

연구논문

빗물펌프장에 설치된 인공습지의 비점오염원 저감효율 연구

천석영* · 김지태** · 이일국*** · 장순웅**

경기대학교 환경에너지공학과 공학박사*, 경기대학교 환경에너지공학과 교수**, 주식회사 생***
(2014년 1월 7일 접수, 2014년 2월 7일 승인)

A Study of Non-point Source Reduction Efficiency by Constructed Wetland installed in Flood Pumping Station

Suk-Young Chun* · Ji-Tae Kim** · Il-Kook Lee*** · Soon-Woong Chang**

Ph.D., Department of Environment Energy Engineering, Kyonggi Univ., Suwon, 443-760, Korea*
Professor, Department of Environment Energy Engineering, Kyonggi Univ., Suwon, 443-760, Korea**
Executive director, SSENG Co. Ltd., Busan, 617-814, Korea***
(Manuscript received 7 January 2013; accepted 7 February 2014)

Abstract

The aim of this study was evaluated the effects of total rainfall, rainfall intensity and antecedent dry days and identify the correlation analysis with the EMC removal efficiency, in order to provide an understanding of the operation and maintenance factors of constructed wetland in flood pumping station. This study was conducted total of 20 monitoring in a catchment(326.2 ha) of constructed wetland in Ga-un flood pumping station located at the downstream of the Wang-suk stream. The determined EMC removal efficiencies were $36.04 \pm 9.45\%$ for BOD, $38.50 \pm 13.50\%$ for COD_{Mn} , $34.34 \pm 13.05\%$ for TN and $34.22 \pm 14.27\%$ for TP, respectively. These results showed that the pollutants concentration and EMC were reduced while passing through the constructed wetland. In the correlation analysis, the highly correlations with EMC removal efficiency of BOD and COD_{Mn} were observed for total rainfall and rainfall intensity ($P < 0.05$). However, the correlations were not found with TN and TP for rainfall variables.

Keywords : Constructed wetland, Correlation analysis, Total rainfall, Rainfall intensity, Antecedent dry days, EMC

I. 서론

점오염원의 감소에 비해 비점오염원은 지속적으로 증가하여 비점오염원에 대한 수계 관리의 중요성이 커지고 있다(김성준 등, 2012; 이은주 등, 2006). 그러나 비점오염원은 오염물질의 유출 및 배출경로가 뚜렷하지 않으며, 비점오염원의 배출량은 기상조건의 영향을 크게 받아 점오염원에 비해 체계적인 관리가 어려운 실정이다(배다혜 · 하성룡, 2011). 특히, 정부합동조사 결과에 따르면, 도시지역에서 배출되는 배출부하량(282.4 ton/day)의 약 52%(146.7 ton/day)가 비점오염원에 의한 것으로 나타나 도시지역에 대한 비점관리방안 정립이 시급한 실정이다(환경부, 1999; 환경부, 2004).

비점오염물질의 유출은 강우나 해빙에 의해 일시에 다량 발생되어 수계로 빠르게 유입되며 인근 수계 환경에 악영향을 초래한다. 또한, 도시지역의 경우 불투수층 면적의 비중이 높아 초기강우에 따른 수계영향이 비시가지 지역에 비해 빠르게 나타나는 것이 특징이다(김태원 · 길경익, 2011; 이진직 등, 2010; 이홍신 · 이승환, 2009). 이러한 초기세척효과를 효율적으로 저감하기 위해서는 발생원의 특성 및 유역의 특성을 종합적으로 고려한 저감시설의 적용이 필요하다.

비점저감시설은 크게 자연형 시설과 장치형 시설로 구분되며, 대상 지역의 특성에 따라 적정 저감시설이 적용된다. 도시지역에 대한 비점저감시설의 경우 소요면적의 제한을 받아 일반적으로 장치형 시설에 대한 의존도가 높다. 하지만, 국내의 장치형 시설은 일반적으로 와류형, 여과형 및 저류형 시설에 국한되어 있다. 또한, 도시지역에 대한 자연형 시설의 적용도 대부분 식생수로, 식생여과대 등과 같은 비교적 적은 면적을 통한 비점저감시설이기 때문에 생물학적 기작을 포함한 다양한 제거기작을 기대하기 어렵다.

인공습지를 통한 비점오염원의 저감은 식생의 다양화와 수생태적 영향을 받아 식재종과 인공습지의 구성에 따라 유기물뿐만 아니라 영양염류 및 중금속류의 처리에도 적용이 가능한 것으로 보고되고 있다(김경진 등, 2012; 최익원 등, 2012; 서동철 등, 2011; 엄한용, 2007; Department of natural resources, 2009). 하지만, 비점저감시설로서 부지면적의 소요가 커서 국내의 도시지역에 적용된 사례는 적은 실정이다.

효율적 시설 평가를 위해서는 신뢰성을 확보하기 위한 다각적 접근이 필요하다. Ki *et al.* (2011)에 따르면, 단순효율평가의 한계를 보완하기 위한 다각적인 접근의 필요성을 언급하였다. Maniquiz *et al.* (2010)도 발생부하량과 유량가중평균농도(EMC ; event mean concentration)를 통한 저감효율 평가에 있어 통계적 해석을 통해 강우 변수 및 수질항목별 예측식의 활용성에 대해 보고하였다.

따라서, 본 연구에서는 시설면적의 제한적 요인을 해결하기 위해 빗물펌프장의 부지면적을 활용한 인공습지의 비점저감효율을 평가하고자 한다. 또한, 인공습지의 저감효율 평가에 있어 EMC와 주요 인자에 대한 통계적 해석을 통해 강우특성에 따른 유출특성과 저감효율의 관계를 해석하고자 한다.

II. 연구방법

1. 모니터링 지점

모니터링 지점은 도시지역의 빗물펌프장에 위치한 인공습지 시설로서 경기도 남양주시 가운데에 위치하고 있다. Table 1은 처리대상 유역면적에 대한 토지이용도를 나타내고 있으며, 시설에 대한 총 유역면적은 326 ha이며, 도시지역과 임야, 전, 답 및 기타 지역이 분포하고 있다.

Figure 1은 인공습지의 형태와 유체흐름 경로를 나타낸 것으로 강우시 발생된 강우 유출수는 하천을

Table 1. Landuses of watershed area

Land use	Forest	Wet paddy	Dry paddy	Urban	Other	Total
ha(%)	87.4(26.8)	71.4(21.9)	63.1(19.3)	63.3(19.4)	40.9(12.5)	326.2(100)

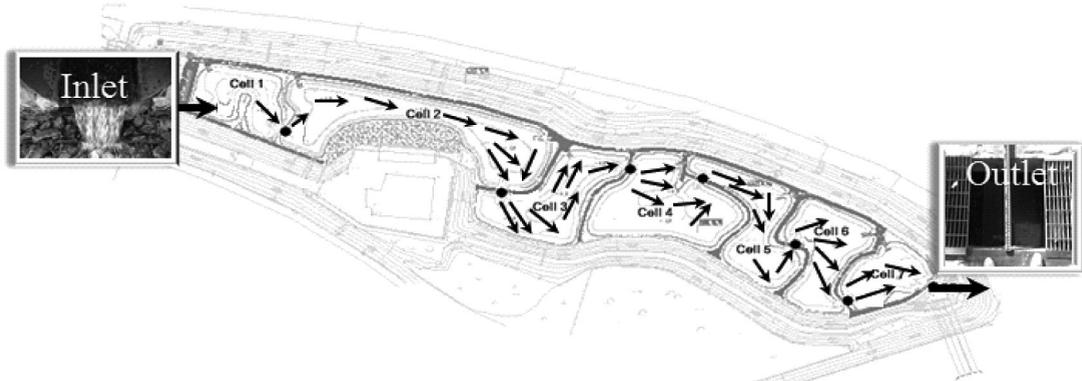


Figure 1. Inflow and outflow pathway in constructed wetland

Table 2. Structure and composition of constructed wetland

Term	L+S	H	L	H	H	H	s	Total
	Cell 1	Cell 2	Cell 3	Cell 4	Cell 5	Cell 6	Cell 7	
Area(m ²)	1,456	4,584	2,573	2,123	1,585	1,599	1,014	14,934
Volume(m ³)	693	4,057	1,225	4,170	2,377	2,399	1,522	16,443
Depth(m)	0.48	0.89	0.48	1.96	1.50	1.50	1.50	-

※ L : Shallow marsh, S : Settling pond, H : Deep marsh, s : Sedimentation pond

거처 유입부를 통해 유입되어 침강지, 침전지, 인공 습지를 거쳐 저감된 후에 유출부를 통해 방류된다. 인공습지의 체원은 총 면적이 14,934 m²으로 Cell 1 에 침강지와 얇은 습지가 있으며, 얇은습지와 깊은 습지의 반복적 배열 후에 깊은 습지와 마지막 침전지 (Cell 7)로 구성되어 있다(Figure 1과 Table 2).

2. 시료채취 및 분석항목

강우시 발생하는 비점오염원에 대한 인공습지의 저감능을 평가하기 위하여 강우가 인공습지에 유입 되는 시점에 유입부와 유출부에서 시료채취를 실시 하였다. 2010년 강우시 발생하는 강우유출수를 대상으로 총 20회의 모니터링을 수행하였다. 시료의 채 취시기는 초기강우효과를 고려하여 강우초기에는 유 출직전, 5분, 10분, 15분, 30분, 60분의 6회를 실시 하고 강우종료시까지 적정 간격으로 6회를 실시하여 한 강우사상 당 12회를 수행하였다. 측정항목은 BOD, COD_{Mn}, TN, TP를 수행하였으며, 별도로 탁 도를 현장측정하여 강우종료시점을 판단하였다. 각 분석항목은 수질오염 공정시험기준(2008)에 준하여

실시되었으며, 유입유량은 자동측정기를 이용하였고 유출부는 수심 및 유속을 측정하여 면적법에 근거하여 산출하였다.

3. 강우시 유입 · 출 EMC 산정

비점저감시설의 효율을 평가하는 경우 다양한 강 우사상에 따른 유량의 변화로 인해 유입 · 유출 농도 뿐만 아니라 유량의 변화에 따른 영향도 고려해야 한 다. 따라서 일반적인 효율평가 시에는 부하량 또는 EMC를 산출하여 적용한다. 특히, 습지에서의 유체 순환은 저류, 침투, 증발, 흡수 등 다양한 기작을 통 해 이루어지기 때문에 유입 및 유출 EMC를 산출하여 효율평가가 가능하도록 하였다. EMC 적용식은 식 1에 나타내었다.

$$EMC(mg/L) = \frac{\sum_{t=0}^{t=T} C(t) \cdot q_{run}(t)}{\sum_{t=0}^{t=T} q_{run}(t)} \quad (1)$$

여기서 C(t)와 q_{run}(t)는 유입 및 유출 지속시간 t에 대한 오염물질의 농도와 유출율을 나타낸다.

Table 3. Quartile variation of flow rate, BOD, COD_{Mn}, TN and TP

Term	Flow rate(m ³ /hr)		BOD(mg/L)		COD _{Mn} (mg/L)		TN(mg/L)		TP(mg/L)	
	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out
Q ₁ ^{a)}	200.50	130.30	9.80	6.70	13.71	8.25	1.29	0.82	0.68	0.48
Median	231.00	151.00	12.95	9.15	17.60	11.50	1.89	1.09	0.95	0.67
Q ₃ ^{b)}	304.00	213.30	18.48	13.28	28.03	20.12	2.59	2.04	1.33	0.92
Q _{range} ^{c)}	103.50	83.00	8.68	6.58	14.33	11.87	1.30	1.22	0.65	0.44

※ a) Q₁ : 1st Quartile, b) Q₃ : 3rd Quartile, c) Q_{range} : Interquartile range

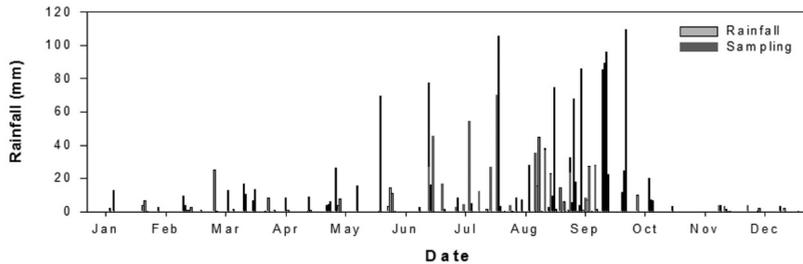


Figure 2. Total rainfall(black line) and monitored storm events(red line)

4. 통계적 해석

강우사상의 특성에 따른 항목별 EMC 저감효율에 대해 상관분석을 실시하였다. 통계적용을 위하여 Minitab 14.0(USA)를 사용하였으며, 항목별 영향을 받는 주요 강우특성에 대해 통계적 해석을 적용하였다. 주요인자로는 성행진기일수, 강우강도와 총강우량에 대하여 항목별 EMC 제거율에 대한 상관관계를 살펴보았다. 이를 통해 도출된 상관계수 R-value는 절대값 '1'에 가까울수록 유의계수 P-value는 0.05 보다 작은 경우 유의성을 띠는 것으로 해석된다. 이는 강우사상에 따른 유지관리 가이드라인의 구축에 있어 기초자료로서 활용이 가능할 것이다.

III. 결과 및 고찰

1. 모니터링 결과

강우시 모니터링은 2010년 6월부터 12월까지 진행되었으며, 강우가 집중되는 하절기부터 비교적 식생의 저감효율이 떨어지는 동절기까지 진행되었다. 총 모니터링 횟수는 20회였으며 선행건기일수와 총강우량, 강우강도, 총유입량과 유출량을 Table 4에 나타내었다. 각 모니터링 강우사상별 횟수와 강우량은 Figure 2에 표시하였으며, 유입·출 유량과 분석

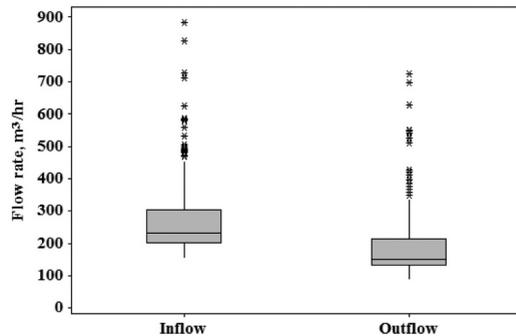


Figure 3. Box graph of inflow with outflow for 20 events

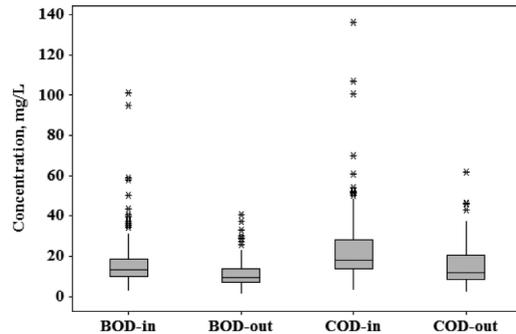


Figure 4. Box graph of BOD with COD for 20 events

항목별 농도는 총 20회에 대한 전반적인 범위를 보기 위하여 박스그래프를 적용해 전체 모니터링 강우에 대한 농도범위를 나타내었다(Table 3과 Figure 3-5).

Table 4에 나타난 바와 같이, 총 20 회에 대한 강

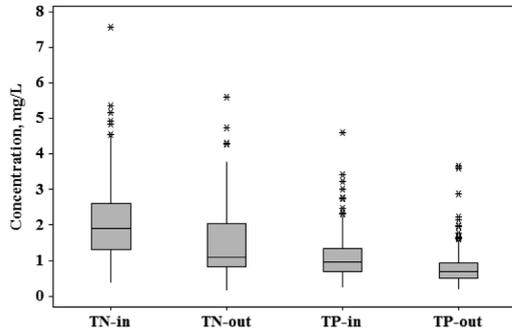


Figure 5. Box graph of TN with TP for 20 events

우사상은 계절적 변동이 크게 나타났다. 성행건기일수의 경우 최대 11.5일, 최소 0.5일로 나타났으며 7월초인 5회부터 선행건기일수가 짧아지는 것으로 관찰되었다.

총강우량과 강우강도도 강우가 집중되는 7~8월(5~17회)에 높게 관찰되었으며 총유입량 및 유출량은 강우사상에 비례하게 변동되는 것으로 나타났다.

BOD는 유입 농도의 일사분위부터 삼사분위까지

의 범위(Q_{range})가 8.675 mg/L인데 비해, 유출 범위는 6.575 mg/L로 방류되는 농도의 범위가 안정되는 것으로 나타났다. 또한, BOD 유입의 중위수는 12.95 mg/L로 나타났으며, 유출은 9.15 mg/L로 관찰되어 유기물 항목에 대한 제거효율도 일정부분 확보되고 있는 것으로 나타났다.

COD, TN과 TP도 이와 유사하게 중위수 기준 및 Q_{range}가 낮아지는 것으로 나타났다. 하지만, 유입유량 대비 유출유량이 중위수 기준으로 각각 231m³/hr와 151m³/hr로 유입유량에 비해 유출되는 유량이 적게 나타났기 때문에 실질적인 시설의 제거효율을 평가하기 위해서는 EMC 및 유량변동을 고려하는 평가방안의 적용이 필요하다.

2. EMC 결과

단순 농도로 산정된 저감효율은 인공습지 시설의 유체흐름에 따른 유량변동이 고려되지 않은 값이기에 강우지속시간에 따른 유입 및 유출 부하량의 변동

Table 4. Summaries of storm events with total inflow and outflow

Event	Antecedent dry days (day)	Total rainfall (mm)	Storm duration (hr)	Rainfall intensity (mm/hr)	Total inflow (m ³)	Total outflow (m ³)
1	11.5	27.7	7.75	3.57	1,184	822
2	1.5	45.5	5.00	9.10	2,843	2,143
3	2.5	16.5	9.50	1.74	1,672	1,374
4	7	10.5	4.00	2.63	1,021	639
5	2.25	4.5	6.50	0.69	1,340	778
6	3	54.5	4.50	12.11	12,572	9,927
7	4.5	12.0	3.00	4.00	931	568
8	2	27.0	3.33	8.11	1,225	948
9	3	166.0	21.00	7.90	11,331	9,185
10	3.5	4.0	2.00	2.00	925	532
11	1	40.0	23.00	1.74	2,405	1,870
12	2.5	38.0	13.33	2.85	3,341	2,701
13	0.5	23.0	11.66	1.97	2,041	1,563
14	4.5	32.5	8.50	3.82	2,119	1,592
15	2	10.5	8.50	1.24	1,543	954
16	1	27.5	10.00	2.75	2,432	1,861
17	2.5	28.0	7.33	3.82	1,250	854
18	24	3.5	6.66	0.53	1,124	735
19	1.5	3.0	1.00	3.00	767	463
20	10	3.5	0.66	5.30	830	500

Table 5. Summaries of EMC results for total 20 monitoring

Term		BOD	COD _{Mn}	TN	TP
EMC _{in} (mg/L)	Mean±St. Dev	17.72±8.64	25.70±13.21	2.11±0.82	1.22±0.42
	Min.	10.57	13.55	0.64	0.47
	Max.	48.82	69.14	3.67	2.06
EMC _{out} (mg/L)	Mean±St. Dev	11.21±4.81	15.61±7.70	1.40±0.64	0.81±0.36
	Min.	5.93	7.23	0.42	0.37
	Max.	23.69	32.01	2.41	1.54
EMC removal efficiency(%)	Mean±St. Dev	36.04±9.45	38.50±13.50	34.34±13.05	34.22±14.27
	Min.	20.78	18.38	3.15	4.6
	Max.	51.47	62.64	57.76	60.35

을 파악하기 위해 EMC를 산정하였다. 도출된 항목별 EMC는 Table 4에 나타내었다. BOD의 유입 EMC는 17.72±8.64 mg/L로 유출 EMC는 11.21±4.81 mg/L로 나타났다. COD는 유입 EMC가 25.70±13.21 mg/L, 유출 EMC가 15.61±7.70 mg/L로 TN의 유입 EMC는 2.11±0.82 mg/L에서 유출 EMC는 1.40±0.64 mg/L로 TP의 유입 EMC는 1.22±0.42 mg/L에서 유출 EMC 0.81±0.36 mg/L로 나타났다. 비교적 유역면적이 본 연구와 유사한 336ha에 대해 적용된 김성준 등(2012)의 산업지역에 대한 유출특성 연구 결과에서는 BOD(12.3~26.7 mg/L)와 COD(30.9~52.0 mg/L)의 EMC 농도가 유사한 수준으로 관찰되었다. 하지만, 영양염류인 TN(3.68~6.99 mg/L)과 TP(0.83~2.06 mg/L)의 EMC 유출농도는 본 연구에 비해 크게 높게 나타났다. 이는 비점오염원의 유출 특성에 있어 영양염류의 경우 교외지역에서 실시된 김성준 등(2012)의 연구결과와 유사하게 토지이용도의 영향을 받은 것으로 사료된다.

항목별 EMC 제거율은 각각 BOD 36.04±9.45%, COD 38.50±13.50%, TN 34.34±13.05%와 TP 34.22±14.27%로 관찰되었다. 유기물 항목의 경우, BOD에 비해 상대적으로 난분해성으로 볼 수 있는 COD 항목의 평균 제거율은 높으나, 변동폭이 BOD에 비해 크게 나타나 COD의 경우 물리적 처리기작에 의한 제거효율의 변동이 강우량 및 강우강도에 따라 발생하는 것으로 관찰되었다. 유기물제거효율과 영양염류 제거효율도 유사하게 나타났으며, 특히 TP의 제거율이 변동폭은 크지만 유사한 수준으로 나타난

점은 인공습지의 오염원 제거기작이 식생에 의한 제거보다 여과 및 침전 등의 기작에 의해 주도되는 것으로 판단된다. 따라서 유체흐름에 주요영향을 주는 강우량과 강우강도와 유입오염원의 성상에 대한 영향이 높은 선행건기일수에 초점을 맞춘 효율변화를 관찰할 필요가 있다. 추가적으로 이장수 등(2013)의 연구에 따르면, 유출수 내에 존재 가능한 염분농도에 의해 COD 제거율이 저해되는 경우가 보고되었다. 이를 고려하여 보다 신뢰성 있는 유기물 항목에 대한 저감시설의 효율 평가를 위해서는 TOC 및 NOM과 같은 분석 및 외부 영향에 대한 변동이 크지 않은 방법을 다각적으로 적용할 필요도 있을 것으로 사료된다.

3. 강우사상에 따른 저감효율 영향

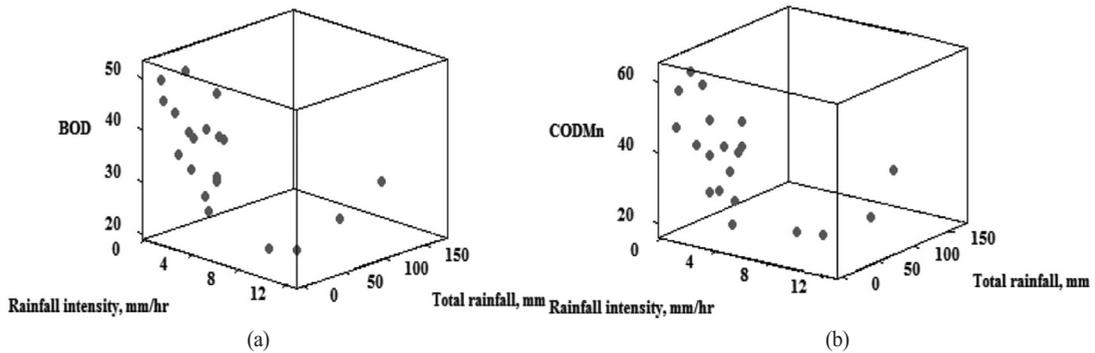
인공습지의 비점오염원 저감효율 변동에 대한 영향을 고려하기 위하여 강우사상의 변동을

을 주요인자로 제거효율의 변화를 살펴보았다. 일반적으로 강우유출수에 대해서 고려되는 모니터링 간 선행건기일수, 총 강우량, 강우강도와 항목별 EMC 제거효율과의 상관분석을 수행하였다.

강우사상에 따른 상관분석 결과, 항목별 제거효율에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 유의성을 결정하는 P-value가 0.05보다 작게 나타난 강우강도와 총 강우량으로 나타났다. BOD의 경우 강우강도와 총강우량과의 상관계수(R-value)가 각각 -0.604, -0.476으로 나타나 강우강도가 강한 경우 EMC 저감효율이 저해되는 것으로 나타났다. COD_{Mn}도 BOD와 유사한 상관관계가 도출되었으며, 강우강도에 따른 영향은

Table 6. Correlation analysis between EMCs and rainfall variables

Rainfall variables	Statistical value	BOD	COD _{Mn}	TN	TP
Antecedent dry days	R	0.349	0.151	-0.070	0.220
	P	0.132	0.524	0.769	0.352
Rainfall intensity	R	-0.604	-0.548	-0.244	-0.264
	P	0.005	0.012	0.301	0.260
Total rainfall	R	-0.476	-0.492	-0.306	-0.280
	P	0.034	0.028	0.190	0.231

Figure 6. 3D scatterplot for BOD (a) and COD_{Mn} (b) by rainfall intensity with total rainfall

BOD(-0.604) > COD (-0.548)로 관찰되며, 총 강우량에 대한 영향은 COD(-0.492)가 BOD(-0.476)보다 영향을 받는 것으로 나타났다.

강우강도와 총 강우량에 따른 BOD와 COD_{Mn}의 EMC 저감효율은 Figure 6에 나타내었다. BOD와 COD의 저감효율이 유사하게 나타났으며, 총 강우량 50 mm 이상에서 효율의 저감이 뚜렷하게 관찰되었다. Maniquiz *et al.* (2010)도 선행건기일수를 제외한 강우사상 특성요인과 유출부하량이 유의한 상관관계(positive correlation)를 띄는 것으로 보고하였다. 이에 비해 본 연구에서의 영양염류는 강우사상 특성과 상관관계가 적은 것으로 나타났으며($P > 0.05$), 통계해석의 특성상 장기적인 모니터링 결과를 고려할 필요가 있는 것으로 판단된다. 또한, 영양염류의 농도에 직접적으로 영향을 주는 토지이용도 및 비료사용량 등의 연간 변화를 조사할 필요가 있을 것으로 사료된다.

IV. 결론

본 연구에서는 중소도시지역에 위치한 빗물펌프장에 설치된 인공습지의 효율평가를 실시하였다.

2010년 총 20회에 걸친 모니터링을 실시하였으며 인공습지를 통해 항목별 EMC 저감이 관찰되었다. 이는 인공습지 시설의 설치에 있어 가장 제한적 요인인 입지면적에 대한 해결방안이 될 것으로 보이며, 비점오염원 관리를 통한 수계 관리의 중요성이 부각되는 시점인 만큼 시설적용의 다양성에 있어 중요한 기초자료로서 활용 가능할 것으로 판단된다.

본 연구에서 모니터링 된 인공습지의 항목별 EMC 저감효율은 항목별로 BOD $36.04 \pm 9.45\%$, COD $38.50 \pm 13.50\%$, TN $34.34 \pm 13.05\%$ 와 TP $34.22 \pm 14.27\%$ 로 나타나 유기물 및 영양염류의 제거에 전반적인 효율(약 30%)을 확보하는 것으로 관찰되었다. 하지만, 항목별 저감효율의 변동이 크게 나타나 안정적인 효율 확보를 위한 운영 및 관리방안이 필요할 것으로 사료된다.

저감효율의 변동에 대한 영향요인을 찾기위해 선행건기일수, 총 강우량, 강우강도와 항목별 저감효율의 상관분석을 실시하였다. 그 결과, BOD와 COD는 높은 유의성과 상관관계를 띄었으며(약 -0.5), 3D 산점도를 통해 일정 강우사상(총 강우량 50mm 이

상, 강우강도 10mm/hr 이상)에 대해서는 저감효율의 확보가 어려운 것으로 나타났다.

본 연구는 빗물펌프장에 위치하는 인공습지 시설의 특성을 알아보기 위하여 수행되었다. 하지만, 향후 식재면적의 변화, 비료사용량과 같은 직접적인 농도변화 요인에 대한 조사가 함께 수반되어야 할 것으로 판단되며, 인공습지의 특성상 식생의 변화에 따른 영향을 살펴볼 필요가 있으므로 식생피도와 식물조성의 변화에 따른 중장기적인 모니터링이 수반될 필요성이 있다.

감사의 글

본 연구는 “글로벌담 환경기술 개발사업”으로 지원받은 과제임(과제번호:GT-11-B-01-013-0).

참고문헌

- 김경진, 김정섭, 김이형, (2012), 가축폐수 처리 위한 인공습지에서 수생식물의 영양염류 흡수 특성. 한국습지학회, 14(1), 121-130.
- 김성준, 신선미, 전용태, 원찬희, (2012), 교외 산업단지지역 강우유출수내 비점오염물질의 유출특성 및 원단위 산정. 환경영향평가, 21(2), 315-325.
- 김태원, 길경익, (2011), 교량지역의 다양한 비점오염물질 원단위 산정방법 비교. 수질보전한국물환경학회지, 20(3), 417-426.
- 배다혜, 하성룡, (2011), HSPF를 이용한 비점오염원 삭감에 따른 효과 분석. 환경영향평가, 20(1), 71-78.
- 엄한용, (2007), 인공습지의 설계방안. 한국관개배수, 14(2), 261-271.
- 이건직, 성진욱, 박주현, (2010), 중소도시지역 비점오염물질의 유출 특성. 한국환경과학회지, 19(7), 819-827.
- 이은주, 고석오, 강희만, 이주광, 이병식, 임경호, 김이형, (2006), 포장지역에서의 강우사상별 EMC산정 및 단순샘플농도와와의 비교. 수질보전 한국물환경학회지, 22(1), 104-109.
- 이장수, 박연수, 조옥상, (2013), 생물 저류 방법 적용을 통한 비점오염원 처리시설의 성능평가에 관한 연구. 청정환경기술학회지, 19(3), 295-299.
- 이흥신, 이승환, (2009), 국내 중소도시지역 강우유출수의 유출특성. 대한환경공학회지, 31(3), 193-202.
- 최익원, 서동철, 강세원, (2012), 비점오염원 저감을 위한 죽산천 인공습지의 오염물질 정화효율 평가. 한국토양비료학회지, 45(4), 642-648.
- 서동철, 강세원, 임병진, (2011), 비점오염원 저감을 위한 신평천 인공습지의 수생태학적 특성 평가. 한국토양비료학회지, 44(3), 400-407.
- 환경부, (1999), 수질오염총량관리계획수립지침, 환경부 고시 제 1999-143호.
- 환경부, (2004), 관계부처합동 물관리 종합대책의 추진 강화를 위한 4대강비점오염원관리 종합대책.
- 환경부, (2008), 수질오염공정시험기준, 환경부고시 제 2008-99호.
- Department of natural resources, (2009), Iowa Stormwater Management Manual.
- Ki, S.J., Kang, J.H., Lee, S.W., Lee, Y.S., Cho, K.H., An, K.G., and Kim, J.H. (2011), Advancing assessment and design of stormwater monitoring programs using a self-organizing map: Characterization of trace metal concentration profiles in stormwater runoff, Water Research, 45(14), 4183-4197.
- Maniquiz, M.C., Lee, S.Y., Kim, L.H., (2010), Multiple linear regression models of urban runoff pollutant load and event mean concentration considering rainfall variables, Journal of Environmental Sciences, 22(6), 946-952.