

## Semiparametric Evaluation of Environmental Goods: Local Linear Model Approach<sup>1)</sup>

Kiho Jeong<sup>2)</sup>

### Abstract

Contingent valuation method (CVM) is a main evaluation method of nonmarket goods for which markets either do not exist at all or do exist only incompletely; an example is environmental good. A dichotomous choice approach, the most popular type of CVM in environmental economics, employs binary discrete choice models as statistical estimation models. In this paper, we propose a semiparametric dichotomous choice CVM method using local linear model of Fan and Gijbels (1996) in which probability distribution of error term is specified parametrically but latent structural function is specified nonparametrically. The computation procedures of the proposed method are illustrated with a simple design of simulations.

**Keywords:** Evaluation of environmental goods, local linear model, semiparametric CVM

### 1. 서론

조건부 가치평가법(Contingent Valuation Method, CVM)은 시장이 존재하지 않거나 존재하더라도 불완전한 재화나 용역의 가치평가를 위한 방법으로 국내외 학계에서 광범위하게 채택되고 있는 방법이다. 특히 환경경제학 분야에서는 환경재의 가치평가를 위한 방법들 중에서 가장 문제점이 없는 방법으로 정착되고 있다. 환경재에 적용되는 경우 조건부 가치평가법은, 환경재의 수량이나 질의 가상적 변화를 소비자들에

---

1) “이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음” (KRF-2001-041-C00267). 과제명의 국문제목은 “응답자 선호체계의 함수설정오류를 피하기 위한 환경재의 준모수 가치평가 연구”임. 저자는 유익한 논평을 해주신 익명의 두 분 심사위원에게 감사한다.

2) 대구광역시 북구 산격동 1370번지 경북대학교 경제통상학부 교수  
Email: khjeong@knu.ac.kr.

게 제시하고 각각의 변화에 따라 발생하는 소비자들의 보상잉여(compensating surplus) 내지 동등잉여(equivalent surplus)를 설문조사를 통해 직접적으로 추정한다. 조건부 가치평가법은 설문형태에 따라 다양한 유형으로 구분되는데, 그 중에서도 양분선택형은 미국 상무성 산하 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)의 전문가 그룹이 추천하는 방법으로서(Portney, 1994), 본 연구의 관심대상은 양분선택형 조건부 가치평가법이다.

양분선택형에서 얻어지는 설문조사자료는 통계적 분석과정에서 일반적으로 이진선택모형(binary choice model)에 의해 모형화된다. 동 모형은 구조적 함수와 오차항의 확률분포함수들에 대해서 함수설정 오류가 있는 경우에는 추정결과가 왜곡될 수 있는데, 특히 후자보다는 전자의 함수설정 오류에 민감한 영향을 받는 것으로 알려져 있다.

계량경제학에서는, 임의의 확률분포에서도 올바른 추정결과를 낳는 준모수 추정기법들이 이진선택모형에 대해 집중적으로 개발되어 왔으며 여기에는 Cosslett (1983, 1987), Han(1987), Stoker(1986), Powell et al.(1989), Ichimura(1987), Klein and Spady (1993), Manski(1975), Horowitz(1992, 1993), Lee(1992) 등이 있다. 반면에 구조적 함수의 설정오류를 피할 수 있는 준모수 추정기법은 상대적으로 연구자들의 관심을 끌지 못하여 본 연구자의 지식 한도 내에서는 아직 개발된 바가 없다.

본 연구는, 양분선택형 가치평가 결과가 소비자 선호체계의 구조적 함수에 대한 함수형태 가정에 따라 크게 차이가 나는 점을 주목하여 함수형태 가정이 필요하지 않는 새로운 추정기법을 제시하려 하며, 이 과정에서 비모수 추정기법에 속하는 국지적 선형기법(local linear model)을 이용한다. 국지적 선형기법은 Cleveland(1979)에 의해 처음 제시된 이후 계산의 간편함과 바람직한 통계적 성질 때문에 90년대 이후 집중적으로 연구되어진 비모수 추정기법이며 동 기법의 이론과 다양한 응용에 대한 소개서는 Fan and Gijbels(1996)이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 양분선택형 조건부 가치평가법의 수리적 구조를 소개한다. 3장에서는 국지적 선형모형을 활용하는 새로운 준모수적 추정방법을 제시하고, 4장에서는 소규모 모의실험을 통하여 추정과정을 예시하며 마지막으로 5장에서는 결론을 제시한다.

## 2. 양분선택형 조건부 가치평가법의 수리모형

환경재의 경제적 가치는 환경재의 질이 개선됨으로써 얻게되는 편익증대에 의해 측정될 수 있으며, 이러한 후생변화를 측정하는 적절한 척도로서 Hicks(Hicks, 1943)의 동등잉여(equivalent surplus, ES)와 보상잉여(compensating surplus, CS)가 있다. 조건부 가치평가법은 설문조사에서 최대 지불의사액(willingness to pay, WTP)을 조사함으로써 이러한 후생척도를 측정하며, 특히 양분선택형은 설문조사에서 평가대상 환경재의 질을 개선하기 위해 특정 금액 T의 기부금 내지 세금을 매년 지불할 의사가 있는지와 인구경제학적 특성을 응답자에게 질문한다. 각 응답자는 소득(I), 환경재의 질이 개선될 경우의 환경질 수준( $q_0$ ), 개선이 안될 경우 기대되는 환경질 수준( $q_1$ ), 그리고 사회경제적 특성(c) .. 등등에 의해 결정되는 지불의사액을 알고 있다고 가정한다. 응답자의 특성중 일부만이 연구자에게 관측되는 점을 고려하면, 각 응답자의

지불의사액(WTP)은 다음과 같이 설정될 수 있다:

$$WTP = b(I, c | q_0, q_1) + \eta \quad (1)$$

식 (1)에서 지불의사액은 연구자에게 관측되는 변수들에 의해 결정되는 부분  $b$ 와 미관측 변수들에 의해 결정되는 부분  $\eta$ 으로 구성된다. 개인이 지불의사를 표명할 확률은 제시된 금액  $T$ 보다 지불의사액이 클 확률과 같을 것이므로 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$\begin{aligned} Pr\{\text{지불의사표명}\} &= Pr\{WTP > T\} \\ &= Pr\{b(I, c | q_0, q_1) + \eta > T\} \\ &\equiv L(g(x | q_0, q_1) + \alpha_0 T) \end{aligned} \quad (2)$$

단,  $\sigma_\eta^2 = Var(\eta)$ ,  $L \equiv -\eta/\sigma_\eta$ 의 누적분포함수(*cdf*),

$$g = \frac{1}{\sigma_\eta} b, \quad x = (I, c), \quad \alpha_0 = -\frac{1}{\sigma_\eta}$$

식 (2)에서 지불의사액의 구조함수인  $b$ 와 표준화된 오차항의 확률분포인  $L$ 의 함수적 유형이 설정되면 모형의 모수값들이 최우추정법에 의해 추정될 수 있다. 환경경제학에서는, 지불의사액의 구조함수인  $b$ 에 대해서는 선형함수를 가정하고 표준화된 오차항에 대해서는 표준정규분포나 로짓분포를 가정하는 프로빗모형이나 로짓모형 접근법을 통상적으로 채택하고 있다.

### 3. 국지적 선형모형 기반 준모수 추정법

식 (2)에 국지적 선형모형(local linear model) (Fan, 1992, 1993a, 1993b; Fan and Gijbels, 1992, 1994)의 아이디어를 적용하여 비모수함수  $g(x)$ 를  $x$ 의 근방에 속하는  $x_0$ 에서 일차선형함수로 근사시키면 다음의 결과를 얻는다.

$$\begin{aligned} Pr\{\text{지불의사표명}\} &\approx L\left(g(x_0 | q_0, q_1) + \frac{\partial g(x_0)}{\partial x} \cdot (x - x_0) + \alpha_0 T\right) \\ &\equiv L(\beta_0 + \beta_1'(x - x_0) + \alpha_0 T) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{단, } \beta_0 = g(x_0 | q_0, q_1), \quad \beta_1 = \frac{\partial g(x_0)}{\partial x}$$

Ruud(1983)와 Horowitz(1993)는 위의 모형구조에서 오차항  $\eta$ 의 확률분포에 대한 모수적 가정이 위반되더라도 최우추정량이 비교적 광범위한 상황에서 일치성(consistency)을 가질 수 있음을 보인 바 있다. 만약 오차항  $\eta$ 에 대해 모수적 확률분

포  $L(\cdot, \theta_o)$ 를 가정하면 식 (3)은 다음과 같이 표현된다.

$$Pr\{\text{지불의사표명}\} \approx L(\beta_o + \beta_1'(x - x_o) + \alpha_o T, \theta_o) \quad (4)$$

$$\text{단, } \beta_o = g(x_o | q_o, q_1) = \frac{1}{\sigma_\eta} b(x_o | q_o, q_1),$$

$$\beta_1 = \frac{\partial g(x_o)}{\partial x} = \frac{1}{\sigma_\eta} \frac{\partial b(x_o)}{\partial x}, \quad \alpha_o = -\frac{1}{\sigma_\eta}$$

식 (4)에서 한 가지 주의할 점은,  $x$ 와  $x_o$ 는 서로 근방에 속해야 한다는 점이다. 따라서 식 (4)를 이용하여 최우추정법을 적용하는 경우에는 다음과 같이 국지적 최우추정법을 적용해야 할 것이다.

$$(\beta_o, \beta_1, \alpha_o, \theta_o) = \arg \max \sum [y_i \ln Pr(\text{지불의사표명}_i) + (1 - y_i) \ln (1 - Pr(\text{지불의사표명}_i))] K\left(\frac{x_i - x_o}{h_n}\right) \quad (5)$$

단,  $y_i = 1$  ( $i$ 번째 응답자가 지불의사를 표명)

$K$ : 국지적 가중치 역할을 하는 커널함수 (local kernel function)

$h_n$ : 국지적 평활모수 (local smoothing bandwidth)

식 (5)에서 커널함수  $K$ 는 비모수함수  $g(x)$ 를 근사시키는 점  $x_o$ 과 원래의 점  $x$  사이의 거리가 작을수록 큰 값을 갖는 가중치 역할을 하며, 평활모수  $h_n$ 은 거리의 상대적 크기를 판단해주는 역할을 한다. 예컨대 같은 크기의 거리라도  $h_n$ 의 값이 클수록 상대적으로 작은 것으로 평가되며 반대로  $h_n$ 의 값이 작을수록 상대적으로 큰 것으로 평가된다.

위의 추정결과로부터 원래 측정하고자 하는 지불의사액(WTP)은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\hat{b}(x_o | q_o, q_1) = -\frac{\hat{\beta}_o}{\hat{\alpha}_o}, \quad (6)$$

$$\text{단, } \hat{\beta}_o = \hat{g}(x_o | q_o, q_1) = \frac{1}{\hat{\sigma}_\eta} \hat{b}(x_o | q_o, q_1),$$

$$\hat{\alpha}_o = -\frac{1}{\hat{\sigma}_\eta}$$

#### 4. 소규모 모의실험 결과

본 장에서는 3장에서 제시된 새로운 준모수 추정법의 계산과정을 예시하기 위해 간단한 소규모 모의실험을 고려한다. 본 실험은 단지 예시를 위한 것이며 소표본 성질의 본격적인 분석을 위한 모의실험은 추후 연구과제로 남긴다.

자료는 다음과 같이 2개의 모형으로부터 각각 600개가 추출된다.

$$\text{모형 1: } \begin{cases} WTP = x_1 + x_2 + \eta \\ x_1, x_2 \sim U(0, 7) \\ \eta \sim N(0, 2) \end{cases}$$

$$\text{모형 2: } \begin{cases} WTP = \frac{1}{x_1 * x_2} + \eta \\ x_1, x_2 \sim U(0, 7) \\ \eta \sim N(0, 2) \end{cases}$$

각 관측치에 대해 제시되는 금액T는 WTP의 표본평균값을 중심으로  $\pm$ 표준편차 구간내에서 10등분한 10개의 구간경계값들이 임의로 추출된다.

3장에서 제시된 새로운 준모수 추정법을 사용하기 위해서는 사용자는 ① 오차항  $\eta$ 의 모수적 확률분포함수  $L$ , ② 가중치 역할을 하는 커널함수  $K$ , ③ 국지성의 상대적 정도를 제어하는 평활모수(smoothing bandwidth)  $h_n$  등 세가지 추정모수의 구체적 함수유형과 값을 결정해야 한다. Ruud(1983)와 Horowitz(1993)의 연구결과로부터 이산적 선택모형 구조에서는 ①번 항목의 선택은 추정결과에 상대적으로 덜 민감한 영향을 미치는 것으로 추론할 수 있다. 한편 회귀함수나 확률밀도함수의 추정에 관한 국지적 선형모형의 기존 연구결과들에 따르면 ②번과 ③번 항목 중에서 전자보다는 후자가 추정결과에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 그러나 일반적인 국지 선형모형 하에서는 최적평활모수의 값에 대한 연구가 이루어진 반면에, 본 연구와 같은 준모수적 구조 하에서는 자료에 의해 결정되는 최적 평활모수 값의 선택기준에 대해서 아직 연구된 바가 없다.

계산의 예시를 위해서 ①번 항목에 대해서는 표준정규분포를 가정하는 프로빗 모형을 고려하며, ②번 항목에 대해서는 표준정규분포함수를 채택하고, 마지막으로 ③번 항목에 대해서는 각 설명변수의 표준편차에 0.9를 곱한 값을 사용한다.<sup>3)</sup>

국지적 최우추정법의 계산은 Berndt-Hall-Hausman (BHHH) (1974)의 기법을 이용하여 이루어졌다.<sup>4)</sup>

<표 1>은 지불의사액의 구조함수인  $b$ 의 실제값과 추정값간의 오차율 절대값의 평

3) 평활모수의 선택에 설명변수의 표준편차를 사용한 이유는, 평활모수나 표준편차나 거리의 상대적 크기를 판단하는 기능이 유사하기 때문이다. 논문에 보고되지 않은 사전적인 모의실험에서, 표준편차에 1 내외의 값을 곱한 수치를 평활모수로서 시도하였으며 그 중에서 예측 오차가 제일 적게 나온 0.9를 곱한 값의 결과를 논문에서 사용한다.

4) BHHH의 프로그램은 GAUSS를 이용하여 작성되었으며 Judge et. al (1988, 125p)을 참조하였다.

균를 보여주고 있다.

<표 1> b의 오차율절대값 평균

		모형 1	모형 2
$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left  \frac{b_i - \hat{b}_i}{b_i} \right $	준모수 추정법	0.0547	69.2995
	모수적 프로빗모형	0.0070	86.9381

지불의사액의 구조함수가 선형함수인 모형 1에서는, 예상대로 구조함수를 선형함수로 가정하는 프로빗모형이 구조함수의 함수적 가정없이 추정하는 국지적 선형모형 기반 준모수 추정법보다 더 좋은 추정성적을 나타내고 있다. 그러나 지불의사액의 구조함수가 비선형인 모형 2에서는 준모수 추정법이 모수적 프로빗모형보다 더 좋은 추정성적을 나타내고 있다.

## 5. 결론

본 연구는 국지적 선형모형을 활용하여 환경재의 주된 가치평가기법으로 사용되는 양분선택형 가상가치법에 적용될 수 있는 준모수적 추정방법을 제시하였다. 새로이 제시된 방법은 오차항의 확률분포는 모수적으로 가정하지만 지불의사액(WTP)과 같은 구조적 함수는 비모수적으로 처리한다.

제시된 준모수적 추정방법을 실제에 사용하기 위해서는 ① 오차항  $\eta$ 의 모수적 확률분포함수  $L$ , ② 가중치 역할을 하는 커널함수  $K$ , ③ 국지성의 상대적 정도를 제어하는 평활모수(smoothing bandwidth)  $h_n$  등 세개의 추정모수의 값이 결정되어야 한다. 계산과정을 예시하기 위해 제시된 소규모의 모의실험에서는 이들 추정모수들이 임의로 선정되었는데, 새로운 준모수 추정방법은 구조함수를 올바르게 가정하는 모수적 프로빗모형보다는 추정성차가 좋지 않지만 구조함수의 모수적 가정에 오류가 있는 경우에는 모수적 프로빗모형보다 개선된 추정성적을 나타내었다.

평활모수(bandwidth parameter)를 포함하여 추정모수들의 최적 값 선택기준에 대한 이론적 연구가 이루어질 경우, 본 논문의 새로운 추정방법은 더 좋은 추정성적을 낼 것으로 기대되며, 이러한 연구주제들은 추정량의 대표본 분포 연구와 아울러 추후 연구과제로 남긴다.

## References

1. Berndt, E., Hall, B., Hall, R., and Hausman, J. (1974). Estimation and inference in nonlinear structural models, *Annals of Economic and Social Measurement*, 3, 653-665.

2. Cleveland, W. S. (1979). Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots, *Journal of the American Statistical Association*, 74, 829-836.
3. Cosslett, S. R. (1983). Distribution-free maximum likelihood estimator of the binary choice model, *Econometrica*, 51, 765-782.
4. Cosslett, S. R. (1987). Efficiency bounds for distribution-free estimators of the binary choice and the censored regression models" *Econometrica*, 55, 559-585.
5. Fan, J. (1992). Design-adaptive nonparametric regression, *Journal of the American Statistical Association*, 87, 998-1004.
6. Fan, J. (1993a). Local linear regression smoothers and their minimax efficiency, *Annals of Statistics*, 21, 196-216.
7. Fan, J. (1993b). Adaptively local one-dimensional subproblems with application to a deconvolution problem, *Annals of Statistics*, 21, 600-610.
8. Fan, J. and Gijbels, I. (1992). Variable bandwidth and local linear regression smoothers, *Annals of Statistics*, 20, 2008-2036.
9. Fan, J. and Gijbels, I. (1994). Censored regression: local linear approximations and their applications, *Journal of the American Statistical Association*, 89, 560-570.
10. Fan, J. and Gijbels, I. (1996). *Local Polynomial Modelling and Its Applications*, Chapman & Hall.
11. Han, A. K. (1987). Nonparametric analysis of a generalized regression model, *Journal of Econometrics*, 35, 303-316.
12. Horowitz, J. L. (1992). A smoothed maximum score estimator for the binary response model, *Econometrica*, 60, 505-531.
13. Horowitz, J. L. (1993). Semiparametric and nonparametric estimation of quantal response models, Maddala, G., Rao, C., and Vinod, H., eds., *Handbook of Statistics*, 11, 45-72.
14. Ichimura, H. (1987). Estimation of single index models" Ph.D. Dissertation, Department of Economics, MIT.
15. Judge, J., Hill, R., Griffiths, W., Lutkepohl, H., and Lee, T. (1988). *Learning Econometrics Using GAUSS*, John Wiley & Sons, New York
16. Klein, R. L. and Spady, R. H. (1993). An efficient semiparametric estimator for discrete choice models" *Econometrica*, 61, 387-422.
17. Lee, M. (1992). Median regression for ordered discrete response, *Journal of Econometrics*, 51, 59-77.
18. Manski, C. F. (1975). Maximum score estimation of the stochastic utility model of choice, *Journal of Econometrics*, 3, 205-228.
19. Portney, P. R. (1994). The contingent valuation debate: why economists should care, *Journal of Economic Perspectives*, 8, 3-17.
20. Powell, J., Stock, J., and Stoker, T. (1989). Semiparametric estimation of index coefficients, *Econometrica*, 57, 1403-1430.

21. Ruud, P. (1983). Sufficient conditions for consistency of maximum likelihood estimation despite misspecification of distribution, *Econometrica*, 51, 225-228.
22. Stoker, T. M. (1986). Consistent estimation of scaled coefficients, *Econometrica*, 54, 1461-1481.

[ 2003년 2월 접수, 2003년 4월 채택 ]