

## 철로 역사 건설에 따른 강우 유출수내 비점오염물질의 동적 EMCs 및 처리방안 연구

### Dynamic EMCs and Optimum Treatment Criteria for Stormwater Runoff of a Railway Station

김이형\* · 임경호\* · 김기동\* · 이병식\*

Lee-Hyung Kim · Kyeong-Ho Lim · Kee-Dong Kim · Byung-Sik Lee

#### Abstract

In order to successfully propel the stormwater management program, administration plan of stormwater management is enacted in Spring, 2005. Hereafter, in a newly developing area such as a railway station, the best management practices should be established to control the nonpoint pollutant. Construction of a railway station means the increasing of imperviousness rate and lots of nonpoint pollutant emissions during rainfall. Therefore this research was performed to determine the pollutant EMC and to suggest the possible best management practice for treating nonpoint pollutants from a railway station. The 95% confidence intervals of pollutant EMC were ranged to 69.4-115.2mg/L for TSS, 132.7-190.4mg/L for COD, 5.4-15.1ug/L for Oil & Grease, 4.9-12.4mg/L for TKN and 568.4-620.1ug/L for TP. The first flush criteria was ranged to 5-10mm accumulated rainfall using dynamic EMCs. Also laboratory reactor testing was performed. It shows that Zeolite media is useful for removing the washed-off pollutants from a railway station, especially for metal ions.

**Keywords** : Optimum treatment criteria(적정 처리기준), Railway station(철로 역사), Stormwater runoff(강우 유출수), Dynamic EMC(동적 EMC), Zeolite(제올라이트)

#### 1. 서론

2005년 3월 환경부는 신규개발지역에서의 비점오염원 관리(nonpoint source control), 즉 강우유출수 관리(stormwater runoff control)와 수질오염경보제 도입 등을 주요 내용으로 하는 방향으로 수질환경법을 대폭 개정하였다. 그 이유는 기존의 농도규제 정책으로는 유역에서 수계로 유입되는 오염물질의 총량을 규제할 수 없을 뿐 아니라 수질의 개선을 꾀할 수 없다는 판단에서이다. 그 동안의 국내 환경정책은 하폐수, 산업폐수 및 축산폐수 등의 점오염원 관리(point source control) 위주의 처리수의 농도 규제로 진행되었다. 그 결과 폐수처리에 대한 처리 기술은 이미 선진국의 대열에 들어서고 있는 경향이다. 그러나 이러한 점오염원 관리를 통한 유출수의 농도 저감은 상수원수인 하천이나 호소의 수질개선으로 이어지지 못하였다. 상수원

수 인근의 유역은 지속적인 개발, 즉 다양한 토지이용에 의한 오염원 증가로 유출되는 오염물질이 양이 크게 증가되었기 때문이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 환경부는 기존의 농도규제를 총량규제로 전환하는 오염총량관리제(Total Maximum Daily Load, TMDL)를 도입하였으며, 이에 따라 비점오염물질의 원인인 강우유출수의 관리에 대한 중요성이 대두되었다[1]. 오염총량관리제란 점오염원 및 비점오염원의 부하량에 안전율을 합한 값으로 산정되었으며, 2005년 현재 낙동강 유역을 포함한 4대강 유역에서 도·군·경계별 및 시·군·경계별로 지점별 목표수질을 산정하여 시행중이며 대부분의 경우 BOD 기준으로 1-6mg/L의 범위로 목표수질이 설정되었다[1]. 오염총량관리제의 특징은 이러한 목표지점에서 목표수질을 달성하지 못할 경우에 유역의 개발에 제한을 두는 엄격하면서도 새로운 차원의 환경규제 제도라는 것이다. 결과적으로 오염총량관리제의 성패는 비점오염원의 관리 유무에 절대적으로 의존한다[1]. 따라서 환경부는 2004년 3월 관계부처합동으로 물관리 종합대책의

\* 책임저자 : 정희원, 공주대학교 건설환경공학부  
E-mail : leehyung@kongju.ac.kr  
TEL : (041)850-8667 FAX : (041)856-9388

\* 공주대학교 건설환경공학부

추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책을 발표하였으며, 2005년 3월 임시국회에서 비점오염원 관리, 즉 강우유출수 관리를 포함하는 수질환경보전법의 대폭 개정법을 통과시켰다.

이러한 비점오염원 관리를 위한 방안으로 2004년도에 환경부는 비점오염원 관리 업무편람을 발행하였다. 업무편람에 의하면 향후 신규개발 되는 지역의 경우 비점오염물질 처리를 위한 최적관리방안을 수립할 것을 의무화하고 있다. 이의 시행은 환경영향평가 및 사전환경성 검토를 통하여 관리될 것이기에 새롭게 건설되는 지역의 개발은 비점오염원 관리방안의 수립이 필요한 실정이다. 따라서 본 연구는 새롭게 건설되는 철로역사(railway station)에서의 강우 유출수 관리를 위한 최적관리방안 도출을 위하여 수행되었다. 강우시 유출되는 비점오염물질의 부하량 조사를 위하여 모니터링이 수행되었으며 실험실 실험을 통하여 적용 가능한 최적관리방안을 도출하였다.

일반적으로 철로역사 개발완료 후에는 철로역사 관련 건축물, 주차장 및 포장도로로 인하여 불투수층이 크게 늘어나게 되며, 인간 및 경제활동이 증가하면서 지표면에 중금속을 포함하는 다양한 종류의 비점오염물질이 쌓이게 된다. 이러한 오염물질은 강우시 유출되어 수계로 유입과 함께 수질오염을 가중시키는 원인으로 작용하게 된다. 따라서 철로역사 지역은 전형적으로 높은 비점오염물질 유출 토지이용 중의 하나이며 개발은 곧바로 높은 비점오염물질 유출 지역으로의 변모를 의미한다[2]. 특히 철로역사 등의 개발과정에 형성된 불투수층은 강우시 우수가 지면에서 저류 및 침투하는 것을 막아 강우유출수를 증가시키게 된다. ASCE (American Society of Civil Engineers, 1998)에 따르면 산림 지역이 포장지역으로 개발되는 경우 강우유출량은 10배까지 증가하는 반면, 지면에 저류되거나 지하로 침투되는 양은 1.5배 감소하는 것으로 보고되고 있다[3]. 또한 Table 1 과 같이 개발로 인하여 불투수층이 증가할 경우 유출되는 비점오염물질 부하량은 거의 정비례하게 되며, 2배의 불투수층 증가는 1.7-2.0배의 비점오염물질 유출을 일으키는 것으로 보고되고 있다[4].

이러한 자료의 결과로 볼 때 철로역사의 건설은 완공 후

에 다량의 비점오염물질 유출과 함께 도시 인근 수계에 심각한 비점오염물질 부하량을 증가시킬 것으로 판단된다[2].

## 2. 모니터링 및 실험방법

비점오염물질은 강우시 집중 유출되기에 강우시 모니터링은 연구에서 필수적이다. 본 연구를 위해 필요한 수질 및 수량 자료를 획득하기 위한 모니터링은 국내 D도시 인근의 철로역사에서 강우시 수행되었다. 대상지역은 국철 주차장 및 정비장이 위치해 있으며 유역 면적은 3,000m<sup>2</sup> 정도이며 유역경사는 0.5-1도의 범위를 나타내고 있다[2].

일반적으로 포장된 지역에서의 비점오염물질 유출은 강우 초기에 집중적으로 유출되는 초기강우 현상(first flush effect)을 나타낸다[2]. 따라서 모니터링은 이러한 초기강우 현상을 반영하여 수행되었으며 강우 유출이 시작된 후 초기 1시간 동안 집중적으로 시행되었다. 그러나 강우기간 전체적인 강우 유출 경향 및 농도의 변화를 파악하기 위하여 초기 1시간 이후에는 1시간 단위로 수질 샘플을 채취하였으며 유출율(flow rate)은 초기 1시간과 같이 수행되었다. 채취된 수질 샘플은 실험실에서 유기물 및 중금속 등에 관한 항목으로 분석을 시행하였다. 모니터링 횟수는 강우시 4회 동안 수행되었으며 개략적인 정보는 다음과 같다: Event 1(2003. 9. 2, 강우량: 28.5 mm), Event 2(2003. 9. 5, 강우량: 30 mm), Event 3(2003. 9. 7-9, 강우량: 57 mm), Event 4(2003. 9. 18, 강우량: 5 mm)[2]. 일반적으로 비점오염물질의 유출은 강우의 특성에 크게 의존하기 때문에 불확실성이 큰 경향을 보인다. 그러나 현실적인 문제, 즉 대상기관의 모니터링 허용여부 및 기타 부수적인 요인에 의하여 추가적인 모니터링에는 어려움이 있었다. 모니터링 결과는 이미 철도학회지에 유출경향 및 통계학적 결과를 발표하였으며, 본 논문에서는 유출 부하량 및 처리방안 결과를 발표하고자 한다. 본 연구는 철로역사에서의 비점오염물질 유출에 관한 국내의 첫 연구결과이며, 향후 철로역사 건설시 비점오염물질 관리를 위한 기초 자료로서의 활용성이 높을 것으로 판단된다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 유출 비점오염물질의 통계학적 분석 결과

초기강우 현상은 철로역사와 같이 포장된 지역에서 나타나는 전형적인 특징이다. 포장된 지역은 낮은 투수계수로 인하여 강우 초기에 고농도의 오염물질이 유출되게 되며, 이러한 특징은 비점오염물질의 최적관리방안 수립에 중요한 기준으로 적용된다. 초기강우 현상은 오염물질 농도곡선

Table 1. Changes of nonpoint pollutant loading rates by changing of imperviousness rate(unit: kg/ha/yr)

Imperviousness rate	BOD	T-N	T-P	Zn	Pb
10%	6.5	2.6	0.3	0.04	0.02
20%	10.8	4.3	0.6	0.08	0.04

및 수리수문곡선에서 확인할 수 있는데, 본 모니터링을 통하여 얻어진 오염물질 농도곡선 및 수리수문곡선은 김이형 외(2005)에 발표되었기에 본 논문에서는 제외하기로 한다[2].

Table 2는 강우 기간동안 채취된 시료에 대한 최소값, 최대값, 중간값, 평균값, 95% 확신범위 및 표준편차 등에 대한 통계학적 분석 결과를 보이고 있다. 입자상 물질인 TSS의 경우 9.9-247.8mg/L의 범위를 보이고 있으며, 최소값은 강우가 끝나고 유출이 끝나는 시점에서 나타났으며, 최대값은 강우초기에 대부분 나타났다. 이러한 특징이 초기강우 현상으로 오일 및 그리스(Oil & Grease)를 제외하고는 대부분의 오염물질에서 발견되었다. 채취된 강우 유출수 시료에서의 입자상 물질, 유기물 및 유류관련 오염물질의 95%통계학적 확신범위 농도를 살펴보면, TSS가 45.5-79.8mg/L(평균 62.7mg/L), COD가 65.5-150.4mg/L(평균 107.9mg/L), 오일 및 그리스가 5.1-10.9mg/L(평균 8.0mg/L)를 나타내고 있다. 영양소의 경우, TKN이 3.1-7.5mg/L(평균 5.3mg/L)를 나타내고 있으며 TP가 271.8-409.3ug/L(평균 40.5ug/L)의 범위를 나타내고 있다. 중금속의 경우 Total Cu, Total Pb 및 Total Zn의 농도가 높게 측정되었으며, 95% 확신범위 농도는 Total Cu가 30.0-56.2ug/L(평균 43.1ug/L), Total Pb가 16.2-24.8ug/L(평균 20.5ug/L) 그리고 Total Zn이 142.1-255.5ug/L(평균 198.8ug/L)의 범위를 나타내고 있다.

### 3.2 강우유출 평균농도(EMC)

비점오염원 연구에서 부하량 산정에 매우 중요한 인자는 강우유출평균농도(Event Mean Concentration, EMC) 산정이다. EMC는 강우 사상에 따른 평균 농도이지만 채취된 수질 시료 결과의 단순 평균으로 산정되어져서는 안 된다[5].

비점오염물질의 유출특성은 강우의 수리수문 특성에 크게 좌우되기 때문에 유출수율과 수질결과가 EMC 결정에 사용되어야 한다. 이는 비점오염원이 점오염원과 비교할 때 매우 다른 특징 중의 하나이며, EMC가 잘못 산정되었을 때에는 수십 배 이상의 부하량 차이가 발생할 수 있다[5]. 식 (1)은 강우 사상에 대한 EMC 산정식을 보여주고 있다. EMC는 전체 강우지속시간, 즉 T시간 동안 유출된 전체 누적 오염물질의 양을 전체 누적 유출량으로 나누어 계산되며, 비점오염원에서의 평균 농도 산정시 중요하게 이용되고 있다.

$$EMC(mg/L) = \frac{\sum_{t=0}^{T-1} C(t) \cdot q_{run}(t)}{\sum_{t=0}^{T-1} q_{run}(t)} \quad (1)$$

여기서, C(t)와 q<sub>run</sub>(t)는 시간 t에서의 농도와 유출율을 나타내고 있다. 식 (1)을 이용하여 모니터링된 강우사상에 대한 EMC 값이 Table 3에 나타나있다. 측정된 강우량은 5-57 mm의 범위를 보이고 있다. TSS EMC는 69.4-115.2mg/L의 범위를 나타내고 있으며, COD EMC는 132.7-190.4mg/L 그리고 오일 및 그리스의 EMC는 5.4-15.1ug/L의 범위를 나타내고 있다. 영양소의 경우, TKN의 EMC가 4.9-12.4mg/L의 범위를 보이고 TP의 EMC가 568.4-620.1ug/L의 범위를 나타내고 있다. 중금속의 경우는 Total Cu, Total Pb 및 Total Zn의 EMC가 높은 값을 나타내고 있다. 강우량과 EMC를 비교해볼 때 대체적으로 강우량이 클수록 EMC는 낮은 값을 보이고 있는데, 이는 강우량이 클수록 유출되는 유출수량에 의해 오염물질의 희석현상(dilution effect) 때문이다.

Table 2. Statistical analysis for monitored runoff samples

Units: mg/L except metals(ug/L)	Min.	Max.	Median	Mean	95% CI Upper	95% CI Lower	St. Dev
TSS	9.9	247.8	52.3	62.7	79.8	45.5	52.2
COD	11.1	714.3	63.9	107.9	150.4	65.5	129.0
Oil & Grease	1.0	45.8	5.2	8.0	10.9	5.1	8.8
TKN	1.1	33.7	3.1	5.3	7.5	3.1	6.6
NH <sub>3</sub> -N	0.0	1.8	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3
Total Cd	0.5	1.2	0.6	0.7	1.0	0.5	0.3
Total Cr	2.2	16.8	5.6	6.8	7.9	5.6	3.5
Total Cu	13.3	239.7	30.2	43.1	56.2	30.0	39.8
Total Ni	1.5	53.4	6.7	9.5	12.5	6.4	9.3
Total P	116.6	1162.5	295.3	340.5	409.3	271.8	209.2
Total Pb	5.5	49.8	16.1	20.5	24.8	16.2	13.1
Total Zn	70.7	1078.9	162.7	198.8	255.5	142.1	172.5

### 3.3 동적 EMC를 이용한 초기강우 기준 산정

EMC는 유역으로부터 유출되는 부하량 산정 및 인근 수계의 오염물질 기여율 산정 등에는 매우 효과적이다. 그러나 EMC는 강우 사상 전체에 대한 강우평균농도로 비점오염물질을 처리하고자 하는 경제적인 처리용량 산정에는 이용될 수가 없다. 비점오염물질은 강우에 의해서 유출되며 강우가 지속됨에 따라 희석현상에 의해 농도는 급격히 떨어지게 된다. 따라서 강우가 시작된 이후 일정 시간 이후에 유출되는 강우 유출수는 매우 농도가 낮아 깨끗하기 때문에 처리할 필요가 없다. 점오염원의 경우는 시간에 따른 오염물질의 농도가 거의 일정하기 때문에 유출되는 용량을 전체 처리할 필요가 있지만 비점오염원의 경우는 강우 초기에 유출되는 고농도의 유출수만 처리하는 것이 매우 경제적이다. 그러나 EMC로는 이러한 최적관리방안 수립에 필요한 초기 강우 기준을 제시해 줄 수가 없다.

$$\text{Dynamic EMC}(mg/L) = \frac{\sum_{t=0}^{\infty} C(t) \cdot q_{run}(t)}{\sum_{t=0}^{\infty} q_{run}(t)} \quad (2)$$

따라서 본 연구에서는 EMC와 초기강우 현상을 동시에 나타내고 향후 오염물질 처리기준으로 사용 가능한 초기 강우 기준을 제안하기 위하여 식 (2)와 같이 동적 EMC (Dynamic EMC) 개념을 도입하였다[2]. 동적 EMC는 t시간의 강우지속시간 동안 유출된 오염물질의 EMC로 초기강우 현상이 발생하는 토지이용에서는 지속적으로 동적 EMC가 감소하는 경향을 나타내게 된다. 따라서 EMC는 전체 강우 지속시간에 따른 유출 오염물질의 평균농도이지만, 동적

EMC는 변화해 가는 강우지속시간에 따라 EMC가 지속적으로 변한다는 개념을 가지고 있다.

Fig. 1은 강우사상에 대한 동적 EMC의 예를 보이고 있는데 대부분의 오염물질들이 시간에 따라 급격한 동적 EMC의 감소를 보인다. 그러나 유류에서 기인한 오일 및 그리스의 경우는 시간에 따른 특정 경향을 보이지 않는데, 그 이유는 축적되어 있던 오일 및 그리스 성분들이 강우에 의해서 지속적으로 용해되어 유출되기 때문이다. 동적 EMC 연구 결과 강우 유출이 시작된 이후 EMC는 20분까지 또는 50분 이내까지 급격히 감소하는 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다. 이러한 동적 EMC는 강우지속시간에 따라 지속적으로 줄어들다가 강우가 끝나고 유출이 끝나는 시간에 강우사상을 대표하는 EMC로 나타나는 결과를 보인다. 이렇듯 동적 EMC는 강우지속시간에 따른 초기강우 현상 및 EMC 값을 동시에 산정할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 EMC가 급격히 하강하고 있는 시점의 강우지속시간을 파악하여 이를 강우량에 대입하면 경제적인 오염물질 처리용량 산정에 필요한 초기강우 기준을 산정할 수 있다. 본 결과를 이용하여 지점에서 측정된 누적 강우량을 파악해본 결과 5-10 mm의 범위를 보였다.

### 3.4 미디어를 이용한 철로역사 오염물질 처리

철로역사에서 강우시 유출되는 비점오염물질의 통계학적 농도범위 및 동적 EMC를 살펴본 결과 강우 초기에 고농도가 유출되는 초기강우 현상을 파악할 수 있었다. 새롭게 개정된 수질환경법은 신규개발사업에서 비점오염원 관리방안 수립을 요구하고 있으며, 앞서 서술한 것과 같이 환경영향 평가 및 사전환경성 검토에서 비점오염원 최적관리방안 수

Table 3. Event mean concentrations for each event in a railway station

Units: mg/L except metals(ug/L)	Event 1	Event 2	Event 3	Event 4
강우량(mm)	28.5	30	57	5
TSS	85.1	76.8	69.4	115.2
COD	156.4	132.7	159.6	190.4
Oil and Grease	13.7	8.6	5.4	15.1
TKN	11.4	7.6	4.9	12.4
NH <sub>3</sub> -N	0.21	0.16	0.18	0.25
Total Cd	0.74	0.66	0.57	0.87
Total Cr	7.8	6.4	5.7	9.6
Total Cu	86.4	65.7	62.4	100.6
Total Ni	19.6	16.4	18.7	20.8
Total P	610.3	586.7	568.4	620.1
Total Pb	27.4	26.5	21.0	29.8
Total Zn	260.9	254.3	246.9	300.6

립을 검토할 예정이다. 따라서 본 장에서는 다양한 비점오염원 관리방안, 즉 저류형, 습지형, 침투형, 여과형, 식생형, 장치형 등의 방안 중에서 여과형에 대한 연구 결과를 수록하고자 한다. 철로역사의 경우 부지의 제한 때문에 저류형, 습지형 및 식생형은 고려하기가 여의치 않는 상황이며, 장치형은 운영관리가 적절치 않음과 동시에 초기강우를 고려하지 않은 시설이기 때문에 오염물질 처리를 위한 경제성에도 바람직하지 않다. 또한 침투형은 강우 유출수를 지속적으로 지하수로 유입시키기 때문에 상수원수 인근의 경우 지하수 오염의 원인으로 작용할 수 있기에 여과형에 대한 연구를 수행하였다. 특히 강우 초기에 고농도로 유출되는 초기강우는 여과시설을 통해 여과시키고 초기강우 이후에 유출되는 강우유출수는 차집하여 화장실용수, 청소용수 또는 정원용수로의 재이용이 가능하기에 바람직한 방안이라 판단된다. 또한 철로역사에서 유출되는 강우 유출수는 많은 양의 중금속을 함유하고 있기에 매디아(media)를 이용한 여과형 시설이 바람직하다.

여과를 위한 매디아는 중금속의 흡착 및 제거에 효과적인 제올라이트(Zeolite)를 선정하였다. 제올라이트는 넓은 공극률을 가지고 있기에 여과성이 뛰어나고 동시에 이온교환 및 흡착 능력이 뛰어나 중금속 및 각종 이온성 오염물질 제거에 매우 효과적이다. 현재 친환경적이면서 친자연적인 제올라이트의 사용은 넓은 분야로 확대되어 지고 있으며, 특히 환경시설에 많이 접목이 되고 있다.

따라서 제올라이트를 생산하는 업체만 세계적으로 수십 업체가 있으며 가격 또한 매우 안정적이며 저렴하다.

제올라이트의 효율 평가를 위하여 실험실 실험을 수행하였으며 그 결과가 Fig. 2에 나타나 있다. 사용한 원수는 현장 적용 능력을 높이기 위하여 2003년 9월 18일에 발생한 강우 사상에 대하여 강우 초기에 유출되는 초기강우 유출수를 채취하여 반응조 실험을 수행하였다. 반응조의 바닥에는 5cm 높이의 쇠석을 넣고, 그 위에 10cm 의 모래층을 두었으며, 모래층 위에 제올라이트를 15cm로 채워서 실험을 수행하였다. 이러한 제올라이트를 채운 반응조에 채취한 강우 유출

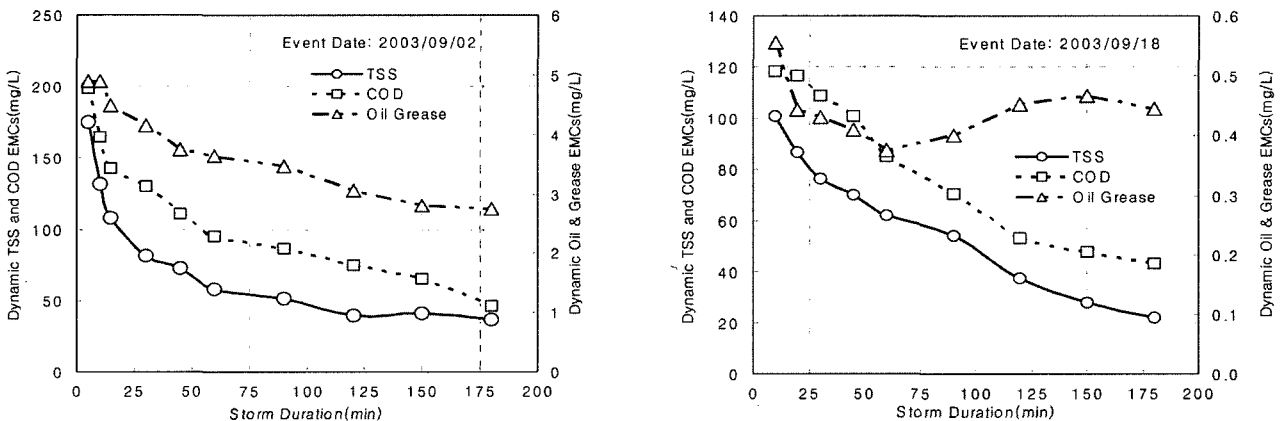


Fig. 1. Dynamic EMCs in a railway station

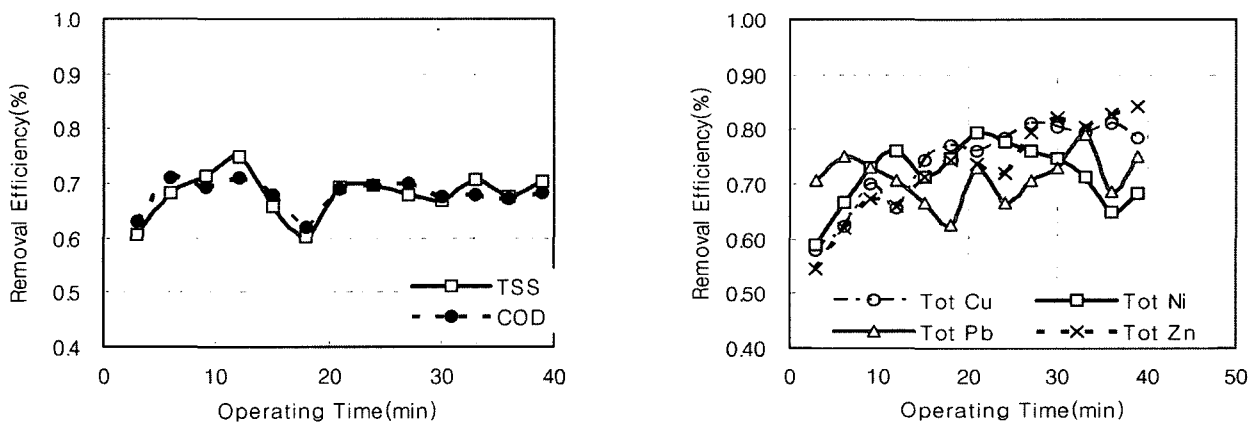


Fig. 2. Removal efficiency using Zeolite media

수를 수면적 부하율 0.55L/min으로 지속적으로 주입하였다. 유입되는 원수의 농도를 측정하였으며 제올라이트 층을 통과하여 유출된 유출수의 수질을 상호 비교함으로써 TSS, COD 및 중금속의 처리효율을 검토하였다. Fig. 2는 제올라이트를 미디어로 이용한 반응조에서의 오염물질 제거효율을 나타내고 있다. TSS와 COD의 경우 초기 20분 동안은 60-75%의 제거율 범위로 나타났으며, 20분이 경과한 이후에는 70% 내외의 안정적인 수질을 보여주고 있다. 중금속의 경우에는 실험초기에는 50-70% 사이의 처리효율을 보였으나, 점차 지속적으로 제거효율이 높아져서 68-85%의 제거효율을 보였다.

#### 4. 결론

최근 국내 환경정책은 기존의 점오염원 관리에서 오염총량관리제 시행과 함께 다양한 토지이용에서 발생하는 비점오염원 관리로의 급격한 변화를 겪고 있다. 또한 2005년 3월에는 비점오염원 관리를 강화하는 방향으로 수질환경법이 개정되었으며, 향후 신규개발사업에 있어서 환경영향평가 및 사전환경성 검토에서 비점오염원 최적관리방안이 중요한 항목으로 자리매김할 것이다. 특히 철로역사와 같이 신규로 개발되는 지역에서는 비점오염원을 관리하는 방안 수립이 절대적으로 필요한 실정이지만, 현재 국내에는 기초자료의 부족으로 인하여 향후 관리방안 수립에 애로가 있을 전망이다. 따라서 본 연구는 높은 포장율에 의해 강우 발생시 다량의 비점오염물질이 유출되는 철로역사에서 비점오염원 관리방안 수립을 위한 기초자료를 제공하고자 수행되었다. 본 연구를 통하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

(1) 철로역사에서 강우시 유출되는 비점오염물질의 95% 통계학적 확신범위 농도는 TSS가 45.5-79.8mg/L, COD가 65.5-150.4mg/L, 오일 및 그리스가 5.1-10.9mg/L, TKN이 3.1-7.5mg/L 그리고 TP가 271.8-409.3ug/L의 범위를

나타내고 있다. 유출되는 중금속의 평균농도는 Total Cu가 43.1ug/L, Total Pb가 20.5ug/L 그리고 Total Zn이 198.8ug/L의 값을 나타내고 있다.

- (2) 유출수내의 EMC는 TSS가 69.4-115.2mg/L, COD가 132.7-190.4mg/L, 오일 및 그리스가 5.4-15.1ug/L, TKN이 4.9-12.4mg/L 그리고 TP가 568.4-620.1ug/L의 범위를 나타내고 있다. 강우량과 EMC를 비교한 결과 희석현상에 의하여 강우량이 클수록 EMC는 낮은 값을 보이는 것으로 나타났다.
- (3) 동적 EMC를 연구한 결과, EMC는 강우 유출이 시작된 이후 20-50분 이내까지 급격히 감소하는 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다. 이러한 동적 EMC는 초기강우 기준 설정에 중요한 역할을 하며, 본 결과를 이용하여 산정된 초기강우의 기준은 5-10mm의 범위로 나타났다.
- (4) 제올라이트를 미디어로 이용하여 실험실에서 반응조 실험을 수행한 결과, TSS와 COD의 경우에는 초기 20분 경과 이후에는 70% 내외의 안정적인 수질을 보였으며, 중금속의 경우에도 운영시간의 지속에 따라 제거효율이 지속적으로 높아져서 68-85%의 제거효율을 보였다.

#### 참고 문헌

1. 환경부(2004), "물관리 종합대책의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책", 관계기관 합동회의.
2. 김이형, 어성욱, 이선하(2005), "강우시 철로역사에서 발생하는 비점오염물질의 유출 경향 및 특성", 한국철도학회지, 제 8권 1호, pp.1-6.
3. ASCE(1998), "Urban Runoff Quality Management", ASCE.
4. Schueler, T.R.(1994), "Watershed Protection Techniques: A Quarterly Bulletin on Urban Watershed Restoration and Protection Tools, Center for Watershed Protection, Silver Spring."
5. 김이형, 강주현 (2004), "강우 시 발생하는 고속도로 유출수의 초기유수 특성 및 기준", 한국물환경학회지, 제 20권 6호, pp.641-646.