

비모수추정법에 의한 부산시 가정용수 수질개선에 대한 지불의사액 추정

Estimating Willingness to Pay for the Tap Water Quality Improvement in Busan Using Nonparametric Approach

표 희 등* / 박 철 형** / 추 재 욱***

Pyo, Heedong / Park, Cheol-Hyung / Choo, Jae Wook

Abstract

The paper is to estimate willingness-to-pay (WTP) for residential water quality improvement in Busan, using non-parametric approach. There are several significant advantages of non-parametric approach, compared to parametric methods. That is, no probability distribution assumption is necessary so that there are no needs to assume or test goodness of fit, model specification and heteroscedasticity statistically. For the reliability and the validity of contingent valuation method a survey was conducted for 665 respondents, who were sampled by stratified random sampling method, by personal interview method. The result of mean WTP for residential water quality improvement in Busan was estimated to be 3,190 won to 3,331 won per month per household, while median WTP being 1,750 won. Provided that our sample is broadly representative of the Busan's population, an estimate of the annual aggregated benefit of residential water improvement for all Busan households is approximately 50.2 billion won in case of mean WTP or 27.5 billion won in case of median WTP.

Keywords : contingent valuation method, non-parametric approach, residential water quality improvement, willingness-to-pay (WTP)

요 지

이 논문은 비모수추정법에 의한 조건부가치측정법을 이용하여 부산시 가정용수 수질개선에 대한 지불의사액을 추정하는 것이다. 이와 같은 연구는 생활용수를 관리하는 정책입안자들에게 수질개선에 따른 경제적 편익의 정보를 제공하고, 부산시의 생활용수 개선사업을 수행여부나 수행규모를 결정하는데 있어서 유용한 정보와 시사점을 제공할 수 있다. 비모수추정법은 모수추정법에서 가정되는 모형분포의 적합도, 모형설정, 이분산 등의 가정과 검정이 필요 없을 뿐만 아니라 비교적 추정이 용이하고 보수적 추정을 할 수 있는 장점이 있다. 이 논문은 조건부가치측정법의 신뢰성과 타당성을 확보하기 위해서 층화된 무작위표본추출법에 의한 개인면접방법을 통하여 665개의 표본을 선정하였다. 추정결과 가정용수 수질개선에 대한 부산시 가구당 월 평균 지불의사액은 2009년 기준 3,190원에서 3,331원이고, 중앙값은 가구당 월 1,750원으로 추정되었다. 부산시민 전체의 가정용수 수질개선에 대한 연간 경제적 편익은 평균WTP를 적용할 경우 502 억원, 중앙값 WTP를 적용할 경우 275억원으로 추산되었다. 이와 같은 연구결과는 상수도 수질정책의 시행여부를 결정하는 비용편익분석이나 다양한 생활용수 수질개선정책에 있어서 편익의 유용한 정보로 활용할 수 있다.

* 교신저자, 부경대학교 해양산업경영학과 교수 (e-mail: pyoh@pknu.ac.kr)

Corresponding author, Professor, Pukyong National University, 599-1 Daeyeon 3-dong, Nam-gu, Busan 608-737, Korea

** 부경대학교 경제학부 교수

*** 부경대학교 대학원 자원경제학과 졸업

1. 서론

1972년 UN 인간환경회의에서 수자원의 문제가 국제사회에 처음 소개되었다. 하지만 이는 전반적인 환경문제에 관한 국제회의로서 수자원문제가 폭 넓게 다루어지지 못했다. 그 이후 1977년의 UN 물 회의에서는 1981~1990년을 “국제 음용수공급 및 하수처리 10개년 계획”으로 선언하고, UN 총회에서는 이를 승인하였으나 그 성과 또한 미진하였다. 1992년 1월 아일랜드 더블린에서 열린 국제물 환경회의 및 1992년 6월 브라질의 리오테자네이로에서 열린 UN 환경개발회의를 시작으로 “환경적으로 건전한 수자원관리”라는 국제적 공감대가 형성되기 시작하였다. 그 이후 수자원에 대한 국제적 관심이 증폭되면서 1992년 11월 제47차 UN 총회에서 매년 3월 22일을 “세계 물의 날”로 제정·선포하기에 이르렀다. 이는 점차 심각해지는 물 부족과 수질 오염을 방지하기 위해 각종 회의, 전시회, 홍보물 제작 등 여러 가지 수자원 관련 행사를 통하여 세계 각국의 동참을 요청하고, 세계 물포럼(World Water Forum)과 같은 다양한 행사를 마련함으로써 수자원에 대한 국제적 인식을 증가시키고자 하는 목적이었다.

특히 수자원에 대한 국제적 관심을 증폭시킬 수 있었던 더블린 선언에서는 “물은 모든 경쟁적 이용에서 경제적 가치를 가지고 있으며, 물은 반드시 경제재로 인식되어야 한다(Water has an economic value in all its competing uses and should be recognized as an economic good)”라는 문구가 포함되어 있다. 이는 수자원관리에 있어서 단순히 일반적인 시장경제적 방법을 적용하도록 주장하지는 않았다. 그 이유는 수자원의 외부효과 발생, 공공재의 성격 그리고 한계비용 감소 등과 같은 시장실패를 인정할 수밖에 없기 때문이다. 여기서 중요한 시사점은 수자원의 분배정책이 경제적 가치평가에 의해 분석되어야 함을 의미하는 것이다. 이는 과거의 공급관리중심의 수자원관리와 더불어 수요관리에 대한 중요성을 강조함을 의미한다. 특히 수요자들에 대한 분석을 통해 수요자의 요구와 소비 행태를 통해 장기수요를 예측함으로써 효율적인 수자원 관리를 달성하는 것이다. 이와 더불어 수요관리의 접근 중 가장 중요한 과제라 할 수 있는 수자원에 대한 가치의 인식과 추정에 대한 연구 또한 진행되고 있다.

우리는 수자원에 대한 가치의 인식과 추정을 위해 수요자의 용도별 상대적 희소성을 고려해 볼 필요가 있다.¹⁾

1) 일반적인 경제재는 시장가격이 자원의 상대적인 희소성을 말해주는 신호역할을 한다.

이는 공급자 측면만을 고려한 물관리가 아니라 수요자 측면을 동시에 고려하여 수자원의 사회적 가치 및 상대적인 희소성을 고려한 물관리를 위해 수자원의 가치추정이 중요한 의미를 가진다(한국수자원공사, 2007).

이와 같은 수자원은 용도에 따라 크게 생활용수,²⁾ 농업용수, 환경용수 및 레크레이션 용수, 공업용수 등이 있으며 본 연구에서는 생활용수 중 가정용수의 가치추정을 주 내용으로 다룬다. 생활용수의 가치에 대한 연구는 크게 개별 혹은 집계된 자료를 이용한 생활용수 수요의 가격탄력도 분석과 생활용수의 질적 혹은 양적인 변화에 대한 소비자의 지불의사 추정으로 나눌 수 있다. 전자는 용수수요 패턴의 분석 및 용수수요 추정 등에 일반적으로 이용되는 방법이며, 후자는 정부 혹은 물 공급기관이 서비스의 질적 개선 등에 대한 잠재적인 지불의사를 추정하여 사회적 비용과 편익을 비교하는 수단으로 이용된다. 특히 후자인 지불의사 추정은 대부분 집계된 자료(aggregate data) 보다는 개별가구에 대한 조사자료(individual data)를 이용하기 때문에 특정지역 소비자들의 의사를 정책에 반영하는데 유용한 자료로 이용될 수 있다(박두호 등, 2006).

조건부가치측정법(Contingent Valuation Method: CVM)은 경제학자와 정책평가자들 사이에서 가장 널리 사용되고 있는 공공재 또는 환경재의 가치추정방법으로 가치를 측정하고자 하는 공공재 또는 환경재와 관련된 지불의사 금액(Willingness-to-Pay: WTP)을 직접 이끌어내는 것이 그 특징이다(Mitchell and Carson, 1989; Arrow et al., 1993). 조건부가치측정법은 서베이를 할 때 가상시나리오를 통해 가상시장(hypothetical market)을 만든다. 특별하게 고안된 설문지는 공공재의 공급수준 변화 또는 환경질 변화에 대한 가상적인 상황을 설정하고 여러 조건을 달아 사람들의 가상적인 상황에 결합시킨다. 이런 조건하에서 응답자들은 환경질의 가상적인 변화에 대해서 어느 정도 지불의사가 있는지를 응답하게 된다. 조건부가치측정법은 그 적용에 있어서도 응용사례가 대단히 많으며, 연구절차는 상당 수준 표준화되어 있다.

2) 현재 우리나라의 경우 상수도 시설을 통해서 공급되는 물을 생활용수라 칭하고 있으며, 지방자치단체의 조례에 따라 생활용수의 구분을 생활용, 공공용, 영업용, 공장용 등 여러 목적과 용도로 나누고 있다. 따라서 도시 내 생활용수라 함은 순수한 가정용의 생활용수만이 아닌 상기와 같은 여러 용도의 용수를 총칭하여 생활용수로 구분하고 있다. 그러나 외국의 경우 우리나라와는 약간 다른 분류체계를 갖고 있는데, 크게 도시용수라 하여 가정 용수, 상업용수, 공공용수, 공업용수를 함께 포함시켜 분류한다. 따라서 엄격하게 생활용수를 구분할 때는 가정용수로만 한정하는 것이 바람직하다.

Houtven et al. (2007)은 meta-analysis를 통하여 미국에서의 수질개선에 대한 경제적 가치평가연구에 대한 분석을 수행하였는데, 1968년에서 2002년 사이에 발행된 논문은 90개에 이르고, 1,014개의 수질개선에 대한 가치 추정이 이루어졌음을 언급하였다. 우리나라에서도 1990년대 초부터 수질개선의 편익에 대한 다양한 연구결과들이 발표되었다. 한강이나 팔당호의 수질개선의 편익을 추정한 연구는 곽승준 (1993), 김도형과 김경환 (1994), 신영철 (1997), 양진우 (1997), 김봉구 등 (2001) 및 유승훈과 홍필기 (2007) 등이 있고, 한강 이외의 지역을 대상으로 한 수질개선의 편익을 추정한 연구 중 낙동강의 경우 황영순 등 (1999)와 이주석 등 (2007), 부산시의 경우 유승훈 (2003), 대구시의 경우 정기호 등 (1997), 울산시의 경우 김재홍 (2001), 원주시의 경우 유승훈 등 (2006) 등이 있다. 한편, 한국수자원공사 (2007)는 서울을 포함한 7대광역시를 대상으로 2005년 1,000개의 설문자료를 분석대상으로 하여 수돗물 수질 개선에 대한 WTP를 추정하였다. 그 결과 수질개선에 대한 전 국민의 평균 WTP는 가구당 월 평균 2,788원이었으며, 연간 약 33,456원으로 추정하고 있다. 이를 전국 규모로 환산하면 약 4,814억원이다.

하지만 WTP를 추정하기 위한 위의 모형은 모수추정법 (parametric approach)에 의해 추정한 것으로 이는 분포에 대한 가정과 모형설정에서 발생하는 오차의 위험성이 상대적으로 높다는 단점이 있다 (Kriström, 1990). 이는 각 함수의 형태는 편익추정을 위한 파라미터들의 다른 변형을 의미하기 때문에 파라미터 추정치의 불안정성은 편익추정치에 있어서의 불안정과 연결된다 (Adamowicz et al., 1989). 따라서 본 연구에서는 선행연구와 같은 모수추정법의 단점을 최소화하기 위하여 비모수추정법 (non-parametric approach)을 이용하여 부산시민의 상수도 수질개선에 대한 지불의사액을 추정할 것이다. 특히, 생활용수의 공급은 지자체 별로 각각의 상이한 수원지에서 취수하여 이뤄지기 때문에 지자체별 수자원의 수요관리목적을 위해 지역적 특성을 고려할 수 있는 자료를 토대로 한 연구가 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 부산시의 지역적 특성을 고려할 수 있는 부산시민만을 한정된 설문조사자료를 토대로 비모수추정법을 이용하여 가정용수의 수질개선에 대한 WTP를 추정한다.

2. CVM과 비모수적 접근방법

설문에 응답하는 사람들에게 가상시장에서 거래되는 재화에 대한 WTP를 직접 질의하는 개방형 가치평가모형 (open-ended valuation model or continuous valuation model)과 달리 이산형 가치평가모형 (discrete valuation

model or close-ended valuation model)은 응답자들에게 주어진 환경질의 변화에 대한 제시된 금액을 수용할 것인지 아니면 거절할 것인지를 질의함으로써 얻은 정보를 이용하여 가치를 평가하는 방법이다. 이와 같은 이산형 가치평가모형은 일반 소비자들이 시장에서 제품구입을 할 때의 가격결정과정과 매우 흡사하다는 점, 그리고 전략적 행동을 줄일 수 있다는 점에서 개방형 가치평가모형에 비해 많은 강점을 가지고 있다 (Loomis, 1987). Bishop and Heberlein (1979)은 최초로 가상시장 하에서 양분선택형 질문 (dichotomous choice question)을 이용하여 재화의 WTP를 추정하였다. 이후 Hanemann (1984)이 확률효용 모형 (random utility model)을 이용함으로써 양분선택형 CVM이 Hicks의 보상수요함수에 의한 후생을 측정하는 이론적 기틀을 제공하였다.³⁾ Hanemann (1984)의 효용격차 모형 (utility difference model)은 각 개인들의 관찰된 분산선택에 대한 응답 (observed discrete choice response)이 효용극대화 과정을 반영한다고 가정한다. 각 응답에 대한 간접효용함수 ν 는 소득, 개개인의 특성 그리고 평가되는 자연자원의 질에 의존한다.

응답자들이 자연자원을 이용하기 위해 증가된 금액을 지불하게 되는 조건은 다음과 같다.

$$\nu(1, m - A; S) + \varepsilon_1 \geq \nu(0, m; S) + \varepsilon_0 \quad (1a)$$

혹은

$$\Delta\nu(A) \equiv \nu(1, m - A; S) - \nu(0, m; S) \geq \varepsilon_0 - \varepsilon_1 \quad (1b)$$

위의 식에서 0은 자연자원이 존재하지 않음을 나타내는 것이고, 상태1은 응답자가 자신이 명시한 금액 (A)을 지불해야할 때 존재하는 것을 나타내며, 소득은 m이다. 응답자의 간접효용함수에 영향을 주는 오차항 ($\varepsilon_0 - \varepsilon_1$)은 평균이 0인 서로 독립적이고 동차적으로 분포된 확률변수 (independent and identically distributed random variables)로 표시되었다. 선호도에 영향을 주는 다른 관측 가능한 속성들은 S로 표시되었고 개별적인 효용격차 모형에서 또한 나타난다.

각 응답자는 만약 자연자원의 계속적인 존재를 통해서 얻을 수 있는 간접효용의 증가분 ($\Delta\nu$)이 (+)이면 'yes'라고 답하고 제시금액에 지불을 동의하는 방식으로 효용을 극대화시킬 것이다. 'yes'라고 응답할 확률은 항등식 (1b)을 이용하여 다음 Eq. (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\Pr(\text{response is "yes"}) = \Pr \Delta\nu(A) \geq \eta = F_{\eta}[\Delta\nu(A)] \quad (2)$$

3) 대안적으로 지출함수의 차이에 초점을 맞춘 양분선택형 CV모형은 Cameron and James (1987)과 Cameron (1988)에 의해 논의되었지만, 양자는 본질적으로 동일하다 (McConnell, 1990).

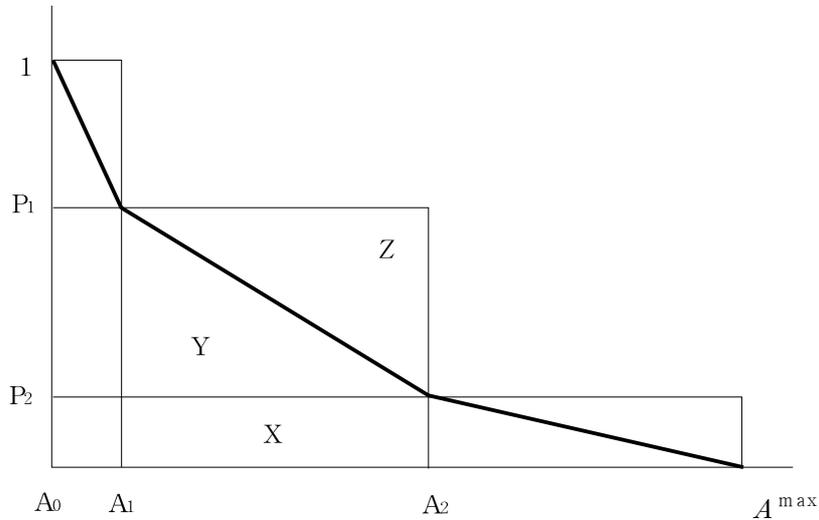


Fig. 1. The Survivor Function Using a Non-parametric Approach

여기서, $\eta = \varepsilon_0 - \varepsilon_1$ 이며, $F_\eta(\cdot)$ 는 $\Delta v \geq 0$ 인 경우에 'yes' 반응이 관찰되고 $\Delta v \leq 0$ 인 경우에 'no' 반응이 관찰되는 η 의 누적분포함수(cumulative distribution function)이다. 이때 WTP는 $G_c(A)$ 로 정의된 누적분포함수를 가진 확률변수가 된다. Eq. (2)에 대한 대안으로 확률분포는 다음 Eq. (3)처럼 표현될 수도 있다.

$$\Pr(\text{response is "yes"}) = \Pr C \geq A \equiv 1 - G_c(A) \quad (3)$$

Eqs. (2) and (3)을 비교하면, 결과적으로 다음 Eq. (4)와 같은 식이 도출된다.

$$1 - G_c(A) \equiv F_\eta[\Delta v(A)] \quad (4)$$

따라서 Eq. (4)를 취급한다는 것은 분포함수 $G_c(\cdot)$ 의 모수를 추정하는 것으로 해석할 수도 있다. 이와 같은 접근방법은 WTP 함수 설정에 있어서 특정분포를 가정하는 모수적 접근방법(parametric approach)으로서 대부분의 양분선택형 CVM 연구에서 채택되는 방식이다. 하지만 CVM 질문은 비모수적 접근방법에서도 이루어질 수 있다. 모수적 접근방법과 달리 비모수적 접근방법은 WTP의 누적분포함수의 함수형태를 가정하지 않고, 대신에 구간선형함수(piecewise linear function)에 의해 추정된다.

이와 같은 비모수적 접근방법은 주어진 제시가격의 지불의사비용에 대해 특정한 분포를 가정하지 않고 WTP를 구하는 방법으로 Kriström (1990)에 의해 처음으로 비시장재화의 시장가치를 평가하였고, Duffield and Patterson (1991) and Boman et al. (1999)에 의해 보다 발전된 비모수적 추정방법이 개발되었다. 우리나라에서는 비시장재화의 가치평가에 있어서 비모수적인 접근방법이 사용된 예는 문혜선과 이희찬 (2010)과 이충기 등 (1998)이 있지

만, 수질개선에 대한 가치평가에는 사용된 적이 없다.

비모수추정법은 조건부가치추정법과 같은 모수추정법에서 가정되는 모형분포의 적합도(goodness of fit), 모형설정, 이분산(heteroscedasticity) 등의 가정과 검정이 필요 없을 뿐 아니라 비교적 추정이 용이한 방법이다(이충기 등, 1998).⁴⁾ 추정방법은 주어진 제시금액에서 응답자가 그에 대응하는 "YES" 응답확률을 산출한 후 이를 근거로 한 분포 무관최우추정함수(Distribution Free Maximum Likelihood Function)를 이용한다. 그에 따라 최대지불의사확률을 0~T 사이에서 대안적으로 적분하여 지불의사금액을 산출할 수 있다. 여기에서 T는 선형보간법(linear interpolation)에 의해 추정된 제시가격의 최대치를 의미한다. 비모수추정법은 모수추정법보다 낮은 편익 추정치를 도출하는 경향이 있는데 이는 부(negative)의 지불의사가능성을 원천적으로 불허하기 때문이다.

일반적인 응답자의 경우 제시금액이 클수록 낮은 수락 확률이 관찰되어야 하며 이는 경제학의 기본가정에 충족하게 된다. 하지만 그렇지 못하다면 이들 관측점 간의 확률을 선형보간법을 근거로 분포순서가 단조적(monotonic)일 때까지 보정해야 한다. Kriström (1990)이 제안한 선형보간법을 사용하여 응답확률을 보정하는 방법은 아래의 Eq. (5)와 같다.

$$(k_i + k_{i-1}) / (n_i + n_{i-1}) \quad (5)$$

여기서, n_i 는 각 제시금액(i)에 대한 총 응답자 수이며, k_i 는 제시금액별 지불의사가 있는 응답자의 수이다. 이렇게

4) Duffield and Patterson (1991)는 비모수적 추정방법이 모수적 모델에 대한 '하나의 합리적인 대안(a reasonable alternative)'이라고 제안하였다.

하여 Fig. 1과 같이 얻어진 보정된 확률분포의 아래 면적을 계산함으로써 편익의 크기를 측정할 수 있다. 이는 Ayer et al. (1995)이 증명하고 Kriström (1990)이 CVM연구에 최초로 활용한 소위 PAV (pool-adjacent-violators) 알고리즘을 이용하여 해당구간을 합쳐 마치 하나의 구간으로 취급하여 계산하는 것이다. 가로축은 제시액으로서 최저제시액 (A_1), 최고제시액 (A_2), 그리고 합리적 지불의사의 상한 (A^{\max})이고, 세로축은 각 제시액의 수락확률로서 최대 1이라고 할 경우 평균 지불의사는 가로축의 (A_0, A_1), (A_2, A_1), (A^{\max}, A_2) 구간의 생존곡선 면적들을 합하면 된다. 그런데, 이와 같은 생존곡선들을 통하여 동일 구간에 대해 세 가지 종류의 평균 추정치들을 도출할 수 있다 (Hanemann and Kanninen, 1999). 예컨대, (A_2, A_1) 구간의 경우 (1) X의 면적($A_2 - A_1$) p_2 , (2) X+Y의 면적($A_2 - A_1$) $p_2 + \frac{1}{2}(A_2 - A_1)(p_1 - p_2)$, (3) X+Y+Z의 면적($A_2 - A_1$) p_1 으로 추정할 수 있다.

(1)의 경우 가장 보수적인 추정치, 즉, 하한추정치(lower bound)로서의 Laspeyres 추정치이고, (3)의 경우 가장 낙관적인 추정치, 즉, 상한추정치(upper bound)로서의 Paasche 추정치인 반면에, (2)의 경우는 중간추정치(intermediate bound)로서 Laspeyres추정치와 Paasche 추정치의 중간적인 대안인 보다 정확한 추정치라고 할 수 있다. (2)의 추정방법을 평균 WTP의 Kaplan-Meier-Turnbull 추정량 (Turnbull, 1976)이라고 부르는데, 비모수적 접근에 의한 평균 WTP는 Eq. (6)과 같이 단순히 0부터 T에 이르는 구간선형함수의 아래 면적을 계산함으로써 도출할 수 있다.⁵⁾ 한편, WTP의 하한추정치는 Eq. (7), WTP의 상한추정치는 Eq. (8)과 같이 도출할 수 있다 (Boman et al., 1999).

$$WTP = \sum_{i=1}^k \left[(A_i - A_{i-1}) \times p_i + \frac{(A_i - A_{i-1})}{2} \times (p_{i-1} - p_i) \right] \quad (6)$$

$$WTP_L = \sum_{i=0}^{k-1} (A_{i+1} - A_i) p_{i+1} \quad (7)$$

$$WTP_U = \sum_{i=0}^{k-1} (A_{i+1} - A_i) p_i \quad (8)$$

여기서, A_0 은 제시금액이 '0'인 경우이고, 이때의 수락확률(p_0)은 1이라고 할 수 있다. 한편 WTP의 중앙값(median)은 수락확률이 0.5일 때의 제시금액을 말한다.

Boman et al. (1999)은 평균 WTP, 하한 WTP 및 상한 WTP의 분산추정량을 다음 Eqs. (9)~(11)과 같이 각각 제안하였다.

$$var(WTP) = \frac{\sum_{i=0}^{k-1} (A_{i+1} - WTP)^2 (p_i - p_{i+1})}{n} \quad (9)$$

$$var(WTP_L) = \frac{\sum_{i=0}^{k-1} (A_{i+1} - WTP_L)^2 (p_i - p_{i+1})}{n} \quad (10)$$

$$var(WTP_U) = \frac{\sum_{i=0}^{k-1} (A_{i+1} - WTP_U)^2 (p_i - p_{i+1})}{n} \quad (11)$$

한편, Duffield and Patterson (1991)는 평균 WTP과 분산의 추정량 및 신뢰구간을 다음 Eqs. (12)~(14)와 같이 각각 제시하였다.

$$WTP_{DP} = \sum_{i=1}^k \Delta A_i p_i \quad (12)$$

$$var(WTP_{DP}) = \sum_{i=1}^k (\Delta A_i)^2 p_i (1 - p_i) / n_i \quad (13)$$

$$CI = WTP_{DP} \pm z_{\alpha/2} [var(WTP_{DP})]^{0.5} \quad (14)$$

여기서, $\Delta A_i = (A_{i+1} - A_{i-1})/2, i = 2, \dots, k-1,$

$$\Delta A_1 = A_1 + (A_2 - A_1)/2,$$

$$\Delta A_k = (A_k - A_{k-1})/2 + (T - A_k)$$

$z_{\alpha/2}$ = 표준정규분포의 유의수준(α)하에서의

임계치(critical value)

3. 실증분석결과

3.1. 연구대상 및 설문지설계

부산시는 15개의 구와 1개의 군을 가진 광역시로 그 면적은 총 765.64 km² (2008.06.30 현재)에 달한다. 기장군이 가장 큰 면적을 차지하여 전체의 28.47%이고, 다음으로 강서구 23.59%, 금정구 8.51% 순이다. 2008년 부산인구는 3,596,063명 (외국인 31,486명 포함)으로 집계되었고 해운대구가 전체의 11.87%이고, 다음으로 부산진구가 11.02%, 사하구가 10.27% 순이다 (부산시, 2007).

부산시는 낙동강을 수원지로 하는 매리취수장과 물금취수장, 회동댐을 수원지로 하는 회동취수장, 범기댐을 수원지로 하는 범기취수장 등 총 3개의 수원지로 하는 4곳의 취수장을 보유하고 있다.⁶⁾ 2007년 말 기준 연간취수량은 4.1억톤을 취수하였으며 매리취수장이 가장 많은 취수량을 차지하며 전체의 63.6%이고, 다음으로 물금취수장이

5) Boman et al. (1999)는 다음과 같이 함수식을 제시하였지만, 이는 Eq. (6)과 동일한 결과를 가져온다. $WTP = \sum_{i=0}^{k-1} \frac{1}{2} (A_i + A_{i+1}) (p_i - p_{i+1})$.

6) 기장군 장안읍에 좌천취수장은 2007년 12월 5일 폐쇄됨.

24.6%, 회동취수장이 11.5%, 범기취수장이 0.3%를 차지한다.

또한 부산시상수도사업본부 (<http://water.busan.go.kr>)에 따르면 정수장은 덕산정수장, 화명정수장, 명장정수장, 범어사정수장등 총 4개의 정수장으로 총 2,443천톤의 생산능력을 보유하고 있다. 여기서 매리취수장은 덕산정수장으로, 물금취수장은 화명정수장으로, 회동취수장은 명장정수장으로, 범기취수장은 범어사정수장으로 물을 공급한다. 각각의 정수장은 정수처리를 거쳐 부산시의 정해진 급수구역에 따라 상수도를 가정에 공급한다.

본 연구에서는 표본추출방법 중 부산시를 15개 구의 인구비율을 고려하여 각 나이의 비율에 맞게 표본수를 할당하는 층화 무작위 표본추출법 (stratified random sampling)을 이용하였다.⁷⁾ 조사기간은 2009년 8월 8일부터 10월 11일간 약 2개월 동안 설문조사를 실시하였으며, 총 759개의 표본 중 설문응답에 대한 일관성이 없거나 부산시 가정용수의 수질개선자체에 대하여 의도적으로 거부반응을 보이는 응답자 (protest bid)의 표본 69개를 제거한 나머지 665개의 표본을 대상으로 한다. 이 논문에서는 수질개선부담금이라는 일종의 세금을 지불수단으로 제시하였다. 응답자들에게 지불의사금액을 묻기 전에 다음과 같은 지불의사금액과 관련한 구체적인 내용을 제시하였다.

“부산시가 추진 중인 「수돗물 안심하고 마시기 종합대책」에 따라 식수 전용댐, 고도정수처리장 등의 건설과 수돗물개선 및 노후관 교체 및 개량이 충분히 이뤄지면 정

수의 과정없이 집에서 수돗물을 마음놓고 그냥 마실 수 있습니다. 이를 위해 필요한 재원은 가구당 수질개선부담금으로 충당됩니다. 현재 부산시의 1톤당 평균 수도요금은 644원 정도이며, 먹는샘물 (생수)는 2리터기준으로 약 293원 (수돗물의 227배)입니다. 생수의 경우 음용수로만 사용하지만, 수돗물의 경우 음용수 외에 세탁, 조리, 샤워 등의 용도로 사용한다는 점을 감안해 주시기 바랍니다. 만약 귀하가 수질개선부담금으로 지불을 동의하신다면 그 금액은 반드시 부담하여야 합니다. 또한 귀하의 가구의 소득은 제한되어 있고 그 소득은 여러 용도로 지출되어야 한다는 사실을 고려하신 후 다음 질문에 신중하게 대답하여 주시기 바랍니다.”⁸⁾

질문내용: 귀하의 가정에서는 수질 수질개선부담금으로 매달 ___원을 추가로 지불할 의향이 있습니까?

3.2. 실증분석

3.2.1 제시금액에 대한 응답분포

665명의 응답자들을 대상으로 부산시의 가정용수 수질 개선을 위한 지불의사금액을 조사·분석한 결과 205명이 수질개선에 대한 지불의사금액이 있는 것으로 나타났으며 Table 1과 같은 응답분포를 나타내었다. 제시금액별 설문지의 수는 비슷한 수준임을 알 수 있으며, Table 1과 Fig. 2에서 알 수 있듯이 제시금액이 높아질수록 응답이 낮아짐을 알 수 있다.

Table 1. Proportions of Response

Bid (Won/month)	Response				
	YES	%	NO	%	Total
500	45	71.43	18	28.57	63 (100)
1,000	39	65.00	21	35.00	60 (100)
2,000	27	45.00	33	55.00	60 (100)
3,000	22	36.67	38	63.33	60 (100)
4,000	13	20.97	49	79.03	62 (100)
5,000	11	18.03	50	81.97	61 (100)
6,000	16	26.67	44	73.33	60 (100)
7,000	8	13.33	52	86.67	60 (100)
8,000	8	14.81	46	85.19	54 (100)
9,000	9	14.29	54	85.71	63 (100)
10,000	7	11.29	55	88.71	62 (100)
Total	205	30.83	460	69.17	665 (100)

7) 이 연구는 수돗물과 관련한 설문 성격상 무작위 추출된 가구를 대상으로 설문을 실시하여야 하지만, 가구에 대한 접근이 용이하지 않아 가구방문에 의한 설문이 이루어지지 못한 한계점이 있다.

8) 수돗물 수질개선에 대한 보편적 지불수단인 “수도요금” (Mitchell and Carson, 1989)과 이 논문에서 이용된 “수질개선부담금”은 모두 세금의 일종으로 큰 차이가 없는 것으로 가정하였다.

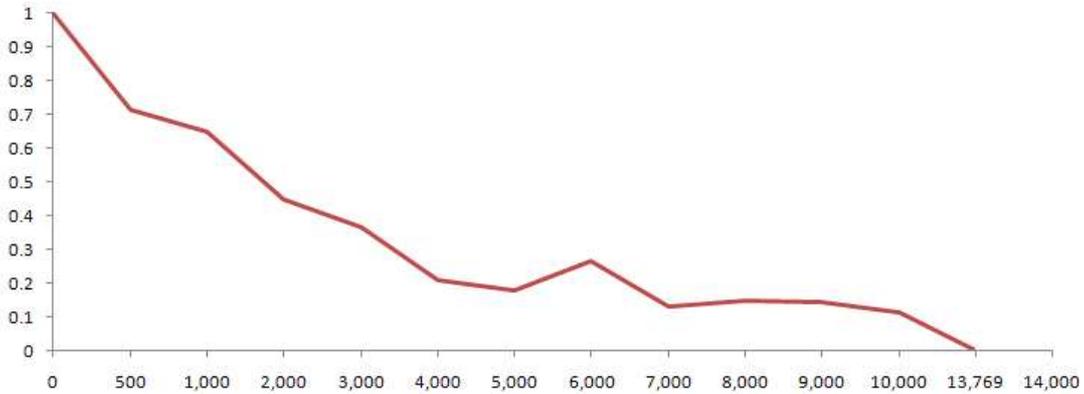


Fig. 2. Probability for Acceptance

3.2.2 지불의사액 추정

Table 1의 자료를 이용하여 비모수추정법에 의한 부산 시민의 가정용수 수질개선에 대한 WTP를 추정하면 다음 Fig. 2와 같이 WTP의 확률분포함수를 도출할 수 있다. 이를 위해 Kriström (1990)의 가정처럼 WTP가 0원일 때의 확률은 1로, 확률이 0일 때는 선형보간법에 의해 추정된 제시가격의 최대치인 13,769원을 최대 제시가격으로 사용하였다.

Eq. (6)에 의거 각 제시금액의 구간별 평균 WTP를 산출하였는데, Fig. 2에 나타난 바와 같이 5,000원에서 8,000원의 구간까지 수락확률이 비단조적으로 나타났기 때문에 이를 선형보간법으로 보정하였다. Table 2에 나타난 바와 같이 제시금액 6,000원에서 7,000원까지의 수정확률 0.2667과 0.1333은 0.16957과 0.15884로 각각 보정되었다.⁹⁾ 이와 같이 보정된 수락확률에 따른 지불의사액의 잔존함수는 Fig. 3과 같다. 여기서 중앙값은 지불의사액 수락확률이 0.5일 경우이며, 그래프를 적분한 값이다.¹⁰⁾

이와 같이 제시금액에 대한 보정된 수락확률을 산출한 다음 비모수추정방법에 의한 다양한 WTP를 추정하면 다음 Table 3과 같다. 추정결과 Boman et al. (1999)이 제안한 추정방법에 의한 평균WTP (*Mean*)는 월 3,190원으로 Duffield and Patterson (1991)의 평균WTP (*WTP_{DP}*)인 월 3,331원 보다 과소 추정되었고, 중앙값은 월 1,750원으로

Table 2. An Interpolated Probability of Bid Acceptance

Bid	Acceptance probability	Interpolated acceptance probability
0	1	1
500	0.7143	0.7143
1,000	0.6500	0.6500
2,000	0.4500	0.4500
3,000	0.3667	0.3667
4,000	0.2097	0.2097
5,000	0.1803	0.1803
6,000	0.2667	0.1696
7,000	0.1333	0.1588
8,000	0.1481	0.1481
9,000	0.1429	0.1429
10,000	0.1129	0.1129
13,769	0	0

산출되었다.¹¹⁾ Boman et al. (1999)의 WTP의 하한과 상한의 추정치는 각각 월 2,621원과 월 3,758원으로 월 3,209원에서 월 3,362원인 Duffield and Patterson (1991)의 신뢰구간¹²⁾ 보다 더 넓다. 이는 Boman et al. (1999)의 분산이 Duffield and Patterson (1991)의 분산보다 크기 때문이다. 하지만, Duffield and Patterson (1991)의 평균WTP인 월 3,331원도 Boman et al. (1999)의 상·하한 추정치구간에 포함된다. 한편, 이경계양분형의 선형로짓모형과 로그로짓모형에 의해 추정된 평균 WTP는 각각 월 3,687원과 3,660원이고, 절삭된 평균 WTP (truncated mean WTP)는 각각 월 3,025

9) 선형보간법에 의해 선형함수식 ($y = a + bx$)을 추정한다. 제시금액 (x)의 계수 (b)는 단조적인 기울기를 유지할 수 있도록 제시금액 5,000원에서 8,000원 사이의 수락확률 (y)을 보정하는 방법으로 $b = \frac{(0.1803 - 0.1481)}{(5000 - 8000)} = -0.00001073$ 과 같이 산출할 수 있고, 상수 (a)는 수락확률에서 bx 를 공제하는 방법 ($a = 0.1803 - (-0.00001073 \times 5000) = 0.23305$)으로 구할 수 있다. 이와 같이 선형보간법에 의한 선형함수식은 $y = 0.23305 - 0.00001073x$ 이다. 따라서 제시금액 6,000원과 7,000원에서의 보정된 수락확률은 선형함수식의 x 에 제시금액을 각각 대입함으로써 0.1696과 0.1588로 산출되었다.

10) 중앙값은 보정된 수락확률 0.5에서의 제시금액을 찾는 것으로 본 연구에서는 제시금액 1,000원과 2,000원의 수락확률이 0.65와 0.45이기 때문에 중앙값은 이 사이에 존재한다. 이 또한 선형보간법에 의해 구할 수 있다.

11) 평균값 (mean)이 중앙값 (median)보다 큰 것은 WTP에 대한 응답자들의 분포가 정규분포를 이루고 있지 않고, 우측 긴 꼬리분포 (skewed to the right)를 하고 있음을 암시한다. 즉, 중앙값을 기준으로 극단적으로 큰 추정값들의 수가 극단적으로 작은 추정값들의 수보다 많아 중앙값의 오른쪽으로 추정값들이 더 많이 분포하고 있음을 말한다.

12) 이 논문에서는 유의수준 (α)을 10%로 가정하고 신뢰구간을 구하였다.

Table 3. Non-parametric Estimates of WTP (Unit: Won)

Mean	Median	WTP_L	WTP_U	WTP_{DP}	$var(WTP)$	$var(WTP_L)$	$var(WTP_U)$	$var(WTP_{DP})$	CI
3,190	1,750	2,621	3,758	3,331	26,375	27,833	25,889	340	3,299~3,362

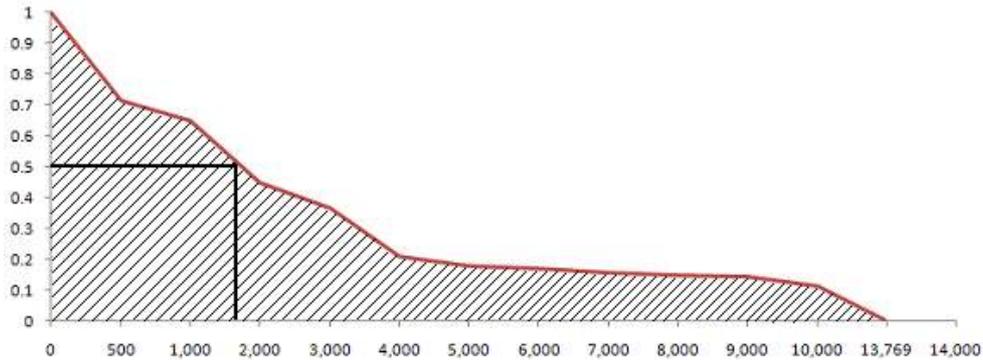


Fig. 3. An Interpolated Acceptance Probability

원과 월 3,011원, 중앙값은 각각 월 1,892원과 월 1,884원으로,¹³⁾ 이들은 비모수추정법에 의한 값들과 매우 유사하여 비모수추정방법의 이론적 뒷받침을 하고 있음을 알 수 있다. 특히, Boman et al. (1999)의 평균WTP는 모수추정법의 절삭된 평균 WTP와 더 유사하고, 모수추정법의 평균 WTP는 Boman et al. (1999)의 평균WTP에 비해 Duffield and Patterson (1991)의 평균 WTP와 더 유사한 것으로 나타났다. 뿐만 아니라, 이 결과는 유승훈 (2003)의 1998년 부산시 상수도 수질개선에 대한 가구당 월평균 WTP 3,274원과 별 차이가 없는 것으로 보인다. 더 나아가 2008년 말 기준 부산시 총세대수(1,311,724)를 감안할 때 부산시민의 가정용수 수질개선에 대한 지불가능한 연간 평균액은 502억원, 중앙값은 275억원으로 추정되었다.

4. 결론

기후변화에 따른 먹는 물 부족의 상황에 대한 국제적 관심이 증대됨에 따라 수자원과 관련된 여러 연구들이 진행되고 있으며, 과거의 공급관리중심의 수자원관리와 더불어 수요관리측면 또한 그 중요성이 부각되고 있다. 즉, 수자원에 대한 수요·공급관리를 통하여 효율적인 수자원관리를 이루기 위함이다. 그에 따라 1992년 더블린에서 열린 국제물환경회의에서 수자원의 분배정책이 경제적 가치평가에 의해 분석되어야 한다고 설명하였다. 따라서 수요관리의 접근 중 가장 중요한 과제라 할 수 있는 수자원에 대한 가치의 인식과 추정에 대한 연구가 중요하게 인식

되고 있다. 이를 위해 수자원의 용도별 가치의 합을 통하여 수자원의 가치를 총량화 할 수 있다. 이 논문에서는 용도별 분류 중 가정용수만을 한정하여 분석을 시도하였다. 특히 생활용수의 공급은 지자체 별로 상이한 수원지에서 취수하여 이뤄지기 때문에 지자체별 수자원의 수요관리목적에 위해 지역적 특성을 고려 할 수 있는 자료를 토대로 연구가 필요하다.

설문조사기간은 2009년 8월 8일부터 10월 11일간 약 2개월 동안 설문조사를 실시하였으며, 통계적으로 사용가능한 665개의 표본을 얻을 수 있었다. 이 논문은 수질개선의 경제적 편익을 추정하는데 일반적으로 이용되고 있는 CVM을 이용하였다. 대부분의 수질개선에 대한 경제적 가치를 측정하는데 모수추정접근에 의한 CVM을 이용하는데, 이는 분포에 대한 가정과 모형설정에서 발생하는 오차의 위험성이 상대적으로 높아 Krström (1990), Duffield and Patterson (1991) 및 Boman et al. (1999)에 의해 처음으로 제안된 비모수추정접근에 의한 다양한 WTP를 추정하였고, 모수추정방법 중 이중경계양자택일형(선형로짓과 로그로짓) CVM에 의한 결과와 비교분석하였다. 비모수추정방법을 위해 제시금액별 수락확률을 계산하여 수락확률분포를 도출하였다. 그 중 경제학의 기본가정과 일치하지 않는 비단조성을 지닌 수락확률은 Krström (1990)이 제안한 선형보간법을 통하여 수락확률을 수정하여 계산하였다. 비모수추정법을 통한 부산시민의 가정용수 수질개선에 대한 WTP를 추정한 결과 가구당 월 평균 월 3,190원에서 3,331원, 중앙값은 월 1,750원으로 나타났다. 이 결과는 모수추정방법에 의한 추정치들과도 유의적 차이를 나타내지 않을 뿐만 아니라 유승훈 (2003)의 1998년 부산시 상수도 수질개선에 대한 가구당 월평균 WTP

13) 이 논문에서는 비모수추정방법에 대하여 초점을 맞추었기 때문에 모수추정방법에 의한 추정치의 도출에 대한 자세한 내용은 생략한다.

3,274원과 별 차이가 없는 것으로 보인다. 결과적으로 이 연구결과의 가구당 월 평균 WTP를 토대로 부산시의 년 평균 지불의사액을 추정해본 결과 평균 WTP를 적용할 경우 502억원, 중앙값 WTP를 적용할 경우 275억원으로 추정되었다.

상수도 수질개선정책의 시행여부는 수질개선에 대한 편익뿐만 아니라 수질개선에 따라 발생할 비용을 동시에 고려한 비용편익분석과 같은 경제적 타당성에 근거하여 결정되어야 한다. 따라서 이 연구와 같은 상수도 수질개선에 대한 WTP는 이와 같은 경제적 편익에 대한 유용한 정보로서의 역할을 할 수 있다. 공공정책이나 사업의 정당성 또는 타당성 판단기준으로 경제성 평가를 많이 활용하고 있는데, 오늘날 가장 핵심적인 경제성 평가방법은 후생경제학의 Kaldor-Hicks 원칙에 기초한 비용편익분석(cost-benefit analysis)으로 경제적 편익의 현재가치가 경제적 비용의 현재가치를 초과하면 경제성이 있는 것으로 평가한다. 이와 같은 잠재적 편익이나 비용을 산출할 때 비시장재화의 가치를 추정하는 매우 중요하다(Hanley and Spash, 1993). 이 논문은 모수추정방법에 비해 훨씬 간편하고 모수에 대한 확률분포를 가정할 필요가 없을 뿐만 아니라 추정치가 모수적 추정치보다 보수적이고, 통계적 강점(statistical robustness)을 갖고 있는 비모수적 추정방법에 대한 실증적 분석을 제공하고 있다. 또한, 이 논문은 생활용수를 관리하는 정책입안자들에게 수질개선에 따른 경제적 편익의 정보를 제공하고, 부산시의 생활용수 개선사업을 수행여부나 수행규모를 결정하는데 있어서 유용한 정보와 시사점을 제공할 수 있다.

참고문헌

- 곽승준 (1993). “수질개선의 편익추정: 조건부가치추정법과 반모수 추정법의 적용.” **자원경제학회지**, 제3권, 제1호, pp. 183-198.
- 김도형, 김경환 (1994). “회피행동 분석을 이용한 서울시 수도물 수질개선의 편익 측정.” **자원경제학회지**, 제3권, 제2호, pp. 337-358.
- 김봉구, 조용성, 곽재은 (2001). “팔당호 수질개선에 대한 소비자 지불의사액 추정.” **자원환경경제연구**, 제10권, 제3호, pp. 433-459.
- 김재홍 (2001). “울산시의 상수도 수질개선의 편익 측정.” **한국정책학회보**, 제10권, 제3호, pp.245-262.
- 문혜선, 이희찬 (2010). “비모수 접근법에 의한 호텔객실 조망권 가치평가.” **호텔경영학연구**, 제19권, 제1호, pp. 21-34.
- 박두호, 박윤신, 이광만 (2006). “생활용수에 대한 소비자 지불의사 추정 및 정책적 의미.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제7호, pp. 563-574.
- 부산시 (2009). 부산시통계연보, 부산광역시 기획재정관실 창의담당관실 통계분석실.
- 부산시상수도사업본부 (2009). <http://water.busan.go.kr>
- 신영철 (1997). “이중 양분선택형 질문 CVM을 이용한 한강 수질개선 편익측정.” **환경경제연구지**, 제6권, 제1호, pp. 171-192.
- 양진우 (1997). “팔당수원 수질개선의 편익평가에 관한 연구.” **국토계획**, 제32권, 제4호, pp. 195-207.
- 유승훈 (2003). “표본선택모형을 이용한 이중경계 양분선택형 조건부 가치추정모형의 분석.” **재정연구**, 제10권, 제1호, pp. 47-80.
- 유승훈, 신철오, 양창영 (2006). “원주시 가구의 상수도 수질개선에 대한 지불의사액 추정.” **환경정책연구**, 제5권, 제3호, pp. 79-103.
- 유승훈, 홍필기 (2007). “무응답 자료처리모형을 이용한 서울시 수도물 수질개선편익 추정.” **서울도시연구**, 제8권, 제10호, pp. 41-54.
- 이주석, 유승훈, 곽승준 (2007). “낙동강 수질개선의 편익 추정-1.5경계 양분선택형 조건부가치 추정법을 이용하여.” **경제연구**, 제25권, 제2호, pp. 111-129.
- 이창기, 이주희, 한상열 (1998). “생태관광자원의 레크레이션 이용가치.” **관광학연구**, 제21권, 제2호, pp. 263-278.
- 정기호, 곽승준, 김승우 (1997). “대구시 수도물 수질개선의 편익분석: 모수 및 준모수접근법 응용.” **자원경제학회지**, 제6권, 제2호, pp. 233-258.
- 한국수자원공사. (2007). 21세기 프론티어연구개발사업; 수자원의 지속적 확보기술개발 사업; 수자원 및 기술 가치 평가시스템 구축, 과학기술부.
- 황영순, 엄미정, 김태유 (1999). “부산시의 수도물공급실패 개선에 따른 가치추정.” **환경경제연구**, 제8권, 제1호, pp. 109-126.
- Adamowicz, W.L., Fletcher, J.J., and Graham-Tomasi, T. (1989). “Functional form and the statistical properties of welfare measures.” *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 71, pp. 414-421.
- Arrow, K., Solow, R., Portney, P.R., Leamer, E.E., Radner, R., and Schuman, H. (1993). “Report of the NOAA Panel on contingent valuation.” *Federal Register*, Vol. 58, No. 10, pp. 4601-4614.
- Bishop, R., and Herberlein, T. (1979). “Measuring values of extra-market goods: are indirect measures biased?” *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 6, pp. 926-930.

- Boman, M., Bostedt, G., and Kriström, B.A. (1999). "Obtaining welfare Bbunds in Discrete-response valuation studies: a non-parametric approach." *Land Economics*, Vol. 75, No. 2, pp. 284-294.
- Ayer, M., Brank, B.D.S., Ewing, G.M., and Siverman, E. (1995). "An empirical distribution function for sampling with incomplete information." *Analysis of Mathematical Statistics*, Vol. 126, No. 4, pp. 641-647.
- Cameron, T.A. (1988). "A new paradigm for valuing non-market goods using referendum data: maximum likelihood estimation by censored logistic regression." *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 15, pp. 355-379.
- Cameron, T.A., and James, M.D. (1987) "Efficient estimation methods for closed-ended contingent valuation surveys." *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 69, pp. 269-276.
- Duffield, J., and Patterson, D. (1991). "Inference and optimal design for a welfare measure in dichotomous choice contingent valuation." *Land Economics*, Vol. 67, pp. 225-239.
- Hanemann, W.M. (1984). "Welfare evaluations in contingent valuation experiments with discrete responses." *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 66, pp. 322-341.
- Hanemann, W.M., and Kanninen, B. (1999). The statistical analysis of discrete-response CV data. in Bateman, I.J., and Willis, K.G. (eds.). Valuing environmental preferences: theory and practice of the contingent valuation method in the US, EU, and developing countries. *Oxford: Oxford University Press*, pp. 403-491.
- Hanley, N.S., and Spash, C.L. (1993). Cost-benefit analysis and the environment. Cheltenham: Edward Elgar.
- Houtven, G.V., Powers, J., and Pattanayak, S.K. (2007). "Valuing water quality improvements in the United States using meta-analysis: Is the glass half-full or half-empty for national policy analysis?" *Resource and Energy Economics*, Vol. 29, pp. 206-228.
- Kriström, B.A. (1990). "A non-parametric approach to the estimation of welfare measure in discrete response valuation studies." *Land Economics*, Vol. 66, No. 2, pp. 135-139.
- Loomis, J.B. (1987), "Balancing public trust resources of Mono Lake and Los Angeles water right: an economic approach." *Water Resources Research*, Vol. 23, pp. 1449-1456.
- McConnell, K.E. (1990). "Models for referendum data: the structure of discrete choice models for contingent valuation." *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 18, pp. 19-34.
- Mitchell, R.C., and Carson, R.T. (1989). Using surveys to value public goods: the contingent valuation method. Resources for the Future.
- Turnbull, B.W. (1976). "The empirical distribution function with arbitrarily grouped, censored and truncated data." *Journal of the Royal Statistical Society*, Vol. 38, No. 3, pp. 290-295.

논문번호: 10-101	접수: 2010.12.07
수정일자: 2011.01.24/01.31	심사완료: 2011.01.31