

광역상수도과 지하수 개발에 의한 용수공급의 비용 비교 예비평가 사례연구

김선근¹ · 김규범^{2,*}

¹대전대학교 국제통상학과

²대전대학교 건설안전방재공학과

요 약

농촌 격지인 상수도 미 급수지역에의 지하수 관정 및 광역상수도 송수관 연결에 의한 용수공급 방법의 경제적 비용을 비교하여 용수 확보 방안에 대한 시사점을 제공하고자 하였다. 지하수와 광역상수도의 선택에 있어 가장 중요한 비용변수는 송수관로 비용으로서, 수요지역과 광역상수도와의 거리가 약 2 km를 초과하는 경우에 지하수 공급이 보다 경제적인 것으로 나타났다. 상주시 화남면 임곡리 지역의 경우, 50년간의 시설설치 비용, 교체 및 유지 비용, 사회적 기회비용 및 외부 비용을 고려할 때, 지하수 공급비용의 현재가치는 717,428천원이 나 광역상수도 공급비용의 현재가치는 1,165,590천원으로 나타나 지하수 공급이 경제적으로 우월한 것으로 해석되었다.

주요어: 용수공급, 지하수, 광역상수도, 비용

Sun G. Kim and Gyoo-Bum Kim, 2016, Preliminary study on the comparison of water supply costs between groundwater and surface water. Journal of the Geological Society of Korea. v. 52, no. 4, p. 457-464

ABSTRACT: The economic comparison of water supply costs between groundwater and surface water for rural areas, which have been suffered from water shortage with chronic drought, was conducted in order to give a hint on the selection of water supply system. It is revealed that the most important item of costs, when choosing groundwater or surface water, is a length of water pipe line. Additionally, groundwater supply system becomes more economical due to high cost of water pipe, if it is over 2 km. The present value of cost, which estimated from facility construction cost, management cost, and external cost, is about 717,428 won for groundwater supply and 1,165,590 won for surface water supply in the study area, Imgok-ri, Hwanam-myeon, Sangju city, and it explains that groundwater supply system is more economical.

Key words: water supply, groundwater, surface water, cost

(Sun G. Kim, Department of International Commerce, Daejeon University, Daejeon 34520, Republic of Korea; Gyoo-Bum Kim, Department of Construction Safety and Disaster Prevention Engineering, Daejeon University, Daejeon 34520, Republic of Korea)

1. 서 론

우리나라 농촌 격지의 경우 광역상수도가 보급되어 있지 않고 향후 개발계획도 없어 현재 지하수를 상수도로 사용하고 있는 지역이 다수 존재한다. 2011년 상수도 통계에 의하면 상수도 미보급 지역 거주민이 약 89만 명에 달하며, 상수도 미보급 인구비율이 5% 이상인 지역이 전국 80여개 시·군에 분포되어 있다

(MOE, 2012). 이들 지역 중 지하수의 수량이 충분하지 못하여 관정개발이 용이하지 않아 물이용에 어려움을 겪고 있거나 혹은 지하수질이 양호하지 못한 지역도 있다. 농촌지역의 물 부족 현황에서 지하수 인공함양 기술은 지역적 특수성 및 기후변화에 의해 야기되는 물부족 문제를 해결하고 지역별 또는 시기별로 차별화된 수자원을 확보할 수 있는 미래기술로서 선진국에서는 이미 활성화되어 있는 기술이기도 하다

* Corresponding author: +82-42-280-4804, E-mail: geowater@dju.kr

(Kim and Kim, 2010). 2015년 가뭄에서 보았듯이, 우리나라의 부족한 물문제를 해결하기 위한 댐 및 저수지 건설 등 대형 토목사업은 일부 지역의 경우 용수 확보에 한계를 드러내고 있으며, 지하수의 효율적 활용기술이 수자원 확보의 중요한 대안이 될 수 있다. 우리나라에서 주로 이용되는 인공함양 기법은 주입정을 설치하여 대수층으로 물을 주입하는 방법으로 과도한 지하수 개발에 따라 발생하는 수위강하 문제의 해결과 지속적 수자원 확보를 위해 연구 적용된 방법으로서 제주도 및 일부 농촌지역을 대상으로 하였다 (Oh *et al.*, 2011; Moon *et al.*, 2014; Seo *et al.*, 2014).

따라서 본 연구에서는 농촌지역 상수도 미보급 지역을 대상으로 광역상수도 개발에 의한 수자원 공급과 인공함양 시스템에 의한 지하수 공급의 두 가지 수자원 공급대안에 대해 경제적 비용 비교 분석을 통해 향후 용수원으로서의 지하수 효율성을 평가하고자 하였다.

2. 연구지역 및 연구방법

2.1 연구지역

연구지역은 상수도 미보급수지역이면서 상습적 가뭄의 피해가 심하여 한국지질자원연구원(KIGAM)에서 시범사업으로 2015년 1월부터 2017년 12월까지 3년간 복합 인공함양 시스템 기술개발을 추진하고 있는 경상북도 상주시 화남면 임곡리를 대상으로 하였다. 대상지역에 인근한 모동 정수장은 2006년 설치되어 시설용량 2,500 m³/d 규모를 갖고 있으며, 화서면, 모동면, 화동면 일부지역에 공급하고 있다. 모동 정수장 급수권에서는 용수공급량이 수요량을 200 m³/d 이상 초과하고 있고 2030년까지 여유률을 10% 이상 확보하는 것으로 계획하고 있다(K-water, 2009; 그림 1). 본 지역의 인근에서는 과거 광산 개발이 활발하던 시기 갯내 유출수가 풍부한 지역으로, 갯내 유출수의 인공함양에 의한 지하수 확보기술을 적용할 수 있는 최적 대상지로서 지하수와 광역상수도 공급 대안의 경제성을 비교 분석하고자 한다.

2.2 연구방법

본 연구는 한국개발연구원(KDI)의 “수자원부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 연구(제4판)”에서 제시한 지침에 입각한 Cost-Benefit 분석 모델에 근

거하여 비용 분석을 수행하였다(KDI, 2008a). 비용의 기간 및 사회적 할인율 등 상기 지침이 권고하는 절차를 모두 수용하며, 아울러 비용 항목 설정에 있어 미국 EPA 및 World Bank의 수자원 사업의 경제성 평가 모델을 원용하여 분석의 객관성을 확보하였다(US EPA, 1995). 본 연구의 경우, 광역상수도과 지하수에 의한 용수 공급의 편익은 동일한 것으로 산정하고, 비용만을 비교하는 방식으로 분석을 수행하였다.

연구의 절차는 상수도과 인공함양 시스템에 대한 기초적 자료를 수집하고 각 용수확보를 위한 시설의 설치비용 및 이용량에 대한 현황 파악, 수자원에 적합한 경제성 분석 모델의 설정, 그리고 상수도과 인공함양의 각각 비용의 세부항목을 설정하고 그 항목별 데이터에 따라 비용을 종합하는 방식으로 수행하였다.

첫째, 연구의 내용적 범위로서, 본 연구는 용수 공급량을 8,000 m³/y (약 22 m³/d)으로 설정하여 광역상수도 공급과 인공함양 시스템에 의한 지하수 공급 중 어느 대안의 비용이 적게 소요되는지 비교하는데 중점을 두었다. 여기서 인공함양 시스템이란

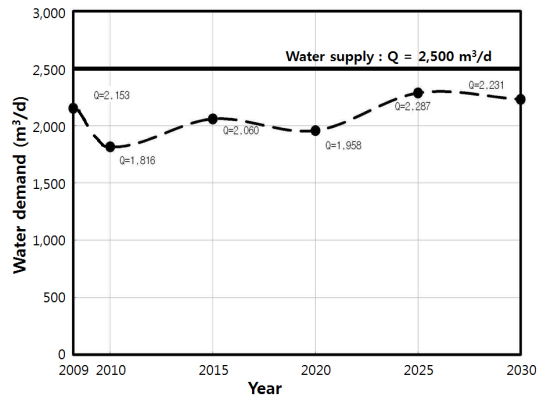


Fig. 1. Projection of future water demand in the Modong intake station (K-water, 2009).

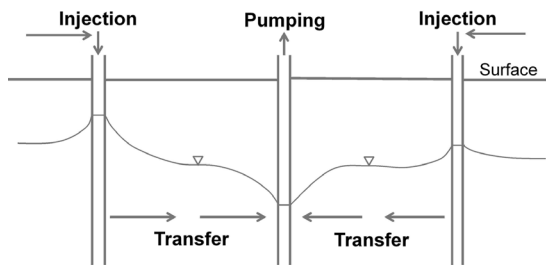


Fig. 2. Schematic diagram for convergent aquifer storage, transfer and recovery system (Moon *et al.*, 2014).

주입공에 주입수를 넣어 대수층에 함양시키고 양수정에서 양수작업을 통해 주입된 물이 양수정으로 이동하게 되는 시스템을 말한다(그림 2).

둘째, 시간적 범위는 한국개발연구원(KDI)의 지침에 따라 2015년을 기점으로 향후 50년 즉, 2015년부터 2064년을 대상기간으로 분석하였다.

셋째, 공간적 범위는 상주시 화남면 임곡리 시범사업 지역을 표본으로 선정하여 세부적 비용은 이들 지역의 국지적 사업을 대상으로 하였다. 대상 지역에 따라 용수공급에 필요한 비용에 차이가 발생하므로 연구지역에 국한된 분석을 수행하였다.

넷째, 본 연구는 실제 현장 설계 단계 이전의 예비

적 평가로서, 설계에서 반영되는 실제 비용을 토대로 분석한 것이 아니라, 과거의 비용 자료들을 활용하여 분석을 수행하였다.

3. 지하수의 공급 비용 분석

광역상수도과 지하수 공급의 비용을 가능한 한 지역적 특수성을 배제하고 객관적으로 비교하기 위해 다음의 전제 조건하에 분석하였다. 첫째, 본 연구가 실제 현장 시범사업에 앞서 사전 평가적 성격을 갖는 것으로서 갭도 유출수의 수질 부분에 대한 고려 없이 광역상수도과 지하수의 원수 수질은 동일한 것으로

Table 1. Result of hydrochemical analysis for groundwater samples (KIGAM, 2015).

Sample sites	T (°C)	pH	DO	EC (µS/cm)	Eh (mV)	Concentration (mg/L)									
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Si	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻
Public supply well	13.7	8.10	8.25	222	63	28.0	9.1	4.0	0.5	3.6	120.6	2.5	14.8	2.1	0.05
Existing well (1)	15.4	7.07	4.41	521	124	85.7	11.0	4.4	3.3	4.1	255.7	7.7	18.5	20.0	0.07
Existing well (2)	15.8	7.56	4.33	373	80	51.5	11.2	9.6	1.8	4.4	195.7	4.0	17.3	3.7	0.06
Tunnel groundwater	12.8	7.29	9.10	428	211	63.8	12.9	5.2	1.0	6.1	136.9	3.1	90.8	0.8	0.08

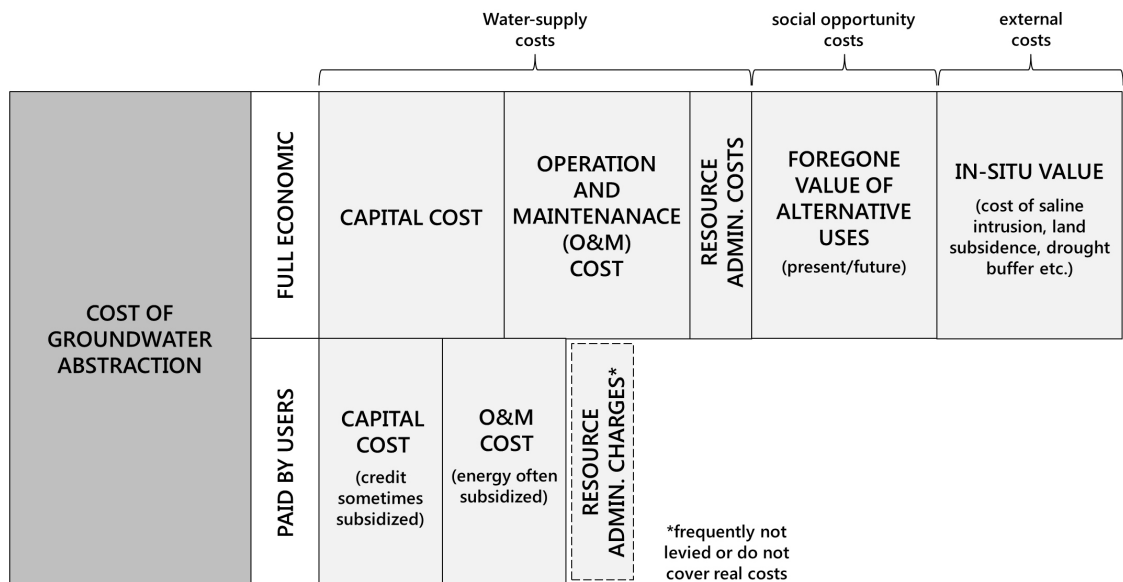


Fig. 3. Cost of groundwater (The World Bank, 2007).

가정하였다. 원수의 상태에 따라 수처리 비용에 차이가 발생할 수 있으나, 지하수의 경우에 수처리 공정이 확정되지 않은 상태로서 강변여과수의 수처리 사례를 준용하였다. 둘째, 지하수의 경우 마을 인근에 관정을 개발하므로 송수관 비용이 적으나, 광역상수도의 경우에는 인근의 화서면 배수지에서 지하수 관정 시공지점까지의 송수관 비용을 추가로 계산함으로써 거리에 따른 비용을 분석하였다. 셋째, 대상지역의 총 용수 수요량이 8,000 m³/y에 불과하므로 가장 인접한 모동취수장의 여유 공급량을 공급하는 것으로 가정하여 취수장의 설치(확장)비만 계산하고 인건비 및 일반운영비는 계상하지 않았다. 넷째, 갯도 유출수의 수질은 기존 관정의 지하수 수질과 큰 차이를 보이지 않아(표 1), 기 이용 중인 관정과 마찬가지로 주변 환경에 미치는 영향도 미미할 것으로 보았다.

3.1 지하수 공급 비용 항목

World Bank의 지하수 공급 비용은 크게 세 부분으로 구성된다(그림 3). 즉, 용수 공급을 위한 자본적 경비와 운영 및 유지비용, 사회적 기회비용 그리고 외부적 비용이 해당된다. 지하수 공급을 위한 자본 비용은 관정, 인공함양시설, 도수관로 설치비용과 이들의 내구연한에 따른 교체비용을 말한다. 유지 및 운영비용은 관정 펌프 등 전기 사용료, 약품비, 슬러지 처리비, 유지 수선비 그리고 수질검사비용으로 구성된다. 사회적 기회비용은 지하수를 양수해서 사용함에 따라 미래의 사용가치를 감소시키는 비용을 일컫으며, 외부적 비용은 지하수 활용에 따른 지반 침하나 환경오염 등의 비용을 말한다.

3.2 지하수 공급비용 항목별 산출

3.2.1 자본비용

관정설치는 광산갯도에서 유출되는 지하수를 인공함양정을 통해서 지속적인 인공함양 시스템으로 급수하여야 하므로 공급정과 관측정, 그리고 인공함양 주입정이 필요하다. 따라서 관정 설치비용은 개당 3,000만원으로 공급정(심도 200 m) 1개 공, 관측정(심도 200 m) 1개 공, 인공함양 주입정(심도 200 m) 1개 공 등으로서 총 비용은 90,000천원에 해당한다. 인공함양시설은 갯도에서 유출되는 지하수를 활용하기 위해 설치하여야 하며 인공함양시설 설치비용은 20,000천원에 해당한다.

또한, 도수관로의 설치 및 유지비용 산정을 위하여, 상주시 화남면 임곡리에 기존 설치된 관정에서부터 수요지까지 최단거리를 적용하고 임곡리 중심의 노인회관을 수요지의 기준으로 설정하여 관로의 길이를 검토하였으며 약 6.2 km를 적용하였다. 지방상수도 연결 공사를 위하여 공고되어 있는 나라장터의 114 개의 설계를 평균하여 도수관로의 m 당 단가를 구하였으며, 공급관로의 m 당 시공단가는 105,409원으로 나타났다. 이를 이용하여 도수관로 시공비용을 산정하였으며, 일반적인 상수도관의 교체 주기인 16년을 적용하여 교체비용을 산정하였다(MOE, 2002). 도수관로 초기 시공비용은 65,353천원이며 16년 주기로 교체할 경우 50년간 교체비용은 123,595천원으로 계산되었다.

관정의 교체비용은 기존 연구를 참고하여 29.7년으로 적용하였으며, 2046년에 신규 관정을 설치하는 것으로 보았다(Kim, 2013). 즉, 29.7년 이후 2046년에 교체할 3개 관정의 교체비용의 현재가치는 사회적 할인율 5.5%를 적용할 경우 131,208천원으로 계산되었다. 관정뿐만 아니라 소모품인 펌프 역시 주기적으로 교체해 주어야 하나 관정과 마찬가지로 펌프의 내구연한에 관해서는 정확한 기준이 없어 시공업체를 대상으로 실시한 기존의 설문 결과를 준용하였으며(Kim, 2013), 펌프의 출력에 관계없이 교체주기는 약 4년으로 나타났다. 펌프 가격은 나라장터의 공고에서 평균가격(3,596,500원)을 구해 적용하였다. 각 4년마다 발생하는 펌프의 교체비용에 사회적 할인율 2015년~2044년 5.5%, 그리고 2045년~2064년 4.5%를 각각 적용할 경우 향후 50년간 비용의 총 현재가치는 239,342천원으로 나타났다.

3.2.2 유지운영 비용

신규 설치하는 3개의 관정 내에 펌프 및 전기시설에서 발생하는 전기료는, 실제 기존관정의 전기료 이용내역을 기반으로 하여 계산된 톤당 평균 106 원/m³ 전기요금을 적용하였다. 이를 50년간 이용한다고 가정하고 사회적 할인율을 적용하여 불변가치로 변환하면 전기료의 총 현재가치는 18,339천원으로 계산되었다. 약품비는 낙동강 강변여과수 사업에서 추정된 톤당 비용인 0.69 원/m³을 적용하여 50년간 총 129천원이 소요되는 것으로 추정되었다(KDI, 2012). 슬러지 처리비는 정수 처리의 단순화로 슬러지 발생

Table 2. Total present value of cost in case of groundwater supply system (50 years).

Item	Details	Cost (won)
Construction and installation	Well	90,000,000
	Artificial recharge devices	20,000,000
Replacement	Well	131,208,433
	Pump	239,342,294
Maintenance	Electricity charge	18,339,359
	Chemicals cost	129,645
	Sludge treatment cost	262,305
	Maintenance and operation cost	1,270,363
Water sample test	Water sample test (village)	10,568,921
	Water sample test (well)	17,368,325
Water pipe	Construction and installation cost	65,353,580
	Maintenance and replacement cost	123,595,659
Total		717,428,618

역시 적어질 수 있으나, 이에 관한 연구가 이루어지지 않았으므로 강변여과와 동일한 양의 슬러지가 발생하는 것으로 가정하였다. 따라서 처리비용은 창원시 대산정수장의 1.5 원/m³을 적용하여 계상하였으며 그 결과는 262천원이다. 유지 수선비는 최근 한국수자원공사 자료인 광역 상수도 자산가액 대비 수선 유지비의 10년치(1998~2007) 평균값인 공사비 대비 0.33%를 적용하여 산정한 결과 총 1,270천원으로 나타났다. 마을 급수용 관정개발 시 수질검사는 1년에 분기별로 4번 검사해야 한다. 경상북도 보건환경연구원에 따르면 먹는물(지하수)의 경우 수질검사 항목은 46항목이고 수수료는 267,720원이다. 또한, 관정별 수질검사가 필요한데 개별 관정을 이용하는 경우 연 2회 검사를 실시하며 회당 비용은 267,700원이다. 따라서 임곡리의 경우 신규 관정이 3개 공으로 관정 수질검사비용은 803,100원이고, 50년간 수질검사 비용은 마을의 먹는 물 수질검사 10,568천원, 관정별 검사는 17,368천원으로 계산되었다.

3.2.3 사회적 기회비용 및 외부적 비용

지하수 활용에 대한 사회적 기회비용은 지하수 양수에 따른 지하수 부존량을 감소시켜 현재 및 미래의 기대 사용가치를 저감시키는 비용이나 임곡리의 경우 갭도 유출수를 재함양하는 것이므로 본 사업으로 인해 지하수 부존량이 감소한다고 볼 수 없다. 또한 외부적 비용은 지하수질 등 환경오염 유발의 비용과

지반침하 등 비용을 일컬으나 위에서 언급한 바와 같이 기존 관정의 수질과 큰 차이가 없어 오염 등에 대한 사항은 비용 계산시 고려하지 않았다. 다만, 갭내 지하수의 수질 특성에 대해서는 추가적인 중금속 등의 분석을 통하여 재평가될 필요는 있다.

3.3 지하수 공급 총비용

상기 지하수 공급의 경우 항목별 비용의 총액을 현재 가치로 계산했을 때 50년간 717,428천원의 비용이 발생하는 것으로 나타났다(표 2). 그 중 펌프 교체비용이 33.4%로 가장 큰 비중을 차지했고 그 다음으로 관정 교체비용, 도수관로 교체비용의 순서로 나타났다.

4. 광역상수도의 공급 비용 분석

4.1 광역상수도 비용항목

상수도는 취수장에서 여과 및 정수 등 여러 단계를 거쳐 가정 등 수용가에 공급된다(그림 4). 일반적으로 지하수나 지표수 등을 취수하여 침사지에서 원수에 함유된 흙, 모래 등 각종 이물질을 가라앉히고 응집지와 침전지에서 걸러진 물을 여과지로 보낸다. 그 후 경우에 따라 고도 정수처리를 하기도 하며 정수지에서 2차 소독 후 수질기준에 적합한 수돗물을 최종 점검하여 공급한다.

연구지역의 상수도 생산비용은 배수지에서 관정 시공지점, 관정 시공지점에서 가정(임곡리 마을회관

기준)로 나누어 계산하여 두 값을 합하여 구하였다. 이는 연간 8,000 m³ 상수도 생산에 관련된 상수시설 공사비 및 운영관리비를 상수도 생산비용 및 시설 유지비용의 항목으로 고려하였다. 첫째, 취수시설의 설치 및 교체, 상수관로 설치 및 교체, 막여과 시설 설치 등은 자본비용에 포함되며, 둘째, 유지수선비, 일반관리비, 전력비, 오존 및 활성탄과 정수약품비, 그리고 슬러지 처리비용 등은 유지운영비에 해당된다.

4.2 광역상수도 비용항목별 계산

4.2.1 자본비용

본 연구의 대상지역인 화남면 임곡리의 연간 급수량은 전국 443개의 취수장 중에서 작은 규모의 취수장에 해당되므로 비슷한 규모의 취수시설의 공사비용을 참고하여 설치비용을 계산하였다. 1988년 건설부의 상수도 원단위 산정 보고서의 취수장 공사비용 원단위를 적용하여 현재 가격으로 환산하였다(KDI, 2008b). 그 결과 연간 8,000톤 규모의 취수시설의 공사비는 2015년 경상가격으로 24,706천원으로 계산되었다. 한편, 상수관 공사 설치비용은 기존 관정개발 지점에서 노인회관까지의 거리 0.6 km의 설치비용을 적용하였다.

4.2.2 유지운영비용

취수장의 유지 수선비는 한국수자원공사 자료인 광역상수도 자산가액 대비 수선유지비의 10년치(1998~2007) 평균값인 공사비 대비 0.33%를 적용하여 산정하였

으며(KDI, 2008a), 향후 50년간 유지비용을 사회적 할인율로 환산할 경우 총 176천원으로 계산되었다.

전력비 계산을 위해서는 유사규모 취수장 두 곳의 자료를 바탕으로 취수량당 전력비 단가를 검토, 적용하였다. 국토해양부의 경남·부산권 광역상수도 사업 타당성 조사 사업 내에 부산광역시 매리취수장과 물금취수장의 연간 전력비는 5,924백만원이고, 매리 취수장의 일 취수량은 1,725 천m³이며 물금 취수장의 일 취수량은 840 천m³이다. 따라서 두 취수장의 연간 취수량은 936,225 천m³으로 연간 전력비를 취수량으로 나누어 단위비용을 구하면 m³당 6.33원으로 나타난다. 따라서 1 m³ 생산에 필요한 전력비 6.33원을 적용하여 연 급수량 약 8,000톤을 곱하여 전력비를 구하였다.

일반 정수처리 공정에는 전·후 오존처리와 활성탄을 이용하는 방법이 있으며, 일반적으로 낙동강을 원수로 취수하는 정수장에서는 두 가지가 함께 이용되므로, 오존사용비 6 원/m³, 오존전력비 1.5 원/m³를 적용하였고, 활성탄 교체비용의 단가는 16.0원/m³(교체주기 2.5년)을 적용하였으며, 정수공정에 필요한 약품의 경우에는 낙동강에서 원수를 취수하는 부산·경남의 단가인 8.7원/m³를 적용하였다(KDI, 2008a, 2012). 정수공정에서 생기는 슬러지는 취수원의 수질상태에 따라 처리 비용에 차이를 보이게 되나, 본 연구에서는 예상 슬러지 상태에 대한 자료가 부족하므로 인접한 부산, 경남의 처리 비용(5.4 원/m³)을 준용하였다.

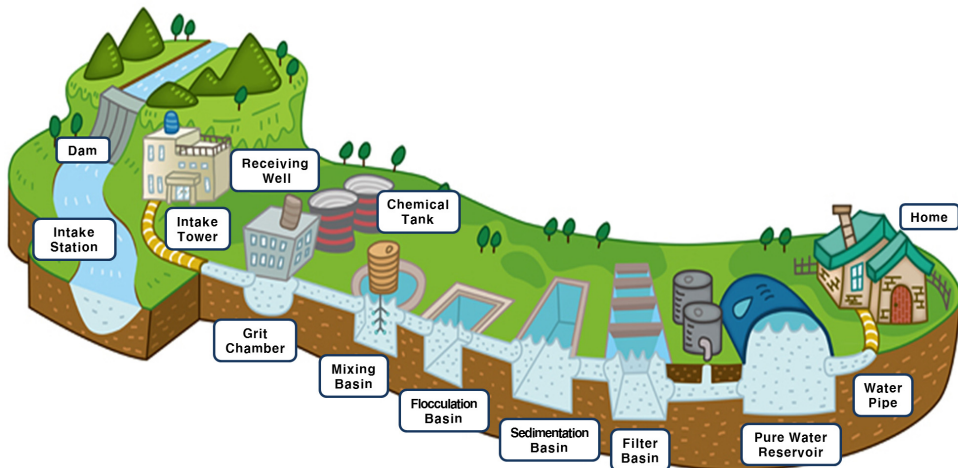


Fig. 4. Surface water supply system (www.dgwater.go.kr).

Table 3. Initial and replacement costs of water pipe (unit: 1,000 Won).

Length of water pipe	1 km	2 km	4.14 km	5 km
Initial construction	105,409	210,818	436,393	527,045
Present value of replacement cost	122,649	245,297	507,765	613,243
Total	228,058	456,115	944,158	1,140,288

Table 4. Total present value of cost in case of surface water supply system (50 years).

Item	Details	Cost (won)
Construction and installation	Intake station and facilities	24,706,645
Replacement	Activated carbon replacement	2,768,205
	Maintenance and repair	176,259
Maintenance	Ozone cost	1,038,076
	Ozone electricity charge	259,519
	Purification chemicals	1,505,211
	Electricity cost	1,095,171
	Sludge treatment	934,269
Water pipe	Construction and installation cost	65,353,580
	Maintenance and replacement cost	123,595,659
Total		221,432,594

Table 5. Cost comparison between groundwater and surface water supply systems (50 year present value) (unit: 1,000 Won).

Contents	Ground water	Surface water
Present value of total cost	717,428	1,165,590

경우 449,490천원, 2 km인 경우 677,547천원, 임곡리의 경우(4.14 km) 1,165,590천원, 5 km의 경우 1,361,720천원으로 계산된다.

4.2.3 송수관 설치 및 교체비용

광역상수도의 경우 배수지에서 송수관의 설치비용이 추가로 고려되므로, m 당 평균 시공단가 105,409원을 적용하고 16년의 교체 주기를 고려하여, 화서면 배수지에서 임곡리까지 송수관의 거리 4.14 km에 해당하는 비용을 현재가치로 환산한 결과 944,158천원으로 계산되었다(표 3). 한편, 광역상수도 비용에서 관로의 비용이 매우 크게 작용하므로 거리에 따른 비교를 위하여 관로의 길이별 비용을 함께 산정하였다.

4.3 광역상수도 공급 총비용

광역상수도 공급 총비용의 향후 50년간 현재가치는 송수관(배수지에서 임곡리까지) 설치 비용을 제외할 경우 221,432천원으로 계산되었다(표 4). 따라서 송수관의 거리에 따른 광역상수도 총 공급비용은 표 2의 결과를 합산하여, 송수관의 길이가 1 km인

5. 토 론

연구지역의 경우, 물 공급 비용 산정에서 50년간의 설치비용과 교체비용 및 유지비용 등을 고려할 때, 지하수 공급비용의 현재가치는 717,428천원이나 광역상수도 공급비용의 현재가치는 1,165,590천원으로 나타나 지하수 공급비용이 광역상수도 공급비용의 61.5%에 불과한 것으로 평가되었다(표 5). 한편, 광역상수도 비용의 큰 비중을 차지하는 관로 비용을 고려해 보면, 관로 길이가 약 2 km인 경우까지는 광역상수도 공급비용이 더 작은 것으로 평가되었다. 이와 같은 결과는 관로의 길이가 긴 경우에는 지하수에 의한 용수공급이 비용 경제적으로 효과가 크다는 것을 보여준다.

이상의 결과는, 현장의 설계 자료에 기반하여 산정된 공급 비용을 비교한 것은 아니지만, 사전에 예비평가 단계에서 지하수의 공급 방식과 광역상수도의 공급 방식을 비교 검토하는 유용한 방법으로 판

단된다. 본 연구는 실제 연구지역의 지하수의 인공 함양 능력이나 지하수의 수질에 대한 고려사항이 충분히 반영되지 못한 점은 있으나, 국지적인 가뭄과 같은 재난에 대비하기 위해서는 원거리의 광역상수도 연결 방법보다는 지하수 개발이 보다 효과적인 수 있음을 설명해주고 있다.

6. 결 언

농촌 격지인 미 급수지역에의 수자원 공급의 방식 즉, 지하수 관정의 개발에 의한 방법과 광역상수도 송수관 연결에 의한 방법 중 선택은 매우 중요한 문제로서, 본 연구 결과는 경제적 관점에서 정책적 결정을 위한 시사점을 제공해주고 있다. 본 연구 지역의 경우, 수요지역과 광역상수도 연결까지의 거리가 약 2 km를 초과하는 경우에는 지하수 개발이 보다 비용적인 측면에서 저렴할 수 있다는 결론이 도출되었으며, 거리에 따른 광역상수도의 비용에 편차가 크므로 원거리의 경우에는 지하수 개발 방식의 도입을 고려해야 한다는 점을 보여주고 있다. 즉, 광역상수도 공급 계획 수립시 관로 비용이 차지하는 비중이 매우 크므로 수요지역의 지리적 특성을 고려한 수원 확보 방안이 검토되어야 함을 의미한다. 향후 실제 용수공급 시스템의 설계시 설계자료를 토대로 정밀한 비용-효과 분석을 실시하여 지하수와 광역상수도의 경제성을 진단, 비교한다면 지하수의 효용가치를 증대시킬 수 있을 것으로 본다.

사 사

본 연구는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원에서 위탁시행한 물관리연구사업(11기 술혁신C05)에 의한 '수변지하수활용고도화' 연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- KDI (Korea Development Institute), 2008a, National Standard Guideline of a Feasibility Study of Water Resources Project. Seoul (in Korean).
- KDI (Korea Development Institute), 2008b, A Revised Guideline for Preliminary Feasibility Survey for Water Resources Project (Vol. 4). Seoul (in Korean).
- KDI (Korea Development Institute), 2012, Feasibility Study of River Bank Filtration Project in the Nakdong River. Seoul (in Korean).
- KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources), 2015, Development of Composite Artificial Recharge Technologies for Groundwater Conservation and Utilization. Report-GP-2015-014-2015(1), Ministry of Science, ICT and Future Planning, 197 p.
- Kim, S.G., 2013, Cost-Benefit Analyses of National Groundwater, The 2nd Year Research Report of Geowater⁺ Project. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Seoul (in Korean).
- Kim, Y.C. and Kim, Y.J., 2010, A review on the state of the art in the management of aquifer recharge. Journal of the Geological Society of Korea, 46(5), 521-533 (in Korean with English abstract).
- K-Water, 2009, A Revised Plan of Waterworks in Sangju City. Daejeon (in Korean).
- MOE (Ministry of Environment), 2002, A Manual for Assessment and Management of Decrepit Water Pipes. Seoul (in Korean).
- MOE (Ministry of Environment), 2012, 2011 Statistics of Waterworks. Seoul (in Korean).
- Moon, S.H., Ha, K.C., Kim, Y.C., Koh, D.C. and Yoon, H.S., 2014, Examination for efficiency of groundwater artificial recharge in alluvial aquifer near Nakdong river of Changweon area, Korea. Economic and Environmental Geology, 47(6), 611-623 (in Korean with English abstract).
- Oh, S.H., Kim, Y.C. and Koo, M.H., 2011, Modeling artificial groundwater recharge in the Hancheon drainage area, Jeju island, Korea. Journal of Soil and Groundwater Environment, 16(6), 34-45 (in Korean with English abstract).
- Seo, J.A., Kim, Y.C., Moon, D.C., Koh, G.W. and Kim, Y.J., 2014, Evaluation of surface infiltration rate in Hancheon reservoir, Jeju island, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 50(3), 419-430 (in Korean with English abstract).
- The World Bank, 2007, Sustainable Groundwater Management, Lessons from Practice. Washington D.C., USA.
- US EPA (US Environmental Protection Agency), 1995, A Framework for Measuring the Economic Benefits of Ground Water. EPA230-B-95-003, United States, 57 p.

Received : June 10, 2016

Revised : June 20, 2016

Accepted : June 21, 2016