

# 강우시 철로 역사에서 발생하는 비점오염물질의 유출 경향 및 특성

## Characteristics of Washed-off Pollutants from Railway Station During Storms

김이형<sup>1</sup> · 어성욱<sup>2</sup> · 이선하<sup>3</sup>

Lee-Hyung Kim · Sunguk Oa · Seonha Lee

### Abstract

The ministry of Environment, Korea, are designing the TMDL(Total Maximum daily Load) program for 4 major large rivers to improve water quality from possible pollutants. It can be successfully performed as controlling of nonpoint pollutants from watershed area. Railway stations are stormwater intensive land use because of high imperviousness and high pollutant mass emissions from various activities. Especially the metal pollutants from the railway station were recognized as an important pollutants because of its toxicities. In order to characterize the washed-off pollutants, the monitoring were performed on a railway station during storms. Pollutant concentrations are exponentially decreasing during the storm duration. The 95% confidence interval of pollutant concentrations in an hour storm duration ranges from 61.6 to 115.4mg/L for TSS(mean=88.50mg/L), 103.8-244.1mg/L for COD(mean=174 mg/L) and 7.68-17.32mg/L for Oil & Grease(mean=12.5mg/L). The ranges of metals were 39.2-84.0ug/L for total Cu(mean=61.6ug/L), 14.0-25.8ug/L for total Pb(mean=19.9ug/L) and 182.2-376.1ug/L for total Zn(mean=279.2ug/L). The first flush criteria for best management practices can be suggested to 50% pollutant mass emissions during 30% of the total flow.

**Keywords** : Washed-off pollutants(유출 오염물질), Railway station(철로 역사), Nonpoint sources(비점오염원), Total maximum daily load(오염총량), Pollutant loading rate(오염 부하량)

### 1. 서론

과거 30년 동안의 수질 관련 환경정책은 도시하수, 산업 폐수 및 축산폐수 등의 점오염원(point sources)에 치중해 왔다. 이러한 환경정책에 기인하여 점오염원에 기인하는 오염물질의 저감 및 처리는 큰 기술적인 발전을 보였다. 지속적인 방류수 수질규제의 강화는 다양한 기초 환경시설의 보급을 확대하였으며, 최근에는 마을단위 하수도 시설의 설치에 이르렀다. 그러나 점오염원에 관한 지속적인 규제 강화, 기술의 개발, 기초시설의 보급 등의 눈부신 환경기술의 진보에도 불구하고 한국 뿐 아니라 선진국들에 있어서 상수원수인 하천 및 호소의 수질은 계속적으로 악화되고 있는 실정이다. 미국의 경우 1982년부터 90년대 초

까지 그 동안의 농도 규제로는 산업발달과 사회변화로 야기되어 수계로 유입되는 오염물질의 총량을 규제할 수 없다는 결론 하에 수 환경(water environment)의 입장에서 오염물질 관리에 목적을 두고 오염물질 총량규제로 환경정책을 변화하여 오염물질을 관리하여 왔다. 오염총량(Total Maximum Daily Load, TMDL)이란 하천수계로 유입되는 점오염물질, 비점오염원 물질 및 안전율(Margin Of Safety, MOS)의 합으로 유입 오염물질의 전체적인 합을 의미한다. 하지만 1990년대 중반 이후 미국 환경보전국(U.S. Environmental Protection Agency, U.S. EPA)은 점오염원 관리와 더불어 비점오염원(nonpoint sources)의 관리 없이는 수질 개선을 할 수 없다는 결론에 도달하여 이에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 현재 미국은 오염총량제 대상 21,000여 개의 오염수계 중 약 80% 이상이 비점오염원과 관련되어 있는 실정이다[1, 2].

1 정회원, 국립공주대학교, 건설환경공학부, 교수

2 정회원, 우송대학교, 철도건설환경공학과, 교수

3 비회원, 국립공주대학교, 교수

이러한 세계적인 추세에 더불어 한국도 2003년 9월 및 2004년 4월에 선진국의 예를 따라 오염총량제를 도입하여 시행을 앞두고 있다. 현재 낙동강 유역을 포함한 4대강 유역에서 도-군 경계별 및 시-군 경계별로 목표 수질을 산정하였는데 대부분의 목표지점에서 상수원수 1내지 2등급(BOD 2-4mg/L 이하) 수준의 목표수질을 요구한다. 2000년도를 기준으로 볼 때 한강을 비롯한 4대강의 비점오염원에 의한 오염부하량은 22-37% 정도를 차지하고 있다. 그러나 하수처리장 확충, 배출기준 강화 등의 환경정책으로 인하여 점오염물질은 지속적으로 감소하고 있는 실정이지만 다양한 토지이용, 즉 도로, 농지, 산림, 철로, 산업단지, 주거지, 상업시설 및 주거지 등에서 기인하는 비점오염물질은 계속 증가하고 있는 실정이다. 특히 팔당 상수원은 44.5%가 비점오염원에서 배출되며, 2020년에는 54.3%까지 증가할 것으로 전망하고 있다. 따라서 환경부는 2002년도에 '비점오염원 관리대책 수립계획'을 마련하였으며, 2004년 6월에 관계기관 합동으로 '물관리 종합대책의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책'을 발표하였다. 향후 환경부에서는 3단계로 나뉘어 주요 비점오염원에 관한 관리를 2020년까지 지속할 방침이다[3]. 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.

다양한 토지이용 중에서 오염물질의 유출 가능성이 높은 철로역사(railway station)는 미국의 경우 도로 및 주차장을 포함하여 오염물질의 축적이 높은 지역으로 분류된다. 일반적으로 철로역사는 기관차 및 정비창으로부터 중금속, 유류 및 TCE 등 각종 유기화합물질의 발생율이 높은 토지이용으로 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 원인으로 작용하고 있다. 특히 최근 들어 문제가 되고 있는 '부산철도차량정비창 구내 토양오염실태'는 이미 언론에서 문제시 되고 있는 오염의 한 사례라고 볼 수 있다. 이 지역은 2004년도에는 추가 정밀조사와 오염 지하수 확산방지조치를 시행하고 2005년도부터 복원설계 및 복원 시공 할 계획이다. 이러한 문제는 토양오염에만 한정되는 것이 아니라 강우 시 비점오염원으로 작용하여 인근 수계로 유입되어 수질 악화를 초래한다는 점에서 중요성이 크다고 할 수 있다. 미국의 경우도 1999년도에 도

로, 철도 및 항공기 등 교통에 의한 환경에의 오염을 심각히 받아들이고 있으며 이에 관한 처리저감방안을 연구 중에 있기에 한국에서도 관심을 가져야 할 중요 부분으로 인식되고 있다[4]. 따라서 본 논문은 철로역사에서 유출 가능한 오염물질들의 대체적인 종류, 유출 부하량 범위 및 처리기준 산정을 제시하여 향후 철로역사 건설 시 비점오염원의 관리방안 수립 시 사용 가능한 기준을 연구하고자 한다.

## 2. 모니터링 및 실험방법

본 연구는 국내 D도시(관계기관의 요청에 의하여 이니셜만 사용) 인근의 철로역사에서 강우 시 유출되는 비점오염물질을 모니터링 한 결과를 정리한 것이다. 강우로 인해 철로역사에서 유출되는 오염물질의 종류 및 유출 경향을 파악한 것으로 현재 하천수계에 영향을 주는 오염물질 위주로, 입자상 물질 및 유기물 등에 관해 정리하고자 한다. 대상지역은 국철 주차장 및 정비창이 위치해 있으며 유역 면적은 3,000m<sup>2</sup> 정도이며 유역경사는 0.5-1도의 범위를 나타내고 있다.

모니터링은 강우 유출이 시작된 후 초기 1시간 동안 집중적으로 시행되었으며, 1시간 이후에는 1시간 단위로 수질 샘플을 채취하였다. 강우 사상이 발생할 때 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: 5mm). 비점오염물질의 유출은 강우에 의해서 큰 영향을 받기에 발생 가능한 오차의 범위도 적지 않다. 따라서 유출 오염물질 부하량의 바람직한 정량화를 위해서는 많은 모니터링의 수행결과로 얻어진 자료의 세밀한 분석이 필요하다. 그러나 현실적으로 대상기관의 모니터링 허용 및 기타 부수적인 요인에 의하여 추가적인 모니터링에는 어려움이 있었기에, 본 논문은 전체 4회에 관한 결과를 통해 국내에서는 처음으로 철로역사에서의 비점오염물질 유출경향을 발표하고자 한다. 본 연구를 수행하기 위하여 채택된 모니터링 프로그램은 초기강우 현상을 고려하여 수질시료 채취 및 수량에 관한 측정으로 계획되었으며 모니터링이 수행되었다. 또한 강우 전 기간을 통하여 자료를 획득하기 위하여 강우가 끝날 때까지 지속적으로 시료채취 및 유량측정이 수행되었다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 오염물질 유출경향 및 부하율

일반적으로 포장된 지역의 비점오염원에서의 오염물질 유출경향은 점오염원에서의 유출과는 매우 다른 양상을 나타낸다. 포장된 지역은 낮은 투수계수로 인하여 강우가 발생할 시 다량의 강우가 오염물질과 함께 유출하게 된다. 따라서 강우 시 연구지점에서 유출되는 유출수 및 오염물질의 유출경향을 파악하기 위하여 모니터링을 수행하였으며, 그 결과를 polluto- 및 hydro-graphs로 나타내었다. Fig. 1은 2003년 9월 2일에 발생한 강우 사상에 대하여 수행된 모니터링 결과를 나타내고 있다. 그림은 강우가 시작된 이후 유출 시작부터 끝나는 시점까지의 유출율과 농도 변화를 시간 대별로 도식화한 것이다. 대상구역이 포장되어 있는 관계로 강우 유출이 시작된 후 오염물질의 유출경향은 지속적으로 감소하는 전형적인 초기강우 현상(first flush effect)을 나타내고 있으며, 이러한 현상은 향후 최적관리방안(Best Management Practices, BMPs) 도출에 매우 중요하게 이용되어

져야 할 특징이다. 그림에서 나타난 바와 같이 COD, TSS 및 중금속 등의 경우 강우 유출이 시작된 이후 20-30분 이내에 유출 오염물질의 농도가 초기농도에 비해 5-7배정도 줄어드는 경향을 보인다. 이러한 현상이 초기강우 현상이며, 초기강우 기간이 끝난 시점 이후로는 오염물질의 농도는 완만하게 줄어들고 있음을 볼 수 있다. 그러나 유류에서 기인하는 Oil & Grease의 경우 2003년 9월 2일의 강우 사상뿐만 아니라, 다른 모니터링 일자에서도 확인되듯이 초기 강우 현상을 보이지 않는 경우가 많은 것으로 조사되었다. 그 이유는 또한 축적되어 있던 유류가 강우가 시작됨과 동시에 오염물질의 특성 상 지속적으로 강우 유출수에 용해되어 유출되기 때문이다.

Fig. 2는 강우 유출 시간에 따른 오염물질의 유출 부하율을 나타내고 있다. 오염물질의 농도는 강우 지속시간에 따라 급격하게 줄어드는 경향을 보이나, 부하율은 강우 유출율과 비슷한 경향을 나타낸다. 그 이유는 오염물질의 부하율은 농도와 유출율이 동시에 고려되기 때문이다. 예를 들어 강우 초기에는 유출되는 오염물질의 농도는 높으나 오염

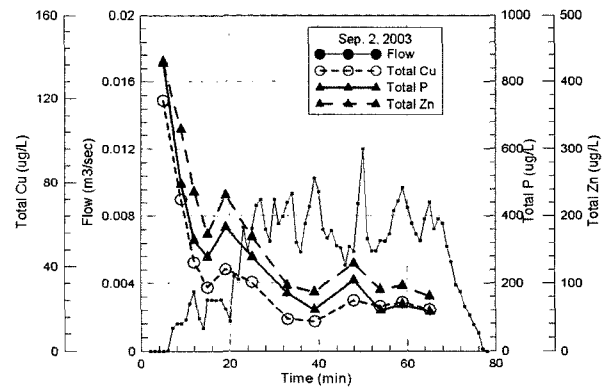
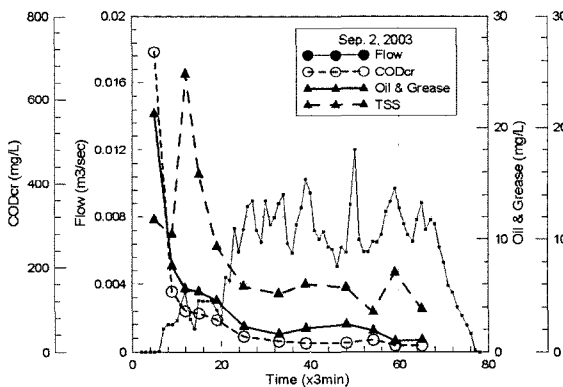


Fig. 1. Hydro- and polluto-graphs during a storm

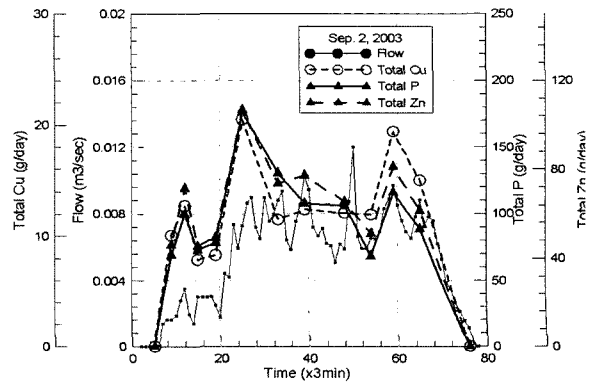
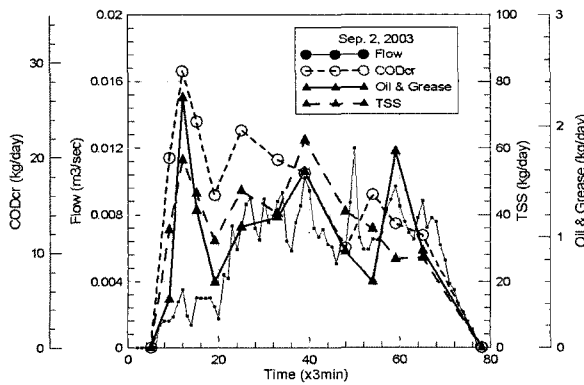


Fig. 2. Pollutant loading rates with storm duration

물질의 유출 부하율은 낮은 경향을 나타내는데, 그것은 낮은 유출수율(flow rate) 때문이다. 그러나 최대 부하율은 유출되는 오염물질의 농도와 유출율의 상관관계에서 높은 경우를 나타내는데, 본 연구결과에 의하면, 오염물질의 최대 부하율은 최고 강우강도가 발생하기 이전에 나타나는 것으로 조사되었다. 그림에서 보듯이 강우가 유출된 이후 20-30분 이내에 최대 오염물질 부하율을 보이고 있다. 이러한 오염물질의 부하율은 향후 유출을 대비 유출 부하량의 일반화된 그림을 도출할 때 긴요하게 사용된다. 또한 이러한 토지 이용에서 유출되는 오염물질을 관리하는 처리저감 방법 선정 시 본 결과는 처리효율 및 처리기준 산정에 효과적으로 사용될 수 있다.

### 3.2 유출 비점오염물질의 통계분석

Fig. 3은 강우시 유출된 오염물질의 전체 모니터링 자료를 통계학적으로 분석한 결과를 나타내고 있다. 그림은 중간값, 최소값, 최대값 및 95% 확신 범위를 나타내고 있다.

TSS와 COD의 경우 강우 초기에 최대값이 247.8mg/L와 714.3mg/L의 값을 보이지만, 강우가 지속됨에 따라 급격하게 줄어들다가 거의 끝나갈 시점에는 최소값이 각각 9.9mg/L와 11.1mg/L의 값을 보인다. TSS의 95% 확신범위는 45.4mg/L에서 79.8mg/L의 범위를 보이며, COD는 65.5-150.4mg/L의 범위를 나타내고 있다. Oil & Grease는 최대값이 45.8mg/L를 보이고 최소값은 0.96mg/L로 나타났으며, 95%

확신범위는 5.13-10.94mg/L의 값을 보였다. 중금속의 경우, 95% 확신범위는 Total Cu가 30.0-56.2ug/L, Total Ni이 6.4-12.5mg/L, Total Pb가 16.2-24.8mg/L 그리고 Total Zn이 142.1-255.5mg/L의 범위를 나타내고 있다. 최소값, 최대값 및 95% 확신범위만 보더라도 강우에 의한 오염물질의 농도는 광범위한 것으로 나타난다. 그 이유는 강우초기에 고농도의 오염물질이 유출되는 초기강우현상과 강우가 지속됨에 따른 희석효과에 의한 오염물질의 농도감소 때문이다.

이러한 광범위한 오염물질의 농도범위는 경제적인 처리저감시설 선정에 큰 장애로 작용한다. 초기강우가 거의 끝난 이후 유출되는 강우 유출수는 오염물질의 농도가 매우 낮아 인근 수계로 유입될 시 환경에 거의 영향을 끼치지 않는다. 따라서 매우 낮은 농도로 유출되는 유출수를 처리한다는 것은 경제적으로 바람직하지 않다. 경제적인 오염물질의 처리를 위한 초기강우 기준을 제안하기에 앞서 강우 유출이 시작된 이후 고농도가 유출되는 초기 1시간의 오염물질의 농도 변화를 파악할 필요가 있다. Table 1은 강우가 발생하고 유출이 시작된 이후 초기 1시간 동안 유출된 오염물질에 대한 통계분석의 결과를 보여주고 있다. 초기 1시간 동안의 유출수의 농도는 전체 강우기간 중의 평균농도에 비해 약 1.5-2.5배 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 유출 특성은 강우 초기의 농도가 강우

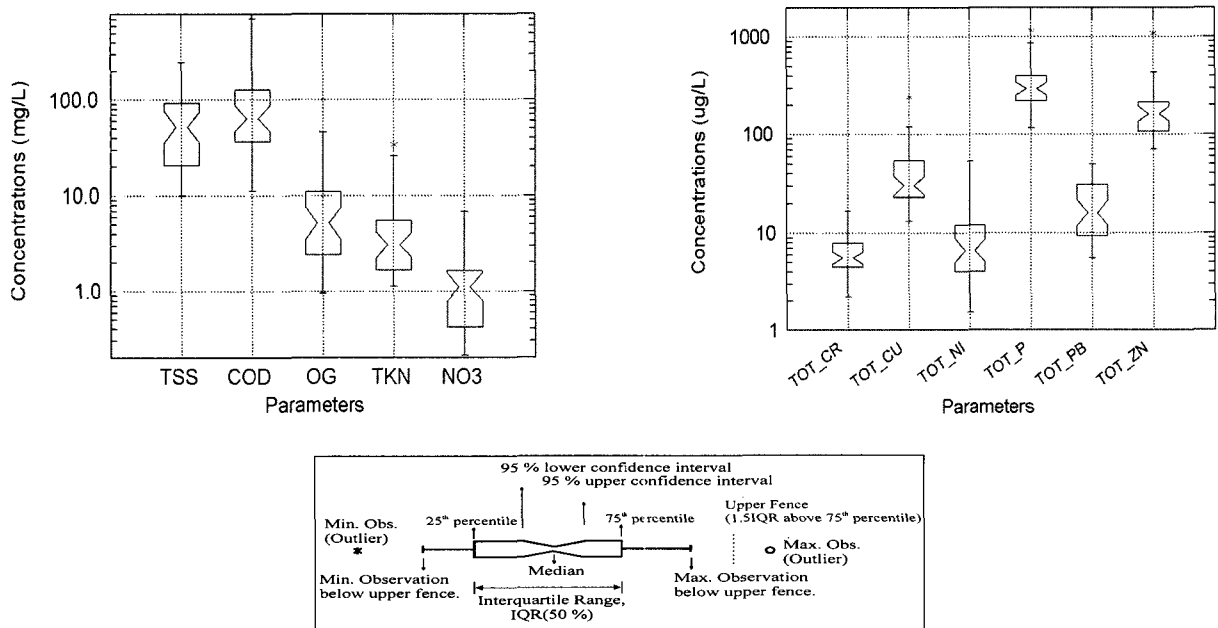


Fig. 3. Statistical analysis for monitored runoff samples

**Table 1.** Statistical summaries for washed-off concentrations during first an hour

Units: mg/L except metals(ug/L)	Min.	Max.	Median	Mean	95% CI Upper	95% CI Lower	St. Dev.
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-N	0.00	2.00	0.00	0.25	0.51	0	0.55
NO2-N	0.00	2.00	0.00	0.40	0.68	0.12	0.60
NO3-N	1.00	7.00	1.00	2.00	2.76	1.24	1.62
Soluble Cd	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Soluble Cr	1.00	11.00	2.00	3.16	4.60	1.72	2.99
Soluble Cu	10.00	228.00	26.50	42.15	65.17	19.13	49.20
Soluble Ni	1.00	51.00	6.00	9.40	14.69	4.11	11.30
Soluble P	165.00	1096.00	247.00	318.15	417.64	218.66	212.57
Soluble Pb	3.00	13.00	3.00	4.30	6.59	2.01	3.20
Soluble Zn	16.00	985.00	107.00	163.20	265.99	60.41	219.64
Total Cd	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Total Cr	3.00	17.00	8.00	8.40	10.28	6.52	4.02
Total Cu	25.00	240.00	53.50	61.60	84.02	39.18	47.90
Total Ni	4.00	53.00	11.50	13.85	18.99	8.71	10.98
Total P	247.00	1163.00	383.00	458.65	562.82	354.48	222.58
Total Pb	7.00	50.00	15.50	19.90	25.78	14.02	12.56
Total Zn	108.00	1079.00	210.00	279.15	376.12	182.18	207.19

말기에 비해 매우 높다는 것을 의미한다.

초기 1시간동안의 오염물질 농도는 TSS의 경우 95% 확신 범위가 61.6-115.4mg/L(평균=88.50mg/L)의 범위를 나타내며, COD가 103.8-244.1mg/L(평균=174mg/L) 및 Oil & Grease가 7.68-17.32mg/L(평균=12.5mg/L)의 범위를 나타내고 있다. 중금속의 경우, Total Cu가 39.2-84.0ug/L(평균=61.6ug/L), Total Pb가 14.0-25.8ug/L(평균=19.9ug/L) 그리고 Total Zn이 182.2-376.1ug/L(평균=279.2ug/L)의 높은 농도를 나타내고 있다.

### 3.3 초기강우 기준 제안

강우시 철로역사에서 유출되는 오염물질의 유출 특성 및 농도의 통계학적 범위를 살펴본 결과 강우 초기에 고농도가 유출되는 초기강우 현상을 파악할 수 있었다. 따라서 경제적인 오염물질 관리방안을 위한 기준을 설정하기 위해서는 이러한 초기강우 현상을 설명할 수 있는 연구가 필요하다. Fig. 4는 모니터링으로 얻은 수질과 유량 결과를 일반화 시킨 것으로 초기우수의 기준을 제안하기 위하여 널리 사용되

는 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 분석해볼 때 초기강우는 최대 강우강도가 발생하기 이전에 발생하기 때문에 최대 강우강도를 초기강우를 위한 강우강도의 기준으로 결정할 수 있다는 해석도 가능하다. 또한 초기 1시간 이후의 유출수의 농도는 20%이하이므로 적절한 초기강우 처리 후 여타 목적으로 강우 유출수의 재이용도 가능할 것으로 판단된다. 특히 초기강우 이후 유출되는 강우 유출수는 간단한 여과시설을 통하여 처리되어진다면 화장실용수, 청소용수 또는 정원용수로의 사용이 가능한 수질을 보이고 있다. 이러한 강우 유출수의 재이용은 물 부족을 겪고 있는 한국의 실정에서는 바람직한 물의 재이용이라 판단된다.

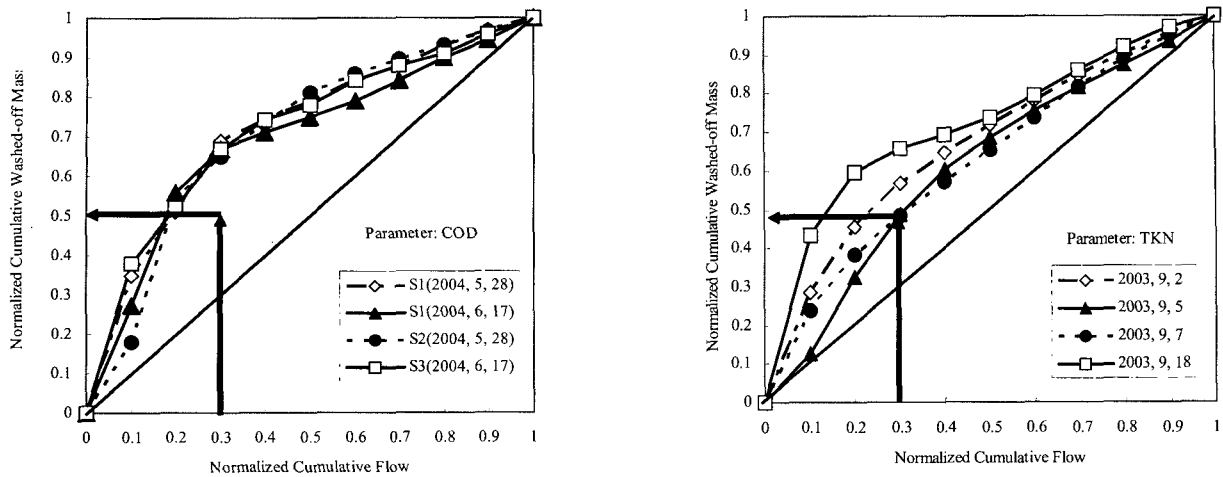


Fig. 4. An approach for determining first flush criteria

#### 4. 결론

최근 들어 국내외적으로 오염총량제가 실시되면서 다양한 토지이용에서 기인하는 비점오염물질에 관한 관심은 지대하지만 모니터링을 기반으로 하는 기초 자료가 부족하여 비점오염물질 관리에 큰 애로를 가지고 있다. 따라서 본 연구는 다양한 토지이용 중에서 포장율이 높아 오염물질의 축적 및 유출이 높은 철로역사에서 모니터링을 수행함으로써 오염물질의 유출 경향 및 초기강우 기준을 제안하기 위하여 연구가 진행되었다. 모니터링 및 연구결과 다음과 같은 결론을 도출 하였다.

- (1) 강우가 발생할 시 철로역사에서 유출되는 강우 유출수는 입자상 오염물질, 각종 유기물 및 중금속을 다량 함유하고 있는 것으로 나타났다. TSS와 COD의 경우 최대값이 247.8mg/L와 714.3mg/L의 값을 보였으며, Oil & Grease는 45.8mg/L를 나타내었다. 중금속의 경우, 95% 확신범위는 Total Cu가 30.0-56.2ug/L, Total Ni이 6.4-12.5mg/L, Total Pb가 16.2-24.8mg/L 그리고 Total Zn이 142.1-255.5mg/L의 범위를 나타내고 있다.
- (2) 강우 지속 시간에 따른 오염물질의 농도는 강우 유출이 지속됨에 따라 급격히 감소하는 전형적인 초기강우 현상을 나타내었다. 특히 강우 유출 초기, 즉 초기 1시간 이내 또는 30분 이내에 고농도의 유출수가 유출됨을 볼 수 있었다.
- (3) 오염물질의 최대 부하율은 최대 유출수율이 발생하기 이전에 나타났는데, 그 이유는 강우 초기의 전형적인 초기강우 현상 때문이다.

- (4) 초기강우 기준을 제안하기 위하여 연구를 수행한 결과, 누가 우수 유출량의 약 30%를 처리하는 경우 오염물의 약 50% 이상을 처리할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 초기 1시간 이후의 강우 유출수에 대해서는 적정 처리시설 이용 후 화장실, 청소 또는 화단 용수로 재이용 가능한 수질이다. 또한 본 논문에서 제안한 초기강우 기준은 환경부에서 제안하는 5mm 누적강우량을 기준으로 철로역사에서 유출되는 비점오염물질의 처리 또는 저감 시설 설계시에 규모 산정에 이용될 수 있다.
- (5) 본 연구는 다양한 토지이용 중에서 철로역사로부터 유출되는 비점오염물질에 대한 연구 결과로 국내에서는 처음으로 수행된 모니터링이며, 향후 오염물질 저감 및 처리기술 개발 시에 기초 자료로 이용이 가능하다.

#### 참고 문헌

1. U.S. EPA, "Nonpoint Sources Pollution Control Program", U.S. EPA Report 841-F-94-005, Washington, DC, USA, 1994.
2. U.S. EPA, "Economic Benefits of Runoff Controls", U.S. EPA Report 841-S-95-002, Washington, DC, USA, 1995.
3. 환경부, "물관리 종합대책]의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원 관리 종합대책", 관계기관 합동회의, 2004.
4. U.S. EPA, "Indicators of the Environmental Impacts of Transportation," U.S. EPA 230-R-99-001, Washington, DC, USA, 1999.