

지속가능한 개발을 위한 침투형 우수배수시스템의 환경성 및 경제성 평가

염성일, 이정민, 최인식, 김용인, 안정규*
인천대학교 건설환경공학과

Environmental and Economical Evaluation of Infiltration Type Rainwater Drainage System for Sustainable Development

Seongil Yeom, Jeongmin Lee, Insik Choi, Yong In Kim, Jungkyu Ahn*
Department of Civil and Environmental Engineering, Incheon National University

요약 도시 홍수 예방을 위한 기본적인 도시 인프라인 우수 배수 시스템은 지표면 유출수를 도로 외측의 배수 시설을 통해 배출하는 전통적인 방식으로 운영되고 있다. 그러나 이 지표면 배출 방식은 기후 변화와 도시화로 인해 발생하는 문제에 효과적으로 대응하지 못하고 다양한 문제의 원인이 되고 있다. 이러한 문제를 극복하고 도시 물 순환의 건전성을 회복하기 위해 침투형 우수 배수 시스템이 제안되었다. 이러한 시스템의 도시 홍수 예방 효과에 대한 연구는 진행 중이나, 환경성 및 경제성 평가에 대한 연구는 미비한 실정이다. 본 연구는 침투형 우수 배수 시스템의 우수성을 정량적으로 평가하기 위해 수행되었다. 연구 대상은 원형 수로 및 U형 측구형 배수 시스템을 선정. 생애 주기 평가(Life Cycle Assessment) 기법을 활용하여 각 배수 시스템의 온실 가스 배출량을 계산하였다. 환경 영향을 평가하기 위해 생애 주기 영향 평가(Life Cycle Impact Assessment)를 수행하였다. 또한, 생애 주기 비용 분석(Life Cycle Cost Analysis) 기법을 활용하여 각 우수 배수 시스템의 경제성을 비교 분석하였다. 연구 결과, 침투형 우수 배수 시스템은 온실 가스 감축 효과가 현저했다. 또한, 자원 소모, 지구 온난화, 오존층에 미치는 부정적인 영향이 가장 적은 기술로 확인되었다. 또한, 생애 주기 비용 평가 결과는 취득, 사용, 폐기 단계에서의 비용 절감 효과를 나타내어 침투형 우수 배수 시스템의 우수성을 입증하였다.

Abstract An urban drainage system is infrastructure to prevent urban inundation. Conventional drainage systems discharge surface runoff along road edges. This surface discharge method is the cause of various urban water circulation problems. An infiltration type rainwater drainage system (I.R.D.) was proposed to solve these problems. Despite the many studies on the flood reduction effect of I.R.D, economic and environmental evaluations have been unsuitable. In this study, the economic and environmental performance of the I.R.D system, O-shaped, and U-shaped channels were evaluated quantitatively. The greenhouse gas emissions of the three systems were calculated using the life cycle assessment (LCA) methodology. The environmental impacts and economic feasibility were estimated by conducting life cycle impact assessment (LCIA) and life cycle cost analysis (LCCA), respectively. The I.R.D. produced a significant reduction of greenhouse gas emissions with the least negative impacts on resource consumption, global warming, and ozone layer depletion. The LCCA confirmed the economic superiority of the I.R.D. by showing the cost savings across the acquisition, use, and disposal phases. The effectiveness of the I.R.D. for sustainable urban development and climate change adaptation was confirmed.

Keywords : Infiltration Type Rainwater Drainage System, Sustainable Urban Drainage System, Urban Drainage System, Life Cycle Assessment, Sustainable Development

이 논문은 인천대학교 2022년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Jungkyu Ahn(Incheon National Univ.)

email: ahnjk@inu.ac.kr

Received October 11, 2023

Revised November 21, 2023

Accepted January 5, 2024

Published January 31, 2024

1. 서론

1.1 연구 배경

도시 우수배수시스템은 효과적인 홍수 예방을 위해 지속적으로 개발되고 있다[1]. 기존 도시배수시스템의 경우 'U' 형태의 수로와 집수정으로 구성된다[2]. 빗물받이, 원형수로, U형측구 등 기존 우수배수시스템은 기후변화와 도시화에 의해 발생하는 도시홍수, 지하수위 저감 등 물순환 문제에 적절히 대응하지 못하는 실정이다[3]. 우수배수시스템의 한계를 극복하고 도시 물순환 건전성 회복을 위해 침투를 이용한 도시 우수배수시스템이 활발히 연구 개발되고 있다[4]. 백소영 등(2016)에 따르면 도시홍수는 도시내 녹지 부족, 불투수면의 증가에 의해 발생하며 이를 예방하기 위해 하수관의 통수능력 증대 및 침투유입량 저감을 주장한 바 있다[5]. 전과정평가(LCA: Life Cycle Assessment, 이하 LCA)의 경우 배수시스템과 같은 도시 인프라 시설의 생애주기 단계별 환경영향평가를 위해 가장 널리 사용되는 방법이다[6]. LCA는 침투성 포장 도로와 같은 다양한 친환경 시스템의 건설, 유지관리 및 폐기와 관련된 물 기반시설의 환경성 평가에 효과적으로 적용 가능하다[7].

1.2 연구 목적

기존 우수배수시스템의 한계를 위해 지표면의 침투를 이용하여 우수를 저류 및 배수하는 침투형 우수배수시스템(Infiltration Rainwater Drainage system, 이하 I.R.D.)이 제안되었다. 임장혁 등(2009)은 침투-저류 시스템의 홍수 저감효과를 평가하였다. 그 결과, 200 mm/hr 이상의 고강도 강우에 대해 포장재에 상관없이 일정 수준의 우수유출 저감효과를 나타냈다[4]. 장복진 등(2002)은 성남, 오산, 청주 등에 설치된 I.R.D.의 우수유출 저감효과에 대한 연구를 수행하였다. 그 결과 I.R.D.에서 총 강우량 대비 총 유출량과 침투유량 저감효과를 보였다[8]. 서주환 등(2013)은 수치해석 모형인 SWMM(Storm Water Management Model)을 사용하여 5개 유역에 침투를 이용한 저영향 기법을 적용하였다. 그 결과 모든 유역의 홍수예방 효과를 입증한 바 있다[9].

Ahn, J 등 (2021)은 I.R.D.의 유출특성에 관한 3차원 수치해석을 수행하였다. I.R.D.의 적용에 따른 침투유량 저감 및 지연배출 효과를 입증한 바 있다[10]. Alireza, F 등(2017)은 습지, 침투 트랜치, 투수성 포장과 필터형 등 다양한 종류의 배수시설에 대한 전과정 평가를 수행

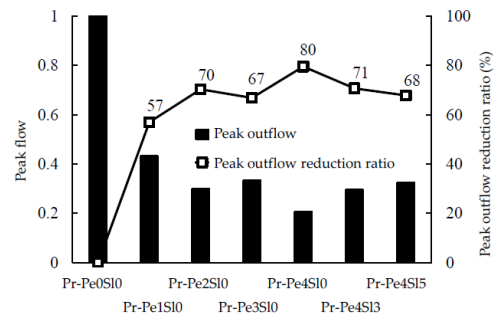


Fig. 1. Comparison of I.R.D. system prototype model [10].

하였다. 그 결과 투과성 포장과 필터를 사용한 경우 환경성이 가장 우수했다[11]. 홍태훈 등(2014)은 Input-Output LCA 모델과 Hybrid LCA 모델을 적용하여 6개의 건축물에 대한 이산화탄소 배출량을 산출 및 비교하였다. 그 결과, LCA와 Hybrid LCA의 결과의 유사성을 보였으나, Input-Output LCA 모형의 정확도는 낮았다[12]. 안정규 등(2019)은 LCA 기법을 적용해 우수 배제시스템의 건설, 건설자재, 운용 및 유지관리, 해체, 폐기 단계에 대한 통합평가 지표를 제안하고, 기술의 우수성을 입증한 바 있다[13].

본 연구는 도시 우수 배수시스템의 생애주기에 따른 환경성 및 경제성 분석을 수행하고 I.R.D.의 우수성을 정량적으로 평가하였다.

2. 본론

2.1 연구대상

Fig. 2은 원형수로(O-shape)와 U형(U-shape)빗물 배수시스템을 나타낸다. 기존 우수배수시스템은 변화하는 강우패턴에 적절히 대응하지 못하는 실정이다. 배수시스템의 한계를 극복하기 위해 관거의 확장 및 개발이 완료된 도심지역을 대상으로 추가적인 투수 면적의 확보는 사회, 경제적 문제가 따른다[5]. Fig. 3와 같이 침투형 우수배수시스템은 도시 배수시스템의 가장 말단에 위치한 기술로 추가적인 녹지, 혹은 관거의 확장없이 포장 및 줄눈 사이로 침투한 빗물을 배출하는 시스템으로 향후 구조물 교체를 통한 지속적인 배출효과 발휘가 가능하다. 이러한 기존 빗물배수시스템의 한계를 극복하기 위해 침투형 우수배수시스템이 제안되었다.



Fig. 2. Comparison of urban drainage system (a) O-shape (b) U-shape

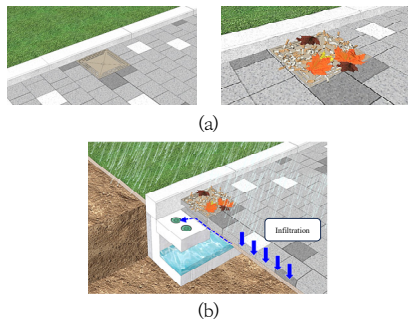


Fig. 3. Drainage principle of I.R.D. (a) normal (b) infiltration

2.2 방법론

침투를 이용한 우수배수시스템은 다양한 연구를 통해 도시홍수 예방 및 저감 효과가 입증된 바 있다[8-10]. 이에 따라 생애 주기에 따른 비용 절감 및 환경성 분석을 수행하여 침투를 이용한 우수배수시스템의 지속 가능성을 입증하고자 한다. 김영운 등(2018)은 빗물 집수 시스템의 온실가스 배출량 평가에 대해 LCA 단계를 건설단계, 운용 및 유지관리, 해체단계, 폐기의 4단계로 정의하여 각 단계별 온실가스 배출량을 분석하였다. 그 결과 침투를 이용한 우수배수시스템의 온실가스 배출량 저감효과를 입증한 바 있다[3]. 본 연구 또한 환경부 데이터베이스를 이용하여 LCA 분석을 수행하였다. 자원소모, 지구온난화, 오존층 고갈에 대하여 I.R.D.의 환경성 평가를 위해 특성화 분석을 수행하였다. 특성화 분석은 전과정 영향평가의 4단계인 분류화, 특성화, 정규화, 가중치 부여 중 필수 구성요소이다[14]. 전과정 비용분석 (Life Cycle Cost Analysis, 이하 LCCA)는 경제성 평가기법 중 하나로, 기술 및 시스템의 장기적 경제성에 평가를 위해 적용한다[15]. Stepen 등(1995)은 “Life Cycle Costing for Design Professionals”을 통해 LCCA기법을 적용하여 경제성 평가를 위한 항목을 제안하였다[16].

2.3 전과정평가 (LCA)

본 연구는 건축단계, 유지보수단계, 폐기 3단계로 전

과정 평가를 수행하였다. 또한, 산출물 분석을 위해 건설 단계의 평균 작업 생산성(m^3/hr), 건설 단계별 연료사용량(L/hr)을 입력하였다.

Table 1. Boundary of each drainage system for LCA

| Property | O-Shape | U-Shape | I.R.D. |
|----------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| Size | 300×200×2,000mm | 300×200×2,000mm | 1000×300×H400×t150 |
| Total material | 17,951 kg/set | 14,154.6 kg/set | 3,239.7 kg/set |

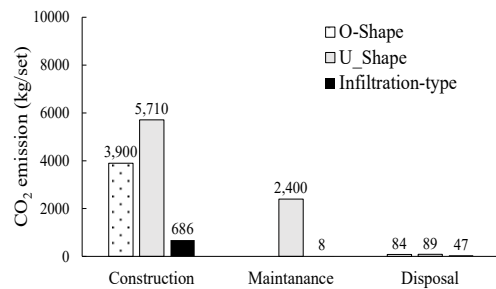


Fig. 4. Result of LCA

단계별 온실가스 배출량 분석결과 원형수로의 경우 건설단계, 폐기 단계에서 각각 99.8% 0.3%의 온실가스를 배출하였다. 하지만 별도의 유지관리를 요구하지 않는 기술로 이에 따른 온실가스 배출량은 산출되지 않았다. U형 측구의 경우 건설단계에서 70%, 유지단계 29.6%, 폐기 단계에서 0.1%의 온실가스를 배출하는 산출되었다. U형측구의 유지보수단계의 온실가스 배출량은 수로 구조물 상단 스틸그레이팅의 유지보수에 의한 것으로 판단된다. I.R.D.의 경우 건설단계에서 89%, 유지단계에서 10.4%, 폐기 단계에서 0.6%로 산출되었다. 이와 같은 우수배수시스템의 온실가스 배출 특성은 기술고도화를 위한 건설공정 개선의 필요성을 나타낸다. Table 2는 단계별 온실가스 배출량을 나타낸다.

Table 2. Result of green house gas emission

| | O-Shape | U-Shape | I.R.D. |
|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Construction | 3.90×10^3 | 5.71×10^3 | 6.86×10^2 |
| Maintenance | - | 2.4×10^3 | 8.00×10 |
| Disposal | 8.4×10 | 8.9×10 | 4.65×10 |

2.4 전과정 영향평가 (LCIA)

LCIA는 LCI(Life Cycle Impact)의 결과(질량, 환경

부하, 기능단위)와 영향요인(환경영향, 환경부하)을 곱하여 기술의 환경 영향성을 정량적으로 평가한다[17]. 본 연구는 I.R.D.의 환경부하량 산정을 위해 자원소모는 Eq. (1), 지구온난화는 Eq. (2), 오존층 영향은 Eq. (3)를 활용하였다.

- Resource consumption[18].

$$ADP_i = \frac{DR_i / (R_i)^2}{DR_{ref} / (R_{ref})^2} \quad (1)$$

where, ADP_i is abiotic resource depletion, R_i is ultimate reserve of resource I, DR_i is extraction rate of resource I, R_{ref} is ultimate reserve of the reference, antimony, DR_{ref} is Extraction rate of R_{ref}

- Global warming[19].

$$GWP_i = \frac{\int_0^{TH} RF_i(t) dt}{\int_0^{TH} RF_r(t) dt} = \frac{\int_0^T a_i [C_i(t)] dt}{\int_0^T a_r [C_r(t)] dt} \quad (2)$$

where, TH is the time horizon, RF_i is the global mean Radiative forcing of component i , a_i is the RF_i per unit mass increase in atmospheric abundance of component i , $C_r(t)$ is the time-dependent abundance of i , and the corresponding quantities for the reference gas r in the denominator.

- Ozone layer effect[20].

$$ODP_i = \frac{\delta[O_3]_i}{\delta[O_3]_{CFC-11}} \quad (3)$$

where, ODP_i is ozone depletion potential, $\delta[O_3]_{CFC-11}$ is global O₃ loss due to unit mass of CFC-11, $\delta[O_3]_i$ is global O₃ loss due to unit mass emission of I

Fig. 5는 환경영향 범주에 따른 I.R.D.의 저감효과를 나타낸다. 자원소모에 대한 분석결과 원형수로, U형측구 대비 각각 83.59%, 83.24% 저감 되었다. 지구 온난화의 경우 원형수로, U형측구 대비 각각

90.52% 저감 되었다.

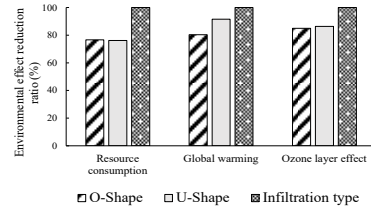


Fig. 5. Comparison of environmental effect

이는 시공 및 유지보수시 사용되는 콘크리트 및 거푸집 사용량의 차이에 의한 것으로 판단된다. 오존층 영향의 경우 85.02%, 86.35%의 저감효과를 나타냈다. 이는 PVC관, 스틸그레이팅 등의 부자재에 의한 것으로 사료된다. Table 3은 영향범주별 환경부하량을 나타낸다.

Table 3. Result of characteristic analysis

| Category | O-Shape | U-Shape | I.R.D. |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Resource consumption | 1.45×10 | 1.42×10 | 3.38×100 |
| Global warming | 3.91×10 ³ | 8.12×10 ³ | 7.70×10 ² |
| Ozone-layer effect | 2.97×10 ⁻⁴ | 3.26×10 ⁻⁴ | 4.45×10 ⁻⁵ |

2.5 전과정 비용평가(LCCA)

본 연구는 생애주기에 따른 비용평가를 수행하기 위해 취득 원가, 사용 원가, 폐기 원가에 대한 경제성 분석을 수행하였다. Table 4 기술별 원가이다. 분석결과 I.R.D.를 시공할 경우 전체 생애주기 동안 비용절감이 가능하다.

Table 4. Result of LCCA (Unit: 1,000won)

| Phase | O-Shape | U-Shape | I.R.D. |
|-------------|---------|---------|--------|
| Acquisition | 9,973 | 10,426 | 6,233 |
| Use | 4,313 | 4,509 | 2,696 |
| Disposal | 329 | 335 | 237 |
| Total | 14,615 | 15,270 | 9,166 |

Fig. 6은 원형수로와 U형측구 대비 I.R.D.의 전과정 비용 절감율이다. 분석결과 취득원가 37.5%, 40.22%, 사용 원가, 37.49%, 40.21%, 폐기원가 27.97%, 29.25%의 절감효과를 나타냈다.

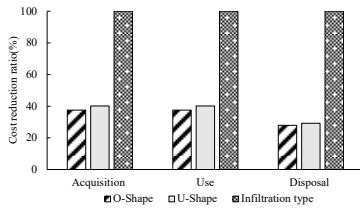


Fig. 6. Comparison of cost reduction ratio

2.6 정량적 분석

Table 2, 3의 결과를 바탕으로 I.R.D의 환경성 경제성을 정량적으로 분석하기 위해 다음과 같은 식을 사용하였다 Eq. (4).

$$Rate\ of\ change = \frac{(\bar{X} - X_i)}{\bar{X}} \times 100 \quad (4)$$

where \bar{X} is mean of variation, X_i is variation

Table 5. Result of quantitative evaluation

| Category | O-Shape (%) | U-Shape (%) | I.R.D. (%) |
|----------------------|-------------|-------------|------------|
| Construction | -13.64 | -66.38 | 80.01 |
| Maintenance | 0 | -190.32 | 90.32 |
| Disposal | -14.81 | -21.64 | 36.45 |
| Resource consumption | -35.60 | -32.79 | 68.39 |
| Global warming | 8.36 | -90.31 | 81.95 |
| Ozone-layer effect | -33.48 | -46.52 | 80.00 |

Table 5은 각 변수의 평균에 대한 배수시스템별 변화율을 나타낸다. 평균대비 증가한 경우 (-) 감소한 경우 (+)로 계산을 수행하였다. U형 측구의 유지보수에서 경우 평균대비 190%의 증가를 보였다.

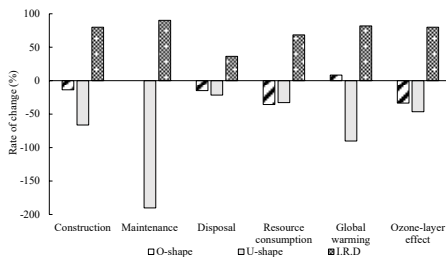


Fig. 7. Result of quantitative evaluation

Fig. 7은 각 변수의 평균대비 증감율을 나타낸다. 침투형 우수배수시스템은 평균대비 최대 90.32%의 저감율

을 보였다. 또한, 모든 항목에 대해서 평균 72.85%의 저감효과를 보였다.

3. 결론

본 연구는 지속 가능한 개발과 기후대응을 위해 제안된 I.R.D.의 환경성 및 경제성 분석을 통해 기술의 우수성을 정량적으로 평가하기 위해 수행되었다. LCA, LCIA 결과 I.R.D는 온실가스 배출량과 자원소모 저감 등의 환경성을 확보한 기술로 판단된다. 이는 단독 구조물로 구성된 I.R.D.의 투입 자재 및 시공 중 발생하는 오염물질의 저감에 의한 것이다. LCCA결과 취득원가, 사용원가, 폐기원가에 대해 비용 저감효과를 입증하였다. 이는 시공 및 제품 생산의 단순화에 의한 것으로 사료된다. I.R.D.는 원형수로, U형측구와 달리 수로 공사 단계의 생략이 가능하고 단독 구조물로 기능수행이 가능하다. 또한 기존기술 대비 우수한 환경성과 경제성은 시공 및 생산에 필요한 투입물과 장비의 최소화에 의한 것이며, 구조물의 안정성과 설계 유량을 고려한 구조물의 설계를 통해 기술의 고도화가 가능할 것으로 판단된다. 향후 수치모형, 실험을 수행하여 통해 배수면적, 강우강도, 지연 시간 확보 등의 방재효과에 대한 추가적인 연구를 수행하여 방재성에 대한 입증이 필요하다.

본 연구는 I.R.D를 도시에 시공할 경우 생애주기에 따른 온실가스 배출량 저감과 낮은 환경 영향성을 입증하였다. 또한, 비용평가 결과 시공, 사용, 해체까지 생애주기 비용 절감효과를 정량적으로 제시하였다. 기존 우수배수시스템의 개보수 및 도시개발 예정지력에 I.R.D를 도입할 경우 본 연구에서 활용된 환경 및 경제성 평가 방법을 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] B. Chocat, R. Ashley, J. Marsalek, M. R. Matos, W. Rauch, "Toward the Sustainable Management of Urban Storm-Water", Indoor and built environment, Vol.16, No.3, pp.273-285, Jun. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1177/1420326X07078854>
- [2] Y. W. Kim, Y. W. Hwang, Y. I. Kim, Y. J. Gong, S. N. Lim "Evaluation of Greenhouse Gas Emissions on Sustainable Rain Water Collection System", Journal of the Korean Society for Life Cycle Assessment, Vol.19, No.1, pp.1-13, Oct. 2018.

- [3] J. h. Im, J. W. Song, Y. J. Park "An Experimental Study on Improvement of the Effect for Runoff Reducing Facilities Using Infiltration", Journal of the Korean Geo-Environmental Society, Vol.10, No.4, pp.5-13, Jun. 2009.
UCI: G704-SER000001652.2009.10.4.007
- [4] S. I. Yeom, Park, S. W. Park, J. K. Ahn, "Determination of Volume Porosity and Permeability of Drainage Layer in Rainwater Drainage System Using 3-D Numerical Method" Journal of the Korea academia-industrial cooperation Society, Vol.20, No.8, pp.449-455, Jul. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.8.449>
- [5] S. Y. Baek, H. W. Kim, M. K. Kim, M. Y. Han "Runoff Reduction Effect of Rainwater Retentive Green roof" Journal of Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Vol.16, No.1, pp.67-71, Feb. 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2016.16.1.067>
- [6] Tiina. P, Katri. B, Saija. V, Elina. S, "Managing the life cycle to reduce environmental impacts", Springer open, pp.93-113, Jan. 2017.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-45438-2_6
- [7] Wang, Y, Li, H., Ghadimi, B, Abdelhady, A, Harvey. J. "Initial evaluation methodology and case studies for life cycle impact of permeability of permeable pavements", International journal of transportation science and technology. Vol.7, No.3, pp.169-178, 2018.
- [8] B. J. Jang, W. K. Yeo, "Field Study on Effects of Runoff Reduction in the Infiltration Collector Well", Korea Water Resources Association, Vol.35, No.5, pp.611-618, Oct. 2002.
DOI: <https://doi.org/10.3741/jkwra.2002.35.5.611>
- [9] J. H Suh, I. K. Lee, "The Water Circulation Improvement of Apartment Complex by Applying LID Technologies", Journal of Korean Institute of Landscape Architecture, No.41, No.5, pp.68-77, Oct. 2013.
DOI: <https://doi.org/10.9715/KILA.2013.41.5.068>
- [10] J. K. Ahn, S. I. Yeom, S. W. Park, "Evaluation of Infiltration Rainwater Drainage (IRD) System with Fully 3-D Numerical Simulation Approach", Applied science, Vol.11, No.19, pp.1-12, Oct. 2021.
DOI: <https://doi.org/10.3390/app11199144>
- [11] Alireza, F., Stephen J. "Life cycle assessment (LCA) and life cycle costing (LCC) of road drainage systems for sustainability evaluation: Quantifying the contribution of different life cycle phases", Science of the total environment, Vol.776, pp.1-11, Jul. 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145937>
- [12] T. H. Hong, C. Y. Ji, "Comparison of the CO2 Emissions of Buildings using Input-Output LCA Model and Hybrid LCA Model", Journal of Korea Institute of Construction Engineering and Management, Vol.15, No.4, pp.119-127, Jul. 2014.
DOI: <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2014.15.4.119>
- [13] J. Ahn, S. W. Park, & Y. I. Kim, "Development and Application of Integrated Evaluation Index of Rainwater Drainage System based on the Life Cycle Assessment", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol.20, No.7, pp.1-7, Jul. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.7.1>
- [14] K. M. Lee, "Life cycle assessment: ISO 14040", p.92, The APEC Secretariat, 2004, p.42.
- [15] Peyman. B., Nur. I. M. Y., Halil. C., Nor. G. M. N., Hashem. S. J., "Evaluation of pavement life cycle cost analysis Review and analysis". International Journal of pavement research and technology, Vol.9, No.4, pp.241-254, Jul. 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2016.08.004>
- [16] Stephen. J. K, Alphones.J. D, "Life Cycle Costing for Design Professionals", 1995, McGraw-Hill, pp.1-262.
- [17] Katarzyna. P, Weronika. K, Patycja. B. W, Robert. K, Jacek. R, Andrzej. T, Jozef. F, "Assessment of the Environmental Impact of a Car Tire", Materials, Vol.12, No.24, pp.1-25, Dec. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.3390/ma12244177>
- [18] Laurant. V. O, Jeroen. G, "The Abiotic Depletion Potential: Background, Updates, and Future", Resources, Vol.5, No.1, pp.1-12, Mar. 2016.
DOI: <https://doi.org/10.3390/resources5010016>
- [19] Susan. S, Dahe. Q, Martin. M, IPCC, Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Annual Report, IPCC, Cambridge University Press, pp.210.
- [20] Ayité-Lô. N. A., Daniel. L. A., Robert T. W., Scientific Assessment of Ozone layer Depletion: 2006, Annual Report, World Meteorological Organization, US, pp.8.5.
https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7308

 영 성 일(Seongil Yeom)

[준회원]



- 2018년 8월 : 인천대학교 건설환경공학부 공학사
- 2019년 9월 ~ 2021년 8월 : 인천대학교 건설환경공학부 공학석사
- 2022년 3월 ~ 현재 : 인천대학교 건설환경공학부 박사과정 중

〈관심분야〉

우수배제시스템, 유사이송론, 하천수리학, 수치해석

이 정 민(Jeongmin Lee)

[준회원]



- 2020년 2월 : 인천대학교 건설환경공학부 공학사
- 2020년 3월 ~ 2022년 2월 : 인천대학교 건설환경공학부 공학석사
- 2022년 3월 ~ 현재 : 인천대학교 건설환경공학부 박사과정 중

<관심분야>

우수배제시스템, 수치해석, 하천수리학

안 정 규(Jungkyu Ahn)

[정회원]



- 2002년 2월 : 서울대학교 건설환경공학부 공학석사
- 2004년 4월 ~ 2005년 7월 : 한국수자원공사 운하건설부 근무
- 2007년 8월 ~ 2011년 12월 : Colorado State University 공학박사
- 2012년 3월 ~ 2015년 8월 : 서울대학교 공학연구소 책임연구원
- 2015년 8월 ~ 현재 : 인천대학교 건설환경공학부 교수

<관심분야>

우수배제시스템, 유사이송론, 하천수리학, 수치해석

최 인 식(Insik Choi)

[준회원]



- 2021년 8월 : 인천대학교 건설환경공학부 공학사
- 2022년 2월 ~ 현재 : 인천대학교 건설환경공학부 석사과정 중

<관심분야>

수치해석, 수리실험

김 용 인(Yongin Kim)

[정회원]



- 2000년 2월 : 명지전문대학교 토목과 전문학사
- 2018년 3월 ~ 2020년 2월 : 한양대학교 경영학과 학사
- 2020년 3월 ~ 2022년 8월 : 경희대학교 경영학과 석사
- 2020년 7월 ~ 현재 : 인천대학교 건설환경공학부 석박사통합과정 중

<관심분야>

초기우수이론, 빗물배제시스템