobility간 상호연계의 효과성을 분석하였다. 탈탄소화를 통한 기후위기 극복과 에너지전환 비전 달성을 위해서는 통합에너지시스템, 그 중에서도 수송 부문에서의 신재생에너지와 E-Mobility간 상호연계와 관련한 장기적이면서도 심층적인 연구가 필요하다.

22) 제3차 에너지기본계획 워킹그룹(2018), p.24.

2. 연구의 목적

본 연구는 총 4개년 연구로서 E-Mobility 성장에 따른 신재생에너지 산업의 대응 방안을 제시하는 것을 목적으로 한다. 다만, 본 연구에서는 E-Mobility와 신재생에너지의 연계성을 앞서 제시한 바와 같이 통합에너지시스템의 관점에서 접근한다는 점이 특징이다. 본 연구에서는 신재생에너지와 E-Mobility의 상호연계성과 시너지를 확인하고 이를 극대화하기 위한 전략을 제시함으로써 장기적으로 신재생에너지 산업, E-Mobility 산업, 나아가 에너지 변환-저장-운반 산업 및 관련 서비스업의 성장에 기여코자 한다. 그리고 이를 통해 궁극적으로 에너지전환 비전 실현을 위한 통합에너지시스템 기반 구축에 기여하고자 한다.

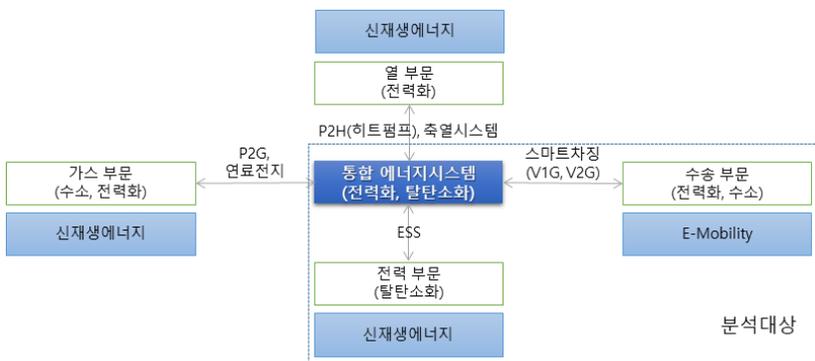
1차년도 연구는 통합에너지시스템의 필요성과 현황을 파악하고 통합에너지시스템의 관점에서 E-Mobility의 성장에 따른 신재생에너지 산업의 중장기 대응 전략을 도출하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 우선 국내·외 통합에너지시스템 구축 동향, 신재생에너지 및 E-Mobility 산업 현황을 바탕으로 신재생에너지와 E-Mobility 산업의 성장 가능성과 통합에너지시스템 하에서의 상호 연계 가능성을 확인했다. 또한 SWOT-AHP 방법론을 활용하여 E-Mobility의 성장에 따른 신재생에너지 산업의 중장기 대응 전략을 도출하였다. 이 과정에서 전력계통 내에서 신재생에너지와 E-Mobility간 상호 연계의 중요성을 파악할 수 있었다. 마지막으로 제주도를 대상으로 한 사례 연구를 통해 신재생에너지와 E-Mobility가 확대될 경우 전력계통에서 이들이 어떻게 상호 영향을 미치고, 어떠한 조건 하에서 시너지를 발휘할 수 있는지를 정량적으로 확인하였다.

2차년도 연구는 E-Mobility와 신재생에너지의 시너지 창출 가능성을 분석하고 새로운 비즈니스 모델의 탐색, 그리고 이를 활성화하기 위한 방안

을 제시하는 것을 목적으로 한다. 1차연도 연구에서 E-Mobility의 성장에 따른 신재생에너지 산업의 중장기 대응 전략을 도출하는 과정에서 전력계통 내에서 신재생에너지와 E-Mobility간 상호 연계의 중요성을 파악하였다. 그러나 신재생에너지와 E-Mobility간 상호 연계로 인한 편익이 부족하거나, 신재생에너지와 E-Mobility간 상호 연계를 보장할 수 있는 비즈니스 모델이 실현될 수 없다면 우리는 다른 대안을 선택해야 할 것이다.

본 연구에서는 공급측면에서 E-Mobility와 신재생에너지간 상호 연계성이 가지는 전력계통 운영상의 가치(편익)와, 수요측면에서의 E-Mobility의 전력계통 접목과 제어를 보장하는 기술에 대한 소비자의 수용의사액(Willingness To Accept; WTA), 즉 보상수준을 도출하고자 한다. 그리고 이 둘의 비교를 통해 상기의 기술 및 관련 비즈니스모델의 실현 가능성을 확인하고자한다. 물론 이러한 분석들과 정책 대안의 제시는 통합에너지시스템의 효과적인 구축이라는 관점에서 이루어질 것이다([그림 1-1]).

[그림 1-1] 통합에너지시스템의 개념과 본 연구의 분석대상



출처: 이승문·조상민(2019), p.7.을 참고하여 저자 작성.

본 연구에서 고려 대상으로 하는 상호 연계 기술은 TOU, V1G, V2G와 같은 스마트 충전(Smart charging) 기술이 될 것이다.²³⁾ 본격적인 분석에 앞서 제2장에서 자세히 살펴보겠지만, 이러한 기술들을 활용하는 비즈니스 모델은 매우 다양하다. 본 연구에서는 분석모형의 한계와 단기 국내 적용 가능성 등을 고려하여 TSO(Transmission System Operator)/도매 전력시장 하에서 해당 기술을 적용하는 것을 가정하여 분석을 수행하고자 한다.

3. 연구의 내용과 구성

본 연구는 총 5개의 장으로 구성된다. 우선 제2장에서는 전력계통 내에서 E-Mobility와 신재생에너지의 연계를 보장하는 기술 즉, 스마트 충전 기술들의 국내외 실증 사례, 관련된 비즈니스 모델들에 대해 조사하고 스마트 충전 기술 및 비즈니스 모델의 신재생에너지 연계 가능성을 분석한다.

제3장에서는 공급측면에서 E-Mobility와 신재생에너지의 상호 연계성이 가지는 전력계통 운영상의 가치(편익)를 분석하고자 한다. 분석에는 MPSOPF 모형을 적용한다. 제3장에서는 우선, 2030년에 예상되는 전국 단위의 전력시스템 최적화 모형을 구축한다. 그리고 수요제어 기술, 즉 TOU, V1G, V2G 등 스마트 충전 기술의 전력계통 운영상의 가치를 분석한다. 이러한 가치는 신재생에너지가 보급된 전력계통 하에서 스마트 충전 도입으로 기대되는 비용 감소를 통해 측정한다. 2차년도 연구가 1차년도 연구와 차별되는 점은 연구의 범위를 전국으로

23) 스마트 충전 기술들에 대한 자세한 내용은 제2장을 참고 바람.

확대한 것 뿐만 아니라 실측치를 활용한 태양광/풍력 예측모형 구축, 법정 계획인 전력수급기본계획의 신재생에너지 보급 전망과 전기차 보급 전망을 활용함으로써 분석의 현실성과 활용도를 높였다는 점이다.

제4장에서는 수요측면에서의 E-Mobility의 전력계통 접목과 제어를 보장하는 비즈니스모델들에 대한 소비자의 수용의사액(Willingness To Accept; WTA)을 도출하고자 한다. 적용된 방법론은 조건부가치평가법(Contingent Valuation Method; CVM)으로 비시장 재화나 가치 측정이 어려운 재화의 경제적 가치를 추정하는데 널리 사용되는 방법론이다. 가치추정의 대상이 되는 기술과 비즈니스모델이 전기차 운행 경험이 없는 일반소비자는 이해하기 힘들다는 점을 고려하여 전기를 보유하고 있는 소비자들을 대상으로 분석을 수행했다는 점이 특징이다. 주요 분석 내용은 비즈니스모델에 대한 월간 혹은 회별 수용요구액이며, 초기제시금액을 제3장의 분석 결과를 활용하여 설정하는 등 현실적이고 합리적인 결과 도출을 위해 노력하였다.

마지막으로 제5장은 제3장과 제4장에서 각각 도출된 스마트 충전의 전력계통에서의 가치(편익)와 스마트 충전 서비스에 대한 소비자의 수용의사액(보상)을 비교·분석함으로써 스마트 충전 기술과 관련 비즈니스모델의 실현 가능성을 검토한다. 그리고 이러한 비즈니스모델을 활성화하여 수송부문의 에너지시스템 통합을 촉진하고 나아가 에너지전환을 실현하는데 기여하기 위해 요구되는 정책 방향을 제시하고자 한다.

제2장 E-Mobility와 신재생에너지 연계 스마트 충전

본 장에서는 E-Mobility(이하 전기차)의 보급 확산에 따른 스마트 충전의 필요성을 검토하고 기술개발 및 실증 사례, 그리고 스마트 충전과 관련된 비즈니스 모델을 살펴본다. 여기에서는 전력 계통의 유연성 자원으로써 스마트 충전이 가지는 가치와 잠재력, 그리고 스마트 충전과 신재생에너지를 융합함으로써 기대되는 새로운 기회를 탐색하였다. 그리고 스마트 충전 기술개발과 상용화가 향후 어떤 방향으로 전개될지를 가늠해 보고자 한다.

1. 스마트 충전 필요성

1.1. 전기차 시장 현황과 전망

2019년 전 세계 전기차 판매량은 2018년 실적을 갱신하여 역대 최대치인 210만대가 보급되었으며 누적으로는 720만대를 돌파하였다.²⁴⁾ 이로써 전기차는 신차 판매량의 2.6%를 점유하였다.²⁵⁾ 하지만 운행 중인 차량 기준 때 전기차 비중은 여전히 1% 미만에 불과하다.²⁶⁾

전기차 시장이 성장하면서, 초기 얼리어답터 중심의 시장 단계에서 벗어나 점차 대규모 확산 단계 진입하고 있는 것으로 보인다. 급격한 기술 진보와 가격 하락으로 인해 전기차의 상품성이 계속 향상되고 있

24) IEA(2020), p.10.

25) 전게서, p.11.

26) 전게서, p.43.

고 많은 자동차 제조사(OEM)가 다양한 모델 출시 계획을 발표하면서 소비자의 선택권을 확대하고 있다. 이로 인해 소비자들은 구매 여부를 판단하는 단계에서 구매 최적 시기를 판단하는 단계로 진입한 것으로 보인다.²⁷⁾

이러한 전기차 시장의 성장과 함께 나타나고 있는 시장 내에서의 흐름은 BEV(Battery Electricity Vehicle; 배터리 전기차)가 점차 주류가 되어가고 있다는 점이다. 2019년 세계 전기차 판매량의 75%가 BEV였다. BEV 판매량은 2018년 대비 14% 증가했지만, PHEV(Plug-in Hybrid Electricity Vehicle; 플러그인 하이브리드 전기차)는 판매 비중이 10% 감소하였다.²⁸⁾

전기차 시장의 괄목할만한 성장이 앞으로도 계속 이어질 것이고 향후 가속화될 것으로 전망하고 있다. IEA는 STEPS 시나리오(stated policy scenario, STEPS)²⁹⁾에서 전 세계 전기차는 2025년 5천만 대, 2030년 1.4억 대 수준으로 성장할 것으로 전망하였다.³⁰⁾ 이는 매년 30%씩 성장해야 달성 가능한 시나리오로, 해당 전망이 실현될 경우 2030년 전기차의 누적 점유율은 7%에 도달할 것으로 예상된다.³¹⁾ IEA의 STEPS 시나리오 전망치는 IRENA의 2030년 전망치인 1.57억 대와 비슷한 수준이다.³²⁾

27) IEA(2020), p.12.

28) 전계서, p.45.

29) 세계 각국 정부에서 발표한 정책 목표와 그 이행계획을 근거로 한 시나리오

30) 전계서, p.154.

31) 전계서, p.154.

32) IRENA(2019), p.2.

1.2. 전기차 충전 관리의 필요성 - 피크부하 및 배전계통 영향

전기차가 확산되면 전력 수요가 증가하게 될 것이다. 그뿐만 아니라 전기차 확산은 피크부하, 배전계통 운영 등에도 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다. 관리되지 않는³³⁾ 충전은 이러한 문제를 보다 심각하게 만들 수 있어서 전기차 확산의 계통 영향을 최소화하는 것이 스마트 충전 도입의 이유이다.³⁴⁾

1.2.1. 전기차 확산의 전력 수요 영향

2019년에 전기차가 소비한 전력량은 전 세계적으로 약 80TWh 수준으로 2018년 대비 40% 증가하였다.³⁵⁾ IEA는 STEPS 시나리오에 따라 2030년 전 세계 전기차 보급이 1억 4천만 대 수준으로 증가하면 전기차가 소비하는 연간 전력량은 약 550TWh 수준에 이를 것으로 전망하였다.³⁶⁾ 전기차의 전력 수요 비중은 2019년 현재 0%대에서 2030년 지역별로 미국, 일본은 1%, 인도 2%, 중국 3%, 유럽 4% 수준으로 증가할 것으로 전망된다.³⁷⁾

전기차 충전의 전력 수요 영향은 다른 연구들에서도 비슷한 결과가 제시되었다. 즉, 지역별로 전기차 보급 수준, 전력 수요 패턴 차이 등으로 인해 다소 차이가 있지만, 전기차 보급 확산이 전력 수요에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 전망되었다. 평균적으로 전력 수요의 5% 내외 수준의 증가가 있을 것으로 예상된다(<표 2-1>).

33) unmanaged 또는 uncontrolled

34) 스마트 충전 유형 및 구분은 다음절을 참조.

35) IEA(2020), p.170.

36) 전계서, p.170.

37) 전계서, p.171.

〈표 2-1〉 전기차 확산으로 인한 전력 수요 영향

지역	연구 결과
유럽	모두 전기차로 바뀌면, 전기차에 따른 충전 전력 수요는 총 전력 생산량의 10~15%를 넘지 않음.
노르웨이	모두 전기차로 바뀌면, 연간 수력 발전량의 5~6%를 소비할 것으로 예측
독일	2035년까지 전체 차량의 25%가 전기차로 바뀌면, 전기차의 전력 소비는 2.5~3% 증가하는 것으로 분석
미국	모든 소형 차량이 전기차로 바뀌면, 미국 전체 전력 수요의 약 24%를 차지

주: IRENA가 지역별로 개별 연구를 문헌조사 한 것임.

자료: IRENA(2019), p.32.

1.2.2. 피크부하 영향

현재 충전 관리가 이루어지지 않을 경우 충전 부하는 주로 저녁 시간에 발생한다. 이는 전기차 보급의 주류인 소형 전기차가 출퇴근 같은 일상적인 용도로 사용되고, 충전기 보급에서 비공용 완속 충전기 비중이 90%를 차지하여 주된 충전이 사람들이 귀가한 저녁 시간대에 이루어지기 때문이다.³⁸⁾

우리나라를 비롯하여 세계 다른 지역에서도 저녁 시간대에 전력 수요가 높아지는데 여기에 전기차 충전 수요가 더해지면 전력 피크가 심화될 수 있다.³⁹⁾ 미국, 유럽, 중국 등 주요 지역에서는 충전 수요가 집중되는 저녁 시간에 충전을 관리하지 않을 경우, 전기차 충전 수요가 전력 피크 수요는 4~10%를 차지할 것으로 전망된다.⁴⁰⁾

IEA가 충전에 따른 피크 부하 영향을 시뮬레이션한 결과,⁴¹⁾ 전기차

38) IEA(2020), p.75.

39) 전게서, p.30. 2030년 SDS(Sustainable Development Scenario)시나리오임.

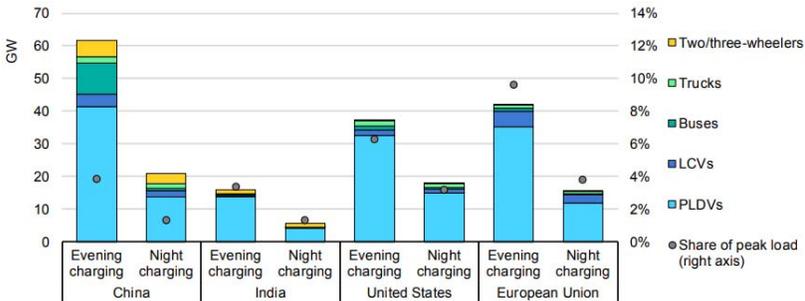
40) 전게서, p.30.

41) SDS 시나리오를 기준

의 80%가 18:00~00:00 사이에 충전할 때 2030년 기준 중국은 60GW, 미국과 유럽은 50GW, 인도는 20GW의 피크 수요 전기차 충전에 의해 발생할 것으로 예측되었다.⁴²⁾

한편, IEA는 충전 부하를 심야 시간으로 이전하여 전기차의 80%가 23:00~05:00 사이에 충전하는 경우에 대한 시뮬레이션을 추가로 진행하였다. 연구 결과 충전 시간대 변경만으로도 60%의 충전 부하를 심야 시간으로 옮길 수 있으며, 이를 통해 110GW에 해당하는 발전설비 추가 확보 문제를 피할 수 있는 것으로 분석하였다.⁴³⁾ 이에 따라 전기차 충전의 피크 기여율을 미국과 유럽은 8~12%에서 4%로 줄고, 중국과 인도는 4~5%에서 2% 미만으로 낮출 수 있는 것으로 추정하였다.⁴⁴⁾

[그림 2-1] 충전관리가 없는 경우와 저녁 충전을 심야로 이전한 경우의 2030년 지역별 피크시간 전기차 충전 전력 및 비중 전망



주: SDS(Sustainable Development Scenario)시나리오임.

자료: IEA(2020), p.233.

42) IEA(2020), p.231.

43) 전게서, p.227, p.232.

44) 전게서, p.232.

<표 2-2>는 전기차 충전 부하의 계통 피크 영향에 대한 개별 연구를 정리한 것이다. 영국과 미국에서 진행된 연구에서 스마트 충전을 통해서 피크 수요를 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

〈표 2-2〉 충전 부하의 계통 피크 영향 연구

지역	연구 결과
영국	2035년에 전기차 1,000만대가 보급되었을때 충전 관리를 하지 않을 경우 계통의 피크 수요가 3GW 증가, 충전 부하를 스마트 충전으로 관리시 0.5GW만 증가 예측.
미국 뉴잉글랜드	전기차 점유율이 25%인 상황을 가정하여 피크 수요 영향을 모델링한 결과, 충전을 관리하지 않을 경우 전기차 충전으로 인하여 피크 수요가 19% 증가함. 그러나 충전 부하를 분산하면 피크 수요 증가를 0~6% 수준으로 줄일 수 있는 것으로 분석됨. 또한 피크 수요 시간 이외 시간대로 충전부하를 분산할 경우 피크 수요의 증가를 완벽하게 억제할 수도 있음.

주: IRENA가 지역별로 개별 연구를 문헌조사 한 것임.

자료: IRENA(2019), p.32.

1.2.3. 배전계통 영향

많은 연구에서 관리되지 않는 전기차 충전 수요가 송전 계통보다 배전계통의 전력 품질에 더 큰 영향을 줄 것으로 전망되고 있다. <표 2-3>은 전기차 충전이 배전계통에 미치는 영향에 대한 연구 결과를 보여 준다.

〈표 2-3〉 충전이 배전계통에 미치는 영향 연구

지역	연구 결과
미국 콜로라도	전기차 충전 피크가 배전 계통의 피크 수요와 일치할 경우, 전기차 보급률이 5%여도 배전용 변압기의 4%에서 과부하가 발생할 수 있음.
영국	전기차 보급률이 40~70%이면, 배전 선로의 32%를 업그레이드해야 함을 확인.
독일	2035년에 전기차 1,000만대가 보급되었을 때 충전이 제어되지 않을 경우, 배전 계통 및 변압기 보강 비용이 50% 증가하지만, 스마트 충전을 통해 이런 투자를 피할 수 있음.

주: IRENA가 지역별로 개별 연구를 문헌조사 한 것임.

자료: IRENA(2019), p.32.

전기차 충전 부하를 저녁에서 심야 시간으로 옮기기 위해 이용되는 TOU 요금제는 송전계통에 연결된 모든 배전망에 동시에 적용되기 때문에 배전 계통의 충전 영향을 완화하는데 적합하지 않을 수 있다. 특히, TOU 요금제는 경부하가 시작되는 시점에 충전 부하가 급증하는 리바운드 피크(rebound peak)를 발생시켜 오히려 배전 계통의 부하 관리에 어려움을 줄 수 있다. 능동형 계통관리(active network management)의 일환으로 DSO(distribution system operator)나 애그리게이터가 선로의 전기차 충전을 직접 제어하는 방법 등이 이러한 문제 해결에 기여할 수 있다.⁴⁵⁾

1.3. 전기차 충전 관리의 필요성 - 신재생 발전 연계

에너지시스템에서 변동성 재생에너지 발전 비중이 점차 증가하고 전력화에 따른 다양한 추가 수요가 발생함에 따라 전력 수요와 공급의

45) United Kingdom Power Networks(2019), p.5.

밸런스를 유지하는 일은 어려워질 것으로 예상된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 신재생 발전량에 대한 예측 능력을 강화하여 급전계획을 사전에 조정하고, 신재생에너지 발전의 급격한 변동에 대비하여 양수발전, ESS 등의 유연성 자원을 확보하거나 계통 설비를 보강하는 방법이 있다. 또한, 잘 관리되는 전기차 충전이 이러한 문제 해결에 기여할 수 있다.

1.3.1. 신재생에너지와 전기차 충전의 상호영향 - 배경

차량은 대부분의 시간 주차상태에 있다. 주차상태에서 계통에 연결되어 있으면, 전기차는 유연성 자원으로 활용될 수 있다. 전기차 운전자는 출차 시간에 목표하는 충전량을 채울 수 있으면 충전 과정은 차량 이용에 영향을 받지 않기에 충전관리를 통한 신재생발전과 연계의 기회가 있다. 가령 태양광 발전은 일반적으로 오전부터 증가하여 낮 시간에 최대에 이르고 이후 감소하는 패턴을 보이기 때문에 일반적인 전기차 충전 패턴과 일치하지 않는다.

만약 충전 관리를 통해서 저녁 시간대의 충전 수요를 줄이고 다른 시간대의 충전 수요를 증가시킨다면 신재생에너지 출력제한 문제와 저녁 시간대에 발생하는 피크 수요 문제를 해소하는 데에 기여할 수 있다. 나아가서 V2G(양방향 충·방전) 기술을 이용할 경우 낮 시간 동안 소비되지 않는 잉여 신재생에너지(특히 태양광) 전력을 저장한 다음, 필요하면 전력을 공급할 수 있게 되어 신재생에너지 전력의 출력제한을 더욱 많이 감소시킬 수 있다([그림 2-2]).

[그림 2-2] 변동성 재생에너지 발전과 스마트 충전



자료: IRENA(2019b), p.9.

이렇게 충전 관리로 신재생에너지 출력 제한, 변동성 재생에너지로 인해 발생하는 전력 계통 밸런싱 문제를 해소할 수 있고, 신재생 발전 수용성 확보를 위해 필요한 투자를 회피할 수 있다. 또한 태양광과 풍력 발전 설비의 이용률을 높이고, 계통 한계 비용을 낮춰서 전력 공급 비용을 줄이는 효과를 기대할 수 있다.

1.3.2. 신재생에너지와 전기차 충전의 상호영향 - 선행연구

IRENA는 태양광 발전설비 비중이 27%인 독립계통에서 전기차 보급률이 50%가 되었을 때 스마트 충전 효과를 시뮬레이션하였다(<표 2-4>). 시뮬레이션 결과는 관리되지 않는 충전에 비해 스마트 충전의 이점을 명확히 보여준다. 신재생에너지 출력제한이 BAU에서 2%에서 V1G를 통해 1% 이하로 감소하고, V2G 기술이 적용되면 0% 수준으로 줄어든다(<표 2-4>). 또한 평균 계통 피크 부하를 3~4%가량 줄이

고, 신재생 발전의 이용률이 증가함에 따라, 계통 한계 비용과 CO₂ 배출량이 줄어들게 된다(<표 2-4>).

〈표 2-4〉 스마트 충전 시뮬레이션

지역	연구 결과																				
가정	- 전기차 보급률 50% - 태양광 발전의 연평균 부하율 31% - 발전설비 비중: 태양광 27%, 가스복합 60%, 바이오 9%, 풍력 2%																				
결과	<table border="1"> <caption>Figure 2-4: Smart Charging Simulation Results</caption> <thead> <tr> <th>Scenario</th> <th>Curtailment (%)</th> <th>Change in yearly peak load (%)</th> <th>Change in average short-run marginal cost (%)</th> <th>Change in CO₂ emissions (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BAU</td> <td>2%</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>VIG</td> <td>1%</td> <td>-3%</td> <td>-1%</td> <td>-1%</td> </tr> <tr> <td>V2G</td> <td>-</td> <td>-4%</td> <td>-13%</td> <td>-2%</td> </tr> </tbody> </table>	Scenario	Curtailment (%)	Change in yearly peak load (%)	Change in average short-run marginal cost (%)	Change in CO ₂ emissions (%)	BAU	2%	-	-	-	VIG	1%	-3%	-1%	-1%	V2G	-	-4%	-13%	-2%
Scenario	Curtailment (%)	Change in yearly peak load (%)	Change in average short-run marginal cost (%)	Change in CO ₂ emissions (%)																	
BAU	2%	-	-	-																	
VIG	1%	-3%	-1%	-1%																	
V2G	-	-4%	-13%	-2%																	

자료: IRENA(2019), pp.83~84.

캘리포니아, 독일, 하와이 등을 대상으로 한 다른 연구에서도 유사한 결과가 제시되고 있다. 해당 연구에서 스마트 충전이 계통의 피크 부

하 완화, 신재생에너지 출력제한 완화에 영향을 주는 것으로 확인되었다([그림 2-3]). 독일의 전력 계통을 대상으로 한 연구에서는 스마트 충전을 통해 태양광 및 풍력 발전과 충전 수요를 일치시키면 전기차 충전에 사용되는 신재생에너지의 비율이 두 배 이상 증가시킬 수 있는 것으로 추정되었다.⁴⁶⁾

[그림 2-3] 스마트 충전 효과 모델링 연구 사례 및 결과 비교

Study	Scenario	Uncontrolled charging	Smart charging
IRENA	50% penetration in an isolated system with 27% solar share	↑9% increase in peak load 0.5% solar curtailment	↑5% increase in peak load (V2G) Down to 0% curtailment
RMI, 2016	23% penetration US (California, Hawaii, Minnesota, New York, Texas)	↑11% increase in peak load	↑1.3% increase in peak load (V1G)
Taljegard, 2017	100% penetration Denmark, Germany, Norway & Sweden	↑20% increase in peak load	↓7% decrease in peak load (V2G)
McKenzie, 2016	50% penetration in Island of Oahu, Hawaii, US 23% VRE share	10-23% VRE curtailment without EVs	8-13% VRE curtailment with smart charging EVs
Chen and Wu, 2018	1 MILLION EVs in Guanzhou region, China	↑15% increase in peak load	↓43-50% reduction in valley/peak difference

● Peak load with uncontrolled charging
 ● Curtailment in no EVs scenario
● Peak load with smart charging
 ● Curtailment with smart charging EVs

자료: IRENA(2019), p.91.

46) IRENA(2019), p.90.

2. 스마트 충전 기술과 실증

2.1. 스마트 충전 유형

스마트 충전은 기본적으로 관리되지 않는 충전에 대비되는 개념이다. 일반적으로 충전에 제약이 없으면 전기차 충전은 일정한 속도로 가급적 빠르게 충전하는 것을 목표로 한다. 반면, 스마트 충전은 요금이나 전력 수급 상황에 따라 충전 속도나 충전 모드를 달리하여 진행된다. 스마트 충전은 충전 제어를 하는 방법과 제어의 수준, 제어의 목적, 자동화의 여부 등에 따라 구분될 수 있다.

SEPA는 스마트 충전을 수동적 충전 관리와 능동적 충전 관리로 구분하였다.⁴⁷⁾ 수동적 충전관리는 제어장치의 직접적인 개입 없이 요금이나 인센티브를 통해서 전기차 소유자의 행동 변화를 유도하여 충전 부하의 변경을 이끌어 내는 것으로 가장 대표적인 것은 TOU 요금제가 있다. 이외에도 수요반응(DR)처럼 전기차 소유자와 별도의 약정을 체결하여 피크 시간에 충전하지 않을 경우 인센티브를 지급하는 형태의 방법도 있다.⁴⁸⁾ 그리고 일부 지역에서는 실시간 충전 요금제를 운영하기도 하는데, 전력시장의 시간대별 도매요금을 기준으로 충전 요금을 설정하여 하루 전에 전기차 소유자에게 통지하여, 소비자가 시간대별로 충전 속도를 조정하도록 유도한다.⁴⁹⁾

능동적인 충전 관리는 충전 제어를 전기차 소유자가 아닌 제3자가(유틸리티, 애그리게이터, 충전사업자) 피크 관리, 신재생 잉여 전력 해소, 보조 서비스 등을 목적으로 충전 시간, 범위, 속도, 모드 등을 직접 제어하는 방

47) SEPA(2019), p.11.

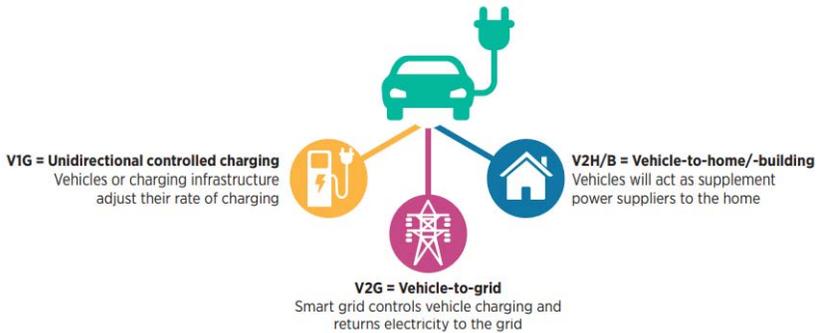
48) 전게서, p.11.

49) BNEF 홈페이지 기사(최종접속일: 2020.12.14.).

식이다.⁵⁰⁾ 전기차 소유자는 이들 제3자에게 충전 제어권을 허용하는 대신 인센티브를 받거나 충전된 전기를 되팔아서 수익을 창출할 수 있다.⁵¹⁾

또한, 스마트 충전은 충전 모드와 충전 관리 서비스에 따라서 V1G, V2G, V2H/B 등으로 구분된다([그림 2-4]). V1G와 V2G는 모두 전력 과 관련된 서비스를 위해 충전을 관리하는 것을 의미한다. 차이점은 충전만을 제어하느냐(V1G) 충·방전을 함께 제어하는가(V2G)이다.⁵²⁾ V2H는 전기차와 가정용 에너지 관리시스템(HEMS)과 연결하는 것이고, V2B는 전기차와 건물 에너지 관리시스템(BEMS)과 연결하여 충전 관리에 이용하는 것이다. V2H/B는 일반적으로 전력계통 운영에 직접적인 영향을 주지 않는다.⁵³⁾ 전기차는 정전 발생 시 가정이나 건물의 백업 전원 공급 장치로 사용되거나, 건물에 설치된 태양광의 자가 소비를 늘리기 위해 사용된다.⁵⁴⁾

[그림 2-4] 스마트 충전 분류



자료: IRENA(2019), p.38.

50) SEPA(2019), pp.11~12.

51) 전계서, pp.11~12.

52) IRENA(2019), p.38.

53) 전계서, p.38.

54) 전계서, p.38.

2.2. 스마트 충전 기술과 실증⁵⁵⁾

2.2.1. TOU

스마트 충전 중에서 기술적으로 가장 쉬운 방법은 TOU 요금제이다. TOU 요금제는 기술 요구 사항이 상대적으로 낮고 특별한 제어장치가 필요하지 않다. TOU 요금제는 시간대별로 전기사용량을 측정할 수 있는 스마트미터와 과금 체계, TOU 요금표를 내장한 충전기 정도만 있으면 가능하다. TOU 요금제는 스마트미터 이외에 특별한 제어장치가 필요하지 않고 쉽게 충전 부하를 옮길 수 있기 때문에 전기차가 보급되는 초기 단계부터 전기차 충전 요금제로 이용되었다. TOU 요금제를 통한 부하 이전 효과와 배전선로에 미치는 실증 연구는 미국 캐나다 등에서 진행되었다.

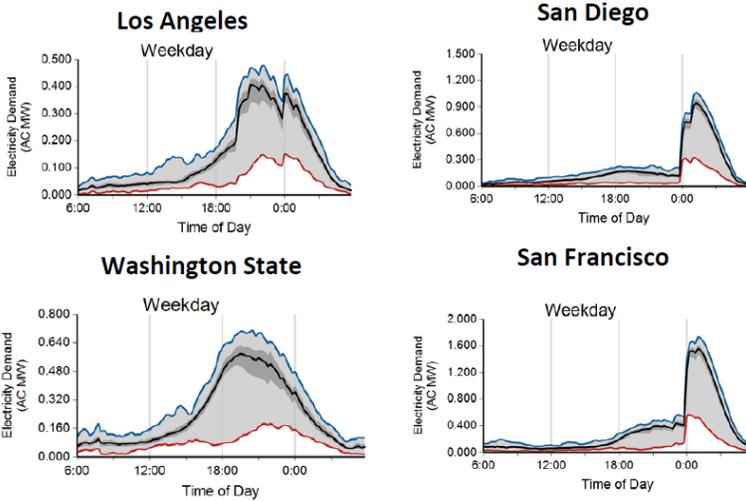
먼저, DOE는 전기차 초기인 2009년부터 4년간 미국에서 TOU 요금제 효과를 분석하는 프로젝트를 진행하였다.⁵⁶⁾ 이 프로젝트에서는 TOU 요금제가 적용되는 지역과 고정 요금제가 적용되는 지역의 충전 패턴을 비교하였다. 고정 요금제가 적용된 LA, 워싱턴 주에서는 충전 부하가 오후부터 증가하여 저녁 9시경에 피크에 이르지만, TOU 요금제가 적용되는 샌디에고, 샌프란시스코 지역에서는 경부하 요금이 시작되는 시점에 충전 부하가 급증하여 TOU 요금제의 부하 이전 효과가 뚜렷하게 나타나는 결과가 확인되었다([그림 2-5]).

55) 앞서 소개한 선행연구들은 모델링을 통한 시뮬레이션으로 여기서는 실제 실증을 통한 스마트 충전의 효과를 정리함.

56) INL(2014), p.2.

[그림 2-5] TOU 요금제 실시 여부에 따른 충전 프로파일 비교

(고정요금제 : LA, 워싱턴 주, TOU: 샌디에고, 샌프란시스코)

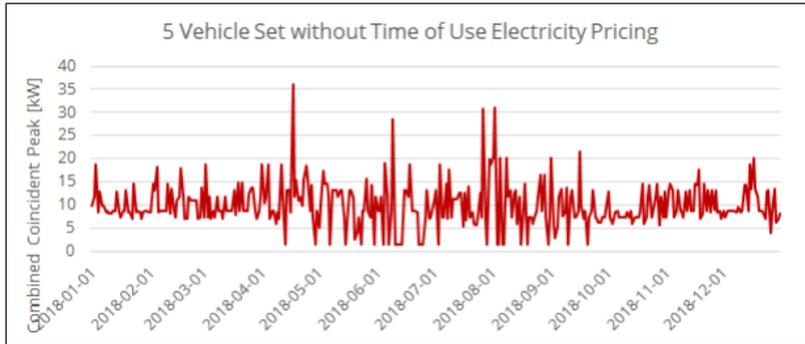


자료: INL(2014), p.15.

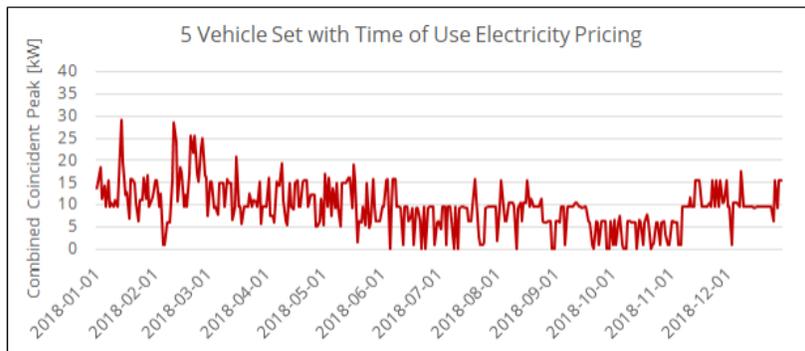
TOU 요금제에서는 앞서 DOE의 사례처럼 요금 구간이 경부하 시간 대로 변하는 시점에 충전 부하가 급증하여 순간적으로 배전 선로에서 부하가 증가하는 리바운드 피크에 대한 우려가 있다. 이와 관련하여 2017년부터 2년 간 캐나다에서 진행된 ‘Charge the North’ 프로젝트에서는 TOU 요금제가 적용된 지역의 배전 선로와 고정 요금제가 적용된 배전 선로를 1년간 비교하여, 전기차 충전이 배전 선로에 미치는 영향을 분석하였다.⁵⁷⁾ 분석 결과 TOU 요금이 적용된 지역의 순간적인 피크 현상이 고정 요금제가 적용된 지역보다 횟수와 크기가 모두 감소할 뿐 아니라 선로의 평균 부하가 개선되어 TOU 요금제가 배전 선로의 피크 현상 완화와 운영비 절감에 효과가 있다는 점을 확인하였다([그림 2-6]).

57) FleetCarme 홈페이지(최종접속일: 2020.12.14.).

[그림 2-6] TOU 요금제의 배전 선로 영향 비교



(a) 고정요금제



(b) TOU 요금제

자료: FleetCarme 홈페이지(최종접속일: 2020.12.14.).

2.2.2. V1G

V1G는 유틸리티나 애그리게이터가 전기차 충전을 직접 제어하는 방법이다. V1G를 구현하기 위해서는 보다 복잡한 통신 및 제어장치가 필요하다. 우선 유틸리티나 애그리게이터의 제어 정보를 송수신하기 위해서 충전기에 통신 기능이 필요하다. 그리고 충전 속도를 제어하기

위해서는 차량의 배터리 SOC 정보, 전기차 소유자의 출차 시간, 목표 충전량 등의 정보가 필요하다.

V1G는 2015년부터 미국, 유럽, 중국 등 각국에서 실증 연구가 진행되어 기술적인 구현 가능성은 일정 부분 검증된 상태라고 볼 수 있다. 일부 지역에서는 시장 제도화 단계가 진행되고 있지만, 대부분의 실증이 기술 구현 가능성을 검증하는 형태로 소규모로 진행되었다. 대중을 대상으로 하는 본격적인 시장 제도로의 발전은 수년 내 가능할 것으로 예상된다.

V1G 실증으로는 유틸리티사 주도로 이루어 졌다. 예로 다국적 유틸리티 Enel의 충전서비스 자회사인 Enel X는 2018년 스마트 충전 및 DR 응용 플랫폼 서비스인 JuiceNet을 개발하였다.⁵⁸⁾ 그리고 이를 토대로 전기차 충전기를 가상 자원으로 결합하여 계통 운영자의 신호에 따라 충전 스케줄을 조정하는 실증 실험을 진행하였다. 이 프로젝트에서 전기차 수요자원은 캘리포니아 CAISO 전력시장에 하루 전, 실시간 자원으로 참여하였으며, 이를 통해 전기차 소유자는 연간 \$400의 수익을 거둘 수 있는 것으로 추정되었다.⁵⁹⁾

2.2.3. V2G

V2G는 전기차의 충전과 방전을 동시에 제어하여 전기차의 배터리를 에너지저장장치처럼 활용하는 기술이다. V2G 기술은 진정한 의미에서 전기차와 전력계통을 하나로 연결하는 기술이다. 이를 통해서 V1G 기술을 통해 구현할 수 있는 모든 효용과 더불어 주파수 조정,

58) SEPA(2020), p.39.

59) SEPA(2017), p.20.

보조서비스를 온전히 구현할 수 있다. 또한, 다수의 전기차 배터리를 묶어서 가상 발전자원(VPP)으로 활용하는 것도 가능하다. 하지만 이 기술을 구현하는데 여러 난제가 있기 때문에 아직은 기술 구현의 가능성이 확인된 수준 정도이다. V2G 기술 발전과정을 살펴보면 다음과 같다(<표 2-5>).

〈표 2-5〉 V2G 기술 발전과정

시기	발전 과정
2011 이전	V2G 개념의 구체화 및 프로토콜 마련
2012~ 2015	V2G의 기술 구현에 초점을 둔 프로젝트 진행 <ul style="list-style-type: none"> • 미국에서 진행된 Grid-to-Wheel 프로젝트를 통해 전기차가 PJM 시장에 주파수조정서비스를 제공할 수 있다는 점을 확인 • 하와이에서 진행된 Jump SMART Maui 프로젝트는 V2H 충전기 80대를 설치하여 중앙 제어를 통해 Maui 섬의 저녁 피크 해소에 도움이 됨을 확인 • 독일의 INEES는 폭스바겐 e-UP 전기차 20대와 양방향 충전기 40대를 이용하여 V2G에 대한 기술적 검증을 진행 • 일본에서는 닛산 리프를 이용한 V2H 서비스가 시작되어 4,000대가 판매됨.
2016~ 현재	상업화를 목적으로 제도 실증 및 규모 확대 <ul style="list-style-type: none"> • 2016년부터 대규모로 활용 가능한 V2G 서비스 모델에 대한 탐구가 시작되지만 경쟁력을 갖춘 하드웨어 개발이 이루어지지 못함. • 영국에서는 전력시장의 주파수 조정 서비스 가격 하락으로 V2G 프로젝트 수익 모델의 타당성이 약화됨. • 덴마크 Parker 프로젝트는 주파수 조정서비스를 실제 전력시장에 제공하는 실증이 진행되었으나 전력시장에서 V2G 수익에 대한 높은 세금이 부과로 확산은 제한됨.

자료: Innovate UK(2018), p.10.을 바탕으로 작성.

이러한 변화 과정을 기준으로 보면, V2G는 기술적인 관점에서는 상업화를 앞둔 상태이고 V2G를 활용한 스마트 충전 서비스는 서비스의 타당성이 확인되어 구현 가능하다는 점이 확인되었다. 반면, V2G 충전 서비스의 제도화를 위한 전력 시장의 규제, DR 제도, VPP 등 분산 자원으로서의 제도화 수준은 아직 초기 단계라고 볼 수 있다.

영국의 국가 혁신 정책 기관인 Innovate UK는 V2G 충전을 향후 영국의 전력 계통 운영과 신재생에너지에 대한 수용성 확보를 위한 핵심 국가 전략 에너지 서비스로 선정하였다. 그리고 대규모의 V2G 실증 정부 프로젝트를 추진하기에 앞서, 전 세계에서 진행된 50개 V2G 프로젝트를 조사한 바 있다.

조사결과 50개 V2G 실증 프로젝트의 절반이 유럽에서 진행되었으며, 18개가 미국, 나머지 7개가 아시아에서 진행되었다.⁶⁰⁾ 유럽 지역은 신재생에너지 전력 비중이 높은 네덜란드, 덴마크, 영국, 독일이 주도하였으며 미국에서도 신재생 발전 비중이 높은 캘리포니아, 하와이, 델라웨어가 주도하였다.⁶¹⁾ 유틸리티 주도로 진행된 유럽, 미국과 달리 아시아, 특히 일본은 전기차 OEM을 중심으로 V2H, V2B에 초점을 둔 실증이 많았다.⁶²⁾

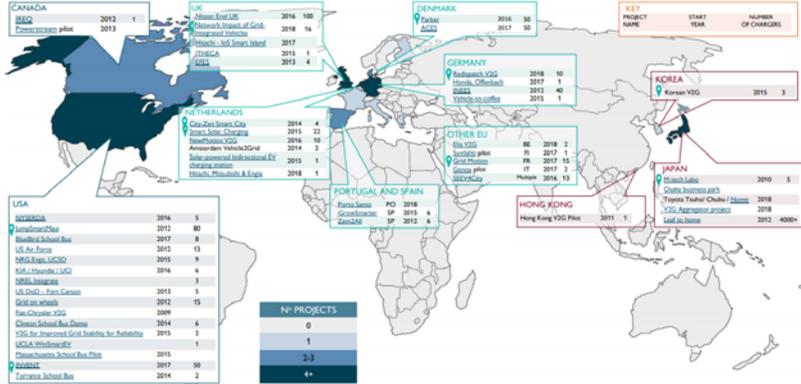
지금까지 대부분의 프로젝트가 기술적 부문에 초점을 두고 진행되었다. 모든 프로젝트가 V2G가 기술적으로 구현 가능한가, V2G 기술의 통신 및 제어 방식을 어떻게 구현할 수 있을까 등과 같은 기술 이슈를 다루고 있으며, 27% 정도만이 V2G 자원의 가치 등과 같은 사회적 이슈를 다루고 있었다. 이는 아직 V2G를 가능하게 하는 충전 기술을 실증하는데 초점을 맞추고 있다는 것을 의미한다.⁶³⁾

60) Innovate UK(2018), p.9.

61) 전계서, p.9.

62) 전계서, p.3.

[그림 2-7] Global V2G 프로젝트 추진 현황 조사 결과



자료: Innovate UK(2018), p.8.

V2G 실증 프로젝트는 V2G를 이용한 부하이전 서비스에 대한 실증이 가장 많이 진행되었다. 실증 서비스는 부하이전 23건, 주파수 조정 16건, DSO 서비스 10건, 예비력 2건, 차익거래 4건 등이 진행되었다.⁶⁴⁾ 실증 수준은 대부분 서비스의 검증 단계이며, 일부만 상업화 전 단계의 실증이 이루어졌으며, 실증 프로젝트에 이용된 차량 규모도 대부분 20대 미만으로 소규모 실증이였다.⁶⁵⁾

2016년 덴마크에서 진행된 Parker 프로젝트는 기술 구현에 초점을 두었던 이전의 V2G 실증 프로젝트와 달리 V2G 자원을 VPP 형태로 애그리게이션해서 실제 전력계통 서비스에 참여하는 서비스 실증에 초점을 두었다. 이 프로젝트에는 전기차 50여 대가 참여하였으며 실험은 참여 고객이 스마트폰을 통해 당일의 목표 충전량, 출차 시간 등의 정

63) Innovate UK(2018), p.9.

64) 전계서, p.4.

65) Innovate UK(2018) 전반적인 내용 참고.

보를 입력하면 V2G 플랫폼에서 충전기에 연결된 시간 동안 V2G에 참여하고, 출차 시간에 맞춰 목표 충전량에 도달하게끔 제어하는 형태로 진행되었다.⁶⁶⁾ 2년의 동안 계통 보조서비스, 배전망 서비스, 차익거래 등 여러 서비스가 시험되었다. Parker 프로젝트는 실제 환경에서 이루어진 최초의 V2G 상업 서비스 실증으로 그 과정에서 양방향 충전에 의한 배터리 수명 문제, 애그리게이터에 적합한 시장 모델 필요성, 스마트미터에 관한 규제 개선, 충전에 대한 이중 과금 등 다양한 해결과제가 도출되었다.⁶⁷⁾

네덜란드 Utrecht에서 진행된 “Smart Solar Charging” 실증 프로젝트는 태양광 발전과 전기차 충전을 연계하여 신재생 발전의 자체 이용률을 높이고, 낮 시간에 충전된 전력을 저녁에 방전시켜 지역의 계통 자원으로 활용하는 서비스를 실증하였다. 이 프로젝트의 기본 아이디어는 주택, 빌딩에 설치된 낮시간 잉여 태양광 발전량으로 전기차를 충전하면 신재생 발전이 배전 선로에 미치는 영향을 줄일 수 있고, 저녁 시간에 방전을 통해 에너지원으로 사용할 수 있으며, 태양광을 통한 보다 친환경적인 충전이 가능하다는 생각에서 출발하였다. 이 실증을 통해 전기차가 태양광 발전의 자체 소비를 23%에서 38%로 향상시키고 계통 피크를 완화할 수 있다는 점이 확인하였다.⁶⁸⁾

앞에서 언급한 바와 같이 영국은 V2G 충전을 미래의 핵심 국가 전략 에너지 서비스로 선정한 뒤, 2018년에 일련의 대규모 V2G 실증 프로젝트 추진 계획을 발표한 바 있다. 이 계획에 따라 영국 전역에서 72개 기관이 참여하는 20여 개의 V2G 실증 프로젝트를 동시에 진행

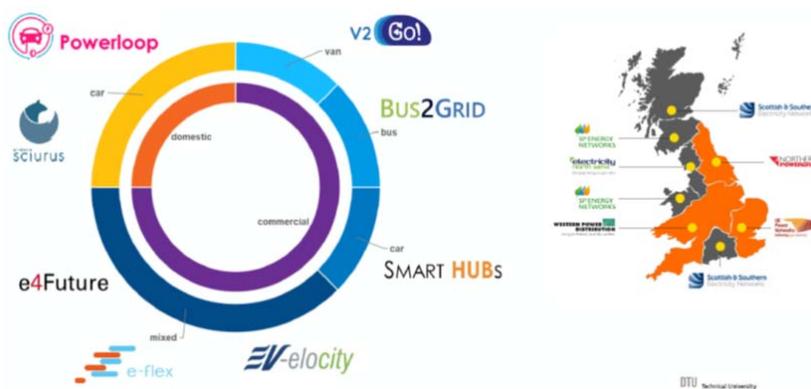
66) Innovate UK(2018), p.15.

67) 전게서, p.15.

68) Wilfried van Sark(2017), p.26.

하고 있다.⁶⁹⁾ 여기에는 V2G 기술 검증 프로젝트 8개, V2G 충전 플랫폼 구축 프로젝트 8개, 실증 프로젝트 8개가 포함되어 있으며, 전기차 2,700여 대가 참여하고 있다.⁷⁰⁾ 대상 차량도 기존의 주요 실증 대상이었던 소형 전기차뿐 아니라, 소형 화물차, 전기 버스 등도 포함되었다 ([그림 2-8]).

[그림 2-8] Smart Solar Charging 실증 프로젝트 시스템 구성



자료: Innovate UK(2018b), p.16.

69) Innovate UK(2018), p.4.

70) 전게서, p.13.

3. 스마트 충전 비즈니스 모델

앞서 살펴본 바와 같이 스마트 충전은 미래의 전력 계통을 운영하는 데 절실한 자원인 유연성 자원을 송전단과 배전단 수준에서 제공할 수 있다. 송전단에서 스마트 충전은 도매 시장의 수급 균형을 촉진할 수 있다. V1G 기술을 사용하면 전기차 충전 패턴을 제어하여 피크 수요를 평탄화하고 부하 밸리를 채우고 전력망의 실시간 밸런싱을 지원할 수 있다. V2G는 전력을 전력망에 역송함으로써 TSO에 보조 서비스를 제공할 수도 있다. 스마트 충전은 DSO가 국부적인 계통 병목을 관리하는 데 도움이 될 수 있으며 고객이 에너지 소비를 관리하고 신재생 에너지의 이용률을 높이는 데 도움이 될 수 있다([그림 2-9]).

[그림 2-9] 스마트 충전 제공 가능 서비스



자료: IRENA(2019b), p.10.

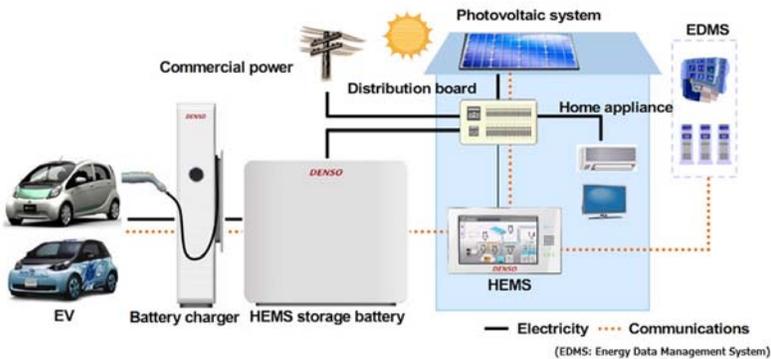
스마트 충전을 통해 제공 가능한 서비스 종류를 BTM, TSO/도매 전력시장 서비스, DSO 서비스, P2P 서비스, VPP 서비스, CMO 플랫폼 서비스로 나누어 살펴보겠다.

3.1. BTM(behind the meter) 서비스

BTM 서비스는 전기차 소유자가 직접 충전을 관리하여 충전이나 충전된 전력을 통해 편익을 거두는 서비스로, V2H, V2B 등이 해당된다. 전기차 배터리는 정전 같은 비상시에 긴급 전원으로 이용할 수 있다. 요금이 싼 경부하 시간에 충전을 진행하고, 요금이 비싼 피크부하 시간에 저장된 에너지를 활용하면 전력 요금을 낮출 수 있다. 그리고 태양광 시스템이 설치되어 있는 경우, 전기차 충전은 태양광의 이용률을 높이고 전력 요금을 낮출 수 있는 편익이 있다. 이러한 용도로 전기차 배터리를 이용하는 것은 복잡한 알고리즘이 요구되기 때문에 보통은 HEMS, BEMS 등 에너지 관리시스템과 연동하여 제어가 이루어진다.

BTM 서비스 사례로는 후쿠시마 원전 사고 이후 비상용 전력 장치에 대한 요구가 증가한 일본에서 전기차의 보급 초기부터 시행된 V2H 실증과 상업화가 있다([그림 2-10]). 하지만, 일본 사례를 제외하고는 전반적으로 V2H, V2B는 아직 초기 단계라고 할 수 있다.

[그림 2-10] 일본 Denso의 V2H 솔루션 구성



자료: Denso 홈페이지(최종접속일: 2020.12.13.).

3.2. TSO/도매 전력시장 서비스

스마트 충전은 전력 시장, TSO 등과의 계약을 통해서 전력계통의 용량 시장이나 밸런싱 시장에 참여할 수 있다. 개별 전기차가 TSO, 도매전력 시장과 직접 거래할 수 없기 때문에, TSO 서비스는 애그리게이터라는 중개사업자를 필요로 한다. 애그리게이터는 개별 전기차의 자원을 모집하여 하나의 자원으로 만들고, TSO의 요청에 따라 충전 제어를 하여 받은 정산금을 개별 전기차 소유자에게 분배한다. TSO는 수급 균형, 전력 품질 등을 위해 V2G를 수요자원으로 활용할 수 있는데 구체적으로 다음과 같은 편익을 기대할 수 있다(<표 2-6>).

〈표 2-6〉 TSO 기대 편익

항목	내용
피크 완화	부하이전 등을 통한 DR 시장 참여
비상 수급	정전 복구 등 응급 서비스,
주파수 대응	주파수 교란 대응 (30분)
무효 전력 보상	전압 범위 유지
대기력	수요, 발전량의 예상치 못한 변화에 대응 (15분 이상)

자료: CENEX(2019), p.16.

3.3. DSO 서비스

스마트 충전은 TSO와 유사한 서비스를 배전단 단위에서 제공할 수 있다. 이외에도 배전선로에서 전기차 충전이 특정 지역에 집중되어 발생하는 클러스터링 문제를 완화하거나 배전선로에 국부적으로 발생하는 전압 불균형 해소에 활용될 수 있다. 또한, 배전선로에 연결되어 있

는 신재생에너지 전력을 흡수하여 이용률을 높이는 데에도 이용될 수 있다. 실증을 통해 상업화로 진전된 TSO와 달리 DSO 서비스는 아직 초기 단계이다.

3.4. P2P 서비스

전기차에 충전된 전력은 P2P(Peer-to-Pear) 서비스를 통해 에너지 소비자 사이에 거래될 수 있다. 태양광이나 경부하 시간에 값싸게 저장한 배터리 전력을 피크시간에 전력 사용이 필요한 다른 소비자에게 제공할 수 있다. 이를 통해 판매자와 구매자가 차익 거래를 실현하여 수익을 창출할 수 있다. 이러한 거래를 구현하기 위해서는 개인 간 원격지 거래를 허용하는 시장제도와 함께 블록체인과 같이 거래를 안전하게 보장할 수 있는 시스템의 구축이 필요하다. 단기적으로는 개인 사이의 거래보다는 마이크로그리드와 같이 단일 선로로 연결된 전력망에서 거래를 통해 마이크로그리드의 독립성을 높이는데 이용될 가능성이 높다.

3.5. VPP 서비스

VPP(가상발전; virtual power plant)는 태양광, ESS 등의 분산된 발전자원과 전력 수요를 클라우드 기반 소프트웨어로 통합하여 하나의 발전소처럼 운영하는 서비스이다. 스마트 충전을 이용하면 전기차 충전을 VPP 자원으로 활용할 수 있다. 특히 VPP를 구성하는 분산형 신재생 발전과 V2G 충전을 통합하면, VPP의 유연성과 운영 특성을 향상시킬 수 있다([그림 2-11]).

[그림 2-11] V2G 자원을 활용한 VPP 서비스 개념



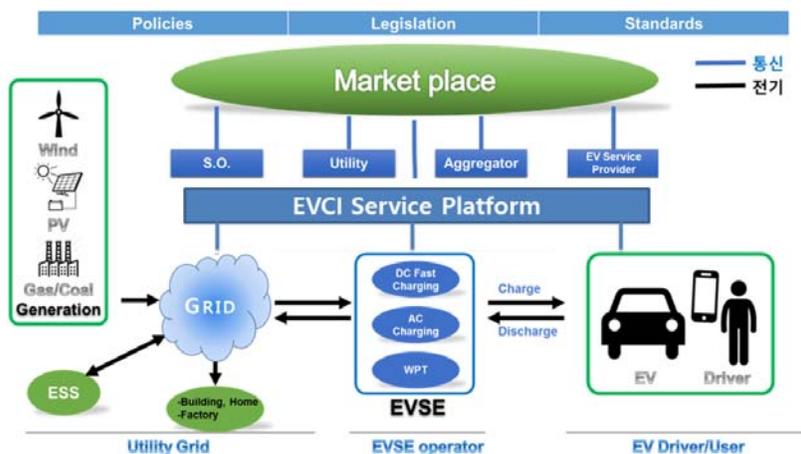
자료: 박기준(2018), p.19.

3.6. CMO 플랫폼 서비스

CMO(충전시장운영자; charging market operator) 플랫폼 서비스는 전기차 충전과 관련된 모든 서비스를 플랫폼 형태로 제공하는 사업자를 의미한다. 스마트 충전과 관련된 모든 서비스를 플랫폼 형태로 제공함으로써, TSO, DSO, 충전사업자, 애그리게이터, 개별 전기차 소유자 사이의 정보 이동과 제어를 용이하게 할 수 있다. 예를 들어, 애그리게이터가 V2G 충전 사업을 하기 위해서는 사전에 전기차 소유자를 접촉하여 자원으로 모집하여야 하고, 전력 계통의 신호를 수신하여 모집한 전기차에 대한 V2G 제어를 실행할 수 있는 인프라를 갖춰야 한다. 이 경우 CMO 플랫폼을 이용하면 플랫폼에 등록된 전기차 소유자를 접촉할 수 있으며, 플랫폼이 제공하는 V2G 제어 시스템을 이용하면 별도의 인프라 구축 없이도 V2G 서비스를 할 수 있다. 마찬가지로 전기차 소유자는 플랫폼에 등록된 다수의 애그리게이터 중에서 본인에

계 가장 적합한 사업자를 선택할 수 있다. 또한 소규모 충전 사업자도 플랫폼을 이용하여 V2G 애그리게이터 사업에 참여할 수 있다([그림 2-12]).

[그림 2-12] CMO 플랫폼 서비스 개념



자료: 박기준(2018), p.18.

4. 소결

전기차 보급과 신재생에너지 전력 비중 확대는 시너지 효과를 기대할 수 있고 이를 연결하는 고리가 스마트 충전이다. 스마트 충전을 통해 전기차 보급과 신재생에너지 확대라는 정책 목표를 비용 효과적으로 달성할 수 있으며, 지속가능한 에너지 체계를 보다 강건하게 구현할 수 있다. 스마트 충전의 1차적인 목적은 불규칙한 충전으로 인해 발생하는 계통 운영상의 문제를 해소하는 것이지만, 계통 운영에서 절실히 요구되는 유연성 자원을 대규모로 확보하는 데에도 기여할 수 있다. 스마트 충전은 신재생에너지의 계통 영향을 최소화하고, 신재생에너지의 이용률을 높일 수 있으며, 전기차를 청정에너지로 움직이게 할 수 있다. 이처럼 전기차 보급 정책과 신재생에너지 확대 정책은 상호 연계됨으로써 그 효과를 극대화할 수 있다.

스마트 충전 기술 중 TOU 요금제는 이미 부하 이전 효과가 검증되어 있고, 전기차 소유자들도 TOU를 통해 충전 요금을 절약할 수 있기 때문에 전기차 충전의 기본 요금제로 점차 확대되고 있다. V1G 기술은 요소기술과 기술의 적용 가능성은 검증되었으며, 본격적인 제도를 위한 단계에 있다고 할 수 있다.

한편, V2G 충전서비스의 경우 아직도 갈 길이 많다. V2G 충전서비스는 이 기술이 가진 폭넓은 잠재력만큼이나 해결해야 할 과제가 많고 대부분 어려운 것들이다. 기술의 구현 가능성이나 상업적인 서비스로의 가능성은 어느 정도 검증되었지만, 그 과정에서 상호운영성 확보를 위한 표준체계, V2G에 적합한 규제나 제도, 수익성 있는 사업 모델 등에서 많은 문제가 나타났고, 아직 드러나지 않은 문제들도 있는 상황이다. 특히, V2G 서비스는 다른 스마트 충전과 비교해 소비자의 적극

적인 참여가 훨씬 더 많이 요구되는 분야이지만 현재까지 진행된 것은 주행 패턴, 충전 패턴, 소비자 수용성에 대한 설문조사 정도이다. 하지만 유틸리티, 자동차 OEM, 솔루션 업체 등의 적극적인 연구개발과 실증을 진행하고 있으므로 이 분야의 장래는 밝다고 볼 수 있다.

스마트 충전 서비스는 피크 완화와 같은 단순한 형태에서 출발하여 보조서비스 등 계통 운영의 핵심 분야로 그 영역을 확장할 것으로 기대된다. 신재생에너지 발전, ESS, EMS 등 다양한 자원과 연계, VPP 등 보다 차원 높은 서비스로 진화할 것으로 예상된다. 이 과정에서 스마트 충전을 수행하는 애그리게이터 비즈니스에 전통적인 DR 사업자 외에도 다양한 사업자가 각자의 차별화된 강점과 네트워크를 가지고 시장에 참여할 수 있다. 중국에는 스마트 충전 비즈니스가 여러 이해관계자들 사이에 전기차 충전 자원을 거래하는 플랫폼으로 진화할 것으로 전망된다. 여기에서 더 나아가 전기차의 커넥티드 서비스, 자동차 공유 플랫폼 등과 연결되어 거대한 모빌리티-에너지 통합 네트워크 비즈니스가 형성될 수도 있다.

제3장 E-Mobility와 신재생에너지의 전력계통 상호영향 분석 - 스마트 충전 편익

제3장에서는 제2장에서 선행연구를 통해 확인한 신재생에너지와 스마트 충전의 상호 연계 가능성과 그 가치를 우리나라 전력계통을 모의하여 분석해 보고자 한다. 적용한 모형은 MPSOPF로 1차년도에 제주도를 대상으로 수행한 연구를 전국으로 확장하여 심화하였다.

1. 3장 서론

본 장에서는 신재생에너지가 높은 수준으로 보급된 전력 계통 상황에서 전기차 수요자원이 유연성 자원으로 활용될 경우 공급 측면에서 어떤 수준의 경제적 가치를 기대할 수 있는지 추정하였다. 전력 계통 내에서 신재생에너지의 비중이 빠르게 증가하는 상황에서 신재생에너지 보급수준에 따른 전기차 수요자원의 가치를 비교하기 위해서 2020년과 2030년의 전력공급환경에서 수요자원의 가치를 추정하였다. 또한 전기차 보급수준, 혹은 전기차 소유자의 스마트 충전 참여율에 따라 전기차 수요자원의 대당 가치가 어떻게 달라지는 추정하기 위해서 스마트 충전 참여 비율을 달리하여 수요자원 가치를 분석하였다.

분석 모형으로는 재생에너지 발전의 변동성 및 불확실성과 전기차 수요자원의 특성을 잘 반영해 줄 수 있는 Multi-Period Security-Constraint Optimal Power Flow(MPSOPF)라는 전력시스템 최적화 모형을 적용하였다. 본 분석 방법론의 전체적인 틀은 2019년 수행한 1차년도 연구의 방법론을 따른다.

본 장은 결과 부분에서 2020년과 2030년 전력공급 환경에서 전기차 수요자원의 전력공급 비용경감 효과를 추정하여 이를 기반으로 전기차 대당 수요자원으로써의 가치를 추정하였다. 본 연구에서 고려한 전력공급 비용은 전력시스템 운영비용에 해당하는 발전비용과 예비력비용에 대해서 분석하였다. 전기차 수요자원을 활용하기 위한 제어방법으로는 앞서 제2장에서 살펴본 TOU, VIG, V2G를 선택하였다. 전기차 수요자원이 잠재적으로 발생시킬 수 있는 편익에서 전기차를 수요자원화 하는데 발생하는 비용을 차감하여 전력시스템에서 전기차 수요자원이 가지는 순가치를 최종적으로 도출하였다.

2. 모형 및 자료

2.1. 신재생에너지 발전 프로파일 추정

본 연구가 기존의 유사한 선행연구들로 부터 가지는 중요한 차별점은 신재생에너지 발전의 불확실성을 사실적으로 반영하여 그것이 전력계통에 유발하는 효과를 체계적으로 반영한다는 것이다. 이를 위해서 결정론적 정보를 이용한 회귀식과 해당 회귀식의 오차항을 활용하여 시계열 분석을 동시에 수행하는 2-stage ARMAX 모형을 이용해서 풍력과 태양광 발전 프로파일 확률 모형을 구축하였다.

2019년 수행한 1차년도 연구는 태양광과 풍력의 기상자료를 활용하여 발전량을 추정하였다. 따라서 이 과정에서 발생할 수 있는 오차로 인해 추정치가 실제 발전량과 상이할 수 있다는 지적이 제기된바 있다. 반면 2차년도 연구에서는 2015~2019년 기간의 태양광과 풍력 시간별 실제 발전량 자료를 활용하여 보다 직접적으로 발전량을 추정하

는 모형을 구축하였다.

<수식 3-1>은 풍력과 태양광 발전량 자료에 기반한 2-stage ARMAX 모형의 형태이다. 1단계에서는 연간, 일간 등의 주기와 기온정보를 이용하여 추정하고, 2단계에서는 이 1단계의 잔차를 이용해서 시계열 분석을 하는 구조이다.

〈수식 3-1〉 풍력, 태양광 확률 모형

<Stage 1: Deterministic Part>

$$\log(\text{풍속}_{t,i} + 1) = f_D(\text{Deterministic Cycles}_{t,\nu}, \text{기온}_{t,i}) + \nu_{t,i}$$

$$\log(\text{일사량}_{t,i} + 1) = f_D(\text{Deterministic Cycles}_{t,\nu}, \text{기온}_{t,i}) + \nu_{t,i}$$

<Stage 2: ARMA Part>

$$\nu_{t,i} : (1 - \sum_{j=1}^p \alpha_j L^j) \nu_t = (1 + \sum_{j=1}^q \theta_j L^j) \epsilon_t$$

- Deterministic Cycle_{t,i} : 1년, 반년, 24시간, 12시간 주기인 sine과 cosine 커브

- $\nu_{t,i}$: Stage 1 추정식의 잔차(residual)

- $\epsilon_{t,i}$: Stage 2 추정식의 백색잡음잔차(White noise residual)

자료: 조상민·조일현(2018), p.37, 전우영(2015), p.55. 기반 제작성.

<표 3-1>과 <표 3-2>는 각각 풍력과 태양광 확률 모형의 추정 결과를 보여 준다. 풍력의 경우 1단계의 설명력은 0.174으로 낮지만 1단계와 2단계를 모두 포괄하는 설명력인 pseudo R²는 0.761로 준수한 편이다. 태양광은 1단계의 설명력이 0.755로 상대적으로 높고 pseudo R² 또한 0.834로 상당히 높은 수준이다. 태양광 확률 모형이 풍력 확률 모형보다 높은 설명력을 보이는 것은 태양광이 풍력보다 일관성 있는 발전 패턴을 보이기 때문으로 추정된다.

〈표 3-1〉 풍력 확률 모형 추정 결과

풍력 발전: 2-stage ARMAX estimation results					
1단계: OLS model			2단계: ARIMA model		
설명변수	coefficient	t-value	설명변수	coefficient	t-value
Intercept	0.20272	232.54	MU	0.000107	0.02
cy	0.08243	66.86	MA1	-0.48887	-75.43
sy	0.03535	28.67	MA2	-0.20921	-28.34
cy_2	0.01427	11.57	MA3	-0.11183	-14.85
sy_2	0.00571	4.64	MA4	-0.08361	-11.39
ch	0.01152	9.34	MA5	-0.04995	-7.78
sh	-0.00101	-0.82	AR1	0.95677	460.44
ch_2	-0.00305	-2.48	AR24	0.1739	28.3
sh_2	0.00108	0.87			
R ² : 0.174			Pseudo R ² : 0.761		

자료: 저자 작성.

〈표 3-2〉 태양광 확률 모형 추정 결과

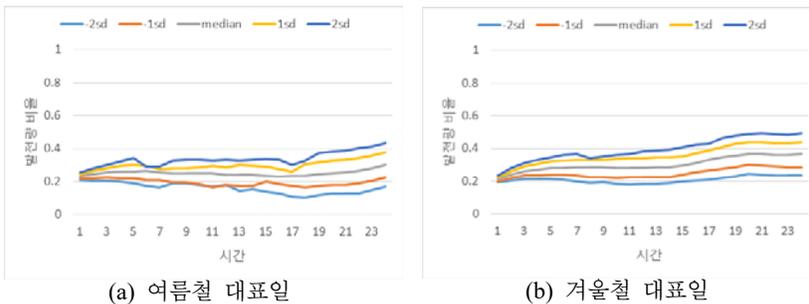
태양광 발전: 2-stage ARMAX estimation results					
1단계: OLS model			2단계: ARIMA model		
설명변수	coefficient	t-value	설명변수	coefficient	t-value
상수항	0.02162	28.26	mu	-4.55E-08	0
daily cycle	0.2414	284.57	MA 1	-1.00637	-140.92
			MA 2	-0.55784	-57.54
			MA 3	-0.18022	-25.88
			AR 1	0.81883	186.99
			AR 23	0.03174	5.13
			AR 24	0.69651	156.8
R ² : 0.755			Pseudo R ² : 0.834		

자료: 저자 작성.

[그림 3-1]과 [그림 3-2]는 여름철과 겨울철 대표일에 풍력과 태양광 발전 프로파일의 변동성과 불확실성이 어떻게 나타나는지를 보여준다. 여름철과 겨울철 대표일은 2019년 여름철과 겨울철 피크일 기준으로 설정하였다.

해당 풍력과 태양광 발전의 불확실성 프로파일은 앞서 추정된 확률 모형의 2단계 백색잡음잔차를 정규분포를 가정하고 1,000개의 백색잡음잔차를 무작위로 생성해서 몬테카를로 방법론을 기반으로 1,000개의 신재생에너지 발전 예측 프로파일을 도출하였다. [그림 3-1]과 [그림 3-2]는 해당 1,000개의 발전 프로파일에서 대표성을 가지는 프로파일 5개를 나타낸 것이다. 이 5개 대표 프로파일은 가운데 프로파일이 전체 1,000개의 프로파일 중 중윗값에 해당하는 프로파일이고, 그 위아래로 +1, -1 표준편차 프로파일, 가장 위와 가장 아래 프로파일이 +2, -2 표준편차 프로파일을 보여준다.⁷¹⁾

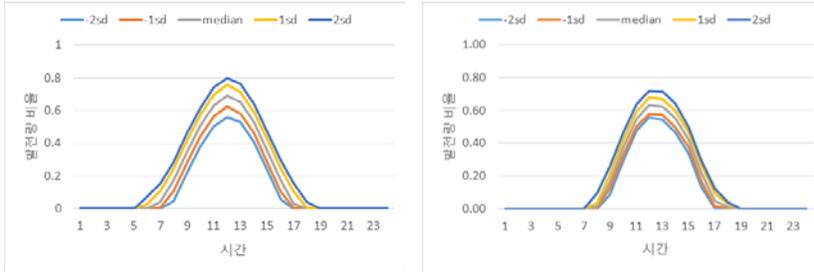
[그림 3-1] 풍력 24시간 예측 프로파일, 여름철과 겨울철 대표일



자료: 저자 작성.

71) 자세한 신재생에너지 예측 프로파일 방법론은 1차년도 연구를 참고

[그림 3-2] 태양광 24시간 예측 프로파일, 여름철과 겨울철 대표일



(a) 여름철 대표일

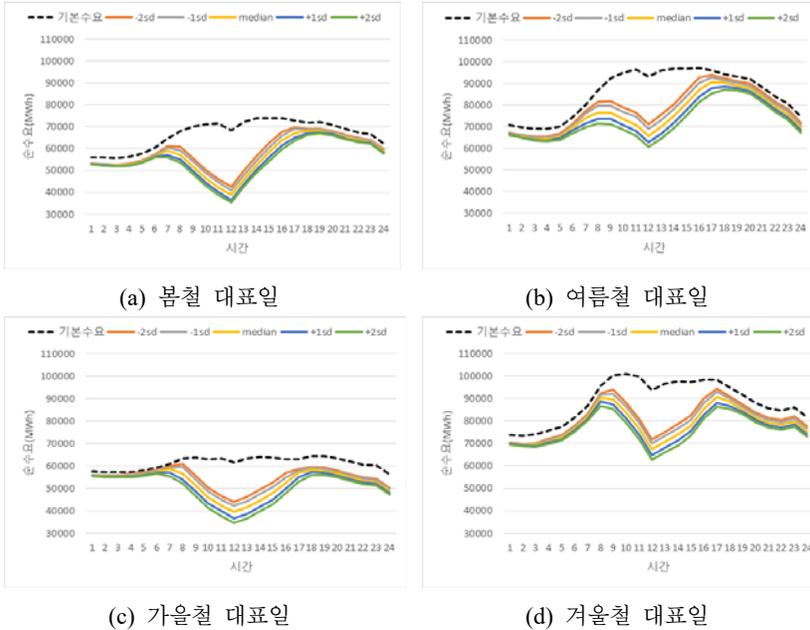
(b) 겨울철 대표일

자료: 저자 작성.

[그림 3-3]은 2030년 계절별 대표일의 전력 순수요 예측 프로파일을 보여준다. 앞서 추정된 태양광과 풍력의 계절별 대표일 프로파일을 2030년 8차전력수급계획에 기초한 예측 수요 프로파일과 태양광 및 풍력 용량에 적용해서 2030년 관측될 순수요의 변동성과 불확실성을 추정하였다. 전력계통 운영입장에서는 순수요가 전통적인 자원을 이용해서 수급을 만족시켜야 하는 실질적 프로파일이기 때문에 본 추정치는 2030년의 문제를 선제적으로 살펴본다는 의미가 있다.

일반적으로 낮 시간대에 집중되는 태양광 발전 프로파일 때문에 낮 시간대 순수요가 급감하는 덕커브(duck curve) 현상은 여름철과 겨울철은 경미한 대신 봄철과 가을철에 심각할 것으로 추정된다. 여름철과 겨울철은 높은 낮 시간대 피크수요로 인해서 낮시간에 덕커브가 발생하기는 하지만 기저부하를 침범하는 수준에는 이르지 않는다. 하지만 봄철과 가을철의 경우 피크시간 전력 수요 수준이 높지 않기 때문에 덕커브가 낮 시간대 순수요 밸리를 크게 만들어서 기저발전을 침범하는 수준에 이를 것으로 보인다.

[그림 3-3] 2030년 계절별 순수요 예측 프로파일 추정치



자료: 저자 작성.

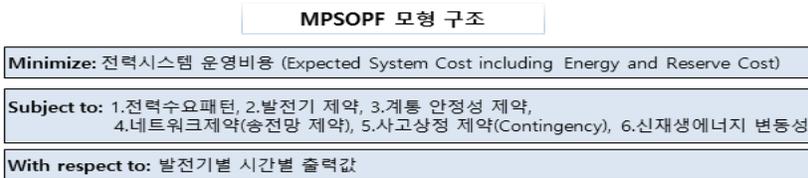
2.2. 전력시스템 최적화 모형

본 연구에서 전기차 수요자원이 전력공급비용 절감에 기여하는 수준을 추정하기 위해서 확률적 전력계통최적화 모형인 MPSOPF(Multi-Period Security- Constraint Optimal Power Flow) 모형을 활용하였다.

[그림 3-4]는 MPSOPF 모형의 개념적인 구조이다. 이 모형의 목적함수는 발전비용과 예비력비용을 포함하는 전력시스템 운영비용의 기댓값을 최소화하는 구조로 되어있다. 제약조건으로는 주어진 전력수요패턴을 만족시키면서 발전기 제약, 계통 안정성 제약, 네트워크 제약, 사고상정 제약, 신재생에너지 변동성 등이 있다. 이를 통한 최적화 모형

의 해로 도출되는 값은 모든 제어가능한 발전자원의 시간별 발전량이 된다.

[그림 3-4] MPSOPF 모형 개념적 구조



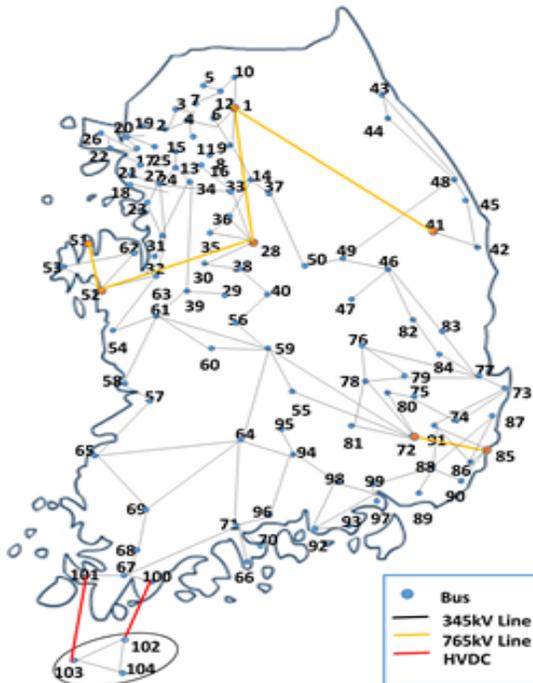
자료: 조상민·조일현(2018), p.24.

MPSOPF 모형이 기존의 다른 전력시스템 최적화 모형과 차별적으로 가지는 특징은 다음 3가지로 요약할 수 있다. 첫째, 신재생에너지 발전량과 같이 사전에 결정되지 않는 확률적인 형태의 입력값을 사실적으로 반영할 수 있다. 둘째, 기존 모형은 특정 시간의 최적발전계획을 도출해주던 것에 반해 MPSOPF모형은 특정 기간 동안, 예를 들어 24시간 동안의 연속적인 발전계획을 도출해주기 때문에 우리나라 전력거래소가 수행하는 일일전 계획 관점에서의 사실적인 시뮬레이션이 가능하다. 셋째, 주어진 신재생에너지 발전의 불확실성에 대해서 전력시스템이 안정성을 유지하는 데 필요한 예비력의 양을 모형 내부적으로 도출해준다. 이를 통해서 신재생에너지 보급 수준별로 적정 예비력량 추정이 가능하며, 전기차 수요자원 등과 같은 유연성 자원이 계통에 도입될 경우 이 필요 예비력량을 얼마나 경감시켜주는지에 대한 분석을 통해 보다 체계적으로 유연성자원의 가치 분석이 가능하다.⁷²⁾

72) MPSOPF 모형에 대한 보다 세세하고 기술적인 설명은 조상민·이승문(2019).과 Zimmerman et al(2011) 등을 참조.

[그림 3-5]는 본 연구에 이용된 한국 104-Bus 시스템을 보여주고 있다. 전력거래소의 자료를 받아 전국 전력시스템 정보를 확보하고, 이를 현실적인 수준으로 축소해서 765kV와 345kV 수준까지 반영하여 전력시스템 모형을 구축하였다. 본 모형에서는 약 280여 개의 전통적 발전기의 기술적 특성과 비용 특성을 반영하였다. 네트워크 제약의 경우 2030년 시나리오의 경우 정확한 송전설비 계획에 대한 정보가 없고, 기존의 송전망 용량으로는 새롭게 보급되는 신재생 발전량을 수용하지 못해 최적해가 도출되지 않는 등의 기술적인 문제로 인해 송전망 제약은 본 모형에서 반영하지 않았다.

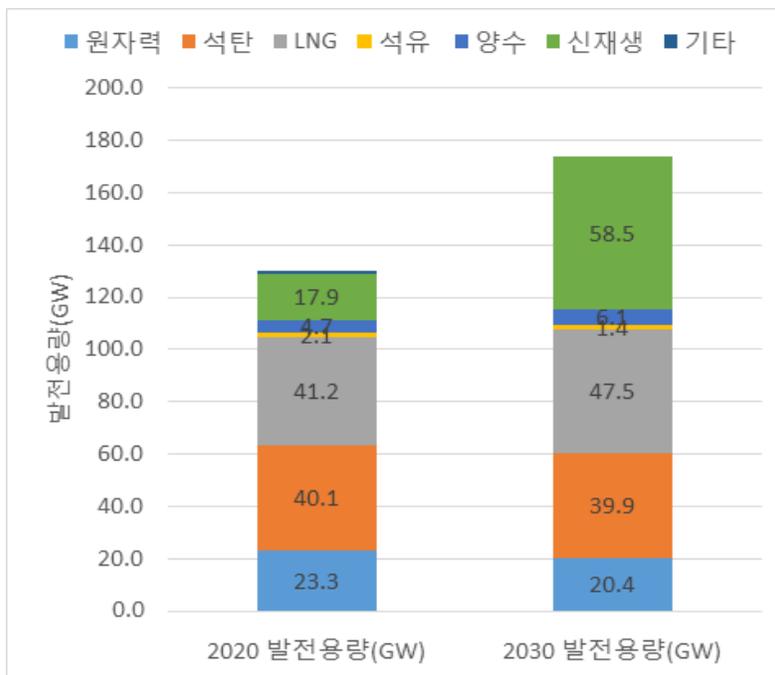
[그림 3-5] 한국 104-Bus 전력시스템



자료: Jeon et al.(2019), p.6.

[그림 3-6]은 모형에 반영된 2020년과 2030년의 원별 발전 설비용량 규모를 보여준다. 2020년 발전 설비용량은 전력거래소 전력통계정보 시스템(EPSIS)에서 2020년 1월까지 도입된 가용 가능한 발전 설비용량을 기준으로 산정하였다. 2030년 발전 설비용량은 가장 최근에 발표된 국가계획인 8차전력수급계획을 기반으로 적용하였다. 2020년과 2030년에서 두드러진 발전 설비용량의 차이는 원자력과 석탄화력은 감소한 반면, LNG는 증가하고, 신재생발전은 17.9GW에서 58.5GW로 대폭 증가한다는 점이다.

[그림 3-6] 원별 발전 설비용량, 2020년 vs 2030년



자료: 전력거래소 EPSIS 자료 및 8차전력수급계획 기반 재구성.

<표 3-3>은 분석에 반영된 발전원별 열량단가를 보여준다. 개별 발전기 비용함수형태는 고정되어있지만 해당발전기에 투입되는 연료의 가격은 계속해서 변동하기 때문에 연료의 열량단가에 따라 발전비용이 달라진다. 최근의 원별 발전비용을 반영하기 위해 본 연구에서는 2020년 6월 기준의 발전원별 열량단가를 <표 3-3>과 같이 적용하였다.

<표 3-3> 발전원별 열량단가

(원/Gcal)	원자력	유연탄	무연탄	유류	LNG
열량단가	2,433	23,664	27,394	71,534	46,310

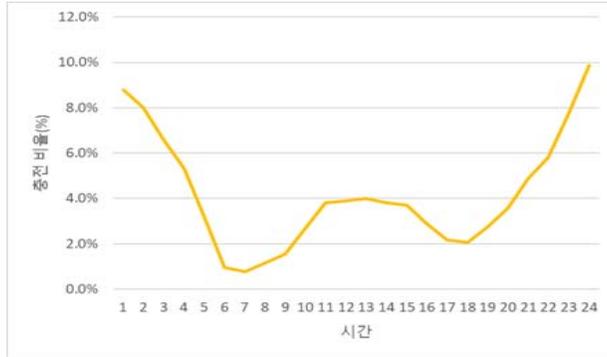
자료: 전력거래소 EPSIS 6월 기준 자료.

2.3. 전기차 관련 주요 가정 및 전제조건

2.3.1. 충전 및 주행 프로파일

[그림 3-7]은 평균적인 시간별 전기차 충전 비율 프로파일을 보여준다. 완속과 급속 충전 프로파일을 기반으로 완속은 6.2시간의 평균충전지속시간을, 급속은 0.5시간의 충전지속시간을 적용하였다. 그리고 현재의 충전인프라를 반영해서 완속과 급속의 충전비율을 91%:9%로 가정하였다.

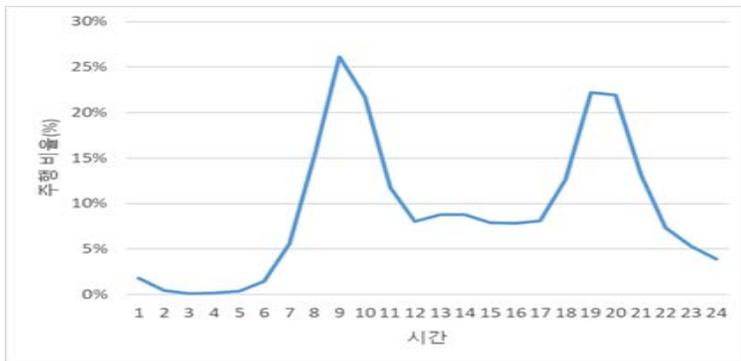
[그림 3-7] 전기차 충전 비율 프로파일



자료: 박규호 외(2017), 환경부(2017) 기반 재추정.

[그림 3-8]은 평균적인 시간별 자동차 주행 비율 프로파일을 보여준다. 본 주행 비율 프로파일은 전체 자동차중 해당시간에 자동차가 도로 위에서 주행하고 있을 비율을 보여주는 프로파일이다. 자동차 출발 비율 프로파일에 일일 평균 주행시간인 2.19시간을 적용해서 본 프로파일을 추정하였다.⁷³⁾

[그림 3-8] 자동차 주행 비율 프로파일



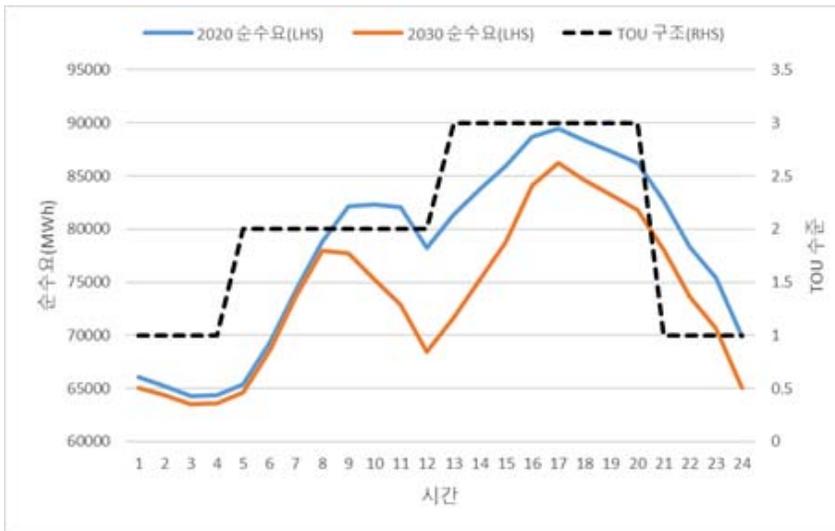
자료: 교통안전공단(2014) 기반 재추정.

73) 교통안전공단(2014), 충전 프로파일과 주행 프로파일에 대한 보다 자세한 가정은 조상민·이승문(2019) 참조.

2.3.2. TOU 수요 추정

[그림 3-9]는 2020년과 2030년 여름철 대표일의 순수요와 이를 기반으로 현재의 3단계 TOU를 적용했을 때 이상적인 TOU 구조를 보여주고 있다. 현행 TOU는 저부하 10시간, 중부하 8시간, 고부하 6시간으로 나누어서 각 시간대별로 일정한 요금을 적용하는 구조로 되어 있는데, 이 구조를 본 연구에 그대로 적용하였다.

[그림 3-9] 2020와 2030 순수요 및 최적 TOU 구조



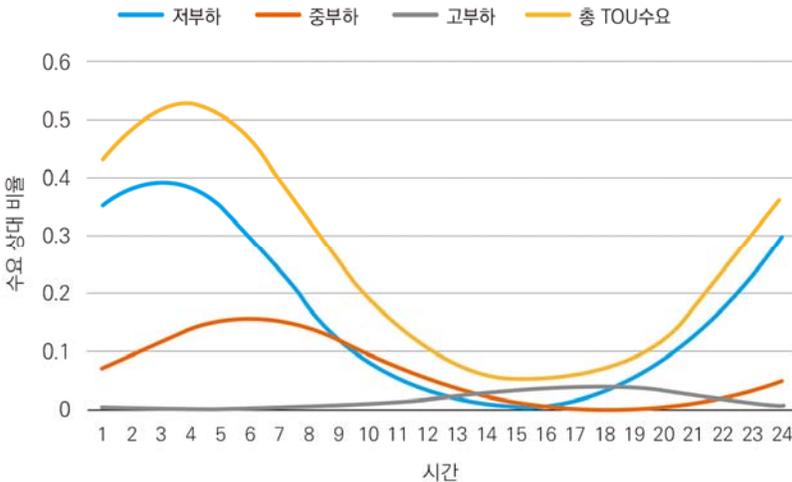
자료: 저자 작성.

[그림 3-10]은 [그림 3-9]에서 적용된 TOU 구조를 바탕으로 이 요금제에 반응한 전력수요패턴을 추정하였다. 전력가격에 대한 전력수요의 가격탄력성은 선행연구가 거의 없고, 상황과 시간, 환경에 따라 상이한 형태를 보이며 전력수요 자체의 불확실성 때문에 추정을 하기가 상당

히 어려운 측면이 있다. 따라서 1차년도 연구에서 적용했던 방법과 동일하게 Dubey et al.(2015)의 방법론을 적용해서 전력수요가 TOU 요금제에 반응하는 형태가 정규분포 함수형태를 따르는 것으로 가정하였다.

경부하, 중부하, 고부하 각각의 요금제에서 해당 시간대에 정규분포를 따르는 함수를 적용하여서 전력수요의 행태를 적용하였고, 최종 수요의 형태는 개별 전력수요곡선을 중첩하여서 도출하였다. 전력수요의 규모는 현재 각 요금 구간별로 경부하:중부하:고부하에서의 전력수요 비중이 54:33:13인 점을 적용하여서 각 구간의 전력수요가 이 비율에 해당하도록 조정하였다.

[그림 3-10] 최적 TOU에 반응한 전력수요패턴 추정



자료: 저자 작성.

2.3.3. 전기차 관련 물리적 전제

<표 3-4>와 <표 3-5>는 본 연구에 적용된 전기차의 물리적인 전제 조건과 기타 가정을 보여준다. 전체적인 가정치는 2019년 수행한 1차년도 수치에 기반하고 있다. 기존 연구와 차이점을 살펴보면, 2020년의 평균 전기차 배터리 용량은 2019년 용량 대비 4% 증가한 것으로 가정하였다. 전기차 등록 대수는 2020년 약 192,101대에서 2030년 약 300만대까지 증가할 것으로 전망된다.⁷⁴⁾ 전기차 배터리의 가용가능 범위를 뜻하는 Depth of Discharge(DoD)의 기준은 70%로 설정하였고,⁷⁵⁾ 전기차 사용자들이 V2G 서비스에 제공하는 가용가능 범위를 제한하고 싶어 하는 성향을 반영해서 DoD를 40%로 제한하는 시나리오를 추가하였다. 이 중 실제 상황과 유사한 것으로 판단되는 DoD 40% 시나리오를 기준시나리오로 설정하였다.

전망된 전기차 보급목표를 기반으로 추산하면 전기차 배터리 총 용량은 2020년 9GWh에서 2030년 208GWh로 약 23배 증가할 것으로 나타났다. 전기차 배터리의 시간당 최대충전량은 2020년과 2030년에서 각각 1.5GW와 25.5GW 규모로 추정되는데 이는 피크수요 대비 각각 2%와 25% 수준이다. 변동성 재생에너지 발전 용량 대비 전기차 배터리의 최대 충전량 비율은 2020년과 2030년에서 각각 약 11%와 50%에 이를 것으로 추정되었다.

74) 산업부(2019), p.7.

75) IRENA(2019), p.37.

〈표 3-4〉 전기차 물리적 전제조건

	2020	2030	
일평균주행거리 ¹	52	52	km
평균연비 ²	5.43	5.43	km/kWh
일평균 에너지사용량	9.58	9.58	kWh
배터리 용량 ³	46.8	69.3	kWh
일평균 주행시간 ⁴	2.19	2.19	hr
속도별 충전비율	7:2:1	7:2:1	휴대용:완속:급속
전기차수 ⁵	192,101	3,000,000	
Depth of Discharge I ⁶	70%	70%	
Depth of Discharge II	40%	40%	
일일 에너지사용량	1,839.6	28,729.3	MWh/day
평균 충전 속도	8.5	8.5	kWh/hr
평균 방전 속도	8.5	8.5	kWh/hr
충·방전 효율	90%	90%	kWh
총 배터리 용량	8,990.3	207,826.3	MWh

1. 제주 전기차 일평균 주행거리, 손상훈(2019), p.5.
2. 시중 6종 EV차량(아이오닉, SM3, 쏘울, 코나, 니로, 볼트, BMW i3) 평균.
3. 시중에 6종 EV차량 평균(보급형 배터리 모델 포함), 2030년 용량은 연평균 4% 증가율 적용.
4. 교통안전공단(2014) 기반 추정; 5. 산업부(2019), p.7.; 6. IRENA(2019), p.37.
자료: 조상민·이승문(2019) 기반 재작성.

〈표 3-5〉 전기차 기타 가정조건

	2020	2030	
가용가능 총배터리 용량(DOD 70%)	6,293.2	145,478.4	MWh
가용가능 총배터리 용량(DOD 40%)	3,596.1	83,130.5	MWh
총 최대 충전 속도	1,632.9	25,500.0	MWh
피크수요 ¹	91,166.4	101,065.0	MWh
피크수요대비 EV충전비율	0.02	0.25	
태양광+풍력 용량 ¹	14,478	51,204	MW
재생용량대비 EV충전비율	0.11	0.50	

자료: 저자 작성. 8차전력수급계획 기반 추정치.

3. 수요제어 방법별 가치 분석

3.1. 시나리오 설정

<표 3-6>은 본 연구에서 전국 전기차 수요자원의 경제적 가치를 분석하기 위해 설정한 시나리오를 보여준다. Case 1은 전기차 충전에 아무런 제어가 없는 현재 상황이 적용될 경우, Case 2는 TOU가 적용될 경우, Case 3은 VPP기술을 기반으로 스마트 충전을 통해 전기차를 제어하며 충전만 가능한 V1G일 경우, Case 4는 스마트 충전을 통한 제어를 하면서 충·방전이 모두 가능한 V2G일 경우의 시나리오를 뜻한다. 이때 Case 4는 다시 Case 4A와 Case 4B로 나뉘는데 Case 4A는 IRENA(2019)에서 권고한 통상적인 전기차 배터리의 DoD인 70%를 활용하는 경우이고, Case 4B는 소비자의 선호를 반영해서 전기차 배터리를 더 제한적으로 사용하는 DoD 40%가 적용된 시나리오이다.

이 5가지 시나리오를 각각 2020년과 2030년의 전력시스템 환경과 전기차 보급수준 하에서 분석하였다. 또한 각 시나리오에서 전기차 수요자원에 대한 제어수준과 이 제어수준을 실현하기 위해서 발생하는 구현비용의 수준을 제시하였다. TOU에서 스마트 충전으로 그리고 V1G에서 V2G로 갈수록 제어수준이 높아지는 것을 알 수 있다. 또한 제어수준이 높아질수록 구현비용의 수준도 증가하는 것을 알 수 있다.

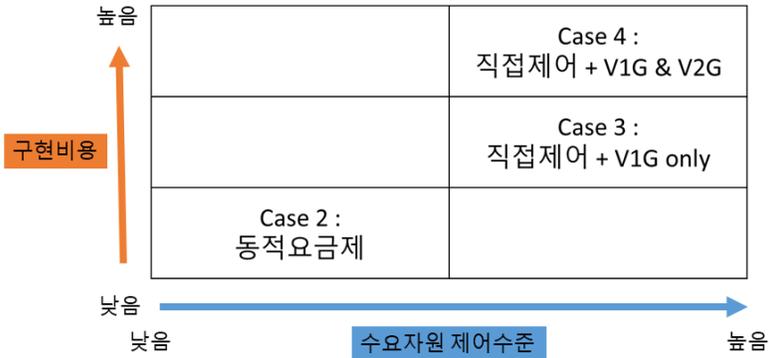
〈표 3-6〉 분석 시나리오 설정

시나리오	2020년	2030년	제어수준	구현비용
Case 1 : Base case	현재 EV 충전 패턴		매우 낮음	매우 낮음
Case 2 : TOU	TOU		낮음	낮음
Case 3 : Smart Charging 1	직접제어 + V1G only		높음	높음
Case 4A : Smart Charging 2 (DOD 70%)	직접제어 + V1G & V2G		매우 높음	매우 높음
Case 4B : Smart Charging 2 (DOD 40%)	직접제어+ V1G & V2G		매우 높음	매우 높음

자료: 저자 작성.

[그림 3-11]은 앞서 제시한 시나리오별로 수요자원의 제어수준과 구현비용간의 관계를 보여주고 있다. Case 2는 TOU가 제시될 경우 전기차 사용자가 자발적으로 반응하는 것이기 때문에 수요자원의 제어수준은 제한적인 대신 구현비용도 거의 들지 않는다. 하지만 Case 3은 전기차 수요자원을 직접제어하기 때문에 제어수준이 높아지고, 스마트 충전 서비스를 제공하는 중개사업자에게 수수료를 지급해야 하기 때문에 구현비용도 상대적으로 높아진다. Case 4는 스마트 충전을 통해 충·방전을 모두 제어하기 때문에 제어수준이 매우 높아지고, 구현비용 또한 중개사업자에 대한 수수료와 추가적인 배터리 충·방전으로 인한 사이클링(cycling 비용, 마모비용) 등이 발생하면서 더욱 높아지게 된다.

[그림 3-11] 시나리오별 수요자원 제어수준과 구현비용 관계도



자료: 저자 작성.

3.2. 비용 경감효과 분석

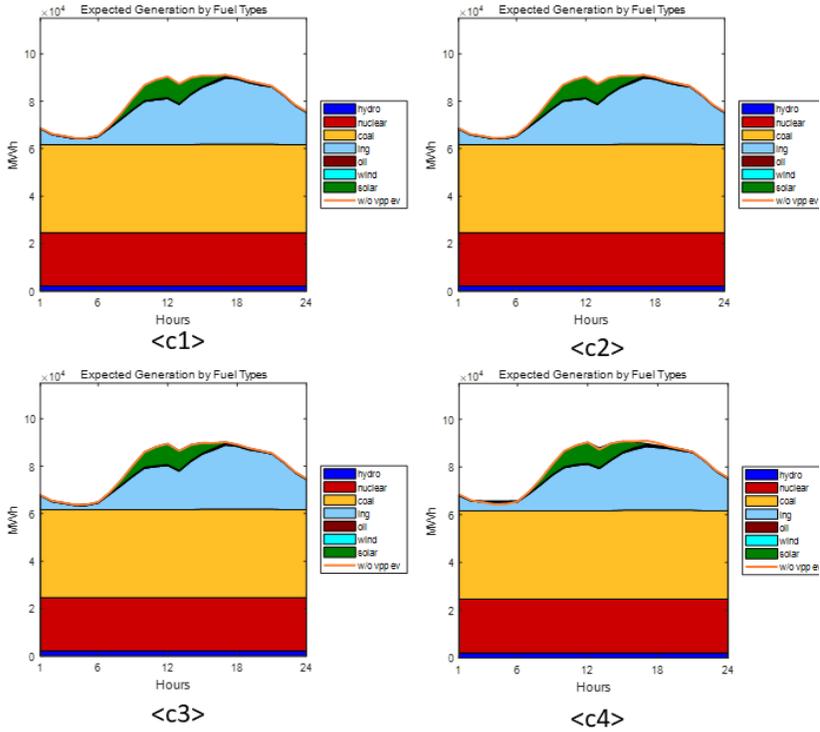
3.2.1. 일일 전력공급비용 경감효과 분석

[그림 3-12]는 2020년 여름철 대표일의 발전원별 발전 프로파일이다. 전체적으로 수력, 원자력, 석탄화력이 기저를 담당하고 있고, LNG 발전이 첨두부하를 담당하고 있는 것을 알 수 있다. 태양광의 경우 보급 수준이 높고 낮시간에 집중된 발전 프로파일로 인해 그래프에서 쉽게 확인이 가능하다. 반면, 풍력은 보급수준이 상대적으로 낮고 발전이 24시간 고르게 퍼져있어 거의 보이지 않는다.

시나리오별 전기차 수요자원의 영향도 2020년 전기차 수요자원의 규모가 전국 전력시스템 규모대비 미미해서 뚜렷하게 관측이 되지는 않는다. 다만 Case 4A에서 전기차 수요자원이 부하이전 효과로 순수요가가 가장 높은 17~18시경의 전력수요를 낮추고 순수요가가 가장 낮은 4~5시경의 전력수요를 높이는 것을 확인할 수 있다. 또한 13~14시경

의 태양광발전을 전력계통에서 추가로 수용할 수 있도록 보조하고 있는 것도 확인할 수 있다.

[그림 3-12] 2020년 일일 발전원별 발전 프로파일, 여름철 대표일



자료: 저자 작성.

<표 3-7>은 2020년 여름철 대표일의 신재생에너지 및 전통전원의 발전량과 필요예비력량을 요약해서 보여주고 있다. Case 2의 경우 Case 1대비 풍력발전이 소폭 증가하면서 그만큼 전통전원 사용이 경감하였고, 필요예비력량도 소폭 감소하였다. Case 3의 경우 Case 2보

다는 두드러지지만, 여전히 제한적인 풍력과 태양광 발전이 증가하는 것이 관측된다. 반면, 필요 예비력량 감소에서는 상당부분 효과적으로 기여하고 있음을 알 수 있다.

Case 4B는 풍력발전과 태양광발전이 증가하였지만 전통전원 발전량은 오히려 증가하는 것으로 나타났다. 이는 전기차 배터리가 V2G기술로 활발하게 충·방전이 이루어질 경우 배터리 충·방전 손실로 인해 사용량보다 더 많은 전력이 충전되어야 하기 때문에 전력 수요가 증가하기 때문이다. 예비력 경감에 있어서 Case 4B가 가장 효율적인 모습을 보여주며 Case 1대비 약 35%의 필요예비력이 줄어든다.

〈표 3-7〉 2020년 일일 발전량 및 예비력 분석, 여름철 대표일

E[MWh/일]	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4B
풍력발전	9,425	9,432	9,450	9,439
태양광발전	53,508	53,508	53,607	53,537
전통원발전	1,864,137	1,864,127	1,864,106	1,864,327
필요예비력	117,280	117,249	94,451	87,106

자료: 저자 작성.

<표 3-8>은 여름철 대표일의 전력시스템 운영비용을 요약해서 보여준다. <표 3-7>의 결과와 유사하게 Case 2는 Case 1대비 발전비용과 예비력 비용에 있어서 제한적인 경감효과를 보여주지만 Case 3은 발전비용경감은 제한적이지만 예비력 비용은 약 20% 수준으로 경감시켜주는 것을 알 수 있다. Case 4B의 경우 발전비용은 약 82백만원/일, 예비력 비용은 약 89백만원/일로 두 부분 모두 상당히 높은 비용경감이 발생하는 것을 알 수 있다. 발전비용경감은 앞서 언급하였듯이 충·

방전 손실로 인해 전통전원 사용량이 증가함에도 불구하고, 비싼 피크 시간의 수요를 발전비용이 낮은 off-피크 시간으로 옮겨주기 때문에 저렴한 발전원의 이용률이 올라가기 때문이다. 예비력비용 경감은 V2G를 활용한 스마트 충전이 예비력을 효율적으로 제공하기 때문이다.

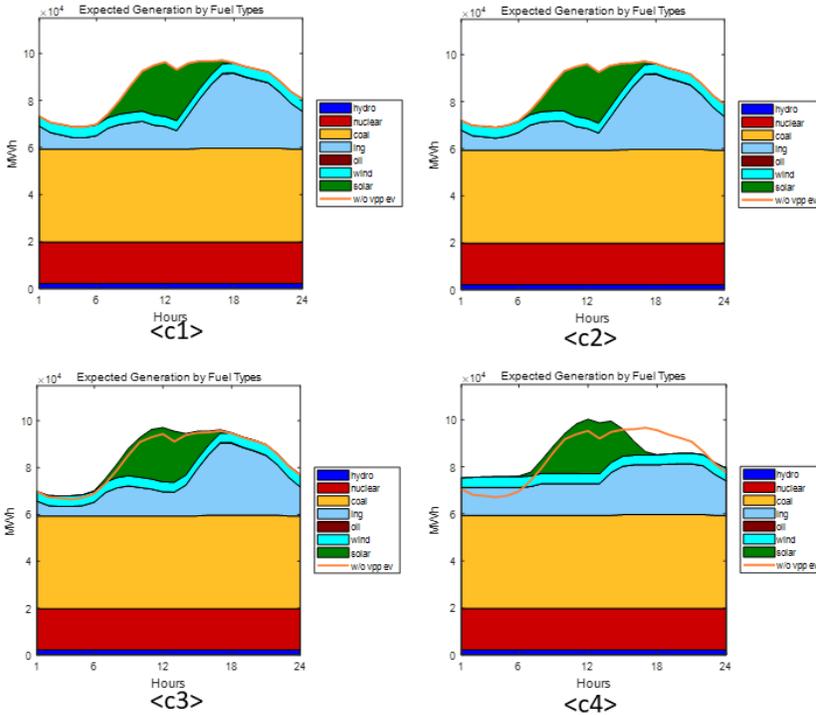
〈표 3-8〉 2020년 일일 전력시스템 운영비용 분석, 여름철 대표일

E[백만원/일]	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4B
발전비용	83,242	83,232	83,237	83,160
예비력비용	348	339	280	259
운영비용	83,590	83,571	83,518	83,419

자료: 저자 작성.

[그림 3-13]은 2030년 여름철 대표일의 발전원별 발전 프로파일을 보여준다. 전통전원은 2020과 유사한 형태를 보이지만 태양광과 풍력 발전은 대폭 증가한 것을 알 수 있다. 전기차 수요자원의 효과는 2020년과 비교하여 극명하게 나타난다. 시나리오별 전기차 수요자원의 효과의 경우 Case 2는 TOU를 통한 수요자원 반응 규모가 크지 않아 Case 1과 크게 다르지 않은 형태를 보여준다. 반면 Case 3에서는 전기차 전력수요가 순수요가 낮은 2~4시와 12~14시에 집중되면서 전체적으로 순수요의 형태가 완만해지고 부드러워지는 것을 확인할 수 있다. Case 4A는 전기차 수요자원이 V2G기술을 통해 적극적으로 활용되면서 순수요가 높은 시간의 수요를 낮은 시간으로 능동적으로 이동시켜 순수요를 상당히 평탄화하는 것을 알 수 있다.

[그림 3-13] 2030년 일일 발전원별 발전 프로파일, 여름철 대표일



자료: 저자 작성.

<표 3-9>는 2030년 여름철 대표일의 신재생에너지 및 전통전원의 발전량과 예비력량을 요약해서 보여주고 있다. Case 2의 경우 [그림 3-12]상에서는 뚜렷하게 확인되지 않았지만 Case 1대비 전통전원 발전량이 약 1,131MWh/일 감소하고, 필요예비력량 또한 약 19,404MWh/일 감소한 것을 알 수 있다. Case 3은 V1G 기술을 통한 전기차 자원이 예비력 경감에 중점적으로 기여하여 전통전원 발전량은 약 914MWh/일 감소한 반면 예비력은 약 190,099MWh/일로 대폭 경감된

것을 알 수 있다. Case 4B는 배터리 충·방전 손실로 인해 전통전원 발전량은 오히려 약 2,860MWh/일 증가했지만 예비력은 317,979MWh/일이 감소해서 풍력과 태양광발전이 유발하는 높은 변동성과 불확실성을 경감시키는데에 상당히 효과적으로 기여할 수 있음을 알 수 있다.

〈표 3-9〉 2030년 일일 발전량 및 예비력 분석

E[MWh/일]	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4B
풍력발전	105,768	106,268	106,169	106,091
태양광발전	139,048	139,647	139,531	139,245
전통원발전	1,808,654	1,807,523	1,807,740	1,811,514
예비력	373,358	353,954	183,259	55,379

자료: 저자 작성.

<표 3-10>은 2030년 여름철 대표일의 전력시스템 운영비용을 보여 준다. Case 2는 Case 1대비 발전비용은 약 308백만원/일, 예비력비용은 약 47백만원/일 경감되는 것으로 나타났다. Case 3은 Case 1대비 발전비용은 약 234백만원/일, 예비력비용은 약 564백만원/일 경감되면서 예비력비용 경감효과가 더 큰 것으로 나타났다. Case 4B의 경우 발전비용은 약 1,250백만원/일, 예비력비용은 약 942백만원/일을 경감되어 둘 다 높은 경감효과를 보이는 것으로 나타났다.

〈표 3-10〉 2030년 일일 전력시스템 운영비용 분석

[백만원/일]	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4B
발전비용	86,591	86,283	86,357	85,341
예비력비용	1,107	1,060	543	165
운영비용	87,698	87,343	86,901	85,506

자료: 저자 작성.

3.2.2. 대당 월 평균비용 경감 효과 분석

여기서는 전기차의 수요자원 참여율에 따른 전기차 1대당 월평균 비용경감 효과를 분석한다. <표 3-11>은 앞서 추정한 2030년 전기차 수요자원의 전력시스템 운영비용 경감효과를 추정해서 전기차 대당 월평균 경감액을 보여준다. 전기차가 수요자원 프로그램에 참여하는 참여율에 따른 대당 비용경감 효과의 차이를 살펴보기 위해 참여율을 10%에서 100%까지 20%씩 증가시켜가면서 분석하였다. 추가로 분석한 6.4%의 참여율은 2030년 전기차 수요자원의 규모가 2020년과 같아지는 규모로 두 연도를 직접적으로 비교 분석하였다. 전기차 수요자원의 연간 비용경감 효과는 계절별 대표일에 대한 비용경감 효과를 분석해서 보간법을 기반으로 연간비용을 추정하였다.

전기차의 수요자원 참여율이 높을수록 전기차 1대당 비용경감 효과는 감소하는 가운데, 10% 참여율 수준에서 Case 2는 5,807원/월, Case 3은 2,0461원/월, Case 4A는 83,095원/월, Case 4B는 591,62원/월인 것으로 나타났다. 반면 100% 참여율에서는 Case 2는 3,617원/월, Case 3은 7,807원/월, Case 4A는 22,980원/월, Case 4B는 21,920원/월로 대당 비용경감 효과가 절반 이상으로 대폭 감소하는 것을 알 수 있다.

30%를 실현가능한 참여율 수준으로 고려한다면⁷⁶⁾ Case 2는 약 4,800 원/월 수준, Case 3은 약 15,000원/월 수준, Case 4A는 약 56,000원/월, Case 4B는 약 41,000원/월 수준의 경감효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

<표 3-11> 2030년 전기차의 수요자원 참여율별 월평균 경감액 분석

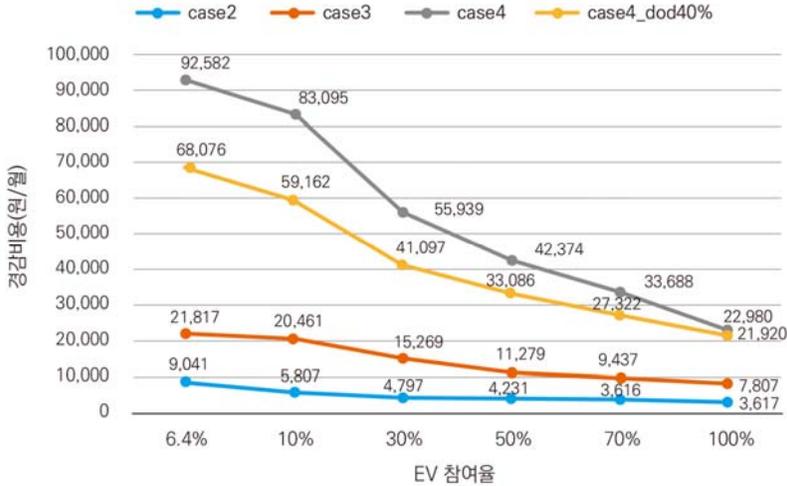
(원/월)	Case 2	Case 3	Case 4A	Case 4B
p6.4%	9,041	21,817	92,582	68,076
p10%	5,807	20,461	83,095	59,162
p30%	4,797	15,269	55,939	41,097
p50%	4,231	11,279	42,374	33,086
p70%	3,616	9,437	33,688	27,322
p100%	3,617	7,807	22,980	21,920

자료: 저자 작성.

[그림 3-14]는 <표 3-11>을 도식화해서 전기차 수요자원의 참여율이 높아질수록 전기차 대당 비용경감 편익이 얼마나 감소하는지를 보여준다.

76) 이는 본 장에서 도출된 비용경감액, 즉 전기차 수요자원의 전력계통 편익과 제4장에서 분석한 수용의사액 결과의 비교를 통해 대략 설정한 것임.

[그림 3-14] 2030년 전기차 대당 월 경감액



자료: 저자 작성.

<표 3-12>는 2020년과 2030년 전기차 수요자원의 월평균 경감액을 비교한 것이다. 2020년과 2030년의 비교는 변동성 신재생에너지 보급 수준에 따라 전기차 수요자원의 가치가 어떻게 달라지는지를 살펴보기 위한 것이다. 직접적인 비교를 위해 두 년도의 전기차 보급 대수를 동일하게 설정하기 위해 2030년은 수요자원 참여율 6.4% 시나리오를 사용하였다. 분석 결과 Case 2는 약 2.8배, Case 3은 약 2.0배, Case 4B는 약 2.4배 수준으로 2030년의 월평균 경감액이 더 높은 것으로 나타났다. 이는 태양광, 풍력과 같은 변동성 신재생에너지의 비중이 높아질수록 전력계통을 안정적으로 운영하는데 필요한 비용은 커지는데, 전기차 수요자원이 이 비용을 효과적으로 줄여주기 때문이다.

〈표 3-12〉 전기차 수요자원 월평균 경감액 비교, 2020 vs 2030

(원/월)	Case 2	Case 3	Case 4A	Case 4B
2020	3,277	11,071	36,709	28,094
2030_p6.4%	9,041	21,817	92,582	68,076

자료: 저자 작성.

3.3. 순 비용 경감효과 분석

전기차 수요자원의 순수한 경제적 가치를 추정하기 위해서는 앞서 분석한 전기차 수요자원의 전력시스템 비용 경감효과에서 수요자원 활용에 투입되는 구현비용을 차감해야 한다. 본 절에서는 전기차 수요자원 구현비용의 주요 항목인 중개사업자 수수료 비용과 배터리 싸이클링 비용을 시나리오별로 추정하여 전기차 수요자원의 순 비용 경감효과를 분석하였다.

3.3.1. 중개사업자 수수료 비용

스마트 충전을 기반으로 V1G와 V2G를 적용하기 위해서는 중개사업자가 분산된 전기차 수요자원을 통합제어 할 수 있어야 한다. 이 서비스를 제공해주는 대가로 중개사업자는 전기차 수요자원 제공자로부터 일정 수준의 수수료를 받게 된다.

중개사업자가 수령하는 수수료 비용구조는 현재의 요금구조를 기반으로 추정하였다. 현행 제도하에서 용량정산금은 kW당 43,000원, 에너지 정산금은 kWh당 85원을 최대 60시간에 대해서 받을 수 있다. 이에 전기차 한 대당 8.5kW의 충전 속도와 수수료를 15%(현재 일반적

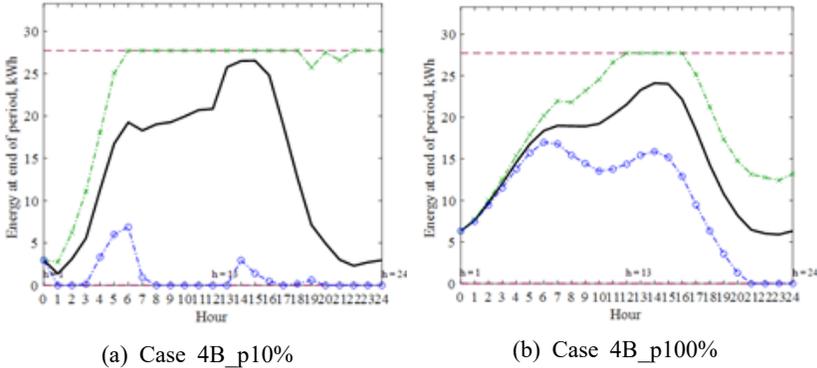
인 수수료율은 30% 수준이지만 2030년 전기차 수요자원이 많아져 규모의 경제 달성 시 수수료율 50% 하락 적용)를 적용하면 월평균 대당 수수료는 약 5,321원/월이 된다. 이 금액을 스마트 충전이 적용되는 V1G와 V2G의 중개사업자 수수료 비용으로 적용하였다.

3.3.2. 배터리 사이클링 비용

기본적으로 일일 평균 주행에 사용되는 에너지의 양은 앞서 제시된 바와 같이 9.58kWh/일인데 Case 4에서는 V2G가 적용될 경우 배터리 충·방전이 저장장치 용량이 허용하는 한도 내에서 추가로 발생하게 된다. 이렇게 배터리 사이클링이 추가로 발생하고 배터리 수명이 단축되어서 교체시기가 앞당겨지기 때문에 이를 추가적인 비용요소로 고려해야 한다. 따라서 Case 4에서 배터리의 일간 사이클링 수준을 측정해서 평균적인 일일 주행에 사용되는 양을 초과하는 만큼을 추가 비용으로 반영하였다.

[그림 3-15]는 여름철 대표일의 Case 4B 시나리오에서 전기차 수요자원 참여율이 10%와 100%일 때 전기차 배터리에 저장된 에너지 수준(state of charge, SOC)이 어떻게 변화하는지 보여주고 있다. 검은색 실선이 평균적인 SOC를 보여주는데 10% 참여율에서는 참여하는 전기차의 배터리자원이 수행해야 할 일이 상대적으로 많아 전기차의 충·방전이 더욱 적극적으로 일어나고 있음을 알 수 있다. 100% 참여율에서는 배터리 자원의 과공급이 이루어져 상대적으로 배터리 충·방전이 제한적으로 이용됨을 알 수 있다.

[그림 3-15] 2030년 일일 전기차 SOC 변동 프로파일



(a) Case 4B_p10%

(b) Case 4B_p100%

자료: 저자 작성.

<표 3-13>은 시나리오별로 배터리 SOC의 사이클링이 얼마나 발생하는지를 요약해서 보여준다. [그림 3-14]에서 보았던 Case 4A의 10% 참여율과 100% 참여율의 경우 배터리 cycle이 각각 41kWh/일과 20.1kWh/일로 나타났다. Case 4B의 경우 가용 가능한 배터리량이 전체의 40%로 제한되기 때문에 배터리 사이클링 수준이 전체적으로 줄어드는 것을 알 수 있다. 반면 참여율이 증가해도 배터리 DoD 제약으로 인해 배터리자원의 과공급이 상대적으로 적게 발생해서 배터리 사이클링 감소폭이 크지 않다.

순배터리 사이클은 앞서 설명한 일일 평균주행에 사용되는 에너지량인 9.58kWh/일을 전체 배터리 사이클에서 차감한 값이다. V2G 활용으로 인한 추가적인 배터리 사이클링 비용은 이 순증 배터리 사이클 값에 기반해서 추정되어야 한다. 순배터리 사이클링 비용 추정을 위해 2030년의 kWh당 전기차 배터리팩 비용은 \$61/kWh, 배터리 수명은 10년, 환율은 1,200원/\$를 적용하였다.⁷⁷⁾

<표 3-13> 2030년 전기차의 수요자원 참여율별 배터리 사이클링 비용

	배터리 사이클(kWh/일)		순증 배터리 사이클(kWh/일)		순증 사이클링 비용(원/월)	
	Case 4A	Case 4B	Case 4A	Case 4B	Case 4A	Case 4B
p6.4%	41.6	25	32	15.5	19,237	9,296
p10%	41	25	31	15.6	18,818	9,173
p30%	38	24	29	14.9	17,277	8,940
p50%	33	24	23	14.3	13,829	8,612
p70%	26.8	22.6	17.2	13	10,346	7,825
p100%	20.1	18.2	10.5	8.6	6,334	5,186

자료: 저자 작성.

3.3.3. 순 비용 경감효과 추정

<표 3-14>는 2030년 시나리오별 월평균 구현비용을 보여준다. 구현 비용은 앞선 설명한 중개사업자 수수료와 배터리 사이클링 비용으로 구성되어 있다. Case 2의 경우 이 두 가지의 구현비용은 모두 발생하지 않는다. TOU는 중개사업자가 필요 없고, 매일 전기차 사용량만큼 배터리를 사용하기 때문에 추가적인 사이클링 비용이 발생하지 않는 것이다. Case 3은 일일 전기차 사용량만큼만 V1G로 충전이 이루어지기 때문에 배터리 사이클링 비용은 발생하지 않고, 앞서 추정한 5,321 원/월의 중개사업자 수수료만 발생한다. Case 4A와 Case 4B는 Case 3과 동일한 중개사업자 수수료와 함께 <표 3-12>에서 추정한 추가적인 배터리 사이클링 비용이 발생한다. Case 4A는 Case 4B대비 가용 가능한 배터리 용량이 커져 배터리 사이클링 비용이 더 크게 발생한다.

77) BNEF(2019) 홈페이지기사(최종접속일: 2020.12.14.).

〈표 3-14〉 2030년 전기차의 수요자원 참여율별 월평균 구현비용

(원/월)	Case 2	Case 3	Case 4A	Case 4B
p6.4%	-	5,321	24,558	14,618
p10%	-	5,321	24,139	14,494
p30%	-	5,321	22,599	14,261
p50%	-	5,321	19,150	13,933
p70%	-	5,321	15,667	13,147
p100%	-	5,321	11,655	10,507

자료: 저자 작성.

<표 3-15>는 <표 3-11>의 경감액에서 <표 3-14>의 구현비용을 차감한 월평균 순 경감액을 보여준다.

〈표 3-15〉 2030년 전기차의 수요자원 참여율별 월평균 순경감액

(원/월)	Case 2	Case 3	Case 4A	Case 4B
p6.4%	9,041	16,496	68,024	53,459
p10%	5,807	15,140	58,956	44,667
p30%	4,797	9,948	33,341	26,835
p50%	4,231	5,958	23,224	19,153
p70%	3,616	4,116	18,022	14,176
p100%	3,617	2,486	9,325	11,413

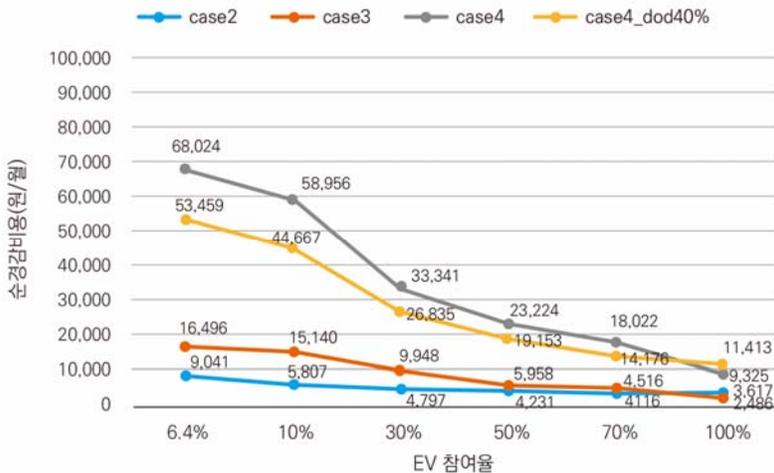
자료: 저자 작성.

이 비용이 실질적인 전기차 수요자원의 순가치로 이해하면 될 것이다. 전기차 수요자의 참여율에 따라 Case 2는 3,617원/월~9,041원/월, Case 3은 2,486원/월~16,496원/월, Case 4A는 9,325원/월~68,024원/월,

Case 4B는 11,413원/월~53,459원/월의 순경감액을 보여준다. 2020년 7월 인상된 전기차 급속 충전요금인 255.7원/kWh를 적용할 경우 전기차 월평균 충전비용은 약 73,460원/월이다. 30% 참여율을 현실적인 수준이라고 가정한다면 Case 4A와 Case 4B는 월평균 충전비용의 40%에 해당하는 비용경감 수준을 보이기 때문에 충분히 전기차 사용자가 수요자원 프로그램에 참여하도록 할 유인이 있을 것으로 보인다.

[그림 3-16]은 <표 3-15>의 월평균 순경감액을 그래프로 도식화하여 보여준다. Case 4B 기준 월평균 순경감액이 참여율 6.4%에서 5만3천 원 수준을 유지하다가 참여율 30%에서 2만7천 원 수준으로 절반 가까이 대폭 하락하는 것을 알 수 있다. 그리고 30% 이후의 참여율 증가에서는 순경감액의 감소가 둔화가 된다. 참여율 30%까지는 Case 4가 Case 2, Case 3과 순경감액이 차이가 뚜렷하게 나는 것을 확인할 수 있다.

[그림 3-16] 2030년 전기차 대당 월 순경감액



자료: 저자 작성.

4. 소결

본 장에서는 풍력과 태양광 발전의 불확실성을 반영할 수 있는 MPSOPF 전력시스템 최적화 모형을 기반으로 전기차 수요자원의 경제적 가치를 분석하였다. 본 분석의 핵심적인 결과는 다음과 같이 요약이 가능하다.

첫째, 전기차 수요자원의 제어수준이 높아질수록 전기차 대당 전력계통 운영비용 순경감액은 증가하는 것으로 나타났다. 전기차의 수요자원 참여율 30% 수준에서 월평균 순경감액은 Case 2(TOU), Case 3(V1G), Case 4B(V2G_DoD40%)에서 각각 4,797원/월, 9,948원/월, 26,835원/월으로 나타났다. 특히 Case 4의 경우 3만원 수준의 월평균 순경감액이 기대되어 전기차 사용자로 하여금 수요자원 시장에 참여토록 유인하기에 충분한 보상을 제공할 수 있을 것으로 분석된다.

둘째, 신재생에너지 보급수준이 증가할수록 전기차 수요자원의 가치는 증가하는 것으로 분석되었다. 신재생에너지 비중이 높은 2030년의 전기차 수요자원의 월평균 경감액은 2020년 대비 약 2.0배~2.9배까지 크게 나타나는 것으로 분석되었다. 즉 신재생에너지 보급수준이 높을수록 전력계통을 안정적으로 운영하는데 많은 비용이 요구되는데, 이를 전기차 수요자원이 효과적으로 낮춰주는 것이다. 이는 향후 신재생에너지 비중이 늘어날수록 점점 더 전기차 수요자원의 가치가 높아질 것임을 시사한다. 이 결과는 1차년도 연구 결과와 연계할 경우 더욱 강건하게 설명이 가능하다. 1차년도 연구에서 분석한 2030년 제주도 전력시스템에서 전기차 수요자원의 가치는 25% 참여율 수준에서 Case 2가 21,924원/월, Case 3가 52,798원/월, Case 4가 158,331원/월인 것으로 나타났다. 2030년 제주도의 피크수요대비 풍력 및 태양광

용량의 비율은 210% 수준으로 전국 기준 50.7%의 4배가 넘는다. 즉 전력계통 내에서 신재생에너지의 보급이 증가할 경우 전기차 수요자원의 가치가 빠른 속도로 증가할 것임을 본 연구와 1차년도 연구 결과와의 비교를 통해서도 유추가능하다.

셋째, 전기차 수요자원의 참여율이 높아질수록 전기차 1대당 수요자원 가치는 하락한다. 전기차 수요자원이 부가가치가 높은 곳부터 순차적으로 활용될 경우 전체 수요자원의 규모가 커질수록 대당 편익은 필연적으로 감소할 수밖에 없다. 따라서 스마트 충전 서비스 참여 소비자에 대한 최적 보상 수준의 결정을 통해 전기차의 수요자원 가치를 극대화하는 전략이 요구된다.

넷째, Case 3과 Case 4의 스마트 충전의 경우 발전비용과 예비력비용 경감효과만을 고려한 것이다. 하지만 피크감축으로 인한 용량비용 경감효과까지 추가로 고려할 경우 편익이 더욱 증가할 수 있다. VPP 기반으로 전기차 자원이 정교하게 제어될 경우 중앙급전 가능한 자원으로 인정받을 수 있어서 용량요금 정산이 이루어질 수 있다. 이럴 경우 전기차 수요자원의 편익은 본 연구에서 도출된 결과보다 클 것으로 추정된다.

제4장 E-mobility 서비스 소비자 수용성 분석 -스마트 충전 보상

제3장에서 스마트 충전이 전력계통에 제공할 수 있는 비용경감 효과 즉, 수요자원으로서의 가치(편익)를 추정하였다. 본 장에서는 스마트 충전 서비스에 대한 소비자의 수용성을 분석하여 스마트 충전 도입 가능성을 살펴보고자 한다. 분석 대상 스마트 충전 서비스는 설문 응답의 편이성, 설문 비용과 연구 기간 등을 고려하여 V2G로 한정하였다.

1. 4장 서론

스마트 충전 서비스는 소비자의 적극적인 참여가 요구되는 DR 서비스와 유사하나 스마트 충전 서비스만의 고유한 특성이 있다. 그것은 전기차가 이동을 목적으로 만들어진 장치이기 때문에 전기차를 운행해야 하는 시간에 서비스가 수행된다면 소비자의 불편이 클 수 있다는 것이다. 반면에 서비스가 수행되어도 해당 차량이 주차상태에 있고 출차 시간까지 원했던 충전량이 채워지면 고객 불편은 거의 없다. 또 다른 특징은 스마트 충전을 위해 활용하고자 하는 배터리와 충전된 전력은 모두 고객이 소유한 것이기에 스마트 충전과 관련된 모든 서비스는 고객이 소유한 자산에 대해 이용 수락을 받아야만 사업자가 서비스에 활용할 수 있다.

따라서 스마트 충전 비즈니스모델이 실현되기 위해서는 스마트 충전 참여자에 대한 적정 수준의 보상이 요구된다. 문제는 이러한 보상 수준이 제3장에서 분석한 전력계통에서의 가치, 즉 편익보다 크다면 스마트 충전을 도입할 근거가 부족해진다.

충전 서비스는 소비자의 참여가 중요하므로 전기차의 보급률이 높아 지더라도 전기차를 유연성 자원으로 얼마나 활용할 수 있는지는 불확실하다. 따라서 좀 더 정확한 예측을 위해서는 체계적인 소비자 연구가 필요하다. 하지만 전기차의 스마트 충전 서비스에 대한 수용성을 분석한 연구와 그 점유율을 예상한 연구는 아직 부족하다. 국내 연구로 Lee et al.(2020)은 일반인을 대상으로 V2G서비스 참여에 대한 월 수용의사액을 조사한 결과 9,821원으로 도출되었다.⁷⁸⁾ 하지만 CVM을 통한 수용성 분석에서는 그 상황에 대한 소비자의 이해도가 중요한데, 본 사례는 일반인을 대상으로 한 연구여서 실제 전기차 사용자의 V2G 서비스 참여 상황에서의 제약을 반영하는데 한계가 있다.

본 연구에서는 전기차 충전에 대한 이해도가 높은 실제 전기차 소유자를 대상으로 설문을 수행하였다. 또한 전문가 자문을 바탕으로 V2G의 기술적 특성과 스마트 충전 서비스의 특성을 고려하여 실제 도입 가능한 형태의 서비스를 가정하여 설문을 설계하고 수행하였다. 연구 방법은 V2G 서비스에 대한 소비자 수용성 도출을 위하여 조건부 가치측정법(Contingent Valuation Methods; CVM)을 이용했다. CVM은 환경재와 같이 시장가격이 존재하지 않는 비시장재화나, 아직 시장에 출시되지 않은 재화 또는 서비스에 대한 수용성을 진술선호(stated preference)방법을 활용해 경제적 가치로 도출하는 방법론이다. 본 연구는 안상훈 외(2008)의 CVM 연구 방법론을 적용하여 실험을 설계하였고, 이중양분선택형(Double Bounded Dichotomous Choice; DBDC) 질문법 모형을 적용하였다.

78) Lee et al.,(2020)은 로그분포 DBDC-CVM을 사용하였으며 (1) 충전 명령이 있을때마다 한 시간동안 충전기에 연결함, (2) 월 4회 V2G 서비스 의무 참여, (3) 주차비용 할인 등의 혜택 부여에 대한 가정.

2. 분석 방법론

재화에 대한 경제적 가치는 사람들이 재화에 대한 선호에 기반하여 형성된다. 소비자들은 보상변화(Compensating Variation)에 기반하여 시장에서 거래되는 시장가격과 의사결정자의 지불의사액(Willingness-to-Pay, WTP)을 비교하여 시장가격보다 WTP 가 높은 경우 구매의사결정을 내리게 된다. 반대의 경우 이득을 포기하는 대가로 수용할 수 있는 손실보다 수용의사액(Willingness-to-Accept, WTA)이 높은 경우 손실을 수용하는 의사결정을 내리게 된다.

본 연구는 소비자가 V2G 서비스를 참여하는데 있어 발생할 손실(충전 시간 제약, 배터리 충전량 제약 등)에 대한 손실에 대한 수용의사액을 추정하는 모형으로 보상변화에 기반하고 있다.⁷⁹⁾ 일반적인 상황에서 개개인의 소득에 미치는 영향이 크지 않을 때 WTP 보다 WTA 가 과대추정되는 경향을 보인다고 알려져 있다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서는 소비자의 V2G 서비스 참여에 따른 보상의 대가를 추정하는 것이 핵심이기 때문에 WTA를 추정하고자 한다.

〈표 4-1〉 편익의 구분

구분	이득(Gain)	손실(Loss)
보상변화	이득에 대한 WTP	수용에 대한 WTA
동등변화	포기에 대한 WTA	예방에 대한 WTP

자료: 저자 작성.

시장가격이 형성되어 있는 경우, 소비자의 보상금액에 대한 소비자의 선택을 통해 WTP 또는 WTA를 비교적 쉽게 추정할 수 있다. 반면,

79) 안상훈(2008), p.297.

시장거래가 형성되지 않는 비시장재화의 경우 경제적 가치를 추정하는데 어려움이 있다. 따라서 비시장 재화의 가치를 추정하기 위하여 현시선호(Revealed Preference; RP), 진술선호(Stated Preference; SP), 편익이전(Benefit Transfer; BT) 접근법을 이용하게 된다.⁸⁰⁾ 제3장에서 신재생에너지의 확산 이후 V2G 서비스도입으로 인해 경감될 계통비용을 활용하여 BT를 추정하였다. 하지만 V2G 서비스 도입 이후 소비자에 대한 충분한 수용성을 확보하지 못한다면 V2G 서비스 활용에 제약이 발생할 것이다.

〈표 4-2〉 CVM 연구단계와 단계별 수행내용

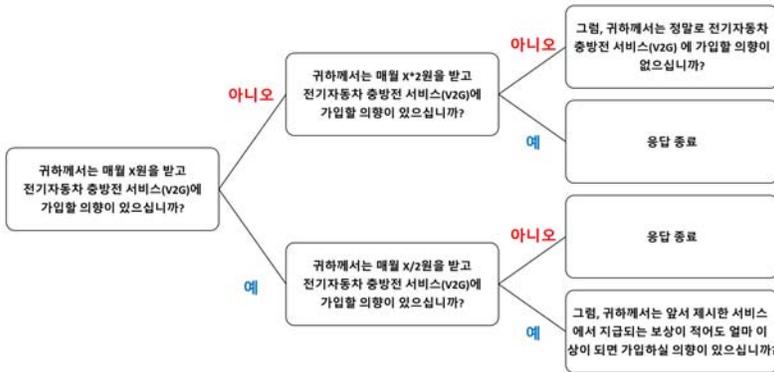
연구단계	수행내용
1	문헌연구 및 현장조사 <ul style="list-style-type: none"> • 가치평가의 목적과 영향 조사 • 문헌연구, 쟁점 파악
2	시장영역의 설정 <ul style="list-style-type: none"> • 목표 모집단, 표본종류와 특성 구상
3	가치평가/조사방법 선택 <ul style="list-style-type: none"> • RP vs SP, CVM vs CE • 대인면접, 우편, 전화, 인터넷 조사 등
4	가상시장 설정 <ul style="list-style-type: none"> • 평가대상 재화/서비스 정의 • 시각적 보조자료 준비 • 지불수단의 선택 • 지불의사 유도방법 선택
5	수정실험설계 <ul style="list-style-type: none"> • 전문가 검토/표적집단토론 • 사전조사 • 제시금액에 대한 실험설계
6	본 설문조사 실시 <ul style="list-style-type: none"> • 표본틀/추출방법/절차 • 무응답률 파악 • 설문지 검증
7	분석 <ul style="list-style-type: none"> • WTP 표본평균과 중위값 및 신뢰구간 추정 • WTP 추정: 실험설계 및 거리변수, 사회·경제변수 선택
8	이론적 타당성 검증 <ul style="list-style-type: none"> • 제시금액에 따른 예/아니오 비율 • 이론적 부합성 검토

자료: 안상훈 외(2008), p.303.

80) 안상훈(2008), p.299.

V2G 서비스는 아직까지 출시되지 않은 가상의 서비스이다. 따라서 유사 속성을 가진 다른 시장을 통해 가치를 추정하는 RP보다는 가상의 시나리오를 통해 소비자의 효용을 파악하는 SP를 통해 보다 합당한 수용성을 도출할 수 있을 것이다. 또한 속성별 우선순위나 효용계수, 지불의사액 등을 도출할 수 있는 선택실험(Choice Experiment) 보다는 가정상황 하에서 단일한 V2G 서비스 상에서의 참여에 대한 수용성을 도출하기 위한 CVM 방법론이 더 적절한 방법론이다. 따라서 본 연구는 SP를 이용한 CVM을 채택하여 V2G 서비스에 대한 가상 시나리오를 제공하고, 이에 대한 답을 DBDC 질문에 응답하는 방식을 통해 V2G 서비스의 금전화된 수용성의 가치를 추정했다.

[그림 4-1] DBDC 문항의 구조



자료: 저자 작성.

DBDC를 통해 WTA를 추정하려면, 초기에 제시된 금액(X원)에 대해 응답자가 ‘예’를 선택한 경우 그보다 낮은 금액 (X/2원)을 한 차례

더 제시한다. 반면에 ‘아니오’를 선택한다면 그보다 높은 금액($X*2$ 원)을 한 차례 더 제시한다. 이 때 반복질문은 반드시 두 차례 뿐 아니라 한번 반(One-and-a-Half Bounded), 세 번, 네 번 등에 걸쳐 이루어질 수 있다. 응답자들의 수용의사 범위에 대해 좀더 많은 정보를 얻을 수 있기 때문에 단일양분선택형(SBDC) 모형에 비해 효율성(statistical efficiency)이 높아지게 된다.⁸¹⁾

응답자 i 의 j 번째 응답을 y_i^j 라 할 때, ‘예-예’ $I_i^{11} = I(y_i^1 = 1, y_i^2 = 1)$, ‘예-아니오’ $I_i^{10} = I(y_i^1 = 1, y_i^2 = 0)$, ‘아니오-예’ $I_i^{01} = I(y_i^1 = 0, y_i^2 = 1)$, ‘아니오-아니오’ $I_i^{00} = I(y_i^1 = 0, y_i^2 = 0)$ 로 네 가지 경우의 응답이 나올 수 있다. 응답자 i 의 j 번째 응답의 입찰가를 각각 bid_i^j 라 한다. 오차항을 정규분포로 가정할 때, WTA에 대한 식은 다음과 같다.

$$WTA_i(z_i, u_i) = z_i\beta + u_i \text{ where } u_i \sim N(0, \sigma^2)$$

위 가정 하에서 각 선택에 따른 선택확률은 다음과 같다.

$$1) \text{ ‘예-예’ } (y_i^1 = 1, y_i^2 = 1)$$

$$\begin{aligned} \Pr_i(1,1) &= \Pr(WTA < bid_i^1, WTA < bid_i^2) \\ &= \Pr(z_i'\beta + u_i < bid_i^1, z_i'\beta + u_i < bid_i^2) \\ &= \Pr(z_i'\beta + u_i < bid_i^2) \\ &= \Pr(u_i < bid_i^2 - z_i'\beta) = \Phi\left(\frac{bid_i^2 - z_i'\beta}{\sigma}\right) \end{aligned}$$

81) Hanemann, Loomis and Kanninen(1991), p.1255.

2) ‘예-아니오’ ($y_i^1 = 1, y_i^2 = 0$)

$$\begin{aligned} \Pr_i(1,0) &= \Pr(\text{bid}_i^2 < WTA < \text{bid}_i^1) \\ &= \Pr(\text{bid}_i^2 < z_i' \beta + u_i < \text{bid}_i^1) \\ &= \Pr(\text{bid}_i^1 - z_i' \beta < u_i < \text{bid}_i^2 - z_i' \beta) \\ &= \Phi\left(\frac{\text{bid}_i^1 - z_i' \beta}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\text{bid}_i^2 - z_i' \beta}{\sigma}\right) \end{aligned}$$

3) ‘아니오-예’ ($y_i^1 = 0, y_i^2 = 1$)

$$\begin{aligned} \Pr_i(0,1) &= \Pr(\text{bid}_i^1 < WTA < \text{bid}_i^2) \\ &= \Pr(\text{bid}_i^1 < z_i' \beta + u_i < \text{bid}_i^2) \\ &= \Pr(\text{bid}_i^1 - z_i' \beta < u_i < \text{bid}_i^2 - z_i' \beta) \\ &= \Phi\left(\frac{\text{bid}_i^2 - z_i' \beta}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\text{bid}_i^1 - z_i' \beta}{\sigma}\right) \end{aligned}$$

4) ‘아니오-아니오’ ($y_i^1 = 0, y_i^2 = 0$)

$$\begin{aligned} \Pr_i(0,0) &= \Pr(WTA > \text{bid}_i^1, WTA > \text{bid}_i^2) \\ &= \Pr(z_i' \beta + u_i > \text{bid}_i^1, z_i' \beta + u_i > \text{bid}_i^2) \\ &= \Pr(z_i' \beta + u_i > \text{bid}_i^2) \\ &= \Pr(u_i > \text{bid}_i^2 - z_i' \beta) = 1 - \Phi\left(\frac{\text{bid}_i^2 - z_i' \beta}{\sigma}\right) \end{aligned}$$

따라서 전체 모집단에 대한 로그우도함수는 다음과 같다.

$$LL = \sum_i \left[I_i^{11} \log(\Pr_i(1, 1)) + I_i^{10} \log(\Pr_i(1, 0)) + I_i^{01} \log(\Pr_i(0, 1)) + I_i^{00} \log(\Pr_i(0, 0)) \right]$$

본 연구는 로그우도함수에 대한 MLE 추정을 통해 결과를 도출한다.

3. 실험설계

3.1. 평가대상 재화

본 실험에서 소비자들이 선택할 재화는 ‘V2G 서비스 참여’이다. V2G 서비스는 전기차 사용자를 대상으로 하기 때문에 전기차 사용자의 서비스에 대한 이해와 서비스 참여에 대한 수용성이 필수적이다. 따라서 전문가 자문을 통해 향후 발생할 서비스에 대한 가정 상황을 설계하고, 응답자의 이해를 돕기 위해 아래의 [그림 4-2]와 같은 그림과 설명문을 포함하였다.

[그림 4-2] V2G 기술의 개요



자료: 한국에너지정보문화재단(최종접속일: 2020.10.09.).

3.2. 설문조사 설계

본 연구의 설문조사 설계를 위하여 전문가 심층 인터뷰를 통해 연구 방법론 설정, 설문조사 대상 선정 등을 논의하여 결정하였다. 기존 내연 기관 자동차를 이용하고 있는 사람은 전기자동차 충전패턴에 대해 인지도가 떨어지고 그 특성을 제대로 이해하기 어려우므로 본 연구의 설문 대상은 현재 전기차를 소유하고 있고, 이용하고 있는 전기차 소유주를 대상으로 한다. 설문지 내용의 명료성과 응답자의 이해도를 확인하기 위하여 표적 집단을 대상으로 심층 인터뷰를 수행하여 설문 문항에 대한 의견을 수렴하였으며 문장이 명료한지, 질문이 현실적인지 등을 검토하였다. 이후 전기차 사용자 그룹을 대상으로 온라인 설문을 수행하였으며, 온라인 설문의 특성상 설문 문항에 대한 정확한 이해를 확인하기 위하여 설명문마다 검증 문항을 포함하여 검증문항의 응답에 따라 문항 진행여부를 결정하였다. 전체 설문 문항은 부록에 첨부되어 있다.

전문가 자문회의를 통해 구성한 V2G 서비스 시나리오는 양방향 전기 시스템으로 전기차 배터리의 수명에 미치는 영향은 미미하며 전기차의 충전잔량에는 영향을 주지 않는 형태이다. 예를 들어 충전기에 연결할 때의 충전잔량이 60%가량이면 최소 60%의 충전량은 보전하면서 이에 대한 초과충전이 이루어진다. 만약 전력망에서 전력이 필요한 상황이면 전력망에 공급되는 배터리는 충전기 연결 이후 충전량부터 60%만큼만 공급하게 된다. 보상과 충전은 별도로 이루어지며, 최종 충전량에 대해서만 전기요금을 지불하게 된다. 서비스 참여 시 일정 시간을 담보로 하여 차량의 배터리를 V2G 서비스에 참여하게 될 것이며, 실제 전기차 소유자가 V2G 서비스 참여여부에 대해서는 인지하지만, 전기차 사용에 대한 실질적 제약이 크지 않으리라고 예상된다.⁸²⁾

V2G 서비스 시행 시 충전기는 충분히 보급되어 서비스 참여에 제약이 발생하지 않은 상황을 가정했고, 급전지시가 필요한 오전 9시 이후부터 22시까지 참여할 수 있는 것으로 가정했다. 또한, 월간 10회 이상 참여시에만 보상금을 수령할 수 있는 조건을 가정했다. 전기차 소유자의 제약은 크게 3가지로 (1) 충전기 연결 시 최종 충전량이 기대 이하일 수 있을 것이라는 것과, (2) V2G 의무 서비스 참여 시간 준수해야 하며(충전기 이탈 시 서비스 참여가 되지 않음), (3) 일정 횟수 이상 의무적 서비스 참여해야 한다는 것이다.⁸³⁾

3.3. 보상금 수령 수단

현실적인 응답을 이끌어내기 위해서는 V2G 서비스 참여에 대한 적절한 보상수단(Payment Vehicle)을 선정하는 것이 중요하다. 지불수단은 추정대상의 서비스와 연관성이 분명하고 응답자가 친숙하게 느낄 수 있어야 한다.⁸⁴⁾ 충전비용에 대한 지급을 일반적으로 매 충전 시 현금(전자결제)으로 지급하기 때문에 본 연구에서는 가장 직관적인 대가인 월간 현금 수령을 가정하여 충전비용과는 별도로 연간 서비스 참여 조건을 만족한 소비자들에게 매월 현금을 지급한다고 가정하였다([그림 4-6]).

82) 서비스 가정과 관련하여 설문지 [그림 4-3], [그림 4-5] 참조.

83) 서비스 가정과 관련하여 설문지 [그림 4-6] 참조.

84) 이해정, 김효진, 유승훈(2018), p.146.

[그림 4-3] 상황 가정(설명문1)과 검증문항

현재 귀하께서는 전기차를 사용하고 있습니다.
 전기자동차를 에너지 저장장치로 활용하기 위하여 V2G(Vehicle to Grid, 자동차 및 연동장치) 서비스를 개발 중에 있습니다.
 V2G 서비스는 양방향 전기 전송으로, 전력 여유량이 부족할 때는 자동차의 배터리의 전력을 전력망에 공급하고,
 전력여유가 있을 때 자동차의 배터리를 충전하는 서비스입니다. **전기차 배터리에 미치는 영향은 미미하며, 전기차 충전 전량에는 영향을 주지 않습니다.**
 (예를들어 전기차 충전전량이 60% 일 때 60% 초과 충전전량 보장)

- 전기차 충전요금은 kWh 당 약 255.7원입니다. (현 상황과 동일)

아래의 질문에 대한 응답은 위에서 제시한 설명문에 부합하는 항목에 체크하여야 합니다.
 부합하지 않은 번호에 체크하시면 다음 설문이 진행되지 않습니다.

전기자동차 V2G 서비스 참여 시 배터리에 미치는 영향은 크며 충전기 연결시의 충전전량에 영향을 준다 (충전된 전기보다 더 소비한다)

- 예 아니오

자료: 저자 작성.

[그림 4-4] 검증문항에 설명문에 부합하지 않는 응답을 한 경우

현재 귀하께서는 전기차를 사용하고 있습니다.
 전기자동차를 에너지 저장장치로 활용하기 위하여 V2G(Vehicle to Grid, 자동차 및 연동장치) 서비스를 개발 중에 있습니다.
 V2G 서비스는 양방향 전기 전송으로, 전력 여유량이 부족할 때는 자동차의 배터리의 전력을 전력망에 공급하고,
 전력여유가 있을 때 자동차의 배터리를 충전하는 서비스입니다. **전기차 배터리에 미치는 영향은 미미하며, 전기차 충전 전량에는 영향을 주지 않습니다.**
 (예를들어 전기차 충전전량이 60% 일 때 60% 초과 충전전량 보장)

- 전기차 충전요금은 kWh 당 약 255.7원입니다. (현 상황과 동일)

아래의 질문에 대한 응답은 위에서 제시한 설명문에 부합하는 항목에 체크하여야 합니다.
 부합하지 않은 번호에 체크하시면 다음 설문은 진행되지 않습니다.

전기자동차 V2G 서비스 참여 시 배터리에 미치는 영향은 크며 충전기 연결시의 충전전량에 영향을 준다 (충전된 전기보다 더 소비한다)

- 예 아니오

응답을 하셔야 다음 페이지로 넘어가실 수 있습니다.

자료: 저자 작성.

[그림 4-5] 서비스 가정(설명문2)

서비스 가정

- 충전기는 충분하여 주차 시 항상 연결할 수 있습니다.
- 서비스 참여는 배터리 수명에 영향을 주지 않습니다.
- 충전기에 연결하면 차량의 발전시간을 제외하면 항상 충전을 수행합니다.
- **보상과 충전은 별도로며, 최종 충전량에 대해서만 전기요금을 지불합니다.**
(최종 충전량이 60% -> 90% 이면, 30%에 대해서만 요금이 청구됩니다.)

아래의 질문에 대한 응답은 위에서 제시한 설명문에 부합하는 항목에 체크하셔야 합니다.
부합하지 않은 번호에 체크하시면 다음 설문이 진행되지 않습니다.

전기자동차 V2G 서비스 참여 시 보상과 충전은 별도로 이루어지며, 참여시 보상은 따로 수령하고, 충전량에 대해서만 전기충전요금을 지불한다.

예 아니오

V2G 서비스 참여시 전기자동차 충전기는 충분하여 원하는 위치에서 재택없이 충전기에 연결할 수 있다.

예 아니오

자료: 저자 작성.

[그림 4-6] 서비스 참여 조건(설명문3)

서비스 참여 조건

- 충전기 연결 시 참여여부를 선택할 수 있으며, 1회 서비스 참여 시 **최소 3시간 이상 주차해야** 합니다.
(최소 참여시간을 충족하지 않아도 되며, 이 경우 참여횟수가 기록되지 않습니다.)
- 8시부터 22시 사이에 참여해야 합니다.
- **월간 10회 이상 참여해야** 합니다.

아래의 질문에 대한 응답은 위에서 제시한 설명문에 부합하는 항목에 체크하셔야 합니다.
부합하지 않은 번호에 체크하시면 다음 설문이 진행되지 않습니다.

V2G 서비스 참여했지만 2시간만에 급한일이 있어 중간에 이탈한 경우 패널티는 없고, 참여횟수로 기록되지 않는다.

예 아니오

서비스 참여시 혜택

- 서비스 참여 조건을 만족하면 **대가를 매월 현금으로 수령합니다.**
- 10회 이상 참여해야 하며, 참여횟수 미달 시 서비스 참여에 대한 보상은 없습니다. (10회 이상 참여)

서비스 참여 시 고려사항

- 충전기에 연결해두어도 100% 충전이 안 될 가능성이 있습니다.
(일반적인 상황에서는 대부분 충전이 이루어지며, 충전기 연결 전에 충전되어 있던 잔여 충전량 이하로 내려가지는 않습니다.)

아래의 질문에 대한 응답은 위에서 제시한 설명문에 부합하는 항목에 체크하셔야 합니다.
부합하지 않은 번호에 체크하시면 다음 설문이 진행되지 않습니다.

충전 대가는 월 5회만 참여해도 수령할 수 있다.

예 아니오

자료: 저자 작성.

4. 응답자 특성

V2G 서비스 참여의 수용성을 조사하기 위한 설문조사는 2020년 9월 14일부터 2020년 9월 25일간 조사 전문기관인 리콕의 주관으로 실시되었으며, 단순임의추출(Simple random sampling)로 현재 전기차를 보유하고 이용하고 있는 사람으로 조사대상을 한정하였다. 본 연구는 설문의 이해도와 응답률을 높이기 위해 설명문과 설명문의 이해도에 대한 질문을 함께 포함하였으며, 질문을 제대로 이해한 후에 설문 응답을 할 수 있게 설정하여 설문 결과의 신뢰도를 높였다.⁸⁵⁾ 설문 응답자는 총 303명으로, 설문 응답자의 지역별 분포는 서울과 경기(21.5%)가 가장 많았고, 그다음으로 대전(11.6%), 대구(8.6%), 세종(5.9%) 순이었다. 실제 인구 비율과 전기자동차 보급현황을 토대로 볼 때, 제주 지역과 경기지역에서 오차를 가지고 있지만, 조사대상의 특성을 적절히 반영하고 있다고 볼 수 있다(<표 4-3>). 응답자의 전기차 보유 현황은 코나EV스탠다드(21.1%)가 가장 많았고 그다음으로 니로EV스탠다드(19.5%), 볼트EV(15.5%), i3(9.2%), 모델3 롱레인지/퍼포먼스(7.9%) 순이었다(<표 4-4>).

여성운전자는 전체 응답자의 23%를 차지하였으며, 응답자의 평균 운전경력은 13.5년, 평균 나이는 38.7세였다. 응답자의 학력은 고졸이하 9%, 대졸자 65%, 대학원재학 이상이 26%였으며, 응답자의 직업은 관리자급 10%, 전문가 및 전문직종 26%, 사무직 33%, 서비스직 11%, 기타(자영업, 학생, 무직 등) 20%였다(<표 4-5>).

85) 설명문의 이해에 대한 질문은 [그림 4-3], [그림 4-4] 참조.

〈표 4-3〉 지역별 응답자의 비율 및 전기자동차 보급비율 현황

	지역	응답자 수	비율	실제 인구 비율 ⁸⁶⁾	전기자동차 보급비율 현황 (2018년) ⁸⁷⁾
1	서울	65	21.5%	18.7%	20.2%
2	경기	65	21.5%	25.6%	9.9%
3	인천	12	4.0%	5.7%	1.9%
4	대전	35	11.6%	2.9%	2.4%
5	충북	6	2.0%	3.1%	1.9%
6	충남	12	4.0%	4.2%	1.7%
7	세종	18	5.9%	0.6%	0.4%
8	광주	4	1.3%	2.9%	2.7%
9	전북	8	2.6%	3.5%	1.6%
10	전남	13	4.3%	3.4%	4.1%
11	대구	26	8.6%	4.7%	11.8%
12	울산	4	1.3%	2.2%	1.5%
13	경북	13	4.3%	5.2%	3.3%
14	부산	5	1.7%	6.5%	2.6%
15	경남	6	2.0%	6.5%	3.2%
16	강원	5	1.7%	2.9%	2.2%
17	제주	6	2.0%	1.3%	28.5%
	합계	303	100.0%	100.0%	100.0%

자료: 저자 작성.

86) 통계청, 「지역별 인구 및 인구밀도」 (최종접속일: 2020.10.10.).

87) 환경부, 「연도별 지역별 전기자동차 및 공공급속충전인프라 현황(2018년)」,
(최종접속일: 2020.10.10.).

〈표 4-4〉 응답자 보유 차종

	차량명	대수	비율
1	아이오닉 EV (271km)18년이전 모델인 경우 160-180km	38	12.5%
2	코나EV 스탠다드 (406km)	64	21.1%
3	코나 EV 저용량배터리 (254km)	0	0.0%
4	니로 EV 스탠다드(385km)	59	19.5%
5	니로 EV 슬림패키지(246km)	0	0.0%
6	쏘울 EV 노블레스 (386km)	11	3.6%
7	쏘울 EV 프레스티지 (250km)18년이전 모델 180km	12	4.0%
8	레이 EV (90km)	1	0.3%
9	볼트 EV (414km)	47	15.5%
10	스파크 EV (135km)	2	0.7%
11	SM3 Z.E. (213km)	3	1.0%
12	i3 (248km)16년 160km, 17년 202km	28	9.2%
13	모델3 롱레인지/퍼포먼스 (499km)	24	7.9%
14	모델3 스탠다드 (386km)	7	2.3%
15	모델S 퍼포먼스 (451km)	2	0.7%
16	모델S 롱레인지 (360km)	0	0.0%
17	모델X 퍼포먼스 (468km)	2	0.7%
18	모델X 롱레인지 (294km)	1	0.3%
19	EQC (309km)	0	0.0%
20	리프 (231km)	0	0.0%
21	기타 (푸조 e-208, 무응답)	2	0.7%
	합계	303	100.0%

자료: 저자 작성.

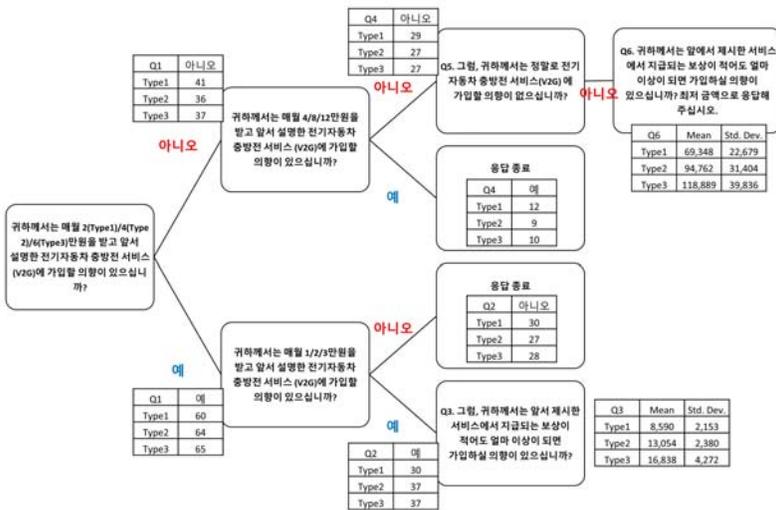
〈표 4-5〉 독립변수 특성

	변수명	설명	평균	표준편차
차량보유특성	전기차 주행가능거리	보유 전기차의 주행가능거리	354.34	97.29
	전기차 배터리용량	보유 전기차의 배터리용량	58.60	14.31
	가구 차량 소유대수	보유 차량 대수	2.27	0.44
	전기차 보유대수	보유 전기차 대수	1.17	0.45
충전특성	전기차사용비율	가구내 전기차 사용비중	78.86	25.69
	일평균 충전시간	가구내 전기차 일평균 충전시간	6.56	4.04
	거주지-급속충전기	거주지 급속충전기 보유 여부	0.20	0.40
	직장-급속충전기	직장 급속충전기 보유 여부	0.17	0.37
	월평균 충전횟수	전기차 월평균 충전횟수	12.29	8.71
개인특성	성별	(여성=1, 남성=0)	0.23	0.42
	운전 경력	응답자의 운전기간 (운전시작년도 기준)	13.47	8.93
	나이	응답자의 나이	38.74	7.72
	학력-대학원 이상	(baseline: 대학교졸)	0.26	0.44
	학력-고졸 이하	(baseline: 대학교졸)	0.09	0.29
	직종-관리자급	(baseline: 기타)	0.10	0.30
	직종-전문가	(baseline: 기타)	0.26	0.44
	직종-사무직	(baseline: 기타)	0.33	0.47
	직종-서비스직	(baseline: 기타)	0.11	0.31
	소득수준	응답자의 가구 소득수준	579.37	208.02
인지도	방전허용량	응답자의 방전허용 의사(%)	5.90	2.18
	충전소 인프라 만족도	충전 인프라의 충분함에 대한 응답자의 만족도 (7점척도, 1:만족못함, 7:매우만족)	3.44	1.63
	전기차 특성 이해도	응답자의 전기차 특성 이해정도 (7점척도, 1:이해하지못함, 7:잘 이해하고 있음)	5.57	1.35
	전기차 친환경성 인지도	응답자의 전기차 친환경성 평가 척도 (7점척도, 1:매우 친환경적이지 못하다, 7: 매우 친환경적이다)	5.83	1.43
	전기차 충전비용 인지도	향후 충전비용 변화에 대한 인지도 (7점척도, 1:전혀 모른다, 7:잘 알고있다)	5.22	1.51

자료: 저자 작성.

설문은 세 가지 타입으로 진행되었으며, 타입별로 101명(Type 1), 100명(Type 2), 102명(Type 3)으로부터 응답을 받았다. 첫 질문에서는 각 타입별 2만원(Type 1), 4만원(Type 2), 6만원(Type 3)에 전기자동차 충·방전 서비스에 가입할 의사를 물었고, 타입별 가입의향을 보인 응답자는 60명/64명/65명이었다([그림 4-7]).

[그림 4-7] CVM 질문과 각 Type 별 응답 결과



자료: 저자 작성.

첫 질문의 수용의사액은 제3장의 전기차의 편익이전 도출 결과와 선행연구 결과를 바탕으로 설정한 것이다. 이후 질문은 첫 번째 응답에 따라 입찰을 두 배로 올리거나 절반으로 낮추어 진행했다. 이때, 첫 번째 응답에 수용의사를 밝힌 응답자(n=189)가 두 번째 응답에서 예를 대답한 경우는 30명/37명/37명이었다. 이어지는 절반의 입찰에도 예를 대답한 응답자가 최소 얼마까지 가입할 의향이 있는지 물었을 때 타입

별로 평균 8,590원/13,054원/16,838원(평균 13,113원)을 응답하였다. 첫 번째 응답에 수용의사를 밝힌 응답자가 두 번째 입찰에 거부한 경우는 30명/27명/28명이었다([그림 4-7]).

첫 번째 응답에 거부의사를 밝힌 응답자(n=114)가 두 번째 응답인 2배의 입찰금액에서 수용의사를 대답한 응답자는 12명/9명/10명이었다. 첫 번째 응답에 거부의사를 밝힌 응답자가 두 번째 응답에도 거부의사를 대답한 응답자는 각각 29명/27명/27명이었다. 이 중, 수용의사가 전혀 없는 응답자는 6명/6명/9명이었으며, 오히려 높은 가격이 제시된 Type3에서 완강한 거부자가 많이 나왔다. 제시된 가격에는 수용의사가 전혀 없지만, 그보다 높은 가격에는 참여 의사를 밝힌 응답자는 타입별로 평균 69,348원/94,762원/118,889원(평균 92,339원)을 응답하였다([그림 4-7]).

5. 분석 결과

전기차 사용자의 서비스 수용성을 분석한 결과 월간 10회 이상 V2G 서비스 참여에 대한 수용의사액은 약 28,786원으로 도출되었다(<표 4-6>). 제3장의 편익이전 시나리오상 Case 4의 DoD 40% 시나리오(Case 4B)를 적용한다면 전기차의 수요자원 참여율이 28%(보간법 활용)가량이 되면 전기차 사용자가 V2G 서비스에 참여할 때 V2G 서비스에 대한 수용성을 확보할 수 있을 것으로 보인다(<표 4-7>).

〈표 4-6〉 전기차 사용자 V2G 서비스 참여 수용의사액

WTA	S.E.	z-statistics	P-value
28,785.58	2,993.78	9.62	0

자료: 저자 작성.

〈표 4-7〉 편익이전과 소비자 수용성 확보 범위

참여율	TOU (원/월)	직접제어, VIG (원/월)	직접제어, V2G (원/월)		수용가능 여부
	Case 2	Case 3	Case 4A	Case 4B	
p6.40%	9,041	16,496	68,024	53,459	수용가능
p10%	5,807	15,140	58,956	44,667	수용가능
p30%	4,797	9,948	33,341	26,835	수용 불가능
p50%	4,231	5,958	23,224	19,153	수용 불가능
p70%	3,616	4,116	18,022	14,176	수용 불가능
p100%	3,617	2,486	9,325	11,413	수용 불가능

자료: 제3장의 <표 3-15> 활용하여 저자 작성.

지역별 전기차 사용자의 V2G 서비스 참여 수용의사액을 구해보면 통계적으로 유의한 결과 순으로 제주(82,615원), 광주(60,760원), 대구(48,582원), 인천(42,500원), 충남(36,779원), 대전(30,661원), 경기(29,278원), 서울(27,730원), 세종(21,164원) 순으로 나타났다. 환경부(2018)을 이용하여 전기차의 보급량을 급속충전소의 보급량으로 나누어 급속충전소 1기당 전기차 대수를 구해보면 보편적으로 급속충전소 1기당 전기차 대수가 높은 지역일수록 수용의사액이 높게 나온다는 점을 확인할 수 있다. 마찬가지로 보급 전기차 대수를 충전소 보급량으로 나누어 충전소 1기당 전기차 대수를 확인해본 결과, 충전소 1기당 전기차 대수가 높은 지역일수록 수용액이 높게 나온다는 점을 확인할 수 있다(<표 4-8>).

이는 급속충전기를 이용하려는 전기차가 많아 급속충전기의 혼잡도가 높은 점, 즉 충전이 용이하지 않을수록 소비자의 수용의사액이 높게 도출됨을 확인할 수 있다. 따라서 V2G 서비스에 대한 보상수준을 낮추기 위해서는 충전기 보급을 확대할 필요가 있고, 반대로 향후 충전기 보급이 늘어날수록 낮은 보상수준에서도 V2G 서비스 참여를 유도할 수 있으리라는 것을 짐작할 수 있다.

〈표 4-8〉 지역별 전기차 사용자 V2G 서비스 참여 수용의사액

	지역	계수	표준오차	z	P> z	급속충전소 1기당 전기차 대수 ⁸⁸⁾	충전소 1기당 전기차 대수 ⁸⁹⁾
1	제주	82,614.97	22,116.77	3.74	0.00	109.7	6.7
2	광주	60,760.40	24,351.32	2.50	0.01	86.2	1.9
3	대구	48,582.12	9,926.07	4.89	0.00	149.7	7.5
4	인천	42,500.39	13,356.84	3.18	0.00	33.8	1.8
5	충남	36,778.91	13,896.07	2.65	0.01	7.3	1.0
6	울산	36,478.84	23,723.27	1.54	0.12	18.6	2.2
7	대전	30,660.69	8,525.36	3.60	0.00	82.4	2.7
8	경기	29,278.30	6,031.15	4.85	0.00	28.5	1.5
9	서울	27,730.27	6,038.35	4.59	0.00	91.9	5.5
10	세종	21,163.55	11,595.05	1.83	0.07	21.3	1.7
11	경남	19,637.09	20,390.39	0.96	0.34	12.7	1.2
12	전북	18,528.90	17,419.24	1.06	0.29	9.3	0.9
13	강원	16,775.07	21,753.58	0.77	0.44	7.3	1.1
14	충북	10,126.98	20,996.73	0.48	0.63	9.1	1.4
15	전남	9,550.01	14,007.79	0.68	0.50	15.9	2.0
16	경북	1,040.71	14,492.39	0.07	0.94	9.7	1.1
17	부산	-18,453.02	26,863.19	-0.69	0.49	34.5	1.7

자료: 저자 작성.

88) 환경경부, 「연도별 지역별 전기자동차 및 공공급속충전인프라 현황(2018년)」, (최종접속일: 2020.10.10.).

89) 저공해차통합누리집, 「전국 저공해차충전소 운영현황」, (최종접속일: 2020.10.11.).

독립변수를 활용하여 전기차 사용자의 수용의사액을 분석한 결과 대부분의 변수가 유의하지 않은 결과값을 도출하였다. 직장 내 급속 충전기가 설치되어있는 경우 WTA가 유의하게 낮아졌으며(계수: -18,590.05), 월평균 충전횟수가 많은 충전자일수록 WTA가 유의하게 낮아지며(계수: -753.10), 방전 허용의사가 높을수록 수용의사액이 유의미하게 낮아짐(계수 -3,096.79)을 확인할 수 있었다. 즉, V2G 서비스에 대한 홍보와 교육을 토대로 전기차 보유자의 방전에 대한 허용의사를 늘릴 수 있다면 V2G 서비스 확산에 도움이 될 수 있을 것이다. 반대로 충전소 인프라 만족도가 높을수록 수용의사액이 유의하게 올라감(계수: 4,906.33) 확인할 수 있다. 거주지의 급속충전기가 있는 경우 통계적으로 유의하지 않지만 수용의사액이 낮아질 수 있음을 확인할 수 있다(<표 4-9>).

앞선 지역별 수용의사액 결과와 사용자 특성 결과를 합해보면 전기차 사용자의 V2G 서비스 참여 수용성을 높이기 위해서는 급속충전기의 보급이 필요하며, 주로 직장의 급속충전기를 보급하는 것이 중요하다는 것을 확인할 수 있다. 또한, 방전에 대한 심리적 부담을 완화하여 방전 허용의사를 높인다면 전기차 사용자의 V2G 서비스 참여를 높일 수 있을 것으로 전망된다.

〈표 4-9〉 전기차 사용자 V2G 서비스 참여 수용의사액 분석결과

		계수	표준오차	z	P> z
차량보유특성	전기차 주행가능거리	-88.89	75.78	-1.17	0.24
	전기차 배터리용량	404.69	503.24	0.80	0.42
	가구 차량 소유대수	11,830.39	8270.87	1.43	0.15
	전기차 보유대수	-7,802.16	7479.49	-1.04	0.30
충전특성	전기차사용비율	208.32	148.78	1.40	0.16
	일 평균 충전시간	-485.74	788.19	-0.62	0.54
	거주지-급속충전기	-10,372.84	7889.79	-1.31	0.19
	직장-급속충전기	-18,590.05	9361.63	-1.99	0.05
	거주지-완속충전기	1,230.20	7392.00	0.17	0.87
	직장-완속충전기	10,188.01	7060.94	1.44	0.15
	월평균 충전횟수	-753.10	368.12	-2.05	0.04
개인특성	여성	6,422.87	7640.58	0.84	0.40
	운전 경력 기간	-165.23	401.96	-0.41	0.68
	나이	222.68	459.54	0.48	0.63
	학벌-대학원 이상	-6,605.34	7099.82	-0.93	0.35
	학벌-고졸 이하	-14,408.08	11112.39	-1.30	0.20
	직종-관리자급	-9,356.63	11493.99	-0.81	0.42
	직종-전문가	-5,526.44	9055.29	-0.61	0.54
	직종-사무직	-112.36	8707.73	-0.01	0.99
	직종-서비스직	-1,683.44	10757.15	-0.16	0.88
	소득수준	6.21	15.52	0.40	0.69
인지도	방전허용량	-3,096.79	1131.60	-2.74	0.01
	충전소 인프라 만족도	4,906.33	1823.41	2.69	0.01
	전기차 특성 이해도	-1,973.64	2607.92	-0.76	0.45
	전기차 친환경성 인지도	2,907.87	2184.10	1.33	0.18
	전기차 충전비용 인지도	-912.09	2126.70	-0.43	0.67
	상수항	7,679.77	35796.54	0.21	0.83

자료: 저자 작성.

6. 소결

본 장에서는 E-mobility 확산에 따른 소비자의 스마트 충전 서비스 수용성을 도출하고, 편익이전과 비교하여 실제 소비자의 스마트 충전 서비스의 예상 참여율을 도출했다. 본 연구에서 추정된 전기차 운전자의 스마트 충전 서비스 참여에 대한 월 수용의사액은 28,786원이었으며, 이러한 보상이 주어질 경우 2030년에는 전기차 운전자의 약 28%가 V2G 서비스에 참여할 것으로 분석되었다. 수용의사액은 지역별로 큰 편차를 보였으며, 급속충전소 또는 공용충전소 1기당 전기차 대수가 낮은 지역일수록 V2G 서비스에 대한 수용의사액이 낮아짐을 확인할 수 있다.

대부분의 응답자의 특성은 스마트 충전 서비스의 수용성에 큰 영향을 주지 못하였지만 전기차 충전소에 대한 특성은 스마트 충전 서비스 수용성에 영향을 주는 것으로 밝혀졌다. 특히 직장 내 급속충전기가 설치되어있는 경우 WTA가 유의하게 큰 폭으로 낮아짐을 확인할 수 있었으며, 월평균 충전횟수가 많은 응답자일수록 참여에 대한 WTA가 낮아짐을 확인할 수 있다. 거주지의 급속충전기 보유 여부 또한 WTA를 낮출 수 있을 것으로 전망된다. 또한 전기차 보유자나 신규 전기차 구매자들에게 홍보와 교육을 통해 전기차의 방전에 대한 허용의사를 높일 수 있다면 V2G 확산에 도움이 될 수 있을 것으로 전망된다. 즉, 충전에 대한 용이성 확보가 성공적인 V2G 서비스 확산에 영향을 줄 것으로 전망된다.

제5장 종합

1. 연구의 필요성과 목적

기후위기 극복과 에너지전환 비전 실현을 위한 핵심 수단 중 하나는 신재생에너지이다. 그런데 신재생에너지 중 핵심 분야인 태양광과 풍력은 대표적인 변동성 신재생에너지로 전력 생산에 있어 불확실성과 변동성이라는 리스크를 내포하고 있다. 이를 극복하기 위해 궁극적으로는 통합에너지시스템의 구축을 통해 부문 간 에너지 생산-저장-변환-거래가 최적으로 이루어지도록 보장해야 한다.

발전부문에 비해 탈탄소화 수단이 부족한 수송부문 등 최종수요 부문의 경우 탈탄소화를 촉진하기 위해서는 전력화가 요구된다. 수송부문에서의 이러한 변화도 부문 결합, 즉 통합에너지시스템의 구축이라는 에너지시스템의 변화를 요구한다. 이처럼 통합에너지시스템은 전력화와 탈탄소화의 두 개 축으로 구성되는데, 전력화를 통해 전력계통의 신재생에너지 수용성을 확대하고 전력계통의 신재생에너지 확대를 통해 탈탄소화를 실현하는 것이다.

본 연구에서 초점을 맞추고 있는 수송 부문에서의 에너지시스템 통합을 실현하기 위해서는 신재생에너지와 E-Mobility 간의 상호작용을 제어할 필요가 있다. 이를 위해서는 TOU, V1G, V2G와 같은 스마트 충전 기술의 도입과 효율적인 충·방전관리, 그리고 자유로운 에너지 거래 보장 등이 요구된다. 물론 이러한 상호작용의 제어는 통합에너지시스템 하에서 최적화되어야 한다.

본 연구에서는 MPSOPF 모형을 활용하여 공급측면에서 E-Mobility와 신재생에너지 간 상호 연계성이 가지는 전력계통 운영상의 가치(편익)와, CVM을 활용하여 수요측면에서의 E-Mobility의 전력계통 접목과 제어를 보장하는 기술들에 대한 소비자의 수용의사액(보상)을 도출하였다. 그리고 이 둘의 비교를 통해 이러한 기술들을 활용한 비즈니스모델의 실현가능성을 확인하고, 이들을 활성화하기 위한 방안을 제시하고자 하였다.

2. 연구의 주요내용

2.1. 스마트 충전 기술과 비즈니스모델

먼저 제2장에서는 전기차의 보급 확산에 따른 스마트 충전의 필요성과 해외 실증 사례, 그리고 스마트 충전과 관련된 비즈니스 모델을 살펴보았다. 다양한 해외 실증 사례와 그 결과를 살펴봄으로써 스마트 충전이 향후 어떤 방향으로 전개될지를 가늠해 보고자 하였다.

전기차 보급과 신재생에너지 비중 확대는 서로 시너지를 창출할 수 있고, 이를 연결하는 고리가 스마트 충전이다. 스마트 충전의 1차적인 목적은 불규칙한 충전으로 인해 발생하는 계통 운영의 문제를 해소하는 것이지만, 보다 적극적인 충전 개입을 통해 미래의 계통 운영에서 절실히 요구되는 유연성 자원을 대규모로 확보하는 기회를 만들 수도 있다. 스마트 충전은 신재생에너지 전력의 계통 영향을 최소화하고, 신재생에너지의 계통 수용성과 이용률을 높일 수 있으며, 전기차를 보다 청정한 에너지로 움직이게 할 수 있다.

전 세계적으로 전기차 스마트 충전 기술을 도입하고 서비스를 제도

화하기 위한 실증 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이들 실증 프로젝트는 주로 신재생에너지와 전기차 보급이 활발한 유럽과 캘리포니아 등에 집중되었었지만 점차 미국 전역, 아시아 등으로 확산되고 있다. 스마트 충전 기술에서 TOU 요금제는 이미 부하 이전 효과가 검증되어 요금제로 채택되고 있다. V1G 기술의 경우 요소기술과 기술의 적용 가능성은 검증되었으며, 본격적인 제도화를 위한 단계에 있다고 할 수 있다. 반면, V2G 충전서비스는 아직 기술 검증 단계로, 상용화까지는 갈 길이 멀다. 하지만 유틸리티, 자동차 OEM, 솔루션 업체 등이 적극적인 연구개발과 실증을 진행하고 있으므로 미래가 기대되는 상황이다. 한편, 스마트 충전 서비스 비즈니스모델로는 TSO, DSO, P2P가 있으며 이러한 서비스를 통합관리하는 CMO도 가능하다. 현재 실증은 주로 TSO 모델이 이루어지고 있으며 향후 실현 가능성도 상대적으로 높은 것으로 보인다.

2.2. 신재생에너지와 E-Mobility의 상호 영향 - 스마트 충전 가치(편익)

제3장에서는 풍력과 태양광의 불확실성을 사실적으로 반영하는 MPSOPF 전력시스템 최적화 모형을 기반으로 전기차 수요자원의 경제적 가치를 분석하였다. 전기차의 수요자원 가치는 전력계통 비용 경감액을 통해 평가되었다. 스마트 충전 서비스는 TSO 하에서 이루어지는 것으로 가정하였다. 이는 1차연도에 제주도를 대상으로 수행한 연구를 전국으로 확장하여 심화한 것이다. 분석의 핵심적인 결과는 다음과 같이 요약이 가능하다.

첫째, 전기차 수요자원의 제어수준이 높아질수록 전기차 대당 순경감액은 증가하였다. 30% 참여율 수준에서 월평균 순경감액은 Case

2(TOU), Case 3(V1G), Case 4B(V2G_ DOD40%) 에서 각각 4,797원/월, 9,948원/월, 26,835원/월으로 나타났다. 특히 Case 4B의 경우 3만원 수준의 월평균 순경감액을 통해 충분히 전기차 사용자로 하여금 수요자원 시장에 참여유인을 제공할 수 있을 것으로 추정된다.

둘째, 신재생에너지 보급수준이 증가할수록 전기차 수요자원의 가치는 증가한다. 신재생에너지 비중이 높은 2030년 전기차 수요자원의 월평균 경감액은 2020년 대비 약 2.0배~2.9배 높게 나타나는 것으로 분석되었다. 즉 신재생에너지 비중이 높아질수록 전력시스템을 안정적으로 운영하는데 많은 비용이 요구되는데, 이를 전기차 수요자원이 효과적으로 낮춰주는 것이다. 이는 향후 신재생에너지가 비중이 증가할 경우 점점 더 전기차 수요자원의 가치가 높아질 것임을 보여준다.

셋째, 전기차 수요자원의 참여율이 높아질수록 전기차 1대당 수요자원으로서의 가치는 하락한다. 전기차 수요자원이 부가가치가 높은 곳부터 순차적으로 활용될 경우 전체 수요자원의 규모가 커질수록 해당 편익은 필연적으로 감소할 수밖에 없다.

넷째, Case 3과 Case 4는 스마트 충전의 발전비용과 예비력비용 경감효과만을 감안한 것이다. 하지만 피크감축으로 인한 용량비용 경감효과까지 추가로 고려될 경우 편익이 더욱 증가할 수 있다. VPP 기반으로 전기차 자원이 정교하게 제어될 경우 중앙급전 가능한 자원으로 인정받을 수 있어서 용량요금 정산이 이루어질 수 있다. 이럴 경우 전기차 수요자원의 편익은 더욱 증가할 수 있을 것이다.

2.3. 스마트 충전 서비스의 소비자 수용성 - 스마트 충전 보상

제4장에서는 E-mobility 확산에 따른 소비자의 스마트 충전 서비스 수용성을 도출하고, 제3장에서 분석한 스마트 충전의 가치(편익)와 비교하여 전기차 소유자의 스마트 충전 서비스 참여 가능성, 즉 비즈니스 모델의 실현 가능성을 분석하였다. 수용성 도출에는 CVM(조건부가치평가법)이 사용되었고 실제 전기차 소유자를 대상으로 한 실험을 통해 사실적인 조사가 이루어졌다.

분석 결과 전기차 운전자의 스마트 충전 서비스 참여에 대한 월 수용의사액은 28,786원이고 해당 수준의 보상이 주어질 경우 제3장의 연구 결과와 비교하여 2030년 전기차의 스마트 충전 서비스 참여 가능 비율은 약 28%로 도출되었다. 수용의사액은 지역별로 큰 편차를 보였으며, 급속충전소 또는 공용충전소 1기당 전기차 대수가 낮은 지역일수록 V2G 서비스에 대한 수용의사액이 낮아짐을 확인할 수 있다.

대부분의 응답자 특성은 스마트 충전 서비스의 수용성에 큰 영향을 주지 못하였지만, 전기차 충전소에 대한 특성은 수용성에 영향을 주는 것으로 밝혀졌다. 특히 직장내 급속충전기가 설치되어있는 경우 수용의사액이 유의하게 큰 폭으로 낮아짐을 확인할 수 있었으며, 월평균 충전횟수가 많은 응답자일수록 참여에 대한 수용의사액이 낮아짐을 확인할 수 있다. 거주지의 급속충전기 보유 여부 또한 수용의사액을 낮출 수 있을 것으로 전망된다. 또한 전기차 보유자나 신규 전기차 구매자들에게 홍보와 교육을 통해 전기차의 방전에 대한 허용의사를 높일 수 있다면 V2G 확산에 도움이 될 수 있을 것으로 전망된다. 즉, 충전에 대한 용이성 확보가 성공적인 V2G 서비스 확산에 영향을 줄 것으로 전망되므로 전기차 충전기 확산 및 전기차 충전기 접근성과 편의성을 확대할 필요가 있다.

3. 결론

전력화의 전력계통의 탈탄소화는 기후위기 대응과 에너지 전환을 위한 글로벌 에너지시스템 개선방향으로 자리매김하고 있고 이를 완수하기 위해서는 에너지시스템 통합이 요구된다. 수송 부문에서의 에너지시스템 통합을 실현하기 위해서는 신재생에너지와 E-Mobility 간의 상호작용을 제어할 필요가 있고 이를 위해서는 TOU, V1G, V2G와 같은 스마트 충전 기술의 도입과 효율적인 충·방전관리가 요구된다.

세계적으로 전기차 스마트 충전 기술 도입과 제도화를 위한 실증 연구가 활발하게 진행되고 있다. TOU 요금제는 이미 부하 이전 효과가 검증되었고 전기차 충전 기본 요금제로 점차 확대되고 있다. V1G 기술은 기술 검증이 완료되어 제도화를 앞두고 있다. V2G는 아직 기술 검증단계지만 향후 기대되는 기술이다. 이러한 기술들을 활용하여 BTM, TSO, DSO, P2P, VPP, CMO 등의 비즈니스모델이 검토되고 있으며 이중 단기적으로는 TSO 기반의 비즈니스모델 실현 가능성이 높다.

MPSOPF 전력시스템 최적화 모형을 기반으로 TSO 하에서 전기차 수요자원의 전력계통 내에서의 경제적 가치를 분석한 결과 전기차 전력계통에 큰 편익을 제공할 수 있는 것으로 나타났다. 분석결과 V2G 서비스의 편익이 TOU와 V1G에 비해 월등히 높아 향후 V2G 기술 확보와 시장 도입을 촉진할 필요가 있는 것으로 나타났다. 그리고, 신재생에너지 보급수준이 증가할수록 전기차 수요자원의 가치는 증가하는 것으로 나타나 장기적으로 전기차 수요자원의 가치는 더욱 높아질 것으로 전망된다. 다만 전기차의 스마트 충전 참여율이 높아질수록 전기차 1대당 수요자원으로서의 가치는 하락하는 것으로 나타나 보상

수준에 따라 스마트 충전 서비스 참여율과 전력계통 가치가 결정될 것으로 예상된다.

전기차 보유자를 대상으로 V2G 충전 참여에 대한 수용의사액(보상)을 분석한 결과 월 28,786원으로 나타났다. 해당 수준의 보상이 주어질 경우 2030년 전기차의 스마트 충전 서비스 참여 가능 비율은 약 28%로 도출되었다. 즉, 상당수의 전기차 소유자가 스마트 충전 서비스에 참여할 수 있으며, 이를 통해 전력계통 운영에 기여할 수 있는 것으로 나타났다. 전기차 충전에 대한 편의성을 확대할수록 보상 수준이 낮아질 수 있으며 더 큰 전력계통 상의 편익을 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

종합적으로 분석하면 적정 보상 수준을 통해 스마트 충전 기술과 관련 비즈니스모델의 시장 진입을 보장할 수 있고, 이를 통해 전력계통 관련 비용(예비력비용과 운영비용 등)을 경감할 수 있을 것으로 나타났다. 이는 결국 전력계통의 변동성 신재생에너지와 E-Mobility에 대한 수용성을 확충하고 탈탄소화를 촉진할 것으로 기대된다.

다만, 이러한 서비스를 활성화하기 위해서는 우선 스마트 충전 기술의 검증과 확보가 완료되어야 한다. 특히 편익은 큰 것으로 분석되었으나 기술수준은 낮은 V2G 기술의 확보에 집중할 필요가 있다. 또한, 향후 V2G 기술을 활용할 계획이라면 선제적으로 V2G 기능을 갖춘 충전 인프라를 보급하는 방안도 고민할 시점으로 보인다. 이는 충전 인프라에 대한 중복투자와 기존 사업자의 보호를 위해 필요한 조치로 판단된다.

또한 스마트 충전을 확대하기 위해서는 전기차 충전의 편의성이 중요한 것으로 나타난 만큼 직장과 거주지 내 충전기 확대 등 전기차 충

전 편의성 확보 노력이 요구된다. 이와 병행하여 스마트 충전에 대한 인지도와 수용성 확보를 위한 홍보 확대도 필요하다.

마지막으로 전기차 소유자들의 참여를 유도할 수 있는 수익성 있는 사업 모델과 제도 마련이 요구된다. 이를 위해서는 전력의 자유로운 거래와 신규사업자의 시장진입을 허용하는 제도적 기반이 마련되어야 한다. 또한, 스마트 충전 요금제와 같은 요금제의 도입과 스마트 충전의 가치에 대한 합리적인 보상이 이루어질 수 있는 거래시장의 도입이 요구된다. 여기에 더해 애그리게이터, 플랫폼 사업자와 같이 스마트충전 서비스를 제공하는 신규사업자들이 시장에 진입할 수 있도록 관련 제도를 개선할 필요가 있다. 3차연도 연구에서는 이러한 제도개선 방안에 대해 보다 구체적으로 접근하고자 한다.

참고문헌

<국내 문헌>

- 관계부처합동. 2020. 「한국판 뉴딜」 종합계획
_____. 2017. 「재생에너지 3020 이행계획(안)」
- 교통안전공단. 2014. 2014년 자동차 운행기록분석
- 박규호, 전현명, 정갑채, 손봉수. 2017. 전기자동차 충전행태분석, 대한교통학회지, 제35권 제3호, 대한교통학회
- 박기준. 2018. EV Charging Infrastructure & VGI Technology Outlook 충전인프라 워크숍. 2018 전기학회 전기차연구회 하계 학술회의(2018.7.11.) 발표자료.
- 박종배. 2019. 통합 스마트 에너지시스템과 전력산업의 미래, 전기저널 2018년 11월호(통권 제503호), p.27-41.
- 산업통상자원부. 2019. 미래자동차 산업 발전 전략
_____. 2017. 제8차 전력수급기본계획
_____. 2019. 제3차 에너지기본계획
- 손상훈. 2019. 전기차 및 충전기 이용 실태와 향후 정책 과제, 제주연구원 정책이슈브리프 Vol.305.
- 심성희. 2018. 에너지전환 정책 실행을 위한 시사점 연구: 독일에서의 시민 참여와 지방 정부의 기여를 중심으로. 에너지경제연구원 수시연구보고서
- 안상훈 외. 2008. 「예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완

- 연구(제5판)」. 한국개발연구원.
- 에너지경제연구원. 2020a. NDC 재생에너지 전력 보급목표 분석과 시사점. 세계 에너지시장 인사이트 제20-9
- _____. 2020b. EU 집행위, 2030 온실가스 감축목표 상향조정안 발표. 세계 에너지시장 인사이트 제20-19
- _____. 2020c. 미 바이든 민주당 대선 후보, 청정에너지 중심의 2조 달러 투자 공약 발표. 세계 에너지시장 인사이트 제 20-15호
- 유진투자증권. 2020. 바이든이 미 대통령이 된다면(2010.10.06.)
- 윤성권·임현지. 2019. 재생에너지 기반 섹터커플링(부문간 연계)을 통한 기후변화 대응 연구, 한국기후변화학회지 2019, Vol. 10, No.2, p.153~159.
- 이승문·조상민. 2019. 「E-Mobility 성장에 따른 신재생에너지 산업 대응 전략 연구(1/4)」, 에너지경제연구원 기본연구보고서 19-25-03.
- 이혜정, 김효진, 유승훈. 2018. 조건부 가치측정법을 이용한 음폐수 바이오가스화 시설 확대의 비시장적 편익 추정. 한국폐기물자원 순환학회지, 35(2), 143-152.
- 전력거래소. 2020. 전력통계정보시스템(EPSIS)
- 전우영. 2015. 확률적 전력계통망 최적화모형 구축 연구. 에너지경제연구원 기본연구보고서
- 조상민, 이승문. 2019. E-Mobility 성장에 따른 신재생에너지 산업 대응 전략 연구, 에너지경제연구원
- 조상민·조일현. 2018. 변동성 재생에너지 확대에 대비한 계통안정화

- 방안 연구. 에너지경제연구원 기본연구보고서
- 제3차 에너지기본계획 워킹그룹. 2018. 지속가능한 번영을 위한 대한
민국 에너지비전 2040 - 제3차 에너지기본계획 수립방향에 대
한 권고
- 한전. 2019. EV Charging Infrastructure & VGI Technology Outlook.
충전인프라구축 워크숍
- 환경부. 2017. 실구매자 이용실태 조사 분석을 통한 전기차 보급 활
성화 연구 용역
- _____. 2018. 2030 온실가스 감축 로드맵 수정안 및 2018~2020년
배출권 할당계획 확정
- 2050 저탄소 사회 비전 포럼. 2020. 2050 장기 저탄소 발전전략 -
「2050 저탄소 사회 비전 포럼」 검토안

<외국 문헌>

- BGE. 2017. “BGE Electric Vehicle Off Peak Charging Pilot”
- CENEX. 2019. “Understanding the True Value of V2G”
- Dubey, A. Santoso, S., Cloud, M., and Waclawiak, M. 2015.
“Determining Time-of-Use Schedules for Electric Vehicle
Loads: A Practical Perspective”, IEEE Power and Energy
Technology Systems Journal, 2(1), 12-20
- EPRI. 2018. “Open Vehicle-Grid Integration Platform Status and
Plan, IWC meeting”
- IEA. 2020. “Global Electric Vehicle Outlook 2020”
- INL. 2014. “2014 DOE Vehicle Technologies Office Review - EV

Project Data & Analytic Results”

Innovate UK. 2018. “V2G Global Roadtrip: Around the World in 50 Projects”

_____. 2018b. “V2G Developments in the UK”

IRENA. 2018. “Power System Flexibility for the Energy Transition, PART 1: Overview for Policy Makers”

_____. 2019. “Innovation Outlook Smart Charging for Electric Vehicles”

_____. 2019b. “Electric-Vehicle Smart Charging Innovation Landscape Brief”

Jeon, W. and Lee, C. 2019. “Estimating the Cost of Solar Generation Uncertainty and the Impact of Collocated Energy Storage: The Case of Korea”, Sustainability 11.

Karlsson, et.al. 2015. “Integrated energy systems modelling”

Lee, Chul-Yong, Jung-Woo Jang, and Min-Kyu Lee. 2020. "Willingness to accept values for vehicle-to-grid service in South Korea." Transportation Research Part D: Transport and Environment. 87

Nuffel et.al. 2018. “Sector coupling: how can it be enhanced in the EU to foster grid stability and decarbonise?”

Michael Hanemann, John Loomis, Barbara Kanninen. “Statistical Efficiency of Double-Bounded Dichotomous Choice Contingent Valuation”, American Journal of Agricultural Economics, Volume 73, Issue 4, November 1991, Pages 1255-1263, <https://doi.org/10.2307/1242453>

- SEPA. 2017. “Utilities and Electric Vehicles – The Case for Managed Charging”
- _____. 2019. “A Comprehensive Guide to Electric Vehicle Managed Charging”
- _____. 2020. “Utility Best Practices for EV Infrastructure Deployment”
- United Kingdom Power Networks. 2019. “Electric Vehicle Strategy”
- Wilfried van Sark. 2017. “Smart Solar Charging to support widespread deployment of photovoltaic systems and electric mobility”
- Zimmerman, R. D., Murillo-Sanchez, C. E., and Thomas, R. J., “Matpower: Steady-State Operations, Planning and Analysis Tools for Power Systems Research and Education,” Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 26, no. 1, pp. 12-19, Feb. 2011.

<웹사이트>

기후변화홍보포털 홈페이지.

https://www.gihoo.or.kr/portal/kr/community/data_view.do?p=1&idx=18546&column=&groupname=data&groupid=&f=1&q= (최종접속일: 2020.10.14.).

대한민국 정책브리핑 기사.

https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148879993&call_from=rsslink (최종접속일: 2020.12.14.).

연합뉴스 기사.

<https://www.yna.co.kr/view/AKR20200903177300081> (최종접속일: 2020.10.14.).

오마이뉴스 기사.

http://www.ohmynews.com/NWS_Web/View/at_pg.aspx?CNTN_CD=A0002679000&CMPT_CD=P0001&utm_campaign=daum_news&utm_source=daum&utm_medium=daumnews (최종접속일: 2020.10.14.).

저공해차통합누리집, 「전국 저공해차충전소 운영현황」,

<https://www.ev.or.kr/portal>(최종접속일: 2020.10.11.).

칸 기사.

<http://www.kharn.kr/news/article.html?no=13785> (최종접속일: 2020.10.14.).

통계청 「지역별 인구 및 인구밀도」,

https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1007
(최종접속일: 2020.10.10.).

한국에너지정보문화재단,

<https://m.blog.naver.com/energyinfoplaza/221694809303>, 최종접속일: 2020.10.09.).

환경부, 「연도별 지역별 전기자동차 및 공공급속충전인프라 현황」,

http://www.me.go.kr/home/web/public_info/read.do?&publicInfoId=41&menuId=10357(최종접속일: 2020.10.10.).

환경부, 「연도별 지역별 전기자동차 및 공공급속충전인프라 현황 (2018년)」,

http://www.me.go.kr/home/web/public_info/read.do?&publicInfoId=41&menuId=10357 (최종접속일: 2020.10.10.).

BNEF 홈페이지 기사. Battery Pack Prices Fall As Market Ramps Up With Market Average At \$156/kWh In 2019.

<https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-fall-as-market-ramps-up-with-market-average-at-156-kwh-in-2019/> (최종접속일: 2020.12.14.).

BNEF(2019) 홈페이지 기사. U.S. utilities offer multiple electric car charging rates.

<https://www.bnef.com/shorts/379?query=eyJxdWVyeSI6IIUuUy4gdXRpbGl0aWVzIG9mZmVyIG11bHRpcGxIIGVsZWN0cmJlIGNhciBjaGFyZ2luZyByYXRlcyIsInBhZ2UiOjEsIm9yZGVyIjoicmVsZXZhbmNlIn0%3D&query=eyJxdWVyeSI6IIUuUy4gdXRpbGl0aWVzIG9mZmVyIG11bHRpcGxIIGVsZWN0cmJlIGNhciBjaGFyZ2luZyByYXRlcyIsInBhZ2UiOjEsIm9yZGVyIjoicmVsZXZhbmNlIn0%3D> (최종접속일: 2020.12.14.).

Denso 홈페이지. DENSO Develops Vehicle-to-Home Power Supply System for Electric Vehicles

<https://www.denso.com/global/en/news/newsroom/2012/120724-01/> (최종접속일: 2020.12.13.)

European Commission 홈페이지.

https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_en (최종접속일: 2020.10.14.).

FleetCarma 홈페이지.

<https://www.fleetcarma.com/charge-the-north-summary/> (최종접속일:

2020.12.14.).

NREL 홈페이지.

<http://www.nrel.gov/esif/> (최종접속일: 2020.12.14.).

The Guardian 기사.

<https://www.theguardian.com/environment/2020/sep/22/china-pledges-to-reach-carbon-neutrality-before-2060> (최종접속일: 2020.10.14.).

부록 - 설문조사지

전기자동차 사용 및 충전형태 조사

안녕하십니까?

저희 에너지경제연구원에서는 "전기자동차 사용 및 충전형태 조사"를 수행 중에 있습니다. 이와 관련하여 본 연구원에서는 전기자동차를 자가용으로 활용하는 소비자들의 전기자동차 사용 및 충전형태를 파악하고자 다음과 같은 조사를 실시 하오니 귀하와 관련된 자료를 조사하는데 적극 협조하여 주시기 감사하겠습니다.

아울러 본 조사 자료는 통계작성 및 연구 목적 외 다른 용도로 사용되지 않습니다.

2020. 09.

에너지경제연구원장 조용성

* 설문에 한 번 응답하신 내용은 수정이 불가능하며, 뒤로가기가 허용되지 않습니다. 내용을 충분히 살펴보신 뒤 응답해 주시기 바랍니다.

00. 귀하께서 현재 살고 계신 곳은 다음 중 어디에 해당되십니까?

- | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="radio"/> 서울 | <input type="radio"/> 경기 | <input type="radio"/> 인천 | <input type="radio"/> 대전 |
| <input type="radio"/> 충북 | <input type="radio"/> 충남 | <input type="radio"/> 세종 | <input type="radio"/> 광주 |
| <input type="radio"/> 전북 | <input type="radio"/> 전남 | <input type="radio"/> 대구 | <input type="radio"/> 울산 |
| <input type="radio"/> 경북 | <input type="radio"/> 부산 | <input type="radio"/> 경남 | <input type="radio"/> 강원 |
| <input type="radio"/> 제주 | | | |

I. 보유 전기자동차 및 2019년 전기자동차 충전 패턴 정보

다음은 귀하께서 소유하고 계신 전기자동차의 일반사항에 관한 문항입니다.
아래의 사항을 계기판과 자동차 등록증을 참고하여 정확하게 응답하여 주시기 바랍니다.
월문자 안의 번호는 자동차 등록증내의 식별번호입니다.

01. 현재 주로 이용하고 있는 전기차 모델명은 무엇입니까? 하나만 체크하여 주시기 바랍니다.

브랜드 - 차종	세부사항 (주행거리)	
현대 - 아이오닉 EV	○ 아이오닉 EV (271km) 18년 이전 모델인 경우 160-180km	
현대 - 코나 EV	○ 코나EV 스탠다드 (406km)	○ 코나 EV 저용량배터리 (254km)
기아 - 니로 EV	○ 니로 EV 스탠다드(385km)	○ 니로 EV 슬림패키지(246km)
기아 - 쏘울 EV	○ 쏘울 EV 노블레스 (386km)	○ 쏘울 EV 프레스티지 (250km) 18년 이전 모델 180km
기아 - 레이 EV	○ 레이 EV (90km)	
엘보레 - 볼트 EV	○ 볼트 EV (414km)	
엘보레 - 스파크 EV	○ 스파크 EV (135km)	
르노 - SM3 Z.E.	○ SM3 Z.E. (213km)	
BMW - BMW i3	○ i3 (248km) 16년 160km, 17년 202km	
테슬라 - 모델3	○ 모델3 롱레인지/피포먼스 (499km)	○ 모델3 스탠다드 (386km)
테슬라 - 모델S	○ 모델S 피포먼스 (451km)	○ 모델S 롱레인지 (360km)
테슬라 - 모델X	○ 모델X 피포먼스 (468km)	○ 모델X 롱레인지 (294km)
벤츠 - EQC	○ EQC (309km)	
닛산 - 리프	○ 리프 (231km)	
기타	○ 적어주세요: <input type="text"/>	

03. 귀하께서는 몇 년도부터 자동차운전을 시작하셨는지요?

년도

04. 귀하의 연령은 올해 만 몇 세입니까?

만 세

05. 귀하의 성별은 어떻게 됩니까?

남성

여성

06. 귀하의 학력은 어디에 해당하십니까?

중학교 졸업 이하

고등학교 졸업

대학교 졸업

대학원 재학 이상

07. 귀하의 직업은 무엇입니까?

관리자

전문가 및 관련 종사자

사무 종사자

서비스 종사자

판매 종사자

농림어업 숙련 종사자

기능원 및 관련기능 종사자

장치·기계 조작 및 조립 종사자

단순노무 종사자

기타

II- i. 충전/방전 서비스 수용성

먼저, 다음 설명문을 숙지하신 후 질문에 응답에 주십시오.

V2G 기술의 개요



출처: 한국에너지정보문화재단 (<https://im.blog.naver.com/energyinfo/221694809303>)

현재 귀하께서는 전기차를 사용하고 있으십니까.

전기자동차를 에너지 저장장치로 활용하기 위하여 V2G(Vehicle to Grid, 자동차 및 연동장치) 서비스를 개발 중에 있습니다.

V2G 서비스는 양방향 전기 전송으로, 전력 여유량이 부족할 때는 자동차의 배터리의 전력을 전력망에 공급하고,

전력여유가 있을 때 자동차의 배터리를 충전하는 서비스입니다. **전기차 배터리에 미치는 영향은 미미하며, 전기차 충전 전량에는 영향을 주지 않습니다.**

(예를들어 전기차 충전전량이 60% 일 때 60% 초과 충전전량 보장)

- 전기차 충전요금은 kWh 당 약 255.7원입니다. (현 상황과 동일)

아래의 질문에 대한 응답은 위에서 제시한 설명문에 부합하는 항목에 체크하여야 합니다.
부합하지 않은 번호에 체크하시면 다음 질문이 진행되지 않습니다.

전기자동차 V2G 서비스 참여 시 배터리에 미치는 영향은 크며 충전기 연결시의 충전전량에 영향을 준다 (충전된 전기보다 더 소비한다)

예

아니오

서비스 가정

- 충전기는 충전하여 주차 시 잠시 연결할 수 있습니다.
- 서비스 참여는 배터리 수량에 영향을 주지 않습니다.
- 충전기에 연결하면 장면의 발전시간을 제외하면 항상 충전을 수행합니다.
- **보상과 충전은 별도로, 최종 충전량에 대해서만 전기요금을 지불합니다.**
(최종 충전량이 60% → 90% 이면, 30%에 대해서만 요금이 청구됩니다.)

아래의 질문에 대한 응답은 위에서 제시한 설명문에 부합하는 항목에 체크하셔야 합니다.
부합하지 않은 번호에 체크하시면 다음 질문이 진행되지 않습니다.

전기자동차 V2G 서비스 참여 시 보상과 충전은 별도로 이루어지며, 참여 시 보상은 따로 수령하고, 충전량에 대해서만 전기충전요금을 지불한다.

예 아니오

V2G 서비스 참여 시 전기자동차 충전기는 충전하여 원하는 위치에서 재약없이 충전기에 연결할 수 있다.

예 아니오

서비스 참여 조건

- 충전기 연결 시 참여여부를 선택할 수 있으며, 1회 서비스 참여 시 **최소 3시간 이상 주차해야** 합니다.
(최소 참여시간을 충족하지 않아도 되며, 이 경우 참여횟수가 기록되지 않습니다.)
- 9시부터 22시 사이에 참여해야 합니다.
- **월간 10회 이상 참여해야** 합니다.

아래의 질문에 대한 응답은 위에서 제시한 설명문에 부합하는 항목에 체크하셔야 합니다.
부합하지 않은 번호에 체크하시면 다음 질문이 진행되지 않습니다.

V2G 서비스 참여했지만 2시간만에 급한일이 있어 중간에 이탈한 경우 과납되는 없고, 참여횟수로 기록되지 않는다.

예 아니오

서비스 참여 시 혜택

- 서비스 참여 조건을 만족하면 **대가를 매월 현금으로 수령합니다.**
- 10회 이상 참여해야 하며, 참여횟수 미달 시 서비스 참여에 대한 보상은 없습니다. (10회 이상 참여)

서비스 참여 시 고려사항

- 충전기에 연결하더라도 100% 충전이 안 될 가능성이 있습니다.
(일반적인 상황에서는 대부분 충전이 충분히 이루어지며, 충전기 연결 전에 충전되어 있던 잔여 충전량 이하로 내려가지는 않습니다.)

아래의 질문에 대한 응답은 위에서 제시한 설명문에 부합하는 항목에 체크하셔야 합니다.
부합하지 않은 번호에 체크하시면 다음 질문이 진행되지 않습니다.

충전 대가는 월 5회만 참여해도 수령할 수 있다.

예 아니오

다음은 전기자동차의 충전 서비스 가입에 대한 수용성을 도출하기 위한 질문입니다.

1. 귀하께서는 매월 30,000원을 받고 앞서 설명한 전기자동차 충전 서비스 (V2G)에 가입할 의향이 있으십니까?

- 가입의향이 있음
 가입의향이 없음

2. 귀하께서는 그러면 매월 15,000원을 받고 앞서 설명한 전기자동차 충전 서비스 (V2G)에 가입할 의향이 있으십니까?

- 가입의향이 있음
 가입의향이 없음

3. 그럼, 귀하께서는 앞에서 제시한 V2G 서비스가 최저 얼마 이상만 되면 가입하실 의향이 있으십니까?

※ 앞에서 15,000원에 서비스 가입 의향이 있다고 응답하셨으므로, 15,000원 이하의 금액을 응답하셔야 합니다.

약 원 이상일 때 서비스에 가입할 의향이 있음

II-ii. 충/방전 서비스 수용성

먼저, 다음 설명문을 숙지하신 후 질문에 응답해 주십시오.

현재 귀하께서는 전기차를 사용하고 있으십니까.

전기차동자를 에너지 저장장치로 활용하기 위하여 V2G(Vehicle to Grid, 자동차 및 연동장치) 서비스를 개발 중에 있습니다.

V2G 서비스는 양방향 전기 전송으로, 전력 여유량이 부족할 때는 자동차의 배터리의 전력을 전력망에 공급하고, 전력여유가 있을 때 자동차의 배터리를 충전하는 서비스입니다. 전기차 배터리에 미치는 영향은 미미하며, 전기차 충전 전황에는 영향을 주지 않습니다. (예를 들어 전기차 충전전황이 60% 일 때 60% 초과 충전전량 보장)

- 전기차 충전요금은 kWh 당 약 255.7원입니다. (현 상황과 동일)

※ 본 문항과 이전 문항과의 차이점은, 월간 서비스가 아닌 1회 서비스 참여 당 참여대가에 대한 것입니다.

향후 상황 가정

- 충전기는 충전하여 주차 시 일시 연결할 수 있습니다.
- 충전기 연결시에 서비스에 참여할지 선택할 수 있습니다.
- 서비스 참여는 배터리 수명에 영향을 주지 않습니다.
- 충전기에 연결하면 차량의 방전시간을 제외하면 항상 충전을 수행합니다.
- 최종 충전량에 대해서만 전기요금을 지불합니다. (최종 충전량이 60% → 90% 이면, 30%에 대해서만 요금이 청구됩니다.)

서비스 참여시 혜택

- 서비스 참여에 따른 대가는 매 참여마다 지급됩니다.

서비스 참여 조건

- 충전기 연결시 참여여부를 선택할 수 있으며, 1회 서비스 참여 시 최소 3시간 이상 주차 해야 합니다.
- 9시부터 22시 사이에 참여해야 합니다.

서비스 참여 시 고려사항

- 충전기에 연결하더라도 100% 충전이 안 될 가능성이 있습니다.
(일반적인 상황에서는 대부분 충전이 충분히 이루어지며, 충전기 연결 전에 충전되어 있던 잔여 충전량 이하로 내려가지는 않습니다.)

아래의 질문에 대한 응답은 위에서 제시된 설명문에 부합하는 항목에 체크하셔야 합니다.
부합하지 않은 번호에 체크하시면 다음 질문이 진행되지 않습니다.

V2G 서비스에 참여할지 귀하께서 예 충전시 결정하고, 이에 대한 대가는 참여할 때마다 수령합니다.

예

아니요

다음은 전기자동차의 충전 서비스에 대한 수용성을 도출하기 위한 질문입니다.

1. 귀하께서는 회당 2,000원을 받고 앞서 설명한 전기자동차 충전 서비스 (V2G)에 참여할 의향이 있으십니까?

- 참여의향이 있음
 참여의향이 없음

2. 그럼, 귀하께서는 회당 1,000원을 받고 앞서 설명한 전기자동차 충전 서비스 (V2G)에 참여할 의향이 있으십니까?

- 참여의향이 있음
 참여의향이 없음

3. 그럼, 귀하께서는 앞에서 제시한 서비스에 대한 보상이 최저 얼마일 때 참여하실 의향이 있으십니까?

※ 앞에서 1,000원에 서비스 가입 의향이 있다고 응답하셨으므로, 1,000원 이하의 금액을 응답하셔야 합니다.

약 원 이상일 때 서비스에 가입할 의향이 있음

7. 그럼, 귀하께서는 앞에서 제시한 서비스를 월 최대 몇회까지 참여하실 의향이 있으십니까?

월 회까지 참여 가능

Ⅲ- i. 전기차 충전 요금 수용성

먼저, 다음 설명문을 숙지하신 후 질문에 응답해 주십시오.

현재 전기차 충전요금은 급속 기준 255.7원/kWh입니다.
전기요금이 인상된다고 할 때 귀하의 의견을 아래의 질문에 답하여 주시기 바랍니다.
귀하의 의견은 실제 전기자 충전요금이 반영이 되지 않고, 선풍성입니다. 귀하의 솔직한 의견을 제시하여 주시기 바랍니다.

1. 귀하께서는 전기자동차 충전을 위하여 현재 충전 비용의 200%를 (약 510원/kWh) 지불하실 의향이 있으십니까?

- 지불의향이 있음
- 지불의향이 없음

2. 귀하께서는 전기자동차 충전을 위하여 현재 충전 비용의 300%를 (약 765원/kWh)를 지불하실 의향이 있으십니까?

- 지불의향이 있음
- 지불의향이 없음

3. 그럼, 귀하께서는 전기자동차 충전을 위하여 최고 얼마까지 지불하실 의향이 있으십니까?

※ 앞에서 300% (약 765원/kWh)까지 지불하실 의향이 있다고 대답하셨기 때문에 300% (약 765원/kWh) 이상을 응답하셔야 합니다.

현재 충전요금의 약 % 까지 지불할 의향이 있음

III-ii. 전기차 판매 수익 수용성

먼저, 다음 설명문을 숙지하신 후 질문에 응답해 주십시오.

현재 전기차 충전요금은 급속 기준 255.7원/kWh입니다.
만약 전기차에 충전되어있는 전기를 판매한다고 할 때, 이에 대한 귀하의 의견을 아래의 질문에 답하여 주시기 바랍니다.

1. 귀하께서는 전기차동자 충전된 전기를 구입비의 200%에 (약 510원/kWh)에 판매할 의향이 있으십니까?

- 판매의향이 있음
 판매의향이 없음

2. 귀하께서는 전기차동자 충전된 전기를 구입비의 150% (약 380원/kWh)에 판매할 의향이 있으십니까?

- 판매의향이 있음
 판매의향이 없음

3. 그럼, 귀하의 전기차동자에 충전된 전기를 구입비의 얼마 이상만 받을 수 있으면 판매할 의향이 있으십니까?

※ 앞에서 150% 까지 판매할 의향이 있다고 응답했기 때문에 149% 이하로 응답해야 합니다.

현재 충전요금의 약 % 까지 지불할 의향이 있음

7. 그림, 귀하께서 응답하신 금액에 전기를 구매하고 판매한다고 할 때, 100% 충전을 가정하고 전체 충전량의 몇%까지 전기를 판매하실 의향이 있으십니까? 판매의향이 있는 최대치와 최소치를 각각 표기해주세요.

	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
판매 상한선	<input type="radio"/>										
판매 하한선	<input type="radio"/>										

IV. 충전에 대한 일반사항

본 문항은 앞서 응답한 전기자동차 충전에 관한 일반사항입니다. 아래 질문에 응답하여 주시기 바랍니다.

09. 현재 거주하고 있는 집에 충전기가 설치되어 있습니까?

- 예 아니요

09-1. 현재 집에 설치되어 있는 충전기는 무엇입니까? 해당되는 것에 모두 체크해주세요

- 급속(공용)
 완속(공용)
 완속(비공용, 개인)

09-2. 귀하는 현재 이동형(휴대형) 충전기를 가지고 있거나 사용하고 계십니까?

- 가지고 있고 사용한다
 가지고 있지만 사용하지는 않는다
 가지고 있지 않지만 사용한다
 가지고 있지 않고 사용하지 않는다

10. 현재 직장에는 충전기가 설치되어 있습니까?

예

아니오

10-1. 현재 직장에 설치되어 있는 충전기는 무엇입니까? 해당되는 것에 모두 체크해주세요.

급속(공용)

완속(공용)

완속(비공용, 개인)

11. 귀하께서는 주행 중 배터리 잔여 충전량이 몇 % 일 때부터 충전을 해야겠다고 생각하시는지요? 불안감을 느끼는 시점을 기준으로 응답해주시기 바랍니다.

잔여 충전량이 % 정도일 때부터 불안감을 느낌

11-1. 그럼, 전량이 떨어져서 충전을 하실 때 보통 충전량 몇 %까지 충전하시는 편인지요?

% 까지 충전함

12. 전자자동차로 교체한 이후 주행거리가 줄어났습니까?

- 네 (줄어남)
- 변화없음
- 아니오 (줄어듦)

13. 귀하께서 주중 평일과 주말을 포함하여 정기적으로 출전하고 있는 장소는 어디인지요? 해당되는 요부에 표기해주시시오.

평일

- 거주지
- 직장
- 관공서 공영주차장 병합
- 마트·대형상업시설
- 기타 (적어주세요: _____)
- 정기적으로 출전하는 장소가 없다

주말(토,일)

- 거주지
- 직장
- 관공서 공영주차장 병합
- 마트·대형상업시설
- 기타 (적어주세요: _____)
- 정기적으로 출전하는 장소가 없다

Q13-1. 귀하께서 평일을 기준으로 거주지에서 출전을 시작하는 시간대와 출전을 마치는 시간대는 언제인지 2개 시점을 표기해주세요.

평일 거주지 충전자

출전시작	출전종료
<input type="radio"/> 오전	<input type="radio"/> 오전
<input type="radio"/> 오후	<input type="radio"/> 오후
<input type="text"/>	<input type="text"/>

Q13-1. 귀하께서 주말(토,일)을 기준으로 거주지에서 출전을 시작하는 시간대와 출전을 마치는 시간대는 언제인지 2개 시점을 표기해주세요.

주말(토,일) 거주지 충전자

출전시작	출전종료
<input type="radio"/> 오전	<input type="radio"/> 오전
<input type="radio"/> 오후	<input type="radio"/> 오후
<input type="text"/>	<input type="text"/>

Q13-2. 귀하께서 평일을 기준으로 직장에서 출전을 시작하는 시간대와 출전을 마치는 시간대는 언제인지 2개 시점을 표기해주세요.

평일 직장 충전자

출전시작	출전종료
<input type="radio"/> 오전	<input type="radio"/> 오전
<input type="radio"/> 오후	<input type="radio"/> 오후
<input type="text"/>	<input type="text"/>

Q13-2. 귀하께서 주말(토,일)을 기준으로 직장에서 출전을 시작하는 시간대와 출전을 마치는 시간대는 언제인지 2개 시점을 표기해주세요.

주말(토,일) 직장 충전자

출전시작	출전종료
<input type="radio"/> 오전	<input type="radio"/> 오전
<input type="radio"/> 오후	<input type="radio"/> 오후
<input type="text"/>	<input type="text"/>

14. 귀하께서 지난 1달간 비정기적으로 출전할 적이 있는 출전소는 어디인지요? 모두 응답해주세요.

- 거주지
- 직장
- 관공서 공영주차장 병합
- 마트 대형상업시설
- 고속도로 휴게소
- 없음
- 기타 (적어주세요:)

14. 귀하는 지난 1달간 비정기적으로 출전할 적이 있는 출전소를 거주지라고 응답하셨습니다. 그렇다면 아래 질문을 모두 응답해주세요.

거주지	
급속/완속여부	<input type="radio"/> 급속 <input type="radio"/> 완속
출전요일	<input type="radio"/> 주중 <input type="radio"/> 주말
출전시간대	<input type="radio"/> 오전 <input type="radio"/> 오후 <input type="text"/> 시
출전금액	<input type="text"/> 원

본 문항은 귀하가 주로 사용하는 전기차의 주행에 대한 일반사항 응답입니다. 아래의 사항을 응답하여 주시기 바랍니다.

Q15. 차량 구매연월	<input type="text"/> 년 <input type="text"/> 월
Q16. 차량 총 주행거리	<input type="text"/> km
Q17. 월평균 충전 횟수	1개월 당 <input type="text"/> 회
Q18. 월당 평균 충전량	<input type="text"/> kWh 또는 <input type="text"/> 원
Q19. 완충 후 재감 최장 주행가능거리	<input type="text"/> km
Q20. 1회 충전 후 평균 주행거리 * 충전 후 다음 충전까지 평균 주행거리	<input type="text"/> km
Q21. 실주행연비(1 kW 당 주행거리 km) * 재감상 주행연비 기입	<input type="text"/> km
Q22. 완충시 거울열 재감 연비 (1 kW 당 주행거리 km)	<input type="text"/> km

Q23. 작년 7월부터 올해 6월까지 최근 1년간 운행한 횟수를 구간별로 알아본다면 각각의 비율은 얼마나 되는지요? 운행 횟수는 왕복운행을 기준으로 합니다.

	퍼센트
100km 미만을 운행한 횟수	<input type="text"/> %
100km~200km를 운행한 횟수	<input type="text"/> %
200km~300km를 운행한 횟수	<input type="text"/> %
300km~400km를 운행한 횟수	<input type="text"/> %
400km 이상을 운행한 횟수	<input type="text"/> %
합계	0%

V. 전기차 관련 인지도

귀하께서는 전기자동차와 관련된 다음의 각 사항에 대하여 어느 정도 동의하시는지 응답해 주시기 바랍니다. 응답 문항수는 총 18개로 많습니다면 천천히 읽고 답해주시면 감사하겠습니다.

	전혀 그렇지 않다	◀	◀	보통이다	▶	▶	매우 그렇다
전기자동차 구매비용은 비싸다.	<input type="radio"/>						

V. 전기차 관련 인지도

귀하께서는 전기자동차와 관련된 다음의 각 사항에 대하여 어느 정도 동의하시는지 응답해 주시기 바랍니다.
응답 문항수는 총 18개로 많습니다면 전천의 읽고 답해주시면 감사하겠습니다.

	전혀 그렇지 않다	◀	◀	보통 이다	▶	▶	매우 그렇다
전기자동차 구매비용은 비싸다.	○	○	○	●	○	○	○
전기자동차 정부 보조금은 충분한 편이다.	○	○	○	●	○	○	○
전기자동차는 가격대 성능비가 좋다.	○	○	○	●	○	○	○
전기자동차는 차량 유지보수가 편하다.	○	○	○	●	○	○	○
전기자동차는 고장이 적은 편이다.	○	○	○	●	○	○	○
전기자동차의 유지비용은 저렴하다.	○	○	○	●	○	○	○
전기자동차의 연료충전시간으로 인해 불편하다.	○	○	○	●	○	○	○
전기자동차 충전 인프라는 충분하다.	○	○	○	●	○	○	○
전기자동차 충전과 주행으로 불편함이 없다.	○	○	○	●	○	○	○
전기자동차의 특성을 잘 이해하고 있다.	○	○	○	●	○	○	○
전기자동차 구매시 사전조사를 많이 했다.	○	○	○	●	○	○	○
구매한 전기자동차를 잘 알고 구매했다.	○	○	○	●	○	○	○
전기자동차는 친환경차량이다.	○	○	○	●	○	○	○
전기자동차의 확산은 이산화탄소 배출량을 줄일 수 있다.	○	○	○	●	○	○	○
전기자동차의 확산은 미세먼지 배출량을 줄일 수 있다.	○	○	○	●	○	○	○
전기자동차 지원정책에 대하여 잘 알고 있다.	○	○	○	●	○	○	○
전기자동차 지원금에 대하여 잘 알고 있다.	○	○	○	●	○	○	○
전기자동차의 충전비용이 어떻게 변할지 잘 알고 있다.	○	○	○	●	○	○	○

08. 귀하께서 현재 이용하고 계신 전기차를 구매하신 가장 주된 이유는 무엇입니까? 가장 중요하게 고려한 순서대로 두가지를 골라주십시오

1순위:

2순위:

저렴한 유지비

낮은 고장률

친환경 차량

높은 보조금 수준

차량의 정숙성

기타

VI. 가구내 차량현황

※ 가구내 차량 현황에 대하여 응답하여 주시기 바랍니다.
(3대 이상인 경우 3대까지만 응답하여 주시기 바랍니다.)
(차량 사용 비율에 따라 주 차량, 보조차량 순으로 응답하여 주시기 바랍니다.)

1. 차량 (보기 중 선택)

	주차량
경차	<input type="radio"/>
소형차(준중형차)	<input type="radio"/>
중형	<input type="radio"/>
대형	<input type="radio"/>
소형SUV	<input type="radio"/>
중형SUV	<input type="radio"/>
대형SUV	<input type="radio"/>
RV/MPV	<input type="radio"/>
트럭	<input type="radio"/>
보조 차량 없음	<input type="radio"/>

※ 가구내 차량 현황에 대하여 응답하여 주시기 바랍니다.
 (3대 이상인 경우 3대까지만 응답하여 주시기 바랍니다.)
 (차량 사용 비율에 따라 주 차량, 보조차량 순으로 응답하여 주시기 바랍니다.)

2. 차량 연료 (보기 중 선택)

	주차량 (경차)	보조차량1 (경차)	보조차량2 (경차)
휘발유	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
경유	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
LPG	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
전기	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
수소연료전지	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
하이브리드	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
플러그인하이브리드	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

※ 가구내 차량 현황에 대하여 응답하여 주시기 바랍니다.
 (3대 이상인 경우 3대까지만 응답하여 주시기 바랍니다.)
 (차량 사용 비율에 따라 주 차량, 보조차량 순으로 응답하여 주시기 바랍니다.)

3. 가구 내 차량 사용 비율 (합=100%)

	가구 내 차량 사용 비율
주차량 (경차)	<input type="text"/> %
보조차량1 (경차)	<input type="text"/> %
보조차량2 (경차)	<input type="text"/> %
합	0%

※ 가구내 차량 현황에 대하여 응답하여 주시기 바랍니다.
 (3대 이상인 경우 3대까지만 응답하여 주시기 바랍니다.)
 (차량 사용 비율에 따라 주 차량, 보조차량 순으로 응답하여 주시기 바랍니다.)

4. 운도별 사용량 - 주차량 (합=100%)

	주차량 (경차)
1. 출퇴근용	<input type="text"/> %
2. 사업용/업무용	<input type="text"/> %
3. 레저 및 장거리 여행용	<input type="text"/> %
4. 가정/일상생활용 (쇼핑 등)	<input type="text"/> %
5. 기타 (1-4의 입력값에 의해 자동으로 기입됩니다.)	<input type="text"/> %
합	0%

※ 가구내 차량 현황에 대하여 응답하여 주시기 바랍니다.
 (3대 이상인 경우 3대까지만 응답하여 주시기 바랍니다.)
 (차량 사용 비율에 따라 주 차량, 보조차량 순으로 응답하여 주시기 바랍니다.)

4. 운도별 사용량 - 보조차량1 (합=100%)

	보조차량1 (경차)
1. 출퇴근용	<input type="text"/> %
2. 사업용/업무용	<input type="text"/> %
3. 레저 및 장거리 여행용	<input type="text"/> %
4. 가정/일상생활용 (쇼핑 등)	<input type="text"/> %
5. 기타 (1-4의 입력값에 의해 자동으로 기입됩니다.)	<input type="text"/> %
합	0%

※ 가운데 자항 범람에 대하여 응답하여 주시기 바랍니다.
 (3대 이상인 경우 3대까지만 응답하여 주시기 바랍니다.)
 (자항 사용 비율에 따라 주 자항, 보조자항 순으로 응답하여 주시기 바랍니다.)

4. 용도별 사용량 - 보조자항2 (합=100%)

	보조자항2 (경차)
1. 유흥근용	<input type="text"/> %
2. 사업용/업무용	<input type="text"/> %
3. 레저 및 장거리 여행용	<input type="text"/> %
4. 가정/일상생활용 (수평 등)	<input type="text"/> %
5. 기타 (1-4의 입력값에 의해 자동으로 기입됩니다.)	<input type="text"/> %
합	0%

이것으로 모든 질문이 끝났습니다.
 참여해주셔서 감사합니다.

조사가 끝나지 않아주시는 분들께 스타벅스 어이스 아메리카노 쿠폰을 2장 전달드리려 합니다.
 아래에 성함과 쿠폰을 전달받으실 휴대폰 번호를 입력하십시오.

성함과 휴대폰 번호를 잘못 기입하시면 쿠폰이 지급되지 않습니다.

성함	<input type="text"/>
휴대폰 번호	<input type="text"/> - <input type="text"/> - <input type="text"/>

* 설문을 응답해주셔서 대단히 감사드립니다.

조 상 민

現 에너지경제연구원 연구위원

<주요저서 및 논문>

이승문·조상민. 2019. 「E-Mobility 성장에 따른 신재생에너지 산업 대응 전략 연구(1/4)」, 에너지경제연구원 기본연구보고서

조 일 현

現 에너지경제연구원 부연구위원

<주요저서 및 논문>

조상민·조일현. 2018. 변동성 재생에너지 확대에 대비한 계통안정화 방안 연구. 에너지경제연구원 기본연구보고서

기본연구보고서 2020-25-3

E-mobility 성장에 따른 석유·전력·신재생에너지 산업 대응 전략 연구(신재생에너지)(2/4)

2020년 12월 30일 인쇄

2020년 12월 31일 발행

저 자 조 상 민·조 일 현

발행인 조 용 성

발행처 에너지경제연구원

44543 울산광역시 중가로 405-11

전화: (052)714-2114(대) 팩시밀리: (052)-714-2028

등 록 제 369-2016-000001호(2016년 1월 22일)

인 쇄 (사)한국척수장애인협회 디지털인쇄사업소

©에너지경제연구원 2020

ISBN 978-89-5504-803-2 93320

* 과본은 교환해 드립니다.

값 7,000원

본 연구에 포함된 정책 대안 등 주요 내용은 에너지경제연구원의 공식적인 의견이 아닌 연구진의 개인 견해를 밝히 둡니다.



에너지경제연구원

(44543) 울산광역시 중구 종가로 405-11(성안동, 에너지경제연구원)
전화 : 052)714-2114 팩스 : 052)714-2028 www.keei.re.kr

값 7,000원



9 788955 048032

93320

ISBN 978-89-5504-803-2