

## 제주도 청정 대용량 지하수개발 연구사업의 경제적 효과분석

안은영\* · 김성용

한국지질자원연구원

### Economic Impact Analysis on High-yield Groundwater Development R&D Project in Jeju

Eun-Young Ahn\* and Seong-Yong Kim

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), 30 Gajeong-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-350, Korea

For economic impact analysis on a R&D project of high-yield groundwater development in Jeju conducted by KIGAM from 2004 to 2007, benefit/cost ratio(BCR), net present value(NPV), and internal rate of return(IRR) were calculated by contingent valuation method(CVM), production function analysis, domestic water market analysis and technology factor analysis. Measurable direct impact parameters among the major outputs of this R&D project consisted the estimation 4 high-yield and high mineral groundwater reserve in Jeju. Annual use of the reserve by piped water and bottled water was estimated as 12.23 million ton and its monetary value was calculated as 293.4 million dollar in 2006 year value applied of 5.5% discount rate. Economic impact of this R&D project in NPV of year 2006, with applying a discount rate of 5.5%, was identified and estimated as 13.66 million dollar in NPV, 4.05 points in BCR, and 22.74% in IRR, respectively. Additional early launch benefit was 5.58 million dollar. Even increased of the 1% discount rate, NPV of this R&D project was also positive as 12.18 million dollar and BCR was 3.71.

**Key words** : economic impact, BCR, NPV, IRR, benefit

본 연구는 지질자원 연구개발 분야에서 경제적 효과 분석 연구가 활발히 수행되지 않은 분야인 지하수자원 분야의 연구개발 사업을 대상으로 경제적 효과를 분석하고자 한다. 제주도 청정 대용량 지하수 개발사업 중 2004년에서 2007년 기간에는 5년간 44.70억원(2006년 가치, 5.5% 할인율 적용)의 연구개발비용을 지출하여 제주도 지하수 부존량 산정, 대용량 지하수 개발 가능 지역 선정 및 개발 타당성 제시 등의 연구가 실시되었다. 본 사업의 편익요소로 대용량(2만톤/일 이상) 지하수 부존지역 5개소 설정으로 3,600만톤/년의 제주도 지하수 개발지역을 확보한 것으로 보았다. 이에 지하수개발사업의 편익에 연구개발 기여도(9.97%)를 적용, 연구개발투자에 대한 경제성 분석을 실시하였다. 기존의 경제이론 및 결과자료(가상가치평가, 생산기여도)와 시장자료(수입단가, 시설용량)를 기초로 한 지하수개발사업의 편익을 도출하고, 사업의 실행화 시점 및 할인율의 변동에 따른 영향을 제시하였다. 분석 결과 상수도 및 병입수 상업화로 연간 총 1,223만톤의 지하수 이용은 2,934억원의 가치로 나타났으며, 연구개발 투자효과는 2006년 순현재가치(NPV)로 30년간 총 136.59억원, 비용대편익비율(B/C ratio)은 4.06이며 내부수익율(IRR)은 22.74%로 나타났다. 사업화 시행 시점을 기준 10년 후에서 5년 후로 앞당기는 경우 추가적인 55.80억원의 편익이 산정되며, 사업의 할인율이 1% 상승하는 경우 역시 166.73억원 편익이 발생하여, 순편익 121.82억원, 비용편익비 3.71로 연구개발사업 타당성을 확보한다.

**주요어** : 경제적 파급효과, 비용편익비, 순현재가치, 내부수익율, 편익

#### 1. 서 론

연구개발의 융합(Fusion)화, 대형화 경향에 따라 연

구개발투자액이 크게 증가하고 투자기간도 장기화됨으로써 연구결과 및 성과의 예측이 중요한 과제로 부각되고 있다. 이에 따라 연구개발 투자부문에서도 적개

\*Corresponding author: eyahn@kigam.re.kr

투자하여 많은 결과를 얻는 비용절감, 효율성 및 생산성 제고의 비중이 더욱 중요시되고 있다. 사기업의 경우 연구개발성과의 측정 및 평가가 특히 중요시되는 주된 이유는 연구개발성과가 기업 전체는 물론 기업의 장래에 미치는 영향이 무엇보다도 크기 때문이다. 그러나 연구개발성과의 측정은 연구개발 활동의 특성을 비롯하여 주체, 대상, 범위, 기간, 방법 등에 의해 복잡하고 어려운 것이 현실이다. 따라서 연구개발 활동에 투입되는 비용과 이로부터 산출되는 성과를 대비하는 비용효과분석 기법을 도입하는 것은 매우 유용하다.

민간이 담당하기 어려운 분야인 기초·원천, 공공복지 및 공유성 기술(Generic Technology) 연구개발을 수행하는 정부출연연구소는 기업의 경쟁력 제고와 직접 관련된 분야인 실용화연구 및 상품개발의 전유성 기술(Proprietary Technology) 분야와는 다소 상이하나, 연구의 효용성 등을 예측하고 연구가 효율적으로 수행되도록 하는 의미에서 연구개발의 경제적 효과 분석은 그 자체로서도 파급효과가 클 것으로 기대된다.

공공복지 및 공유성 기술 분야 중 수자원 분야는 MOCT(2006)의 수자원장기종합계획(2006-2020)에 의하면 우리나라 수자원 부족량이 2011년 약 18억 $m^3$ , 2016년 약 23억으로 예상되고 있어 연구개발의 중요성이 부각되고 있다. MOCT(2006)에서 인용한 영국 생태수리연구소(Centre for Ecology and Hydrology)의 물빈곤지수(Water Poverty Index, WPI)를 비교하면, 우리나라는 전체 147개국에서 43위 수준이나 30개 OECD 국가 중 20위로 낮은 수자원 환경에 있는 것으로 나타났다. 그리고 UN 통계부(United Nations Statistics Division)에 의하면 안전한 식수에 접근가능한 인구 비율이 분석대상 OECD 국가 중에 도시지역의 터키를 제외하고는 최하위임으로 나타났다.

MOCT(2006)에 따르면 현재 전체 물이용량에서 지하수 이용량은 10% 수준이나 수요관리, 댐 연계운영 외에 안정적인 수자원 공급을 위하여, 대용량 지하수 개발을 통해 신규 수원 개발 및 대체 수자원 확보가 가능하다고 하였다. 지속적으로 채수 가능한 최대 수량인 우리나라의 지하수 개발가능량은 116.7억 $m^3$ /년(10년 빈도 가뭄 시 지하수 함양량)이나 2000년 기준 지하수 개발·이용량 31억 $m^3$ /년으로, 지하수 개발가능량 대비 개발이용량은 27% 수준이다. 특히 제주도는 먹물을 비롯하여 농업용수까지 지하수에 전적으로 의존하고 있으며, 제주도의 지하수는 제주국제자유도시특별법에 따른 보존자원으로 1996년 10월과 2006년 12월에 지정고시하였다.

지질자원 분야 연구개발사업 중에서 지하수자원 기술 개발의 경제적 파급효과분석 사례로 Ahn *et al.*(2005)에서 「도시지역(부산, 울산, 광주) 지하수오염저감기술연구사업」을 중심으로 경제성 분석을 한 바 있으나, 그 이후로 연구가 많이 진행되지 않은 상황이다. 「청정 지하수 자원」 과제는 Ahn and Kim(2006)의 한국지질자원연구원의 국정과제 수요대응 탐브랜드과제 도출과 KIGAM(2007)의 중기전략계획(2007-2011)의 탐브랜드과제이자 전략과제로 중점적으로 추진되고 있다. 본 연구에서는 지질자원 연구개발 분야에서 연구가 많이 실시되지 않았던 지하수자원 분야의 연구개발 사업의 경제적 효과를 정량화한 의의가 있다.

## 2. 대상 과제 분석

본 연구의 경제적 효과 분석 대상은 한국지질자원연구원에서 수행된 「제주도 청정 대용량 지하수 개발사업」의 2004년-2007년 기간에 수행된 내용을 대상으로 한다. 매년의 실제 연구사업의 재원과 규모를 보면 2004년 「미래제주도 청정지하수 안정적 공급시스템 구축사업」(1,000백만원)으로 실시되었고, 2005년에서 2007년까지 「제주도 지하수 부존 특성에 대한 지구과학적 해석」(각각 1,000백만원, 1,172백만원, 1,192백만원)으로 실시되었다. 따라서 본 분석 대상 과제는 총 5년간 할인을 미적용 시 단순 합산으로 43.64억원, 2006년 현재가치로 5.5% 할인을 적용 시 합계 44.70억원의 연구개발비용을 지출되었다. 2008년 이후에도 대용량 지하수 개발의 측면에서 연구가 계속되었으며 본 연구는 2007년까지 수행된 내용으로 한정한다.

2007년까지 대상 과제에서는 제주도 지하수에 대한 부존량을 산정하고 대용량 지하수 부존지를 확정하기 위한 시추 탐사 계획을 수립하였고, 이를 통해 지하수 학적인 학문적 연구가 실생활에 바로 적용되는 성과가 나타나도록 하였다. Park(2007-b)에서 그 동안의 연구한 결과를 종합하여 대용량 지하수 부존지를 다음의 사항을 검토하여 선정하였다.

- 1) 시추 자료를 종합하여 저투수성 암석의 분포 양상과 아아 용암 분포 양상 제시
- 2) 강수량이 많은 지역으로 지하수 함양이 잘되는 지역
- 3) 하천수와 용천수의 용출량이 많고 연간 및 다년간 변화가 적어 지하수 부존이 확실한 지역
- 4) 지화학적 검토를 통해 차별성을 갖는 지하수가 부존되어 있는 지역

- 5) 암석의 공극률이 높은 지역
- 6) 환경오염에 대한 안정성을 확인한 지역

그리고 지화학적으로 미네랄 지하수가 부존되어 있는 지역을 확인하여, 대용량-미네랄 지하수를 확보하여 산업화로 진행시킬 목표를 새로이 설정하였다. Park(2007-b)은 저투수성 지하지질의 분포, 용천수와 상시하천의 위치 등을 고려하여 서귀포 지역에 대하여 지하수 유로 5개가 있음을 제시하였고, 이 유로의 상부 지역이 대용량 지하수의 부존 가능성이 큰 것으로 판단하여 서귀포 주변의 5지역을 후보지로 제시하였다(Fig. 1의 검은 동그라미 지역). 해발고도 200~600m의 중산간 지역의 지하수에서 Ca, Mg, Na, K, HCO<sub>3</sub> 값은 제주도 다른 지역의 지하수에 비해 높은 값을 보일 뿐 아니라 국내의 생산 생수에 비해 일부 높은 값을 가짐을 확인하였다. 후보지역의 지하수는 일반적으로 알려진 미네랄워터 수준에 비해 조금도 손색이 없는 양질의 물로 추정되었다.

Jeong(2007)은 지질자원 분야의 연구개발 성과가 경제사회적으로 미치는 파급효과를 비용절감, 수입대체,

매출증대 등으로 가치사슬(value chain)으로 표현하였다. 여기서 청정 지하수 확보 기술의 파급효과로 '지하수 자원 확보'와 '오염방지 및 지하수개발 비용절감' 제시하였다. Jeong(2007)의 연구와 같이 본 제주도 청정 대용량 지하수 개발과제 또한 '지하수 자원 확보'와 '오염방지 및 지하수개발 비용절감'이 가능하다. 본 연구에서는 '지하수 자원 확보'에 주목하여 다음과 같이 지하수 목표 확보량을 산정하고 경제성 분석틀을 확정하였다. 본 연구에서는 상수도 공급수원으로 활용과 병입수 사업화의 직접효과에 대해서 계량화하고, 지하수 개발기술의 파급효과 및 수문지질도, 지하지질도 작성의 파급효과 등의 간접효과에 대해서는 효과의 요소로만 짚어보는데 그친다.

본 연구의 경제적 효과 산정은 2004년-2007년의 「제주도 청정 대용량 지하수 개발」 연구사업의 연구 결과 중에서 지화학, 하천수 용천수 용출량에 의해 2만톤/1일 지하수 생산 가능지역을 확정된 결과를 대상으로 한다. 지속되는 시추 탐사 등의 추가적인 연구개발로 대용량 지하수 생산 가능지역의 세부조사가 시행될 것이나, 본 경제성 분석 연구를 통해 대용량 지하수 개발지역 확정으로 이를 이용하는실행사업의 효용성을 예측하고 연구가 효율적으로 수행되도록 방향 제시가 가능할 것이다. 연구개발로 확보된 청정 지하수를 상수도를 통해 생활용수나 농업용수로 이용하는 경우 상수원 이용자에게 편익을 발생시키고 수도요금으로 제주도 광역수자원관리본부의 수입을 발생시킬 것으로 예상된다. 그리고 병입수 사업화로 인한 수입을 예상할 수 있다.

### 3. 경제적 효과 분석 방법

지하수 확보의 총 편익인  $B$ 은 식 (1)과 같이 상수도 수량확보의 편익  $B_1$ 과 병입수 상업화 수익인  $B_2$ 로 산정할 수 있다. 상수도를 통해 생활용수나 농업용수로 이용하는 경우는 상수도 이용에 대한 톤 단위당 편익  $P_1$ 과 전체 청정 지하수 확보량에 대한 상수원 이용을  $w_1$ 을 통해서 상수원 이용자에게  $B_1$ 의 편익을 발생시킨다. 그리고 이는 아래 식(2)와 같이 상수도 수량 확보의 편익  $B_1$ 은 생활용수 이용자의 지불의사액  $P_1^1$ 과 그 이용을  $w_1^1$  및 농업용수의 생산 기여도 분석을 통한 가치  $P_1^2$ 와 그 이용을  $w_1^2$ 을 통해 산정한다. 이 화폐화된 상수도 수량확보의 편익  $B_1$ 는 수도요금을 통해 제주도 광역수자원관리본부의 수입과 비교한다.

$$B = B_1 + B_2 \tag{1}$$

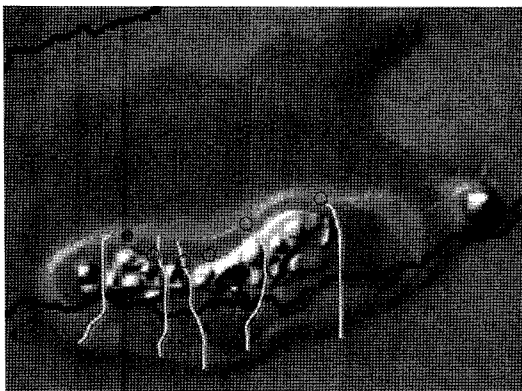
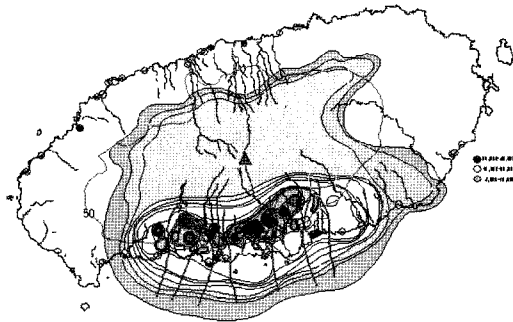


Fig. 1. Estimated 5 high-yield and high mineral groundwater reserves in Jeju, Seogwipo area(Park, 2007-b).

$$\begin{aligned}
 B_1 &= P_1 Q_1 && \text{식 (2)} \\
 &= P_1^1 Q_1^1 + P_1^2 Q_1^2 \\
 &= (P_1^1 w_1^1 + P_1^2 w_1^2) w_1 Q
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{여기서, } Q_1^1 &= w_1^1 w_1 Q \\
 Q_1^2 &= w_1^2 w_1 Q
 \end{aligned}$$

그리고 병입수 사업화로 인해 제주도개발공사 등의 수입  $B_2$ 은 아래 식 (3)과 같이 병입수의 톤 단위 당 수입 과 전체 청정 지하수 확보량 대비 상업화를  $w_2$ 로 산정된다.

$$\begin{aligned}
 B_2 &= P_2 Q_2 && \text{식 (3)} \\
 &= P_2 w_2 Q
 \end{aligned}$$

$$\text{여기서, } Q_2 = w_2 Q$$

변수의 정의에서 상수도로의 이용율과 병입수로의 상업화율의 합계는 100%를 넘을 수 없으므로  $0 \leq w_1 + w_2 \leq 1$ 이며, 모든 변수는 음수가 될 수 없다.

$$P_1^1, P_1^2, Q_1^1, Q_1^2, w_1^1, w_1^2, w_2, P_1, P_2, Q_1, Q_2 \geq 0$$

각각의 변수에 대한 가정과 추정치는 아래 표와 같다(Table 1).

2006년 12월 현재 제주도의 상수도 총 급수량은 196,000 m<sup>3</sup>/일(1인당 350리터)수준으로 이 사업의 결과로 총 10만 m<sup>3</sup>/일 이상이 확보될 경우에, 장기적 관점에서 제주도의 상수도 공급전략을 원천적으로 담보할 수 있을 뿐 아니라 물산업이라는 새로운 지자체 사업의 활성화를 유도할 수 있다. Ministry of Environment(2006)

의 상수도통계에 따르면, 2005년 제주도의 평균 수도 요금은 683.2원이며, 제주도의 수도불 사용량은 유수수량 기준으로 가정용으로 전체 대비 67.15%를 쓰고 있으며 공업용으로는 사용하지 않으며 업무용 15.70%, 영업용 10.47%, 욕탕용 0.83%, 기타(농축산 등) 5.88%를 사용하고 있는 것으로 나타났다. 이처럼 제주도의 상수도 사용은 대부분 가정용 및 업무, 영업과 농축산용으로 쓰고 있으며 공업용으로는 사용하지 않고 있으므로, 본 연구에서는 생활용수와 농업용수만 이용한다고 가정하여 그로 인한 편익을 산정한다.

Hwang *et. al.*(1999)의 지하수 자원의 수량 확보에 대한 지불가치를 가구당 월 3,570원으로 산정한 바 있다. 이는 부산지역을 대상으로 가뭄에 따른 단수를 방지하기 위한 비상급수용 저수지의 지불의사금액을 직접 설문을 통한 가상가치평가법(CVM)으로 산정한 것이다. 최근의 연구로 Park(2007-a)는 생활용수의 수량 확보의 가치에 대해서 수량확보의 지불의사금액을 추정하여, 1인당 약 534원/m<sup>3</sup>(25% 공급저감을 회피하기 위한 단위당 지불금액)의 가치를 산정하였다. 농업용수는 생산함수추정법과 계획모형법을 통해 1당 317원~660원의 가치(평균 455.5월)를 산정하였다. 이 외에도 공업용수는 생산함수를 통해 가치를 추정하였으며, 환경용수는 대체비용법(하수종말처리장의 건립비/운영비)으로, 레크리에이션용수는 이산선택모형(여가선택행위, 휴양지선택행위)과 선택실험법을 중심으로 가치를 추정하였다.

생산함수추정법은 농업투입요소 중의 하나인 농업용

**Table 1.** Assumptions and data of analysis

Assumptions and data	
$P_1$ : unit value of piped water	consisted as willing-to-pay of citizen $P_1^1$ and unit value of piped water for agriculture $P_1^2$ weighted by ratio of general water, 91.95% and agricultural water, 8.05% of Ministry of Environment (2006)
$P_1^1$ : willing-to-pay of citizen	0.534\$/m <sup>3</sup> willing-to-pay, the result of contingent valuation method(CVM), Park(2007-a)
$P_1^2$ : unit value of piped water for agriculture	0.4555\$/m <sup>3</sup> production function analysis on input parameter of Park(2007-a)
$w_1$ : piped water utilization ratio	25.99% groundwater utilization (423,000ton/day) and development (1,627,098ton/day) ratio of Jeju Water Supply&Drainage Management Headquarters (2007)
$P_2$ : unit price of bottled water	100.2\$/ton recent unit price of bottled water of Jeju Water Supply&Drainage Management Headquarters (2007)
$w_2$ : bottled water utilization ratio	8% catch-up the maximum present utilization volume of Gyeonggi, 8,000 ton/day, Jeju Water Supply&Drainage Management Headquarters (2007)

수가 농산물 생산에 대해 기여하는 바를 추정하는 기법이다. 이 방법은 용수사용량과 작물 생산량에 대한 정확한 실측자료가 있을 경우 신뢰할 수 있는 가치추정치를 제시할 수 있는 방법일 것이다. Park(2007-a)는 농업용수 부존량을 증가 또는 감소시킴에 따른 농업이윤의 변화를 구하고 이를 바탕으로 용수 한 단위가 농업이윤에 기여한 금액을 구하여 농업용수 한 단위의 가치를 구하였다.

생활용수의 가치는 농업 및 공업용수의 가치처럼 생산량에 따른 수입 등의 산출가치를 산정하기 어렵기 때문에 투입산출 관계에 따른 한계가치로 분석하기 어렵다. 또한 수도요금이라는 시장가격이 존재하지만, 흔히 다이아몬드와 물의 비유처럼 자원의 희소성이라는 측면에서 일상시의 생활용수의 가치와 가뭄 시 등 희소한 경우의 가치는 추가적인 교환가치의 발생으로 인해 높은 가치를 가진다. 따라서 생활용수 확보에 따른 가치는 가상가치평가법(CVM)으로 직접 설문을 통한 지불의사금액으로 산출하는 것이 적합할 것이다.

Park(2007-a)는 Hwang *et. al.*(1999)와 같이 수량확보에 대한 지불의사를 바탕으로 추정하였으나 기존에 부산지역에 한정된 결과에서 전국지역을 대상으로 설문 범위를 확대하여 본 연구에 적용할 수 있는 적합성을 가진다. Park(2007-a)에서 전국지역을 대상으로 한 25% 제한급수 시 지불의사금액은 1인당 약 534원/m<sup>3</sup>다. 이는 전국 수도요금의 평균 단가인 563.2원/m<sup>3</sup>과 비슷한 수준으로 결국 기존 수도요금만큼의 추가적인

지불의사가 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 생활용수에 대해서 1인당 약 534원/의 가치를 적용한다. 이는 Ministry of Environment(2006)의 상수도통계의 2005년 제주도의 평균 수도요금인 683.2원/에 비해 오히려 더 낮은 가치로, 사업의 경제적 효과를 보수적으로 산정한다.

제주도내에는 제주도개발공사(제주삼다수 제조원)와 한국공항주식회사(제주광천수 제조원)의 2개 업체가 먹는샘물 제조, 판매 영업을 하고 있으며, 먹는샘물 제조·판매용 지하수 개발·이용허가는 특별법에 의해 엄격히 규제되고 있다. 제주도에서는 먹는샘물 개발을 위한 사기업의 진출과 이로 인한 무분별한 개발을 차단하기 위해 1995년 구 제주도개발특별법을 개정하여 사기업의 먹는샘물 제조·판매목적의 지하수 굴착·허가를 원칙적으로 금지시켰다. 제주도특별자치도 수자원 본부의 자료인 Water Supply&Drainage Management Headquarters(2007)에 의하면 2007년 5월 현재 제주도내에는 먹는샘물 제조·판매용으로 허가된 지하수 관정은 총 4개 공이 있으며, 이들 시설을 통해 취수할 수 있는 총량은 4,780톤/일(143,400톤/월)이나 월간 취수허가량은 시설용량의 46%인 66,000톤(2,200톤/일)이다.

1995년 5월 먹는물관리법이 시행될 당시 전국적으로 14개소에 불과하였던 먹는샘물 제조업체수가 2006년 말 현재 70개소에 이른다(Table 2). 지역별로 경기도가 15개 업체로 가장 많고 충북·충남이 각각 11개소이며 강원도·경남은 각각 9개소, 제주도·울산시는 각

**Table 2.** Domestic bottled water industry (Jeju Water Supply&Drainage Management Headquarters, 2007)

	total	Incheon	Ulsan	Gyeonggi	Gangwon	Chungbuk	Chungnam	Jeonbuk	Jeonnam	Gyeongbuk	Gyeongnam	Jeju
number of company	70	1	2	15	9	11	11	5	4	1	9	2
number of well	187	-	-	56	19	25	27	-	-	-	-	2
groundwater pumping volume (ton/day)	24,390	-	-	8,000	2,700	2,800	2,500	-	-	-	-	2,200

**Table 3.** Bottled water sales volume and amount (Jeju Water Supply&Drainage Management Headquarters, 2007)

	sales volume(thousand m <sup>3</sup> )	sales amount(million\$)	unit price(thousand \$/m <sup>3</sup> )
2000년	1,414	151.4	1.071
2001년	1,877	185.8	0.990
2002년	2,031	205.6	1.012
2003년	2,111	210.1	0.995
2004년	2,277	214.9	0.944
2005년	2,357	228.5	0.969
2006년	2,535	254.0	1.002

각 2개소씩이다. 이들 먹는샘물 제조업체에 의해 개발된 지하수 관정은 총 187개소이다. 그리고 외국산 병입수를 수입해 판매하는 업체는 총 53개소이다. 이들 먹는샘물 제조업체에 개발된 지하수 관정은 총 187개소이고 총 취수허가량은 24,390톤/일 규모이며 지역별로는 경기도가 56공 8,000톤/일로 관정수와 취수허가량이 가장 많고 다음으로 충북이 2,800톤/일, 강원도가 19공 2,700톤/일, 충남이 27공 2,500톤/일 규모이다. 제주특별자치도 수자원본부의 물산업육성 기본계획인 Water Supply&Drainage Management Headquarters(2007)의 자료에 따르면, 국내 주요 먹는샘물업체의 2006년 기준 먹는샘물 제품별 연간 판매량과 판매액으로 병입수의 판매단가 10.02만원/m<sup>3</sup>(2006년 현재가치)를 알 수 있다(Table 3).

본 경제적 효과 분석 연구는 공기업과 같은 지하수 개발사업을 수행하는 주체의 실행사업으로 인한 경제적 효과 분석 이전에 연구개발 시행 주체로 해당 연구개발사업의 수행으로 인한 효과를 도출하려는 것이다. 따라서 투입 비용은 앞서 산정한 총 연구개발사업비용이며, 편익은 실행 사업인 지하수 확보로 인해 발생하는 총 편익에서 연구개발의 기여도를 적용하여 연구개발투자에 대한 경제적 효과를 산정한다. Ahn and Lee(2007)에서 인프라 사업으로 지질자원 시료의 물성 측정 사업에 대한 광업 등 탐사개발사업의 기여도를 9.97%로 산정한 바 있어 이를 적용한다. 경제성 분석의 사회적 할인율은 한국개발연구원의 타당성 분석의 할인율인 5.5%(2007년 7월 재설정)를 적용한다. 확보된 청정 지하수의 상수도 이용확보의 편익은 2006년도 기준으로 10년 후 30년간 발생한 가치만 산정하며, 병입수 상업화 또한 2006년도 기준으로 10년 후 10년간 발생하는 편익만 고려한다.

#### 4. 경제적 효과 분석 결과

##### 4.1. 지하수의 추가적 개발이 가능해짐에 따른 상수도 수량확보 편익

대용량(2만m<sup>3</sup>/일 이상) 지하수 부존지역 5개소 설정으로 인해 연간 3,600만톤을 전량 생활용수로 이용하는 경우를 가정하면, Park(2007-a)의 생활용수 수량확보에 대한 지불의사금액(534원/m<sup>3</sup>)을 적용하여 연간 192.24억원의 편익을 예상할 수 있게 된다. 마찬가지로 대용량(2만m<sup>3</sup>/일 이상) 지하수 부존지역 5개소 설정으로 인해 연간 3,600만톤의 전량 농업용수로 이용하는 경우는 Park(2007-b)의 농업용수 의 단위 당

가치(455.5원/m<sup>3</sup>)를 적용으로 연간 163.98억원의 편익을 발생하게 된다.

대용량(2만m<sup>3</sup>/일 이상) 지하수 부존지역 5개소 설정으로 인해 연간 3,600만톤 전량을 생활용수나 농업용수로 이용하는 경우는 2006년 현재 상수도 급수량의 52.63%를 추가로 확보하는 정도로, 막대한 양이라 볼 수 있다. 하지만 실제로 상수도의 시설용량과 급수량은 큰 차이가 있으며 Jeju Water Supply&Drainage Management Headquarters(2007)의 상수도 시설용량 대비 급수량 비율은 42.17%(19,005톤/일, 대비 451,548톤/일)로 나타났다. 이는 지하수 뿐 만 아니라 용천수와 저수지 등의 시설용량 대비 급수량의 평균으로 지하수를 대상으로 개발량과 사용량의 비를 적용하여, 실제로 이용할 것으로 예상되는 지하수 이용량을 산정한다.

Jeju Water Supply&Drainage Management Headquarters(2007)의 지하수 개발량 대비 사용량은 25.99%(423,000톤/일, 대비 1,627,098톤/일)로, 이를 본 사업으로 확보한 지하수 양에 적용하는 경우 935.64만톤/년(2.60만톤/일)으로 앞서 제시한 2006년 급수량 대비 13.68%를 공급하는 규모이다. 실제로 상수도의 이용은 하나의 공급원으로 이용되므로 앞서 산정한 실제 지하수 이용량에서 생활용수와 농업용수의 이용비율을 적용하여 편익을 산정한다. Ministry of Environment(2006)의 상수도통계에서 제주도의 유수수량 중 생활용수(가정용)와 농업용수(기타)의 비중은 각각 67.14%, 5.88%로 상수도를 업무용, 영업용, 육탕용, 공업용을 제외하고 생활용수와 농업용수로만 이용한다고 가정하면 각각 91.95%, 8.05%의 비율로 상수도를 이용하는 것으로 산정된다. 위와 같이 생활용수와 농업용수의 이용비율을 적용하여 보급률을 통한 상수도 급수에 의한 편익은 연간 49.37억원으로 산정된다. 이는 지하수의 추가적 개발이 가능해짐에 따른 상수도 수입(수도요금)과 비교해 볼 수 있다. Ministry of Environment(2006)의 상수도통계에 의한 2005년도 기준 제주도의 평균 수도요금(683.2원/m<sup>3</sup>)을 적용하면, 935.64만톤/년(2.60만톤/일)의 상수도 공급으로 인해서 제주도 광역수자원관리 본부에 연간 63.92억원의 수입을 발생시킬 것으로 예상된다.

앞서 가정한 바와 같이 향후 10년 이후 발생되는 30년간의 상수도 급수 이용 편익은 총 30.58억원(할인율 5.5%, 2006년 현재가치)으로 산정된다. 이러한 실행사업의 편익에서 Ahn and Lee(2007)의 연구개발 기여도 9.97%를 적용하여 연구개발투자에 대한 편익을 산정하면 3.05억원이 된다. 반면 투입연구개발비는

44.70억원(2006년 가치)으로 상수도 공급만 시행하는 경우에는 비용편익비가 1 미만으로 연구개발투자의 경제적 타당성이 떨어짐을 알 수 있다

**4.2. 양질의 지하수 개발에 따른 병입수 판매 수입**

대용량(2만m<sup>3</sup>/일 이상) 지하수 부존지역 5개소 설정으로 인해 연간 3,600만톤의 지하수를 전량 병입수로 판매한다면, Jeju Water Supply&Drainage Management Headquarters(2007)의 2006년 단위 수입(10.02만원/톤)을 적용하여 병입수 사업화로 인해 제주도개발공사 등의 수입이 연간 3.6조원이 된다.

하지만 연간 3,600만톤(10만톤/일)의 지하수 확보는 현재 제주도의 먹는샘물 제조·판매용의 지하수 용량의 69.73%를 추가로 확보하는 규모로 전량 병입수화하는 데는 한계가 있다. Jeju Water Supply&Drainage Management Headquarters(2007)의 2006년도 제주도 먹는샘물 취수량은 2,200톤/일로 현재 최대 취수규모인 경기도의 8,000톤/일 규모로 대체하여 먹는샘물을 제조한다고 가정하면, 본 사업으로 확보된 지하수 용량의 8%를 양질의 병입수로 이용하게 된다. 마찬가지로 방법으로 제주도특별자치도 수자원본부(2007)의 2006년 단위 수입(10.02만원/톤)을 적용하여, 연간 288만톤(0.8만톤/일)의 병입수 사업화로 인해 제주도개발공사 등의 수입은 연간 2,885억원으로 예상할 수 있다.

앞서 가정한 바와 같이 향후 10년 이후 발생하는 10년간의 병입수 사업화 편익을 할인(5.5%)하여 계산하는 경우 1,787억원(2006년 현재가치)으로 산정된다. Ahn and Lee(2007)의 연구개발 기여도(9.97%)를 적용하여 연구개발투자에 대한 편익을 산정하면 178.24억원이 된다. 지질자원(연)의 투입연구개발비는 44.70억원(2006년 가치)으로, 이는 현재의 가정에서 병입수 상업화만 시행하는 경우 연구개발투자의 3.99배의 효과를 기대할 수 있어 경제적 타당성을 담보함을 알 수 있다.

**4.3. 민감도 분석 및 경제적 효과 종합**

위의 지하수 연간 이용가치 분석 결과에서 중요변수인 생활용수 지불의사액 및 농업용수 가치, 병입수 단위수입 및 지하수 개발량 대비 사용량 등을 변화시킴으로써 지하수 이용가치가 어떻게 변하는지 살펴볼 수 있다(Table 4). 생활용수 지불의사액 및 농업용수 가치를 같은 비율로 함께 10% 변화시킬 때 이에 따른 상수도 수량확보의 편익의 변화는 4.94억원으로 나타났으며, 마찬가지로 10%의 병입수 단위수입 변화에 따른 수입 변화액은 288.58억원 정도임을 알 수 있다.

기존에는 상수도 공급 규모와 병입수 상업화 가능성을 고려하여, 지하수 확보량의 27.99%를 상수로도 이용하고 8.00%를 병입수로 상업화하여 사용하여 전체 확보량의 35.99%를 사용하는 것으로 가정하였다. 지하수 개발량 대비 상수도 공급량을 10% 변화시킴(지하수 확보량 대비 2.78%)에 따라 상수도 수량확보의 편익은 4.94억원 변동하는 것으로 나타났다. 그리고 지하수 확보량 대비 병입수 판매량 비율을 1% 변화시킴에 따라 병입수 판매 수입은 360.72억원 정도 변화된다.

위의 지하수 연간 이용가치는 상수도 이용의 경우 2006년도 기준 10년 후 30년간 발생하게 되며, 병입수 상업화 또한 2006년도 기준 10년 후 10년간 발생하게 되는 편익으로 2006년 시점에서 분석하는 경우 할인(discount)을 해야 한다. 앞 절의 경제적 효과 분석 방법에서 제시한 바와 같이 할인을 5.5%를 적용하고 사업의 가치를 산정하고 연구개발 기여도(9.97%)를 적용하여 연구개발투자에 대한 경제성 분석을 실시한 결과, 제주도 청정 대용량 지하수 개발연구개발의 기여도가 181.13억원으로 나타나 아래 표와 같이 연구개발투자의 타당성을 확보한 것을 알 수 있다(Table 5). 앞서 산정한 상수도 이용과 병입수 사업을 시행한 경우의 연구개발의 효과인 181.13억원은 2006년도 기준으로 10년 후 발생하는 편익을 고려한 것으로, 사업화 시행 시점을 5년 후로 앞당기는 경우 추가적인 55.80억원의

**Table 4.** Annual economic impact of high-yield and high mineral groundwater utilization

		Fixed value	Price variation	Volume variation
piped water utilization	volume	9,356.4 Kton/yr	fixed	936 Kton/yr(10% variation)
	amount/benefit	4.937 million\$/yr	0.494 million\$(10% variation)	0.494 million\$/yr(10% variation)
bottled water utilization	volume	2,880 Kton/yr	fixed	360 Kton/yr (1% utilization ratio variation)
	amount/benefit	288.5 million\$/yr	28.858 million\$(10% variation)	36.072 million\$/yr (1% utilization ratio variation)
total utilization	volume	12,230 Kton/yr	fixed	1,296 Kton/yr
	amount/benefit	293.4 million\$/yr	29.34 million\$	36.566 million\$/yr

Table 5. Result of economic impact analysis

			Benefit(million\$)	NPV(million\$)	BCR	IRR
5.5% discount rate	launched after 10 years	<b>total Economic impact</b>	<b>18.129</b>	<b>13.659</b>	<b>4.06</b>	<b>22.74%</b>
		- piped water utilization	0.305	-4.165	0.07	-21.13%
		- bottled water utilization	17.824	13.354	3.99	22.52%
	launched after 5 years	<b>total Economic impact</b>	<b>23.693</b>	<b>19.224</b>	<b>5.30</b>	-
		- piped water utilization	0.399	-4.071	0.09	-
		- bottled water utilization	23.295	18.825	5.21	-
6.5% discount rate	launched after 10 years	<b>total Economic impact</b>	<b>16.673</b>	<b>12.182</b>	<b>3.71</b>	<b>22.74%</b>
		- piped water utilization	0.280	-4.210	0.06	-21.13%
		- bottled water utilization	16.393	11.902	3.65	22.52%
	launched after 5 years	<b>total Economic impact</b>	<b>22.844</b>	<b>18.353</b>	<b>5.09</b>	-
		- piped water utilization	0.384	-4.106	0.09	-
		- bottled water utilization	22.459	17.969	5.00	-

편익이 산정되어, 236.93억원의 효과를 발생시키는 것으로 나타났다. 또한 적용한 할인율 5.5%에서 물가 상승 등으로 더 높은 수익률이 요구되어 할인율을 6.5%로 적용하는 경우 역시 166.73억원의 편익이 발생하여, 순편익(NPV) 121.82억원, 비용편익비(BCR) 3.71로써 사업의 타당성을 확보한다.

## 5. 결 론

대용량(2만m<sup>3</sup>/일 이상) 지하수 부존지역 5개소 설정으로 인해 연간 3,600만톤의 수자원을 확보할 수 있으며, 이를 상수도를 통해 생활용수나 농업용수로 이용하는 경우는 상수도 보급률을 적용하여 935.64만톤/년(2.60만톤/일)을 이용할 수 있는 것으로 나타나 2006년 급수량 대비 13.68%를 공급하는 규모로 산정되었다. 생활용수와 농업용수의 이용비율과 Park(2007-b)의 생활용수 지불의사액 및 농업용수의 단위당 가치를 적용하여 상수도 급수에 의한 편익은 연간 46.30억원으로 산정된다. 또한 이는 수도요금으로 제주도 광역수자원 관리본부의 연간 63.92억원의 수입을 발생시킬 것으로 예상된다.

Jeju Water Supply&Drainage Management Headquarters(2007)와 Ministry of Environment(2007)의 현재 최대 먹는샘물 생산규모로 제주도의 병입수 생산을 대체한다고 가정하여, 본 사업으로 확보된 지하수 용량의 8%를 양질의 병입수 생산으로 이용할 경우의 수입을 정량화하였다. 연간 288만톤(0.8만톤/일)의 병입수 사업화로 인해 제주도개발공사 등의 수입은 연간 2,885억원으로 예상할 수 있다. 여기서 현재 제조하고 있는 제주도 병입수보다 본 사업으로 확보한 지하수원

이 양질로 판단되고 있으므로, 현재 제조원인 지하수 관정을 대체하여 병입수 생산이 가능하다. 현재 평균적인 병입수의 단위 수입을 적용하였으나, 양질의 병입수를 판매가능하기 때문에 더 높은 단위 수입을 기대할 수도 있을 것이다.

「제주도 청정 대용량 지하수 개발」 사업으로 지질 자원(연)은 5년간 44.70억원(2006년 가치, 5.5% 할인율 적용)의 연구개발비를 지출하였으나, 본 사업으로 확보된 지하수의 총 이용가치에 따른 연구개발의 기여도가 181.10억원으로 나타나 연구개발투자의 타당성이 확보되었다. 사업화 시행 시점을 5년 후로 앞당기는 경우 추가적인 54.71억원의 편익이 산정되며, 할인율이 1% 상승하는 경우 역시 166.56억원의 편익 발생으로, 순편익 121.65억원, 비용편익비 3.71로써 사업의 타당성을 확보한다.

본 연구는 경제적 효과 분석 사례가 적은 지하수자원 연구개발 분야에서 제주도 지하수 확보 연구개발 사업에 대한 연구를 추가했을 뿐 만 아니라, 기존의 지하수자원기술의 경제적 파급효과분석 사례에서 지하수 수량 확보의 가치 산정에 그치지 않고 병입수 사업화 및 사업화 시점에 따른 영향 등의 공공 연구결과의 사업화 영역까지 고려한 의의가 있다. 추후 연구개발의 불확실성과 보다 현실적인 미래 예측을 고려한 경제적 효과 분석에 대한 연구가 필요할 것이다.

## 사 사

이 논문은 한국지질자원연구원 기본연구사업 ‘연구 효율화를 위한 지질자원정책개발연구(GP 2009-015-01)’에 의해 지원되었습니다.



## 참고문헌

- Ahn, E.Y. and Kim, S.Y. (2006) Top-Brand Project for National Agenda, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources(KIGAM), p. 74.
- Ahn, E.Y., Kim, S.Y., Lee, J.W., Son, B.K., Kim, J.C. and Synn, J.H. (2005) Economic Impact Analysis on a R&D Project of Groundwater Remediation : A Case Study of Busan, Ulsan, and Gwangju Metropolitan City, Journal of Korean Society of Soil and Groundwater Environment, Vol. 10, No. 1, pp. 18-25.
- Ahn, E.Y. and Lee, S.K. (2007) Economic Impact Analysis of the Ready-Operational Physical Properties Laboratory, Korea Society of Economic and Environmental Geology, Vol. 40, No. 6, pp. 805-814.
- Centre for Ecology and Hydrology, Water Poverty Index (WPI), <http://www.ceh.ac.uk/sections/ph/waterpovertyindex.html>
- Hwang, Y.S., Um, M.J. and Kim, T.Y. (1999) The Valuation of the Reliability of Municipal Water Supply Using Contingent Valuation Method in Korea, Environmental Economic Review, Vol. 8, No. 1, pp. 109-126.
- Jeju Water Supply&Drainage Management Headquarters (2007) Jeju Special Self-Governing Province Basic Plan for Water Industry Development, Jeju Special Self-Governing Province, p. 205.
- Jeong, J.B. (2007) KIGAM Brand Evaluation for Quantification of Social-Economic Contribution of KIGAM, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), p. 101.
- KIGAM(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources) (2007) Mid-term Strategic Plan(PY2007-PY2011), Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources(KIGAM), p. 145.
- Lee, S.Y. and Jeong, G.H. (2007) Analysis of issues for the efficient evaluation of National R&D Programs, Korea Institute of S&T Evaluation and Planning (KISTEP), p. 222.
- Ministry of Environment (2006) FY2005 National Water Service Statics, p. 14.
- MOCT(Ministry of Construction & Transportation) (2006) National Water Plan(PY2006-PY2020), Ministry of Construction & Transportation, p. 206.
- Park, D.H. (2007-a) Building of Value Evaluation System of Water Resources and Water Related Technology, Korea Water Resources Corporation, Ministry of Science and Technology, p. 615.
- Park, K.H. (2007-b) Integrated Analysis of Groundwater Occurrence in Jeju, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources(KIGAM), p. 203.
- United Nations Statistics Division, Common Database, <http://unstats.un.org/>.

---

2008년 11월 13일 원고접수, 2009년 4월 13일 게재승인