

V2G 시스템에 대한 잠재적 소비자의 선호 평가

임슬예 · 김희훈 · 유승훈[†]

서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지정책학과

(2016년 10월 5일 접수, 2016년 12월 7일 수정, 2016년 12월 10일 채택)

Assessment of the Potential Consumers' Preference for the V2G System

Seul-Ye Lim, Hee-Hoon Kim, Seung-Hoon Yoo[†]

Department of Energy Policy, Graduate School of Energy & Environment, Seoul National University of Science & Technology

(Received 5 October 2016, Revised 7 December 2016, Accepted 10 December 2016)

요 약

V2G (Vehicle-to-Grid)는 전기자동차 배터리에 저장된 전기를 전력판매사의 전력망을 통해 되파는 양방향 전력 전송 기술이다. V2G 시스템을 활용하는 전기자동차 운전자는 전기요금이 저렴한 심야에 충전한 뒤 출퇴근시 사용하고 남은 전력을 전력사용량이 많고 전기요금이 높은 주간에 판매하므로, 피크시 전력수급의 안정성이 향상된다. 이에 정부는 V2G 인프라 구축 및 지원 대책을 마련하면서 V2G 시스템에 대한 잠재적 소비자의 선호 정보를 요구하고 있다. 본 논문에서는 잠재적 소비자인 일반 국민 1,000명을 대상으로 한 일대일 개별면접 설문조사를 통해 수집된 자료를 수집하였다. 소비자의 선호를 분석하기 위해 경제학적 기법인 선택실험법을 적용한다. V2G 시스템의 속성으로 잔존 전력량, 전력 판매시간, 의무접속시간, 현행 차량가액에 추가하는 가격으로 평가된 지불의사액이라는 4개를 고려하였다. 분석모형으로는 우선 다항로짓모형을 적용하였는데 ‘비관련 대안의 독립성’ 가정이 위배되어, 이 가정을 요구하지 않는 중첩로짓모형을 최종적으로 적용하였다. 효용함수의 모든 추정계수는 유의수준 10%에서 통계적으로 유의하였다. 속성별 분석결과, 전력 판매가능시간이 1시간 증가하는 것에 대한 한계지불 의사액(MWTP, marginal willingness to pay)은 1,601,057원이었다. 그러나 잔존 전력량이 1% 감소 및 의무접속 시간 1시간 증가에 대한 MWTP는 각각 -91,911원 및 -470,619원으로 분석되었다. 본 연구에서 도출한 V2G 시스템에 대한 정량적인 소비자 선호 정보는 향후 V2G 시스템 도입 및 관리정책에 유용하게 활용될 수 있다.

주요어 : 잠재적 소비자 선호, V2G, 전기자동차, 전력판매, 선택실험법

Abstract - Vehicle-to-Grid (V2G) system, bi-direction power trading technology, enables drivers possessing electric vehicle to sell the spare electricity charged in the vehicle to power distribution company. The drivers gain profit by charging electricity in the day time of high electricity rate. In this regard, the government is preparing the policies of building and supporting V2G infrastructure and demanding the potential consumers' preference for the V2G system. This paper attempts to analyze the consumers' preference using the data from obtained a survey of randomly selected 1,000 individuals. To this end, choice experiment, an economic technique, is employed here. The attributes considered in the study are residual amount of electricity, electricity trading hours, required plug-in time, and price measured as an amount additional to current gasoline vehicle price. The multinomial logit model, which requires the assumption of 'independence of irrelevant alternatives', is applied but the assumption could not be satisfied in our data. Thus, we finally utilized nested logit model which does not require the assumption. All the parameter estimates in the utility function are statistically significant at the 10% level. The estimation results show

[†]To whom corresponding should be addressed.
Tel : 02-970-6802 E-mail : shyoo@seoultech.ac.kr

that the marginal willingness to pay (MWTP) for one hour increase in electricity trading hours is estimated to be KRW 1,601,057. On the other hand, a one percent reduction in residual amount of electricity and one hour reduction in required plug-in time in V2G system are computed to be KRW -91,911 and -470,619, respectively. The findings can provide policy makers with useful information for decision-making about introducing and managing V2G system.

Key words : potential consumer preference, V2G (Vehicle-to-Grid), electric vehicle, electricity power trading, choice experiment

1. 서론

V2G (Vehicle-to-Grid)는 전기자동차 배터리에 전기를 저장했다가 전력판매사의 전력망에 전기를 되파는 양방향 전력전송 기술이다. V2G 시스템을 활용하는 전기자동차 운전자의 경우 전기요금에 저렴한 심야에 충전한 뒤 출퇴근시 사용하고 남은 전력을 사용량이 많고 전기요금에 높은 주간에 판매하여 수익을 올릴 수 있다(Kempton, and Tomić, 2001; Kempton, and Tomić, 2005). 전기자동차는 전력을 배터리에 충전해두었다가 사용한다는 측면에서 TV, 에어컨 등의 가전제품과 똑같이 전력을 소비한다. 그러나 전기자동차 배터리에 저장되어 있는 전기를 다시 전력망으로 되돌려 공급한다면 전기자동차는 발전기 역할을 할 수 있다. 우리나라 승용차 하루 중 대부분의 시간에 주차되어 있다.

V2G는 전기자동차의 보급과 확대를 위해서 반드시 필요한 시스템이다. 왜냐하면 전기자동차는 필요시 배터리에 저장한 전력을 공급하는 것이 가능한데, 소비자는 전기를 판매하여 수익을 올릴 수 있고, 국가적으로 필요한 전력이 확보되므로 전력수급의 안정성이 향상된다. V2G 전기자동차는 에너지를 효율적으로 사용할 뿐만 아니라 전력 역판매가 가능하므로 운전자는 밤과 낮의 요금 차이만큼 수익을 올릴 수 있다. V2G 시스템을 통해 전력피크 때 전기자동차에서 전력망으로 전력이 공급되면, 전력회사는 발전소 가동률을 줄일 수 있으므로 상당수의 발전소를 건설하지 않아도 된다(Choi and Park, 2014). 또한 전기자동차가 전력수요가 많은 도심지역에서 운영을 한다면 분산형 전원의 역할을 수행하여 장거리 전력전송에 필요한 송전선로의 건설도 일부 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

V2G 시스템의 도입을 위해 정부는 V2G 기술개발 및 전기자동차 보급에 정책적인 노력을 기울이고 있다. 전기자동차와 국가전력망 연계 및 국내 V2G 관련

기술 검증을 위해 제주 실증단지에서 인프라를 구축하였다(Choi and Park, 2014). 그리고 국책과제를 중심으로 전기자동차 및 배터리 기반 ESS 관련 실증사업도 진행 중에 있다(Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning, 2014). 또한 전기자동차를 편리하게 충전할 수 있도록 전기자동차 배터리 충전소 설치를 확대 및 배터리 리스를 제공하고 있으며 보조금 지원 사업을 실시한다. 이처럼 정부는 V2G 인프라 구축 및 지원 대책을 마련하면서 상당한 공적자금을 투입하기 때문에, V2G 시스템에 대한 잠재적 소비자의 선호 정보를 요구하고 있다. 본 논문에서는 엄밀한 경제학적 방법론을 적용하여 V2G 시스템의 소비자 선호에 대해 정량적으로 밝히고자 한다.

본 논문에서는 경제학적 기법인 선택실험법(CE, choice experiment)을 적용 한다. CE를 활용하여 선호를 분석한 국내외 연구사례를 살펴보면, Ku and Yoo (2010)는 우리나라의 재생에너지 투자시 발생하는 편익을 기준으로 대안간의 선호를 비교하였다. Parsons et al. (2014)과 Hidrue and Parsons (2015)는 V2G 시스템이 가능한 전기자동차를 가지고 이루어지는 전력거래에 대해 CE를 적용하여 각 속성별 효용을 밝혔다. Richardson (2013)은 캐나다 온타리오주에서 V2G가 타 신재생에너지와 동등하게 경쟁할 수 있도록 전력피크에 따른 FIT 범위를 제시하였다. 후술하겠지만, 본 연구에서 CE를 적용시 고려하는 V2G 시스템의 속성은 잔존 전력량, 전력 판매가능시간, 의무접속시간의 세 가지이다. 여기에 가격 속성을 추가적으로 고려하여 속성에 대한 일반 국민의 선호를 조사하고 이를 기반으로 각 속성 수준의 변화에 따른 가구의 한계지불의 사액(MWTP, marginal willingness to pay) 정보를 추정한다.

본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. 제2절에서는 소비자 선호를 밝히기 위한 방법론인 선택실험법에 대해 소개한다. 제3 절에서는 V2G 시스템의 소비자 선호를

다를 이론적 모형을 설명한다. 제4절에서는 V2G 시스템의 각 속성별 소비자 선호에 대한 추정결과를 제시한다. 마지막 절에서는 연구결과를 요약하며 결론을 다룬다.

2. 연구방법론 : 선택실험법

2-1. 개요

설문조사를 통해 응답자의 선호에 대한 정보를 파악한 뒤 분석을 통해 응답자의 선호를 분석하는 기법을 진술선호 평가법이라 하는데, 진술선호 평가법에는 크게 조건부 가치측정법과 컨조인트 분석법이 있다. CE는 비시장재화 또는 공공재에 대한 사람들의 선호를 평가하기에 유용한 기법이다. CE를 적용하게 되면 응답자에게 다양한 수준으로 이루어진 대상 재화의 관련 속성과 가격 속성으로 구성된 두 개의 가상적 대안과 가격속성이 0원의 지불의사액(WTP, willingness to pay)인 현재 상태 대안을 포함한 총 3개의 대안을 제시하게 된다. 응답자는 자신의 예산제약 하에서 세 개의 대안 중 가장 선호하는 대안을 선택함으로써 속성의 수준 변화에 대한 소비자의 WTP를 측정할 수 있다. 이때 WTP의 모형화와 관련하여 이론적 체계가 필요한데, 통상 확률효용모형(random utility model)을 적용하게 된다.

CE를 적용하면 세 가지 장점을 얻을 수 있다. 첫째, 무엇보다도 다른 가치평가방법에 비해 대상 재화와 관련된 개별 속성의 가치를 쉽게 측정할 수 있다. 실제 정책을 평가할 때 대상 재화를 완전히 잃거나 얻는 것보다는 재화의 속성 수준의 변화를 고려하는 경우가 많은데, 이때 CE는 유용한 수단이 된다. 둘째, CE를 이용하면 응답자들이 다양한 속성 사이의 상충관계를 체계적으로 평가함으로써 선호 정보를 자연스럽게 유도할 수 있다. 이러한 과정을 통해 저항응답(protest bid)의 수가 줄어들며, 응답자는 자신의 응답에 대해 스스로 일관성을 점검할 수 있게 된다. 마지막으로, CE를 활용하면 각 응답자로부터 더 많은 정보를 얻을 수 있기 때문에 필요한 표본의 크기와 설문비용을 줄일 수 있다.

2-2. 속성 및 지불수단

컨조인트 분석법을 적용한다는 것은 특정 재화가 여러 속성으로 구성되어 있다는 점을 암묵적으로 가정하는 것이다. 따라서 여러 속성의 조합으로 이 재화

에 대안을 구성할 수 있다. V2G 시스템은 다양한 속성을 가지므로, 이러한 속성을 반영할 수 있는 적절한 속성변수를 선정하고 측정가능한 수준을 정의해야 한다. V2G 시스템을 설명하는 속성들과 각 속성들의 수준은 다음의 다섯 개의 원칙에 따라 정했다. 첫째, 속성은 독립적이거나 이에 근접하여야 한다. 둘째, 속성의 수는 적어야 하며 이상적으로 여섯 개를 넘지 않는 것이 좋다. 만약 많은 속성이 존재한다면 속성간 상충관계를 응답자들이 이해할 수 있는 형태로 제시하거나 이해시키기 어렵다(Phelps and Shanteau, 1978). 셋째, 속성은 간단한 설명과 함께 사진, 차트나 그림과 같은 시각적인 도구로 묘사 되어야만 한다. 넷째, 속성은 과학적으로 의미가 있어야 하며 모든 중요한 사실은 누락되어서는 안 된다. 다섯째, 속성은 V2G 시스템을 선택시 고려할 중요 요인으로서 의미가 있어야 하며 사람들의 이성적 판단에 근거할 수 있어야 한다. 이러한 다섯 가지 원칙을 이용하여 잔존 전력량, 전력 판매가능시간, 의무접속시간의 V2G 시스템에 대한 소비자 선호의 세 가지 개별 속성을 식별하였다(Parsons et al., 2014; Hidrue and Parsons, 2015). Table 1은 가격변수를 포함한 속성들과 개별 속성들의 수준이 어떻게 정의되었는지 보여준다. 개별 속성들의 내용에 대해 간략히 설명하면 다음과 같다.

(1) 잔존 전력량

운전자는 전기자동차에 충전된 전기를 완전히 방전될 때까지 전력 판매할 수는 없다. 최소한의 구동을 위해 일정량의 전기는 의무적으로 전기자동차에 남겨둬야 한다. 배터리에 저장된 전력 중 잔존 전력량을 제외한 나머지 전력은 최대 판매가능량을 의미하므로, 잔존 전력량이 커질수록 판매가능량은 감소한다.

(2) 전력 판매가능시간

운전자가 전력회사에게 하루 중 전기를 판매할 수 있는 평균적인 시간을 의미한다. 전력 판매가능시간이 길면 길수록 더 많은 전기를 판매할 수 있다. 예를 들면, 전력망에서 전력을 판매 할 수 있는 시간이 길거나 전기자동차 배터리의 용량이 커 판매할 전력량이 많은 경우이다.

(3) 의무접속시간

운전자가 전기자동차에 충전된 전기를 판매하려면 우선 전력망에 접속되어 판매시장에 참여하고 있어야

Table 1. Attributes and levels of the choice experiment

Attributes	Descriptions	Levels
Residual amount of electricity	Minimum guaranteed residual amount of electricity in battery (on a full charge) when car's battery is discharged for selling electricity to power company	Level 1 : 0 ^a Level 2 : 5% Level 3 : 10% Level 4 : 30%
Electricity trading hours	The longer time is the more car owners sell energy and during this time they are possible to sell electricity and the power company can draw energy (There is relationship with battery capacity)	Level 1 : 0 ^a Level 2 : 1 hour Level 3 : 4 hour Level 4 : 8 hour
Required plug-in time	Guaranteed average daily plug-in time, which gives restriction to drive is not related whether drivers can sell electricity or not	Level 1 : 0 ^a Level 2 : 1 hour Level 3 : 4 hour Level 4 : 8 hour
Willingness to pay	Additional price to make a purchase of V2G electric vehicle rather than relative your preferred gasoline vehicle	Level 1 : 0 ^a Level 2 : KRW 1 million Level 3 : KRW 4 million Level 4 : KRW 10 million Level 5 : KRW 20 million
Electric vehicle standard feature	Driving range on full battery	320 km
	Time it takes to charge battery for 80km of driving range	1 hour
	Acceleration relative to gasoline vehicle	5% faster
	Pollution relative to gasoline vehicle	75% lower
	Gasoline cost (First week of June, 2015)	KRW 1,572.4/ℓ

Note: ^a indicates the current level of each attribute of the conventional gasoline vehicle.

한다. 운전자가 전력을 판매하고자 하는 의지, 구매자가 구매하고자 하는 의향과 관계없이 의무적으로 계통에 참여해야한다. 하루 중 의무접속시간 동안에는 운전자가 차량을 운행하는 것이 불가능하다.

(4) 전기자동차 기본사양(공통)

위의 3가지 속성 외에 전기자동차의 기본적인 특성은 동일한 것으로 설정하였다. 전기자동차가 완전히 충전되었을 때 가능한 주행거리는 320 km이며, 80 km 주행에 필요한 충전시간 1시간으로 하였다. 일반적인 휘발유 승용차 대비 가속 5% 빠르고, 오염물질 배출량은 75% 낮으며, 연료 평균가격은 2015년 6월 첫째주 가격인 1,572.4원/ℓ 을 기준으로 하였다.

2-3. 선택대안집합의 설계

CE는 다른 요인에 의해 변함이 없는 모수 추정치를

산출하는 선택대안집합을 설계하기 위해 통계적 설계 이론을 이용한다(Yoo et al., 2008). 본 연구에서는 선택대안을 선택하는 행위로부터 개별 속성들의 효과를 분리하는 것에 효과적인 주효과 직교설계를 수행한다. 직교설계는 현실에서 속성간 매우 높은 상관관계를 가지고 있는 것으로 알려져 있는 현시선후 확률효용 모형의 단점을 개선한다.

CE 질문에서는 기준 상태를 나타내는 대안 한 개와 V2G 시스템에 대한 소비자 선호의 다양한 속성 수준으로 정의된 두 개의 대안이 존재한다. 이 경우 선택대안집합을 구성하기 위해 개별 속성 수준과 가격속성 수준을 결합하면, 총 $4^2 \times 4^2 \times 4^2 \times 5^2$ 개의 가능한 선택대안을 구할 수 있다. 그러나 응답자들에게 선택대안을 모두 질문하는 것이 불가능하기 때문에 전체 대안집합으로부터 최소 선택대안집합을 도출하여야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 SPSS 12.0 프로그램

램을 사용하여 주효과 직교설계를 수행하였다. 주효과 직교설계로부터 16개의 선택대안집합들이 도출되었고, 한 블록에 4개의 질문을 포함하도록 임의표본추출을 통해 2개의 블록으로 배분되었다.

3. 분석 및 추정 모형

3-1. 다항로짓모형

CE의 모형은 확률모형을 기본으로 정형화될 수 있다. McFadden (1973)에 의해 개발된 다항로짓(MNL, multi-nomial logit)모형은 대안의 구성요소인 개별 속성이 응답자의 선택확률에 미치는 영향을 모형화하는데 있어 계량경제학적인 체계를 이용한다. MNL모형은 비관련 대안의 독립성(IIA, independence of irrelevant alternatives)을 따른다고 가정한다. 이는 A라는 대안을 선택할 확률 대 B라는 대안을 선택할 확률의 비율은 다른 C라는 대안의 존재 여부에 영향을 받지 않는다는 것이다(Hausman and McFadden, 1984). 이때 선택대안집합 내에 있는 한 선택대안 j 를 선택한 응답자 i 의 간접효용함수는 다음과 같이 표현된다.

$$U_{ij} = V_{ij}(Z_{ij}, S_i) + e_{ij} \quad (1)$$

간접효용함수 U_{ij} 는 관측이 가능한 확정적(deterministic) 부분인 V_{ij} 와 관측이 불가능한 확률적(stochastic) 부분인 e_{ij} 로 분류할 수 있다. 확정적 부분인 V_{ij} 는 선택대안 j 의 속성인 Z_{ij} 와 개별 응답자들의 특성인 S_i 의 함수이다. 만약 선택대안집합 C_i 내에서 $U_{ij} > U_{ik}$ ($k \in C_i, k \neq j$)가 성립한다면, 응답자 i 가 선택대안 j 를 선택할 확률은 다음과 같다.

$$P_i(j|C_i) = \Pr\{V_{ij} + e_{ij} > V_{ik} + e_{ik}\} = \Pr\{V_{ij} - V_{ik} > e_{ik} - e_{ij}\} \quad (2)$$

이 확률을 계산하기 위해서는 오차항 e_{ij} 에 대한 분포 가정이 필요하다. 오차항은 일반적으로 독립적이며 일치적인 극치분포(Weibull distribution)를 따른다고 가정된다(McFadden 1973). 이때 응답자 i 가 선택대안 j 를 선택할 확률은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_i(j|C_i) = \frac{\exp(V_{ij})}{\sum_{k \in C_i} \exp(V_{ik})} \quad (3)$$

CE 질문으로부터 얻어진 각 응답자들의 응답은 응답자의 효용극대화를 위한 선택결과로 해석될 수 있다. 본 연구는 응답자에게 세 개의 대안을 제시하고, 응답자가 주어진 대안에서의 속성과 가격사이의 상충관계를 고려하여 세 개의 대안 중 한 개의 대안을 선택하도록 하였다. 이때, 개별 응답자 i 의 선택대안 j 에 대한 선택결과는 “예” 또는 “아니오”가 된다. 따라서 로그우도함수는 다음과 같이 표현된다.

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^3 \{Y_{ij} \cdot \ln [\Pr_i(j|C)]\} \quad (4)$$

Y_{ij} 는 i 번째 응답자가 j 번째 선택대안을 선택하면 1을, 그렇지 않다면 0을 취한다. 최우추정법을 적용하여 이 로그우도함수의 모수에 대한 추정치를 구할 수 있다.

3-2. 중첩로짓모형

IIA 가정의 위배를 피하기 위한 방법은 다른 그룹에 포함된 오차항간의 상관관계 혹은 중첩로짓(NL, nested logit)모형으로 추정된 대안의 수준을 고려하는 것이다(McFadden, 1978). 두 단계의 NL 모형에서 i 번째 응답자가 수준 m 내에서 j 번째 선택대안을 선택할 확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{ijm} = P_i(j|m) \cdot P_i(m), \quad (5)$$

여기에서 $P_i(j|m)$ 은 i 번째 응답자가 수준 m 에서 조건부로 나온 결과인 선택대안 j 를 선택할 확률이고 $P_i(m)$ 은 i 번째 응답자가 수준 m 을 선택할 확률이다. 응답자의 효용 함수에서 오차항은 일반적인 극한값 분포를 따른다고 가정한다면 확률은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$P_{ijm} = \frac{\exp(V_{jm}/\alpha) [\sum_{l=1}^{J_m} \exp(V_{lm}/\alpha)]^{(\alpha-1)}}{\sum_{k=1}^M [\sum_{l=1}^{J_m} \exp(V_{lk}/\alpha)]^\alpha} \quad (6)$$

3-3. 효용함수 및 한계지불의사액

공변량을 포함하지 않은 모형에서는 식 (7)과 같이 간접효용함수의 관측 가능한 부분인 V_{ij} 를 속성벡터 $Z = (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4) =$ (잔존 전력량, 전력 판매가능 시간, 의무접속시간, 가격)의 선형함수로 표현하였다. 본 모형에서는 A대안과 B대안을 각각 나타내는 대안 특화상수(ASC, alternative-specific constant)를 포함하고 있으며(Hanley et al., 1998), ASC는 각 속성들에 의해 반영되지 않는 특정대안의 효용을 나타내는 역할을 한다.

$$V_{ij} = ASC_i + \beta_1 Z_{1,ij} + \beta_2 Z_{2,ij} + \beta_3 Z_{3,ij} + \beta_4 Z_{4,ij} \quad (7)$$

우리는 응답자들의 사회·경제적 변수들이 선택확률에 어떠한 영향을 주는지를 파악하기 위해 공변량을 추가적으로 모형에 포함하였다. Greene (2000)에 제시되어 있는 특정 선택대안집합내의 개별 선택대안들에 대해 가상적으로 설정된 더미변수들에 사회·경제적 변수들을 곱하는 방법은 본 논문에서와 같이 응답자가 다수의 질문에 응답하는 경우 분리된 더미변수들의 수가 급격히 증가하므로 실용적이지 못하다. 따라서 본 연구에서는 응답자들의 사회·경제적 변수들을 선택대안내의 개별 속성값들에 곱함으로써 모형을 개선하고자 하였다. 그 결과 사회·경제적 변수들을 포함한 모형은 식 (8)과 같이 응답자의 소득, 나이, 월 전기요금 성별의 공변량을 포함한 모형으로 수정되었다(Mallawaarachchi et al., 2001).

$$V_{ij} = ASC_i + \beta_1 Z_{1,ij} + \beta_2 Z_{2,ij} + \beta_3 Z_{3,ij} + \beta_4 Z_{4,ij} + \sum_{k=1}^4 \gamma_k ASC_i \cdot x_{ki} \quad (8)$$

여기서 β_1 부터 β_4 는 응답자의 효용에 영향을 미치는 개별 속성에 대한 추정계수이다. 이때 식 (7)을 전

미분함으로써 개별 속성변수들의 현재 수준으로부터 한 단위 증가에 대한 MWTP를 다음과 같이 구할 수 있다. 식 (8)은 소득변화와 개별 속성들간의 한계대체율(marginal rate of substitution)을 나타낸다.

$$MWTP_{Z_1} = dZ_4/dZ_1 = -\beta_1/\beta_4 \quad (9)$$

$$MWTP_{Z_2} = dZ_4/dZ_2 = -\beta_2/\beta_4$$

$$MWTP_{Z_3} = dZ_4/dZ_3 = -\beta_3/\beta_4$$

4. 분석결과 및 시사점

4-1. 자료

진술선호 접근법에 대한 조사경험이 풍부한 여론조사 기관에 의뢰하여 2015년 6월에 실시되었다. 설문 대상은 만 20세 이상 65세 미만의 세대주나 주부로 한정하였다. 또한 전국을 대표할 수 있는 표본을 얻기 위하여 2010년 인구주택총조사 자료에 근거하되 제주도 제외한 15개 지자체의 인구비율을 고려하여 각 나이의 비율에 맞게 표본 수를 할당하였다. 높은 설문비용이 소요된다는 단점에도 불구하고 응답자에게 충분한 정보를 제공하면서 설문에서의 응답률을 높이기 위해 일대일 개인면접방식을 채택하였다. 총 1,000명의 응답자에 대한 설문조사 결과, 85.9%는 이미 본인 또는 가구의 차량을 소유하고 있었으며, 25.6%는 향후 5년 이내에 승용차를 구매할 의사가 있는 것으로 나타났다. 또한 총 4,000 (1,000×4)개의 이용 가능한 자료를 얻을 수 있었다.

4-2. 추정결과

Table 2는 이 변수들의 정의와 표본 통계량을 요약한 것이며, Table 3에서는 MNL 모형과 NL 모형의 추정결과를 제시하였다. 두 모형의 추정결과는 크게 다르지 않았으나, NL 모형의 ‘의무접속시간’을 제외

Table 2. Definitions and sample statistics of variable in the model

Variables	Definitions	Mean	Standard deviation
Income	Dummy for the household income exceeding ten million won (0=no; 1=yes)	0.02	0.15
Age	The respondent's age (unit: year)	46.48	10.36
Monthly electricity bill	The household monthly electricity bill (unit: ten thousand)	5.21	2.50
Gender	The respondent's gender (0=female; 1=male)	0.49	0.50

Table 3. Estimation results of the models

Variables	Multi-nomial logit coefficient estimates (<i>t</i> -value)		Nested logit coefficient estimates (<i>t</i> -value)	
	ASC	0.5328	(7.86)**	1.1273
Residual amount of electricity	-0.0073	(-3.05)**	-0.0093	(-2.10)**
Electricity trading hours	0.0933	(10.75)**	0.1647	(6.12)**
Required plug-in time	0.0312	(2.26)**	-0.0425	(-1.50)
Price	-0.6005	(-12.88)**	-1.0307	(-8.16)**
α			2.1017	(6.39)**
Number of observations	4,000			
Log-likelihood	-4,063.79		-4,056.19	
Wald statistics (<i>p</i> -value)	559.94	(0.000)	155.40	(0.000)

Notes: The variables are defined in Table 1. ASC refers to alternative-specific constant, which represents a dummy for the respondent choosing the status quo. ** indicates statistical significance at the 5% level.

한 모든 속성들의 추정계수는 유의수준 5%에서 통계적으로 유의하였다. 여기서 ASC는 세 번째 대안을 선택했으면 1 아니면 0을 의미하는 변수로서 ASC라 할 수 있다. ASC를 반영하는 이유는 응답자 응답의 이질성(heterogeneity)을 고려하기 위해서다. 한 개의 선택 집합하에서는 대안 A, 대안 B, 현재 상태의 세 가지 대안이 있으며 대안 A 및 B와 현재 상태 사이의 이질성을 고려하였다.

4-3. 모형 검정

IIA 가정의 성립 여부를 검정하기 위해 우도비(likelihood ratio)검정과 *t*-검정을 수행하였다. 우도비 검정은 제약이 가해진 우도함수와 제약이 가해지지 않은 우도함수 간에 차이가 없다는 귀무가설을 검정하여 어떤 모형이 적합한지 결정한다. *t*-검정은 IIA 가정의 성립여부를 판단하기 위해 $\alpha = 1$ 이라는 귀무가설을 검정한다. 계수 α 는 ‘포괄가치계수’ 또는 ‘비유사성모수’라고 하며, $\alpha = 1$ 일 때 확률은 식 (6)과 같이 표현되며 일반적인 MNL 확률모형으로 되돌아간다.

본 연구에서 우도비 검정통계량과 *t*-검정통계량의 값은 각각 15.2와 3.35로 유의수준 1%에서 두 검정 모두 귀무가설이 기각되어 MNL 모형에 대한 IIA 가정이 명백하게 위배됨을 알 수 있다. 이에 본 연구에서는 MNL 모형보다 NL 모형을 이용하여 V2G 시스템에 대한 소비자 선호의 속성별 MWTP를 추정하는 것이

더 적절하다. 따라서 지금부터는 NL 모형의 추정결과만을 다루려고 한다.

잠재적 소비자의 소득이나 현재 지불하고 있는 월 전기요금은 V2G 시스템에 대한 인식에 영향을 미친다. 응답자들의 사회·경제적 특성은 소비자 선호와 상당한 관련이 있으며, 이러한 응답자의 특성을 고려한 모형을 적용하는 것이 바람직 할 수 있다. 이러한 변수를 공변량으로 포함한 모형과 그렇지 않은 모형 간의 정형검정을 실시하였다. 우도비검정을 실시한 결과, 46.56으로 $\chi^2_{0.01}(4) = 13.28$ 을 초과하므로 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하였다. 두 모형 사이에 차이가 없다는 귀무가설이 기각되므로 공변량을 포함한 모형을 적용하는 것이 바람직하며 이에 근거하여 MWTP를 추정한다.

4-4. 공변량을 포함한 모형의 추정결과

Table 4에서는 공변량을 포함한 NL 모형의 추정결과를 제시하였다. 공변량을 포함한 NL 모형에서 ‘의무접속시간’은 유의수준 10%에서 통계적으로 유의했으며, 그 외의 모든 추정 계수들의 값은 유의수준 5%에서 통계적으로 유의하였다. ‘전력 판매가능시간’에 대한 추정계수는 양(+)의 부호를 갖는데 이는 해당 속성의 수준이 증가할수록 응답자의 효용이 증가함을 의미한다. 반면 ‘잔존전력량’, ‘의무접속시간’ 및 ‘가격’에 대한 계수가 음(-)의 부호라는 것은 가격의 증가가

Table 4. Estimation results of the nested logit model with covariates

Variables	Coefficient estimates (<i>t</i> -value)	
ASC	0.6552	(2.31)**
Residual amount of electricity	-0.0099	(-2.14)**
Electricity trading hours	0.1718	(6.21)**
Required plug-in time	-0.0505	(-1.74)*
Price	-1.0732	(-8.39)**
Income	0.4446	(2.03)**
Age	0.1781	(5.62)**
Monthly electricity bill	-0.0469	(-3.47)**
Gender	-0.1569	(-2.40)**
α	2.2028	(6.58)**
Number of observations	4,000	
Log-likelihood	-4,032.91	

Notes: The variables are defined in Table 1 and Table 2. ASC refers to alternative-specific constant, which represents a dummy for the respondent choosing the status quo. * and ** indicate statistical significance at the 10% level and 5% level, respectively.

Table 5. Marginal willingness to pay (MWTP) estimates and their confidence intervals

Variables	MWTP per household (unit: KRW)		
	Estimates (<i>t</i> -value)		95% confidence intervals
Residual amount of electricity (unit: %)	KRW -91,911	(-2.23)**	KRW -170,477 ~ KRW -1,745
Electricity trading hours (unit: hour)	KRW 1,601,057	(6.69)**	KRW 1,148,590 ~ KRW 2,126,410
Required plug-in time (unit: hour)	KRW -470,619	(-1.99)**	KRW -850,927 ~ KRW 184,215

Note: * indicates statistical significance at the 5% level.

응답자의 효용을 감소시킨다는 것을 의미한다. 또한 공변량으로 활용된 사회경제적 변수인 소득, 나이, 월 전기요금, 성별변수의 계수에 대한 추정치는 모두 유의수준 5%에서 통계적으로 유의하였다. 즉, 현재 상태를 택한 응답자들은 소득이 높을수록, 나이가 많을수록 효용이 높아지지만, 전기요금이 높을수록, 여자일수록 효용이 낮아진다.

4-5. 속성별 한계지불의사액 추정결과

V2G 시스템에 대한 속성별 소비자 선호는 MWTP를 이용하여 계산할 수 있다. 공변량을 포함한 모형으로 한 단위 개선을 얻기 위한 응답자 가구당 평균 MWTP는 식 (9)를 이용하여 계산할 수 있다. MWTP

추정치는 Table 5에 제시되어 있다. 전력 판매가능시간이 1시간 증가하는 것에 대한 MWTP는 1,601,057 원으로 분석되었다. 그러나 잔존전력량이 1% 감소하는 것과 의무접속시간이 1시간 증가에 대한 MWTP는 각각 -91,911원, -470,619원으로 나타났다. 개별 속성에 대한 MWTP 값들은 모두 유의수준 5%에서 통계적으로 유의하였다. 더 나아가 점추정치 추정의 불확실성을 반영하기 위해 MWTP의 점추정치에 대한 신뢰구간을 제시하였다. 본 연구에서는 개별 속성에 대한 MWTP 추정치의 95% 신뢰구간을 계산하기 위하여 Krinsky and Robb (1986)이 제안한 몬테칼로 모의실험(Park et al., 1991)을 적용하였다. 이 값 또한 Table 5에 제시되어 있다.

MWTP 추정결과를 통해 몇 가지 시사점을 찾을 수 있다. 우선 응답자들은 전력 판매가능시간이 늘어나는 것에 대해 가장 높은 가치를 부여한다. 즉, 판매할 수 있는 전력량이 증가할수록 높은 가치를 부여하는 것이다. 이는 소비자들이 전기자동차의 배터리에 저장된 전기를 판매를 선호하고 있음을 보여준다.

또한 잔존 전력량이 증가하는 것에 대한 선호도가 낮았다. 배터리에 충전된 전력을 모두 판매할 수 없도록 제한하여 의무적으로 남겨둬야 하는 양인 잔존 전력량이 1% 증가하는 경우 MWTP가 -91,911원이었다. 이는 잔존 전력량이 1% 증가할 때마다 91,911원을 보상받겠다는 것을 의미한다. 소비자가 판매할 전력을 가지고 있고, 구매자인 전력회사가 구매하려고 하더라도 판매할 수 있는 전력량이 제한되므로 판매수익에 한계가 있다.

특히 의무접속시간이 길어지는 것에 대한 선호도가 매우 낮게 나타났다. 의무접속시간이 1시간 증가할 때 MWTP는 -470,619원으로, 전력망에 의무적으로 접속해야 하는 시간이 길수록, 즉 차량운행이 불가능한 시간이 길어지는 것에 대한 선호도가 상당히 낮았다.

5. 결론

V2G 시스템은 운행수단인 전기자동차를 전기공급 장치로 이용할 수 있게 한다. 전기자동차가 전기 충전망 가능한 상황에서는 가전제품과 다르지 않지만, 양방향 전력전송 기술을 적용하면 전력망에 전기를 공급할 수 있다. 운전자는 요금이 저렴한 심야에 충전한 전력을 주간에 전력망으로 판매하여 수익을 얻고, 국가적으로는 추가적인 전력공급시설 없이 전력공급이 가능하므로 자원의 효율적 이용이 가능해진다. 전기자동차는 ESS의 역할을 수행하여 피크시간대에 전력을 절감할 뿐만 아니라, 운행 중에 CO₂나 대기오염 물질이 전혀 배출하지 않는다. 이러한 효과 때문에 정부에서는 전기자동차 보급 활성화 정책을 펼치고 있으며 V2G 시스템은 이에 긍정적인 영향을 미친다. 이러한 배경에서 정부는 V2G 시스템의 도입을 위한 여러 정책을 계획하고 있으며 이에 따라 V2G 시스템에 대한 소비자 선호정보를 요구하고 있다.

본 논문에서는 경제학적 접근법인 CE를 이용하여 V2G 시스템에 대한 소비자 선호에 대해 추정하고자 하였다. 이를 위해 잠재적 소비자인 일반 국민 1,000명을 대상으로 한 일대일 개별면접 설문조사를 통해 수

집된 자료를 이용하여 소비자의 선호를 분석하였다. V2G 시스템의 속성으로 잔존 전력량, 전력 판매시간, 의무접속시간, 현행 휘발유 승용차 가격에 추가하는 가격으로 평가되는 지불의사액까지 네 개를 고려하였다. 분석모형으로는 최종적으로 공변량이 포함된 NL 모형을 적용하였으며, 추정계수는 유의수준 10%에서 모두 통계적으로 유의하였다. V2G 시스템에 대한 소비자 선호의 속성별 가치도 유의수준 5%에서 모두 통계적으로 유의하였다. V2G 시스템에 대해 속성별 소비자 선호에 대한 MWTP는 전력 판매가능시간이 1시간 증가하는 것에 대한 MWTP는 1,601,057원이었다. 그러나 잔존전력량이 1% 감소하는 것과 의무접속시간이 1시간 증가에 대한 MWTP는 각각 -91,911원, -470,619원으로 분석되었다.

기존의 선행된 연구에서는 주로 V2G 기술에 초점이 맞춰져 있었고, 소비자 선호에 대한 연구는 부족했다. 본 연구에서는 V2G 시스템에 대한 소비자 선호를 경제학적 접근법인 CE를 적용하여 정량적으로 제시하였다. 다만 본 논문에서는 운전자가 전력판매를 통해 얻는 수입과는 별도로 V2G 시스템의 속성의 변화에 대한 소비자의 선호를 다룬 것에 국한된다. 추정결과에 따르면 의무접속시간의 증가에 대해 소비자는 MWTP를 보였지만, 전력 판매가능시간에 대한 양의 MWTP가 훨씬 크기 때문에 상쇄할 수 있는 여지가 있다. 예를 들어 전력 판매가능시간을 하루에 최소 6시간을 부여하고 나머지 18시간을 의무접속시간으로 하더라도 소비자들의 효용은 증가하는 것으로 예상할 수 있다. 또한 V2G 시스템에 대한 정량적인 소비자 선호 정보는 향후 V2G 시스템 도입 및 관리정책에 유용하게 사용될 수 있다.

References

1. Choi, J.-Y., Park, E.-S., 2014, A study on the V2G application using the battery of electric vehicles under smart grid environment, The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 63, pp. 40-45
2. Choi, J.-Y., Park, E.-S., 2014, A study on the V2G application using the battery of vehicles under smart grid environment, The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 63, pp.40-45 (in Korean)
3. Green., W. H., 2000, Econometric analysis. London:

- Prentice Hall International.
4. Hanley, N., Wright, R. E., Adamowicz, W., 1998, Using choice experiments to value the environment. *Environmental and Resource Economics*, Vol. 11, pp. 413-428
 5. Hausman, J., McFadden, D., 1984, Specification tests for the multinomial logit model, *Econometrica*, Vol. 52, pp. 1219-1240
 6. Hidrue, M. K., Parsons, G. R., 2015, Is there a near-term market for vehicle-to-grid electric vehicles?, *Applied Energy*, Vol. 151, pp. 67-76
 7. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014, 5th Assessment Report
 8. Kempton, W., Tomić, J., 2001. Vehicle-to-Grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue, *Journal of Power Sources*, Vol. 144. pp. 268-279
 9. Kempton, W., Tomić, J., 2001. Vehicle-to-Grid power: Battery, hybrid, and fuel cell vehicles as resources for distributed electric power in California. University of California.
 10. Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning, 2014, V4G technology development using VPP and VESS based on energy conservation station (in Korean)
 11. Krinsky, I., Robb, A., 1986, On approximating the statistical properties of elasticities, *Review of Economics and Statistics*, Vol. 68, pp. 715-719
 12. Ku, S.-J., Yoo, S.-H., 2010, Willingness to pay for renewable energy investment in Korea: A choice experiment study, *Renewable and Sustainable Energy Review*, Vol. 14, pp. 2196-2201
 13. Lim, S.-Y., Lim, K.-M., Yoo, S.-H., 2014, External benefits of waste-to-energy in Korea: A choice experiment study, *Renewable and Sustainable Energy Review*, Vol. 34, pp. 588-585
 14. Mallawaarachchi, T., Blamey, R. K., Morrison, M. D., Johnson, A. K. L. and Bennett, J. W., 2001, Community values for environmental protection in a cane farming catchment in Northern Australia: A choice modeling study, *Journal of Environmental Management*, Vol. 62, pp. 301-316.
 15. McFadden, D., 1973, Conditional logit analysis of qualitative choice behavior, In: Zarembka, P., (Ed.), *Frontiers in Econometrics*, New York: Academic Press, pp. 105-140
 16. McFadden, D., 1978, Modeling the choice of residential location, In: Karlquist, A., Lundquist, L., Snikars, F., Weibull, J. W., (Eds.), *Spatial interaction theory and planning models*, Amsterdam: North-Holland, pp. 75-96
 17. Park, T., Loomis, J. B., Creel, M., 1991, Confidence intervals for evaluating benefits from dichotomous choice contingent valuation studies, *Land Economics*, 67, pp. 64-73
 18. Parsons, G. R., Hidrue, M. K., Kempton, W., Gardner, M. P., 2014, Willingness to pay for vehicle-to-grid (V2G) electric vehicles and their contract terms, *Energy Economics*, Vol. 42, pp. 313-324
 19. Phelps, R. H. Shanteau, J., 1978, Livestock judges: how much information can an expert use?, *Organizational Behavior and Human Performance*, Vol. 21, pp. 209-219
 20. Richardson, D. B., 2013. Encouraging vehicle-to-grid (V2G) participation through premium tariff rates, *Journal of Power Sources*, Vol. 243, pp. 219-224
 21. Yoo, S.-H., Kwak, S.-J., Lee, J.-S., 2008, Using a choice experiment to measure the environmental costs of air pollution impacts in Seoul, *Journal of Environmental Management*, Vol. 86, pp. 308-318