

# Vehicle to Grid(V2G) 활성화를 위한 현황 분석 및 발전 방향 연구: SWOT-TOWS 분석을 통하여

An Analysis of Current Status and Development Direction for Vehicle to Grid (V2G) Activation through SWOT-TOWS Model

안대한\*  
Daehan An

**요약:** 최근 친환경 운송수단에 대한 관심으로 전기차가 급격히 증가하고 있으며, 이에 따라 V2G (Vehicle-to-grid)의 중요성이 크게 부상하고 있다. V2G는 수송 부문의 전력화 비중을 늘리려는 정부 정책뿐만 아니라 전력 수요관리에 큰 기여를 할 수 있기 때문이다. 본 논문은 V2G 활성화를 위한 전략적 방향성을 제시하기 위해 SWOT-TOWS 분석을 수행하였다. SWOT 분석을 통해 V2G의 현황을 분석했으며, 이를 TOWS 분석에 적용하여 V2G가 활성화 되기 위한 발전 전략을 제시했다. 본 연구를 통해 도출된 전략적 방안들은 V2G 시스템의 성공적인 도입과 활성화를 위한 기초적인 지침으로 활용될 수 있다. 이를 통해 V2G 시스템이 지속 가능한 에너지 시스템으로서의 역할을 충실히 수행하며, 기후변화 대응 및 신재생에너지의 효율적인 활용에 기여할 것으로 기대된다.

**핵심주제어:** 전기차, 전력연동망, 양방향 충전, 수요반응, SWOT-TOWS

**Abstract:** Recently, the popularity of electric vehicles (EVs) has surged due to increased interest in eco-friendly transportation, leading to the rising importance of Vehicle-to-Grid (V2G) technology. V2G can significantly contribute to power demand management and support government policies aimed at increasing electrification in the transportation sector. This study conducted a SWOT-TOWS analysis to propose strategic directions for activating V2G. We analyzed the current status of V2G with a SWOT analysis and used this to inform a TOWS analysis, which helped to outline a strategy for revitalizing V2G. The strategic measures identified in this study serve as foundational guidelines for the successful introduction and activation of the V2G system, enabling it to fulfill its role as a sustainable energy solution and contribute to combating climate change and the efficient use of renewable energy.

**Key Words:** Electric Vehicle(EV), Vehicle-to-Grid(V2G), Bidirectional Smart Charging, Demand Response, SWOT-TOWS

\* 한국환경연구원 초빙연구원

## I. 서론

코로나19 팬데믹 이후 승객 및 화물 수송 활동의 회복으로 인해 수송 부문의 탄소 배출량이 2022년에 전년 대비 3% 증가하여, 전 세계 탄소 배출량의 약 23%를 차지했다(IEA, 2023a). 수송 부문의 탄소 배출량은 1990-2022년 동안 연평균 1.7% 성장했으며, 이는 산업 부문(약 1.7%)을 제외한 다른 부문들보다 더 빠른 성장세이다(IEA, 2023b). 2050년 탄소중립 시나리오를 달성하기 위해, 수송 부문의 탄소 배출량을 2030년까지 매년 3% 이상 감축해야 한다. 이는 강력한 규제 및 재정적 지원뿐만 아니라 특히 저탄소 및 무공해 차량 운행을 가능하게 하는 인프라에 막대한 투자가 필요한 상황임을 나타내는데, 전 세계 수송 부문의 탄소 배출량에서 도로수송이 약 74%를 차지하기 때문이다(IEA, 2023b).

2020년을 기준으로 한국의 수송 부문에서 배출되는 탄소 배출량은 96.2백만톤 CO<sub>2</sub>eq으로 국내 총 탄소 배출량의 약 14.7%를 차지했다(온실가스종합정보센터, 2022). 이는 에너지, 산업 부문에 이어 3번째로 많은 분야이다. 수송 부문은 도로수송, 철도, 항공, 해운으로 구분되며, 도로수송이 수송 부문의 총 탄소 배출량에서 약 96.6%를 차지한다(한국교통안전공단, 2023). 내연기관차가 도로수송의 대부분을 차지하고 있으며, 이는 탄소뿐만 아니라 많은 대기오염물질을 내뿜는다. 2020년에 질소산화물의 33.3%, 일산화탄소의 21.3%, 블랙 카본의 18.3%, 미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)의 6.4%가 내연기관차에서 배출되었다(국가미세먼지정보센터, 2023).

앞서 언급된 상황에 대응하기 위해 전 세계적으로 친환경차(전기, 수소, 하이브리드)에 적극적인 투자를 시작했고, 이러한 상황을 전기차(Electric vehicles)가 주도하고 있다. 2022년에 판매된 신 자동차의 14%가 전기차였으며, 이 비중은 2030년에 35%까지 늘어날 전망이다(IEA, 2023c). 한국도 세계적 기조에 맞춰 친환경차 보급 확대 정책을 시행했고, 2016년부터 친환경차의 대수가 급속히 증가하기 시작했다(국토교통부, 2023). 그 결과, 2022년 국내의 전기차 판매 대수는 16만 2,987대로 전체 자동차 판매 대수 166만

2,907대의 약 10%를 차지했다(한국자동차연구원, 2023a).

전기차의 충전 전력은 최대부하에 미치는 영향이 미미하면서 대기환경개선을 통해 사회적 편익을 증진 시킬 뿐만 아니라(김비아 등, 2020), 탄소 저감 효과를 얻을 수 있다(Hoehne and Chester, 2016). 또한, 전기차의 배터리를 이동형 에너지 저장장치(Energy Storage System)로 활용하는 양방향 충전 시스템(Vehicle to Grid, V2G)을 통해 전력 계통 안정화에 기여하고 경제적인 이득을 창출할 수 있다(Ahmadian et al., 2017; Noel, et al., 2018; Anwar et al., 2022).

최근 전기차의 급격한 증가로 V2G의 중요성이 크게 대두되고 있다. V2G는 수송 부문의 전력화에 큰 걸림돌로 여겨지는 높은 배터리 가격을 극복하고(Geske and Schumann, 2018), 친환경차 비중을 늘리려는 정부 정책 및 전력 수요관리에 큰 도움이 될 수 있기 때문이다(이성욱·박병주, 2019). 또한, 이는 전기차 제조업체와 관련 사업체들은 신규 수익원 창출, 브랜드 가치 및 경쟁력 강화, 신기술 개발 및 혁신 촉진 등에 영향을 준다(Sultan, et al., 2022). V2G 활성화로 인한 사회·경제적 파급효과가 국가와 개인뿐만 아니라 전기차 제조업체와 관련 산업에도 발생하는 것이다(Daim et al., 2016).

대부분의 국내 선행연구들은 기술 및 경제적인 측면에 집중되어 있으며, 국외 선행연구들은 국내 실정과 매우 상이하다. 즉, 국내 실정 및 종합적인 측면을 고려하여 V2G 활성화 정책을 제시한 연구가 부족한 상황이다. 이에 따라 본 논문에서는 SWOT-TOWS 분석을 통해 V2G의 특징 및 현황을 분석하고, 국내에서 V2G 활성화를 위한 발전 방향을 제시하고자 한다.

## II. 이론적 배경 및 선행연구

### 1. 전기차(Electric vehicles, EVs)

전기차는 전력망에서 전기를 끌어와 차내에 저장된 에너지를 동력의 일부 혹은 전부로 사용하는 모든 차량을 뜻하며, 대표적으로 (1) 순수 전기로만 가



동되는 배터리식 전기차(Battery electric vehicles, BEVs), (2) 전기와 연료(휘발유, 가솔린)로 가동되는 플러그인 하이브리드차(Plug-in hybrid electric vehicles, PHEVs)로 구분된다(Zhou et al., 2015). 후자의 경우 전기차의 기술이 성숙하기까지의 일시적인 해결책으로 여겨지기에(Fernandez et al., 2010), 본 연구에서의 '전기차'는 '배터리식 전기차'를 의미한다.

## 2. 전기차 충전 시스템(V0G, V1G, and V2G)

전기차 충전 체계는 차량(Vehicle)과 전력망(Grid)의 관계를 통해 전력 수요반응(Demand response)에 영향을 미치는 정도에 따라 V0G, V1G, V2G로 구분된다(Ghanbarzadeh et al., 2011; Behboodi et al., 2016; 이재현 등, 2020)(<표 1>). 현재 한국은 계절·시간대별 차등 요금제로 전기차 충전을 간접적으로 제어하고 있기에 V0G와 V1G의 중간에 해당하는 시스템을 운영하고 있다.

### 1) V0G

단순 충전(Dumb charging or plug-and-go)으로 외부 상황(전력망)에 구애받지 않고 일정한 전력, 속력, 요금으로 차량을 충전한다.

### 2) V1G

스마트 충전(Smart charging or vehicle-grid integration)에 해당되며, 차량과 전력망이 단방향으로 연결되어 있기에 '단방향 스마트 충전' (Unidirectional smart charging)으로 정의된다. 전력 수급 상황과 요금을 고려하여 안정적인 전력 공급을 위해 전기차의 충전 전력을 제어한다.

〈표 1〉 전기차 충전 시스템의 체계

구분		개념	특징				
			전력망과 실시간 상호작용	시간대별 차등 요금	예비 전력원	양방향 전력망	신재생에너지를 위한 부하 이동
단순 충전	V0G	일정 전력으로 연속 충전					
스마트 충전	V1G (단방향)	수요관리에 따른 충전 제어	●	●			
	V2G (양방향)	V1G + 배터리와 전력망 사이에서 에너지가 양방향 이동	●	●	●	●	●

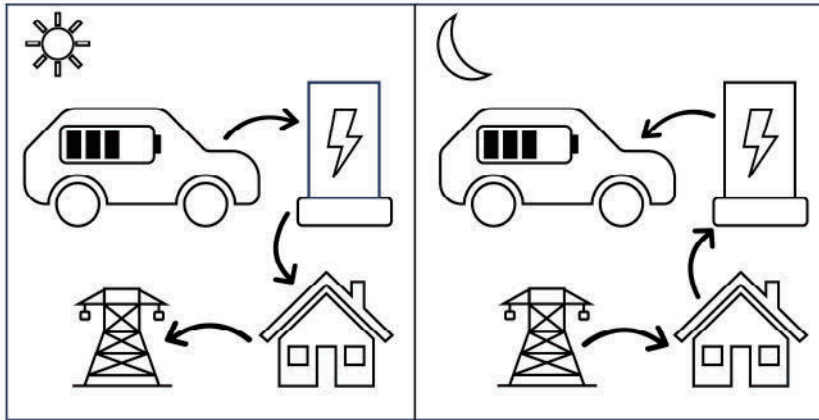
자료: Maheshwari et al. (2014); Anwar et al. (2022) 재구성

### 3) V2G

스마트 충전에 해당되며, 차량과 전력망이 양방향으로 연결되어 있기에 ‘양방향 스마트 충전’ (Bidirectional smart charging) 또는 ‘전력연동망’ 으로 정의된다. 전력 생산량이 여유롭고 가격이 저렴한 심야 시간대에 전기차를 충전하되, 전력 수요가 증가하고 가격이 비싼 주간 시간대에는 전력망에 방전하여 전력 수급 안정화에 기여한다. 또한, 주간과 심야 전력 가격의 차이 만큼 전기차 운전자가 수익을 창출할 수 있다(〈그림 1〉).

V2G와 비슷한 개념으로 전기차(Vehicle)로부터 전력을 공급받는 대상(X)에 따라 V2H(Vehicle to Home), V2B(Vehicle to Building), V2L(Vehicle to Load), V2V(Vehicle to Vehicle), V2F(Vehicle to Factory) 등이 있으며, 이 모든 것들을 포괄하여 V2X(Vehicle to Anything) 기술이라고 정의한다(Khezri et al., 2022). 최근 전기차 보급 및 관련 인프라가 급증함에 따라 V2X 기술의 활용도에 대한 관심도 크게 증가하고 있으며, 이 기술을 통해 수송 부문의 탈탄소화 기여, 탄력적인 전력망 관리, 신사업 모델 발굴 등의 파급효과를 불러올 수 있다(Pearre and Ribberink, 2019; Gschwendtner et al., 2021; Dossow and Kern, 2022).

〈그림 1〉 V2G의 개념(좌: 주간, 우: 심야)



자료: Khezri et al. (2022)을 참고하여 재구성

### 3. 선행연구

V2G 관련 선행연구 고찰은 크게 두 가지, 사회과학적 관점에서 진행된 국내 연구들과 SWOT를 적용한 해외 연구들을 중심으로 수행했다.

#### 1) 국내 V2G 연구

김옥원 등(2014)은 V2G를 효과적으로 운영하기 위해 리튬이온 배터리의 DOD(Depth of discharge)에 대한 특성과 주변 요인으로 인한 배터리의 수명 관계를 활용하여 배터리 충전(State of charge) 상태변화에 따른 배터리 수명 비용을 계산했다. 세 가지 시나리오를 통해 비교 및 분석하였으며, 이를 통해 추가 기반시설의 최소화와 더불어 운영방법의 조정만으로 비용을 최적화할 수 있음을 밝혔다.

차채연 등(2023)은 전기차의 주행 경로를 바탕으로 전력 생산·소비, 전기차의 유입량, 전력 구매·판매량에 대한 수학적 모델을 구축하여 전력 가격에 따른 전기차의 전력 교환 최적 시점, 전력 저장 장치 선택, 전력의 최적 구매·판매량 결정에 도움이 되는 최적화 방안(에너지 교환 의사 결정 전략)을 제시했다. 연구 결과를 바탕으로 전기차 운영을 위한 전력 구매 경비를 최소화할

수 있고 V2G의 전력 분포 안정화에 기여할 수 있음을 확인했다.

김영환·이재승(2015)은 V2G의 경제적 효과를 분석하기 위해 V2G를 적용한 전기차의 총소유비용을 산출하여 내연기관차와 비교했다. 보조금을 배제했을 시 전기차의 소유비용이 내연기관차에 비해 높았지만 V2G를 적용하면 전기차의 상대적인 경제성이 증가하는 것으로 나타났다. 이와 더불어 V2G 도입에 따른 전력망과 관련 산업이 받는 수혜를 함께 고려한다면 보조금이 없더라도 전기차가 내연기관차보다 경쟁력을 갖출 수 있다는 가능성을 제시했다.

황성욱·류종현(2019)은 모의 V2G 전력 거래시장에서 전기차 소유자의 수익을 최대화할 수 있는 최적화 모형을 개발하여 다양한 상황에서 V2G의 경제성을 분석했다. 충전 및 방전 요금의 편차에 의해 차액거래가 활발해졌지만 전력피크 저감에 미치는 영향은 미미했다. 이를 통해, V2G의 운영은 전기차 운전자의 편익보다 사회적 편익(전력피크 저감, 신재생에너지 출력 안정화, 전력 인프라 건설비용 절약 등)이 많은 비중을 차지하기 때문에 V2G 사업의 활성화를 위해 국가적인 지원이 필요하다고 밝혔다.

Lee et al.(2020)은 V2G의 경제적 가치를 측정하기 위해 설문 조사를 통해 자료를 수집하고 조건부 가치측정법을 적용하여 수용의사액(Willingness to accept)을 산출했다. 추정 결과인 연평균 수용의사액 117,852원은 이해당사자들(V2G 사업자, 충전 사업자, 전기차 운전자 등)이 V2G 서비스의 최적 가격 수준을 결정하는 기반을 마련할 수 있다고 분석했다.

Lim et al.(2020)은 이산선택실험(Discrete choice experiment)을 활용하여 전기차 소비자의 선호도를 분석했다. 구체적으로는 전력 시장에서 전기차-전력망 간의 전력 공급량을 추정하고, 추정된 값을 기반으로 V2G에 참여하는 전기차 소유자의 국가 및 개인의 경제적 편익을 계산했다. 시나리오 분석 결과, 2030년까지 국내 전기차 누적 공급량은 약 56만대, 전기차 전력 공급 규모는 1.81GW에 달할 것으로 예측됐다. V2G로 인한 연간 편익은 국가 수준에서 509억 원, 개인(차량 1대 기준) 수준에서 104,151원으로 나타났다. 상대적으로 낮은 개인의 편익으로 인해 V2G의 참여가 감소할 수 있으니, 정



부가 V2G 전력 거래에 적합한 시장 환경을 구축하고 개인의 참여를 장려하는 정책을 지속적으로 지원해야 한다고 주장했다.

임슬예 등(2016)은 V2G에 대한 소비자의 선호를 파악하기 위해 설문 조사를 통해 자료를 수집하여 선택실험법을 적용했다. 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 판매할 수 있는 전력량이 많을수록 즉, 소비자들이 전기차의 배터리에 저장된 전력의 거래를 선호했다. 둘째, 전력망의 의무접속시간이 길어지는 것에 대한 선호가 매우 낮았다. 셋째, 배터리의 전력을 전부 판매할 수 없게 제한하고 의무적으로 일정 부분을 보존해야 하는 양(잔존 전력량)이 증가하는 것에 대한 선호가 낮았다. 넷째, 소득과 나이가 많을수록 효용이 높아지며, 전기요금의 높고 여자일수록 효용이 낮아졌다.

## 2) SWOT을 활용한 해외 V2G 연구

Raouf et al. (2021)과 Kostenko et al. (2023)은 각각 미국과 우크라이나를 대상으로 V2G 도입에 대한 SWOT 분석을 수행했다. 이를 통해 V2G의 강점, 약점, 기회, 위협에 대한 통찰력을 관련 이해관계자들에게 제공했다. 공통적으로 언급된 잠재적 편익(강점 및 기회)은 전력망 및 신재생에너지 출력 안정화, 에너지 비용 절감, 환경 부하 감소 등을 제시했다. 극복해야 할 사항(약점 및 위협)으로는 인프라 구축, 기술 투자 및 개발, 규제 장벽, 보안 구축 등을 제의했다.

국내 선행연구들은 사용자의 선호도 및 경제적인 측면을 분석함으로써 V2G 도입으로 인해 우리 사회가 상당한 편익을 얻을 수 있다고 주장했다. 하지만 제한된 부분에 집중함으로써 종합적인 측면을 간과했다는 한계점이 있다. 국외 선행연구들은 국내 상황과 상이한 부분이 많아 그대로 적용하기 어려우며, SWOT 분석에만 집중하여 정책적 함의를 구체적으로 제시하지 못했다.

반면에, 본 연구는 SWOT 분석을 통해 종합적인 관점에서 V2G를 폭넓게 분석하고, TOWS 분석을 활용하여 SWOT 분석에서 나열된 사실들을 전략적 계획에 통합하고 활용하는데 기여한다. 그리고 이를 기반으로 V2G를 효율적으로 활성화하기 위한 종합적인 전략(정책)을 제안한다는 점에서 독창성



및 선행연구와의 차별성을 지니고 있다.

### Ⅲ. 연구방법론

#### 1. SWOT

Learned et al.(1969)에 의해 개발된 SWOT 분석은 의사 결정을 개선하기 위해 정보의 양을 줄임으로써 복잡한 전략적 상황을 신속하게 해결하는 핵심 도구로 성장했다. 이는 어떤 주제에 대한 환경적 관계를 식별할 뿐만 아니라 국가, 조직 등의 이해관계자들이 따를 수 있는 적합한 방향 설정에 도움을 준다(Proctor, 1992).

이러한 특징 덕분에 국방연구개발 전략 수립(한장근·최석철, 2014), 스포츠 서비스 산업의 정책적 지원 방향 설정(신성연 등, 2020), 공동주택 관리자들의 안전의식 분석(윤태관·김찬선, 2018), 미술치료의 전략적 발전 방안 모색(김모라·김소울, 2016) 등 다양한 분야에서 활용되었다.

일반적으로, SWOT 분석은 2×2 격자에서 내부의 강점(Strengths) 및 약점(Weaknesses), 외부의 기회(Opportunities) 및 위협(Threats)을 고려한다(Helms and Nixon, 2010). 전자는 내부 환경의 구조, 인적 자원, 효율성, 재정 자원, 공급망, 수용성 등 그리고 후자는 외부 환경의 고객, 경쟁자, 시장 동향, 공급업체, 사회 변화, 신기술, 경제·정치적 이슈 등을 포함한다.

SWOT 분석을 위한 자료는 2장에서 제시했던 전기차 및 V2G의 특징, 4장에서 언급될 국내외 V2G 상황 그리고 V2G 선행연구들을 활용한다. 선행연구를 통한 SWOT 분석은 객관적이고 신뢰성 있는 데이터에 근거한 분석을 가능하게 하며, 전략적 의사결정 과정에서 보다 깊이 있는 통찰력과 정확성을 제공한다(Benzaghta et al., 2019).

## 2. TOWS

TOWS 분석은 SWOT 분석에서 분석된 위협, 기회, 약점, 강점 간의 관계를 체계적으로 식별하는 데 도움이 되며 이를 기반으로 전략적인 구조를 제공한다(Wehrich, 1982). 구체적으로는 ① 강점/기회(기회의 극대화를 위해 강점 사용, 공격 전략), ② 강점/위협(위협의 최소화를 위해 강점 사용, 우회 전략), ③ 약점/기회(기회의 이점으로 약점 최소화, 보완 전략), ④ 약점/위협(약점 최소화 및 위협 회피, 방어 전략)으로 구성된다.

SWOT 분석이 조직이나 사업의 현재 상태를 진단하는 데 초점을 맞춘다면, TOWS 분석은 그 결과를 활용하여 구체적인 전략을 수립하는 단계로 한 발 더 나아간다(Wehrich, 1982). 이는 기독교의 위기 타개(이규민, 2020), 유라시아경제연합의 공동가스시장 형성(노진선·윤익중, 2022), 대안 관광 발전(PIRNAR et al., 2019), 지속가능발전 전략(Aslan et al., 2012) 등에서 활용된 바 있다. 본 논문에서도 SWOT 분석의 성과를 이용하여 TOWS 분석을 도출하고, 궁극적으로는 V2G 활성화를 위한 세부적 방안을 제시한다.

## IV. 국내외 V2G 상황

Transparency market research(2023)에 따르면 전 세계 V2G 시장은 2021년을 기준으로 27.8억 달러 규모이며, 연평균 21.4%의 성장을 통해 2031년에는 200.6억 달러에 달할 것으로 예상된다. V2G 기술 시장에서 가장 많은 부분을 차지하는 것은 전력 공급 장치와 전기차로 분석됐고, 영리성이 가장 높은 지역으로는 유럽이 선정됐다. 이와 더불어, 양방향 충전(Bidirectional charging) 특허가 2018년 13,966건에서 2023년 23,387건으로 최근 5년간 가파른 성장을 하고 있다(Globaldata, 2023).

2023년을 기준으로 선진국 중심의 27개국에서 6,800개 이상의 양방향 충전기를 활용하여 약 130건의 V2G 사업을 진행해오고 있다(V2G Hub, 2023). 미국과 유럽 국가들(영국, 네덜란드, 독일)이 전체 사업의 과반수 이상을 차

지하며 V2G 시장을 선도하고 있고, 아시아에서는 일본이 가장 적극적인 자세를 보이고 있다.

## 1. 해외의 V2G 현황

### 1) 미국

캘리포니아주는 2014년에 V2G 로드맵을 발표했으며, 2022년에는 세 종류의 V2G 시범 사업을 승인했다(Zukowski, 2022). 그리고 2023년 5월 캘리포니아주 상원은 2030년부터 모든 전기차에 V2G 기능을 내장해야 한다는 법안을 통과시켰다(Cooke, 2023). 캘리포니아에서 판매되는 차량이 다른 주에서도 판매되기 때문에 이 조치는 국가적으로 V2G 기술의 채택을 이끌 것이다. Southern California Edison은 캘리포니아에서 구동되는 전기차 배터리 용량의 5~10%만 사용해도 6GW 용량을 제공할 수 있을 것으로 추정했다.

매사추세츠주에서는 전기 통학버스를 활용한 사례가 있다(Johnson, 2022). 전기 통학버스는 대용량 배터리를 보유하고 있으며, 학생들을 수송하지 않는 유휴 시간이 매우 길기에 V2G를 적용하기에 적합하다. 2021년 Highland Electric Fleet는 Thomas Build Buses, Proterra, Rhombus, Synop과 제휴하여 두 대의 전기 통학버스가 총 10MWh(누적)를 전력망으로 공급할 수 있음을 증명했다. 매사추세츠주의 한 가구당 소비 전력(월 평균 약 500kWh, 하루 평균 약 17kWh)을 고려했을 때, 10MWh의 전력은 약 600가구의 전력을 하루 동안 공급하기에 충분한 양이다.

전기차 제조회사에서 에너지 기업으로 변모하고 있는 테슬라(Tesla)는 메가팩(Megapack)<sup>1)</sup>을 활용하여 가상 발전소(Virtual power plant)를 운영하고 있다. 그리고 가상 발전소의 효율적인 운영을 위해 자동 입찰 플랫폼인 오토비더(Autobidder)를 운영하고 있는데 오토비더는 머신러닝과 최적화 알고리즘을 통해 세 가지 기능 ① 가격·부하·발전량 예측, ② 송출 최적화, ③ 스마트 입찰을 제공하여, 배터리의 전력 자산을 실시간으로 거래 및 제어하

1) 대규모 에너지 저장 장치.



는 플랫폼이다(Tesla, 2023). 이러한 특징 덕분에 테슬라의 오토비더는 V2G와 상당한 시너지 효과를 낼 것으로 기대되며, 자사 차주들이 V2G를 이용하기 적합한 환경을 구축했다. 게다가, 테슬라는 플랫폼을 유기적으로 구축 및 운영함으로써 에너지 생태계에서 그 지위를 더욱 견고히 구축할 것으로 예상된다.

Hernandez et al.(2022)은 미국의 Honda 전기차 운전자 3,603명을 대상으로 스마트 충전(V1G and V2G) 관련 설문 조사를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

- ① 친환경, 에너지 절약, 재정적 인센티브 획득으로 인해 응답자의 95%가 스마트 충전 프로그램에 관심이 있었다.
- ② 연간 300달러(단방향 충전)부터 연간 1,000달러(양방향 충전)까지의 인센티브를 통해 응답자의 80~89%가 스마트 충전 프로그램에 참여할 수 있는 전기차 구매에 관심이 있었다.
- ③ 응답자의 94%는 스마트 충전의 최소 한 가지 기능(개인정보 보호, 배터리 수명, 충전 준비 상태)에 대해 우려하고 있었다.
- ④ 우려에도 불구하고 응답자의 85% 이상이 향후 스마트 충전에 참여할 수 있는 기회에 대한 알리를 받기를 원했다.

이는 올바른 정보, 체계, 인센티브가 제공되면 스마트 충전이 미래를 향한 유망한 경로가 될 수 있음을 나타낸다.

## 2) 영국

V2G 기술에 가장 적극적으로 투자하고 있는 영국은 2018년에 21개의 V2G 사업에 약 3천만 파운드(약 500억 원)<sup>2)</sup>를 정부 차원에서 대규모로 투자했다(British Government, 2018). 자동차 제조업체, 관리 사업자, 인프라 사

2) "1 파운드 = 1,641 원"을 기준으로 함.

업자, 에너지 공급업체, 학계 등 50개가 넘는 업계가 통합적으로 참여했는데, 이는 전 세계적으로 가장 규모가 크고 다양한 V2G 사업이며 영국 전역에 1,000개 이상의 전기차와 V2G 충전기가 활용됐다.

Sciurus project는 21개의 V2G 사업 중 하나로써 OVO Energy의 주도 하에 Indra, Kaluza, Nissan, Cenex 등의 업체가 협동적으로 운영한 V2G 사업이다(Cenex, 2021). 320명의 Nissan Leaf 전기차 운전자를 모집하여 V2G를 활용할 수 있도록 지원했으며 사용자들은 모바일 앱으로 충전을 손쉽게 제어할 수 있었다. 이 앱은 전기차에 연결할 때의 전력 가격과 이용자가 모바일 앱에서 설정한 기본 설정을 고려한 다음, 수익의 극대화를 위해 전기차 배터리의 충전 혹은 방전 시기를 결정한다. 특정 시간에 최소 36%의 전기차가 연결되었으며 전력 수요가 피크에 도달하는 오후 4시 30분에 차량의 거의 절반이 전력망으로 전력을 방출했다. 이를 통해 2020년을 기준으로 30톤의 탄소 절감과 750MWh의 전력 수요 상쇄를 이뤘고 이용자들은 연평균 420 파운드(약 70만 원)의 경제적 편익을 얻을 수 있었다.

전기차 배터리가 에너지 시스템의 탄력성을 상당히 향상시킬 수 있음을 발견한 영국 정부는 2023년 ‘Electric Vehicle Smart Charging Action Plan’을 발표했다(BEIS and Ofgem, 2023). 이 계획은 다음의 세 가지 범주를 중점적으로 다루고 있다.

- ① 소비자를 위해 저렴하고 편리한 스마트 충전 시스템 구축
- ② 스마트 충전 관련 상품에 적합한 사업 환경 제공
- ③ 전기차 스마트 충전을 위한 에너지 시스템 수립

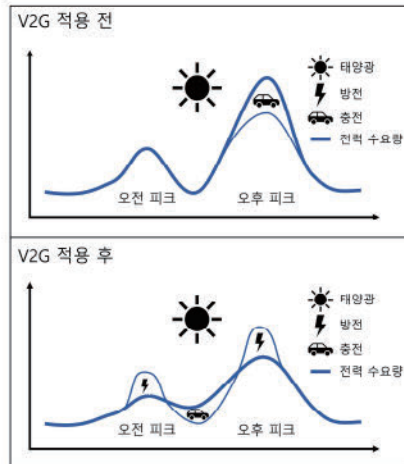
또한, 스마트 충전 이용자를 대상으로 대대적인 설문 조사를 실시하여 전기차 운전자의 태도와 행동을 파악하기 위해 노력했으며(BEIS, 2023a; 2023b), 이를 통해 V2G를 넘어 V2X의 활성화를 위한 영국 정부의 강력한 의지를 엿볼 수 있다.

3) 네덜란드<sup>3)</sup>

가정에서의 전력 수요는 아침과 저녁 시간대에 피크이다. 전기차를 보유한 가정은 일반적으로 퇴근 후 충전을 해서 저녁 시간대에 추가적인 전력 수요가 발생하며, 이로 인한 시간대별 전력 수요의 큰 변동은 전력망에 과부하를 유발한다. 게다가, 태양광은 수요가 낮은 낮 시간대에 전력을 생산함에 따라 에너지 생산과 소비 간의 불일치가 발생해 전력망을 비효율적으로 운영하게 된다(〈그림 2〉).

이러한 단점을 극복하기 위해 네덜란드는 Amsterdam Vehicle 2 Grid project를 통해 신재생에너지와 전기차를 결합하여 V2G를 활용했다. 태양광 발전이 활발한 낮 시간대에 이를 활용하여 전기차를 충전하면 신재생에너지의 단점인 출력제어 문제를 일부 해소할 수 있었다. 또한, 전력 수요가 피크에 달하는 오전 및 오후 시간대에 전기차의 전력을 전력망에 방전함에 따라 시간대별 전력 수요의 변동성을 줄일 수 있으며, 전력망을 효율·안정적으로 운영할 수 있게 됐다(〈그림 2〉).

〈그림 2〉 네덜란드 V2G 적용 사례



자료: Amsterdam Vehicle 2 Grid(2014)를 참고하여 재구성

3) Amsterdam Vehicle 2 Grid(2014).



2014년부터 2년간 운영된 V2G 사업(Amsterdam Vehicle 2 Grid project)의 주요 결과는 다음과 같으며, 이는 전기차, 신재생에너지, 가정용 전력 사용, 전력망이 어떻게 서로를 보완할 수 있는지, 즉 미래의 스마트 에너지가 나아가야 할 방향에 대해 시사하고 있다.

- ① 가정부문의 에너지 독립성 증가(31%)
- ② 전력망과의 에너지 교환 감소(45%)
- ③ 10kW 저장 용량에서 저장 크기 효율성이 최대 수준 도달(93%)
- ④ DC 배터리 저장 시 재전환으로 인한 운용 에너지 손실(20%)
- ⑤ 사업 기간 종료 후, 배터리 용량과 성능 저하(6~7%)

#### 4) 일본

일본은 2011 도호쿠 대지진 이후, 칸토 지역의 모든 원자력 발전이 한동안 중단되자 전기차의 전력을 활용하는 것이 유용하다는 것을 발견했고, 이는 일본의 V2H 개발을 촉진시켰다(Yui and Furuya, 2023). 주택 제작 업체인 Sumitomo Forestry는 Nissan의 전기차(Leaf)를 활용하여 V2H 시스템을 도입한 스마트 하우스인 Smart Solabo을 2012년에 세계 최초로 개발했다(Hayakawa, K, 2012). 12kW 용량의 주거용 배터리 시스템을 도입했는데 이는 절약하며 사용한다면 한 가정에서 약 2일 동안 사용할 수 있는 규모이다. 현재는 거듭된 기술 발전으로 전기차 한 대가 약 3~5일 동안의 전력을 가정에 공급할 수 있다.

요코하마시는 스마트 시티 프로젝트(2010~2012)의 일환으로 4,000가구와 1.6백만 m<sup>2</sup>의 빌딩에 2,000대의 전기차를 도입하여 V2G를 활용했다(City of Yokohama, 2020). 그 결과, 수요반응을 통해 피크 에너지 소비에서 최대 22%를 감축할 수 있었다.

단독주택 비중이 높은 일본은 V2H의 활용성과 잠재성이 매우 크다. 이에 주목한 일본 기업들이 V2H 시장에 적극적으로 진입하고 있다(윤주혜, 2023; 코트라, 2023a; 코트라, 2023b). 파나소닉(Panasonic)은 2022년 12월에 '에

네플렛(Eneplat)'을 발표했다. 이는 V2H와 축전 시스템을 결합한 것으로 기존의 시스템(태양광 발전, 가정용 축전지)에 추가할 수 있고, 시스템이 없더라도 이용할 수 있다. 이로 인해, 가정용 태양광 발전의 자가 소비를 극대화함으로써 전기차 충전 요금을 약 60% 줄일 수 있다. 일본 V2H 시장의 약 90%를 점유하고 있는 니치콘(Nichicon)도 파나소닉의 제품과 비슷한 '트라이브리드(TRIBRID)' 축전 시스템을 출시했다. 또한, V2H 시스템 및 가정용 배터리의 생산 공장을 확장 중이며, 메르세데스 벤츠 등 해외 자동차 업체와 협력 관계를 구축했다. 스미토모(Sumitomo)는 2023년 4월 기업용 전기차 대여 사업, V2B, V2H, 전용 전력 계획 등의 서비스를 통합적으로 제공하는 회사, 하코부네(Hakobune)를 설립했다. 하코부네는 직원이 출퇴근을 전기차로 하여 근무시간(낮) 동안 직장에서 충전하고, 충전된 전력을 집에서 활용할 수 있는 환경과 서비스를 제공한다. 직장에 설치된 태양광 발전의 잉여 전력은 스미토모가 가상발전소 사업자 역할을 맡아 판매한다. 이외에도 오므론(Omron)이 2023년 5월에 V2H 시스템을 출시했고, 샤프(Sharp)도 몇 년 안으로 V2H 시장에 진출할 계획을 갖고 있다.

일본 기업이 V2H 사업에 뛰어드는 배경은 정부가 2023년에 도입한 '클린 에너지 자동차 보급 촉진을 위한 충전·충전 인프라 도입 촉진 보조금' 덕분이다(코트라, 2023b). 이는 100억 엔 규모의 예산이며, V2H 충·방전 설비 및 외부 충전기, 전기차(또는 하이브리드차)의 충전설비 등을 지원한다. 이로 인해, 2022년부터 V2H 시스템을 구비한 전기차가 늘어나기 시작했고 2023년에는 대부분의 일본 전기차가 V2H 시스템에 대응할 수 있도록 생산됐다. 또한, 2021년까지는 전기차 구매 시에만 V2H 보조금을 신청할 수 있었지만 2022년부터는 전기차를 구매하지 않아도 V2H로 보조금을 별도로 신청할 수 있다.

## 2. 국내의 V2G 현황

한국에서는 한국전력공사의 2009년 '제주도 스마트그리드 실증단지'를 시작으로 V2G에 대한 관심이 시작됐다(Park et al., 2014). 이후, 정부 R&D

과제를 통해 공공 및 민간 기업과 학계에서 V2G 관련 연구를 활발히 수행하고 있다(〈표 2〉).

〈표 2〉 V2G 관련 국가과제 현황

연구기간	수행기관	과제명	연구목표
2015-2018	동국대학교	스마트그리드 기술의 국가로드맵 대응을 위한 한국형 V2G의 에너지 관리시스템 연구	한국형 V2G를 위한 시스템 모델링 및 시뮬레이션 기술 개발
2015-2018	대경엔지니어링	ESS기반 양방향 전기차 충전인프라 시스템 개발	재활용 및 양방향 충전이 가능한 폐배터리 개발
2015-2017	한국전력공사	서비스 연계형 V2G 기술개발 및 실증	전기차용 양방향 충전기 및 관련 시스템 등 개발
2016-2017	중앙제어	고효율 V2G 용 충전모듈 개발	고효율 V2G 충전기 개발을 위한 최적의 토폴로지 선정
2017-2020	한국스마트그리드협회	전기자동차 충·방전 및 서비스 표준화 기반 구축	전기차 관련 국제표준을 국내 표준으로 개발
2017-2021	홍익대학교	능동전력디커플링과 와이드밴드 갭 스위칭 소자를 이용한 고전력 밀도 양방향 컨버터 개발	V2G를 위한 고전력밀도 양방향 컨버터 개발
2018-2021	가천대학교	게임피케이션 인센티브 모델을 통한 V2G Energy Flexibility 검증	V2G 플랫폼 분석 및 설계
2018-2019	대영채비	가상발전소를 위한 20kW급 V2G 전기자동차 충전기 개발	20kW급 양방향 충전기 개발
2018-2022	한국전력공사	EV의 수요자원화를 위한 VGI 통합제어기술 개발 및 V2G 실증	전기차의 수요자원화를 위한 통합제어 시스템 개발과 V2G 실증 사업 운영
2020-2024	서울과학기술대학교	친환경자동차용 WBG 기반의 차세대 초고전력밀도 스마트 전력변환기 연구	친환경차용 초고전력밀도 스마트 전력변환기 개발
2020-2022	글로벌텍	전기차 및 전기자율주행차의 자동 충전 및 V2G 서비스를 지원하는 지능형 충전제어기 개발	지능형 충전제어기의 하드웨어 및 소프트웨어 구현
2020-2024	성균관대학교	전기자동차 유·무선 통합 충전시스템 플랫폼 설계 및 제어기술 연구	차량용 유무선 충전 호환형 All-in-One 충전기 개발
2020-2024	세코인터페이스	22kW급 고효율밀도 LDC 통합 양방향 차량용 충전기 개발	V2G 구현을 위한 LDC 통합형 양방향 충전 시스템 개발
2023-2025	미래이앤아이	초소형 전기차 및 퍼스널 모빌리티의 V2G 시스템 지원을 위한 양방향 충전이 가능한 3.3kw OBC 개발	양방향 충전기술의 설계 및 제작

자료: 국가과학기술지식정보서비스(2023)



산업통상자원부는 2023년에 발표한 ‘제10차 전력수급기본계획’과 ‘제3차 지능형 전력망 기본 계획’에서 V2G를 활용할 수 있는 정책을 마련했다(산업통상자원부 2023a; 2023b). 전자에서는 V2G 기술 확산 및 전기차 보급대수 확대(2030년까지 누적 362만대)를 통해 부하관리(피크감축)에 활용하고자 한다. 후자에서는 스마트 충·방전사업모델 개발 및 V2G 제도 도입 기반을 마련하고, 지능형전력망 인증제도에 V2G를 포함시켜 상호운용성을 확보하고자 한다.

환경부는 전기차 대중화와 탄소 중립의 조기 실현을 위해 ‘2023년 전기차 구매보조금 개편방안’을 발표했다(환경부, 2023). 이로 인해 전기차의 활용도와 부가가치가 높은 혁신기술을 적용한 차량에 ‘혁신기술보조금’ 20만 원을 지원하기 시작했으며, 2023년에는 V2L 기능을 탑재한 전기차에 지급한다.

KT는 2018년 성남시 분당사옥에 V2G 테스트베드를 구축하고, EV-DR(전기차-전력수요감축) 사업모델의 실증을 진행했다(KT, 2018). 이를 시작으로 향후 모든 업무용 전기차에 EV-DR을 적용할 뿐만 아니라 최대 1만 대의 업무용 차량을 전기차로 교체할 계획이다. 게다가 일반 전기를 대상으로도 사업을 확장한다. 본 사업의 핵심인 통합 에너지 관리 플랫폼 ‘KT-MEG’은 인공지능 분석엔진 ‘e-Brain’이 전력망 상황을 24시간 모니터링하여 전기차의 충·방전 시기 관리와 전력수요감축에 실시간으로 대응한다. 추후에는 EV-DR 이용 고객의 효율적인 전력 소비와 수익 최대화를 위한 서비스(수익 분석, 보고서 발행 등)까지 제공할 예정이다.

SK렌터카는 한국전력공사 전력연구원과 협력하여 2022년에 ‘V2G 실증 사업’을 진행했다(SK네트웍스, 2022). 제주지점에서 운영 중인 SK렌터카가 보유한 전기차 ‘아이오닉5’ 10대를 실증 사업용으로 활용하고 전용 공간에 사업용 V2G 충전기 10대를 설치하여 관련 기술과 시스템을 실증한다. V2G 충전기 10대는 시간당 총 70kW의 충전과 50kW의 방전이 가능하다. 1일 8시간씩 한 달간 운행 시, 전기차에 최대 1만6800kWh 전력을 저장할 수 있는데 이는 약 34가구(4인 1가구 기준)가 한 달 동안 쓸 수 있는 규모이다.

이러한 기조에 맞춰, 2025년부터 전기차 충전시설에 V2G를 의무적으로

구비하는 법안의 개정이 추진되고 있다. 전기차를 ‘움직이는 에너지 저장 장치’로 이용하여 ‘필요시 방전할 수 있는 자동차’로 정의하고, 전력 수급에 적극적으로 활용하겠다는 취지이다(이상복, 2023).

한국이 최근 들어 V2G에 관심을 갖고 투자한 것에 비해, 글로벌 기업들은 이미 관련 사업과 기술 개발을 활발하게 진행하고 있다. 2024년 기준, 전 세계적으로 V2G 사업이 수행됐거나 수행 중인 건수는 140건에 달하며, 이 중 한국은 단 4건에 불과하다(V2G Hub, 2024). 주요 선진국들은 영국 33건, 미국 21건, 네덜란드 17건, 독일 12건, 일본 6건으로 나타났다. 특히 출원도 비슷한 상황이다. 2010~2022년 동안 V2G 관련 특허 출원량은 토요타(Toyota)가 압도적인 1등, 그다음으로는 혼다(Honda), 와이트리시티(WiTricity), 파나소닉(Panasonic), 비야디(BYD) 등의 순서이며, 한국의 현대는 중하위권에 위치한다(Just Auto, 2023).

## V. SWOT-TOWS 분석 적용

SWOT 분석은 일반적으로 조직 내부의 강점·약점 그리고 조직 외부의 기회·위험으로 구분된다(Gretzky, 2010). 구체적으로는 조직이 직접 통제 가능한 요소는 내부, 불가능한 요소는 외부로 나눈다. 본 논문에서는 ‘한국의 V2G 관련 상황’을 기준으로 내부와 외부로 구분한다. 다만, V2G로 인해 미래에 얻을 이득은 도입 이후 변하는 요소이기에 외부로 구분했다.

### 1. SWOT 분석을 통한 V2G 현황 분석

#### 1) 강점

첫째, 유휴 자원인 전기차를 적극적으로 활용할 수 있다. 세계 84개 도시를 1995년의 데이터로 분석한 결과, 자동차의 매일 평균 운행시간은 61분으로 나타났다(Barter, 2013). 이는 하루 중 자동차가 실제로 운행되는 시간의 비

중은 4.2%에 불과하며, 주차장에 보관되어 있는 정차 시간이 하루 중 95.8%를 차지한다는 뜻이다. 영국을 대상으로 비슷하게 진행된 후속 연구에서 이수치가 최근(2018-2019)에도 거의 변하지 않았음을 고려했을 때(Nagler, 2021), 이전 조사에서 자동차의 정차 시간이 하루 중 92.3%를 차지했던 서울의 상황도 현재까지 큰 차이가 없을 것으로 예상된다. 실제로 국토교통부(2013)에 따르면 한국 승용차의 하루 평균 운행시간은 56.5분으로 하루 중 3.9%를 차지하며, 유휴 시간이 96.1%에 달한다. 이렇게 제한적인 자동차 활용 시간을 V2G에 접목한다면 오랜 시간을 유휴 자원으로 보내는 전기차를 유용하게 사용할 수 있다.

둘째, 세계적 수준의 산업 경쟁력을 갖춘 국내 제조사들이다. 국산 전기차들은 자동차 양대 시장인 유럽과 미국에서 선전 중이다(권가림, 2023; 임기창, 2023). 신규 차량의 90%가 자국 브랜드인 일본에서도 현대차의 ‘아이오닉5’가 ‘올해의 수입차’를 국산차 최초로 수상하며(오테근, 2023), 일본 시장의 진출에도 박차를 가하고 있다. 또한, 국내 배터리 업체 3사(엘지에너지솔루션, 삼성에스디아이, 에스케이온)는 세계 배터리 시장에서 높은 점유율과 성장세를 이어가고 있다(SNE Research, 2023).

셋째, 정부 차원의 적극적인 지원을 기대할 수 있다. 정부는 2009년 제주도 V2G 실증단지를 시작으로 R&D 과제를 통해 공공·민간 기업 및 학계의 V2G 관련 연구를 활발히 지원하고 있다(국가과학기술지식정보서비스, 2023). 2023년에는 산업통상자원부의 ‘제10차 전력수급기본계획’과 ‘제3차 지능형 전력망 기본 계획’를 통해 V2G를 적극적으로 활용할 수 있는 정책 기반을 마련했다. 또한, 환경부는 ‘2023년 전기차 구매보조금 개편방안’을 통해 전기차 대중화를 유도하고 있다.

넷째, V2G는 해외에서 검증된 모델이다. 해외 선진국들은 V2G 도입을 통해 이미 그 효과를 확인했고, 사업 범위를 넓혀가고 있는 추세이다(Globaldata, 2023). 국내도 수많은 국가과제와 사기업들의 협력으로 V2G 실증 사업을 수행한 경험이 있으며, 이를 바탕으로 국내에서도 V2G의 효과를 검증한 바 있다.



## 2) 약점

첫째, 전기차 충전소가 절대적으로 부족하다. 2022년 12월 말 기준, 전국에 판매된 전기차의 누적 대수는 38만이다. 그리고 같은 기간까지 전국에 설치된 전기차 충전기는 완속 충전기 18만4468대(89.8%)와 급속 충전기 2만737대(10.2%)로 총 20만 5205기다(무공해차 통합누리집, 2023). 이는 전기차 1대당 충전기가 0.6기에 불과한 실정을 나타낸다. 정부는 2025년까지 전기차 충전기 51만7000기를 확충할 예정이지만 계획대로 될지는 미지수이며, 목표를 달성하더라도 여전히 부족한 상황이다. 전기차 운전자들도 충전소 부족을 전기차의 가장 불편한 점으로 선정한 바 있다(김덕현, 2023; 이상현, 2023).

둘째, 정부의 정책이 미비한 상황이다. 해외 선진국가들은 로드맵 발표, 적극적인 보조금 지급, 국민 인식조사 등을 통해 V2G 정책을 일찍부터 선도하고 있다. 반면 한국은 2021년에 V2G가 규제 샌드박스를 통과했으며, 2023년부터 전력 관련 계획에 V2G를 언급하기 시작했다. 이로 인해 V2G에 대한 구체적인 정부 계획 및 정책이 부진한 상태이다.

셋째, 신재생에너지의 점유율이 낮다. 전기차가 진정한 의미의 '친환경' 운송 수단이 되기 위해서는 연료가 되는 전력이 청정 에너지원이어야 한다(Shafique and Luo, 2022). 하지만 한국의 에너지 믹스는 비신재생에너지가 90% 이상을 차지하고 있으며(에너지경제연구원, 2022), 이런 상황에서 전기차의 비중이 증가하면 발전 부문의 부담이 가중됨에 따라 V2G로 인한 편익은 제로섬 게임이 될 가능성이 매우 크다(Richardson, 2013).

## 3) 기회

첫째, 관련된 기술들의 개발을 촉진시키며 신사업 구축에 도움이 될 수 있다. V2G를 적용하기 위해서는 전기차뿐만 아니라 양방향 충전기, 충전소, 배터리, 가상발전소, 통신, 보안, 중개 플랫폼 등의 발전이 수반되어야 한다. 이로 인해 V2G의 본격적인 도입 및 투자가 진행된다면 관련 인프라들 또한 파

급효과를 받게 될 것이다(Sultan, et al., 2022).

둘째, 기후변화에 대한 국민들의 인식이 긍정적이다. 황주연 등(2023)은 대국민 인식조사를 통해 기후변화에 대한 국민들의 관심이 높은 것을 확인했다. 또한, 전 세계 35개국을 대상으로 비슷하게 진행된 연구에서 한국 국민들의 기후변화에 대한 인식은 35개국 평균보다 높았다(WIN, 2023). 이러한 인식은 기후변화와 직접적으로 연관이 있는 V2G 사업에도 많은 관심을 불러일으킬 수 있을 것이다.

셋째, 전기차와 V2G는 급성장하는 시장이다. V2G 도입의 효과로 인해 전 세계적으로 관련 시장이 가파른 성장세를 보이고 있다(Transparency market research, 2023). 특히 V2G 연관된 산업들은 대부분 기후테크에 속해 있어(Net zero insights, 2023), 전도유망한 산업으로 손꼽힌다.

넷째, 전력망 및 전력 가격 안정화에 기여할 수 있다. V2G를 통해 전력 수요가 낮은 시간대에 전기차를 충전하고, 전력 수요가 높은 시간대에 전기차의 전력을 전력망에 방출함으로써 전력 수요의 변동성을 안정적으로 관리할 수 있다(Ahmadian et al., 2017). 이는 전력망과 전력 가격의 관리에도 긍정적인 영향을 미친다(Noel, et al., 2018; Anwar et al., 2022).

다섯째, 신재생에너지의 단점을 보완할 수 있다. 신재생에너지(태양 및 풍력)는 심한 변동성으로 인해 발전 비중이 증가할수록 출력제한이 기하급수적으로 증가하며 상당한 비효율성이 발생한다(전우영 등, 2022). 에너지 저장장치를 통해 이러한 문제를 해결할 수 있는데, V2G는 이동형 에너지 저장장치 역할을 하기에 신재생에너지의 출력제한 이슈를 극복하기에 적합하다(IRENA, 2019).

여섯째, 환경 문제 개선에 큰 도움이 된다. 전기차는 기존의 내연기관차와 달리, 탄소를 포함한 대기오염물질들을 배출하지 않음으로 대기 환경 개선 및 탄소 중립 달성에 기여할 수 있다(Hoehne and Chester, 2016).

#### 4) 위협

첫째, 전기차와 V2G에 대한 대중의 인식이 부정적이다. 전기차는 내연기

관차에 비해 가격이 비싸다. 게다가 지속적으로 감소 중인 전기차 지원금과 열악한 충전소 인프라로 인해 소비자들의 전기차 선호도가 하락하고 있으며, 전기차 판매가 부진한 상황이다(서영준, 2024). 이는 전 세계적인 현상이지만 특히 한국에서 큰 둔화세를 보인다. 또한, V2G로 인해 배터리 성능 저하를 우려하는 소비자들의 거부감도 문제 요소이다(Kostenko et al., 2023). V2G를 적용한 전기차는 V2G 미적용 전기차에 비해 충전 및 방전을 반복하는 횟수가 많고, 이는 전기차 배터리의 성능과 수명을 저하시킨다(Guo et al., 2019; Manzolli et al., 2022).

둘째, 보안 문제가 취약하다. V2G는 차량, 충전기, 충전소, 전력망 등 다양한 대상이 서로 통신으로 연결되어 사이버 공격 및 해킹에 취약하다(Mousavian et al., 2018). 또한, 차량을 연결 후 자리를 비우기 때문에 물리적 보안의 위험성이 존재한다(Reddy et al., 2023).

셋째, 표준화가 정립되지 않은 상황이다. 한국자동차연구원(2023b)에 따르면, 전기차 급속충전 표준은 미국·유럽·한국의 CCS(Combo), 일본의 CHAdeMO, 중국의 GB/T 등이 병립하고 있으며 CCS(Combo)가 글로벌 표준으로 자리 잡고 있다. 하지만 일본과 중국이 공동개발 중인 급속충전 규격 Chaoji와 자국 규격을 신흥국(인도 등) 시장에 진입시켜 점유율을 회복하려고 하고 있다. 게다가 최근 미국의 포드와 제너럴모터스가 경쟁 업체인 테슬라의 '북미충전표준'(NACS) 방식을 적용하겠다고 발표하면서, 전 세계 전기차 회사들의 충전방식을 둘러싼 고심이 깊어지고 있다(최우리, 2023). 테슬라의 충전 인프라를 수용하면 단기간으로는 많은 충전소를 편리하게 사용할 수 있다. 하지만 장기적으로는 잠재 고객, 데이터, 부가서비스 등을 테슬라에게 의존하고 빼앗기게 되는 것이다. 충·방전을 지원함에 따라 충전 기술보다 더 복잡하고 최근에 도입된 V2G는 국제 표준화 작업이 진행 중이며, 위에 언급된 급속충전 표준 시장의 치열한 상황을 한국도 그대로 휘말릴 가능성이 높다.

넷째, V2G 시장에 후발 주자로 진입한다. 일본은 Nissan의 세계 최초 양산형 전기차 Leaf와 도쿄 전력의 급속충전시스템 CHAdeMO를 필두로 일찍이 유럽 시장에 진입했다. 그리고 유럽의 수많은 V2G 실증 사업에 두 회사의 제



품이 적극적으로 활용되면서 강력한 브랜드 입지를 구축한 바 있다. 테슬라는 전기차뿐만 아니라 오토비더(전력 자동 입찰 플랫폼), 슈퍼차저(충전소), 메가팩(가상발전소)의 유기적인 생태계를 구축하여 종합적인 에너지 기업으로서의 면모를 과시하고 있다. 이렇게 탄탄한 기업들이 장악 중인 V2G 시장을 뚫어야 하는 것이다.

## 2. TOWS 분석을 통한 V2G 발전 방향 분석

### 1) 공격 전략(강점/기회): 강점을 활용하여 기회 최대화

첫째, 하루 중 대부분을 정차된 채 활용되고 있지 않은 유휴 자원(전기차)을 효율적으로 사용함에 따라 새로운 부가가치와 사회경제적 파급효과를 창출할 수 있고(Johnson, 2022), 이를 V2G 관련 기술 개발 및 신사업의 원천으로 전환할 수 있다. 둘째, V2G로 인한 친환경적 효과는 이미 국내외로 검증된 상황이며, 이를 널리 알림으로써 국민들의 기후변화 및 친환경적 인식을 더욱 증진시킨다. 셋째, 국내 전기차 및 배터리 업체의 세계적 수준의 경쟁력과 정부의 적극적인 지원이 시너지 효과를 이뤄 급격하게 성장 중인 V2G 시장의 점유율을 공격적으로 확보한다. 넷째, V2G 활성화로 얻게 될 사회·경제적 효과를 재투자하여 에너지·환경 안보의 장기적인 편익을 극대화한다.

### 2) 우회 전략(강점/위협): 강점을 활용하여 위협 최소화

첫째, 유휴 차량 활용으로 얻는 경제적 편익을 충전 인프라 확충, 배터리 교체(지원) 사업 등에 투자하여 대중의 부정적인 인식을 완화한다. 적절한 양의 인센티브는 시민들의 V2G 참여에 긍정적인 영향을 미치기 때문이다(Hernandez et al., 2022). 둘째, 국내 업체의 경쟁력과 정부의 지원을 통한 R&D 사업으로 보안을 강화하고 표준화 체계를 구축한다. 구체적으로는 블록체인 같은 사이버 보안, 그리고 감시 및 안전 장치 같은 물리적 보안에 투자하여 안정·신뢰성을 높여야 한다. 또한, V2G의 원만한 운영을 위해서는 차

량, 충전기, 플랫폼(거래소), 전력망 등 각 구성이 표준화된 방식을 적용하여 호환성을 확보해야 한다. 셋째, 시장에 먼저 진입한 선진국들의 경험을 참고하여 후발 주자의 이득(비용 감소, 경쟁자 대비 질 높은 상품 제작, R&D 비용 감소, 기존 기술 향상 및 차별화 등)을 취할 수 있다(Eswar et al., 2022). 이를 기반으로 시행착오를 줄이고 차별화된 브랜드 전략을 수행한다.

### 3) 보완 전략(약점/기회): 기회를 활용하여 약점 최소화

첫째, 열악한 인프라를 확충하기 위해 신기술 및 신사업 활성화를 통해 파트너십을 모색한다. 영국이 자동차 업체, 관리·인프라 사업자, 에너지 공급 업체, 학계, 시민들을 한데 모아 사업을 진행한 것이 좋은 예시가 될 수 있다. 이를 통해 인프라 구축에 필요한 최신 기술을 확보하고 개선점에 대한 피드백을 바로 적용할 수 있으며 비용 부담을 줄일 수 있다. 둘째, 국민들의 친환경적 인식 수준이 높다는 것과 V2G가 급성장 중인 신시장을 정부에게 적극적으로 알리고, 이에 대응하기 위한 정책 도입을 유도해야 한다. 정부는 국민들의 요구에 대응함과 동시에 급성장 중인 신시장에 참여하여 민심 반영 및 국가 발전에 기여할 수 있다. 셋째, 에너지 및 환경 안보 개선 극대화를 위해 신재생에너지 비중을 크게 늘려야 한다. V2G는 신재생에너지의 출력 제한과 환경 문제를 개선할 수 있는 신성장동력을 사업으로써 신재생에너지와 상당한 시너지 효과를 일으킨다(Lund and Kempton, 2008; Shi et al., 2020). 이런 이유로 V2G 산업뿐만 아니라 신재생에너지에 대한 투자 및 비중을 증가시켜야 한다.

### 4) 방어 전략(약점/위협): 약점 최소화 및 위협 회피

첫째, 지속적인 인프라의 설치 및 성능 개선(배터리 재활용 및 보증 기간 확대 등)으로 이용자 및 잠재적 소비자들의 비관적 인식을 완화하도록 노력해야 한다. 배터리의 재활용·재사용으로 핵심광물의 공급망 안정화를 목표로 하는 '배터리 순환경제' 개념을 도입하여(안상욱, 2023) 성능 개선 및 전기

차주들의 참여를 고취시켜야 한다. 둘째, 보안 문제를 해결할 수 있는 정책 및 기술 개발에 초점을 맞추어 정부의 지원을 유도한다. 특히 금전적 지원뿐만 아니라 다양한 이해관계자들이 참여하고 협력할 수 있는 기회를 마련하도록 요청한다. 셋째, 후발 주자로서의 이득을 활용하여 선발 주자들이 겪었던 장단점을 유용하게 활용할 수 있다. 선진국들이 도입했던 V2G 관련 정책을 한국 상황에 맞게 신속하게 도입 및 적용하여, V2G 사업 운영의 안정성을 도모한다. 예컨대, 선발 주자들이 주로 활용했던 태양광뿐만 아니라 다양한 신재생에너지를 활용하여 후발 주자로서의 경쟁력을 확보할 수 있다.

〈표 3〉은 SWOT-TOWS 분석을 통해 V2G를 분석한 위의 내용들을 요약 및 정리한 것이다.

〈표 3〉 V2G 현황 분석 및 발전 전략을 위한 SWOT-TOWS 분석

	외부 기회(O)	외부 위협(T)
	O1) 기술 개발&신사업 활성화 O2) 국민들의 기후변화 인식 O3) 시장의 급성장 O4) 전력 안정화 O5) 신재생에너지 보안 O6) 환경 문제 개선	T1) 대중의 부정적인 인식 T2) 취약한 보안 T3) 미정립된 표준화 T4) 후발 주자
내부 강점(S)	공격 전략(강점/기회)	우회 전략(강점/위협)
S1) 유희 차량 활용 S2) 국내 경쟁력 S3) 정부의 지원 S4) 검증된 효과	S1, O1) 유희 상황을 활용한 신성장동력 확보 S4, O2) 친환경적인 효과로 기후변화 위기 인식 증진 S2-3, O3) 경쟁력과 지원을 바탕으로 시장 점유율 확보 S4, O4-6) 검증된 효과를 바탕으로 미래 편익 극대화	S1, T1) 인센티브를 활용한 부정 인식 해소 S2-3, T2-3) R&D를 통해 보안·성능 개선 및 표준화 확보 S4, T4) 후발 주자의 브랜드 전략
내부 약점(W)	보완 전략(약점/기회)	방어 전략(약점/기회)
W1) 열악한 인프라 W2) 정부 정책 미비 W3) 낮은 신재생 비중	W1, O1) 기술 개발&신사업 확대로 인프라 개선 W2, O2-3) 친환경적 인식과 신시장 진출에 대응하는 정책 도입 유도 W3, O4-6) 에너지 및 환경 안보 개선 극대화를 위한 신재생 확대	W1, T1) 인프라 적극 도입 및 개발로 인식 및 성능 개선 W2, T2-3) 보안 및 표준화 관련 정책 추진 W3, T4) 신재생 확대로 후발 주자로서의 경쟁력 확보



## VI. 결론

V2G가 정착하기 위해서는 아직 많은 단계를 넘어서야 하지만, 이는 개인의 편익뿐만 아니라 국가적인 측면의 환경 및 에너지 안보 향상에 큰 도움이 된다. 또한, 기업들이 활용할 경우 ESG 및 RE100에 기여할 수 있을 것이며, 지자체들은 탄소중립도시를 구축하는데 공헌할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구를 통해 도출된 SWOT-TOWS 분석 결과, V2G 활성화를 위한 다양한 전략적 방향이 제시되었다. 첫째, 공격 전략으로 유휴 차량 활용, 국내 경쟁력, 정부의 지원, 검증된 효과 등 내부 강점을 바탕으로 신성장동력 확보, 기후변화 인식 증진, 시장 점유율 확보, 미래 편익 극대화 등을 추진할 수 있다. 둘째, 우회 전략으로 유휴 차량 활용을 통한 부정 인식 해소, R&D로 보안·성능 개선 및 표준화 확보, 후발 주자에 대한 브랜드 전략을 구축하는 것이 제안되었다. 셋째, 보완 전략으로 기술 개발과 신사업을 통한 인프라 개선, 친환경적 인식과 신시장 진출에 대응하는 정책 도입 유도, 에너지 및 환경 안보 개선을 위한 신재생에너지 확대 등이 필요하다고 판단되었다. 넷째, 마지막으로 방어 전략으로는 인프라 도입 및 개발로 부정적 인식 및 성능 개선, 보안 및 표준화 관련 정책 추진, 신재생 에너지 확대로 후발 주자로서의 경쟁력 확보가 중요하다고 결론지었다.

이러한 전략적 방향들은 V2G 시스템의 성공적인 도입과 활성화를 위한 기본 지침으로 활용될 수 있을 것이다. 각 전략은 V2G 시스템의 강점을 극대화하고 약점을 보완하며, 기회를 적극적으로 활용하고 위협을 최소화하는 데 초점을 두고 있다. 이를 통해 V2G 시스템은 시장에 빠르게 적응하고, 지속 가능한 성장을 위한 기반을 마련할 수 있을 것이다. 학술적인 측면에서는 추후 수행될 V2G 연구의 기초자료 혹은 방향성을 제시하는 연구로 본 연구가 활용될 수 있을 것이다.

본 논문은 SWOT-TOWS 분석을 통해 V2G의 특징 및 현황을 종합적으로 분석하고, V2G가 활성화되기 위한 발전 방향을 파악했다. 하지만 아직 국내를 대상으로 도입된 사례가 부족하고, 이에 따라 관련 데이터가 미흡함에 따

라 질적 연구에 그쳤다는 한계점을 지니고 있다. 추후 연구에서는 실제 운영된 사례와 데이터를 통한 양적 연구를 수행한다면 정확히 어떤 효과가 있으며 어느 부분에서의 문제점을 극복할 수 있을지 분석할 수 있을 것으로 기대한다.

### ■ 참고문헌 ■

- 국토교통부, 2013, 『자동차 이용실태조사』, 세종: 국토교통부.
- 김영환·이재승, 2015, “충소유비용 분석을 이용한 전기차의 V2G 도입에 대한 연구,” 『에너지공학』, 24(2), pp.129-143.
- 김옥원·신홍열·김진오·김규호, 2014, “전력 보조서비스 제공을 위한 전기자동차 충/방전 최적화,” 『전기학회논문지』, 63(8), pp.1033-1038.
- 김모라·김소울, 2016 “SWOT분석을 활용한 한국미술치료의 발전 전략 연구,” 『한국미술치료학회』, 23(4), pp.947-966.
- 김비아·김재엽·박명덕, 2020, “수송부문의 전력화 현상이 전력산업에 미치는 영향 분석,” 『한국자원공학회지』, 57(4), pp.362-371.
- 노진선·윤익중, 2022, “유라시아경제연합 공동가스시장 형성에 관한 연구 - SWOT 분석과 TOWS 매트릭스를 적용하여,” 『슬라브연구』, 38(4), pp.103-132.
- 산업통상자원부, 2023a, 『제10차 전력수급기본계획 (2022~2036)』, 세종: 산업통상자원부.
- 산업통상자원부, 2023b, 『제3차 지능형전력망 기본계획 (2023~2027)』, 세종: 산업통상자원부.
- 신성연·이원재·김혜란, 2020, “스포츠서비스산업 SWOT분석을 통한 정책 지원방향 도출에 관한 연구,” 『서비스경영학회지』, 21(4), pp.1-36.
- 안상욱, 2023, “EU 와 미국의 배터리 순환경제 정책 및 입법,” 『EU 연구』, 68, pp.75-107.
- 온실가스종합정보센터, 2022, 『2020년 국가 온실가스 인벤토리』, 청주: 온실가스종합정보센터.
- 윤태관·김찬선, 2018 “공동주택 관리자들의 안전의식 SWOT분석,” 『한국융합과학회지』, 7(1), pp.77-92.
- 이규민, 2020, “한국교회와 교회학교의 위기 타개를 위한 분석적 성찰—스왓(SWOT) 및 토우스(TOWS) 분석을 중심으로,” 『한국기독교신학논총』, 115, pp.359-382.
- 이성욱·박병주, 2019, “전기자동차와 충전기반시설의 V2G 기술 활용과 영향에 관한 연구,” 『문화기술의 융합』, 5(2), pp.367-373.
- 이재현·윤서연·연복모·박소영, 2020, 『친환경차 활성화 추이에 따른 이용자 중심 충전

인프라 구축 방안』, 세종: 국토연구원.

임슬예·김희훈·유승훈, 2016, "V2G 시스템에 대한 잠재적 소비자의 선호 평가," 『에너지공학』, 25(4), pp.93-102.

에너지경제연구원, 2022, 『에너지통계연보』, 울산: 에너지경제연구원.

전우영·김진이·이성우, 2022, "그린수소 기반 섹터 커플링 통한 재생에너지 출력제한  
경감효과 연구," 『신재생에너지』, 18(2), pp.50-59.

차채연·김경주·박형근, 2023, "V2G 에서 비용 최소화를 위한 최적 에너지 저장 장치 결  
정 전략," 『한국통신학회논문지』, 48(5), pp.600-606.

한국자동차연구원, 2023a, 『2022년 글로벌 전기차 판매 실적 분석』, 천안: 한국자동차  
연구원.

한국자동차연구원, 2023b, 『전기차 급속충전 규격 표준화 동향과 시사점』, 천안: 한국차  
동차연구원.

한장근·최석철, 2014, "SWOT 분석을 활용한 국방연구개발 전략수립에 관한 연구," 『한  
국국방경영분석학회지』, 40(1), pp.29-45.

환경부, 2023, "전기차 대중화와 탄소중립 앞당기는 2023년 보조금 개편," 환경부 보도  
자료(2023. 02. 02).

황성욱·류종현, 2019, "전기자동차 배터리를 이용한 Vehicle-to-Grid (V2G) 최적 운영  
계획," 『한국경영과학회지』, 44(3), pp.1-13.

황주연, 김중희, 권호장, 황승식, 김효은, 박성우, 이영주, 안윤진, 2023, "2022년 기후보  
건 대국민 인식 조사," 『주간 건강과 질병』, 16(21), pp.635-651.

Anwar, M. B., Matorori, M., Jadun, P., Hale, E., Bush, B., Denholm, P., and  
Podkaminer, K., 2022, "Assessing the value of electric vehicle managed  
charging: a review of methodologies and results," *Energy & Environmental  
Science*, 15(2), pp.466-498.

Ahmadian, A., Sedghi, M., Mohammadi-ivatloo, B., Elkamel, A., Golkar, M. A., and  
Fowler, M., 2017, "Cost-benefit analysis of V2G implementation in  
distribution networks considering PEVs battery degradation," *IEEE  
Transactions on Sustainable Energy*, 9(2), pp.961-970.

Aslan, I., Çınar, O., and Kumpikaitė, V., 2012, "Creating strategies from tows  
matrix for strategic sustainable development of Kipaş Group," *Journal of  
Business Economics and Management*, 13(1), pp.95-110.

Behboodi, S., Chassin, D. P., Crawford, C., and Djilali, N., 2016, "Electric vehicle  
participation in transactive power systems using real-time retail prices,"  
*2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)*,  
pp.2400-2407.

BEIS, 2023a, *Role of Vehicle-to-X energy technologies in a net zero energy system*,



- London: BEIS.
- BEIS, 2023b, *Electric Vehicle Smart Chargepoint Survey 2022*, London: BEIS.
- BEIS and Ofgem, 2023, *Electric Vehicle Smart Charging Action Plan*, London: BEIS and Ofgem.
- Benzaghta, M. A., Elwalda, A., Mousa, M. M., Erkan, I., and Rahman, M., 2021, "SWOT analysis applications: An integrative literature review," *Journal of Global Business Insights*, 6(1), pp.54-72.
- Cenex, 2021, *Project Sciurus Trial Insights: Findings from 300 Domestic V2G Units in 2020*, Loughborough: Author.
- Daim, T. U., Wang, X., Cowan, K., and Shott, T., 2016, "Technology roadmap for smart electric vehicle-to-grid (V2G) of residential chargers," *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 5, pp.1-13.
- Dossow, P. and Kern, T., 2022, "Profitability of V2X under uncertainty: Relevant influencing factors and implications for future business models," *Energy Reports*, 8, pp.449-455.
- Eswar, S., Ferguson, M. F., and Yoon, J., 2022, "The Second Mover Advantage: R&D and Absorptive Capacity," Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4283674>.
- Fernandez, L. P., San Román, T. G., Cossent, R., Domingo, C. M., and Frias, P., 2010, "Assessment of the impact of plug-in electric vehicles on distribution networks," *IEEE transactions on power systems*, 26(1), pp.206-213.
- Geske, J. and Schumann, D., 2018, "Willing to participate in vehicle-to-grid (V2G)? Why not!," *Energy Policy*, 120, pp.392-401.
- Ghanbarzadeh, T., Baboli, P. T., Rostami, M., Moghaddam, M. P., and Sheikh-El-Eslami, M. K., 2011, "Wind farm power management by high penetration of PHEV," *2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, pp.1-5.
- Gretzky, W., 2010, "Strategic planning and SWOT analysis," *Essentials of strategic planning in healthcare*, 1(12), pp.91-108.
- Gschwendtner, C., Sinsel, S. R., and Stephan, A., 2021, "Vehicle-to-X (V2X) implementation: An overview of predominate trial configurations and technical, social and regulatory challenges," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 110977.
- Guo, J., Yang, J., Lin, Z., Serrano, C., and Cortes, A. M., 2019, "Impact analysis of v2g services on ev battery degradation-a review," *2019 IEEE Milan PowerTech*, pp.1-6.

- Helms, M. M., and Nixon, J., 2010, "Exploring SWOT analysis—where are we now? A review of academic research from the last decade," *Journal of strategy and management*, 3(3), pp.215-251.
- Hernandez, M., V. Kothari, E. Werthmann, R. Uyeki, E. Myers, and R. Kenny-Manning., 2022, *Smart Charging and Consumer Behavior in the United States*, Washington, DC: World Resources Institute. Available online at: <https://doi.org/10.46830/>
- Hoehne, C. G. and Chester, M. V., 2016, "Optimizing plug-in electric vehicle and vehicle-to-grid charge scheduling to minimize carbon emissions," *Energy*, 115, pp.646-657.
- IRENA, 2019, *Innovation landscape brief: Electric-vehicle smart charging*, Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- Khezri, R., Steen, D., and Tuan, A. L., 2022, "A Review on Implementation of Vehicle to Everything (V2X): Benefits, Barriers and Measures," *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)*, pp.1-6.
- Kostenko, G. P., O. V. Zgurovets, and M. M. Tovstenko, 2023, "SWOT analysis of electric transport and V2G implementation for power system sustainable development in the terms of Ukraine," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1254, 012030..
- Learned, E.P., Christiansen, C.R., Andrews, K. and Guth, W.D., 1969, *Business Policy: Text and Cases*, Irwin, Homewood, IL.
- Lee, C. Y., Jang, J. W., and Lee, M. K., 2020, "Willingness to accept values for vehicle-to-grid service in South Korea," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 87, 102487.
- Lim, K., Kim, J. J., and Lee, J., 2020, "Forecasting the future scale of vehicle to grid technology for electric vehicles and its economic value as future electric energy source: The case of South Korea," *Energy & Environment*, 31(8), pp.1350-1366.
- Lund, H., & Kempton, W., 2008, "Integration of renewable energy into the transport and electricity sectors through V2G," *Energy policy*, 36(9), pp.3578-3587.
- Maheshwari, P., Tambawala, Y., Nunna, H. K., and Doolla, S., 2014, "A review on plug-in electric vehicles charging: Standards and impact on distribution system," *2014 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, pp.1-6.
- Manzoli, J. A., Trovao, J. P. F., and Antunes, C. H., 2022, "Electric bus coordinated charging strategy considering V2G and battery degradation," *Energy*, 254,

124252.

- Mousavian, S., Erol-Kantarci, M., and Mouftah, H. T., 2018, "Cyber-Security and Resiliency of Transportation and Power Systems in Smart Cities," *Transportation and power grid in smart cities: Communication networks and services*, pp.507-527.
- Nagler, E., 2021, *Standing Still*, London: RAC Foundation.
- Noel, L., de Rubens, G. Z., Kester, J., and Sovacool, B. K., 2018, "Beyond emissions and economics: Rethinking the co-benefits of electric vehicles (EVs) and vehicle-to-grid (V2G)," *Transport Policy*, 71, pp.130-137.
- Park, M. G., Cho, S. B., Chung, K. H., Moon, K. S., and Roh, J. H., 2014, "Electricity market design for the incorporation of various demand-side resources in the Jeju smart grid test-bed," *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 9(6), pp.1851-1863.
- Pearre, N. S., and Ribberink, H., 2019, "Review of research on V2X technologies, strategies, and operations," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 105, pp.61-70.
- PIRNAR, İ., Kurtural, S., and Eriş, E. D., 2019, "SWOT-TOWS Analysis of Urla Destination's Alternative Tourism Development," *International Journal of Contemporary Tourism Research*, 3(2), pp.235-244.
- Proctor, R. A., 1992, "Structured and creative approaches to strategy formulation," *Management Research News*, 15(1), pp.13-18.
- Raouf, B., Seyedamirabbas, M., and Kambiz, G., 2021, "Interconnected and Complex Electric Power and Transportation Systems: a SWOT Analysis," *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 8, pp.207-221.
- Reddy, A. G., Babu, P. R., Odelu, V., Wang, L., and Kumar, S. A., 2023, "V2G-Auth: Lightweight Authentication and Key Agreement Protocol for V2G Environment leveraging Physically Unclonable Functions," *IEEE Transactions on Industrial Cyber-Physical Systems*.
- Richardson, D. B., 2013, "Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, Impacts, and renewable energy integration," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, pp.247-254.
- Shi, R., Li, S., Zhang, P., and Lee, K. Y., 2020, "Integration of renewable energy sources and electric vehicles in V2G network with adjustable robust optimization," *Renewable Energy*, 153, pp.1067-1080.
- Shafique, M., and Luo, X., 2022, "Environmental life cycle assessment of battery electric vehicles from the current and future energy mix perspective,"



*Journal of Environmental Management*, 303, 114050.

Sultan, V., Aryal, A., Chang, H., and Kral, J., 2022, "Integration of EVs into the smart grid: A systematic literature review," *Energy Informatics*, 5(1), 65.

Yui, S., and Furuya, K., 2023, "V2X Products and Social Implementation in Japan-Prospects from a "Global Warming Problem" Perspective," *IEEE Journal of Industry Applications*, 12(3), pp.541-547.

Transparency market research, 2023, *Vehicle-to-grid technology market*, Delaware: Author.

Weihrich, H., 1982, "The TOWS matrix—A tool for situational analysis," *Long range planning*, 15(2), pp.54-66.

Zhou, Y., Wang, M., Hao, H., Johnson, L., Wang, H., and Hao, H., 2015, "Plug-in electric vehicle market penetration and incentives: a global review." *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20, pp.777-795.

국가과학기술지식정보서비스, 2023, <https://www.ntis.go.kr>.

국가미세먼지정보센터, 2023, <https://www.air.go.kr>.

국토교통부국, 2023, <https://stat.molit.go.kr>.

무공해차 통합누리집, 2023, <https://ev.or.kr>.

한국교통안전공단, 2023, <https://www.kotems.or.kr>.

Globaldata, 2023, <https://www.globaldata.com>.

Tesla, 2023, <https://www.tesla.com>.

V2G Hub, 2023, <https://www.v2g-hub.com>.

V2G Hub, 2024, <https://www.v2g-hub.com>.

WIN, 2023, <https://winmr.com/>

Net Zero Insights, 2023, <https://netzeroinsights.com/>

권가림, 2023, "현대차, 유럽·브라질서 주춤···북미·印 '쾌속질주' 만회," <https://www.ajunews.com/view/20230815150807638> [2023.10.18.]

김덕현, 2023, "전기차 충전소 부족이 가장 불편." <http://www.gyotongn.com/news/articleView.html?idxno=340751> [2023.10.18.]

서영준, 2024, "갈길 먼 전기차 시대···하이브리드가 친환경 주도," <https://www.m-i.kr/news/articleView.html?idxno=1114249> [2024.04.24.]

오태근, 2023, "현대차 아이오닉5, 한국차 불모지 일본서 '올해의 수입차' 선정···국산차 최초," <http://www.insidevina.com/news/articleView.html?idxno=22265> [2023.10.18.]

윤주혜, 2023, "파나소닉, 2월부터 V2H 판매···판 커지는 日 가정용 車 충전 시장," <https://www.ajunews.com/view/20230110101309709> [2023.09.29.]

- 이상복, 2023, “김성환, 2025년부터 양방향 V2G 충전시설 의무화 추진,” <https://www.e2news.com/news/articleView.html?idxno=254991> [2023.10.09.]
- 이상현, 2023, “전기차 느는데, 충전소 태부족… 꽃을 꽃이 없네,” [https://www.dt.co.kr/contents.html?article\\_no=2023021602100832031001](https://www.dt.co.kr/contents.html?article_no=2023021602100832031001) [2023.10.09.]
- 임기창, 2023, “유럽서 더 잘 팔리는 국산 전기차… ‘양대 시장’ 美의 2배,” <https://www.yna.co.kr/view/AKR20230504169100003> [2023.10.19.]
- 최우리, 2023, “테슬라, 미 전기차 충전표준 장악하나… 현대차 ‘깊은 고민,’” <https://www.hani.co.kr/arti/economy/car/1097620.html> [2023.10.24.]
- 코트라, 2023a, “도쿄도 태양광 패널 설치 의무화, 새로운 시장 기회 열리다,” [https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?SITE\\_NO=3&MENU\\_ID=80&CONTENTS\\_NO=2&bbsGbn=242&bbsSn=242&pNttSn=199985](https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?SITE_NO=3&MENU_ID=80&CONTENTS_NO=2&bbsGbn=242&bbsSn=242&pNttSn=199985) [2023.10.09.]
- 코트라, 2023b, “전기차가 전기를 운반하는 수단으로...일본 V2H 시장 활성화 조짐,” [https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?SITE\\_NO=3&MENU\\_ID=180&CONTENTS\\_NO=1&bbsGbn=243&bbsSn=243&pNttSn=201703](https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?SITE_NO=3&MENU_ID=180&CONTENTS_NO=1&bbsGbn=243&bbsSn=243&pNttSn=201703) [2023.10.09.]
- SK네트웍스, 2022, “SK렌터카, 전기차 활용 V2G 실증 사업 추진,” <https://blog.sknetworks.co.kr/16491> [2023.10.11.]
- KT, 2022, “전기차 배터리 활용한 전력수요관리 사업모델 발굴한다,” [https://corp.kt.com/html/promote/news/report\\_detail.html?datNo=13717](https://corp.kt.com/html/promote/news/report_detail.html?datNo=13717) [2023.10.11.]
- Amsterdam Vehicle 2 Grid, 2014, “THE SOLUTION TO SUSTAINABLE URBAN MOBILITY AND ENERGY,” <https://www.amsterdamvehicle2grid.nl/>. [2023.09.25.]
- Barter, P., 2013, “Cars are parked 95% of the time,” <https://www.reinventingparking.org/2013/02/cars-are-parked-95-of-time-lets-check.html>. [2023.09.06.]
- British Government, 2018, “£30 million investment in revolutionary V2G technologies,” <https://www.gov.uk/government/news/30-million-investment-in-revolutionary-v2g-technologies>. [2023.09.21.]
- City of Yokohama, 2020, “Yokohama Smart City Project (YSCP),” <https://www.city.yokohama.lg.jp/lang/overseas/climatechange/contents/energypolicy/yscp.html> [2023.09.29.]
- Cooke, E., 2023, “Signal: charging patent grants increasing, as California passes V2G mandate,” <https://www.just-auto.com/news/bidirectional-charging-patent-grants-are-increasing-as-california-passes-v2g-mandate/?cf-view&cf-closed>. [2023.09.01.]
- Hayakawa, K., 2012, “Japan sells first smart house for electric vehicles,” <http://news>.

- nost.jp/2012/07/japan-sells-first-smart-house-for-electric-vehicles. [2023.09.26.]
- IEA, 2023a, “Data and statistics,” <https://www.iea.org/data-and-statistics>. [2023.09.08.]
- IEA, 2023b, “Tracking Clean Energy Progress 2023,” <https://www.iea.org/reports/tracking-clean-energy-progress-2023>. [2023.09.01.]
- IEA, 2023c, “Global EV Outlook 2023,” <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>. [2023.09.03.]
- Johnson , P., 2022, “Electric school buses give back over 80 hours of power to Massachusetts energy grid.” <https://electrek.co/2022/08/25/electric-school-buses-supply-80-hrs-energy-massachusetts-grid/>. [2023.09.20.]
- Just auto, 2023, “Leading innovators in bidirectional charging for the automotive industry,” <https://www.just-auto.com/data-insights/innovators-bidirectional-charging-automotive/?cf-view&cf-closed>. [2024.04.24.]
- SNE Research, 2023, “From Jan to August in 2023, Non-Chinese Global EV Battery Usage Posted 197.6GWh, a 58.9% YoY Growth.” [https://www.sneresearch.com/en/insight/release\\_view/175/page/0?s\\_cat=|&s\\_keyword=#ac\\_id](https://www.sneresearch.com/en/insight/release_view/175/page/0?s_cat=|&s_keyword=#ac_id) [2023.10.19]
- Zukowski, D., 2022, “New York City’s first vehicle-to-grid charging installation is live in Brooklyn,” <https://www.utilitydive.com/news/new-york-first-vehicle-to-grid-charging-installation-V2G-Revel-Fermata-NineDot/631555/>. [2023.09.15.]

---

**안대환:** 일본 교토대학교에서 환경정책학 박사학위를 취득하고 현재 한국환경연구원 통합물관리실에서 초빙연구원으로 재직중이다. 관심 연구 분야는 WEF nexus, 자원 안보, 미세플라스틱, 기후변화 등이다(zzank1900@naver.com).

투 고 일: 2023년 10월 23일  
심 사 일: 2024년 01월 08일  
게재확정일: 2024년 06월 05일