

해양환경 위해성 평가 및 관리 기술의 경제성 분석

유승훈* · 박선영** · 임슬예***

I. 서론

최근 해양 자원 및 공간에 대한 이용이 확대되고, 인위적인 해양 환경 이용이 증가함에 따라 해양폐기물 투기, 육상오염물 유입 증가, 허베이스피트리호에 의한 서해의 유류오염사고 등 일련의 사건사고로 해양오염이 증가하고 있다. 이에 따라 유해물질의 생물 축적 및 생물확산에 의한 2차 오염의 문제가 심각해지고 있다.

오염된 환경은 복원이 대단히 힘들고 많은 비용이 소모되므로 환경복원을 위한 종합적인 관리기술 개발 추진이 시급하다. 또한 2007년 서해에서 발생한 허베이스피리트호 사건과 2010년 미국 멕시코만에서 발생한 기름 유출사건 등은 해양환경의 중요성을 각인시키는 동시에 해양환경 위협 예방과 대응 전략 마련을 중요하게 하는 계기를 형성하였다.

국내에서는 최근 환경위해성 영향을 평가하기 위한 기초적인 작업으로 점오염원에 해당하는 배출수에 대한 통합독성평가를 위한 제도를 도입하여 시행하고 있다. 그러나 배출수에 포함된 중금속/유해물질에 의한 급성 생태독성영향만을 평가하고 이를 통한 관리만 실시하고 있으며, 중금속/유해물질에 의한 이차 독성과 만성생태영향을 반영하고 있지 못하다.

현재 해양에 대한 지역 위해성 평가는 생태위해성 지침을 기반으로 실시되고 있지만, 국내 생태독성자료에 대한 검증이 불충분하기 때문에 외국의 생태독성자료로부터 도출된 생태 무영향 농도를 이용하고 있다. 외국의 생태독성자료를 준용할 수밖에 없기 때문에 국내 해양위해성 평가 결과의 정확성을 떨어뜨리고 국내 해양환경을 고려하지 못하는 단점이 존재한다.

이에 정부는 2020년까지 중금속/유해물질 생태위해성 평가 기술을 선진국 대비 80% 수준으로 향상시키려는 '해양환경기술개발사업 중장기 기본계획 수립을 위한 기획연구'를 실시하였다. 만약 해양환경 위해성 평가 및 관리기술이 개발된다면, 향후 우리나라의 해양 기술을 선진국 수준으로 끌어올림과 동시에 해양환경 관리에 있어서 국제 경쟁력을 확보할 수 있다. 또한 식수원 보호 및 해양 생물 안전성 확보를 통한 국민들의 건강 및 안전에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

해양환경 위해성 평가 및 관리 기술개발에는 막대한 정부예산이 소요되므로, 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업에 대한 경제성 분석은 필수적으로 요구된다. 하지만 해양환경 위해성 평가 및 관리 기술로 인해 발생하는 비시장적 편익은 추정이 어렵다. 하지만 이 기술로 인해 해양환경이 중금속 및 유해물질로부터 안전해지고 국민들의 건강 및 안전을 향상시킴으로써 국민 후생은 증가할 수 있기 때문에 이러한 비시장적 효과도 분명히 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 편익으로 포함되어야 한다.

물론 해양환경 위해성 평가 및 관리 기술 개발이 실제로 비시장적 편익을 가져올 수 있는지에 대해 의문을 제기할 수 있다. 만약 국민들이 해양환경 위해성 평가 및 관리기술로 인해 해양 환경의 관리 수준을 향상시키고 해양환경이 깨끗해짐으로 인해 국민 건강 증진 또는 안전 확보에 기여하는 것에 의미를 부여하고 만족감을 느껴, 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발을 위해 본인의 소비를 줄여 소득의 일정 부분을 할애하려는 의지가 있을 수 있다면, 경제학적인 의미에서

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

** 박선영, 고려대학교 경제학과 박사과정, 02-3290-2217, korea04@korea.ac.kr

*** 임슬예, 서울과학기술대학교 에너지정책학과 석사과정, 02-970-6960, im@seoultech.ac.kr

해양환경 위해성 평가 및 관리기술은 가치를 가지게 된다. 후술하겠지만 본 연구에서 수행한 조사에서 많은 국민들은 이에 동의하였다. 바로 이런 부분이 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 비시장적 가치를 구성한다.

하지만 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발과 같은 연구개발(R&D)사업의 다양한 편익은 그 가치가 명시적으로 평가되지 못하고 있는 실정이다. 본 연구의 대상이 되고 있는 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 경우, 언뜻 보아 비시장적 가치가 잘 정의되지 않으며, 비시장적 가치를 정의한다 하더라도 어떻게 가치를 측정할 것인지에 대해 선뜻 답을 내리기가 쉽지 않다. 이것은 해양환경 위해성 평가 및 관리 기술이 시장에서 거래가 되고 있는 재화가 아니며, 특히 일반 국민들의 입장에서는 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 혜택이 매우 추상적이기 때문이다. 이러한 재화를 포괄적으로 정의할 때 통상 비시장재화(non-market)라 하는데, 이것은 해당 재화가 시장에서 거래되고 있지 않으며, 또한 거래되기도 어려운 측면을 반영하고 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 가치추정법(CVM, contingent valuation method) 등 다양한 가치추정방법론들이 사용되어 왔다. 특히 CVM은 공공재나 서비스와 같은 비시장재화의 경제적 가치를 측정하는 방법으로 널리 사용되고 있다(Bjornstad and Kahn, 1996).

이에 본 연구에서는 CVM을 적용하여 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 비시장적 편익을 추정하고자 한다. 본 논문의 이후 부분은 다음과 같이 구성된다. 먼저 2절에서는 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 비시장적 편익 산정을 위한 방법론에 대해 검토한다. 3절에서는 비시장적 편익을 다루기 위한 이론적 모형을 제시한다. 4절은 비시장적 편익 추정 결과를 제시한다. 5절은 비시장적 편익 추정 결과를 활용한 경제성 분석에 대해 논한다. 마지막 절은 결론으로 할애한다.

II. 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 비시장적 편익 추정 방법론

1. 편익 추정의 범위

해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 경우 편익을 크게 소비자 관점과 생산자 관점으로 구분할 수 있다. 첫째, 생산자 관점에서 본다면 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발 과정과 최종적으로 개발된 기술에서 나타나는 해당 기술 산업 및 관련 산업의 부가가치 유발효과가 있다. 예를 들어, 해양환경 위해성 평가 및 관리기술이 발전될 수 있으며, 해양환경 위해성 평가 및 관리기술로 인해 해양자원이 덜 오염되어 해저생물이 풍부해짐으로써 수산업이 발전되거나, 중금속 및 유해물질 검출 및 관리를 통해 검출사업이 활성화되는 등 부가가치가 발생한다면 이것을 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 편익으로 볼 수 있다.

둘째, 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 혜택에 대한 시각을 일반 국민으로 확대해보면, 이 사업으로 인해 국민들은 자긍심을 느끼고 해양학의 발전에 대해 만족을 느껴 이로 인해 국민후생은 증가할 수 있을 수 있다. 또한 바다물의 중금속 및 유해물질 감소로 식수원이 깨끗해지고 물고기 등의 해양자원 오염을 방지할 수 있으므로 이 효과도 이 사업의 편익으로 포함된다.

본 연구에서는 두 번째 범주만을 연구대상으로 삼는다. 즉 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 혜택 중에서 한국 기초과학 발전 기반 마련, 해양 기술 발전을 통한 국민의 자긍심 고

취, 식수원 보호 및 해양 생물 안전성 확보를 통한 국민들의 건강 및 안전 추구 등 매우 추상적인 비시장적 편익을 주된 평가 대상으로 한다.

2. 평가대상 재화 : 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업

해양환경 위해성 평가 및 관리기술은 해수, 퇴적물, 생물체 등 해양환경 중 중금속 및 유해물질의 화학적, 생물학적 모니터링을 함으로써 생태 위해도를 평가하고, 해역별 생태 위해 진단 및 위해 요인을 규명하는 기술이다. 쉽게 말해, 해양 환경에 어떤 중금속 및 유해물질이 얼마나 포함되어 있는지를 모니터링하고 생태 위해도를 진단하여 그 원인을 밝히고 해역별 생태 위해 수준을 평가하기 위한 기초 기술이다.

본 기술은 크게 수생생물에 대한 독성영향 평가 및 예측과 수생태계에 대한 생태독성 영향 진단 및 원인 규명으로 나뉜다. 전자는 독성 유전체가 무엇인지 규명하는 것과 독성이 어떻게 작용하는지를 연구함으로써 시간에 따라 독성 유전체 또는 독성작용이 어떻게 변하는지 동태모형을 개발하고 이를 적용하는 것이다. 또한 하나 이상의 복합독성영향을 평가하고 예측하면서 정량적으로 생태위해성을 평가할 수 있는 방법을 개발하여 해역별 위해관리계획을 세우는 것이 목적이다.

후자는 현장 생태영향을 진단하는 기법과 생태 위해의 원인을 규명하는 기법으로 구성되어 있다. 현장 생태영향을 진단하는 기법은 MoA 기반 *in vitro* 시험, *in vivo*, *in situ* 독성시험, *in situ* biomaker(생물체 또는 생태계의 상태를 알려주는 지표(혹은 표지자)로, 예를 들어 의학에서 당뇨병 진단에 쓰이는 혈중포도당을 들 수 있음. 해양생태계의 경우 특정 중금속/유해화학물질 그 자체나 생물체의 대사를 통해 생성, 배출된 다양한 물질들이 그 후보가 될 수 있음.)를 통한 화학물질 스크리닝 및 모니터링, 수계생태계 및 서시지 조사 등이 있다. 생태위해 원인 규명 기법은 배출수 및 퇴적물 독성 원인 규명과 특정독성영향분석, 생태위해 진단 및 위해요인 규명 등이 있다.

해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발 기간은 총 10년이며, 초기 4년은 중금속/유해화학물질 생태위해성 평가요소 기술을 개발하고, 차기 4년은 개발된 생태위해성 평가기법을 현장에 적용하고 검증해보는 과정이며, 마지막 2년은 유해물질별 생태위해성 평가 및 관리지침을 개발할 예정이다.

3. 편익추정의 원칙 : 지불의사액

진술하였듯이, 본 연구의 대상이 되고 있는 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업으로 발생하는 비시장적 편익의 경우, 언뜻 보아 가치가 잘 정의되지 않으며, 가치를 정의한다 하더라도 어떻게 가치를 측정할 것인지에 대해 선뜻 답을 내리기가 쉽지 않다. 이것은 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 혜택이 한국 해양학 발전, 국민의 자긍심 고취, 해양의 중금속 및 유해물질 오염 방지, 국민 건강 및 안전 추구 등 추상적이기 때문이다. 아울러 해양환경 위해성 평가 및 관리기술로 직접적인 혜택을 받게 될 대상은 해안에 거주하는 국민과 해양학자일 것이며 이 경우 사업 수혜자의 범위가 크게 제약적이다. 즉 사업 수혜자의 범위를 위해성 평가 및 관리기술에 직접적인 영향을 받는 해안 거주민 또는 해양학자로 국한해야 하는지 아니면 국민 건강 및 안전에 기여하는 국가적 사업이란 관점에서 수혜자를 국민 전체로 봐야 할지에 대해 의문이 발생한다.

이렇게 사업의 효과가 추상적이며 사업의 수혜자가 일반 국민인 것 같지만 대다수의 국민들이 직접적인 혜택을 받을 가능성이 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 공급 장애를 피하기 위해 지불할 의사가 있는 최대금액을 의미한다. 즉 일정한 소득 하에서 다른 재화에 대한 소비지출을 줄이고 그 만큼 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 있으며, 한국개발연구원의 예비타당성조사의 지침에서도 문화재나 과학시설 등 비정형사업의 편익산정 방법으로 CVM 등 WTP를 도출하는 비시장재화의 가치추정법이 적절함을 제시하고 있다(박현 외, 2004).

4. 편익추정 방법론

현재까지 개발되고 응용되어 온 비시장재화의 가치추정 연구방법론 중 가장 널리 사용되면서 공감을 얻고 있는 것이 CVM이다. CVM은 응답자들로부터 대상재화나 서비스와 관련된 최대 WTP를 도출하여 이를 통해 대상재화나 서비스의 편익을 직접적으로 이끌어내는 가치추정방법이다(Mitchell and Carson, 1989). 사람들에게 친숙하지 않은 비시장재화에 대한 CVM의 WTP 추정치가 얼마나 정확한가라는 문제에 대해 여러 실증연구가 이루어졌는데, CVM으로부터 얻게 되는 응답은 대체적으로 믿을 만하다는 결론을 얻었다(Bjornstad and Kahn, 1996). 이렇게 CVM은 그 타당성과 정확성이 입증되어 각종 문헌에서 자주 등장하고 있다.

5. 지불수단의 선택

조건부 시장의 설정에 있어서 중요한 역할을 하는 것은 응답자가 밝히고자 하는 지불의사를 쉽게 표현할 수 있도록 지불수단을 제시하는 것이다. 본 연구에서는 평가하고자 하는 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 시행을 위한 재원확보 차원과 응답자의 친숙성을 종합적으로 고려하여 소득세를 지불수단으로 하였다. 또한 Arrow et al.(1993)의 지침대로 응답된 WTP에 대한 지불로 다른 재화에 대한 지출을 줄여야함을 응답자에게 인식시켰다.

한편 지불원칙 및 지불기간은 가구당 1년에 1회 향후 10년 동안 부담하는 것으로 하였으며 설문조사원들은 이 점을 응답자에게 강조하였다. 또한 가구의 소득은 제한되어 있으며 그 소득은 여러 용도로 지출되어야 한다는 사실과 정부가 해야 할 사업은 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업 외에도 많다는 사실을 고려하면서 WTP 질문에 대답할 것을 명시적으로 요청하였다.

6. 지불의사 유도방법 및 제시금액 선택

본 연구에서는 현실시장에서 소비자들의 행동을 결정하는 유형과 국민투표에서 투표하는 유형 및 유사한 양분선택형 질문법으로 지불의사를 유도한다. 통상 단 1회에 걸쳐서 미리 설정된 금액을 “공공재 공급의 대가로 지불할 용의가 있는가”라고 물어보면, 응답자가 ‘예/아니오’로 한번만 대답하는 방식인 단일경계 모형 및 한 번 더 추가적인 질문을 던지는 이중경계 모형이 널리 적용되고 있다. 하지만 CVM의 적용에서 널리 적용되는 단일경계 모형과 이중경계 모형은 각각 비효율성(inefficiency) 및 편익(bias)의 한계를 안고 있다(Carson and Groves, 2007). 즉 효율성을 제고하면서 편익을 줄일 수 있는 새로운 모형의 적용이 요구되고 있다. 본 연구에서는 이 점을 감안하여 양분선택형 질문법 중에서 Cooper et al.(2002)이 제안한 1.5경계(one and one-half bound) 모

형을 적용하고자 한다.

먼저 응답자들에게 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업을 위해 A^L 부터 A^U 의 범위의 비용이 매년 가구당 발생할 것이라는 정보를 제공한 후, 응답자를 다시 2개의 그룹으로 나눠 첫 번째 그룹의 응답자에게는 A^L 을 지불할 의사가 있는지를 질문하는데, 이 질문에 “예”라고 응답하면 A^U 를 지불할 의사가 있는지를 한 번 더 질문하며, “아니오”라고 응답하면 추가적인 질문을 하지 않는다. 두 번째 그룹의 응답자에게는 A^U 를 지불할 의사가 있는지를 질문하는데, 이 질문에 “예”라고 응답하면 추가적인 질문을 하지 않으며, “아니오”라고 응답하면 A^L 를 지불할 의사가 있는지를 한 번 더 질문을 한다.

본 연구에서는 30명을 대상으로 한 사전조사를 통해 제시금액의 수준과 범위를 결정한 뒤, 전체 600 가구를 8개의 그룹으로 구분하여 각 그룹에 제시금액의 범위인 (1,000원~3,000원), (2,000원~4,000원), (3,000원~5,000원), (4,000원~6,000원), (5,000원~7,000원), (6,000원~8,000원), (7,000원~9,000원), (8,000원~10,000원) 중 1개를 무작위로 배정하였다.

7. 설문방법 선택 및 표본 설계

설문방법은 개별면접설문, 전화설문, 우편설문 등이 있다. 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 경제적 편익 추정의 경우 몇몇 복잡한 내용이 포함되어 있기 때문에 비용이 많이 소요된다는 단점이 있지만 응답자가 충분히 이해할 수 있도록 하기 위하여 일대일 개별면접 설문을 실시하였다.

전국에 대하여 조사기간은 2012년 2월 중순부터 3월 중순까지 약 1개월이었다. 각 지역의 전체 인구를 대상으로 임의표본을 도출하기 위해 각 지역 내의 가구 구성비를 고려하여 각 나이의 비율에 맞게 표본 수를 할당하였다. 책임있는 가구의 의견에 대한 정보를 도출하기 위해 조사대상은 만 20세 이상 65세 이하의 세대주 또는 주부로 한정하였다. 그리고 설문단위는 개인이 아닌 가구로 하였으며, 표본추출 및 면접조사는 조사전문기관인 (주)리서치프라이م 및 지방 실사업체에 의뢰하였다. 최종적으로 무작위 추출된 총 600가구의 설문결과를 얻을 수 있었다.

II. WTP 모형

1. 효용격차모형

본 연구에서 적용하는 CVM은 Hanemann(1984)의 효용격차모형에 기반한다. 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.

$$u = u(j, m; S), \quad j = 0, 1 \quad (1)$$

여기서, $j=0$ 는 비시장재화를 이용할 수 없는 또는 비시장재화가 공급되지 않는 상태를 의미하

며 $j=1$ 는 비시장재화를 이용할 수 있는 또는 비시장재화가 공급되는 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.

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

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 최대화한다고 가정하자. 그렇다면 각 개인은 다음의 조건을 만족할 때, “당신은 비시장재화의 이용을 위해 또는 비시장재화의 공급받기 위해 A 원을 지불할 의사가 있습니까?”란 질문에 대해 “예”라고 대답하면서 A 원을 기꺼이 지불함으로써 효용을 최대화한다.

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

또는

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

이제 효용의 격차와 오차항의 격차를 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta v(A) \equiv v(1,m-A;S) - v(0,m;S) , \eta \equiv \epsilon_0 - \epsilon_1$$

그렇다면 “예”라고 응답할 확률은 다음과 같이 표현된다.

$$\Pr\{\text{응답이 “예”}\} = \Pr\{\Delta v(A) \geq \eta\} \equiv F_\eta[\Delta v(A)] \quad (4)$$

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 (4)는 다음과 같이 다르게 표현될 수 있다.

$$\Pr\{\text{응답이 “예”}\} = \Pr\{C \geq A\} \equiv 1 - G_C(A) \quad (5)$$

따라서 식 (4) 및 (5)를 비교하면 다음의 관계식을 구할 수 있다.

$$1 - G_C(A) \equiv F_\eta[\Delta v(A)] \quad (6)$$

이 결과는 이산반응모형 (4)를 적합 시키는 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 변화하

기 위한 WTP이다. C 가 음의 값도 가질 수 있을 때의 평균(C^+)은 흔히 다음과 같이 계산된다.

$$C^+ = E(C) = \int_0^{\infty} [1 - G_C(A)] dA - \int_{-\infty}^0 G_C(A) dA \quad (7)$$

2. 1.5경계 모형

주어진 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업에 대해 i 번째 응답자는 직면하여 응답하는 상황은 다음과 같이 6개의 변수를 도입하여 묘사할 수 있는데, 처음의 3개 경우는 첫 번째 질문에서 A^L 을 제시한 경우에 해당하며, 뒤의 3개 경우는 첫 번째 질문에서 A^U 를 제시한 경우에 해당한다.

$$\begin{cases} I_i^{YY} = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 "예-예"}) \\ I_i^{YN} = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 "예-아니오"}) \\ I_i^N = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 "아니오"}) \\ I_i^Y = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 "예"}) \\ I_i^{NY} = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 "아니오-예"}) \\ I_i^{NN} = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 "아니오-아니오"}) \end{cases} \quad (8)$$

이제 효용극대화를 추구하는 N 명의 표본을 가정할 경우 로그-우도함수는 다음과 같이 구성된다.

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \left\{ \begin{array}{l} I_i^{YY} \ln[1 - G_C(A_i^U)] \\ + I_i^{YN} \ln[G_C(A_i^U) - G_C(A_i^L)] \\ + I_i^N \ln G_C(A_i^L) \\ + I_i^Y \ln[1 - G_C(A_i^U)] \\ + I_i^{NY} \ln[G_C(A_i^U) - G_C(A_i^L)] \\ + I_i^{NN} \ln G_C(A_i^L) \end{array} \right\} \quad (9)$$

3. 스파이크 모형

지금까지는 WTP 모형을 둘러싼 중요한 논의와 일반적인 WTP 모형에 대해 설명하였다. 이제는 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업에 국한된 WTP의 성격에 대해 검토해 볼 필요가 있다. 사실 해양환경 위해성 평가 및 관리기술은 일반 국민들에게 생소한 재화이며, 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 시행을 위해 본인의 소비를 일부러 줄여 이 금액만큼을 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 단 1원의 지불의사가 있는지 없는지를 물어보는 질문도 포함되어 있다. 첫 번째 제시금액이 A^U 일 때 “아니오-아니오”라고 응답한 응답자와 첫 번째 제시금액이 A^L 일 때 “아니오”라고 응답한 응답자에게는 동 사업에 대한 지불의사가 전혀 없는지에 대한 질문을 하였다. 이 질문에 대해 “지불할 의사가 있다”고 응답한다면 양의 WTP를 가지며, “지불할 의사가 없다”고 응답한다면 영의 WTP를 가질 것이다.

사전적인 예상대로, 조사대상 600가구의 53.6%에 해당하는 268가구는 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업에 대해 지불의사가 전혀 없다는 의견을 밝혔다. 이러한 상황은 WTP에 관한 설문조사 자료에서 흔히 관측된다(Yoo et al., 2001). 영의 값을 가진 WTP 자료의 분석을 위해서는 다수의 가구들이 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업에 대해 전혀 지불할 의사가 없다는 사실을 고려해야만 한다. 다시 말해서, WTP의 분포는 영의 값을 갖는 응답자 그룹과 양의 WTP를 갖는 응답자 그룹으로 양분되는 것이다. 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 정형화에 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 이중경제 자료에 맞도록 적절한 조정을 해야 한다. 특히 Yoo and Kwak(2002)은 이중경제 자료에 적합한 스파이크 모형을 제안하였는데, 그 유용성이 입증되어 실증연구에서 널리 적용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 이 모형을 이용하고자 한다.

영의 WTP는 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업이 가구의 후생에 전혀 기여하지 못하거나 혹은 가구가 이 사업에 완전히 무관심할 때, 다음과 같은 소득제약 하의 소비자 효용극대화 문제의 모서리해(corner solution)로서 도출될 수 있으므로, 경제적 행위에 부합한다.

$$\max_{y, Z} [U(y, Z; h) \mid y + Z \leq m] \quad (10)$$

여기서, $U(\cdot)$ 는 효용함수, y 는 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업에 대한 WTP, Z 는 모든 다른 지출, h 는 개인특성을 나타내는 벡터, m 는 소득이다.

식 (9)의 3번째 부분에 있는 “아니오”의 응답과 마지막 부분에 있는 “아니오-아니오”의 응답은 다음과 같이 0의 WTP와 두 번째 제시금액(A^L)보다 작은 양의 WTP로 구분된다.

$$\begin{cases} I_i^{AY} = \mathbf{1}(\text{지불할 의사가 있다}) \\ I_i^{AN} = \mathbf{1}(\text{전혀 지불할 의사가 없다}) \end{cases} \quad (11)$$

$\theta = (a, b)$ 일 때 WTP의 누적분포함수 $G_C(\cdot; \theta)$ 는 다음과 같다.

$$G_C(A; \theta) = \begin{cases} [1 + \exp(a - bA)]^{-1} & \text{if } A > 0 \\ [1 + \exp(a)]^{-1} & \text{if } A = 0 \\ 0 & \text{if } A < 0 \end{cases} \quad (12)$$

그런데 식 (9)를 좀 더 들여다보면 다음과 같이 보다 간단하게 정리됨을 알 수 있으므로, 실제 추정시에는 식 (9')를 이용한다.

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \left\{ \begin{aligned} & (I_i^{YY} + I_i^Y) \ln [1 - G_C(A_i^U)] \\ & + (I_i^{YN} + I_i^{NY}) \ln [G_C(A_i^U) - G_C(A_i^L)] \\ & + (I_i^N + I_i^{NM}) \ln G_C(A_i^L) \end{aligned} \right\} \quad (9')$$

이때 평균값 WTP는 다음과 같이 계산된다.

$$\overline{WTP} = \int_0^{\infty} [1 - G_C(A)] dA - \int_{-\infty}^0 G_C(A) dA \equiv (1/b) \ln[1 + \exp(a)] \quad (13)$$

IV. 실증분석 결과

1. WTP 응답

본 연구에서 사용되는 해양환경 위해성 평가 및 관리기술개발사업에 대한 가구의 WTP는 2012년 2월 한 달간 수집되었다. <표 1>은 15경계 양분선택형 질문에 대한 응답의 분포를 나타내고 있다. 앞서 설명했듯이, 전체 600명의 응답자를 비슷한 숫자의 8개 그룹으로 구분한 다음에 각 제시 금액 범위를 배정하였다. 아울러 각 그룹 안에서는 대략 절반씩 나누어 A^L 과 A^U 를 제시하였다.

<표 1> Distribution of WTP responses

Bid(won)		Number of respondents	A^L is presented as a first bid				A^U is presented as a first bid			
A^L	A^U		yes-yes	yes-no	no-yes	no-no	yes	no-yes	no-no-no	no-no-yes
1,000	3,000	37	8	10	2	18	6	4	3	24
2,000	4,000	38	5	9	2	21	10	4	4	20
3,000	5,000	38	6	4	2	25	10	4	1	23
4,000	6,000	37	3	8	2	25	9	1	3	24
5,000	7,000	37	2	7	4	24	3	2	3	29
6,000	8,000	38	2	4	3	28	11	0	3	24
7,000	9,000	38	3	4	4	27	2	3	2	31
8,000	10,000	37	2	4	8	24	9	0	3	25
Total		600	31	50	27	192	60	18	22	200

2. 15경계 모형의 추정결과

15경계 모형의 추정결과는 <표 2>에 제시되어 있다. 최우추정법 적용 시 최대값을 쉽게 찾을 수 있도록 제시금액의 단위를 1,000원으로 하여 그 규모를 조정하였다. 추정결과 상수항과 제시금액의 추정계수, 스파이크 값은 유의수준 1%에서 통계적으로 유의했으며 제시금액의 부호는 기대치와 일치했다. 다시 말해, 제시금액에 대한 추정계수는 음수로 추정되었는데 이것은 제시금액이 커질수록 제시금액에 대해 “예”라고 응답할 확률이 낮아짐을 의미하므로 제시금액의 계수는 합리적으로 추정되었음을 알 수 있다.

한편 추정된 방정식의 통계적 유의도를 살피기 위해, ‘모든 추정계수는 0이다’라는 귀무가설을 상정하면 다음과 같이 Wald-통계량(W)을 구성할 수 있다.

$$W = \hat{\delta}' [\hat{V}(\hat{\delta})]^{-1} \hat{\delta} \quad (14)$$

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. Wald 통계량을 이용할 경우 추정된 모든 계수가 0이라는, 즉 추정된 결과가 무의미하다는 귀무가설을 유의수준 1%에서 기각할 수 있다.

<표 2> Estimation results of the model

Variables	Coefficient estimates	t-value
Constant	-0.6231	-7.33 [#]
Bid	-0.1612	11.14 [#]
Spike	0.6509	33.68 [#]
Log-likelihood	-632.73	
Wald-statistic (p-value)	1,134.53 [#] (0.000)	
Sample size	600	

Notes: [#] indicates statistical significance at the 1% level. The bid is expressed in 1,000 won.

3. 평균 WTP의 추정결과

이상의 추정결과로부터 계산된 WTP의 평균값은 <표 3>에 제시되어 있다. 식 (13)의 평균값 WTP는 가구당 연간 2,663원으로 계산되었으며, 델타법(delta method)을 적용하여 추정된 이 값에 대한 표준오차는 271원이다. 따라서 t-값은 9.83으로 계산되므로 추정된 평균 WTP는 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하다.

<표 3> Estimation results of mean WTP

Variables	Estimates
Annual mean WTP per household	KRW 2,663
Standard error	271
t-value	9.83 [#]
95% confidence interval	2,268-3,169
99% confidence interval	2,205-3,296

Notes: [#] indicates statistical significance at the 1% level. The standard error is computed by the use of delta method. The confidence intervals are calculated by employing the Monte Carlo simulation technique proposed by Krinsky and Robb(1986).

평균 WTP 값이 2,663원으로 추정된 점에 비추어 볼 때, 제시금액을 1,000원부터 10,000원 사이에서 결정한 것이 적절했는지에 대해 사후적으로 논의할 필요가 있다. 제시금액은 사전조사에서 개방형 질문을 통해 도출된 WTP의 분포에서 좌우에서 각각 5~20%를 절사한 값의 범위 내에서 결정되며, 본 연구도 이러한 절차를 따랐다. 아울러 사후적으로 볼 때, 제일 큰 제시금액에서는 “예”라는 응답하는 비중이 매우 낮으면 제시금액이 적절하게 설정된 것으로 판단할 수 있다. <표 1>에서 볼 수 있듯이 제시금액이 가장 높을 때에도 여전히 “예”라는 긍정적 응답자가 없지 않다. 따

라서 제시금액이 높게 설계된 것은 아니라고 볼 수 있다.

아울러 평균 WTP 추정에 수반된 불확실성을 반영한 신뢰구간의 계산을 위해 Krinsky and Robb(1986)이 제안한 모수적 부트스트랩(parametric bootstrap) 기법인 몬테칼로 시뮬레이션 기법을 적용하였다(Park et al., 1991; Cooper, 1994). 무작위 반복표본추출의 회수는 5,000번으로 하였으며, 95% 신뢰구간 및 99% 신뢰구간의 계산결과는 <표 3>에 제시되어 있다. 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 5,000번 반복한다. 이렇게 발생된 5,000개의 평균 WTP 값을 크기순으로 나열한 다음 양끝에서 각각 2.5%를 버리면 95% 신뢰구간을 얻을 수 있으며, 양끝에서 각각 0.5%를 버리면 99% 신뢰구간을 얻을 수 있다.

4. 추정된 평균값 WTP의 확장

CVM 연구를 수행하는 중요한 목적 중에 하나는 표본정보를 이용하여 해당 지역 전체의 WTP 내지는 편익을 추정하는 것이다. 즉 600 가구라는 전국 표본에 대해 도출된 정보를 활용하여 모집단 전체로 확장하는 작업이 필요하다. 이 과정에서 따져봐야 할 중요한 사항은 과연 표본이 모집단을 제대로 반영하고 있는지 여부이다. 앞서 언급하였듯이, 본 연구에서는 상당한 예산이 소요됨에도 불구하고 국내 유수의 전문조사기관에 의뢰하여 과학적인 표본추출 및 조사를 하고자 하였다. 아울러 설문대상자도 가구 내에서 책임있는 의사결정을 할 수 있는 만 20세 이상 65세 이하의 세대주 또는 주부만으로 한정하였다. 표본은 제주도를 제외한 전국을 대상으로 하였으며, 따라서 우리나라 전체 가구의 의견을 잘 반영하고 있으며, 가상시장을 이용했다 하더라도 책임있는 정보를 도출했다고 볼 수 있으므로 표본의 정보를 모집단으로 확장하는 데 별 무리가 없다.

전국 가구수는 17,379,667로, 통계청의 2011년 추계가구수를 활용하였다. <표 3>에서 제시한 평균 WTP에 전국 가구수를 곱하면 2012년 2월 기준 해양환경 위해성 평가 및 관리기술개발의 연간 비시장적 편익이 계산되는데, 그 값은 462.82억 원이다.

한편, 설문조사 수행시점은 2012년 2월이며 경제성 분석의 기준시점은 예비타당성조사 일반지침 제5판에 따라 분석기점의 전년도 말, 즉 2011년 12월이므로 위의 편익을 소비자 물가지수를 이용하여 보정하면, 458억 8,900만원으로 계산된다(2011년 12월 소비자물가지수 : 105.2, 2012년 2월 : 106.1, 2010년=100기준). 이 값은 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업에 대한 비용-편익 분석에서 편익에 대한 중요한 정보로 활용될 수 있을 것이다.

<표 4> Expansion of the sample value to the population value

Number of households	Mean WTP per household (KRW/yr)	Annual non-market benefit of the project over the period 2013-2020 (KRW million)	
		based on 2012.02	based on 2011.12
17,379,667	2,663	46,282	45,889

V. 경제성 분석

앞서 2011년 12월 기준 연간 편익을 활용하면, 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업에 대한 경제성 분석을 수행할 수 있다. 편익은 기술개발이 완료된 후부터 10년간 발생한다고 가정하였으며, 설문조사시 이를 응답자들에게 인식시켰다. 비용은 전체 기술개발기간을 3단계로 나누어 1단계(2013-2015)에서 96억원, 2단계(2016-2018)에서 141억원, 3단계(2019-2020)에서 45억원이 소요되는 것으로 예상되었다. 전체 사업비는 약 282억원이며 연도별로 연구개발비, 고민감도 모니터링, 생물축적/독성, 해역별 위해도 진단 비용으로 나뉜다.

경제적 타당성을 평가하는 분석기법으로는 편익/비용(B/C)비율, 내부수익률(IRR), 순현재가치(NPV) 등이 있는데, 일반적으로 이해가 용이하고, 사업규모의 고려가 가능한 B/C 분석 기법을 많이 사용한다. 그러나 B/C 비율, NPV, IRR은 그 분석기법마다의 장·단점을 가지고 있고, 어느 한 기법만을 가지고 사업의 경제적 타당성을 판단하기에는 적당하지 않은 경우가 자주 있으므로 본 연구에서는 B/C 비율, NPV, IRR을 모두 분석하여 경제적 타당성을 분석하였다.

해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업에 대한 경제성 분석 결과는 <표 5>에 요약되어 있다. 할인율은 예비타당성조사 표준지침 제5판에 따라 5.5%를 적용하였다. 분석결과 총 비용의 현재가치는 212.43억 원, 총 편익의 현재가치는 458.89억 원으로 추정되어 NPV가 246.46억 원으로 0보다 커 경제성 타당성을 확보하였다. 또한, B/C 비율은 2.16으로 산정되어 1.0보다 컸고, IRR도 15.2%로 사회적 할인율 5.5%를 초과하여 해양환경 위해성 평가 및 관리기술개발사업은 경제적으로 타당성이 존재하는 것으로 나타났다.

<표 5> Economic Analysis of Ocean Environmental Risk Assessment and Management

Total Present Value (KRW billion won)		Net Present Value(NPV) (KRW million)	Benefit-cost ratio(B/C ratio)	Internal rate of return(IRR)
Benefit	Cost			
45.889	21.243	246.46	2.16	15.2%

VI. 결론

해양환경 위해성 평가 및 관리기술을 개발하기 위해서는 막대한 예산이 소요되므로, 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 경제적 편익을 정량적으로 분석한 후 사업의 경제적 타당성 여부를 평가해야 한다. 하지만 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업과 같은 학술 SOC 연구개발사업의 비시장적 편익을 추정하는 것은 매우 어려운 작업이다. 하지만 사업의 추진 여부를 결정하기 위해서는 엄밀한 경제이론에 근거하여 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 비시장적 경제적 편익을 과학적으로 추정할 필요가 있다. 이러한 배경 하에서 본 연구에서는 CVM을 이용하여 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 비시장적 편익을 추정하고자 하였다.

특히 지불의사 유도방법으로 1.5경계 모형을 적용하여 설문조사를 수행했으며 1.5경계 모형을 추정하여 결과를 도출하였다. 특히 비교적 최근에 제안된 지불의사 유도방법으로 단일경계 모형의

비효율성을 개선시킬 수 있으면서도 이중경계 모형의 편의를 줄일 수 있는 1.5경계 모형을 적용한 것과 1.5경계 모형과 영의 WTP를 명시적으로 다룰 수 있는 스파이크 모형을 결합한 것도 유의미한 작업이었다고 판단된다. 아울러 CVM을 적용하는 데 있어서, Arrow et al.(1993)의 여러 가지 지침에 근거한 설문설계, 최근에 개발된 표본설문조사 표집기법 및 인터뷰 기법의 운용 등 특별하게 요구되는 여러 조건들을 충분히 만족시키면서 본 연구가 수행되었다.

분석결과 전국 대표가구는 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업을 위해 매년 가구당 평균적으로 2,663원의 WTP를 가지고 있었다. 이 값을 전국으로 확장하면 연간 약 463억 원에 해당한다. 해양환경 위해성 평가 및 관리기술의 편익과 비용 정보를 활용하여 본 기술의 경제적 타당성을 평가한 결과, 편익-비용(B/C) 비율이 2.16으로 1보다 크므로 경제적 타당성이 있는 것으로 판단되었다.

참고문헌

- 박현, 유경준, 곽승준 (2004), 「문화시설의 가치추정 연구」, 연구보고서 2004-15, 한국개발연구원.
- 국토해양부 (2010), “해양환경기술개발사업 중장기 기본계획 수립을 위한 기획연구”.
- 한국개발연구원 (2008), “예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)”.
- 한국해양수산개발원 (2012), “해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발 기획연구”.
- Arrow K, Rolow R, Portney PR, Leamer EE, Radner R, Schuman H (1993), “Report of the NOAA panel on contingent valuation”, *Federal Register*, 58: 4601-4614.
- Bjornstad DJ, Kahn JR (1996), *The Contingent Valuation of Environmental Resources : Methodological Issues and Research Needs*, Cheltenham: Edward Elgar.
- Brent RJ (1995), *Applied Cost-Benefit Analysis*, Cheltenham: Edward Elgar.
- Carson RT, Groves T (2007), “Incentive and informational properties of preference questions”, *Environmental and Resource Economics*, 37: 181-210.
- Cooper JC (1994), “A comparison of approaches to calculating confidence intervals for benefit measure from dichotomous choice contingent valuation survey”, *Land Economics*, 70: 111-122.
- Cooper JC, Hanemann WM, Signorello G (2002), “One and one-half bound dichotomous choice contingent valuation”, *Review of Economics and Statistics*, 84: 742-750.
- Fisher A (1996), The conceptual underpinnings of the contingent valuation method, in Bjornstad DJ, Kahn JR (Ed.), *The Contingent Valuation of Environmental Resources*. pp. 19-37. Cheltenham: Edward Elgar.
- Hanemann WM (1984), “Welfare evaluations in contingent valuation experiments with discrete responses”, *American Journal of Agricultural Economics*, 66: 332-341.
- Krinsky I, Robb AL (1986), “On approximating the statistical properties of elasticities”, *Review of Economics and Statistics*, 68: 715-719.
- Kriström B (1997), “Spike models in contingent valuation”, *American Journal of Agricultural Economics*, 79: 1013-1023.
- Mitchell RC, Carson RT (1989), *Using Surveys to Value Public Goods : The Contingent Valuation Method*, Washington, D.C. : Resources for the Future.
- Park TJ, Loomis B, Creel M (1991), “Confidence intervals for evaluating benefits estimates from dichotomous choice contingent valuation studies”, *Land Economics*, 67: 64-73.
- Yoo SH, Kwak SJ, Kim TY (2001), “Modeling willingness to pay responses from dichotomous choice contingent valuation surveys with zero observations”, *Applied Economics*, 33: 523-529.
- Yoo, SH, Kwak SJ (2022), “Using a spike model to deal with zero response data from double bounded dichotomous choice contingent valuation surveys”, *Applied Economics Letters*, 9: 929-932.