

# 청주정수장 수돗물 생산 전과정의 환경성 평가 ; 수돗물 이용형태별 비교

나광주 · 양해진 · 변일환 · 김종숙 · 정용문  
한국수자원공사 충청지역본부

## Life cycle assessment of Tap water treatment process ; A Comparison of Tap water, Industrial water and Bottled water

Na Kwang-ju · Yang Hae-jin · Byun Il-hwan · Kim Jong-suk · Jung Yong-moon  
Chungju Water Supply Regional Headquarters, Korea Water Resources corporation

### Abstract

This study is about practicing LCA on the Cheongju water treatment plant to produce drinking tap water, industrial tap water and bottle water. The environmental impact categories used is Abiotic Resource Depletion, Global Warming Potentials, Ozone Depletion Potentials, Acidification Potentials, Eutrophication Potentials, Photochemical Oxidant Creation Potentials, Freshwater aquatic ecotoxicity potentials, Terrestrial ecotoxicity potentials, Human toxicity potentials. As a result of LCA, the impact category that has the most environmental burden to produce clean water is Abiotic Resource Depletion potentials. The most burdening stage in the entire production and supply system of tap water(drinking, industrials) is transporting process of dehydrated sludge and chemicals. The most burdening stage in the bottle water production and supply system is PET bottle production and transporting process of bottle water injection and packaging. It is important for Cjeongju WTP to shorten the transport distance for reducing environmental impact.

Key word : LCA, drinking tap water, industrial tap water, bottle water, Abiotic resource depletion, transportation process of dehydrated sludge

### 요약문

본 연구에서는 청주정수장의 수돗물 생산 전과정에 걸친 환경성을 전과정평가(Life Cycle Assessment) 기법을 통하여 평가하였다. 대상제품은 청주정수장에서 생산하는 생활용수와 공업용수, 병물의 세 가지 제품이며 본 연구에서 고려한 환경영향 범주는 자원고갈, 지구온난화, 오존층

고갈, 산성화, 부영양화, 광화학산화물생성, 담수생태독성, 토양생태독성, 인간독성의 9개 영향범주이다. 전과정 영향평가 결과 자원소모 영향이 전체 환경영향 중에서 가장 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 생활용수와 공업용수의 생산 전과정에서 각 영향범주에 대하여 가장 많은 영향을 미치는 공정은 탈수공정으로 이는 배출수 처리과정에서 발생하는 슬러지의 운송에 의한 영향이 가장 큰 것으로 분석되었다. 또한 병물의 생산과정에서는 PET병의 생산 및 수송과정이 주요 환경부하의 원인이 되는 공정인 것으로 나타났다. 청주정수장의 수돗물 생산과정에서의 환경성을 개선하기 위해서는 슬러지 및 화학약품의 수송거리를 단축하는 것이 가장 시급한 과제인 것으로 판단된다.

주제어 : LCA, 전과정 환경성 평가, 수돗물, 공업용수, 병물, 자원고갈, 슬러지 운송

## 1. 연구의 배경

최근 지속가능 경영의 환경부문에 있어 과거와는 다르게 제품 중심의 관리, 즉 제품의 전과정에 걸친 모든 과정에 대해 관리하는 체제로 전환하고 있어 제품의 전과정 측면에서의 관리는 사업장에서 고려해야 할 기본적인 요소가 되었다.

또한 국제적으로 산업화, 도시화, 화석연료 사용의 확대에 따라 온실가스가 증가하면서 지구온난화와 기후변화가 가속되고 있으며 이러한 변화 추이와 과급영향이 점차 뚜렷해지면서 2007년 12월 UN 기후변화 당사국 총회에서는 교토의정서 만료 이후의 Post 2012 체제를 만들기 위한 '발리 로드맵'을 채택했다. 여기에는 과거 선진국에 한정되었던 온실가스 감축 의무를 2013년부터 전 세계 국가로 확대시키는 내용이 담겨 있다. 우리나라에서도 이제 기후변화가 초미의 관심사로 부상하고 있는 것이다. 최근에는 이러한 기후 변화를 전략적 이슈로 보고 새로운 경쟁 우위의 확보 차원에서 활용하려는 노력도 나타나고 있다. 탄소배출권 시장의 본격 활성화, 대체에너지 등 각종 관련 신사업이 호조를 보이고, 다양한 산업에서 기

후 변화로 인해 기존 경쟁구도가 변화하는 조짐이 나타나고 있다. 국내 기업들은 교토의정서 체제 하에서부터 기후변화협약 이행을 위한 작업을 진행하였으나 그동안은 의무감축량 부과 없었기 때문에 시간적 여유가 있었지만 앞으로는 구체적인 감축 스케줄이 마련된다는 점에서 속도를 높여야 할 상황이다.

현 시점에서는 인벤토리(배출목록) 구축을 통해 배출량을 산정하는 데에 주력하고 있다. 인벤토리는 온실가스 감축에 필요한 가장 기초 자료가 되는 만큼 기후변화협약에 대응하는 기업들이 반드시 갖춰야 할 작업 가운데 하나이다. 이러한 기업 및 제품에 대한 인벤토리 구축을 위한 방법론으로 주목받고 있는 방법론 중의 하나가 바로 전과정평가라는 점에서 이번 수돗물 전과정평가 수행은 기후변화 대응을 위한 국가 차원의 활동에도 발 빠르게 대응할 수 있도록 하는 중요한 활동이라고 여겨진다.

## 2. 청주정수장 전과정 환경성 평가

### 2.1 목적 및 범위

#### 2.1.1 대상제품, 기능 및 기능단위

본 연구의 평가대상은 한국수자원공사 충청

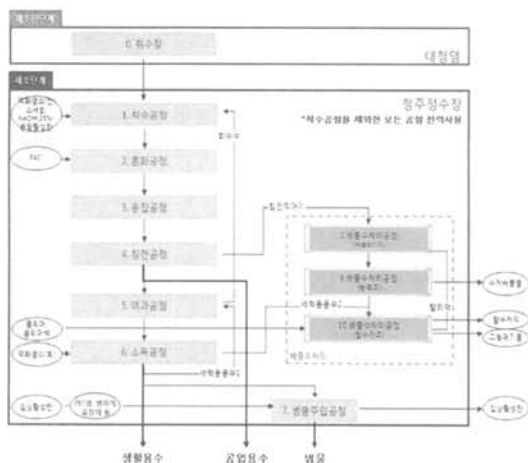
지역본부 청주정수장에서 생산하고 있는 생활용수, 공업용수, 병물이며 각 제품에 대한 기능 및 기능단위, 기준흐름은 다음과 같다.

<표 1> 기능, 기능단위 및 기준흐름

제품	기능	기능단위	기준흐름
생활용수	음용에 적합하게 처리한 정수로서의 기능	생활용수 1m <sup>3</sup> 생산	생활용수 1m <sup>3</sup>
공업용수	공업용에 적합하게 처리한 정수로서의 기능	공업용수 1m <sup>3</sup> 생산	공업용수 1m <sup>3</sup>
병물	음용에 적합하게 처리한 정수의 휴대기능	병물 1m <sup>3</sup> 생산	병물 1m <sup>3</sup>

### 2.1.2 시스템 경계 설정

본 연구의 대상인 생활용수, 공업용수 및 병물 생산에 대한 시스템 경계는 제조 전 단계와 제조 단계로 구분되며, 각 단계의 수송 공정을 포함한다. 제조 전 단계는 원료물질을 정수장으로 이송하는 과정이며 제조단계는 수돗물 제조의 주요 공정인 정수공정과 병물생산공정, 정수과정에서 배출되는 폐수를 처리하는 배출물 처리공정으로 구분된다. 각 단계별 포함되는 단위공정의 기능은 다음과 같다.



<그림 1> 대상제품(생활용수, 공업용수, 병물) 전과정평가 시스템 경계

- 취수장 : 하천, 저수지 또는 호소 등에서 원수를 끌어들이는 시설
- 착수공정 : 물의 흐름을 안정시키고 수량을 조절.
- 혼화공정 : 원수와 응집제를 빠르게 혼합하는 공정
- 응집공정 : 원수 중 불순물과 응집약품이 결합하여 플러크를 형성하는 곳.
- 침전공정 : 응집단계에서의 플러크를 중력 침강시켜 제거하는 공정. (공업용수 생산)
- 여과공정 : 침전 이후 남은 미세플러크를 모래나 자갈 등을 이용하여 최종적으로 제거하는 공정
- 소독공정 : 여과수에 후염소를 주입하여 병원성미생물을 살균하는 공정. (생활용수 생산)
- 병물생산공정 : 생활용수의 일부를 끌어와 PET병에 주입, 포장하는 공정
- 배출수처리공정(배슬러지지) : 역세척 배출수와 슬러지를 받아들여, 배출량의 시간적 변화를 조정.
- 배출수처리공정(농축조) : 슬러지를 농축시키는 것을 목적으로 농축처리와 재응집 처리가 이루어짐.
- 배출수처리공정(탈수건조) : 농축슬러지에서 수분을 감소시켜 최종 처분방법에 적합한 성상이 되도록 하거나, 용적과 수분을 감소시켜 운반 등 취급이 편리하도록 하는 공정

청주정수장은 대청취수장과 현도취수장 두 곳에서 각각 하천수가 유입되고 있으며 1단계와 2단계로 구분하여 2개의 정수장에서 수돗물을 생산하고 있다. 그 중 1단계에서는 침전공정까지 거친 정수 중 일부를 공업용수로 활용하고 나머지량은 생활용수로 생산하고 있고, 2단계에서는 유입수 전량을 생활용수로 생산한

다. 그래서 본 연구에서는 2개의 정수장에 투입, 배출되는 물질량 데이터를 모두 수집하여 각 단위공정별로 합산하였다. 또한 청주정수장은 지대가 높아 가압공정이 따로 없이 배수지까지 수돗물을 흘려보내며 수돗물을 받아서 사용하는 곳에서 필요할 경우 자체적으로 펌프를 운영하고 있는 상황이고 이렇게 개별적으로 운영되고 있는 펌핑공정은 여러 곳에 산재하고 있어 현실적으로 데이터를 수집할 수 없는 관계로 시스템경계에서 가압공정을 제외하였다.

### 2.1.3 제외기준

본 연구에서는 별도의 제외기준 없이 모든 투입물(100%)을 고려하였다.

### 2.1.4 데이터 범주

본 전과정평가를 위해 수집되어야 할 데이터 범주에는 원료물질/보조물질, 에너지, 제품 및 부산물, 수계배출물, 폐기물 등이 있다.

<표 2> 데이터범주표

데이터 범주	세부항목	
투입물	원료 물질	유입수(하천수)
	보조 물질	폴리염화알루미늄(PACl), 액화염소, 소석회, 분말활성탄, 폴리머 A-601P, 포장재(한쪽 면이 코팅된 Kraft지), 입상활성탄, PET, HDPE, OPP, 포장박스, 포장용 노끈(PE), 날인용 잉크, 포장박스용 접착제
	에너지 및 용수	전력
산출물	제품 및 부산물	생활용수, 공업용수, 병물
	대기 배출물	해당사항 없음
	수계 배출물	BOD, COD, SS, 방류수
	고형 폐기물	탈수케익, 폴리머 포장재(한쪽 면이 코팅된 Kraft지), 포장박스, 포장용 노끈, 입상활성탄

### 2.1.5 데이터 품질요건

데이터의 필수적인 품질요건인 지역적 범위, 시간적 범위, 기술적 범위를 전과정 단계별로 설정하였다. 시간적 범위는 2006년 1월~12월 까지 일 년 동안 청주정수장으로 유입된 원부자재의 양을 기준으로 하였으며, 지역적 범위 및 기술적 범위는 각각 청주정수장과 화학약품의 납품업체인 우리나라 10개 업체와 그들의 현재 기술을 기준으로 하였다.

### 2.1.6 할당

본 대상제품의 전과정평가 과정에서 할당이 이루어진 항목은 제품인 생활용수, 공업용수 및 병물과 제조 단계의 전력사용량이다. 청주정수장에서는 두 곳의 정수장에서 각 단위공정을 거치면서 침전공정까지 거친 정수의 일부분을 공업용수로 사용하고 나머지는 여과 및 소독공정까지 거쳐 생활용수로 생산하고, 생활용수 중의 일부를 병물생산공정에 사용하고 있으므로 생활용수와 공업용수, 병물의 생산량 비율(0.73794 : 0.26201 : 0.00005)로 데이터를 할당하였다.

### 2.1.7 영향평가 방법론 선정

본 전과정평가에서의 영향평가 방법론은 환경성적표지 제도에서 적용하고 있는 영향평가 방법론(자원소모, 지구온난화, 오존층영향, 산성화, 부영양화, 광화학산화물생성)을 사용하고 이 방법론에 독성영향범주(토양생태독성, 담수생태독성, 인간독성)를 추가하여 전과정 영향평가를 수행하였다. 또 특성화 정규화, 가중화의 모든 단계를 수행하였으며, 가중화의 경우 모든 영향범주의 중요도를 '1'로 보고 수행하였다.

### 2.1.8 가정 및 제한사항

- 모든 물(유입수, 폐수 등)의 비중은 '1'로 가

정함.

- 수집된 모든 현장 데이터 및 계산 데이터는 소수점 둘째자리까지 정리함.
- 유입수와 생활용수, 공업용수, 병물의 물질수지(mass balance) 검증 기준은 대상제품인 생활용수, 공업용수 및 병물의 생산량으로 각각 설정하였으며 원료물질인 유입수를 역추적하여 계산함.
- 전력 데이터는 1년간의 실측치를 바탕으로 각 단위공정별 사용기기의 출력 및 사용시간 등을 활용하여 단위공정별로 할당함.
- 투입되는 화학약품 중 25% 수산화나트륨의 경우 일반데이터가 50%만 존재하므로 영향계산 시에 50% 수산화나트륨의 사용량으로 환산하여 계산함.
- 착수공정 및 소독공정에서 액화염소가 사용되고 있으나, 일반 데이터베이스는 염소가스에 대한 데이터만 존재하므로 이를 유사 데이터베이스로 연결함.
- 폴리머(A-601P)는 아크릴아미드와 아크릴산의 공중합체 고분자물질이나 일반 데이터가 폴리아크릴아미드(PAA)만 존재하므로 이를 유사 데이터베이스로 연결함.
- PACI의 수송은 27톤 트럭으로 수송하고 있으나 일반 데이터가 23.1~25톤까지의 데이터만 존재하므로 이를 유사 데이터베이스로 연결함.

## 2.2 전과정 목록분석

본 전과정평가의 공정흐름도와 단위공정은 시스템 경계에서 설정한 <그림 1>와 같다. 데이터 수집은 2006년도 데이터를 대상으로 실시하였으며, 현장 데이터는 청주정수장에서 실제 관리하고 있는 2006년도 일일유량정보, 화학약품사용량, 슬러지처리실적, 수계배출물 2006 확정예정배출량 등의 데이터를 바탕으로 수집하

였다. 실측 데이터 수집을 원칙으로 하였으나 실측 데이터 수집이 어려운 경우에 대해서는 실측치를 바탕으로 한 계산치 또는 문헌치 등을 활용하였다.

일반데이터 중 청주정수장에서 사용하는 화학약품에 대한 데이터는 환경부에서 구축한 데이터베이스를 확보할 수 있었다. 가성소다(NaOH 25%)와 폴리머의 경우는 MSDS 등의 구성성분을 확인한 결과 환경부의 데이터베이스 중 유사 데이터베이스를 수집하여 활용하였다. 다만 폴리머의 포장재인 한 면이 코팅된 크라프트지와 병물생산공정에서 투입되는 OPP Film, 포장용 노끈(PE)은 국내에 구축된 데이터베이스가 없어서 해외 데이터베이스 (BUWAL, APME)를 수집하였다. 또한, 병물생산공정에서 사용되는 날인용 잉크와 접착제는 현장 데이터와 해당 업체의 의뢰하여 화학물질에 대한 MSDS 데이터 등을 수집하였으나, 업체 기밀상 구성성분에 대한 정확한 데이터를 수집하는 것이 불가능하여 데이터갭으로 처리하였다.

## 2.3 전과정 영향평가

### 2.3.1 생활용수/공업용수

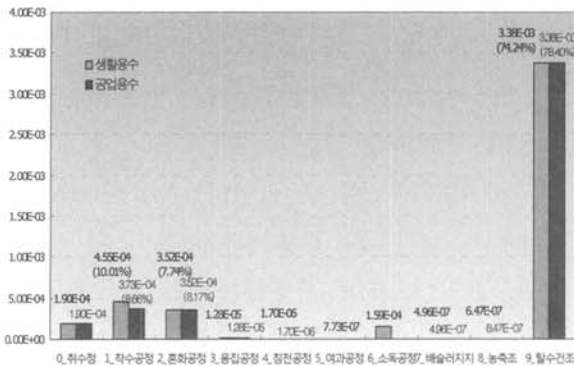
#### 2.3.1.1 특성화

본 연구에서는 자원소모를 비롯한 9가지 영향범주를 선정하여 영향평가 결과를 도출하였으며 각 영향범주별 특성화 결과는 다음과 같다.

#### (1) 자원소모

생활용수/공업용수 모두 자원소모 영향범주에서는 탈수건조공정, 착수공정, 혼화공정에 의한 환경영향이 높게 나타났다. 생활용수 74.24%, 공업용수 78.40%를 차지한 탈수공정에서의 영향은 탈수공정에서 배출되는 슬러지수송에 의한 것으로 분석되었으며, 착수공정과 혼화공정 역시 공정에 투입되는 활성탄, 염소

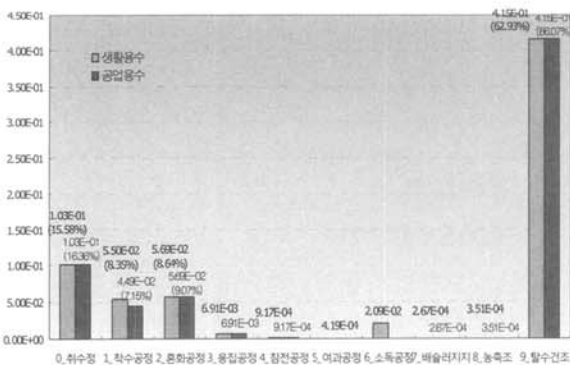
등 화학약품의 수송 시에 발생하는 환경영향이 큰 것으로 나타났다.



<그림 2> 생활용수/공업용수 단위공정별 자원소모 특성화 결과 (단위:l/yr)

(2) 지구온난화

지구온난화 영향범주에서는 탈수건조 공정이 전체 지구온난화 영향 중 생활용수 62.93%, 공업용수 66.07%로 가장 높은 영향을 나타내었으며, 취수장에서의 영향이 생활용수 15.58%, 공업용수 16.36%로 두 번째로 큰 영향을 보였다. 다른 영향범주에서의 주된 요인은 수송과정에서 기인하나 지구온난화 영향에서는 전력의 사용(이산화탄소 배출) 또한 큰 영향을 미치기 때문에 전력의 사용량이 많은 취수장에서의 환경영향이 크게 나타난 것이다.



<그림 3> 생활용수 단위공정별 지구온난화 특성화 결과 (단위:kg-CO<sub>2</sub> eq.)

(3) 오존층영향

오존층 영향 범주에서는 탈수건조공정이 전체 생활용수 환경영향 79.40%, 공업용수 83.96%를 차지하고 있으며 착수공정은 생활용수 10.51%, 공업용수 9.15%로 두 번째로 높은 환경영향을 나타내었다. 탈수공정에서의 환경영향 원인은 탈수공정에서 배출되는 슬러지 수송에 의한 영향 때문이다. 또한 착수공정에서도 마찬가지로 공정에 투입되는 염소와 활성탄의 수송에 의한 환경영향이 큰 것으로 나타났다.

(4) 산성화

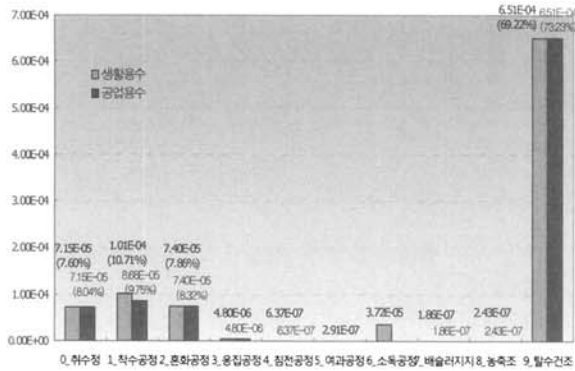
산성화 영향범주에서는 전체 생활용수 환경영향의 69.71%, 공업용수의 74.10%가 탈수건조공정에 의한 것이었으며 착수공정에 의한 환경영향은 생활용수 12.67%, 공업용수 12.07%를 차지하였다. 탈수건조 공정에서의 주요 원인은 탈수공정에서 배출되는 슬러지 수송에 의한 것으로 나타났으며, 착수공정에서의 환경영향 원인은 혼화공정에서 투입되는 염소와 활성탄, 소석회 등 화학약품의 수송 시에 환경영향이 많이 발생하는 것으로 분석되었다.

(5) 부영양화

부영양화 영향범주에서는 전체 생활용수 영향 중 71.43%, 공업용수 중 76.07%가 탈수건조 공정에서, 생활용수 12.77%, 공업용수 12.21%는 착수공정에 의한 것으로 나타났다. 탈수건조 공정에서의 환경영향은 슬러지 수송 과정에서 발생한 것으로 나타났다. 착수공정에서의 환경영향 또한 착수공정에서 투입되는 염소, 소석회, 활성탄 등 화학물질의 수송에 의한 영향이 대부분인 것으로 나타났다. 또한 취수장에서의 환경영향도 나타났는데, 이는 전력생산시 대기로 배출되는 Nitrogen oxides(NOx)의 영향 때문이다.

(6) 광화학산화물생성

광화학산화물생성 영향범주에서는 탈수건조 공정이 생활용수 69.22%, 공업용수 73.23%로 가장 많은 환경영향을 나타내었고 착수공정에서도 생활용수 10.71%, 공업용수 9.75%의 환경영향을 차지하였다. 또한 혼화공정과 취수장에서 환경영향도 비슷한 비율로 나타났다. 가장 큰 영향을 보이는 탈수건조 공정에서는 슬러지 수송이 주요 원인이며 착수공정의 경우에도 투입되는 화학물질들의 수송과정에서의 환경영향이 큰 것으로 분석되었다.



<그림 4> 생활용수 단위공정별 광화학산화물생성 특성화 결과 (단위:kg-C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq./f.u.)

(7) 토양생태독성

토양생태독성 영향범주에서도 마찬가지로 탈수건조 공정에서의 환경영향이 생활용수 78.70%, 공업용수 80.53%로 가장 많은 부분을 차지하였다. 또한 착수공정과 혼화공정에서의 환경영향도 각각 생활용수 10.42%와 6.95%, 공업용수 13.04%와 6.43%를 차지하는 것으로 나타났다.

(8) 담수생태독성

담수생태독성 영향범주에서는 탈수건조 공정에서의 환경영향이 생활용수 79.34%, 공업용수 83.90%로 가장 많은 부분을 차지하였다. 이는

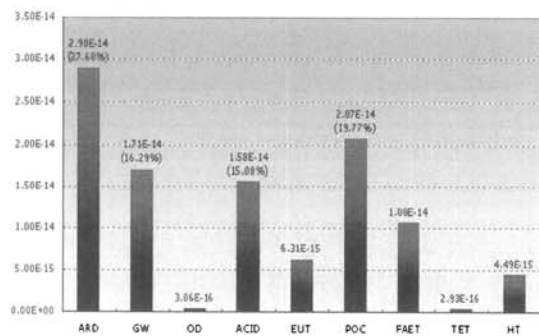
슬러지 수송에서 기인한 것이다. 또한 착수공정과 혼화공정에서의 환경영향도 각각 생활용수 10.51%와 6.52%, 공업용수 9.61%, 6.91%를 보이고 있고 이는 공정에 투입되는 염소, 소석회, 활성탄, PAC 등 화학약품을 수송하는 과정에서 발생하는 환경영향이 큰 것으로 분석된다.

(9) 인간독성

인간독성 영향범주에서도 탈수건조 공정에서의 환경영향이 생활용수 79.13%, 공업용수 80.54%로 가장 많은 부분을 차지하였다. 마찬가지로 슬러지 수송에 의한 영향으로 나타났다. 또한 착수공정과 혼화공정에서의 환경영향도 각각 생활용수 10.52%와 6.76%, 공업용수 13.03%와 6.43%를 나타내었고, 염소, 소석회, 활성탄, PAC 등 화학약품을 수송하는 과정에서 발생하는 환경영향이 큰 것으로 나타났다.

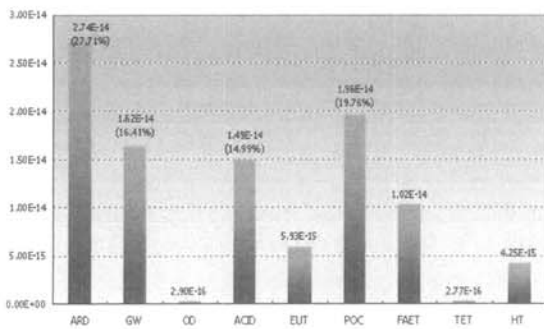
2.3.1.2 정규화 및 가중화

특성화 결과는 각 영향범주별 단위가 각각 상이하므로 영향범주 간 환경영향의 비교가 불가능하므로 정규화와 가중화를 실시하여 영향범주별 환경영향 기여도를 살펴보았다.



<그림 5> 생활용수 정규화 및 가중화 결과 (ARD : 자원소모, GW : 지구온난화, OD : 오존층 영향, ACID : 산성화, EUT : 부영양화, POC : 광화학산화물생성, FAET : 담수생태독성, TET : 토양생태독성, HT : 인간독성)

생활용수 1m<sup>3</sup>를 생산할 때 발생하는 환경영향에 대한 9개 영향범주 간 기여도를 분석한 결과 자원소모가 27.68%로 가장 큰 환경부하를 가지는 것으로 나타났다. 그 다음으로는 광화학 산화물 생성(19.77%), 지구온난화(16.29%), 산성화(15.08%), 담수생태독성, 부영양화, 인간독성, 오존층영향, 토양생태독성 범주의 순으로 환경에 영향을 미치는 것으로 나타났다.



<그림 6> 공업용수 정규화 및 가중화 결과 (ARD : 자원소모, GW : 지구온난화, OD : 오존층영향, ACID : 산성화, EUT : 부영양화, POC : 광화학산화물생성, FAET : 담수생태독성, TET : 토양생태독성, HT : 인간독성)

공업용수 1m<sup>3</sup>를 생산할 때 발생하는 환경영향에 대한 9개 영향범주 간 기여도를 분석한 결과 자원소모가 27.71%로 가장 큰 환경부하를 가지는 것으로 나타났다. 그 다음으로는 광화학산화물생성(19.76%), 지구온난화(16.41%), 산성화(14.99%), 담수생태독성 부영양화, 인간독성, 오존층영향, 토양생태독성 범주의 순으로 환경에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

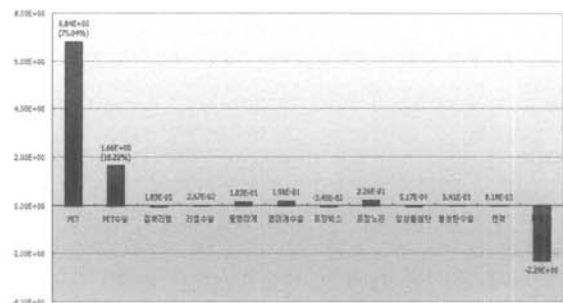
### 2.3.2 병물

#### 2.3.2.1 특성화

##### (1) 자원소모

자원소모 영향범주에서는 병물생산공정에서의 환경부하가 전체의 99.94%로 대부분을 차지하였다. 이는 병물생산공정에서 투입되는

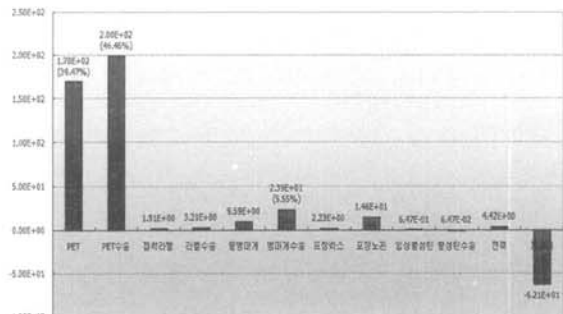
PET 병을 생산하는 과정에서의 환경부하가 전체의 75.04%로 가장 많은 영향을 나타내었으며 PET 병을 수송하는 과정에서의 환경영향도 18.22%를 차지하였다. 이는 병물의 기준생산량 대비 투입되는 PET병의 질량이 전체의 50% 이상의 많은 부분을 차지하고 있어 환경영향에도 큰 비중을 차지한 것으로 보이며, PET 생산과정에서 발생하는 Crude Oil, Natural gas의 소모가 주요 환경영향 원인물질인 것으로 분석되었다.



<그림 7> 병물생산공정 자원소모 특성화 결과 (단위:1/yr)

##### (2) 지구온난화

지구온난화 영향범주에서도 병물생산공정에서의 환경영향이 99.83%로 나타나 다른 공정에서의 환경부하는 상대적으로 거의 보이지 않았다. 병물생산공정에서의 환경영향은 PET병의 수송에 의한 영향이 46.46%로 가장 많은 영향일 나타내었으며 PET병에 의한 영향도 37.47%를 차지하였다.



<그림 8> 병물생산공정 지구온난화 특성화 결과 (단위:kg-CO<sub>2</sub> eq.)



(3) 오존층영향

오존층영향 범주에서도 병물생산공정에서의 환경영향이 99.94%로 모든 환경영향을 차지하였다. 병물생산공정에서의 환경영향 역시 PET 병에 의한 영향이 76.78%로 가장 많은 부분을 차지하였으며 이는 PET병의 생산 시에 대기 로 배출되는 Halon-1301이 주요 영향물질인 것으로 분석되었다.

(4) 산성화

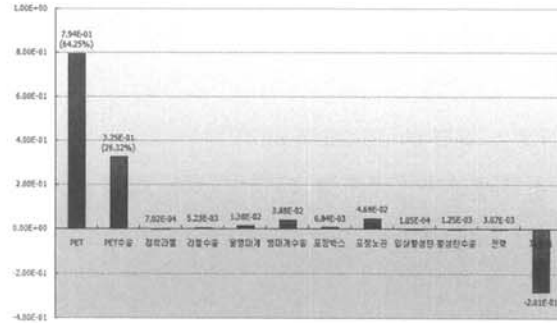
산성화 영향범주에서의 환경영향 역시 병물 생산공정에서의 환경영향이 99.91%를 차지하는 것으로 나타났다. PET 수송에 의한 영향이 69.20%로 가장 큰 것으로 나타났고, 이는 PET 병의 트럭 수송을 위해 필요한 연료의 생산 및 수송과정에서 대기로 배출되는 Nitrogen oxides(NOx)와 Sulfur dioxide(SO<sub>2</sub>)가 주요 환경원인물질인 것으로 나타났다.

(5) 부영양화

부영양화 영향범주에서도 병물생산공정에 의한 영향이 전체의 99.91%로 거의 모든 영향을 차지하였다. 이는 PET병의 수송에 의한 영향이 72.83%로 가장 많은 부분을 차지하였다. 그 다음으로는 PET 병의 생산에 의한 영향이 14.42%로 나타났다.

(6) 광화학산화물생성

광화학산화물생성 범주에서의 환경영향도 병물생산공정에서의 환경영향이 99.91%로 나타났으며 다른 공정은 전체 환경영향에 극히 미미한 영향만을 보였다. PET 병에 의한 영향이 64.25%로 가장 큰 것으로 나타났다. 그리고 PET 병의 수송에 의한 영향이 26.32%로 두 번째로 많은 영향을 나타내었다.



<그림 9> 병물생산공정 광화학산화물생성 특성화 결과 (단위:kg-C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-eq./f.u.)

(7) 토양생태독성

토양생태독성 영향범주에서의 환경영향은 병물생산공정에서의 영향이 99.94%를 차지하였고 다른 공정에서의 환경영향은 상대적으로 거의 보이지 않고 있다. 원인은 영향은 PET병의 생산에 의한 영향이 72.33%로 가장 많은 것으로 나타났다. 그리고 PET병의 수송에 의한 영향이 17.08%로 두 번째로 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

(8) 담수생태독성

담수생태독성 영향범주에서도 병물생산공정에서의 환경영향이 99.94%를 차지하였고 PET병에 의한 영향이 77.68%로 가장 큰 것으로 나타났다. 이러한 환경영향의 원인이 되는 물질은 PET 병을 생산하는 과정에서 수계로 배출되는 Phenol, Nickel(Ni) PAH(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) 등의 물질과 대기로 배출되는 Vanadium(V) 등인 것으로 분석되었다.

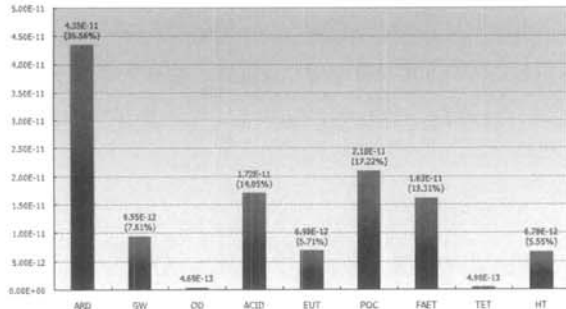
(9) 인간독성

인간독성 영향범주에서의 환경영향 역시 병물생산공정에서의 환경영향이 99.94%로 거의 전부이다. 인간독성 영향은 PET병에 의한 영향이 77.67%로 가장 큰 것으로 나타났으며 그

다음으로는 PET 수송에 의한 영향이 19.23%를 차지하였다.

### 2.3.2.2 정규화 및 가중화

병물 생산공정에서의 환경영향에 대한 정규화 및 가중화 결과는 다음과 같다.



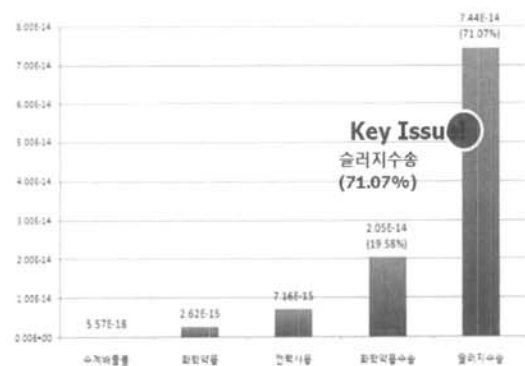
<그림 10> 병물 정규화 및 가중화 결과

(ARD : 자원소모, GW : 지구온난화, OD : 오존층영향, ACID : 산성화, EUT : 부영양화, POC : 광화학산화물생성, FAET : 담수생태독성, TET : 토양생태독성, HT : 인간독성)

## 2.4 전과정 해석

### 2.4.1 주요 이슈 규명

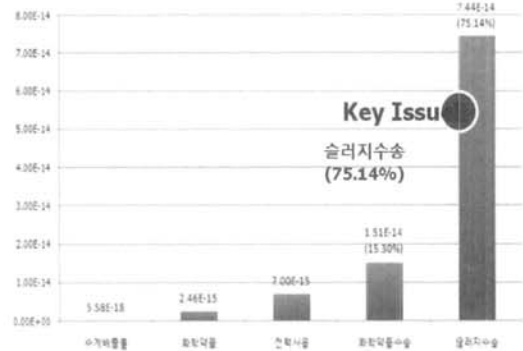
생활용수 및 공업용수, 병물 생산에서의 주요 환경영향은 공정에 투입되는 화학약품의 운송, 생산공정에서 배출되는 폐기물(슬러지)의 처리를 위한 운송에 의한 것으로 영향범주별로 환경영향을 각 구성요소별로 나누어 분석해 보면 다음과 같다.



<그림 11> 생활용수 구성요소별 환경영향 비교 (가중화결과)

<표 3> 생활용수 구성요소별 환경영향 비교

영향범주	합계	기여도
수계배출물	5.57E-18	0.01%
화학약품	2.62E-15	2.50%
전력사용	7.16E-15	6.84%
화학약품수송	2.05E-14	19.58%
슬러지수송	7.44E-14	71.07%
합계	1.05E-13	100.00%

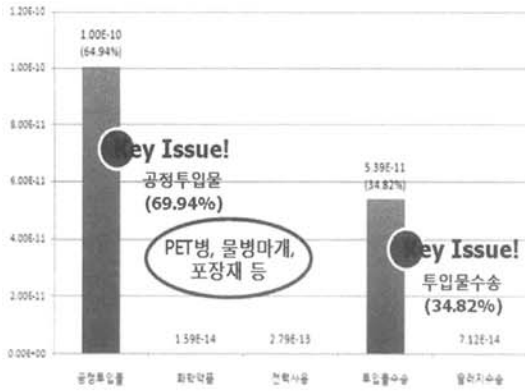


<그림 12> 공업용수 구성요소별 환경영향 비교 (가중화결과)

<표 4> 공업용수 구성요소별 환경영향 비교

영향범주	합계	기여도
수계배출물	5.58E-18	0.01%
화학약품	2.46E-15	2.49%
전력사용	7.00E-15	7.07%
화학약품수송	1.51E-14	15.30%
슬러지수송	7.44E-14	75.14%
합계	9.90E-14	100.00%

위에서 보는 바와 같이 생활용수의 경우는 전체 환경영향의 71.07%가, 공업용수의 경우에는 75.14%가 슬러지 수송에 의한 환경영향이며, 분말활성탄, 염소를 비롯한 각종 화학약품에 의한 환경영향은 생활용수는 19.58%, 공업용수가 15.30%를 차지하였다. 따라서 청주정수장의 환경영향을 개선하기 위해서는 슬러지 수송거리 및 화학약품의 수송거리 단축이 가장 시급한 것으로 판단된다.



<그림 13> 병물 구성요소별 환경영향 비교

<표 5> 병물 구성요소별 환경영향 비교

영향범주	합계	기여도
공정투입물	1.00E-10	64.94%
화학약품	1.59E-14	0.01%
전력사용	2.79E-13	0.18%
투입물수송	5.39E-11	34.82%
슬러지수송	7.12E-14	0.05%
합계	1.55E-10	100.00%

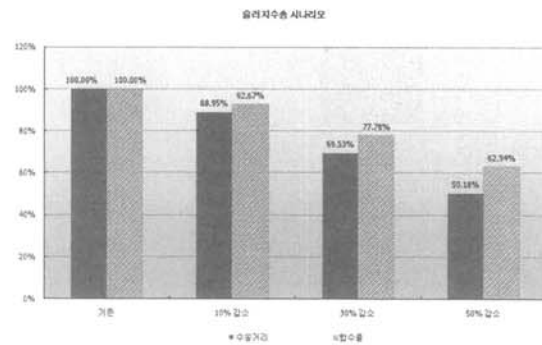
병물 생산의 경우는 전체 환경영향의 64.94%가 병물생산공정에서 투입되는 PET병, 물병마개, 포장박스, 노끈, 포장재 등 공정 투입물에 의한 영향이었으며, 이러한 공정 투입물 및 기타 화학약품들의 수송에 의한 영향이 34.82%의 영향을 차지하는 것으로 나타났다.

## 2.4.2 시나리오 분석

### (1) 슬러지 수송거리 및 함수율 감축에 의한 환경영향 비교

각 영향범주별로 가장 많은 환경영향을 나타내는 원인은 슬러지 수송 및 화학물질을 수송하는 과정에서의 환경영향으로 도출되었다. 수송에서의 환경영향을 결정하는 요소로는 수송물의 무게와 수송거리에 있으므로 환경영향을 줄이기 위해서는 화학약품 및 탈수케익의 무게를 줄이는 것과 수송 거리를 단축하는 것이 요

구된다. 그 중에서도 전체의 환경영향에 가장 많은 영향을 미치는 탈수케익의 수송거리를 단축하는 방안과 평균 함수율이 74.3 %인 탈수케익의 함수율을 줄여 질량을 줄이는 시나리오를 적용해 보았다.



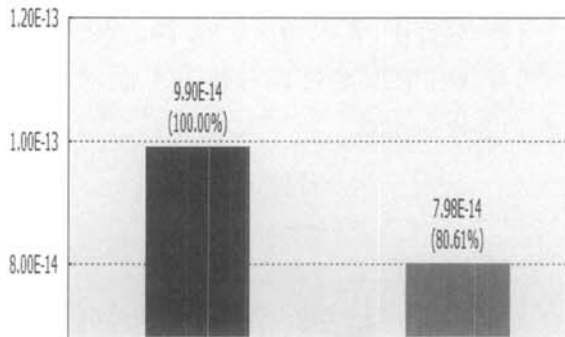
<그림 14> 공업용수 슬러지 수송거리 및 함수율 감소에 따른 영향변화

시나리오 분석 결과 탈수케익의 함수율을 감소시키는 것도 어느 정도 환경영향의 감소에 효과를 보이긴 하지만 함수율을 30% 줄이는 것 보다는 수송거리를 30% 단축하는 것이 환경영향을 보다 효과적으로 줄일 수 있는 대안으로 분석되었다.

### (2) 청주정수장 무방류 시스템의 도입

청주정수장에서는 현재 운영 중인 1단계 정수장과 2단계 정수장의 운영방식을 변경하여 1단계 정수장에서는 공업용수만을 생산하는 것으로 하고, 1, 2 단계에서의 방류수를 1단계 정수장으로 유입시켜 계속 회수시키는 무방류 시스템의 도입을 검토하고 있다. 이를 통해서 청주정수장은 공업용수의 생산에 있어 취수량의 감소와 취수장 전력 사용량의 감소, 부영양화 영향 감소 및 1단계 정수장의 착수공정에 투입되고 있는 분말활성탄 투입 중지로 인한 환경부하 저감 효과가 있을 것이다. 그리하여 본 연구에서는 청주정수장에서 무방류 시스템을 도

입할 시 환경영향 변화에 대해 분석해 보았다.



<그림 15> 무방류시스템의 도입 시 공업용수의 환경영향 비교(가중화)

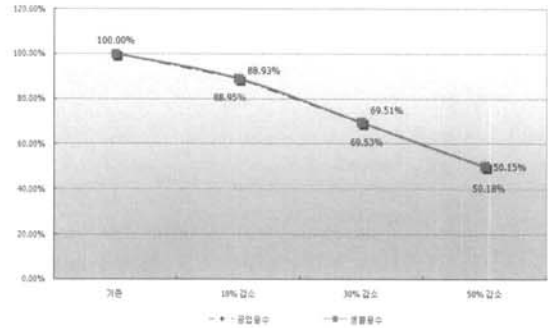
현재 시스템에 대한 환경영향을 100%로 볼 때 무방류 시스템을 도입할 경우 기존의 80.61%로 환경영향이 저감되는 것을 볼 수 있었고 각 영향범주에 대해 기존의 73.91% ~ 88.95% 수준으로 환경영향을 저감시킬 수 있을 것으로 예상된다.

#### 2.4.3 환경성 개선 대안 도출

##### (1) 폐기물 및 화학약품의 이송거리 단축

청주정수장의 운영에 있어서 사용되는 화학물질에 비해 발생량이 많은 슬러지를 이송하는 단계가 환경영향범주별로 환경부하가 적게는 70%~85% 가량을 차지하는 것으로 나타나 수돗물 생산과정의 환경부하를 감소시키기 위해서는 슬러지 수송거리를 단축하는 것이 가장 시급히 요구된다.

슬러지 수송거리가 현재의 50%로 줄어든다면 생활용수의 경우 50.15%, 공업용수는 50.18%의 환경부하 저감효과를 가져올 수 있다. 따라서 화학약품 납품업체를 선정하거나 향후 슬러지 폐기방법을 고려하여 재활용 업체를 선정할 때 다른 거래 요건과 함께 근거리의 사업자를 선정하는 것이 환경부하를 감소할 수 있는 방법이다.



<그림 16> 슬러지 수송거리 감소에 따른 환경영향 변화

##### (2) 병물 포장재료의 재활용 극대화

전과정평가 결과를 통해 병물생산공정에서의 주요 환경영향 원인은 병물 포장재료인 PET 병, 포장박스, PE끈 등에 의한 것이었으며 이들 재료는 재활용이 가능한 것이므로 국내 평균 폐플라스틱 및 폐지의 재활용율을 적용하여 폐용기의 재활용에 의한 환경이득을 계산했을 경우, 영향범주에 따라 6%에서 많게는 전체 환경영향의 25% 이상의 환경영향 저감 효과가 있는 것을 알 수 있었다. 국내 각지로 배포되는 병물 용기의 수거 및 재활용에 있어서 보다 구체적으로 모니터링하고 최대한 많은 양을 수거하여 재활용 할 수 있다면 환경영향 저감에 도움이 될 수 있을 것이다. 포장재에 빈 병의 수거 요령에 대한 안내문을 부착하거나 빈 병 수집장소를 마련하여 빈 병 수거에 동참하는 사람에 대한 소정의 인센티브를 부여하는 등의 아이디어를 통해 재활용율을 높일 수 있는 방안도 생각해 볼 수 있을 것이다.

### 3. 결론

본 연구에서는 청주정수장에서 생산하고 있는 생활용수 및 공업용수, 병물에 대한 전과정평가를 수행하였으며, 시스템경계는 제품이 생산되기 전 단계(취수장)와 제품을 생산하는 단

계(착수공정~병물생산공정)로 구분되며, 각 단계의 운송과정을 포함하였다. 현장데이터는 2006년 청주정수장의 운영자료를 활용하였으며, 일반데이터는 10년 이내의 환경부, 산업자원부와 스위스, 유럽의 데이터베이스를 활용하였다.

생활용수, 공업용수, 병물 1ton의 생산 시 발생하는 환경영향에 대해 각각 9개 영향범주 간 기여도를 분석한 결과 생활용수는 자원소모가 27.68%로 가장 큰 환경부하를 가지며 그 다음으로는 광화학 산화물 생성(19.77%), 지구온난화(16.29%) 순으로 나타났다. 공업용수의 경우도 자원소모가 27.71%로 가장 큰 환경부하를 나타냈으며 그 다음으로는 광화학 산화물 생성(19.76%), 지구온난화(16.41%)에서 영향을 보였다. 병물의 경우는 자원소모가 35.56%로 가장 큰 환경부하를 나타냈으며 그 다음으로는 광화학 산화물 생성(17.22%), 담수생태독성(13.31%)에서 영향을 나타냈다. 각각의 영향범주에서 가장 큰 영향을 미치는 요인을 분석한 결과 생활용수와 공업용수 생산에서는 탈수건조공정에서 발생하는 슬러지의 수송에 의한 영향이 가장 큰 것으로 분석되었고 병물 생산에서는 병물 포장재료인 PET에 의한 영향 및 수송에 의한 영향이 크게 나타나 청주정수장 생활용수 및 공업용수, 병물 생산과정의 환경영향을 개선하기 위해서는 슬러지 및 화학약품의 운송거리 단축이 가장 시급한 것으로 판단

된다.

이를 위한 개선 방안으로는 폐기물 및 화학물질의 수송거리 단축, 병물 포장재료의 재활용 극대화, 친환경 소수력 발전의 극대화를 들 수 있겠다.

이번 청주정수장의 생활용수 및 공업용수에 대한 전과정평가를 통해 환경성적표지 인증을 취득하였으며 (인증번호:제 2007-009호 - 음용수돗물, 인증번호:제 2008-001호 - 공업용수돗물) 이와 더불어 추진을 준비 중인 탄소성적표지제도(제품 생산 전과정에서의 탄소배출량을 산정하여 제품에 표시하도록 하는 제도)에도 유용한 기초자료가 될 것으로 기대된다. 탄소성적표지 인증을 위한 제품 전과정에서의 탄소발생량 산정 또한 전과정평가 방법론에서의 지구온난화 영향물질의 산정 과정과 동일한 계산 과정이므로 향후 청주정수장에서 탄소성적표지 인증을 추진할 경우 본 연구에서 수행한 전과정평가 결과를 활용함으로써 효율적인 결과 산정에 큰 기여를 할 것이다.

#### 4. 참고문헌

1. 나준호, '글로벌 기후변화와 기업 비즈니스', LG Business Insight 2008
2. 김용연 등, '수돗물 생산 전과정의 환경성 평가', 한국전과정평가학회지, 2007