

# 전기차 소유주의 플러스 수요반응 사업에 대한 수용성 분석: 제주도를 대상으로

이철용\* · 조일현\*\* · 안재균\*\*\*† · 이민규\*\*\*\*††

\*부산대학교 경영학과 부교수/부산대학교 미래지구환경연구소, \*\*에너지경제연구원 미래에너지연구실 연구위원,

\*\*\*에너지경제연구원 전력정책연구실 연구위원, \*\*\*\*국립부경대학교 기술경영전문대학원 교수

## An analysis of electric vehicle owners' acceptance in the plus demand response (DR) program

Lee, Chul-Yong\* · Cho, Ilhyun\*\* · Ahn, Jaekyun\*\*\*† and Lee, Min-Kyu\*\*\*\*††

\*Associate Professor, School of Business, Pusan National University, Busan, Korea /

Institute for Future Earth, Pusan National University, Busan, Korea

\*\*Department of Future Energy Research, Korea Energy Economics Institute, Ulsan, Korea

\*\*\*Department of Renewable Energy Research, Korea Energy Economics Institute, Ulsan, Korea

\*\*\*\*Graduate School of Management of Technology, Pukyong National University, Busan, Korea

### ABSTRACT

This study examines electric vehicle (EV) owners' acceptance of the Plus Demand Response (DR) program on Jeju Island, Korea, where renewable energy curtailments surged from 3 cases in 2015 to 181 in 2023. From a theoretical perspective, integrating EVs into DR programs addresses the intermittency of renewables, enhancing grid flexibility and supporting carbon neutrality - critical gaps in behavioral economics literature on demand-side management. Plus DR incentivizes EV charging during surplus renewable periods. Applying a single-bounded dichotomous choice contingent valuation method (CVM) to 313 Jeju EV owners surveyed May 15 - 19, 2023. Mean willingness to accept (WTA) compensation is KRW 71.21/kWh for one-day notice and KRW 89.31/kWh for 3-hour notice - equating to 24 - 30% discounts - with shorter notice elevating WTA due to higher opportunity costs. Income positively influences WTA while home charger ownership lowers it, as greater charging convenience reduces perceived inconvenience costs and increases Plus DR participation willingness (A low WTA translates to high acceptance for PLUS DR.). These findings reinforce the role of notification timing in DR participation and inform customized incentive designs, such as tailored notifications and subsidies for high-income/non-home charger users, to boost renewable integration.

*Key words : Carbon Neutral, Electric Vehicle, Contingent Valuation Method, Willingness to Accept, Renewable Energy*

## 1. 서론

지속가능한 발전은 환경적, 경제적, 사회적 요인을 통합적으로 고려하는 새로운 발전 패러다임을 요구하고 있다. 특히 기후변화 대응과 탄소중립 실현은 세계적으로 공통된 과제로, 각국은 에너지 전환을 중심으로 한 다층

적 전략을 추진하고 있다. 교통 및 전력 부문은 온실가스 배출의 주요 원인으로, 2023년 국가 총배출량(6억 2,420만 톤) 중 전환 부문 약 40%(2억 4,900만 톤), 수송 부문 약 17%(1억 600만 톤)를 차지한다(Ministry of Environment, 2024). 이 중 전력 부문은 가장 높은 탄소 배출 비중을 보유하고 있으며, 재생에너지 중심의 탈탄소

†Corresponding author : [jkahn@keei.re.kr](mailto:jkahn@keei.re.kr) (405-11, Jongga-ro, Jung-gu, Ulsan, 44543, Korea. Tel. +82-52-714-2265)

ORCID 이철용 0000-0003-0870-0039  
안재균 0009-0009-0420-4602

조일현 0000-0002-9672-2598  
이민규 0000-0003-0356-1228

††Co-corresponding author : [minkyu@pknu.ac.kr](mailto:minkyu@pknu.ac.kr) (365, Sinseon-ro, Nam-gu, Busan, 48548, Korea. Tel. +82-51-629-5649)

Co-lead author : Lee, Chul-Yong and Cho, Ilhyun

Received: December 14, 2025 / Revised: December 31, 2025 1st, January 23, 2026 2nd / Accepted: February 9, 2026

구조 개편이 필수적이다. 태양광과 풍력 같은 변동형 재생에너지는 에너지 전환을 위한 핵심 수단이지만, 발전량의 간헐성과 불확실성으로 인해 전력 수급의 불균형을 초래한다. 특히 국내에서는 태양광 보급이 급격히 증가하면서 낮 시간대 과잉발전으로 인한 출력 제한(curtilment) 빈도가 꾸준히 상승해 전력망 효율성을 저하시킬 우려가 제기되고 있다.

이러한 문제를 완화하기 위한 방안으로 최근 주목받는 제도가 ‘플러스 수요반응(Plus Demand Response, 이하 Plus DR)<sup>1)</sup>’이다. 플러스 DR은 전통적 수요절감형 DR과 달리, 재생에너지 과잉 공급 시점에 전력 사용을 늘려 출력 제한을 완화하는 새로운 형태의 수요측 대응 제도이다. 참여자는 동일한 전기요금을 지불하지만, 전력 사용 시점 이동에 따른 제약과 기회비용을 보상받는다. 이를 통해 재생에너지의 낭비를 줄이고, 전력시스템의 효율적 운영과 유연성 제고를 동시에 달성할 수 있다는 점에서 정책적 가치가 높다. Plus DR은 한국전력거래소(KPX)가 운영하는 국내 특화 프로그램으로, 재생에너지 잉여 시 소비 증가를 유도하는 부하 증가형 수요반응 메커니즘이다. 이는 전통적 수요반응의 확장으로, 미국의 ‘Bidirectional Demand Response’ (U.S. DOE, 2025)나 유럽의 ‘Smart EV charging demand response’ (AMPECO, 2023)와 유사한 이론적 틀을 공유하며, 그리드 안정화와 재생에너지 통합을 목적으로 한다.

본 연구는 이러한 제도의 실질적 수용 가능성을 검증하기 위해 제주도를 사례로 선정하였다. 제주도는 국내에서 재생에너지 보급률이 가장 높으며(2023년 기준 약 25%), 그에 따른 출력 제한 문제가 구조적으로 심화된 지역이다. 2015년 3회였던 출력 제한은 2023년 181회, 2024년 상반기 130회 초과로 꾸준히 상승하였다(Korea Power Exchange, 2025). 이는 재생에너지 고보급률 지역에서 흔히 발생하는 현상으로, 글로벌(캘리포니아·독일) 사례와 유사하다(Korea Energy Agency, 2023). 동시에 제주도는 높은 전기차 보급률과 스마트 그리드 인프라를 갖추고 있어, 전기차 충전 수요를 활용한 전력망 유연성 확보에 적합한 환경을 제공한다. 전기차 충전은 시간대별 부하 이동이 용이하고, 충전 시점 조정을 통해 재생에너지의 간

헐성을 완화할 수 있는 이상적인 자원이다. 따라서 제주도 플러스 DR 서비스는 재생에너지 과잉 생산 시 전기차 충전을 유도함으로써 계통 안정화에 기여하는 대표적 사례로 평가할 수 있다.

기존 연구에 따르면, 조건부가치평가법(Contingent Valuation Method)은 시장 가격이 존재하지 않는 비시장 재화의 가치를 측정하는 대표적인 방법론으로, 에너지 및 환경 분야에서 정책 수용성과 경제적 유효성을 분석하는 데 폭넓게 활용되어 왔다(Brouwer et al., 1997; Mitchell and Carson, 1989). Guo et al. (2014)은 베이징 시민의 재생에너지 전력 구매 의사를 분석하여 높은 환경 선호를 확인하였고, Park et al. (2016)은 재생에너지 전환 정책에 대한 가구 단위의 사회적 수용성을 평가하였다. 또한 미국 NREL (2019)과 Jimenez and Schneider (2020)는 전기차 기반 스마트 충전 프로그램의 참여 요인과 인센티브 요구 수준을 CVM으로 분석하였다. 최근 연구들은 지불의사(WTP)뿐 아니라 수용의사(WTA)를 활용하여 전기차 이용자의 충전 시간 제약에 대한 보상 요구를 추정하였으며, 그 결과 생활 패턴 변화에 대응하기 위해 일정 수준의 보상(20~40% 할인)이 필요함을 보고하였다(Kubli, 2022; Wang et al., 2019). 그러나 국내에서는 Plus DR 참여자의 수용의사에 초점을 맞춘 실증 연구가 거의 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 전기차 소유자가 플러스 DR 프로그램 참여 시 감수해야 하는 불편 및 제약을 경제적 가치로 계량화하기 위해 CVM을 활용한다. 특히 WTA 추정을 통해 참여자 입장에서의 최소 보상 수준과 그 결정 요인을 실증적으로 분석함으로써, 경제적 효율성과 정책적 수용성을 동시에 충족하는 인센티브 설계 근거를 제시한다. 본 연구의 주요 공헌은 세 가지이다. 첫째, 재생에너지 확대에 따른 출력 제한 문제 해결을 위한 플러스 DR의 경제적 수용성을 실증 분석하였다. 둘째, 기존의 WTP 중심 연구와 달리, 현실적 제약을 고려한 WTA 관점의 분석을 통해 참여 유인을 정량적으로 규명하였다. 셋째, 제주도 사례를 중심으로 한 분석 결과를 통해 향후 타 지역 및 국가의 DR 정책 설계와 재생에너지 통합 전략 수립에 실질적 시사점을 제공할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구는 CVM을 통해 전기차 소유자의 WTA를 정량화함으로써 (1)

1) Demand response (DR)는 소비자 부하를 실시간으로 조정해 전력 공급-수요 균형을 유지하는 경제학적·공학적인 메커니즘으로, 피크 부하 감소(energy curtailment)와 재생에너지 통합을 통해 그리드 안정성과 비용 효율성을 제고한다(NREL, 2019). 전통적 DR은 price-based (동적 가격)와 incentive-based (보상)로 분류되며, 전력당국이 시장 기반 참여를 규정함으로써 발전원 대체 역할을 수행한다. 최근 EV 보급 확대와 V2G 기술 발전으로 Plus DR과 같은 부하 증가형 프로그램은 재생에너지 출력제한 회피를 유도하는 혁신적 확장으로 평가된다(U.S. DOE, 2025).

Plus DR의 경제적 실행가능성을 검증하고, (2) 통보시간 (1일전 vs 3시간전)에 따른 수용도 차이를 밝히며, (3) 소득·충전인프라 등 인구통계 변수를 통한 정책 타겟팅 근거를 제공한다. 이러한 분석은 재생에너지 통합과 탄소중립 목표 달성에 필수적인 소비자 중심 DR 설계의 이론적·실증적 기초를 마련한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 분석 방법론을 소개하고, 3장에서는 설문조사 자료를 설명한다. 4장에서는 추정된 분석결과를 제시하며, 마지막으로 5장에서는 본 연구의 결론과 시사점을 제시한다.

## 2. 분석 방법론

### 2.1. 조건부 가치추정법

전기차 소유주의 수용의사액을 추정하기 위한 방법론으로 소비자 선호를 분석하는 대표적 연구방법인 조건부 가치 측정법(Contingent Valuation Method, 이하 CVM)을 활용한다<sup>2)</sup>. CVM은 가상적 시장 구성을 통한 설문 자료로 경제적 가치를 평가한다는 이유로 자주 비판을 받아왔다. 경제학자들은 기본적으로 시장을 강조하며 여행비용 접근법 또는 헤도닉 가격모형과 같은 시장 거래나 기타 행위를 통해 시장에 현시되는 관측 자료에 의존해야 한다고 주장해 왔다.<sup>3)</sup> 설문을 통해 명시되는 관측치는 설문자의 주관적 조작의 가능성이 있으며, 응답자의 전략적 행위와 비구분효과 등이 존재하기 때문에 명백성 측면에서 문제점이 있다는 점이다. 그러나 이러한 비판은 많은 실험과 연구를 통해서 극복되고 있다.

플러스 DR 서비스는 현재까지 시장에서 활발하게 거래되지 않아서 가격 관측이 어려운 비시장 재화로 간주할 수 있다. 비시장 재화에 대한 WTA 추정은 가상의 시나리오를 설정한 설문조사를 통해 정보를 도출하는 진술선호(stated preference) 평가법을 적용할 수 있다. CVM 조사에서는 편익을 추정할 때 이득을 확보하기 위한 응답자의 지불의사액(Willingness to Pay, 이하 WTP)를 추정하는 것이 일반적인 과정이다. 본 연구에서 플러

스 DR 서비스 가입자는 정해진 충전소와 정해진 시간에 본인 소유의 전기차를 충전해야 하는 불편을 감수하는 대신에 충전비 할인이라는 인센티브를 얻을 수 있다. 이러한 구조는 지불 가능한 최대금액 WTP가 아니라, 수용 가능한 최소한의 보상액을 조사하는 WTA 형태가 적절하다고 볼 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 전기차 소유주의 플러스 DR 서비스 WTA를 분석하는 데 CVM을 적용할 것이다.

지불의사 유도방법으로는 Hanemann (1984)이 제안한 양분선택형(Dichotomous Choice, 이하 DC) 형태가 자주 활용된다. DC 질문법은 표본의 응답자들에게 재화의 공급을 위해서 정해진 특정 금액을 지불할 의사가 있는지 또는 재화를 포기하는 대가로 특정 금액을 보상받을 의사가 있는지를 질문하는 형태를 따른다. 본 방법의 장점은 지불의사유도 또는 수용의사유도가 유인 일치성이 있으며 저항적인 응답을 사전에 방지할 수 있다는 것이다. WTP 또는 WTA를 직접 물어보게 되면 흔히 직면하게 되는 저항적 지불의사의 과다 문제를 사전적으로 해결할 수 있다. DC 질문법은 CVM 연구에서 가장 일반적으로 활용되는 지불의사 유도방법으로 볼 수 있다. 본 연구에서 플러스 DR 서비스 가입자는 지정된 충전소에서 지정한 시간에 충전을 수행해야 하는 불편을 감수하는 대신에 충전비 할인 혜택을 누릴 수 있다. 이러한 시나리오는 수용 가능 최소한의 보상액을 조사하는 WTA 구조와 부합한다(Whittington et al., 2017).

DC 질문형태 가운데 한 번의 질문만 수행하는 단일경계 양분선택형 질문형태와 다음 질문을 한 번 더 수행하는 이중경계 양분선택형 질문형태가 CVM 분야에서 많이 적용되고 있다. 본 연구에서는 WTA 모형의 추정결과를 제시하기 위해서 이중경계모형이 아니라 단일경계 모형을 이용한다. 이중경계 모형을 적용한 결과가 단일경계 모형을 적용한 결과에 비해서 효율적이지만 편(bias)을 초래할 가능성이 커지기 때문이다(Cooper et al., 2002). 또한, McFadden (1994)은 이중경계모형의 경우 지불의사 유도방법의 내적 일관성이 결여된다고 결론을 내린 바 있다.<sup>4)</sup>

2) NREL (2019), Jimenez and Schneider (2020), Lee et al. (2020), Wang et al. (2019), Kubli (2022) 등은 전기차 소유주의 수용의사액을 측정하기 위해서 조건부 가치 측정법을 적용하였다.

3) 여행비용접근법은 특정 지역을 방문하기 위해서 지출하는 여행비용이 그 지역이 제공하는 서비스에 대한 개인의 가치를 반영한다는 가정 하에, 수요와 여행비용 간의 관계를 분석하여 가치를 추정하는 기법이다. 또한 헤도닉 가격모형은 재화의 가격이 그 재화를 구성하는 여러 특성들의 총합으로 결정된다고 가정하고, 가격을 개별 특성에 대한 회귀분석을 통해서 각 특성의 가격을 통계적으로 추정하는 모형이다. 두 가지 모형 모두 시장 관측자료를 바탕으로 분석해야 하는데, 플러스 DR 서비스는 이제 시작하는 서비스이므로 관측자료가 부족한 실정이다. 이에 따라, 플러스 DR 서비스에 여행비용접근법과 헤도닉 가격모형을 적용하기 어렵다.

2.2. 추정 모형

단일경제 모형은 Hanemann (1984)의 효용격차모형 (utility difference model)을 적용할 수 있다. 본 연구는 효용격차모형을 바탕으로 개인별 Hicks적 보상 잉여 (Hicksian compensating surplus)를 산출하였다. 각 개인은 본인의 효용함수를 적절하게 이해하고 있다고 가정한다. 응답자는 주어진 소득 및 본인의 특성 변수에 근거하여 플러스 DR 서비스 수용으로 인하여 발생하는 효용은 간접효용함수( $v(j, m; x)$ )로 표현될 수 있다. 이때 효용을 직접적으로 관측하기 어려운 부분이 있어서 확률적 성격의 오차항을 갖게 된다. 각 응답자의 효용함수는 식 (1)처럼 나타난다.

$$u(j, m; x) = v(j, m; x) + \epsilon_j, \quad \epsilon_j \sim N(0, \sigma_j^2) \tag{1}$$

여기서  $m$ 과  $x$ 는 응답자 소득과 개인의 특성변수를 뜻하며,  $j$ 는 플러스 DR 서비스 수용을 나타내는 지시변수 (indicator variable)를 의미한다( $j = 0, 1$ ). 만일, 응답자가 “귀하께서는 A원/kWh의 충전비 할인이 주어질 때 플러스 DR 서비스에 가입하여 플러스 DR 발령 안내를 확인하고 충전 가능한 충전소에서 적극적으로 시간에 맞추어 충전할 의향이 있으십니까?”라는 질문에 대해서 “예”를 대답하는 경우의 효용함수는 식 (2)와 같다.

$$u(1, m + A; x) \geq u(0, m; x) \tag{2}$$

요컨대, 플러스 DR 서비스에 가입하지 않은 상황에서 느끼는 효용보다 불편비용의 증가와 충전비 할인을 감안할 때 플러스 DR 서비스에 가입함으로써 누리게 되는 효용이 더욱 증가함을 뜻한다. 식 (2)는 간접효용함수와 오차항으로 구성되는 식 (3)으로 나타낼 수 있고, 식 (2)를 전개하면 식 (4)의 효용격차함수로 표현된다.

$$v(1, m + A; x) + \epsilon_1 \geq v(0, m; x) + \epsilon_0 \tag{3}$$

$$\Delta v = v(1, m + A; x) - v(0, m; x) \geq \epsilon_0 - \epsilon_1 = \eta \tag{4}$$

여기에서 1과 0은 각각 플러스 DR서비스에 가입하여 본인 소유 전기차를 시간에 맞춰서 충전할 의향이 있는지 여부를 나타내며, 식 (4)에서  $\eta$ 는 효용격차에 대한 분포를 묘사하기 위한 확률변수를 의미한다. 응답자는 플러스 DR 서비스 수용을 통해서 누릴 수 있는 간접효용의 증가 수준( $\Delta v$ )이 양수이면 “예”라고 대답하고 제시금액의 수용을 동의하는 것으로 본인의 효용을 늘릴 것이다. 이에 따라, 응답자가 “예”를 응답할 확률은 식 (5)로 표현된다.

$$\Pr(yes) = \Pr(\Delta v \geq \eta) = F_\eta(\Delta v) \tag{5}$$

여기에서  $F_\eta(\cdot)$ 는  $\eta$ 의 누적분포함수(cumulative density function)를 의미한다. 한편, 응답자가 수용의사질문에 대해서 “예”라는 대답을 한다면 확률변수 지불의사액  $C$ 에 대해서 다음의 관계를 가진다.

$$\Pr(yes) = \Pr(A \geq C) = G_c(A) \tag{6}$$

따라서  $\eta$ 의 누적분포함수는 식 (7)로 표현할 수 있다. 식 (7)에서  $G_c(A)$ 는 확률변수 지불의사액  $C$ 의 누적함수 분포를,  $A$ 는 제시금액을 뜻한다.

$$F_\eta(\Delta v) = G_c(A) \tag{7}$$

Hanemann (1984)에 따르면, 식 (7)은 확률효용이론의 구조에서 효용극대화 대담으로 간주할 수 있고,  $G_c(\cdot)$ 는 개인의 WTA의 누적분포함수가 될 수 있다. 즉, WTA 모형을 추정하는 것은 누적분포함수  $G_c(\cdot)$ 의 모수 추정을 뜻한다고 볼 수 있다.

실증연구에서 많이 활용되고 있는 효용격차모형의 경우, 단일경제 모형은 Hanemann (1984)의 이론을 근거로 하고 있다. 응답자  $N$ 명을 대상으로 한 단일경제 모형의 로그-우도함수는 식 (8)과 같이 나타난다.

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \{I_i^Y \ln G_c(A_i) + I_i^N \ln [1 - G_c(A_i)]\} \tag{8}$$

4) Cooper et al. (2002)이 제안한 1.5경제모형은 단일경제모형보다 효율성을 개선하여 이중경제모형 수준의 효율성을 확보하면서, 이중경제모형의 반응효과를 줄여 단일경제모형의 일치성을 누릴 수 있다. 하지만 예비타당성조사의 CVM 적용에서는 1.5경제모형을 적용하지 않고, 단일경제모형 또는 이중경제모형을 적용한다. 그리고 단일경제모형과 이중경제모형 중에서 어떤 모형을 적용할 것인가는 결국 효율성 제고와 편의 저감 가운데 어느 것을 중요하게 여길 것인가와 관련 있다. 본 연구는 예비타당성 적용 사례를 참고하고 모형에서 효율성 제고에 비해 편의 저감을 더욱 중요하게 간주함으로써 최종적으로 단일경제모형을 채택하였다.

여기서  $I_i^Y$  및  $I_i^N$ 은 인디케이터 함수로서 식 (9)로 정의되며, 응답자의 응답이 “예”, “아니오” 여부에 따라서 1 또는 0의 값을 취하게 된다.

$$\begin{cases} I_i^Y = 1(i\text{번째 응답자의 응답이 “예”}) \\ I_i^N = 1(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오”}) \end{cases} \quad (9)$$

$G_\gamma(\cdot)$ 를 로지스틱 누적분포함수로 가정하면 WTA의 누적분포함수는 식 (10)과 같다.

$$G_C(A) = [1 + \exp(\alpha - \beta A)]^{-1} \quad (10)$$

식 (11)은 WTA의 평균값을 나타낸다.

$$C^+ = \alpha / \beta \quad (11)$$

한편, 공변량을 포함한 WTA 모형을 추정하기 위해서는 식 (10)에서 제시된  $\alpha$ 를  $\alpha + z'\gamma$ 로 대체할 수 있다. 여기에서  $z$ 와  $\gamma$ 는 각각 공변량과 공변량의 추정계수를 의미한다.

### 3. 설문조사

플러스 DR 충전서비스에 대한 수용성 추정을 위한 CVM 설문조사 절차는 Fig. 1과 같다. 플러스 DR 참여 서비스 시나리오는 ① 플러스 DR 발령에 대해 안내를 받을 수 있는 서비스 가입, ② 플러스 DR 발령시간: 하루전 또는 3시간전, ③ 플러스 DR 참여에 따른 혜택 받음으로 구성된다<sup>5)</sup>. 수용수단은 kWh당 충전 비용 할인으로 제시했으며, 수용의사 유도방법은 양분선택형 질문법을 채택한다. 제시금액은 30, 70, 100, 120, 130원/kWh로 5개로 결정했으며<sup>6)</sup>, 설문조사방법으로는 일대일 개인 면접을 채택하였다.

설문지의 첫 페이지는 플러스 DR 서비스에 대한 개념

도와 함께 서비스에 대한 설명 및 참여 시나리오를 제시한다. 본 서비스의 참여를 위해서는 본인 소유의 전기차가 필수로 요구되기 때문에 서비스 수요자는 제주도 전기자동차 운전자로 한정하였다. 플러스 DR 서비스 가입자는 지정된 충전소에서 지정한 시간에 충전을 수행함으로써 충전비 할인 혜택을 누릴 수 있다. 즉, 플러스 DR 서비스 가입으로 인해 충전 의무가 요구되며, 수요자는 불편비용이 증가할 수 있다. 불편비용을 감내하는 대신 충전비 할인이라는 보상을 얻게 된다. 이는 수용 가능 최소한의 보상액을 조사하는 WTA 구조와 부합한다.

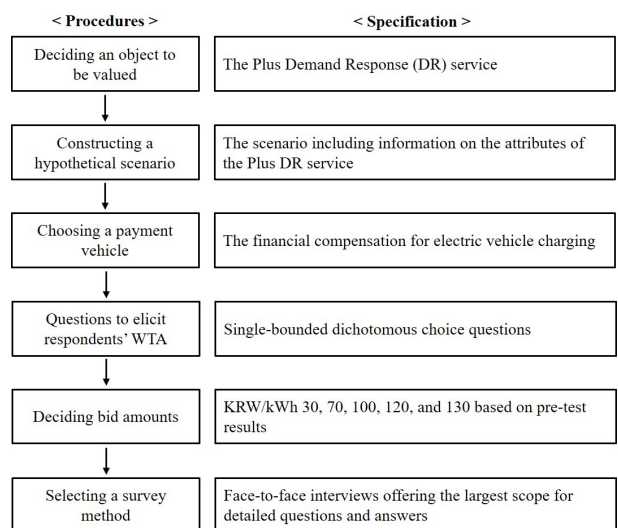


Fig. 1. Analysis process of the CVM

플러스 DR 서비스 수용성에 대한 설문조사는 리서치 전문기관인 GRI Research에 의뢰하여 숙련된 조사원을 통해서 2023년 5월 15일부터 5월 19일까지 수행된 바 있다. 설문조사원은 설문 주제 및 내용에 대한 충분한 설명과 함께 수용의사액 유도에 대한 교육과정을 거친 후 현장조사를 착수하였다. 숙련된 조사원들이 제주도 거주 전기자동차 운전자(나이 20~70세) 313명을 대상으로 일대일 개인 면접을 통해 설문조사를 수행하였다.<sup>7)</sup>

5) 수용방식은 안내 서비스 가입, 시간 확인, 충전을 통한 플러스 DR 참여에 따른 혜택 받음으로 이루어진다. 플러스 DR 발령시간은 하루전 또는 3시간 전으로 설정하였다. 수용방식 및 주기는 플러스 DR 서비스 운영 희망업체 등을 대상으로 논의한 결과를 토대로 설정하였다.  
 6) 제시금액은 최종적으로 도출하고자 하는 수용의사액의 평균값 또는 중앙값에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 주의를 기울여 결정해야 한다. 본 연구에서는 사전 설문조사를 통해서 결정된 개방형 WTA 조사결과를 통해서 30원/kWh부터 130원/kWh까지 총 5개의 초기 제시금액을 결정하였다.  
 7) 본 연구의 타겟 모집단은 제주도 거주 전기차 자동차 운전자로 설정하였다. 2023년 제주도의 누적 전기차 등록대수는 89,418대로 조사되었으며, 샘플수 313명은 제주도 전기차 등록대수 대비 0.8%의 비중을 차지하는 것으로 나타났다(Charge info, n.d.). 설문 표본은 리서치 전문기관이 제주도 거주 전기차 운전자를 대상으로 단순 무작위 추출 방식으로 추출하였다. 통계학 및 조사방법론에 바탕을 둔 과학적 표본추출기법의 발전에 따라 미국 사례에서 100명 가량의 표본이 있으면 대통령 선거 결과를 정확히 예측한 바 있다. 이러한

설문조사 항목으로 플러스 DR 충전 서비스 수용성 WTA 조사 외에 전기차 충전 서비스 실태 및 선호 조사를 포함하였다. 요컨대, 응답자 보유 전기자동차 및 운행 사항(전기차 용도, 주 이용 전기차 모델, 주행거리, 월평균 주행거리 등), 충전에 대한 일반사항(가정 및 직장내 충전기 설치여부, 주로 이용하는 충전 사업자, 충전요금 수준, 충전시간대 등), 충전 서비스 보상 방식 선호도(충전요금 할인 또는 충전 적립금)를 조사하였다. 응답자의 사회경제적 특성 변수로는 제주도내 거주지역, 응답자 나이, 성별, 학력, 직업, 가구의 월평균 총소득 등을 고려하였다.

Table 1. Descriptive statistics of socioeconomic variables

Variables	Definitions	Mean	Standard deviation
GENDER	Gender of the respondent (male=1; female=0)	0.684	0.466
AGE	Age of the respondent	43.760	10.884
INCOME	Household income per month (Unit: KRW one million)	4.848	1.682
HOME	Dummy for the installation of charger at home (yes=1; no=0)	0.268	0.444

Note: During the survey time, USD 1.0 equalled KRW 1,330.2

Table 1은 표본의 인구통계학적 특성을 보여준다. 응답자의 성별, 연령, 월평균 가구 소득, 집에 충전기 설치되어 있는지 여부 등을 공변량으로 선정하였다. 응답자의 68.4%는 남자이며, 평균 연령은 43.8세로 나타났다. 월평균 연소득은 484.8만원으로 조사되었다. 응답자의 26.8%는 거주하는 집에 충전기가 설치되어 있다고 응답하였다.

#### 4. 분석결과 및 논의

Table 2와 Table 3은 플러스 DR 하루전 발령 및 3시간 전 발령 시나리오에 대한 WTA 응답의 분포를 나타낸다. 대체적으로 제시금액이 증가할수록 제시금액에 대해서 “예”라고 응답하는 비중이 높아진다. 전체 응답자 가운데 67명(21.4%)과 97명(31.0%)는 각각 하루전 발령과 3시간 전 발령에 대해서 수용의사가 없다는 것을 보여준다.

본 연구에서는 WTA 모형의 추정결과를 보여주는 데

있어서 단일경계 모형을 채택하였다. 최우추정법(MLE: Maximum Likelihood Estimation)에 따른 단일경계 모형식 (8)의 WTA 추정결과는 Table 4에 제시되어 있다. Wald 검정 통계량은 126.818, 215.043으로 모든 모수 추정치가 0이라는 귀무가설을 1% 수준에서 기각할 수 있다. 이에 따라, 단일경계 모형을 바탕으로 추정된 WTA 모형은 통계적으로 타당하다고 볼 수 있다. 모든 추정계수는 신뢰구간 1% 수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

Table 2. Distribution of answers by bid level in the instance of notice one day

Bid (KRW/kWh)	Sample size (%)	Number of answers (%)			
		Yes-yes	Yes-no	No-yes	No-no
30	60 (100.0)	12 (20.0)	5 (8.3)	14 (23.3)	29 (48.3)
70	60 (100.0)	21 (35.0)	11 (18.3)	15 (25.0)	13 (21.7)
100	66 (100.0)	22 (33.3)	19 (28.8)	13 (19.7)	12 (18.2)
120	63 (100.0)	26 (41.3)	16 (25.4)	13 (20.6)	8 (12.7)
130	64 (100.0)	36 (56.3)	19 (29.7)	4 (6.3)	5 (7.8)
Total	313 (100.0)	117 (37.4)	70 (22.4)	59 (18.8)	67 (21.4)

Note: The figures in parentheses indicate the ratio of answers

Table 3. Distribution of answers by bid level in the instance of notice 3 hours ago

Bid (KRW/kWh)	Sample size (%)	Number of answers (%)			
		Yes-yes	Yes-no	No-yes	No-no
30	60 (100.0)	10 (16.7)	5 (8.3)	10 (16.7)	35 (58.3)
70	60 (100.0)	14 (23.3)	12 (20.0)	18 (30.0)	16 (26.7)
100	66 (100.0)	16 (24.2)	15 (22.7)	14 (21.2)	21 (31.8)
120	63 (100.0)	26 (41.3)	13 (20.6)	8 (12.7)	16 (25.4)
130	64 (100.0)	32 (50.0)	17 (26.6)	6 (9.4)	9 (14.1)
Total	313 (100.0)	98 (31.3)	62 (19.8)	56 (17.9)	97 (31.0)

Note: The figures in parentheses indicate the ratio of answers

공변량을 포함한 단일경계 모형의 WTA 추정결과는 Table 5에 제시되어 있다. 공변량 가운데 통계적 유의성을 갖춘 변수는 INCOME, HOME (하루전 발령의 경우만)인 것으로 분석되었다. 그리고 성별과 나이 변수는 WTA에 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. INCOME의 추정

점을 종합적으로 감안하여 채택된 표본이 모집단을 대표한다고 가정한다.

Table 4. Estimation results

Variables	Notice one day ago	Notice 3 hours ago
Constant	1.557 (4.622)***	1.767 (5.070)***
Bid <sup>a</sup>	0.022 (6.180)***	0.020 (5.617)***
Number of observations	313	313
Log-likelihood	-189.572	-199.159
Wald statistic <sup>b</sup>	126.818 (0.000)***	215.043 (0.000)***
Mean WTA	KRW 71.205 (USD 0.054)	KRW 89.307 (USD 0.067)
t-values	11.261***	14.664***

Note: The figures in parentheses besides the coefficients mean t-values. \*\*\* imply statistical meaningfulness at the 1% level. <sup>a</sup> The unit is KRW/kWh. <sup>b</sup> The hypothesis is that all of the slopes are zero, and the p-value is depicted in the parentheses beside the statistic.

계수는 양수로 추정되었으며, 가구의 소득수준이 높을수록 플러스 DR 수용을 꺼리는 것으로 풀이된다. 즉, 소득이 많은 사람의 경우 플러스 DR 서비스 가입으로 누릴 수 있는 편익에 비해서 불편비용이 더욱 크다고 판단할 수 있는 것이다. 거주하는 집에 충전기가 설치되어 있는 응답자는 충전기가 설치되어 있지 않은 응답자에 비해서 플러스 DR에 대한 수용성이 높은 것으로 분석되었다. 즉, 전기차의 충전상황이 편리할수록 플러스 DR 수용 가능성이 커지는 것이다. 소비자는 보상 인센티브에서 불편비용을 차감한 순편익(net benefit)이 중요한데, 불편비용이 낮아지면 순편익이 증가할 수 있다.

플러스 DR 하루전 발령의 경우, 단일경제 모형의 평균 WTA는 71.205원/kWh로 나타났다. 플러스 DR 3시간전 발령은 단일경제 모형의 WTA는 89.307원/kWh으로 추정되었다. 요컨대, 서비스 발령 시기가 촉박할수록 WTA가 높은 값을 보이고 있는 바, 이는 응답자가 충전해야 할 시간이 짧을수록 해당 업무에 대한 부담감이 커지면서 불편비용이 증가하여 서비스 수용성이 낮아지는 것으로 풀이된다.

공변량을 포함한 WTA 추정결과는 플러스 DR 사업자가 서비스 수용 경향이 높은 집단을 세분화하고, 이들 집단에 대한 맞춤형 마케팅 전략을 구축하는 데 활용 가능하다. 아울러, 가구 소득수준과 댁내 충전기 설치 여부가 WTA에 미치는 영향 분석결과는 플러스 DR 사업자와 관련 정책담당자들이 인센티브 방안과 홍보 프로그램을 구상하는 데 도움이 될 것으로 예상된다.

본 연구에서 도출된 전기차 소유자의 플러스 DR 참여

Table 5. Estimation results with covariates

Variables	Notice one day ago	Notice 3 hours ago
Constant	0.837 (1.166)	0.450 (0.624)
Bid <sup>a</sup>	0.023 (6.343)***	0.021 (5.774)***
GENDER	0.119 (0.430)	0.169 (0.634)
AGE	0.001 (0.011)	0.011 (0.985)
INCOME	0.187 (2.425)**	0.177 (2.376)**
HOME	-0.579 (-1.911)*	-0.201 (-0.706)
Number of observations	313	313
Log-likelihood	-185.283	-195.362
Wald statistic <sup>b</sup>	295.239 (0.000)***	282.462 (0.000)***
Mean WTA	KRW 79.276 (USD 0.060)	KRW 96.174 (USD 0.072)
t-values	17.183***	16.807***

Note: The figures in parentheses besides the coefficients mean t-values. \*\*\* imply statistical meaningfulness at the 1% level. <sup>a</sup> The unit is KRW/kWh. <sup>b</sup> The hypothesis is that all of the slopes are zero, and the p-value is depicted in the parentheses beside the statistic.

Table 6. WTA results according to scenarios

Variables	Notice one day ago	Notice 3 hours ago
Mean WTA	KRW 71.205 (USD 0.054)	KRW 89.307 (USD 0.067)

WTA (평균 71-96원/kWh)는 V2G 서비스 수용의사 연구 (Lee et al., 2020)에서 도출된 약 80원/kWh 수준과 유사한 수준으로 확인되며, 이는 에너지 소비 증가 보상에 대한 한국 소비자의 전반적 수용도가 일관됨을 시사한다. Kubli (2022)에서는 스마트 충전에 대한 WTA 수치가 직접적으로 제시되지는 않았지만 보상 수준이 높을수록 참여도가 높은 것으로 나타났다. 플러스 DR 혹은 양방향 충전에 대한 WTA 연구가 부족한 상황에서 향후 교차국 비교 연구의 필요성을 제기하며, 에너지/환경 분야 소비자 행동론에서 소득 및 인프라 변수를 통한 이질성 분석의 중요함도 제기하고자 한다.

본 연구의 결과로부터 도출할 수 있는 시사점은 다음과 같다. 정책적 시사점 측면에서, 첫째, 플러스 DR과 같은 전기차 기반 수요 자원 프로그램은 재생에너지의 잉여 전력을 효율적으로 소비하는 핵심 메커니즘으로 발전할 잠재력이 크다. 전기차 충전의 시간대 이동을 유도하고 이를 금전적으로 보상하는 체계는 전력망 유연성 확보와 동시에 소비자 후생 증진을 달성할 수 있다. 다만, 본 연구 결과가 보여주듯, 참여자의 인센티브 수용 범위가 사전

통지 조건과 개인 특성에 따라 달라지는 만큼, 정부와 전력 당국은 시범사업을 통해 수용성 기반의 실증적 자료를 축적하고 이를 토대로 단계적 인센티브 제도를 설계할 필요가 있다.

둘째, DR 프로그램의 경제적 실현가능성 확보를 위해선 인센티브와 운영 비용, 재생에너지 회피 손실 절감 효과를 종합적으로 평가하는 비용-편익 분석 체계를 마련해야 한다. 또한, DR 데이터 모니터링 시스템을 강화하고, 참여자별 성과를 실시간으로 피드백할 수 있는 스마트 플랫폼 기반의 서비스 인프라를 구축하는 것이 중요하다.

셋째, 정책 차원에서는 전기차 충전 시장, DR 운영자, 전력계통 운영기관 간의 협력체계를 강화하여 제도 효율성을 높일 필요가 있다. 스마트 충전 및 차량-그리드 연계(V2G) 기술을 플러스 DR에 통합함으로써, 충전 제어의 실시간성 확보와 참여 인센티브의 자동화를 실현할 수 있을 것이다. 동시에, 프로그램 참여자의 신뢰 형성을 위해 정보 투명성과 참여 보상 산정 절차의 공정성을 제도적으로 보장해야 한다.

## 5. 결론

본 연구는 제주도를 사례로 하여 플러스 DR 사업 참여에 대한 전기차동차(EV) 소유주의 수용 의사를 실증적으로 분석하였다. 단일 경제 이분형 선택 조건부 가치평가법(CVM)을 적용하여 전기차 사용자가 충전 행태의 유연성을 포기하고 프로그램 운영자의 제어를 수용하는 대가로 요구하는 최소 보상 수준을 정량적으로 추정하였다. 분석 결과, 응답자들의 평균 WTA는 하루 전 통지 기준으로 kWh당 약 71.205원, 3시간 전 통지 기준으로 약 89.307원으로 나타났으며, 이는 표준 충전 요금 대비 약 24~30%의 할인율에 해당한다. 이러한 결과는 사전 통지 기간이 짧을수록 이용자의 불편 및 기회비용이 크게 인식되어 더 높은 보상을 요구한다는 점을 보여준다. 즉, 통지 시점은 DR 프로그램 수용성과 참여율을 결정짓는 핵심적 요인임을 실증적으로 확인하였다.

또한, 개인의 사회경제적 특성이 수용 의사에 유의미한 영향을 미쳤다. 특히 고소득층일수록 WTA 수준이 높게 나타났는데, 이는 금전적 인센티브에 대한 민감도가 높거나 충전 일정의 유연성이 상대적으로 낮기 때문으로 해석된다. 반면 가정용 충전기를 보유한 경우, 충전 계획에 대한 통제권 확보와 낮은 기회비용으로 인해 WTA가 낮은 경향을 보였다. 즉 가정용 충전기를 보유한 이용자는 플

러스 DR 사업에 대한 수용성이 높다. 이 결과는 DR 설계 시 단일한 인센티브 수준을 적용하기보다, 참가자 유형별 맞춤형 보상 체계 및 세분화된 통지 전략이 필요함을 시사한다. Lee et al. (2020)과 Kubli (2022)의 선행연구에서도 보고된 바와 같이, 사회경제적 요인과 유연성 제약 수준은 전기차 기반 DR 프로그램 수용성의 주요 결정요인으로 확인되었다. 이러한 비교 연구 결과는 본 연구의 국제적 맥락과 방법론적 타당성을 강화한다.

본 연구의 한계로는 표본이 제주도 지역에 국한되어 있어 지역별 인프라 및 정책 여건이 다른 지역으로 일반화하기 어렵다는 점, 그리고 설문 기반의 진술 선호 기법 특성상 응답자의 전략적 응답이나 사회적 바람직성 편향이 존재할 수 있다는 점이 있다. 향후 연구에서는 다양한 지역 비교 및 장기 패널 분석을 통해 전기차 소유자의 WTA 변화 추이를 분석하여 최적 보상 설계 방안을 탐색할 필요가 있다.

종합적으로, 본 연구는 EV 충전 부하를 활용한 플러스 DR이 재생에너지 통합을 지원하고 탄소중립 사회로의 이행을 가속화 할 수 있는 유망한 수단임을 실증적으로 제시하였다. 또한, WTA 접근법을 통해 소비자의 불편비용을 계량화함으로써, 향후 수요 반응 제도 설계 시 사용자 중심의 유연하고 지속가능한 인센티브 정책 수립에 실질적 근거를 제공했다는 점에서 학문적 및 정책적 의의를 가진다.

## 사사

본 연구는 에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20226210100020). 또한 본 연구는 환경부 「기후변화특성화대학원사업」 및 2025년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 대학기초연구소지원사업(G-LAMP)의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2023-00301938).

## Reference

- AMPECO. 2023. Demand response - EV charging glossary.
- Brouwer R, Langford H, Bateman J, Crowards M, Turner K. 1999. A meta-analysis of wetland contingent valuation studies. *Reg Environ Change* 1(1): 47-57. doi: 10.1007/s101130050007

- Charge info. n.d. Electric vehicle charging integrated information system; [accessed 2025 Oct 10]. <http://chargeinfo.ksqa.org>
- Cooper C, Hanemann M, Signorello G. 2002. One-and-one-half-bound dichotomous choice contingent valuation. *Rev Econ Stat* 84(4): 742-750. doi: 10.1162/003465302760556494
- Guo X, Liu H, Mao X, Jin J, Chen D, Cheng S. 2014. Willingness to pay for renewable electricity: A contingent valuation study in Beijing, China. *Energy Policy* 68: 340-347.
- Hanemann WM. 1984. Welfare evaluations in contingent valuation experiments with discrete responses. *Am J Agric Econ* 66(3): 332-341.
- Jimenez WR, Schneider I. 2020. Understanding EV owners' preferences towards enrolling in smart charging programs. *Energy Eval Eur* 1: 1-15.
- Korea Energy Agency. 2023. Jeju Island renewable energy power generation output restrictions and response measures. KEA Energy Issue Briefing No. 221.
- Korea Power Exchange. 2025. Hourly control amount and frequency of solar and wind power controls in Jeju. Public Data Portal.
- Kubli M. 2022. EV drivers' willingness to accept smart charging: Measuring preferences of potential adopters. *Transp Res Part D: Transp Environ* 109: 103396.
- Lee CY, Jang JW, Lee MK. 2020. Willingness to accept for vehicle-to-grid service in South Korea. *Transp Res Part D: Transp Environ* 87: 102487. doi: 10.1016/j.trd.2020.102487
- McFadden D. 1994. Contingent valuation and social change. *Am J Agric Econ* 76: 689-708.
- Ministry of Environment. 2024. Greenhouse gas emissions to reach 624.2 million tons in 2023, a 4.4% decrease from the previous year. Korea Policy Briefing.
- Mitchell RC, Carson RT. 1989. Using surveys to value public goods: The contingent valuation method. *Resources for the Future*.
- NREL (National Renewable Energy Laboratory). 2019. Valuing response products and curtailment in U.S. electricity markets. U.S. Department of Energy.
- Park S, Jung W, Kim T, Lee S. 2016. Can renewable energy replace nuclear power in Korea? An economic valuation analysis. *Nucl Eng Technol* 48(3): 559-571. doi: 10.1016/j.net.2015.09.004
- U.S. Department of Energy (DOE). 2025. Bidirectional charging and electric vehicles for mobile storage.
- Wang N, Tang L, Pan H. 2019. A global comparison and assessment of incentive policy on electric vehicle promotion. *Sustainable Cities Soc* 44: 597-603. doi: 10.1016/j.scs.2018.10.025
- Whittington D, Adamowicz W, Lloyd-Smith P. 2017. Asking willingness-to-accept questions in stated preference surveys: A review and research agenda. *Annu Rev Resour Econ* 9: 317-336. doi: 10.1146/annurev-resource-100516-053758