

강우시 도시지역 비점오염물질의 하천 유입 산정

손영규[†]

국립금오공과대학교 환경공학과

Analysis of Nonpoint Source Pollutants in Urban Stormwater Runoff

Younggyu Son[†]

Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology

(Received: 06 January 2016, Revised: 05 February 2016, Accepted: 05 February 2016)

요약

최근 보다 높은 수준의 하천 수질 관리를 위해 비점오염물질 관리와 관련된 연구 및 사업이 지속적으로 수행되고 있다. 본 연구에서는 대규모 도시를 통과하는 도시하천의 수질관리방안 마련을 목적으로 본류와 연계된 5개 지천에 대한 강우시 비점오염물질 유출특성 분석을 수행하였다. 모니터링은 강우 전(Phase I), 강우 1시간 이후(Phase II), 강우 6시간 이후(Phase III)의 3단계로 수행되었으며, BOD, COD, TN, TP, SS 등의 수질항목과 유량이 측정되었다. 강우 시 5개 지천 모두에서 비점오염물질의 농도 및 유입부하량 증가가 확인되었으며, 상대적으로 우선 관리 대상 지천과 지천별 우선 관리 비점오염물질이 선정되었다. 해당 연구결과는 향후 도심지역 비점오염물질 모니터링 방안 및 점검시설 설치 등을 위한 기초 자료로 활용될 예정이다.

핵심용어 : 비점오염물질, 도시하천, 지천, 유량, 유입부하량

Abstract

Non-point source control has been issued and intensively studied for the control of water quality in streams and rivers. In this study, non-point source pollutants monitoring was conducted at the end of five small streams which were connected to a main stream in three stages including Phase I (one hr before the rainfall), Phase II (one hr after the rainfall), and Phase III (six hrs after the rainfall). For all five small streams, the concentrations and loading rates of non-point source pollutants significantly increased due to the rainfall. As a result of this, priority control streams and priority pollutants were suggested to prepare for future plans of the non-point source control.

Key words : Non-point source pollutants, Urban streams, Small streams, Flow rates, Loading rates

1. 서 론

하천 등의 수질관리를 위해 기존에 집중적으로 수행한 점오염원 중심의 수질개선사업은 더 이상 수질개선에 크게 기여하지 못하는 것으로 판단되고 있다. 반면 도시화, 산업화, 기후변화 등으로 인하여 비점오염물질의 유출이 크게 증대되고 있는데, 2010년 하천오염 부하율 중 BOD 기준 약 68%가 비점오염물질에 기인하는 것으로 확인되고 있으며 2020년에는 약 72%에 이를 것으로 전망하고 있다. 이에 2012년 국무총리실 등의 8개 관계부처는 합동으로 “제2차 비점오염원관리 종합대책”을 발표하였는데, 2004~2011년 동안의 비점오염원관리 추진결과를 분석하고, 향후 2012~2020년까지의 세부 추진계획을 포함하고 있다 (Collaboration with Relevant Government Ministries, 2012).

제1차 종합대책의 분야별 현황 중 “도시분야”를 살펴보면 도시지역의 고밀도화, 불투수 면적 증가 등으로 인하여 하천 유입 비점오염물질의 상당 부분이 도시지역에서 발생하는 것으로 분석되었는데, 사업자, 지자체 등의 인식부족, 사전 예방차원이 아닌 사후 처리 중심의 관리가 이루어지는 등의 문제점이 지적되었다. 제2차 종합대책에서는 이를 개선하기 위하여 “저영향 개발(Low impact development, LID)기법 적용 확대”, “비점오염저감형 그린빗물인프라 (Green Stormwater Infra) 구축”, “하수처리시설 설치 확대 등을 통한 초기우수 처리강화” 등을 주요 대책으로 내세우고 있다.

도시하천의 비점오염물질 유입에 따른 수질 오염 분석을 위해서는 지역 특성, 토지 이용 현황, 강우 특성, 수자원 이용 현황 등 다양한 조건들을 고려해야 하며, 많은 국내외 연구자들에 의해 지속적으로 연구가 진행되고 있다. 그러나 이러한 여러 영향인자를 종합적으로 분석하여 일반화할 수 있는 단계에는 아직 도달하지 못한 것으로 판단되며, 지역 상황을 고려한, 보다 체계적이고 세분화된 조사 및 연구가 광범위하게 이루어져야 할 것이다.

[†] To whom correspondence should be addressed.
Department of Environmental Engineering, Kumoh National Institute of Technology
E-mail: yson@kumoh.ac.kr

기존의 도시지역 비점오염원 및 하천수질과 연관된 연구 성과를 살펴보면, Jang and Park(2005)은 대구시 도시하천인 달서천과 대명천을 대상으로 비점오염물질 유출을 조사하여 강우사상에 따른 강우량과 침투유량의 상관관계, BOD, COD, SS, TN, TP 등의 유출특성, 강우와 하천부하량의 상관관계 등을 확인하였다. Jung and Kim(2012)은 산업단지를 포함한 도시지역의 강우유출수 발생 특성을 다양한 강우사상에 대해 연구하였으며, Mercado et al.(2012)은 도로 및 주차장 등의 도시화된 토지이용에서의 강우유출수 유출특성을 장기간 모니터링하여 포장지역 원단위 산정을 위한 기초자료를 제공하였다. Cho and Lee(2013)은 울산광역시 5개 도시하천을 대상으로 유지용수 공급방법과 그에 따른 생태복원 정도를 평가하여 양질의 유지용수의 지속적 공급이 하천 수질을 크게 개선할 수 있음을 보고하였다. Koo et al.(2014)은 LID 기법 개발의 일환으로 투수성 포장에 의한 비점오염물질의 유출 저감 효과를 평가하고, 인도 및 주차장 등과 비교하여 BOD, TP, TN, TSS의 유출농도가 크게 감소하는 것을 확인하였다. Yin et al.(2015)은 대덕테크노밸리 지역을 통과하는 관평천을 대상으로 초기 강우 처리 및 저류 시설 종합관리 시스템 개발 연구를 수행하여 향후 초기우수 처리시설 운영에 대한 기초 자료를 제공하였다. 또한 도시 내 녹지공간, 조경공간을 이용하여 비점오염물질을 효과적으로 저감시킬 수 있는 소규모 인공습지 개발 연구도 활발하게 진행되어

기초 설계자료 및 운영 결과가 제공되기도 하였다(Kang et al., 2011; Lee et al., 2011).

본 연구에서는 울산광역시의 국가하천인 태화강의 수질관리를 목적으로 도시 하천인 천상천, 구영천, 굴화천, 무거천, 명정천 등 5개 지천에서의 강우시 비점오염물질 유출 정도를 평가하였다. 현장 조사는 강우 전, 강우 1시간 이내, 강우 6시간 이후로 나누어 수행하였으며, 유량과 BOD, COD, TN, TP, SS 등의 수질항목을 측정하여 오염물질 농도 및 유입부하량 등을 분석하였다. 향후 본 연구결과는 울산광역시 태화강 수질관리 정책 마련과 비점오염원 모니터링 및 저감시설 설치 등을 위한 기초자료로 활용될 예정이다.

2. 연구방법

2.1 연구 대상 지역

강우시 비점오염물질의 울산광역시 태화강으로의 유입 특성을 분석하기 위해 Fig.1과 같이 태화강으로 유입되는 지천 5개를 대상으로 각 지천의 태화강 유입부에서 모니터링을 실시하였다. 대상 지천은 태화강 상류부터 천상천, 구영천, 굴화천, 무거천, 명정천이며, 5개 하천 모두 도심지역을 지나는 하천으로 강우 시 도심지역의 비점오염물질이 다량 유입될 것으로 예상되었다.



(a) Taehwa river basin in Ulsan metropolitan city



(b) Cheonsangcheon

(c) Guyeongcheon

(d) Gulhwacheon

(e) Mugeocheon

(f) Myeongjeongcheon

Fig. 1. Locations of non-point source pollutants monitoring in Taehwa river

천상천, 무거천 및 명정천의 경우 도심지역을 통과하는 하천이며, 구영천은 농촌지역과 도심지역을 통과하는 하천이었다. 또한 굴화천의 경우 하천이 통과하는 지역이 현재 개발이 활발하게 진행 중인 것으로 확인되었다.

2.2 강수량 분석

비점오염원 모니터링은 2014년 10월 12일에서 13일까지 2일에 걸쳐 이루어졌으며, 선행 무강우일수는 7일로 확인되었다. 강우는 12일 20시에서 다음날인 13일 21시까지 진행되었고, 해당 기간 동안의 시간대별 강수량은 기상청의 일기상통계표를 이용하여 확인하였다. 유량 측정 및 수질분석을 위한 시료 채취는 Phase I (강우 시작 1시간 전, 12일 18시), Phase II (강우 시작 1시간 이후, 12일 21시), Phase III (강우 시작 6시간 이후, 22일 2시)의 3 단계로 구분하여 5개 지점에서 동시에 수행하였다. 총 강수량은 12일과 13일에 각각 1.6 mm와 49.5 mm 였으며, Phase II와 III 시점까지의 누적 강수량은 각각 0.0 mm 및 8.3 mm로 확인되었다.

2.3 유량 측정 및 수질 시료 분석

5개 비점오염원 모니터링 지점에서 각 단계별로 유량 측정 및 수질 시료 채취가 이루어졌다. 유량은 각 지천의 태화강으로의 유입부 하천 단면 및 각 단계별 유속을 고려하여 산정하였고, 수질 분석을 위하여 채취된 시료는 BOD₅, CODMn, TN, TP, SS 등의 수질항목을 분석하였다. 시료의 채취방법, 채취시료의 보존, 현장측정, 시험방법은 환경부의 “수질오염공정시험기준”에 준하여 수행되었다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 강우시 하천 수질 평가

태화강과 연결된 5개 지천(천상천, 구영천, 굴화천, 무거천, 명정천)의 끝 부분(태화강 본류 유입부) 지점에서 비점오염물질 유출 특성 분석을 위해 강우 시작 전(Phase I), 강우 시작 1시간 이후(Phase II), 강우 시작 6시간 이후(Phase III)로 구분하여 유량 및 수질에 대한 모니터링을 수행하였다. 수질 측정 결과인 BOD, COD, TN, TP, SS 등의 농도를 각 지천별로 Fig. 2에 나타내었다. 비교를 쉽게 하기 위하여 굴화천을 제외하고는 y축의 크기를 일치시켰으며, 천상천의 경우 Phase I에서 시료를 채취하지 못하여 수질 분석이 수행되지 못하였다.

비점오염물질의 유출특성을 보다 잘 이해하기 위해서는 강우 지속시간 동안 유출된 전체 오염물질의 누적량과 전체 유출유량의 누적량을 같이 고려한 유량가중 평균농도(EMCs)를 이용해야 한다 (Gang et al., 2011; Ahn et al., 2013). 그러나 본 연구에서는 여러 지천의 비점오염원에 의한 영향을 간략하게 살펴보기 위한 초기 단계의 연구수행을 목적으로 하고 있어 부득이하게 강우 시 2회의 모니터링 결과를 일반 수질 농도로 나타내어 비교 분석하였다.

전체적으로 5개 지천 모두 강우 전과 비교하여 오염물질의 농도가 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었는데, 특히 SS 항목이 강우로 인한 증가가 가장 큰 것으로 나타났다. 기존의 도시지역 불투수층 유역을 대상으로 한 연구에서도 대부분의 경우 TSS 항목이 가장 높은 농도 변화를 나타낸 것으로 보고되었다 (Koo et al., 2014; Kim and Kang, 2004; Ahn et al., 2013). 5개

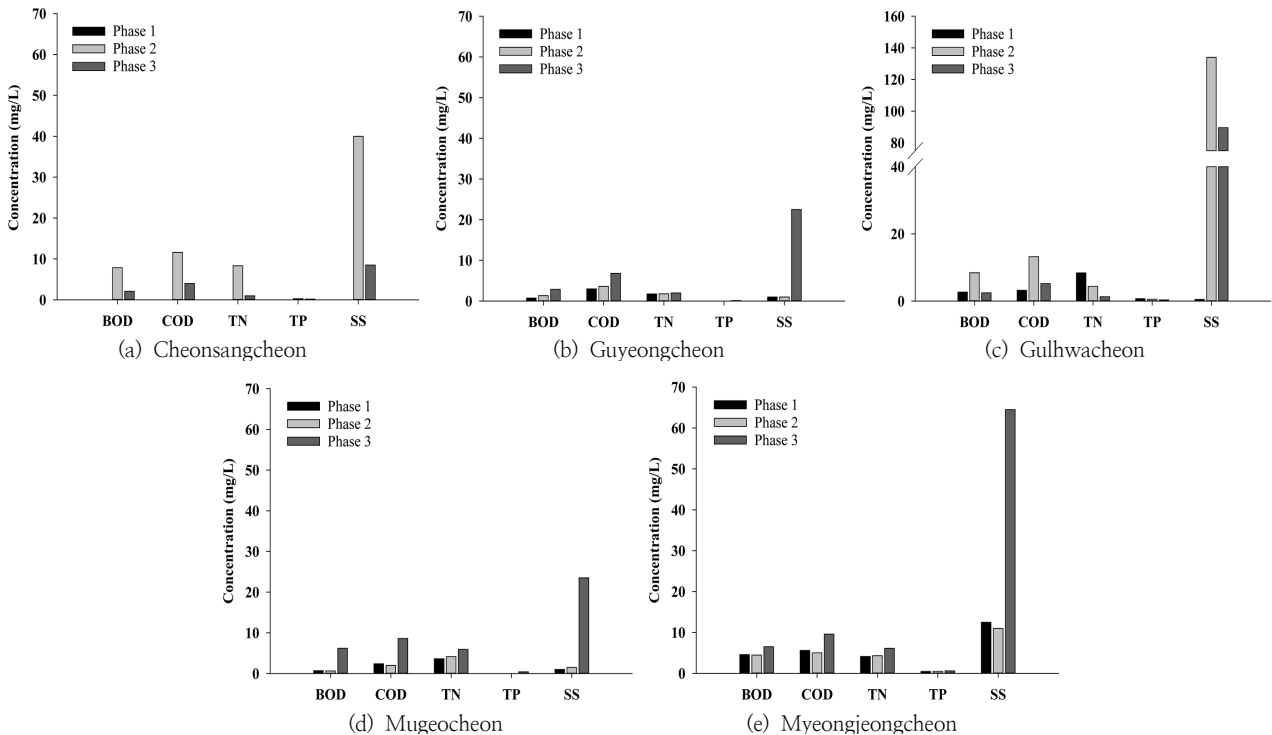


Fig. 2. The concentrations of aqueous pollutants at the end of the five small streams (Phase 1: one hr before the rain fall; Phase 2: one hr after the rain fall; Phase 3: six hrs after the rain fall)

지천 중 SS 항목이 가장 높게 확인된 지천은 굴화천이었는데, 이는 굴화천이 통과하는 지역이 현재 다양한 개발사업이 진행되기 때문인 것으로 판단되었다.

BOD, COD, TN 등의 항목에서도 강우로 인한 뚜렷한 증가를 확인할 수 있었으나 TP의 경우 강우 전후의 농도 증가가 크지 않거나 오히려 늘어난 유량으로 인해 희석되어 감소하는 경향을 나타내었다 (천상천(0.27 → 0.16 mg/L), 구영천(0.03 → 0.02 → 0.14 mg/L), 굴화천(0.70 → 0.53 → 0.32 mg/L), 무거천(0.08 → 0.07 → 0.42 mg/L), 명정천(0.47 → 0.46 → 0.61 mg/L)). 이를 통해 해당 지역에서 인 계열 비점오염물질의 유입이 거의 없거나 혹은 유입이 된다 하더라도 기존 수질 오염도 대비 그 효과가 상대적으로 적은 것을 알 수 있었다. 굴화천과 명정천의 경우 강우 전 수질이 TP 기준으로 이미 매우 악화된 상황으로 환경부 “하천의 생활환경기준”에 의하면 각각 VI 및 V 등급으로 확인되었다.

강우로 인한 오염물질의 농도 변화가 구영천, 무거천, 명정천에 대하여 Phase II와 Phase III에서 지속적으로 증가 추세를 나타내었으나 천상천, 굴화천에서는 Phase II에서 Phase III 동안 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 지천 주변 유역 특성 및 유달시간 차이 때문인 것으로 추측되며,

구영천, 무거천, 명정천의 경우 오염물질의 영향이 높다고 알려져 있는 초기 강우 효과가 비교적 장시간동안 유지될 것으로 판단되며 천상천, 굴화천의 경우 초기 강우 효과가 비교적 짧은 시간 이내에 끝날 것으로 고려되었다 (Ahn et al., 2013). 이에 대한 보다 자세한 분석을 위해서는 지천별 유역 분석과 다양한 강우 사상에 대한 강우 유출수 및 비점오염물질 모니터링이 필요할 것이다.

3.2 유입부하량 비교분석

지점 및 시간에 따라 강우 유출수 유량의 차이가 크게 다른 것으로 확인되었으므로 태화강 분류로의 비점오염물질의 영향을 평가하기 위해서는 각 오염물질 항목의 농도 비교보다 유량 특성을 농도 특성과 같이 고려한 유입 부하량 비교가 더 타당할 것으로 판단되었다. 이를 위해 각 모니터링 단계별로 수질시료를 취한 지점과 동일한 지천 끝단(태화강 분류 유입부)에서 유량을 측정하여 Table 1에 정리하였다. 이를 앞에서의 각 오염물질별 농도와 같이 고려하여 비점오염물질 유입부하량을 산정하였으며 이를 Fig. 3에 나타내었다.

비강우시 유량이 가장 높은 지천은 무거천이며 타 하천과 유량 차이가 크게 확인되었다. 그러나 강우 후 유량은 천상

Table 1. Flow rates at the end of the five small streams

	Cheonsangcheon	Guyeongcheon	Gulhwacheon	Mugeocheon	Myeongjeongcheon
Phase I		0.007 cms	0.010 cms	0.161 cms	0.020 cms
Phase II	0.011 cms	0.012 cms	0.153 cms	0.170 cms	0.045 cms
Phase III	0.064 cms	0.228 cms	0.390 cms	0.377 cms	0.315 cms

※ Phase 1: one hr before the rain fall; Phase 2: one hr after the rain fall; Phase 3: six hrs after the rain fall

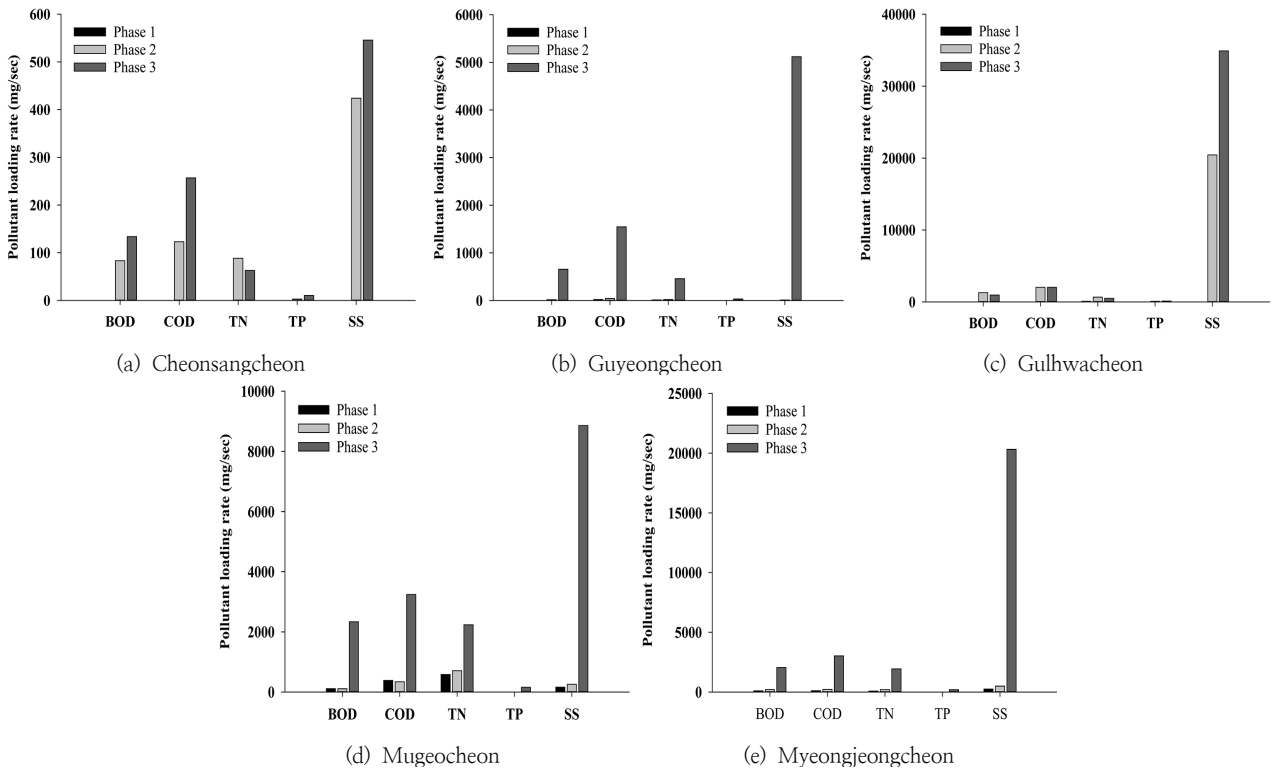


Fig. 3. The loading rates of aqueous pollutants at the end of the five small streams (Phase 1: one hr before the rain fall; Phase 2: one hr after the rain fall; Phase 3: six hrs after the rain fall)

천을 제외하고는 Phase II와 Phase III에 걸쳐 모두 0.2 ~ 0.4 cms 수준으로 측정되었다. 강우로 인한 Phase I에서 Phase II, Phase II에서 Phase III의 유량 증가분은 각각 천상천: 606%, 구영천: 171% / 1,928%, 굴화천: 1,605% / 256%, 무거천: 106% / 222%, 명정천: 225% / 700%으로 수준이었다.

오염물질의 농도 및 하천의 유량을 동시에 고려한 유입부하량을 비교 분석한 결과, 가장 높은 오염물질 농도가 유역별로 Phase II와 Phase III로 구분되어 나타난 것과는 다르게 대부분의 경우(굴화천의 BOD, TN 및 천상천 TN 항목 제외)에 Phase III인 강우 6시간 이후 유입부하량이 가장 높게 나타났다. 이는 각 지천의 유량이 강우가 지속됨에 따라 지속적으로 증가하기 때문인 것으로 판단되었다. 비점오염물질 항목별로 살펴보면 BOD의 경우 무거천(2,334.9 mg/sec @ Phase III), 명정천(2,051.8 mg/sec @ Phase III), 굴화천(1,286.4 mg/sec @ Phase II)으로 확인되었고, COD의 경우 무거천(3,242.2 mg/sec @ Phase III), 명정천(3,024.0 mg/sec @ Phase III), 굴화천(2,013.0 mg/sec @ Phase II; 2,028.0 mg/sec @ Phase III), 구영천(1,547.0 mg/sec @ Phase)의 순으로 확인되었다. TN의 경우 무거천(2,234.9 mg/sec @ Phase III), 명정천(1,935.4 mg/sec @ Phase III), 굴화천(662.5 mg/sec @ Phase II; 496.1 mg/sec @ Phase III), 구영천(457.5 mg/sec @ Phase III)으로 산정되었으며, TP의 경우 명정천(193.6 mg/sec @ Phase III), 무거천(158.0 mg/sec @ Phase III), 굴화천(123.6 mg/sec @ Phase III)으로 나타났다. 가장 높은 유입부하량을 나타낸 SS 항목의 경우 굴화천(20,435.0 mg/sec @ Phase II; 34,905.0 mg/sec @ Phase III), 명정천(20,317.5 mg/sec @ Phase III), 무거천(8,859.5 mg/sec @ Phase III), 구영천(5,118.8 mg/sec @ Phase III)으로 확인되었다.

BOD, COD, TN, TP 항목의 경우 무거천과 명정천에서 가장 높은 오염물질 유입 부하량이 산정되었는데, 이는 비교적 높은 오염물질 농도와 높은 유량 때문인 것으로 판단되었다. 천상천의 경우 가장 낮은 유입 부하량 수준을 나타내었는데, 이는 전반적으로 유량이 다른 지천들과 비교하여 낮은 수준이었으며, 또한 유량이 상대적으로 낮은 Phase II에서 가장 높은 오염물질 농도가 확인되었기 때문인 것으로 고려되었다. SS를 제외한 오염물질 항목은 무거천과 명정천에서 가장 높았으나 SS 항목은 굴화천이 가장 높은 수준으로 Phase II에서 Phase III까지 유지가 되는 것을 확인하였다. 이러한 경우 SS 자체에 의한 탁도 문제가 우선적으로 제기될 수 있으나, 장기적으로는 수질분석에서 확인되지 않는 SS에 흡착되어 있는 유무기 오염물질이 향후 하천으로 유입되어 도심하천 퇴적물로 존재하며 잠재적인 오염물질원으로 작용할 가능성 역시 고려될 수 있다 (Hecky et al., 1993; Han et al., 2005).

3.3 비점오염 관리방안 제시

이상의 비점오염물질 분석 결과, 강우시 무거천, 명정천,

굴화천 등에서의 오염물질 유입이 상대적으로 높은 것으로 확인되었으며, 이를 제어하기 위해서는 해당 지천 유역을 대상으로 한 비점오염 관리 방안 마련 및 저감시설 설치가 요구된다. 해당 지역은 도심지역으로 기존의 관련 연구에서 제안된 도심 내 조정공간을 활용한 소규모 인공습지 조성, 투수성 포장 확대를 통한 불투수지역 면적 감소, 주차장 주변 지역의 저감시설 설치, 주기적인 도로 청소 및 사업장 자재 관리 등을 통한 비점오염물질 발생 최소화 등의 방안을 적용할 수 있다 (Kang et al., 2011; Lee et al., 2011; Ku et al., 2014; Yu et al., 2015; Jung et al., 2011).

저감시설을 설치하는 경우 대상 비점오염물질 및 용량 산정이 중요한 변수로 작용할 수 있는데, 무거천과 명정천의 경우 SS와 함께 BOD, COD, TN 등을 동시에 제거할 수 있는 기능이 필요하며, 굴화천의 경우 SS 제거를 최우선적으로 고려해야 할 것이다. 용량 산정의 경우 무거천과 같이 강우시 유량이 비강우시 유량과 비교하여 크게 증가하지 않는 경우도 있으나 명정천, 굴화천, 구영천과 같이 강우시 일시적으로 비강우시보다 10배 이상의 큰 유량을 처리해야 하는 경우 역시 고려해야 한다. 이상의 방안을 보다 구체적으로 적용하기 위해서는 비점오염 관련 모니터링을 보다 세부적이며 주기적으로 수행해야 하며, 대상 지역 시민들에게도 비점오염 관리의 중요성을 지속적으로 홍보해야 할 것이다.

4. 결 론

도심 하천의 수질관리를 위한 목적으로 분류인 태화강과 연결된 5개 지천(천상천, 구영천, 굴화천, 무거천, 명정천)의 끝 지점(변류 유입부)에서 강우시 비점오염물질 유입 특성을 모니터링 하였다. 모니터링은 강우 전(Phase I), 강우 1시간 이후(Phase II), 강우 6시간 이후(Phase III)의 3 단계로 수행되었으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 강우 전과 비교하여 5개 지천 모두 오염물질의 농도가 크게 증가하였고, 특히 SS 항목의 증가가 가장 큰 것으로 확인되었다. 그러나 인 계열 오염물질의 유입은 상대적으로 거의 없거나 비강우시 하천 수질과 비교하여 무시할 수 있는 수준이었다.

2) 유량을 고려한 유입부하량 산정 결과, 무거천과 명정천에서 BOD, COD, TN, TP 항목에 대한 높은 수준의 오염물질 유입부하량을 확인하였으며, SS의 경우 굴화천에서 가장 높은 수준이 관측되었다. SS에 흡착되어 있는 유무기 오염물질로 인해 높은 SS 부하량은 분류 하천 바닥에 쌓여 퇴적물로 잠재적인 오염물질원으로 작용할 가능성이 제기되었다.

3) 도심지역인 대상지역에 적합한 인공습지 조성, 투수성 포장 적용, 주기적인 도로 청소 등의 다양한 비점오염 관리 방안이 제시되었으나 보다 구체적인 관리방안 마련을 위해서는 세부적이며 주기적인 비점오염 모니터링사업 수행이 요구되었다.

사 사

본 연구는 환경부의 토양지하수 오염방지 기술개발사업에서 지원받았습니다(No. Q1509291).

References

- Ahn, TU, Bum, BS, Kim, TH, Choi, IS, and Oh, JM (2013). An analysis of first flush phenomenon of non-point source pollution during rainfall-runoff events from impervious area, *J. of Korean Society of Environmental Engineering*, 35(9), pp. 643-653. [Korean literature]
- Cho, HJ and Lee, SJ (2013). An ecological restoration of urban streams by supplying maintenance water, *J. of Wetlands Research*, 15(3), pp. 317-328. [Korean literature]
- Collaboration with Relevant Government Ministries (2012). *The Second Stage (2012-2020) Master plan of Non-point Source Pollution management*. [Korean literature]
- Han, KW, Son, JK, Cho, JY, Kim, HK, and Hwang, SA (2005). Phosphorus fractionations in sediment of mankyung and donjin river, *Korean J. of Environmental Agriculture*, 24(4), pp. 319-325. [Korean literature]
- Hecky, RE, Campbell, P, and Hendzel, LL (1993). The stoichiometry of carbon, nitrogen, and phosphorous in particulate matter of lakes and oceans, *Limnology and Oceanography*, 38(4), pp. 709-724.
- Jang, SH and Park, JS (2005). A study on the runoff characteristics of non-point Source in urban watershed, *J. of the Environmental Sciences*, 14(12), pp. 1171-1176. [Korean literature]
- Jung, Y and Kim S (2012). Characteristics of stormwater runoff from urban areas with industrial complex, *J. of Wetlands Research*, 14(1), pp. 131-137. [Korean literature]
- Kang, C, Maniquiz, MC, Son, Y, Cho, HJ, and Kim L (2011). Development of small constructed wetland for urban and roadside areas, *J. of Wetlands Research*, 13(2), pp. 231-242. [Korean literature]
- Ku, YM, Kim, YD, and Park, JH (2014). Analysis of non-point pollution source reduction by permeable pavement, *J. of Korea Water Resources Association*, 47(1), pp. 49-62. [Korean literature]
- Kwon, J, Kand, HM, and Ko SO (2011). Characterization of collected sediments from road sweeping and reduction in the nonpoint source pollutants loading, *J. of the Korean Society of Road Engineers*, 13(2), pp. 187-193. [Korean literature]
- Lee, JY, Kand, CG, Gorme, JB, Kim, SS, and Kim, LH (2011). Development of small HSSF constructed wetland for urban green space, *J. of Wetlands Research*, 13(2), pp. 199-208. [Korean literature]
- Mercado, JMR, Geronimo, FKF, Choi, J, Song YS, and Kim LH (2012). Characteristics of stormwater runoff from urbanized areas, *J. of Wetlands Research*, 14(2), pp. 159-168. [Korean literature]
- Yin, Z, Koo, Y, Lee, E, and Seo, D (2015). Development of integrated management system of stormwater retention and treatment in waterside land for urban stream environment, *J. of Korean Society of Environmental Engineering*, 37(2), pp. 126-135. [Korean literature]
- Yu, G, Choi, J, Hong, J, Moon, S, and Kim LH (2015). Development and evaluation of bioretention treating stormwater runoff from a parking lot, *J. of Wetlands Research*, 17(3), pp. 221-227. [Korean literature]