홍제천 유역 강우시 비점오염 유출부하 분석

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

Analyzing runoff load of NPS for rainfall event in Hongje basin

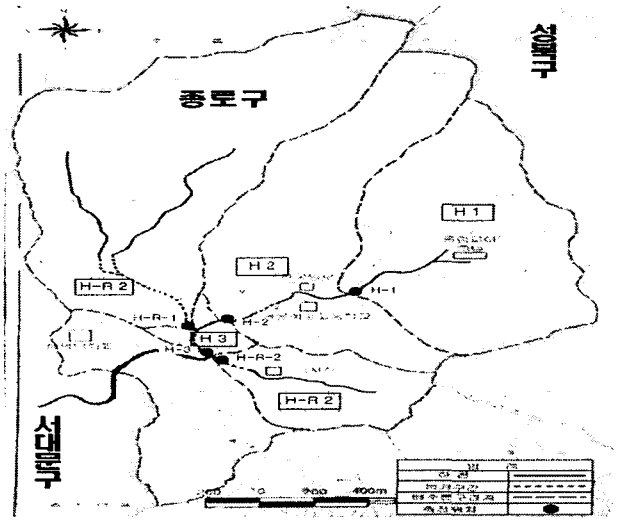
Jong-Kwang Ho · Kyung-Seok Oh · Byung-Gi Hwang
Division of Civil and Environmental Engineering, Sangmyung University

요 약

홍제천 유역의 비점오염원 유출부하를 분석하기 위해 강우시 하천 유량 및 수질 발생 특성, 유출고 및 유출계수 분석, 비점오염원 유출부하특성 및 원단위 산정 등에 대하여 연구하였다. 유량 및 유량가중평균농도의 경우 각 조사 시기별 강우사상에 많은 영향을 받아 크게 증가하였다가 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 강우 1차~3차 조사시기 동안 상류에서 하류로 유하할수록 농도의 변화가 일정하지 않은 것으로 나타났다. 지점별 유출계수를 살펴보면, 구기천 및 신영천 유역 중 투수층인 산지지형이 넓게 분포되어 있어 유출계수가 낮게 산정되었으며, 구간별 배수구역 면적을 고려한 강우시 비점오염원 부하를 산정한 결과를 살펴보면 SS의 유출부하가 높게 나타나 부유물질의 주된 성분이 생물학적으로 분해 가능한 성분이기 보다는 하상 퇴적물질 및 생물학적으로 난분해성 유기물질일 것으로 사료된다.

1. 서론

비점오염원 조사지역 선정은 전체유역에 대한 대표적인 특성을 나타낼 수 있어야 하며, 이를 위해서는 현지조사와 인문, 사회, 수리, 수문등 충분한 관련 자료가 뒷받침 되어야 한다. 특히 세부적으로는 지역별 토지이용 현황, 기상현황, 유출특성 등 많은 요소가 고려되어야 하므로 대상지역에 대한 세밀한 조사가 수행되어야 한다.



(그림 1) 수질측정위치

조사지역은 홍제천 올림피아 호텔에서 홍지문까지 이르는 구간으로 유역면적 11.14km^2, 유로연장 2.8km 이며, 지류인 구기천과 신영천을 포함하는 것으로 조사되었으며, 조사구간의 위치 및 수질측정지점을 (그림 1)에 나타내었다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 수질 및 유량 조사

<표 1> 강우시 현장조사

1차 (2004년 4월 26일 ~ 2004년 4월 27일)	강우량(mm)	36.2
	선행무강우일수(day)	6
	평균 강우강도(mm/hr)	1.7
	강우지속시간(hr)	22
2차 (2004년 5월 2일 ~ 2004년 5월 3일)	강우량(mm)	10.1
	선행무강우일수(day)	4
	평균 강우강도(mm/hr)	1.0
	강우지속시간(hr)	9
3차 (2004년 5월 28일 ~ 2004년 5월 29일)	강우량(mm)	65.8
	선행무강우일수(day)	5
	평균 강우강도(mm/hr)	3.0
	강우지속시간(hr)	22

3차례의 강우시 현장조사를 실시하였으며 강우가 시작부터 종료시까지 탄력적으로 수회 채수하였으며. 측정 분석은 유량, 강우량, BOD, COD, T-N,

T-P, SS 등을 분석하였다.

3차례 강우시 조사기간 및 조사기간 중 현장에서 측정한 강우기록을 <표 1>에 나타내었다.

2.2 유량가중평균농도

유량가중평균농도 = L_K/Q_K

$= (\sum (Ci \cdot Qi \cdot ti))/(\sum (Qi \cdot ti))$

여기서, L_K = 총 오염량

Q_K = 총 유출량

Ci = i시간의 오염물질 농도

Qi = i시간의 유출량

ti = 유출시간

2.3 유출고 및 유출계수

유출고(Depth of runoff) = γ_d = V/유역면적

유출계수 = C = $\gamma_d / \sum_{M=1}^{M} Rm$

$$Vj = \sum_{i=1}^{N} Qji \cdot \Delta t$$

Vj = j 지점의 강우시 총수량(m^3)

Qji = j 지점의 조사지점의 I 번째 유량(m^3/sec)

Δt = 측정시간 간격(sec)

$\sum_{M=1}^{M} Rm$ = 총강우량(Total Rainfall, mm)

2.4 유출부하 산정

조사지점에서의 오염물질 부하는 강우초기의 부하를 기저부하로 하여 강우 후 본래의 부하로 도달되는데 걸리는 시간 Δt를 고려하여 비강우시일 때 부하량 A_1을 산정하였다. 강우시 비점오염원으로부터 유출된 부하량은 총부하량에서 A_1을 제한 나머지 부하량 A_2이 된다. 총 부하량은 강우시 실측한 유량과 오염물질 농도를 곱하여 산정한다.

3. 결과 및 고찰

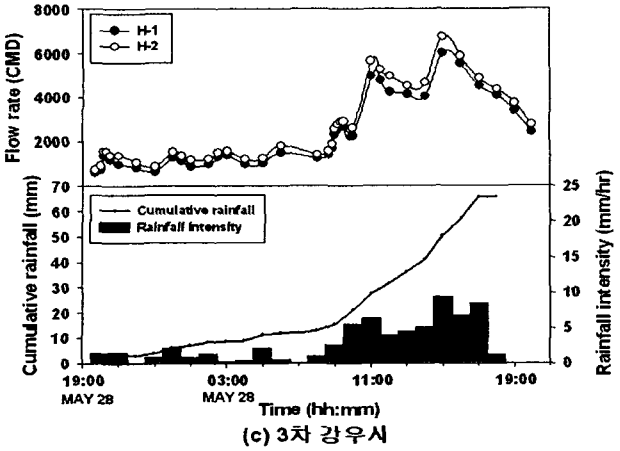
3.1 강우시 유량 및 수질 발생 특성

유량은 각 조사 시기별 강우사상에 많은 영향을 받아 크게 증가하였다가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 3차 강우시 강우량이 가장 많았으며 유량변동폭은 H-1지점에서 610 ~ 6,000 m^3/d, H-2 지점에서 720 ~ 6,750 m^3/d, H-3 지점에서 890 ~ 11,060 m^3/d로 1차 및 2차 강우시 보다 크게 나타났다. 따라서 3차 강우시 조사지점별 배수구역의 유출에 의한 유량 증가율은 H-1 지점 9.8배, H-2 지점 9.4배, H-3 지점 12.4배로 대부분의 지점에서 최저유량에 대한 최고유량의 비가 10배 안팎으로 조사되었다. 또한 1차 강우시 22시간동안 강우가 지속된 것에 비해 2차 강우시 강우지속시간이 9시간으로 단기간에 강우가 발생되어 1차 강우시 강우량이 2차 강우시에 비해 강우량이 많음에도 불구하고 비슷한 유량을 나타내고 있는 것으로 사료된다.

(그림 2)는 3차 강우시의 H-1 지점과 H-2지점의 유량, 강우량, 누적강우량 및 강우강도를 나타낸 것이다. 3차 강우시 9.4mm/hr의 높은 강우강도에 의해 유량이 매우 급속하게 증가하여 감소하는 것으로 나타났으며, 이것은 홍제천 유역의 H-1 ~ H-2지점이 도시지역으로 대부분의 지표면이 아스팔트로 포장되어 있어 불투수층의 비율이 다른 토지이용에서보다 높고, 강우강도가 높아 강우 초기 우수유출이 급격하게 일어나기 때문으로 사료된다.

유기물질과 부유물질은 3차 강우시 초기 강우강도(2.4mm/hr)이었던 시기가 후기의 강우강도(18.6mm/hr)가 있었던 시기보다 H-R-1, H-R-2 및 H-1 지점보다 높게 나타났다. 이는 후기의 강우강도가 초기 강우강도보다 큼에도 불구하고 초기강우 발생시 이미 상당량의 유기물질과 부유물질이 유입이 되었기 때문에 후기에 비록 강우강도가 높더라도 비점오염원의 유출이 작아진 것으로 사료된다.

강우시 질소와 인의 일반적인 유출특성은 유량이 증가할수록 농도가 낮아지는 것으로 타나났으며, T-P는 부유물질의 영향을 많이 받으나, 변동폭은 부유물질 보다는 작은 것으로 나타났다. T-N의 경우 강우사상, 즉 하천 유량에 적게 영향을 받으며 다른 오염물질과 비교해 상대적으로 안정적인 것으로 보여진다. 이는 홍제천 유역이 대부분 도시지역으로 논과 밭의 비율이 매우 적기 때문에 비료와 같은 오염물질이나 축산단지에서의 폐수등에 의한 영향을 받지 않기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 T-P의 경우에는 T-N과는 달리 1차 ~ 3차 강우사상에서 3차 강우시가 1차와 2차에 비하여 T-P의 유량가중평균농도가 높게 나타나 강우사상의 영향을 받는 것으로 보여진다.



(그림 2) H-1지점과 H-2 지점간의 유량변화와 누적 강우량

3.2 유출고 및 유출계수 분석

일반적으로 유출계수의 값이 클수록 비점오염원으로부터 오염물질의 유출량도 증가한다. (표 2)는 각 지점별 유출고와 유출계수를 나타낸 것으로 가장 많은 강우량과 높은 강우강도를 보인 3차 강우시가 1차와 2차 강우시에 비해 상대적으로 각 지점간의 배수구역에서 강우에 따른 우수유출이 높아 유출계수도 1차와 2차에 비해 각각 약 1.2배와 2.3배 이상 크게 나타났다. 지점별 유출계수를 살펴보면, H-R-1(구기천) 및 H-R-2(신영천) 지점에서의 유출계수가 상대적으로 낮게 산정되었으며, 이는 구기천 및 신영천 유역 중 투수층인 산지지형이 넓게 분포되어 있어 유출계수가 낮은 것으로 사료된다.

<표 2> 강우시 홍제천 유역의 유출고와 유출계수

구 분		1차	2차	3차
총강우량(mm)		36.2	10.0	65.8
H-3	유출고	7.5	1.1	16.3
	유출계수	0.21	0.11	0.25
H-2	유출고	8.5	1.5	25.7
	유출계수	0.23	0.15	0.39
H-R-1	유출고	6.9	1.0	13.8
	유출계수	0.19	0.1	0.21
H-R-2	유출고	6.7	1.0	14.9
	유출계수	0.18	0.1	0.23

3.3 비점오염원 유출특성 고찰

강우시 도시지역에서의 비점오염 유출부하는 도시지역을 통과하는 홍제천 유역의 H-1 지점 ~ H-2 지점사이 구간에서 유출된 부하량은 H-2 지점에서 산정된 총 부하량에서 H-2 지점의 총 부하량을 제하여 구하였다. 또한, 현장조사결과 비강우시에도 오염부하가 하류로 갈수록 증가하는 것으로 나타나 이때의 오염부하의 차를 고려하여 강우시 도시지역에서의 비점오염부하를 산정하였다.

<표 3> 구간별 비점오염유출부하 비교

구간	구분	총강우량 (mm)	비점오염원 오염물질부하 원단위 (kg/ha/day) BOD	COD	SS	TN	TP
H-1 ~H-2 (260ha)	1차	36.2	0.2	0.4	0.5	0.1	0.03
	2차	10.0	1.0	3.0	3.8	0.2	0.08
	3차	65.8	3.2	3.7	5.6	0.5	0.29
합계		112.0	4.4	7.1	9.9	0.8	0.40
H-R-1 (341ha)	1차	36.2	0.3	0.5	0.5	0.1	0.02
	2차	10.0	1.1	2.1	3.3	0.6	0.19
	3차	65.8	8.4	11.8	14.7	1.5	0.78
합계		112.0	9.8	14.4	18.5	2.2	0.98
H-R-2 (89ha)	1차	36.2	0.8	1.3	1.3	0.3	0.06
	2차	10.0	5.0	7.9	7.8	2.2	0.76
	3차	65.8	26.3	37.9	55.1	6.2	2.70
합계		112.0	32.1	47.1	64.2	8.7	3.52
H-1 ~H-3 (738ha)	1차	36.2	0.5	0.6	0.7	0.1	0.03
	2차	10.0	0.8	0.8	0.4	0.1	0.03
	3차	65.8	4.0	5.3	7.3	0.7	0.36
합계		112.0	5.3	6.7	8.4	0.9	0.42

<표 3>는 구간별 배수구역 면적을 고려한 강우시 비점오염원 부하를 나타낸 것으로서 SS의 유출부하가 높게 나타나 부유물질의 주된 성분이 생물학적으로 분해 가능한 성분이기 보다는 하상 퇴적물질 및 생물학적으로 난분해성 유기물질일 것으로 사료된다.

3.4 원단위 산정

원단위 산정은 현장조사 방법의 특성상 도시지역의 2가지 대안별 방법에 따라 원단위를 산정하였다. 대안 1은 하천의 최종유출지점에서 산정된 유량가중평균농도와 유출계수를 적용한 경우이며, 대안 2는 유출부하 평균 값 적용에 실측기간 평균강우량에 대한 연간 강우사상을 평균강우량 비와 강우빈도를 적용하여 산정하였다.

본 연구에서 산정된 2개 대안은 모두 토지이용에 따른 소배수구역에 대한 원단위가 아니라 토지이용 특성(도시지역)을 대표할 수 있는 하천유역의 배수구역 전체를 하나의 대표 토지이용 현황으로 간주하여 산정한 것으로 이들 값들을 기존의 원단위와 상대적 비교를 하기는 어려우나 모든 항목에서 기존

원단위와 비교하여 그 범위내에 모두 포함되는 것으로 산정되었다.

3. 결론

본 연구에서 도출된 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 유량 및 수질조사 결과 각 조사 시기별 강우사상에 많은 영향을 받아 크게 증가하였다가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 유량가중평균농도의 경우 강우 1차~3차 조사시기 동안 각 조사지점별 유량가중평균농도가 상류에서 하류로 유하할수록 농도의 변화가 일정하지 않은 것으로 나타났다. 이는 상가지역 또는 밀집주거지역이기는 하나 각 배수구역별 경사 및 토지이용특성의 차이에 따라 우수유출수에 포함된 유기물질 유입에 영향을 주었을 것으로 사료된다

2. 지점별 유출계수를 살펴보면, H-R-1(구기천) 및 H-R-2(신영천) 지점에서의 유출계수가 상대적으로 낮게 산정되었으며, 이는 구기천 및 신영천 유역 중 투수층인 산지지형이 넓게 분포되어 있어 유출계수가 낮은 것으로 사료된다

3. 구간별 배수구역 면적을 고려한 강우시 비점오염원 부하를 산정한 결과를 살펴보면 SS의 유출부하가 높게 나타나 부유물질의 주된 성분이 생물학적으로 분해 가능한 성분이기 보다는 하상 퇴적물질 및 생물학적으로 난분해성 유기물질일 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, 2000, 팔당상수원 비점오염원 유출특성과 최적관리 방안.
2. 최지용, 신은성, 1997, 도시지역 비점오염원 관리방안 연구, 한국환경정책평가연구원.
3. 황순진 외, 1997, 팔당상수원 수질개선 방안에 관한 연구, 경기개발연구원.
4. 서울특별서, 2002, 하수도 정비기본계획 보고서.
6. Wanielista, M.P. et al., 1981, Nonpoint source effects, Florida Technological University, Orando, Florida.
7. A.S. Donigian Jr. et al., 1991, Modeling of nonpoint source water quality in urban and non-urban areas, U.S. EPA.