

홍제천 유역의 강우유출수 오염부하 기원평가 -구기배수분구를 중심으로

오경석, 호종광, 황병기
상명대학교 토목환경공학부
windkyung@smu.ac.kr

Evaluating origin of pollution load by stormwater runoff in Hongje basin -Focussing Gugi catchment

Kyung-Seok Oh · Jong-Kwang Ho · Byung-Gi Hwang
Division of Civil and Environmental Engineering, Sangmyung University

요 약

강우유출수의 오염기원별 기여도를 파악하고자 홍제천 유역의 구기 배수분구를 대상으로 강우시 유량 및 오염물질 발생경향 및 오염기원별 오염도 분석 등에 대하여 살펴보았다. 강우시 발생초기의 오염물질의 농도는 강우에 의한 초기세척현상(First Flush)에 의해 상당히 높게 나타났으며, 강우초기의 높은 오염물질의 농도는 강우에 의해 희석되어 일시적으로 낮아졌다가 높은 강우강도에 의하여 급격히 상승하였으며, 이후 오염물질의 농도는 유량의 감소에 따라 점차적으로 감소하는 것으로 나타났다. 물질수지식을 이용한 근사적인 오염부하의 오염원별 기여도 분석에서 관거 퇴적물에 의한 오염도가 COD 27.7%, SS 47.5%로 나타났으며 지역에 따라서는 건기 하수보다도 더 높은 기여도를 보이고 있어 월류수 오염부하의 제어측면에서 정기적인 관거내 퇴적물의 준설과 세정을 통하여 상당량의 오염부하를 저감시킬 수 있는 것으로 나타났다.

1. 서론

합류식 하수관거에서 초기 강우시 발생하는 지표 유출수는 일정기간 지표면에 축적되었던 배수구역내 오염물질들을 관거로 이동시키게 되며, 이렇게 증가한 유량에는 다양한 오염물질이 포함되게 된다¹⁾. 특히, 관거로 유입된 유량은 지표오염물질과 함께 관거내 유량 증가를 통해 관거내 퇴적물의 재부유를 유발하게 됨으로서 하수내 오염물질의 농도를 증가시킨다. 또한 이렇게 증가된 유량은 차집관거 용량을 초과하게 되고, 우수토실을 통해 월류하여 방류 유역으로 유출되게 된다. 이러한 합류식 하수관거 월류수(Combined Sewer Overflows, CSOs)는 다량의 오염물질을 포함하게 되며, 하수관거 바닥의 퇴적물이 CSOs의 오염도에 큰 영향을 미친다는 다양한 연구가 발표된 바 있다²⁾.

본 연구에서는 도시지역인 홍제천 유역의 합류식 하수관거에서 강우시 발생하는 유량, 수질 및 오염부하 발생특성 등을 조사하여 강우유출 오염부하의 기원(source)별 유출특성과 기여율을 분석하였다.

이러한 분석결과는 유역 하수도 시스템의 특성과 문제점을 인식할 수 있으며, 강우유출 오염부하를 저감시키기 위한 관리대안을 수립하고자 하는 경우에도 기초자료로 유용하게 활용될 수 있을 것이다

2. 연구내용 및 방법

2.1 대상지역 현황

대상지역은 서울시 종로구 홍제천 상류부의 배수분구로 선정하였으며, 합류식 하수관로가 매우 복잡한 구성을 보이고 있는 지역이다. 연구지역내 하수처리지역은 구기, 평창 및 부암 배수분구로 구분되어 있으며, 구기 배수분구를 대상으로 하였다.

<표 1> 구기 배수분구 기초 현황 자료

배수 분구	면적 (ha)	인구 (명)	평균관경 (mm)	관거연장 (km)	상수도 사용량 (m3/d)
구기	426	9,292	321	3.57	4,126

난지 처리구역중 홍제 배수구역에 해당하는 구기 배수분구의 기초 현황을 <표 1>에 나타내었다. 면적이 426ha이며, 산지 및 녹지지역이 많이 분포되어 있는 지역이다.

2.2 조사 방법

배수구역의 특성이 도시지역이므로 배수구역의 말단 우수토실에서 발생하는 오염부하에 영향을 미칠 수 있는 주요 오염기원으로서 다음과 같은 5가지 요소를 들 수 있다.

- 기저하수 (Base Wastewater)
- 강우 (Atmosphere washing)
- 지붕유출수 (Roof surface-runoff)
- 도로유출수 (Road surface-runoff)
- 관내퇴적물 (Sewer sediment erosion)

강우시 관거말단에서 발생하는 총 오염부하에 대한 물질수지식은 다음과 같이 표현될 수 있다

$$\text{구역말단 유출 오염부하} =$$

$$\text{기저하수} + \text{강우} + \text{지붕유출수} + \text{도로유출수} + \text{관내퇴적물}$$

위 식에서 배수구역내에 투수지역이나 기타 다른 용도지역에서 발생하는 오염부하는 배제하였고, 지붕유출수나 도로유출수의 경우 강우시 지표면 유하 시간을 평균 30분으로 가정하였다. 관거 도달시간은 침투 강우강도가 발생하고 약 40분 후에 배수구역의 말단에서 침투유량에 도달하는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 대상 배수구역의 강우시인 2004년 9월 11일에서 2004년 9월 12일 사이의 강우사상에 대한 실측조사를 토대로 위의 5가지 오염기원별 부하를 측정하였으며, 강우 특성을 <표 2>에 나타내었다. 강우는 구역내에서 강우계를 설치하여 측정하였으며, 지붕유출수는 배수구역내 건물의 우수흡통에서 채취하였고, 도로 유출수는 도로 가장자리의 경계선에 설치된 우수받이에서 채취하였다.

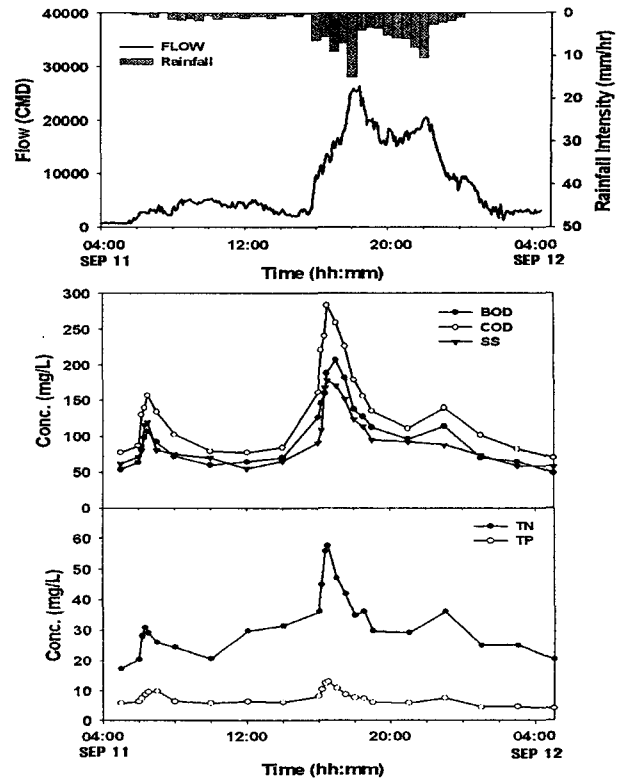
<표 2> 조사시기별 강우 특성

날짜	총 강우량 (mm)	강우지속 시간 (hr)	선행건기 일수 (day)	최대 강우강도 (mm/hr)
2004. 9. 11 ~ 12	57.5	18	3	15.0

3. 결과 및 고찰

3.1 강우시 유량 및 수질 발생 특성

(그림 1)는 2004년 9월 11일부터 12일까지의 강우시 측정된 강우량, 유량 및 수질 발생 패턴을 나타내고 있다.



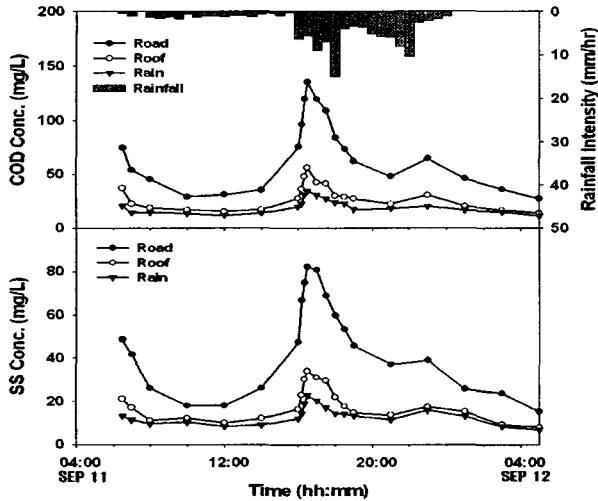
(그림 1) 강우시 유량 및 수질조사 결과(2004/9/11)

2004년 9월 11일 새벽 6시경부터 시작된 강우는 9월 11일 오후 3시경까지 평균 강우강도가 0.9mm/hr으로 적은 양의 비로 인해 유량의 변화가 약 4배가 증가한 것으로 나타났다. 그 후 전형적인 소나기성 강우로 8시간 동안 48.5mm가 내렸으며, 2004년 9월 11일 오후 8시경 15.0mm/hr의 최대 강우강도를 나타내었다. 이때 유량은 26,320m³/d으로 약 30배가 증가한 것으로 조사되었다.

강우와 동시에 오염물의 초기세척효과가 나타났으며, 그 후 적은 강우에 의해 본래의 수질을 유지하다가 높은 강우강도에 의해 오염물질의 농도가 급격히 증가하여 침투 농도를 나타내어 오염물의 세척효과가 뚜렷하게 발생하는 것으로 판단된다. 이후 지속된 높은 강우강도에 의해 유량이 증가하여 희석효과로 인해 점진적으로 수질농도가 감소하였다.

3.2 오염기원별 오염도분석

오염기원별 기여도 평가는 2004년 9월 11일 강우 시 조사된 결과를 토대로 평가하였으며 각 오염기원별 수질분석 결과를 (그림 2)에 나타내었다.



(그림 2) 강우시 오염기원별 COD, SS 농도 변화

유기물은 도로의 우수받이로 유입되는 지표유출수가 강우 초기 급격하게 증가하는 것이 관찰되었으며, 강우강도가 감소함에 따라 초기세척효과도 감소하는 것으로 나타났다. 그 후 강우 강도가 급격히 증가함에 따라 초기 강우때 보다는 다소 높은 값으로 농도가 증가하는 것으로 나타났다. 지붕유출수의 경우에도 초기오염도가 확연하게 나타났으며, 대기 중에 오염물을 함유한 것으로 파악되는 강우 자체에서도 초기에 높게 나타났다. COD와 SS의 발생 경향이 유사하게 나타나고 있으며, 지붕유출수와 강우는 초기세척 후 오염물질의 농도가 급격히 감소하고 있는 것을 알 수 있었다.

각 오염원별로 발생가능한 유출오염부하를 산정하기 위하여 유출조건을 분석하여 <표 3>에 나타내었다.

<표 3> 배수분구별 유출조건

구분	불투수 지역(ha)			투수지역(ha)
	주거지역	도로	합계	
평창	면적 ¹⁾	175	47	222
	유출면적	140 ²⁾	82 ³⁾	222
	유출계수	0.75	0.7~0.8 ⁴⁾	0.25

¹⁾ : 통계연보(종로구), 2003

²⁾ : 주거지역 중 80%를 지붕으로 가정

³⁾ : 주거지역 중 20%를 이면도로로 가정

⁴⁾ : 콘크리트 0.7, 아스팔트 0.8 적용

3.3 오염기원별 기여도 평가

구기 배수분구에서의 오염기원별 오염도 분석 결과에 의하면 관내 퇴적물에 의한 오염부하는 강우시 총 유출 부하량에서 오염기원별 부하를 배제하여 산정 하였다. COD의 경우 강우가 발생하는 동일한 시간에 건기 평균 발생하수에 의한 오염부하를 고려하는 경우에는 하수오염부하의 기여율이 49.3%로 나타났으며, 강우유출에 의한 오염부하는 50.7%로 분석되었다. 강우유출 오염부하 중 관거내 퇴적물에 의한 오염부하가 전체 유출부하의 27.7%로 가장 높게 나타나 건기시 느린 유속과 적은 유량으로 인해 관거내 침전되었던 유기물질이 강우시 빠른 유속과 많은 유량으로 재부유 현상이 나타나고 있음을 알 수 있으며, 도로유출수, 지붕유출수, 강우의 순으로 오염부하가 나타났다. 강우의 경우 대기 중에 함유된 미세 먼지에 의해 오염부하가 유발되므로 발생농도는 낮았으나, 유역 전체에 걸쳐 나타나기 때문에 누적된 총량으로는 오염부하에 끼치는 영향이 무시할 수 없다고 판단된다.

SS의 경우 강우유출수에 포함된 오염부하가 건기 하수에 비해 3배정도 높았으며, 관거 퇴적물이 47.5%로 오염 기여도가 가장 높게 나타났다. 건기시 퇴적되어 있는 고형물이 재부유 하면서 유출부하에 크게 기여한 것으로 판단된다.

강우유출수 중에서 오염기원별 유출부하를 분석하기 위해 건기 평균 발생부하를 제외한 유출부하에 대한 기원별 기여도를 분석한 결과 관거내 퇴적물에 의한 오염부하가 COD는 54.6%, SS는 73.3%로 SS에 의한 기여도가 더 높게 나타났으며, 도로, 지붕 및 강우에 의한 오염기원별 기여도는 SS보다 COD가 더 높게 차지하고 있는 것으로 분석되었다.

3. 결론

본 연구에서 도출된 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 강우시 도시지역 합류식 관거지역에서 발생하는 강우 유출수는 초기세척현상에 의하여 수질 농도가 급격히 증가하는 것을 알 수 있었으며, 이후 지속된 높은 강우강도에 의해 유량이 증가하여 희석효과로 인해 점진적으로 수질농도가 감소하는 것으로 나타났다. 구기 배수분구에서 침투유량을 강우시작 전 건기시 유량의 30배까지 증가하는 것으로 조사되었

다.

2. 오염기원별 오염도 분석에서 유기물은 도로의 우수받이로 유입되는 지표유출수가 강우 초기 급격하게 증가하는 것이 관찰되었으며, 강우강도가 감소함에 따라 초기세척효과도 감소하는 것으로 나타났다. 그 후 강우 강도가 급격히 증가함에 따라 초기 강우 때 보다는 다소 높은 값으로 농도가 증가하는 것으로 나타났다.

3. 물질수지식을 이용한 근사적인 오염부하의 오염원별 기여도 분석에서 관거 퇴적물에 의한 오염도가 COD 27.7%, SS 47.5%로 나타났으며 SS의 경우는 건기 하수보다도 더 높은 기여도를 보이고 있어 월류수 오염부하의 제어측면에서 정기적인 관거내 퇴적물의 준설과 세정을 통하여 상당량의 오염부하를 저감시킬 수 있는 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김연권, 신용배, 이두진, 배요섭, 윤현식, 2000, 산업공단에서의 지표유출수 오염물질 특성, 대한환경공학회지, 22(4) 689-698.
2. 신용배, 윤현식, 1998, 도심지 하수관거 월류수 오염물질 침강특성, 한국물환경학회지, 14(4), 425-432.
3. 이두진, 윤현식, 신용배, 2003, 도시지역 합류식 하수관거 월류수의 발생특성 및 오염기원 평가, 대한토목학회지, 23(6B), 597-606.
4. 서울특별시, 2002, 하수도 정비기본계획 보고서.
6. 이두진, 2003, 강우시 도시지역 하수도시스템의 통합운영관리, 한양대학교 박사학위 논문
7. Sakai, A, Sumiyama, M., and Tanaka, K., 1996, Analysis of Non-point Source Pollutant Runoff processes, Urban Wet Weather pollution Controlling Sewer Overflows and Stormwater Runoff, Quebec, June 16-19, pp. 11-63-74.
8. Novotny, V., 1995, Nonpoint pollution and Urban Stormwater management, Technomic Publishing Company, Inc., 1995.