맞춤형 고순도 공업용수의 재무성 평가를 통한 공급단가 산정에 대한 연구

The Estimation of Total Cost Through the Financial Assessment of Customized High Purity Industrial Water

권병수* · 이경혁* · 장암†

Boung-Su Kwon* · Kyung-Hyuk Lee* · Am Jang†

*한국수자원공사 · 성균관대학교 수자원전문대학원

*K-water · Graduate School of Water Resources, Sungkyunkwan University

(Received October 16, 2018; Revised October 24, 2018; Accepted October 30, 2018)

Abstract : The purpose of this study is to estimate the total cost including the capital operation costs for the production of customized high purity industrial water, and to analyze the benefits and evaluate the financial performance according to the cost and benefits. It is important to obtain and apply objective data when calculating approximate costs. The capital operation costs of pretreatment process and wastewater treatment process were calculated by quoting data from the Ministry of Environment. Rough costs for pure water and ultrapure water facilities were quoted by professional companies and calculated by each project cost. For the benefit/cost ratio = 1.03, the net present value = 6,165 million won and the internal rate of return = 3.09%, the unit price for 10,000 m³/d capacity was estimated at 3,517 ₩/m³. as a result of the financial evaluation with a discount rate of 2.21% based on the ultrapurewater treatment system of semiconductor factory. This is the total price including the pre-treatment and ultra-pure water of facility construction cost and etc. Compared with the current high-purity industrial water business, it is a considerably high total cost. The comparing cases of high purity industrial water for semiconductors, the realistic aspects of the industrial water business process should be considered. The total cost is expected to be ranged from 2,284 ₩/m³ to 3,517 ₩/m³.

Key Words : Ultrapure Water (UPW), Total Cost, Financial Assessment, Customized Industrial Water, Approximate Cost

요약 : 본 연구는 맞춤형 고순도 공업용수의 생산을 위한 시설의 구축과 운영비용을 포함한 총 비용을 산출하고, 이에 따른 편익을 분석하여 비용과 편익에 따른 재무성 평가를 하는데 목적이 있다. 개략적인 비용을 산출하는 경우 객관적인 자료를 확보하여 적용하는 것은 중요한 요소이다. 전처리공정 및 폐수처리공정에 대해서는 환경부 자료를 인용하여 산출하였으나, 순수 및 초순수 시설에 대한 개략사업비는 전문업체에 견적을 의뢰하여 용량별 사업비를 산출하였다. 반도체 공장을 기준으로 10,000 m³/d에 대한 할인율 2.21%를 적용하여 재무성 평가를 실시한 결과 편익/비용비 1.03, 순현재가치 6165 백만원, 내부수익률 3.09%일 경우 공급단가는 3,517 ₩/m³이 산정되었다. 이는 원수를 취수하여 전처리, 순수 및 초순수, 폐수처리시설에 대한 시설공사비, 운영비를 포함한 공급단가로 현재 고순도 공업용수 사업의 사례와 비교하면 상당한 높은 공급단가이다. 반도체용 고순도 공업용수 사업의 사례들을 확인하여 공정 등에 대해 현실적인 부분들을 고려한다면 공급단가는 2,284 ₩/m³ - 3,517 ₩/m³으로 예상된다.

주제어 : 초순수, 공급가격, 재무성 평가, 맞춤형 공업용수, 개략사업비

1. 서론

산업용수는 물속의 유기물, 무기물을 전처리공정(혼화, 응집, 침전, 여과공정)에서 제거하고, 이온과 가스 등을 추가로 제거하여 순수 및 초순수를 생산하여 석유화학, 철강, 전자, 반도체, 전기분해 등에 다양하게 사용한다.^{1,2)} 초순수 공정은 제거물질이 다양하여 일반적으로 20여개의 개별공정이 복잡하게 조합되어 있으며, 개별공정에 대한 설계인자 및 공정조합 등에 대한 연구는 기존에 수행된 사례가 있다.^{3,4)} 또한, KDI에서 광역상수도 사업 등 정부가 추진하는 사업에 대해 편익과 비용을 고려한 경제성 분석이 되어 있다. 최근 진행된 충남서부권 광역상수도 사업의 경우 예비타당성조사에서 경제성 평가결과 편익/비용비가 1.02으로 경제성이 있는 것으로 분석되어⁵⁾ 사업의 후속단계로 기본 및 실시설계 용역이 진행 중이다.

공업용수의 경우 편익의 측면에서는 한국개발연구원(이수 자원부문사업의예비타당성조사표준지침수정 보완 연구(제4판)의 보완을 위한 공업용수 공급편익 산정요령 가이드라인(2011)에서 2003년 산업총조사 자료를 이용하여 분석한 결과로 제시한 공업용수 침전수의 한계생산가치를 885.1 ₩/m³ (침전수, 2010년 말기준)으로 제시하였다.⁶⁾ 공업용수공급편익(industrial water supply benefits)에 대해 정의하자면, 공업의 생산과정에서 필수적인 용수를 안정적으로 공급함으로써 물부족으로 인한 사업체의 피해를 방지하고, 최종적으로 사업체가 안정적으로 부가가치를 창출하는데 기여하는 것이라 할 수 있다.⁷⁾

산업단지 내 공업용수 공급의 경제적 가치 및 한계생산가치 변동성에 관한 연구에서는 전 산업 평균 한계생산가치를 고려하면 2,994 - 5,357 ₩/m³으로 제시하고 있다.⁸⁾ 그러나 여기에서 말하는 편익산출을 위한 경제적 가치는 재무적 분

† Corresponding author E-mail: amjang@skku.edu Tel: 031-290-7535 Fax: 031-290-7549

석을 위한 공급단가와와는 상이한 부분으로 재무적 분석을 위한 공급단가의 제시는 개별공정의 공정구성, 운영방식, 사업방식 등이 고려되어야 한다. 국내 해수담수화 플랜트 생산수 단가 추정 사례에서는 생산수 단가의 범위를 계산한 것으로 서해의 도시는 557 - 956 ₩/㎥, 남해의 도시는 534 - 909 ₩/㎥ 그리고 동해의 도시는 533 - 905 ₩/㎥ 범위에 있는 것으로 계산되었었으며, 일부 운영비가 제외된 부분을 포함하여 고려한다면 1,000 ₩/㎥ 내외로 예상하였다.⁹⁾ 해수담수화 공정은 일반적으로 취수시설, UF/SWRO 등 해수담수화공정, 공급시설로 구성이 됨으로 초순수 시설과 비교하여 비교적 간단한 시설이다. 해수담수화 이외 산업용수 측면에서 공급단가 추정 사례는 확인이 어려웠다.

국내에서는 최근 20년간 이러한 공업용수 이용량이 73%나 증가하였고, 앞으로도 계속 증가할 것으로 보고 있다. 공업용수 사용량을 조사하는 기관 및 조사방법마다 상당한 차이가 있고 정기적으로 발표되는 자료도 드문 실정이다.⁷⁾ 특히 초순수에 대해서는 개별 기업체의 계약에 의해 추진이 되는 특성을 고려할 경우 공급단가는 사업추진의 핵심으로 공개가 어려운 부분이다.

해외 공업용수 공급편의 또는 공급단가에 대한 연구 사례는 이온교환공정의 경우 159 m³/h 처리량 기준으로 9.1억 원의 시설 설치비와 97 ₩/㎥의 운영비를 추정하였다.¹⁰⁾ 이온교환공정과 역삼투공정의 경제성을 비교하여 TDS 500 ppm이 넘어갈 경우는 이온교환공정 보다 역삼투공정이 더 유리하다는 경제성 분석한 사례는 확인이 가능하였다.¹¹⁾ 두 경우 모두 공급단가의 산정은 어려운 한계가 있었다. 또한, 기본적인 정수공정의 사업비, 운영비를 추정하여 전체 사업비를 제시한 해외 사례의 경우 10 mgd (37,825 m³/d) 용량에서 시설비가 371억 원으로 추정되었으며,^{12,13)} 해외 해수담수화의 경우 40,000 m³/d (10.6 mgd)의 해수 담수화 플랜트 건설, 시운전 및 시운전을 위한 총 자본 비용은 7,400만 달

러를 제시하였으며, 총자본비용을 포함한 운영비용을 고려한 공급단가는 0.9 \$/m³로 제시하였다.¹⁴⁾ 그러나, 초순수에 대한 공급단가의 제시에 대한 부분은 확인이 어려웠다.

본 연구는 반도체용 고순도 공업용수의 생산을 위한 공정을 구성하고, 시설용량 1만 m³/d 기준의 시설 및 운영을 포함한 총 비용을 산출하여 이에 따른 편익을 분석하여 비용과 편익에 따른 재무성을 평가하고자 한다. 또한, 고순도 공업용수 분야는 민간영역으로 엄밀히 말하면 경제성 평가가 필요없는 분야이나, 향후 국가 사업추진 등을 고려할 경우 본 연구를 통해 얻어진 경제성 평가를 위한 편익분석 연구내용이 고려될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 연구방법

2.1. 실험재료 및 장치

2.1.1. 고순도 맞춤형 공업용수 표준공정 선정

반도체용 고순도 공업용수 플랜트의 표준공정을 Fig. 1과 같이 선정하였다. 전처리공정은 급속여과방식으로 ‘혼화·응집 + 여과공정’으로 구성을 하였으며, 순수공정은 ‘양이온공정 + 탈기공정 + 음이온공정 + 자외선살균공정 + 역삼투공정 + 1차자외선산화공정 + 막탈기공정 + 전기탈이온공정’으로 구성을 하였다. 초순수공정으로는 ‘초순수저장탱크 + 2차자외선산화공정 + 2차 막탈기공정 + 비재생형 혼상이온교환수지 + 초순수용 한외여과’ 공정으로 구성을 하였으며, 발생폐수에 대해서는 가압부상법을 통해 탈기수를 거처 슬러지 처리하는 공정으로 구성하였다. 플랜트는 시설용량 1만 m³/d 규모이며 처리수의 목표수질은 반도체급 초순수를 목표로 주요 수질관리 기준으로는 비저항 18.2 MW·cm 이하, 총유기탄소 (Total organic carbon, TOC) 5.0 ppb 이하, 용존산소 (Dissolved oxygen, DO)와 실리카 1.0 ppb 이하로 목표수질을 정하였다.⁴⁾

Fig. 1. Schematic diagram of ultrapure water plant (10,000 m³/day).

2.2. 경제성 및 재무성 분석 방법

2.2.1. 경제성 평가에 대한 개요

경제성에 관한 분석은 일단 그 사업이 어느 정도의 경제적 가치가 있는 사업인지를 파악할 수 있도록 함으로써 사업에 대한 정확한 이해를 돕게 된다. 나아가 사업의 경제성에 대한 정보는 정책적 차원의 분석에 있어서 가장 기본적이고 필수적인 자료로 활용된다.

경제성 평가는 편익/비용비(Benefit/cost ratio, B/C), 순현재가치(Net Present value, NPV), 내부수익률(Internal rate of return, IRR) 등의 계산을 통하여 사업의 경제성·재무성을 파악하는 과정이며, 경제성 분석에 사용된 각종 추정치의 오차를 보완하기 위하여 주요 변수의 변화가 경제성에 미치는 영향에 대한 민감도 분석을 수행하였다.¹⁵⁾ 본 연구의 편익과 비용의 기준시점은 2017년 말이다.

2.2.2. 재무성 평가에 대한 개요

재무성 평가는 경제성 평가와 유사하나 편익의 대상이 돈의 흐름과 관련이 있다. 실제 거래되는 금액 즉 용수 단가를 기준으로 산정이 되는 것이다. 현재 용수 단가는 환경부에서 관할하고 있으며, 원수, 침전수, 정수로 구분하여 수돗물 요금을 산정한다. 아래 Table 1은 광역상수도에 대한 수돗물 요금현황이다.

2.2.3. 경제성/재무성 분석의 분석시 전제사항

경제성 분석에 있어서 비용과 편익은 모두 ‘사회적 비용 및 편익’을 의미한다. 따라서 사업비는 물론 추정된 편익 발생을 위해 소요되는 정부, 민간의 모든 명시적, 암묵적 비용을 분석에 포함한다. 비용·편익분석에 앞서 『예비타당성조사수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)』(한국개발연구원, 2008)에 따라 다음과 같은 조건을 가정하였다.¹⁶⁾ 첫째, 경제성 분석의 모든 비용과 편익은 2017년도 말 기준 불변가격으로 산정하였다. 둘째, 편익의 발생기간은 투자 완료 후 20년으로 전제한다.

생활용수와 공업용수는 그 수질과 수량 등의 측면에서 각각 요구되는 정도와 규모가 다르며, 이를 소비함으로써 증가되는 사회적인 편익의 크기도 다를 뿐만 아니라, 생활용수와 달리 공업용수의 경우에는 소비재의 성격보다는 원자재 즉, 생산요소로서의 성격이 강하기 때문에 이를 이용하는 생산자의 측면에서는 지불의사 금액(willingness to pay)을 도출하는 것이 어렵다. 따라서 생산함수를 이용한 한계생산의 가치를 추정하는 방법으로써 공업용수의 경제적 가치를 적용하며, 일반적으로 『수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)』(2008)에 나타난 공

Table 2. Economic value for estimating the benefits of industrial water supply

-	Raw water	Sediment water	Purification water
Economic value cost (₩/m ³)	1,129.6	855.2	610.7

업용수 공급편익의 산정방법을 근거로 하고,¹⁷⁾ 여기에 공공투자관리센터의 『수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)』의 보완을 위한 공업용수 공급편익 산정요령 가이드라인』(2011)의 방식을 준용하도록 하였다.¹⁸⁾ 위의 Table 2는 가이드라인에 제시된 공업용수의 경제적 가치이다.

경제성 분석의 경우 편익이 사회적인 측면의 이익을 나타낸다면, 재무성 분석을 위한 편익은 사업 추진시 물사용협약 등의 상호간의 계약이 가능한 수준의 지불의사 금액(willingness to pay)을 말한다. 즉 실제 지불이 가능한 금액의 요금을 말하며, 사업추진시 현금의 유입을 나타낸다.

2.2.4. 분석대상 기간 및 사회적 할인율

맞춤형 고순도 공업용수 시설의 건립이 추진될 경우, 설계에서 시운전 및 정상운영까지 3-4년의 사업기간이 소요될 것으로 전망된다. 또한 편익의 경우는 5년차부터 순차적으로 발생하는 것으로 전망된다. 즉, 본 연구에서는 2018-2021년에 설계 및 공사가 수행되고 2022년에 편익이 발생하기 시작하여 20년간 지속되는 것으로 가정한다. 따라서 본 연구의 경제성 분석 대상기간은 2019-2042년이며, 비용과 편익 항목의 현재가치는 2017년 말을 기준으로 산출한다.

또한 비용의 경우, 할인율은 통상 시장이자율보다 낮은 수준으로 책정된다. 본 연구에서는 2.21%를 적용하였으며 이는 공공기관(수자원공사 등)에서 투자심사를 수행할 경우 투자심사 시 적용하는 내부규정에 의한 할인율을 적용하였다.

2.3. 세부기법

2.3.1. 경제성/재무성 평가에 대한 세부기법

경제적/재무적 타당성을 평가하는 분석기법으로는 편익/비용비, 내부수익률, 순현재가치 등이 있는데, 일반적으로 이해가 용이하고, 사업규모의 고려가 가능한 B/C 분석 기법을 많이 사용한다. B/C, NPV, IRR은 그 분석기법마다의 장·단점을 가지고 있고, 어느 한 기법만을 가지고 사업의 경제적 타당성을 판단하기에는 적당하지 않은 경우가 자주 있으므로 본 과업에서는 B/C, NPV, IRR을 모두 분석하여 경제적 타당성을 분석하였다.⁵⁾

2.3.2. 경제성/재무성 평가에 대한 판단방법

편익/비용비란 운영 후 연도별 발생하는 편익과 투입되는 비용(사업비 및 유지관리비)을 적정 할인율로 할인하여 기준년도 가격으로 환산한 금액의 비율을 말하며, 편익/비용비에 대한 상세수식은 식 (1)과 같다. 일반적으로 (편익/비

Table 1. Total cost of tap water

-	Raw water	Sediment water	Purification water
Total cost (₩/m ³)	223	313	413

용비) ≥ 1 이면 경제성이 있다고 판단한다.

$$B/C = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

B_t : Benefits at t
 C_t : Cost at t
 r : Discount rate (interest rate)
 n : Business analysis year
 t : Year of business

내부수익률은 현재가치로 환산한 편익과 비용의 값이 같아지는 할인율 r 을 구하는 방법이며, 내부수익률에 대한 상세수식은 식 (2)과 같다. 일반적으로 내부수익률이 할인율보다 크면 경제성이 있다고 판단한다.

$$IRR: \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

B_t : Benefits at t
 C_t : Cost at t
 r : Discount rate (interest rate)
 n : Business analysis year
 t : Year of business

순현재가치란 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준년도의 현재가치로 할인하여 총 편익에서 총 비용을 제한 값이며, 순현재가치에 대한 상세수식은 식 (2)와 같다. 일반적으로 (순현재가치) ≥ 0 이면 경제성이 있다고 판단한다.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (3)$$

B_t : Benefits at t
 C_t : Cost at t
 r : Discount rate (interest rate)
 n : Business analysis year
 t : Year of business

2.4. 개략사업비(투자비) 산출

2.4.1. 개략사업비 산정 기본방향

개략사업비 산출시 기본방향은 객관성 확보를 위해 정부(환경부 등)에서 조사 및 공표한 개략사업비를 참고하여 산출하였다. 그러나 순수 및 초순수 개략사업비에 대해서는 기 조사 및 공표된 사업비 확인이 어려웠으며, 이를 보완하기 위해 산업체의 현황조사를 통한 초순수 공정에 대한 실적 공사비 또는 견적서를 접수하여 추정하였다.

전처리 공정에 대한 개략사업비는 수도시설 운영비 및 공사비 개략산정기준(2016, 환경부)을 적용하였다. 환경부에

서는 수도시설에 대해 운영비와 지방공기업 예산안 작성 지침의 비용항목을 바탕으로 수도시설의 공사비를 산정하였다. 최근 준공된 시설의 설계자료를 이용하여 취수, 정수, 가압장 및 배수지 시설로 구분하여 시설용량과 공사비간의 함수식을 도출하여 산정하였으며, 제정비 및 부가세를 포함한 총공사비 기준으로 낙찰율은 미반영되어 있다.¹⁹⁾

순수 및 초순수 공정 중 토목공사는 건설공사 표준시장단가 적용공종 및 단가(2018, 국토교통부)를 적용하였으며, 건설공사의 표준시장단가 적용대상 공종 및 단가에 관한 기준의 제공은 「국가를당사자로서하는계약에관한법률시행령」 제9조제1항 등의 법률 사항에 근거한다. 표준시장단가는 대표적이고 보편적인 공정을 기준한 것이다. 지반개량, 토공사, 콘크리트공사, 관공사, 배수공사 등의 공정들이 포함된다. 건축은 건설업자가 아닌 자가 시공하는 건설공사의 총공사금액 산정방식 검토(2010, 고용노동부)를 적용하여 물가지수를 반영하였다. 그 외 순수 및 초순수 공정의 기계/전기/계장 공사비와 폐수처리의 전기/계장 공사비에 대해서는 견적서를 참고하여 산출하였다. 견적서에 대해서는 각 공정별 기본용량에 대한 견적서를 접수하여 용량별 적용시는 직선보관법에 의해 용량의 증가분을 반영하였다. 또한, 폐수처리 공정 중 토목/건축/기계 공정은 하수도분야 보조금 편성 및 집행관리 실무요령¹²⁾ 자료를 참고하였다.

대수선비의 경우는 예비타당서조사지침 및 조달청 고시 기준 등을 참고하여 초순수 시설에 맞는 기준을 적용하였다. 토목/건축은 내용연수가 45년으로 사업기간이 20년을 고려하여 제외하였으며, 기계/전기/계장의 경우는 조달청 고시기준에 따른 내용연수를 적용하고, 그 외 해당이 되지 않는 시설에 대해서는 15년 주기를 적용하였다. Table 3은 유량에 따른 공정별 비용함수식을 나타낸 것이다.

2.4.2. 용량별 개략사업비 함수식 검토

용량별 개략사업비 함수식 도출의 기본방향은 기준이 되는 적정용량을 선정하고 전처리, 순서처리, 초순수처리, 폐수처리 공정별 기본공정을 모듈화하여 적용하여 각 공정별

Table 3. The Quantity (Q) & Cost (Y) function of process in construction

Item	The Quantity (Q) & Cost (Y) function		
	Pre-treatment	Puer water & upw	Wastewater treatment
Civil	$Y=2233.4 \times Q^{0.6189}$	MLIT	$Y=0.052 \times Q + 481.18$
Architecture	$Y=752.16 \times Q^{0.5984}$	MEL	$Y=0.0426 \times Q + 480.95$
Machine	$Y=712.54 \times Q^{0.6972}$	An estimate cost	$Y=0.2119 \times Q + 1810.8$
Electricity	$Y=1490.4 \times Q^{0.4751}$	An estimate cost	An estimate cost
Landscape	$Y=78.961 \times Q^{0.7560}$	An estimate cost	An estimate cost

* MLIT : Ministry of Land, Infrastructure and Transport
 MEL : Ministry of Employment and Labor

Table 4. Selection of alternatives for calculating the approximate cost of the project

Item	Pretreatment process	Purewater treatment process	Ultrapurewater treatment process	Waste water treatment process
Application method	1) Rapid filtering process 2) Sloping plate precipitation + rapid filtering process 3) Membrane process	1) SC+DG+SA+UV _{ST} +RO+UV _{OX} +MDG+EDI 2) SC+DG+SA+UV _{ST} +RO+UV _{OX} +MDG+MB 3) UV _{ST} +1 _{st} RO+2 _{nd} RO+UV _{OX} +MDG+EDI	1) UV _{OX} +MGD+MBP+UF	1) DAF+O ₃ 2) MLE
Plans	3	3	1	2

* SC : Strong Cation Exchanger, DG : DeGasifier, SA : Strong Anion Exchanger, UV_{st} : Ultraviolet sterilizer, UV_{ox} : Ultraviolet oxidation, MDG : Membrane DeGasifier, MB : Mixed Bed ion Exchanger, EDI : Electro Deionization, MBP : Mixed Bed Polisher, UF : Ultra Filtration, DAF : Dissolved Air Flotation, MLE : Modified Ludzack Ettinger

개략사업비를 산출하고자 한다. 반도체 공장의 경우 소규모 크린룸의 경우 사용량이 평균 5천 m³/d이며, 최근 크린룸이 대형화가 되면서 초순수 사용량이 3만 m³/d으로 증가하였다. LCD공장의 경우도 패널의 크기가 대형화 되면서 초순수 사용량이 증가하여 5만 m³/d의 용량을 기본으로 한다. 그럼으로 초순수 시설용량은 기존 설치된 시설용량을 참고하여 5천, 1만, 3만, 5만 m³/d으로 구분하여 산출하였다. 또한, 공정별 대안공정을 선정하여 모듈화 하여 전처리시설은 3개의 모듈, 순수처리시설 3개, 폐수처리시설 2개 모듈을 선정하여 대안공정에 대한 개략공사비를 산정하였다. 개략사업비 산출을 위한 대안공정선정은 위의 Table 4와 같다.

전처리시설은 선정된 대안 중 1안에 대한 시설용량별 공사비의 함수식을 검토한 결과 Fig. 2와 같이 추정되었다. 순수, 초순수처리시설도 선정된 대안 중 1안에 대한 시설용량

Fig. 2. Cost equations for the project cost by capacity of the pre-treatment process.

Fig. 3. Cost equations for the project cost by capacity of the pure water & UPW process.

Fig. 4. Cost equations for the project cost by capacity of the waste water treatment process.

Table 5. The Quantity (Q) & Cost (Y) function of process in construction

Item	The Quantity (Q) & Cost (Y) function		
	Pre-treatment	Puer water & upw	Wastewater treatment
Function	$Y = -9E-06 \times Q^2 + 1,538 \times Q + 8,938.7$	$Y = 4,1337 \times Q + 8,929.3$	$Y = -6E-07 \times Q^2 + 0,0961 \times Q + 1,049.9$

별 공사비의 함수식을 검토한 결과 Fig. 3과 같이 추정하였다. 폐수처리시설도 선정된 대안 중 1안에 대한 시설용량별 공사비의 함수식을 검토한 결과 Fig. 4와 같이 산정하였다. Table 5는 비용함수식을 나타낸 것이다.

2.5. 개략사업비(운영비) 산출 방안

2.5.1. 운영비 산정을 위한 기본방향

환경부에서는 수도시설에 대해 운영비와 지방공기업 예산안 작성지침의 비용항목을 바탕으로 운영비를 구성하여 인건비, 전력비, 약품비, 재료비, 경상수선비, 대수선비, 원정수구입비로 구분하여 항목별 운영비 산정에 대한 가이드라인을 제시하였다. 인건비는 수도시설 공사비 및 운영비 산정기준(환경부, 2017)의 운영인원을 적용하였다. 운영관리직 외에 행정관리직이 포함된 인력이며, 청원경찰 및 일용직 인력은 제외되었다. 또한 시설의 자동화 운전단계별로 운영, 관리인력을 산정할 수 있다. 제경비는 통상적인 수준으로 인건비의 50%를 적용하였다. 수선유지비는 토목 및 건축에 대해서는 공사비의 0.2 - 0.3%의 요율을 적용하였으며, 기계/전기

Fig. 5. Cost equation of chemical cost by capacity in semiconductor class UPW process.

Fig. 6. Cost Equation of electrical cost by capacity in semiconductor class UPW process.

/계장공사는 2.0%의 요율을 적용하였다. 또한, 초기 5년간은 신규시설임을 고려하여 수선유지비의 10~50%를 적용하였다.

약품비, 전력비는 실증플랜트의 실적 운영비를 적용하였다. 반도체용 초순수 시설의 용량별 약품비에 대한 비용함수식은 위의 Fig. 5와 같다. 반도체용 초순수 시설의 용량별 약품비에 대한 비용함수식에 대한 R^2 이 0.1649로 신뢰성이 없어 비용함수식의 사용이 부적합하여 각 공정별 약품사용량을 산정하여 산출하였다. 이온교환공정의 약품사용량과 역삼투공정의 약품사용량 등을 고려하여 산정하였다. 이는 각 공정별 특성에 따라 약품의 사용주기 및 특성을 고려하여 산출이 되어야 한다. 전력비에 대한 비용함수식은 위의 Fig. 6과 같다. 반도체용 초순수 시설의 용량별 전력료에 대한 비용함수식에 대한 R^2 값이 0.8766으로 신뢰성이 높은 것으로 사료되어 비용함수식을 반영하여 산출하였다.

Fig. 7. Cost equations for annual operating cost by capacity of the pre-treatment process.

Fig. 8. Cost equations for annual operating cost by capacity of pure and UPW process.

Fig. 9. Cost equations for annual operating cost by capacity of the waste water treatment process.

Table 6. The quantity (Q) & cost (Y) function of process in operation

Item	The Quantity (Q) & Cost (Y) function		
	Pre-treatment	Puer water & upw	Wastewater treatment
Function	$Y = -9E^{-05} \times Q^2 + 19,366 \times Q + 93952$	$Y = 269.69 \times Q - 203712$	$Y = 5,5826 \times Q + 70857$

2.5.2. 순수/초순수시설 연간 유지관리비 검토를 통한 용량별 운영관리비 함수식 검토

유지관리비에 대한 함수식 검토결과 전처리시설은 선정된 대안 중 1안에 대한 시설용량별 운영비의 함수식이 Fig. 7과 같이 추정되었다. 순수, 초순수처리시설도 선정된 대안 중 1안에 대한 시설용량별 운영비의 함수식을 검토한 결과 Fig. 8과 같이 추정하였다. 폐수처리시설도 선정된 대안 중 1안에 대한 시설용량별 운영비의 함수식을 검토한 결과 Fig. 9와 같이 산정하였다. Table 6은 비용함수식을 나타낸 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 개략사업비 산출 결과

3.1.1. 시설공사비 및 운영비 산출결과

초순수 1만 m³/d 생산을 위해 전처리 공정은 12,200 m³/d의 용량이 필요함으로 아래 Table 7과 같이 각 공정별 함수식에 시설 용량을 대입하여 공사비를 산출하고 물가지수를 반영하면 산출하였다. 전처리 공정에 필요한 공사비는 241억 원으로 산출하였다.

Table 7. The total cost for pre-treatment process by quantity (Q) & cost (Y) function

Item	Cost function	Construction cost in '15 (million won)	Price index	Construction cost in '17 (million won)
Civil	$Y = 2233.4 \times Q^{0.6189}$	10,503	1.03	10,857
Architecture	$Y = 752.16 \times Q^{0.5984}$	3,360	1.03	3,473
Machine	$Y = 712.54 \times Q^{0.6972}$	4,075	1.03	4,213
Electricity	$Y = 1490.4 \times Q^{0.4751}$	4,891	1.03	5,056
Landscape	$Y = 78,961 \times Q^{0.7560}$	523	1.03	540
Sum		23,354	1.03	24,139

Table 8. Project cost for puer water & ultrapure water, waste water process

Item	Calculation base	Cost (million won)	Reference
Civil	Area 4,200 m ² (60 m × 70 m)	1,447	MLIT
Architecture	Area 8,400 m ² (60 m × 70 m × 2nd)	5,135	MEL
UPW Machine	An estimate cost	35,897	
Electricity	An estimate cost	600	
Landscape	An estimate cost	7,179	
Sum		50,258	
Waste water process	An estimate cost	2,026	

* MLIT : Ministry of Land, Infrastructure and Transport
MEL : Ministry of Employment and Labor

Table 9. Schematic business expenses based on 10,000 m³/d of initial purity of semiconductor class

Item	Cost (million won)	Reference
Pre-treatment process	24,139	Table 7.
Puer water & UPW	50,258	Table 8.
Waste water treatment	2,026	Table 8.
Other cost	6,625	Design cost, compensation cost, etc.
Rrepair cost	38,119	
Sum	121,167	

Table 10. Annual operating cost of UPW process (based on 10,000 m³/d)

Item	Operating cost (million wons/year)
Personnel cost	671
Overhead cost	336
Maintenance cost	1,035
Equipment cost	111
Payment cost	48
Internet cost	34
Replacement cost	580
Subtotal	2,815
Chemical cost	870
Electricity cost	1,492
Waste disposal cost	157
Subtotal	2,519
Sum	5,364 (107,280 / 20years)

순수 및 초순수 공정에 대한 개략공사비는 Table 8과 같이 503억 원으로 산출되었으며 폐수처리 공정은 20억 원으로 산출되었다.

반도체급 초순수 기본공정에 대한 1만 m³/d 산정결과 공사비가 830억 원이며, 대수선비가 381억 원이다. 시설비용 전체 합계는 Table 9와 같이 1,211억 원으로 산정하였다.

초순수 유지관리비는 고정비와 변동비로 구분된다. 고정비는 인건비, 제정비, 수선유지비 등으로 구성이 되며 28.1억 원이며, 변동비는 약품비, 전력비, 폐기물처리비 등이며 25.2억 원이다. 고정비에 변동비를 더한 초순수 유지관리비의 총 금액은 Table 10과 같이 연간 53.6억 원이며, 사업기간이 20년으로 전체 기간의 유지관리비는 1,073억 원이다.

3.2. 재무성 평가 결과

3.2.1. 기본정보 및 재무성 평가 결과

공정별 산출된 사업비와 운영비를 기준으로 적정 공급단가 산정하였다. 제시된 사업비와 운영비를 기준으로 재무모델을 이용하여 적정공급단가를 산정하였다. 재무모델에서 민감도 분석 및 공급단가 산정을 위해 여러 지표(할인율, 공급율, 차입금 비중 등)의 변동에 따른 민감도 분석이 가능하도록 하였으며, 제시된 NPV나 B/C를 충족하는 공급단가를 산정할 수 있었다.

재무모델 구성을 위한 기본조건으로 할인율은 2.21%를 적용하였다. 이는 앞서 언급한바와 같이 공공기관(수자원공사 등)에서 투자 심사시 적용되는 할인율이다. 공급률은 시설 용량 1만m³/d을 초기년도에는 50% 수준에서 점차적으로 증가하여 3차년도부터는 100% 공급하는 것으로 하였다. 또한, 고순도 공업용수 생산을 위해 전처리 생산량은 122천 m³/d으로 하였으며, 운영기간은 20년으로 기준하였다. 운영기간은 현재 추진중인 산업용수 사업의 운영기간을 고려하여 20년으로 산출하였다. 산출기준에 대한 기본 정보는 아래 Table 11과 같다.

제시된 투자비 등의 자료에 근거하여 산정된 공급단가는 Table 12와 같이 3,517 ₩/m³으로 산정되었다. 시설비에 해당되는 공급단가는 1,913 ₩/m³이며, 운영비에 해당되는 공급단가는 1,604 ₩/m³이었다. 시설비와 운영비를 포함한 전체 공급 단가는 3,517 ₩/m³으로 계산되었다. 이는 원수를 취수하여 전처리, 순수 및 초순수공정을 거쳐 발생하는 폐수를 폐수처리하는 것까지를 포함하고 있으며, 전처리, 순수 및 초순수, 폐수처리공정의 운영비를 모두 포함한 공급단가이다.

Table 11. Basic information for financial model extraction

Discount rate	Supply rate	Pre-treatment production (m ³ /day)	UPW production (m ³ /day)	Period
2.21%	100%	12,200	10,000	20 years

Table 12. Results of the total cost estimation through financial model

The cost	Ultra-pure water total cost (won/m ³)
The cost for facility construction	1,913
Unit price for operating cost	Fixed cost 862 Variable cost 742
Sum	3,517

Table 13. Business feasibility analysis results through financial model

Discount rate (%)	NPV (million won)	B/C (-)	IRR (%)	Cost recovery year
2.21%	6,165	1.03	3.09%	2033

3.2.2. 사업성 분석결과

재무모델을 통한 사업성 분석결과 B/C는 1.03으로 1 이상의 값임으로 경제성이 있는 것으로 나타났으며, IRR은 3.09%로 0%보다 큰 값을 나타냄으로 경제성이 높은 것으로 사료된다. 또한, NPV는 6,165백만 원으로 0보다 큰 값을 나타냄으로 경제성이 있는 것으로 유추할 있다. 사업을 시작하여 투자된 현금이 회수되는 시점은 2033년으로 나타났다. 재무모델을 통한 사업성 분석결과 위의 Table 13과 같다.

3.3. 민감도 분석

3.3.1. 민간도 분석의 개요

아무리 치밀한 계획을 가지고 사업을 진행하더라도 예측하지 못한 기술적, 경제적 요인으로 인한 상황들이 불확실성하에 존재하게 됨으로 사업 분석 결과에 따라 많은 영향을 미칠 수 있다. 따라서 사업의 타당성을 평가하기 위해서는 사용되는 경제성 평가의 편익과 비용의 계산에서는 많은 불확실성이 내포되어 있어, 이에 대한 대처로 민감도 분석을 수행할 필요가 있다. 민감도 분석(sensitivity analysis)은 투자비나 경제성에 영향을 미칠 수 있는 중요한 변수, 예를 들어 총사업비, 운영비, 할인율 등에 대해서 각 변수가 일정량만큼 변화되었을 경우 경제성이 어떻게 변화하는지 파악하는 방법이다. 다음은 민감도 분석을 통하여 할인율의 증감, 비용, 편익의 증감에 따라 B/C 값이 어떻게 변화하는지를 검토하였다.

3.3.2. 할인율의 변화에 따른 민감도 분석

본 연구의 경우는 할인율에 대한 민감도 분석에서 적용한 할인율 2.21% 이하부터는 편익-비용비가 1을 상회하는 수치를 Table 14와 같이 보임으로써 재무성을 확보한다고 볼 수 있다. 이에 덧붙여, 현금흐름 할인모형에 의하여 투자안의 사업성을 평가하고 정책적 결정을 내리는데 있어서는 장기적인 금융환경의 변화와 물가동향을 포함하는 거시적 안목과 전망에 기초한 평가가 전제되어야 하기 때문에 이를 바탕으로 하는 면밀한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

Table 14. Sensitivity analysis result with variable discount rate

Unit	Discount rate	Current value of the total cost (million won)	Current value of the total benefits (million won)	B/C	NPV (million won)
Sensitivity analysis	0.21%	225,663	248,881	1.1	23,217
	1.21%	204,470	218,166	1.07	13,696
	2.21%	186,490	192,654	1.03	6,165
	3.21%	171,156	169,902	0.99	-1,254
	4.21%	158,009	150,901	0.96	-7,108

Table 15. Sensitivity analysis result with variable total cost

Unit	Discount rate	Current value of the total cost (million won)	Current value of the total benefits (million won)	B/C	NPV (million won)
Sensitivity analysis	-20%	149,192		1.29	43,463
	-10%	167,841		1.15	24,814
	0%	186,490	192,654	1.03	6,165
	10%	205,138		0.94	-12,484
	20%	223,787		0.86	-31,133

Table 16. Sensitivity analysis result with variable total benefits

Unit	Discount rate	Current value of the total cost (million won)	Current value of the total benefits (million won)	B/C	NPV (million won)
Sensitivity analysis	-20%		154,124	0.83	-32,366
	-10%		173,389	0.93	-13,101
	0%	186,490	192,654	1.03	6,165
	10%		211,920	1.14	25,430
	20%		231,185	1.24	44,696

3.3.3. 비용의 변화에 따른 민감도 분석

비용은 실제로 본 연구가 진행되었을 경우의 미래 상황을 완벽한 가정에 기반하여 사업계획을 수립하지는 않은 개략적인 추정치라고 할 수 있으며, 실제 사업수행시 다소 변동의 여지가 있는 부분이라고 할 수 있다. 또한, 실질적인 사업수행시 명확히 드러나는 부분인 만큼 비용의 변화에 따른 민감도 분석은 다른 요인의 변화에 따른 민감도 분석보다 중요하다고 할 수 있다.

사업 수행시 총사업비 및 운영비 등이 변동할 때 경제성 분석에 미치는 영향을 알아보기 위해 최적 대안에 대해 비용을 변화시켜 민감도 분석을 실시하였다. 비용의 변화에 따른 민감도 분석은 앞서 산정된 총비용을 $\pm 20\%$ 범위의 변화율에 대하여 수행하였으며, 분석결과는 Table 15와 같다.

분석의 결과, 최적 대안의 비용 변화에 대한 민감도 분석 결과, 비용이 10% 이상으로 증가할 때 편익/비용 비율이 1 이하로 되어 재무성이 없는 것으로 분석되었다.

3.3.4. 현재가치의 변화에 따른 민감도 분석

다음 Table 16은 편익을 $\pm 20\%$ 의 변화율에 대하여 민감도 분석을 수행한 결과이다. 최적 대안에 대해 편익의 변화에 대한 민감도 분석 결과, 편익이 10% 이상으로 감소할 때 편익/비용 비율이 1 이하로 되어 재무성이 없는 것으로 분석되었다.

3.4. 공급단가 적정성 결과 및 고찰

초순수 사업은 개별 기업체의 계약에 의해 위탁운영이 추진 되는 특성을 고려할 경우 공급단가는 사업의 핵심요소로 공개가 어려운 부분이다. 전체 공정에 대한 사업비의 비교는 어려웠으나, 이온교환공정에 대한 사업비 비교는 가능하였다. 해외사례의 경우 159 m³/h (3,815 m³/d) 개략사업비가

Table 17. Result of supply unit price re-estimation through financial model

Cost		Ultra-pure water total cost (₩/m ³)
Unit price for facility construction		907
Unit price for operating cost	Fixed cost	677
	Variable cost	700
Sum		2,284

9억 원으로 산출되었으며, 본 연구에서 수행한 이온교환공정의 6,100 m³/d에 대한 개략사업비는 14.5억 원으로 산출되어 두 경우를 비교하기 위한 사업비를 일 생산량기준으로 나눈 결과 237~239천 ₩/m³/d로 유사한 범위의 사업비가 산출되어 사업비 산출의 로직이 적정함을 알 수 있었다. 전체 공급단가의 적정성을 확인하기 위해 유사한 시설에 대한 공급단가를 국내외 사례 등을 조사한 결과 확인이 어려웠으나, 국내 추진중인 반도체용 초순수 공급 사업의 경우 개략 2,300 ₩/m³으로 조사되었다. 위에 제시된 공급단가와와는 차이가 발생 있었으며, 이는 산출조건이 상이하여 발생한 부분이라고 사료된다. 앞에서 조사된 공급단가는 전처리 및 폐수처리시설을 제외한 금액이다. 또한 전처리 시설에 대한 운영비도 제외한 값이다. 즉, 3,517 ₩/m³으로 제시된 공급단가는 원수를 취수하여 전처리시설 및 순수, 초순수 시설을 설치하고, 폐수처리시설까지를 포함한 공급단가이다. 이에 따라 재산출을 하면 Table 17과 같이 2,284 ₩/m³으로 산출되어 조사된 공급단가와 유사하게 도출되었다.

재무성 분석 이외에 경제성 분석이 있으나, 경제성 분석의 경우는 사업에 대한 편익을 사회적으로 편익에 대한 금액이 산정되어 있지 않다. 현실적으로 국가사업의 경우 용수편익에 대한 부분은 앞서 언급된 바와 같이 추가적인 고려를 위한 연구가 수반될 것으로 사료된다.

4. 결론

1) 본 연구는 맞춤형 고순도 공업용수 분야의 특수성으로 인해 공정 및 개략사업비, 공급단가 등의 접근이 어렵고 산출 결과의 공개가 어려운 산업용수 분야에 대해 재무성 평가를 연구한 사례로 이를 기반으로 한 맞춤형 고순도 공업용수 분야의 기반 자료로 활용이 가능토록 기여할 것으로 기대된다.

2) 반도체용 고순도 공업용수 1만 m³/d에 대한 할인을 2.21%를 적용하여 재무성 평가를 실시한 결과 공급단가를 3,517 ₩/m³으로 적용할 경우 편익/비용비 1.03, 순현재가치 6,165백만 원, 내부수익률 3.09%으로 경제성이 있는 것으로 판단되었다. 이는 원수를 취수하여 전처리, 순수 및 초순수, 폐수처리시설에 대한 시설공사비, 운영비를 포함한 공급단가로 현재 고순도 공업용수 사업의 사례와 비교하면 상당한 높은 공급단가이다.

3) 반도체용 고순도 공업용수 사업의 사례들을 확인하여 공정 등에 대해 현실적인 부분들을 고려한다면 공급단가는 2,284 ₩/m³~3,517 ₩/m³으로 예상된다.

4) 고순도 공업용수의 경제성 평가를 위해서는 고순도 공업용수에 대한 편익산출이 가능한 사회적 편익에 대한 부분이 연구되어야 할 것으로 판단된다.

5) 향후 용량별, 수질별 공급단가를 산출한다면 사업 추진을 위해 최적의 용량과 수질 등에 대한 연구를 수행하여 추가적인 대안을 도출한다면 사업 추진을 위한 소중한 자료가 될 것으로 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 국토교통부 플랜트연구개발사업의 연구비지원(과제번호 18IFIP-B116952-03)에 의해 수행되었습니다.

KSEE

References

- Lee, K. H., Lee, Y. J. and Lim, J. L., "Development of customized ultrapure water manufacturing technology for industrial use," *J. Korea Water Resources Association (Water and Future)*, **47**(5), 13~16(2014).
- Choi, B. S., Korea Agency for Infrastructure technology Advancement Home Page, <https://www.kaia.re.kr/portal/cargos/attachFileDown.do?foSeqno=2700&seqno=6727>, May(2013).
- Lee, K. H., Kim, D. G., Kwon, B. S. and Jung, K. S., "Study of the optimization process combination on the ultra-pure water treatment system," *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **38**(7), 364~370(2016).
- Lee, K. H., Kwon, B. S. and Jang, A., "Study on Prediction of Water Quality of Produced Water Considering Characteristics of Individual Process Design Factors for Ultrapure Water," *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **40**(7), 282~289(2018).
- Kim, J. K., Prefeasibility study for the waterworks project in the western part of Chungcheongnam-do, 1st ed., Korea Development Institute, Sejong, pp. 222~230(2017).
- Lee, J. S., Park, S. Y., Ryu, M. H. and Yoo, S. H., "Economic Value of Industrial Water Use," *J. Korea Water Resour. Assoc.*, **45**(4), 373~381(2012).
- Kim, G. H., Yi, C. S., Lee, S. W. and Shim, M. P., "Estimation of Industrial Water Supply Benefits Using Production Function Approach," *J. Korea Soc. Civil Eng.*, **29**(2B), 173~179(2009).
- Kim, G., Kim, D. H., Kim, K. T. and Kim, H. S., "Study on Economic Value and Variance on Water Supply in Industrial Complexes," *J. Wetlands Res.*, **20**(2), 190~199(2018).
- Hwang, M. H., Han, D. S. and Kim, I. S., "Estimation of Water Production Cost from Seawater Reverse Osmosis (SWRO) Plant in Korea," *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **39**(4), 169~179(2017).

10. Frederick, R. J., Design Manual : Removal of Arsenic from Drinking Water by Ion Exchange, Rubel Engineering, Inc., Arizona, pp. 1~20(2003).
11. Beardsley, S. S., Dow Chemical USA Home Page, http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_0030/0901b803800300cb.pdf?filepath=liquidseps/pdfs/noreg/609-00182.pdf&fromPage=GetDoc, June(2003).
12. Ministry of Environment, Guidelines for Preparation and Implementation of Sewage Grants in Sewage Sector, ME, Sejong, pp. 1~10(2018).
13. William McGivney. and Susumu Kawamura., Cost estimating manual for water treatment facilitise, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, pp. 131~133(2008).
14. Voutchkov, N., Desalination Engineering Planning and Design, The McGraw-Hill Companies, Inc., pp. 623~629(2013).
15. Choi, J. P., PreFeasibility Study for the Industrial Water Supply Project in Daesan, Korea Development Institute, Sejong, pp. 202~208(2018).
16. Korea Development Institute, Modification and supplementation of general guidelines for conducting prefeasibility surveys, 5 ed., KDI, Sejong, pp. 1~20(2008).
17. Korea Development Institute, A Study on the Prefeasibility Study for Water Resources Sector Projects, 4 Ed., KDI, Sejong, pp. 120~141(2008).
18. Korea Development Institute, Guidelines for Estimating the Benefits of Industrial Water Supply of a study on the Preliminary Feasibility Study for Water Resources Sector Projects, 4 Ed., KDI, Sejong, pp. 1~4(2011).
19. Ministry of Environment, Criteria for calculating construction and operating cost of waterworks, ME, Sejong, pp. 1~10(2017).
20. Kwon, B. S. and Lee, H. G., The research of Based on Technology for Pure and Ultrapure water treatment plant, K-water, Deajeon, pp. 50~62(2011).