

골프장에서 발생하는 비점오염원의 초기유출수 특성

First-flush Runoff Characteristics of NPS from golf course

신민환*, 최재완**, 최용훈***, 서지연****, 이재운*****

MinHwan Shin, JaeWan Choi, YongHun Choi, JiYeon Seo, JaeWoon Lee

요 지

본 연구에서는 수질오염총량제와 정책제안의 원활하고 합리적인 추진을 위해 토지피복분류체계의 대분류 중 초지에 해당하고 중분류 중 골프장에 해당하는 지점을 선정하여 강우에 의해 발생하는 비점오염물질의 유출특성을 분석하였다. 연구기간 동안 총 27번의 강우사상으로 인해 발생하는 강우유출수에 대하여 유량과 수질농도를 측정하였다. 유량측정은 웨어를 통한 수위를 측정하여 유량으로 환산하였고, 수질항목은 BOD₅, COD_{Mn}, DOC, SS, T-N, T-P, NH₃-N, NO₃-N, PO₄-P 등 9개 항목을 분석하였다. 분석된 결과를 이용하여 골프장에서 발생하는 비점오염원의 초기세척효과 발생여부를 판단하기 위하여 누적오염부하량/누적유출량 그래프를 도식화하였다. 연구기간동안 발생한 5~82 mm의 강우로 인해 6.6~2,082 m³의 유출이 발생하였다. 발생된 유출수의 농도는 BOD₅ 1.8~11.3 mg/L, COD_{Mn} 19.2~51.4 mg/L, DOC 11.0~31.0 mg/L, SS 2.2~57.3 mg/L, T-N 1.545~16.098, T-P 0.230~4.528 mg/L, NH₃-N 0.076~5.285 mg/L, NO₃-N 0.122~2.905 mg/L, PO₄-P 0.005~2.631 mg/L로 나타났다. 초기유출수의 세척효과는 27번의 강우사상동안 SS 항목의 경우 17번, NO₃-N 11번, NH₃-N 4번 등이 발생하였다. 초기세척효과가 발생한 강우사상은 초기의 오염원 농도가 중·후반 농도보다 농도가 높음을 의미하므로, 골프장에서 발생하는 강우유출수는 초기에 발생하는 오염원에 초점을 두고 처리방안을 모색해야 할 것으로 판단된다. 또한 SS와 질소계열의 농도가 높은 것은 골프장의 잔디관리를 위한 농약이나 제초제 등의 사용과 토양유실이 원인인 것으로 판단되며, 이를 저감하기 위한 적절한 사용방안과 저감대책이 필요할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 골프장, 비점오염원, 초기세척효과, 초지

1. 서 론

비점오염원은 주로 비가 올 때 빗물과 함께 배출되기 때문에 빗물오염이라고도 한다. 이러한 비점오염원은 생활하수나 공장폐수, 축산폐수와 같은 점오염원과 달리 오염물질의 배출경로가 일정하지 않기 때문에 한 곳에서 모아 처리하기가 어렵고, 바로 하천으로 유입되기 때문에 수계의 수질 및 생태계에 악영향을 미친다. 환경부(2006)에 의하면 비점오염원은 2003년을 기준으로 전체 수질오염의 42~69%를 차지하는 것으로 나타났고, 2015년에는 비중이 점차 커져 65~70% 까지 증가할 것이라 하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 우리나라도 전국의 토지를 대분류, 중분류 그리고 세분류로 구분하고 지목별로 발생부하, 할당부하 및 삭감부하 등의 비점오염부하를 정량적

* 정회원 · 금강물환경연구소 · E-mail : uv2000wind@korea.kr
** 정회원 · 금강물환경연구소 · E-mail : cjw2000@korea.kr
*** 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 · E-mail : tlemjin@nate.com
**** 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 · E-mail : tjwidus01@nate.com
***** 비회원 · 금강물환경연구소 · E-mail : leejaew@korea.kr

으로 산정하여 오염총량제에 사용될 수 있도록 노력을 하고 있다(신동석, 2007). 그러나 현재까지 우리나라에서 수행된 모니터링은 유역단위의 비점오염부하를 산정하기 위한 방법으로써 유역에서 발생하는 오염부하의 규모를 정량화하기에는 유용하지만, 중분류 지목별 토지이용에서 발생하는 비점오염부하와 원단위를 산정하기에는 비효과적이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 토지분류체계의 지목별로 장기적인 모니터링을 통해 비점오염부하의 정량화가 이루어질 필요가 있다(신민환, 2007; 원철희, 2009). 우리나라는 국민소득의 증가와 레저생활의 고급화로 인해 골프장의 수요 및 시설이 급증하고 있다. 그러나 우리나라는 국토의 약 70%가 산림으로 이루어져 있고(산림청,), 대부분의 산림이 산악지대로서 골프장을 건설하고 운영할 수 있는 공간이 충분하지가 않다. 더구나 골프장의 운영과정에서 발생하는 오염원은 환경문제로 대두되고 있으며, 골프장의 무분별한 건설 등으로 인한 논란이 지속되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해선 골프장에서 발생하는 오염원에 대한 저감기법이나 대책이 필요하지만 우선 오염원에 대한 정량적인 연구가 이루어져야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 수질오염총량제와 정책제안의 원활하고 합리적인 추진을 위해 토지 피복분류체계의 대분류 중 초지에 해당하고 중분류 중 골프장에 해당하는 지점을 선정하여 강우에 의해 발생하는 비점오염물질의 유출특성을 조사함으로써 골프장의 비점오염물질 유출특성에 대한 기초 자료를 수집하고자 한다.

2. 연구 방법

골프장은 골프장의 잔디와 수목을 보호하기 위해 사용되는 농약 및 제초제 등으로 인해 주변 토양과 수질환경오염 등 여러 가지 환경오염 문제를 야기시키고 더 나아가 환경오염에 의한 자연 생태계의 파괴를 초래한다(서용찬, 2005). 따라서 골프장에서 발생하는 오염원의 정량화를 위해 충북 청원군에 위치하고 있는 골프장을 선정하여 강우시 발생하는 오염원의 특성을 조사하였다(Fig. 1). 조사기간은 모니터링 장비가 설치된 2008년 6월부터 2009년 10월까지 조사하였고, 총 27회의 강우유출수에 대하여 조사하였다. 선정된 골프장은 18개의 홀 중 2개의 홀에서 발생하는 유출수가 유입되는 곳으로 2개 홀의 유역면적은 5.5 ha이다. 골프장의 경우 강우가 발생하였을 때 강우의 원활한 배수를 위해 Fig. 1과 같이 배수로를 설치하여 운영하고 있다.

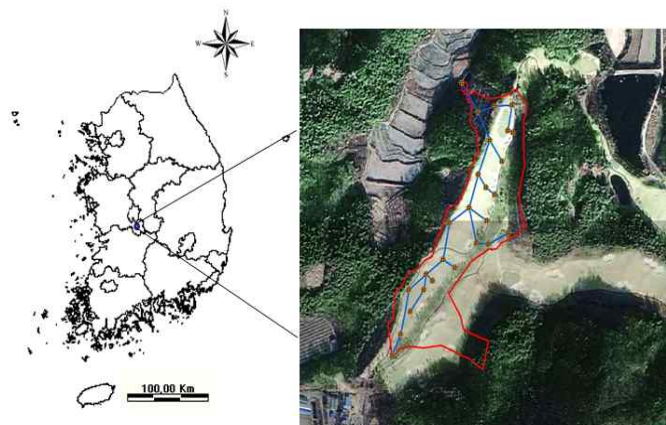


Fig 1. Sketch of the golf course location and

강우에 의해 발생하는 강우유출수의 유량측정을 위해 Fig. 2와 같이 배출부에 90° V-notch 형태의 삼각위어(weir)를 설치하였다. 삼각위어는 직사각형 위어에 비해 유량에 의한 수위변화가 크기 때문에 정확한 수두(head)의 측정이 가능하다. 위어를 통해 유출되는 유출수의 수위를 ICSO 6712 Liquid Level Actuator(1640) 수위계를 이용하여 5분 간격으로 측정된 뒤 유량으로 환산하였다. 또한 수질농도 분석을 위해 자동수질시료채취기 ISCO sampler 6712를 설치하여 ‘강우유출수 조사방법’에 따라 초기에는 5~15분 간격, 2시간 이후에는 1~2시간 간격으로 시료를 채취하였다(환경부, 2009). 채취된 시료는 아이스박스를 이용하여 실험실로 운반한 뒤 BOD₅, COD, DOC, SS, T-N, T-P, NO₃-N, NH₃-N, PO₄-P 항목에 대하여 분석하였다(환경부, 2001). 자동수질시료 채취기는 수위계와 연동이 되도록 하고 유출이 시작되는 수위를 설정하여 유출이 시작되면 수질 시료를 채취하도록 하였다(Fig.3). 또한 최근에 발생하고 있는 국지성 호우에 의해 각 지역마다 강우의 큰 차이가 발생하고 있다. 따라서 본 연구에서는 정확한 강우분석을 위해 RG3-M 강우량계를 설치하여 0.2 mm 단위의 강우량을 측정하였다(Fig. 4).



Fig. 2. V-notch Weir



Fig. 3. Auto Sampler



Fig. 4. Rain gauge

측정된 농도와 유량 데이터를 이용하여 유량가중평균농도(Event Mean Concentration, EMC)를 산정 하였고, 비점오염원의 초기세척효과 발생여부를 판단하기 위하여 누적오염부하량/누적유출량 그래프를 도식화하였다. 골프장의 유출특성을 분석하기 위해 각 강우사상에 대한 유출량과 수질농도를 이용하여 유량가중평균농도(Event Mean Concentration, EMC)를 산정하였다. 선행연구에 의하면 강우시 유출되는 오염물질은 시간대별로 부하가 다르기 때문에 산술평균으로 농도를 산정하는 방법은 문제가 있기 때문에 EMC 방법을 사용하여 산정하여야 한다고 하였다(원철휘, 2009).

3. 결론

수문분석을 위하여 청주기상청의 30년 강우자료를 강우계급별 빈도분석을 실시하였다. 0~10 mm의 강우계급이 81회로 가장 크게 나타났고, 10~20 mm의 강우계급이 13회로 나타났다. 50 mm 이상의 강우강도는 30년에 약 한번 정도 나타나는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 27회의 강우사상 중 5회가 50 mm 이상의 강우계급에 해당한다. 그리고 강우가 발생하여도 유출이 발생하지 않은 5 mm 이하의 강우사상에 대하여는 분석을 실시하지 않았다. 본 연구에서 조사한 강우량 범위는 5~82 mm의 범위이고, 이때 발생한 유출량은 6.6~2,082.3m³으로 조사되었다. 발생한 유출수의 농도는 BOD₅ 1.8~11.3 mg/L, COD_{Mn} 19.2~51.4 mg/L, DOC 11.0~31.0 mg/L, SS 2.2~57.3 mg/L, T-N 1.545~16.098, T-P 0.230~4.528 mg/L, NH₃-N 0.076~5.285 mg/L, NO₃-N 0.122~2.905 mg/L,

PO₄-P 0.005~2.631 mg/L로 나타났다. 초기유출수의 세척효과는 Fig. 5와 같이 27번의 강우사상동안 SS 항목의 경우 17번, NO₃-N 11번, NH₃-N 4번 등이 발생하였다.

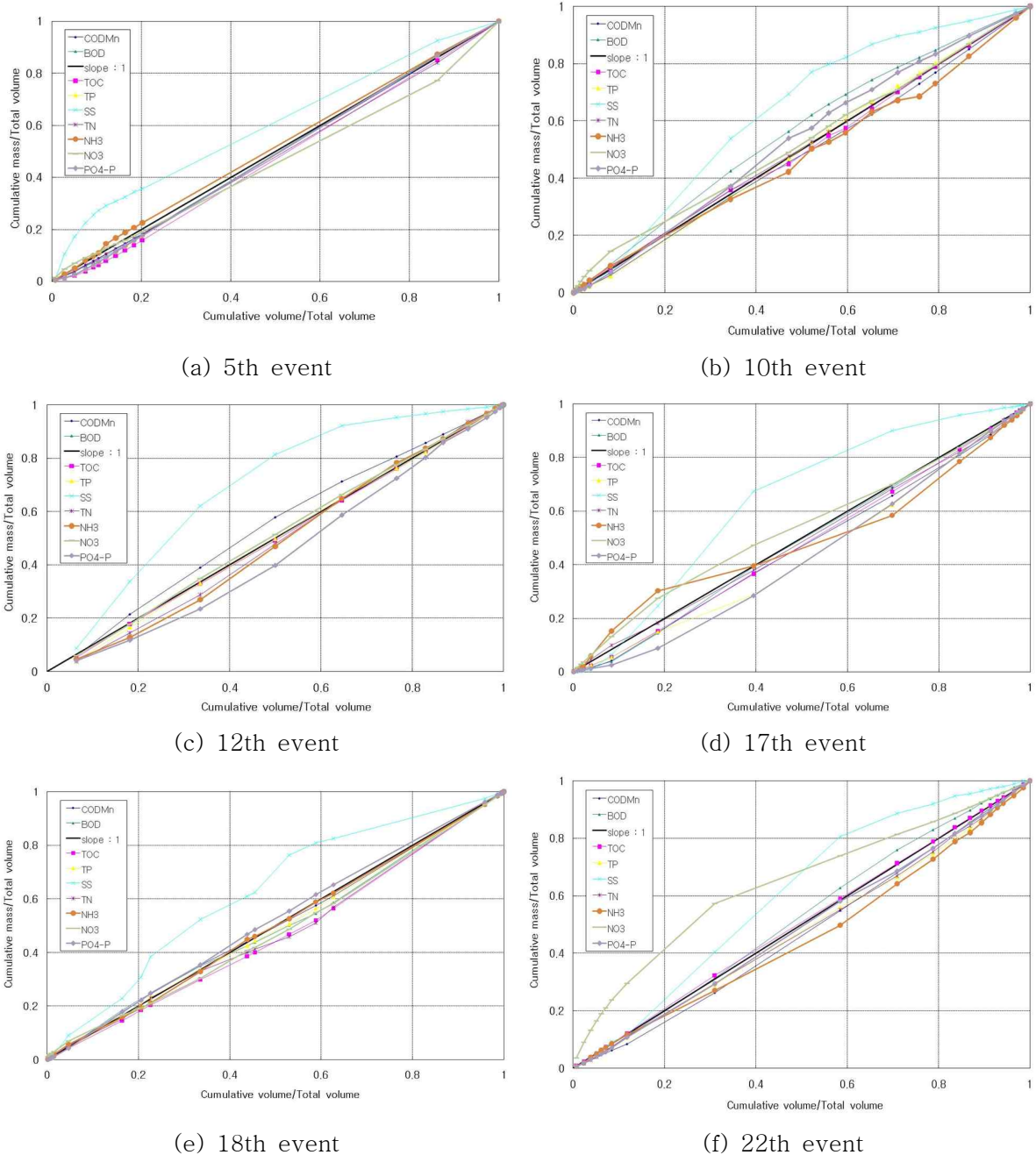


Fig. 5. Plot of cumulative load fractions as a function of cumulative runoff volume.

강우시 유출되는 오염물질은 토지의 이용형태와 세부 오염항목에 따라 유출특성이 다르게 나타난다. 도시유역과 같은 불투수층이 지배하는 지역은 초기강우에 의해 초기유출(First flush)에서 초기세

척효과가 발생하는데(Lee et al., 2002), Geiger(1987)는 표준화된 누적오염부하량 그래프를 표준화된 누적유출량과 비교하였을 때 그 기울기가 45도 이상 일 경우 초기세척효과가 발생한다고 하였다. 또한 Bertrand-Krajewski 등(1998)은 오염부하량 중 적어도 80% 이상이 초기유출량의 30%에 포함될 경우에 초기세척효과가 나타난다고 하였다. 본 연구에서는 기울기 1을 기준으로 1보다 상단으로 기울기가 나타났을 경우 초기세척효과가 있다고 판단하였다. 골프장에서 초기세척효과가 발생한 강우사상은 초기의 오염원 농도가 중-후반 농도보다 농도가 높음을 의미하므로, 골프장에서 발생하는 강우유출수는 초기에 발생하는 오염원에 초점을 두고 처리방안을 모색해야 할 것으로 판단된다. 또한 SS와 질소계열의 농도가 높은 것은 골프장의 잔디관리를 위한 농약이나 제초제 등의 사용과 토양유실이 원인인 것으로 판단되며, 이를 저감하기 위한 적절한 사용방안과 저감대책이 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 서용찬, 2005. 골프장 토양 및 잔디 시료 중 유기인 및 유기염소계 농약의 동시 분석. 대한환경 공학회지, 27(12), pp 1257-1262.
2. 신동석(2007). 비점오염원 원단위 개정을 위한 조사연구 방향, 수질보전 한국물환경학회지, 23(4), pp.429-433.
3. 신민환, 신용철, 허성구, 임경재, 최중대(2007). 농업 및 산림유역의 강우유출수 유량가중평균농도 분석, 한국농공학회, 49(6), pp. 3-9.
4. 원철희, 최용훈, 서지연, 김기철, 신민환, 최중대(2009). 산림과 밭 지역 강우 유출수의 EMC 및 원단위 산정. 수질보전 한국물환경학회지, 25(4), pp. 615-623.
5. 환경부, 2001. 수질오염공정시험방법.
6. 환경부(2006). 물환경관리 기본계획.
7. 환경부(2009). 강우유출수 조사 방법.
8. Lee, J. H., Bang, K. W., Ketchum, L. H., Choe, J. S., Yu, M. J. (2002). First flush analysis of urban storm runoff. *The Science of the Total Environment*, 293, pp. 163-175.
9. Geiger, W.(1987). Flushing effects in combined sewer system. *In Proceedings of the 4th International Conference Urban Drainage, Lausanne, Switzerland*, pp. 40-46.
10. Bertrand-Krajewski, J., Chebbo, G., Saget, A. (1998). Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and the first flush phenomenon. *Wat. Res.*, 32(8), pp. 2431-2356.