

베이지안 접근법을 활용한 제2쇄빙연구선 건조사업의 경제적 편익 산정연구

조승국* · 이주석**†

* 한세대학교 국제경영학과, ** 한국해양대학교 국제무역경제학부

An Economic Valuation Analysis of Building the Second Ice-Breaking Research Ship in Korea with Using Bayesian Approach

Seung-Kuk Cho* · Joo-Suk Lee**†

* Department of International Business, Hansei University, Gyeonggi-do, Korea

** Division of International Trade and Economics, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea

요 약 : 북극에 대한 관심이 높아지면서 쇄빙연구선의 필요성이 점점 커지고 있다. 특히 우리나라의 경우 2009년 진수된 7,500톤급의 아라온호가 유일한 쇄빙연구선인데, 현재 아라온호만으로는 북극과 남극의 관련 연구를 수행하는데 어려움이 있다. 이에 해양수산부에서는 제2쇄빙연구선의 건조를 추진 중에 있는데 제2쇄빙연구선 건조의 필요성과 규모의 적정성에 대한 논란이 있으므로 이러한 논란을 줄이고 보다 합리적인 의사결정을 위해서는 제2쇄빙연구선의 경제적 가치를 추정하는 것이 중요하다. 본 연구는 비시장재화의 가치측정방법론인 조건부 가치측정법을 활용하여 제2쇄빙연구선의 경제적 편익을 산정하였다. 특히 본 연구의 추정방법과 관련하여 통상적인 CVM은 가정되는 분포의 형태와 추정모형에 따라서 WTP 분석결과에 편차가 발생하게 된다. 이에 본 연구에서는 베이지안 추정법(Bayesian approach)을 활용한다. 분석결과에 따르면 가구당 연간 평균 WTP는 1,999원으로 추정되었으며 이를 전국 가구 수로 확대한 제2쇄빙연구선 건조 사업에 대한 총편익은 연간 약 373.9억 원인 것으로 산정되었다.

핵심용어 : 제2쇄빙연구선, 조건부 가치측정법, 북극, 베이지안 추정법, 경제적 편익

Abstract : The need for ice-breaking research ships is growing as interest in the Arctic grows. In Korea the 7,500 ton ship Araon, launched in 2009, is the only icebreaker, and difficulty remains when conducting research at the North and South Pole. Thus, the Ministry of Maritime Affairs and Fisheries is pushing for the construction of a second icebreaker, and an economic valuation of a second icebreaker is needed. Such a study will help reduce controversy about the construction of a second icebreaker and help ensure reasonable decisions. The economic benefits of a second icebreaker were calculated using a contingent valuation method. In this study, a Bayesian Approach was applied, in contrast to previous methodology utilizing the maximum likelihood estimation method. According to this analysis, the average WTP per household was estimated at 1,999 won per year, and the total benefit from the construction of a second icebreaker was estimated at 373.9 billion won per year.

Key Words : Ice-breaking research ship, Contingent valuation method, North pole, Bayesian approach, Economic benefit

1. 서 론

북극해의 자원개발과 유럽과 아시아를 잇는 최단 뱃길인 북극항로 개척에 대한 세계 각국의 관심이 증가됨에 따라 북극에 대한 연구의 필요성도 크게 증가되고 있다. 대륙인

남극과 달리 북극은 대부분 바다로 이루어져 있기 때문에 고정된 과학기지보다는 쇄빙연구선을 통한 연구가 중심이 될 수밖에 없다.

한국해양수산개발원의 연구결과에 따르면 최근 북극 진출이 가속화되면서 주요국들이 쇄빙연구선 건조를 서두르고 있으며 현재 17개 국가에서 총 92척의 쇄빙선을 보유하고 있으며, 19척이 건조 중에 있고 16척이 건조 계획에 있다.

* First Author : skcho@hansei.ac.kr, 031-450-5229

† Corresponding Author : leejoosuk@kmou.ac.kr, 051-410-4727

특히 건조 중인 19척의 쇄빙선 중 쇄빙연구선은 17척이며, 건조계획이 발표된 쇄빙선 16척 가운데 쇄빙연구선은 9척이다(KMI, 2017). 쇄빙선은 얼음을 깨면서 앞으로 나아가는 선박을 말하며, 쇄빙연구선은 첨단 연구시설을 갖춘 쇄빙선이다. 주요국들이 앞 다투어 쇄빙연구선 확충에 나선 이유는 그만큼 북극 과학연구에 대한 수요가 많고 국익에도 부합하기 때문이다.

우리나라의 경우 2009년 진수된 7,500톤급의 아라온호가 유일한 쇄빙연구선이다. 아라온호는 태평양을 건너 남극과 북극을 오가며 연간 320일 정도의 운항 중 실질적으로 북극 연구에 투입되는 기간은 채 30일도 못된다.

이에 따라 해양수산부는 아라온호만으로는 북극항로 전체를 탐사할 수 없다고 보고 지난 2015년 규모가 큰 1만 2천톤급 제2쇄빙연구선 건조를 요청했다. 특히 아라온호는 두께 1미터 이상 두꺼운 얼음 해역은 다닐 수가 없기 때문에 제2쇄빙연구선은 최소한 2m 평탄빙을 3노트 속도로 쇄빙하는 능력을 갖추어야 한다.¹⁾

반면에 일부에서는 우리나라의 경제규모에 비해 대형 쇄빙선의 경제성이 불투명하다며 크기를 줄여야 한다는 주장들이 있다. 이러한 논란으로 인해 제2쇄빙연구선 건조에 대한 논란이 여전히 진행 중인 상황이다.

이러한 논란을 조기에 마무리 짓기 위해서는 제2쇄빙연구선이 국가경제에 미치는 편익을 정량적으로 산정하는 것이 하나의 방법일 수 있다. 실제로 사업비 500억원 이상 국비 300억원 이상 투입되는 공공사업의 타당성 판단에는 경제적 편익을 기준으로 하는 경제성 분석이 중요한 역할을 한다.

그러나 제2쇄빙연구선 사업과 같은 연구개발사업의 편익은 사전적으로 그 가치를 정의하기가 쉽지 않으며 가치의 정의가 가능하더라도 어떻게 산정하는지 방법론을 찾기가 어렵다.

일반적인 재화나 서비스의 경우 시장에서 거래되는 가격을 기초로 그 가치가 산정되지만 제2쇄빙연구선과 같은 공공서비스의 성격이 강한 연구개발사업의 경우 비시장재화의 가치측정방법을 활용해야 한다. 특히 기존의 연구개발사업에서는 조건부 가치측정법(CVM, contingent valuation method)을 활용하여 왔다.

본 연구에서는 CVM을 활용하여 제2쇄빙연구선의 정량적 가치를 산정하고자 한다. 한편 기존에 제2쇄빙연구선의 과학기술적 가치를 연구한 사례도 있는데 이는 실험선택법(choice experiment)을 이용하여 100여명의 전문가들을 대상으로 분석한 결과로 분석결과의 활용에 한계가 있으며, 실제

적으로 사업의 수혜대상인 전국민을 대상으로 편익을 산정한 연구는 본 연구가 최초이다(Kwon et al. 2014).²⁾

따라서 본 연구결과는 연구개발사업의 타당성과 관련된 유용한 정보를 제공할 수 있다. 또한 분석방법론과 관련하여 통상적인 CVM은 가정되는 분포의 형태와 추정모형에 따라서 지불의사액(WTP, willingness to pay) 분석결과에 편차가 발생하게 된다. 이에 본 연구에서는 특정분포를 가정하여 접근하는 연역적 방식의 최우추정법(maximum likelihood estimation)에 기반한 기존 방법론과 달리 귀납적인 접근방식인 베이저안 추정법(Bayesian approach)을 적용하였다.³⁾

2. 제2쇄빙연구선 건조와 관련된 현황

지구온난화로 북극의 해빙이 녹으면서 북극항로에 대한 관심이 커지면서 해양수산부는 북극항로 개척을 국정과제로 정하고 북극 전용 쇄빙선 건조를 추진하고 있다. 북극항로를 이용할 경우 부산항에서 유럽까지의 운항거리가 절반 가까이 줄어들게 된다.

우리나라는 2013년 북극이사회 정식 옵서버 자격을 얻어 북극항로 개척과 자원 개발에 참여할 수 있는 발판을 마련했다. 현재 정식 옵서버는 우리나라를 포함해 영국, 프랑스, 중국, 일본 등 12개국이다.

북극과학연구는 북극해 자원개발, 항로이용, 환경보호와 항해안전을 위한 중요한 자료를 제공한다. 이러한 북극 과학연구는 대륙인 남극과 달리 대부분 바다로 이루어져 있기 때문에 고정된 과학기지보다는 쇄빙연구선을 통한 연구가 중심이 될 수밖에 없다. 하지만 현재 아라온호는 남극과 북극을 오가며 365일 중 320일을 가동하고 있는 상황이지만 실

2) 경제적 편익은 크게 경제주체에 따라 소비자측면의 편익과 생산자측면의 편익으로 구분되며 소비자측면의 편익은 소비자의 만족도를 의미하며, 생산자측면의 편익은 부가가치창출효과를 의미한다. 제2쇄빙연구선의 경우 기업의 부가가치 창출효과와 무관하고 공익적 성격이 강하므로 소비자측면의 만족도에 기반하여야 한다. 즉, 제2쇄빙연구선의 편익은 북극항로 개척을 통해 발생할 수 있는 공익적 가치와 이로 인한 일반 국민의 만족도 증가라고 볼 수 있다. 이러한 측면에서 본 연구는 지불의사액 추정을 통해 편익을 산정한다. 지불의사를 묻는 방식의 편익은 실제 비용을 부담하는 일반 국민의 입장에서 지불의사와 일반 가구의 수를 곱하여 산정되게 된다.

또한 전문가의 입장에서 분석된 결과는 최종적인 편익 수혜자라 할 수 있는 일반 국민의 입장과 동일하다고 보기 어렵기 때문에 이를 편익으로 활용할 수 없다.

3) 최우추정법의 경우 설문조사를 통해 분석된 WTP의 분포가 특정분포와 동일하다는 가정 때문에 전제조건이 되는 분포의 형태에 따라 추정된 WTP가 변할 수 있으며, 가정된 분포와 실제 WTP 분포가 상이할 수 있다. 반면에 베이저안 추정법은 분포에 대한 전제조건을 가정하지 않고 응답결과에 근거하여 분포를 도출하는 귀납적 방식이기 때문에 연역적 접근방식인 기존의 분석방법보다 실제에 더 근접한 WTP분포에 근거하여 분석한다고 볼 수 있다.

1) 북극항로가 짧아지더라도 운항속도를 고려한다면 해양수산부가 제시한 제2쇄빙연구선의 쇄빙능력 적정성에 대한 검토는 좀 더 논의될 필요가 있다.

질적으로 북극에 투입되는 기간은 30일 내외에 불과하여 북극 연구를 지원하기가 어려운 상황이다. 남극은 대륙인 반면 북극은 연중 얼어 있는 얼음바다다. 여름(9월)에는 해빙 면적이 400만 km² 정도지만 겨울(3월)에는 약 1,300만 km²까지 늘어난다. 해빙의 두께도 2~5m 정도로 평균 1m 정도인 남극에 비해 훨씬 두껍다. 따라서 아라온호보다 더 강력한 쇄빙 능력을 갖춘 쇄빙선 건조가 필수적이다.

총사업비 2,856억원이 투입되는 제2쇄빙연구선은 총 톤수 1만2,000톤, 승선 인원 120명(승무원 30명, 연구원 90명) 규모의 중대형선이다. 7,487톤, 승선 인원 85명으로 중형선에 해당하는 아라온호보다 1.6배쯤 크다. 쇄빙능력도 2배 강화된다. 아라온호는 두께 1m의 평평한 얼음 덩어리를 3노트 속도로 연속해서 깨부수며 나아갈 수 있다. 제2쇄빙연구선은 두께 2m 평탄빙을 3노트 속도로 쇄빙하는 능력을 장착할 예정이다.

또한 시추기능 강화를 위해 선체 중앙부에 문풀(Moon Pool·원통형 공동 설비)과 최첨단 지구물리 탐사장비도 장착한다. 극지에 도착해서 탐사를 벌일 때 유용한 운송수단인 헬기도 1대에서 2대로 늘려서 계획되었다. 제2의 쇄빙선 건조 과정에서 쇄빙설계, 내빙설계 등 관련 기술도 개발할 수 있으며, 북극 전용 쇄빙선이 생기면 북극 자원 탐사와 기후변화 연구 등도 활발해질 것으로 기대된다. 해양수산부는 2022년께 제2쇄빙연구선을 띄우면 북극 연구 향해 일수가 기존 27일에서 140여일로 5배 이상 늘어날 것으로 기대하고 있다.

제2쇄빙연구선의 사업목표는 선박의 건조가 아니라 극지 과학조사 및 기초탐사·연구활동을 지원하기 위한 대형 연구개발 인프라 구축 투자사업이다. 그러나 현재 북극 연구와 탐사 활동에 필요한 투자라는 의견과 아직 대형선박 도입은 시기상조라는 견해가 상충하면서 본격적인 건조가 시작되고 있지 못하는 상황이다.

3. 연구방법론의 주요 쟁점

3.1 지불수단 선택

지불수단의 설정은 응답자가 밝히고자 하는 지불의사를 쉽게 표현할 수 있기 위함이다. 따라서 현실성 있는 지불수단의 설정은 응답자의 진정한 가치를 밝힐 수 있도록 유도하여야 하고, 가상적인 상황을 좀 더 현실화시킨다는 점에서 중요하다.

지불수단의 선택은 평가 대상과의 관련성, 응답자 의사 결정 단순화, 여러 가지 편익의 제거 등을 기준으로 삼는다. 본 연구에서는 공공사업에 대하여 널리 활용되고 있는 가구당 총 소득세의 추가적인 증가를 통한 제2쇄빙연구선 건조

비용의 확충을 지불수단으로 설정하였으며, 지불 방식은 향후 5년간 매년 1회 지불하는 것으로 설정하였다.

3.2 지불의사 유도방법

본 조사에서는 현실시장에서 소비자들의 행동을 결정하는 유형 및 국민투표에서 투표하는 유형과 유사한 양분선택형 질문법으로 지불의사를 유도한다.

양분선택형 질문법은 단일경계, 이중경계, 1.5경계로 구분할 수 있다. 양분선택형(dichotomous choice) 질문유형 중에서의 한 번의 질문만 하는 단일경계 양분선택형 질문유형보다는 후속 질문을 한 번 더 하는 이중경계 양분선택형 질문유형이 통계적 효율성 관점에서 보다 바람직하다. 하지만 단일경계 모형 대신에 이중경계 모형을 사용할 때, 상당한 정도의 통계적 효율성 제고가 있다 하더라도 편익을 초래할 가능성도 커진다는 점에 대해서는 많은 문제 제기가 있었다. 예를 들어, McFadden(1994)은 이중경계 모형에서 첫 번째 응답과 두 번째 응답이 동일한 분포로부터 나왔다는 가설이 유의수준 1%에서 기각될 수 있다는 점에서, 이중경계 지불의사 유도방법의 내적 일관성이 결여된다고 결론을 내렸다. Cameron and Quiggin(1994)도 유사한 결론을 얻었으며, 특히 첫 번째 질문만을 사용하여 얻은 WTP 추정치가 두 개의 질문 모두를 사용하여 얻은 WTP보다 크다는 점을 발견하였다. 따라서 본 연구에서는 편익 발생 가능성을 줄이기 위해 단일경계 모형을 적용하기로 하였다.

3.3 제시금액의 설계

양분선택형 질문으로 조사하기 위해서는 사전에 제시금액의 설계가 필요한데, 제시금액은 최종적으로 얻고자 하는 WTP의 평균값 또는 중앙값에 민감한 영향을 미칠 수 있으므로 세심한 주의를 기울여 결정하여야 한다. 본 연구에서는 실제 설문조사에 들어가기 전에 전문 설문조사기관에 본 설문조사 표본추출과정과 유사하게 각 지역별로 설문지를 배포하여 사전조사(pre-test)를 실시하도록 의뢰하였다. 사전조사에서는 개방형 질문을 통해 총 100가구의 응답자들에게 제2쇄빙연구선 건조사업을 위한 WTP를 조사하였다. 응답자료의 평균값(mean)과, 응답자료 중 지나치게 값이 큰 WTP 응답 자료의 영향을 최소화하기 위한 응답 자료의 중앙값(median)을 바탕으로 1,000원부터 15,000원까지 총 8개의 제시금액을 결정하였다. 이렇게 결정된 제시금액을 전체 응답자를 무작위로 구분한 8개 그룹에 각각 할당하였다.

3.4 설문방법과 표본 설계

설문조사 대상지역은 제주도를 제외한 전국을 대상으로 한다. 이것은 제2쇄빙연구선 건조사업이 국가적인 사업이기

때문에 각 지역에 거주하는 사람들이 이 사업에 대해 관심이 있어 일정 수준의 WTP를 가질 수 있기 때문이다. 각 지역의 전체 인구를 대상으로 임의표본(random sample)을 도출하기 위해 각 지역 내의 인구 구성비를 고려하여 각 나이의 비율에 맞게 표본수를 할당하였다. 그리고 설문단위는 개인이 아닌 가구로 하여, 무작위 추출된 총 1,000 가구의 설문결과를 얻을 수 있었다.

설문조사는 2017년 전국 15개 광역지방자치단체 지역에 대해 6월 중순부터 7월 초순까지 전문조사기관의 주관으로 일대일 개별면접방식으로 실시되었다. 책임있는 가구의 의견에 대한 정보를 얻기 위해 조사대상은 만 20세 이상 65세 이하의 세대주 또는 세대주의 배우자로 한정하였다.

4. 추정모형

4.1 베이지안 추정법

본 연구의 분석방법인 베이지안 추정법은 통상적인 최우(ML, maximum likelihood)추정법과 근본적 차이를 갖는다. 베이지안 접근에서는 확률을 지식이나 개인적인 믿음의 정도를 나타내는 것으로 본다. 반면 전통적인 관점에서 확률은 어떤 사건의 발생 빈도를 나타낸다. 베이지안 접근에서는 모수를 주관적인 확률변수로 보기 때문에, 모수는 고정된 값이 아니라 확률이다. 반면 전통적 분석에서는 모수는 고정된 미지수이다. 베이지안 접근에서 주된 관심은 모수의 사후적 분포에 있으나, 전통적 방법론에서는 추정치의 불편성, 일치성 등에 관심이 높다.

베이지안 분석은 미지의 모수에 대한 사후적 결합분포에서 개별 모수의 사후적 분포를 얻어내야 하며, 이 경우 상당히 복잡하거나 경우에 따라서는 풀어내기 불가능한 적분을 해야 한다. 그러나 Gelfand et al.(1990)의 연구에 따르면, 깁스 샘플링(Gibbs sampling)을 활용하여 베이지안 추정법의 난제를 상당부분 해결할 수 있게 되었다. Yoo(2002)에 따르면, 깁스 샘플링을 적용하면 샘플링 과정에서 조건부 분포를 사용함에도 불구하고, 샘플링의 추출물들이 관심대상 모수의 평균과 적률에 대해 타당한 사후적 추론에 사용될 수 있다. 특히 본 연구의 자료와 같이 소표본의 경우 ML 추정에 사용되는 정규성 가정과 점근성이 만족되지 않을 수 있는데, 깁스 샘플링을 적용하는 경우 소표본의 경우에도 CVM 모형에 베이지안 추정법을 적용할 수 있다는 장점이 있다.

4.2 베이지안 추정법을 통한 WTP 산정

여기서는 Yoo(2002)가 제시한 CVM 모형에 대한 베이지안 추정법을 통해 응답자들의 WTP를 추정하고자 한다. 먼저 잠

재변수인 각 응답자의 WTP는 $Z=(z_1, \dots, z_n)'$ 로 정의한다. 이 변수들은 관측 불가하지만 시뮬레이션 과정을 통해 필요한 자료들을 확장해 낼 수 있다.

본 연구의 응답결과는 제시금액 B_i 에 대하여 ‘예’, ‘아니오’로 구분될 수 있으며, 이를 통해 응답자들의 WTP 질문에 대한 응답 자료 $D=(d_1, d_2, \dots, d_n)'$ 는 다음 식(1)과 같이 분류할 수 있다.

$$\begin{aligned} I_i^Y &= 1(i\text{번째 응답자의 응답이 "예"}) \\ I_i^N &= 1(i\text{번째 응답자의 응답이 "아니오"}) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $1(\cdot)$ 은 인디케이터 함수(indicator function)로, $1(\cdot)$ 의 괄호안의 조건이 만족되면 1을 취하고 아니면 0을 취한다.

통상적인 WTP 추정식은 $z_i = x_i\beta + u_i$ 로 정의할 수 있다. 여기서, x_i 는 공변량 벡터를 의미하며, u_i 는 평균이 0, 분산이 σ^2 인 정규분포를 따르는 오차항을 의미한다. 즉, $z_i \sim N(x_i\beta, \sigma^2)$ 로 정의할 수 있다. 그리고 추정계수를 $\theta = (\beta, \sigma^2)$ 로 정의하면, 추정계수의 사후적 확률밀도함수(PDF, probability density function)인 $\pi(\theta|D, Z)$ 와 잠재 WTP의 사후적 조건부 PDF인 $f(z_i|D, \theta)$ 를 정의할 수 있다.

한편, 모형 내 모수들이 독립적이라면 θ 의 사전분포는 다음 식(2)와 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \beta|\sigma^2 &\sim MN(\beta_0, \Sigma_0) \\ \sigma|\beta^2 &\sim IG(v_0/2, \delta_0/2) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 MN은 평균이 β_0 , 분산행렬이 Σ_0 인 다변량 정규 분포(multivariate normal distribution)를 의미한다. 그리고 IG는 매개변수가 각각 $v_0/2$ 와 $\delta_0/2$ 인 역감마분포(inverted gamma distribution)을 의미한다.

잠재 WTP의 사후적 PDF인 $f(z_i|D, \theta)$ 는 응답자의 WTP 질문에 따라 결정되는 각각의 구간에 대해 절단된 정규분포 PDF로 정의된다. 이에 깁스 샘플링 추출물은 다음 식(3)을 통해 생성된다.

$$\begin{aligned} f(z_i|D, \theta) &= \begin{cases} f_N(z_i|x_i\beta, \sigma^2) (I_i^Y) [B_i, \infty) \\ f_N(z_i|x_i\beta, \sigma^2) (I_i^N) (-\infty, B_i) \end{cases} \\ \pi(\beta|D, Z, \sigma^2) &= f_{MN}(\beta|\hat{\beta}_z, V) \\ \pi(\sigma|D, Z, \beta) &= f_{IG}(\sigma|v_1/2, \delta_1/2) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 f_{IG} 는 역감마분포의 PDF, f_N 은 정규분포의 PDF를, f_{MN} 은 다변수 정규분포의 PDF를 의미한다.

한편 $\Sigma_1 = \sigma^2(X'X)^{-1}$, $\beta_1 = (X'X)^{-1}X'Z$, $X = (x_1, \dots, x_n)'$ 일 때, 사후적 평균과 분산행렬은 $\hat{\beta}_Z = (\Sigma_0^{-1} + \Sigma_1^{-1})^{-1}(\Sigma_0^{-1}\beta_0 + \Sigma_1^{-1}\beta_1)$ 과 $V = (\Sigma_0^{-1} + \Sigma_1^{-1})^{-1}$ 이 되며, $v_1 = v_0 + n$, $\delta_1 = \delta_0 + (Z - X\beta)'(Z - X\beta)$ 이 성립한다(Yoo, 2002). θ 의 초기값을 $\theta^{(0)} = (\beta^{(0)}, \sigma^{2(0)})$ 라 하면, CVM 모델의 깃스 샘플링 알고리즘은 다음 3개 시뮬레이션을 통해 정의된다.

$$\begin{aligned} Z^{(1)} & \text{ from } f_N(z_i|D, \beta^{(0)}, \sigma^{2(0)}) \\ \beta^{(1)} & \text{ from } f_{MN}(\beta|D, \sigma^{2(0)}, Z^{(1)}) \\ \sigma^{2(1)} & \text{ from } f_{IG}(\sigma^2|D, Z^{(1)}, \beta^{(1)}) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $Z^{(1)}$ 은 식(3)에서 제시된 절단된 정규분포 PDF에서 시뮬레이트된 z_i 로 이루어진 $n \times 1$ 벡터이다. 본 연구에서는 이를 시뮬레이트하기 위해 R의 truncnorm 패키지를 활용하였다(Trautmann et al., 2014).

또한 식(4)로 이루어진 행렬의 추출을 t 번 반복하면, 결합분포 $(Z, \beta, \sigma^2|D)$ 로부터 1개의 시뮬레이션 추출물 $(Z^{(t)}, \beta^{(t)}, \sigma^{2(t)})$ 을 얻을 수 있다. 이렇게 t 번 반복한 후에 다시 G 번을 반복하면 사후적 분포로부터 (Z_g, β_g, σ_g) , $g = 1, 2, \dots, G$ 를 얻게 된다. 즉, 앞에서 t 번 반복한 결과는 버리고 이후 G 번 반복한 결과만을 취한다. 이 G 개의 결과에 근거하여 각각의 변수들의 사후평균과 신뢰구간을 계산할 수 있다. 예를 들어, θ 의 90% 신뢰구간은 하위 5.0% 분위수와 95.0% 분위수를 의미하며, 사후평균 θ^* 는 다음 식(5)로 표현된다.

$$\theta^* = (\beta^*, \sigma^{2*}) = \left(\sum_{g=1}^G \beta_g / G, \sum_{g=1}^G \sigma_g^2 / G \right) \quad (5)$$

5. 실증분석결과

Table 1의 제시금액별 응답결과를 살펴보면 제시금액이 커질수록 경제학의 이론이 예상하는 대로 지불할 의사가 있다는 응답이 줄어드는 경향이 뚜렷이 나타났다.

Table 1. WTP response distribution

Bid	(unit: person, %)	
	yes	no
1,000	80(64.0 %)	45(36.0 %)
2,000	67(53.6 %)	58(46.4 %)
3,000	53(42.4 %)	72(57.6 %)
4,000	47(37.6 %)	78(62.4 %)
5,000	33(26.4 %)	92(73.6 %)
7,000	33(26.4 %)	92(73.6 %)
10,000	24(19.2 %)	101(80.8 %)
15,000	16(12.8 %)	109(87.2 %)
Total	353(35.3 %)	647(64.7 %)

실문조사에 참여한 응답자들의 사회·경제적 특성은 다음 Table 2에 요약되어 있다. 응답자들의 평균 연령은 46.5세, 가구당 평균 소득은 404.5만원으로 나타났으며, 평균적으로 고졸 이상의 학력을 가진 것으로 나타났다.

Table 2. The social and economic characteristics of respondents

Variable	Definition	Mean	Standard deviation
Sex	Dummy for the respondent's sex (0 = male, 1 = female)	0.5	0.5
Age	The respondent's age	46.5	9.8
Income	The respondent's monthly income (10,000 KRW)	404.5	301.4
Education	The respondent's level of education in years	13.8	2.0

CVM과 관련된 대부분의 실증연구에서는 θ 에 대한 정보를 얻기가 어렵다. 이 경우 통상 ‘무정보 사전분포(noninformative prior)’를 가정한다. 본 연구에서는 무정보 사전분포인 $(\beta_0, \Sigma_0) = (0, 10^7 I_5)$ 와 $(v_0, \delta_0) = (0, 0)$ 을 이용한다. 여기서 I_5 는 5차원 항등행렬을 의미한다.

θ 의 초기값이 주어져 있을 때, 한 사이클의 깃스 샘플링 알고리즘은 식(4)로부터 Z 와 θ 를 만들어 낸다. θ 에 대한 초기값 $\theta^{(0)}$ 로는 ML 추정치를 설정하였다. 그리고 초기값의 영향을 배제하기 위해 처음 5,000번의 시뮬레이션 결과는 사용하지 않았다(Jung et al., 2017).

그 결과 제2쇄빙연구선 건조를 위한 WTP의 사후평균은 약 1,999원으로 산출되었다. 평균 WTP의 90% 신뢰구간은 1,243.2원에서 2,594.3원으로 나타나 신뢰구간에 0이 포함(included)되지 않는다. 이 결과는 전통적인 방식의 추정결과

로 해석할 경우, 평균 WTP가 10% 수준에서 통계적으로 유의한 것으로 해석할 수 있다.

한편 Table 3에서 보는 바와 같이, 응답자의 사회·경제적 변수들은 모두 90% 신뢰구간에 0이 포함되지 않았다. 즉, 남성일수록, 연령이 높을수록, 교육수준이 높을수록, 소득이 높은 응답자일수록 제2쇄빙연구선 건조를 위해 평균적으로 더 높은 WTP를 제시한 것으로 해석할 수 있다.

Table 3. The results of estimation

Variable	Posterior mean	90% HPD Interval
Constant	-10,897.0432*	[-15,680.282 - -9,250.936]
Sex	1,919.2769*	[951.624 - 2,956.746]
Age	54.4108*	[5.5186 - 103.9435]
Education	577.0281*	[349.4220 - 804.5879]
Income	3.5949*	[1.1451 - 6.2146]
σ	8,835.8482*	[7,317.305 - 10,538.786]
Mean WTP	1,999.12*	[1,243.23 - 2,594.33]

본 분석에서 제2쇄빙연구선 건조 사업과 관련된 총 편익은 산출된 가구당 연평균 WTP 1,999원에 2016년 현재 전국 총가구수를 곱하여 구할 수 있다. 이는 각 가구의 연간 WTP가 각 가구의 제2쇄빙연구선 건조에 따른 만족도라고 해석하면 총편익은 모든 가구의 만족도 총합을 의미하기 때문이다. 결론적으로 제2쇄빙연구선 건조 사업에 대한 총편익은 연간 약 373.9억 원인 것으로 산정되었다. 최종적인 분석 결과는 Table 4에 요약되어 있다.

Table 4. The annual total benefit of the Second Icebreaker

Mean WTP (KRW)	1,999.1361
Households in Korea, 2016	18,705,004
Yearly total benefit (Billion KRW)	37.39

6. 결론

본 연구는 비시장재의 대표적 경제적 가치 추정 방법론인 조건부 가치추정법(CVM)을 활용하여 제2쇄빙연구선 건조사업의 편익을 추정하였다. 한편 추정방법과 관련하여 가정되는 분포의 형태와 추정모형에 따라 발생하는 WTP 추정치의 편차를 피하기 위하여 최우추정법을 활용하는 기존 방법론과 달리 베이지안 추정법을 적용한다.

분석결과에 따르면 가구당 연간 평균 WTP는 1,999원으로

추정되었으며 이를 전국 가구 수로 확대한 제2쇄빙연구선 건조사업에 대한 총편익은 연간 약 373.9억 원인 것으로 산정되었다.

본 연구의 의의는 크게 연구적인 측면과 정책적 측면으로 살펴볼 수 있다. 먼저 연구의 측면에서, 본 분석은 분포와 모형에 따라 편차가 존재하는 기존의 최우추정법 대신 베이지안 추정법을 적용함으로써 WTP분포에 대한 가정없이 응답결과에 기초하여 도출된 분포를 바탕으로 WTP를 도출함으로써 보다 엄밀한 WTP 도출방안에 기여하였다.

또한 이와 같은 본 연구의 결과는 제2쇄빙연구선 건조사업에 대한 경제성 평가에 활용될 수 있고 향후 유사한 사업의 편익 추정 및 경제성 평가에 참고 자료로 제공될 수 있다. 또한 비시장적 가치를 추정하여 경제적 타당성을 분석한 본 사업의 사례에서 유사 사업에 활용될 정책적 시사점, 예를 들어 정책 및 사업계획 수립 시 가치재(merit goods)의 중요성을 고려해야 하는 등의 시사점을 도출할 수 있다.

References

- [1] Cameron, T. and J. Quiggin(1994), Estimation Using Contingent Valuation Data from a “Dichotomous Choice with Follow-Up” Questionnaire, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 27, No. 3, pp. 218-234.
- [2] Gelfand, A. E., S. Hills, A. Racine-Poon and A. F. Smith (1990), Illustration of Bayesian inference in normal data models using Gibbs sampling, *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 85, No. 412, pp. 972-985.
- [3] Jung, J. Y., J. S. Lee and E. C. Choi(2017), Measuring the Economic Benefits of Urban Regeneration Project in Seoul - The Case of Platform Chang-dong 61, *Journal of the Korean Data Analysis Society*, Vol. 19, No. 2, pp. 743-753.
- [4] KMI(2017), Korea Maritime Institute, *Monthly Trend*.
- [5] Kwon, Y. J., S. K. Baek and S. H. Yoo(2014), Economic Feasibility Analysis of Marine Ecosystem Restoration Technology Program, *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety*, Vol. 20, No. 2, pp. 130-142.
- [6] McFadden, D.(1994), Contingent Valuation and Social Choice, *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 76, No. 4, pp. 689-708.
- [7] Trautmann, H., D. Steuer, O. Mersmann and B. Bornkamp (2014), Truncated normal distribution, R package version 1.0-7, <https://CRAN.R-project.org/package=truncnorm/>.

- [8] Yoo, S. H.(2002), Using Bayesian Estimation Technique to Analyze a Dichotomous Choice Contingent Valuation data, Environmental and Resource Economics Review, 11(1), pp. 99-120.

Received : 2018. 06. 18.

Revised : 2018. 08. 07.

Accepted : 2018. 08. 28.