

## 해양바이오에너지 개발사업의 온실가스 저감편익 추정

김태영<sup>1,†</sup> · 표희동<sup>2</sup> · 김혜민<sup>1</sup> · 박세현<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국해양과학기술원 해양R&D실용화센터

<sup>2</sup>부경대학교 해양산업경영학과

<sup>3</sup>한국해양과학기술원 해양환경산업연구실

## Measurement of the Greenhouse Gas Emission Benefits from the Marine Bio-Energy Development Project

Tae-Young Kim<sup>1,†</sup>, Hee-Dong Pyo<sup>2</sup>, Hye-Min Kim<sup>1</sup> and Se-Hun Park<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Center for Promoting Utilization of R&D Results, Korea Institute of Ocean Science & Technology (KIOST), Ansan 426-744, Korea

<sup>2</sup>Department of Marine Business and Economics, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

<sup>3</sup>Environment & Economics Assessment Section, KIOST, Ansan 426-744, Korea

### 요 약

환경문제가 심각해지고, 에너지안보에 대한 관심이 높아지면서 화석연료를 대체할 신재생에너지개발은 더욱 절실해지고 있다. 정부는 2030년까지 바이오에너지부분의 50%를 해양바이오에너지에서 생산한다는 계획을 발표하였다. 본 연구는 해양바이오에너지 개발사업으로 인하여 저감되는 온실가스의 저감편익을 조건부가치측정법을 이용하여 추정하고자 한다. 단일경계 양분선택형 모형에 스파이크 모형을 적용하였으며, 그 결과 해양바이오에너지 개발사업의 온실가스 저감편익은 단일경계 양분선택형에서는 가구당 평균 지불의사액이 4,190원으로 추정되었다. 이를 설문을 진행한 지역으로 확장하면 연간 501억원에 달한다. 이와 같은 연구결과는 해양바이오에너지 개발사업의 시행여부를 결정하는 비용편익분석이나 해양바이오에너지 개발사업정책에 있어서 편익의 유용한 정보로 활용할 수 있다.

**Abstract** – It is time to develop new renewable energy that could fundamentally replace fossil fuel, which has been increasingly needed due to environmental pollution and energy security. Korean marine bio-energy development project is planned to produce 50% of total bioenergy. This study attempts to measure the greenhouse gas emission reduction benefits of marine bio-energy development project through contingent valuation method. Single bounded dichotomous choice (SBDC) is applied with spike model. The results show that the average willingness to pay are estimated to be KRW 4,190 at SBDC, per household per year. If the result has been expanded to the region which is survey conducted, KRW 50.1 billion annually. These quantitative information can be usefully utilized in the cost benefit analysis to implement project and policy-making for the industrialization of marine bio-energy development project.

**Keywords:** Marine bio-energy(해양바이오에너지), Contingent valuation method(조건부가치측정법), Willingness to pay(지불의사액), Single bounded dichotomous choice(단일경계양분선택형)

### 1. 서 론

국제유가 급등, 국제환경규제 강화, 블루오션 시장창출 등의 21세기 메가트렌드를 반영한 신산업창출의 전략적 중요성이 대두되

고 있으며, 에너지위기 대처기술 강구, 고유가 시대의 대체연료 개발, 기후변화 및 CO<sub>2</sub> 감축의무 압박, 환경규제 강화 등을 대응할 원천기술 개발이 시급한 실정이다. 또한 CO<sub>2</sub> 배출량 세계 9위인 우리나라는 글로벌 ‘Green Race’에 대응하여 에너지기술 및 산업의 국제경쟁력 확보를 위하여 선제적 기술개발을 통한 기후변화대응 노력이 절실히 필요하며, 정부는 2020년 그린에너지산업 5대 강국

<sup>†</sup>Corresponding author: tykim@kiost.ac

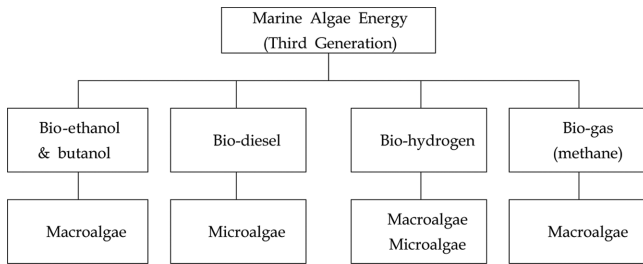


Fig. 1. Third generation bio-energy from algae biomass.

실현을 위한 에너지기술 개발계획 등 국가차원의 종합적·체계적 전략을 수립하여 추진하는 등 고무적으로 움직이고 있다(국가과학기술위원회, 2011). 이러한 문제를 해결해 나가고자 미국에서 발의된 신재생에너지 의무혼합제도(Renewable Fuels Standard, RFS)는 2022년까지 36억 갤런(1갤런=3.79리터)의 바이오연료 생산을 목표로 하고 있으며, 이 중 21억 갤런은 옥수수 바이오에탄올보다 기술·경제적으로 향상된 바이오연료를 생산하는 것이다. 옥수수 및 초본류와 같은 1, 2세대 육상식물 기반의 셀룰로오스계 바이오에탄올은 에너지독립 및 안보실천(Energy Independence and Security Act, EISA)에 관한 법안의 목표달성에 중요한 역할을 한다. 더불어 EISA의 법안은 1, 2세대보다 진보적인 미세조류 바이오연료와 같은 3세대 바이오연료를 활용하여 RFS 세부목표인 21억 갤런의 바이오연료 생산 목표를 달성할 수 있도록 매우 특별한 역할과 비전을 보장하고 있다(Fig. 1 참조, 김태영[2013]).

해양바이오에너지는 해양생물자원을 활용하여 생산할 수 있는 재생가능한 에너지를 뜻한다. 현재 해양바이오에너지는 차세대 에너지 자원으로 전 세계적인 관심을 받고 있으며 이는 고유가와 화석연료 고갈로부터 발생하는 에너지위기와 지구온난화 문제 등에서 비롯된 환경위기, 그리고 곡물가격 증가로 인한 식량위기에 그 배경이 있다. 바이오에너지와 관련한 연구는 옥상자원에서부터 얻은 소재를 활용한 연구가 먼저 진행되었는데, 옥상자원의 한계점이 드러나기 시작하면서 해양산업과 접목시켜 해양자원에서부터 연료를 얻고자 하는 정책과 연구들이 전 세계적으로 시작되고 있다. 해양바이오에너지 분야는 현재 시점에서는 기술성숙 수준 등의 문제로 경제성을 갖추지 못하는 문제가 존재하나, 머지않은 장래에 수요가 급증할 가능성이 매우 큰 분야로, 미국, EU, 일본 등의 국가에서는 이를 감안하여 정부주도의 기술개발과 보급이 이루어지고 있다(장덕희 외[2013]).

특히 해양의 미세조류를 이용하여 생산하는 바이오에너지의 경우 여타의 바이오에너지에 비해 오일 수율이 높아 연료 효율성이 높고, 생산속도 또한 빠르기 때문에 에너지 활용의 경쟁력이 높다고 평가되고 있다. 미세조류는 광합성 탄소 동화작용을 통해 이산화탄소를 흡수하며 이는 대기중의 이산화탄소를 감소시켜 온실가스 저감효과를 기대할 수 있으며, 미세조류로부터 생산된 바이오에너지를 사용할 경우 화석에너지를 이용하는 것과 비교하여 이산화탄소, 탄화수소, 미세먼지 등이 감소하는 것으로 나타났다.

경유와 휘발유 소비량을 각각 바이오연료로 1%대체할 경우 바

이오디젤과 바이오 에탄올의 온실가스 저감량 추정치는 각각 54.3만 톤과 11.3만 톤으로 나타났으며, 평균 미세조류 100톤당 183톤의 CO<sub>2</sub>가 삭감된다고 보고되었다.

일반재화와 달리 객관적인 가치를 관측할 수 있는 시장이 형성되어 있지 않는 대상에 대해서는 가치 추정 연구를 통해 대상 재화가 가지는 존재가치나 유산가치를 포함한 비사용가치를 추정할 수 있다. 본 연구의 대상인 CO<sub>2</sub> 저감은 비시장재로 가치의 정의가 어렵고, 가치를 정의한다 하더라도 어떻게 가치를 측정할 것인지를 결정하는 문제는 쉽지 않다.

이에 본 연구에서는 조건부 가치측정법(CVM, contingent valuation method)을 활용하여 해양바이오에너지 개발사업에 따른 CO<sub>2</sub>배출 감소에 관한 지불의사액(WTP, willingness to pay)을 조사하고 이를 바탕으로 경제적 편익을 추정함으로써 정부에 해양바이오에너지 개발사업에 따른 CO<sub>2</sub> 저감에 의한 편익정보를 제공하면서 이와 관련된 시사점을 제공하고자 한다. 아울러 단일경계모형 뿐만 아니라, 영(0)의 WTP를 명시적으로 감안하기 위해 스프라이크 모형도 결합한다. 정부에서 실시하는 많은 사업들의 예비타당성 평가에서는 단일경계 모형을 사용하는 것을 지침으로 삼고 있다. Bishop과 Heberlin[1979]이 양분선택형 지불의사방법을 제시한 이후에 Hanemann[1984]과 Carson[1985]은 이중경계 양분선택형 지불의사방법을 제시하였다. 이중경계 양분선택형은 단일경계 양분선택형과 비교하여 자료의 효율성이 높고, 제시금액 설계가 잘못된 경우에도 이를 정정할 수 있다는 장점을 지닌다(김동주, 신승도, 2007). 유승훈[2003]은 단일경계 양분선택형 질문유형보다는 Hanemann[1985]에 의해 제안된 이중경계 양분선택형 모형이 훨씬 효율적(Hanemann et al., 1991)이기 때문에 실제 CVM 연구에서 널리 사용되고 있다고 기술하였다. 그러나 본 연구에서는 효율성보다는 편익의 최소화를 위하여 단일경계 양분선택형을 선택하여 추정하였다.

본 논문의 이후 부분은 다음과 같이 구성된다. 먼저 제2절에서 CVM의 실증 절차에 대해서 구체적으로 논의 한다. 제3절에서는 CVM 추정모형에 대해 설명한다. 제4절에서는 실증연구 결과를 보고한다. 마지막 절은 결론으로 할애한다.

## 2. 선행연구

해양바이오에너지 개발사업의 환경편익과 관련된 연구는 국내·외 모두에서 아직까지 많이 이루어지지 않은 상황이다. 그렇지만 바이오에너지의 경제적가치에 대한 연구들은 일부 존재한다. 바이오에너지에 대한 선행연구로는 설문조사를 바탕으로 현재 소비하는 전기의 10%를 친환경에너지로 전환할 경우의 지불의사액을 CVM을 통하여 추정한 Hite 외[2007]의 연구가 있으며, Solino 외[2010]의 연구는 스페인에서 소비되는 전기의 10%를 바이오매스 발전소에서 생산되는 전기로 대체하는 정책에 대한 소비자 지불의사액을 추정하였다. Solino 외[2012]의 다른 연구에서는 화석연료 대신에 산림 바이오매스를 활용하여 전기를 생산할 경우의 지불의

사액을 컨조인트 분석을 통하여 추정하였다. Barry & Nicholas [2009]의 연구에 따르면 바이오매스 중에서 바이오에탄올로 현재의 화석연료를 대체하는 정책에 대한 소비자 지불의사액이 1인당 556달러로 추정된 것을 알 수 있다.

한국의 경우 김혜민[2012]의 연구에서는 화석에너지에서 바이오에너지로 대체하는데 대한 소비자 지불의사액을 CVM을 이용하여 추정하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이 바이오매스의 경제적 편익을 추정하는 연구의 절대적인 수는 많지 않지만, 많은 연구에서 경제적 편익을 추정할 때 CVM을 이용하고 있는 것을 알 수 있다. 한국환경정책평가연구원(www.kei.re.kr)에서 살펴보면, 아래의 Table 1과 같은 사례들이 있음을 알 수 있고, 이는 실제 국내에서 환경재의 가치평가를 위하여 CVM이 사용되고 있음을 알 수 있다. 또한 CVM을 이용하여 가치평가를 진행한 많은 연구들이 본 연구에서 이용한 단일경계 양분선택형(Single-bounded dichotomous choice, SBDC)을 이용하였음을 알 수 있다.

바이오에너지가 아닌 환경재에 대한 WTP추정에서도 CVM은 가장 널리 이용되고 있다. 표희동 외[2011]는 비모수추정법에 의한 CVM을 이용하여 부산시 가정용수 수질개선에 대한 WTP를 추정하였으며, 추재욱[2010]의 연구에서도 CVM을 이용하여 부산시 상수도 수질개선에 대한 WTP를 추정하였다. 표희동 외[2004]의 또

다른 연구에서는 CVM을 이용하여 안면도 갯벌의 생태관광에 대한 경제적 편익을 추정하였다. 이승길 외[2007]은 마리나 관광에 대한 지불의사 결정요인을 CVM을 이용하여 분석하였고, 이준행 외[2010]는 인천만 조력발전 경제성평가에서 CVM과 산업연관분석을 이용하였다.

환경재의 가치측정에 있어 CVM의 장점을 간략히 요약해보면, 다음과 같다. 첫째, 다른 가치측정법에 비해 광범위한 자연재의 가치측정에 적용될 수 있다. 둘째, 사용가치뿐 아니라 비사용가치도 직접 측정할 수 있다. 셋째, Hicksian 후생(Hicksian welfare)을 정확하게 측정할 수 있다. 넷째, 특정 유효성 및 신뢰성을 검사할 수 있도록 설계할 수 있다.

그러나 가상적인 상황을 만들어 그 상황에서 개인이 행할 행위를 질문하는 방식을 취하기 때문에 설문과정에 따라서는 응답자의 지불의사금액을 왜곡시키는 가상성 편이(hypothetical bias), 전략적 편이(strategic bias), 출발점 편이(starting point bias), 지불수단 편이(payment vehicle bias), 정보편의(information bias) 등의 편이 문제가 발생할 수 있다는 점이 여러 연구에서 제기되었다(Mitchell and Carson, 1989). 이런 이유로 CVM을 사용하여 환경재의 가치를 평가할 경우에는 설문지의 작성, 설문시행, 사후분석과정에 세심한 주의를 기울여야 한다. 또한 설문조사에 많은 비용이 소요된다는 단점이 있다.

**Table 1.** Case study on environmental goods valuation with contingent valuation method in Korea

Author	Target of the valuation	Year	WTP	Induction Methods of WTP
Y.S. Kim <i>et al.</i>	Reduction of Environmental Mortality Risk (AP, IAP, TWP)	2002	10,700(W/Y/P) (AP, Spike)	DBDC
C.S. Kim <i>et al.</i>	Reduction of GHG	2008	315,336(W/Y/H)	DBDC
Y.C. Shin <i>et al.</i>	Reduction of the possibility of death in a future	2000	233,370(W/Y/P)	DBDC/OEQ
T.Y. Kim <i>et al.</i>	the health effect of air pollutants	1997	Ophthalmology: 2,833 Heart: 8,942 Asthma: 55,023 (W/M/P)	SBDC
Y.S. Jo	Air pollution in the country	2002	2,132(W/M/P)	SBDC
H.C. Lee <i>et al.</i>	The air quality of metropolitan	2001	OEQ(N=296): 20,020 OEQ(N=342): 19,494 SBDC: 69,808 DBDC: 32,895 TBDC: 30,824	OEQ/SBDC/DBDC/TBDC
S.P. Hong <i>et al.</i>	The air pollution in Daejeon area	1996	57,129(W/M/H)	PCQ
S.H. Yoo <i>et al.</i>	The air quality of metropolitan	1999	Dust damage: 1,791 Visibility: 1,621 Agriculture: 1,855 Mortality: 2,169 Mobidity: 2,129 Global warming: 1,923 (W/M/P)	OEQ
Y.J. Lee <i>et al.</i>	The air quality of Ulsan industrial area	2001	14,852(W/M/P)	DBDC

\*출처: 한국환경정책·평가연구원(<http://evis.kei.re.kr>)

\*WTP: Willingness to pay

\*AP: Air Pollution, IAP: Indoor Air Pollution, TWP: Tap Water Pollution

\*GHG: Green House Gas

\*(W/Y/P): (Won/Year/Per person), (W/Y/H): (Won/Year/Per household), (W/M/H): (Won/Month/Per household), (W/M/P): (Won/Month/Per person)

\*OEQ: Open-Ended Questions, PCQ: Payment Card Questions

본 연구는 이러한 CVM의 장점을 최대한 활용하고 단점을 보완하면서 해양바이오에너지 개발사업의 온실가스 저감 편익 추정을 시도하고자 한다.

### 3. 분석방법론

#### 3.1 CVM 설문 설계의 주요 쟁점

##### 3.1.1 시나리오 설계 및 지불수단 선택

CVM은 설문을 수행할 때 가상의 시나리오를 활용하여 가상시장(hypothetical market)을 설정하고, 설문을 통해 여러 가지 상황에 따라 측정하는 재화에 대한 응답자들의 WTP를 유도한다. 따라서 CVM 설문의 가장 핵심적인 부분은 가상시장의 설정이라고 할 수 있다.

본 연구는 해양바이오메스의 개발 및 도입을 위하여 응답자가 매년 얼마나 지불할 수 있는지를 묻도록 설계하였다. 본 연구에서는 응답자의 결정을 단순화할 수 있는 정도, 여러 가지 편익을 제거할 수 있는 정도 등을 고려하여 가구당 추가적인 소득세라는 지불수단을 제시하였다. 아울러 지불기간 및 지불횟수에 대해서는 가구당 향후 5년 동안 매년 1회 지불한다는 점을 강조하였다. ‘향후 5년 동안 매년 1회 소득세’라는 지불조건 및 지불수단은 한국개발연구원[2008]의 일반지침을 따른 것이다.

##### 3.1.2 지불의사 유도방법

일반적으로 CVM에는 제시금액에 대하여 응답자가 ‘예/아니오’로 대답하는 양분선택형(DC, dichotomous choice) 질문법이 널리 사용되고 있다. 양분선택형 질문유형은 Bishop and Heberlein[1979]이 제안한 단일경계(SB, single bounded)모형과 Hanemann[1984]에 의해 제안된 이중경계모형(DB, double bounded)이 이용되어 왔으며, 단일경계모형은 응답이 쉬운 반면에 통계적으로 효율성이 낮아 많은 표본이 필요하다는 단점이 있다. 때문에 이중경계모형이 등장한 이후 많은 연구는 단일경계모형보다는 이중경계모형을 선호했다.

이중경계 모형은 평균자승오차의 관점, 그리고 효율성의 관점에서 단일경계 모형보다 바람직하지만, CVM 응용의 결과물은 다른 분석결과와 달리 후생분석에 직접적으로 사용되어 중요한 정책적 판단에 이르게 하므로, 평균값 WTP를 추정하는데 있어서 효율성을 손해보더라도 편익을 줄이는 것이 더 중요할 수 있다는 의견 또한 적지 않다. 물론 항상 설문조사 예상의 제약이라는 압박에 직면해 있는 연구자의 입장에서 보면, 효율성의 제고 또한 중요할 수밖에 없기에 단일경계 모형에 비해 이중경계 모형이 보다 매력적인 것은 사실이다. 이러한 이유 때문에 실증연구에서 Table 1과 같이 여전히 이중경계 모형 또한 널리 사용되고 있다.

요컨대, 최근에는 이중경계 모형보다는 단일경계 모형의 적용이 보다 바람직할 수 있으므로 단일경계 모형만을 제시하던지 아니면 이중경계 모형의 추정결과를 제시할 때는 단일경계 모형의 추정결과도 함께 제시하여 둘 사이의 중요한 차이가 있는지를 살펴볼 필

요가 있다는 지적이 제기되기도 한다.

본 연구에서는 이중경계 양분선택형을 지불의사 유도방법으로 채택하였으며, 단일경계 모형의 추정결과를 제시하였다. 이는 위에서 기술한 효율성을 손해보더라도 편익을 줄이는 것이 중요하다는 의견에 따름이다.

제시 금액은 최종적으로 얻고자 하는 WTP의 평균값에도 민감한 영향을 미칠 수 있으므로 세심한 주의를 기울여 결정해야 한다. 제시금액은 국내 유사 연구사례의 제시금액을 참고하였으며, 실제 조사에 들어가기 전 30명을 대상으로 사전조사를 시행, 첫 번째 제시금액은 1,000원/2,000원/3,000원/4,000원/5,000원/7,000원/10,000원/13,000원으로 정하고, 첫 번째 제시금액에 대해 ‘예’ 라고 응답한다면 두 번째 제시금액은 첫 번째 제시금액의 2배 금액, 첫 번째 제시금액에 대해 ‘아니오’ 라고 응답한다면 첫 번째 제시금액의 1/2 배 금액을 제시하였다.

##### 3.1.3 표본설계와 설문조사 방법

해양바이오에너지 개발 및 도입에 따른 온실가스 저감의 경제적 편익 추정을 위한 설문조사는 2012년 12월 초부터 중순에 걸쳐 조사 전문기관인 리서치프라임의 주관으로 실시되었으며, 조사대상은 서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산, 경기 지역에 거주하는 소득이 있는 가구의 세대주 또는 세대주 배우자만을 대상으로 한정하였다. 또한, 응답자의 이해를 돕기 위해 해양바이오에너지사업에 관한 사진과 자료들을 보기카드로 제시하였다.

한편, 본 연구는 설문에 많은 비용이 소요된다는 단점에도 불구하고 설문에 대한 응답자들의 이해와 응답률을 높이기 위해 일대일 개별 면접방식을 채택하였다. 면접에는 많은 시장조사 경험을 가진 면접 조사원이 투입되었지만 본 조사의 특성과 어려움을 감안하여 조사원들에게 설문내용과 보조자료 사용법 등의 교육을 실시하였다.

### 3.2 CVM추정모형

#### 3.2.1 효용격차모형

Hanemann[1984]의 효용격차모형을 이용하면 양분선택형 조건부 가치추정(DC-CVM: dichotomous choice contingent valuation method) 자료로부터 각 개인의 Hicks적 보상잉여를 도출할 수 있다. 응답자가 자신의 효용함수를 정확하게 알고, 주어진 화폐소득과 개인의 특성들에 근거하여 해양바이오에너지 개발사업으로 인하여 느끼는 효용은 간접효용함수( $v(j,y;s)$ ,  $y$ : 소득,  $s$ : 개인의 관찰 가능한 특성들)로 표현된다. 한편 연구자가 직접 관측할 수 없는 부분이 존재하므로 확률적 성분도 갖게 되어 응답자의 효용함수는 다음과 같이 표현된다.

$$u(j,y;s) = v(j,y;s) + \varepsilon_j, \\ j = 0, 1, \varepsilon_j \sim i.i.d.(0, \sigma^2) \quad (1)$$

여기서 1과 0은 각각 해양바이오에너지 개발 및 도입 여부를 나타낸다. 만약 응답자가 “해양바이오에너지 개발 및 도입을 위하여 금

액을 지불할 의사가 있는가?” 라는 질문에 대해 ‘예’ 라고 응답하는 경우, 효용함수는  $u(1, y-A; s) \geq u(0, y; s)$ 이다. 즉, 해양바이오에너지를 개발 및 도입하지 않는 상태에서 누리는 효용보다 소득의 감소에도 불구하고 해양바이오에너지를 개발하고 도입함으로써 얻는 효용이 더 커짐을 의미한다. 이는 다시  $u(1, y-A; s) + \varepsilon_1 \geq v(0, y; s) + \varepsilon_0$ 로 나타낼 수 있고, 변형하면 식 (2)와 같은 효용격차함수로 나타낸다.

$$\Delta v = v(1, y-A; s) - v(0, y; s) \geq \varepsilon_0 - \varepsilon_1 = \eta \quad (2)$$

$\eta$ 는  $\varepsilon_0 - \varepsilon_1$ 이며 효용격차의 분포를 정형화하기 위한 확률변수이다. 각 응답자는 해양바이오에너지 개발 및 도입을 통해 얻을 수 있는 간접효용의 증가분( $\Delta v$ )이 양(+)이면 ‘예’ 라고 답하고 제시금액의 지불에 대해 동의하는 것으로 개인의 효용을 증가시킬 것이다. 따라서 응답자가 ‘예’라고 응답을 할 확률은 다음의 식 (3)과 같다.

$$\Pr(\text{Yes}) = \Pr(\Delta v \geq \eta) = F_\eta(\Delta v) \quad (3)$$

$F_\eta(\cdot)$ 는 확률변수  $\eta$ 의 누적분포함수이다. 그런데 응답자가 실제로 지불의사질문에 대해 ‘예’ 라는 응답을 하였다면 확률변수인 지불의사액  $C$ 에 대하여  $\Pr(\text{Yes}) = \Pr(A \leq C) = 1 - G_c(A)$  임을 의미한다. 따라서  $\eta$ 의 누적분포함수는 다음의 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서  $G_c(A)$ 는 확률변수  $C$ 의 누적분포함수이며,  $A$ 는 제시된 금액이다

$$F_\eta(\Delta v) = 1 - G_c(A) \quad (4)$$

Hanemann[1984]의 지적에 따르면 식 (4)는 확률효용이론의 맥락에서 효용극대화 응답으로 해석될 수 있고,  $G_c(\cdot)$ 는 개인의 참 최대 WTP의 누적분포함수가 된다. 결국, WTP 모형을 추정한다는 것은 누적분포함수  $G_c(\cdot)$ 의 모수를 추정하는 것을 의미한다.

### 3.2.2 단일경계 모형

실증연구에서 가장 널리 사용되고 있는 효용격차모형은 단일경계 모형의 경우 Hanemann[1984]에 근거한다.  $N$ 명의 응답자에 대해 단일경계 모형의 경우 로그-우도함수는 다음과 같이 표현된다.

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \{ I_i^Y \ln[1 - G_c(A_i)] + I_i^N \ln G_c(A_i) \} \quad (5)$$

여기서  $I_i^Y$  및  $I_i^N$ 은 다음과 같이 정의되는데,  $1(\cdot)$ 은 인디케이터함수로서 괄호 안의 내용이 참이면 1의 값을 가지며 거짓이면 0의 값을 가진다.

$$\begin{cases} I_i^Y = 1(\text{i번째 응답자의 응답이 '예'}) \\ I_i^N = 1(\text{i번째 응답자의 응답이 '아니오'}) \end{cases} \quad (6)$$

### 3.2.3 이중경계 모형

이중경계 모형은 Hanemann *et al.* [1991]에 근거한다. 번째 응답자는 첫 번째 제시금액( $A_1$ )을 지불할 지 여부에 대해 ‘예’ 혹은 ‘아니오’로 응답한다. ‘예’ 라고 응답한 응답자에게 제시되는 두 번째 금액과 ‘아니오’ 라고 응답한 응답자에게 제시되는 두 번째 금

액은 각각  $A_1^H$  및  $A_1^L$ 로 표시한다. 아울러 WTP 질문에 대한 응답을 간단하게 나타내기 위해 다음과 같이 몇 가지 변수를 더 정의한다.

$$\begin{cases} I_i^{YY} = 1(\text{i번째 응답자의 응답이 '예-예'}) \\ I_i^{YN} = 1(\text{i번째 응답자의 응답이 '예-아니오'}) \\ I_i^{NY} = 1(\text{i번째 응답자의 응답이 '아니오-예'}) \\ I_i^{NN} = 1(\text{i번째 응답자의 응답이 '아니오-아니오'}) \end{cases} \quad (7)$$

앞서 언급하였듯이,  $1(\cdot)$ 은 인디케이터함수로서 괄호 안의 조건이 만족되면 1의 값을 취하고 만족되지 않으면 0의 값을 갖는다. 예를 들어,  $I_i^{YY}$ 는  $i$ 번째 응답자의 응답이 ‘예-예’ 이면 1이고, 아니면 0의 값을 취한다. 이제 효용극대화를 추구하는 응답자  $N$ 명의 표본을 가정할 경우  $i$ 번째 응답자의 응답결과를 구분하여 다음과 같이 로그-우도함수를 구성할 수 있다.

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \left\{ I_i^{YY} \ln[1 - G_c(A_i^H)] + I_i^{YN} \ln[G_c(A_i^H) - G_c(A_i)] + I_i^{NY} \ln[G_c(A_i) - G_c(A_i^L)] + I_i^{NN} \ln G_c(A_i^L) \right\} \quad (8)$$

### 3.2.4 스파이크모형

응답자들은 영(0)의 WTP를 가질 수 있다. 하지만 기존의 통상적 선형모형은 영(0)의 WTP가 존재하는 사실을 모형 내에 명시적으로 반영하는 것이 어렵다. 왜냐하면 WTP의 분포함수는 연속이므로 특정 점, 즉 0에서의 점질량(point mass)은 0이기 때문이다. 아울러 제시금액에 대해 ‘아니오’란 응답이 많은 경우에는 평균 WTP 추정값이 음수이면서 통계적으로 유의하게 추정되어 후생분석이 불가능한 경우가 왕왕 발생하며, 본 연구에서 사용한 자료에서도 이러한 상황이 발생하였다. 후술하겠지만 응답자의 50%는 지불의사가 전혀 없다고 응답하였다. 이러한 경우에는 Yoo and Kwak [2002]에서 논의되었듯이 스파이크 모형의 적용이 유용하다. 스파이크 모형은 영(0)의 WTP를 명시적으로 반영할 수 있는 장점을 가진다. 물론 스파이크 모형 이외에도 혼합모형 등 다른 모형의 적용이 가능하긴 하지만 본 논문에서는 적용이 가능한 여러 모형 중에서 스파이크 모형을 적용하고자 한다. 스파이크 모형의 적용을 위해서는 영(0)의 WTP를 식별할 수 있어야 하므로, 첫 번째 질문에 하한 제시금액  $A$ 이 제시된 경우에 대하여 ‘아니오’ 라고 응답한 응답자와 첫 번째 질문에 상한 제시금액  $A^H$ 가 제시된 경우에 대하여 두 번의 질문에서 ‘아니오-아니오’ 라고 응답한 응답자에 대해 단 1원의 지불의사가 있는지 없는지를 물어보는 질문도 포함되어 있다. 이 질문에 대해 “지불할 의사가 있다”고 응답한다면 양의 WTP를 가지며, “지불할 의사가 없다”고 응답한다면 영(0)의 WTP를 가질 것이다.

영(0)의 값을 가진 WTP 자료의 분석을 위해서는 다수의 가구들의 해양바이오에너지 개발사업에 대해 전혀 지불할 의사가 없다는 사실을 고려해야만 한다. 다시 말해서, WTP의 분포는 영(0)의 값을 갖는 응답자 그룹과 양(+)의 WTP를 갖는 응답자 그룹으로 양분되는 것이다. 그러나 제시금액이 1,000원에서 8,000원으로 다양하기 때문에 8,000원을 제시받아 ‘아니오’ 라고 응답한 사람 중에는 1,000원을 제시받았을 경우에는 ‘예’ 라고 응답했을 가능성이 존재한다. 그렇기 때문에 어떤 제시금액에 대해서 ‘아니오’ 라고 응답했다고

무조건 지불의사액을 영(0)으로 분석을 한다면 적지 않은 오류를 범할 수 있다. 통상 양(+)의 값만 가지는 경제변수의 경우는 양(+)의 영역에서만 정의되는 분포를 이용하여 분석하면 되지만, WTP와 같이 영(0)의 값과 양(+)의 값을 함께 가질 수 있는 경제변수의 경우에는 정형화(specification)에 있어서 어려움이 존재한다.

이러한 영(0)의 WTP 자료를 처리하기 위해 본 연구에서는 Kristrom[1997] 및 Yoo and Kwak[2002] 등이 제안한 스파이크 모형 활용하였다.

단일경계 스파이크 모형 및 이중경계 스파이크 모형에 대한 로그우도함수는 다음과 같다.

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \ln \left\{ \begin{aligned} &I_i^Y [1 - G_C(A_i)] \\ &+ (I_i^{NY} + I_i^{NNY}) [G_C(A_i^L) - G_C(0)] + I_i^{NNN} G_C(0) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \left\{ \begin{aligned} &I_i^{YY} \ln [1 - G_C(A_i^H)] + I_i^{YN} \ln [G_C(A_i^H) - G_C(A_i)] \\ &+ I_i^{NY} \ln [G_C(A_i) - G_C(A_i^L)] \\ &+ (I_i^{NY} + I_i^{NNY}) [\ln G_C(A_i^L) - G_C(0)] + I_i^{NNN} \ln G_C(0) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

이 때 스파이크는  $1/\ln[1+\exp(a)]$ 로 정의되며 표본에서 영의 WTP를 갖는 응답자의 비중을 의미한다. 한편 평균값 WTP는 다음과 같이 추정된다.

일반적인 WTP 모형에서 제시금액에 대한 ‘아니오-아니오’와 ‘아니오’ 응답은 영(0)의 WTP와 하한 제시금액  $A^L$ 보다 작은 양의 WTP로 구분되므로,  $I_i^{NY}$ 와  $I_i^{NNY}$ 은,  $I_i^{NY}$ 와  $I_i^{NN}$ ,  $I_i^{NNY}$ 와  $I_i^{NNN}$ 으로 세분화된다.

$$\begin{cases} I_i^{NY} = 1(\text{i번째 응답자의 응답이 '아니오-에'}) \\ I_i^{NN} = 1(\text{i번째 응답자의 응답이 '아니오-아니오'}) \\ I_i^{NNY} = 1(\text{i번째 응답자의 응답이 '아니오-아니오-에'}) \\ I_i^{NNN} = 1(\text{i번째 응답자의 응답이 '아니오-아니오-아니오'}) \end{cases}$$

WTP의 누적분포함수를  $G_C(\cdot; \theta)$ 라 하고 이를 로지스틱(logistic)함수로 가정하여 스파이크 모형을 구성하면 평균값 WTP를 추정할 수 있다. 스파이크 모형에 있어서,  $\theta = (a,b)$ 일 때 WTP의 누적분포함수는 식 (11)과 같이 정의 된다.

$$G_C(A; \theta) \begin{cases} [1 + \exp(a = bA)]^{-1} & \text{if } A > 0 \\ [1 + \exp(a)]^{-1} & \text{if } A = 0 \\ 0 & \text{if } A < 0 \end{cases} \quad (11)$$

$$\overline{WTP} = (1/b) \ln[1 + \exp(a)]$$

### 4. 분석결과

#### 4.1 응답의 분포

본 연구에서는 응답자들을 초기 제시 금액에 따라서 총 8개 그룹으로 구분하여 WTP 응답을 유도하였다. 응답유형은 단일경계 모형 및 스파이크 모형으로 추정할 때에는 ‘예’, ‘아니오-에’, ‘아니오-아니오’의 3개로 구분된다. 단일경계 모형의 각 응답유형별 응답의 분포 정보는 Table 2에 제시되어 있다. 본 연구에서는 이중경계 형태로 설문을 진행하였으나, 추정은 단일경계 모형으로 진행하였다. 이는 이중경계 모형은 단일경계 모형에 비해 통계적 효율성은 크게 개선되지만 편이가 발생할 가능성이 커지기 때문이다. 또한 통계적 효율성보다는 편이의 최소화가 더 중요할 수 있다는 공감대가 형성되면서 단일경계 모형이 보다 널리 적용되고 있다. 이중경계 모형의 경우 단일경계 모형에 비해 평균 WTP를 과소하게 추정한다는 의견 또한 존재한다. 이러한 이유로 본 연구에서는 단일경계모형과 스파이크모형의 추정결과만을 제시하였다.

각 제시금액에 따라서 87명~88명으로 그룹을 나누어 설문을 진행하였으며, 총 700개의 유효한 응답을 얻었으며, 제시 가격이 높아질수록 지불의사에 대한 질문에 Yes로 응답한 응답자의 수는 감소하는 것으로 나타났다. 단, NOAA의 보고서에서는 표본의 수가 최소 1,000명 이상이 되어야 한다고 제시하였음에 비교하였을 때 본 연구의 표본 수는 이에 미치지 못하고 있으나, 많은 선행연구들의 표본 수와 비교해 봤을 때 본 연구에서 선정한 표본의 수는 분석을 하는데 큰 문제가 없는 것으로 판단하였다. 설문을 진행하여 분석을 할 수 있는 유효 표본수는 분석을 하기에 충분하였으며, 본 자료는 여론조사 전문기관의 과학적 표본추출 및 숙련된 조사원들을 통해 수집되었기에 어느 정도의 신뢰성을 확보한다고 판단되어 이후의 분석을 진행하였다.

**Table 2.** Distribution of responses by bid amount (Single Bounded with Spike)

Bid			Sample Size	Yes	No		A+B
First	Lower	Higher			Yes (A)	No (B)	
1,000	500	2,000	87	54	5	28	33
2,000	1,000	4,000	88	47	9	32	41
3,000	1,500	6,000	88	28	15	45	60
4,000	2,000	8,000	87	28	15	44	59
5,000	2,500	10,000	87	21	21	45	66
7,000	3,500	14,000	88	14	21	53	74
10,000	5,000	20,000	87	15	25	47	72
13,000	7,500	26,000	88	13	19	56	75
Total			700	220	130	350	480

**Table 3.** Estimation results of the spike model

Variables	Estimated value ( <i>t</i> -value)
	Single Bounded
Constant	-0.0759 (-0.19)
Bid	0.1637 (13.17)**
Spike	0.5036 (26.54)**
Number of observations	700
Log-likelihood	-689.5564
Wald statistic	704.4650
( <i>p</i> -value)	(0.0000)
Mean WTP	KRW 4,190 (12.55)**
95% confidence interval	KRW 3,686~4,801
99% confidence interval	KRW3,606~4,920

주: Wald 통계량은 추정되어야 할 모수의 값이 모두 '0'이라는 가설 하에서 계산된 것이다. 추정치 아래의 괄호 안에 있는 숫자는 *t*값이다. \*\*는 유의수준 5%에서 통계적으로 유의함을 나타낸다.

주: 평균 WTP의 표준오차는 델타법(delta method)을 이용하여 계산되었다. 평균 WTP의 신뢰구간은 Krinsky and Robb(1986)에 제시된 몬테칼로 모의실험 기법을 이용하여 계산하되 표본추출의 횟수는 5,000 회로 하였다.

### 4.2 WTP모형 추정 결과

#### 4.2.1 공변량을 포함하지 않은 경우

식 (11)의 모수를 추정한 결과는 Table 3에 요약되어 있다. Wald 통계량으로 볼 때, 추정방정식에 있는 모든 추정계수들의 값이 0이라는 귀무가설은 유의수준 5%에서 기각되며, 단일경계 모형의 스파이크는 0.5036으로서 유의수준 5%에서 통계적으로 유의하고 응답자가 실제로 영(0)의 WTP를 밝힌 비중은 50%로서 스파이크의 값은 영(0)의 WTP를 밝힌 표본 비율과 유사함을 알 수 있다. 따라서 스파이크 또한 적절하게 추정되었다.

공변량을 포함하지 않은 스파이크 모형의 추정결과와 평균 WTP의 추정결과는 Table 3에 제시되어 있으며 분석결과 전체 가구당 평균 지불의사액은 단일경계로 분석하였을 때 4,190원이었다.

#### 4.2.2 공변량을 포함한 경우

본 연구에서는 응답자 또는 가구가 갖는 특성들이 해양바이오에너지 개발사업에 대한 지불의 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 있다. 응답자 중에서 11명이 50세 이상인 것으로 나타났으며, 평균나이는 41세로 나타났다.

공변량을 포함한 모형의 추정결과는 Table 5에 제시되어 있다.

**Table 4.** Definitions and sample statistics of variables

Variables	Definitions	Mean	Standard deviation
Income	Total monthly household income before tax deduction (KRW 10,000)	410.60	245.94
Age	Age of the respondent (number of years)	40.75	4.36

**Table 5.** Estimation results of spike model with covariates

Variables	Estimates ( <i>t</i> -value)
	Single Bounded
Constant	-4.2796 (-3.70)**
Income	0.3920 (2.17)**
Age	-1.4398 (-1.83)*
Bid	0.1683 (13.20)**
Number of observations	700
Log-likelihood	-677.69
Wald statistic	206.31
( <i>p</i> -value)	(0.0000)

주: Wald 통계량은 추정되어야 할 모수의 값이 모두 '0'이라는 가설 하에서 계산된 것이고, *t*-value의 \*\*는 유의수준 5%에서, \*는 유의수준 10%에서 통계적으로 유의함을 나타낸다.

추정결과에 따르면, 상수, 세전 가구소득에 대한 계수만이 5% 유의수준에서 유의하였으며 응답자 나이에 대한 계수에서는 음(-)의 부호를 갖으면서 10% 유의수준에서 유의한 것으로 나타났는데, 이는 나이가 많을수록 제시금액에 '예' 라고 응답하지 않을 확률이 높다는 것을 의미한다.

### 4.3 해양바이오에너지 개발사업으로의 가치 확장

해양바이오에너지 개발사업의 가치 연구를 수행하는 중요한 목적 중에 하나는 표본정보를 이용하여 모집단 전체의 편익을 추정하는 것이다. 즉, 서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산, 경기 지역의 700가구는 표본에 대해 도출된 정부를 활용하여 조사대상 지역 모집단 전체로 확장하는 작업이 마지막 단계에서 요구된다. 일단 WTP의 평균값을 구하고 나면 다음 단계로 총 가치를 구할 필요가 있다. 즉, 표본의 값을 모집단 전체로 확장하는 것이다. 이때 중요한 것은 표본의 대표성 및 응답률이다. 첫째, 과연 표본이 모집단을 제대로 반영하고 있는지 여부를 따져봐야 한다. 앞서 언급하였듯이, 본 연구에서는 상당한 예산이 소요됨에도 불구하고 국내 유수의 전문 조사기관에 의뢰하여 과학적인 표본추출 및 조사를 하고자 하였다. 아울러 설문대상자도 가구 내에서 책임 있는 의사결정을 할 수 있는 만 20세 이상 65세 이하의 세대주 또는 세대주의 배우자로 한정하였다. 따라서 조사대상 지역 전체 가구의 의견을 잘 반영하고 있으며, 가상 시장을 이용했다 하더라도 책임 있는 정보를 도출했다고 볼 수 있다. 따라서 표본의 정보를 모집단으로 확장하는데 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 없다면 표본의 대표가구에 대해 추정된 WTP에 모집단의 가구 수를 곱하면 표본의 정보를 모집단으로 확장할 수 있다. 여기서 가구 수는 통계청에서 산정한 2010년도 인구주택총조사 자료(서울: 3,577,497, 부산: 1,251,756, 대구: 873,934, 인천: 929,489, 광주: 518,742, 대

전: 536,297, 울산: 377,938, 경기: 3,908,059, 총: 11,973,712)를 이용할 수 있다. 단일경계 spike모형으로 추정된 값을 이용하여 계산을 해 보면 연간 501억 6,985만원의 경제적 편익을 창출하는 것으로 나타났다.

선행연구로 제시한 김혜민[2012]의 연구와 본 연구와의 유사점을 고려하여 결과를 비교해 볼 수 있다. 김혜민[2012]의 지불의사액 추정 결과는 평당 26,912원으로 나타났다. 이는 김혜민[2012]의 연구에서는 지불방법을 주택가격에 추가로 1회 지불하는 것으로 하였기 때문인 것으로 보이며, 이에 반해 본 연구에서는 소득세를 통한 매년 1회 총 5년간 지불하는 것으로 조사를 진행하였기 때문에 지불의사액의 크기만을 비교하기는 무리가 있을 것이라 생각된다.

## 5. 결 론

경제발전과 산업발달에 따른 환경문제가 심각해지면서 화석연료를 대체할 신재생에너지 개발의 필요성이 대두되고 있다. 대안으로 제시되고 있는 해양조류 또는 미세조류를 광합성을 이용하여 에너지를 생산하는 3세대 해양바이오에너지는 유일한 해결책으로 식용식물과 경쟁하지 않으면서 환경과 에너지 문제를 동시에 해결하는 큰 장점을 갖고 있다. 이러한 추세에 맞추어 우리나라도 제3차 신재생에너지 기술개발 및 이용보급 기본계획의 일환으로 해양바이오에너지 개발사업을 추진하고 있다. 동 사업은 공공재이면서 환경재로서 성격을 가지고 있기 때문에 경제적 편익을 추정할 필요가 있다. 이러한 배경하에서 본 연구에서는 CVM을 이용하여 온실가스 저감에 대한 환경편익을 추정하고자 하였다.

본 연구에서는 온실가스 저감의 환경편익에 대한 효율적이고 정확한 연구결과의 도출을 위하여 단일경계 모형과 영(0)의 WTP를 보다 명시적으로 반영할 수 있는 장점을 가진 스파이크 모형을 결합하였다. 아울러 CVM을 적용하는데 있어서 여러 가지 지침에 근거한 설문설계, 최근에 개발된 표본설문조사 표집기법 및 인터뷰 기법의 운용 등 특별하게 요구되는 여러 가지 조건들을 충분히 만족시키면서 본 연구가 수행되었다.

분석결과 단일경계 스파이크 모형으로 추정된 값을 이용하여 계산된 경제적 편익은 매년 501억 6,985만원으로 추정되었다.

한편 본 연구는 학술적 측면에서 중요한 의미를 가진다. 해양바이오에너지사업은 막대한 예산의 투입에 대한 정책적 판단이 수반되어야 하는 공공재적 사업으로서 처음으로 온실가스 저감에 대한 환경편익의 추정을 하였던 바 의미 있는 결과를 도출하였다.

본 연구결과와 방법은 향후 해양바이오에너지 개발사업은 물론 유사한 정책의 타당성 분석에 응용이 가능할 것이며 공공의 이익에 부합하는 관련 사업에 유용한 정보를 제공해 줄 것으로 기대된다.

## 후 기

이 연구는 경상북도의 “해수자원화사업”(PG47690&PG47910, 한국해양과학기술원)의 연구비 지원을 받아 수행하였습니다.

## 참고문헌

- [1] Barry, D. and Nicholas, H., 2009, “Valuing climate protection through willingness to pay for biomass ethanol”, *Ecological Economics*, Vol. 68, 2137-2144.
- [2] Bishop, R. and Heberlein, T., 1979, “Measuring Values of Extramarket Goods: Are Direct Measures Biased?”, *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 61, 926-930.
- [3] Hanemann, W.M., 1984, “Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Responses”, *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 66, 332-341.
- [4] Hanemann, W.M., Loomis, J. and Kanninen, B., 1991, “Statistical efficiency of double-bounded dichotomous choice contingent valuation”, *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 73, 1255-1263.
- [5] Hite, D., Duffy, P., Bransby, D. and Slaton, C., 2008, “Consumer willingness-to-pay for biopower: Results from focus group”, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 32, No. 1, 11-17.
- [6] Hong, S.P. and Kim, J.H., 1996, “Economic Valuation of Air Quality Using Contingent Valuation Method”, *Environmental and Resource Economics Review*, Vol. 7, 243-270.
- [7] Jang, D.H., Kang, G.M., Chae, K.Y., Kim, S.J., Jo, M.J., Cha, J.M. and Ham, H.K., 2013, “Long-term Outlook and Implications of the Marine Biotechnology Market in Korea and Abroad”, *Ocean and Polar Research*, Vol. 35, No. 2, 1-13.
- [8] Jo, Y.S., 2003, “Estimating the Economic Benefits of Air Quality Improvements on Mortality”, *Environmental Policy*, 2003, Vol. 11, 29-53.
- [9] KDI (Korea Development Institute), 2008, “A Study on General Guidelines for Pre-feasibility Study (5th Edition)”.
- [10] Kim, C.S., Lee, S.H., Jeong, S.O., Yeo, J.H., Lee, S.S., 2010, “Estimating Ancillary Benefits of GHG Reduction Using Contingent Valuation Method”, *Journal of Agriculture & Life Science*, Vol. 44, 89-97.
- [11] Kim, H.M., 2012, “Two Essays on Energy Economics and Policy (Causality Analysis of Coal Consumption and Economic Growth in Indonesia and Measurement of the Economic Benefits from Switching Fossil-fuel Energy to Biomass Energy in Residential Sector)”, *Seoul National University of Science and Technology*.
- [12] Kim, T.Y., Jin, S.J., Park, S.H. and Pyo, H.D., 2013, “The Economic Impacts of Marine Bio-energy Development Project”, *Journal of Energy Engineering*, Vol. 22, No. 2, 1-7.
- [13] Kim, T.Y., Kwak, S.J. and Um, M.J., 1998, “Estimation of the Value of Reduced Morbidity in Seoul; Willingness-to Pay Approach”, *Environmental and Resource Economics Review*, Vol. 1, 39-54.
- [14] Kim, Y.S., Lee, Y.J., Park, H.S., Nam, J.M., Kim, J.H. and Shin, D.C., 2003, “Estimation of Willingness to Pay for Reduction of Environmental Mortality Risk”, *Environmental Health and Toxicology*, Vol. 18, 1-13.



- [15] Krinsky, I. and Robb, A., 1986, "On approximating the statistical properties of elasticities", *Review of Economics and Statistics*, Vol. 68, 715-719.
- [16] Kriström, B., 1997, "Spike models in contingent valuation", *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 79, 101-323.
- [17] Lee, H.C., Jung, H.S. and Kim, T.Y., 2004, "Valuation of Air Quality in the Metropolitan Seoul", *Environmental and Resource Economics Review*, Vol. 13, 387-417.
- [18] Lee, J.H. and Noh, Y.H., 2010, "Economic Valuation of Tidal Power Plant Project in Incheon Bay: CVM and IO Approaches", *Korean Energy Economic Review*, Vol. 9, 43-82.
- [19] Lee, S.G. and Yoo, C.K., 2007, "Analyzing the Determinants of Willingness to pay for Marina Tourism", *Korea Tourism Research Association*, Vol. 22, 77-93.
- [20] Lee, Y.J., Kim, Y.S., Sin, D.C. and Sin, Y.C., "A Study on Developing a Model for Cancer Damage Cost Due to Risk from Benzene in Ulsan Metropolitan City", *Environmental and Resource Economics Review*, Vol. 13, 49-84.
- [21] Mitchell, R.C. and Carson, R.T., 1989, "Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Method", Baltimore, John Hopkins University Press.
- [22] Pyo, H.D. and Chae, D.Y., 2004, "Estimating the Economic value of Ecotourism in Anmyeondo Tidal Wetlands Using the Contingent Valuation Method", *Ocean and Polar Research*, Vol. 26, No. 1, 77-86.
- [23] Pyo, H.D., Park, C.H. and Choo, J.W., 2010, "Estimating Willingness-to-pay for the Tap Water Quality Improvement in Busan Using Contingent Valuation Method", *Pukyong National University*.
- [24] Pyo, H.D., Park, C.H. and Choo, J.W., 2011, "Estimating Willingness to Pay for the Tap Water Quality Improvement in Busan Using Nonparametric Approach", *Korea Water Resources Association*, Vol. 44, No. 2, 125-134.
- [25] Shin, Y.C. and Jo, S.H., 2003, "Estimating the Willingness to pay and the value of a statistical life for future mortality risk reduction: (the) value of a statistical life for assessing environmental damage and policies", *Environmental and Resource Economics Review*, Vol. 12, 49-75.
- [26] Solino, M., Farizo, B.A., Vazquez, M.X. and Prada, A., 2012, "Generating electricity with forest biomass: Consistency and payment timeframe effects in choice experiments", *Energy Policy*, Vol. 41, 798-806.
- [27] Solino, M., Prada, A. and Vazquez M.X., 2010, "Designing a forest-energy policy to reduce forest fires in Galicia (Spain): A contingent valuation application", *Journal of Forest Economics*, Vol. 16, No. 3, 217-233.
- [28] Statistics Korea, Population and Housing Census 2010, Available at <http://www.census.go.kr>.
- [29] Yoo, S.H. and Kwak, S.J., 2002, "Using a spike model to deal with zero response data from double bounded dichotomous choice contingent valuation surveys", *Applied Economics Letters*, Vol. 9, 929-932.
- [30] Yoo, S.H., Kwak, S.J. and Kim T.Y., 1998, "Valuing Air Quality of Seoul: Contingent Valuation Method Based on Multi-Attribute Utility Theory", *Environmental and Resource Economics Review*, Vol. 7, 243-270.

---

2013년 7월 16일 원고접수

2013년 8월 16일 심사수정일자

2013년 8월 19일 게재확정일자