강우시 중·소 도시지역의 토지이용형태에 따른 비점오염원의 유출특성

오종민*, ○박재영**

1. 서 론

우리나라는 1960년대 초부터 급격한 경제성장을 이룩한 반면 도시화 및 산업활동에 의하여 환경오염 문제가 사회적 문제로 대두되었다. 수질오염원은 비점오염원에 의해 시작되었으며, 산업화와 도시화에 따른 인구집중현상으로 인해 점오염원이 발생하게 되었다. 수질오염원은 수계로부터 유입되는 오염물질량과 유입유량에 의해 결정되며, 유입오염물질량은 유역으로부터 배출되는 오염물질량과 유하과정에서 생물학적 및 물리화학적 작용에 의한 오염물질 자정작용에 의해 결정된다. 따라서 수질관리를 효율적으로 시행하기 위해서는 오염물질량을 통제할 필요가 있다.

인위적인 관리가 비교적 쉬운 점오염원은 현재 환경정책에 중점을 두고 시행하고 있으나, 관리가 어려운 비점오염원에 대해서는 구체적인 노력과 실천이 미비한 실정이다. 효율적인 수질관리를 위해서는 점오염뿐만 아니라 비점오염원에 대한 관리가 병행되어야만 목표수질을 달성할 수 있을 것으로 사료된다. 특히 단위면적당 인구밀도가 좁은 대도시주변 위성도시에서는 토지이용도가 증가됨에 따라 비점오염원이 수계에 미치는 영향은 점점 증대되어 가고 있다. 이와 같이 증대되는 비점오염원을 적정관리 하지 않고서는 수계환경의 개선 및 수질환경기준을 달성하기가 매우 어려운 실정이다.

본 연구에서는 수도권에 위치한 경기도 용인시 기흥읍 신갈지역의 신갈호 및 신갈천의 수질을 개선시키기 위해서 비점오염원의 파악, 개별부하량 및 총오염부하량을 산정하여 수계관리를 위한 기초자료를 제공하고, 효율적인 오염원관리를 통한 쾌적한 수계환경을 마련하고자 한다.

2. 조사지점 및 방법

본 연구의 조사지점은 경기도 용인시 기흥읍 신갈지역에 위치하고 있으며, 이 지역을 가로질러 흐르는 신갈천(오산천)과 농업용수로 사용되는 신갈호로 도시하수가 유입되는 전형적인 도시 수계환경을 형성하고 있는 지역이다. 수계로 유입되는 부하의 경로를 보면, 점오염원의 대부분과 강우시 도시지역의 지붕이나 도로 등에 쌓여 있던 오염물질이 하천과 호수로 유출된다.

---

* 경희대학교 환경학과 교수
** 경희대학교 환경학과 대학원 석사과정

본 연구에서 설정된 조사지점을 살펴보면, 도시지역의 토지이용방법 중 대부분을 차지하는 도로, 지붕에서 시료를 채취하였으며, 강우부하에 대한 영향을 고려하기 위하여 직접강우를 채취하여 분석하였다.

강우초기에 많은 오염물질이 유출되므로 채취 시간 간격을 10~20분으로 짧게 하고, 시간이 경과할수록 1~2시간 간격으로 길게 하여 강우가 끝날 때까지 지붕과 도로에서 강우에 의한 노면퇴적 유출물을 채취하였고, 총 오염부하량을 산정하기 위하여 강우시와 비강우시로 나누어 하수구(SW1, SW2, SW3지점)에서 시료를 채취하였다(그림 1).

정확한 조사지점을 그림 1에 제시하였다. 본 조사지역의 하수관거는 합류식으로 이루어져 있으며, 사람과 차량에 의한 영향을 알아보기 위해 기흥읍사무소 지붕과 차량과 사람의 통행이 빈번하고 하부로는 신갈천이 지나는 상갈교 다리 밑에서 강우시 시료를 채취하였다.

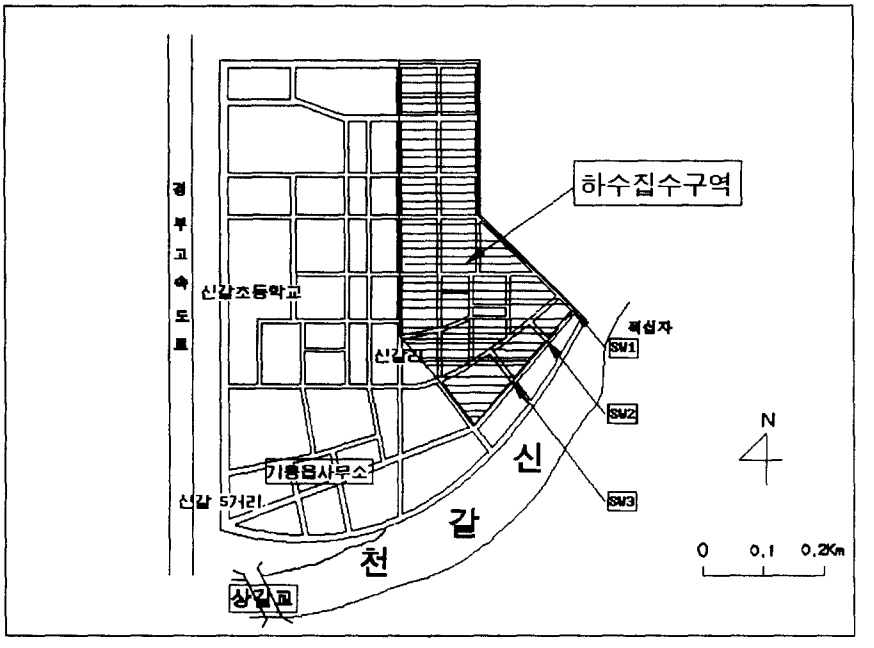

그림1. 조사지점

현장에서는 유량 및 pH, EC, DO 등을 측정하고 채취된 시료는 폴리에틸렌 2L병에 담아 실험실로 운반하여 냉동 보관하였다. 분석항목은 SS, BOD, CODcr, NO_2-N, NO_3-N, TKN, TP를 분석하였으며, 분석방법은 수질공정실험법과 Standard Methods에 준하여 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

비점오염원은 강우에 크게 영향을 받으므로 시료 채취한 날에 내린 강우량과 무강우일수, 강우강도 등을 표 1에 나타내었다.

표 1. 시료채취일과 강우량

채 취 일	무강우일수(day)	선행강우량(mm)	강우지속시간(hour)	강우량(mm)
97. 5.12	4	5	9	48
8.21	2	2	3	5
10.13	6	1	3	8
10.18	5	8	6	21

자료 : 용인시 기흥읍사무소('97) 통계연감

3.1 도시지역에서 강우시 토지이용형태에 따른 유출특성

3.1.1 도로에서의 유출특성

강우개시후 약 10.8시간까지 내린 강우량이 66 mm였던 도로에서 유출특성을 그림 2에서 살펴보면, 도로에서 유출된 평균 유량은 0.146 L/sec를 나타냈으며, 강우개시 5.2시간후에 가장 높은 0.353 L/sec의 유량을 나타냈다. 강우시 유출되는 부유물질(이하 SS)의 평균농도는 680 mg/l을 보였고, 강우개시 0.7시간후에 1,958 mg/l로 가장 높은 농도로 조사되어 강우초기에 상당한 농도의 SS가 유출되는 것을 알 수 있었다.

화학적 산소요구량(이하 COD)은 강우초기에 가장 높은 1,645 mg/l를 나타냈고, 시간이 지날수록 농도가 감소한 것으로 나타났다. 호수의 부영양화에 영향을 미치는 것으로 알려진 질소(T-N)와 인(T-P)의 평균 농도는 각각 2.33 mg/l, 1.61 mg/l로 조사되었으며, T-N은 강우초기에 가장 높은 3.84 mg/l로 가장 높은 농도를 나타냈으며, T-P는 강우개시 1시간후에 3.00mg/l로 높은 농도로 조사되었다.

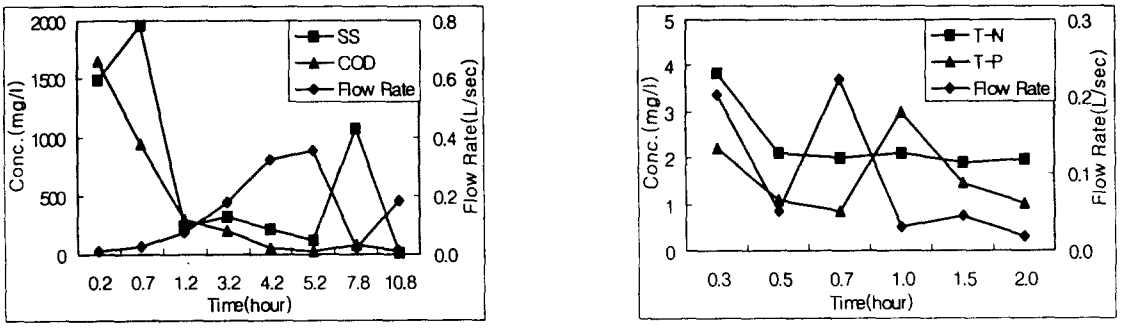

그림 2. 강우시 도로에서 유출 변화

3.1.2 지붕에서의 유출특성

지붕에서의 유출특성을 그림 3에서 살펴보면, 유출된 SS와 COD평균농도는 각각 31, 60 mg/l로 측정되어 도로에서 유출된 SS와 COD농도에 각각 1/22, 1/6.8에 해당되는 것으로 조사되었다. 이것은 노면 퇴적물의 양에 영향을 주는 사람 그리고 차량에 의해 많은 영향이 도로에서 다량 미치는 것으로 사료된다. T-N, T-P의 평균농도는 각각 2.34mg/l, 0.431mg/l로 질소는 도로에서 유

출된 농도와 비슷하게 나타나 사람과 차량에 의한 영향이 그다지 크지 않고 강우에 의한 영향이 주로 미치는 것으로 나타났다.

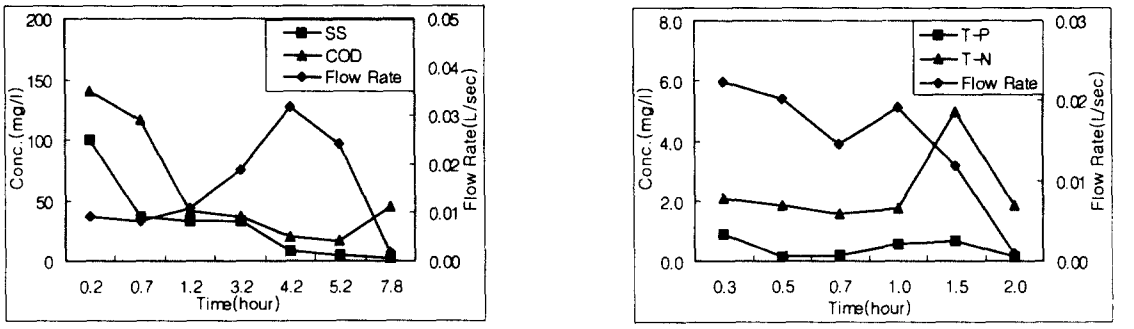

그림 3. 강우시 지붕에서 유출 변화

3.1.3 하수구에서 유출특성

하수구의 유출특성을 그림 4에서 살펴보면, SS와 COD의 평균농도는 각각 182, 155 mg/l로 지붕보다는 높고 도로보다는 SS와 COD가 각각 4.5배, 2.6배가량 낮게 나타나 가정하수에 의한 희석작용과 지붕이나 나무등 비교적 퇴적물의 양과 오염물의 농도가 낮은 지역을 통해 유출된 강우의 상당한 양이 하수구로 유입되는 것으로 생각된다. T-N과 T-P의 평균농도는 각각 9.09 mg/l, 0.43mg/l로 조사되어, 이때 강우의 T-N, T-P의 농도가 각각 1.5, 0.167mg/l을 보여 가정하수가 차지하는 T-N, T-P비율이 높은 것을 알 수 있었다.

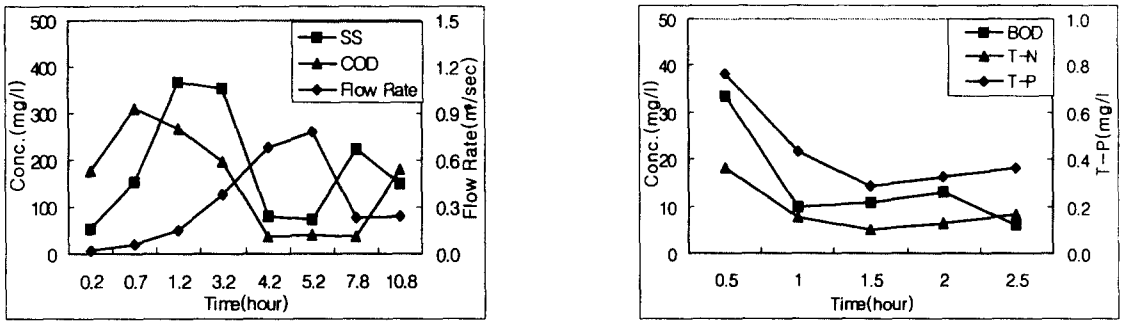

그림 4. 강우시 하수의 유출 변화

3.2 토지이용형태에 따른 개별 부하량

강우시 유출되는 비점오염원의 개별부하량은 토지이용형태에 따라 다르고 강우량, 무강우일수, 노면이나 지붕, 건설현장 등에 따라 차이가 있기 때문에 부하량을 산정하기란 매우 힘들다. 다음 표 3은 강우시 3회에 걸쳐 채취한 도로와 지붕 그리고 강우의 개별 부하량을 나타내었다.

5월 12일 강우시 도로노면을 통해 유출된 SS부하량은 지붕에 비해 259배정도 높게 나타난 것은 비강우시 도로노면에 쌓여 있는 퇴적물을 육안으로 관측하였을 때도 매우 많았으며, SS부하량은 지붕보다는 절대적으로 도로에서 이들에 의한 영향이 많기 때문으로 사료된다. 토지이용형태

중 지붕보다는 대체로 도로에서 매우 많은 오염부하량이 발생되는 것으로 조사되어 강우시 비점오염부하량을 줄이기 위한 방안으로 도로노면에 쌓여 있는 퇴적물을 정기적으로 청소하여 제거한다면 상당한 양의 오염부하량을 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

표 3. 토지이용형태별 개별 부하량 단위 : g/hour-m^2

토지이용형태 \ 항목		강우지속 시간(hour)	집수면적 (m^2)	SS	COD	TKN	T-N	T-P
도로	5월 12일	10.8	79.218	15.022	0.749	0.014	-	0.0069
	8월 21일	2		2.486	0.280	-	0.012	0.0090
	10월 18일	2.17		2.741	1.245	-	0.018	0.0056
지붕	5월 12일	7.8	23.005	0.058	0.101	0.004	-	0.0002
	8월 21일	2		0.022	0.062	-	0.005	0.0012
강우	5월 12일	10.8		0.017	0.136	0.008	-	0.0006
	8월 21일	2		-	-	0.004	-	0.0006
	10월 18일	2.17		0.139	0.265	-	0.003	0.0013

- : no data

표 4. 하수에서 발생한 오염부하량 단위 : g/hour-m^2

시료 채취일 \ 항목	강우지속 시간(hour)	SS	BOD	COD	TKN	T-N	T-P
10월 13일 총오염부하량	2.5	0.757	0.064	0.756		0.0387	0.0020
비강우시 (점오염부하량) 10월 10일		0.007	0.004	0.018		0.0014	0.00004
강우시 (비점오염부하량) 10월 13일		0.750	0.060	0.738		0.0373	0.00196
10월13일 강우부하량	2.5	0.056		0.153		0.0048	0.00053

표 4는 하수에서 발생한 오염부하량을 나타낸 것인데, 10월 13일 강우시 하수관을 통해 유출된 SS, COD의 총오염부하량은 각각 0.757, 0.756 g/hour-m^2으로 조사되었으며, 10월 10일 맑은날 하수구에서 유출된 점오염부하량을 10월 13일 강우시의 시간대로 계산된 SS, COD의 부하량은 각각 0.007, 0.018 g/hour-m^2으로 나타났다. 10월 13일에 발생한 비점오염부하량 중 SS, COD부하량은 각각 0.750, 0.738g/hour-m^2발생된 것으로 추정할 수 있다. 또한 10월 13일 직접 강우에 의해 발생된 SS, COD부하량은 0.056, 0.153 g/hour-m^2이 발생된 것으로 조사되어, 노면이나 지붕등에 쌓여 있던 퇴적물의 SS, COD부하량은 각각 0.694, 0.585 g/hour-m^2 발생된 것으로 계산할 수 있다.

비점오염부하량 중 BOD부하는 총오염부하량의 94%, COD, T-N, T-P는 각각 97.6%, 96%, 98%로 많은 양을 비점오염원이 차지하는 것으로 조사되었고, 특히 강우시 단시간에 고농도의 유기물이 도시근교 하천에 유출되어 수계환경에 악영향을 주는 것을 막기 위해서는 적절한 비점오염원의 관리가 필요하다고 사료된다.

4. 결 론

본 연구의 대상지역인 경기도 기흥읍 신갈지역에서 비점오염원에 대하여 강우시 토지이용형태에 따른 유출특성과 비점오염부하량을 조사하였다. 그 결과를 아래에 기술하였다.

1) 강우시 도로와 지붕에서 SS 유출농도는 강우량에 따라 다르게 나타나고, 강우개시초기에 최고농도를 보였다. 강우개시 약 1시간 사이에 도로에서는 전체 SS농도의 68~91%가 유출되어지고, 지붕에서는 1.2시간까지 77~85%가 유출되는 것으로 조사되었다.
2) 도로에서 T-N, T-P 평균농도는 각각 8.719 mg/l, 1.385 mg/l로 높았으며, 이때 강우의 T-N, T-P농도는 각각 4.437 mg/l, 0.227 mg/l로 조사되어 강우가 차지하는 비율이 각각 51%, 16%로 나타나 특히 대기중에 있는 질소성분이 강우에 의해 많은 양이 씻겨 내려 수계에 영향을 미치는 것으로 사료된다.
3) 하수구의 강우시 T-N, T-P농도변화에서 비강우시 보다 낮은 농도를 보여 T-N, T-P의 주오염원은 점오염원(가정하수)이며, 강우유출에 의한 노면퇴적물에 T-N, T-P농도가 미비하며 단지 도로와 지붕을 통해 유출된 강우는 이들 농도에 희석작용을 하는 것으로 조사되었다.
4) 강우량이 8 mm, 2.5시간 강우가 내릴 때 비점오염원의 BOD부하는 총오염부하량의 94%, COD, T-N, T-P는 각각 97.6%, 96%, 98%로 많은 양을 비점오염원이 차지하는 것으로 조사되었다.
5) 비점오염원을 제어하는 방법 중 가장 확실한 방법은 비강우시 노면에 퇴적되어 있는 오염물질을 제거하는 것이나 이것은 현실적으로 상당히 어려운 일이며, 하수유출구에 침전지를 설계하여 강우시 부유물질 등을 침전시켜 상등수만 유출시킬 수 있다면 짧은 시간에 고농도에 의한 부하를 감소시킬 수 있을 것으로 생각된다.

5. 참고문헌

1) 하성룡, 도시 비점오염원 오탁부하의 유출기구에 관한 연구, 1989
2) 최중대 등, 비점원 오염의 문제점과 관리방법, 한국수문학회 수공학 연구발표회 논문집, 1993
3) 강태호 등, 도시소유역에서 유출량과 비점원 오염 부하량에 관한 연구, 경기대 산업기술종합연구소논문집, 1996
4) 방기웅 등, 도시소유역에서의 비점오염원 유출특성에 관한 연구, 한국수질보전학회지, 제 13권 제1호, 1997
5) 都市域からの雨天時汚濁流出調査報告所, 土木研究所資料第 1019号, 昭和50年
6) 中村, 田中, 小森, 汚濁負荷の原單位に關する調査, 土木研究所資料 弟 2509号, 昭和62年
7) Stephan J. Nix, Urban Stormwater Modeling and Simulation, LEWIS PUB-LISHERS, 1994
8) Novotony, Handbook of Nonpoint Source, Van Norstland Reinhold Company, 1981
9) Peter A. Krenkel and Vladmir Novotony, Water Quality Management, 1980