

선택실험법을 이용한 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 비시장적 편익 추정*

The Non-Market Benefits of Expanding Organic Waste-to-Energy Facilities: A Choice Experiment Study

김효진** · 임슬예*** · 유승훈****

Hyo-Jin Kim · Seul-Ye Lim · Seung-Hoon Yoo

요약: 정부는 온실가스 감축을 위해 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대를 계획하고 있다. 유기성 폐기물 에너지화란 유기성 폐기물을 전용 보일러나 발전소에서 전기나 열을 생산하는 데 연료로 사용할 수 있도록 고형연료 또는 바이오가스로 제조하여 에너지로 전환하는 것이다. 본 논문은 선택실험법(choice experiment)을 적용하여 국내에서 배출되는 유기성 폐기물의 에너지화 비중을 현재의 26%에서 2020년까지 100%로 확대하는 정책 시행으로 발생하는 비시장적 편익을 추정하고자 한다. 이를 위해 전국 1,000가구를 대상으로 일대일 면접 조사를 시행하여 자료를 수집하였으며, 중첩로짓모형(nested logit model)을 적용하여 자료를 분석하였다. 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 속성별 가치(가구당 연간 한계지불의사액)를 추정한 결과, 에너지 자급률이 1% 상승할 때 237원, 매립지의 수명 두 배 연장될 때 148원, 1개의 일자리가 창출될 때 15원으로 나타났다. 이러한 결과는 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대 사업을 평가하고 계획하는 데 있어서 유용한 정책 자료로 활용될 수 있다.

핵심주제어: 유기성 폐기물 에너지화, 선택실험법, 지불의사액, 중첩로짓모형

Abstract: Plans for the expansion of organic waste-to-energy (OWtE) facilities are being widely adopted across Korea as part of efforts to mitigate green house gas emissions. OWtE is the process of generating energy in the form of electricity and/or heat from organic waste. This study tries to estimate the non-market benefits of enhancing the ratio of OWtE from 26% to 100% by 2020 using a choice experiment (CE). A CE survey of 1,000 households was undertaken, investigating the trade-offs between price and the three attributes for selecting a preferred alternative to obtain a marginal willingness to pay (MWTP) estimate for each attribute. The study employs a nested logit model and the results reveal that the MWTP for a 1% increase in energy security, the doubling of landfill life expectancy, and the creation of new jobs resulting from

* 이 논문은 2016년도 SL공사의 환경에너지대학원 인재양성 프로그램에서 지원받아 수행된 연구입니다.

** 주저자, 서울과학기술대학교 에너지정책학과 석사과정

*** 공동저자, 서울과학기술대학교 에너지정책학과 박사과정

**** 교신저자, 서울과학기술대학교 에너지환경대학원장 에너지정책학과 교수

expanding OWtE facilities are estimated to be KRW 237, 148, and 15 per household per year, respectively. This information will be useful in the evaluation and planning of OWtE projects.

Key Words: Organic Waste-to-Energy, Choice Experiment, Willingness to Pay, Nested Logit Model

I. 서론

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC, intergovernmental panel on climate change)의 5차 보고서(2014)에 따르면 지난 133년 동안(1880-2012년) 지구의 평균 기온은 0.85℃ 상승하였고, 이로 인해 세계는 가뭄, 질병확산, 생물다양성 감소, 경제적 손실을 겪고 있다. 기후변화에 대응하기 위해 국제사회는 기후변화협약(UNFCCC, united nations framework convention on climate change)을 맺고 전지구적으로 온실가스를 감축하기 위한 노력을 하고 있다. 2015년 12월에 채택된 파리 기후변화협정은 선진국만 온실가스 감축 의무가 있었던 1997년 교토의 정서와 달리 195개 당사국 모두에게 구속력 있는 보편적인 첫 합의이다. 또한 국가별 자발적 감축목표(INDC, intended nationally determined contributions)를 채택하였고, 장기적인 목표로 산업화 이전 대비 지구 평균기온 상승을 2℃보다 상당히 낮은 수준으로 유지하면서, 1.5℃ 이하로 제한하기로 합의하였다.

파리 기후변화협정협약 이후 신기후체제로 들어서면서 온실가스 감축은 피할 수 없는 의무사항이 되었다. 이러한 추세에 따라 우리나라는 국가 온실가스 배출량을 2030년 배출전망치(BAU, business as usual) 대비 37% 감축하는 목표를 국제사회에 천명하였다. 2030년까지 감축목표를 달성하기 위한 일환으로 온실가스를 적게 배출하는 신재생에너지원을 이용한 발전을 확대하고자 한다.

신재생에너지인 유기성 폐기물 에너지는 유기성 폐기물을 고형연료 및 바이오가스 등의 연료로 생산한 것이며, 전용보일러, 열병합발전소 등에서 전기나 열을 생산하는 데 사용된다. 유기성 폐기물을 고형연료 및 바이오가스와 같은 발전연료로 제조하여 에너지로 전환하는 것은 유기성 폐기물 에너지화라 한다. 화석연료 대신 유기성 폐기물 에너지 연료의 비중을 늘리게 될 경우, 보일러나 발전시설에서 화석연료 연소시 발생하는 온실가스가 줄어들게 된다.

현재 유기성 폐기물은 육상에서 매립 및 소각으로 처리되고 있다. 최근 런던협약

이 발효됨에 따라 유기성 폐기물의 해양 투기가 금지되면서, 유기성 폐기물을 매립하는 비율이 증가하게 되었다. 유기성 폐기물을 매립하면 이산화탄소보다 21배 더 강력한 온실가스인 메탄이 생성된다. 따라서 정부는 버려지는 유기성 폐기물의 처리방안으로 유기성 폐기물 에너지화 정책을 추진하고 있다.

유기성 폐기물 에너지화 시설에는 음식물폐수 바이오가스화시설, 가축분뇨 에너지화시설, 하수슬러지 고품연료화시설, 유기성 폐기물 병합처리시설 등이 있다. 정부는 2020년도까지 유기성 폐기물 에너지화 시설을 32개소로 확충하기 위해 재원을 투입할 계획이다(환경부, 2008). 현재 국내에는 운영되고 있는 21개소의 유기성 폐기물 에너지화 시설은 국내에서 배출되는 유기성 폐기물의 26%까지 에너지화 가능한 규모이다. 유기성 폐기물 에너지화 시설을 32개소로 늘린다면, 국내에서 배출되는 유기성 폐기물량을 100%까지 에너지화가 가능해진다.

그러나 이러한 정책 추진에는 막대한 예산이 소요되므로 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 편익을 정량적으로 평가하는 것은 매우 중요한 일이다. 현재 경제학적 방법론을 적용하여 폐기물 에너지화 관련 편익을 측정하는 연구(임슬예 등, 2013; Lim et al., 2014; Zhao et al., 2016)는 다수 존재한다. 그러나 현재 국내외적으로 유기성 폐기물 에너지화와 관련하여 경제학적 방법론을 적용하여 그 편익을 추정한 연구는 찾아보기가 어렵다. 유기성 폐기물 에너지화에 대한 국내외 연구(한선기, 2011; 박홍석 등, 2011; Li et al., 2011; Curry and Pillay, 2012)를 살펴보면, 대부분 기술부문에 초점이 맞춰져 있고 경제학적인 방법론을 적용하여 그 가치를 평가한 연구는 드물다. 최근 조용철 등(2015)이 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대가 국민경제에 미치는 경제적 파급효과를 분석하였으나 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 비시장적 편익을 추정하지는 않았다. 민서현 등(2016)은 조건부 가치 측정법으로 단일속성으로 이루어진 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 비시장적 편익을 추정하였다.

편익은 크게 시장적 편익과 비시장적 편익으로 구분할 수 있다. 평가 대상 재화가 시장재(market goods)라 시장에서 거래되면서 시장가격이 존재하면 시장가격 정보를 활용하여 편익을 산정하는 것이 바람직하다. 하지만, 시장에서 거래가 이루어지지 않고 가격도 매길 수 없는 비시장재(non-market goods)의 경우에는 특별히 고안된 경제학적 기법을 적용하여 편익을 평가하는 것이 필요하다. 유기성 폐기물 에너지화 시설은 바이오가스판매편익, 고품연료판매편익, 전력판매편익, 열에너지

판매편익 등의 시장적 편익을 발생시킨다. 유기성 폐기물로 만들어진 고품연료 및 바이오가스는 시장에서 거래되고, 이때 거래로 인한 수익이 발생한다.

유기성 폐기물 에너지화 시설 확대 시 이와 같은 시장적 편익뿐만 아니라 세 가지 비시장적 편익 또한 발생한다. 첫째, 본 시설을 통해 국내에서 생산된 연료가 수입을 대체함으로써, 에너지 자원의 수입의존도가 96%에 달하는 우리나라의 에너지 자급률이 상승한다. 둘째, 매립할 폐기물의 양이 줄어들어 매립하지 않아도 되므로, 매립지의 수명이 연장된다. 셋째, 유기성 폐기물 에너지화 기술개발, 시설운영과 관련된 신규 일자리가 창출된다.

본 연구에서는 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 세 가지 속성을 구분하여 각 속성이 한 단위 증가하는 것에 대한 국민들의 지불의사액(WTP, willingness to pay)을 추정하였다. 예를 들어 일자리 창출 속성을 살펴보면, 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대로 한 개의 일자리가 창출될 경우에 국민들이 그 한 개의 일자리가 창출 되는 것에 대해 얼마나 지불할 의사가 있는지를 구하는 것이 본 연구에서 구하려는 비시장적 편익이다. 이는 시장에서 거래되는 재화의 가격인 평균임금으로는 계산할 수 없다. 비시장적 편익은 국민들이 재화에 대해 느끼는 주관적 가치이기 때문이다.

따라서 비시장적 편익의 경우 시장적 편익에 비해 측정하기가 쉽지 않다. 왜냐하면 해당 재화가 시장에서 거래되고 있지 않으며 또한 거래되기도 어렵기 때문이다. 만약 국민들이 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 세 가지 비시장적 편익에 의미를 부여하고 만족감을 느껴 본인의 소비를 줄여 소득세에 추가적으로 지불하려는 의사가 있다면 경제학적인 의미에서 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대로부터 편익이 발생된다. 후술하겠지만 본 논문에서 수행한 조사에서 상당수 국민들은 이에 동의하였다. 바로 이런 부분이 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 시장적 편익과 구분되는 비시장적 편익을 구성한다.

이에 본 논문에서는 엄밀한 경제학적 방법론을 적용하여 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 비시장적 편익을 추정하고자 한다. 즉, 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 속성별 편익을 측정하여 정책입안자에게 유기성 폐기물 에너지화와 관련된 정책을 세우는데 있어 중요한 정보를 제공하는 것이다. 이를 위해 컨조인트 분석법의 한 종류인 선택실험법(CE, choice experiment)을 적용하여 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대로 발생할 수 있는 경제적 가치를 도출하려 한다(김해창 등, 2010; 강희

찬 등, 2015). 즉, 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대시 고려되는 에너지 자급률 상승, 매립지 수명 연장, 일자리 창출의 세 가지 속성에 대한 일반 국민의 선호를 조사하고 이를 기반으로 각 속성의 수준변화에 대한 각 가구의 한계지불의사액(MWTP, marginal willingness to pay)을 분석한다. 본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. 제2절에서는 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 비시장적 편익 산정을 위한 방법론을 소개한다. 제3절에서는 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 비시장적 편익을 다루기 위한 이론적 모형을 제시한다. 제4절에서는 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 비시장적 편익 추정결과를 제시하고, 마지막 절은 연구결과를 요약하며 결론으로 할애한다.

II. 연구방법론

1. 개요

CE는 재화에 대한 가치 추정과 소비자 선호 분석을 위해 적용되는 대표적인 진술선호 평가법이다. CE는 응답자에게 다양한 수준으로 이루어진 대상 재화의 관련 속성과 가격 속성으로 구성된 두 개의 가상적 대안과 가격속성이 0원의 WTP, 인 현재상태 대안을 포함시켜 총 세 개의 대안을 제시한다. 응답자가 자신의 예산 제약 하에서 가장 선호하는 대안을 선택하게 함으로써 관련 속성의 수준 변화에 대한 소비자의 WTP를 측정한다. CE는 각 응답자들의 속성별 WTP를 추정하기 위해 확률효용모형(random utility model)을 이용하여 정형화할 수 있다.

CE는 다양한 장점을 가지고 있다. 무엇보다도 다른 가치평가방법에 비해 대상 재화와 관련된 개별 속성의 가치를 쉽게 측정할 수 있다. 많은 정책이 전체적으로 대상 재화를 잃거나 얻는 것보다는 속성 수준의 변화를 더 고려하기 때문에 CE는 다른 가치평가방법보다 유용하다고 볼 수 있다. CE는 응답자들이 다양한 속성 사이의 상충관계를 체계적으로 평가하도록 한다. 이러한 과정은 응답저항의 수를 감소시키고, 응답자들이 스스로 응답 형태에 대해 일관성을 점검 할 수 있도록 한다. 게다가 CE는 각 응답자들로부터 더 많은 정보를 얻을 수 있기 때문에 필요한 표본의 크기를 줄이고 설문비용을 감소시킨다.

2. 속성 및 지불수단

본 연구는 응답자들에게 제공하는 선택대안을 가능한 한 쉽게 이해할 수 있도록 폭넓은 문헌조사 및 전문가 면담을 통해 결정되었다. 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대에 의한 다양한 속성 중에서 에너지 자급률 상승, 매립지 수명 연장, 일자리 창출의 세 가지 속성과 더불어 지불수단인 가격속성까지 총 4개의 속성이 선정되었다.

유기성 폐기물 에너지화 시설 확대에 의한 다양한 속성 중에서 측정 가능하면서 적절한 속성을 선정하기 위해 다음과 같이 다섯 개의 원칙을 세웠다. 첫 번째로 속성은 독립적이거나 이에 근접하여야 한다. 두 번째로 속성의 수는 적어야 하며 이상적으로 여섯 개를 넘지 않는 것이 좋다. 만약 많은 속성이 존재한다면 속성 간 상충관계를 응답자들이 이해할 수 있는 형태로 제시하거나 이해시키기 어렵다 (Phelps and Shanteau, 1978). 세 번째로 속성은 간단한 설명과 함께 사진, 차트나 그림과 같은 시각적인 도구로 묘사 되어야만 한다. 네 번째로 속성은 과학적으로 의미가 있어야 하며 모든 중요한 사실은 누락되어서는 안 된다. 다섯 번째로 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대로부터 얻을 수 있는 비시장적 편익을 추정할 때 속성은 응답자에게 의미 있는 것이어야 하며 이성적인 판단에 근거할 수 있어야 한다. 이러한 다섯 가지 원칙을 이용하여 에너지 자급률 상승, 매립지 수명 연장, 일자리 창출이라는 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 세 가지 개별 속성을 식별하였다. <표 1>은 가격변수를 포함한 속성과 개별 속성의 수준이 어떻게 정의되었는지 보여준다.

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 속성의 효과를 분리하는 것에 효과적인 주효과와 직교설계를 수행한다. 직교설계는 현실에서 속성간 매우 높은 상관관계를 가지고 있는 것으로 알려져 있는 현시번호 확률효용모형의 단점을 개선한다.

〈표 1〉 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 속성 및 수준

속성	설명	속성수준
에너지자급률 상승	유기성 폐기물 에너지화 시설 확대를 통해 수입연료가 아닌 국내에서 생산된 연료로 전기를 생산하므로 우리나라의 에너지 자급률 상승됨	Level 1: 현재수준 Level 2: 1%p Level 3: 3%p Level 4: 4%p
매립지 수명 연장	매립할 유기성 폐기물의 양이 줄어든 만큼 매립할 필요가 없으므로 매립지의 사용 가능 기간이 연장됨	Level 1: 현재수준 Level 2: 2배 Level 3: 4배 Level 4: 7배
일자리 창출	유기성 폐기물 에너지화 시설 확대를 위한 인력이 필요하므로 관련 전문 일자리가 창출됨	Level 1: 현재수준 Level 2: 35개 Level 3: 87개 Level 4: 175개
개선을 위한 연간 지불액	유기성 폐기물 에너지화 시설 확대를 위해 각 가구에서 현재 소득세에 추가적으로 부담할 연간 지불의사액(원)	Level 1: 0 Level 2: 1,000 Level 3: 3,000 Level 4: 6,000 Level 5: 10,000

CE 질문에서는 기준 상태를 나타내는 대안 한 개와 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 다양한 속성 수준으로 정의된 두 개의 대안이 존재한다. 이 경우 선택 대안집합을 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 선택대안 집합을 도출하여야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 SPSS 22.0 프로그램을 사용하여 주효과 직교설계를 수행하였다. 주효과 직교설계로부터 32개의 선택대안집합들이 도출되었고, 한 블록에 4개의 질문을 포함하도록 임의표본추출을 통해 8개의 블록으로 배분되었다.

4. 표본설계와 설문조사방법

본 연구에서는 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 비시장적 편익을 추정하고자, 2015년 8월부터 한달간 설문조사를 수행하였다. 설문조사는 전문조사기관을 통해 수행되었으며, 설문대상은 만 20세 이상 65세 이하의 세대주 또는 세대주의 배우자로 한정하였다. 설문단위는 무작위로 추출된 전국(제주도 제외) 1,000가구를 대상으로 하였다. 우편방식이나 전화설문방식은 응답자들에게 컨조인트 분석 질문에서 묘사되는 다양한 속성과 가격속성간의 상충관계를 정확히 이해시키는

데 한계가 존재한다. 따라서 응답자에게 충분한 정보를 제공하면서 설문에서의 응답률을 높이기 위해 비용이 많이 소요된다는 단점에도 불구하고 일대일 개별면접 방식을 채택하였다.

III. 추정모형

1. 다항로짓모형

CE를 위한 기본적인 모형은 확률모형을 이용하여 정형화될 수 있다. McFadden(1973)에 의해 개발된 다항로짓(MNL, multinomial logit)모형은 대안의 구성요소인 개별 속성이 응답자의 선택확률에 어떻게 영향을 주는지를 모형화하는 데 있어 계량경제학적인 체계를 제공한다. MNL은 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). 이 모형에 의하면 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.

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

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.

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

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 선택 결과는 “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 로그우도함수를 최대로 하는 모수의 값을 구할 수 있다.

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). 2단계의 NL 모형에서 i 번째 응답자가 현재상태와 선택대안으로 구성된 m 번째 계층에서 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 m 번째 계층에서 조건부로 나온 결과인 선택대안 j 를 선택할 확률이고 $P_i(m)$ 은 i 번째 응답자가 m 번째 계층을 선택할 확률이다. 응답자의 효용 함수에서 오차항은 일반적인 극한값 분포를 따른다고 가정한다면 확률은 다음과 같이 표현될 수 있다.

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

계수 α 는 '내포치(inclusive value)'이다. $\alpha=1$ 일 때 확률은 식 (6)과 같이 표현되며 일반적인 MNL 확률모형이 되고, $\alpha \neq 1$ 일 때는 NL 확률모형이 된다. 따라서 IIA 가정의 성립여부를 판단하기 위해 $\alpha=1$ 이라는 귀무가설을 검정해야 한다.

3. 효용함수 및 한계지불의사액

공변량을 포함하지 않은 모형에서는 간접효용함수의 관측 가능한 부분인 V_{ij} 를 다음과 같은 속성벡터 $Z = (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4) =$ (에너지 자급률 상승, 매립지 수명 연장, 일자리 창출, 가격)의 선형함수로 표현하였다. 본 모형에서는 A대안과 B대안을 각각 나타내는 대안특화상수(ASC, alternative-specific constant)를 포함하고 있으며, ASC는 각 속성에 의해 반영되지 않는 특정대안의 효용을 나타내는 역할을 한다.

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

여기서 β_1 부터 β_4 는 응답자의 효용에 영향을 미치는 개별 속성에 대한 추정계수이다. 이때 식 (7)을 전미분함으로써 개별 편익 속성 변수들의 현재 수준으로부터 한 단위 증가에 대한 MWTP를 다음과 같이 구할 수 있다. 식 (8)은 가격변화와 개별 속성간의 한계대체율(marginal rate of substitution)을 나타낸다.

$$MWTP_{Z_1} = dZ_4/dZ_1 = -\beta_1/\beta_4 \tag{8}$$

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

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

IV. 분석 결과

1. 추정결과

속련된 설문조사원들의 일대일 개인면접을 통하여 1,000명의 응답자에 대한 설문조사 결과, 총 4,000(1,000×4)개의 이용 가능한 자료를 얻었다. <표 2>에 MNL 모형과 NL 모형의 추정결과를 제시하였다. 두 모형의 추정결과는 크게 다르지 않았으나, NL 모형의 모든 속성의 추정계수는 유의수준 5%에서 통계적으로 유의하였다. MNL 모형에서 '일자리 창출' 속성을 제외하고 나머지 속성의 추정계수는 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하였다. 모든 추정계수의 부호는 예상했던 바와 같이, NL 모형에서 에너지 자급률 상승, 매립지 수명 연장, 일자리 창출의 추정계수는 양(+)의 부호를 갖는데 이는 각 속성의 수준이 증가 할수록 응답자의 효

<표 2> 공변량을 포함하지 않은 모형의 추정결과

변수명	Multi-nomial logit 모형의 추정계수 (t-값)	Nested logit 모형의 추정계수 (t-값)
ASC	-0.6184 (-8.11)**	-0.6083 (-10.06)**
에너지 자급률 상승	0.0552 (3.35)**	0.0363 (3.49)**
매립지 수명 연장	0.0537 (4.28)**	0.0226 (2.29)*
일자리 창출	0.0004 (0.33)	0.0023 (2.88)**
가격	-0.2429 (-26.21)**	-0.1529 (-10.15)**
α		0.5193 (9.25)**
관측치 개수	4,000	
로그-우도값 (log-likelihood)	-3,911.49	-3,886.69
Wald-통계량 (p-value)	733.46 (0.000)**	309.10 (0.000)**

사용된 속성변수는 <표 1>에 정의되어 있음

ASC는 현재의 상황을 선택하는 응답자에 대한 더미변수를 나타내는 대안특화상수임

*, **는 각각 유의수준 5%와 1%에서 통계적으로 유의함을 의미함

용이 증가함을 의미한다. 반면 가격에 대한 계수가 음(-)의 부호라는 것은 가격의 증가가 응답자의 효용을 감소시킨다는 것을 의미한다.

2. 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 검정하는 것이다. 본 연구에서 우도비 검정통계량과 t -검정통계량의 값은 각각 49.59와 8.59로 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하였다. 따라서 두 검정 모두 귀무가설이 기각되어 MNL 모형에 대한 IIA 가정이 명백하게 위배됨을 알 수 있다. 이에 본 연구에서는 MNL 모형보다 NL 모형을 이용하여 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 속성별 MWTP를 추정하는 것이 더 적절하다. 따라서 지금부터는 NL 모형의 추정결과만을 다루려고 한다.

3. 공변량을 포함한 모형의 추정결과

〈표 3〉은 응답자들의 사회·경제적 특성을 보여 주고 있다. 전체 설문 대상자의 성비는 거의 비슷하며 평균 연령은 46세 정도이다. 또한 응답자들은 평균 고졸 이상의 학력을 가지고 있다. 한편 응답자들의 월 평균 가계소득은 484만원이었다. 〈표 4〉에는 공변량을 포함한 NL 모형의 추정결과를 제시하였다. 모든 추정 계수들의 값은 유의수준 5%에서 통계적으로 유의하였다.

〈표 3〉 본 연구에서 사용된 공변량의 정의 및 표본 통계량

변수	변수의 정의	평균값	표준편차
소득	응답자 가구의 월평균 세전 가계소득 (단위: 백만원)	4.84	3.07
연령	응답자의 나이 (단위: 년)	46.48	10.36
교육수준	응답자의 교육연수 (단위: 년)	13.79	2.34
성별	응답자의 성별 (0=여성; 1=남성)	0.49	0.50

〈표 4〉 공변량을 포함한 중첩로짓(Nested logit) 모형의 추정결과

변수	추정계수 (t-값)
ASC	-0.9136 (-4.98)**
에너지 자급률 상승	0.0360 (3.65)**
매립지 수명 연장	0.0217 (2.33)*
일자리 창출	0.0020 (2.91)**
가격	-0.1536 (-24.54)**
소득	-0.0382 (-3.29)**
연령	0.0133 (3.96)**
교육수준	-0.1736 (-2.40)*
성별	-0.1444 (-2.15)*
α	0.5300 (9.36)**
관측치의 개수	4,000
로그 우도값 (log-likelihood)	-3,862.23

변수는 〈표 1〉과 〈표 3〉에 정의되어 있음

ASC는 현재의 상황을 선택하는 응답자에 대한 더미변수를 나타내는 대안특화상수임

*, **는 각각 유의수준 5%와 1%에서 통계적으로 유의함을 의미함

4. 속성별 한계지불의사액 추정결과

유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 속성별 MWTP를 추정한 결과는 〈표 5〉에 제시되어 있다. MWTP는 개별 속성의 수준을 한 단위 추가적으로 개선하는 것에 대한 가구당 연간 WTP를 의미한다. 에너지 자급률이 1% 상승하는 것에 대한 가구당 연간 MWTP는 237원으로 나타났다. 매립지 수명이 한 단위 연장되는 것에 대한 가구당 연간 MWTP가 148원, 한 개의 일자리가 창출되는 것에 대한 MWTP는 15원으로 나타났다. 개별 속성에 대한 MWTP 값들은 모두 유의수준 5%에서 통계적으로 유의하였다. 응답자들은 에너지 자급률이 상승하는 것에 대해 가장 높은 가치를 부여하였다.

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) 기법을 적용하였다. 이 값 또한 〈표 5〉에 제시되어 있다.

〈표 5〉 속성별 한계지불의사액 추정결과

속성	연간 가구당 한계지불의사액(원)	
	추정결과 (t-값)	95% 신뢰구간
에너지 자급률 상승(단위: 1%p)	237 (3.63)**	106 ~ 367
매립지 수명 연장(단위: 배)	148 (2.35)*	20 ~ 275
일자리 창출(단위: 개)	15 (2.84)**	5 ~ 26

*, **는 각각 유의수준 5%와 1%에서 통계적으로 유의함을 의미함

V. 결론

유기성 폐기물 에너지화는 온실가스 발생을 줄일 수 있는 효과적인 수단인 동시에 폐기물을 처리할 수 있는 방안이다. 신기후체제가 등장하며 온실가스 감축 의무를 수행하기 위한 방안이 절실한 상황에서, 온실가스 배출을 저감할 수 있는 신재생에너지원에 대한 관심이 커지고 있다. 더욱이 런던협약에 따라 유기성 폐기물의 해양 투기가 금지되면서 유기성 폐기물을 처리할 수 있는 대안으로 주목을 받고 있다. 따라서 국내에서 배출되는 유기성 폐기물의 에너지화 비중을 현재의 26% 수준에서 2020년까지 100%로 확대하기 위해 정부는 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대 정책을 추진하고 있다. 유기성 폐기물 에너지화 시설을 확대하기 위해서는 공적재원이 비용으로 소요되기 때문에 엄밀한 경제이론에 근거하여 보다 정확하게 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 가치를 평가할 필요가 있다.

이에 본 연구는 경제학적 접근법인 CE를 이용하여 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대에 대한 비시장적 편익을 추정하고자 하였다. 이를 위해 전국 1,000가구를 대상으로 일대일 면접조사를 시행하였고 NL 모형을 적용한 결과, 추정계수는 통계적으로 모두 유의하였다. 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 속성별 가치(가구당 연간 MWTP)도 모두 유의수준 5%에서 통계적으로 유의하였다. 가구당 연간 MWTP를 추정한 결과, 에너지 자급률이 1% 상승할 때 237원, 매립지의 수명 두 배 연장될 때 148원, 1개의 일자리가 창출될 때 15원으로 나타났다.

기존의 연구사례에서 유기성 폐기물 에너지화에 대한 연구는 주로 기술부문에만 초점이 맞춰져 있었다. 본 연구에서는 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 비

시장적 편익을 정량적으로 제시하였고, 이 결과는 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대에 대한 인식 제고 방안 마련 및 홍보의 기초 자료 등으로 활용할 수 있다. 또한 본 논문의 연구결과는 향후 공공의 이익을 제공하는 사업에 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 게다가 속성별로 평가된 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 가치는 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대를 위한 구체적인 정책 수립 및 시행에 있어서 실행 가능한 대안별 후생수준을 비교할 수 있는 중요한 근거자료가 될 수 있을 것이다.

■ 참고문헌 ■

- 강희찬·조용성·박호정, 2015, “선택실험법(CE)을 이용한 서울시민의 생물다양성에 대한 비시장적 가치 추정,” 『환경정책』, 23(2), pp.21-56.
- 김해창·김영하·강상목, 2010, “컨조인트 분석을 이용한 저탄소도시 조성의 선호도 추정,” 『환경정책』, 18(2), pp.55-78.
- 민서현·박소연·유승훈, 2016, “조건부 가치측정법을 이용한 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 비시장적 편익 추정,” 『한국폐기물자원순환학회지』, 33(6), pp.547-557.
- 박홍석·신향식·최지용, 2011, “위생매립지를 이용한 유기성 폐기물의 에너지화 방안 - 음폐수 및 하수슬러지 등을 대상으로,” 『유기성자원학회지』, 19(4), pp.15-34.
- 임슬예·김호영·유승훈, 2013, “가연성 폐기물 에너지화의 외부편익: 조건부 가치측정법의 적용,” 『에너지공학』, 22(3), pp.270-282.
- 조용철·박소연·유승훈, 2015, “유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 경제적 파급효과분석,” 『한국혁신학회지』, 10(2), pp.159-174.
- 한선기, 2011, “혐기성 처리에 의한 유기성 폐기물 에너지화 (I),” 『유기성자원학회지』, 19(1) pp.102-108.
- 환경부, 2008, 『폐자원 및 바이오매스 에너지 대책』, 과천: 환경부.
- Curry, N. and P. Pillay, 2012, “Biogas prediction and design of a food waste to energy system for the urban environment,” *Renewable Energy*, 41, pp.200-209.
- Hausman, J. and D. McFadden, 1984, “Specification tests for the multinomial logit model,” *Econometrica*, 52, pp.1219-1240.

- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014, *5th Assessment Report*, Cambridge University Press.
- Krinsky, I. and A. Robb, 1986, "On approximating the statistical properties of elasticities," *Review of Economics and Statistics*, 68, pp.715-719.
- Li, Y., S. Y. Park, and J. Zhu, 2011, "Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, pp.821-826.
- Lim, S. Y., K. M. Lim, and S. H. Yoo, 2014, "External benefits of waste-to-energy in Korea: A choice experiment study," *Renewable and Sustainable Energy Review*, 34, pp.588-585.
- McFadden, D., 1973, Conditional logit analysis of qualitative choice behavior, In P. Zarembka (Ed.), *Frontiers in Econometrics*, (pp.105-140), New York : Academic Press.
- _____, 1978, Modeling the choice of residential location, In A. Karlquist, L. Lundquist, F. Snikars, and J. W. Weibull (Eds.), *Spatial interaction theory and planning models*, (pp.75-96), Amsterdam: North-Holland.
- Park, T., J. B. Loomis, and M. Creel, 1991, "Confidence intervals for evaluating benefits from dichotomous choice contingent valuation studies," *Land Economics*, 67, pp.64-73.
- Phelps, R. H. and J. Shanteau, 1978, "Livestock judges: how much information can an expert use?," *Organizational Behavior and Human Performance*, 21, pp.209-219.
- Yoo, S. H., S. J. Kwak, and J. S. Lee, 2008, "Using a choice experiment to measure the environmental costs of air pollution impacts in Seoul," *Journal of Environmental Management*, 86, pp.308-318.
- Zhao, X. G., G. W. Jiang, A. Li, and L. Wang, 2016, "Economic analysis of waste-to-energy industry in China," *Waste Management*, 48, pp.604-618.

김효진: 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 석사과정으로 재학 중이며, 주요 관심 분야는 에너지환경경제 및 정책 등이다(hyojinkim@seoultech.ac.kr).

임슬예: 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 박사과정으로 재학 중이며, 주요 관심 분야는 에너지환경경제 및 정책, 비시장재화의 가치평가 등이다(sylim@seoultech.ac.kr).

유승훈: 서울대학교 기술경영경제정책 대학원과정에서 경제학 박사학위를 취득하고 현재 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 대학원장이자 에너지정책학과 교수로 재직 중이다. 주요 관심 분야는 에너지환경경제 및 정책, 수자원관리, 해양 정책, 기술경제학 등이다(shyoo@seoultech.ac.kr).

투 고 일: 2016년 08월 12일
심 사 일: 2016년 09월 03일
게재확정일: 2016년 10월 25일