

철로 역사에서 발생 가능한 비점오염물질의 특성 및 관리방안

Characteristics and Control of Nonpoint Pollutants in Railway Station

어성욱*
Seong Wook Oa

김이형**
Lee-Hyung Kim

ABSTRACT

Nonpoint pollutants were monitored on railway station land use. Lots of pollutant mass were washed-off in a first hour. The 95% confidence interval of pollutant concentrations ranges from 61.6 to 115.4 mg/L for TSS(mean= 88.50 mg/L), 103.8~244.1 mg/L for COD(mean= 174 mg/L) and 7.68~17.32 mg/L for Oil & Grease(mean= 12.5 mg/L). The various metals were also washed-off during storm runoff from railway station. The ranges of 95% confidence intervals were 39.2~84.0 ug/L for total Cu(mean= 61.6 ug/L), 14.0~25.8 ug/L for total Pb(mean= 19.9 ug/L) and 182.2~376.1 ug/L for total Zn(mean= 279.2 ug/L). As a result of this research, we concluded that up to 50% of the total pollutant mass can be removed when first 30% of the total flow are treating, and it can be a first flush criteria for best management practices.

1. 서 론

과거 30년 동안 도시하수, 산업폐수 및 축산폐수 등 점오염원에 관한 많은 연구 및 기술 개발은 다양한 오염물질의 저감 및 처리에 큰 발전을 보았다. 또한 지속적으로 방류수 수질 규제를 강화함으로써 악화되는 수질을 보전하고자 노력하였다. 그러나 우리나라 뿐 아니라 선진국들에 있어서도 수질은 지속적으로 악화되고 있는 실정이다. 특히 미국의 경우 1992년부터 그 동안의 농도 규제로는 산업발달과 사회변화로 야기되어 수계로 유입되는 오염물질의 총량을 규제할 수 없다는 결론 하에 수 환경(water environment) 오염물질 관리를 위해 총량규제를 통한 오염물질 관리를 도입하였다. 하지만 1990년대 중반 이후 미국 EPA(U.S. Environmental Protection Agency)는 점오염원 관리와 더불어 비점오염원의 관리 없이는 수질개선을 할 수 없다는 결론에 도달하여 이에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 현재 미국은 오염총량제(Total Maximum Daily Load, TMDL) 대상 21,000여개의 오염수계 중 약 80% 이상이 비점오염원과 관련되어 있으며 TMDL 계획을 지속적으로 추진하고 있다(U.S. EPA, 1994, 1995).

* 우송대학교 교수, 정회원

** 국립공주대학교 교수, 정회원

우리나라의 경우 한강을 비롯한 4대강의 비점오염원에 의한 오염부하량은 22~37% 정도를 차지하고 있으나 하수처리장 확충, 배출기준 강화 등으로 점오염물질은 계속 감소하나 도시, 도로, 농지 등에서 발생하는 비점오염물질은 계속 증가하고 있는 실정이다. 특히 팔당 상수원은 44.5%가 비점오염원에서 배출되며, 2020년에는 54.3%까지 증가할 것으로 전망하고 있다(환경부, 2004). 따라서 환경부는 2002년도에 '비점오염원 관리대책 수립계획'을 마련하였으며, 2004년 6월에 관계기관 합동으로 '물관리 종합대책의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책'을 발표하였다. 이는 선진국들이 이미 오염총량제 시행에서 비점오염원 관리 없이는 수계에서의 수질을 개선할 수 없다는 결론을 활용한 것으로 바람직한 경향이라 하겠다. 따라서 정부에서는 3단계로 나누어 주요 비점오염원에 관한 관리를 2020년까지 지속할 방침이다(환경부, 2004).

비점오염물질은 산업의 발달로 인한 인간의 다양한 토지이용에서 기인하는 비점오염원에 의해서 발생하고 있다. 이러한 비점오염물질에 관한 환경부의 향후 대책은 토지이용에 변화를 주는 건설 산업에 큰 영향을 끼칠 것이다. 즉, 환경부의 방침은 비점오염원 처리대책을 설계에서부터 반영을 시키고자 하는 것이다.

따라서 본 연구의 목적은 다양한 토지이용 중에서 그 구조적 특성상 비점오염원을 통한 오염물질의 유출 가능성이 높은 철로 및 역사에서의 비점오염물질 특성을 파악하여 관리방안을 도출하는 것이며, 철로 및 역사(railway station) 설계에 이를 감안할 수 있는 지표들을 제시하고자 하는 것이다. 철로 및 역사는 기관차 및 정비창으로부터 중금속, 유류 및 TCE 등 각종 유기화합물질의 발생 가능성이 높은 것으로 알려져 있으며, 많은 수의 사람들의 왕래에 따른 다양한 오염물질들이 배출되고 있기에 관리의 필요성이 제기된다. 이러한 오염물질들은 비 강우 시 표면에 축적이 되었다가 강우 시 집중 유출되어 하천 수계 및 지하수로 유입되어 수질 및 지하수 오염의 원인이 될 가능성이 있다. 몇몇 철도차량정비창 구내 토양오염실태가 언론을 통해서 지적되고 있는바 사전에 자체적인 조사와 대책을 통해 고속철도 개통 등으로 철도가 "첨단기술 교통수단"으로 이미지가 부각된 시점에서 "친환경 교통수단"의 이미지를 함께 부각시키기 위해 자체적인 노력이 요구되는 시점이다.

. 이러한 문제는 토양오염에만 한정되는 것이 아니라 강우 시 비점오염원으로 작용하여 인근 수계로 유입되어 수질 오염을 초래한다는 점에서 중요성이 크다고 할 수 있다. 미국의 경우도 1999년도에 도로, 철도 및 항공기 등 교통에 의한 환경에의 오염을 심각히 받아들이고 있으며 이에 관한 처리저감방안을 연구 중에 있다(U.S. EPA, 1999).

2. 본 문

본 연구는 국내 D시 인근의 철로역사에서 강우 시 유출되는 비점오염물질을 단기간 모니터링 한 결과를 정리한 것으로 강우로 인해 철로역사에서 유출되는 오염물질의 종류 및 유출 경향을 파악한 것이다. 현재 하천수계에 영향을 주는 오염물질 위주로, 입자상 물질 및 유기물 등에 관해 정리하였는데 대상지역은 국철 주차장 및 정비창이 위치해 있으며 유역 면

적은 3,000 m² 정도로 유역경사는 0.5 ~ 1도정도이다.

2.1 모니터링 방법 및 일시

모니터링은 강우 유출이 시작된 후 초기 1시간 동안 집중적으로 시행되었으며, 1시간 이후에는 1시간 단위로 수질 샘플을 채취하였다. 강우 시 현장에서 유출수의 유출율을 측정하였으며 채취된 수질 샘플은 실험실에서 유기물 및 중금속 등에 관한 항목으로 분석을 시행하였다. 모니터링 횟수는 강우 시 4회 동안 수행되었으며 그 일자는 다음과 같다: 2003. 9. 2(강우 지속시간: 10:30 AM ~ 2:00 PM, 전체 강우량: 28.5mm), 2003. 9. 5(강우 지속시간: 1:30 PM ~ 3:30 PM, 전체강우량: 30mm), 2003. 9. 7~9. 9(강우 지속시간: 9. 7. 11:20 PM ~ 9. 9. 11:00 PM, 전체 강우량: 57mm), 2003. 9. 18(강우 지속시간: 10:00 AM ~ 13:00 PM 전체 강우량: 5 mm).

2.2 결과 및 고찰

비점오염원에서 유출경향은 점오염원에서 유출과는 매우 다른 양상을 나타내기 때문에 강우 시 대상지역에서 유출되는 유출수 및 오염물질의 유출경향을 파악하기 위하여 pollutant- 및 hydro-graphs를 작성하는 것이 필수적이다.

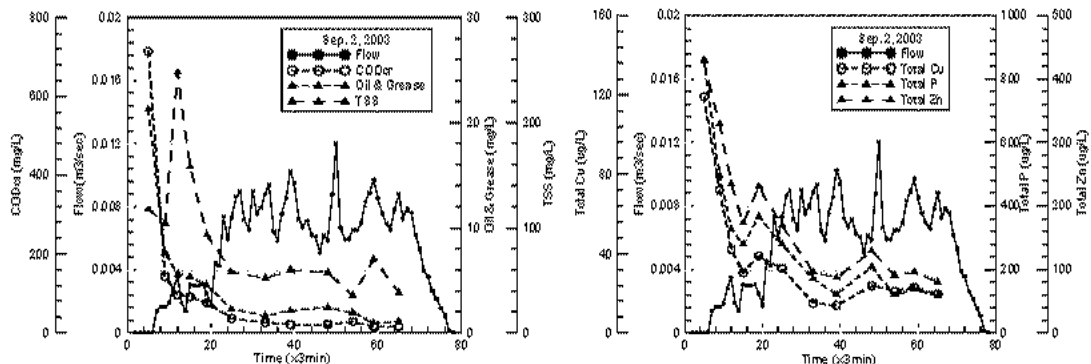


그림 1. 대상지역에서 강우 시 유출되는 강우 유출수 및 오염물질의 유출 경향

그림 1은 강우 시작 후 유출이 시작되고부터 끝날 때까지의 유출율과 농도의 변화를 시간대별로 도식화한 것이다. 대상유역이 포장되어 있는 관계로 강우 유출이 시작된 후 오염물질의 유출 경향은 지속적으로 감소하는 전형적인 초기강우 현상(first flush effect)를 나타내고 있으며, 이러한 현상은 향후 최적관리방안(Best management Practices, BMPs) 도출에 매우 중요하게 이용되어야 할 특징이다. 그림 1과 같이 유출율과 농도변화가 시간대 별로 점오염원과는 상당히 다른 경향을 보이고 있는데 이러한 차이점이 오염물질 관리에 어려움을 주는 요인으로 작용한다. 따라서 오염물질의 최적관리방안 선택 시 중요하게 고려되는 특징이기도 하다.

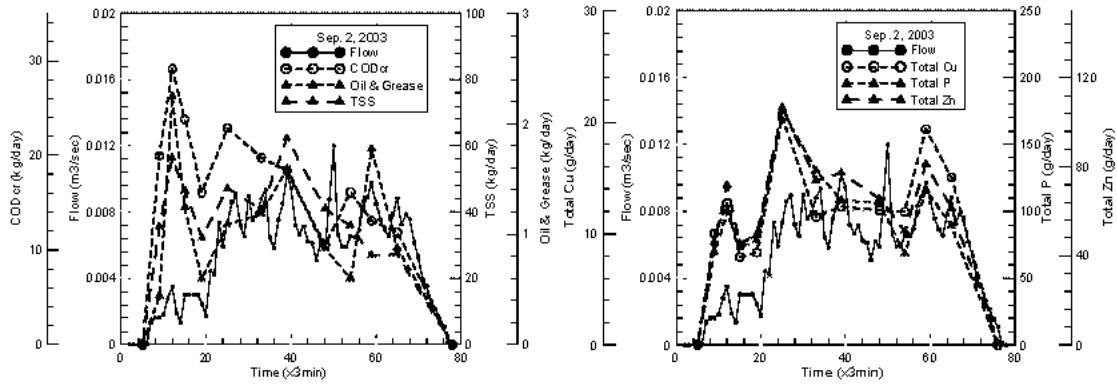


그림 2. 오염물질의 시간대별 부하량

그림 2는 오염물질에 대한 시간대별 부하량을 나타내고 있다. 오염물질의 부하량은 최고 강우 강도가 발생하기 전 이미 발생되어 유출되는 경향을 나타내고 있다. 따라서 오염물질 처리저감 방법 선정 시 이러한 유출특성은 처리효율 및 처리기준 선정으로 사용되어야만 경제적인 처리효과를 볼 수 있다.

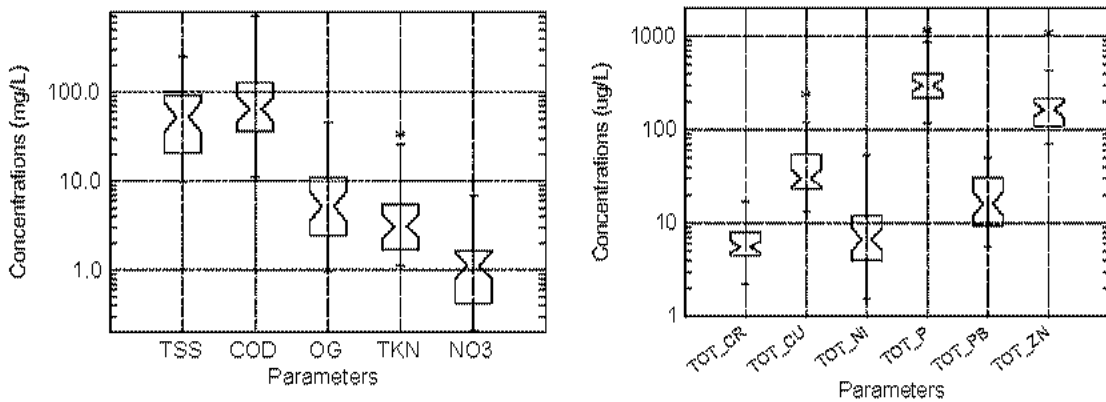


그림 3. 전체 모니터링 결과에 대한 통계분석

그림 3과 도표 1은 전체 모니터링 결과에 대한 통계분석과 초기 1시간 동안 유출된 오염물질에 대한 통계분석의 비교를 보여주고 있다. 우수유출 시작 후 초기 1시간 동안의 유출수의 농도는 전체 우수기간 중의 평균농도에 비해 약 1.5~2배 이상 높은 현상을 볼 수 있다. 또한 처음 1시간 동안의 유출수의 농도는 그 이후 평균농도에 비해 5배 이상 높은 농도를 나타내고 있다. 즉 강우에 의한 철로역사에서 유출되는 오염물질의 특성은 강우 초기에 매우 농도가 높은 경향을 나타낸다는 것을 의미한다. 초기 1시간 동안의 오염물질 농도는 TSS의 경우 95% confidence interval의 범위가 61.6 ~ 115.4 mg/L(평균= 88.50 mg/L)의 범위를 나타내며, COD가 103.8 ~ 244.1 mg/L(평균= 174 mg/L) 및 Oil & Grease가 7.68 ~ 17.32 mg/L(평

균= 12.5 mg/L)의 범위를 나타내고 있다. 중금속의 경우, Total Cu가 39.2~84.0 ug/L(평균= 61.6 ug/L), Total Pb가 14.0~25.8 ug/L(평균= 19.9 ug/L) 그리고 Total Zn이 182.2~376.1 ug/L(평균= 279.2 ug/L)의 높은 농도를 나타내고 있다.

도표 1. 강우 유출 시작 후 초기 1시간 동안의 오염물질 농도에 대한 통계분석

Units: mg/L, ug/L(metals)	최소	최대	중간값	평균	95% CI Upper	95% CI Lower	표준편차
TSS	17.00	248.00	83.50	88.50	115.37	61.63	57.42
COD	39.00	714.00	121.00	173.95	244.12	103.78	149.93
DOC	6.00	221.00	33.00	49.00	75.51	22.49	56.65
OG	2.00	46.00	9.50	12.50	17.32	7.68	10.29
TKN	2.00	34.00	5.50	8.50	12.25	4.75	8.01
NH3	0.00	2.00	0.00	0.25	0.51	0	0.55
NO2	0.00	2.00	0.00	0.40	0.68	0.12	0.60
NO3	1.00	7.00	1.00	2.00	2.76	1.24	1.62
Sol Cd	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Sol Cr	1.00	11.00	2.00	3.16	4.60	1.72	2.99
Sol Cu	10.00	228.00	26.50	42.15	65.17	19.13	49.20
Sol Ni	1.00	51.00	6.00	9.40	14.69	4.11	11.30
Sol P	165.00	1096.00	247.00	318.15	417.64	218.66	212.57
Sol Pb	3.00	13.00	3.00	4.30	6.59	2.01	3.20
Sol Zn	16.00	985.00	107.00	163.20	265.99	60.41	219.64
Tot Cd	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Tot Cr	3.00	17.00	3.00	3.40	10.28	6.52	4.02
Tot Cu	25.00	240.00	53.50	61.60	84.02	39.18	47.90
Tot Ni	4.00	53.00	11.50	13.85	18.99	8.71	10.98
Tot P	247.00	1163.00	383.00	458.65	562.82	354.48	222.58
Tot Pb	7.00	50.00	15.50	19.90	25.78	14.02	12.56
Tot Zn	108.00	1079.00	210.00	279.15	376.12	182.18	207.19

그림 4는 모니터링으로 얻은 수질과 유량 결과를 일반화 시킨 것으로 초기우수의 기준을 제안하기 위하여 널리 사용되는 방법이다. 그림에서 보듯이, 강우 기간 중 측정된 모든 강우에서 초기 30%의 유출수에서 전체 오염물질의 50%이상이 함유되어 유출되는 경향을 볼 수 있다. 즉 강우유출이 시작된 후 초기 30%의 유출수를 적합한 최적관리방안으로 처리할 시 전체 유출 가능한 오염물질의 양을 50% 이상 제거가 가능하다는 결론이다.

따라서 본 결과와 더불어, 강우강도와 초기강우를 비교 분석하며 초기강우는 최대 강우강도가 발생하기 이전에 발생하기 때문에 최대 강우강도를 초기강우 강우강도의 기준으로 결정할 수 있다는 해석도 가능하다. 또한 초기 1시간 이후의 유출수의 농도는 20%이하이므로 적정한 초기강우 처리 후 여타 목적으로 강우 유출수의 재이용 가능할 것으로 판단된다.

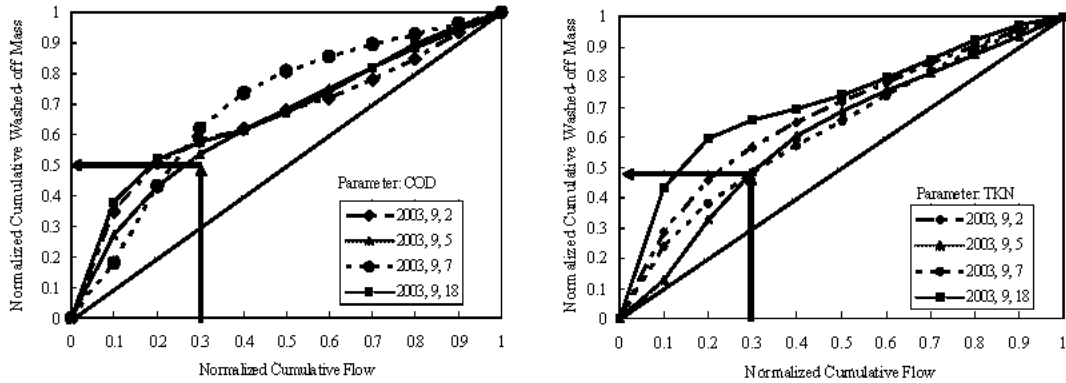


그림4. 모니터링 결과를 이용한 초기유출의 기준 제안

2.3 결론

실효역사 유역에서 유출되는 강우 유출수에 대한 모니터링을 실시한 결과 중금속을 함유한 다양한 오염물질들이 유출됨을 알 수 있었다. 시간대별 오염물질의 농도는 강우 유출이 지속됨에 따라 급격히 감소하는 전형적인 초기강우 현상을 나타내었다. 특히 강우 유출 초기, 특히 1시간 이내에 고농도의 유출수가 유출되는 것을 볼 수 있었다. 또한 오염물질의 최대 부하는 최대 유출수율이 발생하기 전에 나타났다. 따라서 모니터링 결과를 해석한 결과 다음과 같은 결론에 도달할 수 있었다:

- (1) 초기 유출수 검토 결과 누가 우수 유출량의 약 30%를 처리하는 경우 오염물의 약 50% 이상을 처리 가능하다.
- (2) 초기 1시간 이후의 강우 유출수에 대해서는 적정 처리시설 이용 후 재이용 가능한 수질을 나타내고 있다.

참고문헌

1. U.S. EPA(1994). "Nonpoint sources pollution control program," U.S. EPA report 841-F-94-005, Washington, DC, USA.
2. U.S. EPA(1995), "Economic benefits of runoff controls," U.S. EPA report 841-S-95-002, Washington, DC, USA.
3. U.S. EPA(1999), "Inducators of the Environmental Impacts of transportation," U.S. EPA 230-R-99-001, Washington, DC, USA.
4. 환경부(2004), "물관리 종합대책의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책," 환경부.