

수돗물 생산 전과정의 환경성 평가

김용연, 오금선, 박동학

한국수자원공사 수도관리처

Life cycle assessment of drinking water treatment process

Kim yong yeon, Oh geum seon, Park dong hak

Kwater(Korea Water Resources corporation)

ABSTRACT

This study is about practicing LCA on the water treatment plant. The Environmental impact categories used is Abiotic resource depletion potentials, Global Warming potentials, Ozone depletion potentials, Acidification potentials, Photochemical oxidant creation potentials, Eutrophication potentials, Freshwater aquatic ecotoxicity potentials, Terrestrial ecotoxicity potentials, Human toxicity potentials. As a result of LCA, The most impact categories to produce clean water is abiotic resources depletion potentials(27.13%).

The most burdening stage in the entire production and supply system is transportation process of dehydrated sludge(89.2%) and chemicals(16.28%). It is important for Go-San WTP to shorten the transport distance for reducing environmental impact.

Key word : LCA, clean water, Abiotic resource depletion, transportation process of dehydrated sludge

요약문

본 연구에서는 전과정 평가기법을 적용하여 수돗물 생산에 대한 전과정 영향평가를 수행하였다. 사용되어진 환경영향 범주는 자원고갈, 지구온난화, 오존층 파괴, 산성화, 광화학적 산화물 생성, 부영양화, 담수생태 독성, 토양 생태 독성 및 인간독성 등이다. 전과정 영향평가의 결과, 자원소모가 27.13%로 가장 큰 환경부하를 가지는 것으로 나타났다. 9개 영향범주에서 가장 큰 영향을 미치는 요인은 탈수공정으로, 이는 운송에 의한 환경영향이 가장 큰 것으로 분석되었다. 전체 환경영향의 88.29%가 슬러지 운송, 16.28%가 PAHCS, PACI를 비롯한 화학약품의 운송에 의한 환경영향으로, 고산정수장 수돗물 생산과정의 환경영향을 개선하기 위해서는 슬러지 및 화학약품의 운반거리 단축이 가장 시급한 것으로 판단된다.

주제어 : LCA, 수돗물, 자원고갈, 슬러지 운송

1. 연구의 배경

최근 지속가능 경영의 환경부문에 있어 과거와는 다른 패러다임이 가속화 되고 있다. 크게 3가지로 구분할 수 있는데 첫째 사업장 중심에서 제품중심으로, 둘째 사후 오염관리에서 사전예방으로, 마지막으로 회사 내부 관리에서 전과정 관리로 패러다임이 급격히 전환되고 있다. 과거에는 성장위주, 제품의 품질위주의 정책이 지배적이었으므로 사업장만 잘 관리하면 문제가 없는 시대가 있었으나, 이제는 제품의 전과정 측면에서의 관리가 고려해야 할 기본적인 요소가 되었다. 제품의 가치와 나아가 기업의 가치를 평가할 때 해당제품과 기업의 환경성이 가장 중요한 요소가 되고 있는 요즘 제품과 기업의 친환경성 확보는 기업의 경쟁력 확보에 있어 가장 큰 과제라 할 수 있다.

우리가 매일 마시고 있는 수도물도 경쟁력 강화 요소로서 사업장 관리, 수도물 수질 관리(품질관리)를 넘어서서 수도물의 전과정과 각 단계의 환경영향을 이해함과 동시에 환경성적을 적극적으로 공개하고 개선함으로써 수도물의 친환경성을 확보할 필요성이 있다.

2005년 7월 국정홍보처에서 의뢰하여 실시한 수도물 불신해소 관련 전국민 여론조사에서, 수도물을 공급 받는 국민들은 수도물이 식수 사용에 57.8%가 부적합하다고 생각하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 수도물 불신해소를 위해서는 수도물 정수과정 및 수도물 품질에 대한 홈페이지나 각종매체를 통하여 적극적인 정보제공 노력 활동이 필요하다. 하지만 단순한 수질검사 결과 공개에 그치는 것이 아닌 고객에게 수도물의 친환경적인 과정을 거쳐 처리됨을 함께 공개 및 홍보할 필요성이 있다.

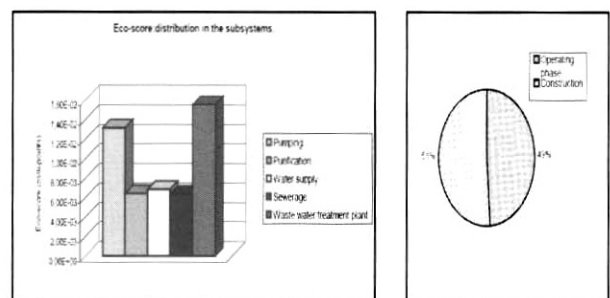
이를 위해 본 연구는 수자원공사 광역상수도 를 대상으로 수도물 정수처리 과정에서 수도물 에 대한 친환경성을 국내 처음으로 정량적으로 평가하여, 수도물 생산과정에서 환경영향을 줄일 수 있는 방안을 강구하고 일반시민들에게 자료를 제공하여 수도물의 신뢰도 향상에 기여하고자 한다.

2. 수자원 전과정평가 수행 사례

해외에서는 Cleaner Production, The Journal of Life Cycle Assessment 등의 저널을 통하여 전과정평가 연구 사례가 많지는 않지만 꾸준히 발표되고 있다. 수자원 분야에 대한 전과정평가 수행 사례는 그리 많지 않다. 베올리아 워터, 수에즈 등의 세계적인 수자원 관련 기업의 경우에도 수처리 과정에서의 환경영향 또는 에너지 소모량에 대해 지속적으로 평가하고 있으나 그 결과를 홈페이지 등에 공개하는 등의 두드러진 활동을 하고 있지는 않다.

2.1 벨기에 "La Vesdre"

벨기에의 "La Vesdre"를 대상으로 수행한 전과정평가로, 기능단위는 물 1m³이며, 시스템 경계는 원수 취수(pumping), 정수(purification), 공급(supply), 하수도(sewerage), 폐수처리(wastewater treatment), 슬러지 처리 단계(sludge treatment)를 포함하고 있다. 또한 각 단계의 설비에 대한 환경영향도 포함하였다.



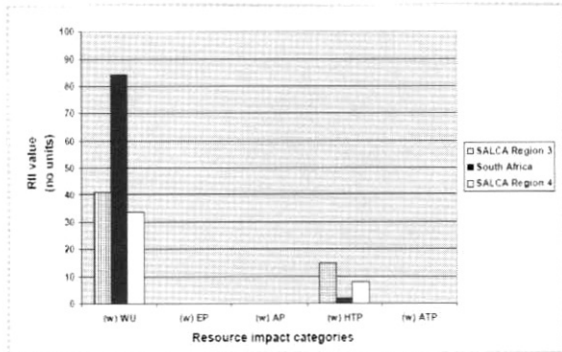
<그림 1> 벨기에 "La Vesdre" water cycle LCA의 전과정 단계별 환경영향 비교(1999~2000)

본 연구 사례에서는 위 그림에서 보는 바와 같이 operating 단계에서는 전과정 중 폐수처리 단계와 원수 채취 단계의 환경영향이 큰 것으로 나타났으며, operating 단계와 수처리 설비 건설 단계의 두 단계로 나눈 경우에는 그 영향이 51:49의 영향으로 나타났다.

2.2 남아프리카 공화국 "The Rosslyn industrial area"의 공업용수 공급 전과정평가

Gauteng 지역의 Rand Water사의 연간데이터를 기준으로 전과정평가를 수행하였다.

<그림2>는 영향평가 결과를 나타낸 그림으로, 5개 영향범주 중 용수사용에 대한 환경영향이 두드러진 것으로 나타났다.



<그림 2> 남아프리카 공화국 공업용수 공급 시스템 전과정 영향평가 결과

※ 그림설명

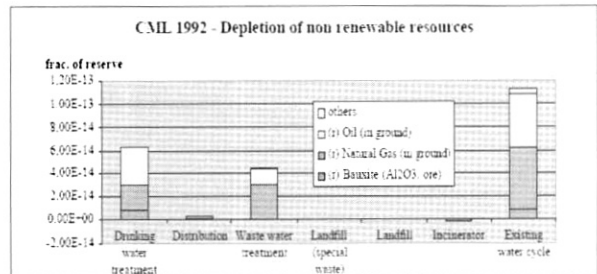
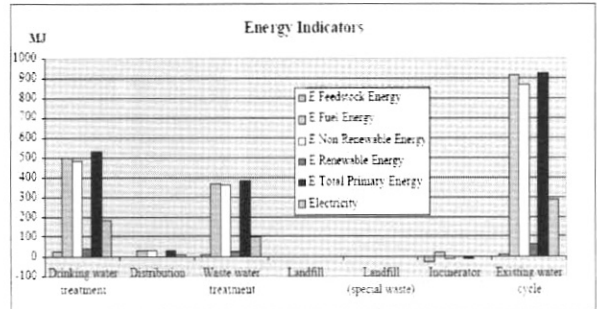
- WU(water use, 용수사용)
- EP(eutrophication potential, 부영양화)
- AP(acidification potential, 산성화)
- HTP(human toxicity potential, 인간독성)
- ATP(aquatic toxicity potential, 수상독성)

2.3 이탈리아 볼로냐시 수도물 전과정평가

이탈리아 볼로냐시를 대상으로 수도물 공급 및 하수처리 시스템에 대해 수행한 전과정평가로 기능단위는 볼로냐시에서 시민 한 사람이 하루 동안 생활하는데 사용되는 물로서 기준흐름은 180리터로 설정하였다.

볼로냐시의 수도물에 대한 전과정평가 결과는 대부분의 영향범주에서 수도물을 공급하기 전까지 원수를 처리하는 공정(Drinking water treatment and net)에서의 환경영향이 가장 큰 것으로 나타났다. <그림3>은 에너지 사용, 자원소모 범주의 예이며, 폐수처리 공정이 두

번째로 환경영향이 큰 것으로 나타났다.



<그림 3> 이탈리아 볼로냐시 수도물 전과정 영향평가 결과

3. 수도물에 대한 전과정 환경성 평가

3.1 목적 및 범위

3.1.1 평가대상, 기능 및 기능단위

본 연구의 평가대상은 음용수로서 한국수자원공사 전북지역본부 고산정수장(용담댐을 수원)에서 음용으로 적합하게 처리한 수도물이다.

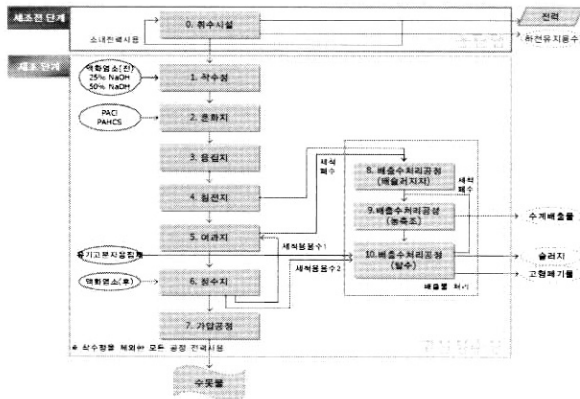
<표 1> 기능, 기능단위 및 기준흐름

기능	음용에 적합하게 처리한 정수로서의 기능
기능단위	수도물 1m ³ 생산
기준흐름	수도물 1m ³

3.1.2 시스템 경계 설정

본 연구의 대상인 수도물 생산에 대한 시스템 경계는 생산전 단계, 생산 단계로 구분되며, 각 단계의 수송 공정을 포함한다. 생산전 단계는 원료물질을 정수장으로 이송하는 과정에서

전력을 생산하는 공정을 포함한다. 생산 단계는 수돗물 생산의 주요 공정인 정수공정과 정수과정에서 배출되는 폐수를 처리하는 배출물 처리공정으로 구분된다. 각 단계별 포함되는 단위공정의 기능은 다음과 같다.



<그림 4> 수돗물 전과정평가 시스템 경계

- 취수시설 : 하천, 저수지 또는 호소 등에서 물을 끌어들이는 시설
- 착수정 : 취수시설에서 정수시설로 들어오는 물(원수)의 양을 조절하는 시설
- 혼화지 : 원수와 응집약품을 빠르게 혼합하는 시설
- 응집지 : 원수 중 불순물과 응집약품이 결합하여 큰 덩어리를 형성하여 가라앉기 쉽게 만드는 시설
- 침전지 : 응집단계에서 무겁고 크게 성장한 덩어리를 자연적으로 가라앉혀 제거하는 시설
- 여과지 : 침전 이후 남은 작은 알갱이를 모래나 자갈 등을 이용하여 최종적으로 제거하는 시설
- 정수지 : 소독처리된 먹는물을 배수지 및 가정에 보내기 전에 저장 및 양을 조절하는 시설
- 가압공정 : 정수처리공정에서 생산된 먹는물을 배수지까지 보내는 공정
- 배출수처리공정(배슬러지지) : 배출량을 조절하는 과정으로 역세척 배출수와 슬러지를 받아들임. 배출량의 시간적 변화를 조정하고 이후의 공정에서 일정한 처리로 이어지도록 조정
- 배출수처리공정(농축조) : 슬러지를 농축시키는 것을 목적으로 농축처리와 재응집 처리가 이루어짐
- 배출수처리공정(탈수) : 농축슬러지로부터 다시 수분

을 감소시켜 케익으로서 최종 처분 방법에 적합한 성상이 되도록 하거나, 용적과 수분을 감소시켜 운반 등 취급이 편리하도록 하는 것

3.1.3 제외기준

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

3.1.4 데이터 범주

본 전과정평가를 위해 수집되어야 할 데이터 범주에는 원료물질/보조물질, 에너지, 평가대상 및 부산물, 수계 배출물, 폐기물 등이 있다.

<표 2> 데이터범주표

데이터 범주	세부항목	
	투입물	원료물질
투입물	보조물질	폴리염화알루미늄, 폴리수산화염화황산알루미늄, 액화염소, 25% 수산화나트륨, 50% 수산화나트륨, 유기고분자응집제, 포장재
	에너지 및 용수	전력
	평가대상 및 부산물	수돗물, 전력
산출물	대기배출물	해당사항 없음
	수계배출물	BOD, COD, SS, 방류수
	고형폐기물	슬러지, 종이 코팅백

3.1.5 데이터 품질 요건

데이터의 필수적인 품질 요건인 지역적 범위, 시간적 범위, 기술적 범위를 전과정 단계별로 설정하였다.

3.1.6 할당

본 평가대상의 전과정평가 과정에서 할당이 이루어진 항목은 생산 단계의 전력사용량과 생산전 단계의 발전 공정에서의 발생하는 부산물에 의한 취수시설에서의 환경영향의 할당이다.

<표 3> 용담댐 환경영향 할당 인자 계산 근거

용담댐 발전 방류량 총량	발전과정 종료 후 고산정수장 유입 용수의 양	발전과정 종료 후 하천으로 방류되는 용수의 양
419,549,760,000kg	41,535,648,180kg	278,014,111,819kg
100.00%	33.74%	66.26%

3.1.7 영향평가 방법론 선정

본 전과정평가에서의 영향평가 방법론은 환경성적표지 제도에서 적용하고 있는 영향평가 방법론(자원소모, 지구온난화, 오존층, 산성화, 부영양화, 광화학 산화물 생성)에 독성영향범주(토양생태독성, 담수생태독성, 인간독성)를 추가하여 영향평가를 수행하였다. 또 특성화, 정규화, 가중화의 모든 단계를 수행하였으며, 가중화의 경우 모든 영향범주의 중요도를 '1'로 보고 수행(정규화 값과 가중화 값 동일)하였다.

3.1.8 가정 및 제한사항

모든 물(유입수, 폐수 등)의 비중은 '1'로 가정함

- 수집되고 계산된 모든 데이터는 소수점 둘째자리까지 정리함
- 취수시설에 활성탄이 투입되나 이는 간헐적으로 비정상적인 상황에서만 투입되고 투입빈도 또한 일정치 않으므로 데이터범주에서 제외함
- 원료물질인 유입수와 평가대상인 수돗물의 물질수지 검증 기준을 평가대상인 수돗물의 생산량으로 설정함
- 취수시설은 수문을 여닫아 수위 및 수량을 조절하는 취수탑이 포함되는데, 연간 여닫는 횟수가 매우 적고 이에 대한 데이터가 관리되고 있지 않으므로 취수탑 수문 작동을 위한 전력사용량은 데이터 갭으로 처리함
- 생산 단계의 전력 데이터와 생산 전단계의 전력 데이터(환경영향 및 환경이득)는 타당한 할당인자를 적용하여 계산함

- 25% 수산화나트륨은 50% 수산화나트륨 데이터베이스를 연결(유사 D/B 연결)함
- 폴리수산화염화황산알루미늄(PAHCS)에 대한 일반데이터가 존재하지 않아 구성성분을 추적하여 하위 화학약품으로 일반데이터를 연결하였으며 이중 일반데이터가 존재하지 않는 $Al_2(OH)_3$ 와 $Na_2Al_2O_4$ 는 데이터 갭으로 처리함
- 폴리수산화염화황산알루미늄(PAHCS)의 구성성분인 98% 황산은 96% 황산 데이터베이스를 연결(유사 D/B연결)함

3.2 전과정 목록분석

본 전과정평가의 공정흐름도와 단위공정은 시스템 경계에서 설정한 <그림 4>와 같다. 데이터 수집은 2005년도 데이터를 대상으로 실시하였으며, 현장 데이터는 고산정수장의 2005년 종합운전일보에 근거한 일일유량정보, 화학약품사용량, 슬러지처리실적, 수계 배출물 2005 확정예정 배출량 등 고산정수장에서 관리하고 있는 데이터를 바탕으로 수집하였다.

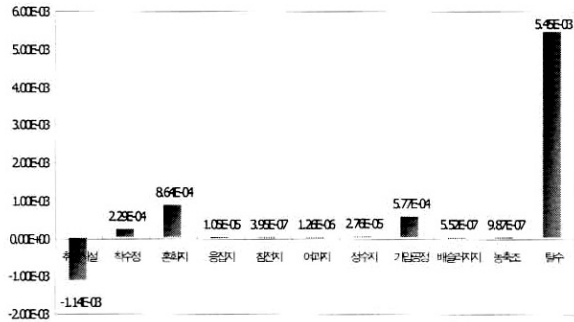
일반 데이터중 수돗물 생산 과정에 투입되는 화학약품은 범용적인 화학물질로서 PAHCS를 제외하고는 데이터베이스가 모두 존재하였으며, 일반데이터가 존재하지 않는 PAHCS의 경우에는 제작사양서를 통한 구성성분을 조사하여 하위 구성성분에 대한 일반데이터를 수집하였다. 또한 유기고분자응집제의 포장재인 한면이 코팅된 크라프트지에 대해서도 우리나라에서 구축된 데이터베이스가 없었으므로, 해외 데이터베이스(BUWAL, 스위스)를 수집하였다.

3.3 전과정 영향평가

3.3.1 특성화(Characterization)

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

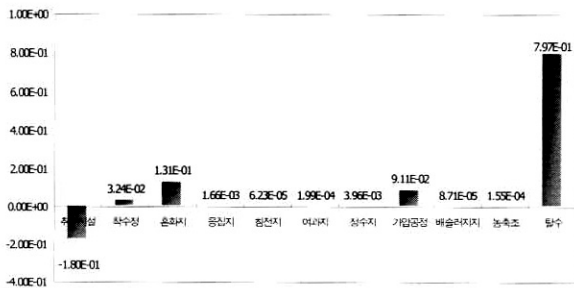
가. 자원소모



<그림 5> 단위공정별 자원소모 특성화 결과 (단위:kgSb-eq./f.u.)

자원소모 범주에서 탈수공정은 전체 자원소모 환경영향의 90.52%로 가장 큰 환경영향을 차지하였으며, 혼화지는 14.36%, 가압공정은 9.59%, 착수정이 3.81%의 환경영향을 차지하였다. 한편 취수시설의 환경영향은 -18.96%로서 전력발전으로 인해 자원소모 환경영향을 저감하는 환경이득이 발생하였다.

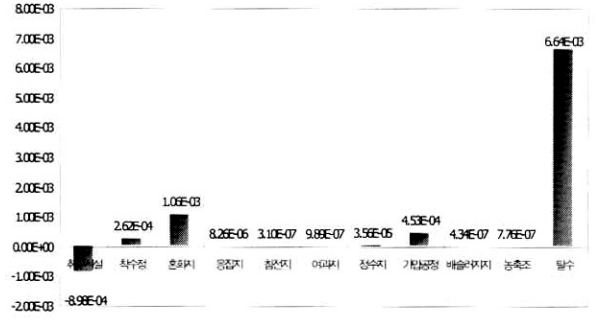
나. 지구온난화



<그림 6> 단위공정별 지구온난화 특성화 결과 (단위:kgCO₂-eq./f.u.)

지구온난화 범주에서 탈수공정은 전체 지구온난화 환경영향의 90.90%로 가장 큰 환경영향을 차지하였으며, 혼화지는 14.90%, 가압공정은 10.40%의 환경영향을 차지하였다. 한편 취수시설의 환경영향은 -20.59%로서 전력발전으로 인해 지구온난화 환경영향을 저감하는 환경이득이 발생하였다.

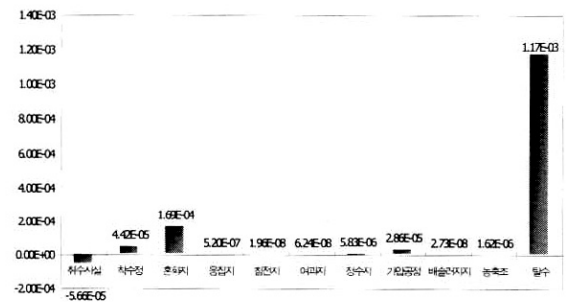
다. 산성화



<그림 7> 단위공정별 산성화 특성화 결과 (단위:kgSO₂-eq./f.u.)

산성화 범주에서 탈수공정은 전체 산성화 환경영향의 87.78%로 가장 큰 환경영향을 차지하였으며, 혼화지는 14.01%, 가압공정은 6.00%, 착수정이 3.47%의 환경영향을 차지하였다. 한편 취수시설의 환경영향은 -11.88%로서 전력발전으로 인해 산성화 환경영향을 저감하는 환경이득이 발생하였다.

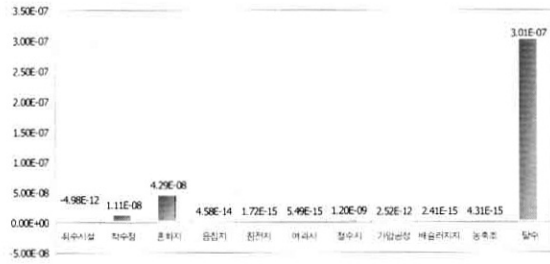
라. 부영양화



<그림 8> 단위공정별 부영양화 특성화 결과 (단위:kgPO₄³⁻-eq./f.u.)

부영양화 범주에서 탈수공정은 전체 부영양화 환경영향의 85.84%로 가장 큰 환경영향을 차지하였으며, 혼화지는 12.39%, 착수정은 3.23%, 가압공정은 2.09%의 환경영향을 차지하였다. 한편 취수시설의 환경영향은 -4.14%로서 전력발전으로 인해 부영양화 환경영향을 저감하는 환경이득이 발생하였다.

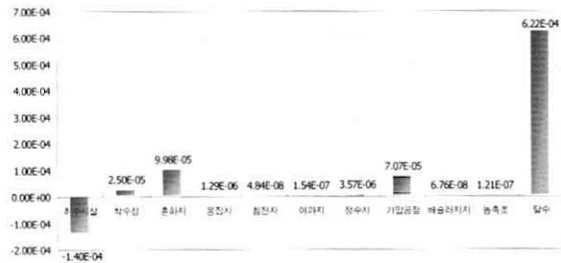
마. 오존층 영향



<그림 9> 단위공정별 오존층영향 특성화 결과 (단위:kgCFC11-eq./f.u.)

오존층영향 범주에서 탈수공정은 전체 오존층영향 환경영향의 84.49%로 가장 큰 환경영향을 차지하였으며, 혼화지는 12.06%, 착수정은 3.11%의 환경영향을 차지하였다.

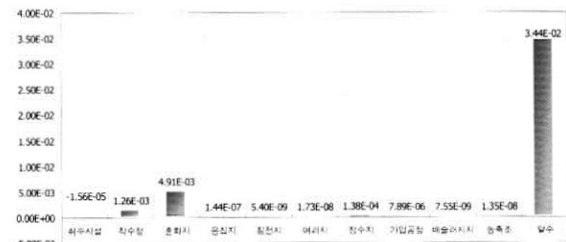
바. 광화학 산화물 생성



<그림 10> 단위공정별 광화학 산화물 생성 특성화 결과 (단위:kgC2H2-eq./f.u.)

광화학산화물생성 범주에서 탈수공정은 전체 광화학산화물생성 환경영향의 91.16%로 가장 큰 환경영향을 차지하였다.

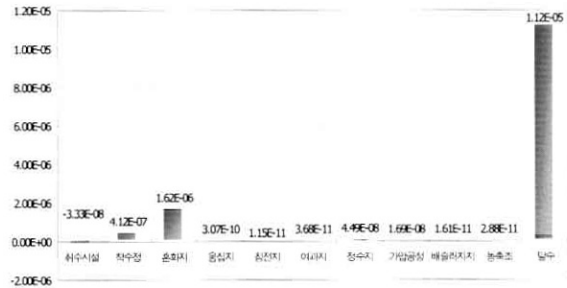
사. 담수생태학



<그림 11> 단위공정별 담수생태독성 특성화 결과 (단위:kg1,4-DCB-eq./f.u.)

담수생태독성 범주에서 탈수공정은 전체 담수생태독성 환경영향의 84.52%로 가장 큰 환경영향을 차지하였다.

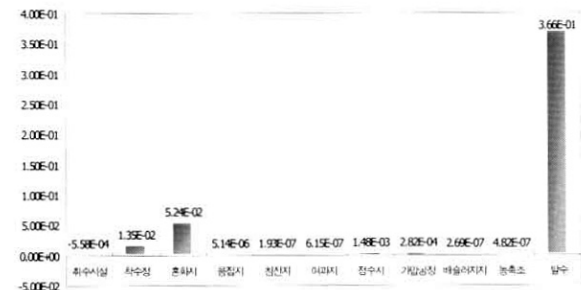
아. 토양생태독성



<그림 12> 단위공정별 토양생태독성 특성화 결과 (단위:kg1,4-DCB-eq./f.u.)

토양생태독성 범주에서 탈수공정은 전체 토양생태독성 환경영향의 84.44%로 가장 큰 환경영향을 차지하였다.

자. 인간독성



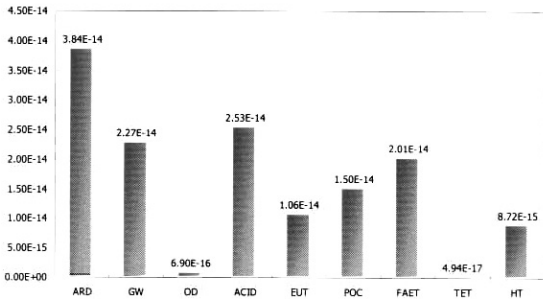
<그림 13> 단위공정별 인간독성 특성화 결과 (단위:kg1,4-DCB-eq./f.u.)

인간독성 범주에서는 배출수처리공정 중 탈수공정, 혼화지 및 착수정에 의한 환경영향이 높게 나타났다. 탈수공정은 전체 인간독성 환경영향의 84.51%로 가장 큰 환경영향을 차지하였다.

3.3.2 정규화(Normalization) 및 가중화(Weighting)

특성화 단계에서 특성화 결과는 각 영향범주별 로 단위가 각각 상이하므로 영향범주 간 환경영

향을 비교해 볼 수 없으므로 정규화와 가중화를 실시하여 영향범주별 환경영향 기여도를 살펴 보았다. 본 연구에서는 가중화 인자를 '1'로 적용하여 영향범주별 환경영향 인자를 산출하였다.



<그림 14> 정규화 및 가중화 결과(독성범주 포함)

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

<표 4> 정규화 및 가중화 결과(독성범주 포함)

영향범주	ARD	GW	OD	ACID	EUT
결과값	3.84E-14	2.27E-14	6.90E-16	2.53E-14	1.06E-14
%	27.13%	16.04%	0.49%	17.87%	7.49%
영향범주	POC	FAET	TET	HT	합계
결과값	1.50E-14	2.01E-14	4.94E-17	8.72E-15	1.42E-13
%	10.60%	14.20%	0.03%	6.16%	100.00%

수돗물 1m³ 생산시 발생하는 환경영향에 대한 9개 영향범주 간 기여도를 분석한 결과 자원소모가 27.13%로 가장 큰 환경부하를 가지는 것으로 나타났다. 그 다음으로는 산성화, 지구온난화, 담수생태독성, 광화학 산화물 생성, 부영양화, 인간독성, 오존층영향, 토양생태독성 범주의 순으로 환경에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

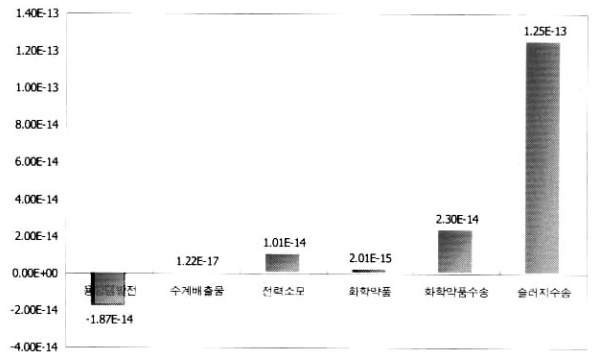
3.4 전과정 해석

3.4.1 주요 이슈(Key Issues) 규명

수돗물 생산의 주요 환경이슈를 규명하기 위해 각 영향범주별 환경영향에 5% 이상에 기여

하는 주요 공정과 주요 모듈을 정리하였다.

전과정평가의 환경영향은 투입되는 화학약품의 운반, 생산공정에서 배출되는 폐기물(슬러지)의 처리를 위한 운반에 의한 것으로 영향범주별로 환경영향을 각 구성요소별로 나누어 분석해보면 다음과 같다.



<그림 15> 구성요소별 환경영향 비교(가중화결과)

<표 5> 구성요소별 환경영향 비교(가중화결과)

영향범주	용담탱 발전	수계 배출물	전력 소모	화학약품	화학약품수송	슬러지수송	합계
합계	-1.87E-14	1.22E-17	1.01E-14	2.01E-15	2.30E-14	1.25E-13	1.42E-13
기여도	-13.24%	0.01%	7.16%	1.42%	16.28%	88.29%	100%

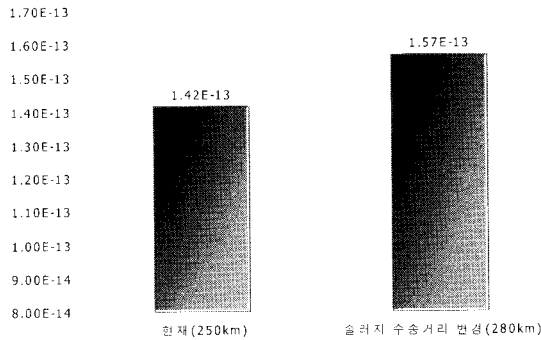
전체 환경영향의 88.29%가 슬러지 운반, 16.28%가 PAHCS, PACl을 비롯한 화학약품에 의한 환경영향으로 고산정수장의 환경영향을 개선하기 위해서는 슬러지 운반거리 및 화학약품의 운반거리 단축이 가장 시급한 것으로 판단된다.

3.4.2 시나리오 분석

가. 슬러지 운반거리에 의한 환경영향 비교

본 전과정평가 수행 해당 기간 동안에는 슬러지를 해양매립 하였으나 2006년 하반기부터는 시멘트의 원료로 재활용되고 있다. 또한 고산정수장에서는 슬러지를 시멘트의 원료로 재활용하고 있는데 이는 시멘트의 원료를 슬러지의 양만큼 덜 사용하게 하는 환경적인 이득이 있다. 다만 슬러지 해양매립(250km)과 시멘트

원료로의 재활용(280km) 각각의 경우 운반에 대한 데이터 수집은 가능하였으므로 슬러지 폐기방법 변화로 인한 운반데이터 변경에 의한 환경영향을 비교해 본 결과는 다음과 같다.

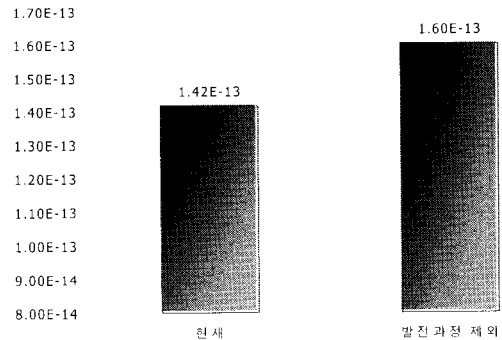


<그림 16> 슬러지 운반거리에 따른 환경부하 비교 (250km vs. 280km)

운반거리가 250km에서 280km로 증가됨에 따라 현재 환경영향에 비해 10.63%의 환경영향이 증가되는 것으로 나타났다. 운반거리가 30km증가된 것이지만 고산정수장이 수돗물을 생산하는 데 따른 전체 환경영향의 10.63%가 증가된 것으로 슬러지 운반이 모든 환경영향범주에서 주요 환경영향 원인으로 나타났기 때문에 단일항목의 변화이지만 상당 부분의 환경영향을 가지는 것으로 풀이된다.

나. 발전공정에 의한 환경영향 비교

본 전과정평가에서 발전공정이 시스템 경계 내에 포함된 이유는 수돗물 생산을 위해 취수탑에서 물을 끌어오는 과정에서 고산정수장으로 유입되기 전에 용담댐을 거쳐 수력 발전을 하고 있기 때문이다. 발전이 끝난 물이 고여 있는 곳을 취수원으로 본다면 발전과정은 포함되지 않으므로 시스템 경계에서 발전과정을 제외한 시나리오를 적용하여 환경영향을 비교분석해 보았다.

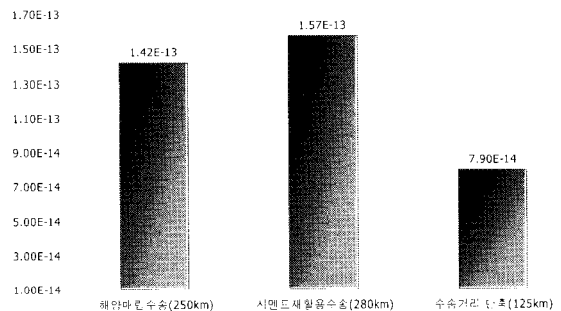


<그림 17> 시스템경계 변경에 따른 환경부하 비교 (현재 vs. 발전과정 제외)

순수하게 고산정수장에서의 환경부하를 100%로 봤을 때 원수를 끌어오는 과정에서 지역의 특성을 잘 살려 발전시스템을 구축한 결과 고산정수장의 수돗물을 생산하는 과정의 환경부하를 발전시스템을 통하여 88.44%까지 낮추는 (환경부하 11.56% 감소) 효과가 있음을 알 수 있다.

3.4.3 환경성 개선 대안 도출

가. 폐기물 및 화학물질의 운반거리 단축



<그림 18> 슬러지 운반거리에 따른 환경영향 비교(가중화 결과)

슬러지를 운반하는 단계가 영향범주별로 적게는 84.29%에서 많게는 90.90%를 차지하는 것으로 나타나 수돗물 생산과정의 환경부하를 감소시키기 위해서는 슬러지 운반거리를 단축하는 것이 가장 시급히 요구된다. 슬러지 운반거리가 현재의 50%로 줄어든다면(250km에서 125km로) 44.17%의 환경부하 저감 효과를

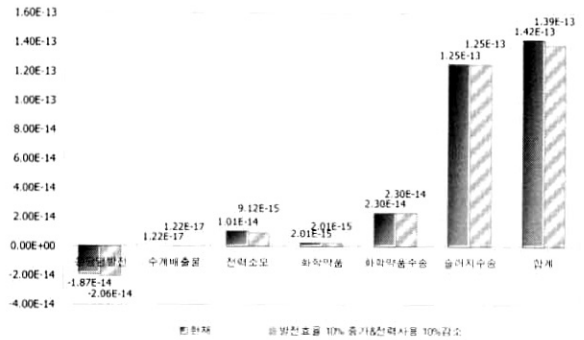
가져 올 수 있다. 환경성만을 고려한다면 운반 거리가 짧을수록 환경성 개선을 위한 가장 좋은 방안이 될 수 있으나 재활용 방법에 따라 환경영향이 각각 다를 수 있으므로 향후 다양한 재활용 방안에 대한 환경영향 분석과 병행하여 환경부하를 최소화할 수 있는 방안을 찾아 나가야 할 것이다.

나. 슬러지 재활용 방법의 다각화

슬러지 해양매립에 의한 환경영향과 슬러지 재활용으로 인한 환경영향 저감은 전과정평가의 한계로 인해 정량적인 수치로 도출할 수 없었다. 그러나 현재 시멘트로 재활용하는 방법 이외에도 슬러지를 재활용할 수 있는 여러 방안을 고려해 볼 수 있을 것이다. 한국수자원공사 지속가능경영보고서 2006에 따르면 슬러지 재활용률을 단계적으로 높이기 위하여 시멘트 재료, 건축재료, 성토재 등 다양한 재활용방법을 검토하고 있다고 밝힌 바 있다. 따라서 향후 슬러지 재활용 방법의 다각화를 통해 각 방법별 영향 저감을 분석하여 최적의 슬러지 처리방안을 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

다. 친환경 소수력 발전의 극대화

슬러지에 의한 환경영향이 두드러진 반면 취수원인 용담댐의 소수력 발전에 의해 전체 환경영향의 11.56%가 감소(환경부하 저감을 제외한 총 부하 대비)되는 긍정적인 효과도 있었다. 소수력 발전에 의한 환경영향 저감을 극대화하기 위해 향후 정수장을 건설하거나 정수장의 시스템을 변경하는 경우 지역의 특성을 고려하여 별도의 펌프를 사용하지 않고 원수를 끌어올 수 있도록 설계하고, 그 과정에서 수력발전을 할 수 있도록 설계한다면 정수과정에서 발생하는 환경부하를 감소할 수 있다. 가령 용담댐의 소수력 발전 효율이 10% 증가하고 고산정수장에서 전력사용량이 10%만 감소해도 고산정수장 수돗물의 환경성은 2.13% 감소효과가 나타난다.



<그림 19> 현재 vs 발전 효율 10% 증가 및 전력 사용량 10% 감소 환경영향 비교

4. 결론

본 연구에서는 수돗물 생산 전과정에 대한 전과정평가를 수행하였으며, 시스템경계는 수돗물이 생산되기 전 단계(취수시설)와 수돗물을 생산하는 단계(착수정에서 가압공정까지)로 구분되며, 각 단계의 운송과정을 포함하였다. 현장데이터는 2005년 고산정수장의 운영자료를 활용하였으며, 일반데이터는 10년 이내의 환경부, 산업자원부와 스위스의 데이터베이스를 활용하였다.

수돗물 1m³ 생산시 발생하는 환경영향에 대한 9개 영향범주 간 기여도를 분석한 결과 자원소모가 27.13%로 가장 큰 환경부하를 가지는 것으로 나타났다. 그 다음으로는 산성화, 지구온난화, 담수생태독성, 광화학 산화물 생성, 부영양화, 인간독성, 오존층영향, 토양생태독성 범주의 순으로 환경에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

9개 영향범주에서 가장 큰 영향을 미치는 요인은 탈수공정으로, 이는 운송에 의한 환경영향이 가장 큰 것으로 분석되었다. 전체 환경영향의 88.29%가 슬러지 운송, 16.28%가 PAHCS, PACl을 비롯한 화학약품의 운송에 의한 환경영향으로, 고산정수장 수돗물 생산과정의 환경영향을 개선하기 위해서는 슬러지 및 화학약품의 운반거리 단축이 가장 시급한 것으로 판단된다.

이를 위한 개선방안으로는 폐기물 및 화학물질의 이송거리 단축, 슬러지 재활용 방법의 다각화

및 친환경 소수력 발전의 극대화를 들 수 있겠다.
이번 고산정수장의 수돗물에 대한 환경성평가는 국내 처음으로 수돗물에 대한 환경성 평가 기법을 적용하여 환경성적표지 인증을 받았으며(인증번호:제2007-002호), '07년에는 대청호를 수원으로 하는 청주정수장의 수돗물과 병물에도 확대 적용하여 나갈 계획이다.

5. 참고문헌

1. 김민주, 로하스 경제학, 미래의창, 2006
2. 환경부, 수돗물 불신해소 관련 전국민 여론조사, 국정홍보처, 2005년 7월
3. Laboratoire de Chimie industrial – Universite de Liege 연구결과 (<http://www.ulg.ac.be/cior-fsa/publicat/10lca-wm.pdf>)
4. Water SA Vol. 32 No. 2 April 2006 (<http://www.wrc.org.za/downloads/watersa/2006/April%2006/1929.pdf>)
5. 4th IRCEW Conference, Fortaleza, Brazil(2001) (http://www.ensic.inpl-nancy.fr/COSTWWIP/Work_Group/Wg3/Bologna/Tarantini.pdf)