

강우시 인공 초지의 비점오염물질 유출특성 및 상관성

이 정 용* / Marla C. Maniquiz** / 최 지 연*** / 이 재 운**** / 김 이 형*****+

Washoff Characteristics of NPS Pollutants from Artificial Grassland

Lee, Jeongyoung* / Marla C. Maniquiz** / Choi, Jiyeon*** /

Lee, Jaeun**** / Kim, Leehyung*****+

요약 : 현재까지 국내의 수질관리 정책은 점오염원 관리를 우선시 하고 있다. 그러나 계속되는 점오염원의 관리 에도 불구하고 호소수의 수질은 악화되고 있다. 비점오염원은 강우 시 발생하는 오염원으로 토지이용에 따라 발 생하는 오염물질의 종류와 양이 달라 불확실성이 큰 오염원이므로 점오염원과 함께 비점오염원의 관리가 필요한 실정이다. 다양한 토지이용 중에서 인공초지(공원·묘지) 지점이 차지하는 비율이 낮기 때문에 원단위를 산정하는 데 필요한 기초 데이터에 대한 연구가 전무한 상태이다. 따라서 본 연구는 인공초지(공원·묘지) 지점으로부터 강 우 시 유출수와 함께 발생하는 비점오염물질의 유출특성 및 상관성을 파악하였다. 그 결과 강우 초기에 오염물질 의 농도는 비교적 높게 유출되는 현상을 나타냈으며, 강우가 지속될수록 오염물질의 농도는 감소하는 것으로 나 타났다. 그러나 침투유량이 발생하면서 유출농도는 증가하였다. 또한 통계분석을 실시한 결과 오염물질별 상관성 이 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 향후 부하량과 원단위 산정에 필요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 비점오염원, 인공초지, 강우유출수, EMC(Event Mean Concentration)

Abstract : Recently the water quality management policy has been changed from managing the point source to controlling the nonpoint sources (NPSs) because of TMDL program. Most NPSs are accumulated on the surface during dry periods. These accumulated pollutants are washed-off during a storm event and highly impairing the water quality of the receiving water bodies. Usually NPS has high uncertainty and is hard to control because of the variability of the rainfall and watershed characteristics. Also, NPS is derived from various land uses. The Ministry of Environment (MOE) is studying and monitoring the pollutant loads from each land use since 2007 to determine the unit pollutant loads. This research was a part of long-term monitoring program conducted to characterize the washoff and provide the mean EMC of artificial grassland. The average EMCs result of BOD, COD, DOC, SS, TN, NH4-N, NO3-N, TP, and PO4-P of the artificial grassland were determined to 8.2, 17.5, 11.3, 110.1, 3.07, 0.20, 0.75, 0.86 and 0.08 mg/L, respectively. The results of statistical analysis conducted showed a low correlation to the contaminants.

Keywords : Nonpoint sources, Artificial Grassland, EMC(Event mean concentration)

1. 서 론

환경부에서는 최근에 하천과 호소의 수질개선을 위해 많은 노력을 기울이고 있으나, 하천과 호

소의 수질은 ‘ 좋음 ’ 수준에 미달하고 있는 곳이 50% 이상으로 나타나고 있다. 또한 지속적인 인 간의 활동으로 인한 유역의 개발은 자연적 물순 환 시스템의 왜곡과 함께 다량의 비점오염물질을

+ Corresponding author : leehyung@kongju.ac.kr
* 정희원 · 공주대학교 건설환경공학부 · 석사과정
** 정희원 · 공주대학교 건설환경공학부 · 박사과정
*** 정희원 · 공주대학교 건설환경공학부 · 석사과정
**** 비희원 · 금강물환경연구소
***** 정희원 · 교신저자 · 공주대학교 건설환경공학부 교수

하천으로 유출시키고 있다. 따라서 점오염원에 대한 지속적인 관리에도 불구하고 하천수질 개선이 되지 않은 이유는 다양한 토지이용에서 강우시 유출되는 비점오염원이 큰 원인으로 지목되고 있다. 2004년도 기준으로 비점오염원으로부터의 하천 수질오염 기여율은 4대강에서 40%를 넘어서고 있으며, 2015년까지 대부분의 하천에서 65%이상으로 기여율이 증가할 것으로 환경부는 예상하고 있다(환경부, 2004).

하천이 속해있는 유역은 다양한 토지이용으로 구성되어 있으며, 이러한 다양한 토지이용은 투수율의 다양성을 초래하여 강우시 유출특성이 각 토지이용별 상이하게 나타나고 있다(신민환 등, 2007; 원철희 등, 2009, 이치타오 등, 2008). 또한 다양한 토지이용은 인간의 다양한 활동영역이기에 건기시 축적되는 오염물질의 종류도 다양하게 나타나고 있다. 이러한 유역 및 강우특성에 의하여 비점오염원은 큰 불확실성을 가지고 있다. 특히 발생하는 오염물질을 살펴보면, 포장지역의 경우 주로 자동차로 인한 중금속, 입자상 물질 및 탄화수소 등의 유출이 높은 반면, 임야지역은 자연적 유기물질의 유출이 높게 나타나고 있으며, 농업지역의 경우 인산 및 질산비료의 영향으로 질소와 인의 유출이 높은 특성을 가지고 있다. 또한 공원, 초지 등의 경우 농약, 비료 등의 살포로 인하여 중금속 및 질소, 인 등의 오염물질의 유출이 높게 나타나고 있는 것으로 나타난다. 이러한 토지이용별 다양성에 의하여 오염물질의 유출 정량화는 매우 어렵고 관리 또한 쉽지 않은 것이 비점오염원의 특성이다(김이형과 강주현, 2004; 김이형과 이선하, 2005; 주진호 등, 2007; 환경부, 2006a, 2006b).

이러한 유역의 고도화에 의한 다양한 오염물질의 유출은 점오염원 관리에 의한 수질정책이 하천 수질개선에 크게 기여하지 못하도록 하고 있기에 환경부는 수질오염총량제를 도입하여 유역의 고도화로 인한 오염물질 유출을 저감하고자 다양한 토지이용에 대한 관리 프로그램을 도입하고 있다. 그러나 다양한 토지이용에 대한 기초자료의 부족

은 원단위의 부재로 나타나 관리프로그램의 적용에 큰 애로점으로 분석되고 있다(신은성 등, 2001; 이은주 등, 2006; 최지연 등, 2009). 따라서 환경부는 2007년 4대강 유역에서의 다양한 토지이용을 선정하여 장기모니터링을 수행하여 토지이용별 원단위 산정을 수행하고 있다(환경부, 2008). 본 연구는 다양한 토지이용 중에서 초지로부터 유출되는 오염물질을 정량화하기 위하여 수행되었다. 초지는 산림과 함께 자연 상태 하천의 배경농도를 형성하는 근원이며, 하천의 자정작용의 주요 메카니즘을 유지하게 하는 기본적인 생태적 농도라고 할 수 있다. 본 연구는 이러한 초지지역 중에서도 인공초지(공원묘지) 지점으로부터 강우시 발생하는 비점오염물질의 유출특성을 파악 분석하며, 수질분석 결과를 토대로 EMCs(Event Mean Concentrations) 및 각각의 오염물질별 상관성을 파악하고자 하며, 향후 원단위와 부하량 산정에 필요한 기초자료를 제공하고 자 한다.

2. 연구방법

2.1 모니터링 및 분석방법

모니터링 대상지점은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 대전광역시 유성구 온천 1동에 위치하고 있으며, Table 1에 모니터링 지점의 특성을 정리하여 나타내었다. 모니터링 지점은 인공초지(공원묘지)로써 일반 사유지와 다르게 국가에서 지속적인 관리가 이루어지는 지역이다. 모니터링 지점 선정시 유역의 타 토지이용으로부터의 영향을 최소화하기 위하여 강우시 산림으로부터 발생하는 강우유출수가 유입되지 않는 지점을 선정하였다. 유역면적은 3,764 m², 유역경사는 0.3°의 분포로 이루어져 있으며, 표고는 84~117m인 것으로 조사되었다. 본 모니터링은 2009년 4월부터 10월까지 수행되었으며, 현재에도 진행 중에 있다. 유량측정은 모니터링의 불확실성을 줄이기 위해 자동 유량계와 강우계를 설치하여 1분 단위로 측정하였으며, 수질시료의 변질을 방지하기 위해 냉장 기능이 있는

Table 1. Characteristics sites

| Location | Landuse | Area(m ²) | Slop | E.L. (m) |
|--------------|---------|-----------------------|------|----------|
| Daejeon City | grass | 3,764 | 0.3° | 84 ~ 117 |

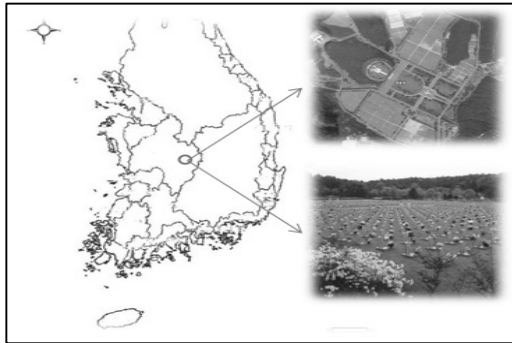


Fig. 1. Monitoring location

자동채수기를 이용하여 모니터링을 실시하였다. 시료 채취는 강우 시작 후 유출이 발생함과 동시에 첫 번째 수질시료를 채취하였다. 이후, 15분 간격으로 2시간 동안 수질시료가 채취되었으며, 1시간 간격으로 12시간, 4시간 간격으로 강우 유출이 끝날 때까지 모니터링을 실시하였다. 채취된 수질시료는 BOD₅, COD_{Mn}, DOC, SS, TN, NH₄-N, NO₃-N TP 및 PO₄-P 총 9가지 항목을 선정하여 분석하였으며, 강우 전 건기일수(Antecedent Dry Day, ADD), 총 강우량, 강우 지속시간, 평균 강우 강도 등을 조사하였다(환경부, 2009).

Table 2. Event Table

| Site | Site | ADD (day) | Total Rainfall (mm) | Runoff Duration (hr) | Avg. Rainfall Intensity (mm/hr) |
|-----------|------------|-----------|---------------------|----------------------|---------------------------------|
| Grassland | 2009-04-24 | 3 | 6.3 | 4 | 1.58 |
| | 2009-05-02 | 8 | 11.5 | 3 | 3.83 |
| | 2009-05-11 | 8 | 13.8 | 4 | 3.45 |
| | 2009-05-21 | 4 | 40.0 | 13 | 3.08 |
| | 2009-06-20 | 10 | 19.0 | 5 | 4.10 |
| | 2009-07-21 | 2 | 50.3 | 6 | 8.38 |
| | 2009-08-11 | 10 | 14.5 | 4 | 3.63 |
| | 2009-08-20 | 8 | 41.0 | 5 | 8.20 |
| | 2009-09-27 | 6 | 37.0 | 19 | 1.95 |
| | 2009-10-17 | 3 | 14.4 | 2 | 7.20 |

2.2 비점오염물질 EMC 산정

강우시 유출되는 비점오염물질의 농도산정은 강우 및 유출의 불확실성과 초기강우와 같은 유출 특성으로 인해 많은 어려움이 존재한다(Irish et al., 1998). 따라서 적정 부하량 산정을 위해서는 유출유량을 고려한 유량가중평균농도(EMC)를 산정해야 하며, 본 연구에서는 식 (1)을 이용하여 오염물질별 EMC를 산정하였다. 여기서, t는 유출 시점으로부터의 경과시간, Q_t는 시간 t에서의 유출 유량(m³/s), C_t는 시간 t에서의 오염물질 농도(mg/L)를 의미한다. 또한 산정된 EMC에 대한 통계적 대표성을 찾기 위하여 SYSTAT 9.0을 이용하여 최소값, 최대값, 중앙값, 평균값 및 95% 신뢰구간(Confidence interval) 등을 분석하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 모니터링 결과 및 유출특성

모니터링은 2009년 4월부터 10월까지 총 10회의 모니터링이 수행되었으며, Table 2는 강우사

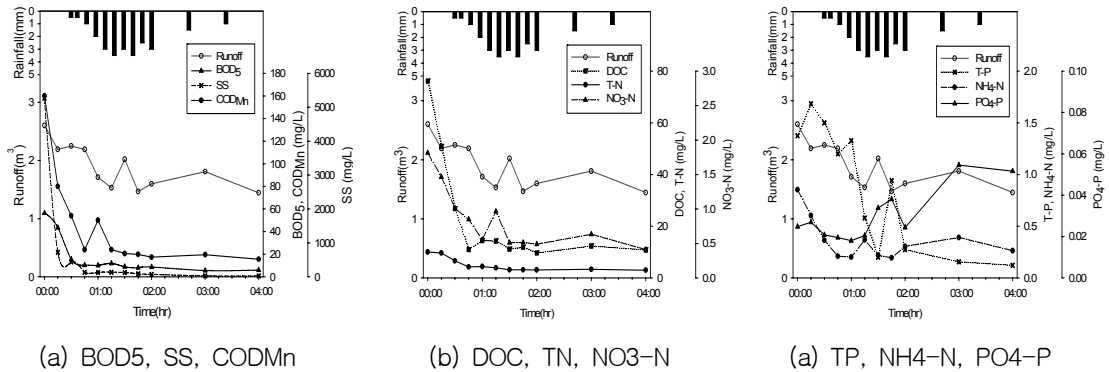


Fig. 2. Polluto- and Hydro-graphs of Artificial Grassland (09.05.12)

상에 대한 모니터링 결과를 나타내었다. 강우 전 건기일수의 범위는 2~10일의 분포를 보이고 있으며, 총 강우량은 6.3~50.3 mm의 분포를 나타내고 있다. 또한 강우지속시간은 2~19 시간으로 나타났으며, 평균 강우강도는 1.58~8.38 mm/hr로 다양한 범위를 나타내는 것으로 분석되었다.

Fig. 2는 2009년 5월 12일의 모니터링 결과를 이용하여 나타난 수리수문 및 농도곡선으로 입자상물질, 유기물질 및 무기물질 항목에 대한 농도 변화 및 유출경향에 대하여 나타난 것이다. 수리수문 농도곡선의 분석결과, 대부분의 오염물질은

강우초기에 고농도의 오염물질이 유출된 후 강우가 지속 될수록 감소하는 경향을 나타내었으며, 침투유량이 발생함과 동시에 대부분의 오염물질의 농도가 증가하는 것으로 나타났다. 다른 강우사상을 비교 검토한 결과 모든 강우사상에서 강우초기, 즉 1시간 이내에 오염물질이 높게 유출되는 경향을 보이는 것으로 조사되었으며, 그 이유는 인공초지의 경우 대부분 배수관로가 존재하여 침투된 침투수가 곧바로 배수관로를 통해 배수되기에 배수관거에 존재하는 입자상 물질 등이 유출되어 발생하는 것으로 판단된다.

Table 3. EMCs from Artificial Grassland

| Event Date | EMC(mg/L) | | | | | | | | |
|------------|-----------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| | BOD | CODMn | DOC | SS | TN | NH4-N | NO3-N | TP | PO4-P |
| 2009-04-24 | 6.2 | 11.6 | 9.4 | 36.4 | 1.96 | 0.07 | 0.86 | 0.96 | 0.09 |
| 2009-05-02 | 6.2 | 15.5 | 8.5 | 146.1 | 2.60 | 0.15 | 0.69 | 1.40 | 0.07 |
| 2009-05-11 | 13.1 | 34.0 | 18.4 | 354.3 | 4.38 | 0.35 | 0.74 | 0.64 | 0.03 |
| 2009-05-21 | 6.7 | 16.3 | 10.4 | 47.9 | 5.18 | 0.18 | 1.45 | 0.14 | 0.01 |
| 2009-06-20 | 9.2 | 17.4 | 12.7 | 31.7 | 2.82 | 0.24 | 0.77 | 0.83 | 0.05 |
| 2009-07-21 | 5.8 | 11.0 | 6.9 | 101.4 | 1.69 | 0.10 | 0.71 | 1.19 | 0.10 |
| 2009-08-11 | 10.4 | 21.3 | 14.8 | 57.1 | 2.30 | 0.24 | 0.52 | 1.38 | 0.04 |
| 2009-08-20 | 7.1 | 13.9 | 8.6 | 77.8 | 1.38 | 0.15 | 0.23 | 0.40 | 0.03 |
| 2009-09-27 | 5.5 | 11.1 | 8.6 | 34.7 | 2.30 | 0.11 | 0.37 | 0.48 | 0.12 |
| 2009-10-17 | 11.9 | 22.7 | 14.4 | 213.9 | 6.11 | 0.40 | 1.18 | 1.16 | 0.28 |
| Average | 8.2 | 17.5 | 11.3 | 110.1 | 3.07 | 0.20 | 0.75 | 0.86 | 0.08 |

Table 4. EMC statistics from Artificial Grassland

| Parameter (mg/L, NTU) | No. of cases | Minimum | Maximum | Median | 95% CI Upper | 95% CI Lower | S.D. |
|-----------------------|--------------|---------|---------|--------|--------------|--------------|--------|
| BOD ₅ | 10 | 5.5 | 13.1 | 6.9 | 10.21 | 6.25 | 2.77 |
| CODMn | 10 | 11.0 | 34.0 | 15.9 | 22.54 | 12.42 | 7.07 |
| DOC | 10 | 6.9 | 18.4 | 9.9 | 13.90 | 8.68 | 3.65 |
| SS | 10 | 31.7 | 354.3 | 67.4 | 184.33 | 35.95 | 103.71 |
| TN | 10 | 1.4 | 6.1 | 2.4 | 4.21 | 1.93 | 1.59 |
| NH ₄ -N | 10 | 0.1 | 0.4 | 0.2 | 0.28 | 0.12 | 0.11 |
| NO ₃ -N | 10 | 0.2 | 1.4 | 0.7 | 1.01 | 0.49 | 0.36 |
| TP | 10 | 0.1 | 1.4 | 0.9 | 1.17 | 0.55 | 0.43 |
| PO ₄ -P | 10 | 0.0 | 0.3 | 0.1 | 0.14 | 0.03 | 0.08 |

Table 5. Matrix of correlationship and pearson coefficients

| | TSS | BOD | COD | DOC | TN | NH ₄ _N | NO ₃ _N | TP | PO ₄ _P | TRAIN | TRD | AVRAINTEN | ADD |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|-------|-------|-----------|-----|
| TSS | 1 | 1 | 0.236 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| BOD | 0.71 | 1 | 0.007 | 0.001 | 1 | 0.003 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| COD | 0.83 | 0.93 | 1 | 0.003 | 1 | 0.105 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| DOC | 0.64 | 0.96 | 0.94 | 1 | 1 | 0.088 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| TN | 0.51 | 0.59 | 0.59 | 0.57 | 1 | 1 | 0.489 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| NH ₄ _N | 0.69 | 0.95 | 0.86 | 0.87 | 0.75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| NO ₃ _N | 0.14 | 0.19 | 0.20 | 0.21 | 0.79 | 0.32 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| TP | 0.13 | 0.16 | 0.04 | 0.06 | -0.17 | 0.11 | -0.10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| PO ₄ _P | 0.22 | 0.22 | 0.010 | 0.06 | 0.42 | 0.38 | 0.24 | 0.38 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| TRAIN | -0.31 | -0.50 | -0.46 | -0.55 | -0.22 | -0.39 | -0.14 | -0.49 | -0.19 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| TRD | -0.42 | -0.49 | -0.39 | -0.35 | -0.04 | -0.39 | -0.05 | -0.63 | -0.15 | 0.56 | 1 | 1 | 1 |
| AVRAINTEN | 0.18 | 0.08 | -0.05 | -0.17 | -0.04 | 0.18 | -0.13 | 0.16 | 0.29 | 0.47 | -0.38 | 1 | 1 |
| ADD | 0.01 | 0.32 | 0.35 | 0.39 | -0.24 | 0.23 | -0.50 | 0.05 | -0.50 | -0.30 | -0.15 | -0.20 | 1 |

Note: TRAIN(Total Rainfall, mm), TRD(Total Runoff Duration, hr), AVRAINTEN(Average Rainfall intensity, mm/hr), ADD(Antecedent Dry Days, days)

3.2 EMCs 산정 및 통계학적 분석

인공초지 지점에서 유출되는 강우유출수의 유출특성을 파악하기 위해 식(1)을 이용하여 EMC를 산정후 통계분석을 실시하였으며, Table 3, 4에 정리하여 나타내었다. 각 오염물질별 EMC 산

정결과, BOD₅의 평균 EMC는 8.2 mg/L로 나타났으며, SS는 110.1 mg/L, TN은 3.07 mg/L, TP는 0.86 mg/L로 분석되었다. 또한 BOD₅의 95% 신뢰구간은 6.25~10.21 mg/L로 나타났으며, SS는 35.95~184.33 mg/L, TN은 1.93~4.21 mg/L, TP는 0.55~1.17 mg/L의 범위를 나타내었다. TN과 TP의 평균 EMC의 농도가 높은

것은 인공초지 지점의 유지관리로 인하여 제초제의 사용으로 인한 것으로 판단된다. 또한 SS의 경우 35.95 ~ 184.33mg/L의 다소 높은 분포 값을 나타내었다. 강우시 유출수와 함께 초지로부터 토사가 유입되어 발생된 결과로 판단된다.

3.3 강우특성과 오염물질별 EMCs와의 상관성 분석

인공초지지점에서 강우시 유출되는 오염물질과 강우특성에 대한 상관성을 파악하기 위해 SYSTAT 9.0을 이용하여 Table 5와 같이 통계 분석을 실시하였다. 상관성 평가는 강우유출 특성(총강우량, 강우지속시간, 평균강우강도, 강우 전 건기일수)과 각 수질항목에 대하여 상관계수 및 P-값을 분석함으로써 수행되었다. 대각선 아래에는 상관계수(R, correlation coefficients)를 나타낸 것이고 위쪽에는 유의수준(P value, confidence values)을 나타낸 것이다. 상관계수 값에서 상관성이 높게 나온다하더라도 유의수준이 0.05보다 큰 값을 보일 경우에는 확률적으로 상관성이 매우 낮음을 의미한다. 인공초지 토지 이용의 경우 침투, 배수, 식생에 의한 보유 등의 지역적 영향으로 인하여 강우특성인자와 오염물질과의 상관성은 매우 낮은 것으로 분석되었다. 오염물질간의 상관성을 살펴보면, DOC와 COD, NH₄-N과 BOD₅, DOC와 BOD₅는 80% 이상의 높은 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 또한 P 값은 0.001~0.007의 범위를 보이므로 이는 유의수준을 만족하고 있는 것으로 분석되었다.

4. 결 론

본 연구는 다양한 토지이용 중에서 강우시 인공초지로부터 발생하는 강우유출수의 유출특성을 파악하고자 오염물질별 EMC를 산정하였으며, 강우특성 및 오염물질간의 상관성을 분석하여 아래와 같은 결과를 얻었다. 이러한 결과는 향후 원단위와 부하량 산정을 위한 중요한 기초자료로 활용

될 수 있을 것이다.

1. 모니터링 결과, 강우 전 건기일수는 2~10일, 총 강우량은 6.3~50.3 mm, 강우지속시간은 2~19 시간, 평균 강우강도는 1.58~8.38 mm/hr로 다양한 범위를 나타내는 것으로 분석되었다.
2. 오염물질별 유출특성을 분석한 결과, 첫 번째 수질시료 채취 후 1시간 이내인 강우 초기에 오염물질의 농도는 비교적 높게 유출되는 것으로 나타났으며, 강우가 지속될수록 오염물질의 농도는 감소하는 것으로 분석되었다. 또한 침투유량이 발생하면서 오염물질의 농도는 다시 증가하는 것으로 나타났다.
3. 산정된 EMC를 통계분석한 결과, BOD₅의 평균 EMC는 8.2 mg/L, TN은 3.1 mg/L, TP는 0.9 mg/L로 나타났으며, SS의 평균 EMC는 110.1 mg/L로 나타났다. 또한 BOD₅의 95% 신뢰구간은 6.25~10.21 mg/L로 나타났으며, SS는 35.95~184.33 mg/L, TN은 1.93~4.21 mg/L, TP는 0.55~1.17 mg/L의 범위를 나타내었다. SS 경우 강우시 유출수와 함께 초지로부터 토사가 유입되어 SS의 농도가 높은 것으로 나타났으며, 또한 인공초지 지점의 유지관리시 제초제의 사용으로 인하여 질소의 농도가 비교적 높은 값을 나타내는 것으로 판단된다.
4. 인공초지의 경우, 강우특성인 강우강도, 강우량, 강우지속시간 에서의 비점오염물질의 유출 및 강우특성을 비교한 결과 상호 상관성은 낮은 것으로 분석되었으나, 일부 유기물질간의 상관성은 80% 이상으로 높게 나타났다.

참 고 문 헌

- 김이형, 강주현(2004). 고속도로 강우 유출수내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위 산정, 한국물

- 환경학회지, 20(6), pp. 631-640.
- 김이형, 이선하(2005). 강우시 주차장 및 교량에서 유출되는 비점오염물질의 특성 비교 및 동적 EMCs, 한국물환경학회지, 21(3), pp. 248-255.
- 신민환, 신용철, 허성구, 임경재, 최중대(2007). 농업 및 산림유역의 강우유출수 유량기중평균농도 분석, 한국농공학회논문집, 49(6), pp. 3-9.
- 신은성, 최지용, 이동훈(2001). 토지용도와 유역특성을 고려한 비점오염물질 원단위 산정에 관한 연구, 수질보전 한국물환경학회지, 17(2), pp. 137-146
- 원철희, 최용훈, 서지연, 김기철, 신민환, 최충대(2009). 산림과 밭 지역 강우 유출수의 EMC 및 원단위 산정, 수질보전 한국물환경학회지, 25(4), pp.615-623
- 이은주, 고석오, 강희만, 이주광, 임경호, 이병식, 김이형(2006). 고속도로 노면유출수의 중금속 유출 특성 및 상관성, 한국물환경학회지, 22(1), pp. 128-133.
- 이치타오, 허진휴, 김영철(2008). 농촌지역에서 유출시간에 따른 비점오염물질의 유출평가, 한국물환경학회지, 24(6), pp. 773-783
- 주진호, 정영상, 양재의, 옥용식, 오상은, 유경렬, 양수찬(2007). 낙동강 수계 고령지 밭의 비점오염 물질 유출 특성 조사 및 단위 유출량 산정, 한국환경농학회지, 26(3), pp. 233-238
- 최지연, 이소영, 김이형(2009). 산림지역의 비점오염물질 유출특성 및 EMC 산정, 한국방재학회 논문집, 9(4), pp. 129-134.
- 환경부(2004). 관계부처합동 [물관리 종합대책]의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책.
- 환경부(2006a). 비점오염원관리 업무편람
- 환경부(2006b). 물환경관리기본계획
- 환경부(2008). 주요 비점오염원 유출 장기모니터링 및 저감기법 연구, 금강수계관리위원회
- 환경부(2009). 강우유출수조사방법
- Irish, Jr. L.B., Barrett, M.E., Malina, Jr. J.F., and Charbeneau, R.J. (1998) Use of Regression models for analyzing highway storm-water loads. Journal of Environ. Engg., 124(10), pp. 987-993.
- 논문접수일 : 09년 11월 24일
 - 심사의뢰일 : 09년 12월 21일
 - 심사완료일 : 09년 12월 30일