



수돗물의 탄소 배출량 평가

Carbon Emission Evaluation of Tap Water

김진근^{1*} · 전홍진²

Jinkeun Kim^{1*} · Hongjin Jeon²

1 제주대학교 환경공학과, 2 한국수자원공사 수도관리처

(2011년 6월 1일 접수 ; 2011년 7월 18일 수정 , 2011년 8월 2일 채택)

Abstract

To evaluate carbon emission in water treatment processes, LCA (life cycle assessment) was applied to 8 multi-regional water treatment plants (WTPs) from intake to supply of tap water. Investigation of 8 WTPs revealed that average carbon emission for 1 m³ of tap water was 221 g. Major carbon emission sources in water supply system were intake and supply processes. Meanwhile, mixing process was the main carbon emission source in unit water treatment processes. Carbon emission was proportional to the turbidity and COD of raw water. Intake of better raw water and minimization of energy consumption in unit processes are needed to reduce carbon emission in the WTPs. In addition, comparison of carbon emission among WTPs can be used as a parameter for optimization of operation and maintenance of water treatment processes.

Key words : LCA, carbon emission, WTP, tap water

주제어 : 전과정평가, 탄소 배출량, 정수장, 수돗물

1. 서론

전세계적으로 지구 온난화의 주요 원인으로 알려진 이산화탄소를 포함한 온실가스의 배출량 저감을 위해 많은 연구 및 기술개발이 진행 중에 있다. 국내에서도 정부는 새로운 60년을 이룰 국가비전으로 '저탄소 녹색성장'을 제시하고, 기후변화와 에너지·자원 고갈로부터 국민생활의 안전을 도모하고, 경제성장과 환경개선의 선순환을 이끄는 신국가 발전 전략을 제시하였다(녹색성장위원회, 2011).

우리나라는 경제협력개발기구(OECD) 회원국가로서 세계 9위(에너지부문 CO₂ 배출량 기준)의 온실가스 다배출

국이나, 교토의정서상 38개 의무감축국에는 현재 미가입되어 있다. 1990년 이후 제조업 중심의 경제성장으로 온실가스 배출량이 2배 가량 급격히 증가하였으며, 1990년에서 2005년간 온실가스 배출 증가율은 OECD 국가 중 1위이다. 이는 화석연료 의존도가 높은 에너지 다소비 산업구조와 사회구조에 기인하는 것으로 평가된다. 전 산업에서 에너지 다소비 업종(철강·시멘트·석유화학) 비중이 2006년 기준으로 한국은 8.0%로 일본(4.6%), 미국(3.1%)보다 상당히 높은 수준이다(녹색성장위원회, 2011). 정부는 저탄소 녹색성장기본법 제정, 녹색성장 국가전략 및 5개년 계획 수립 등 온실가스 발생량 저감을 위

* Corresponding author Tel:+82-64-754-3448, Fax:+82-64-725-2483, E-mail: kjinkeun@ejunu.ac.kr(Kim, J.K.)

한 정책적 노력을 강화하고 있다. 특히, 2020년 온실가스 감축목표를 2005년 대비 30%로 설정하고, 국가 감축목표 달성을 위한 다양한 연구 및 노력이 진행 중이다. 이와 더불어, 최근 산업 전반에서 온실가스 배출량을 줄이려는 많은 노력이 시도되고 있다.

수돗물을 생산하는 수도시스템은 시설물의 건설, 운영관리에 많은 에너지가 소비되고 있다. 따라서 수도시스템에 대해서도 오염물질 제거를 통한 안전한 수돗물 생산공급 측면뿐만 아니라 지구환경적 측면에서의 온실가스 배출량을 포함한 환경성 평가도 필요한 시점이다. 즉, 현재의 수도시스템이 사회전체에서 얼마나 환경과 조화를 이루고 있는지를 파악하고, 수도시스템의 단위 공정별로 자원, 에너지 소비 등의 최소화과 더불어 온실가스를 포함한 환경오염부하를 저감하기 위한 개선방안을 모색하여야 한다.

국내에서는 2007년 한국수자원공사가 전북 소재 고산정수장을 대상으로 수돗물에 대한 전과정평가(LCA, Life Cycle Assessment)를 최초로 실시하였으며, 이를 토대로 환경성적표지(EDP, Environmental Declaration Product) 인증을 획득하였다(김 등, 2007). 당시 실시된 영향평가의 범주는 자원이고갈 등 9개 분야였으며, 평가결과에 의하면 자원소모가 27.13%로 가장 큰 환경부하를 가지는 것으로 나타났다. 그러나, 취송수를 포함한 단위 정수처리공정별 지구 온난화에 미치는 영향에 대한 분석 및 평가는 다소 제한적이었으며, 현재까지 수돗물 생산공정에서 전체적인 온실가스 배출량 산정에 대한 정수장간 비교 등 구체적인 연구는 다소 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 수돗물 생산 공급과 관련된 원수의 취수에서 수돗물의 송수까지 전과정에서 대한 온실가스 배

출량을 LCA 기법을 활용하여 평가하였다. 또한 정수처리 단위공정에서의 온실가스 배출량을 8개 정수장간에 비교하였으며, 이를 통해 정수처리공정에서의 배출량 저감 개선계획 수립 및 시행에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구 방법

2.1 연구대상 및 범위

한국수자원공사는 전국수도시설의 47.4%를 운영관리하고 있으며(한국수자원공사, 2010a), 본 연구에서는 한국수자원공사에서 운영관리하는 광역상수도 정수장 중 주요 수계별로 8개 정수장을 선정하여 취수부터 공급까지 전과정에 대한 온실가스를 이산화탄소 배출량(이하 탄소 배출량)으로 환산하여 계산하였다. 온실가스는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆) 등 적외선 복사열을 흡수하거나 재방출하여 온실효과를 유발하는 대기 중의 가스상태의 물질로 정의된다(환경부, 2011).

Fig. 1은 수돗물과 공업용수를 동시에 생산하는 정수장을 대상으로 적용한 전과정평가의 흐름도 및 제품시스템 범위의 예를 나타내고 있다. 본 연구 대상인 8개 정수장은 모두 취수원은 다르나 기본적으로 일반적인 정수처리공정(지표수 취수→응집제주입→혼화→응집→침전→급속여과→액화염소소독→급수)을 채택하고 있으며 원수 수질에 따라 추가로 분말활성탄 주입, 전염소 및 중염소 처리를 실시하고 있다. 또한 1개 정수장에서는 소규모로 일반적인 정수처리공정과 병행하여 정밀여과막(MF)공정을 운영 중이다. 본 연구에서는 먹는물 생산과 관련된 공정에서의 탄소 배출

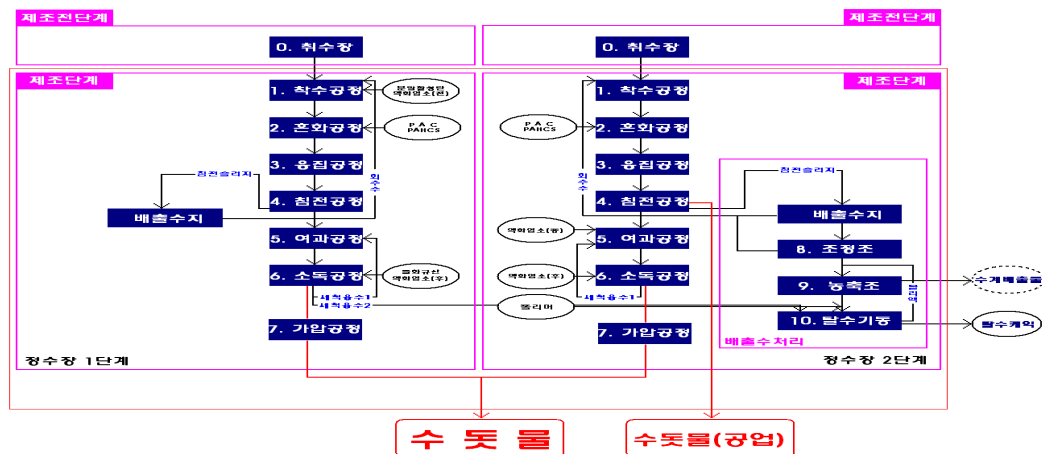


Figure 1. 전과정 흐름도 및 제품시스템 범위(예)

Table 1. 데이터 범주표

데이터범주	세부항목	
투입물	원료물질	유입수(하천수, 호소수)
	보조물질	응집제(폴리염화알루미늄, 폴리수산화염화황산알루미늄 등), 응집 보조제(황산, 수산화나트륨, 소석회, 액화탄산, 폴리머 등) 소독제(액화염소 등), 분말활성탄, 불화규산 등
	에너지 및 용수	전력
산출물	제품 및 부산물	수돗물(정수)
	대기배출물	해당사항 없음
	수계배출물	BOD, COD, SS, 방류수
	고형폐기물	슬러지 케익

주) 데이터 범주는 정수처리공정별로 일부 상이함

량을 산정하였다. 공업용 수돗물도 병행생산하는 정수장의 경우 할당(allocation) 과정을 통해 음용에 사용되는 수돗물의 탄소배출량에 대한 자료만 분석하였다.

2.2. 분석방법

본 연구에서 실시한 LCA는 정수장 단위공정에 투입, 배출되는 물질량 데이터를 모두 수집하여 각 단위공정별로 합산하였다. 광역상수도는 특성상 개별 정수장에서 수돗물 생산 후, 지자체의 주요 배수지까지 송수하고, 이후에서는 지자체에서 개별 수용가에 수돗물을 공급하고 있다. 이러한 특성을 고려하여 배수지 후단의 개별 펌프 운영과 관련된 내용은 본 연구에 반영되지 않았다.

본 연구의 대상인 수돗물 생산에 대한 시스템 경계는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 제조 전 단계, 제조 단계로 구분되며, 각 단계의 수송공정을 포함하였다. 제조 전 단계는 원료물질을 정수장으로 이송하는 공정에 해당한다. 제조 단계는 수돗물 제조의 주요 공정인 정수공정과 정수과정에서 배출되는 폐수를 처리하는 배출수처리공정으로 구분된다. 즉, 제품 제조단계는 정수장의 정수처리 과정에 해당하는 단계로서, 제품을 제조하기 위한 7개의 단위공정(정수공정)과 3개의 보조공정(배출수처리공정)을 모두 포함한다. 자료 분석을 위해 현장 데이터를 수집하고 제품제조 단계로 투입되는 보조물질인 화학물질 자료를 포함하였다. 이 때 원료물질과 화학물질의 투입과 폐기물(탈수케익) 배출에 대한 수송데이터를 포함하였으나, 환경부의 지침에 근거하여 일반폐기물 수송데이터는 제외하였다(환경부, 2011).

일반적으로 상수도시설에 대한 LCA 범위는 건설단계, 운영단계, 폐기단계로 구분하여 산정할 수 있다. 즉 건설단

계에서는 자재(원료채취, 가공 및 조립 등) 및 수송(연료소비, 자동차의 상각비 등), 시공장비의 운전 등에 관한 요소(연료소비 및 기계의 상각비 등)가 포함될 수 있으며, 운영단계에서는 시설운영에 소요되는 동력, 수처리제의 소비 및 수송, 세정수 등의 물 소비 등이 포함되며, 폐기단계에서는 장비의 운전, 폐재의 수송 및 처분이 포함될 수 있다(황 등, 2003). 본 연구에서는 상수도 전과정 평가 중 수도시스템 운영단계에 국한하여 분석하였으며, 연구에 사용된 데이터 범주는 Table 1과 같다.

수돗물에 대한 일반적인 LCA는 환경성적표지 대상제품과 작성지침에 근거하여 실시하였으며, 구체적인 LCA는 EDP 026에 근거하여 실시하였다(환경부, 2011).

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 취수 및 송수공정을 포함한 전체 공정에 대한 탄소 배출량을 분석하였으나 세부 검토내용은 정수처리 단위 공정에 국한하여 기술하였으며, 취송수를 포함한 탄소 배출량 현황표는 3.4절에 제시하였다. 세부적으로 검토한 단위공정은 착수부터 소독까지의 정수처리공정과 배출수처리공정을 포함하고 있다.

3.1 정수처리 공정에서의 탄소 배출량

3.1.1 착수 및 혼화공정

착수공정에서 주요 탄소 배출 인자는 액화염소 및 분말활성탄 주입과 연관되어 있다. 최근 대부분의 정수장에서는 정수처리 효율 향상을 위하여 전염소를 주입하고 있으며, 조류로 인한 맛냄새 원인물질 제거를 위해 분말활성탄을 주

입하는 경우가 많다. 이러한 요인들이 착수정에서의 탄소 배출량 증가에 기여한다. 조사 대상 중 E, F 정수장은 착수정에서 수리적 낙차를 이용하여 응집제를 주입하는 관계로 응집제와 관련한 탄소 배출량이 착수공정으로 분류되어 높은 것으로 조사되었다.

한편, 혼화공정에서의 탄소 배출 영향인자는 응집제, 알칼리제 주입 등 수처리제와 관련된 부분과 혼화기 가동과 관련된 부분으로 나눌 수 있다. 일반적으로 수리적 낙차를 이용한 약품혼화의 경우를 제외하면 혼화공정에서의 탄소 배출량이 착수공정보다 큰 것으로 조사되었다. I 정수장의 경우 응집제는 혼화지에 주입하나, 수리적 낙차를 이용하므로 혼화공정에서의 탄소배출량이 현저하게 낮은 것으로 조사되었다. Fig. 2는 착수 및 혼화공정에서의 탄소 배출량을 나타내고 있으며, 동력 소모가 적은 수리낙차를 이용할 경우에 전반적으로 이산화탄소 배출량이 적은 것으로 평가되었다.

3.1.2 응집 및 침전공정

혼화공정의 경우 수리적 낙차를 이용하는 경우와 기계식 혼화를 이용하는 경우로 대별할 수 있는데 반하여, 응집공정의 경우 조사 대상 정수장에서 모두 기계식 응집기를 사용하고 있다. 응집기의 종류는 패들형, 하이드로포일형, 프로펠러형 등 다양하나, 기본적으로 모두 동력을 사용하는 방식이어서, 정수장별로 탄소 배출량에 큰 차이는 관찰되지 않았다. A 정수장의 경우 상대적으로 탄소 배출량이 낮은 것으로 분석되었는데, 이는 다른 정수장에 비해 가동물이 높아 단위 처리물량 당 투입되는 에너지량이 낮은 것에 기인하는 것으로 판단된다.

침전공정에서 탄소배출원은 슬러지 수집기 및 슬러지 배수펌프 전력 사용 등에 기인하는 것으로 판단된다. H 정수장의 경우 침전공정에서 탄소 배출량이 높게 조사되었는데,

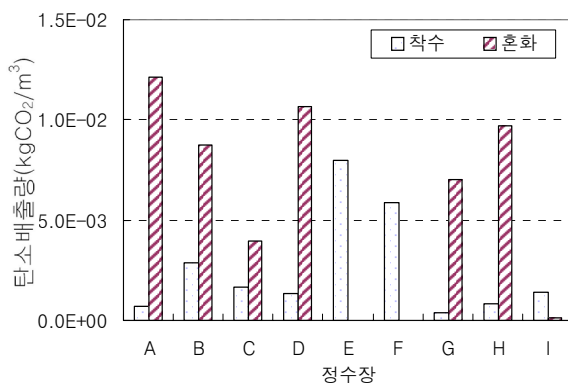


Figure 2. 착수 및 혼화공정에서의 탄소 배출량

이는 침전지 후단에서 중간염소를 주입하여 나타나는 현상으로 분석된다. 또한 B, E 정수장의 경우도 침전공정에서 탄소배출량이 높게 나타나는데 이는 높은 유입수 탁도로 인해 다른 정수장 대비 슬러지 수집기 및 드레인 밸브의 가동 시간이 증가하여 나타나는 현상으로 평가된다. Fig. 3은 응집 및 침전공정에서의 탄소 배출량을 나타낸다.

3.1.3 여과 및 소독공정

여과공정에서 탄소 배출량은 주로 역세척공정과 관련된 표면세척 펌프, 역세척 펌프, 염소처리 등에 영향을 받는다. Fig. 4는 여과 및 소독공정에서의 탄소 배출량 현황을 표시하고 있다. G 정수장은 여과공정에서 급속모래여과와 병행해서 정밀여과막(MF)을 운영하여 탄소 배출량이 높은 것으로 평가되었다. 특히, 막여과 설비를 운영하는 과정에서 사용되는 화학세정이 이산화탄소 배출량 증가에 많은 기여를 하는 것으로 평가되었다. B 정수장의 경우는 다른 정수장과는 달리 여과지 전단에서의 액화염소 주입으로 인해 전체적인 탄소 배출량이 증가하는 것으로 평가된다. 한편, I 정수장의 경우 역세척 소비전력이 상대적으로 큰 것으로 분

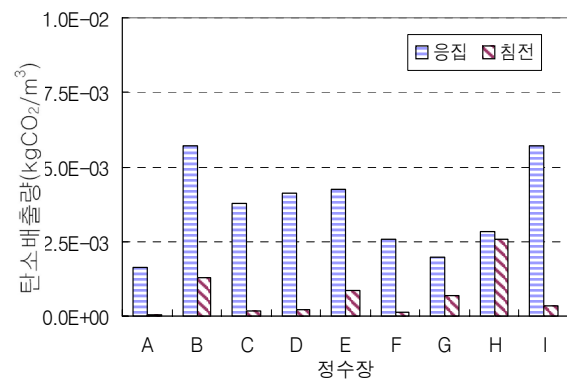


Figure 3. 응집 및 침전공정에서의 탄소 배출량

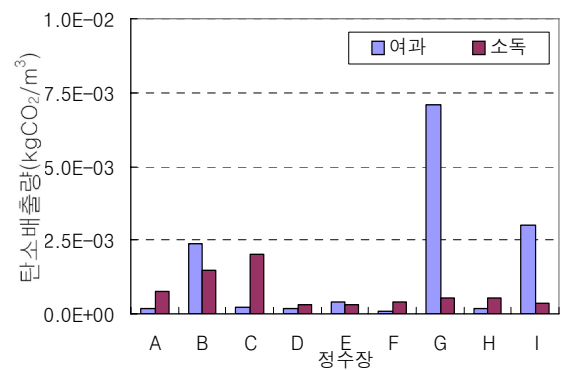


Figure 4. 여과 및 소독공정에서의 탄소 배출량

석되었으며, 향후 개선이 필요한 것으로 평가된다.

소독공정과 관련된 탄소 배출은 주로 액화염소 주입과 관련된 기화기, 액화염소 주입기, 용해수 펌프 등과 관련된 전력소모에서 기인하는 것으로 평가된다. B 정수장의 경우는 조사 대상 정수장 중 유일하게 불소화사업의 일환으로 여과수에 불화규산(H₂SiF₆)을 주입하는 관계로 다른 정수장에 비해 탄소 배출량이 다소 높게 나타났으며, C 정수장의 경우 다른 정수장에 비해 기화기와 용해수 펌프의 소비전력이 높아서 탄소 배출량이 높게 나타났으며, 개선이 필요한 것으로 평가되었다.

3.2. 배출수처리공정에서의 탄소 배출량

조사 대상 정수장은 모두 조정-농축-기계식 탈수공정으로 이루어진 배출수처리시설을 운영하고 있다. 조정공정인 경우 모두 약품 주입 없이 중력식으로 침강시키고 있으며, 조정조와 농축조 중간에 위치한 슬러지 이송펌프 가동에서 기인하는 탄소 배출량은 정수장별로 큰 차이가 없는 것으로

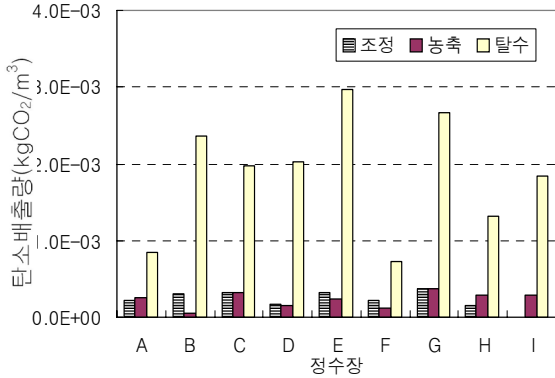


Figure 5. 배출수처리공정에서의 탄소 배출량

조사되었다. 농축공정의 경우에도 대부분의 정수장에서 슬러지 수집기 및 인발펌프의 운영현황이 대동소이하여 탄소 배출량 측면에서 큰 차이는 나타나지 않았다. 그러나 탈수공정인 경우 일부 차이가 있는 것으로 조사되었는데 이는 탈수기 기종(벨트프레스, 필터프레스 등) 별 전력 소모량의 차이 등에서 기인하는 것으로 판단된다. 특히 E 정수장의 경우 탈수공정에서 탄소 배출량이 가장 높은 것으로 조사되었는데, 이는 탈수기 기종에 따른 전력 소모량과 더불어 고탁도의 원수 유입으로 인한 슬러지 발생량 자체가 증가하는 것에도 기인하는 것으로 평가된다. Fig. 5는 배출수처리공정 전체에서의 탄소 배출량을 나타내고 있으며, 탈수공정에서 탄소 배출량이 가장 높은 것으로 조사되었다.

3.3. 원수 수질과 탄소 배출량의 상관성

일반적으로 원수 수질과 정수약품비 간에는 일정한 양의 상관관계가 있다. 즉 원수의 탁도 및 유기물의 농도가 높을수록 이를 제거하기 위한 응집제 주입량이 높아지며, 또한 소독공정에서도 염소요구량이 높아지기 때문이다. 응집제 주입량의 상승은 침전 및 여과공정에서 슬러지 발생량 증가를 초래하며 침전 슬러지 수집기의 가동시간 증가, 역세척 빈도의 증가로 이어진다. 이어서 후속공정인 배출수처리공정에 부하를 높이는 원인이 되어 탄소 배출량을 향상시키는 결과를 초래할 수 있기 때문이다.

Fig. 6은 무기물질 및 유기물 관련 수질지표인 탁도 및 COD와 탄소 배출량간의 상관관계를 나타내고 있으며, 원수 수질과 탄소 배출량 간에는 상관관계가 높은 것으로 조사되었다. 이는 원수수질이 양호할 경우 약품사용량이 경감되고 이는 곧 전력소모 최소화(약품주입공정 등)로 이어지기 때문이다. 따라서 수도물 생산공정에서의 탄소 배출량 저감을 위해서 양질의 상수원수 취수가 중요하다.

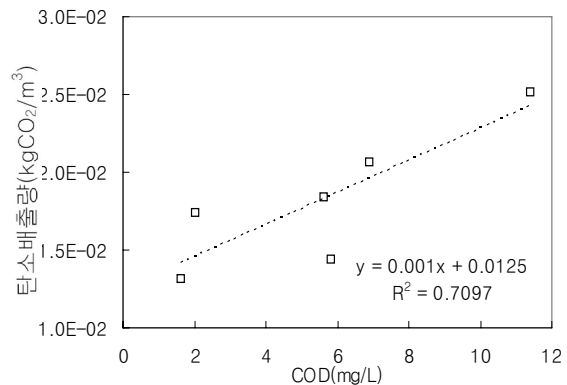
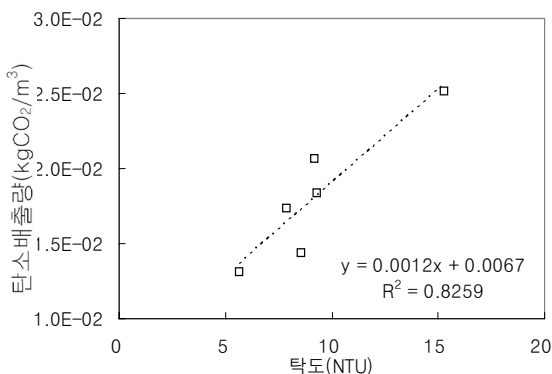


Figure 6. 원수 수질과 탄소 배출량 상관관계(좌-탁도, 우-COD)

3.4. 수돗물의 탄소 배출량 및 저감방안

Table 2는 취수부터 송수까지 수도시스템 전과정에서의 탄소 배출량을 나타내고 있다. 조사대상 8개 정수장의 최소 탄소배출량은 수돗물 1 m³ 당 108 g, 최대 배출량은 354 g으로 나타났으며, 평균 배출량은 221 g으로 분석되었다. 한편, 수돗물과 관련한 대부분의 탄소 배출량은 취수 및 송수과정에서 발생하고 있다. 따라서 수돗물 생산공급과 관련된 탄소 배출량 저감을 위해서는 우선적으로 취수와 관련된 에너지 절감이 선행되어야 할 것으로 평가된다. 정수처리공정에서 탄소 배출량 저감을 위해서는 에너지 투입을 최소화하고, 응집제 사용량을 줄이며, 슬러지 케익 처분을 친환경적으로 실시하는 등의 노력이 필요하다. 구체적 실행방안으로 양호한 원수수질 확보, 정수처리공정개선, 고효율 수처리 설비 사용, 고품질 수처리제 사용, 역세척 수량 최소화, 여과공정 최적화 등이 있으며, 이러한 개선방안은 정수장별 특성을 고려하여 추진할 수 있다. 또한 수도시스템내에서는 신재생에너지로 전력을 대체하기 위한 수온차 냉난방, 소수력, 태양광 발전을 실시 할 수 있으며, 일부 정수장에는 이미 도입되어 운영 중에 있다(한국수자원공사, 2010b)

수도시스템은 안전한 수돗물 생산과 더불어 탄소 배출량을 저감할 수 있는 방안으로 운영관리 되어야 할 것이다. 이를 위해 단위 정수처리공정에 대해 주기적으로 탄소 배출량을 파악하고 운영관리 및 공정개선을 통해 탄소 배출량을 저감하도록 노력해야 할 것이다. 즉, 수도사업자는 정수장별 최종 생산물인 수돗물의 수질에 대한 비교 평가뿐만 아니라, LCA 적용을 통한 정수장별 탄소 배출량 산정 및 비교

평가를 통해 단위공정별로 에너지 사용 효율 향상 및 개선에 노력하여야 한다.

4. 결 론

국내 광역상수도 8개 정수장을 대상으로 수돗물 생산과 관련된 취수부터 송수까지 전공정에 대해 LCA를 활용하여 온실가스 배출량을 탄소 배출량(g CO₂/m³-수돗물)으로 환산하여 평가하였다. 수돗물 1 m³ 당 평균 221 g의 CO₂가 배출 되는 것으로 조사되었으며, 정수처리 단위 공정별 탄소 배출량 특징은 다음과 같다.

1. 취수-정수처리공정-송수까지 전체 공정에 대한 탄소 배출량을 조사한 결과 취수 및 송수에서 대부분의 탄소가 배출되는 것으로 조사되었다.
2. 단위 정수처리공정 중에서는 혼화공정에서 가장 높은 탄소 배출량이 관찰되었다. 특히 기계식 혼화를 이용할 경우 수리적 낙차에 비해 높게 나타났는데, 이는 상대적으로 높은 에너지 사용량에 기인하는 것으로 평가된다.
3. 원수 수질과 탄소 배출량 간에는 높은 양의 상관관계가 존재하는 것으로 조사되었다. 따라서 탄소 배출량 저감을 위하여 양질의 상수원을 확보하는 것이 중요하다.
4. 정수장간 단위 공정별 탄소 배출량 비교를 통해 단위공정별로 에너지 사용 효율을 향상시키는 비교지표로 활용할 수 있으며, 이를 통해 수처리 효율 향상과 탄소 배출량 저감이라는 두가지 측면에서 공정관리 최적화를 실행할 수 있다.

Table 2. 정수처리공정별 탄소 배출량 현황

(단위 : kg CO₂/m³-수돗물)

정수장	시설용량 (천m ³ /일)	취수	착수	혼화	응집	침전	여과	소독	송수	조정	농축	탈수
A	700	1.33E-04	6.79E-04	1.22E-02	1.61E-03	6.05E-05	1.93E-04	7.67E-04	9.15E-02	2.11E-04	2.56E-04	8.49E-04
B	464	2.66E-02	2.87E-03	8.73E-03	5.71E-03	1.31E-03	2.38E-03	1.48E-03	9.90E-02	2.96E-04	4.83E-05	2.37E-03
C	450	1.36E-01	1.63E-03	3.98E-03	3.76E-03	1.59E-04	2.43E-04	2.00E-03	2.04E-01	3.26E-04	3.26E-04	1.97E-03
D	285	1.14E-04	1.36E-03	1.07E-02	4.11E-03	2.06E-04	1.65E-04	3.02E-04	2.76E-01	1.72E-04	1.46E-04	2.02E-03
E	261	5.29E-02	8.01E-03	0.00E+00	4.26E-03	8.42E-04	4.11E-04	3.31E-04	2.35E-01	3.26E-04	2.43E-04	2.96E-03
F	786	1.13E-01	5.86E-03	0.00E+00	2.59E-03	1.35E-04	9.11E-05	4.24E-04	1.02E-01	2.25E-04	1.26E-04	7.19E-04
G	258	1.21E-01	3.87E-04	7.00E-03	1.97E-03	6.91E-04	7.07E-03	5.55E-04	4.52E-03	3.77E-04	3.77E-04	2.66E-03
H	250	9.88E-02	8.25E-04	9.67E-03	2.83E-03	2.58E-03	2.00E-04	5.29E-04	1.10E-01	1.45E-04	2.85E-04	1.31E-03
I	250	1.63E-01	1.42E-03	1.28E-04	5.71E-03	3.48E-04	3.01E-03	3.77E-04	3.15E-05	7.03E-06	2.89E-04	1.84E-03
평균		7.91E-02	2.56E-03	5.82E-03	3.62E-03	7.04E-04	1.53E-03	7.51E-04	1.25E-01	2.32E-04	2.33E-04	1.86E-03
기여도(%)		35.8%	1.2%	2.6%	1.6%	0.3%	0.7%	0.3%	56.4%	0.1%	0.1%	0.8%

감사의 글

본 연구는 개별 정수장별로 산정된 탄소 배출량 자료에 기초하고 있으며, 탄소 배출량 산정에 관여하고 많은 도움을 주신 한국수자원공사 관계자에게 감사드립니다.

참고문헌

김용연, 오금선, 박동학 (2007) 수돗물 생산 전과정의 환경성 평가, 전과정평가학회지, 8(5) pp. 41-51.

녹색성장위원회 (2011) <http://www.greengrowth.go.kr>

한국수자원공사 (2010a) 수도시설 운영관리 편람.

한국수자원공사 (2010b) K-water 2010 지속가능경영보고서.

환경부 (2011) 환경성적표지 대상제품과 작성지침(환경부고시 제 2011-35호).

황용우, 박광호 (2003) 상하수도 시설에 대한 LCA 평가와 활용, 상하수도학회지 17(1) pp. 9-14.