

가축 사육 농업지역 강우유출수 내 유기물 및 영양염류 관리를 위한 인공습지 적용성 평가

임지열·강채원*·길경익*[†]

고양시정연구원 도시정책연구실
*서울과학기술대학교 건설시스템공학과

Applicability on Wet-land for Management of NPS in Organic Matter and Nutrients from Agriculture and Livestock Farm Area

Im, Jiyeol·Kang Chaewon*·Gil, Kyungik*[†]

Department of Urban & Environmental Research, GoYang Research Institute, Korea
[†]Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea
(Received : 25 August 2021, Revised : 01 November 2021, Accepted : 22 November 2021)

요약

비점오염물질 및 고농도 가축분뇨는 수계 및 습지 수질 악화의 주요 원인으로 보고되고 있으며, 이를 관리하기 위한 방안으로 저영향개발기술 (Low Impact Development, LID)에 대한 관심이 증가하고 있다. 인공습지는 다양한 오염물질 저감 기작을 기반으로 가축 사육 농업지역 내 비점오염원 관리 방안으로 제시되고 있다. 이에 본 연구에서는 전라북도 J시 내 경작지 및 가축 사육 지역을 대상으로 현장 모니터링 및 모델링을 기반으로 인공습지의 적용성 평가를 실시하였다. 연구대상 지역의 강우 시 유량가중평균농도(Event Mean Concentration, EMC) 농도는 건기 시와 비교하여 BOD 기준 약 27배 이상 높은 것으로 나타나 비점오염원 관리가 시급한 지역으로 나타났다. 모델링 기반의 인공습지 저감 효율은 BOD 57.5%, TN 48.9% 그리고 TP 64.2%를 보였다. 하지만, 다량의 강우유출수가 발생하는 시점과 동절기에는 다소 효율이 감소하는 경향을 보여 해당 시기 인공습지 운영에 관리가 필요할 것으로 판단된다. 마지막으로 본 연구 결과는 인공습지가 가축 사육 농업지역 내 안정적인 비점오염원 관리가 가능한 대안으로 제안될 수 있는 것을 보여준다.

핵심용어 : 가축분뇨, 농업지역, 인공습지, 비점오염원, 축산지역

Abstract

Non-point source pollutants and high-concentration livestock wastewater are reported as major factor of water pollution in water system and wet-land. So, LID is suggested as a method to manage of them. wet-lands is presented as effective method for management of NPS from agriculture and livestock farm area based on various NPS reduction mechanism. In this research, the application of wet-lands was evaluated based on monitoring and modeling of agriculture and livestock farm in J city, Jeollabuk-do. As a result, EMC during rainfall event was found to be about 27 times higher than dry season based on a BOD, indicating that the management of non-point pollutants is urgent. Modeling-based wet-land reduction efficiency was BOD 57.5%, TN 48.9% and TP 64.2%. However, removal efficiency of wet-land tends to decrease during the winter and large amounts of rainfall runoff occur, it is necessary to manage of wet-land. Based on the results of this research, wet-land could be proposed as an alternative to stable management of NPS in agriculture and livestock farm area.

Key words : Livestock wastewater, Agriculture area, Wetland, Non Point Source, Livestock farm Area

[†]To whom correspondence should be addressed.

Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea
E-mail: kgil@seouitech.ac.kr

- Im, Jiyeol Department of Urban & Environmental Research, GoYang Research Institute, Korea / Associate Research Fellow(jyim@gyri.re.kr)
- Kang Chaewon Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea / Undergraduate student(chaecningoq22@gmail.com)
- Gil, Kyungik Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea / Professor(kgil@seouitech.ac.kr)

1. 서론

국내 수계에 대한 비점오염원의 오염기여도가 지속적으로 증가하고 있으며, 환경부 등 중앙정부에서는 적극적으로 비점오염원 관리에 대한 정책을 추진하고 있다. 이와 같은 비점오염원은 도심, 도로, 산림 및 임야 등 다양한 토지 이용 지역에서 발생하고 있으며, 비점오염원의 최적 관리를 위해서는 각 토지 이용 별 비점오염원 유출특성에 적합한 관리 방안을 적용할 필요가 있다(Park et al., 2017). 일반적으로 도심과 같은 고밀개발지역의 경우, 집중적 비점오염물질 유출 및 비점오염원 저감시설 설치를 위한 용지 확보의 어려움이 있어 유희공간 및 기존 인프라 시설 등을 활용한 소규모 시설을 통한 관리가 효율적인 방안으로 보고되고 있다(Choi et al., 2019; Kim and Kim 2019). 반면 농촌과 같은 비도심 지역의 경우, 도심지역과 비교하여 상대적으로 넓은 유역을 대상으로 하는 시설이 비점오염원 관리를 위해 주로 활용되고 있는 상황이다. 그 중 농촌 지역은 농업용으로 활용되는 불투수토지에서 강우유출수에 의해 유출되는 토사 등과 더불어 과다 소비된 비료로 인한 비점오염물질(특히, 영양염류)의 증가가 주요 문제점으로 보고되고 있다 (Hamilton et al., 1993; Kim et al., 2003). 또한 농업과 더불어 축산업이 복합적으로 이루어지는 가축 사육 농업지역에서는 강우 시 과다 비료와 더불어 가축분뇨의 유출이 동시에 이루어진다. 특히, 가축분뇨는 고농도의 유기물 및 영양염류를 함유하고 있어 수계로 직유입될 경우 수계악화의 주요 원인으로 작용한다. 따라서, 일반적으로 가축분뇨처리장과 같은 환경 기초 시설을 통해 처리하고 있으나, 강우 시 유출되는 경우에는 관리가 미흡한 실정이다 (Im and Gil, 2011; Lee et al., 2014). 이에 국내에서도 가축 사육 농업지역 비점오염관리를 위해 수질오염총량제 및 비점오염관리지역 지정 등의 다양한 제도를 시행하고 있는 상황이다(Bae 2014; MOE, 2018).

비점오염원 관리 기술은 과거 강우유출수의 수질 관리를 중점 목표로 하였으나, 최근 급속한 도시화 및 기후 위기 등의 문제가 발생함에 따라 유량 및 수질 관리, 심미적 기능 그리고 생태 회복 등 다양한 복합적 기능을 갖는 저영향 개발기술 (Low Impact Development, LID)에 대한 관심이 증가하고 있다. 일반적으로 LID 시설은 불투수면적 비율이 높은 그레이인프라(Grey infrastructure) 지역을 그린인프라(Green infrastructure)로 전환하기 위한 요소 기술이라 할 수 있다. 그 중 최근 가축 사육 농업 지역의 비점오염원 관리를 위해 주목하고 있는 LID 시설은 인공습지이다. 인공습지는 수질정화기능, 생태 회복 및 심미적 공간 조성 등 복합적 기능을 갖는 습지를 인위적으로 조성하여 비도심 지역 등에서 발생하는 오염물질을 저감하는 대표적인 LID 시설로 분류된다. 인공습지 내 오염물질 저감 기작은 크게 식물(흡수, 흡착, 분해 및 여과 등), 토양(흡착 및 분해), 침전 및 미생물 분해 등이 보고되고 있으며, 인공습지 내에서 복합적으로 작용하여 오염물질 저감 효율을 향상시키는 것으로 보고되고 있다(Jung et al., 2020; Son and Kim,

2020; Park and Kim, 2017; Yano et al., 2019).

앞 서 기술한바와 같이 인공습지 내에서 물리, 화학 및 생물학적 처리 기작에 의한 오염물질 저감이 이루어짐에 따라 고농도 오염물질(유기물 및 영양염류)을 포함하는 가축 사육 농업 지역의 강우유출수를 효율적으로 관리할 수 있는 것으로 보고되고 있다(Choi et al., 2015; Kim et al., 2012). 이와 같은 부분에 주목하여 최근에는 비점오염원 관리와 더불어 농경지 등에서 분산되어 발생하는 가축분뇨 처리 분야의 대안으로 제시되고 있다(Choi et al., 2015; Park et al., 2017). 또한 서술한 오염물질 저감 기능 외에도 유량 조절을 통한 홍수 예방, 미세먼지 저감, 동·식물 서식 공간 제공을 통한 생태계 보전 및 조립 공간 조성을 통한 기후변화 대응 등의 효과도 기대할 수 있다. 즉, 지속가능성 및 친환경성 등 다양한 측면에 장점이 있는 복합적 기술로 주목을 받고 있다(Jung et al., 2020; Son and Kim, 2020).

본 연구에서는 고농도 오염물질 관리가 가능한 인공습지의 특징에 주목하여, 농업 및 축산업이 복합적으로 이루어지는 가축 사육 농업 지역에서 유기물 및 영양염류 개선 효율을 분석하였다. 또한 분석 결과를 바탕으로 가축 사육 농업 지역의 비점오염원 관리를 위한 인공습지 적용성을 검토하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 연구 대상 지역

본 연구 대상 지역은 전라북도에 위치한 J시 D면 S 일원 지역으로 Fig. 1을 통해 연구 대상 유역도 및 토지 이용 현황을 확인 할 수 있다. 연구 대상 지역의 총 면적은 65.97 ha이며, 답 33.3% (21.94ha), 전 27.5% (18.16ha), 임야 26.8% (17.67ha), 기타 5.8% (3.82ha), 대지 3.9% (2.61ha) 및 내륙수 2.7% (1.77ha)순으로 구성되어 있다. 즉, 연구 대상 지역은 전체 토지 면적 중 87.6%인 57.77ha가 답, 전 및 임야로 구성된 전형적인 농업지역으로 분류할 수 있다. 또한, 연구 대상지역 내 가축 사육 두수는 돼지 14,714 마리와 한우 245 마리로 조사되었다. 이와 같은 토지 및 축산 자료를 바탕으로 발생부하원단위를 적용하여

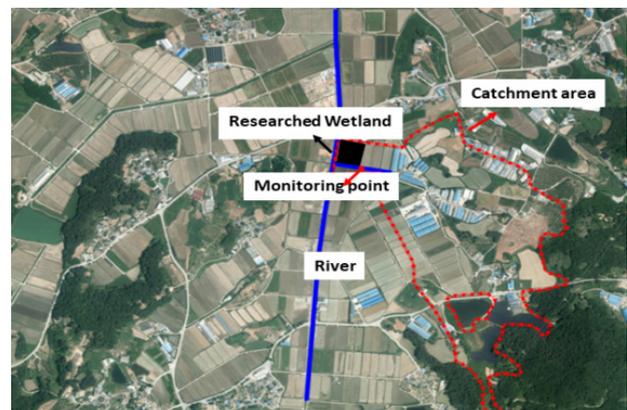


Fig. 1. Location of researched area.

Table 1. Characteristics of monitored Dry and Rainfall event.

Parameter	Date	Total Rainfall	Antecedent Dry Days	Rainfall Duration time	Rainfall Intensity
Dry - 1	2019.03.28	-	-	-	-
Dry - 2	2019.09.26	-	-	-	-
Rain - 1	2019.05.18	19.2 mm	18.0 day	17.0 hr	1.45 mm/hr
Rain - 2	2019.06.07	21.1 mm	20.0 day	13.0 hr	1.25 mm/hr

유역의 배출부하량을 분석하면, 토지로부터 BOD 3.3 kg/일과 TP 0.3 kg/일 그리고 가축 사육으로 인해 BOD 3,967.8 kg/일 및 TP 287.6 kg/일의 부하가 발생할 것으로 분석되었다(NIER, 2019). 따라서, 본 연구대상 지역은 강우 시 발생하는 비점오염물질과 가축 분뇨로 인해 수계 오염 기여도가 높은 가축 사육 농업지역 지역으로 판단되며, 이에 대한 대책 마련이 시급한 지역으로 분류할 수 있다.

2.2 유역 유출 모델 및 검정 모니터링

본 연구에서 연구 대상 시설 배수 유역 내 강우유출수 유출 특성을 분석을 위해 Stormwater & Wastewater Management Model (SWMM) 모델을 활용하였다. SWMM 모델은 유역 내 강우 사상으로 인해 발생하는 유출량과 오염물질 등의 모의가 가능하며, 현재 강우 유출 해석을 위해 국내·외 연구에서 널리 사용되고 있다(Baek et al., 2018; Baek et al., 2019; Oh et al., 2010). 또한, 구축한 SWMM 모델의 검·보정 및 현장 강우유출수 특성 분석을 위하여 유량 및 수질 측정을 위한 건기 및 강우 현장 모니터링을 각 2회 실시하였으며, 모니터링 건기 및 강우 사상은 Table 1에 나타내었다. 현장 모니터링의 유량분석은 초음파 유량계(ISCO-2150)를 활용하여 측정하였으며, 수질 분석은 수질오염공정시험방법에 의거하여 BOD, SS, TN 및 TP을 분석하였다. 강우 모니터링 시료 채취 간격은 강우 유출이 발생한 직후 1시간까지는 6회, 그 이후부터 강우 유출 종료시까지 1 ~ 2시간의 등간격으로 샘플을 채수하여 분석을 실시하였다.

2.3 인공 습지 모델

인공습지 적용성 평가를 위해 Environmental Fluid Dynamics Code (EFDC) 모델을 활용하여 분석을 실시하였다. EFDC는 연안, 하구, 호소, 습지, 저수지 등의 유동 및 물질수송을 모의하는 3차원 수치모델로 미국 VIMS

(Virginia Institute of Marine Science)에서 개발되었으며, 미국 환경청의 공인 모델로 지정되어 있다. 특히, 인공습지 모의에 있어서, 식물군락에 의한 저항 및 파랑의 영향 등도 고려할 수 있어 다수의 인공 습지 모델 연구에서 활용되고 있다(Choi et al., 2020). 또한, 수온, 염분, 용존산소, 조류, 유기물, 질소 및 인 등의 수질모의도 가능하여 본 연구와 적합한 모델로 판단하였다. 단, 본 모형에서는 일반적인 BOD 항목에 대한 모의가 불가능하며, 본 연구에서는 DOC, Chl-a, CBOD_u 및 NOD₅ 등 BOD 관련된 오염물질의 모의 결과를 바탕으로 BOD를 예측하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 연구 대상 지역 수질 현황 분석

Table 2는 연구 대상 지역 내 하천의 건기 시 농도, 강우 시 유량가중평균농도 (Event Mean Concentration, EMC)와 관측된 최대 농도를 보여주고 있다. 건기 시 연구 대상 지역 내 하천의 오염물질 농도는 평균값 기준 BOD 1.1 mg/L, TN 4.610 mg/L, TP 0.102 mg/L 및 SS 11.5 mg/L를 보였으며, 상대적으로 TN 및 TP의 농도가 높은 특성을 보였다. 이와 같은 이유는 연구 대상 지역의 토지 이용이 대부분 전과 답(60.8%)으로 이용되고 있고, 가축 사육으로 인한 가축분뇨의 영향으로 판단된다. 강우 시 연구 대상 지역 내 하천의 오염물질 별 EMC는 평균값 기준 BOD 30.5 mg/L, TN 14.548 mg/L, TP 0.702 mg/L 및 SS 250.5 mg/L로 건기 시와 대비하여 BOD 기준 약 27.7배 높은 값을 보이는 것으로 나타났다. 이는 강우 시 강우유출수에 의해 다량의 오염물질이 하천으로 유입되고 있는 것으로 해석될 수 있으며, 연구 대상 지역 내 수계 관리를 위해서는 비점오염물질 관리가 반드시 필요하다라는 것을 의미한다.

Table 2. Concentration of inflow in researched area during dry and rainfall event

Parameter	BOD	TN	TP	SS
Dry - 1	1.2	2.925	0.046	8.9
Dry - 2	1.0	6.295	0.158	14.0
Average	1.1	4.610	0.102	11.5
Parameter	BOD EMC (Max)	TN EMC (Max)	TP EMC (Max)	SS EMC (Max)
Rain - 1	53.4 (61.2)	18,190 (19,958)	0.750 (1,488)	384.9 (458.0)
Rain - 2	7.5 (10.4)	10,905 (15,552)	0.654 (0,861)	116.0 (306.0)
Average	30.5 (35.8)	14,548 (17,755)	0.702 (1,175)	250.5 (382.0)

* All unit is mg/L

3.2 유역 유출 모형 구축

본 연구 대상 유역 면적은 65.97ha로 본 면적을 기반으로 시설 용량을 설계할 경우 시설이 과도한 면적을 필요로 하게 된다. 이에 환경부에서 대규모 면적에 인공습지를 조성할

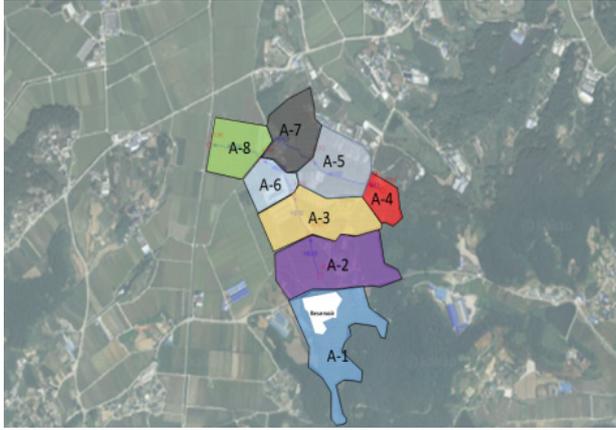


Fig. 2. Watershed in researched area.

경우, 임야 면적을 제외할 수 있다는 내용을 참고하여 본 연구에서는 임야 면적을 제외한 유역면적(48.3ha)을 기반으로 SWMM을 활용하여 유출 모형을 구축하였다. 유출 모형 구축을 위해 연구 대상 유역을 배수체계를 고려하여 8개의 소유역으로 분류하였으며, 소유역 구분에 대한 그림은 Fig.2로 소유역 별 주요 매개변수는 Table 3에 정리하였다. Fig. 3은 본 연구진이 구축한 유출 모형 검정을 위해 강우 시 수행한 현장모니터링 강우량 및 수질 분석 결과 등을 모형에 적용한 결과(Rainfall event 2)를 확인할 수 있다. Fig. 3을 통해서도 확인할 수 있듯이 강우시작과 종료시까지 배수유역에서의 유량 및 수질결과와 유사한 경향을 보였다. 또한, 결정계수 (R^2) 역시 0.5 이상으로 나타나 본 유역 유출 모형과 2018년 기상 자료를 기반으로 인공습지 효율 평가를 위한 유입 자료를 구축하였다.

3.3 인공습지 설계 및 모형 구축

Fig. 4은 본 연구 대상 지역의 비점오염원 및 가축분뇨 관리를 위해 구축한 인공습지의 모식도를 보여주고 있다.

Table 3. Concentration of inflow in researched area during dry and rainfall event

Parameter	Area (ha)	Width (m)	Slope (m/m)	SCS	roughness coefficient	
					impervious	Pervious
A-1	7.401	272	0.097	D Type	0.014	0.030
A-2	9.668	311	0.060	D Type		
A-3	7.968	282	0.054	D Type		
A-4	3.193	179	0.028	D Type		
A-5	5.026	224	0.010	D Type		
A-6	2.104	145	0.168	B Type		
A-7	5.971	244	0.057	D Type		
A-8	5.201	228	0.067	D Type		

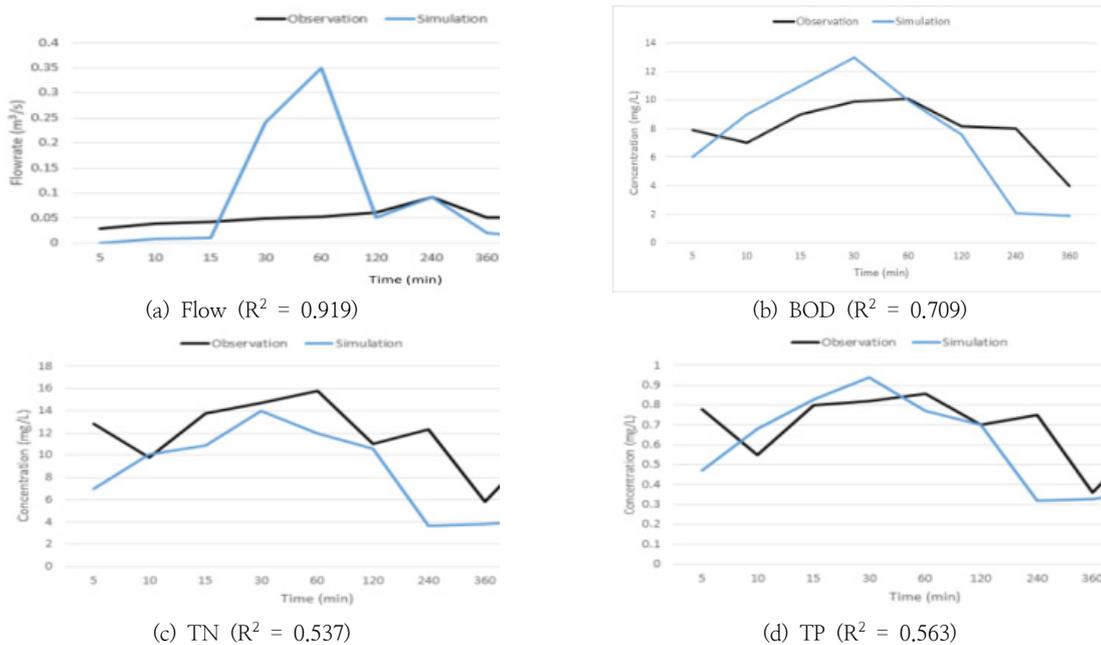


Fig. 3. Estimation result of rainfall runoff model.

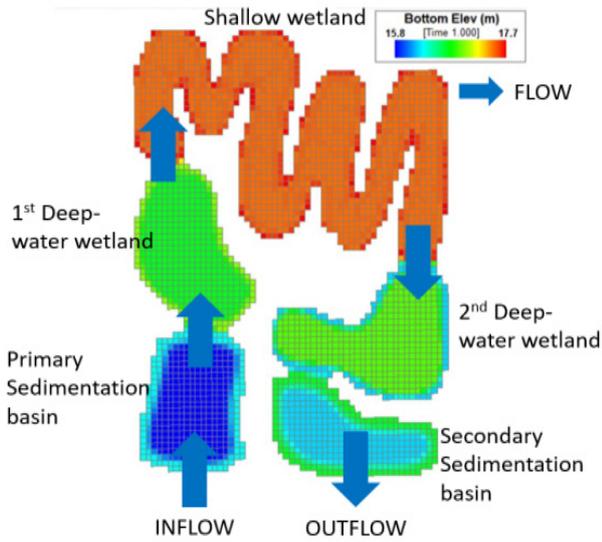


Fig. 4. Schematic diagram of wet-land in this research.

본 인공습지는 유역면적에 누적유출고 5mm 적용시켜 수질처리용량 (Water Quality volume, WQv)을 산정한 결과 2,359.5 m³로 분석되었다. 이 후 WQv 2,359.5 m³를

기준으로 인공습지 설계 기준을 만족하기 위한 각 세부 공정 별 면적, 용량 및 체류시간을 산정하였으며, 이는 Table 4에 정리하였다. 또한, 본 연구 대상 지역에서 발생하는 유기물, 부유물질 및 영양염류의 안정적 저감을 위해 '1차 침전지 (Primary sedimentation basin, P-SB) - 1차 깊은 습지 (1st Deep water wetland, 1st D-W) - 얇은 습지 (Shallow wetland, SW) - 2차 깊은 습지 (2nd Deep water wetland, 2nd D-W) - 2차 침전지 (Secondary sedimentation basin, S-SB)'의 형태로 구축하였다. Fig. 5은 인공습지의 유속 및 흐름과 같은 수리적 안정성을 검토한 결과를 정리하였다. 모의한 인공습지는 전 구간에 걸쳐 0.0001 ~ 0.004m/s의 유속이 발생하며, 단면이 축소가 되는 유입 및 유출부에서 최대 유속이 발생하는 것으로 나타났다. 또한 수리흐름 역시, 시설 내 체류 및 역류 등과 같은 흐름이 문제되는 지점이 발생하지 않고 전반적으로 안정적인 흐름을 보이는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 본 연구에서 구축한 인공습지가 수리학적 안정성을 확보하고 있음을 보여주는 것이라 할 수 있다. Table 5에서는 수리학적 흐름과 관련된 주요 인자를 정리하였다.

Table 4. Specific design size and volume of wet-land in this research

Parameter	Wet-land					Total
	P-SB	1st D-W	S-W	2nd D-W	S-SB	
Area - Surface (m ²)	413.04	548.76	1,506.10	470.19	458.14	3,396.23
Area - bottom (m ²)	142.03	354.14	1,194.76	312.79	204.61	2,208.33
Depth (m)	1.8	1.0	0.4	1.0	1.8	-
Volume (m ³)	499.57	451.45	539.07	391.49	472.92	2,359.50
HRT (hr)	5.16	4.66	5.56	4.04	4.93	24.35

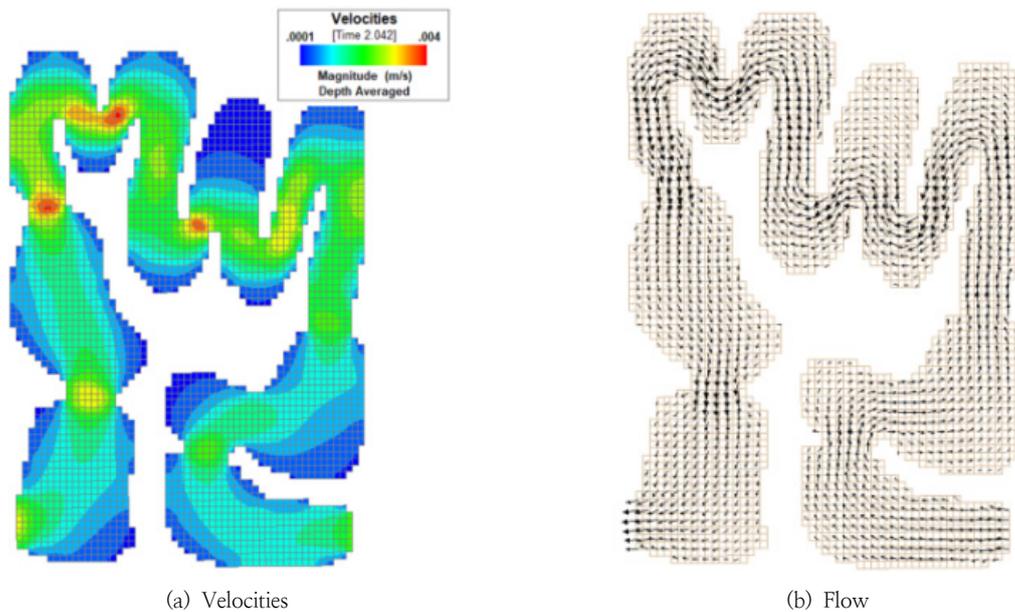


Fig. 5. Analysis of velocities and flow in wet-land.

Table 5. Major design parameters for flow of wet-land in this research

Parameter	Unit	Value
Effective Particle Size Class	mm	0.0262
Specific Volume	m ³ /g	0.00000038
Specific Gravity	-	2.65
Deposition Settling Velocity	mm/s	24.784
Critical Shear Stress for Deposition	N/m ²	0.08
Critical Shear Stress for Erosion	N/m ²	0.940
Reference Erosion Rate	g/m ²	0.0005
Empirical erosion constant	-	2.2
Median diameter of bed Sediment	mm	0.146
Angle of Repose	°	30.0
Roughness	-	0.025

3.4 인공습지 오염물질 저감효율 성능 분석

Fig. 6은 1년간 모델링 결과(2018년 기상자료)를 계절별로 세분화하여 인공습지 성능을 분석한 결과를 보여준다. Fig. 6 (a) BOD의 경우, 유출수 내 농도는 봄과 여름의 농도가 상대적으로 가을과 겨울의 농도보다 높은 것으로 나타났다. 특히, 봄철의 인공습지 유출수의 농도가 가장 높은 것으로 모의되었는데, 이는 봄철 해빙에 의한 고농도의 오염물질 유입과 상대적으로 낮은 온도 조건의 영향으로 해석될 수 있다. 또한 여름의 경우, 강우에 의해 다량의 비점오염물질이 유입됨에 따라 상대적으로 높은 유출수 농도를 보인 것으로 판단된다. 반면, 온도가 낮은 가을과 겨울철의 유출수 농도가 상대적으로 양호한 것으로 나타났는데, 이는 강우로 인한 오염물질의 유입이 상대적으로 적은 것에 영향을 받은 것으로 보인다. Fig. 6 (b) TN과 (c) TP의 경우, 봄과 겨울에 유출수 농도가 증가하였으며, 여름과 가을의 유출수 농도가 상대적으로 낮은 경향을 보였다. 이는 동절기 상대적으로 낮은 기온으로 인해 생물학적 영양염류 처리의 활성이 감소한 것에 영향을 받은 것으로 판단된다. 특히, 상대적으로 강우의 영향이 클 것으로 판단되는 여름과 가을에 영양염류의 유출수 수질이 양호한 것은 인공습지의 영양염류 처리 효율이 기온과 밀접한 관계가 있다는 것을 확인할 수 있다. 즉, 가축 분뇨 처리를 위한 인공습지 운영 시 다량의 강우유출수가 유입되는 시기, 상대적으로 기온이 낮은 시기(동절기) 및 봄철 해빙이 발생하는 시기에 집중적 관리가 필요할 것으로 판단된다.

그리고 231일을 기점으로 BOD가 다소 증가하는 경향을 보였다. 특정 시점에서 유출수 내 BOD 농도가 증가하는 원인으로는

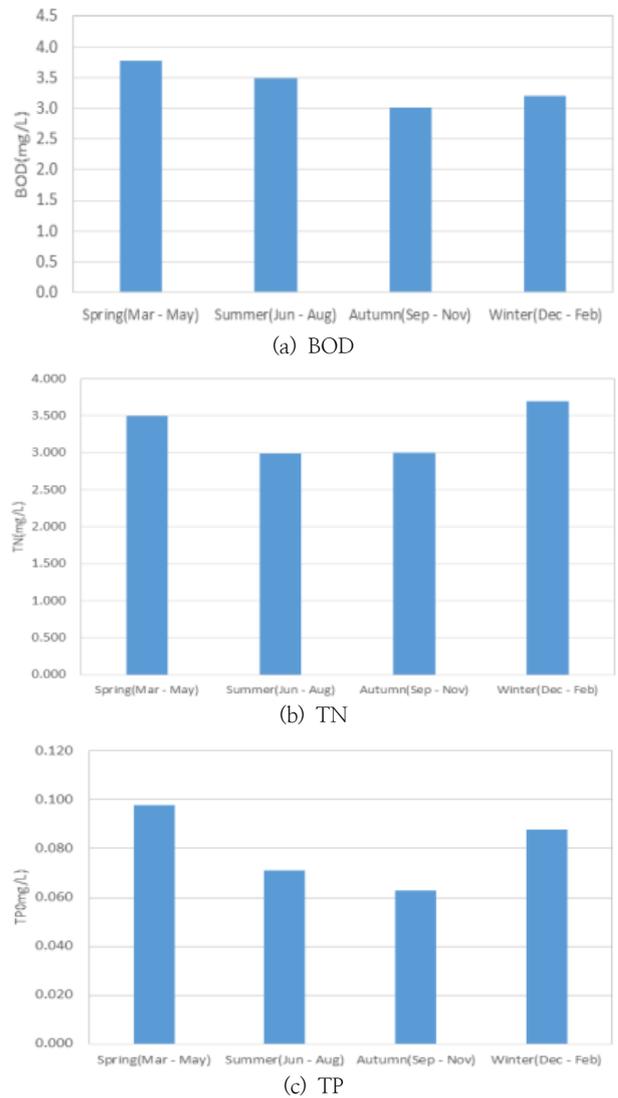
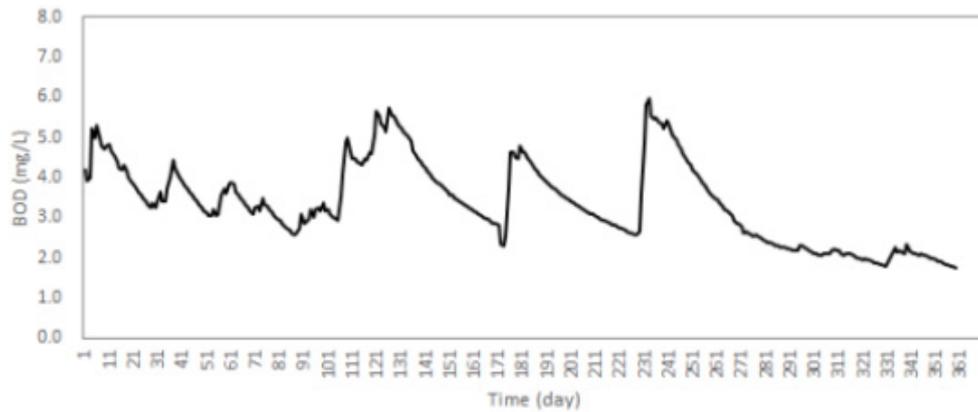


Fig. 6. Seasonal pollutants removal efficiency of researched wetland.

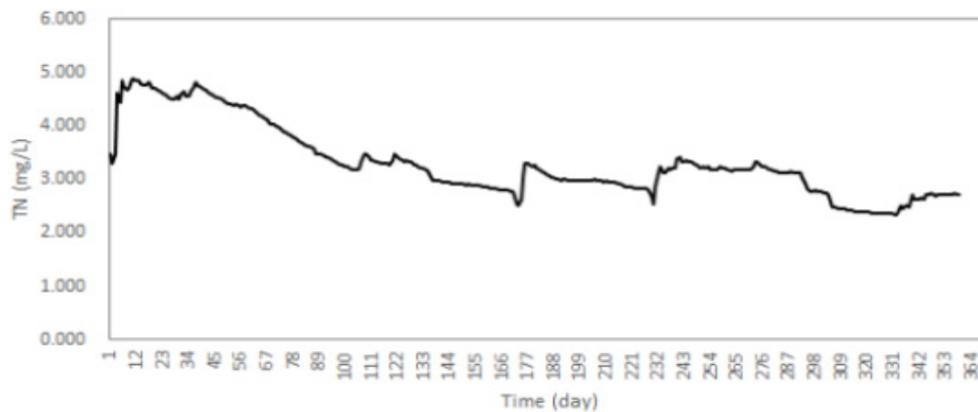
대규모 강우의 발생으로 다량의 비점오염물질이 인공습지로 유입된 것으로 파악되었다. 특히, 이와 같은 부분은 (b) TN과 (c) TP에서도 공통적으로 발생하는 것으로 분석되었으나, 상대적으로 변동폭이 BOD와 비교하여 적은 것으로 나타났다. 하지만, 전체 모델링 결과 (평균값 기준) 유출수 내 BOD는 2.6mg/L 그리고 TP는 0.095 mg/L로 하천 생활환경기준 II 등급 (BOD 3.0 mg/L 이하 및 TP 0.1 mg/L 이하)에 부합하는 수준으로 분석되었다. 또한, 모의한 수질의 평균값을 이용하여 산정한 BOD, TN 및 TP의 저감 효율은 각각 57.5%, 48.9% 그리고 64.2%로 이와 같

Table 6. Summary on removal efficiency of researched wet-land based on modeling result

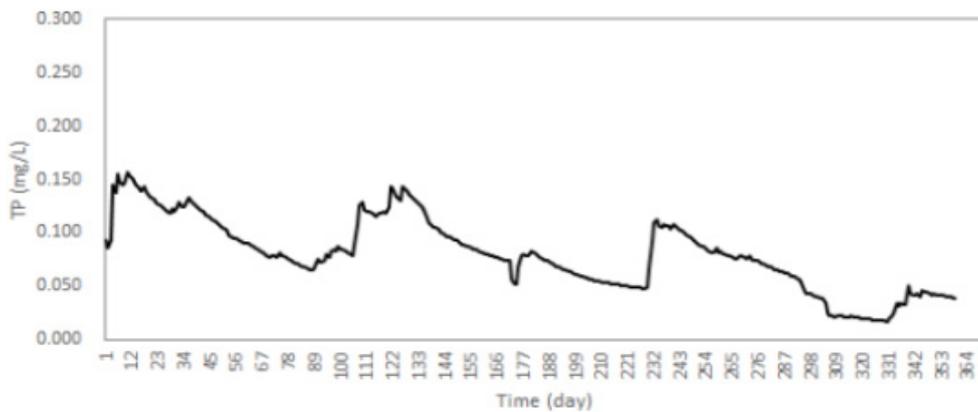
Parameter	Inflow in modeling (mg/L)	Outflow in modeling (mg/L)	Removal efficiency (%)
BOD	6.1	2.6	57.5
TN	4.876	2.493	48.9
TP	0.095	0.029	64.2



(a) BOD



(b) TN



(c) TP

Fig. 7. Removal efficiency of wet-land based on modeling.

은 인공습지는 고농도 가축분뇨 및 비점오염원 관리에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 모델링 분석으로부터 예상되는 인공습지 유출수의 농도는 Table 6를 통해 확인 할 수 있다.

4. 결 론

1) 연구 대상 지역 수질 현황 분석 결과 강우 시 EMC는 건기 시와 비교하여 BOD 27배, TN 3배, TP 7배 그리고

SS 20배 정도 높은 것으로 분석되었다. 강우 시 오염물질의 농도가 증가하는 것은 경작지에서 발생할 수 있는 오염물질 및 가축분뇨에 의한 것으로 판단된다. 이와 같은 결과는 연구 대상 지역에서 비점오염원 및 가축분뇨의 관리가 필요하다는 것을 의미한다.

2) 강우 시 비점오염원 및 가축분뇨 관리가 필요한 전라북도 J시 D군 S면 일원에 인공습지를 도입 할 경우, BOD 57.5%, TN 48.9% 그리고 TP 64.2%의 저감효율을 보일 것으로 기대할 수 있다. 하지만, 다량의 강우유출수가 발생

하는 시기와 동절기 시 인공습지 저감효율이 다소 감소하는 경향을 보여 해당 시기에는 운영에 관리가 필요할 것으로 판단된다.

3) 이와 같은 결과를 바탕으로 해당지역에서 인공습지 도입을 통해 가축 사육 농업지역 비점오염원의 안정적인 관리가 가능할 것으로 판단된다. 또한 본 연구 결과를 바탕으로 향후 연구 대상지와 유사한 특성을 지니는 지역 관리에 인공습지는 적절한 대안으로 제안될 수 있을 것이다.

사 사

이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No.2017R1D1A1B06035481, 자연에너지 및 자원 생산형 미래 하수처리시스템의 핵심 기술 개발)과 2020년도 한국습지학회의 지원(고농도 질소 처리를 위한 하수처리공법 최신 현황 조사)을 받아 수행된 연구임.

References

- Bae MS. (2014). *Environmentally Friendly Development Plan around the Daecheong Lake*. Chungbuk Research Institute, pp. 103-112.
- Baek JS, Lee SJ, Shin HS, Kim JM and Kim HS (2019). *Analysis of the Linkage Effect by Component Technology in Low Impact Development Facilities*, Journal of Korean Society on Water Environment, 35(1), pp 35-42. [Korean Literature]
- Baek JS, Lee SJ, Shin HS and Kim HS (2018). *Analysis of Effectiveness for Water Cycle and Cost-Benefit according to LID Application Method in Environmentally-Friendly Village*, Journal of Korean Society on Water Environment, 34(1), pp 57-66. [Korean Literature]
- Choi HN, Cho EH, Kang HG, Park JH and Kang SH (2015). *A study on application of eco-friendly follow-up process connected with livestock wastewater treatment plant using the upflow constructed wetland*. Journal of Korean Society of Water and Wastewater, 29(3), pp. 359-370. [Korean Literature]
- Choi HS, Jeon MS and Kim LH (2020). *Effect of Cultivation Activity in Daecheong Lake Flood Control Site on Water Quality*. Journal of Wetlands Research, 22(1), pp. 49-58. [Korean Literature]
- Choi HS, Hong JS, Jeon MS, Geronimo FKF and Kim LH (2019). *Assessment of Water Circulation and Hydro-characteristics with LID techniques in urbanized areas*. Journal of Wetlands Research, 21(3), pp. 191-198. [Korean Literature]
- Hamilton PA, Denver JM, Phillips PJ and Shedlock RJ(1993). *Water-quality assessment of the Delmarva Peninsula, Delaware, Maryland, and Virginia-Effects of agricultural activities on, and distribution of, nitrate and other inorganic constituents in the surficial aquifer*. US Geological Survey open-file report, pp. 93-40.
- Im JY and Gil KI (2011). *Evaluation of Nitritatio of High Strength Ammonia with Variation of SRT and Temperature using Piggery wastewater*. Journal of Korean Society on Water Quality, 27(5), pp 563-571. [Korean Literature]
- Jung JW, Bae Yh, Lee HN, Kim SJ and Kim HS (2020). *A Study on the Benefit Estimation by Artificial Wetland Construction*. Journal of Wetlands Research, 22(1), pp. 39-48.
- Kim KJ, Kim JS, Kim LH and Yang KC (2012). *Characteristics of Nutrient Uptake by Aquatic Plant in Constructed Wetlands for Treating Livestock Wastewater*. Journal of Wetlands Research, 14(1), pp. 121-130. [Korean Literature]
- Kim LH, Choi ES and Stenstrom MK (2003). *Sediment characteristics, phosphorus types and phosphorus release rates between river and lake sediments*, Chemosphere, 50(1), pp 53-61. [Korean Literature]
- Kim YM and Kim LH (2019). *Awareness of Urban Environment and LID for Expanding LID Application*, Journal of Wetlands Research, 21(1), pp. 27-33. [Korean Literature]
- Lee YH, Kim YS, Park JY and Oa SW (2014). *Estimation of Production Unit Loads of Livestock Manure Based on TOC*. Journal of Wetlands Research, 16(3), pp. 403-409. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2018). *White paper of Environment*. 11-1480000-000586-10. Ministry of Environment.
- Ministry of Environment (MOE). (2016). *Manual of BMPs design, maintenance and operation* National Institute of Environmental Research (NIER). (2019) *Technical guideline of Management of Total Maximum Daily Loads*. NIER-GP2019-010. National Institute of Environmental Research
- Oh DG, Chung SW, Ryu IG and Kang MS (2010). *Analysis of Rainfall-Runoff Characteristics on Impervious Cover Changes using SWMM in an Urbanized Watershed*, Journal of Korean Society on Water Quality, 26(1), pp 61-70. [Korean Literature]
- Park DK, Chang SW and Choi HN (2017). *Ecotoxicity Assessment for Livestock Waste Water Treated by a Low Impact Development (LID) Pilot Plant*. Journal of Korean Society of Environmental Biology, 35(4), pp. 662-669. [Korean Literature]
- Park KS and KIm YC (2017). *Demonstration Study of Half-Saturated Bio-filter Wetland with Recirculation*

- Pump for Road Stormwater*. Journal of Wetlands Research, 19(3), pp. 259–270. [Korean Literature]
- Son GY and Kim JG (2020). *Assessing removal effects on particulate matters using artificial wetland modules*. Journal of Wetlands Research, 22(1), pp. 24–30. [Korean Literature]
- Yano K.A.V., Reyes N.J.D.G., Jeon MS and Kim LH (2019). *Comparative assessment of urban stormwater low impact strategies equipped with pre-treatment zones*. Journal of Wetlands Research, 21(2), pp. 181–190. [Korean Literature]