

전과정평가를 통한 물리적 정수처리 방법의 환경성 비교 연구

김형석, 차경훈, *홍준식, **남궁은, 허탁

건국대학교 화학생물공학부, *수처리선진화사업단, **명지대학교 환경생명공학과

A comparison study on physical water treatment facilities using LCA

Hyoungseok Kim, Kyoungsoon Cha, *Joonsik Hong, **Eun Namkung, Tak Hur

Dept. of Chemical and Biological Engineering, Eco-product and system lab, Konkuk Univ.,

*I² WATERTECH

** Dept. of Environmental Engineering and Biotechnology, Myongji Univ.

Abstract

This study aimed to compare the environmental aspects of different water treatment systems using life cycle assessment (LCA). The target system of this study is the three different physical treatment systems which are sand filtration, pressurized type membrane filtration and immersed type membrane filtration. The key environmental issues in this study are analyzed in terms of abiotic resource depletion (ARD) and global warming potential (GWP). As a result, sand filtration represents the worst environmental impact. In case of GWP, sand filtration is about 17 and 27.5% higher than pressurized type and immersed type membrane filtration. ARD has same trend compare with GWP. Impact of sand filtration is about 16.5 and 27.4% higher than. Most of impacts are caused by electricity which considers 40 years operation time of the system. And we can derive benefit from trading of CO₂ on market. If we sell tons of CO₂ which come from emission reduction, we can earn around 463 thousands and 748 thousands euro from exchange sand filtration for pressurized type and immersed type one. Immersed type by this study is the best choice for reduction of CO₂ and sustainable water supply.

1. 서론

산업혁명 이후 세계는 무한발전과 대량생산 및 소비 등 성장을 중심으로 하는 패러다임 하에 놓이게 되었다. 이에 따라, 전 세계 국가들은 경쟁적으로 경제발전 중심의 고성장 정책을 펴게 되었고, 기업은 규모 중심의 발전을 거듭하면서 양적 성장에 치중하였다. 경제 위주의 성장이 지속됨에 따라 경제성장을 위해 사용된 막대한 양의 자원으로 인해 자원고갈 문제가 전세계적인 이슈가 되었고, 특히 물자원의 고갈 문제는 물부족 국가를 중심으로 매우 큰 파급효과를 미치게 되었다.

UN에서는 지난세기 인구가 2배로 증가한 반면, 물 사용량은 6배로 증가하였고, 식량수요의 증가와 더불어 물 사용량은 더욱 더 가파르게 증가할 것으로 예상하고 있어, 향후 물자원의 고갈 문제는 더욱 더 심각해질 것으로 예상된다. 또한, 물은 무한한 자원으로 보이지만 지구에 존재하는 물 가운데 인간이 사용할 수 있는 담수의 양은 0.26%¹⁾에 불과하기 때문에, 지속가능한 발전을 위해 수자원을 효율적으로 관리할 필요성이 증대되고 있다.

물자원은 앞서 언급한 고갈 문제와 더불어 오염도가 증가하는 문제를 동시에 지니고 있어 사용 가능한 담수를 인간에게 제공하기 위한 물의 정수처리 기술개발이 전세계적으로 연구되고 있다.

일반적으로 정수처리는 물리적, 화학적, 생물학적 처리과정으로 구성되고, 이를 위한 기반시설의 건설이 수반된다. 최근 들어 지속가능한 개발에 대한 논의가 글로벌 이슈가 됨에 따라 물의 정수 처리 기술에 대한 환경측면을 고려하고자 하는 연구가 다양하게 진행되고 있을 뿐만 아니라, 정수 처리 기술뿐만 아니라 친환경적인 기반시설 건설에 대한 요구가 증가하고 있다.

본 연구에서는 물리적 정수처리 설비에 대한 전과정평가 수행을 통해 기존 물리적 처리 방식인 사여과 방식과 최근 개발되고 있는 막여과 방식 (가압식, 침지식)에 대한 환경성을 분석하여, 지속 가능한 물 관리를 위한 친환경적인 정수처리 설비 구축 방안을 제시하고자 한다. 본 연구에서는 사회적으로 이슈가 되고 있는 지구온난화 영향과 미국 친환경건축 빌딩 인증인 LEED(Leadership in Energy and Environmental Design)에서 고려하는 Materials & Resource 및 Energy & Atmosphere에 포괄적으로 다루어지는 자원고갈을 주요 환경 이슈로서 고려하였다. 또한 최적의 물리적 처리 방안 도입을 통한 우리나라의 환경적 이득 분석을 통해 환경 개선 효과를 도출할 것이다.

2. 연구방법론

■ 전과정평가(Life Cycle Assessment : LCA)

전과정평가는 제품시스템과 관련된 투입물 및 산출물에 대한 목록을 작성하고 이들과 연관된 잠재적인 환경영향을 평가하며, 연구목적과 관련해서 목록분석 결과와 영향평가 결과를 해석함으로써 제품의 잠재적인 환경영향을 평가하는 기법으로써 정의된다. 이때 전과정이란 원료의 추출과 가공, 제조, 수송, 사용, 재활용, 폐기에 이르기까지의 과정을 포함한다. 본 연구에서는 전과정평가 수행의 국제 규격인 ISO 14040²¹⁾과 14044²²⁾ 따라 물리적 정수처리에 대한 전과정평가를 수행하였다.

3. 연구 수행

■ 목적 및 범위 정의

본 연구의 목적은 물의 물리적 처리를 위해 현재 국내에서 사용되고 있는 사여과 시설과 새롭게 개발되어 상용화 단계에 들어서고 있는 가압식 및 침지식 막여과 방식의 환경적 측면을 비교 평가하여 지속가능한 정수처리를 위한 최적의 물리적 처리방식을 제안하는 것이다.

본 연구의 평가대상은 정수처리 시설 중 물리적 처리 시설로 전통적 방식으로 가장 널리 사용되고 있는 사여과 방식과 새롭게 개발된 가압식 및 침지식 막여과 방식이다.

연구 대상 중 사여과 시설은 다공질의 여층(모래)을 통해 현탁액을 유입시켜 부유물질을 제거하는 방법이다. 막여과 방식은 해수의 담수화를 위한 역삼투가 사용된 이래 상업화가 이루어졌으며, 현재 경제성이 확보됨으로써 정수처리 분야에도 적용이 확대 되었다. 막여과 방식 중 한가지 형태인 침지식 방식은 분리기능을 갖는 고체의 박막을 이용, 용질 성분과 용액을 크기에 따라 분리하는 방식이다. 막 종류에 따라 입지에서 분자 수준까지 분리 제거가 가능하다. 가압식 방식도 침지식 방식과 더불어 분리막 기술을 이용한 여과 방식이며 화학반응이나, 모양변화를 수반하지 않고 압력차로서 물을 막에 통과시킴으로써 현탁물질이나 콜로이드를 물리적으로 분리하는 방식이다.

다음 [Table 1]은 본 연구에서 고려하는 사여과, 침지식, 가압식 방식의 시설의 기능, 기능 단위

및 기준흐름을 나타낸 것이다.

[Table 1] 기능, 기능단위 및 기준흐름

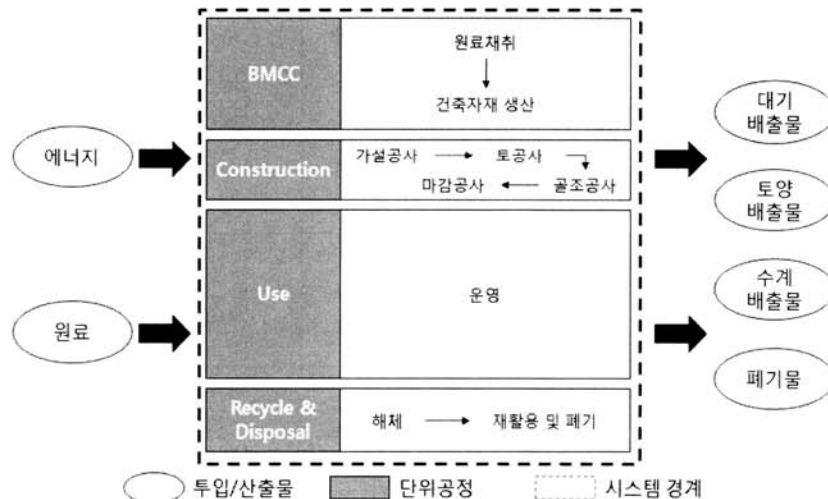
구 분	사 여 과	가 압 식	침 지 식
기 능	취수된 물의 물리적 처리를 통한 정수		
기능단위	40년간, 25,000ton/day의 물리적 정수처리		
기준흐름	1개 시설	모듈 1,512개	카세트 36개

기능단위는 물리적 처리시설의 수명인 40년간 25,000t/day의 물리적 정수처리로 정의하였고, 사여과는 시설 1개소, 가압식은 1,512개의 모듈, 침지식은 36개의 카세트로 기준흐름을 설정하였다. 가압식 및 침지식 막의 기계적 수명은 7년으로, 40년간 총 6번의 교체가 이루어지는 것으로 가정하였다. 가압식은 모듈당 99.2t/day의 정수처리가 가능하며, 침지식은 카세트 당 5,000t/day의 정수처리가 가능하다. 추가로 침지식의 경우, 배출수 처리를 위해 추가적으로 1개의 카세트가 더 필요하다. 다음 [Table 2]에서 기준흐름 설정을 위한 계산식을 나타내었다.

[Table 2] 기준흐름 설정

물리적 처리시설	계산식	기준흐름
사여과	1개소	1개소
가압식	$\frac{25,000t/day}{99.2t/(day \cdot module)} \times 6$	모듈 1,512개
침지식	$(\frac{25,000t/day}{5,000t/(day \cdot cassette)} + 1cassettes) \times 6$	카세트 36개

연구수행을 위한 시스템 경계는 물리적 정수처리 시설로 정의하였으며, 물리적 정수처리 시설의 전과정을 BMCC(Building Material and Component Combination) 단계, Construction 단계, Use 단계 및 Recycle & Disposal 단계로 구분하였다. <Fig 1>는 실제 현장에서의 단위공정과 본 연구에서 고려된 단위 공정을 나타내었으며, 설정된 시스템경계를 나타냈다.



<Fig 1> 단위공정 및 시스템 경계설정.

■ 데이터 수집 및 계산

본 연구에서 각 단위 공정에 대한 데이터의 경우 물리적 정수처리 시설의 실제 설계 보고서를 통해 수집하였으며, 현장 데이터의 사용을 기본원칙으로 하였다. 하지만 데이터 수집이 불가능한 경우에 한해 문헌 데이터를 사용하거나 계산을 통해 산출된 데이터를 사용하였다. 다음 [Table 3]에서는 본 연구에서 사용한 데이터 파라메타, 품질 및 출처를 나타냈다.

[Table 3] 데이터 파라메타, 품질 및 출처

물리적 처리방식	전과정 단계	데이터 파라메타	데이터 품질	출처
사여과	BMCC	레미콘	Secondary	지식경제부
		철근레미콘	Secondary	건설기술연구원, 지식경제부
		철근	Secondary	지식경제부
		PHC-PILE	Secondary	Ecoinvent
		후관	Secondary	환경부
		활성탄	Secondary	환경부
		모래	Secondary	환경부
	Construction	경유	Secondary	지식경제부
		매립 및 재활용	Secondary	지식경제부, Ecoinvent
	Use	전기	Secondary	지식경제부
	Recycle & Disposal	경유	Secondary	지식경제부
		매립 및 재활용	Secondary	지식경제부, Ecoinvent
가압식	BMCC	레미콘	Secondary	지식경제부
		철근레미콘	Secondary	건설기술연구원, 지식경제부
		철근	Secondary	지식경제부
		시멘트	Secondary	환경부
		PHC-PILE	Secondary	Ecoinvent
		가압식막	Primary	S 사
	Construction	경유	Secondary	지식경제부
		매립 및 재활용	Secondary	지식경제부, Ecoinvent
	Use	전기	Secondary	지식경제부
	Recycle & Disposal	경유	Secondary	지식경제부
		매립 및 재활용	Secondary	지식경제부, Ecoinvent
	침지식	BMCC	레미콘	Secondary
철근레미콘			Secondary	건설기술연구원, 지식경제부
철근			Secondary	지식경제부
시멘트			Secondary	환경부
모래			Secondary	환경부
점토벽돌			Secondary	건설기술연구원
모래			Secondary	환경부
침지식막			Primary	K 사
Construction		경유	Secondary	지식경제부

물리적 처리방식	전과정 단계	데이터 파라메타	데이터 품질	출처
		매립 및 재활용	Secondary	지식경제부, Ecoinvent
	Use	전기	Secondary	지식경제부
	Recycle & Disposal	경유	Secondary	지식경제부
		매립 및 재활용	Secondary	지식경제부, Ecoinvent

□ 할증수량 계산

실제 공사현장에서는 실제 시공 수량에 비해 많은 물질이 투입된다. 이는 현장에서 사용되는 건축재들은 대부분 가공된 형태로 제공되며 시공도중 잔여물들이 발생하기 때문이다. 이 특성을 반영하기 위해 할증률을 이용해 시공수량을 계산하였다. 할증률의 정의는 아래 [Table 4]에 나타내었다. 대부분의 물질에 대한 할증률은 [2008 건설표준 품셈]에서 정의하고 있으며, 고시된 할증률을 사용하였다.

[Table 4] 할증률, 실제시공 수량 및 손실량 계산 방법의 정의

구분	내용
할증 수량	실제 시공 시에 필요한 양 - 설계 수량
할증률 ⁴⁾	$\frac{\text{할증 수량}}{\text{설계 수량}}$
실제 시공수량	설계 수량 + 설계 수량 × 할증률 = 설계 시공 시 필요수량
손실량	설계 시공 수량 - 설계 수량 = 손실량
	또는, 설계 시공 시 필요량 - $\frac{\text{설계시공시필요량}}{(1+\text{할증률})}$ = 손실량

□ 장비 유류사용량 계산

건설 시 장비에 따른 유류소비량의 산정을 위해서는 현장 조사가 가장 신뢰도가 높지만, 실제 유류소비량은 공사현장에서 체계적으로 관리가 되고 있지 않아 계산을 이용하여 산정하였다. 한국건설기술연구원과 대한주택공사에서 발간한 “건축물 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발 연구”에서 기술하고 있는 시공단계의 에너지소비량(TOE) 데이터를 사용하여 장비 사용에 따른 연료 소모량을 도출하였다. 연구에서 활용한 에너지소비량 산출식은 다음과 같다.

$$\text{에너지 소비량(TOE)} = 0.0017 \times \text{연면적} + 37.5 \quad (\text{식 } 1^{5)})$$

(식 1)을 이용하여 계산한 에너지 소비량을 바탕으로 건설현장에서 사용한 경유사용량을 도출하기 위해 아래의 (식 2)를 이용하였다.

$$1 \text{ TOE} : 10^7 \text{ kcal} = [\text{에너지사용량}] \text{ TOE} : \chi \text{ kcal} \quad (\text{식 } 2^{5)})$$

비례식을 통해 계산된 값과 경유의 발열량(9,050kcal/ℓ)을 이용해 전체 사용량을 계산하였다. 이후 에너지열량환산기준 및 밀도를 사용해 총 경유무게를 계산하였다. 또한, Use 단계의 전력사용량은 실제 사용량에 대한 데이터 수집할 수 없으므로, 사여과 시설의 경우 규모가 가장 비슷한 암

사정수장의 전력데이터를 기준으로 계산을 통해 산정하였다. 침지식 및 가압식 시설의 경우는 정수설비의 설계데이터를 기준으로 산정하였다.

□ 재활용량 계산

재활용량은 주로 Construction 단계 및 Recycle & Disposal 단계에서 발생한다. Construction 단계에서는 손실량을 기준으로 재활용량을 제외한 나머지 물량은 폐기되는 것으로 산정하였으며, Recycl & Disposal 단계에서는 한국환경자원공사에서 발간한 “2006년도 건설폐기물 재활용 통계 보고서”의 재활용률을 이용하여 재활용량을 계산하였다. 재활용률은 아래 [Table 5]에 나타내었다.

[Table 5] 폐기물 발생량 대비 처리현황^(a)

발생량 및 처리 현황	페콘크리트	페아스팔트 콘크리트	폐합성수지	폐금속류	건설 폐토석	
총 발생 비율	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
처리방법	매립	0.09	0.05	0.17	3.96	5.11
	소각	0.00	0.00	83.67	0.00	0.09
	재활용	99.91	99.95	16.15	96.04	94.80

3. 연구 결과

■ 사여과 시설

사여과 시설에서 지구온난화에 가장 많은 영향을 미친 단계는 Use 단계이다. 이는 정수처리를 위해 투입되는 전기로 인한 영향이 주요원인으로 40년 간의 처리시설 수명동안 투입되는 절대량을 고려하였기 때문이다. 전기로 인해 발생하는 환경영향은 3.13E+07 kg CO₂ equivalent이며, 사여과 시설 전체 지구온난화 영향의 89.49%를 차지한다. 그 다음으로 많은 영향을 미친 단계는 BMCC 단계로 사여과 시설을 건설하기 위해 사용되는 다량의 레미콘으로 인한 영향이 가장 주요 이슈이다. 사여과 시설에서 레미콘 다음으로 영향을 미치는 것이 철근과 레미콘, 장비 사용, 후판이다. 이들이 미치는 환경 영향은 각각 2.77E+06, 4.02E+05, 3.28E+05, 5.23E+04 kg CO₂ equivalent이며, 7.94%, 1.15%, 0.94%, 0.15%의 영향을 차지한다. 일반적으로 건축 면적이 증가할수록 BMCC 단계에서 사용되는 자재가 증가하여 각 자재의 생산을 위해 투입되는 에너지가 증가하게 되며, 건축 면적의 증가와 환경영향은 비례관계로 나타나게 된다. 사여과 시설의 경우 다른 유형의 정수처리 시설보다 많은 면적이 필요로 하게 되는데 이는 모래를 이용한 여과의 특성에 따른 것이다.

자원고갈도 지구온난화의 추세와 동일하게 Use 단계와 BMCC 단계 주요 단계이다. 40년간의 전기의 사용으로 인해 투입되는 화석연료 및 광석들로 인해 환경영향이 크게 나타나며, 그 뒤로 레미콘, concrete 폐기, wire drawing 순으로 환경 영향이 높게 나타났다. 전력 사용으로 나타나는 환경영향은 5.11E+07/yr로 전체 환경 영향의 92.97%를 차지한다. 그 다음으로는 레미콘 및 concrete 폐기로서, 이들의 환경영향은 각각 2.49E+07, 4.47E+07/yr로, 전체 환경영향의 4.52% 0.81%를 차지한다. 다음 [Table 6]은 사여과 시설의 특성화 결과를 나타낸 것이다.

[Table 6] 사여과 시설의 특성화 결과

구분	단위	전과정 단계(Life Cycle Stage)				
		BMCC	Construction	Use	Recycle & Disposal	Total
자원고갈	1/yr	3.16E+06	1.26E+04	5.12E+07	6.50E+05	5.50E+07
지구온난화	kg CO ₂ eq.	3.33E+06	1.68E+05	3.13E+07	1.69E+05	3.49E+07

■ 가압식 시설

가압식 시설은 지구온난화 측면에서 Use 단계에서 가장 큰 영향을 나타내고 있으며, 이는 사여과 시설과 동일한 양상을 보인다. 40년간의 전력사용을 고려하고 있으므로, 전력생산을 위해 투입되는 석탄 등을 포함한 화석 연료 및 광물 자원의 사용으로 인해 환경영향이 크게 나타난다. 전기가 지구온난화에 미치는 영향은 총 2.74E+07 kg CO₂ equivalent로 전체 환경영향의 94.39%를 차지한다. Use 단계 다음으로 BMCC 단계에서 환경영향이 큰 것으로 나타났으며, BMCC 중 레미콘, 장비 사용, 철근, ABS 파우더, PVC의 환경영향이 큰 것으로 나타났다. 이들 중 레미콘 및 장비 사용으로 인해 발생하는 환경영향은 9.83E+05, 2.49E+05 kg CO₂ equivalent로, 전체 환경영향의 3.39%, 0.86%를 차지한다. ABS 및 PVC는 막모듈에 투입되는 물질이다. 본 연구에서는 가압식 막의 수명을 7년으로 정의하였고, 이 정의에 따라 40년간 총 6번의 교체가 발생하게 되어 ABS 및 PVC의 환경영향이 다른 투입 물질에 비해 많은 환경영향을 나타내고 있다.

자원고갈 측면은 정수처리 시설의 수명에 따라 비례하여 투입되는 전력의 사용이 가장 큰 환경영향을 나타냈으며, 그 다음으로 레미콘, concrete 폐기, 철근, PVC 순으로 나타났다. 전력, 레미콘, concrete 폐기로 발생하는 환경영향은 4.48E+07, 8.81E+05, 1.58E+05/yr로, 전체 환경영향의 97.39%, 1.94%, 0.35%를 차지한다. 다음 [Table 7]은 가압식 시설의 특성화 결과를 나타낸 것이다.

[Table 7] 가압식 시설의 특성화 결과

구분	단위	전과정 단계(Life Cycle Stage)				
		BMCC	Construction	Use	Recycle & Disposal	Total
자원고갈	1/yr	1.01E+06	2.70E+03	4.48E+07	1.75E+05	4.60E+07
지구온난화	kg CO ₂ eq.	1.27E+06	1.27E+05	2.74E+07	2.33E+05	2.90E+07

■ 침지식 시설

침지식 시설은 위의 사여과 및 가압식 시설과 동일하게 Use 단계가 지구온난화의 주요 이슈이다. 그 다음으로 BMCC 단계의 영향이 크게 나타났으며, 그 중에서는 레미콘, 장비사용, 철근 등의 환경영향을 높게 나타냈다. 전력, 레미콘, 장비사용으로 인해 발생하는 환경영향은 각각 2.37E+07, 9.50E+05, 2.68E+05 kg CO₂ equivalent로, 전체 환경영향의 93.60%, 3.75%, 1.06%를 차지한다.

자원고갈의 경우에는 Use 단계를 제외하고 레미콘, concrete 폐기, 철근의 영향이 크게 나타났으며, 가압식 시설과 마찬가지로 막의 수명을 7년으로 가정하였다. 이로 인한 환경영향이 BMCC 단계에서 크게 나타나지만 전체 환경영향에서 기여도는 위에 언급한 BMCC들에 비해 작은 것으로 나타났다. 전력, 레미콘, concrete 폐기가 환경에 미치는 영향은 4.00E+07, 8.52E+05, 1.53E+05/yr

로, 전체 환경영향의 97.06%, 2.13%, 0.38%를 차지한다. 다음 [Table 8]은 침지식 시설의 특성화 결과를 나타낸 것이다.

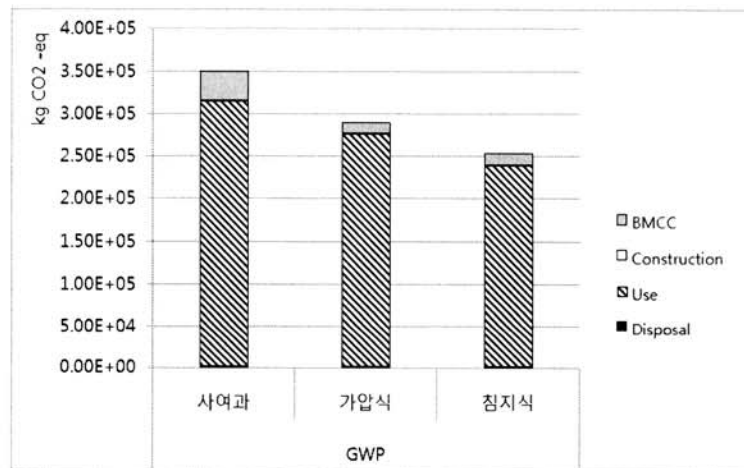
[Table 8] 침지식 시설의 특성화 결과

구분	단위	전과정 단계(Life Cycle Stage)				
		BMCC	Construction	Use	Recycle & Disposal	Total
자원고갈	1/yr	1.00E+06	2.81E+03	3.88E+07	1.72E+05	4.00E+07
지구온난화	kg CO ₂ eq.	1.32E+06	1.37E+06	2.37E+07	1.65E+05	2.53E+07

■ 결과 비교

□ 지구온난화 영향

세 가지 방식의 환경 영향을 비교한 결과는 아래와 같다. <Fig 2>은 세 가지 방식에 대한 특성화 결과를 누적그래프로 나타내었다. 전과정에 걸친 지구온난화 영향은 사여과 시설이 가장 높은 것으로 나타났다. 사여과 시설이 가압식 및 침지식 시설보다 17.0% 및 27.5% 많은 지구온난화 영향을 미치는 것으로 나타났다. 사여과 시설의 Use 단계에서 전력 사용량이 가압식 및 침지식 시설보다 약 12.5%, 24.2%가 높게 나타났으며, BMCC 단계의 영향도 62.0%, 60.4%가 더 높은 것으로 나타났다. 이 두 단계에서의 환경영향이 전체 환경영향의 98%를 차지한다. 따라서 Use 단계에서 가장 많은 전력을 사용하고, 넓은 부지로 인한 BMCC들을 많이 사용하는 사여과 시설이 가장 많은 환경 영향을 미치는 것으로 나타났다.



<Fig 2> 지구온난화 영향 비교.

[Table 9]에서와 같이 사여과 시설이 가압식 시설, 침지식 시설보다 CO₂ 배출이 많은 것을 알 수 있다. 또한 CH₄ 및 N₂O의 배출도 다른 시설들에 비해 많은 것을 알 수 있다. 사여과 시설에서 발생하는 총 이산화탄소 환산량은 3.49E+07 kg으로 가압식의 배출량인 2.90E+07 kg과 침지식의 배출량인 2.53E+07 kg에 대비해 17.03%와 27.49%가 높다는 것을 알 수 있다. 또한 시설 내에서 온실가스 간 이산화탄소 환산량은 CO₂의 배출로 인한 환경영향이 가장 높은 것으로 나타났다. 이는

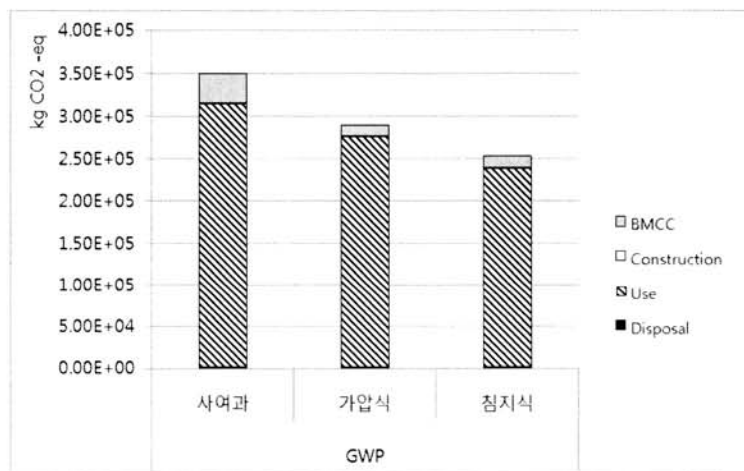
세 가지 방식의 시설에서 모두 동일하게 나타났다.

[Table 9] 기체 종류별 지구온난화 영향 및 기여도

No	Substance	사여과		가압식		침지식	
		환경영향 (kg CO ₂ eq.)	기여도 (%)	환경영향 (kg CO ₂ eq.)	기여도 (%)	환경영향 (kg CO ₂ eq.)	기여도 (%)
1	CO ₂	3.44E+07	98.43	2.85E+07	98.47	2.49E+07	98.46
2	CH ₄	5.42E+05	1.55	4.39E+05	1.52	3.86E+05	1.53
3	N ₂ O	5.93E+03	0.02	3.35E+03	0.01	3.58E+03	0.01
4	Remaining substance	3.60E+02	0.00	6.29E+01	0.00	6.62E+01	0.00
Total of all compartments		3.49E+07	100	2.90E+07	100	2.49E+07	100

□ 자원고갈

<Fig 3>에서 볼 수 있듯이 자원고갈의 경우에도 사여과 시설이 가장 높은 영향을 나타내는 것으로 나타났다. 사여과 시설이 가압식 및 침지식 시설보다 16.5% 및 27.4% 많은 자원고갈 영향을 미치는 것으로 나타났다, 사여과 시설의 전력 사용으로 인한 자원고갈 영향이 가압식 시설에 비해 12.5%가 높게 나타났으며, 침지식 시설에 비해 24.2%가 높은 것으로 나타났다. 또한, BMCC 단계에서는 가압식 및 침지식 시설보다 사여과 시설이 약 68.1% 및 68.3%가 높은 것으로 나타났다. 자원고갈도 지구온난화와 마찬가지로 Use 단계 및 BMCC 단계의 영향이 99%로 거의 대부분을 차지하고 있으며, 가장 많은 면적이 요구되는 사여과 시설이 막여과 시설들에 비해 높은 환경영향이 나타났다.



<Fig 3> 자원고갈 영향 비교.

[Table 10]에서 나타내듯이 자원고갈에 미치는 다양한 원료가 영향을 미치지만 그 중 전력의 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 BMCC 생산을 위한 에너지 사용과 시설의 운영 시 투입되는

전력 생산을 위한 투입량이 다른 원료의 투입량에 비해 압도적으로 많기 때문이다. 전과정 단계에서 Concrete의 폐기 시의 환경영향도 전력, 레미콘에 이어서 세 번째로 높게 나타났다.

[Table 10] 물질 종류별 자원고갈 영향 및 기여도

No	구분	사여과		가압식		침지식	
		환경영향 (1/yr)	기여도 (%)	환경영향 (1/yr)	기여도 (%)	환경영향 (1/yr)	기여도 (%)
1	전력	5.12E+07	93.0	4.48E+07	97.4	3.88E+07	97.6
2	레미콘	2.49E+06	4.5	8.81E+05	1.9	8.52E+05	1.8
3	Concrete 폐기	4.47E+05	0.8	1.58E+05	0.3	1.53E+05	0.3
4	Wire drawing	2.48E+05	0.4	-		-	
5	철근	2.39E+05	0.4	8.66E+04	0.2	7.60E+04	0.2
6	후판	2.00E+05	0.4	-		-	
7	PVC	-		3.42E+04	0.1	1.71E+04	0.0
8	PU	-	-	-		4.97E+04	0.1
9	기타	2.49E+05	0.5	2.51E+04	0.1	2.79E+04	0.1
Total of all compartments		5.50E+07	100	4.60E+07	100	4.00E+07	100

■ 시나리오

□ 사여과 시설 대체로 인한 CO₂ 저감효과 분석

우리나라의 환경부는 차세대환경기술개발사업으로 Eco-STAR Project를 진행하고 있으며, 이 프로젝트에서는 막 분리 기술을 이용한 고도 처리된 정수된 정수의 상수관망 공급까지도 관리가 가능토록 막분리 고도정수 기술 상용화를 목표로 기획연구를 수행하고 있다. 이에 막여과 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 침지식 및 가압식 시설에 대한 기술을 개발하였다. 향후 우리나라의 정수처리 기술을 막여과 기술로 대체함으로써 안전하고 맛있는 수돗물의 공급을 하고자 하고 있다.

현재 우리나라에는 6,042 kt/day의 물을 정수처리 할 수 있는 시설이 있다. 이 시설들을 모두 막여과 시설로 대체했을 때 얻을 수 있는 감축량은 [Table 11]과 같다. 시설들을 모두 막여과 시설로 교체함으로써 온실가스 감축량에 기여할 수 있으며, 사여과 시설을 가압식 시설로 대체했을 경우 1년간 CO₂ 감축량은 약 4만 톤에 해당한다. 또한, 사여과 시설을 침지식 시설로 대체했을 경우의 양 3만 톤/년의 CO₂ 배출량을 저감할 수 있다.

[Table 11] 국내 정수처리 시설 대체에 따른 CO₂ 배출량 및 교체로 인한 감축량

구분	Total(kg CO ₂)	Total(t CO ₂)	1년 기준 (t CO ₂)	사여과 기준 감축량
사여과(기준)	8.44E+09	8,440,692	211,017	-
가압식(대체)	7.00E+09	7,003,644	175,091	35,926t
침지식(대체)	6.12E+09	6,120,121	153,003	58,014t

CO₂ 감축량은 CO₂ 거래를 통해 경제적 가치를 가질 수 있으며, 본 연구에서 사용한 거래가격은 가격급변이 미치는 경제적 효과를 최대한 배제하기 위해 ECX(European Climate Exchange)⁷⁾에서 제공하는 장내 거래가격을 가중평균하여 계산하였다. CO₂ 거래가격의 가중평균을 위한 식은 다음(식 3)에 나타내었으며, 본 연구에서는 2009년 거래가격 및 거래량을 기준으로 계산하였다.

$$P_{CO_2} = \frac{\sum_{n=1}^n (P_{CO_2} \times V_{CO_2})}{\sum_{n=1}^n (V_{CO_2})} \quad (\text{식 2})$$

P_{CO_2} : 일일 CO₂ 거래가격

V_{CO_2} : 일일 CO₂ 거래량

이를 이용하여 거래가격을 기준으로 경제적 효과를 분석한 결과는 [Table 12]와 같다. 사여과 시설을 가압식으로 대체했을 경우는 1년간 약 7억 원의 경제적 이득을 얻을 수 있으며, 사여과 시설을 침지식으로 교체했을 경우는 약 11억 원의 경제적 이득을 얻을 수 있다.

[Table 12] CO₂ 저감에 따른 경제적 효과(1년 기준)

구분	유로 환산*	원화 환산('10.9.3. 환율 기준)	
가압식	463,645.90	699,015,743.43	약 7억원
침지식	748,704.37	1,128,784,149.06	약 11억원

* ECX '09년 가중 평균가격 기준(<http://ecx.eu/>)

4. 결론

본 연구의 대상인 사여과 시설, 가압식 시설, 침지식 시설은 시설의 40년간의 총 수명기간 동안 사용되는 전력으로 인한 환경영향이 가장 높은 것으로 나타났다. BMCC 단계는 환경 영향 측면에서 Use 단계에 다음으로 높은 영향을 나타냈다. BMCC 단계는 건물을 건설하기 위한 건축자재들을 생산하는 단계로서 건축자재가 많이 사용될수록 높게 나타나는데 사여과 시설의 경우는 일정량을 정수하기 위한 단위 면적이 막여과 시설에 비해 넓으며 이에 비례하여 건축자재의 사용량도 증가하게 된다. 이로 인하여 사여과 시설의 환경부하가 막여과 시설에 비해 높은 환경 영향을 나타낸다. 향후 정수처리 시설의 건설에 있어 막여과 시설을 건설한다면 현재보다 낮은 환경부하를 나타내는 정수처리 시설을 건설할 수 있다. 또한, 현재 사여과 시설로 정수처리를 하고 있는 국내 수처리 시설을 가압식 및 침지식 처리 시설로 교체할 경우에는 CO₂ 저감으로 각 7억 원 및 11억 원의 경제적 이득을 얻을 수 있다. 이는 지속가능한 수자원이용의 측면에서 매우 바람직할 것이다.

5. 사사

본 연구는 환경부 Eco-STAR Project 수행기관인 수처리선진화사업단 (I2WATERTECH 07-8-1)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

6. 참고문헌

- 1) 국토해양부, “물과 미래”, 10~18 (2009)
- 2) ISO(the International Organization for Standardization) “ISO 14040, Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and framework”, ISO, second edition, (2006)
- 3) ISO(the International Organization for Standardization) “ISO 14044, Environmental management-Life Cycle Assessment-Requirements and guidelines”, ISO, second edition, (2006)
- 4) 건설기술연구원, “2008 건설공사 표준품셈”, (2008)
- 5) 한국건설기술연구원/대한주택공사, “건축물 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발연구”, 96~106 (2004)
- 6) 한국환경자원공사, “2006년도 건설폐기물 재활용통계조사보고서”, (2007)
- 7) ECX, <http://ecx.eu/market-data/ecx-historical-data/eua-futures>