

## Test-Bed 규모의 하이브리드형 인공 습지의 오염저감도 평가

홍진 · 길경익\*

\*서울과학기술대학교 건설시스템공학과

### Evaluation of Pollution Reduction in Hybrid Constructed Wetlands on Test-Bed scale

Jin Hong · Kyungik Gil†

\*Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea

(Received : 07 October 2024, Revised : 28 October 2024, Accepted : 28 October 2024)

#### 요약

Test-Bed 규모의 도시하수처리장 방류수 유입을 통해 수직흐름형 습지와 수평흐름형 습지가 연결된 하이브리드형 인공 습지 설치하였다. 인근 하수처리장에서 채수한 방류수를 약 100일 간 운전하였다. 해당 인공습지를 운전하면서 얻은 결과를 통하여 방류수 내 저농도의 BOD, TN과 TP 제거하는 성능을 확인하고자 하였다. 각 오염물질은 유입수에 비해 BOD는 약 20%, TN은 약 90% 그리고 TP는 완전 제거되는 것을 확인할 수 있었다. 운전 결과를 통해 인공 습지를 하수방류처리장 말단부에 위치시킴에 충분한 오염 저감 효율을 확인할 수 있을 것이라고 판단한다. 이를 통한 수질오염총량제를 맞추기 위한 제거율에 영향을 미칠 수 있을 것이라고 판단한다.

핵심용어 : 인공습지, BOD, TN, TP

#### Abstract

The constructed wetland was built as the vertical flow type wetland and the horizontal flow type wetland. The effluent collected from a nearby sewage treatment plant was operated for about 100 days. Through the results obtained while driving the constructed wetland, we tried to confirm the performance of removing low concentrations of BOD, TN, and TP in the effluent. Compared to the influent water, it was confirmed that BOD had 20%, TN had 90%, and TP had 100% of removal. It is judged that the pollution reduction efficiency sufficient to place the artificial wetland at the end of the sewage discharge treatment plant can be confirmed through the operation results. Throughout these result, it seemed that it may affect the removal rate to meet the total amount of water pollution.

Key words : BOD, Constructed wetland, TN, TP

\*All authors equally contributed

†To whom correspondence should be addressed.

Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology  
E-mail : [kgil@seoultech.ac.kr](mailto:kgil@seoultech.ac.kr)

• Jin Hong Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea([jinh640@seoultech.ac.kr](mailto:jinh640@seoultech.ac.kr))

• Kyungik Gil Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea([kgil@seoultech.ac.kr](mailto:kgil@seoultech.ac.kr))

### 1. 서론

급격한 산업화와 인구의 증가 등으로 인간활동에 의해 발생하는 유기물과 영양염류 (질소, 인)를 다량 함유한 오염된 물이 하천, 호소에 유입되어 수역의 생태계균형이 파괴되고, 그로 인해 수질환경이 현저히 악화되고 있다(Kim, 2011). 습지시스템에서 오염물질의 저감은 퇴적(sedimentation), 여과(filtration), 화학적인 침전과 흡착, 미생물 작용 및 식물 흡수 등의 기작에 의해 이뤄진다(Watson et al., 1989).

국내에서는 인공습지를 이용한 오염수의 처리연구는 1990년대 후반부터 시작되었으며, 대부분

이 농업지역에서 발생하는 오염물질(농약, 비료, 축산폐수 등)의 처리효율(Nam et al., 2004; Park and Gwon, 2005; Choi and Gwon, 2002) 대한 연구들이 수행되었다.

이런 연구 중 인공습지에 의한 정화기법은 전통적인 처리기법에 비해 저비용 효과와 운영 및 유지관리의 간편함으로 인해 비교적 소규모 지역에서 세계 여러 나라가 활용하고 있다(Kivaisi, 2001). 이러한 방안에서 작용하여 하수처리장 말단에 인공습지를 조성함에 하수처리장에서 유출되는 방류수 내 잔여 오염물질을 추가 저감한 뒤 수계로 방류하고자 하였다. 인공습지로 방류수가 상시 유입됨에 따라 습지 환경에 요구되는 조성비가 타 여과시설에 비해 저렴할 뿐만 아니라 인공습지 관리사항 또한 수위와 식물상태 관찰, 수질검사와 유지관리도로관리(제방과 제초작업) 등이며, 기존 하수처리장에서는 거의 필수적인 화학약품의 투입, 수작업, 오니제거 등이 거의 없고, 부유식물을 이용한 시설과는 달리 식물의 제거도 필요가 없어 유지관리비용이 낮다(Kim, 2011). 2002년 도입된 수질오염총량제는 수질 오염부하의 양적증가의 방안으로 수질을 관리하기 위해 도입되었다. 하수처리장 말단에 위치

하게 되는 인공습지는 인공습지에서의 오염저감을 통한 최종 방류수는 오염총량제 관리를 용이하게 만들 것이라고 본다.

인공습지의 운전 데이터를 분석함으로써, 방류수 내 잔류 오염물질을 저감하여 보다 효과적인 하수장 방류수 관리를하고자 하였다.

### 2. 연구방법

#### 2.1 도시하수처리장 방류수 유입 하이브리드형 인공습지 Test-Bed의 제원

Test-Bed 규모의 도시하수처리장 방류수 유입 하이브리드형 인공 습지를 설치하였다. Test-Bed는 수직흐름형과 수평흐름형 습지 두 단으로 나누어 제작한 뒤 연결하였다. 수직흐름형 습지는 1.0×1.0×2.5m, 수평흐름형 습지는 1.0×1.0×2.5m이며, 수직과 수평흐름형 습지의 말단부에 1.0×1.0×0.5m의 샘플링용 집수정을 배치하였다. 조성한 인공습지 Test-bed의 단면을 Fig.1에서 확인할 수 있다.

수직흐름형 습지의 경우 상단부의 유공관을 이용하여 일정 높이 위에서 유입수를 분사하여 유입수 내의 DO 농도를 증가시켰다. 수평흐름형 습지의 경우 수직흐름형 습지 유출수를 유입수로 하여 집수정과 연결된 파이프를 통해 공급하였다.

습지 주위에 서식하여 호흡성을 띄고 있을 뿐만 아니라 오염물 저감에 효과적인 식생들을 선정하여 Test-bed에 식재하였다. 수직흐름형 습지에는 부들(Typha orientalis), 수평흐름형 습지에는 갈대(Phragmites australis)를 식재하였다. 식재 시 조성설계기준(건설교통부, 2002)를 적용하여 1m<sup>2</sup> 당 16주로 계획하였고, 그에 따라 수직흐름형 습지와 수평흐름형 습지에 각 40주씩 식재하였다.

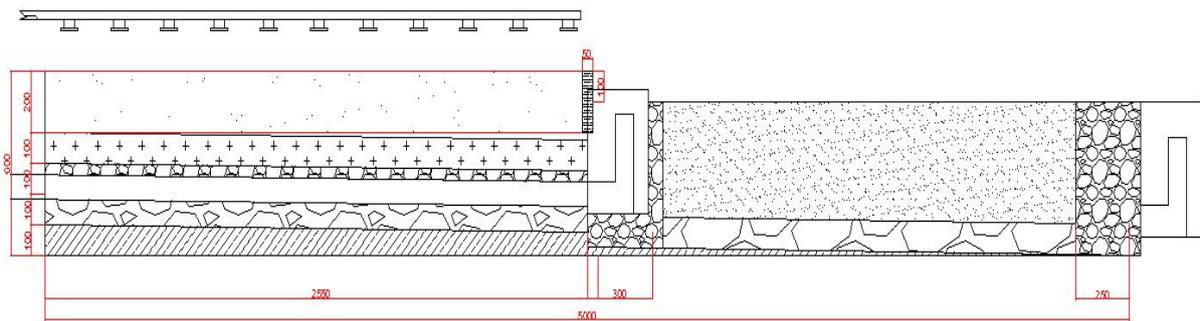


Fig. 1. Section view of constructed wetland

Table 1. Types, percentage and permeability coefficient of soil compound in constructed wetland

Types	Depth	Ratio	Hydraulic Conductivity (cm/s)
Sand	20cm	21.05%	0.0058
Biochar	15cm	15.78%	0.00071
Parent Material	20cm	21.05%	0.00072
Functional Aggregates	20cm	21.05%	0.033
Gravel	20cm	21.05%	0.041

수직흐름형 습지에서의 유입수는 스프링클러 형태의 유공관을 사용하기 때문에 습지 면적 내 동일한 양을 유입시킬 수 있도록 여재를 구분하여 준설하였다. 수평흐름형 습지는 수직흐름형 습지 유출수를 공급받기 때문에 일정한 유입수량 공급을 목적으로 여재들을 혼합하여 조성하였다. 수평흐름형 습지를 통과한 유출수는 두 번째 집수정을 거쳐 인공습지 측면에 위치한 배수구로 방류되었다. 수직흐름형 습지와 수평흐름형 습지 조성에 사용한 여재의 물성치는 Table 1과 같다.

### 2.2 유입수 성상

Test-bed 인근 G하수처리장의 방류수를 습지의 유입수로 선정하였다. G하수처리장은 III지역에 해당하며 하수처리장의 시설 면적은 129,819m<sup>2</sup>이고 시설 용량은 50,000m<sup>3</sup>/일이다. 유입수로 사용하기 위해 채수한 방류수 성상은 Table 3와 같다.

수직흐름형 습지와 수평흐름형 습지에서의 유출부에서 채수한 시료를 통하여 BOD, TN 그리고 TP을 수질오염공정범위로 측정하였다.

### 2.3 Test-bed 규모의 하이브리드형 인공습지에 수질오염 총량제 적용 시 감소되는 오염총량

수질 관리함에 농도 규제와 총량 관리로 나뉘는 데 농도 규제의 경우 간접적인 지표이다. 총량관리의 지표는 직접적

양을 계산하는 것이며 하수 중 오염물질의 총량을 규제하고자한다. 이를 통해 인공습지로 흘러 보낸 오염의 총량을 산정하여 약 100일 간의 데이터를 정리하였다.

인공습지로 유입된 BOD의 총량은 유입수에 비해 유출수 내 양이 1.1E-06kg/day 제거되었으며, TN의 경우 7.63E-07 kg/day 제거되는 것을 확인하였다. TP는 4.13E-08 kg/day가 제거되는 것을 확인할 수 있었다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 BOD 농도 분석을 통한 유기물 거동 분석

본 그래프 상 인공습지를 운전하는 약 40일 동안 초기 BOD는 수직흐름형 습지를 거친 후 증가하는 것을 초기에 발견할 수 있었다. 이는 집수정의 위치로 인한 영향이 반영되었을 것으로 고려된다.

Fig.3는 유입수, 수직흐름형 습지와 수평흐름형 습지 유출수 내 BOD 농도를 나타낸 그래프이다.

수직흐름형과 수평흐름형 습지 중 수직 흐름형에서 BOD의 제거율이 낮은 까닭은 운전을 시작했을 당시는 기온이 상승하기 시작하던 시기로 외부에 노출되었던 수직흐름형 습지의 말단 집수정 내 기온의 영향으로 BOD가 증가했을 것이라 고려한다. 이에 반면 수평흐름형 습지와 말단 집수정의

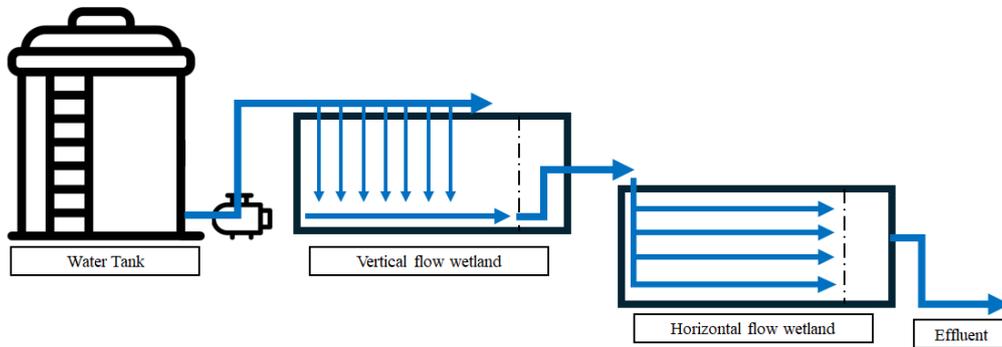


Fig. 2. Schematic diagram of influent

Table 2. Water quality of influent in hybrid wetland

Sections		BOD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
1일 하수처리용량 500m <sup>3</sup> 이상	I District	Under 5	Under 15	Under 10	Under 20	Under 0.2
	II District	Under 5	Under 15	Under 10	Under 20	Under 0.3
	III District	Under 10	Under 20	Under 10	Under 20	Under 0.5
	IV District	Under 10	Under 20	Under 10	Under 20	Under 2
G City STP Effluent (III District)		0.77	6.00	6.32	5.58	0.22
Test-Bed Effluent		3.37	8.49	0.088	0	0.1

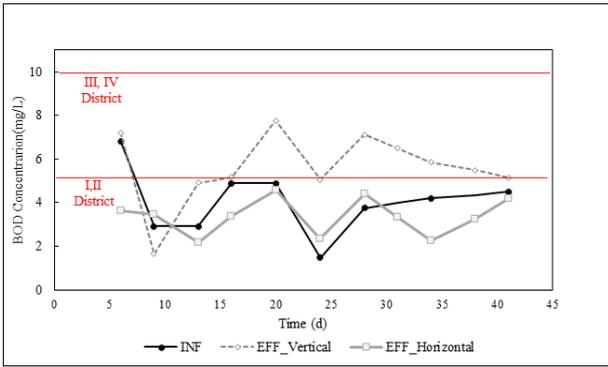


Fig. 3. BOD concentration in influent, effluent from vertical, effluent from horizontal

경우 지반에 묻혀있기에 기온의 영향과 무관하게 BOD의 제거능이 일정하게 나오는 것으로 확인하였다. 운전 기간이 증가함에 따라 유출수 BOD 결괏값에서는 안정적인 농도를 보여주고 있다. 또한 수직흐름형 습지와 수평흐름형 습지의 집수정의 경우 초기에는 개방되었었기에 집수정 내 외부물질이 유입되었을 것으로 유입된 외부물질의 영향을 배제할 수 없다. 따라서 수직흐름형 습지에서의 오염물 저감을 확인하고자 특히나 Fig.3 상 28일이 지나는 시점부터 감소하는 것을 확인할 수 있다. 해당 시점의 수직흐름형 습지 유출수 BOD 농도는 7.12mg/L에서 5.14mg/L로, 수평흐름형 습지 유출수 BOD 농도는 4.4mg/L에서 4.21mg/L까지 저감되는 것을 확인할 수 있었다.

그래프 상 지역별 방류수 수질오염 기준을 표시하였다. G하수처리장 위치 상 III지역에 해당하며 채수한 유입수 또한 III 지역에 충족하는 성상을 보유하고 있다. 반면 G하수처리장의 방류수를 습지에 유입시킨 후 처리가 된 유출수의 성상은 I과 II 지역 수질오염 기준까지 충족 가능한 것을 확인할 수 있었다.

### 3.2 TN 농도 분석을 통한 질소의 거동 분석

Fig.4은 유입수, 수직흐름형습지에서의 유출수와 수평흐름형 습지에서의 TN농도를 나타낸 것이다. Fig.4에 지역별 해당하는 방류수 수질오염기준을 표시하였다. 채수한 방류수는

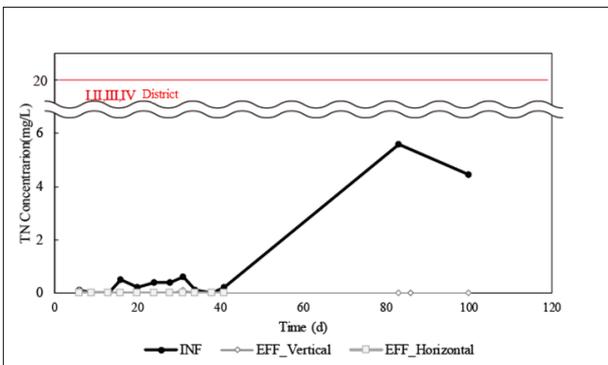


Fig. 4. TN concentration in influent, effluent from vertical, effluent from horizontal

하수처리장이 위치한 III지역의 방류수수질오염 기준을 준수하였을 뿐만 아니라 I과 II지역의 방류수수질오염기준에 부합한 것을 확인할 수 있었다. 저농도의 TN이 존재함에도 인공습지로 유입시킨 후의 유출수 농도완전 제거되어 유출되는 것을 확인하였다. 해당 그래프 내 TN 농도가 일정하게 감소하는 경향을 띄며 수직흐름형 습지를 거친 뒤에는 감소되는 것을 확인할 수 있다. 유입수의 TN농도는 최대 5.6mg/L에서 최소농도 0mg/L의 측정값이 나왔다. 수직흐름형 습지를 거친 유출수 최대 0mg/L까지 감소하는 것을 확인하였다. 이후 수평흐름형 습지에서 유출된 샘플에서는 수직흐름형 습지에서 존재했던 TN농도까지 제거가 되어 유출되는 것을 확인할 수 있다.

이는 수직흐름형 습지에 식재한 부들을 통해 방류수 내의 TN를 흡수함에 유입수 내 TN이 완전 저감되는 것으로 확인된다.

### 3.3 TP 농도 분석을 통한 인의 거동 분석

Fig.5의 경우 유입수, 수직흐름형 습지와 수평흐름형 습지에서 측정된 TP의 농도를 나타낸 그래프이다. 해당 그래프 내 유입수와 최종 유출수의 농도는 I지역 방류수수질기준을 충족하고 있다. 하지만 80일이 넘는 시점에서 수직흐름형 습지와 수평흐름형 습지 내 TP이 급격하게 증가하는 모습을 띄는데 이는 이후 추가 모니터링을 통해 데이터를 추가하여 해석 가능할 것으로 확인된다. 하수처리장으로부터 공급받은 방류수 내의 TP의 농도는 낮긴하나 미미하게 존재하는 상황으로 최대 1.21mg/L, 최소 0mg/L의 농도이다. 수직흐름형 습지의 TP를 확인할 결과, 제거율이 약 57%가량 제거되는 것을 확인할 수 있으며 수평흐름형 습지를 통과, 수평흐름형 습지를 통해 유출된 방류수에서 TP는 찾아보기 어려웠다. 본 운전 결과를 통해 방류수 내 잔류하던 TP이 모두 인공습지에서 제거되었음을 확인할 수 있었다. 유입수 내의 TP이 습지 토양으로 흡수됨에 여재의 하단부로 갈수록 산소와의 접촉이 감소함에 따라 저감되었을 뿐만 아니라 수직흐름형 습지에 식재한 부들의 성장에 일부 영향을 미쳤을 것으로 본다.

측정한 BOD, TN, TP 오염항목들의 제거율을 확인하였으며 BOD의 경우 운전일수 증가를 통해 제거되는 정도를 정확히

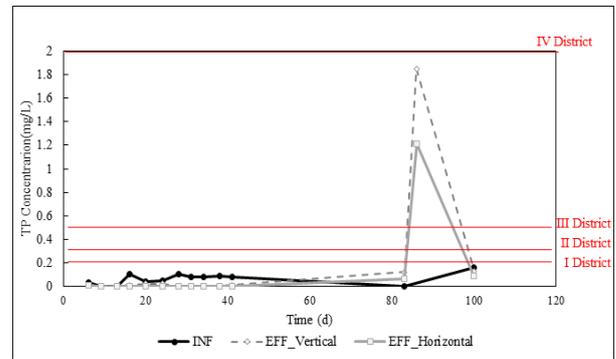


Fig. 5. TP concentration in influent, effluent from vertical, effluent from horizontal

알고자 하며 TN과 TP 항목에서는 유입수 기준, 충분한 제거율을 보여주고 있다고 판단한다. 인공습지를 설치함에 도심 내 비점오염을 통한 수계 오염을 관리하는 동시에 열섬 현상 완화와 습지라는 새로운 생태계 조성을 통한 생물다양성 또한 야기할 수 있을 것으로 보인다.

인공 습지로 방류수를 유입시켰을 경우 BOD, TN과 TP의 농도가 추가로 저감되는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 하수처리 이후 수계 방류 이전에 습지로 유입시킴에 하수처리장이 목표하고자하였던 수질보다 더 저감되는 효과를 확인할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 인공습지의 경우 자연형 기반의 시설로 추가적인 에너지를 요구하지 않을 뿐만 아니라 수변공간이라는 이점을 통하여 도심 내에 발생하는 열섬 현상과 같은 현상을 완화할 것으로 보인다.

### 3.4 Test-bed 규모의 하이브리드형 인공습지에 수질오염 총량제 적용 시 감소되는 오염총량

수질 관리함에 농도 규제와 총량 관리로 나뉘는 데 농도 규제의 경우 간접적인 지표이다. 총량관리의 지표는 직접적이며 하수 중 오염물질의 총량을 규제함에 인공습지로 흘러보낸 오염의 총량을 산정하였다.

인공습지로 유입된 BOD의 총량은 3.21E-06kg/day로 수평흐름형 습지를 통과한 유출수 내 BOD의 양은 3.21mg/day로 제거량은 2.11mg/day로 약 34%의 제거율을 확인할 수 있었으며 TN의 경우 0.76mg/day가 유입되었으며 유출수 내에서는 TN이 존재하지 않음에 제거율 100%를 확인할 수 있었다. TP의 양은 유입 시 0.049mg/day에서 0.0079mg/day까지 제거된 것을 확인할 수 있다. 이는 약 100일 간의 데이터를 모은 평균 값이다. 이를 1년 동안 운전 시 인공습지에서는 BOD 770.82mg, TN 278.37mg 그리고 TP 2.88mg을 저감할 수 있을 것이라고 판단한다. 하지만 이 중에서 TN의 경우 인공습지로 유입되는 양을 모두 제거하기에 산정된 값보다는 추가 제거가능 할 것이라고 판단한다.

## 4. 결론

Test-bed 규모의 하이브리드형 인공습지를 조성하여 수직흐름형 습지와 수평흐름형 습지에서의 유출수를 채수하여 해당 유출수 내 BOD, TN, TP 정도를 측정하여 분석하였다. 유입수에서 BOD는 최대 1.48~6.83 mg/L의 범위를 갖고 있으며 이후 수직흐름형 습지를 통과하면서 약간의 증가 폭을 보였으나 7.12mg/L에서 5.14mg/L에서 이후 수평흐름형 습지에서의 유출되었다. 수평흐름형 습지의 BOD 농도는 4.4mg/L에서 4.21mg/L로 저감이 되는 것으로 확인할 수 있었다. 유입 시 TN은 0.0~0.1mg/L의 저농도 값이 측정되었다. 이후 수직흐름형 습지를 통과한 수직흐름형 습지에서는 최대 90%의 제거율을 보여줌에 결괏값으로는 약 0.01~0mg/L

가량까지 대부분 감소하는 것을 확인하였다. 수평흐름형 습지에서는 수직흐름형 습지로 유입된 TN의 농도 변화가 수직흐름형 습지 유출부에서는 최종적으로 제거된 것을 확인할 수 있었다. 뿐만 아니라 TP의 경우에서 또한 방류수 수질기준 보다 낮은 유입수를 공급하였다. 유입 TP의 농도는 유입 TN의 농도와 비슷한 농도로 유입되었으며 수직흐름형 습지 유출 시 모두 처리가 된 상태로 수평흐름형 습지로 유입되었다. 이를 통해 하수처리장에 사용되는 것이 보다 자연적인 해결방안인 인공습지를 조성함에 하수처리장에 사용되는 비용을 절감할 수 있을 것으로 보인다. TN과 TP 제거율이 높은 것을 확인할 수 있었다. 인공 습지를 도심 내 설치한다면 해당 지역 강우 시 인근 수계나 하수처리장으로 유입되는 도심 내 고농도의 비점오염원 또한 제거 가능하다고 판단한다. 인공습지를 조성함에 수계로 흘러들어가는 오염물의 농도를 저감시킨다.

이에 수질오염총량제를 직접적 측면과 간접적 측면에서 해석을 하였다. 간접적인 총량관리로는 하수처리장 방류수 수질오염기준에 적용하여 인공습지 내 유입되는 유입수의 G 하수처리장이 위치한 III지역의 방류수 수질기준과 부합하다. 방류수를 인공습지 내로 유입시킨 뒤의 유출수 성상은 I 또는 II지역을 만족시킬 정도로 개선되었다. 직접적인 측면에서의 오염부하량을 산정 시 방류수 내 존재하던 오염물의 양이 인공습지를 통과한 뒤 BOD 1.1mg/day, TN 0.76mg/L 그리고 TP 0.041mg/day 제거가능함을 확인할 수 있었다.

실질적인 설치 시 인공습지를 통과한 후 저농도의 유출수가 수계로 유입함에 따라 수계 내 오염 부하량이 안정적인 형태를 띠는 것이다. 본 연구를 진행함에 BOD, TN과 TP가 저감되는 데이터를 확인하였다. 본 연구를 바탕으로 인공습지를 수계 관리를 통한 제거율을 제안할 뿐만 아니라 차후 이를 활용한 통합 물 관리 방안 또한 제안할 수 있을 것으로 생각한다. 인공습지를 활용한 오염물 제거방안을 고려 시 적절한 자연정화 방법으로 보이며 도심에 조성함에 도심 내 비점오염원 저감을 가능할 뿐만 아니라 수변 공간을 제공함에 도시 환경적 측면에서는 열섬 효과 완화를 가능케 하며 시민들에게는 쾌적한 공간을 제공할 수 있을 것으로 본다.

본 연구를 통하여 하수를 하수처리장에서 처리한 뒤 인공습지로 유입시킴에 전력과 같은 에너지를 저감하는 동시에 경제성을 확보할 수 있을 것으로 보이며 이에 관한 후속 연구는 진행해야 된다고 본다.

## 사 사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 습지생태계 가치평가 및 탄소흡수 가치증진 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2022003630005).

## References

- Choi, H., Hong, J., Geronimo, F. K. F., Kim, L. H. (2019). Assessment of environmental impacts of LID technologies on vegetation. *Membrane Water Treatment*, 10(1), 39–44.
- Choi, I., U, and Gwon, S., K., (2002), Designed Model of Constructed Wetlands for Water Quality Management of Non-point Source Pollution in rural, *J. of The Korean Society of Agricultural Engineering*, 44(5), 96–105.
- Choi, J. Y., Lee, S. Y., and Kim, L. H. (2009). Wash-off Characteristics of NPS Pollutants from Forest Landuse, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 9(4) pp.129–134.
- Copper, P.F. and A.G. Boon. (1987). The use of phragmites for wastewater treatment by the root zone method: The UK approach. In K. R. Reddy and W.H. Smith (eds.), *Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery*. Magnolia Pub. Inc., Orlando, Florida, pp. 153–174.
- Department of Construction and Transportation (2002). *Landscape Design Standards*, pp. 203.
- Gil, K., and Jeon, H.S. (2011). Reduced Loads Characteristics Comparison Between Permeable Pavement and Non-point Pollutants Treatment Facility. *Korean Society of Hazard Mitigation*, 11(2) pp.193–198.
- Hong, J., Kim, Y.H. and Gil, K.I. (2022). Effects of Vegetation on Pollutants and Carbon Absorption Capacity in LID Facilities. *J of Wetlands Research*, 24(2), pp. 115–122.
- Jung, Y.J., Lee, E.J., Lee, S.Y., Lim, K.H., Kim, L.H. (2007). Determination of Detention Basin Size for NPS Control in TMDL Area. *J. of Korean Wetlands society*, 9(2), pp. 1–8.
- Kang, H.J., and Song, K.Y. (2004). *Water Treatment Using Constructed Wetlands and Research Perspectives in Korea*
- Kim, L. H., and Lee, S. (2005). Characteristics of metal pollutants and dynamic EMCs in a parking lot and a bridge during storms. *Journal of Korean Society on Water Environment*, 21(4), pp. 385–392.
- Kim, Y.C., (2011) *Maintenance of Constructed Wetlands*. The Korean Association for Conservation of Nature, 155(3). pp.21–29
- Kivaisi, A. K. (2001). The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review, *Ecological Engineering*, 16, 545–560.
- Lee, B., and Gil, K. (2008). Effect of plant coverage on the treatment efficiency of nitrogen and phosphorus in vegetative filter strips. *Journal of Korean Society on Water Environment*, 24(4), pp. 499–503.
- Nam, G.S., Pae, Y.S., Kim, H.J., Lee, S.J and Lee G.S. (2004), Application of Subsurface Flow Wetland using the *Phragmites australis* for Water Quality Improvement of the Agricultural Reservoir. 6(4) *J of Wetlands Research*, pp 59–69
- Park, J.H. and Gwon, S.Y. (2005), Seasonal Effects of Livestock Wastewater Treatment by a Constructed Wetland, *J of Wetlands Research*, 7(3), pp.33–39.
- Watson, J.T., Sherwood, S. C., Kadlec, R.H., Knight, R.L., Whitehouse, A.E. (1989). Performance expectations and loading rates for constructed wetlands. In: Hammer, D.A. (Ed.), *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. Lewis, Chelsea, pp. 319–351.
- Wee, S, Kim, L.H, Jung, Y, Gil, K. (2008). Washoff Characteristics and Correlation of Nonpoint pollutants in a Bridge Storm Runoff. *J. of Korean society on water environment*, 24(3), pp. 378–382.