

# ECAM 모형을 이용한 국내 지자체의 물공급시설 탄소 배출량 평가

문기훈, 홍성진, 유도근  
수원대학교 토목공학과  
e-mail:godurum3@naver.com  
e-mail:ydl163123@naver.com  
e-mail:dgyoo411@suwon.ac.kr

## Carbon Emissions Assessment for Regional Water Supply Facilities using the ECAM model

GiHoon Moon, Sung Jin Hong, Do Guen Yoo  
Dept. of Civil Engineering, The University of Suwon

### 요약

본 연구에서는 국외에서 개발된 ECAM 모형을 활용하여, 국내 지자체 물공급 시스템의 과정별 탄소배출량을 분석해보고자 하였다. 모형의 구동을 위해 상수도분야의 공인자료라고 할 수 있는 상수도통계자료를 활용하였다. 모형구동 시 전력사용량에 기반한 물공급 단계별 탄소배출량의 정도를 확인하여 도출하였으며, 전력사용량의 탄소배출량으로 순환환산이 아닌 인당 및 단위 수량당 배출량의 결과를 획득하고 그 결과를 물공급 환경(누수율, 사용량, 급수량, 정수처리 방식)들과 비교하여 의미를 도출하였다. 지자체 별 상대적 비교를 위하여 인구밀도와 급수율, 그리고 누수율의 차이가 있는 2개의 지자체를 선정하여 그 결과를 비교하여 제시하였다. 이와 같은 기초적 연구의 결과는 향후 물공급시스템의 탄소중립이행을 위한 실행계획 수립시 활용가능 할 것으로 기대된다.

비율 결과를 활용한 탄소배출량 저감대책이 구체적으로 수립되어야 한다.

### 1. 서론

최근 전세계적으로 기후변화에 의한 지구온난화 문제의 대응을 위하여 탄소중립에 대한 관심이 높아지고 있다. 탄소 중립은 개인이나 회사, 단체가 이산화탄소를 배출한 만큼 흡수하는 대책을 세워 이산화탄소의 실질적인 배출량을 '0'으로 만든다는 개념이다. 우리나라 정부도 2020년 관계부처 합동으로 '2050 탄소중립 추진전략'을 마련하여 지속가능한 녹색 사회 실현을 위한 탄소중립 5대 기본방향과 부문별 전략을 제시한 바 있다[1]. 이와 같은 전략은 산업(화석연료→전기·수소), 수송(내연기관→친환경차), 건물(도시가스→전기화) 분야에 대한 탄소중립이행 중심으로 전략이 수립되었으며, 기후변화의 영향이 가장 큰 분야 중 하나인 물관리 분야에 대한 탄소중립 추진정책은 물절약, 재이용활성화, 누수저감 등으로 기존의 유수율 제고 및 물손실저감정책을 지속적으로 추진하는 수준에 그치고 있다. 물 공급시설에 대한 탄소중립을 구체적으로 달성하기 위해서는 기본적으로 물 공급과정에 대한 에너지 사용의 원단위 조사가 필수적으로 수행되어야 하며, 원단위에 기반한 각 공급과정에 대한 에너지 사용

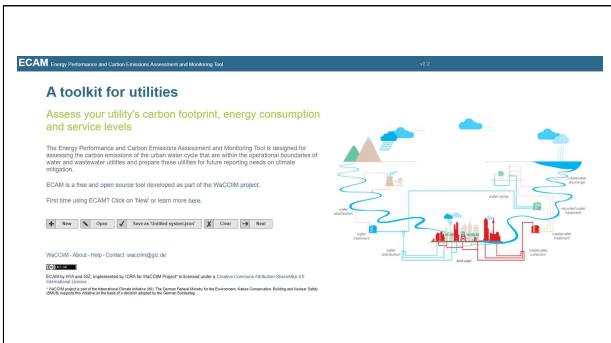
상하수도 사업자는 물의 효율적인 사용을 촉진함으로써 에너지 사용을 줄일 수 있으며, 이는 결국 물을 처리하고 분배하는 데 필요한 에너지의 양을 줄이게 된다. 예를 들어 미국 캘리포니아에서는 도시의 물 사용에 필요한 전력의 70%가 물 공급 및 처리단계에서 소비된다[2]. 국외의 경우 물순환(물공급 및 수처리) 분야에 대한 에너지 사용 원단위 조사 및 효율적 에너지 효율화 추진이 활발히 이루어지고 있다. 미국의 EPA에서는 물공급 및 처리 시설의 직접적인 에너지 효율성 개선에 중점을 둔 가이드라인을 제시한 바 있으며[3], 국제물협회(IWA)에서는 WaCCliM(Water and Wastewater Companies for Climate Mitigation) 프로젝트를 통해 수도시설에서의 에너지 성능 및 탄소 평가 모니터링 도구(ECAM: Energy Performance and Carbon Assessment and Monitoring Tool)를 개발하여 수도시설에서 온실가스 배출량을 줄이는 동시에 이에 대한 비용을 평가할 수 있도록 하였다[4]. 국내의 경우 물공급분야의 탄소배출량 산정 및 저감에 관한 연구는 초기단계라 할 수 있으며, 기본적인 물공급단계 별 탄소배출량의 산정이 우선적으로 수행되어야 한다.

본 연구에서는 국외에서 개발된 ECAM 모형을 활용하여,

국내 지자체 물공급 시스템에서의 탄소배출량을 분석해보고자 하였다. 특히, 상수도분야의 공인자료라고 할 수 있는 상수도통계자료를 활용하여, 물공급 단계별 탄소배출량의 정도를 확인해보고, 추가적 분석을 위해 필요하거나 가공되어야 하는 자료를 제시해보고자 하였다.

## 2. 연구 방법

WaCCliM프로젝트를 통해 개발된 ECAM 틀은 물공급 및 물순환의 주요 단계라 할 수 있는 취수, 정수, 급수, 그리고 수처리 과정에서의 온실가스 발생량을 산정할 수 있다. ECAM 틀은 2019년 요르단 Madaba의 수도 시설에서 적용되어 탄소배출량에 대한 기본 평가가 수행된 바 있다. 적용 결과에 따르면, Madaba에서 소비되는 에너지의 89.7%는 물 공급의 취수 및 분배 시스템에서 소비되는 반면, 폐수의 수집, 처리 및 배출 단계에서 소비되는 에너지는 10.3%로 제시된 바 있다 [5].



[그림 1] 웹기반 ECAM 틀 화면

ECAM의 구동을 위해 필요한 입력 데이터는 크게 4가지로 나눌 수 있는데, 인구, 생산량, 전력사용량, 그리고 유지비용으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 2019년도 상수도 통계자료[6]를 사용하였으며, 지자체별 총 인구, 급수인구를 인구 및 물 생산량 분야의 자료로 활용하였으며, 전력사용량은 취수장, 정수장, 급수부분의 3가지 세부분야의 전력사용량(급수파트의 전력은 가압장의 전력사용량 자료를 활용)을 구분하여 입력하였다. 또한, 유지비용의 경우 지자체 세출현황 부분의 유지관리비 및 동력비 항목의 값을 활용하여 모형 구동을 수행하였다.

최종적으로 취수, 정수, 그리고 급수과정의 물 생산량 및 전력사용량을 입력하여, 각 과정별 연간 및 1인당, 그리고 단위수량당 탄소배출량을 산정하게 된다. 또한 각 과정에서의 단위수량당 에너지 소비량을 kWh/m<sup>3</sup>단위로 환산하여 도출함으로써 전력단위의 비교도 가능하도록 결과를 도출하였다. 본 연구에서는 지자체 별 상대적 비교를 위하여 인구밀도가

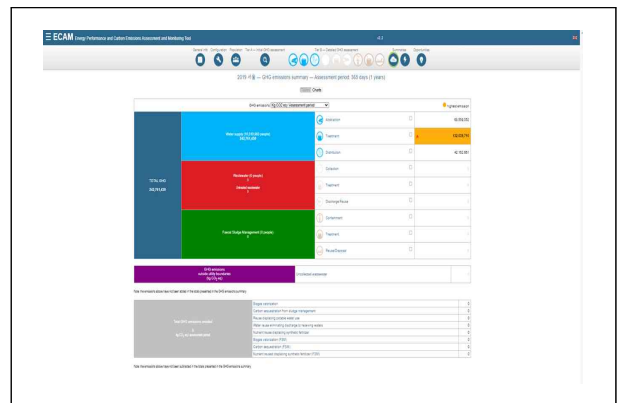
가장 높고 급수율이 100%인 지자체 A시와 인구가 상대적으로 적으며, 급수율이 100%가 되지 않는 지자체 B시를 선정하여 그 결과를 비교하였다.

## 3. 적용 및 결과

표 1은 A와 B시의 적용 및 분석을 위해 입력된 상수도 통계자료를 나타내고 있다. A시와 B시를 비교해보면, 급수인구는 A시는 B시에 비해 약 34.4배 많은 것을 확인할 수 있다. 급수인구의 차이와 유사하게 취수량(약 44.5배), 정수량(약 47.6배), 급수량(약 24.6배)이 분포되나, 상수도 통계에 따른 정수 사용 전력량이 A시는 B시에 비해 약 79.4배 큰 것으로 나타나 A시가 원수를 정수처리하는데 많은 에너지를 소비하고 있음을 확인할 수 있다. 이것은 고도정수처리 등과 같이 정수처리공법 및 공정의 차이에서 기인할 수 있다.

[표 1] 상수도 통계 기반 입력자료

항목	A시	B시
총인구(명)	10,010,983	292,916
급수인구(명)	10,010,983	291,139
취수량(m <sup>3</sup> )	1,100,108,149	24,714,167
취수 사용 전력(kWh)	135,928,011	4,255,039
정수량(m <sup>3</sup> )	1,177,004,291	24,714,167
정수 사용 전력(kWh)	261,787,399	3,296,301
급수량(m <sup>3</sup> )	1,157,016,773	46,982,010
급수 사용 전력(kWh)	83,593,435	2,547,455
유지관리비(원)	475,135,849	19,224,006
동력비(원)	55,267,911	1,425,288



[그림 2] ECAM 틀을 통한 각 과정별 탄소발생량 산정

[표 1]의 상수도 통계 기반의 입력자료를 ECAM 틀에 입력하게 되면, 취수, 정수, 급수 3가지 과정의 환산된 탄소배출량을 확인할 수 있다. [표 2] - [표 4]는 2개 지자체의 취수, 정수, 그리고 급수과정의 총 탄소배출량과 단위수량당 에너지소비

량 도출 결과를 제시하고 있다. A시의 급수인구당 총 탄소배출량은 24.25kgCO<sub>2</sub>eq으로 나타났으며, B시의 급수인구당 총 탄소배출량은 17.49kgCO<sub>2</sub>eq으로 제시되었다. 단위수량(m<sup>3</sup>)당 탄소배출량은 A시와 B시 각각 0.208kgCO<sub>2</sub>eq 및 0.181kgCO<sub>2</sub>eq으로 생산량 대비 탄소배출량의 차이(약 1.15배)는 급수인구당 탄소배출량(약 1.39배) 대비 크지 않은 것으로 확인되었다. 이와 같은 총 탄소배출량의 급수인구 별 그리고 단위수량당 차이가 발생하는 것은 각 지자체의 누수율과 일인당 하루 물사용량(Liter Per Capital Day, lpcd)이 서로 다르기 때문이다. A시와 B시의 1인 1일 사용량은 각각 291.3lpcd와 289lpcd로 유사하나 누수율은 큰 차이가 있다. 즉, 누수율의 경우 그 값이 높을수록 같은 사용량을 공급하더라도 상대적으로 많은 물을 공급해야하므로 정수의 생산량이 많아 질 수밖에 없다. A시는 누수율이 1.8%에 불과하, B시는 누수율이 28.8%로 상대적으로 매우 높은 수준을 보이고 있어, 1인 1일 급수량은 결국 A시에 비해 B시가 오히려 높게 나타난다. 이것은 인구비율에 따라 총 탄소배출량은 경향이 유사하게 나타나나 물공급시설의 관리 수준 등에 따라 단위수량당 탄소배출량의 값은 그 경향이 축소 또는 확대될 수 있음을 의미한다.

[표 2] 취수과정 출력 자료

항목	A시			B시		
	연간 (1,000 kgCO <sub>2</sub> eq)	인당	단위 수량 당	연간 (1,000 kgCO <sub>2</sub> eq)	인당	단위 수량 당
총 탄소배출량 (kgCO <sub>2</sub> eq)	68,559	6.85	0.062	2,146	7.37	0.087
취수된 단위수량당 에너지 소비량 (kWh/m <sup>3</sup> )	0.12			0.17		

[표 3] 정수과정 출력 자료

항목	A시			B시		
	연간 (1,000 kgCO <sub>2</sub> eq)	인당	단위 수량 당	연간 (1,000 kgCO <sub>2</sub> eq)	인당	단위 수량 당
총 탄소배출량 (kgCO <sub>2</sub> eq)	132,040	13.19	0.11	1,663	5.71	0.067
취수된 단위수량당 에너지 소비량 (kWh/m <sup>3</sup> )	0.22			0.13		

[표 4] 급수과정 출력 자료

항목	A시			B시		
	연간 (1,000 kgCO <sub>2</sub> eq)	인당	단위 수량 당	연간 (1,000 kgCO <sub>2</sub> eq)	인당	단위 수량 당
총 탄소배출량 (kgCO <sub>2</sub> eq)	42,163	4.21	0.036	1,285	4.41	0.027
취수된 단위수량당 에너지 소비량 (kWh/m <sup>3</sup> )	0.072			0.054		

주목할만한 특징은 A시의 경우 B시에 비해 매우 낮은 누수율을 통해 생산량을 효율적으로 관리하여 에너지를 저감하고 있으나, B시에 비해 정수과정의 인당 탄소배출량과 단위수량당 탄소배출량이 매우 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이것은 정수처리 공정적용되는 공법의 차이에서 기인되는 것으로 보이며, A시는 고도정수처리를 B시는 급속여과에 의한 정수처리를 수행하고 있음을 확인하였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 국내의 2개 지자체를 대상으로 물공급시설에 대한 탄소배출량을 취수, 정수, 그리고 급수과정으로 구분하여 산출하고 그 결과를 비교분석하였다. 국가공인된 상수도 통계정보를 활용하여 전력사용량에 기반한 탄소배출량을 환산하여 도출하였으며, 단순 환산이 아닌 인당 및 단위 수량당 배출량의 결과를 획득하고 그 결과를 물공급 환경(누수율, 사용량, 급수량, 정수처리 방식)들과 비교하여 의미를 도출하였다. 향후 정수처리 공법에 따른 에너지소비량에 대한 정확한 정보를 확인하여 도출된 결과를 보다 상세히 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 행정안전부 극한재난대응기반기술개발사업의 연구비 지원(2019-MOIS31-010)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] 대한민국 정책브리핑 (2020) 2050 탄소중립 추진전략. <https://www.korea.kr/special/policyCurationView.do?newsId=148881562>
- [2] Elkind, E. (2011). Drops of energy: Conserving urban water in California to reduce greenhouse gas emissions. Berkeley, CA, USA: Center for Law, Energy & the Environment (CLEE), UC Berkeley School of

Law.

- [3] US-EPA (2013) Energy efficiency in water and wastewater facilities: A Guide to Developing and Implementing

Greenhouse Gas Reduction Programs.

- [4] Energy Performance and Carbon Emissions Assessment and Monitoring Tool v2.2 (2021) Web-manual in <http://wacclim.org/ecam/>

- [5] Saidan, M., Khasawneh, H. J., Aboelnga, H., Meric, S., Kalavrouziotis, I., Hayek, B. O., ... & Porro, J. C. (2019). Baseline carbon emission assessment in water utilities in Jordan using ECAM tool. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 68(6), 460-473.

- [6] 환경부 (2021), 2019 상수도 통계