

소규모 재생발전사업자의 중개시장참여 촉진요인 분석

이드미트리¹⁾ · 배정환^{2)*}

Analysis of Factors Driving the Participation of Small Scale Renewable Power Providers in the Power Brokerage Market

Dmitriy, Li¹⁾ · Jeong Hwan Bae^{2)*}

Received 14 April 2022 Revised 4 July 2022 Accepted 8 July 2022 Published online 21 July 2022

ABSTRACT Rapid spread of intermittent renewable energy has amplified the instability and uncertainty of power systems. The Korea Power Exchange (KPX) promoted efficient management by opening the power brokerage market in 2019. By combining small-scale intermittent renewable energy with a flexible facility through the power brokerage market, the KPX aims to develop a virtual power plant system that will allow the conversion of existing intermittent renewable energy into collective power plants. However, the participation rate of renewable power owners in the power brokerage market is relatively low because other markets such as the small solar power contract market or the Korea Electric Power Corporation power purchase agreement are more profitable. In this study, we used a choice experiment to determine the attributes affecting the participation rate in the power brokerage market for 113 renewable power owners and estimate the value of the power brokerage market. According to the estimation results, a low smart meter installation cost, low profit variations, long contract periods, and few clearances increased the probability of participation. Moreover, the average value of the power brokerage market was estimated to be 2.63 million KRW per power owner.

Key words Small-scale intermittent renewable energy(소규모 간헐성 재생에너지), Power brokerage market(전력중개시장), Choice experiment(선택실험법), Willingness to pay(WTP)(지불의사액)

Nomenclature

AMI : advanced metering infrastructure

ASC : alternative specific constant

CBP : cost based pool

CLM : conditional logit model

ESS : energy storage system

IIA : independence from irrelevant alternatives

KEPCO : Korea electric power corporation

KPX : Korean power exchange

O&M : operation & maintenance

P2P : power to power

PPA : power purchase agreement

REC : renewable energy certificate

RUM : random utility model

1) Ph. D. Lecturer, Department of Economics, Chonnam National University

2) Professor, Department of Economics, Chonnam National University

*Corresponding author: jhbae@jnu.ac.kr

Tel: +82-62-530-1542

Fax: +82-62-530-1559

SMP : system marginal price

VPP : virtual power plant

WTP: willingness to pay

1. 서론

우리나라 재생에너지 발전량은 지속적으로 증가하여 2020년 기준 총 전력생산량인 552 TWh의 5.6%를 차지하였다.^[1] 정부는 2030년까지 총발전량 대비 30%, 2040년까지 최대 35%로 재생에너지 발전비중을 확대할 계획이다.^[2] 특히, 태양광의 경우 2024년까지 28 GW, 2030년까지 33.5 GW로 총용량의 19%, 발전량은 42.3 TWh로 총발전량의 6.7%를 차지할 것으로 전망된다.^[3] 재생에너지 발전사업 유형은 크게 일반용, 자가용, 사업용으로 구분되는데 소규모 태양광 발전소가 대폭 증가하고 있다. 2018년 기준 소규모 태양광 발전소는 27,000개소로 이 가운데 1 MW 이하가 95%를 차지하고, 100 KW이하가 85%를 차지하고 있다.^[4] 2019년에는 태양광 설비용량이 10 GW로 확대되었다. 6만 3천기 이상의 태양광 발전소가 운영 중이고, 1 MW이하 발전소가 전체설비규모의 70%를 차지하며, 사업자 기준 95%를 차지하고 있다.^[5] 현행 RPS제도하의 REC 시장에서는 1 MW를 초과하는 사업용 발전사업자 중심으로 거래된다.

태양광 발전량이 지속적으로 증가함에 따라 비가시성 및 출력변동성이 증가하고 있어 효율적이고 체계적인 관리가 필요하다. 태양광 비중이 아직까지 계통의 불안정성과 효율성에 미치는 영향은 미미하지만 2015년 기준 최대 변동률 96%, 예측오차율 43%이며, 일출과 일몰 2~3시간 사이에 급격한 출력변동이 발생하고 있다. 간헐성 재생가능 전원 증가에 따라 전력수급 균형에 상당한 비용이 발생할 것으로 우려되는 상황이다. 즉, 전력수요에 대한 과다 예측 시 발전기 기동 비용이 증가하고, 과소 예측 시에는 발전기 대기 비용이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 기본적으로는 에너지저장시스템(ESS), 양수발전, 가스터빈, 잉여재생전력을 이용한 P2P(Power to power)과 같은 물리적 유연설비로부터 가상발전소(Virtual Power Plant: VPP), 중개거래시장에 기반한 집합발전, 수요자원(DR)과 같은 유연성 제고 시스템에 이르기까지 다양한 방안들이 연구되고

있다.^[6] 국제에너지기구(IEA)의 정의에 의하면, 발전시스템에서 유연성(flexibility)이란 변동성에 대응하여 전기 생산이나 소비를 조정할 수 있는 정도를 의미한다.^[7]

태양광, 풍력과 같은 간헐성 재생에너지 자원은 변동성 문제로 급전지시에 응동할 수 없지만, 이를 ESS 등 유연성 자원과 연계함으로써 보다 안정적인 발전원으로 이용 가능하게 되어 급전기의 역할을 한다. 중개거래시스템은 이러한 소규모 간헐성 자원과 유연성 자원을 모집하여 보다 효과적인 유연성 시스템을 구축하는 것을 목표로 하는 것이다.

소규모 신재생설비의 전력거래 방식으로 소형 태양광에 대한 장기고정형 우선 계약제도, 한전의 요금상계거래, PPA 방식이 있고, 2019년부터 소규모 분산원에 대한 유연성 확보를 위해 중개거래시장이 개설되었다. Fig. 1에서와 같이 중개사업자는 태양광, ESS, 전기차 등 소규모 분산원을 소유한 자원보유자를 모집하여 집합발전기 단위로 전력시장에서 한전에 전기를 판매하고, RPS 의무 이행사에 REC를 판매하고, 거래대금에서 수수료를 제외하고 자원보유자에게 정산해 준다.

2020년 9월 말 기준으로 전력중개시장에는 322개의 분산자원이 중개거래 신청을 하였는데, 가입된 분산원으로는 태양광이 228개(136 MW), ESS 103개(49 MW), 연료전지 1개(1 MW)이고, 총 186MW의 발전용량에 해당된다. 한편 9개의 중개사업자가 가입하여 259개(141 MW) 분산원 보유자와 계약체결을 완료하여 116,034 MWh의 전력과 26,486REC가 거래되었다.

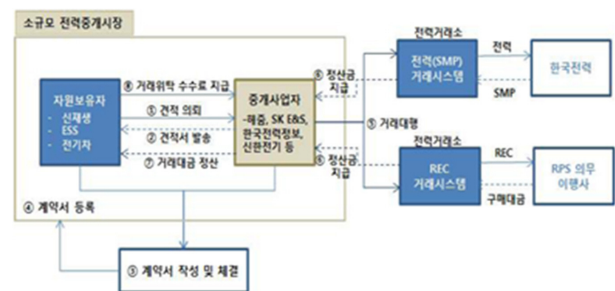


Fig. 1. Components and process of power brokerage market^[4]

그러나 대부분의 소규모 분산원은 전력중개시장보다는 한전 PPA를 선호하고 있다. 2019년 기준 1 MW이하 태양광 발전사업자의 경우 59,742기가 한전PPA에 가입하였

고, 중개시장에는 917기만 가입하였다. 이와 같이 한전 PPA가 압도적으로 더 선호되는 이유는 다음과 같이 볼 수 있다. 우선 중개시장에 참여하기 위해서는 계량기, 변성기, 모뎀 등의 인프라 비용 450~500만 원이 발생되지만 한전 PPA는 이러한 비용이 발생하지 않으며, 중개시장의 정산 횟수가 월 4회인 반면에 한전 PPA는 월 1회 더 간소하다. 이로 인해 2020년 10월에 전력시장 운영규칙 개정으로 정산횟수를 1회로 낮추고, 중개사업자가 정산금 지급 시 기준 오차율과 기준이용률을 충족할 경우 예측제고 정산금을 지급하기로 하였다.

이러한 차원에서 본 연구에서는 소형 신재생 발전 사업자 및 ESS 소유자가 중개거래시장에 참여하기 위해서는 어떤 요인들이 고려되어야 하는지를 중개거래시장에 기반한 유연성 시스템에 대한 선호도를 선택실험 설문조사를 통해 분석하고자 한다. 선택실험법은 가상시장에서 제시된 상품이나 서비스의 다양한 속성을 복수의 대안으로 설계하여 설문을 통해 속성별 선호도와 속성의 지불용의액을 추정할 수 있는 방법론으로 환경, 자원, 교통, 관광 등 다양한 분야의 비시장 가치를 추정할 수 있다. 설문조사에 앞서 전문가 자문에 기반하여 소규모 분산원의 중개거래시장 참여를 촉진하기 위한 인센티브에 영향을 미치는 속성으로 중개거래 시장 연계에 필요한 스마트 계량기 및 모뎀 설치비용, 계약 기간, 수익 변동률, 정산절차 간소화 등이 있다. 다만 설문 조사가 전력시장 운영규칙 개정 이전에 수행되었기 때문에 거래절차 간소화 및 예측제고 정산금과 같은 인센티브가 선택실험법에 반영되지 못하였다.

본 연구는 소형 신재생에너지 발전사업자들이 전력거래소에서 운영 중인 중개시장에 대한 참여를 촉진하는 속성들이 무엇인지를 선택실험법을 통해 분석하고, 속성별 가치와 중개시장 시스템에 대한 가치를 수요자인 신재생 발전 사업자 측면에서 도출하였고, 관측불가능한 응답자들의 이질성을 분석했다는 측면에서 관련 연구에 기여하였다고 할 수 있다.

제2장에서는 간헐성 재생에너지에 대한 유연설비 확보를 위한 경제학적 접근법을 적용한 선행연구를 살펴보고, 제3장은 본 연구의 방법론인 선택실험법과 추정 모형을 기술한다. 제4장은 선택실험 설문 결과에 대한 기초통계분석 및 속성별 추정결과, 속성별 지불의사액을 분석하였다. 끝

으로 5장에서는 분석결과를 요약하고 정책 당국에 대한 제언을 서술하였다.

2. 선행연구

간헐성 재생에너지 설비의 유연성 확보와 관련한 경제학적 연구는 국내외적으로 매우 제한적이다. 우선 Ahn and Kim(2019)^[5]은 소규모 태양광발전사업자를 대상으로 선택 실험법을 적용하여 전력판매 방법에 대한 선호도를 분석하고 중개사업자의 활성화를 위한 요인을 도출하였다. 선택 실험에서 사용된 속성변수로는 재생전력 판매단가, 계량기 비용, 거래 용이성, O&M 서비스, 수익안정성을 채택하고, 다중로짓모형으로 속성별 계수를 추정하였다. O&M 서비스, 거래간편성, 수익안정성, 전력판매단가의 추정계수는 모두 양의 값을 갖고, 계량기설치비의 추정계수는 음의 값을 갖는 것으로 추정되었다. 상수항이 음의 값을 갖는 것은 응답자들이 기존의 전력판매방법에 만족하지 못하고 있으며, 전력판매 방법을 개선할 필요가 있음을 의미한다. 한편, 현행 CBP 제도와 실시간 시장도입으로 시나리오를 구분하고, 다양한 수익확보방안과 결합하여 소규모 발전 사업자들의 전력 판매방법에 대한 시장 점유율을 분석하였다. REC 수익 확보 방안 및 실시간 시나리오별 전력판매방법 점유율 시뮬레이션 결과 현행 CBP 제도에서는 추가적인 경제적 유인 없이는 중개사업자 활성화가 어려울 것으로 전망되었다. 또한 예측정산금 지급이나 초기투자비 인하정책 시행 시 중개사업자의 활성화에 긍정적 영향을 보였다. 한편, 수익안정성을 보장하는 시나리오의 경우 중개시장의 시장점유율은 35%로 증가할 것으로 나타났다. 실시간 시장을 가정한 시나리오의 경우, 현행 제도인 CBP 제도보다 중개사업자의 점유율이 높게 나타났다. 또한 수익안정성이 전력판매방법 요인에 상당한 영향을 미치며, 보조서비스 수입 발생 시 장기고정계약과 비슷한 규모로 활성화될 것으로 분석되었다. 본 연구에서는 Ahn and Kim(2019)^[5]에서 사용된 속성을 보다 현실적인 속성인 계약기간과 정산횟수로 변경하였고, 응답자의 관측 불가능한 선호 이질성을 추가로 분석하였다는 점에서 차별적이다.

한편, Kubila, *et al.*(2018)^[8]는 스위스의 프로슈머

(prosumer) 902명을 대상으로 유연설비 접속 증가에 따른 에너지 설비 사용제한 간 상쇄효과에 대해 소비자 선호도를 선택실험법을 이용하여 분석하였다. 분석대상인 에너지설비로는 에너지저장장치(ESS)와 결합된 태양광, 전기차, 히트펌프가 포함되었다. 선택실험에 포함된 주요 속성은 전기요금, 에너지 믹스, 유연설비 이용률, 계약기간이다. 에너지 프로슈머의 선호도는 전력 사용 제한에 따른 불편도로 측정한다. ESS가 설치된 태양광 프로슈머는 유연설비에 접속하면 자가소비 비용이 감소하고, 유연설비를 제공하는 전력회사의 데이터 접속이 허용되는 두 가지 불편에 직면하며, 유연설비 접속률이 상승할수록 소비자의 자가 소비율은 감소하는 것으로 가정하였다. 전기차 사용자는 유연설비와 연결되지 않은 경우, 전기차 배터리의 충전 레벨을 완전히 제어 가능하지만, 유연설비와의 접속율이 높은 경우, 전기차 충전이 40%만 보장되어 있어 주행 범위가 충분하지 않을 경우 상당한 불편함을 느끼며, 배터리 수명 저하도 예상된다. 마지막으로 히트펌프 사용자의 경우 유연설비 접속이 증가될수록, 온수 공급의 제약이 증가한다. 유연설비에 대한 암묵적 불편비용(지불의사액)을 분석한 결과, ESS가 설치된 태양광 프로슈머의 암묵적 비용 범위는 월 4.4 CHF~15.24 CHF로 나타났고, 전기차 프로슈머의 암묵적 비용은 월 3.85 CHF~45.16 CHF, 히트펌프 프로슈머의 암묵적 비용은 월 95.9 CHF~369.9 CHF으로 매우 높게 나타났다.

Kubila *et al.* (2018)^[8]의 연구에서는 프로슈머가 유연설비에 접속함에 따른 불편성에 초점을 맞춘 반면에, 본 연구는 중개시장에 소규모 재생전력 사업자의 참여 유인을 분석하였다는 점에서 접근방법의 차이가 있다.

3. 선택실험법 및 추정모형

선택실험법은 비시장가치(non-market value)를 추정하기 위한 방법으로서 진술선호기법(stated preference method)에 속한다.^[9] 시장에서 거래되지 않는 가상의 상품에 대한 잠재적 소비자의 속성별 지불의사액을 추정하기 위해 서로 상이한 수준의 속성들을 갖는 동일한 가상 상품들을 제시하고 가장 선호하는 대안을 선택하도록 유도하는

방법이다.^[9]

소규모 재생에너지 발전사업자 및 ESS 사업자를 위한 중개거래시장의 속성은 정산횟수, 계량기 설치비, 수익변동률, 계약기간의 4가지로 구분하고, 응답자에게 각 속성이 갖는 특성을 다음과 같이 설명하였다.

“중개사업자는 귀하가 생산한 전기를 전력시장과 재생에너지인증서(REC) 시장에 판매하여 얻은 이익에서 일정한 수수료를 차감하고 귀하에게 이익을 돌려줍니다. 수수료를 차감한 이익을 수익이라고 하고, 수익 변동률이 클수록 수익의 안정성이 감소하고, 수익 변동률이 작을수록 수익이 안정적입니다. 귀하가 중개시장에 참여하기 위해서는 스마트 계량기와 데이터 전송장치를 설치해야 하고, 설치비와 유지비가 소요됩니다. 한편 전력판매수입에 대한 정산은 월1회 이상 필요합니다. 정산 횟수가 많아질수록 정산이 복잡하고 시간이 많이 걸리는 단점이 있습니다.”

각 속성별 수준을 결정하기 위해 실제 전력거래소의 전력중개시장을 운영하고 있는 담당자와 관련 전문가와의 심층 인터뷰를 진행하였다. 발전사업자는 전력중개시장에 재생가능전기를 공급하여 얻는 SMP 및 REC 수입을 월 1~4회 이내에서 정산할 수 있고, 변성기 및 계량기 설치비는 전력거래소의 기술개발 정도를 감안하여 130~320만 원 이내에서 설정하였다. 또한 고정가격 계약이 아니기 때문에 SMP와 REC 가격이 시장 상황에 따라 변동하므로 발전사업자의 수익률도 10~30% 이내에서 변동하는 것으로 가정하였고, 계약기간은 1~3년 사이에서 정하도록 하였다(Table 1 참조).

Table 1. Attributes and levels for choice sets

Attribute	Level	Unit
Frequency of clearance	1/2/3/4	Round/month
Installation & operation costs	130/180/260/320	KRW10,000
Profit variation	10/20/30	%
Contract period	1/2/3	year

설문지 개요는 다음과 같으며, 설문지는 도입부 및 4개 section으로 구성하였다. Section A는 발전소 유형, 설비용량, 내구연한, ESS 결합여부, 설치비, 설치지역 및 장소, 설치 동기에 대해 질문하였고, Section B는 중개거래시장

개념도 설명, 정산횟수, 계량기 설치비, 수익변동성, 계약 기간이 중개거래시장 활성화에 미치는 영향에 대해 얼마나 중요하다고 인식하는지 질문하였다. Section C는 SAS를 이용하여 D-Efficiency^[10] 설계에 기반하여 최적 선택실험집합 20개를 추출하여 5개 그룹으로 나누고, 각 그룹에 속한 응답자에게 4개의 선택집합 별로 두 대안 가운데 더 선호하는 대안을 선택하도록 질문하였다. Section D는 성별, 나이, 교육, 소득, 가족 수, 주거형태, 환경단체 가입 유무, 중개거래시장 인지도 등을 질문하였다. 각 응답자는 총 4개의 선택실험집합에 대해 유형 A, B, C 가운데 하나를 선택해야 하며, 5개 그룹으로 나누어 총 20개의 집합으로 구성하였다.

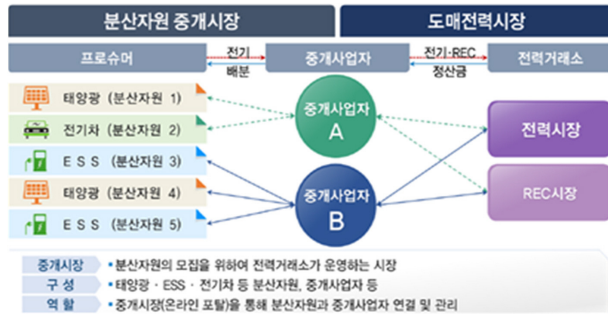


Fig. 2. Structure of power brokerage market^[11]

다음은 20개의 선택 집합 가운데 예시로 제시된 것이다. 응답자는 Fig. 2에서 제시된 중개거래시장의 기능을 참고하여, Fig. 3과 같이 중개거래시장 참여요인별 수준을 감안하여 두 가지 중개시장 유형 A, B 가운데 더 선호하는 대안을 선택하도록 요청받았고, A, B 대안 모두 선호하지 않는 경우 중개거래시장에 참여하지 않는 옵션인 C를 선택할 수 있도록 하였다.

중개시장 참여요인	유형 A	유형 B	중개시장 참여 여부가 없음 (C형)
정산 횟수 (월)	3회	3회	
스마트계량기 설치유지비	130만원	180만원	
수익 변동율	10%	30%	
계약기간	2년	2년	

Fig. 3. An example of choice sets

Table 2에서 요약한 바와 같이 설문 총조사 대상수는 273명으로 전력거래소에 등록된 사업자 수이고, 이 가운데

116명이 온라인 설문조사에 응답하여 응답을 완료한 비율은 42.5%이다. 나머지는 일부 문항을 누락하거나, 응답을 거부하였다.

Table 2. Profile of survey questionnaire

Type	Contents
Population group	· New and Renewable (NRE) power owners in Korea
Sample size	· 113 NRE power owners under 1 MW
Standard Error	· Maximum allowable error = $\pm 9.2\%$ under 95% of confidence interval
Survey method	· Online platform
Participation rate	· 273 NRE owners responded, and 116 of them completed the survey (42.5%)
Survey period	· Oct. 6th ~ 26th of 2020
Survey conductor	· Korea research institute

수집한 설문자료로부터 조건부로지트이나 혼합로지트, 잠재 계층모형 등과 같은 추정기법을 활용하여 속성별 지불의사액을 추정할 수 있다.^[12] 조건부가치추정법과 마찬가지로 가상시장 접근법이라고 할 수 있지만 한 상품의 총체적 가치가 속성별 가치로 분할 가능하다고 전제한다는 점에서 조건부가치추정법과 다르다.

통상 선택실험법설문에서 도출된 응답자의 선호도 자료는 종속변수가 이산형 데이터이기 때문에 비선형계량추정 모형인 조건부로지트모형(Conditional Logit Model: CLM)을 적용하여 분석한다.^[13] 조건부로지트모형은 선택 모형에서 사용되는 가장 기본적인 모형으로 이론적 배경은 확률효용 모형(RUM: Random Utility Model)이다. 그러나 조건부로지트모형(MLM)은 현실적으로 성립하기 어려운 속성간 IIA (Independence from Irrelevant Alternatives)를 전제로 하고 있다. 이를 제3의 무관한 대안으로부터의 독립성이라고 하며 쉽게 설명하자면 속성들 간의 선호가 다른 속성에 의해 영향을 받지 않아야 한다는 조건으로 현실적으로 이러한 조건이 충족되기는 어렵다. 이러한 한계를 극복한 혼합로지트모형(Mixed Logit Model or Random Parameter Logit Model)을 추가로 적용하여 조건부로지트모형 추정 결과와 비교하였다. 혼합로지트모형(Mixed logit model)은 Random Parameter Logit Model로도 알려져 있으며 선호이질성을 설명하는데 가장 많이 활용되는 모형이다.^[9]

소형 신재생에너지 발전 및 에너지저장장치 사업자를 대상으로 현행 중개거래시장에서 어떤 요인들이 포함되면 참여 유인이 증가하는지를 선택실험법을 이용하여 검증하고자 한다. 사업자들의 선호에 영향을 미치는 요인으로 중개거래시장 참여를 위해 필요한 계량기 및 모뎀의 설치 및 운영비 변동, 정산횟수 변동, 상이한 계약기간, 전력판매 수익률 변동 등을 고려하였다. 선택실험모형은 다음 식 (1)과 같이 간단하게 나타낼 수 있다.

$$\Pr(Y_n = A) = f(X_{i,n}; Z_n, \epsilon) \tag{1}$$

조건부로짓모형은 선택 모형에서 사용되는 가장 기본적인 모형으로 이론적 배경은 확률효용모형(RUM: Random Utility Model)이다.^[15] 확률효용이론에 따르면, 응답자가 대안을 선택함으로써 얻는 효용은 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$U_{ij} = V_{ij} + e_{ij} \tag{2}$$

여기서 V_{ij} 는 응답자 효용이 관측 가능한 부분, e_{ij} 는 관측 불가능한 확률적 부분이다. V_{ij} 는 대안 에 대한 관측 가능한 특성의 선형함수이고, e_{ij} 는 독립적이고 동일한 분포의 extreme value type I을 갖는 확률변수라고 가정한다. 응답자 i 가 대안집합 J 에서 k 보다 j 를 선택할 확률은 다음 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Prob}(U_{ij} > U_{ik}, \forall k) = \frac{\exp(\beta X_{ij})}{\sum_{i=1}^J \exp(\beta X_{ii})} \tag{3}$$

여기서, X_{ij} 는 속성변수의 벡터이고 β 는 추정된 선호 파라미터들의 벡터이다. 응답자의 개인별 특성은 선택대안에 따라 변하지 않기 때문에 효용함수에는 포함되지 않고 선택확률에도 단독적으로 영향을 미치지 않고 선택속성과의 상호작용에 의해 영향을 미칠 수 있다. 조건부 로짓모형에서는 속성별 추정계수가 응답자와 관계없이 고정되어 있다고 가정하지만, 혼합로짓 또는 확률계수로짓모형은 속성별 추정계수가 응답자별로 다르며, 평균과 분산을 갖

는 확률계수로 가정한다. 또한 속성 간 IIA 원칙이 완화되고, 추정 계수간 상관성을 허용하며, 관측 불가능한 응답자의 선호 이질성을 추정계수의 분산을 통해 파악할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 추정된 개별 속성 파라미터에 대한 Kernel density 함수를 이용하면 각 속성별 응답자의 선호 확률분포를 파악할 수 있다. 혼합로짓 또는 확률계수로짓모형(Random parameter logit model)의 기본 모형은 식 (4)와 같다.

$$U_{nis} = \beta'_{nis}x_{nis} + u_{nis} \tag{4}$$

이때 S는 응답자 n이 당면하는 선택집합으로 통상 각 응답자는 4~6개의 선택집합을 배당받는다. j는 응답자 n이 선택한 대안으로 통상 3개의 대안이 존재하며 3번째는 status-quo 즉 opt-out으로 현재 상태를 더 선호하는 경우이다.

조건부로짓모형과 혼합로짓의 차이점은 추정계수인 벡터가 응답자 n에 따라서 달라진다는 것이다. 따라서 혼합로짓에서 선택확률은 식 (5)와 같다.

$$P_{nis}^{MLM} = \int \frac{\prod_{s=1}^S \exp(\beta'_n x'_{nis})}{\prod_{j=1}^J \exp(\beta'_n x'_{nis})} g(\beta/\theta) d\beta \tag{5}$$

한편 혼합로짓모형에서 추정된 속성에 대한 지불의사액은 통상 WTP-SPACE 모형을 이용하여 추정해야 한다.^[14] 단 비용속성도 확률계수로 가정한 경우에 해당되며 비용속성이 고정계수인 경우에는 지불의사액추정식 식 (6)을 적용할 수 있다. 추정하고자 하는 속성 a가 있다면, a의 추정계수가 ($\hat{\beta}_a$)이고, 비용속성에 대한 추정계수가 ($\hat{\beta}_{cost}$)라면 지불의사액 추정은 추정계수간의 비율에 -1을 곱하여 얻을 수 있다.^[16]

$$WTP_a = -\frac{\hat{\beta}_a}{\hat{\beta}_{cost}} \tag{6}$$

본 논문에서는 선택실험설문 결과 분석을 위해 조건부로

깃모형을 기본으로 적용한다. 또한 혼합로짓모형을 추가로 적용하여 조건부로짓모형 추정결과와 비교하였다. 조건부 로짓모형과 혼합로짓모형에서 추정된 속성을 이용하여 속 성별 지불의사액을 도출하였다.

4. 실증분석결과

4.1 기초통계 분석결과

설문조사 대상은 전력거래소에 등록된 신재생에너지 설비를 소유한 사업자이며 설문을 완료한 응답자는 총 113명으로 성별, 연령, 설치지역, 설비용량, 학력, 월평균소득은 다음과 같다. 성별의 경우 남자가 78명으로 69%이며, 여자는 35명으로 31%이다. 연령은 40~49세가 30.1%로 가장 많으며, 50세 미만은 54.9%, 50세 이상은 45.1%를 차지하였다. 설치지역은 광주/전라가 35.4%로 가장 많으며 강원/제주 20.4% 대전/세종/충청 18.6% 순이다. 설비용량은 50~100 kW가 38.9%로 가장 많으며 500~1,000 kW 26.5%, 100~500 kW 22.1% 순으로 많다. 학별은 고졸 이하 23.9%, 대졸이상 76.1%이다. 월 평균 소득은 300~500만 원이 28.3%로 가장 많으며, 700만 원 이상 23.9%, 500~700만 원이 22.1%로 나타났다.

보유한 신재생 발전 설비 종류는 태양광이 95%로 대부분 태양광 발전 설비를 소유하며 그 외 에너지저장장치(ESS) 2%, 바이오에너지 2%, 히트펌프 1% 발전설비를 소유한 것으로 나타났다. 신재생 발전 설비 설치년도는 2010년 이전 5%, 2010~2015년 29%, 2016년 이후 66%이며, 2016년 이후가 과반을 차지한다. 신재생 발전 설비의 연간 발전량은 200 kWh 이하 42%, 300~599 kWh 14%, 600 kWh 이상이 44%이다. 신재생 발전 설비의 설치비는 2억 원 미만 28%, 2억~5억 원 미만 22%, 5억~10억 원 미만 13%, 10억 원 이상이 37%로 나타났다. ESS 설치년도는 2015년 3%, 2017년 9%, 2018년 47%, 2019년 35%, 2020년(10월 기준) 6%으로, 2018~2019년도 설치 비중이 82%로 대다수를 차지한다. 에너지저장장치 ESS 설비 용량은 499 kWh 이하 56%, 500~999 kWh 12%, 1,000 kWh 이상 32%를 차지하였다.

신재생 에너지 설비 투자 목적을 묻는 항목에 노후 자금

마련에 수긍한 응답비율이 78%이며, 기후 변화 문제 해결에 수긍한 응답 비율 53%, 투자 목적으로 설치하였다는 비율이 약 92%로 나타났다. 또한, 정산 횟수 감축이 전력중개거래시장 활성화에 긍정적인 영향을 미친다고 답한 비율이 76%, 설치 및 유지비용 감소 노력이 중개거래시장 활성화에 긍정적인 영향을 미친다는 답변이 84%, 수익 변동률 안정화가 전력중개거래시장 참여 활성화에 긍정적인 영향을 미친다는 답변이 89%, 계약기간 연장이 전력중개거래시장 참여 활성화에 긍정적인 영향을 미친다고 응답한 비율이 90%로 나타났다.

4.2 선택실험모형 추정결과

모형을 이용한 추정 대상은 각 속성별 파라미터이고, ASC(Alternative Specific Constant: 특정대안상수), 스마트 계량기 설치비, 정산횟수, 수익변동률, 계약기간이다. ACS는 각 응답자에게 주어진 선택 집합별로 세 개의 대안(A,B,C) 가운데 1개를 선택하도록 요구하며, A 또는 B대안이 중개거래시장 선택 대안이고, C대안은 중개거래시장 참여의향이 없음을 나타낸다. 따라서 응답자가 A 또는 B대안을 선택하면 1의 값을 부여하고, C대안을 선택하면 0의 값을 부여하여 더미변수로 생성한 것이 ASC라고 할 수 있다. 즉 ASC를 추정하여 파라미터가 양의 값으로 나왔다면 이는 중개거래시장을 제공하는 것이 그렇지 않은 상황보다 더 선호된다는 의미이다.

우선 조건부 로짓모형을 이용하여 ASC 및 속성별 파라미터를 추정한 결과(Table 3 참조), 중개거래시장 참여 선호도를 나타내는 ASC에 대한 추정부호가 양의 값이지만 통계적으로 유의하지 않게 나타났다. 즉 중개거래시장 대안 A 또는 B에 대한 참여의향이 참여하지 않겠다는 대안C보다 더 높기는 하지만 통계적으로 유의하지 않기 때문에 추정값을 신뢰할 수 없다. 계량기 설치비에 대해서는 추정부호가 음이고, 상대적 선호도가 -0.0035로 나타나며, 5% 이내에서 통계적으로 유의하다. 즉, 소규모 신재생발전 사업자들은 중개거래시장에 참여하기 위해 계량기 설치비가 증가(감소)할수록 참여의향이 감소(증가)한다. 정산횟수에 대한 추정부호는 음의 부호이고 5% 이내에서 통계적으로 유의하게 나타났다. 즉 정산횟수가 증가(감소)할수록 사업자들은 정산절차의 불편함으로 인해 중개거래시장에 참여

할 의향이 감소(증가)한다. 수익변동률에 대한 추정부호는 음이고, 1% 이내에서 통계적으로 유의하게 나타났다. 수익 변동률이 증가(감소)할수록 사업자들은 수익이 안정적이지 못하다고 인식하며 따라서 중개거래시장 참여 의향도 감소(증가)한다고 볼 수 있다. 계약기간의 추정 부호는 양이고, 유의수준이 1% 이내에서 통계적으로 유의하다. 계약기간이 증가(감소)할수록 사업자들은 중개거래시장에 참여할 의향도 증가(감소)한다.

Table 3. Estimation results of conditional logit model

Attribute	Coefficient	Standard Error
ASC	0.3853	0.4352
Installation & operation costs	-0.0035**	0.0014
Frequency of clearance	-0.1598**	0.0648
Profit variation	-0.0198***	0.0051
Contract period	0.3823***	0.0965

LL = -454,9543, No. of Obs. = 1,356, Pseudo R² = 0.0838

Note: *statistically significant at 10%, **statistically significant at 5%, ***statistically significant at 1%

조건부로지트모형 추정에서 ASC에 대한 추정치가 유의하지 않았기 때문에, 혼합로지트모형을 이용하여 ASC 및 속성별 파라미터를 추정하였다(Table 4 참조). 혼합로지트모형은 각 속성별 파라미터가 확률분포를 갖는다고 가정하며, 본 연구에서는 설치유지비를 제외한 속성들과 ASC가 정규분포를 따른다고 가정하였다.¹⁾ 이를 통해 추정계수가 확률계수(random parameter)인지를 분석함으로써 보이지 않는 이질성(unobservable heterogeneity)의 존재 여부를 알 수 있다. 즉 평균값을 기준으로 한 추정과 표준편차 값을 기준으로 한 추정을 통해 표준편차에 대한 추정이 유의하면 해당 파라미터는 확률계수라고 할 수 있고, 관측 불가능한 이질성이 존재한다고 간주할 수 있다. 보이지 않는 이질성이란 응답자의 나이, 성별, 소득, 교육 등 사회경제적 변수와 같이 설문을 통해 관측 가능한 이질성이 아닌 취향(taste)이나 가치관, 주관적 특성 등으로 인해서 발생하는 관측 불가능한 응답자들 간의 선호 차이를 의미한다.

1) 설치유지비 속성을 확률계수로 간주하지 않은 것은, 설치유지비 파라미터에 대해 다양한 분포(정규분포, 로그정규분포)를 가정하여 혼합로지트로 추정해 보았으나, 표준편차값이 통계적으로 유의하지 않았기 때문이다.

한편, 혼합로지트 추정모형의 적합도(pseudo-R²)가 0.2192로 계산되어 모형이 적합한 것으로 판단되며,²⁾ 통상 비선형모형의 경우 적합도는 0.1~0.2 정도이면 적절한 것으로 알려져 있다. 또한 조건부로지트모형의 적합도인 0.083과 비교하여 월등히 적합도가 개선되었음을 알 수 있다.

우선, 평균값 기준 속성별 추정결과를 살펴보면, 중개거래시장 참여 여부에 대한 의향을 나타내는 ASC의 경우 1% 이내에서 통계적으로 유의하면서 양의 값을 나타내고 있어 발전 사업자들이 중개거래시장 참여에 대해 긍정적임을 알 수 있다. 조건부로지트 추정결과와 달리 중개거래시장 참여에 대한 추정계수가 유의하게 나타났다. 또한 계량기 설치유지비 속성의 경우 양의 값이면서 1% 이내에서 통계적으로 유의하며, 로그우도값 계산의 효율성을 높이기 위해 -1을 곱하여 양의 값을 변환하여 추정했기 때문에 설치유지비가 증가(감소)할수록 선호도는 감소(증가)한다고 해석해야 한다. 정산횟수가 낮을수록, 계약기간이 길수록, 수익변동률이 낮을수록 중개거래시장에 참여할 확률이 유의하게 증가하는 것으로 나타난다. 다음으로 표준편차 기준으로 속성별 계수를 추정한 결과 정산횟수를 제외하고는 모

Table 4. Estimation results of the mixed logit model

Mean value	Attribute	Coefficient	Standard Error
	Installation costs	1.3419***	0.2947
	ASC	3.5316***	1.1047
	Frequency of clearance	-0.2772***	0.1018
	Profit variation	-0.0359***	0.0102
	Contract period	0.4321***	0.1551
Standard Deviation value	Attribute	Coefficient	Standard Error
	ASC	9.4829***	2.0655
	Frequency of clearance	-0.0039	0.2792
	Profit variation	0.0396***	0.0144
Contract period	0.4998*	0.2791	

LL = -299,3193, No. of Obs. = 1,356, Pseudo R² = 0.2192

Note: *statistically significant at 10%, **statistically significant at 5%, ***statistically significant at 1%

2) 혼합로지트 모형의 적합도는 준절정계수(pseudo-R²)에 의해 계산되며, 여기서는 McFadden의 공식을 사용함(pseudo-R² = 1 - (LnLf/LnL0) = 1 - (299,31926/383,35055)=0.2192).

든 속성들이 관측 불가능한 이질성이 존재하는 것으로 나타났다. 다만, 계량기 설치비용은 확률계수로 감안하지 않고 고정 계수로 간주하였기 때문에 제외하였다.

혼합로짓모형 추정결과를 식 (6)에 적용하여 속성별 지불의사액을 추정하면 다음과 같다.³⁾ 우선 중개거래시스템에 대한 발전사업자들의 일인당 지불의사액은 263만 원으로 나타났고, 속성별 지불의사액을 살펴보면 정산횟수가 1회 감소됨에 따른 추가 지불의사액은 21만 원, 수익변동률이 10% 감소함에 따른 추가 지불의사액은 3만 원, 계약기간이 1년 증가함에 따른 추가 지불의사액은 32만 원으로 나타났다(Fig. 4 참조). 설문에 응답한 발전사업자들의 전체 평균 기준 설치용량은 215 KW로 추산되고 이를 이용하여 단위당 가치로 환산하면 KW당 1.22만 원의 중개거래시스템 접속 가치가 있다고 볼 수 있다. 속성들 간에 단위가 모두 다르기 때문에 어떤 속성이 얼마나 더 가치가 있는지를 정확하게 비교하기는 어렵지만, 계약기간이 길수록, 정산횟수를 줄일수록, 수익이 안정적일수록 중개거래시장 참여율이 증가함을 보여준다. 특히, 소규모 발전사업자들은 중개거래시장에 참여하지 않는 것보다는 참여할 의향이 더 높으며 그 가치는 한 사업자당 기준으로 263만원, 설비용량 기준으로는 KW당 약 1만 원 정도인 것으로 도출되었다. 또한, 중개거래시장에 대한 발전사업자의 참여를 활성화하기 위한 적정 인센티브는 계량기 및 변성기 설치비가 130만 원 수준으로 감소하고, 정산횟수는 월1회로 줄어들며, 계약기간은 3년으로 늘어나고, 전력 및 REC 판매 수입에 따른 수

익변동률은 10% 이내가 될 때인 것으로 나타났다. 다만, 중개거래시장에 대한 발전사업자들의 지불의사액이 KW당 1만 원 정도이므로 이를 중개거래시장에 대한 수요 측 편익으로 본다면 적정 인센티브 수준도 KW당 1만 원 수준에서 고려되어야한다.

5. 결론 및 정책 제언

5.1 결론

정부의 재생에너지 보급 확대 정책 추진으로 태양광 설비용량이 2019년 기준 10 GW를 넘었으며 6만 3천기 이상의 태양광 발전소가 가동되고 있다. 특히 1 MW급 이하 소형 태양광 발전설비가 전체의 70%를 차지하고 있고, 사업자 기준으로는 95%를 상회하고 있어 이에 대한 효율적인 관리가 시급한 상황이다. 이와 더불어 다양한 신재생에너지 보급 확대 수단으로 정부는 소형태양광 계약시장과 한전 PPA, 전력요금상계제도, 에너지프로슈머제도 등을 시행 중이다. 그러나 1 MW 이하 소형 태양광의 급속한 확산은 전력계통의 불안정성과 불확실성을 증폭시키고 있고, 이에 대해 전력거래소는 중개거래시장을 2019년부터 개설하여 효율적인 관리를 도모하고 있다. 전력거래소는 중개거래시장을 통해 소규모 간헐성 재생에너지를 유연설비인 ESS와 결합함으로써 궁극적으로는 가상발전소 시스템(VPP)을 지향하고 있다. 즉 VPP를 통해 기존의 간헐성 재생자원을 급전이 가능한 집합발전소의 기능을 하도록 전환하자는 것이다. 다만 현재로서는 중개거래시장이 다른 제도(소형태양광 계약시장, PPA 등)에 비해 참여할 인센티브가 낮기 때문에 발전사업자들의 참여율이 저조하다.

이에 본 연구는 1 MW 이하 소형 신재생에너지 자원을 소유하고, 전력거래소에 등록된 113개 발전사업자를 대상으로 중개거래시장 참여 활성화에 필요한 속성이 무엇인지를 선택실험법을 이용하여 도출하고, 속성별 가치와 중개거래시장의 가치를 추정하고자 하였다.

온라인 기반 설문조사 결과, 중개거래시장 활성화를 위해서는 계약기간이 길수록 도움이 된다는 응답이 90%, 수익이 안정적일수록 도움이 된다는 응답은 89%, 계량기 설치비의 절감노력에 대해서는 84%, 정산횟수 감축에 대해

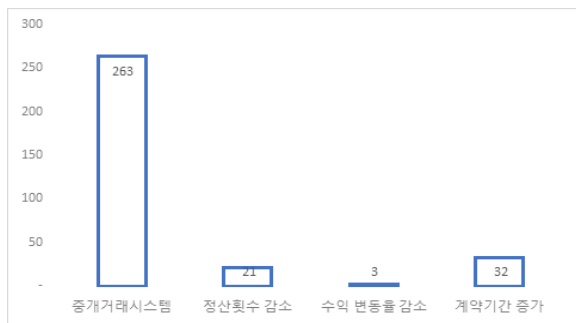


Fig. 4. Estimation results of WTPs (Unit: 10,000 KRW)

3) 혼합로짓모형으로 추정된 속성 계수의 지불의사액을 추정할 때에는 WTP-SPACE 모형을 사용해야 하지만, 비용속성이 고정계수인 경우에는 조건부로짓모형의 속성계수별 지불의사액추정에 사용되는 식 (6)을 사용해도 무방하다.

서는 76%로 나타났다. 한편 설문에 참여한 발전사업자들에게 중개거래시장에 대한 선호도를 질문한 결과를 혼합로짓모형을 이용하여 속성별로 추정된 결과, 중개거래시장에 대한 참여의향이 유의하게 존재하는 것으로 나타났다. 또한 계량기 설치비가 낮을수록, 수익변동률이 적을수록, 계약기간이 길수록, 정산횟수가 적을수록 참여 확률이 증가하는 것으로 나타났다.

또한 속성별 지불의사액을 추정해 보면 우선 정산횟수가 1회 감소하면 이에 대해 21만원의 지불의사액이 있는 것으로 나타났다. 그리고 수익변동률이 10% 감소하면 3만 원의 지불의사액이 존재하며, 계약기간이 1년 증가하면 32만 원의 지불의사액이 있는 것으로 나타났다. 한편, 전력거래 수단으로써 중개거래시장이라는 서비스 자체에 대해 발전사업자가 평가하는 가치는 263만 원이고 이를 설문대상 발전사업자가 소유한 발전기의 평균설비용량인 215 KW를 적용하면 KW당 1.22만 원으로 추정되었다.

5.2 정책제언

중개거래시장에서 중개사업자에 대한 예측제고 정산금 지급제도가 2020년 9월부터 시행중이고, 이를 통해 중개사업자 참여를 유도할 것으로 기대된다. 하지만 중개사업자가 모집하는 소규모 발전사업자가 보다 적극적으로 참여하기 위해서는 본 연구에서 분석한 바와 같이 계량기 설치 및 유지비의 하락, 정산횟수 감소, 계약기간 보장, 안정적 수익률 등을 감안하여 중개거래시장이 개선되어야 한다.

중개거래시장에 대한 발전사업자의 참여를 활성화되기 위해서는 다음과 같은 제도개선이 필요하다. 우선 계량기 및 변성기 설치비는 130만 원 수준으로 감소되어야 하고, SMP 정산횟수는 월 1회로 줄어들며, 계약기간은 3년으로 늘어나고, 전력 및 REC 판매 수입에 따른 수익변동률은 10%이내가 될 때인 것으로 나타났다.

다행히 2020년 10월 시장정산규칙 개정으로 월1회 정산이 가능해졌지만 다른 속성들은 향후 지속적으로 개선할 필요가 있다. 다만 중개거래시장에 대한 발전사업자들의 지불의사액이 KW당 1만 원 정도로 추정되었기 때문에, 이를 중개거래시장에 대한 수요 측(발전사업자) 편익으로 본다면 적정 인센티브 수준도 KW당 1만 원 수준에서 고려되어야 할 것이다.

소형태양광 고정가격 계약제나 한전 PPA의 경우 계량기 설치비도 저렴하고, 소형태양광 사업자에게 장기간에 걸쳐 안정적 수익을 제공하고 있고, 거래 절차도 간편해서 전력거래소의 중개거래시장보다 선호되고 있다. 장기적으로 효율적인 전력계통 시스템으로 발전하기 위해서는 소형태양광 계약시장과 한전 PPA, 중개거래시장을 통합할 필요가 있다.

한편, 전력거래소는 중개거래사업자와 발전 사업자 참여를 제고하기 위해 예측제고정산금 제도를 실시하고 있고, 10% 이상의 이용률과 예측 오차율이 기존 오차율인 8% 이하인 경우 kWh당 3원을 지급하고 있다. 다만 기준 이용률과 오차율을 충족하지 못한 경우에는 정산금을 지급하지 않고 있다. 그러나 이러한 예측제고정산금에 대해서는 중개거래사업자의 진입을 충분히 유도할 만한 인센티브 수준에는 미달하는 것으로 평가되고 있기 때문에 본 연구에서 도출한 중개시장 시스템의 가치를 고려하고, 별도의 비용 추정을 통해 적정수준의 인센티브를 설정할 수 있도록 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

마지막으로 현행 소형 태양광(100 KW 미만) 보급을 활성화하기 위해 REC 가중치가 2021년 개정치 기준 1.2로 되어 있는데, 가중치를 1.0 이하로 하향 조정함으로써 계통 비효율을 야기하는 비용을 감안할 필요가 있다.

감사의 글

이 논문은 전남대학교 연구년 교수 연구비(과제번호:2020-3898) 지원에 의하여 수행되었습니다. 본 논문의 정책적 시사점에 도움을 준 한전경영연구원 정해영 박사에게 감사드립니다.

References

- [1] EPSIS (Electric Power Statistics Information System), 2022, "Annual statistics of power generation by power sources", Accessed 15th May 2022, <http://epsis.kpx.or.kr/epsisnew/selectEkgeGepTotChart.do?menuId=060101>.
- [2] Korean Government, 2020, "2050 Carbon neutral strategy

- in South Korea”.
- [3] MOTIE (Ministry of Trade, Industry and Energy), 2020, “9th Basic plan for electricity supply and demand (2020~2034)” Public Announcement [2020-741].
- [4] KPX(Korea Power Exchange), 2020, “A Study on the Optimal Incentive Design for Flexibility of Small-Scale Distributed Resources”, Internal Basic Study.
- [5] Ahn, J.G., and Kim, N.I., 2019, “A study on the revitalization of supply-type VPP: Using the small-scale power brokerage market”, Primary Report of Korea Energy Economics Institute, [http://www.keei.re.kr/web_keei/d_results.nsf/0/1495A86A688EAA9D4925853E00187DD1/\\$file/%EA%B8%B0%EB%B3%B8%202019-15_%EA%B3%B5%EA%B8%89%ED%98%95%20%EA%B0%80%EC%83%81%EB%B0%9C%EC%A0%84%EC%86%8C\(VPP\)%20%ED%99%9C%EC%84%B1%ED%99%94%20%EB%B0%A9%EC%95%88%20%EC%97%B0%EA%B5%AC_%EC%86%8C%EA%B7%9C%EB%AA%A8%EC%A0%84%EB%A0%A5%EC%A4%91%EA%B0%9C%EC%8B%9C%EC%9E%A5%20%ED%99%9C%EC%9A%A9%EC%9D%84%20%EC%A4%91%EC%8B%AC%EC%9C%BC%EB%A1%9C.pdf](http://www.keei.re.kr/web_keei/d_results.nsf/0/1495A86A688EAA9D4925853E00187DD1/$file/%EA%B8%B0%EB%B3%B8%202019-15_%EA%B3%B5%EA%B8%89%ED%98%95%20%EA%B0%80%EC%83%81%EB%B0%9C%EC%A0%84%EC%86%8C(VPP)%20%ED%99%9C%EC%84%B1%ED%99%94%20%EB%B0%A9%EC%95%88%20%EC%97%B0%EA%B5%AC_%EC%86%8C%EA%B7%9C%EB%AA%A8%EC%A0%84%EB%A0%A5%EC%A4%91%EA%B0%9C%EC%8B%9C%EC%9E%A5%20%ED%99%9C%EC%9A%A9%EC%9D%84%20%EC%A4%91%EC%8B%AC%EC%9C%BC%EB%A1%9C.pdf).
- [6] Seong, J.Y., and Kim, S.J., 2019, “Future development of small scale power brokerage market”, WooRi Finance Research Institute, https://signal.sedaily.com/Common/FileDownload?fileName=%EC%86%8C%EA%B7%9C%EB%AA%A8_%EC%A0%84%EB%A0%A5%EC%A4%91%EA%B0%9C%EC%8B%9C%EC%9E%A5%EC%9D%98_%ED%96%A5%ED%9B%84_%EB%B0%9C%EC%A0%84%EB%B0%A9%ED%96%A5.pdf&fullPath=/Service/Branch/Signal/Report/2019/04/08/%EC%86%8C%EA%B7%9C%EB%AA%A8_%EC%A0%84%EB%A0%A5%EC%A4%91%EA%B0%9C%EC%8B%9C%EC%9E%A5%EC%9D%98_%ED%96%A5%ED%9B%84_%EB%B0%9C%EC%A0%84%EB%B0%A9%ED%96%A5.pdf.
- [7] Energypedia, “Flexibility (Power system)”, Accessed 15 March 2022, [https://energypedia.info/wiki/Flexibility_\(Power_System\)](https://energypedia.info/wiki/Flexibility_(Power_System)).
- [8] Kublia, M., Looock, M., and Wüstenhagen, R., 2018, “The flexible prosumer: Measuring the willingness to co-create distributed flexibility”, *Energy Policy*, **114**, 540-548.
- [9] Bae, J.H., 2018, “An analysis of consumer preference on the introduction of green electricity purchasing system in distributed areas”, *Korea Energy Economic Review*, **17**(1), 287-316.
- [10] Hensher, D.A., Rose, J.M., and Greene, W.H., 2015, “Applied choice analysis 2nd ed.”, Cambridge University Press, Cambridge.
- [11] Kim, Y.H., 2018, “Citizens’ participation in the promotion of small scale distributed resources”, Association Policy Forum for the Creation of Green Electricity Market for Citizen Participation, https://www.enet.or.kr/?module=file&act=procFileDownload&file_srl=59003&sid=ecf0235cb3b741037ac9dddfb2bc4d3c&module_srl=148.
- [12] Bae, J.H., and Rishi, M., 2018, “Increasing consumer participation rates for green pricing programs: A choice experiment for South Korea”, *Energy Economics*, **74**, 490-502.
- [13] Min, I.S., and Choi, P.S., 2012, “Advanced panel data analysis for STATA”, Jipilsa, Paju.
- [14] Hensher, D.A., Rose, J.M., and Greene, W.H., 2005, “Applied choice analysis: A primer”, Cambridge University Press, Cambridge.
- [15] Train, K.E., 2009, “Discrete choice methods with simulation”, Cambridge University Press, Cambridge.
- [16] Holmes, T.P., and Adamowicz, W.L., 2003, “Attribute-Based methods”, In: *A Primer on Nonmarket Valuation*. Champ, Patricia A.; Boyle, K. J. Brown, Thomas C. (eds), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 171-219.