

양수발전의 비시장 가치 추정*

원두환

부산대학교 경제학부 교수

Estimation of the Economic Value of Pumped Storage Power Generation in Korea

DooHwan Won^a

^aDepartment of Economics, Pusan National University, South Korea

Received 28 February 2022, Revised 18 March 2022, Accepted 25 March 2022

Abstract

Purpose - This study estimated the non-market value of pumped storage power generation using the contingent valuation method(CVM).

Design/methodology/approach - CVM, a non-market value estimation method, was used. The perception of pumped storage power generation and the willingness to pay(WTP) for pumped storage power generation were investigated among 612 randomly selected households.

Findings - It was analyzed that the average value per household was 7309.99 won/month, and the sources of these benefits were 1819.37 won due to the improvement of power generation efficiency, 1320.48 won due to the improvement of power system reliability, 2359.24 won due to the stabilization of electricity rates, 2110.89 won due to water resource management It was assumed that a circle occurred. If the average monthly benefit per household is expanded to cover countries across the country, it is estimated that the annual value to our society from pumped storage power generation will be KRW 1.796.6 trillion.

Research implications or Originality - It is necessary to consider the operation of pumped-water power generation by reflecting the value of pumped-up power generation that is not evaluated in the market. Since Korea's electricity market is isolated in a state where it is impossible to connect with other countries, it may be vulnerable to a stable electricity operation system. Therefore, there is a need for a facility that can stably secure reserve power and produce power quickly when necessary. If pumped-water power generation is actively used for power operation, a more stable power system can be secured.

Keywords: Pumped Storage Power Generation, Non-market Value, Contingent Valuation Method.

JEL Classifications: Q3, D6

I. 서론

전력의 생산과 소비는 점차 중요해지고 있다. 전기에너지는 다양한 용도로 활용가능하며 사용이 편하기 때문에 전력에 대한 의존도는 지속적으로 증가하는 추세이다. 그러나 전기는 다른 화석연료와 달리 저장

* 이 논문은 2020년도 부산대학교 인문사회연구기금의 지원을 받아 연구되었음.

^a First Author, E-mail: doohwan@pusan.ac.kr

© 2022 The Institute of Management and Economy Research, All rights reserved.

쉽지 않고, 생산과 동시에 소비가 되어야하기 때문에 수요와 공급을 안정적으로 유지하는 것은 전력공급에 있어서 매우 중요하다. 초과수요 또는 공급부족으로 인해 정전문제가 발생하게 되며, 초과공급 또는 수요부족은 전력 생산의 효율성을 저하시켜 에너지 낭비를 발생시킨다. 따라서 안정적인 전력공급을 유지하며 효율적으로 에너지를 사용하는 것은 국가적인 차원에서도 중요한 문제이다.

우리나라의 전력 계통은 이웃 국가와 연계되어 있지 않은 단독계통이기 때문에 전력 수급에 차질이 발생할 경우 자체적으로 문제를 해결해야 한다. 발전설비의 고장이나 전력수요 급증에 대한 해결책이 다른 나라에 비해서 경직적이다. 2011년 전력 공급부족사태로 발생한 순환정전은 국내 전력수급의 어려움을 잘 보여주고 있다(Kim, Kim, Moon, 2011). 겨울철 전력수요 급증에 대비하여 발전기들이 정비중이었는데, 갑작스러운 더위로 인하여 전력수요가 늘었고 전력 공급이 이를 따라가지 못하여 지역별로 정전을 실시하게 되었다. 국내 전력계통이 다른 나라의 전력계통과 연계되어 있거나 전력을 저장할 수 있는 시설이 충분히 갖춰져 있었다면 이러한 문제를 피할 수 있었을 것이다. 순환정전 이후 대규모 정전발생 가능성에 대한 우려와 이에 대한 대응책 마련의 필요성이 점차 커지고 있다. 또한, 발전소들의 노후화, 탈원전의 가속화, 미세먼지 대응, 넷제로(Net-Zero) 등의 대책으로 인한 화력발전소를 비롯한 대규모 기저발전의 운영에 대한 제약으로 인하여 안정적인 전력계통은 더욱 힘들어지고 있어, 전력 계통의 안정적인 운영을 제고할 방법을 마련할 필요가 있는 시점이다(Min, 2021).

양수발전(Pumped-storage power)은 대규모로 전기에너지를 위치에너지로 변화시켜 저장하였다가 전력 부족시 전력공급을 할 수 있는 시스템이다(Guittet et al., 2016). 높이가 다른 두 개의 저수지를 이용하여 전력공급이 충분하여 잉여전력이 발생할 때는 하부 저수지의 물을 상부 저수지로 끌어올려서 위치에너지로 저장하고, 전력이 부족할 때에는 상부의 물을 하부의 저수지로 흘러 보내어 수력발전과 같은 방식으로 전기를 생산한다. 양수발전은 세계 전기 저장시설의 99% 이상을 담당하고 있다(Ela, 2013). 양수발전은 발전원가가 비싼 첨두부하 수요 발생시 전력공급에 투입되어 발전원가를 절감하고, 전기수요의 변동에 따른 대응량 발전소의 출력증강으로 인한 기기의 수명단축, 효율저하 등을 보완하여 이들 발전소의 효율적인 이용에 도움을 줄 수 있다. 국내에는 청평, 삼랑진, 무주, 산청, 양양, 청송, 예천 등 7개의 양수발전소가 있으며 발전용량은 4.7GW이다¹⁾. 양수발전은 기존의 전기에너지를 저장하여 필요할 때 사용가능하게 함으로써 전력 공급이외에도 추가적으로 에너지 이용의 효율향상, 전력계통의 안정성 증진이라는 편익을 제공하고 있다. 또한 수자원을 재활용함으로써 수자원의 효율적 활용에도 기여하고 있다(Cha, 2010). 향후 신재생에너지의 보급이 증가하게 되면 전력계통의 안정성에 문제가 발생할 수 있다. 특히, 신재생의 확대에 의한 계통의 불확실성 증가가 나타날 수 있으나 이에 대한 해결방안에 대한 논의는 아직 부족한 상황이다. 현재 우리나라의 전력발전계획은 예측된 수요와 발전사의 발전기별 입찰을 바탕으로 하루 전에 시간대별 발전기운영계획을 수립하고 있고 실시간 운영시 수요예측오차 등을 고려하여 운영을 하고 있다. 그러나 통계가 불가능하고 외부환경에 크게 영향을 받는 신재생의 확대는 발전계획과 실시간의 발전의 큰 차이를 유발하여 계통운영 어려움을 유발할 수 있다. 그런데, 양수발전의 경우 약 2분 30초만에 전기 생산이 가능해 신재생에너지의 불안정한 공급이 발생할 경우 비상전력으로서 역할을 할 수 있어 전력 공급 안정성에 기여할 수 있기 때문에 양수발전의 중요성이 대두되고 있다(Lee, Yang and Cho, 2017).

위해서 이를 보완할 수 있는 에너지 저장시스템(Electrical Energy Storage: EES)이 필수적이며, 양수발전의 EES기능에 대한 수요도 증가할 것으로 예상된다.

양수발전의 다양한 기능에도 불구하고 양수발전에 대한 평가를 제대로 분석한 연구가 미비한 실정이다. 본 연구에서는 양수발전이 기능들이 소비자들에게 어느 정도의 편익을 제공하고 있는지 정량적으로 측정하여, 향후 양수발전에 대한 비용·편익 분석에 보다 정확한 정보를 제공하고자 한다. 양수발전은 단순히 전기공급기능만 있는 것이 아니라, 다른 발전기의 효율향상, 전계통의 안정화에 기여하고 있기 때문에, 단순히 전력생산량과 전기요금을 통해서 가치를 평가하기는 어렵다. 즉, 양수발전은 전기 소비자에게는 전력공급 이상의 편익을 제공하고 있지만, 이러한 편익은 시장에서 거래가 되지 않는 비시장재(Non-market Goods)라고 할 수 있다.

1) 한국수력원자력 양수발전 일반현황 (www.khnp.co.kr)

본 연구에서는 비시장재에 대한 가치를 조건부가치법(Contingent Valuation Method: CVM)을 이용하여 추정할 것이다. 조건부가치법은 관련시장의 부재로 인하여 간접적인 평가방법을 이용할 수 없을 때 사용하는데, 조건부가치법으로 추정되는 비시장재의 가치는 재화의 사용가치뿐만 아니라 비사용 가치까지 포괄하는 방법으로 어떤 상품의 진정한 가치를 추정할 수 있는 장점이 있다(Eom, Kwon, Shin, 2011). 조건부가치법은 시장에서 거래될 수 없는 유·무형의 가치를 측정할 수 있고 사전적으로(ex-ante) 투자사업 또는 공공정책으로 얻을 수 있는 편익을 측정할 수 있기 때문에 그 활용도가 매우 높다(Lopez-Feldman, 2013). 따라서 본 연구는 양수발전이 제공하는 편익의 가치를 측정하는데 있어서 조건부가치법을 이용할 것이다.

본 연구의 구성은 2장에서 비시장재의 개념과 조건부가치법의 연구방법에 대해서 살펴본다. 3장에서는 설문조사 자료의 분석과 양수발전에 대한 가치를 정량적으로 평가한다. 마지막으로 4장에서는 연구결과를 요약하고 결론을 내린다.

II. 연구방법

1. 양수발전의 비시장가치

비시장재(Non-market Goods)란 실제로 소비자가 재화와 서비스를 소비하고 있지만, 시장가격이 책정되어 있지 않거나 가격이 존재하더라도 가치를 적절히 반영하지 못하는 재화를 의미한다(Kwon, 2010). 양수발전의 대표적인 편익은 전력공급이라고 할 수 있다. 전력공급에 대한 편익은 시장에서 전력거래로 평가되기 때문에 전기가격을 이용하여 추정할 수 있다. 양수발전은 전력공급 이외에도 추가적인 편익을 우리사회에 제공한다(ANL 2014). 양수발전은 전기 저장기능으로 인해 타 발전원의 효율적인 운영을 가능하게 한다. 화력발전이나 원자력발전과 같은 대규모 발전은 출력을 낮추거나 높게 되면, 기기의 수명 단축은 물론 효율성도 낮아질 가능성이 높다. 양수발전은 시장에서 잉여 전력을 저장하고 전력부족시 공급하는 역할을 할 수 있기 때문에, 대규모 발전기가 효율적인 출력을 유지할 수 있도록 보완하여 주는 역할을 할 수 있다. 또한 양수발전은 매우 빠른 시간내에 전력을 생산할 수 있다(Hwang, Lee, Park, 2012). 급전지사가 있으면 5분 이내에 전력을 공급할 수 있어, 전력계통의 신뢰도를 높여주게 된다. 급격한 전력수요 변동에 신속히 대응할 수 있어서 정전과 같은 사고를 방지할 수 있고, 출력 변동이 심한 신재생 발전을 안정적으로 사용할 수 있도록 도움을 준다. 따라서 양수발전으로 인하여 발전원가를 저감할 수 있어 전기요금 상승을 지연시키는 효과가 있다. 양수발전은 물을 재활용하여 전기를 생산함으로써 수자원 관리에도 도움이 된다(Yuksel, 2010). 수력발전시스템의 경우, 낮은 곳으로 흘러간 물을 재사용하지 않기 때문에 재활용 측면에서 효율이 떨어진다는 문제점이 있었다. 이를 극복하기 위해 개발된 발전형태가 양수발전으로, 발전소의 아래와 위에 저수지를 만들고 발전과 양수를 반복하는 수력발전 형태이다. 여름처럼 물이 많을 때나 야간에 풍부하게 남는 전력으로 펌프를 가동하여 아래쪽 저수지의 물을 위쪽 저수지로 퍼 올린다. 그리고 물이 부족해지는 시기나 주간처럼 전력이 많이 필요할 때 방수하여 발전한다. 양수발전으로 인해 일반적인 수력발전소의 발전량 보다 많은 전력을 생산할 수 있는 장점이 있다.

양수발전은 항상 발전이 가능하고, 발전량의 조절이 가능하도록 양수펌프를 이용하여 하부 저수지에 보관된 물을 상부에 있는 저수지로 이동시켜 순환시키므로 기저발전소의 역할을 수행하며, 이와 동시에 외부의 수원을 하부 저수지로 유입시켜 풍부한 수자원을 이용한 발전이 가능한 것을 특징으로 하고 있다. 양수발전의 이러한 편익들은 시장에서 거래가 되지 않기 때문에 시장이나 소비자들의 거래행태를 관찰하여 가치를 평가하는 것이 불가능하며 이들의 가치를 추정하기 위해서는 비시장가치 추정법을 이용해야 한다.

2. 비시장가치 추정법

비시장재에 대한 가치를 추정하는 방법은 크게 시장적방법(Related Market Methods), 현시선호접근법(Revealed Preference Method), 진술선호접근법(Stated Preference Method)으로 구분할 수 있다.

각 방법론의 적용은 상품의 종류, 대체 시장 존재 유무, 연구 여건 등에 따라서 달라진다(Kwon, 2010; Tietenberg, Lewis, 2015). 그러나 시장적방법은 경제학적인 이론과도 괴리가 있어 경제적인 가치를 추정하는 것에는 한계가 있고, 현시선택법은 가치추정과 연관된 시장이 매우 잘 정립되어있어야 사용가능하기 때문에 양수발전의 비시장적 가치를 추정하기에는 적합하지 못하다(Kwon, 2010).

진술선택법은 비시장재의 가치를 소비자들에게 직접 질문하여 평가하는 방법으로, 매우 다양한 상황에서 적용가능하다. 대표적인 방법으로 실험선택법과, 조건부가치법이 있는데, 실험선택법(Conjoint Choice Method)은 비시장재화가 거래될 수 있다는 가상적인 상황을 가정하여 비시장재의 가치를 분석하는 방법이다. 조건부가치법(CVM)은 비시장재의 공급 또는 공급 부재시를 가정하여 추가적인 비용이나 가치가 얼마나 되는지를 직접 물어봄으로써 비시장재의 가치를 분석한다. 비시장재에 대한 가상적 시나리오를 응답자에게 제공하고 이에 대한 금전적인 지불의사액(Willingness to Pay: WTP)을 조사함으로써 비시장재의 가치를 추정한다. 진술선택법은 다양한 가정을 통해 비시장재의 가치를 종합적으로 추정할 수 있다는 장점이 있지만 응답자들의 전략적 응답, 실제행동과 가정된 사황의 행위가 차이가 날 수 있기 때문에 비시장재의 가치가 과대평가될 수 있다는 단점이 있다(Tietenberg, Lewis, 2015).

본 연구에서는 양수발전으로 인한 편익의 비시장적인 가치는 평가하기 위해서 조건부가치법을 이용할 것이다. 양수발전의 편익이 전기저장기능, 계통안정성 기여, 발전효율성 향상, 수자원 재활용 등 복합적으로 발생하고 있기 때문에 이러한 편익을 종합적으로 평가하기 위해서는 조건부가치법이 보다 적합하다(Chang, 2012).

3. 조건부가치법(CVM)

조건부가치법(CVM)은 주로 환경재의 가치를 평가하기 위한 기법으로 주로 활용되어졌는데, 비시장재의 가치를 종합적으로 측정할 있다는 점에서 교통, 문화, 정보, 에너지와 관련한 국책사업 또는 공공서비스의 편익 추정에도 공식적으로 사용된다(Carson, Mitchell, 1993; Hanemann, 1984). 비시장재에 대해서 소비자가 시장에 가서 상품을 구매하는 것과 유사한 상황을 가정하여 마치 소비자가 상품을 구매할 것인가의 여부를 결정하도록 한다. 따라서 간접적으로 비시장재의 가치를 추정하는 것이 아니라 비시장재가 시장에서 유통된다면 얼마의 가치를 가지고 있을지 직접 물어보는 방법이다. 소비자는 자신의 예산과 주변상황을 고려하여 비시장재를 구매할지 여부를 결정하는데, 자신이 비시장재를 구입함으로써 얻을 수 있는 최대 편익수준을 지불의사액(WTP)이라고 할 수 있다.

Hanemann(1984)은 비시장재의 가치추정을 위해 확률효용이론(Random Utility Model)을 이용하여 조건부가치법(CVM)의 이론적 근거를 마련하였다. 비시장재 공급편익 측정을 위하여 응답자들에게 최소 수준의 비시장재 공급수준에서 최초의 효용수준을 유지하기 위한 지출액(Y_0)과 변화된 비시장재 공급수준에서 최초의 효용수준을 유지하기 위한 지출액(Y_1)의 차이인 Hicks(Hicks)의 보상잉여(Compensated Surplus: CS)를 직접적으로 도출할 수 있다.

Hicks의 보상잉여는 최초의 환경질 수준에서 최초의 효용수준을 유지하기 위해 필요한 지출에서 환경질이 개선된 수준에서 최초의 효용수준을 유지하기 위해 필요한 지출을 차감한 것으로 정의된다(Kwon, 2010).

$$CS = E(p, q_0 : U_0, Q, T) - E(p, q_1 : U_0, Q, T) \quad (1)$$

여기서, $E(U_0)$: 효용수준 U_0 를 달성하기 위한 지출함수, p : 시장재화들의 가격벡터, q_0 : 최초의 비시장재 공급수준, q_1 : 변화된 비시장재 공급수준, U_0 : 최초의 효용수준, Q : 변화하지 않았다고 가정되는 다른 공공재 벡터, T : 응답자의 선호를 나타내는 벡터다.

식(1)에서 첫 번째 지출함수 값은 Y_0 , 즉 다른 조건들이 일정한 상태에서 최초의 비시장재 공급수준 q_0 에서 U_0 의 효용을 얻기 위한 최소지출 수준인 참가자들의 현재수입이고, 두 번째 지출함수의 값은 Y_1 이며 주어진 다른 조건들이 일정할 때 비시장재 공급수준이 q_1 로 변화했을 때 최초의 효용수준인

U_0 를 유지하도록 할 수 있는 최소의 지출수준이다. 이때 비시장재 공급 변화에 따른 Hicks의 보상이영인 지불의사금액은 $Y_0 - Y_1$ 로 정의된다. 이를 비시장재 공급변화로 인한 편익 측정수단으로 지불의사액(WTP)로 표현하면 식(2)와 같다.

$$WTP(q_1) = f(p, q_1, q_0, Q, Y_0, T) \tag{2}$$

응답자의 지불의사액은 시장재화들의 가격과 최초의 비시장재 공급수준, 변화된 비시장재 공급수준, 응답자들의 선호, 현재의 수입 등에 영향을 받으며 결정된다.

식(2)의 지불의사액 함수를 선형으로 가정하면 어떤 응답자(i)의 지불의사액(WTP_i)은 식(3)과 같다.

$$WTP_i(z_i, u_i) = z_i\beta + u_i \tag{3}$$

여기서 z_i 는 응답자의 특성을 나타내는 설명변수이고, β 는 변수의 계수, u_i 는 확률적인 특성을 가지고 있는 오차이다.

조건부가치법(CVM)을 통해 비시장재의 공급수준 변화와 공급을 위해 금전적인 추가지출(t_i)이 필요하다고 할 때, 금액 응답자가 ‘예’라고 응답할 수 있는 상황은 설문 문항에 제시된 금액(t_i)보다 자신의 지불의사가 더 클 경우일 것이다($WTP_i > t_i$). 따라서 ‘예’라는 응답의 확률을 식(4)와 같이 도출할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Pr(y_i = 1|z_i) &= \Pr(WTP_i > t_i) \\ &= \Pr(z_i\beta + u_i > t_i) \\ &= \Pr(u_i > t_i - z_i\beta) \end{aligned} \tag{4}$$

여기서 y_i 는 지시함수로 응답자가 ‘예’라고 응답할 경우 1, ‘아니오’라고 응답할 경우 0의 값을 가진다. $u_i \sim N(0, \sigma)$ 의 분포를 따른다고 가정한다면 식(4)는 식(5)와 같이 된다.

$$\begin{aligned} \Pr(y_i = 1|z_i) &= \Pr\left(v_i > \frac{t_i - z_i\beta}{\sigma}\right) \\ &= 1 - \Phi\left(\frac{t_i - z_i\beta}{\sigma}\right) \\ &= \Phi\left(z\frac{\beta}{\sigma} - t_i\frac{1}{\sigma}\right) \end{aligned} \tag{5}$$

여기서 $v_i \sim N(0, 1)$ 이고 $\Phi(\cdot)$ 는 누적표준정규분포함수이다. 식(3)은 프로빗(Probit)모형으로 추정할 수 있고, 추정되는 값은 $\hat{a} = \frac{\hat{\beta}}{\hat{\sigma}}$ 와 $\hat{\delta} = -\frac{1}{\hat{\sigma}}$ 이다. 따라서 평균지불의사액은 식(4)와 같이 계산할 수 있다(Lopez-Feldman, 2012).

$$E(WTP) = z\left(-\frac{\hat{a}}{\hat{\delta}}\right) \tag{6}$$

조건부가치법(CVM)은 가상시장을 설정하여 지불의사액을 유도하기 때문에 정확한 가상 시나리오의 설계는 매우 중요하다(Hong, Eom, 2011). 특히나 가정을 하는 과정에서 ‘가설적 편익’이 발생할 수 있으므로 신중하게 시나리오를 작성해야 한다. 신뢰성 있는 시나리오는 ‘이해가능성’, ‘적절성’, ‘의미성’의 기준을 만족시켜 응답자에게 응답동기를 부여하고, 편익 발생 가능성을 최소화하여야 한다. 본 연구에서는 편익의 최소화를 위해 미해양기후연구소(National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA)에서 기준을 준용하여 연구를 수행하였다(Arrow et al, 1993).

III. 양수발전의 편익 추정

1. 설문조사

본 연구의 조건부상품은 양수발전으로 발생하는 편익이며 양수발전의 편익을 4가지로 요약하여 설문에 제시하였다. ㉠ 전기를 저장할 수 있어 발전효율을 향상시킬 수 있는 것, ㉡ 빠른 전기생산으로 전력계통에 신뢰도를 높여주는 것, ㉢ 발전원가를 절감할 수 있는 것, ㉣ 물을 재활용하여 수자원 관리에 도움을 주는 것으로, 이러한 장점을 주지시키기 위해서 설명뿐만 아니라 설명이후 각 장점을 인식하였는지 다시 한 번 문항을 통해 응답자들의 인식을 도왔다.

양수발전의 장점이 평가받을 수 있는 시장이 존재하지 않기 때문에 소비자들에게 가상의 시장을 제시해야 한다. 이를 위해 양수발전이 존재하고 있는 전력시장과 양수발전이 부재하고 있는 전력시장을 비교해서 설명하였다. 양수발전이 존재하는 전력시장, 즉 양수발전의 장점으로 인하여 발생하는 편익을 소비자들이 누리기 위해서 얼마만큼의 지불의사액이 있는지를 조사할 수 있게 된다. 조건부가치법에서 가장 중요하다고 할 수 있는 부분은 응답자들이 재화나 상품에 대해서 가지고 있는 가치를 얼마나 잘 이끌어 내느냐에 있다. 이러한 지불의사액을 유도하는 방법은 지속적으로 개발되어 이중양분형(Double Bounded Dichotomous Choice) 모형이 적용되고 있다(Kim, 2009).

이중양분선택형(Dichotomous Choice) 질문법에서 응답자들은 가상의 시장 상황에서 지불할 의사가 있는지를 단순히 “예” 또는 “아니요”로만 응답하게 된다. 만약 설문에서 임의로 제시된 금액(Bid)이 응답자 본인의 지불의사액보다 같거나 작으면 “예”로 응답하고 반대로 크다면 “아니요”로 대답하게 되는데, 이 방법은 응답자의 선택과정을 간소화시킴으로써 무응답자와 설문참여 거부자를 감소시킬 수 있다는 장점이 있다(Arrow et al., 1993; Hanemann, 1984).

이중양분선택형 질문법을 이용하면 조건부가치법 문항에서 제시되는 금액의 크기가 지불의사액 분포에 유의한 영향을 미칠 수 있기 때문에 적절한 범위의 제시금액을 선택하는 것은 매우 중요하다(Kim, 2009). 전기요금 전문가 그리고 일반인을 대상으로한 사전조사를 통해 월 2,000원부터 10,000원까지 총 5개의 초기 제시금액(First Bid)을 결정하였다. 응답자가 ‘예’라고 한다면 제시된 금액보다 높은 지불의사를 가지고 있기 때문에 첫 번째 금액의 2배를 제시하고, ‘아니오’라고 하면 제시된 금액보다 낮은 지불의사를 가지고 있기 때문에 1/2의 금액을 추가로 제시하여 다시 조사하였다(Table 1).

Table 1. The Bid amounts

first bid (won/month)	second bid	
	‘yes’ (double)	‘no’ (half)
2000won	4000won	1000won
4000won	8000won	2000won
6000won	12000won	3000won
8000won	16000won	4000won
10000won	20000won	5000won

제시금액을 표시하는 방법으로 다양한 지불수단이 사용될 수 있으나, 응답자들이 실생활에서 쉽게 접할 수 있고 비용 측면에서 중립적인 수단인 전기료 인상으로 설정하였다. 전기사용과 전기료 지불은 개인보다는 가정의 구성원이 모두의 문제이기 때문에 설문 타당성 측면에서 기본적인 단위는 개인이 아닌 가구가 되어야한다. 현재 전기를 사용하지 않는 가구는 거의 없기 때문에 전국의 가구를 모집단으로 하여 표본을 추출한다. 표본의 대표성을 높이기 위해서 지역별, 성별, 연령별, 학력별로 비례할당 추출을 하였다.

설문조사는 2018년 11월 14일부터 11월 29일까지 진행되었으며 전문리서치 회사의 설문조사 풀(Pool)을 이용하여 표본을 추출하였다. 설문조사 방식은 웹조사(Web-survey)방식으로 진행되었으며 총 612명의 응답자로부터 완성된 설문지를 회수할 수 있었다. 설문의 신뢰도는 95%신뢰수준에서 표본오차는 $\pm 4.0\%p$ 이다.

설문조사의 응답자의 특징을 살펴보면 응답자 612명의 성비는 남성 305명 여성 307명으로, 설문의 응답자를 가구주나 배우자 그리고 가구 예산을 결정할 수 있는 사람으로 한정하여 응답자 연령은 19세부터 84세까지 분포하고 있고, 평균 연령은 46.44이다.

설명과 보기카드를 통하여 응답자들에게 양수발전의 원리에 대해서 설명을 하였고 양수발전의 장점들을 응답자들에게 인식시키기 위해 설문 문항을 통해 인지 여부를 조사하였다. 양수발전의 장점으로 4가지를 제시하여 각각에 대한 인지여부를 조사하였다. ‘물을 재사용하여 수자원관리에 도움’, ‘전기의 저장효과’, ‘타 발전기의 효율적 사용’, ‘빠른 전기생산으로 전력계통 안정’ 등의 장점들은 인지하지 못하는 응답자들이 20% 이상으로 나타났다(Table 2).

Table 2. Awareness of the Advantages of Pumped-storage Power

Questions	well know I	somewhat know	don't know
a. Did you know that pumped-storage power generation produces electricity by recycling water, unlike hydroelectric power generation?	18.5%	56.1%	25.5%
b. Did you know that pumped-storage power generation has the effect of storing electricity because it uses surplus electricity to draw water to the upper reservoir to create potential energy?	16.0%	53.3%	30.7%
c. Did you know that pumped-storage power generation allows other generators (thermal power, nuclear power, renewable energy) to use it more efficiently, reducing power generation costs and stabilizing electricity rates?	12.4%	49.7%	37.9%
d. Did you know that pumped-storage power generation can produce electricity in a very short time, improving the stability of the power supply system?	11.0%	48.2%	40.9%

Cronbach's alpha=0.821

양수발전의 편익에 대한 가치를 추정하기 위해서 응답자들에게 제시된 금액(Bids)과 이에 대한 응답분포는 Table 3과 같다. 첫 번째 제시금액(First Bid)은 2,000원, 4,000원, 6,000원, 8,000원, 10,000원이 무작위하게 응답들에게 제시되었다. 첫 번째 제시금액이 높아질수록 ‘예’ 응답비율이 적어지는 경향을 보이고 있어서 표본선정과 초기금액 제시에 있어서 문제가 없는 것으로 판단할 수 있다.

Table 3. The Bid Amounts and Responses

first bid	response	respondents	sedond bid	yes/no	respondents
2000won	yes	84 (68.9%)	4000won	yes	34 (40.5%)
				no	50 (59.5%)
	no	38 (31.1%)	1000won	yes	9 (23.7%)
				no	29 (76.3%)

4000won	yes	82 (67.2%)	8000won	yes	24 (29.3%)
	no	40 (32.8%)	2000won	no	58 (70.7%)
6000won	yes	62 (50.4%)	12000won	yes	14 (35.0%)
	no	61 (49.6%)	3000won	no	26 (65.0%)
8000won	yes	72 (59.0%)	16000won	yes	22 (35.5%)
	no	50 (41.0%)	4000won	no	40 (64.5%)
10000won	yes	48 (39.0%)	20000won	yes	16 (26.2%)
	no	75 (61.0%)	5000won	no	45 (73.8%)
				yes	21 (29.2%)
				no	51 (70.8%)
				yes	17 (34.0%)
				no	33 (66.0%)
				yes	16 (33.3%)
				no	32 (66.7%)
				yes	32 (42.7%)
				no	43 (57.3%)

두 개의 제식금액 모두에 대해서 ‘아니오-아니오(No-No)’라고 응답자는 176명인데 후속질문을 통해서 지불의사액이 전혀없는 응답자는 92명이었고, 나머지 응답자 84명은 양수발전에 대한 지불의사액은 있으나 자신에게 제시된 금액이 커서 그러한 응답을 한 것으로 나타났다. 지불의사액이 전혀없는 92명에 대해서 추가 질문한 결과, 양수발전의 운영과 건립에 관한 문제는 한전이나 발전사에서 해결해야한다는 응답이 가장 많았고, 다음으로 현재 전기요금 수준이 충분히 비싸다고 하였다. 후속질문을 통해 양수발전에 대한 편익을 인식함에도 불구하고 의도적으로 지불거부의사를 표시하는 응답자를 구분할 수 있다(Table 4).

경제적으로 지불할 능력이 없거나, 편익을 인식하지 못하기 때문에 지불의사액이 0인 경우와, 편익을 인식함에도 불구하고 의도적인 ‘부임승차’ 동기로 인하여 아니면 지불수단에 대한 반감으로 인하여 지불의사를 나타내지 않는 경우를 구분할 필요가 있다. 후자의 경우를 참 지불의사(True WTP)를 표시하지 않는 지불거부자(Refuse to Pay)로 판단하고, 지불의사액 추정에서 제외하는 것을 권고하고 있다 (Mitchell and Carson, 1988; Eom, Kwon, Shin, 2011).

Table 4. The Reasons for Refuse to Pay

Reasons	Respondents	Refuse to pay
can't afford to pay	12	-
The advantages of constructing and operating a pumped-storage power plant are meaningless to me.	7	-
Not enough information is given to make a judgment	8	Refuse to pay
This is a problem that KEPCO or power generation companies need to solve.	28	Refuse to pay
Current electricity rates are high enough.	23	Refuse to pay
I have no belief that the amount I paid will be used for 'construction and operation of pumped-storage power generation'	14	Refuse to pay
Total	92	

지불거부자를 포함한(612명) 경우와 지불거부자 73명을 제외한(539명) 경우를 구분하여 평균지불의사액을 추정하여 비교한다면 양수발전의 가치를 보다 정확하게 평가하는 것에 도움이 될 수 있다.

2. 지불의사액(WTP) 추정

응답자의 특성이 양수발전에 대한 지불의사액에 영향을 미칠 수 있기 때문에 식(3)의 함수에 응답자의 특성을 추가하였다. 응답자의 특성은 연령, 성별, 양수발전에 대한 사전지식, 소득수준, 가족구성원 수로 구분하여 정량화 하였다. Table 4에서 조사된 양수발전 장점에 관한 인식 문항을 이용하여 지표를 만들었는데, 4개의 문항 각각의 응답에 대해서 ‘잘 알고 있다’라고 응답하면 2점, ‘어느 정도 알고 있다’라고 응답하면 1점, ‘전혀 모른다’고 응답하면 0점을 부여하여, 8점부터 0점까지 인식 변수를 만들었다. 응답자의 특성에 대한 정의와 기초통계량은 Table 5와 같다.

Table 5. Descriptive Statistics

Variable	Description	mean	S.D
age	age (years)	46.44	13.91
female	female 1, otherwise 0	0.50	0.5
know	awareness level of pumped storage power	3.23	2.35
income	household monthly income (million won)	445.67	219.81
family	household size	2.95	1.21

지불의사액 함수를 지불거부자를 포함한 경우와 지불거부자를 제외한 경우로 구분하여 추정하였다. 추정된 지불의사액 함수들의 계수는 Table 6에 제시되어 있다. 두 함수에서 모두 양수발전 장점에 대한 인식과, 가구의 소득만이 지불의사액 결정에 있어서 유의한 영향을 미치고 있고 나머지 변수는 통계적으로 유의하지 않은 결과를 보였다. 양수발전에 대한 가치는 응답자 가구의 소득수준이 증가하면 높아지는 것으로 나타났다. 이는 고소득자일수록 양수발전의 편익을 높게 평가하는 것으로 해석할 수 있다. 양수발전의 장점에 대한 인식도 매우 중요한 요인인데, 양수발전의 장점에 관한 인식수준이 높을수록 양수발전에 대한 편익을 크게 평가한다.

Table 6에서 추정된 계수를 이용하면 평균지불의사액(mean WTP)을 도출할 수 있다. 지불거부자를 포함한 모형에서 응답자의 각 특성의 평균값을 이용하여 양수발전에 대한 평균 지불의사액을 추정하면 6,322원이고 95%신뢰수준은 5,693원에서 6,953원이다. 지불거부자를 제외한 응답자의 각 특성의 평균값을 이용하여 양수발전에 대한 평균 지불의사액을 추정하면 7,609원이고 95%신뢰수준은 7,013원에서 8,206원이다(Table 7).

Table 6. WTP Function Estimations

	all respondents (n=612)				exclude refuse to pay (n=539)			
	Coef.	Std. Err.	z	P>z	Coef.	Std. Err.	z	P>z
age	-7.51	23.21	-0.32	0.75	-1.99	21.60	-0.09	0.93
female	375.08	658.85	0.57	0.57	-380.68	624.53	-0.61	0.54
know	399.77***	143.05	2.79	0.01	288.14**	136.16	2.12	0.03
β income	3.49**	1.56	2.24	0.03	3.96***	1.47	2.69	0.01
family	-135.42	279.26	-0.48	0.63	75.26	267.38	0.28	0.78
_cons	4037.50***	1452.44	2.78	0.01	4976.38***	1365.16	3.65	0.00
σ _cons	7259.20***	324.83	22.35	0.00	6488.99***	284.97	22.77	0.00
psudo-R2	0.2328				0.2417			

추정된 평균 지불의사액은 양수발전으로 인하여 전기 소비자 가구가 매달 누리는 편익 수준이다. 양수발전으로 발생하는 편익의 가치 7,609원/월 중에서 양수발전의 어떠한 특징에 의해서 발생하는지 분해할 필요가 있다. 양수발전에 대한 지불의사가 있다고 밝힌 응답자들을 대상으로 양수발전의 편익을 4개 부문으로 구분하여 제시하고, 이들 각 부문에서 발생하는 총 편익이 100이라고 가정 때 각 부문의 편익에 대해서 얼마의 점수를 부여할지 조사하였다(Table 8).

Table 7. Mean WTP Estimations

	all respondents (n=612)		exclude refuse to pay (n=539)	
	mean.	Std. Err.	mean	Std. Err.
mean WTP	6322.88	321.28	7609.99	304.56

가장 높은 점수를 받은 부문은 ‘전기요금 안정에 기여’에 31.0점이 부여되었고 다음으로 ‘수자원 관리 및 재활용’에 대해서 27.74점이 부여 되었다. ‘발전효율을 높이는 효과’에 대해서는 23.91점, ‘전력계통 신뢰도 향상’에 대해서는 17.35점이 부여되었다. 각 점수를 양수발전 편익의 부문별 가중치로 가정하면, 양수발전의 편익중 2,359원은 전기요금 안정화에서, 2,111원은 수자원 관리 및 재활용에서 발생하는 것으로 판단할 수 있다.

Table 8. The Source of Pumped-storage Power Benefit

source of benefit	mean	standard deviation	estimated value(won)
Effect of increasing power generation efficiency	23.91	13.67	1819.37
Improve power system reliability	17.35	9.79	1320.48
Contribute to stabilization of electricity rates	31.00	15.87	2359.24
Water management and recycling	27.74	16.20	2110.89
Total	100.00	-	7609.99

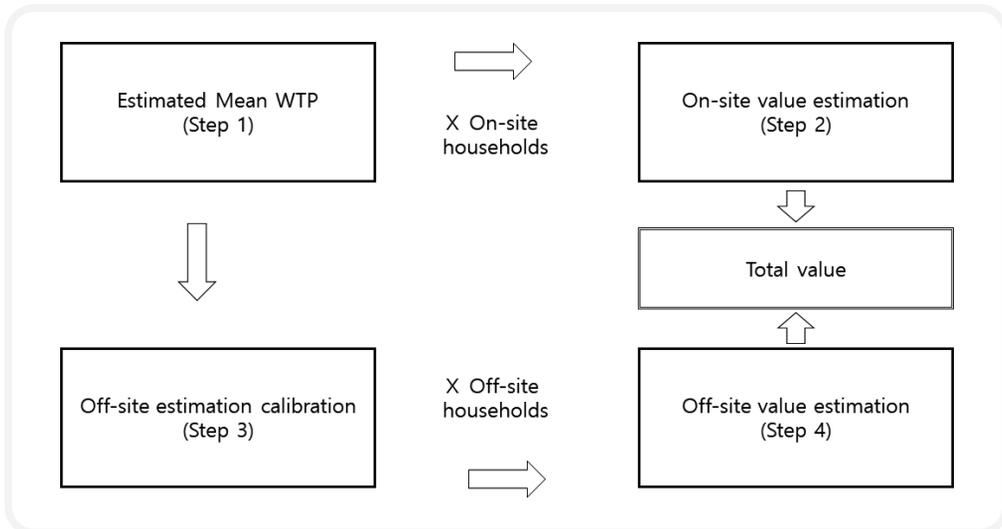
본 연구의 주요 목적 중 하나는 표본정보를 이용하여 모집단 전체의 편익을 추정하는 것이다. 설문조사의 표본은 전국 가구를 모집단으로 추출되었다. 따라서 추정된 평균 지불의사액을 이용하여 우리나라 전체 가구가 양수발전에 대해서 부여하는 가치를 확장할 수 있다. 일반적으로 모집단을 확장하는 방법은 4단계에 걸쳐서 진행된다(Yoo, 2009). 1단계는 표본을 통해 추정된 지불의사액 평균값을 도출하고, 2단계에서는 표본이 대표하는 모집단의 가구수를 곱하여 표본이 대표하는 모집단의 총 지불의사액을 계산한다. 3단계에서는 표본으로 추정된 지불의사액 평균값을 표본이 대표하지 않은 집단과 비교하여 지불의사액을 조정해주고, 4단계에서 조정된 지불의사액을 표본이 대표하지 않는 모집단의 가구수를 곱하여 대표하지 않는 모집단의 총 지불의사액을 도출한다. 표본이 대표하는 모집단의 총지불의사액과 대표하지 않는 모집단의 총지불의사액을 합하여 총 가치를 도출한다.

본 연구에서 수행한 설문조사는 전국 가구를 대표하기 위해 총 612의 표본 가구를 전국에 비례 할당하여 추출하였고, 공신력 있는 설문기관²⁾에 의뢰하여 전국 가구를 대표할 수 있는 표본을 추출하여 설문조사를 실시하였기 때문에 본 연구에서 사용된 표본을 모집단으로 확장하는데 무리가 없다. 2018년도 주택인구총조사에 의하면 국내에는 1967만호 정도의 가구가 있다.³⁾

2) 한국리서치를 통해 설문을 수행하였다.

3) KOSIS 통계, 2018년 추계 가구수 19,673,875호

Fig 1. The Steps in WTP Expansion



Source: Yoo(2009)

Table 9는 표본에 의해서 추정된 양수에 대한 지불의사액을 확장하는 과정 및 결과를 요약하고 있다. 월평균 지불의사액을 전국 가구수와 곱한 다음 12를 곱하면 매년 양수발전으로 인해 발생하는 사회적 가치를 도출할 수 있다. 양수발전으로 인하여 연간 약 1조 7,966억 원의 총 가치가 발생하는 것으로 추정된다⁴⁾. 그 중에서 발전효율을 높이는 효과로 발생하는 가치는 4,295억 원, 전력계통 신뢰도 향상으로 발생하는 가치는 3,117억 원, 전기요금 안정에서 발생하는 가치는 5,570억 원, 수자원관리 및 재활용으로 인한 가치는 4,984억 원 정도로 추정된다.

Table 9. Value of Pumped-storage Power

Value of pumped storage power	estimated value (won)	households	estimated value (100million won)
Effect of increasing power generation efficiency	1819.37		4295.39
Improve power system reliability	1320.48	19,673,875	3117.47
Contribute to stabilization of electricity rates	2359.24		5569.85
Water management and recycling	2110.89		4983.53
total	7609.99		17966.15

4) Lim, Choi, Yoo(2015)에 따르면 석탄가스화 복합발전소 에너지 안보 확보 편익의 추정결과 연간 137억 원으로 추정되었다. 이 값은 안정적인 에너지 공급의 비시장가치로 본 연구에서 추정된 양수발전의 비시장가치 중 일부분에 해당한다.

IV. 결론

본 연구는 조건부가치법을 이용하여 양수발전에 경제적 편익을 추정하였다. 양수발전은 전기 공급이라는 본연의 기능이외에도 타 발전기의 효율향상, 전력계통 신뢰성 강화, 전기요금 안정화 기여, 수자원 관리에 도움을 주고 있다. 이러한 편익들은 시장에서 직접적인 거래가 이루어지지 않기 때문에, 가치를 직접적으로 평가하는 것이 쉽지 않다. 따라서 비시장가치 추정법인 조건부가치법을 이용하여 양수발전으로 인해 부가적으로 발생하는 편익을 정량적으로 추정하였다.

전국 전기사용 사용가구를 대상으로 무작위로 추출된 612명의 응답자들로 구성된 표본을 사용하여 양수발전에 대한 인식을 조사하고, 양수발전의 비시장 가치를 지불의사액(WTP)을 통하여 추정하였다. 양수발전으로 인하여 가구당 평균 7309.99원/월의 편익이 발생하는 것으로 분석되었고, 발전효율 향상으로 인한 가치가 1819.37원, 전력계통 신뢰향상으로 인한 가치가 1320.48원, 전기요금 안정화로 인한 가치가 2359.24원 수자원 관리로 인한 가치가 2110.89원으로 추정되었다.

양수발전에 대한 가구의 평균 지불의사액은 연간 91319원에 해당한다. 이 가치를 전국으로 확장한다면 양수발전의 가치는 연간 1조7966억 원인 것으로 추정된다. 즉, 양수발전으로 인해서 우리사회가 누리고 있는 간접적인 편익 수준으로 해석할 수 있다.

앞서 언급한바와 같이 양수발전을 이용해서 우리나라 전력계통의 안정성을 높일 수 있다. 최근 신재생에너지 발전의 비중이 높아짐에 따라 출력 변동성을 보완해주는 '전력계통 안정화' 역할로 양수발전이 중요해지고 있다. 또한 양수발전은 약 2분 30초만에 전기 생산이 가능해 갑자기 전력이 부족한 위기상황에서 비상전력으로서는 역할을 할 수 있어 전력 공급 안정성에 기여할 수 있다. 시장에서 평가받지 못하는 양수발전의 가치를 반영하여, 양수발전의 운영과 건설을 평가해야 한다. 우리나라 전력시장은 다른 나라와 연계가 불가능한 상태로 고립되어 있기 때문에, 안정적인 전력운영계통에 취약할 수 있다. 따라서 예비전력을 안정적으로 확보하고, 필요시 빠른 전력생산을 할 수 있는 설비가 필요하다. 양수발전은 전력 운영에 적극적인 활용한다면 보다 안정적인 전력시스템을 확보할 수 있을 것이다.

References

- Arrow, K., R. Solow, P. Portney, E. Leamer, R. Radner and H. Schman (1993), "Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation", Federal Register, US. Department of Commerce, National-Oceanic and Atmospheric Administration. 58, 4601-4614.
- ANL (2014), "Pumped Storage Hydropower: Benefits for Grid Reliability and Integration of Variable Renewable Energy", Argonne National Laboratory, Illinois, US. ANL/DIS-10/10.
- Carson, R. T. and R. C. Mitchell (1993), "The Issue of Scope in Contingent Valuation Studies". *American Journal of Agricultural Economics*, 75(5), 1263-1267.
- Carson, R. T. and W. Hanemann (2005), "Contingent Valuation", *Handbook of Environmental Economics*, 2, 821-936.
- Cha, J. H. (2010), "Technological Status and Economic Feasibility of Pumped-water Power Generation", Report of Korea Institute of Science and Technology Information.
- Chang, J. K. (2012), "Study on Improvement of CVM Analysis Guideline for Preliminary Feasibility Study", Korea Development Institute Study.
- Ela, E. (2013), "Pumped Storage: Market Design Impacts and Steady State Reliability Impacts", IEEE PES 2013GM, Vancouver BC.
- Eom, Y. S. and J. H. Hong (2009), "Identification and Correction of Protest Responses in the Willingness-to-pay Estimation for Public Project Feasibility Analysis", *The Reviews of Public Finance*, 2(4), 89-117.

- Eom, Y. S., O. S. Kwon and Y. C. Shin (2011), "Issues in Applying CV Methods to the Preliminary Feasibility Test", *Environmental and Resource Economics Reviews*, 20(3), 595-628.
- Guittet, M., M. Capezzali, L. Gaudard, F. Romerio, F. Vuille, and F. Avellan (2016), "Study of the Drivers and Asset Management of Pumped-storage Power Plants Historical and Geographical Perspective", *Energy*, 111, 560-579.
- Hanemann, W. M., (1984), "Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Responses", *American journal of Agricultural Economics*, 66(3), 332-341.
- Hong, J. H. and Y. S. Eom (2011), "Estimating Demand for Public Goods Using Survey Methods: Issues and Application to the Valuation of Environmental Satellite Project", *Journal of Korean Economic Analysis*, 17(1), 1-72.
- Hwang B., H. Lee and K. Park (2012), "A Case Study of Apply Pumped-storage Hydro Electricity in Resource Scheduling and Commitment", *The Korean Institute of Electrical Engineers*, 5, 115-117.
- Kim, J. Y., W. S. Kim and S. I. Moon (2011), "Lessons Learnt from Recent 9.15 Rolling Blackout Incidents", *The Korean Institute of Electrical Engineers*, 10, 8-10.
- Kim, K. S. (2009), "A Study on the Measurement of the Value of Non-market Goods - Focusing on the Analysis of the Suggested Amount of the Double-boundary Dichotomy Type CVM Survey", Korea Development Institute Policy Study Series.
- Kwon, O. S. (2010), *Environmental Economics*, 2nd Ed. Pakyoungsa.
- Lee, H. C., M. S. Yang and K. W. Cho (2017), "Challenges Arising from the Expansion of New and Renewable Energy and the Response Plan of System Operators", *Bulletin of the Korea Photovoltaic Society*, 3(3).
- Lim,, S. Y., H. Y. Choi and S. H. Yoo (2015), "Measurement of the Benefits from Safeguarding Energy Security through Building the Integrated Gasification Combined Cycle Power Plant", *Journal of Energy Engineering*, 24(3), 40-47.
- Lopez-Feldman, A. (2012), "Introduction to Contingent Valuation Using Stata", *MPRA Paper*, No. 41018, September 19-36.
- Min, S. J. (2021), "Carbon Neutral Strategy Analysis in Global B2B Companies", POSRI Issue Report, 2021-7-14.
- Tietenberg, T. and L. Lewis (2015), *Environmental & Natural Resource Economics*, 10th Ed. Pearson.
- Yuksel, I. (2010), "Hydropower for Sustainable Water and Energy Development", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 462-469.
- Yoo, S. H. (2007), "Measurement of the Environmental Value of the Seomjin-river Estuary", *Korean Environmental Policy*, 6(2), 1-25.