

Estimating Potential Value of Proton Accelerator in Korea Using Contingent Valuation Method¹⁾

Kiho Jeong²⁾ · Jun Yeon Kim³⁾

Abstract

In Korea, a proton linear accelerator complex is being built as a part of the 21st Century Frontier Projects. 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. This study shows the method can be applied to the benefit assessment of the proton accelerator complex. Using the discrete choice CVM method, this study estimates the willingness-to-pay (WTP) of a would-be user for the proton accelerator complex as 20,133 won per month.

Keywords : Discrete choice CVM, Evaluation, Proton accelerator

1. 서론

양성자가속기는 원자를 구성하는 핵자 중에서 양성자만을 분리하여 가속시킬 수 있는 기계장치로서, 21세기 미래 산업인 정보기술(IT), 생명공학(BT), 나노기술(NT), 환경기술(ET), 우주기술(ST), 의료분야 등 미래원천기술개발을 통한 산업적 활용에서부터 기초과학 발전을 위한 학술분야에 이르기까지 다양하게 활용될 수 있는 시설이다. 현재 우리나라는 과기부 주관 21세기 프론티어사업의 일환으로 양성자기반공학기술개발사업을 선정하여 2003년부터 2012년까지 100 MeV 20mA급 규모의 선형 양성자가속기 제작 및 관련 부대시설 건설을 추진하고 있다. 최근 들어 본 사업과 같은 대형 국책사업의 경우 많은 예산과 인력이 투입되는 만큼 사업의 경제성 평가가 법으로 요구되고 있다. 경제성 평가에서 편익 측정은 가장 중요하면서도 가장 어려운 부분인데 특히 양성자가속기 사업과 같이 개발이 진행 중인 첨단 과학기술사업일 경우 그

1) 본 연구는, 과학기술부의 원자력연구개발사업에 의해 지원된 『양성자기반공학기술개발사업 경제성평가』 보고서의 일부를 편집하였음. 설문조사를 수행한 양성자기반공학기술개발사업단의 조진삼 연구원, 김지영 연구원께 심심한 사의를 표함.

2) 제 1 저자 : 대구광역시 북구 산격동 1370번지 경북대학교 경제통상학부 교수
Email: khjeong@knu.ac.kr.

3) 한국원자력연구소 양성자기반공학기술개발사업단 책임연구원, Email: jykim2@kaeri.re.kr

난이도는 더욱 높아진다.

가상가치평가법(Contingent Valuation Method, CVM)은 시장이 존재하지 않거나 존재하더라도 불완전한 재화로서 정의되는 비시장재의 가치평가를 위한 방법으로 국내외 학계에서 광범위하게 채택되고 있는 방법이다. 동 방법은, 원래 환경재의 가치측정 기법으로 개발되어 환경경제학 분야에서는 가장 활발하게 사용되는 가치평가기법으로 정착되었으나, 최근에는 환경재 이외 분야로 그 적용범위가 빠르게 확산되고 있다. 가상가치평가법의 전반적인 내용을 소개하는 문헌으로는 Mitchell and Carson(1989), Hanley(1989), Bateman and Turner(1992), Freeman(1995) 등이 있으며 실제 사용과 관련된 다양한 이슈를 다룬 문헌으로는 Mitchell and Carson(1993), Werner and Groves(1993), Levy 외(1995) 등이 있고 문제점이 논의된 문헌으로 Hausman(1993)이 있다.

양성자가속기시설은 2012년 완공을 목표로 아직 건설 중이며 완공된 이후에는 국가 과학기술 및 산업용 기반 시설로서 이용요금이 실질적인 경제적 가치를 반영하는 수준보다 낮은 수준에서 설정될 것이므로, 시장이 존재하지 않거나 존재하더라도 불완전한 비시장재의 대표적인 사례로서 볼 수 있다. 가상가치평가법은, 비시장재의 수량이나 질의 가상적 변화를 소비자들에게 제시하고 각각의 변화에 대해 소비자들이 기꺼이 지불할 의사가 있는 금액 (Willingness-to-Pay, WTP)을 설문조사자료를 이용하여 직접 추정한다. 동 기법은 설문형태에 따라 다양한 유형으로 구분되는데, 그 중에서도 양분선택형은 미국 상무성 산하 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)의 전문가 그룹이 추천하는 방법으로서(Portney, 1994), 위에서 언급된 가상적인 비시장재의 수량이나 질적 변화의 대가로서 특정금액을 지불할 의사가 있는 지 여부를 물어보는 방식을 취한다. 본 연구의 목적은 양분선택형 가상가치평가법을 이용하여 현재 개발 중인 양성자가속기시설에 대한 잠재적 사용자들의 지불의사액(WTP)을 추정하는 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 양분선택형 조건부 가치평가법의 모형 구조를 소개한다. 3장에서는 추정결과를 제시하며 마지막으로 4장에서는 결론을 제시한다.

2. 양분선택형 조건부 가치평가법의 모형

양성자가속기 시설의 경제적 편익은 다양한 측면에서 측정될 수 있다. 본 연구에서 고려하는 것은, 양성자가속기 시설이 제공됨으로써 국내 이용자들이 얻게 되는 편익 증대이며, 이러한 편익 변화는 Hicks(Hicks, 1943)의 동등잉여(equivalent surplus, ES)와 보상잉여(compensating surplus, CS) 개념과 일치한다. 가상가치평가법은 설문조사에서 최대 지불의사액(willingness to pay, WTP)을 조사함으로써 이러한 편익척도를 측정한다.

본 연구에서 수행한 설문조사에서는, 양성자가속기 시설의 중요성을 응답자들에게 설명하고 이러한 시설을 건설하고 관리하는데 필요한 비용을 확보하기 위해 매월 일정금액의 세금 T원을 지불할 의사가 있는지를 응답자의 인구경제학적 특성과 함께 물어본다. 각 응답자는 소득(y), 개발되는 양성자가속기 시설의 규모(q) 그리고 사회경제적 특성(c) 등에 의해 결정되는 편익을 알고 있다고 가정한다. 응답자의 특성중

일부만이 연구자에게 관측되는 점을 고려하면, 각 응답자가 부여하는 가치를 측정하는 지불의사액(WTP)은 다음과 같이 설정될 수 있다:

$$WTP = h(y, c | q) + \eta \quad (1)$$

식 (1)에서 지불의사액은 연구자에게 관측되는 변수들에 의해 결정되는 부분 h 와 미관측 변수들에 의해 결정되는 부분 η 으로 구성된다. 각 응답자는 자신의 지불의사액이 제시된 금액 T 보다 클 경우에 지불의사를 표명할 것이므로, 한 응답자가 지불할 의사가 있다고 표명할 확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다:

$$\begin{aligned} Pr\{\text{지불의사}\} &= Pr\{WTP > T\} \\ &= Pr\{h(y, c | q) + \eta > T\} \\ &\equiv H(\{h(y, c | q) - T\} / \sigma_\eta) \end{aligned} \quad (2)$$

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

만약 η 에 대한 로짓모형을 가정하면 식(2)에서의 지불의사를 표명할 확률은

$$Pr\{\text{지불의사}\} = (1 + \exp\{-\{h(y, c | q) - T\} / \sigma_\eta\})^{-1} \quad (3)$$

가 된다. 지불의사액 함수의 유형으로서 아래와 같이 선형함수를 고려하면

$$h(y, c | q) = \beta_0 + \beta_1 y + \beta_2 c, \quad (4)$$

지불의사를 가질 확률은

$$\begin{aligned} Pr\{\text{지불의사}\} &= \left(1 + \exp\left\{-\left\{\frac{\beta_0}{\sigma_\eta} + \frac{\beta_1}{\sigma_\eta} y + \frac{\beta_2}{\sigma_\eta} c - \frac{1}{\sigma_\eta} T\right\}\right\}\right)^{-1} \\ &\equiv (1 + \exp\{-\{b_0 + b_1 y + b_2 c + b_3 T\}\})^{-1} \end{aligned} \quad (5)$$

가 된다. 여기서 원래 추정하려는 계수들 ($\beta_0, \beta_1, \beta_2$)의 절대수준이 인식(identified)된다는 것을 알 수 있다. 즉,

$$\begin{cases} \sigma_\eta = -1 / b_3 \\ \beta_0 = \sigma_\eta \cdot b_0 = -b_0 / b_3 \\ \beta_1 = \sigma_\eta \cdot b_1 = -b_1 / b_3 \\ \beta_2 = \sigma_\eta \cdot b_2 = -b_2 / b_3 \end{cases} \quad (6)$$

계수값들의 최우추정량(MLE)은 다음과 같은 목적함수를 극대화시키는 값들로서 정의된다.

$$(\hat{b}_0, \hat{b}_1, \hat{b}_2, \hat{b}_3) = \arg \max \sum \{s_i \log Pr\{\text{지불의사}_i\} + (1 - s_i) \log \{1 - Pr\{\text{지불의사}_i\}\}\}. \quad (7)$$

위 식의 우변에서 s_i 는 i 번째 응답자가 지불의사를 나타낸 경우 1의 값을, 그렇지 않은 경우 0의 값을 갖는 변수이다.

3. 추정

본 연구에서, 설문조사 대상자의 모집단은 대학교와 연구소 그리고 산업체 분야에서 양성자가속기를 활용한 경험이 있거나 향후 활용할 가능성이 있는 집단으로 규정하였다. 표본의 크기는 대학교, 연구소, 산업계의 각 분야별로 70명씩 총 210명으로 설정하였다. 설문대상자들의 선정과정을 보면, 한국원자력연구소의 양성자기반공학기술개발사업단에서 2001년에 실시한 빔 이용자 수요조사에 참여한 산업체, 대학교, 연구소 소속 연구원들을 설문대상자로 우선 선정하고, 설문응답이 없거나 설문대상자가 부족할 경우에는 동일 분야에 소속된 다른 기관을 무작위로 선정하여 설문조사하여, 최종적으로 선정된 설문대상자들의 소속기관은 <표 1>과 같다. 설문조사는 2005년 3월 2일부터 4월 22일 기간 동안 직접 설문대상자를 방문하여 실시하였다.

<표 1> 설문대상자 소속 기관

| 기관명 | 기관명 |
|---------|------------|
| 경북대 | 전북대 |
| 고려대 | (주) KMAC |
| 국립암센터 | (주)하성 |
| 국방과학연구소 | (주)GAIA |
| 뉴서울 종묘 | 중앙대 |
| 단국대 | 포항공대 |
| 도루코 | 한국화학연구원 |
| 동신대 | 항공우주연구소 |
| 래디오닉스 | 호진산업기연 |
| 부산대 | EB Tech |
| 비츠로테크 | Eti |
| 삼성전자 | ETRI |
| 삼성 중기원 | KAERI |
| 생명공학연구소 | KAIS |
| 서울대 | KAIST |
| 서울산업대 | KBSI |
| 순천대 | KERI |
| 에드플라텍 | KIGAM |
| 엑셀코리아 | KINS |
| 연세대 | KIST |
| 옵토프로 | KOPEC |
| 울산대 | LG 생산기술연구소 |
| 원자력의학원 | LG전자 |
| 위덕대 | LG전자연구소 |
| 이화여대 | POSCON |
| 인하대 | Satrec I |

추정모형에 사용된 설명변수는 제시금액(T), 가속기이용 경험 및 계획 유무 더미변수, 가속기의 중요성 5점 척도 의견, 연령, 산업체 재직 더미변수, 월 소득이다. 세금의 형태로 각 응답자에게 제시되는 금액 T는 1,000원~21,000원 범위에서 응답자별로 다르게 제시된다. 로짓모형을 사용하면서도 계수들의 절대수준이 인식(identified)되는 이유는, 이렇게 응답자에게 제시되는 금액이 동일하지 않고 변동하기 때문이며 이러한 점은 식(5)에서 T의 계수인 오차항 표준편차의 역수가 인식될 수 있도록 해준다. 재직 분야별 더미 변수는 대학교와 연구소 모두를 고려하였지만 통계적 유의성이 없어서 최종 추정모형에서는 제외하였다. 아래 <표 2>를 보면, 연령과 월 소득의 통계적 유의성이 다소 적고 나머지 변수들은 모두 통계적 유의성이 있음을 알 수 있다. 추정된 계수들의 부호도 모두 기대된 바와 같다.

<표 2> 지불의사액 로짓모형의 추정결과

| 변수명 | 계수값 | T-통계량 |
|---------------------|---------|---------|
| 제시금액 | -0.1130 | -3.0264 |
| 상수항 | -5.3285 | -3.6167 |
| 가속기이용 경험 및 계획 유무 더미 | 1.3963 | 3.3043 |
| 가속기 중요성 의견 | 0.9870 | 3.5654 |
| 연령 | 0.0495 | 1.8744 |
| 산업체 재직 더미 | -1.6551 | -3.7158 |
| 월 소득 | 0.2287 | 1.8861 |

위의 로짓모형의 계수로부터 원래 지불의사액 함수의 계수를 도출하려면 식 (6)의 관계에 의해 다음과 같은 변환과정이 필요하다.

$$\begin{cases} \sigma_y = -1 / \text{제시금액변수계수} \\ \beta = \sigma_y \cdot \text{각변수계수} = -\text{각변수계수} / \text{제시금액변수계수} \end{cases}$$

이러한 변환과정을 거친 지불의사액 함수의 계수들에 대한 계산결과는 아래 <표 3>에 주어져 있다.

<표 3> 지불의사액 함수의 추정결과

| 변수명 | 계수값 | T-통계량 |
|---------------------|----------|---------|
| 상수항 | -47.1613 | -2.2136 |
| 가속기이용 경험 및 계획 유무 더미 | 12.3581 | 2.4199 |
| 가속기 중요성 의견 | 8.7355 | 2.4092 |
| 연령 | 0.4371 | 1.7536 |
| 산업체 재직 더미 | -14.6487 | -3.0686 |
| 월 소득 | 2.0245 | 1.6423 |

※ T-통계량은 Delta method에 의해 계산되었음.

추정된 지불의사액 함수에 설문조사에서 얻어진 각 설명변수들의 평균값을 대입한 결과, 양성자가속기에 대한 응답자당 월 지불의사액은 2만 133원으로 계산되었으며, 이를 년 단위로 환산하면 24만 1,597원이 된다.

4. 결론

본 연구는 차세대 과학기술기반 산업과 기초과학발전에 중요한 몫을 담당할 것으로 기대되는 양성자가속기 시설에 대한 잠재적 이용자의 지불의사액(WTP)을 평가하였다. 분석기법은, 양성자가속기시설이 아직 개발이 완료되지 않은 비시장재적 특성을 감안하여 비시장재의 주된 가치평가기법으로 사용되는 양분선택형 가상가치법을 채택하였다. 분석결과에서 양성자가속기시설에 대한 응답자 일인당 월 지불의사액은 2만 133원으로 계산되었으며, 년 단위로는 24만 1,597원으로 계산되었다.

참고문헌

1. Bateman, I. and Turner, R.K. (1992). Evaluation of the environment: the contingent valuation method, in R.K.Turner (Ed), *Sustainable Environmental Economics and Management*, Belhaven Press.
2. Freeman III, A.M. (1995). *The measurement of environmental and resource values: theory and methods*, Resources for the Future.
3. Hanley, N. (1989). Valuing public goods using contingent valuation: a survey and a synthesis, *Journal of Economic Surveys*, 234-252.
4. Hausman, J.A. (1993). *Contingent valuation: a critical assessment*, North- Holland.
5. Hicks, J.R. (1943). The four consumer surpluses, *Review of Economic Studies*, 11, 31-41.
6. Levy, D.S., J.K.Hammitt, N.Duan et al. (1995). *Conceptual and statistical issues in contingent valuation: estimating the value of altered visibility in the grand canyon*, Rand.
7. Mitchell, R. and Carson, R. (1989). *Using surveys to value public goods: the contingent valuation method*, Resources for the Future.
8. _____ (1993). Current issues in the design, administration, and analysis of contingent valuation surveys," University of California- San Diego.
9. Portney, P.R. (1994). The contingent valuation debate: why economists should care, *Journal of Economic Perspectives*, 8, 3-17.
10. Werner, M. and Groves, T. (1993). A practical procedure for public policy decisions on contingent valuation and demand revelation - without apology, University of California-San Diego.

[2006년 3월 접수, 2006년 4월 채택]

<첨부자료> 설문지

양성자가속기시설의 경제적 가치 평가

ID ()

안녕하십니까?

본 설문조사는 과기부 주관 21세기 프론티어 사업의 하나인 양성자기반공학기술개발사업에 의해 추진 중인 100 MeV 20mA 급의 선형 양성자가속기 건설 및 이용에 대한 경제적 가치를 평가하기 위한 것입니다. 설문조사에 대한 여러분의 응답결과는 통계분석 과정에서 무기명으로 처리됩니다. 연구와 업무로 바쁘신 중에도 설문조사에 참여해 주신 것에 깊이 감사드립니다.

2005. 3

한국원자력연구소 양성자기반공학기술개발사업단 단장 최병호

다음의 질문을 귀하에게 드립니다. 잘 읽어보시고 답하여 주십시오.

1. 귀하께서는 양성자가속기를 이용하셨거나 앞으로 이용하실 계획이 있으십니까?
()

① 있다. (실제 혹은 예상 연간사용시간:) ② 없다

응답자의 일반적인 사항에 대하여 질문 드립니다.

2. 귀하의 연령은? (만 세)

3. 귀하의 교육수준은? () ① 학사 ② 석사 ③ 박사

4. 귀하의 재직 분야는? () ① 학교 ② 연구소 ③ 기업체(산하 연구소 포함)

5. 귀 가정의 월평균 소득(모든 가정구성원 소득의 합계)은? ()

① 100만원 미만 ② 100만원~200만원 미만 ③ 200만원~300만원 미만

④ 300만원~400만원 미만 ⑤ 400만원~500만원 미만 ⑥ 500만원~600만원 미만

⑦ 600만원~700만원 미만 ⑧ 700만원 이상

다음은 양성자가속기시설의 총 가치를 평가하기 위한 질문입니다.

양성자가속기는 21세기 기초과학연구와 지식기반 산업에 없어서는 안 될 최첨단 필수시설이기 때문에 세계 각국은 양성자 가속기 기술선점에 경쟁적으로 나서고 있습니다. 우리나라도 현재 2012년 완공을 목표로 1억 전자볼트(100 MeV, 20mA)급 양성자 가속기를 건설할 계획이며, 완공 후에도 지속적인 확장을 고려하고 있습니다. 그러나 양성자가속기를 건설하고 운영하려면 상당한 비용이 필요로 합니다.

이제 다음 문항에서 질문하고자 하는 것은, 우리나라가 계획하고 있는 양성자가속

Kiho Jeong · Jun Yeon Kim

기시설을 건설하고 관리하는데 필요한 비용을 확보하기 위해 귀하의 가정에서는 얼마만큼의 비용을 세금과 같은 방법으로 부담하실 의사가 있는지를 알기 위함입니다. 귀 닻의 소득과 지출을 고려하신 후 질문에 대답해 주시는 것이 중요합니다.

6. 양성자가속기시설의 건설 및 운영 경비를 확보하기 위해 귀 닻에서는 매월 _____ 원을 세금을 통해 추가적으로 지불하실 의사가 있으십니까? ()

- ① 예 ② 아니요