

인공 저류지를 이용한 축산 지역 비점오염물질 유출 저감 효율 분석

어성욱[†]

우송대학교 철도건설시스템학부

Analysis on the Runoff Reduction Efficiency of Non Point Pollutants in Animal Feeding Area Using Artificial Reservoir

Seong-Wook Oa[†]

School of Railroad Civil System, Woosong University

(Received : 05 November 2018, Revised: 15 November 2018, Accepted: 15 November 2018)

요약

축산 지역 하류에 위치한 농업용 저수지의 강우시 유입, 유출수 분석을 통해 축산지역의 강우 유출 특성과 저류지에 의한 축산계 비점 오염물질의 저류형 시설에 의한 유출 저감 효율을 분석하였다. 급경사지에 위치한 한우 축산 지역의 비점 오염물질 유출은 주로 초기세척현상에 의해 발생됨을 알 수 있었으며 강우시의 유입수 농도는 비강우시에 비해 SS농도가 가장 높게 발생하고 있으며 T-P도 4배 이상 증가하는 양상을 보인다. 반면 총질소는 평균 30% 증가하는 것으로 나타나는데 질소항목으로 보면 질산성 질소는 거의 변화가 없는 반면에 암모니아성 질소가 2배 이상 증가하고 있다. 저류형 비점 제거시설 효율 분석 결과 비강우시 총인 제거효율이 53%로 가장 높고 부유물질은 37% 제거되고 있다. 유기물질은 10% 내외, 총질소는 5% 이내로 제거되며 부영양화로 녹조가 번성하는 하절기에는 오히려 유출수의 질소 농도가 더 높아지는 경우도 빈번히 발생하고 있다. 강우시의 유입수 농도는 비강우시에 비해 SS농도가 가장 높게 발생하고 있으며 T-P도 4배 이상 증가하는 양상을 보인다. 강우시 부유물질의 제거효율은 60%로 나타나고 있으며 총인은 22% 제거되어 비강우시에 비해 제거효율은 감소하고 있다. 환경부의 비점제거시설 기준보다 9배 이상의 용량을 지니고 있지만 비점 전용 시설로 활용되지 못하는 탓에 장마철에 거의 만수 상태로 담수하여 비점제거 효율에 있어서는 충분한 효과를 보이지 못하고 있는 것으로 나타나 저수지의 용량 뿐 아니라 수문관리 등 유지관리도 비점 제거효율에 영향을 미치는 중요 인자로 분석되었다.

핵심용어 : 가축분뇨, 강우유출, 비점오염원, 인공 저류조, 초기 세척

Abstract

It analyzed the efficiency of the runoff reduction of artificial reservoir by analyzing the influent and effluent of reservoir located downstream of the livestock area. Production of non point pollutants in livestock feeding areas, which is located at steep slope land, was mainly due to first flushes. Suspended Solid concentration of influent increased due to amount of rainfall, and T-P also increased over four times and 30 % of total nitrogen increased on average compared to those of dry season. While the concentration of nitrate nitrogen showed little variation, ammonia nitrogen increased over two times. The storage style nonpoint reduction facility showed the highest removal efficiency of 53 % for total phosphorus in dry weather, when the removal efficiency was 37 % for suspended solids, 10% for organic compounds, and 5 % for total nitrogen. Since algal bloom grows due to eutrophication in summer, the minus removal efficiencies of nitrogen concentration through the reservoir occurred with high frequency. Removal efficiency decreased during rainfall, showing 60 % for suspended solids, and 22 % for total phosphorus. While having over nine times of capacity than the standard of non-point removal facility from Ministry of Environment, it was impounded with water during rainy season, showing not enough nonpoint removal efficiency, which indicates that maintenance is also an important factor to the nonpoint removal efficiency.

Key words : Artificial Reservoir, First flush, Livestock manure, Non-point source, Storm water runoff

[†] To whom correspondence should be addressed.
School of Railroad Civil System, Woosong University
E-mail: swoa@wsu.ac.kr

1. 서 론

비점 오염물질 저감을 위한 시설은 크게 장치형과 저류형으로 구분할 수 있다(MOE, 2014). 도시형 비점오염물질은 도로 등에서 발생하는 초기 강우에 의한 것이 대부분이므로 여과 또는 침전 형태의 장치형 시설을 설치하는 경향이 있다. 그러나 상대적으로 유출 지속시간이 길고 발생 지역을 특정할 수 없는 농촌형 비점의 경우 장치형보다는 저류형이 더 효과적인 것으로 알려지고 있다. 농촌에서 발생하는 비점오염원은 크게 축산계와 토지계로 구분할 수 있는데 축산계는 농경지에 살포된 가축분뇨 퇴, 액비의 수계 유출량과 축사 및 퇴비사, 방치 축분 등에 의한 가축분뇨의 부적정 관리에 의한 강우 유출을 말하며 토지계는 농경지, 산림, 초지 등의 강우시 오염물질 유출을 말한다(MOE, 1999, NIER, 2010)).

대청호 유입 지류 중 오염 배출부하가 가장 높은 곳으로 알려진 소옥천 유역은 대표적인 농촌형 오염 발생 특성을 보이고 있는데, 특히 축산계 비점 배출 부하가 매우 높게 발생되고 있는 곳이다. 2016년 기준 소옥천 유역의 오염원별 T-P 발생 부하량은 축산계 859 kg/일, 토지계 153 kg/일, 생활계 106 kg/일, 산업계 16 kg/일 등으로 나타나고 있으며, T-P 배출부하량은 토지계 154 kg/일, 축산계 53 kg/일, 생활계 18 kg/일, 양식계 0.8 kg/일로 보고되고 있다(ChungCheong Buk Do, 2016). 발생부하량의 79%가 축산계이며 배출부하량의 59%가 토지계, 27%가 축산계인 것이다. 축산계 배출부하량의 저감은 발생부하의 대부분이 퇴비 형태로 토지계로 전달된 것으로 수질오염총량 배출부하 산출 방식에 의하면 전체 발생량의 80% 이상이 축산계에 기인한 것으로 추정할 수 있다. 질소와 인을 중심으로 하는 축산계 비점 오염물질은 강우시 수계로 유입되어 수계의 녹조 발생의 주역으로 지목받고 있는 현실이다. 농촌형 비점오염물질의 수계 유출 저감을 위해 가장 우선적으로 제안되는 방법이 저류형 시설의 설치이나 아직까지 국내에 비점 저감을 목적으로 설치된 사례가 많지 않은 실정이다. 구일 소류지는 소옥천 지류인 구일천 상류에 농업용 저수지로 축조되었으나 근래에는 그 설치 목적과 다르게 상류

에 밀집된 한우 축사들의 축산계 비점 오염물질 유출 저감 시설로 역할을 하고 있다. 농촌형 비점 발생은 대상 지역의 토지 이용 현황, 토지의 경사도, 강수형태 등에 따라 매우 다양하게 나타나므로 특정한 설계 기준에 의해 획일적인 지침을 만드는 것이 매우 어려운 실정이다. 비점 저감 대상지역에 대한 장기적인 오염 발생 특성 분석을 통해 이에 대응하는 오염물질 저감 시설을 확보하는 것이 우선적으로 검토되어야 할 사항이다. 본 연구는 구일 소류지의 농촌형 비점 저감 시설로서의 효율 분석을 위해 지역의 비점 발생현황을 조사하였으며, 강우시와 비강우시의 소류지 유입, 유출수와 하류 하천의 수질 분석을 통해 저류형 비점 저감 시설의 설계, 운영 자료의 제공을 위해 수행되었다.

2. 연구방법

2.1 조사 대상 지역 현황

조사대상 지역인 구일 소류지는 농업용수 공급을 위해 설치된 농업용 저수지로 대청호 수계의 소옥천의 지류인 구일천 상류에 위치하고 있다. 대상유역은 충북 옥천군 옥천읍 서대리, 구일리, 귀현리에 해당되는 지역이다. 소류지로 유입되는 유역 면적은 1.26km²이며, 이 중 밭 면적이 303,205m² (24.06%)이며, 논 121,222m² (9.62%)과 축사 38,762m² (3.08%) 및 나머지는 삼림으로 이루어진 전형적인 농촌지역이다. 소류지 직상류에 한우 축사가 밀집되어 있는데 약 1,500마리의 한우가 사육되고 있으며 축사는 소류지와 평균 경사 10% 이상의 산지에 위치하여 강우시 축사로부터 발생하는 비점오염물질이 소류지로 직접 유입되는 지형 구조를 이루고 있다. Fig. 1은 구일 소류지 유역의 현황을 나타내고 있으며 본 조사에서 시행한 자동 시료채취기 설치장소와 지하, 지표수 조사 지역 들을 나타내고 있다. 구일 소류지는 만수위 기준 수 표면적의 넓이가 38,653 m²이며 중앙부에서 최대 2m 깊이를 유지 하고 있다. Fig. 2는 모니터링 지점별 설치된 유량 및 수질 측정 장비들의 사진을 보여주고 있다.

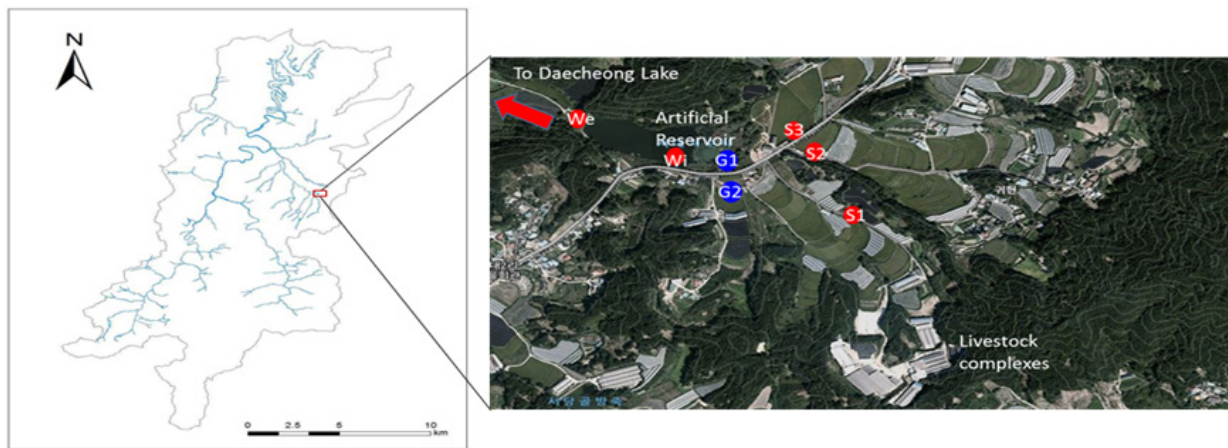


Fig. 1. The Characteristics of guil reservoir catchment and surveyed site description (S1, S2, S3 : Monitoring point for surface runoff, G1, G2 : Groundwater monitoring point and Wi, We : Baseflow monitoring points)



Fig. 2. Monitoring facilities on each surveying sites

2.2 조사 방법

강우 유출수 조사를 위한 유량측정은 연속조사에 의한 부하량 변화를 측정하기 위하여 동일한 지점에서 수행하였다. 조사 시기는 2017년 5월부터 2018년 9월까지 17개월간 연속적으로 진행되었으며, 표면유출 조사를 위해 강우 유출수가 도로변에 설치된 중력식 관로에 의해 유하되므로 관거 내에 자동 시료채취기 및 유량 측정 장비(SIGMA 950)를 설치하여 시료채취와 유량 측정을 수행하였다. 현장에서 수위변화에 의해 자동으로 동작되는 유량측정 장치와 일정 시간간격으로 시료를 채취하여 BOD₅, COD_{Mn}, TOC, SS, T-N, NH₄-N, NO₃-N, T-P, PO₄-P 항목에 대한 분석을 실험실에서 수행하였다. 모든 분석 방법은 수질오염공정시험법에 준하여 실시하였으며 유량과 시료 채취 간격은 국립환경과학원의 비점오염물질 분석 기준에 의거 수행하였다. 농업비점 오염물질의 발생 특성과 소류지의 오염물질 제거효율 분석을 위하여 자동채수기는 소류지 입·출구에 각각 설치되어 운영되었다.

강우시의 유출 조사가 자동 채수기에 의해 수행 되어진 반면 비강우시에는 동일한 지점에서 수동으로 채수를 하였으며 채수 시기는 선형강우 일수가 7일 이상 유지되는 경우에 월별로 진행하였다.

3. 연구결과 및 토의

3.1 대상 지역의 비점오염물질 발생 특성 분석

조사 대상 기간인 2017년 5월부터 2018년 9월 까지 17개월간 1일 5mm 이상의 강수가 발생한 날은 총 70일 이었으며 기간 중 1일 최대 강수량은 2018년 8월에 발생한 108 mm/일 이었다. Fig. 3 은 조사기간 중 축산 지역으로부터 소류지로 유입되는 유출유량과 부유물질 농도를 나타낸 것인데 비 강우 시에는 전혀 유출량이 없다가 강우시에만 유출이 발생하는 지역이다. 강우 유출량과 부유물질 농도가 일정 유량을 기준으로 교차하는 현상을 볼 수 있다. 일반적으로 도시 지역에서 초기세척현상 강하게 발생하는 것으로 보고하고 있으며 (Son, YG, 2016, Wu, JS et al., 1998) 농촌이나 임야 지역의

경우 상대적으로 초기세척현상이 적은 것으로 보고되고 있다 (Bedient et al., 2002, Kang, CG et al., 2010) 초기 세척 현상은 강우량과 강우 지속시간에 따라 발생 유무가 달라진다고 보고하였는데 (Matthias et al., 2009) 본 연구의 조사 대상 지역에서는 유출 유량 0.4 cms 까지 초기세척 현상이 발생하는 것을 관찰할 수 있었다. 이 지역의 평균 유출계수를 0.4, 유역 면적 1.26 km²로 하여 합리식에 의해 역산할 경우 2.9 mm/hr 정도의 강우 강도에 해당하는 값이다. Fig. 4 는 유량 계급별로 부유물질 농도를 나타낸 것인데 0.4 cms 까지 유량 증가에 따라 부유물질 농도가 증가하다가 0.4 cms 이상에서는 오히려 유량 증가시 부유물질 농도가 급격히 감소하는 현상을 보이고 있다. 조사 대상 지역은 한우사가 밀집된 전형적인 축산 지역이며 경사가 급한 산지에 위치하고 있어 초기 세척 현상이 명확하게 나타남을 알 수 있다. 우리나라의 축산계 비점 오염산정식(NIER, 2010)은 축사 지역에서 점오염원만 발생하는 것으로 산정되고 있으며, 축분에 의한 비점 오염은 퇴, 액비 형태로 자원화 되어 농경지에서만 유출되는 것으로 산정되고 있다. 따라서 축산 지역의 경우 일반 대지나 농경지로 산정되고 특별히 축사 지역에 대한 비점 오염량 산정식이 반영되지 않고 있는 실정이다. 그러나 본 연구의 실측 결과 비가림 시설이 설치되어 있는 한우사에서 축사 주변 및 퇴비사 주변 등에서 매우 높은 농도의 비점 오염 물질이 초기세척으로

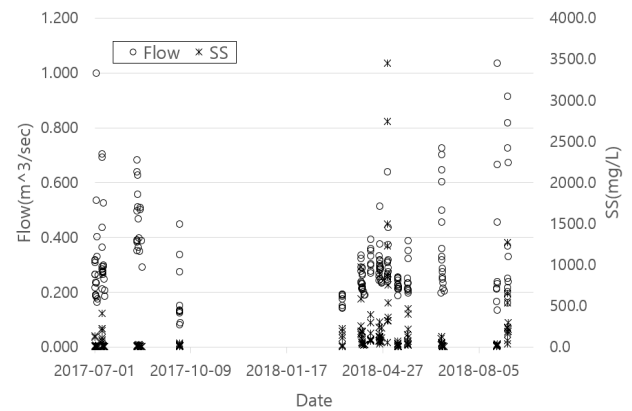


Fig. 3. Influent flow rate and SS concentration in rainy days

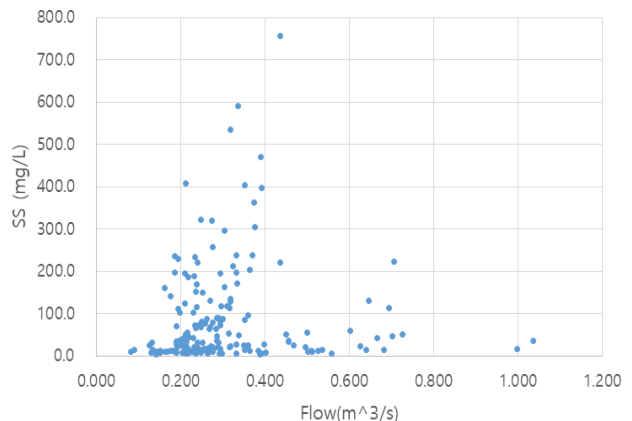


Fig. 4. Non point suspended solid depending on runoff flow rate

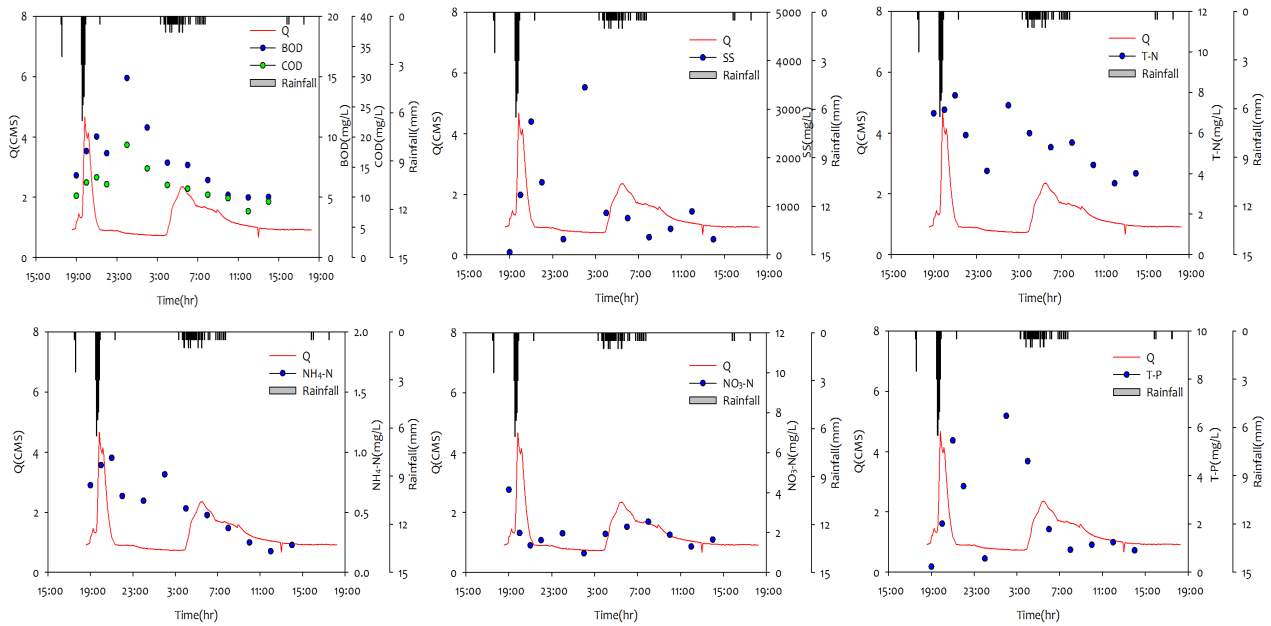


Fig. 5. Polluto graph on a series rainfall event

발생되는 것으로 조사되었으며, 이는 일정 강우 후에는 세척효과에 의해 비점 유출 농도가 급격히 감소되는 것으로 반증될 수 있는 것이다(An, TW et al., 2012, Choi, JY et al., 2009).

강우량과 유출 오염물질의 농도를 강우 시간별로 작성하여 나타낸 것을 오염도곡선(Polluto graph)이라 하는데 Fig. 5는 연속된 2회의 강우에 의한 축산지역의 오염도 그래프를 나타낸 것이다. 약 30 분간 발생한 총 7mm 가량의 강우에 의해 초기 세척이 발생하였으며 부유물질농도가 급격히 증가하였다. 강우 종료 후 유출량은 급격히 감소하였지만 유기물질과 부유물질의 농도는 서서히 감소하는 추세를 보였다. 그러나 12시간 경과 후 발생한 2차 강우에서는 세척 현상으로 만들어지는 유량 증가에 따른 부유물질 농도 증가는 발생하지 않고 있다. 일반적인 농촌 비점 유출시 유기물질과 부유물질 그리고 총인은 유출량 증가에 따라 함께 증가하고 총질소는 강우 유출량 증가시 감소하는 경향으로 보고되고 있는데 (Hwang, JS et al., 2012, Jung, JP et al., 1993, Lim, JM et al., 2009, and Wang T. et al., 2011) 본 연구의 조사 지역에서는 총질소도 유출량 증가시 함께 증가하는 경향을 보이고 있다. 일반적인 농촌 비점에서 발생하는 유출량과 총질소 농도의 반비례 현상은 농경지 토양수와 지하수에 존재하는 질산성 질소의 기저 유출 현상에 기인하는 것이었으나 (Shin, YC et al., 2006) 본 연구 지역은 기저 유출 보다는 축사 지역의 초기 세척현상에 더 크게 영향을 받은 것으로 판단된다. 오염곡선의 총질소농도 대부분은 암모니아성 질소 성분으로 나타나고 있으며, 이는 축사 주변에 산재한 축분 오염물질에 의한 초기 세척에 의해 발생되고 있는 것으로 판단된다. 또한 총인농도 변화는 부유물질 농도와 거의 같은 양상으로 변화하고 있어 축분의 직접 영향에 의한 것임을 반증하는 자료이다(Hwang, JS et al., 2012, Jeon, JC et al., 2018, Stevens DP et al., 1999).

3.2 인공 저류지의 축산 지역 비점 오염물질 유출 저감 효율 분석

“비점오염 저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼”(MOE, 2014)에 의하면 저류형 시설의 시설기준은 ① 해당 지역의 강우빈도 및 유출수량, 오염도 분석 등을 통하여 설계규모 및 용량을 결정하여야 하며 ② 해당 지역의 강우량을 누적유출고로 환산하여 최소 5mm 이상의 강우량을 처리할 수 있도록 하고 ③ 처리 대상 면적은 주요 비점오염물질이 배출되는 토지이용면적 등을 대상으로 하도록 규정하고 있다. 시설의 규모 결정은 대상구역의 적정 강우사상에 대한 수문곡선(hydrograph)과 오염곡선(pollutograph)을 이용하여 수질이 건기상태로 회복되는 시점, 즉 강우초기에 평시 수계의 수질보다 악화되었다가 다시 강우 유출수 수질이 건기 유출수 수질로 회복하는 시점까지의 유량으로 규모를 설정하도록 권고하고 있다. 비점오염 저감시설의 규모 및 용량을 결정할 때에는 배수구역의 누적 유출고로 환산하여 최소 5mm 이상의 강우량을 처리할 수 있는 규모에 합치하도록 하고 있으며 아래의 식을 이용하여 본 연구 조사 대상 저류지의 수질처리용량(WQ_v)을 산정하였다.

$$WQ_v = P_1 \times A \times 10^{-3}$$

여기서, WQ_v : 수질처리용량(Water Quality Volume, m³)

P₁ : 설계 강우량으로부터 환산된 누적 유출고

A : 배수면적(m²)

배수면적 1.26 km²와 환산누적유출고 5mm를 계산하면 수질처리용량은 6,300 m³으로 산정되는데 저류지의 표면적(38,653 m²)에 평균 깊이(1.5 m)를 이용하여 용적을 산정하면 57,980 m³으로 수질처리용량의 9.2배에 해당한다. Fig. 6은 조사 기간중 분석된 자료를 토대로 한 구일 소류지의 강우시와 비 강우시의 유, 출입 평균 농도와 소류지에서의 오염물질

항목별 제거효율을 나타낸 것이다. 비강우시 유입수 평균 BOD는 12 mg/L, SS 13 mg/L, T-N 10 mg/L 그리고 T-P는 2.5 mg/L로 나타나고 있다. 총질소의 90%는 질산성질소로 발생되고 있으며 암모니아성 질소는 1mg/L 내외로 발생하고 있다. 비강우시 총인 제거효율이 53%로 가장 높고 부유물질은 37% 제거되고 있다. 유기물질은 10% 내외, 총질소는 5% 이내로 제거되며 부영양화로 녹조가 번성하는 하절기에는 오히려 유출수의 질소 농도가 더 높아지는 경우도 빈번히 발생하고 있다(Choi, IW et al., 2002). 강우시에는 BOD 18mg/L, SS가 30mg/L, T-N은 13mg/L 그리고 T-P는 10 mg/L로 나타나고 있다.

강우시의 유입수 농도는 비강우시에 비해 SS농도가 가장 높게 발생하고 있으며 T-P도 4배 이상 증가하는 양상을 보인다. 반면 총질소는 평균 30% 증가하는 것으로 나타나는데 질소항목으로 보면 질산성 질소는 거의 변화가 없는 반면에 암모니아성 질소는 2배 이상 증가하고 있다. 이는 소류지로 유입되는

유출수가 상류의 측사 세척수에 의한 것임을 추정할 수 있게 하는 것이다(Choi, YH et al., 2014, Kang, CG et al., 2010, Lee SH et al., 2014). 강우시 부유물질의 제거효율은 60%로 나타나고 있으며 총인은 22% 제거되어 비강우시에 비해 제거효율은 감소하고 있다. 환경부의 비점제거시설 기준보다 9배 이상의 용량을 지니고 있지만 강우시의 비점제거 효율에 있어서는 충분한 효과를 보이지 못하고 있는 실정이다.

Fig. 7과 Fig. 8은 소류지 하류 하천의 1.0 cms 이상과 그 이하로 발생하는 유량에서의 하천 수질을 나타내고 있는데, 이 하천의 유량은 소류지 방류량에 의해서만 유량 변동이 발생하는 하천이다. 소류지 유입 유량 0.4 cms일 때 방류 하천의 유량은 1.0 cms로 발생하고 있다.

소류지 하류 하천은 1.0cms 이하에서 피크 농도를 제외하고는 유량이 증가하여도 오염물질 농도가 크게 변화하지 않고 있다. 총질소 농도가 유량 변화에 반대 방향으로 변화하는 양상을 보이는데 질산성 질소는 유량이 증가하면 농도가 감소하고

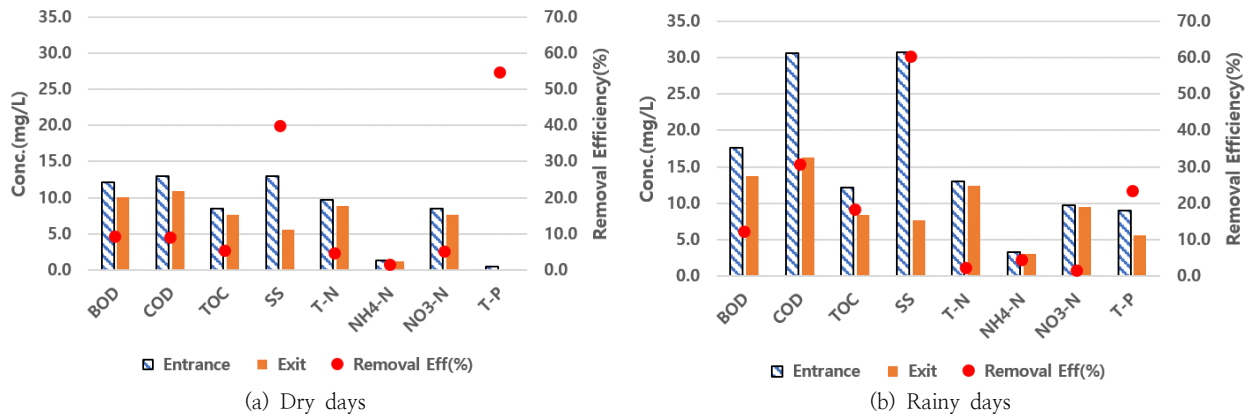


Fig. 6. Non point pollutant reduction efficiencies in artificial reservoir

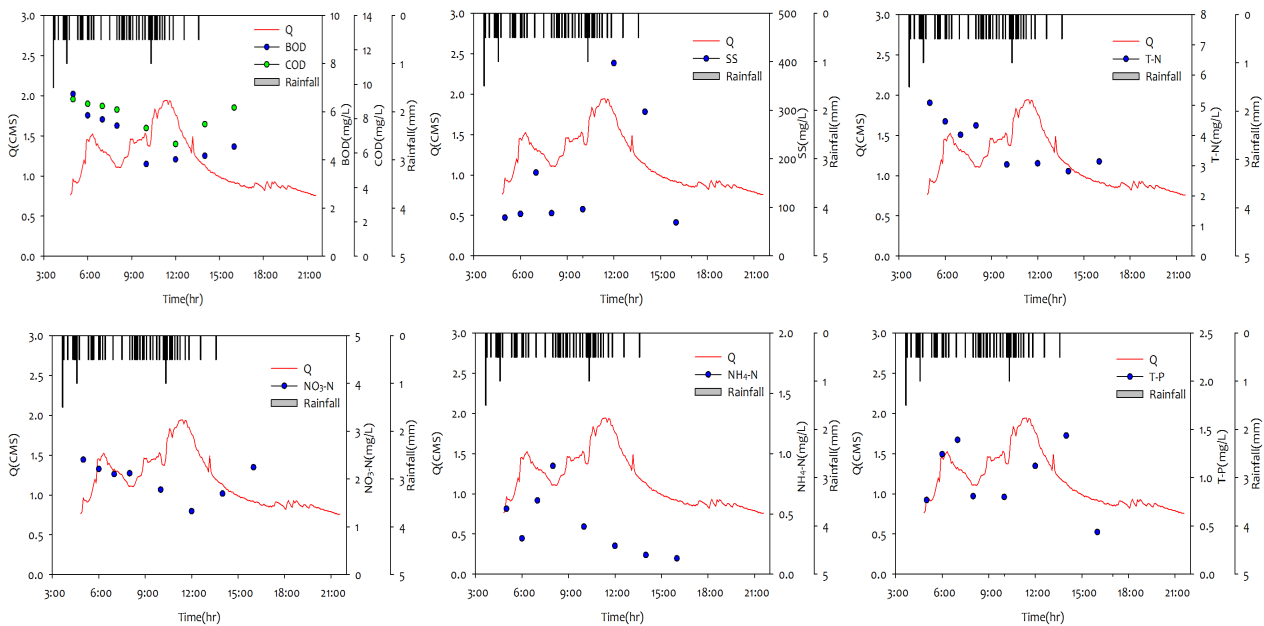


Fig. 7. Polluto graph on downstream water quality(Q<1.0 CMS)

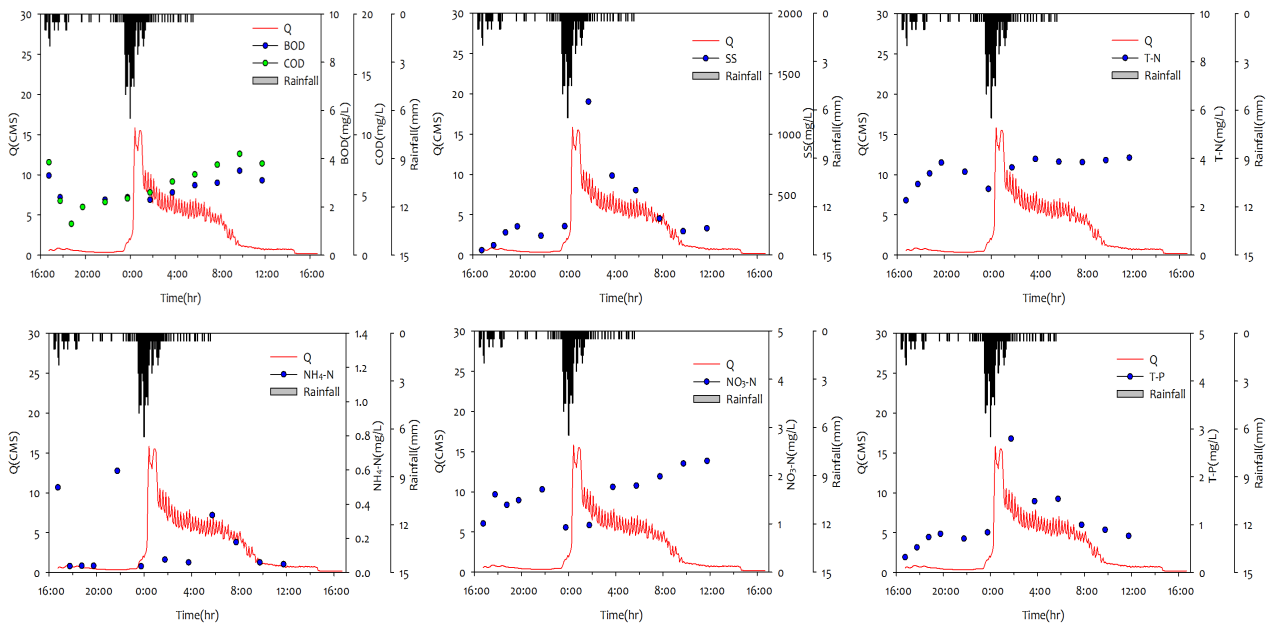


Fig. 8. Polluto graph on downstream water quality(Q>1.0 CMS)

강우 종료후 유량이 감소하면 다시 농도가 증가하는 양상을 보여 전술한 바와 같이 기저유출의 영향을 나타내는 것을 알 수 있다. 반면 Fig 8에 나타난 유출량 1.0cms 이상에서는 강우량 증가에 따라 오염물질 유출량이 급격히 증가하고 있으며, 강우 종료 후에도 부유물질, 총인 등의 부유성 오염물질이 지속적으로 증가하고 있다. 소류지의 수질처리 용량을 초과하는 강우 발생시 소류지 침전 퇴적물의 유출 현상이 발생하고 있으며 유출 오염물질은 주로 부유성 물질로 발생하고 있다. 조사대상 소류지는 농업용 저수지로 축조, 관리되어지는 관계로 집중호우기 이전에 소류지의 저수량을 최소로 할 필요가 있으나 이 시기가 농업용수 사용기와 맞물려 이에 대한 관리가 적절히 이루어지지 않고 있는 것으로 분석되었다. 소류지에 의한 축산계 비점오염물질의 적절한 관리를 위해서는 소류지의 저수용량 뿐 아니라 저수지의 수위 관리도 함께 이루어지는 것이 중요함을 알 수 있다(Moon DH et al., 2014, NIER, 2011).

4. 결 론

축산 지역 하류에 위치한 농업용 저수지의 강우시 유입, 유출수 분석을 통해 축산지역의 강우 유출 특성과 저류지에 의한 축산계 비점 오염물질의 저류형 시설에 의한 유출 저감 효율을 분석하였다.

축산 지역의 비점 오염물질 유출은 주로 초기세척현상에 의해 발생되고 있었으며 강우시의 유입수 농도는 비강우시에 비해 SS농도가 가장 높게 발생하고 있으며 T-P도 4배 이상, 총질소는 평균 30% 증가하는 것으로 나타났으며 질소항목으로 보면 질산성 질소는 거의 변화가 없는 반면에 암모니아성 질소가 2배 이상 증가하고 있다. 농업용 저수지에서 강우시의 유입수 농도는 비강우시에 비해 SS농도가 가장 높게 발생하고

있으며 T-P도 4배 이상 증가하는 양상을 보인다. 강우시 부유물질의 제거효율은 60%로 나타나고 있으며 총인은 22% 제거되어 비강우시에 비해 제거효율은 감소하고 있다. 저류형 시설을 이용한 농촌지역 비점오염 유출 삭감을 위해서는 저수지의 용량 뿐 아니라 집중 호우 발생 이전의 저수지 수문 관리 등 유지관리가 비점 제거효율에 더 크게 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

사 사

본 연구는 2017년~2018년에 진행된 금강수계관리위원회 "환경기초조사사업" 일환으로 수행되었습니다.

References

An, TW, Kim, TH, Oh, JM (2012), Analysis of First Flushing Effects and EMCs of Non-point Pollutants from Impervious Area during Rainfall, *J. of Korean Ecology and Environment*, 45(4), 459-473. [Korean Literature] [DOI: 10.11614 / KSL.2012.45.4.459]

Choi, IW and Kwon, SK (2002), Design Model of Constructed Wetlands for Water Quality Management of Non-point Source Pollution in Rural Watersheds, *J. of Korean Society of Agricultural Engineers*, 44(5), 96-105. [Korean Literature]

Choi, JY and Shin, ES (1997), Nonpoint Source Pollution Management Plan in Urban Area, Korea Environmental Institute. [Korean Literature]

Choi, JY, Lee, SY and Kim, LH (2009), Wash-off Characteristics of NPS Pollutants from Forest Land use,

- J. of Korean Society of Hazard Mitigation*, 9(4), 129–134. [Korean Literature]
- Choi, YH, Park, YS, Ryu, JC, Lee, DJ, Kim, YS, Choi, JD, and Lim, KJ (2014), Analysis of Baseflow Contribution to Stream flow at Several Flow Stations, *J. of Korean Society on Water Environment*, 30(4), pp. 441–451. [Korean Literature] [DOI: [10.15681 / KSWE.2014.30.4.441](https://doi.org/10.15681/KSWE.2014.30.4.441)]
- Chung Cheong Buk Do (2016), Performanc Evaluation of Water Pollutant Total Maximum Daily Load for Ok Cheon Gun. [Korean Literature]
- Hwang, JS, Park, YK and Won, CH (2012), Runoff Characteristics of Non-Point SOurce Pollution in Lower Reaches of Livestock Area, *J. of Korean Society of Environmental Engineers*, 34(8), 557–565. [Korean Literature] [DOI: [10.4491 / KSEE.2012.34.8.557](https://doi.org/10.4491/KSEE.2012.34.8.557)]
- Jeon, JC, Jung, JH, Kim, YS and Kim LH (2018), A Review of Research Trend Related to NPS and Suggestion for Research Direction in the Future, *J. of Wetlands Research*, 20(1), 80–93. [Korean Literature] [DOI: [10.17663/ JWR.2018.20.1.080](https://doi.org/10.17663/JWR.2018.20.1.080)]
- Jung, JP, Cha, GB and Kim, JK (1993), A Study on the Effect of Nonpoint Source Pollutants in a Rural Area, *Annual Environmental Report*, 3(1), 39–44. [Korean Literature]
- Kang, CG, Lee, SY, Cho, HJ, Lee, YH and Kim, LH (2011), Test-bed Evaluation of Developed Small Constructed Wetland for Using in Urban Areas, *J. of Korean Wetlands Society*, 13(3), 455–463. [Korean Literature]
- Kang, CG, Lee, SY, Marla, CM and Kim, LH (2010), Application of Free Water Surface Constructed Wetland for Treating the Agricultural Runoff, *J. of Environmental Impact Assessment*, 19(1), 83–89. [Korean Literature]
- Lee, SH, Kim, LH and Cho, HJ (2014), Analysis for Removal Efficiency of Non-point Pollution Sources by Constructed Wetlands, *J. of Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering*, 1(2), 102–108. [Korean Literature]
- Lim, JM., Lee, YS. and Han, GB. (2009), A study on the livestock resources regarding on the discharging characteristics from farm land, *J. of Organic Resources*, 17(4), pp. 91–102. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE) (1999), Planing Guidance of Total Maximum Daily Loads. [Korean Literature]
- Ministry of Environment(MOE) (2014), Manual of Non-Point Pollutants Removal Facilities Installation and Operation. [Korean Literature]
- Moon, DH, Lee, IK, Kim JT and Chang, SW(2014), Assesment of Efficiency for Constructed Wetlands to Reduced Non-Point Source Pollution, *J. of Korean Society of Hazard Mitigation*, 14(1), 333–339 [Korean Literature]
- National Institute of Environmental Research (2011), Estimation of implement result the 1st stage Total Maximum Daily Load in Gum River Basin, NIER, Incheon, Korea, pp.245–300. [Korean Literature]
- NIER (2010), Optimum Management Guideline of Nonpoint Pollution Source for TMDL. [Korean Literature]
- Schilling, K.E., Wolter, C.F. (2001), Contribution of Baseflow to Nonpoint Source Pollution Loads in an Agricultural Watershed, *Ground Water*, 39, pp. 49–58.
- Shin, Y.C., Lyou, C.W., Choi, Y.H., Lim, K.J. and Choi, J.D. (2006), Pollutant Load Characteristic by Baseflow in Small Agricultural Watershed, *J. of Korean Society on Water Quality*, 22(2), pp. 244–249 [Korean Literature]
- Son Young Gyu (2016), Analysis of Nonpoint Source Pollutants in Urban Stormwater Runoff, *J. of Wetlands Research*, 18, 1, 94–99 [Korean Literature] [DOI: [10.17663 / JWR.2016.18.1.094](https://doi.org/10.17663/JWR.2016.18.1.094)]
- Stevens, D.P., Cox, J.W. and Chittleborough, D.J. (1999), Pathways of phosphorus, nitrogen, and carbon movement over and through texturally differentiated soils, South Australia. *J. Soil Res.*, 37, 679–693.
- Tao Wang, Bo zhu (2011), Nitrate loss via overland flow and interflow from a sloped farmland in the hilly area of purple soil, China, *Nutrient Cycling in Agro ecosystems*, 90,3, 309–319.
- Wu, J. S., Allan, C. J., Saunders, W. L. and Evett, J. B. (1998), Characterization and pollutant loading estimation of highway runoff, *J. of Environmental Engineering*, 124(7), pp. 584–592. [DOI: [10.1061 / \(ASCE\) 0733-9372 \(1998\) 124:7\(584\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1998)124:7(584))]