환경방재

월문천 인공습지의 강우특성에 따른 비점오염원 제거효율 평가

Assessment of Constructed Wetland of Removal Efficiency of Non-point Source Pollution by Rainfall Characteristics in Wolmun Stream

정우진* · 이일국** · 이시진*** · 장순웅****

Chung, Woojin*, Lee, Ilkook**, Lee, Sijin***, Chang, Soonwoong****

Abstract

The landuses of urban have various types such as commercial, residential official and industrial areas. The NPS(nonpoint source) pollutants are generally proceeded from pavement areas in urban by human activities. The Korea MOE(Ministry of Environment) is evolving the NPS control system. However, it is not easy to control the NPS and it has uncertain eliminated to watershed. In this study, it was investigated about inflow characteristics of BOD, COD, SS, T-N and T-P by total of 10 monitoring. The event mean concentration (EMC) was calculated for the non-point pollutants reduction rate of constructed wetland(CW). The reduction rates of SS, BOD, COD, T-N and T-P were 83.74%, 76.10%, 73.53%, 50.30% and 59.82%, respectively. It was used to consider the correlation analysis. The BOD and COD value were applied to determine the correlation with total rainfall. The highly correlation with BOD concentration were observed for total rainfall.

Key words : EMC(event mean concentration), Constructed wetland, Correlation analysis, Inflow characteristics, Nonpoint source

요 지

도시지역은 상업, 주거 및 산업분야 등 다양한 토지의 형태로 존재한다. 비점오염물질은 일반적으로 인간의 활동에 의해 포장지역이 많은 도시지역에서 많이 발생된다. 비점오염원을 제어하기 위해 환경부는 비점오염저감제도를 확립하였다. 그러나 비점오염원의 발생은 불확실하게 유역으로 배출되어져 비점오염원을 제어하기 쉽지 않다. 본 연구에서는 월문천에 설치되어진 비점오염저감시설을 총 10번 모니터링 하여 BOD, COD, SS, T-N과 T-P의 유입특성을 분석, 강우사상과 비점오염원의 상관성, 예측관계식 도출 및 유량가중 평균농도를 이용하여 인공습지의 제거효율을 산정하였다. SS, BOD, COD, T-N과 T-P의 EMC 제거효율은 SS 83.74%, BOD 76.10%, COD 73.53%, T-N 50.30%와 T-P 59.82%로 나타났다. 상관분석결과 총강우량과 BOD, COD가 상관관계를 나타냈으며 BOD가 전체 강우와 높은 상관관계를 나타냈다.

핵심용어 : 유량가중평균농도, 인공습지, 상관성분석, 유입특성, 비점오염원

1. 서 론

인간의 경제 활동수준이 높아질수록 다양한 비점오염물질이 수계로 유출되며 수질악화와 수생태계 파괴 등의 환경문제로 대두되고 있다(Son *et al.*, 2008). 4대강 비점오염원관리 종합대책에 따르면 4대강 수계의 비점오염원 기여율이 22~37%(BOD기준)를 차지하는 것으로 나타났고 도시지역에서 유출되는 비점오염원의 기여율은 전체 유출부하량의 52%

(BOD기준)를 차지하는 것으로 나타났으며(Cho *et al.*, 2009), 토지이용의 밀도가 높은 미국 유역 또한 수질오염의 50% 이상이 비점오염원으로 조사되는 실정이다(Novotony and Chesters, 1981). 추후 2020년 까지 최고 65%까지 그 비중이 증가 될 것으로 예측된다(Son *et al.*, 2008).

일반적으로 비점오염원은 강우, 유역특성 및 토지이용도에 따라 유출특성이 다양하게 발생하며, 토지이용도는 도시지역, 농업지역, 산림지역, 건설현장 및 골프장 등으로 분류된다. 이

*정회원. 경기대학교 환경에너지공학과 박사과정(E-mail: ddaydlek@naver.com)

Member. Ph.D Candidate, Environmental Energy Engineering, Kyonggi University

**주식회사 생, 전무 Executive Director, SENG Co., Ltd.

***한국환경공단, 이사장 President, Korea Environment Corporation

****교신저자. 정회원. 경기대학교 환경에너지공학과 교수(Tel: +82-31-249-9739, Fax: +82-31-254-4905, E-mail: swchang@kyonggi.ac.kr)

Corresponding Author. Member. Professor, Environmental Energy Engineering, Kyonggi University

Table 1. Land Use of Wabu-eup

동	임야	전	답	대지	목장	도로	기타	계
와부읍	34.940	3.070	3.747	1.911	0.766	0.670	4.733	49.837
계	90.11	6.15	7.52	3.84	1.54	1.34	9.50	100.00

중 도시지역은 인간 및 차량 등으로 인하여 입자성 물질과 유기물질, 중금속 및 기타 유해 화학물질 등이 발생한다(Park *et al.*, 2007). 도시 내의 토지이용에서 발생하는 비점오염원은 우수관을 통해 인근 수계로 배출되고 높은 포장율로 인해 강우초기에 고농도의 오염물질이 유출되는 초기강우 현상을 나타낸다(Kim *et al.*, 2004).

이러한 비점오염원을 저감하고자 시설을 크게 저류형, 침투형, 식생형, 장치형, 시설형으로 구분하며(Chung *et al.*, 2012), 최근 습지연못, 저류지, 인공습지와 같은 저류형 시설이 적용되고 있다(MDE, 2000; Elliott *et al.*, 2009). 저류형 시설은 비점오염원을 침전시키는 시설물로 우리나라의 경우 강우사상 시 유출고를 최소 5 mm 이상을 처리할 수 있도록 설계하며, 산정된 강우유출수의 양을 적정하게 처리하도록 저류지 체류시간은 10~12시간을 추천하고 있다(Kong *et al.*, 2004). 인공습지는 자연생태계의 일부분을 이용하여 오염물질을 처리하는 시설로 비용이 적게 드는 장점이 있으며 다양한 오염물질의 제거에 효과적이다. 이와 같은 특성에 따라 하수처리장 방류수 재처리 및 비점오염원을 처리하기 위한 방안으로 이용된다(Choi *et al.*, 2011).

이와 같은 시설 도입에도 불구하고 현재 도시지역 비점오염원 관리를 위한 BMPs(Best Management Practices)설계에 거의 이용되지 못하고 있다. 그 이유는 비점오염원의 다양한 불확실성에 근거하여 초기강우 기준을 산정이 모호하기 때문이다. 이러한 초기강우 기준의 선정의 어려움은 모니터링을 통한 기초자료 확보 부족이 가장 크며, 일반적으로 비점오염관리를 위해서는 비점오염물질의 유출특성, EMC(Event Mean Concentration)를 이용한 유출부하량 산정, 저감대상오염물질을 저감하기 위한 제거메커니즘의 선정과 이러한 기작을 가진 BMP의 선정과정이 요구된다(Son *et al.*, 2008).

이에 본 연구에서는 남양주시 와부읍 월문천에 위치한 비점오염원저감시설(저류지와 인공습지)을 모니터링하여 비점오염물질 유입특성과, EMC 산정, 강우사상과 오염물간 상관성 규명과 예측관계식을 산정하고 비점오염저감시설의 제거효율을 평가하여 남양주시 와부읍의 향후 비점오염원관리에 요구되는 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 모니터링 지점 현황 및 방법

도시지역의 유출특성 파악, 저류지와 인공습지를 이용한 비점오염원 제거의 효율을 파악하기 위하여 경기도 남양주시

Fig. 1. Location of Wolmun Stream constructed wetlands.

와부읍 월문천에 위치하고 있는 비점오염저감시설 모니터링을 수행하였다. 인공습지는 시설용량 8,500 m³/일이며 부지면적은 9,000 m²으로 조사되었다.

모니터링 대상지역인 남양주시 와부읍의 용도현황은 도시지역이 90.2%, 농림지역 6.1% 및 기타 3.7%로 조사되었다. 지목별 토지이용도는 Table 1과 같이 나타났으며 총 수질처리용량은 8,000 m³으로 산정되었다.

총 모니터링 횟수는 10회의 모니터링을 실시하였으며, 유량측정은 지하저류조 수위계(유입유량)를 이용하여 산정(68 m×43.8 m×저류조 수위), 펌프용량(유출유량)으로 산정(10.2 m³/hr×2)하였다. 채수시기는 0, 15, 30, 45, 60 min 이후 1시간 간격으로 실시하였다. 강우 시 기초수질오염분석항목인 BOD, COD, SS, T-N과 T-P 항목을 측정하였고 모두 Standard Methodes(APHA)와 수질오염공정시험방법에 준하여 수행하였다. 이와 더불어 기상청 자료 및 현장측정을 실시하여 Table 2와 같이 강우 전 건기일수(Antecedent Dry Days, ADDs), 총강우량(Total Rainfall)와 강우지속시간(Rainfall Duration)을 산정하였다.

2.2 강우유출수의 EMC산정 및 통계분석

비점오염물질의 유출은 강우특성에 영향을 받아 평균농도 산정이 매우 어려워 유량가중 평균농도, 즉 EMC를 산정하여 표현한다. EMC산정은 아래와 같은 식을 이용하여 산정한다.

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

식 (1)은 EMC산정 식이며 t 는 강우지속시간 $C(t)$ 는 t 시간

Table 2. Summary of Monitoring Results by Various Events (2012)

Event	Date	Total rainfall (mm)	ADDs (days)	Rainfall duration (hr)	Event	Date	Total rainfall (mm)	ADDs (days)	Rainfall duration (hr)
1	06.30	113.0	2	16	6	08.29	11.0	1	8
2	07.05	102.5	2	17	7	09.13	13.0	1	6
3	07.11	21.0	2	4	8	10.17	4.5	1	3
4	07.18	60.5	1	7	9	10.22	46.5	1	9
5	08.14	34.0	1	3	10	10.27	52.0	1	15

Table 3. Based on Statistical Analysis of SS, BOD, COD, T-N and T-P

Parameters	SS	BOD	COD	T-N	T-P
N of cases	10	10	10	10	10
Min(mg/L)	43.18	27.47	34.80	3.73	3.66
Max(mg/L)	269.73	92.85	109.35	9.24	6.35
Mean(mg/L)	131.93	57.23	68.21	7.31	4.92
95% CI upper(mg/L)	189.15	75.06	90.08	8.41	5.67
95% CI Lower(mg/L)	74.71	39.39	46.34	6.22	4.17
Sstandard Dev	79.99	24.93	30.57	1.53	1.05

에서의 오염물질농도, $q_{run}(t)$ 는 강우 유출율을 나타낸다.

비점오염원에서 산정된 EMC의 일반화를 위해서 통계분석이 필요하며, 향후 비점오염원의 효율적 모니터링을 실시하기 위해 오염물질간 상관성 분석이 요구된다. 따라서 이러한 통계분석을 위해 Minitab11을 이용하여 기초통계분석(평균값, 95% 신뢰구간, 최소값과 최대값)과 오염물질간의 상관성 분석을 수행하였으며 상관 분석을 위해 유의수준(P value, confidence values)과 상관계수(R, Correlation coefficients)의 분석을 수행하였다. 또한 상관성이 높은 강우사상과 오염물질과의 예측관계식을 분석하여 오염물질의 EMC농도를 예측하는 작업을 수행하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 모니터링 결과

Table 2는 모니터링을 통해서 관찰되어진 강우사상별 현황을 보여주며 2012년 기간 동안 총 10회의 강우사상에 대하여 수행하였다. 강우 전 건기일수의 범위는 1~2일, 총강우량은 4.5~113 mm, 강우지속시간이 3~17 hr로 나타났다. 강우 유출 특성을 파악하기 위해 오염저감시설로 들어가는 유입수 10회를 실시하였으며 48 hr간 저류 후 저감 효율을 산정하기 위해서 인공습지로 방출 후 강으로 방류되는 유출수를 10회 모니터링을 실시하였다. 총 모니터링이 수행된 전체 10회의 강우사상 중 10 mm이상의 강우량이 9회 수행되었으며 4.5 mm의 강우량에서 1회 실시하였다.

3.2 비점오염물질 통계분석

비점오염원은 일반화된 평균농도 산정이 매우 중요하다. EMC는 향후 비점오염저감시설 설계부하량 산정시 중요하게 고려된다. 총 10회의 event는 BOD 평균 유입 EMC 농도 57.23 mg/L, 유출 14.82 mg/L, COD 평균 유입 농도 EMC 68.21 mg/L, 유출 19.08 mg/L, T-N 평균 유입 EMC 농도 7.31 mg/L, 유출 3.69 mg/L, T-P평균 유입 EMC 농도 4.92 mg/L, 유출 2.01 mg/L, SS평균 유입 EMC 농도 131.93 mg/L, 유출 23.38 mg/L로 나타났다. 국내에서 수행되었던 도시지역 모니터링 EMC 유입 농도 결과 TSS 81.1 mg/L, BOD 18.0 mg/L, COD 30.1 mg/L, T-N 5.01 mg/L, T-P 2.31 mg/L로 값을 비교해본 결과 다소 높게 나타났다(Son *et al.*, 2008). 또한 95% 신뢰구간을 분석한 결과 BOD EMC 39.39~75.06 mg/L, COD EMC 46.34~90.08 mg/L T-N EMC 6.22~8.41 mg/L T-P EMC 4.17~5.67 mg/L와 SS EMC 74.71~189.15 mg/L로 나타났다(Table 4). Kim 등 (2006)에서 보고된 95% 신뢰구간과 비교한 결과 또한 다소 높게 나타났다.

Table 4. Correlation of Rainfall Variables and Other Contaminants

		Total rainfall	Rainfall duration
BOD	P value	0.001	0.004
BOD	R value	0.863	0.822
COD	P value	0.004	0.007
	R value	0.817	0.782

그 이유는 우수관과 오수관이 합류 되어있는 지점의 특성으로 사료되며 특히 강우 시 오수 유기물의 유입이 다소 높게 관찰되었다(Kim *et al.*, 2006).

3.3 강우사상과 오염물질과의 상관관계

Total Rainfall, ADDs와 Rainfall duration 등의 강우특성은 비점오염발생과 긴밀한 관계를 나타낸다(Lee *et al.*, 2012). 강우사상과 비점오염물질간의 상관분석은 향후 경제적인 모니터링 실시와 강우사상별 부하량 등을 산정에 매우 중요한 것으로 사료된다. 강우사상과 오염물질간 EMC 상관분석을 위해 통계프로그램을 활용하였으며 Table 3과 같은 결과를 나타냈다. Total Rainfall과 BOD는 P value(유의 수준) 0.001로 0.05이하로 유의수준을 만족하며 R value(상관계수) 0.863으로 Total Rainfall과 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다. Rainfall Duration의 경우 P value 0.004로 유의수준을 만족하며 R value 0.822로 Total Rainfall보다는 조금 낮지만 상관성이 높은 것으로 나타났다. COD는 P value 0.004로 유의수준을 만족하였으며 0.817로 Total Rainfall과 상관성이 높은 것으로 나타났으며 Rainfall Duration 또한 P value 0.007와 R value 0.782로 상관성이 높게 나타났다. Lee 등 2012에 따르면 과수원지역과 교통지역 등 다양한 토지피복도에 따른 강우

사상과 오염부하량과의 상관성을 살펴본 결과 Total Rainfall의 상관계수가 가장 높게 나타났으며 Rainfall Duration 역시 높은 상관성을 나타냈다.

3.4 강우사상과 기타 오염물질과의 예측관계식

상관분석 결과 Total Rainfall과 BOD 및 COD의 상관성이 높은 것으로 분석되어 본 연구에서는 Total Rainfall과 BOD 및 COD 간의 예측관계식을 나타내고자 한다. Total Rainfall과 BOD 및 COD 항목에 대하여 회귀분석을 사용하여 상관관계를 Fig. 2에 나타냈다. 이를 통해 Total Rainfall과 기타 오염물질간의 관계식을 활용하여 손쉽게 측정되는 Total Rainfall을 통해 유기물(BOD, COD)의 EMC를 예측 할 수 있는 작업이 쉽게 진행될 것으로 판단되어 진다. 비록 10회의 적은 횟수 모니터링을 진행하여 값의 신뢰도가 낮게 나타났지만 추후 장기적인 모니터링을 실시한다면 신뢰도가 높고 좀 더 정확한 예측식을 산정 할 수 있을 것으로 사료된다.

3.5 저류지, 인공습지의 효율 분석

Fig. 2는 저류지와 인공습지의 SS, BOD, COD, T-N 및 T-P의 EMC 제거효율을 나타내며 Total Rainfall과 함께 나타내어 제거효율과 비교하였다. BOD 및 COD의 EMC 제거효율

Fig. 2. Linear Equation for Total Rainfall and BOD, COD

Fig. 3. Removal efficiency of BOD, COD, T-N and T-P.

은 강우량이 많아질 때 효율이 비교적 낮게 나타났으며 강우량이 적어질수록 시설의 효율이 높게 나타났다. T-N과 T-P의 EMC 제거효율은 BOD와 COD 같은 뚜렷한 경향이 관찰되지 않았다.

SS, BOD, COD, T-N과 T-P의 EMC 제거효율은 BOD 76.10%, COD 73.53%, T-N 50.30%, T-P 59.82%와 SS 83.74%로 나타났다. Seo 등 2011에 따르면 죽산천의 인공습지의 BOD 처리효율은 44%, COD 처리효율은 51%, SS 처리효율은 66%, 미국과 일본에 조성된 인공습지의 T-P 제거효율은 6.2~47.3%로 보고되었다(Seo *et al.*, 2011; Kadlec and Knight, 1996; Mitsch *et al.*, 1998; Yang, 2012; Choi *et al.*, 2012). 본 연구의 비점오염저감시설은 기존 인공습지의 제거효율을 증가시키기 위해 인공습지 전단에 8,000 m³의 저류지를 설치하였으며 48 hr의 저류를 통하여 상등수를 인공습지시설로 유입시켜 인공습지 시설의 효율을 증가시켰다. 이를 통해 기존에 보고되어진 효율 보다 비교적 높은 저감효율을 나타낸 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 도시지역 비점오염원 유입이 높은 남양주시와 부속 월문천에 위치한 비점오염저감시설의 유입특성을 파악, EMC산정, 강우사상과 오염물간 상관성 규명 및 예측관계식을 산정하였다. 또한 비점오염저감시설인 저류지와 인공습지를 이용하여 비점오염원제거 효율산정을 수행하였다. 본 연구결과는 향후 효율적인 비점오염모니터링 수행과 비점오염원관리에 요구되는 기초자료로 활용할 수 있을 것이다. 본 연구를 통해 분석된 결과는 다음과 같다.

총 10회의 EMC 산정결과, BOD 평균 유입 EMC 농도 57.23 mg/L, 유출 EMC 농도 14.82 mg/L, COD 평균 유입 농도 EMC 68.21 mg/L, 유출 EMC 농도 19.08 mg/L, T-N 평균 유입 EMC 농도 7.31 mg/L, 유출 EMC 농도 3.69 mg/L, T-P 평균 유입 EMC 농도 4.92 mg/L, 유출 EMC 농도 2.01 mg/L, SS 평균 유입 EMC 농도 131.93 mg/L, SS 평균 유출 EMC 농도 23.38 mg/L로 나타났다. 95% 신뢰구간을 분석한 결과 BOD EMC 39.39~75.06 mg/L, COD EMC 46.34~90.08 mg/L T-N EMC 6.22~8.41 mg/L T-P EMC 4.17~5.67 mg/L와 SS EMC 74.71~189.15 mg/L로 나타났다. 기존 보고된 결론보다 EMC 산정결과가 더 높게 나타났으며 이는 합류관을 통해 우수와 오수가 함께 유입됨에 따라 나타나는 것으로 사료된다.

강우사상과 오염물질과의 상관성을 분석한 결과 Total Rainfall과 BOD는 P value(유의 수준) 0.001과 R value(상관계수) 0.863으로 나타났으며 Rainfall Duration의 경우 P value 0.004와 R value 0.822로 나타났다. COD는 P value 0.004, R value 0.817로 나타났으며 Rainfall Duration 또한 P value 0.007와 R value 0.782로 상관성이 높게 나타났다. 따라

서 향후 Total Rainfall을 통하여 BOD와 COD의 EMC 값을 산정 가능할 것으로 판단된다.

Total Rainfall과 BOD 및 COD간의 예측관계식을 산정한 결과, BOD EMC(mg/L) = 31.00 + 0.5733 Total Rainfall, COD EMC(mg/L) = 37.75 + 0.6657 Total Rainfall로 나타났다.

저류지와 인공습지를 통해 유입되어진 비점오염원들을 제거한 결과 효율은 BOD 76.10%, COD 73.53%, T-N 50.30%, T-P 59.82%와 SS 83.74%로 나타났다. 본 연구의 결과는 기존에 보고되어진 결과보다 비교적 높게 나타났으며 이는 인공습지의 효율을 높이기 위해 저류지를 설치하여 48 hr 저류를 통해 상등수를 이용한 결과로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 “글로벌 환경기술개발사업”으로 지원 받은 과제임(과제번호: GT-11-B-01-013-0).

References

- Cho, A.N., Jung, D.W., Jung, Y.J., Choi, S.I., and Ahn, T.S. (2009) Removal of Nutrients from Stream water Polluted with Non-point source Pollution by Cultivation of Phytoplankton, *Korean J. Limnol.*, Vol. 42, No. 2, pp. 153-160.
- Choi, I.W., Moon, S.D., Seo, D.C., Kang, S.W., Lim, B.J., Park, J.H., Kim, K.S., Lee, J.B., Heo, J.S., and Cho, J.S. (2011) Evaluation of treatment efficiencies of pollutants in Bongsan constructed wetland for treatment non-point source pollution, *Korea J. soil Sci. Fert.*, Vol. 44, No. 6, pp. 1089-1094.
- Choi, I.W., Seo, D.C., Kang, S.W., Lee, S.G., Seo, Y.J., Lim, B.J., Park, J.H., Kim, K.S., Heo, J.S., and Cho, J.S. (2012) Evaluation of Treatment Efficiencies of Pollutants in Juksancheon Constructed Wetlands for Treating Non-point Source Pollution, *Korea J. soil Sci. Fert.*, Vol. 45, No. 4, pp. 642-648.
- Chung, W.J. and Lee, S.J. (2012) The sorption Kinetic studies and Development of Mixed Culture for Removal of Nonpoint Pollution Source, *Korean Geo-environmental society*, Vol. 13, No. 4, pp. 37-44.
- Elliott, A.H., Trowsdale, S.A., and Wadhwa, S. (2009) Effect of aggregation of on-site storm-water control devices in an urban catchment model, *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, Vol. 14, pp. 945-983.
- Kadlec, R.H. and Knight, R.L. (1996) *Treatment Wetlands*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Kong, M.K., Bae, K.H., and Kang, W.Y. (2004) The Status of Apparatus Type facilities for Removing Pollutants from storm-water Runoff, *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater*, Vol. 18, No. 6, pp. 707-711.
- Kim, L.H. and Kang, J.H. (2004) Determination of Event Mean concentrations and Pollutant Loadings in Highwat Storm Run-off, *Journal of Korean Society on Water Quality*, Vol. 20, No. 5, pp. 631-640.

- Kim, L.H., Ko, S.O., Lee, B.S., and Kim, S.G. (2006) Estimation of pollutant EMCs and Loadings in Highway Runoff, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 26, No. 2, pp. 225-231.
- Lee, J.W., Lee, Y.J., Kwon, H.G., Yoon, J.S., Lee, C.S., and Cheon, S.U. (2012) Estimation of Runoff Characteristics of Non-point Pollution Source by Land Cover Characteristics, *Journal of the Environmental Sciences*, Vol. 21, No. 8, pp. 977-988.
- Maryland Department of the Environment (2000) Maryland stormwater design manual, *Center for watershed protection and the Maryland Dept of the Environment*, Baltimore, Md, Vols 1 and 2.
- Mitsch, W.J., Wu, J.X., Narin, R.W., Weihe, P.E., Wang, N., Deal, R., and Boucher, C.E. (1998) Creating and restoring wetlands : A whole- ecosystem experiment in self-design, *Bio-science*, Vol. 48, No. 2, pp. 1019-1030.
- Novotony, V. and Chesters, G. (1981) Handbook of nonpoint pollution source & management, Van Nostrand Reinhold.
- Park, S.W., Oh, J.I., Choi, Y.H., Kim, J.H., and Ha, J.W. (2007) Characteristics of Non-point Pollutants from the Road Runoff (2) : Heavy Metals and Pathogens, *Journal of the Korean Society of water and Wastewater*, Vol. 21, No. 2, pp. 235-242.
- Seo, D.C., Kang, S.W., Lim, B.J., Park, J.H., Kim, K.S., Lee, J.B., Kim, H., Heo, J.S., Chang, N.I., Seong, H.H., and Cho, J.S. (2011) Evaluation of Aquatic Ecological Characteristics in sin-pyongcheon constructed wetlands for treating non-point source pollution, *Korea J. soil Sci. Fert*, Vol. 44, pp. 400-407.
- Son, H.G., Lee, S.Y., Lee, E.J., and Kim L.H. (2008) Runoff Characteristics and Relationship between Non-point Source Pollutants from Road, *Korea Society of Hazard Mitigation*, Vol. 8, No. 5, pp. 59-64.
- Yang, H.M. (2012) Phosphorous Removal in a Free Water Surface Wetland Constructed on the Gwangju Stream Floodplain, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, Vol. 40, No. 1, pp. 100-109.

Received	January 7, 2014
Revised	January 8, 2014
Accepted	January 29, 2014