

한국형 수치예보모델의 심미적 가치

박소연* · 유승훈**

I. 서론

한국형 수치예보모델 개발사업의 효과적 관리, 적정한 투자 수준의 결정, R&D 예산의 안정적인 확보 등을 위해 한국형 수치예보모델 개발사업의 경제적 편익에 대한 정량적 정보는 필수적으로 요구된다. 이를 위해 한국형 수치예보모델 개발사업의 여러 편익 항목을 식별한 후에 각 경제적 편익을 엄밀한 경제이론에 근거하여 정량적으로 규명하고 과학적으로 추정할 필요가 있다. 즉 경제적 편익이란 무엇이며 어떻게 추정해야 할지를 밝혀야 한다. 아울러 경제적 편익을 실증적으로 추정해야 한다. 그리고 이러한 자료들을 가지고 한국형 수치예보모델 개발사업의 지속가능 방안을 마련해야 한다. 이렇게 해야만 한국형 수치예보모델 개발사업의 추진과 관련하여 불필요한 논쟁을 피하면서 한국형 수치예보모델 개발사업의 지속적 추진에 대한 합리적 결론에 도달할 수 있다.

이에, 본 연구에서는 한국형 수치예보모델 개발사업의 심미적 편익을 화폐적 단위로 평가하고자 한다. 이를 위해 비시장재화의 경제적 가치를 측정할 수 있는 다양한 방법론 중에서 한국형 수치예보모델 개발사업이라는 대상에 가장 적합하면서도 국내 현실에 부합하는 과학적 방법론을 선정하고 이 방법론을 적용시 지켜야 할 다양한 지침들을 잘 준수하는 연구를 수행함으로써 연구결과의 질적 수준을 제고해야 할 것이다. 특히 미국 NOAA 등에서 경제적 편익을 평가하는 데 사용되었던 방법론과 유사한 방법론을 적용함으로써 편익 추정 방법론 선정과 관련된 불필요한 논쟁을 일으키지 않으면서 한국형 수치예보모델 개발사업의 관리와 관련된 정책적 시사점을 도출하고자 한다.

한국형수치예보모델 개발사업에는 막대한 정부예산이 소요되므로, 이에 대한 경제성 분석은 필수적으로 요구된다. 하지만 한국형수치예보모델 개발사업으로 인해 발생하는 산업부문 경제적 편익 등 다양한 시장적 편익의 추정은 상대적으로 어렵지 않은 반면 심미적 편익과 같은 비시장적 편익은 중요하지만 추정이 어렵다. 한국형수치예보모델 개발사업의 혜택에 대한 시각을 일반 국민으로 확대해 볼 때, 이 사업으로 인해 국민들은 자긍심을 느끼고 기초과학의 발전에 대해 만족을 느껴 이로 인해 국민후생은 증가할 수 있으므로 이러한 비시장적 효과도 분명히 한국형수치예보모델 개발사업의 편익으로 포함되어야 한다. 이것은 국민적 자부심을 제공하는 올림픽 금메달, 우주개발사업, 대형광학망원경 개발사업 등도 유사한 효용을 국민들에게 제공할 수 있기 때문이다(유승훈 외, 2011).

하지만 한국형수치예보모델 개발사업과 같은 연구개발사업의 다양한 편익은 그 가치가 명시적으로 평가되지 못하고 있는 실정이다. 본 연구의 대상이 되고 있는 한국형수치예보모델 개발사업의 경우, 언뜻 보아 비시장적 가치가 잘 정의되지 않으며, 비시장적 가치를 정의한다 하더라도 어떻게 가치를 측정할 것인지에 대해 선뜻 답을 내리기가 쉽지 않다. 이것은 한국형수치예보모델이 시장에서 거래가 되고 있는 재화가 아니며, 특히 일반 국민들의 입장에서는 한국형수치예보모델 개발사업의 혜택이 매우 추상적일 수 있기 때문이다. 이러한 재화를 포괄적으로 정의할 때 통상 비시장재화(non-market)라 하는데, 이것은 해당 재화가 시장에서 거래

* 박소연, 서울과학기술대학교 에너지정책학과 박사과정, 02-970-6960, imsyeon@seoultech.ac.kr

** 유승훈, 서울과학기술대학교 에너지정책학과 교수, 02-970-6802, shyoo@seoultech.ac.kr

되고 있지 않으며, 또한 거래되기도 어려운 측면을 반영하고 있다.

아울러 한국형수치예보모델을 이용할 수요자가 한정되어 있으므로 사업 수혜자의 범위가 크게 제약적이다. 즉 사업 수혜자의 범위를 한국형수치예보모델을 이용할 학자로 국한해야 하는지 아니면 국가적 사업이란 관점에서 수혜자를 국민 전체로 봐야 할지에 대해 의문이 발생한다.

이렇게 사업의 효과가 추상적이며 사업의 수혜자가 일반 국민인 것 같지만 대다수의 국민들이 직접적으로 이용할 가능성은 없는 재화에 대해서는 특별히 고안된 방법론을 적용하여 가치를 추정할 수밖에 없다. 이러한 비시장재화의 공급으로 인해 발생하는 가치 또는 편익을 추정하는 데 있어서의 기본원칙은 해당 재화를 공급받기 위한 소비자의 지불의사액(Willingness To Pay, WTP)을 추정하는 것이다(Brent, 1995). WTP란 사람들이 특정 공공재나 비시장재화를 공급받기 위해 또는 특정 공공재나 비시장재화의 공급지장을 피하기 위해 지불할 의사가 있는 최대금액을 의미한다. 즉 일정한 소득 하에서 다른 재화에 대한 소비지출을 줄이고 그만큼 특정 재화의 소비를 위해 지출하고자 한다면 이 금액만큼을 편익으로 보는 것이다.

이러한 WTP의 개념은 편익을 추정하는 데 있어 직관적이며 현대 후생경제학의 기본이론에 부합하기에 편익 추정의 기본 원칙이 되고 있다(Fisher, 1996). 따라서 국·내외의 많은 연구들이 이에 근거하여 공공재뿐만 아니라 유·무형의 문화자산과 공공 재화 및 서비스의 가치를 산정하고 있다.

경제학자들은 지난 수십 년 동안 이러한 비시장재화의 가치를 추정하기 위하여 많은 고민과 연구를 해 왔으며, 1990년대에 이후에 비시장재화의 가치 추정 방법론이 어느 정도 정립되면서 비약적인 발전을 해 오고 있다. 이와 같이 시장가격이 존재하지 않는 시설이나 서비스의 가치추정을 위해서 여행비용 평가법, 헤도닉 가격기법, 조건부 가치측정법(CVM) 등 다양한 가치측정방법론들이 사용되어 왔다. 특히 CVM은 공공재나 서비스와 같은 비시장재화의 경제적 가치를 측정하는 방법으로 널리 사용되고 있다(Bjornstad and Kahn, 1996).

이에 CVM을 적용하여 한국형수치예보모델 개발사업의 심미적 편익을 추정할 필요가 있다. 예를 들어, 국가안보 강화, 국제정치적 영향력 확대, 과학기술적 자부심 고취 등이 대표적인 심미적 편익이라 할 수 있다.

II. 연구 방법론

한국형 수치예보모델 개발사업의 심미적 가치를 추정하기 위한 방법론의 선정은 매우 중요한 문제이다. 왜냐하면 과학적이면서 학계에서 보편적으로 받아들여지고 있는 방법론을 사용해야 하는데, 만약 그렇지 못하다면 환경가치 추정 결과에 대해 불필요한 소모적 논쟁을 일으키면서 합리적인 결론에 도달하는 것이 어려워지기 때문이다. 잘못하면 오히려 가치를 추정하지 않는 편이 더 나올 수도 있게 된다. 이와 관련하여 본 연구에서는 현재까지 개발되고 응용되어 온 연구방법론 중에서 가장 널리 사용되면서 가장 공감을 얻고 있는 방법론을 선정하고자 한다. <표 1>은 비시장재화의 가치 평가에 적용 가능한 방법이다. 본 연구에서는 현시 선호 평가법과 진술선호 평가법 중에서 진술선호 평가법을 이용하고자 한다. 왜냐하면 현시선호 평가법을 기상서비스에 적용하는 것은 용이하지 않으며 과소추정 또는 과대추정의 문제가 있기 때문이다. 아울러 현시선호 자료를 제대로 확보하기가 쉽지 않으므로 결합모형을 적용하는 것도 용이하지 않다.

<표 1> 비시장재화의 가치를 평가하는 방법

종류	특징
현시선호 평가법 (RP, Revealed Preference Method)	· 사후적 & 간접적 접근법 · 적용대상 제약적 · 이론적으로 과소추정(under estimation)
진술선호 평가법 (SP, Stated Preference Method)	· 사전적 & 직접적 접근법 · 적용대상 제약 거의 없음 · 이론적으로 정확추정(exact estimation)
결합 모형(RP+SP Method)	· 사후적 자료와 사전적 자료의 결합으로 효율성(efficiency) 증대

본 연구에서는 <표 2>의 두 가지 진술선호 평가법 중에서 조건부 가치측정법을 이용하며, 한국형 수치예보 모델 개발사업의 심미적 가치 측정에는 조건부 가치측정법이 보다 부합하기 때문이다.

<표 2> 진술선호 평가법의 두 가지 접근법

종류	특징
조건부 가치측정법 (Contingent Valuation)	· 직접적 방법 · 가장 널리 사용되고 있는 가치추정 방법으로, 적용을 위해서는 NOAA의 가이드라인을 잘 준수해야 함 · 통계적 분석이 상대적으로 용이
컨조인트 분석법 (Conjoint Analysis)	· 간접적 방법 · 최근 많이 사용되고 있는 가치추정 방법으로, 적용을 위해서는 다양한 속성이 잘 정의되어야 하며, 다소 복잡한 실험 계획법의 운영이 요구됨 · 통계적 분석이 상대적으로 복잡

III. 지불의사 유도 및 표본설계

1. 지불의사 유도

본 연구에서는 현실시장에서 소비자들의 행동을 결정하는 유형과 국민투표에서 투표하는 유형과 유사한 양분선택형 질문법으로 먼저 지불의사를 유도한 다음에 개방형으로 WTP의 수준을 직접 묻는 방식을 사용했다. 이 방법은 응답자가 대답하기 용이하여 응답률이 높고, 출발점 편이나 설문조사원 편이에 의한 영향이 적으며, 비합리적 지불의사가 발생할 가능성이 적으면서 응답자의 전략적 행위를 줄일 수 있다. 양분선택형 질문법은 다음과 같은 점에서 응답자에게 매우 친숙하다. 예컨대, 구매하고자 하는 물건의 시장 가격이 1,000원일 때, 합리적 소비자라면 그 물건의 사용으로부터 얻게 될 효용이 1,000원보다 크거나 같으면 물건을 구매할 것이고 그렇지 않다면 구매하지 않을 것이다.

또한 특정법안에 대해 국민투표를 시행시 투표자는 그 법안에 내용이 좋으면 ‘예’라는 응답을 싫으면 ‘아니오’란 응답을 할 것이다. 이렇게 양분선택형 질문은 단 1회에 걸쳐서 미리 설정된 금액을 “공공재 공급의 대가로 지불할 용의가 있는가”라고 물어보면, 응답자가 ‘예/아니오’로 한번만 대답하는 방식이다. 양분선택형

질문법은 Hanemann(1984)에 의해 알려진 후 널리 사용되어 왔으며, 특히 Arrow et al.(1993)에서 양분선택형 질문법의 사용을 지침으로 권했다. 본 연구에서는 양분선택형(dichotomous choice) 질문법의 1.5경계 양분선택형(one-and-one-half-bounded dichotomous choice) 질문법을 활용하였다.

제시금액은 최종적으로 얻고자 하는 WTP의 평균값에 민감한 영향을 미칠 수 있으므로 세심한 주의를 기울여 결정하여야 한다. 본 연구에서는 가능한 값의 범위를 넓게 하여 제시금액을 결정하였다. 즉, 본 연구에서는 실제 설문조사에 들어가기 전에 30명을 대상으로 사전조사(pretest)를 시행한 후, 이들로부터 얻은 결과를 바탕으로 총 6개의 초기 제시금액을 세심하게 결정하였다. 이렇게 결정된 금액을 전체 응답자를 무작위로 구분한 6개 그룹에 각각 할당하였다. 각 연구대상별 첫 번째 제시금액은 <표 3>에 요약되어 있다.

<표 3> 제시금액의 설계

그 룹	제시금액(Q1)	제시금액(Q2)
1	1,000원	3,000원
2	2,000원	4,000원
3	3,000원	5,000원
4	4,000원	7,000원
5	6,000원	9,000원
6	8,000원	11,000원

2. 표본설계

연구대상 지역은 제주도를 제외한 전국 15개 광역지자체로 하였다. 기상청이 제공하고 있는 기상예보 및 기상정보 서비스는 전국을 대상으로 서비스되고 있기 때문에 전국을 대상으로 설문조사를 실시하는 것이 타당하다. 각 지역의 전체 가구를 대상으로 임의표본(random sample)을 도출하기 위해 각 지역 내의 인구 구성비를 고려하여 각 나이의 비율에 맞게 표본 수를 할당하였다. 그리고 설문단위는 개인이 아닌 가구로 하되 만 20세 이상 65세 이하 세대주 또는 세대주의 배우자로 한정하여, 무작위 추출된 총 2,500가구의 설문결과를 얻을 수 있었다. 1,000가구 이상을 조사하라는 NOAA 및 기획재정부/KDI 가이드라인에 따라 전국 2,500가구(제주도 제외)를 일대일 개별면접으로 조사하였다. 한국형 수치예보모델 개발사업의 심미적 가치 평가를 위한 조사는 이들 지역에 대해 2012년 11월 1개월간 설문조사 전문기관을 통해 실시되었다.

적절한 표본의 크기는 그 결과의 신뢰성과 밀접한 관련을 갖고 있다. 즉, 선택된 표본이 모집단을 대표할 수 있는가와 관련된 문제이다. 그러나 현대 통계학과 조사방법론에 근거한 과학적인 표본추출법의 획기적인 발전에 힘입어 미국의 경우에는 100명 정도의 표본이면 대통령 선거결과를 거의 정확하게 예측할 수 있게 되었다. 또한 김희경(1995)에 따르면 일반적으로 전체 모집단이 100만 이상일 때 400명 정도의 표본만으로 전체의 의견을 거의 정확하게 알아낼 수 있는 것으로 나타났다. 본 연구도 여론조사 전문기관의 과학적인 표본추출, 전화나 우편조사가 아닌 여론조사 숙련자들의 능숙하고 세련된 일대일 면접조사 등에 근거하였으므로 각 연구대상별로 400가구 이상을 대상으로 한 설문조사는 해당 지역 주민 대다수의 의견을 거의 정확하게 반영한다고 볼 수 있다.

IV. WTP 추정모형

1. 양분선택형 CVM 모형에서의 WTP 유도

앞서 언급하였듯이 본 연구에서는 1.5경계 양분선택형 질문에 대한 응답을 분석하여 평균 WTP를 도출하고자 한다. 1.5경계 양분선택형 WTP 자료를 모형화하는 방법에는 크게 두 가지가 있다. 첫째, WTP 함수 접근법은 Cameron and James(1987)이 제안한 것으로 초창기에 널리 이용되었다. 반면에 Hanemann(1984)은 효용격차(utility-difference) 접근법을 제안하였다. McConnell(1990)에 따르면 두 가지 접근법은 쌍대(duality)의 관계에 있으며 어느 방법을 사용하느냐 하는 것은 옳고 그름의 문제가 아니라 단지 연구자가 어느 접근법을 선택할지에 대한 선호의 문제이다. 따라서 어느 하나를 그냥 이용하면 된다.

하지만 대부분의 실증연구에서는 효용격차 접근법이 보다 널리 이용된다. 단, 계량경제학적 이슈를 다루거나 특정 디자인 이슈를 다룰 때는 WTP 함수 접근법을 적용하는 것이 편리하고 유용하므로 부분적으로 사용되고 있다. 본 연구에서는 보다 널리 사용되고 있는 효용격차 접근법에 근거하여 기상서비스에 대한 WTP를 유도하고자 한다.

앞서 언급했듯이, Cooper et al.(2002)은 단일경계 모형보다 효율성을 개선하여 이중경계 모형이 누리는 효율성의 상당 부분을 누리면서도, 이중경계모형의 반응 효과를 크게 줄여 단일경계 모형이 누리는 일치성의 상당 부분을 확보할 수 있는 1.5경계 양분선택형(OOHBDC, one-and-one-half bounded dichotomous choice) 질문 유형을 제안하였다. 이중경계 모형에서는 모든 응답자에게 두 번째 응답을 요구하지만 OOHBDC에서는 일부 응답자에게만 두 번째 응답을 요구하기 때문에 편의를 줄여줄 수 있으며, 실제 Cooper et al(2002)의 논문에서는 실험을 통해 편이가 줄어들 수 있음을 밝히고 있다.

1.5경계 양분선택형(OOHBDC) 질문법은 비교적 최근에 제안된 새로운 지불의사 유도방법이라 그리 널리 사용되고 있지는 않지만, 이중경계 모형에 비해 편의를 줄이면서 단일경계 모형에 비해 효율성을 제고할 수 있다는 측면에서 유용한 모형이라 판단된다.¹⁾

따라서 1.5경계 양분선택형 모형은 단일경계 모형과 이중경계 모형에 대해 훌륭한 대안이 될 수 있다(Hanemann and Kanninen, 1999; Barreiro et al., 2005). 이에 본 연구에서는 1.5경계 양분선택형(OOHBDC, one-and-one-half bounded dichotomous choice) 질문법을 적용하고자 한다.

1.5경계는 통계적 효율성을 위해 전체 응답자를 2개의 그룹으로 나눠 A형과 B형의 설문지를 나눠준다. 먼저 무작위로 추출된 표본의 응답자의 절반에게 A형의 설문지를 주어, 미리 정해진 낮은 제시금액을 기꺼이 낼 의사가 있는지 없는지를 물어본 후에 “예”라고 밝힌 응답자에게는 추가로 높은 제시금액을 낼 의사가 있는지를 물어보고, “아니오”라고 응답한 사람에게는 조금이라도 지불의사가 있는지를 묻는다. 추출된 표본의 응답자 중 나머지 절반에게는 B형 설문지를 주어, 미리 정해진 높은 제시금액을 기꺼이 낼 의사가 있는지 없는지를 물어본 후에 “아니오”라고 응답한 사람에게는 낮은 제시금액을 낼 의사가 있는지 추가로 물어보고, “예”라고 응답한 사람은 더 이상의 질문을 하지 않는다. 만약 낮은 제시금액에도 낼 의사가 없다고 응답한다면 마지막으로 조금이라고 지불의사가 있는지를 물어본다.

1) 1.5경계 모형이 이중경계 모형이 누리는 효율성의 상당 부분을 달성하면서도 이중경계 모형의 비일치성을 크게 줄일 수 있음은 Cooper et al.(2002)에 증명되어 있다. 물론 그렇다고 해서 1.5경계 모형에서 편이가 발생하지 않는 것은 아니며 편의를 많이 줄일 수 있을 뿐이다.

2. 일반적인 WTP 모형

본 연구에서 적용하는 효용격차모형은 다음과 같은 절차를 따르고 있다. 우선 제시된 금액에 대해 지불의사가 있는 지 여부를 묻는 질문에 대한 응답을 모형화한다. 즉, ‘예’ 또는 ‘아니오’의 이산응답을 모형화한 후 최우추정법을 통해 관련된 모수들을 추정한다. 다음 단계로 분포의 성격과 평균값 또는 중앙값의 정의를 이용하여 WTP의 평균값 또는 중앙값을 계산한다.

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

$$u = u(j, m; S), \quad j = 0, 1 \quad \text{식 (1)}$$

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

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

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

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

또는

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

이제 효용의 격차와 오차항의 격차를 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta v(A) \equiv v(1, m - A; S) - v(0, m; S), \eta \equiv \epsilon_0 - \epsilon_1 \quad \text{식 (4)}$$

그렇다면 “예”라고 응답할 확률은 다음과 같이 표현된다.

$$\Pr\{\text{응답이 “예”}\} = \Pr\{\Delta v(A) \geq \eta\} \equiv F_\eta[\Delta v(A)] \quad \text{식 (5)}$$

여기서 $F_\eta(\cdot)$ 는 η 의 누적분포함수(cdf, cumulative distribution function)이다. “예”란 응답은 $\Delta v \geq 0$ 일 때 관측되며, “아니오”란 응답은 $\Delta v < 0$ 일 때 관측된다. 지금부터 C 로 표기할 WTP는 확률변수로서 이의 cdf는 $G_C(A)$ 로 정의된다. 한편 식 (5)는 다음과 같이 다르게 표현될 수 있다.

$$\Pr\{\text{응답이 “예”}\} = \Pr\{C \geq A\} \equiv 1 - G_C(A) \quad \text{식 (6)}$$

따라서 식(5)와 식(6)를 비교하면 다음의 관계식을 구할 수 있다.

$$1 - G_C(A) \equiv F_\eta[\Delta v(A)] \quad \text{식 (7)}$$

이 결과는 이산반응모형 식(5)를 적합시키는 것이 곧 WTP의 분포함수인 $G_C(\cdot)$ 의 모수를 추정하는 것으로 해석될 수 있다는 점을 시사한다. 이 때 C 는 $j=0$ 상태에서 $j=1$ 의 상태로 변화하기 위한 WTP이다. C 가 음의 값도 가질 수 있을 때의 평균(C^+)은 흔히 다음과 같이 계산된다.

$$C^+ = E(C) = \int_0^\infty [1 - G_C(A)] dA - \int_{-\infty}^0 G_C(A) dA \quad \text{식 (8)}$$

또한 중앙값 WTP(C^*)는 다음의 방정식을 C 에 대해 풀어서 구할 수 있다.

$$G_C(C) = 0.5 \quad \text{식 (9)}$$

만약 WTP가 0보다 크거나 같아야 한다면, 이 때의 평균값 WTP(C^{++})는 다음과 같이 계산된다.

$$C^{++} = \int_0^\infty [1 - G_C(A)] dA \quad \text{식 (10)}$$

3. 1.5경계 모형의 추정모형

한국형 수치예보모델 개발사업의 수행에 대해, i 번째 응답자가 직면하여 응답하는 상황은 다음과 같이 6개의 변수를 도입하여 묘사할 수 있다. 처음 3개의 경우는 첫 번째 설문에서 A_i^L 을 제시한 경우에 해당하며, 뒤의 3개의 경우는 첫 번째 질문에서 A_i^H 를 제시한 경우에 해당한다.

$$\begin{cases} I_i^{YY} = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 “예-예”}) \\ I_i^{YN} = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 “예-아니오”}) \\ I_i^N = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오”}) \\ I_i^Y = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 “예”}) \\ I_i^{NY} = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오-예”}) \\ I_i^{NN} = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오-아니오”}) \end{cases} \quad \text{식 (11)}$$

여기서 $1(\cdot)$ 은 인디케이터함수(indicator function)로서 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.²⁾

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \left\{ \begin{array}{l} I_i^{YY} \ln [1 - G_C(A_i^H)] + I_i^{YN} \ln [G_C(A_i^H) - G_C(A_i^L)] \\ + I_i^N \ln G_C(A_i^L) + I_i^Y \ln [1 - G_C(A_i^H)] \\ + I_i^{NY} \ln [G_C(A_i^H) - G_C(A_i^L)] + I_i^{NN} \ln G_C(A_i^L) \end{array} \right\} \quad \text{식 (12)}$$

통상적인 관례에 따라, $F_\eta(\cdot)$ 를 로지스틱(logistic) cdf로 정형화하고 이것을 $\Delta = a - bA$ 와 결합하면 WTP의 cdf는 다음의 형태를 취하게 된다.

$$G_C(A) = [1 + \exp(a - bA)]^{-1} \quad \text{식 (13)}$$

이제 식(13)를 이용하고 식(8), (9), (10)에 근거하여 WTP의 평균값과 중앙값을 다음과 같이 구할 수 있다. 식(14)은 일반적 의미에서의 평균값이며, 식(15)는 음의 부분이 잘렸다는 측면에서 절단된 평균값(truncated mean)이 된다.

$$C^+ = C^* = a/b \quad \text{식 (14)}$$

$$C^{++} = (1/b) \ln [1 + \exp(a)] \quad \text{식 (15)}$$

4. 스파이크 모형

지금까지는 WTP 모형을 둘러싼 중요한 논의와 일반적인 WTP 모형에 대해 설명하였다. 이제는 WTP의 성격에 대해 검토해 볼 필요가 있다. 한국형 수치예보모델 개발사업은 사람들에게 그리 친근한 재화는 아니다. 또한 이미 기상서비스를 제공받고 있는 상황에서 한국형 수치예보모델 개발사업을 위해 본인의 소비를 일부러 줄여 추가적인 금액을 지불한다는 것에 대해 거절의 의사를 가지고 있는 사람들이 적지 않을 것이다. 따라서 이러한 경우에 적용이 가능한 모형의 개발이 필요하며, 이 모형에 투입되어야 할 자료를 확보할 수 있도록 설문지도 적절하게 보완될 필요가 있다.

이와 관련하여 본 연구에서 사용한 설문지에는 제시금액에 대한 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 영의 WTP를 가질 것이다.

2) CVM 자료를 분석시에는 거의 대부분 우도함수를 구성한 후 최우추정법을 이용한다. 하지만 Yoo(2004)의 연구에서와 같이 베이지안 접근법을 적용하는 것도 가능하다.

사전적인 예상대로, 조사대상 가구 중에서 적지 않은 가구가 기상서비스를 위해 추가적으로 단 1원도 낼 의사가 없다고 밝혔다. 이러한 상황은 WTP에 관한 설문조사 자료에서 흔히 관측된다(Yoo et al., 2001a, 2001b). 영의 WTP는 기상서비스에 대한 추가적인 지불금액이 가구의 후생에 전혀 기여하지 못하거나 혹은 가구가 기상예보 및 기상정보에 완전히 무관심할 때, 다음과 같은 소득제약 하의 소비자 효용극대화 문제의 모서리해(corner solution)로서 도출될 수 있으므로, 경제적 행위에 부합한다.

$$\max_{y,Z} [U(y,Z;h) \mid y+Z \leq m] \quad \text{식 (16)}$$

여기서, $U(\cdot)$ 는 효용함수, y 는 한국형 수치예보모델 개발사업 수행에 대한 추가적인 WTP, Z 는 모든 다른 지출, h 는 개인특성을 나타내는 벡터, m 은 소득이다.

영의 값을 가진 WTP 자료의 분석을 위해서는 다수의 가구들이 한국형 수치예보모델 개발사업 수행에 대해 추가적으로 전혀 지불할 의사가 없다는 사실을 고려해야만 한다. 다시 말해서, WTP의 분포는 영의 값을 갖는 응답자 그룹과 양의 WTP를 갖는 응답자 그룹으로 양분되는 것이다. 경제적 가치 추정 등에 사용될 수 있는 WTP의 평균값을 구하기 위해서는 WTP의 분포를 구해야 하고, WTP의 분포를 구하기 위해서는 이러한 점이 반드시 고려되어야 한다. 만약 영의 WTP 응답을 무시하고 분석을 한다면 적지 않은 오류를 범하게 된다. 통상 양의 값만 가지는 경제변수의 경우는 양의 영역에서만 정의되는 분포를 이용하여 분석하면 되지만, WTP 자료와 같이 영의 값과 양의 값을 함께 가질 수 있는 경제변수의 경우에는 정형화(specification)에 있어서 어려움이 존재한다.

이러한 영의 WTP 자료를 처리하기 위해 널리 이용되는 모형은 Kriström(1997)이 제안한 스파이크 모형(spike model)이다. 그런데 스파이크 모형은 애초 단일경제 자료에 맞추어 개발되어 1.5경제 자료에 맞도록 적절한 조정을 해야 한다.

이제 스파이크 모형에 대해 정형화하겠다. 식(11)의 “아니오”, “아니오-아니오”의 응답은 0의 WTP와 두 번째 제시금액(A^L)보다 작은 양의 WTP로 구분되므로, I_i^N , I_i^{NN} 은 다시 I_i^{NY} , I_i^{NN} 와 I_i^{NNY} , I_i^{NNN} 로 세분화된다.

$$\begin{cases} I_i^{NNY} = 1(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오-아니오-예”}) \\ I_i^{NNN} = 1(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오-아니오-아니오”}) \\ I_i^{NY} = 1(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오-예”}) \\ I_i^{NN} = 1(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오-아니오”}) \end{cases} \quad \text{식 (17)}$$

앞에서와 마찬가지로, 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(18)과 같이 정의된다.

$$G_C(A; \theta) = \begin{cases} [1 + \exp(a - bA)]^{-1} & \text{if } A > 0 \\ [1 + \exp(a)]^{-1} & \text{if } A = 0 \\ 0 & \text{if } A < 0 \end{cases} \quad \text{식 (18)}$$

이 모형에 대한 로그우도함수(log-likelihood function)는 다음과 같다.

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \ln \left\{ \begin{aligned} &(I_i^{YY} + I_i^Y) [1 - G_C(A_i^H; \theta)] \\ &+ (I_i^{YN} + I_i^{NY}) [G_C(A_i^H; \theta) - G_C(A_i^L; \theta)] \\ &+ I_i^{NNY} [G_C(A_i^L; \theta) - G_C(0; \theta)] \\ &+ I_i^{NNN} G_C(0; \theta) \end{aligned} \right\} \quad \text{식 (19)}$$

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

$$\overline{WTP} = (1/b) \ln[1 + \exp(a)] \quad \text{식 (20)}$$

V. 연구 결과

1. 한국형 수치예보모델 개발사업의 심미적 가치 평가

1) 응답의 분포

WTP 질문에 대한 응답의 분포는 <표 4> 및 <표 5>에 제시되어 있다. 첫 번째 질문에서 A^L 를 제시받은 응답과 A^H 을 제시받은 응답을 나누어 각각의 경우 스파이크 모형을 운용할 수 있도록 응답 유형을 “예-예”, “예-아니오”, “아니오-아니오-예”, “아니오-아니오-아니오” 또는 “예-예”, “아니오-예”, “아니오-아니오-예”, “아니오-아니오-아니오”의 5개로 구분하였다.

<표 4> 1.5경계 양분선택형 질문에 대한 응답의 분포 1

첫 번째 제시금액 A^L	표본 크기	응답유형별 응답자수			
		“예-예”	“예-아니오”	“아니오-예”	“아니오-아니오”
1,000원	209	38	45	14	112
2,000원	207	23	35	15	134
3,000원	210	22	30	18	140
4,000원	207	11	28	21	147
6,000원	207	9	28	31	139
8,000원	210	4	15	39	152
계	1,250	107	181	138	824

<표 5> 1.5경계 양분선택형 질문에 대한 응답의 분포 2

첫 번째 제시금액 A^H	표본 크기	응답유형별 응답자수			
		“예”	“아니오-예”	“아니오-아니오-예”	“아니오-아니오-아니오”
3,000원	210	45	24	14	127
4,000원	210	33	19	24	134
5,000원	207	29	18	24	136
7,000원	210	20	9	24	157
9,000원	208	23	14	28	143
11,000원	205	16	12	35	142
계	1,250	166	96	149	839

응답자의 66.5%에 해당하는 1,663명이 한국형 수치예보모델 개발사업을 위해 추가적으로 단 1원도 지불할 의사가 없다고 응답하였다. 이렇게 적지 않은 비중의 응답자들이 영의 WTP를 밝혔으므로 이를 반영할 수 있는 모형을 적용해야 하며 이때 가장 널리 적용되는 모형이 스파이크 모형을 감안할 때, 본 연구에서 WTP가 영인지 여부를 질문하여 답을 얻은 다음에 스파이크 모형을 적용하는 것은 매우 적절한 전략임을 알 수 있다.

2) 1.5경계 스파이크 모형 추정 결과

식(18)을 이용하여 식(19)의 모수를 추정된 결과는 <표 6>에 요약되어 있다. 최우추정법의 적용을 용이하게 하기 위해 제시금액은 1,000원 단위로 사용하였다. 추정된 방정식의 통계적 유의도를 살피기 위해, ‘모든 추정계수는 0이다’라는 귀무가설을 상정하면 다음과 같이 Wald-통계량(W)을 구성할 수 있다.

$$W = \hat{\delta}' [\hat{V}(\hat{\delta})]^{-1} \hat{\delta} \quad (\text{식 } 21)$$

여기서 $\hat{\delta}$ 은 추정계수벡터이며, $\hat{V}(\hat{\delta})$ 은 $\hat{\delta}$ 의 분산에 대한 추정치이다. 검정통계량 W 는 귀무가설 하에서 χ^2 -분포를 따르며, 이때 자유도는 $\hat{V}(\hat{\delta})$ 의 위수(rank)이다.

<표 6> 스파이크모형의 추정결과

변수	추정계수	t-값
상수항(a)	-0.6810	-16.16#
제시금액(b)	-0.2215	-24.64#
스파이크(spike)	0.6640	70.63#
관측 가구수	2,500	
로그우도(Log-likelihood)	-2,521.9	
Wald 통계량:	1,061.6	
(p-value)	(0.000)	

주) 제시금액은 편의상 1,000원 단위의 값을 이용하였다. Wald 통계량은 추정되어야 할 모수의 값이 모두 ‘0’이라는 가설 하에서 계산된 것이다. #는 유의수준 1%에서 통계적으로 유의함을 나타낸다.

Wald 통계량을 이용할 경우 추정된 모든 계수가 0이라는, 즉 추정된 결과가 무의미하다는 귀무가설을 유의 수준 1%에서 기각할 수 있다. 또한 제시금액에 대한 추정계수가 음수인 것은 제시금액이 높아질수록 “예”라고 응답할 확률이 낮아짐을 시사한다. 이것은 설문조사가 제대로 수행되었음을 의미한다. 모두 상수항은 유의 수준 1%에서 통계적으로 유의하다.

한편 스파이크는 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하며 66.4%로 추정되었다. 응답자가 실제로 영의 WTP를 밝힌 비중은 각각 66.5%로 스파이크의 값은 영의 WTP를 밝힌 표본 비율과 거의 유사함을 알 수 있다. 따라서 스파이크도 적절하게 추정되었다. 스파이크 모형의 추정결과와 식(20)을 이용하여 구한 평균값 WTP의 추정결과는 <표 7>에 제시되어 있다.

스파이크 모형에 의해 추정된 평균 WTP 추정 결과를 살펴보면, 한국형 수치예보모델 개발사업사업의 수행을 위해 가구당 연 평균 1,849.3원을 지불할 의사가 있는 것으로 추정되었다. t-값은 20.85로 유의수준 1%에서 유의하였다. 이로 보아, 한국형 수치예보모델 개발사업의 수행을 위해 가구당 연 평균 1,849.3원을 추가적으로 지불할 의사가 있는 것으로 해석할 수 있다.

<표 7> 평균값 WTP 추정결과

구분	추정결과
평균 WTP(원/가구/년)	1,849.3
- 표준오차	0.09
- t-값	20.85#
- 95% 신뢰구간	1,688 - 2,031

주) 평균 WTP의 표준오차는 델타법(delta method)를 이용하여 계산되었다. 평균 WTP의 신뢰구간은 Krinsky and Robb(1986)에 제시된 몬테칼로 모의실험 기법을 이용하여 계산하되 재표본추출의 횟수는 5,000회로 하였다. #는 유의수준 1%에서 통계적으로 유의함을 나타낸다.

아울러 CVM 질문에 대한 응답과정에서의 불확실성과 WTP 모형 추정과정 및 평균값 WTP 계산과정에서의 불확실성을 명시적으로 반영하기 위해 신뢰구간을 제시하고자 한다. 신뢰구간의 계산을 위해 비모수적 부트스트랩 기법을 적용했으나, 여기서는 Krinsky and Robb(1986)이 제안한 모수적 부트스트랩(parametric bootstrap) 기법인 몬테칼로 시뮬레이션 기법을 적용한다. 몬테칼로 시뮬레이션 기법의 적용 절차는 다음과 같다. 우선 (a, b) 의 추정치와 이에 대한 분산-공분산 행렬을 이용하여 (a, b) 의 다변량 정규분포로부터 (a, b) 의 값을 발생시켜 평균 WTP를 계산하며 이 과정을 R 회 반복한다. 이렇게 발생된 R 개의 평균 WTP 값을 크기 순으로 나열한 다음 양끝에서 각각 2.5%를 버리면 95% 신뢰구간을 얻을 수 있으며, 양끝에서 각각 0.5%를 버리면 99% 신뢰구간을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 무작위 반복표본추출의 회수를 5,000회로 하였다. 95% 신뢰구간의 계산결과는 <표 7>의 하단부에 제시되어 있다.

3) 모집단으로의 확장

CVM 연구를 수행하는 중요한 목적 중에 하나는 표본정보를 이용하여 모집단 전체의 편익을 추정하는 것이며, 본 연구의 목적도 이와 같다. 즉 전국 1,000 가구라는 표본에 대해 도출된 정보를 활용하여 우리나라 전체로 확장하는 작업이 마지막 단계로 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 전문조사기관인 리서치프라임에 의뢰하여 과학적인 표본추출 및 조사를 하고자 하였다. 이 업체는 공공투자사업에 대한 예비타당성조사를 전담하고 있는 한국개발연구원(KDI)에서 수행하고 있는 CVM 조사의 실사를 담당하고 있다. 아울러 설문대상자도 가구 내에서 책임있는 의사결정을 할 수 있는 만 20세 이상 65세 이하의 세대주 또는 주부만으로 한정하였다. 표본도 전국 15개 지자체를 대상으로 조사를 수행하였다. 따라서 조사대상 지역 전체 가구의 의견을 잘 반영하고 있으며, 가상시장을 이용했다 하더라도 책임있는 정보를 도출했다고 볼 수 있다. 따라서 표본의 정보를 모집단으로 확장하는 데 별 무리가 없어 보인다.

둘째, 본 연구에서는 전문조사기관에 의뢰하여 모집단을 잘 대표할 수 있는 표본을 추출할 수 있도록 하였다. 아울러 무작위로 추출된 표본에 대해 배포된 설문지를 응답자는 설문조사원의 도움으로 작성하였으며, 선택된 표본에 대해서는 전량 회수를 목표로 하였고 실제 전량 회수되었다. 따라서 무응답율은 극히 낮다. 따라서 이 두 가지 조건은 어느 정도 만족되는 것으로 판단된다.

표본의 대표성이 확보되고 무응답의 문제가 없다면, 표본의 대표 가구에 대해 추정된 WTP에 모집단의 가구수를 곱해주면 표본의 정보를 모집단으로 확장할 수 있다. 여기서 가구수는 2012년 통계청 추계가구수(17,950,675) 정보를 이용하였다. <표 8>은 표본에 대해 추정된 기상서비스의 경제적 가치를 모집단으로 확장하는 과정 및 결과를 요약하고 있다. 현재의 기상서비스는 전국에서 연간 약 332억원의 경제적 가치를 가져다주는 것으로 나타났다. 응답자들은 향후 5년간 매년 1회 지불이라는 조건 하에서 응답한 것이므로 332억원이 매년 심미적 가치로 발생하게 된다. 향후 5년간 심미적 가치의 현재가치를 구하면 약 1,853억원으로 한국형 수치예보모델 개발사업단의 총 예산 945억원을 초과한다.

<표 8> 한국형 수치예보모델 개발사업의 심미적 가치 확장

가구당 한국형 수치예보모델 개발사업의 심미적 가치(A, 원/년/가구)	2012년 통계청 추계 가구수(B)	우리나라 전체 관점에서의 한국형 수치예보모델 개발사업의 심미적 가치(A×B, 억원/년)
1,849.3	17,950,675	332

주) 통계청(www.kosis.kr)

VI. 결론

선진국과의 예보기술 격차를 완화시키고 기상선진국에 진입하고자 한국형수치예보모델 개발사업이 착수되었다. 무엇보다도 한국형수치예보모델 개발사업을 통해 한반도의 기상특성에 적합한 수치예보모델을 독자적으로 개발하고 실용화함으로써 예보 정확도를 제고할 것으로 기대된다. 개발 예정인 수치예보모델은 전지구적 모델이지만 독자모델의 보유는 지역적 특성 및 기상정보 수요를 고려한 모듈의 개발을 용이하게 하여 예보 정확도 향상을 효율적으로 도모할 수 있도록 한다. 이러한 예보 정확도의 제고는 자연재해로부터 피해를 경감시키고 기상상황에 민감한 산업분야의 생산성을 제고하며, 국민의 삶의 질을 향상시키는 등 직접적 경제적 효과를 창출할 것이다.

특히 2011년 9월 15일에 있었던 전국적 대규모 정전사태 이후 정확한 기상예측의 중요성 및 기상예측 정보의 효과적 활용이 중요한 관심사로 부각되었다. 예를 들어, 정전 당일 기상청의 폭염 특보에도 전력거래소는 이를 수요예측에 반영하지 않았다는 점이 국정감사에서 지적되었다. 지금까지 5대 도시를 대상으로 진행해

온 최고·최저 온도 샘플링 범위를 8대 도시로 확대하는 등 온도변화에 따른 수요증감을 정확히 반영할 수 있는 프로그램이 개발 중이며 조만간 대체가 가능할 전망이다. 이 과정에서 기상청은 중요한 역할을 할 것으로 기대되며, 독자수치예보모델의 성공적 개발은 추후 에너지 분야를 포함한 다양한 부문에서 활용되어 불필요한 사회적 비용을 줄이는 데 크게 기여할 것으로 예상된다.

또한 독자적인 수치모델의 개발 및 운영으로 기술중속성을 탈피하고 기상선진국에 진입할 수 있을 것이다. 이를 통해 기상정책, 각종 환경정책 및 녹색성장 정책 등에 있어 날씨와 기후에 관련된 과학적이고 객관적인 근거자료를 확보하여 독자적 정책수립을 가능하게 한다. 아울러 독자모델을 개발도상국에 보급함으로써 기상 기술의 수혜국에서 시혜국으로 전환하고 기상기술의 선도국 위치를 확보하는 것을 도모한다.

마지막으로 독자모델의 개발로 수치예보 및 기상분야 및 여타 관련 분야의 과학기술 수준을 향상시킬 수 있다. 개발과정에서 정부와 학계 및 산업계의 유기적인 협력체계를 구축하여 수치예보 분야의 성장을 도모하고 기상분야 연구의 활성화를 통해 과학기술인력이 지속적으로 배출될 것을 기대할 수 있다. 또한 대기과학을 비롯하여 수학, 물리, 화학, 해양 등 기초과학 분야 및 슈퍼컴퓨터 기술을 포함하는 전산기술 등 응용 기술분야의 기술력이 동반 상승할 것으로 기대된다.

이러한 한국형수치예보모델 개발사업의 효과적 관리, 적절한 투자수준의 결정, R&D 예산의 안정적인 확보 등을 위해서는 한국형수치예보모델 개발사업의 경제적 편익에 대한 정량적 정보가 필수적으로 요구된다. 이에 본 연구에서는 국민들이 부여하는 심미적 편익에 주목하면서 전국 2,500가구를 대상으로 한 설문조사를 통해 조건부 가치측정법을 적용함으로써 한국형수치예보모델 개발사업의 심미적 편익을 화폐적 단위로 평가하고자 하였다.

이를 위해 본 연구에서는 다음의 두 가지를 다루었다. 첫째, 심미적 편익을 추정할 수 있는 여러 가지 방법론을 현시선호 평가법과 진술선호 평가법으로 구분하여 설명하였다. 편익이란 것이 원래 경제학적 개념이므로 경제학적 기법에 근거하여 편익을 추정하는 것이 합리적이며, 이 중에서 진술선호 평가법이 보다 널리 활용되고 있으며, 이론적으로도 보다 적절하다.

둘째, 전국 2,500가구를 대상으로 한국형수치예보모델 개발사업에 대해 설명하면서 한국형수치예보모델 개발사업의 심미적 편익을 추정하기 위한 조건부 가치측정법 설문조사를 수행하는 과정 및 결과를 제시하였다. 분석 결과, 한국형수치예보모델 개발사업의 심미적 편익은 연간 약 332억원에 해당하였다.

참고문헌

- 김희경 (1995), 「광고와 마케팅 조사는 이렇게 한다」, 서울 : 정보여행.
- 유승훈, 이주석, 박수동 (2011), “대형광학망원경 개발사업의 경제적 효과 분석 연구”, 「기술혁신학회지」, 14(1) : 40-59.
- 기상청 (2009), 「꽃가루 예보와 생명기상정보의 경제적 가치」.
- Arrow, K., Solow, R., Portney P. R., Leamer, E. E., Radner, R. and Schuman, H., (1993), “Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation.” *Washington, DC : National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce.*
- Bjornstad, D. J. and J. R. Kahn, (1996), “The Contingent Valuation of Environmental Resources: Methodological Issues and Research Needs.”, *Edward Elgar.*
- Barreiroa, J., Sánchez, M. and Viladrich. G.M., (2005), “How Much are People Willing to Pay for Silence?”

- A Contingent Valuation Study.”, *Appl. Econ.*, 37 : 1233-1246.
- Brent, R. J. (1995). “Applied Cost-Benefit Analysis.” *Cheltenham : Edward Elgar*.
- Cooper, J.C., Hanemann, M. and Signorello, G., (2002), “One and One-half Bound Dichotomous Choice Contingent Valuation.”, *Rev. Econ. Stat.*, 84 : 742-750.
- Cameron, T. A. and D. James, (1987), “Efficient estimation methods for closed-ended contingent valuation surveys.”, *Review of Economics and Statistics*, 69 : 269-276.
- Fisher, A. C., (1996), “The Conceptual Underpinnings of the Contingent Valuation.”
- Hanemann, W.M.(1984), “Welfare evaluations in contingent valuation experiments with discrete responses.” *Am. J. Agric. Econ.* 66 : 332-341.
- Hanemann, W.M., Kanninen, B., (1999), “The statistical analysis of discrete-response CV data. In: Bateman, I.J., Willis, K.G. (Eds.), *Valuing Environmental Preferences: Theory and Practice of the Contingent Valuation Method in the U.S., E.U., and Developing Countries.*”, *Oxford Univ. Press, New York*.
- Krinsky, I. and Robb, A. (1986) “On approximating the statistical properties of elasticities.”, *Review of Economics and Statistics*, 68 : 715-719.
- Krström, B. (1997), “Spike models in contingent valuation.”, *American Journal of Agricultural Economics*, 79 : 1013-1023.
- McConnell, K.E. (1990), “Models for referendum data: The structure of discrete choice models for contingent valuation.”, *J. Environ. Econ. Manag.* 18 : 19-34.
- Yoo, S. -H., S. -J. Kwak, and T. -Y. Kim. (2001b). “Modeling Willingness to Pay Responses from Dichotomous Choice Contingent Valuation Surveys with Zero Observations.”, *Applied Economics*, 33(4) : 523-529.
- Yoo, S. -H., T. -Y. Kim, and J. -K. Lee. (2001a), “Modeling Zero Response Data from Willingness to Pay Surveys: A Semi-parametric Estimation.”, *Economics Letters*, 71(2) : 191-196.