

가연성 폐기물 에너지화의 외부편익 : 조건부 가치측정법의 적용

임슬예 · 김호영 · 유승훈

서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지정책학과

(2013년 8월 21일 접수, 2013년 9월 16일 수정, 2013년 9월 16일 채택)

The external benefit of combustible waste-to-energy: A contingent valuation study

Lim Seul-Ye, Kim Ho-Young and Yoo Seung-Hoon[†]

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

(Received 21 August 2013, Revised 16 September 2013, Accepted 16 September 2013)

요 약

기후변화 및 화석연료 고갈에 대한 국가적 대응 차원으로 가연성 폐기물 에너지화가 진행되고 있다. 가연성 폐기물 에너지화란 비닐, 종이와 같은 폐기물을 전용보일러나 발전소에서 전기나 열을 생산하는 데 연료로 사용 할 수 있도록 고품연료로 제조하여 에너지로 전환하는 것이다. 본 논문은 조건부 가치측정법(CVM, Contingent Valuation Method)을 적용하여 폐기물에너지가 전체 에너지 소비에서 차지하는 비중을 현재의 1.89%에서 2020년까지 5%로 확대하는 정책의 시행으로부터 발생하는 외부적 편익을 추정하고자 한다. 이를 위해 지불의사액(WTP, willingness to pay)을 도출하고자 서울시 500가구를 대상으로 면대면 설문조사를 실시하여 CVM을 적용하였다. 지불의사 유도방법으로 1.5경계 양분선택모형과 영(0)의 WTP를 처리하기 위한 스파이크 모형을 결합한 분석모형을 적용한 결과 폐기물 에너지화에 대한 매월 가구당 평균 WTP는 2,724원으로 유의수준 5%에서 통계적으로 유의하게 추정되었다. 이를 서울시 전체로 확장하면 연간 137억원에 달한다.

주요어 : 가연성 폐기물, 폐자원 에너지화, 조건부 가치측정법, 외부적 편익, 1.5경계 스파이크 모형

Abstract - Combustible waste into energy policy is an effective method to respond to climate change and depletion of fossil fuels. Combustible waste into energy is the process of generating energy in the form of electricity and/or heat from the combustible waste such as vinyl, paper and plastic. This study tries to estimate the external benefit of enhancing the ratio of combustible waste into energy to primary energy from 1.89% to 5% using contingent valuation(CV) method. To this end, we report the results from a CV survey to elicit the willingness to pay (WTP) for combustible waste into energy. A CV survey of 500 households was conducted in the Seoul by using person-to-person interviews. Thus, the procedures of applying and the findings from the one-and-one-half bounded dichotomous choice spike model used to deal with the zero WTP responses are provided in the paper. The results show that the average WTP is estimated to be 2,724 won per household per month and statistically significant at the 5% level. Expanding the value to the Seoul gives us an aggregate value of 13.7 billion won per year.

[†]To whom corresponding should be addressed.

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

Tel : 02-970-6802 E-mail : shyoo@seoultech.ac.kr

Key words : Combustible Waste, Waste-to-Energy, contingent valuation method, external benefit, one-and-one-half-bounded spike model

1. 서 론

범지구적으로 나타나고 있는 지구온난화 영향으로 우리나라는 지난 100년간 1.5℃ 상승하였다. 급속한 기온상승으로 빈번하게 집중호우 및 태풍이 발생하여 막대한 인명 및 재산상 피해의 원인이 되고 있다. 기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC) 4차 보고서는 현재 수준으로 계속하여 화석연료를 사용 시 21세기 말에는 지구평균기온이 최대 6.4℃ 상승할 것으로 전망하였다. 우리나라는 2009년에 2020년 온실가스 배출 전망(Business As Usual, BAU) 대비 30% 감축이라는 중기 국가 온실가스 감축목표를 확정하여 국제사회에 약속하였다. 그리고 기후변화 협약에 대한 국가적 대응으로 부문별·업종별·연도별로 이산화탄소 등의 지구 온난화가스 배출을 저감목표를 마련하였다. 폐기물 부문에서는 폐기물 감량화 및 재활용, 가연성 폐기물 에너지화, 매립가스 회수 및 발전 등이 시행되고 있다.

가연성 폐기물 에너지화란 가연성 폐기물을 전용보일러나 발전소에서 전기나 열을 생산하는 데 사용할 수 있도록 고형연료로 제조하여 가연성 폐기물을 에너지로 전환하는 것이다. 폐기물은 생활이나 사업 활동에 필요하지 않게 된 쓰레기를 의미하는데, 폐기물 중 특히 불에 잘 타는 종이, 비닐, 폐목재, 플라스틱 등이 가연성 폐기물이다. 가연성 폐기물을 가지고 파쇄, 분리, 건조, 성형 등의 공정을 거치면 고형연료가 제조되며 이는 신재생에너지로서 전용보일러나 발전소에서 전기나 열을 생산 시 화석연료와 섞어 사용할 수 있다. 우리나라 에너지 자급률은 4%로 에너지 수입의존도가 상당히 높은 에너지 부족 국가이다. 이때 가연성 폐기물로 에너지를 국내에서 생산함으로써 에너지 자급률을 높일 수 있다.

정부에서는 「폐자원 및 바이오매스 에너지 대책」 실행계획 발표(2009.7, 환경부 외 6개 부처)하였고, 「제1차 자원순환기본계획(2011~2015)」(2011.9, 환경부 외 4개 부처)을 수립하였다. 서울시의 폐기물은 현재 인천 수도권매립지에 매립되고 있는데, '2016년 매립지 사용종료'가 선언되어 매립지 사용기간 연장 여부가 불투명 한 상태이다. 이에 따라 정부

는 버려지는 폐기물을 재활용하여 에너지로 활용하는 정책을 추진하고 있다. 독일 등 유럽에서는 생분해성 및 가연성폐기물의 직매립이 제한되어 이미 폐기물 에너지화가 이루어지고 있으며 우리나라에서도 수도권매립지에 가연성 폐기물 에너지화 시설(200톤/일 규모) 시범적으로 도입하였고, 부천, 부안 등 19개 지역에서 진행 중에 있다.

그러나 이러한 정책 추진에는 막대한 예산이 소요되므로, 가연성 폐기물 에너지화의 외부적 편익의 정량적 평가가 선행되어야 한다. 하지만 가연성 폐기물 에너지화로 발생하는 외부편익은 그 가치가 명시적으로 평가되지 못하고 있는 실정이다. 왜냐하면 본 논문의 대상이 되고 있는 가연성 폐기물 에너지화의 외부편익의 경우 시장에서 거래가 되고 있는 재화가 아니며, 특히 일반 국민들의 입장에서는 가연성 폐기물 에너지화의 혜택이 매우 추상적이기 때문이다. 이러한 속성을 가진 재화를 포괄적으로 정의할 때 통상 비시장재화(non-market)라 하는데, 이것은 해당 재화가 시장에서 거래되고 있지 않으며, 또한 거래되기도 어려운 측면을 반영하고 있다.

경제학자들은 지난 수십 년 동안 이러한 비시장재화의 가치를 추정하기 위하여 많은 고민과 연구를 해왔으며, 1990년대에 이후에 비시장재화의 가치 추정 방법론이 어느 정도 정립되면서 비약적인 발전을 해오고 있다. 이와 같이 시장가격이 존재하지 않는 시설이나 서비스의 가치추정을 위해서 여행비용 평가법, 헤도닉 가격기법, 조건부 가치측정법(CVM, contingent valuation method) 등 다양한 가치측정 방법론들이 사용되어 왔다. 특히 CVM은 공공재나 서비스와 같은 비시장재화의 경제적 가치를 측정하는 방법으로 널리 사용되고 있다(Bjornstad and Kahn, 1996). 물론 가연성 폐기물 에너지화가 실제로 비시장적 편익을 가져올 수 있는지에 대해 의문을 제기할 수 있다. 만약 국민들이 가연성 폐기물 에너지화의 기대효과인 온실가스 저감, 매립지의 수명 연장, 에너지자급률 확대 및 일자리 창출에 의미를 부여하고 만족감을 느껴, 가연성 폐기물 에너지화를 위해 본인의 소비를 줄여 소득의 일정 부분을 할애하려는 의지가 있다면, 경제학적인 의미에서 가연성 폐기물 에너지화는 가치를 가지게 된다. 후술하겠지만 본 논문에서 수행한 조사에서 상당 수 국민들은 이에 동의하였다.

바로 이런 부분이 가연성 폐기물 에너지화의 비시장적 가치를 구성한다.

이에 본 논문에서는 CVM을 적용하여 가연성 폐기물 에너지화의 비시장적 편익을 추정하고자 한다. 본 논문의 이후 부분은 다음과 같이 구성된다. 먼저 제2절에서는 가연성 폐기물 에너지화를 설명하고 관련 선행연구 및 가연성 폐기물 에너지화의 비시장적 편익 산정을 위한 방법론에 대해 검토한다. 제3절에서는 가연성 폐기물 에너지화의 비시장적 편익을 다루기 위한 이론적 모형을 제시한다. 제4절에서 가연성 폐기물 에너지화 편익 추정 결과를 제시하고, 마지막 절은 결론으로 할애한다.

2. 가연성 폐기물 에너지화의 선행연구 및 비시장적 편익 추정 방법론

2.1 대상재화 선정

가연성 폐기물 에너지화의 외부편익을 추정하기 위해 먼저 대상재화와 조건부 시장(contingent market)을 설정하였다. 지불의사액(WTP, willingness to pay)에 대한 핵심질문을 하기에 앞서 조건부 시장의 일반적 상황을 가정하였다. 응답자에게 가연성 폐기물과 관련한 현황을 제시하고, 가연성 폐기물과 가연성 폐기물 에너지화에 대해 일반적인 설명을 하였다. 그리고 가연성 폐기물 에너지화 현황 및 목표수준, 고려되는 정책과 가연성 폐기물 에너지화를 통해 얻게 되는 기대효과에 대해 언급하였다. 이후 단계로 지불의사 질문을 통해 가연성 폐기물 에너지화를 시

행을 위해 추가적으로 기꺼이 지불하고자 하는 금액에 대해 설문을 진행하였다. 응답자의 이해를 돕기 위해 실제 설문조사에서는 그림 및 사진을 보조 자료로 활용하였다.

응답자에게 설명한 현재상태 및 목표상황, 가연성 폐기물 에너지화 정책은 Fig 1과 같다. 정책입안자들은 폐기물에너지가 전체 에너지 소비에서 차지하는 비중을 현재의 1.89%에서 2020년까지 5%로 확대하는 목표를 가지고 정책을 고려하고 있다. 고려되는 정책은 에너지의 원료가 되는 폐기물의 수거 및 관리 시스템 개선, 가연성 폐기물 에너지화에 필요한 기술 개발 및 시설설치를 위한 정부지원 확대, 제조된 고품연료가 소비될 수 있도록 폐기물을 활용한 전기생산비중을 확대이다. 정책이 시행되어 폐기물이 소진되면 매립할 폐기물량이 감소하므로 매립으로 발생하는 온실가스가 감축되고, 매립지의 수명이 늘어난다. 또한 국내에서 연료를 생산함으로써 우리나라 에너지 자급률 개선에 기여하고, 기술개발에 대한 투자가 이루어지면 신규일자리가 창출될 것으로 기대된다.

2.2 선행연구

우리나라에 보급된 신재생에너지 중 약 80%가 폐자원 및 바이오매스로 가장 많은 부분을 차지하고 있다. 이러한 맥락에서 폐자원 및 바이오매스의 경제적 가치를 평가하는 많은 연구가 진행되었고 이를 Table 1과 같이 요약하였다. 가연성 폐기물 에너지화의 외부적 편익 추정을 위한 추정방법으로 CVM과 CE(Choice Experiment, 컨조인트 분석법)를 적용할

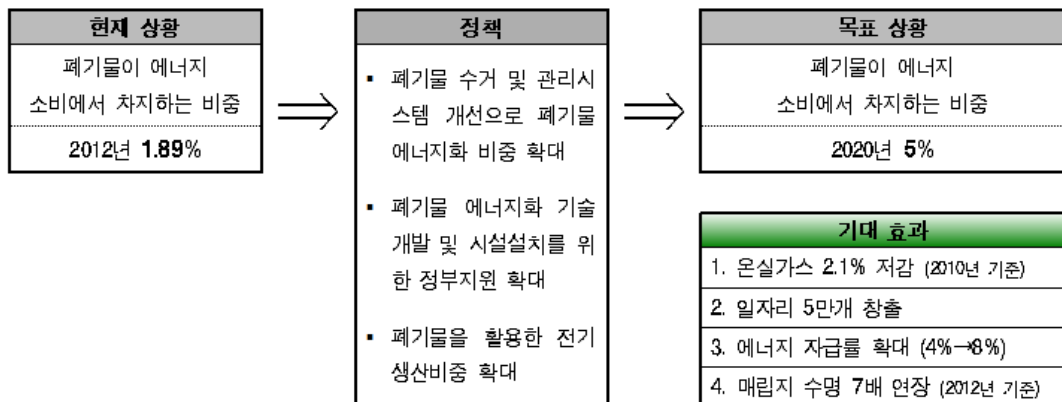


Fig. 1. Description of Waste-to-Energy policy

Table 1. Summary of some studies dealing with the economic value of biomass energy

Countries	Sources	Objects to be valued	Methods	Mean WTP estimates
Spain	Soliño <i>et al.</i> (2010)	Biomass	CV	· EUR 38 per household per year
	Soliño (2010)	Forest biomass	CE	· EUR 18.69 for decrease of 7% in CO ₂ emission per household per year · EUR 47.95 for decrease of 14% in CO ₂ emission per household per year · EUR 77.11 to lower pressure on non-renewable resources per household per year · EUR -13.29 for decrease in the risk of fires by 25% per household per year · EUR 76.77 for decrease in the risk of fires by half per household per year · EUR -34.49 for decrease in the risk of fires by 75% per household per year · EUR 10.37 for creation of approximately 3000 jobs in rural areas per household per year · EUR 7.33 for creation of approximately 6000 jobs in rural areas per household per year
	Soliño <i>et al.</i> (2012)	Forest biomass	CE	· EUR 50.92 for decrease of 14% in CO ₂ emission per household per year · EUR 73.09 for decrease in the risk of fires by half per household per year
United States	Borchers <i>et al.</i> (2007)	Biomass	CE	· USD 10.59 per household per month
	Hite <i>et al.</i> (2008)	Biomass	CV	· USD 5.73 per household per month
	Solomon and Johnson (2009)	Biomass ethanol	CV	· USD 0.4 per gallon of gasoline
	Susaeta <i>et al.</i> (2011)	Woody biomass	CE	· USD 40.5 per person per month

* Note: CV and CE indicate contingent valuation and choice experiment, respectively.

수 있다.

Soliño *et al.*(2009)는 스페인 갈리시아 503가구 대상으로 CVM을 적용하여 화석연료로 생산되던 전기의 10%를 바이오매스로 생산할 경우 연간 가구당 WTP가 38유로임을 밝혔다. Soliño (2010)는 스페인의 화석연료에서 삼림바이오매스로의 전력생산 에너지원 대체에 대해 CE를 적용하였다. 연 가구당 CO₂ 저감 MWTP(Marginal WTP)는 7%, 14% 저감 시 각각 18.69유로, 47.95유로로 나타났고, 기존의 화석연료 사용에 대한 부담을 낮추는 77.11유로로 분석되

었다. 기존대비 화재예방을 50%, 75% 대해서는 각각 76.77유로, -34.49유로로 조사되었으며, 농촌지역에 3,000개의 신규 일자리창출에는 10.37유로로 추정되었다. Soliño *et al.*(2012)는 삼림바이오매스를 이용한 전기생산에 CE를 적용하여 CO₂저감을 14% 달성할 경우 50.92유로, 화재위험성을 기존대비 50% 낮출 시 73.09유로로 측정하였다. Solomon and Johnson(2009)은 미국에서 바이오매스 에탄올 생산을 위해 국민들이 가솔린 1갤론 당 0.4달러 이상 WTP가 있음을 밝혔다. Borchers *et al.*(2007)은 미

국에서 전력의 25%를 바이오매스로부터 생산하는 것에 대해 CE를 적용하여 가구당 매월 10.59달러로 추정하였다. Hite *et al.*(2008)은 현재상황에서 전력의 10%를 화석연료가 아닌 바이오매스로 에너지원을 대체하여 전기를 생산하는 것에 대해 미국 앨라배마 주에 거주하는 소비자의 WTP를 조사하였다. 연구결과 월 5.73달러의 추가적인 지불의사액을 갖고 있는 것으로 나타났다. Hite *et al.*(2008), Soliño *et al.*(2009), Soliño (2010), Soliño *et al.*(2012), Borchers *et al.* (2007), Hite *et al.*(2008)은 지불수단으로 현재의 전기요금에 추가적 인상액으로 설정하였다.

2.3 외부편익 추정 방법론

현재까지 개발되고 응용되어 온 비시장재화의 가치측정 연구방법론 중 가장 널리 사용되면서 공감을 얻고 있는 것이 CVM이다. CVM은 응답자로부터 대상재화나 서비스와 관련된 최대 WTP를 도출하여 이를 통해 대상재화나 서비스의 편익을 직접적으로 이끌어내는 가치측정방법이다(Mitchell and Carson, 1989). 사람들에게 친숙하지 않은 비시장재화에 대한 CVM의 WTP 추정치가 얼마나 정확한가라는 문제에 대해 여러 실증연구가 이루어졌는데, CVM으로부터 얻게 되는 응답은 대체적으로 믿을 만하다는 결론을 얻었다(Bjornstad and Kahn, 1996). 이렇게 CVM은 그 타당성과 정확성이 입증되어 각종 문헌에서 자주 등장하고 있다.

본 논문의 대상이 되고 있는 가연성 폐기물 에너지화로 발생하는 비시장적 편익 또한, 언뜻 보아 가치가 잘 정의되지 않으며, 가치를 정의한다 하더라도 어떻게 가치를 측정할 것인지에 대해 선뜻 답을 내리기 쉽지가 않다. 이것은 가연성 폐기물 에너지화의 혜택이 기후변화 대응 및 폐기물량 감소로 인해 온실가스 감축, 매립지의 수명 연장, 에너지자급률 확대 및 일자리 창출 등 공공재적 성격을 띠고 있기 때문이다. 또한 사업의 수혜자가 일반 국민인 것 같지만 대다수의 국민들이 직접적인 혜택을 받을 가능성이 없는 재화에 대해서는 특별히 고안된 방법론을 적용하여 가치를 추정할 수밖에 없다. 이러한 비시장재화의 공급으로 인해 발생하는 가치 또는 편익을 추정하는 데 있어서의 기본원칙은 해당 재화를 공급받기 위한 소비자의 지불의사액을 추정하는 것이다(Brent, 1995). WTP란 사람들이 특정 공공재나 비시장재화

를 공급받기 위해 또는 특정 공공재나 비시장재화의 공급 장애를 피하기 위해 지불할 의사가 있는 최대금액을 의미한다. 즉 일정한 소득 하에서 다른 재화에 대한 소비지출을 줄이고 그 만큼 특정 재화의 소비를 위해 지출하고자 한다면 이 금액만큼을 편익으로 보는 것이다.

2.4 CVM 설문 설계

조건부 시장의 설정에 있어서 중요한 역할을 하는 것은 응답자가 밝히고자 하는 지불의사를 쉽게 표현할 수 있도록 지불수단을 제시하는 것이다. 본 논문에서는 평가하고자 하는 가연성 폐기물 에너지화는 폐기물로 전기를 생산하여 에너지화 하고자 하므로 전기요금을 지불수단으로 하였다. 또한 Arrow *et al.*(1993)의 지침대로 응답된 WTP에 대한 지불로 다른 재화에 대한 지출을 줄여야함을 응답자에게 인식시켰다. 한편 지불원칙 및 지불기간은 가구당 매월 1회 향후 5년 동안 부담하는 것으로 하였으며 설문면접원은 이 점을 응답자에게 강조하였다. 또한 가구의 소득은 제한되어 있으며 그 소득은 여러 용도(식비, 의복비, 주거비 등)로 지출되어야 한다는 사실과 정부가 해야 할 사업은 폐자원 에너지화 사업 외에도 많다는 사실을 고려하면서 WTP 질문에 대답할 것을 명시적으로 요청하였다.

본 연구에서는 현실시장에서 소비자들의 행동을 결정하는 유형과 국민투표에서 투표하는 유형 및 유사한 양분선택형 질문법으로 지불의사를 유도한다. 통상 단 1회에 걸쳐서 미리 설정된 금액을 “공공재 공급의 대가로 지불할 용의가 있는가”라고 물어보면, 응답자가 ‘예/아니오’로 한번만 대답하는 방식인 단일경계 모형 및 한 번 더 추가적인 질문을 던지는 이중경계 모형이 널리 적용되고 있다. 하지만 CVM의 적용에서 널리 적용되는 단일경계 모형과 이중경계 모형은 각각 비효율성(inefficiency) 및 편익(bias)의 한계를 안고 있다(Carson and Groves, 2007). 따라서 본 논문에서는 효율성을 제고하면서 편익을 줄일 수 있는 양분선택형 질문법 중에서 Cooper *et al.*(2002)이 제안한 1.5경계(one and one-half bound) 모형을 적용하고자 한다.

먼저 응답자들에게 폐자원 에너지화 사업을 위해 A^L 부터 A^U 의 범위의 비용이 매월 가구당 현재 전기요금 외에 추가적으로 발생할 것이라는 정보를 제

공한 후, 응답자를 다시 2개의 그룹으로 나눠 첫 번째 그룹의 응답자에게는 A^L 을 지불할 의사가 있는지를 질문하는데, 이 질문에 “예”라고 응답하면 A^U 를 지불할 의사가 있는지를 한 번 더 질문하며, “아니오”라고 응답하면 추가적인 질문을 하지 않는다. 두 번째 그룹의 응답자에게는 A^U 를 지불할 의사가 있는지를 질문하는데, 이 질문에 “예”라고 응답하면 추가적인 질문을 하지 않으며, “아니오”라고 응답하면 A^L 를 지불할 의사가 있는지를 한 번 더 질문을 한다. 본 논문에서는 30명을 대상으로 한 사전조사를 통해 제시금액의 수준과 범위를 결정하였다. 실제 조사에서는 전체 500 가구를 7개의 그룹으로 구분하여 각 그룹에 제시금액의 범위인 (1,000원~3,000원), (2,000원~4,000원), (3,000원~6,000원), (4,000원~8,000원), (6,000원~10,000원), (8,000원~12,000원), (10,000원~15,000원) 중 1개를 무작위로 배정하였다.

설문방법은 개별면접설문, 전화설문, 우편설문 등이 있다. 가연성 폐기물 에너지화의 외부편익 추정 시 경우 몇몇 복잡한 내용이 포함되어 있기 때문에 비용이 많이 소요된다는 단점이 있지만 응답자가 충분히 이해할 수 있도록 하기 위하여 일대일 개별면접 설문을 실시하였다. 전국에 대하여 조사기간은 2013년 6월로 약 1개월이었다. 서울 각 구를 대상으로 임의표본을 도출하기 위해 각 지역 내의 가구 구성비를 고려하였고 각 나이의 비율에 맞게 표본 수를 할당하였다. 신뢰성 있는 가구 의견을 얻기 위해 조사대상은 만 20세 이상 65세 이하의 세대주 또는 세대주의 배우자로 한정하였다. 그리고 설문단위는 개인이 아닌 가구로 하였으며, 표본추출 및 면접조사는 조사전문기관에 의뢰하였다. 최종적으로 무작위 추출된 총 500가구의 설문결과를 얻을 수 있었다.

3. WTP 모형

3.1 효용격차모형

본 연구에서 적용하는 CVM은 Hanemann(1984)의 효용격차모형에 근거한다. 효용격차모형은 다음과 같은 절차를 따르고 있다. 우선 제시된 금액에 대해 지불의사가 있는 지 여부를 묻는 질문에 대한 응답을 모형화한다. 즉, ‘예’ 또는 ‘아니오’의 이산응답을 모형화한 후 최우추정법을 통해 관련된 모수들을 추정

한다. 다음 단계로 분포의 성격과 평균값 또는 중앙값의 정의를 이용하여 WTP의 평균값 또는 중앙값을 계산한다.

응답자가 자신의 효용함수를 정확하게 알고, 주어진 화폐소득(m)과 개인의 특성벡터(S)에 근거하여 비시장재화의 상태(j)에 대해 느끼는 효용은 다음과 같은 간접효용함수 u 로 표현될 수 있다.

$$u = u(j, m; S), \quad j = 0, 1 \quad (1)$$

여기서, $j=0$ 는 비시장재화를 이용할 수 없는 또는 비시장재화가 공급되지 않는 상태를 의미하며 $j=1$ 는 비시장재화를 이용할 수 있는 또는 비시장재화가 공급되는 상태를 의미한다. 그런데 연구자에게는 응답자가 측정대상 비시장재화의 상태 변화를 선택 또는 거부하는 데 있어 관측이 불가능한 부분이 존재한다. 따라서 간접효용함수는 다음과 같이 관측 가능한 확정적인 부분 $v(j, m; S)$ 과 관측 불가능한 확률적 부분 ϵ_j 로 구성된다.

$$u(j, m; S) = v(j, m; S) + \epsilon_j \quad (2)$$

간접효용함수에 영향을 미치는 확률적 성분인 ϵ_j 는 j 에 상관없이 독립적이면서 동일한 분포를 갖는 (independently and identically distributed) 확률변수로 평균은 0이다. 각 개인이 효용을 최대화한다고 가정하자. 그렇다면 각 개인은 다음의 조건을 만족할 때, “당신은 비시장재화의 이용을 위해 또는 비시장재화의 공급받기 위해 A 원을 지불할 의사가 있습니까?”란 질문에 대해 “예”라고 대답하면서 A 원을 기꺼이 지불함으로써 효용을 최대화한다.

$$v(1, m - A; S) + \epsilon_1 \geq v(0, m; S) + \epsilon_0 \quad (3)$$

또는

$$v(1, m - A; S) - v(0, m; S) \geq \epsilon_0 - \epsilon_1 \quad (3')$$

이제 효용의 격차와 오차항의 격차를 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta v(A) \equiv v(1, m - A; S) - v(0, m; S), \quad \eta \equiv \epsilon_0 - \epsilon_1$$

그렇다면 “예”라고 응답할 확률은 다음과 같이 표현된다.

$$\Pr\{\text{응답이 “예”}\} = \Pr\{\Delta v(A) \geq \eta\} \equiv F_\eta[\Delta v(A)] \quad (4)$$

여기서 $F_\eta(\cdot)$ 는 η 의 누적분포함수(cdf, cumulative distribution function)이다. “예”란 응답은 $\Delta v \geq 0$ 일 때 관측되며, “아니오”란 응답은 $\Delta v < 0$ 일 때 관측된다. 지금부터 C 로 표기할 WTP는 확률 변수로서 이의 cdf는 $G_C(A)$ 로 정의된다. 한편 식 (4)는 다음과 같이 다르게 표현될 수 있다.

$$\Pr\{\text{응답이 “예”}\} = \Pr\{C \geq A\} \equiv 1 - G_C(A) \quad (5)$$

따라서 식 (4) 및 (5)를 비교하면 다음의 관계식을 구할 수 있다.

$$1 - G_C(A) \equiv F_\eta[\Delta v(A)] \quad (6)$$

이 결과는 이산반응모형 (4)를 적합 시키는 것이 곧 WTP의 분포함수인 $G_C(\cdot)$ 의 모수를 추정하는 것으로 해석될 수 있다는 점을 시사한다. 이 때 C 는 $j=0$ 상태에서 $j=1$ 의 상태로 변화하기 위한 WTP이다. C 가 음의 값도 가질 수 있을 때의 평균(C^+)은 흔히 다음과 같이 계산된다.

$$C^+ = E(C) = \int_0^\infty [1 - G_C(A)] dA - \int_{-\infty}^0 G_C(A) dA \quad (7)$$

3.2 1.5경계 모형

주어진 가연성 폐기물 에너지화에 대해 i 번째 응답자는 직면하여 응답하는 상황은 다음과 같이 6개의 변수를 도입하여 묘사할 수 있는데, 처음의 3개 경우는 첫 번째 질문에서 A^L 을 제시한 경우에 해당하며, 뒤의 3개 경우는 첫 번째 질문에서 A^U 를 제시한 경우에 해당한다.

$$\begin{cases} I_i^{YY} = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 “예-예”}) \\ I_i^{YN} = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 “예-아니오”}) \\ I_i^N = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오”}) \\ I_i^Y = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 “예”}) \\ I_i^{NY} = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오-예”}) \\ I_i^{NN} = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오-아니오”}) \end{cases} \quad (8)$$

이제 효용극대화를 추구하는 N 명의 표본을 가정할 경우 로그-우도함수는 다음과 같이 구성된다.

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \left\{ \begin{aligned} & I_i^{YY} \ln [1 - G_C(A_i^U)] \\ & + I_i^{YN} \ln [G_C(A_i^U) - G_C(A_i^L)] \\ & + I_i^N \ln G_C(A_i^L) \\ & + I_i^Y \ln [1 - G_C(A_i^U)] \\ & + I_i^{NY} \ln [G_C(A_i^U) - G_C(A_i^L)] \\ & + I_i^{NN} \ln G_C(A_i^L) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

3.3 스파이크 모형

지금까지는 일반적인 WTP 모형에 대해 설명하였고, 이제는 가연성 폐기물 에너지화에 국한된 WTP의 성격에 대해 검토한다. 사실 가연성 폐기물 에너지는 일반 국민들에게 생소한 재화이며, 가연성 폐기물 에너지화의 시행을 위해 본인의 소비를 일부러 줄여 이 금액만큼을 지불한다는 것에 대해 거절의 의사를 가지고 있는 사람들이 적지 않을 것이다. 따라서 이러한 경우에 적용이 가능한 모형의 개발이 필요하며, 이 모형에 투입되어야 할 자료를 확보할 수 있도록 설문지도 적절하게 보완될 필요가 있다.

이와 관련하여, 본 연구에서 사용한 설문지에는 단 1원의 지불의사가 있는지 없는지를 물어보는 질문도 포함되어 있다. 첫 번째 제시금액이 A^U 일 때 “아니오-아니오”라고 응답한 응답자와 첫 번째 제시금액이 A^L 일 때 “아니오”라고 응답한 응답자에게는 동 사업에 대한 지불의사가 전혀 없는지에 대한 질문을 하였다. 이 질문에 대해 “지불할 의사가 있다”고 응답한다면 양의 WTP를 가지며, “지불할 의사가 없다”고 응답한다면 영의 WTP를 가질 것이다.

사전적인 예상대로, 조사대상 500가구의 40.4%에 해당하는 202 가구는 폐자원 에너지화 사업에 대해 지불의사가 전혀 없다는 의견을 밝혔다. 이러한 상황은 WTP에 관한 설문조사 자료에서 흔히 관측된다

(Yoo et al., 2001). 영의 값을 가진 WTP 자료의 분석을 위해서는 다수의 가구들이 폐자원 에너지화 사업에 대해 전혀 지불할 의사가 없다는 사실을 고려해야만 한다. 다시 말해서, WTP의 분포는 영의 값을 갖는 응답자 그룹과 양의 WTP를 갖는 응답자 그룹으로 양분되는 것이다. 만약 영의 WTP 응답을 무시하고 분석을 한다면 적지 않은 오류를 범하게 된다. 통상 양의 값만 가지는 경제변수의 경우는 양의 영역에서만 정의되는 분포를 이용하여 분석하면 되지만, WTP 자료와 같이 영의 값과 양의 값을 함께 가질 수 있는 경제변수의 경우에는 정형화에 있어서 어려움이 존재하기 때문이다.

이러한 영의 WTP 자료를 처리하기 위해 널리 이용되는 모형은 Kriström(1997)이 제안한 스파이크 모형(spike model)이다. 스파이크 모형은 영의 WTP는 폐자원 에너지화 사업이 가구의 후생에 전혀 기여하지 못하거나 혹은 가구가 이 사업에 완전히 무관심할 때, 다음과 같은 소득제약 하의 소비자 효용극대화 문제의 모서리해(corner solution)로서 도출될 수 있으므로, 경제적 행위에 부합한다.

$$\max_{y, Z} [U(y, Z; h) \mid y + Z \leq m] \quad (10)$$

여기서, $U(\cdot)$ 는 효용함수, y 는 폐자원 에너지화 사업에 대한 WTP, Z 는 모든 다른 지출, h 는 개인특성을 나타내는 벡터, m 는 소득이다.

식 (9)의 3번째 부분에 있는 “아니오”의 응답과 마지막 부분에 있는 “아니오-아니오”의 응답은 다음과 같이 0의 WTP와 두 번째 제시금액(A^L)보다 작은 양의 WTP로 구분된다.

$$\begin{cases} I_i^{AY} = 1(\text{지불할 의사가 있다}) \\ I_i^{AN} = 1(\text{전혀 지불할 의사가 없다}) \end{cases} \quad (11)$$

$\theta = (a, b)$ 일 때 WTP의 누적분포함수 $G_C(\cdot; \theta)$ 는 다음과 같다.

$$G_C(A; \theta) = \begin{cases} [1 + \exp(a - bA)]^{-1} & \text{if } A > 0 \\ [1 + \exp(a)]^{-1} & \text{if } A = 0 \\ 0 & \text{if } A < 0 \end{cases}$$

(12)

그런데 식 (9)를 좀 더 들여다보면 다음과 같이 보다 간단하게 정리됨을 알 수 있으므로, 실제 추정시에는 식 (9')를 이용한다.

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \left\{ \begin{aligned} &(I_i^{AY} + I_i^Y) \ln [1 - G_C(A_i^U)] \\ &+ (I_i^{YN} + I_i^{NY}) \ln [G_C(A_i^L) - G_C(A_i^U)] \\ &+ (I_i^N + I_i^M) \ln G_C(A_i^L) \end{aligned} \right\} \quad (9')$$

이때 평균값 WTP는 다음과 같이 계산된다.

$$\overline{WTP} = \int_0^\infty [1 - G_C(A)] dA \quad (13)$$

$$- \int_{-\infty}^0 G_C(A) dA \equiv (1/b) \ln [1 + \exp(a)]$$

4. 실증분석 결과

4.1 WTP 응답

Table 2는 1.5경계 양분선택형 질문에 대한 응답의 분포를 나타내고 있다. 앞서 설명했듯이, 전체 500명의 응답자를 비슷한 숫자의 7개 그룹으로 구분한 다음에 각 제시금액 범위를 배정하였다. 아울러 각 그룹 안에서는 대략 절반씩 나누어 A^L 과 A^U 를 제시하였다.

4.2 스파이크 1.5경계 모형의 추정결과

1.5경계 모형의 추정결과는 Table 3에 제시되어 있다. 최우추정법 적용 시 최대값을 쉽게 찾을 수 있도록 제시금액의 단위를 1,000원으로 하여 그 규모를 조정하였다. 추정결과 상수항과 제시금액의 추정계수, 스파이크 값은 유의수준 5%에서 통계적으로 유의했으며 제시금액의 부호는 기대치와 일치했다. 다시 말해, 제시금액에 대한 추정계수는 음수로 추정되었는데 이것은 제시금액이 커질수록 제시금액에 대해 “예”라고 응답할 확률이 낮아짐을 의미하므로 제시금액의 계수가 합리적으로 추정되었음을 알 수 있다. 또한 응답자가 실제로 영(0)의 WTP를 밝힌 비중은 40.4%로 스파이크의 값(40.9%)은 영(0)의 WTP를 밝힌 표본 비율과 유사함을 알 수 있다. 따라서 스파

Table 2. Distribution of WTP responses

Bid(won)		Number of respondents	A^L is presented as a first bid				A^U is presented as a first bid			
A^L	A^U		yes-yes	yes-no	no-yes	no-no	yes	no-yes	no-no-yes	no-no-no
1,000	3,000	71	7	15	2	12	8	12	1	14
2,000	4,000	72	4	10	7	15	12	7	5	12
3,000	6,000	71	4	10	7	14	7	4	12	13
4,000	8,000	72	1	10	14	11	10	3	9	14
6,000	10,000	71	3	5	8	19	3	1	18	14
8,000	12,000	72	1	6	15	14	0	1	19	16
10,000	15,000	71	1	3	15	17	0	3	15	17
Totals		500	21	59	68	102	40	31	79	100

이크도 적절하게 추정되었다.

식 (13)의 평균값 WTP는 가구당 월간 2,724원으로 계산되었으며, 델타법(delta method)을 적용하여 추정된 이 값에 대한 t -값은 15.60이므로 추정된 평균 WTP는 유의수준 5%에서 통계적으로 유의하다. Wald 통계량은 추정되어야 할 모수의 값이 모두 '0'이라는 가설 하에서 계산된 것이고, t -값의 **은 유의수준 10%에서, *은 유의수준 5%에서 통계적으로 유의함을 나타낸다.

아울러 평균 WTP 추정에 수반된 불확실성을 반영한 신뢰구간의 계산을 위해 Krinsky and Robb(1986)이 제안한 모수적 부트스트랩(parametric bootstrap) 기법인 몬테칼로 시뮬레이션 기법을 적용하였다(Park et al., 1991; Cooper, 1994). 무작위 반복표본추출의 회수는 5,000번으로 하였으며, 95% 신뢰구간 및 99% 신뢰구간의 계산결과를 정리하였다. 몬테칼로 시뮬레이션 기법의 적용 절차는 다음과 같다. 우선 (a, b) 의 추정치와 이에 대한 분산-공분산 행렬을 이용하여 (a, b) 의 다변량 정규분포로부터 (a, b) 의 값을 발생시켜 평균 WTP를 계산하며 이 과정을 5,000번 반복한다. 이렇게 발생된 5,000개의 평균 WTP 값을 크기순으로 나열한 다음 양끝에서 각각 2.5%를 버리면 95% 신뢰구간을 얻을 수 있으며, 양끝에서 각각 0.5%를 버리면 99% 신뢰구간을 얻을 수 있다.

한편 추정된 방정식의 통계적 유의도를 살피기 위해, '모든 추정계수는 0이다'라는 귀무가설을 상정하면 다음과 같이 Wald-통계량(W)을 구성할 수 있다.

Table 3. Estimation results of the spike model

Variables	Estimates
Constant	0.367 (4.04)*
Bid amount ^a	-0.328 (-17.94)*
Spike	0.409 (18.65)*
Mean additional WTP	KRW 2,724 (15.60)*
95% confidence interval ^b	2,411 to 3,101
99% confidence interval ^b	2,301 to 3,207
Number of observations	500
Log-likelihood	-614.85
Wald statistic ^c (p -value)	331.96 (0.000)

Notes: ^aThe unit is 1,000 Korean won. ^bThe confidence intervals are calculated by the use of the Monte Carlo simulation technique of Krinsky and Robb(1986) with 5,000 replications. The null hypothesis is that all the parameters are jointly zero and the corresponding t -value is reported in the parentheses beside the statistics. The numbers in parentheses beside the coefficient estimates are t -values. * indicates the statistical significance at the 5% level.

$$W = \hat{\delta}' [\hat{V}(\hat{\delta})]^{-1} \hat{\delta} \tag{14}$$

여기서 $\hat{\delta}$ 은 추정계수벡터이며, $\hat{V}(\hat{\delta})$ 은 $\hat{\delta}$ 의 분산에 대한 추정치이다. 검정통계량 W 는 귀무가설 하에서 χ^2 -분포를 따르며, 이때 자유도는 $\hat{V}(\hat{\delta})$ 의 위수(rank)이다. Wald 통계량을 이용할 경우 추정된 모든 계수가 0이라는, 즉 추정된 결과가 무의미하다는 귀무가설을 유의수준 1%에서 기각할 수 있다.

평균 WTP 값이 2,724원으로 추정된 점에 비추어

볼 때, 제시금액을 1,000원부터 15,000원 사이에서 결정한 것이 적절했는지에 대해 사후적으로 논의할 필요가 있다. 제시금액은 사전조사에서 개방형 질문을 통해 도출된 WTP의 분포에서 좌우에서 각각 5~20%를 절사한 값의 범위 내에서 결정되며, 본 연구도 이러한 절차를 따랐다. 아울러 사후적으로 볼 때, 제일 큰 제시금액에서는 “예”라는 응답하는 비중이 매우 낮으면 제시금액이 적절하게 설정된 것으로 판단할 수 있다. Table 2에서 볼 수 있듯이 제시금액이 가장 높을 때에도 여전히 “예”라는 긍정적 응답자가 없지 않다. 따라서 제시금액이 높게 설계된 것은 아니라고 볼 수 있다.

4.3 공변량을 포함한 스파이크 1.5단계 모형의 추정결과

본 논문에서는 응답자 또는 가구가 갖는 특성들이 폐기물에너지화 사업에 대한 지불에 대한 응답 확률에 어떠한 영향을 주는지 분석하기 위하여 공변량이 포함된 모형을 추정하였다. 공변량을 포함한 WTP 모형의 추정에 있어서 본 연구에서 사용한 변수와 그에 대한 정의 및 기초 통계량은 Table 4에 제시되어 있

다.

공변량을 포함한 모형의 추정결과는 Table 5에 제시되어 있다. 응답자의 특성에 따라 지불의사는 변하는 것으로 나타났다. 성별에 대한 계수는 유의수준 5%, 월평균 가구소득은 10%, 제시금액은 5%에서 유의하였다. 추정된 회귀계수의 구체적으로 살펴보면, 첫째, 성별에 대한 계수는 0.460으로 남성이 여성에 비해 주어진 제시금액에 대해 ‘예’라고 응답할 확률이 크다. 둘째, 소득 변수가 양(+)의 부호를 나타내므로 월평균 가구소득이 높을수록 주어진 금액에 대해 ‘예’라고 답변할 가능성이 커진다. 셋째, 제시금액의 경우 음(-)의 부호를 가지므로 제시금액이 커질수록 제시된 지불의사금액에 대해 ‘예’라고 응답할 확률이 낮아진다.

4.4 가연성 폐기물 에너지화의 가치 확장

가연성 폐기물 에너지화의 외부편익을 추정하는 중요한 목적 중에 하나는 표본정보를 이용하여 모집단 전체의 외부편익을 추정하는 것이다. 즉 서울의 500가구라는 표본에 대해 도출된 정보를 활용하여

Table 4. Definitions and sample spike statistics of variables

Variables	Definitions	Mean	Standard deviation
Sex	The respondent's sex (0=female; 1=male)	0.53	0.50
Age	The respondent's age (unit: years)	45.77	9.32
Family	The respondent's family size	3.50	1.06
Income	Dummy for the household's monthly income being more than ten million Korean won	0.02	0.14

Table 5. Estimation results of the model with covariates

Variables ^a	Estimates	t-values
Constant	0.497	0.91
Bid amount ^b	-0.334	-17.10*
Sex	0.460	2.55*
Age	-0.008	-0.89
Family	-0.003	-0.04
Income	1.256	2.10*
Log-likelihood	-608.24	
Wald statistic ^c (p-value)	305.04 (0.000)	

Notes: ^aThe variables are defined in Table 4. ^bThe unit is 1,000 Korean won. ^cThe null hypothesis is that all the parameters are jointly zero and the corresponding p-value is reported in the parentheses beside the statistics. * and * indicates the statistical significance at the 5% level.

Table 6. Expanding the sample WTP estimate to population value

	Mean additional WTP/month/household	Mean additional WTP/year/household	Mean additional WTP/year
Estimates	2,724 won	32,688 won	13.7 billion won

조사대상 지역 모집단 전체로 확장하여 총 가치를 구할 수 있다. 이때 중요한 사항은 표본의 대표성과 응답률이다. 첫째, 과연 표본이 모집단을 제대로 반영하는지 검증하여야 한다. 앞서 언급하였듯, 본 논문을 위해 상당한 예산을 소요하여 국내 유수의 전문 조사기관에 의뢰하여 과학적인 표본추출 및 조사를 하였다. 아울러 설문대상자도 가구 내에서 책임 있는 의사결정을 할 수 있는 만 20세 이상 65세 이하의 세대주 또는 세대주 배우자로 한정하였다. 따라서 조사대상 지역 전체 가구의 의견을 잘 반영하고 있으며, 가상시장을 이용했다 하더라도 책임 있는 정보를 도출했다고 볼 수 있다. 그러므로 표본의 정보를 모집단으로 확장하는 데 별 무리가 없어 보인다. 둘째, 본 연구에서는 무작위로 추출된 표본에 대해 배포된 설문지를 응답자가 전문조사원의 도움을 받아 작성할 수 있도록 하였으며, 선택된 표본에 대해서는 전량 회수를 목표로 하였고 실제로 전량 회수되었다. 그렇기 때문에 무응답률은 극히 낮다. 따라서 이 두 가지 조건은 어느 정도 만족되는 것으로 판단된다.

표본의 대표성이 확보되고 무응답의 문제가 없으므로 표본의 대표가구에 대해 추정된 WTP를 가지고 모집단으로 확장할 수 있다. Table 6을 보면 매월 가구당 추가적인 WTP는 2,724원이고 연간 32,688원에 달한다. 이때 서울시의 가구수는 4,181,577가구로 주민등록 인구통계의 2013년 2/4분기 자료를 활용하였다. 추산 결과 가연성 폐기물 에너지화는 연간 약 137억 원의 외부편익을 가지는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 논문은 폐기물에너지가 전체 에너지 소비에서 차지하는 비중을 확대하는 가연성 폐기물 에너지화가 제공하는 외부편익을 정량적으로 추정하였다. 폐기물 에너지화는 기후변화대응방안이며 친환경에너지 확보의 대안이다. 더불어 새로운 일자리 창출, 매립 폐기물 감량을 통한 매립지 수명연장이 가능하다. 본 논문에서는 공공적이고 비시장적인 편익을 제공하는

가연성 폐기물 에너지화의 외부편익을 정량적으로 분석하고자 하였다.

CVM을 적용하는 데 있어서, Arrow *et al.*(1993)의 여러 가지 지침에 근거한 설문 설계, 최근에 개발된 표본설문조사 표집기법 및 인터뷰 기법의 운용 등 특별하게 요구되는 여러 조건들을 충분히 만족시키면서 본 연구가 수행되었다. 특히 비교적 최근에 제안된 지불의사 유도방법으로 단일경계 모형의 비효율성을 개선시킬 수 있으면서도 이중경계 모형의 편익을 줄일 수 있는 1.5경계 모형을 적용하였다. 영(0)의 WTP를 명시적으로 다룰 수 있는 스파이크 모형을 결합하여 결과를 도출하였다. 서울시 대상 500가구 설문의 가연성 폐기물 에너지화를 위해 매월 가구당 2,724원의 추가적인 WTP를 가지고 있었다.

정책적 측면에서 본 논문은 가연성 폐기물 에너지화가 제공하는 편익의 의미를 명확하게 이해하는데 용이하게 한다. 또한 지금까지는 주로 비용에 초점을 맞춰왔으며 외부편익에 관한 연구가 부족하였다. 본 논문에서는 가연성 폐기물 에너지화의 외부편익을 측정하였고, 이는 통상적인 비용-편익 분석에서 편익산정에 포함될 수 있다. 연구적 측면에서 제안된 정책에 대한 관심을 넘어 분석결과를 통해 CVM의 적용가능성을 검토하였다. 특히나 우리나라 서울지역에 가연성 폐기물 에너지화의 외부편익을 추정하기 위해 CVM을 적용하여 해외 연구와도 비교가능하다.

한편 본 논문은 학술적인 면에서도 중요한 의미를 제공한다. 본 논문에서는 처음으로 가연성 폐기물 에너지화의 외부편익을 측정하였으며, 결과 또한 유의미 하였다. 이러한 결과는 현재 가연성 폐기물 에너지화를 시행하고 있거나 계획하고 있는 지방자치단체 등에서 사업의 적정 재정규모를 파악하는 데 유용한 정보로 사용될 수 있을 것이다. 본 논문의 방법론과 연구결과는 향후 유사한 정책의 타당성 분석에 사례로써 응용이 가능할 것이며, 공공의 이익을 제공하는 사업에 유용한 정보를 제공해 줄 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 수도권매립지관리공사의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 국무총리실, 기획재정부, 교육과학기술부, 외교통상부, 지식경제부, 환경부, 국토해양부. 제1차 국가에너지기본계획(2008~2030), 2008.
2. 교육과학기술부, 행정안전부, 농림수산식품부, 지식경제부, 환경부, 국토해양부, 산림청. 폐자원 및 바이오매스 에너지 대책 실행계획, 2009.
3. 환경부. 폐기물에너지화 종합대책, 2008.
4. 환경부, 행정안전부, 농림수산식품부, 지식경제부, 국토해양부. 제1차 자원순환기본계획(2011~2015), 2011.
5. Arrow K, Solow R, Portney PR, Leamer EE, Radner R, Schuman H. Report of the NOAA panel on contingent valuation. Federal Register, 1993, 58, 4601-4014.
6. Bjornstad DJ, Kahn JR. The Contingent Valuation of Environmental Resources : Methodological Issues and Research Needs, Cheltenham: Edward Elgar, 1996.
7. Borchers AM, Duke JM, Parsons GR. Does willingness to pay for green electricity differ by source? Energy Policy, 2007, 35, 3327-34.
8. Brent RJ. Applied Cost-Benefit Analysis, Cheltenham: Edward Elgar. 1995.
9. Carson RT, Groves T. Incentive and informational properties of preference questions. Environmental and Resource Economics, 2007, 37, 181-210.
10. Cooper JC. A comparison of approaches to calculating confidence intervals for benefit measure from dichotomous choice contingent valuation survey. Land Economics, 1994, 70, 111-122.
11. Cooper JC, Hanemann WM, Signorello G. One and one-half bound dichotomous choice contingent valuation. Review of Economics and Statistics, 2002, 84, 742-750.
12. Hanemann WM. Welfare evaluations in contingent valuation experiments with discrete responses. American Journal of Agricultural Economics, 1984, 66, 332-341.
13. Hite D, Duffy P, Bransby D, Slaton C. Consumer willingness-to-pay for biopower: Results from focus groups. Biomass and Bioenergy, 2008, 32, 11-17.
14. IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change), IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. 2007.
15. Krinsky I, Robb AL. On approximating the statistical properties of elasticities. Review of Economics and Statistics, 1986, 68, 715-719.
16. Kriström B. Spike models in contingent valuation. American Journal of Agricultural Economics, 1997, 79, 1013-1023.
17. Mitchell RC, Carson RT. Using Surveys to Value Public Goods : The Contingent Valuation Method, Washington, D.C. : Resources for the Future. 1989.
18. Park TJ, Loomis B, Creel M. Confidence intervals for evaluating benefits estimates from dichotomous choice contingent valuation studies. Land Economics, 1991, 67, 64-73.
19. Soliño M, Prada A, Va'zquez M.X. Designing a forest-energetic policy to reduce forest fires in Galicia(Spain): a contingent valuation application. Journal of Forest Economic, 2010, 16, 217-233.
20. Soliño M, Farizo BA, Vazquez MX, Prada A. Generating electricity with forest biomass: Consistency and payment timeframe effects in choice experiments. Energy Policy, 2012, 41, 798-806.
21. Soliño M. External benefits of biomass-e in Spain: An economic valuation. Bioresource Technology, 2010, 101, 1992-1997.
22. Solomon BD, Johnson NH. Valuing climate protection through willingness to pay for biomass ethanol. Ecological Economics, 2009, 68, 2137-2144.
23. Susaeta A, Lal P, Alavalapati J, Mercer E. Random preferences towards bioenergy

- environmental externalities: A case study of woody biomass based electricity in the Southern United States. *Energy Economics*, 2011, 33, 1111-1118.
24. Yoo SH, Kwak SJ, Kim TY. Modeling willingness to pay responses from dichotomous choice contingent valuation surveys with zero observations. *Applied Economics*, 2001, 33, 523-529.
25. Yoo SH, Kwak SJ. Using a spike model to deal with zero response data from double bounded dichotomous contingent valuation survey. *Applied Economics Letters*, 2002, 9, 929-932.