자원 · 환경경제연구 제 25 권 제 1 호
Environmental and Resource Economics Review
Volume 25, Number 1, March 2016 : pp. 1~25
DOI: http://dx.doi.org/10.15266/KEREA.2016.25.1.001

양분선택형 조건부가치측정(CV) 자료의 추정방법에 따른 지불의사금액의 변동성 연구

신영철*

요 약 : 본 연구는 조기사망 위험 감소를 위한 지불의사금액에 대한 양분선택형 조건부가치측정(CV) 자료를 이용하여, 자의적인 모수적 분포(즉, 정규분포, 로지스틱분포, 로그정규분포, 지수분포)를 가정하여 도출하는 지불의사금액 대푯값(즉, 평균 내지 중앙값)의 변동성을 비교·검토하였다. 이를 위해 특정 모수적 분포라는 제약을 갖지 않는 Turnbull 비모수적 추정방법(nonparametric estimation method)에 의한 결과를 함께 비교·검토하면, 정책의사결정에서는 인정되기 어려운 수준의 WTP 대푯값들의 변동성이 확인되었다. 한편 Turnbull 비모수적 추정방법에 의한 WTP의 대푯값은 기본적으로 자의적 모수적 분포 가정에 의한 일종의 오지정 편의를 회피할 수 있다. 또한 Turnbull 비모수적 추정방법으로는 단일양분선택형 CV 자료이든 이중양분선택형 CV 자료이든 거의 유사한 추정치를 도출하고, 모수적 분포를 가정한 추정방법으로는 통계적으로 유의한 추정치를 얻지 못하는 상황에서도 통계적으로 유의한 추정치를 얻을 수 있는 강건성(robustness)을 보여주었다. 그러므로 양분선택형 CV 자료에서 특정 모수적 분포의 적합성을 판단하기 어려운 상황에서 자의적 모수적 분포의 가정에서 도출한 WTP의 대푯값들이 상당한 변동성을 보인다면, Turnbull 비모수적 추정방법에 의한 WTP의 평균 추정치가 정책의사결정에서 논란의 여지를 회피할 수 있는 비자의적이고 강건한 추정치가 될 수 있음을 확인할 수 있다.

주제어 : 양분선택형 조건부가치측정법, 추정방법, 모수적 분포, Turnbull 비모수적 분포, 강건성

JEL 분류 : Q51, C14, C52, I18

접수일(2015년 9월 1일), 수정일(2015년 12월 4일), 게재확정일(2016년 1월 11일)

* 대진대학교 글로벌경제학과, 교수(e-mail: ycshin@daejin.ac.kr)

Study on Variability of WTP Estimates by the Estimation Methods using Dichotomous Choice Contingent Valuation Data

Youngchul Shin*

ABSTRACT : This study investigated the variability of WTP estimates(i.e. mean or median) with ad hoc assumptions of specific parametric probability distributions(i.e. normal, logistic, lognormal, and exponential distribution) to estimate WTP function using dichotomous choice CV data on mortality risk reduction. From the perspective of policy decision, the variability of these WTP estimates are intolerable in comparison with those of Turnbull nonparametric estimation method which is free from ad hoc distribution assumptions. The Turnbull nonparametric estimation can avoid a kind of misspecification bias due to ad hoc assumption of specific parametric distributions. Furthermore, the WTP estimates by Turnbull nonparametric estimation are robust because the similar estimates are elicited from a dichotomous choice or double dichotomous choice CV data, and the statistically significant WTP estimates can be obtained even though it is not possible by parametric estimation methods. If there are considerable variability among those WTP estimates by parametric estimation methods in condition with no criteria of model adequacy, the mean WTPs from Turnbull nonparametric estimation can be the robust estimates without ad hoc assumptions, which can avoid controversial issues in the perspective of policy decisions.

Keywords : Dichotomous choice contingent valuation, Estimation method, Parametric distribution, Turnbull nonparametric distribution, Robustness

---

Received: September 1, 2015. Revised: December 4, 2015. Accepted: January 11, 2016.

* Professor, Dept. of Global Economics, Daejin University(e-mail: ycshin@daejin.ac.kr)

I. 서 론

조건부가치측정법(contingent valuation method: CVM)은 비시장재(non-marketed goods) 가치측정법 중의 하나로서 처음에는 환경재(environmental goods)의 가치를 측정하기 위한 방법으로 개발되었지만, 현재는 다양한 비시장재(non-marketed goods)의 가치평가에까지 널리 활용되고 있다. CVM에서 평가 대상에 대한 지불의사를 유도하는 방법으로는 다른 지불의사 유도방법에 비해 편의(bias)의 가능성이 가장 적다는 관점에서 양분선택형 질문(dichotomous choice) 형태가 일반화되어 사용되고 있다. CVM에서 양분선택형 질문이란 사전조사에서 얻어진 제시 금액을 지불할 의사가 있는지 여부를 '예' 또는 '아니오'와 같이 양분선택적으로 답변하도록 하는 방식이다. 이러한 방식을 채택하는 경우를 양분선택적 질문 조건부가치측정(dichotomous choice contingent valuation: DC CV)이라고 부른다.

우리나라에서는 DC CV를 이용한 비시장재에 대한 가치평가가 학술적 연구에만 머물지 않고, 정책의사결정에 중요한 정보를 제공하기 위해 이용되기도 한다. 환경은 물론 문화·체육 및 보건, 기초과학 등 분야에서도 정책의 기대효과가 비시장재와 관련되는 경우 그 효과를 금전적으로 정량화하기 위해 이용되고 있다. 특히, 총사업비가 500억 원 이상이고 국가의 재정지원 규모가 300억 원 이상인 대규모 정책 사업 중 비정형사업[1)]의 예비타당성조사에서 편익을 측정하는 방법으로 이용되고 있다. 2011년 말 기준으로 한국개발연구원에서 총 52건의 사업에 대한 예비타당성조사 및 타당성 재조사의 편익 추정을 위해 DC CV가 이용되었다(한국개발연구원, 2012). DC CV를 이용하여 비시장재의 가치를 측정하는 추세는 여러 분야에서의 지속적인 수요 증가로 인하여 계속 확대될 전망이다.

DC CV 자료에서 대상 비시장재의 편익을 측정하기 위해서는 지불의사금액(willingness-to-pay: WTP) 함수를 추정하여야 한다. 이 때 지불의사금액(WTP) 함수의 추정에서 오차항에 대해 특정 모수적 분포(parametric distribution)를 가정하는 방식이 일반적으로 이용되고 있다. 여기서 주로 이용되는 모수적 분포에는 정규분포(normal distribution),

1) 예비타당성조사의 비정형사업이란 사회간접자본(Social Overhead Capital: SOC)인 도로, 항만, 철도 등을 제외한 부문(문화과학, 휴양, 정보화, R&D 등)의 사업을 총칭한다.

로지스틱분포(logistic distribution), 로그정규분포(log-normal distribution), 지수분포(exponential distribution) 등이 있다. 그런데 거의 모든 연구에서 별다른 설명을 하지 않고 특정 모수적 분포를 자의적으로(ad hoc) 가정하고 분석을 진행한다.

이는 적용되는 모수적 분포를 바꾸더라도 지불의사금액의 대푯값, 즉 평균(mean) 및 중앙값(median)에 큰 변화는 없을 것이라는 암묵적 동의가 있기 때문이라고 생각한다. 또는 가정이란 그 내용이나 조건이 변하면 결과도 당연히 변하는 것이기에 특별히 문제를 삼을 필요가 없다고 보는 것일 수도 있다. 특히, 참값을 모르는 상태에서 여러 가지 모수적 분포를 가정하여 도출한 추정치들의 적합성을 판단하기 어렵다는 점도 이러한 경향을 낳고 있다고 생각된다. Haab and McConnell(1997)에서 모수적 분포의 자의적 가정에 따른 추정치의 민감성을 다루기는 했지만, 국내에서는 지불의사금액 함수의 오차항에 대한 모수적 분포로 인한 지불의사금액의 변동성[2)]을 주제로 하는 논문은 찾기 어렵다.

그러나 DC CV 자료로부터 도출되는 지불의사금액의 대푯값(평균 내지 중앙값)이 순수한 학술적 연구의 영역에만 머물지 않고, 중요한 정책의사결정의 핵심적 정보로 이용되는 현실을 감안할 필요가 있다. 특정 모수적 분포에 따른 지불의사금액의 변동성에 대한 검토는 DC CV 자료로부터 도출한 지불의사금액을 그대로 의사결정에 이용할지 여부를 판단하기 위해 필요하다. 왜냐하면 특정 모수적 분포의 적합성을 판단하기 어려운 상황에서 자의적으로 가정한 모수적 분포에 따라 추정되는 지불의사금액의 대푯값들이 크게 차이가 있다면, 특정 모수적 분포로부터 도출된 지불의사금액 중의 하나를 신뢰성 있는 추정치로 보기는 어렵기 때문이다.

그러므로 본 연구에서는 DC CV 자료에서 특정 모수적 분포의 가정을 달리하는 경우에 그로부터 도출되는 지불의사금액 대푯값들의 변동성을 우선적으로 비교·검토하고자 한다. 이를 위해 일반적으로 이용되는 모수적 분포를 가정한 추정 결과와 더불어 Turnbull 비모수적 추정방법(nonparametric estimation method)에 의한 결과를 함께 비

2) 여기서 여러 모수적 분포들을 가정하여 추정된 값들의 차이가 커질수록 변동성이 크다고 할 수 있다. 어느 정도 수준의 차이가 변동성이 크다고 할 수 있는지를 통계적 또는 학술적으로 정의하기는 어렵지만, 정책의사결정에서는 일정한 수준 이상의 상대적 차이를 보인다면 그 추정치들 중 하나를 그대로 분석에 이용하기는 쉽지 않다. 본 연구에서는 이와 같은 변동성이 어느 정도 있는지를 특정 자료를 대상으로 비교·검토하는 연구이므로, 변동성이 크다고 볼 수 있는 기준 등에 대해서는 정책의사결정에서 허용될 수 있는 한계와 관련한 추후 연구로 진행될 필요가 있다.

교·검토한다. 그로부터 추정방법에 따라 도출되는 지불의사금액의 대푯값들과 관련된 시사점들을 찾아내어, 지불의사금액의 변동성이 상당한 경우에 정책의사결정 과정에서 이용할 수 있는 추정방법 및 지불의사금액의 대푯값을 제안하고자 한다.

이상과 같은 연구 목적을 가진 기존 연구를 국내에서 찾기는 쉽지 않을 뿐만 아니라, DC CV 자료에 대해 적용하는 Turnbull 비모수적 추정방법을 이용한 연구도 다른 모수적 분포를 가정한 분석에 비해 상대적으로 매우 적은 상황이다. Turnbull 비모수적 추정방법을 이용한 국외 연구에는 Carson, Hanemann et al. (1994), Haab and McConnell (1997) 등이 있으며, 국내 연구로는 엄영숙(2001), 한상렬(2007), 신영철(2012) 등이 있다.

본 연구에서는 신영철(2003)에서 조기 사망(premature death) 위험 감소에 대한 지불의사금액을 조사한 전형적인 이중양분선택형(dichotomous choice with a follow-up question) CV 자료[3)]를 분석에 이용한다. 이중양분선택형 CV는 양분선택형 질문을 두 번하는 방식으로 첫 번째 제시한 금액에 대한 응답 결과에 따라 두 번째 제시금액에 대한 지불의사를 양분선택적 응답을 요구하는 방식이다. 이와 같은 이중양분선택형 CV 자료는 첫 번째 제시금액에 대한 응답자료만을 분석하는 경우에는 단일양분선택형 CV 자료로 해석할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 단일양분선택형 CV 자료 및 이중양분선택형 CV 자료의 두 가지로 해석하여 분석을 함께 진행한다.

이를 위한 연구의 구성은 다음과 같다. II장에서는 DC CV자료로부터 지불의사금액(WTP) 함수에 대한 설명과 더불어, 지불의사금액 함수의 오차항에 대해 특정 모수적 분포를 가정한 추정방법과 그와 같은 가정을 배제한 비모수적 추정방법에 대해 소개한다. III장에서는 사망위험 감소에 대한 지불의사금액을 도출하기 위한 DC CV자료에 대하여 모수적 분포를 가정한 추정 결과와 비모수적 추정 결과를 제시하고, 그로부터 도출되

---

3) 이 연구에서 이용된 CV 설문조사 자료는 미국 Resources for the Future의 Krupnick 박사팀이 개발한 설문에 의한 것으로, 향후 10년 동안의 사망위험 $\frac{1}{1,000}$ 감소를 위한 지불의사금액을 이중양분선택형 질문을 이용하여 조사하였다. 본 연구에서 얻어진 지불의사금액 추정치에 10년 동안 사망확률의 역수인 10,000을 곱하면, 사망위험과 관련된 정책 평가에 이용할 수 있는 통계적인간생명가치(value of a statistical life)를 도출할 수 있다. CV 자료의 경우 기본적인 편의는 설계 과정에서 발생하지만, 본 설문은 국제 전문가들이 참여한 신중한 설계 과정을 통해 만들어진 만큼, 본 연구의 결과에 영향을 미칠 수 있는 우려되는 편의가 있다고 보이지 않는다. 본 연구에서 이용한 자료는 대면조사 방식으로 513명의 서울시민을 조사한 결과이며, 여러 번의 사망 위험 감소에 대한 질문 중 해당 사망 위험 감소를 위한 질문을 처음으로 한 자료만을 이용하였다. 설문 설계 과정에 대한 자세한 설명은 Krupnick et al. (1999, 2000)을 참조할 수 있으며, 본 연구에서 이용한 자료 및 통계적인간생명가치에 대한 보다 자세한 설명은 신영철(2003) 또는 신영철·조승헌(2003)을 참조하시오.

는 시사점을 정리한다. 마지막 IV장 결론에서는 주요 연구의 내용 및 결과를 요약하고, 본 연구의 한계와 향후 연구의 방향을 제시하고자 한다.

II. 지불의사금액 함수의 추정방법

양분선택형 조건부가치측정(CV) 자료를 분석하기 위한 기본 모형은 확률효용모형(random utility model: RUM)이다. Hanemann(1984)은 양분선택형 조건부가치측정(CV) 질문들에 대한 응답 자료를 McFadden (1974)에 의해 발전된 확률효용모형을 이용하여 추정 및 해석할 수 있도록 정립하였다(Haab and McConnell, 2002).

선호의 확률적 부분을 ϵ 이라고 표시하면 간접효용함수(indirect utility function)는 다음과 같다.

$$v(y,\ Z,\ q^j,\ \epsilon_j) = v(y,\ Z,\ q^j) + \epsilon_j, \quad j = 0,\ 1 \tag{1}$$

여기서 y 는 개인의 소득, Z 는 시장재의 가격들, 시장재의 속성들, 기타 선호와 관련된 개인들의 특성 등을 포함하는 다양한 독립변수들의 벡터, q 는 비시장재로 $q^1 > q^0$ 로서 q^1 은 q^0 에 비해 개선된 상태(또는 공급이 증가된 상태)라고 가정한다.

Cameron and James (1987)과 Cameron (1988)은 효용함수에 대한 정의를 거치지 않고 응답자들의 지불의사금액(WTP)함수를 정의하였다. 앞서 정의된 간접효용함수에서 최대 지불의사금액을 *WTP*라고 하면, 다음의 식을 만족한다.

$$v(y - WTP,\ Z,\ q^1) + \epsilon_1 = v(y,\ Z,\ q^0) + \epsilon_0 \tag{2}$$

이 *WTP*는 보상잉여(compensating surplus: CS) 개념($CS = CS(y,\ Z,\ q^0,\ q^1,\ \epsilon)$)에 해당하기 때문에, 두 상황에서의 지출차이함수(expenditure difference function)로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$WTP = CS(y, Z, q^0, q^1, \epsilon) = e(y, Z, q^0, v) - e(y, Z, q^1, v) = X\beta + \epsilon \tag{3}$$

이렇게 정의된 지불의사금액함수는 소득을 포함하여 다양한 설명변수들의 벡터 X 에 대한 함수로 정의할 수 있다. 이때 β 는 설명변수의 계수 벡터를 뜻하며, 오차항 ϵ 은 특정 모수적 분포를 따른다고 일반적으로 가정할 수 있다. 다른 한편 지불의사금액 함수의 오차항에 대해 특정 모수적 분포와 같은 제약을 하지 않고 분석하는 비모수적 추정방법도 있다.

1. 모수적 분포 가정 추정방법

앞의 식(3)과 같은 지불의사금액함수에서 q^0 에서 q^1 으로 개선하기 위해 제시한 금액 A 원을 지불하겠다는 경우의 확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Pr(\text{예}) &= \Pr(WTP > A) = \Pr(X\beta + \epsilon > A) \\ &= \Pr(X\beta - A > \epsilon) \end{aligned} \tag{4}$$

여기서 설문조사 결과로부터 응답자의 참(true) 지불의사금액(WTP)을 직접적으로 관찰할 수는 없다. 왜냐하면 어떤 사람에게 특정한 금액을 지불할 의사가 있는지를 묻고 이에 대해 ‘예’ 혹은 ‘아니오’ 중 하나의 응답만을 얻을 수 있기 때문이다. 그러나 특정 대상을 위해 주민이 제시된 금액을 부담할 용의가 있느냐는 질문에 접한 응답자는 마음속에서 그 금액을 자신의 지불의사금액과 비교해 ‘예’ 또는 ‘아니오’라는 응답을 한다. 즉, 그 금액이 자신의 지불의사금액보다 작으면 ‘예’, 그리고 반대의 경우라면 ‘아니오’라고 대답할 것이다. 이러한 사실로부터 다음과 같은 지시함수(indicator function)를 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} I_{ji} &= 1 \quad \text{if} \quad WTP_i \geq t_{ji} \\ I_{ji} &= 0 \quad \text{if} \quad WTP_i < t_{ji} \qquad j = 1,2 \end{aligned} \tag{5}$$

여기서 i 번째 사람에게 j 번째 질문에서 제시된 금액이 t_{ji}에 대한 양분선택적 응답이 '예'였다면 I_{ji}은 1의 값을 갖게 된다. 이로부터 응답자에게 제시된 금액이 지불의사금액보다 더 작거나 같다는 정보를 얻을 수 있다. 만약 응답이 '아니오'인 경우에는 I_{ji}는 0의 값을 갖고, 이 경우에는 제시된 금액이 지불의사금액보다 더 크다는 정보를 얻게 된다.

이 경우에는 제시금액에 대한 첫 번째 제시금액에 대한 양분선택적 응답 자료만을 분석하면 된다. 그러므로 단일 양분선택형 CV 자료만 이용할 때의 로그-우도함수는 다음과 같다.

$$\ln L = \sum_i \{ I_{1i} \ln[1 - F(t_{1i} : \theta)] + (1 - I_{1i}) \ln[F(t_{1i} : \theta)] \} \tag{6}$$

한편 이중 양분선택형 CV 자료에서의 지불의사금액 함수의 로그-우도함수(log likelihood function)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \ln L = \sum_i \{ & (I_{1i} I_{2i}) \ln[1 - F(t_{2i} : \theta)] \\ & + I_{1i}(1 - I_{2i}) \ln[F(t_{2i} : \theta) - F(t_{1i} : \theta)] \\ & + (1 - I_{1i}) I_{2i} \ln[F(t_{1i} : \theta) - \Phi(t_{2i} : \theta)] \\ & + (1 - I_{1i})(1 - I_{2i}) \ln[F(t_{2i} : \theta)] \} \end{aligned} \tag{7}$$

여기서 $F(. : \theta)$는 분포와 관련된 모수 θ를 갖는 누적확률밀도함수(CDF)이다. 이때 오차항에 일반적으로 적용하는 분포는 정규분포(normal distribution), 로지스틱분포(logistic distribution), 로그정규분포(log normal distribution), 지수분포(exponential distribution) 등이 있다.[4)]

정규분포의 확률밀도함수(probability density function; PDF)는 $f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$로 평균 및 중앙값은 μ이고, 로지스틱분포의 확률밀도함수는

4) 본 연구에서 채택하고 있는 분포들은 DC CV 자료 분석에서 일반적으로 이용되고 있는 분포들이다. 이러한 분포들은 각각의 확률밀도함수의 정의에 따라 다른 모양의 분포 형태를 보이는데, 그러한 분포 형태가 DC CV 자료로부터 지불의사금액의 대푯값을 도출할 때 특별한 장단점으로 연결되지는 않는다.

$f(x;\mu,s) = \dfrac{e^{-\frac{x-\mu}{s}}}{s\left(1+e^{-\frac{x-\mu}{s}}\right)^2}$로 평균 및 중앙값도 μ이다. 이 때 μ는 위치모수(location parameter)이고 σ 및 s는 척도모수(scale parameter)이다. 한편 로그정규분포의 확률밀도함수는 $\ln N(x;\mu,\sigma) = \dfrac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(\ln x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$, $x > 0$이고 평균은 $e^{\mu+\frac{\sigma^2}{2}}$이고, 중앙값은 e^{μ}이다. 여기서 μ는 위치모수이며 σ는 척도모수이다. 지수분포의 확률밀도함수는 $f(x;\sigma) = \dfrac{1}{\sigma}e^{-\frac{x}{\sigma}}$, $x > 0$이며 σ는 척도모수이자 위치모수이다. 이때의 평균은 σ이고 중앙값은 $\sigma\ln(2)$이다.

2. 비모수적 분포의 추정방법: Turnbull 추정방법[5)]

응답자에게 무작위적으로 주어지는 M가지의 제시금액을 $t_j(j = 1, 2, \cdots, M)$라고 하자. 만약 응답자가 "대상 재화를 위해 t_j원을 기꺼이 지불하겠습니까?"라는 질문에 대해 '예'라고 답변하는 경우는 $WTP_i \geq t_j$를 의미한다. 그 반대의 경우에는 $WTP_i < t_j$이다. WTP는 연구자에게는 관찰되지 않기 때문에 WTP가 A원보다 작은 경우의 확률은 $F_W(A)$와 같은 누적확률분포를 갖는 확률변수라고 볼 수 있다. 그러므로 무작위적으로 선택된 응답자가 t_j원보다 작은 WTP을 갖는 경우의 확률은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Pr(WTP_i < t_j) = F_W(t_j) = F_j \tag{8}$$

이 확률은 응답자가 제시된 t_j원을 지불할 의사가 없다고 대답하는 경우의 확률을 의

5) 이 절의 내용은 Haab and McConnell(1997), Haab(2002), 한상렬(2007)에서 소개된 내용을 인용하여 정리하였다. Turnbull 추정방법에 대본 연구에서 이용하는 Turnbull 비모수 추정 방법은 DC CV 자료 분석을 위해 기존 연구들에서 이용되고 있는 비모수적 추정방법이다. 이 추정방법은 특정한 모수적 분포를 가정하지 않기에, 그로 인한 자의적 가정에 의한 일종의 오지정 편의를 피할 수 있는 장점이 있다. 그러나 공변량, 즉 설명변수를 포함한 분석을 하기 어렵다는 약점이 있다.

미한다. 이때 j > k 일 경우에는 $A_j > A_k$의 관계가 성립한다. 그렇다면 응답자가 A_{j-1}에서 A_j까지의 구간에서 응답확률을 p_j라고 한다면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$p_j = \Pr(A_{j-1} < WTP \leq A_j) \qquad \text{for } j = 1, \cdots, M+1 \tag{9}$$

대부분의 경우에서 응답자는 j=1에서 M까지의 A_j에 대하여 각각 응답하게 되는데, 이때 최대제시금액 A_M을 초과하는 금액에 대하여는 $A_{M+1} = \infty$라고 가정하자. 이때 누적분포함수(CDF)를 F_j라 하고, $F_{M+1} = 1$이고, $F_0 \equiv 0$이다. 그러므로 누적분포함수 F_j를 이용하면, 최우추정함수는 다음과 같이 표현된다.

$$L(F, N, Y) = \sum_{j=1}^{M} [N_j \ln(F_j) + Y_j \ln(1 - F_j)] \tag{10}$$

여기서 N_j는 제시금액 A_j에 대하여 ‘아니오’라고 응답하는 응답자의 수이고, Y_j는 A_j에 대하여 ‘예’라고 응답하는 응답자의 수이다. 이를 누적분포함수가 아닌 구간확률 p_j로 표현하면 다음과 같다.

$$L(p_j, N, Y) = \sum_{j=1}^{M} (N_j \ln(\sum_{i=1}^{j} p_i) + Y_j \ln(1 - \sum_{i=1}^{j} p_i)) \tag{11}$$

위의 식에 대한 최대화를 위한 Kuhn-Tucker 1계 조건은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \ln L}{\partial p_j} = \sum_{j=1}^{M} \left(\frac{N_j}{\sum_{k=1}^{j} p_k} - \frac{Y_j}{1 - \sum_{k=1}^{j} p_k} \right) \leq 0 \tag{12}$$

여기서 $p_j \geq 0$, $p_i \ln \frac{\partial L}{\partial p_i} = 0$이다.

만약 $\frac{N_2}{N_2+Y_2} > \frac{N_1}{N_1+Y_1}$이라면 p_2는 양의 값을 가지게 된다. 이는 응답자가 제시금액 A_2에 대하여 ‘아니오’라고 응답하는 확률이 A_1에 대하여 ‘아니오’라고 응답하는 확률보다 크다면, (A_1, A_2) 사이의 구간에서 확률은 양의 값을 가진다는 의미이다. 따라서 구간확률 p_j는 $F_j - F_{j-1}$로 계산되며 이때의 $F_j = \frac{N_j}{N_j+Y_j}$이다. 이러한 누적분포함수는 독립적인 베르누이(Bernoulli) 연속시행으로 동일한 제시금액이 주어진 응답자들의 부표본(subsample)에서 계산될 수 있다.

그러나 만약 $\frac{N_2}{N_2+Y_2} < \frac{N_1}{N_1+Y_1}$이라면 p_2의 최우추정치는 음이 된다. 따라서 전체에서 p_2는 음이 아니라고 가정했기 때문에 이 경우에는 p_2를 0으로 계산하고 $p_{3\neq 0}$이 아니라고 가정한다면, $\frac{\partial L}{\partial p_1}$에서 $\frac{\partial L}{\partial p_3}$을 빼면 다음과 같이 정리된다.

$$\frac{\partial L}{\partial p_1} - \frac{\partial L}{\partial p_3} = \frac{N_1+N_2}{p_1} - \frac{Y_1+Y_2}{1-p_1} = 0 \tag{13}$$

이를 p_1에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$p_1 = \frac{N_1+N_2}{N_1+N_2+Y_1+Y_2} \tag{14}$$

그러므로 p_j가 음이 아니라는 제약조건을 해결하기 위하여 j번째와 j-1번째를 합하여 계산할 수 있다. 만약 이 경우에도 p_j가 음의 값을 가진다면, $p_j > 0$을 만족할 때까지 반복적으로 계산한다.

이제 위와 같은 과정에 의하여 계산된 누적분포함수를 이용하여 기대치를 추정하기 위해서는 다음과 같이 계산한다.

$$E(WTP) = \int_0^{\infty} WdF(W) = \sum_{j=1}^{M+1} \int_{A_{j-1}}^{A_j} WdF(W) \tag{15}$$

이때 제시금액 간의 구간의 면적을 계산하기 위하여 확률구간에서의 금액을 어떤 것을 기준으로 할 것인가가 중요한데, 일반적으로 각각의 구간에서 최솟값을 기준으로 하는 하한(lower bound) 방법이 적용되고 있다. 따라서 각각의 구간에서 최솟값을 적용할 때 지불의사금액의 기대치($E_{LB}(WTP)$)는 다음과 같이 계산된다.

$$E_{LB}(WTP) = \sum_{j=0}^{M^*+1} t_j (F^*_{j+1} - F^*_j) \tag{16}$$

여기서 p_j가 음이 아니라는 조건을 만족하는 누적확률분포 값을 F^*_j와 F^*_{j+1}로 표기하고, 그 때의 수정된 제시금액의 수는 M^*라고 표시한다. 또한 하한 평균에 의해 추정된 지불의사금액의 분산은 아래 식과 같이 추정된다. 여기서 $V(\bullet)$는 분산을 의미한다.

$$V(E_{LB}(WTP)) = \sum_{j=1}^{M^*} V(F^*_j)(t_j - t_{j-1})^2 \tag{17}$$

III. 지불의사금액(WTP) 함수의 추정결과

1. 모수적 분포 가정한 추정결과[6)]

1) 단일 양분선택형 CV 자료

단일 양분선택형 CV 자료에서 지불의사금액(WTP) 함수의 오차항에 대한 네 가지의 모수적 분포를 가정한 추정 결과는 다음 <표 1>과 같다. 여기서 지불의사금액 함수는 상수항 이외의 공변량(covariate)을 포함하지 않은 형태로 상정하는데, 이는 본 연구의 주

6) 모수적 분포를 가정한 추정은 제II장에서 언급된 로그우도함수를 최우추정법(maximum likelihood estimation)으로 추정하면 된다. 본 연구에서는 통계 소프트웨어인 SAS에서 동일한 로그우도함수 형태를 갖는 생존분석(survival analysis) 모형을 이용하였다. 이 경우 상수항(위치모수) 및 척도모수의 신뢰구간도 함께 추정된다.

요관심 대상인 지불의사금액의 대푯값(평균 또는 중앙값)만을 도출하고자 하기 때문이다.[7] 일반적으로 다른 모수적 분포를 가정한 분석에서 모형의 적합도를 로그우도함수값으로 평가하기는 어려운 상황이다.

우선, 상한값과 하한값이 각각 $-\infty$와 ∞인 정규분포와 로지스틱분포의 경우의 위치모수(location parameter)인 상수항은 통계적으로 유의하지 않다. 한편 로그정규분포와 지수분포의 상수항은 통계적으로 유의하다. 그런데 척도모수(scale parameter)의 경우는 모두 통계적으로 유의하게 추정되었다. 지수분포의 경우는 척도모수를 따로 추정하지 않는데, 분포의 특성상 위치모수가 척도모수이기도 하다.

〈표 1〉 단일양분선택형 CV 자료에 대한 모수적 분포 가정한 모형 추정 결과

모형	변수	계수추정치	표준오차	t 값	로그우도
정규분포	상수항	14,795.81	64,726.85	0.23	-335.1
	척도모수	720,197.4	182,310.4	3.95***	
로지스틱분포	상수항	15,436.75	63,907.12	0.24	-335.1
	척도모수	445,181	113,768.4	3.91***	
로그정규분포	상수항	10.7119	0.3821	28.03***	-335.2
	척도모수	4.2424	1.0733	3.95***	
지수분포	상수항	12.2476	0.0609	201.11***	-395.6

주: ***는 유의수준 1% 수준에서 통계적으로 유의함을 의미함.

<표 1>의 추정 결과로부터 지불의사금액(WTP)의 평균 및 중앙값의 추정치는 <표 2>에 제시되어 있다. 우선, 정규분포와 로지스틱분포에서는 추정된 위치모수인 상수항이 평균 및 중앙값의 추정치인데, 앞서 추정된 위치모수가 통계적으로 유의하지 않기에 WTP의 평균 및 중앙값도 통계적으로 유의하지 않다.

한편 로그정규분포의 경우에 WTP가 0보다 크다고 상정하여 분석하는 모형인데, 이 경우에는 WTP의 평균은 자연대수를 밑으로 추정된 상수항에 의한 지수함수값(즉,

7) DC CV 자료로부터 추정되는 지불의사금액의 대푯값(평균 내지 중앙값)은 지불의사금액함수의 공변량 포함 여부에 큰 차이를 보이지 않는다. 그러므로 지불의사금액의 대푯값만이 관심의 대상일 때에는 공변량을 포함하지 않는 분석으로 충분하기에, 예비타당성조사에서도 상수항 이외의 공변량을 포함하지 않고 분석하고 있다. 그러나 지불의사금액함수의 이론적 타당성 검토하고자 하는 경우에는 상수항 이외의 설명변수를 포함하여 분석할 필요가 있다.

$e^{(상수항+\frac{1}{2}척도모수^2)}$)에 의해 계산되고, WTP의 중앙값은 추정된 위치모수(상수항)의 지수함수(즉, $e^{상수항}$)로부터 산출된다. 이러한 방식에 따라 산정한 WTP의 평균은 극단적으로 큰 값을 나타내고 통계적으로 유의하지 않다.[8] 그리고 로그정규분포를 가정한 경우 WTP의 중앙값은 유의수준 5%에서 통계적으로 유의하며, 44,887원(95% 신뢰구간 21,226원~94,930원)으로 추정되었다.

〈표 2〉 단일양분선택형 CV 자료에 대한 모수적 분포 가정한 모형에 의한 WTP 추정 결과

구분	모형	추정치	S.E.	t 값	95% 신뢰구간	
					하한값	상한값
WTP의 평균	정규분포	14,796	64,727	0.23	-112,066	141,658
	로지스틱 분포	15,437	63,907	0.24	-109,819	140,692
	로그정규 분포	363,350,641	2,941,255,810,096	0.00	###	###
	지수분포	208,490	12,704	16.41***	185,020	234,938
WTP의 중앙값	정규분포	14,796	64,727	0.23	-112,066	141,658
	로지스틱 분포	15,437	63,907	0.24	-109,819	140,692
	로그정규 분포	44,887	18,802	2.39**	21,226	94,930
	지수분포	144,514	8,828	16.37***	128,244	162,850

주: ***는 유의수준 1% 수준에서 통계적으로 유의함을 의미함. ###는 표시한계를 넘어선 값을 의미함.

지수분포를 가정한 경우에 WTP의 평균은 로그정규분포와 같은 방식(즉, $e^{상수항}$)으로 산정할 수 있고[9], 중앙값은 평균값에 자연대수를 밑으로 하는 2를 곱(즉, $e^{상수항} \times \ln(2)$)하여 구할 수 있다. 그와 같은 방식에 따라서 추정된 WTP의 평균은 208,490원이고 95% 신뢰구간은 185,020원~234,938원 수준이다. 단일양분선택형 CV 자료에 대해

8) 이러한 결과가 도출된 이유는 로그정규분포를 가정할 경우 본 연구에서 이용한 자료로부터 통계적으로 유의한 추정치를 도출하기에는 정보가 부족하기 때문이라고 판단된다.

9) SAS에서 지수함수 추정 결과는 자연대수 로그를 취한 값을 기준으로 산출되었기 때문에, SAS에서 지수함수 추정 결과로부터 평균을 구하기 위해서는 $e^{상수항}$으로 계산하여야 한다.

가정한 네 가지 분포 중에서 유일하게 통계적으로 유의한 WTP의 평균값이다. 그리고 지수분포를 가정한 경우의 WTP의 중앙값은 144,514원이고 95% 신뢰구간은 128,244원~162,850원으로 추정되었다. 이 값은 로그정규분포를 가정하고 추정된 중앙값의 3.2배 수준으로 상당한 차이가 있다.

이상의 결과를 종합해 보면, 단일양분선택형 CV 자료에서는 지불의사금액(WTP)함수의 오차항에 대한 네 가지 분포에서 도출된 WTP의 평균값들 중 지수분포를 가정하여 도출된 평균값만 통계적으로 유의하였다. 또한 WTP의 중앙값의 경우는 로그정규분포와 지수분포에서 통계적으로 유의하게 추정되었지만, 그 차이는 상당히 크게 나타났다.

2) 이중양분선택형 CV 자료

이중양분선택형 CV 자료에서 WTP함수의 오차항에 대한 네 가지 모수적 분포를 가정한 모형들의 추정 결과는 <표 3>과 같이 위치모수인 상수항 및 척도모수 모두 1% 유의수준에서 통계적으로 유의하였다. 그 결과 <표 4>에서 보듯이, 로그정규분포로부터 도출된 WTP의 평균을 제외한 WTP의 평균 및 중앙값 모두 1% 유의수준에서 통계적으로 유의하게 나타났다. 이는 앞서의 단일양분선택형 CV 자료에 대한 추정 결과들이 통계적으로 유의한 경우가 거의 없었던 경우와는 다른 결과이다.

〈표 3〉 이중양분선택형 CV 자료에 대한 모수적 분포 가정한 모형 추정 결과

모형	변수	계수추정치	표준오차	t 값	로그우도
정규분포	상수항	123658.7	19604.13	6.31***	-685.1
	척도모수	370792.5	24606.83	15.07***	
로지스틱분포	상수항	116573.9	18852.16	6.18***	-683.1
	척도모수	221084.4	15443.48	14.32***	
로그정규분포	상수항	11.2654	0.1173	96.04***	-646.1
	척도모수	2.2221	0.1467	15.15***	
지수분포	상수항	12.2926	0.0525	234.14***	-727.1

주: ***는 유의수준 1% 수준에서 통계적으로 유의함을 의미함.

정규분포와 로지스틱분포를 가정한 경우는 WTP의 평균과 중앙값이 동일한데, 두 분포 사이에도 거의 차이를 보이지 않는다. WTP의 평균은 로그정규분포에서는 통계적으로 유의한 값을 얻지 못하고, 지수분포일 때는 로지스틱분포에서 얻은 값의 약 1.9배 수준이다. 그러므로 이중양분선택형 CV 자료를 분석하기 위해 적용한 모수적 분포에 따라 WTP의 평균값들은 적지 않은 차이를 보여주고 있다.

한편 WTP의 중앙값은 로그정규분포에서 78,073원으로 가장 작은 값을 가진다. 이 값에 비해 로지스틱분포, 정규분포, 지수분포의 경우는 각각 1.5배, 1.6배, 1.9배 수준이다. 그러므로 가정한 분포에 따른 WTP의 중앙값 추정치들도 변동성이 작다고 보기는 어렵다.

〈표 4〉 이중양분선택형 CV 자료에 대한 모수적 분포 가정한 모형에 의한 WTP 추정 결과

구분	모형	추정치	S.E.	t 값	95% 신뢰구간	
					하한값	상한값
WTP의 평균	정규분포	123,659	19,604	6.31^{***}	85,235	162,082
	로지스틱분포	116,574	18,852	6.16^{***}	79,624	153,523
	로그정규분포	921,967	10,848,421	0.08	-215,612,608	22,184,871
	지수분포	218,071	11,454	19.04^{***}	196,737	241,717
WTP의 중앙값	정규분포	123,659	19,604	6.31^{***}	85,235	162,082
	로지스틱분포	116,574	18,852	6.16^{***}	79,624	153,523
	로그정규분포	78,073	9,241	8.45^{***}	62,038	98,263
	지수분포	151,156	7,953	19.01^{***}	136,365	167,542

주: ***는 유의수준 1% 수준에서 통계적으로 유의함을 의미함.

2. 비모수적 분포에 의한 추정결과[10)]

1) 단일 양분선택형 CV 자료

단일양분선택형 CV 자료로부터 지불의사금액의 대푯값을 추정하기 위해, 특정한 모수적 분포를 가정하지 않는 Turnbull 모형을 추정한 결과는 <표 5>와 같다.

〈표 5〉 단일양분선택형 CV 자료에 대한 Turnbull 모형의 추정 결과

구간		Turnbull PDF	Turnbull CDF	95% 신뢰구간		표준오차
하한값	상한값			하한값	상한값	
.	40000	0.4754	0.4754	0.3885	0.5639	0.0452
40000	90000	0.1246	0.6	0.5136	0.6805	0.043
90000	300000	0.0149	0.6148	0.5302	0.693	0.0419
300000	450000	0.1312	0.746	0.6629	0.8144	0.0388
450000	.	0.254	1	-	-	-

<표 5>의 추정 결과를 이용하여 Turnbull 하한 평균(lower mean)을 구하면, 159,985원(95% 신뢰구간 138,587원~181,383원)으로 계산되었다. 이 금액을 기준으로 모수적 분포를 가정한 경우와 비교하면 지수분포일 때 추정된 WTP의 평균값이 1.3배 수준이다.

한편 Turnbull 추정방법에 의한 WTP의 중앙값은 40,000원~90,000원의 구간인데, 로그정규분포일 때의 95% 신뢰구간과 가장 많이 겹치는 것으로 파악된다. 지수분포일 때 WTP 중앙값의 95% 신뢰구간과는 전혀 겹치지 않는다.

〈표 6〉 단일양분선택형 CV 자료에 대한 Turnbull 모형의 WTP 추정 결과

구분	추정치	표준오차	95% 신뢰구간	
			하한값	상한값
WTP의 평균	159,985	10,917	138,587	181,383
WTP의 중앙값	40,000~90,000	-	-	-

10) 이 절의 분석은 통계 프로그램인 SAS의 Turnbull 비모수적 추정 모형을 이용하여 추정한 결과이다. SAS 프로그램에서는 앞서 제시된 Turnbull 모형의 로그우도함수를 최우추정법으로 추정한 결과를 제공한다.

2) 이중양분선택형 CV 자료

이중양분선택형 CV 자료에 대해 특정한 분포를 가정하지 않는 Turnbull 모형을 추정한 결과는 <표 7>과 같다.

〈표 7〉 이중양분선택형 CV 자료에 대한 Turnbull 모형의 추정 결과

구간		Turnbull PDF	Turnbull CDF	95% 신뢰구간		표준오차
하한값	상한값			하한값	상한값	
.	20000	0.2658	0.2658	0.2113	0.3285	0.03
20000	40000	0.1295	0.3953	0.3458	0.4471	0.0259
40000	90000	0.1482	0.5436	0.4973	0.5891	0.0235
90000	300000	0.1483	0.6919	0.6481	0.7325	0.0216
300000	450000	0.0943	0.7862	0.7428	0.8241	0.0207
450000	600000	0.0668	0.853	0.8031	0.892	0.0226
600000	.	0.147	1	-	-	-

<표 7>의 추정 결과를 이용하여 Turnbull 하한 평균(lower mean)을 구하면, 168,415원(95% 신뢰구간 155,456원~181,374원)이다. 이 금액을 기준으로 모수적 분포를 가정한 경우와 비교하면, 로지스틱분포 또는 정규분포일 때는 약 0.7배, 지수분포일 때는 1.3배, 로그정규분포일 때는 약 5.5배 수준이다. 그러므로 비모수적 추정치인 Turnbull 하한 평균을 기준으로 판단하면 모수적 분포를 가정한 WTP의 평균 추정치가 유사하지 않으며, 상당한 정도의 차이를 확인할 수 있다.

한편 Turnbull 추정방법에 의한 WTP의 중앙값은 40,000원~90,000원의 구간인데, 단일양분선택형 CV 자료에 대한 분석에서와 마찬가지로 로그정규분포일 때의 95% 신뢰구간과 가장 많이 겹치는 것으로 파악된다. 그 외의 분포를 가정한 경우에 WTP 중앙값의 95% 신뢰구간과는 거의 겹치지 않는다.

그런데 이중양분선택형 CV 자료에 대한 Turnbull 비모수 추정 결과는 단일양분선택형 CV 자료에 대한 Turnbull 비모수 추정 결과와 거의 차이가 나지 않는다. 이는 모수적 분포를 가정한 경우의 분석과는 매우 상이한 결과이다. 따라서 Turnbull 추정방법은 본 연구의 조사 자료에 대해 단일양분선택형 CV 자료인 경우와 이중양분선택형 CV 자료

로 분석하든 거의 유사한 지불의사금액의 대푯값(평균 내지 중앙값)을 도출한다는 흥미로운 사실을 확인할 수 있다.

〈표 8〉 이중양분선택형 CV 자료에 대한 Turnbull 모형의 WTP 추정 결과

구분	추정치	표준오차	95% 신뢰구간	
			하한값	상한값
WTP의 평균	168,415	6,612	155,456	181,374
WTP의 중앙값	40,000 ~ 90,000	-	-	-

3. 추정 결과의 비교와 시사점

특정 모수적 분포를 가정하고 추정된 결과와 비교를 위해, 그러한 제약을 가하지 않은 비모수적 추정 결과를 기준으로 한다. 왜냐하면 비모수적 추정 결과와의 비교를 통해 특정 모수적 분포를 가정한 경우에 어느 정도의 변동성이 나타나는지를 판단해볼 수 있기 때문이다. 그러므로 앞서 추정방법에 따라 추정된 결과들 중 통계적으로 유의한 추정치들을 비모수적 추정 결과와 비교하기 위해 WTP의 평균을 <표 9> 그리고 WTP의 중앙값을 <표 10>으로 정리하였다.

<표 9>에서 WTP 평균의 추정 결과를 보면, 비모수적 추정방법에 따를 경우 단일양분선택형 CV 자료로 분석하든 이중양분선택형 CV 자료로 분석하든 거의 유사한 값으로 추정되었다. 즉, 두 평균 추정치들은 상호 ± 5% 정도의 차이만을 나타낼 뿐이다.

한편 비모수적 추정방법에 의한 WTP 평균을 기준으로 하여 모수적 분포를 가정하여 추정된 WTP 평균을 보면, 약 30% 정도의 차이를 보이고 있다. 즉, 단일양분선택형 CV 자료에 대한 분석에서 보면, 유일하게 통계적으로 유의한 지수분포를 가정한 WTP 평균이 비모수적 추정방법에 의해 추정된 값보다 30% 크게 추정되었다. 또한 이중양분선택형 CV 자료에서는 정규분포와 로지스틱분포를 가정한 경우가 비모수적 추정에서 얻는 값에 비해 약 30% 작게 추정되고 지수분포를 가정해서 얻은 경우는 약 30% 크게 추정되었다. 이러한 결과는 비모수적 추정방법에 의한 WTP의 평균을 기준으로 할 때 특정한 모수적 분포를 가정하여 얻은 WTP의 평균값과 상대적으로 작지 않은 차이를 보여주고 있다.

〈표 9〉 추정방법에 따른 지불의사금액(WTP) 평균의 추정 결과 비교

자료 구분	비모수적 추정방법(A)	모수적 분포 가정 추정방법		
		가정된 분포	추정 결과(B)	상대적 크기(B/A)
단일양분선택형 CV	159,985	정규분포	#	-
		로지스틱분포	#	-
		로그정규분포	#	-
		지수분포	208,490	1.30
이중양분선택형 CV	168,415	정규분포	123,659	0.73
		로지스틱분포	116,574	0.69
		로그정규분포	#	-
		지수분포	218,071	1.29

주: #는 10% 유의수준에서 통계적으로 유의한 추정치를 얻지 못한 경우를 표시함.

<표 10>에서 WTP 중앙값의 추정 결과를 보면, 비모수적 추정방법에 따를 경우 단일양분선택형 CV 자료로 분석하든 이중양분선택형 CV 자료로 분석하든 동일한 구간이 추정되었다. 비모수적 추정방법에 의한 WTP 중앙값을 기준으로 하여 모수적 분포를 가정하여 추정된 WTP 중앙값을 보면, 로그정규분포를 가정한 경우를 제외하고는 비모수적 추정방법에 의해 얻어진 WTP의 중앙값 구간에 포함되지 못하고 있다. 이러한 결과는 비모수적 추정방법에 의해 도출된 WTP의 중앙값을 기준으로 할 때, 특정한 모수적 분포를 가정하여 얻은 WTP의 중앙값들 역시 작지 않은 변동성을 보여준다.

〈표 10〉 추정방법에 따른 지불의사금액(WTP) 중앙값의 추정 결과 비교

자료 구분	비모수적 추정방법	모수적 분포 가정 추정방법	
		가정된 분포	추정 결과
단일양분선택형 CV	40,000～90,000	정규분포	#
		로지스틱분포	#
		로그정규분포	44,887
		지수분포	144,514
이중양분선택형 CV	40,000～90,000	정규분포	123,659
		로지스틱분포	116,574
		로그정규분포	78,073
		지수분포	151,156

주: #는 10% 유의수준에서 통계적으로 유의한 추정치를 얻지 못한 경우를 표시함.

이상과 같은 양분선택형 CV 자료의 추정방법에 따른 WTP 대푯값들의 비교·검토로부터 다음과 같은 시사점을 얻을 수 있다.

우선, DC CV 자료를 분석하기 위해 적용되고 있는 모수적 추정방법 및 비모수적 추정방법에 의한 WTP의 평균값의 변동성이 작지 않게 나타난다. 이 변동성이 작지 않다는 기준을 통계적 또는 학술적으로 정의하기는 어렵지만, 정책의사결정 과정에서 인정되기 어려운 수준의 차이를 보여준다. 여러 가지 분포를 달리하여 추정되는 모수적 추정방법들 사이에서도 그렇지만, 특정 모수적 분포라는 자의적 가정에서 자유로운 비모수적 추정방법에 의한 추정 결과를 기준으로 하면 변동성은 더욱 명확히 확인된다. 이는 단일양분선택형 자료의 경우든 이중양분선택형 자료이든 거의 유사하다. 그러므로 자의적인 모수적 분포의 가정에서 도출된 WTP 평균의 적합성을 판단하기 어려운 상황에서는, 자의적인 모수적 분포라는 제약을 배제한 비모수적 추정방법에 의한 WTP의 평균이 적절한 대안이 될 수 있다.

둘째, WTP 평균의 변동성이 크다고 할 때 평균에 비해 분포에 대한 민감도가 작다고 알려져있는 WTP의 중앙값을 선택을 할 수 있지만, 본 연구 자료에서는 자의적인 특정 모수적 분포에 따른 WTP의 중앙값 역시 평균에 못지않은 변동성을 보여주고 있다. 그러므로 자의적인 특정 모수적 분포의 가정에 따른 WTP 평균의 변동성이 크다고 해서, 특정 모수적 분포를 채택한 WTP의 중앙값을 채택하는 선택도 적절하지 않을 수 있다.

셋째, 본 연구에서 Turnbull 비모수적 추정방법에서 도출된 WTP의 평균 및 중앙값은 단일양분선택형 CV 자료이든 이중양분선택형 CV 자료이든 거의 유사한 결과를 도출하고 있다. 이러한 특성은 모수적 분포를 가정한 추정방법에서 도출되는 결과와는 매우 다르다. 그러므로 Turnbull 비모수적 추정방법은 DC CV 자료를 단일양분선택형 CV 자료 또는 이중양분선택형 CV 자료로 해석하더라도 유사한 결과를 도출할 수 있는 강건한(robust)[11] 특성을 보여준다.

넷째, 본 연구에서 모수적 분포를 가정한 추정방법을 이용할 때 이중양분선택형 CV

---

11) 강건성(robustness)은 가정이나 조건이 변하여도 통계적 방법이 여전히 유용할 경우를 의미한다. 그러므로 본 연구에서 동일한 자료에 대해 단일 양분선택형 CV 자료 또는 이중양분선택형 CV 자료로 해석하여 분석하는 경우 유사한 결과를 얻을 수 있는 Turnbull 비모수적 추정방법은 강건한 특성을 가지고 있다고 볼 수 있다. 또한 이러한 경우가 모수적 추정 방법에서는 통계적으로 유의한 추정치를 얻을 수 없는 경우에도 그대로 유지된다는 점도 Turnbull 비모수적 추정방법의 강건한 특성이라고 볼 수 있다.

자료로 해석할 때와는 달리 단일양분선택형 CV 자료에서는 통계적으로 유의한 추정치를 도출하지 못하고 있다.[12)] 그러나 단일양분선택형 CV 자료에 대해 Turnbull 비모수적 추정방법을 이용하면 통계적으로 유의한 WTP의 대푯값을 얻을 수 있다. 즉, 모수적 분포를 가정한 분석에서 WTP 대푯값의 추정치가 통계적 유의성을 갖지 못하는 경우에도, Turnbull 비모수적 추정방법은 동일한 자료로부터 통계적으로 유의한 추정치를 도출할 수 있는 강건한 특성이 보인다.

IV. 결 론

본 연구에서는 조기사망 위험 감소를 위한 지불의사금액을 추정하기 위한 양분선택형 조건부가치측정(CV) 자료를 이용하여, 자의적인 특정 모수적 분포의 가정에서 얻어진 지불의사금액의 대푯값(평균 내지 중앙값)의 변동성을 검토하고자 하였다. 이를 위해 우선적으로 지불의사금액함수의 오차항에 대해 일반적으로 이용되고 있는 특정 모수적 분포 즉, 정규분포, 로지스틱분포, 로그정규분포, 지수분포를 가정한 추정 결과를 비교하였다. 그 결과 자의적인 특정 모수적 분포를 가정하여 얻어진 WTP의 대푯값들은 단일양분선택형 CV 자료이든 이중양분선택형 CV 자료이든 상당한 변동성을 보여주었다.

또한 본 연구에서는 특정 모수적 분포라는 자의적인 제약을 회피할 수 있는 Turnbull 비모수적 추정방법을 이용한 WTP의 대푯값을 추정하였다. 비모수적 추정 결과를 기준으로 일반적으로 이용되는 모수적 분포의 추정 결과와 비교하면, WTP 대푯값의 변동성이 보다 분명하게 확인되었다. 이러한 경향은 WTP의 평균에서 뿐만 아니라 WTP의 중앙값에서도 거의 비슷하게 나타났다.

한편 Turnbull 비모수적 추정방법에서 얻은 WTP의 단일양분선택형 CV 자료 또는 이중양분선택형 CV 자료로 해석하여 분석하더라도, 모수적 분포를 가정하고 추정한 경우와는 달리 결과가 거의 유사한 추정 결과가 도출되는 강건한 특성을 보여주었다. 또한 단일양분선택형 CV 자료에 대한 분석에서 모수적 분포를 가정한 경우에는 통계적으로 유

---

12) 단일 양분선택형 CV 자료에서 지불의사금액이 0인 경우를 인정하는 방식으로 지불의사금액의 대푯값의 통계적 유의성을 높일 수 있지만, 엄밀히 말해 이 방식은 양분선택형 CV 자료만을 이용하는 방식과는 다르다고 볼 수 있다.

의한 추정치를 얻지 못하였지만, Turnbull 비모수적 추정방법에서는 통계적으로 유의한 추정치를 도출할 수는 강건한 특성을 확인할 수 있었다.

그러므로 DC CV 자료에 대한 모수적 분포를 가정한 추정방법 및 Turnbull 비모수적 추정방법에서 도출된 추정치들을 비교·검토에서 얻은 시사점들을 종합하면 다음과 같다. 특정 모수적 분포의 적합성을 확인하기 어려운 상황에서 모수적 분포를 가정한 분포들에서 얻어진 추정치들의 변동성이 크다면, Turnbull 비모수적 추정방법에 의한 WTP의 대푯값(즉, 평균 내지 중앙값)이 정책의사결정에서 논란의 여지를 회피할 수 있는 선택이 될 수 있다. 특히, Turnbull 비모수적 추정방법에 의해 도출된 WTP의 대푯값 중 평균이 중앙값에 비해 정책의사결정에 더욱 적절한 선택이 될 수 있다. 왜냐하면 정책의사결정에서 요구하는 관심 대상에 대한 총지불의사금액을 얻기 위해서는 정의상 중앙값이 아닌 평균을 이용해야만 하기 때문이다. 또한 Turnbull 비모수적 추정방법에 의해 도출되는 중앙값은 구간값으로 산정되기 때문에, 정책의사결정에서 요구되는 하나의 지불의사금액으로 환산하기 어렵기 때문이기도 하다.

그러나 본 연구에서 도출한 시사점 및 제안은 단지 사망위험 감소에 대한 지불의사금액을 조사하는 CV 자료에 한정될 수밖에 없다는 한계가 있다. 그렇다 하더라도 본 연구의 분석에서 도출한 제안 즉, DC CV 자료로부터 자의적인 특정 모수적 분포를 가정하여 얻어진 지불의사금액의 평균 내지 중앙값의 변동성이 크다고 판단되는 경우에는, 이러한 가정에서 자유로우면서 강건한 Turnbull 비모수적 추정방법에 의한 평균이 정책의사결정에서 논란의 여지를 회피할 수 있는 선택이 될 수 있다는 여전히 유효하다고 생각한다. 물론 이러한 제안이 보다 설득력을 갖기 위해서는 더 많은 DC CV 자료들에서 비슷한 경향을 확인할 필요가 있다. 따라서 향후에도 DC CV 자료들에 대해 본 연구와 비슷한 형태로 지불의사금액의 변동성 내지 신뢰성을 검토하는 연구가 진행되었으면 한다.

또한 특정한 분포를 사전적으로 가정하지 않으면서 공변량(covariates)을 포함한 WTP함수를 추정하는 준모수적(semiparametric) 추정방법에 대한 연구도 필요하다. 본 연구에서 이용한 비모수적 추정방법인 Turnbull 추정은 공변량을 포함한 모형에 대해서는 분석이 가능하지 않다. 지불의사금액의 평균 내지 중앙값만을 얻고자 하는 경우에 공변량을 포함한 지불의사금액 함수를 추정할 필요는 없겠지만, 공변량을 포함한 분석 결과로부터 CV 응답 자료의 이론적 타당성(theorectical validity) 검토 및 가치이전(value transfer)을 위한 정보를 제공할 수 있기 때문이다.

그리고 자의적인 모수적 분포를 가정한 모형들의 적합성을 평가할 수 있는 방법론에 대한 연구도 필요하다. 왜냐하면 여러 모수적 분포의 가정에 대한 적합성을 판별할 수 있다면 모수적 추정방법의 장점을 활용한 추정 결과를 이용하는 것이 가능하기 때문이다.

[References]

신영철, 『Economic Valuation of Heath Effects due to Air Pollution Control in Korea, 2000 to 2020』, 한국학술정보, 2003.

신영철, "제VII장 WTP함수 추정에서의 타당성 검토와 비모수적 추정", 『예비타당성조사를 위한 CVM 분석지침 개선 연구』, 2012, pp. 165~187.

신영철·조승헌, "미래의 사망가능성 감소에 대한 지불의사금애과 통계적 인간생명의 가치 측정", 『자원·환경경제연구』, 제12권, 제1호, 2003, pp. 49~74.

엄영숙, "만경강 수질개선 편익측정을 위한 조건부가치평가에 있어서 범위효과 분석", 『자원·환경경제연구』, 제10권 제3호, 2001, pp. 387~412.

한국개발연구원, 『예비타당성조사를 위한 CVM 분석지침 개선 연구』, 2012.

한상열, "Turnbull 분포무관모형을 이용한 월악산국립공원의 자산가치 평가", 『한국임학회지』, 제96권 제3호, 2007, pp. 283~289.

Bishop, Richard C. and Thomas A. Heberlein, "Measuring Values of Extra-Market Goods: Are Indirect Measures Biased," *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 61, No. 5, 1979, pp. 926~930.

Cameron, Trudy Ann, "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, No. 3, 1988, pp. 355~379.

Cameron, Trudy Ann and M. D. James, "Efficent estimation methods for closed-ended contingent valuation survey data," *Review of Economics and Statistics*, Vol. 69, No. 2, 1987, pp. 269~276.

Carson, R. T., W. M. Hanemann, R. Kopp, J. A. Krosnick, R. C. Mitchell, S. Presser, P. A. Ruud, and V. K. Smith, *Prospective Interim Lost Use Value Due to DDT and PCB*

Contamination in the Southern California Bight, NOAA Contract No. 50-DGNC-1-00007, 1994.

Haab, Timothy C. and Kenneth E. McConnell, "Referendum Models and Negative Willingness to Pay: Alternative Solutions," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 32, No. 2, 1997, pp. 251~270.

Haab, Timothy C. and Kenneth E. McConnell, *Valuing Environmental and Natural Resources*, Edward Elgar, 2002.

Hanemann, W. Michael, "Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Responses," *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 66, No. 3, 1984, pp. 332~341.

Krupnick, A., A. Alberini, M. Cropper, and N. Simon, *Mortality Risk Valuation for Environmental Policy*, Discussion Paper 99-47, Resources forH the Future, 1999.

Krupnick, A., B. O'Brien, R. Goeree, and M. Heintzelman, *Age, Health, and the Willingness to Pay for Mortality Risk Reduction: A Contingent Valuation Survey of Ontario Residents*, Discussion Paper 00-37, Resources for the Future, 2000.

McFadden, D., Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior, in P. Zarembka (ed.), *Frontiers in Econometrics*, New York: Academic Press, 1974, pp. 105~142.

Turnbull, Bruce W., "The Empirical Distribution Function with Arbitralrily Grouped, Censored and Truncated Data," *Journal of the Royal Statistical Society*, Vol. 38, No.3, 1976, pp. 290~295.