

노면배수에 함유된 미량오염물질 및 제거에 관한 연구

김부길 · 박흥재* · 장성호**

동서대학교 토목공학과, *인제대학교 환경학과, **부산대학교 지역환경시스템공학전공
(2008년 10월 9일 접수; 2008년 11월 6일 수정; 2009년 1월 12일 채택)

A Study on the Micropollutants and Removal of Micropollutants Contained in Road Runoff

Boo-Gil Kim, Heung-Jai Park* and Seong-Ho Jang**

Division of Architecture and Civil Engineering, Dongseo University, Busan 617-716, Korea

**Department of Environmental Science, Inje University, Gimhae 621-749, Korea*

***Department of Environmental System Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea*

(Manuscript received 9 October, 2008; revised 6 November, 2008; accepted 12 January, 2009)

Abstract

Micropollutants, which can be caused by imperfect combustion, are toxic chemical compound that flows into the river system after being contained in road runoff, a non-point source pollutant and accumulates in the body. The micropollutants that have characteristics such as toxicity, persistence, bio-accumulation, long-range transportation behave so similarly to micro particles that they can be removed by means of filtration or absorption. This study has examined the kinds and concentrations of micropollutants contained in deposited road particles. It has revealed that the kinds of micropollutants contained in the clarified supernatant liquid of deposited road particles are heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) composed of two or three benzene rings, including naphthalene and acenaphthalene. Their concentrations have been shown to be low, with 0.418 mg/L, 0.058 mg/L, 0.104 mg/L, 0.014 mg/L, 0.00075 mg/L for Zn, Pb, Cu, Cr, Cd, respectively and 0.00156 mg/L and 0.00184 mg/L for naphthalene and acenaphthalene.

Key Words : Micropollutants, Non-point source pollutants, Road runoff, Heavy metal, PAHs

1. 서 론

미량오염물질은 크게 중금속과 같은 무기 오염물질(PIPs, Persistent Inorganic Pollutants)과 유기오염물질(POPs, Persistent Organic Pollutants)로 나뉘어진다. POPs은 강한 독성과 함께 잔류성, 지용성, 반휘발성 등의 특성이 있으므로 다른 오염물질과 구

분된다^{1,2)}. 유기오염물질은 화학적 조성에 따라 PCBs, 다이옥신, 유기염소살충제 등과 같은 할로겐화 탄화수소와 다환방향족 탄화수소(Polycyclic aromatic hydrocarbon, PAHs)로 나누어진다³⁾. PAHs는 naphthalene, acenaphthylene, acenaphthene, fluorene 등 저분자량의 LPAHs와 고분자량의 HPAHs로 구분된다. LPAHs는 HPAHs에 비해 상대적으로 흡착율이 낮고 미생물에 의한 분해는 빠른 특성을 가지고 있다. HPAHs는 친유성과 소수성이 크고 침강물의 형태로 존재한다^{4,5)}.

노면도로의 중금속의 주요 발생원으로 자동차의 연소에 의한 매연 및 분진, 그리고 타이어와 브레이크 패드의 마모 등을 들 수 있다. PAHs는 가소제(나프탈렌), 색소(아세나프톤, 피렌), 염료(안트라센, 플로르안센) 및 농약 등에서 발생된다. 산업공정과 자동차 배기가스의 불완전연소에 유래하는 중금속과 PAHs는 노면배수에 함유되어 수계로 유입되고 있다⁶⁻⁸⁾.

입자상 형태로 존재하는 미량오염물질은 미세입자와 유사하게 거동하며⁹⁾, 대부분이 노면배수와 함께 유출되고 있다¹⁰⁾. 따라서 노면배수에 함유된 미세입자를 제거하는 것으로 미량오염물질의 일정량이 제거될 것으로 예상된다.

본 연구에서는 미량오염물질의 제거 특성에 관한 예비 조사와 노면배수에 함유된 미량오염물질의 종류 및 농도에 관한 분석을 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

자동차 운행에 기인하여 노면배수에 함유될 수 있는 중금속의 종류인 Zn, Cd, Pb, Cu, Cr, Mn, Al, Cu, Cr, Ni⁹⁾ 와 미국 환경보호청(US EPA)에서 지정한 16개의 PAHs 물질을 근거로 분석항목을 정하였다¹¹⁾.

시료는 도시 고가도로의 노면퇴적물을 채취하였다. Table 1에 채취한 노면퇴적물의 입자 크기와 중량별 비율을 나타내었다. 2,000 μm이하의 입자가 중량비율 약 80%미만이고, 미세부유입자로 분류할 수 있는 150 μm이하 입자의 중량비율은 약 5%미만으로 나타났다.

2.2. 분석방법

미량오염물질의 농도를 분석하기 위하여 채취한 노면퇴적물의 아래의 Fig. 1과 같이 전처리하여 인공 노면배수를 조제하였다. 상기의 전처리를 걸친 인공 노면배수의 중금속 농도는 ICP(Optima 5300DV Perkin Elmer, USA)로 분석하였다. PAHs는 EPA method 610, EPA 8270 및 미규제 미량오염물질 분석기법 개발에 관한 연구에 의거해 분석하였다.

그리고 인공노면배수에 함유된 미량오염물질의 제거특성을 파악하기 위하여 Fig. 2와 같이 원수 저

Table 1. The ratio of deposited road particles by size and weight

Particle size (μm)	Weight(g)
	Urban overpass
2,000>	3158.6(20.9)
850~2,000	4216.3(28.0)
425~850	3726.2(24.7)
250~425	2086.4(13.8)
150~250	1133.4(7.5)
74~150	492.7(3.3)
<74	263.4(1.7)
Total	15077.0(100)

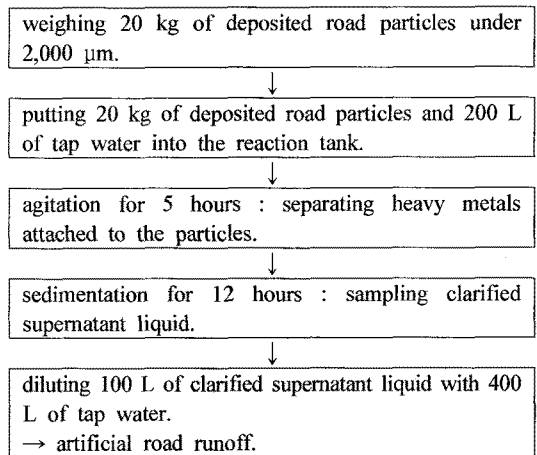


Fig. 1. Order of preparing artificial road runoff.

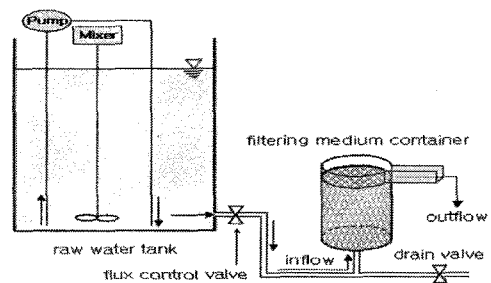


Fig. 2. Upflow filtration experiment equipment.

류조 및 교반장치, 여재부로 구성된 상향류식 여과장치를 제작하였다. 원수 저류조의 농도는 교반 및 내부 순환으로 일정하게 유지하였다. 장치사양은 Table 2와 같고, 여재로 사용된 탄화물 펠렛의 형상은 타원형이며 물성은 각각 크기 : 4 mm, 비중 : 1.1

Table 2. specification of equipment

Raw water tank	Size	∅ 765 mm, h 790 mm
	Mixer	80 W
	Pump	2100 L/hr x 195 W
Filtering medium container		∅ 90 mm, h 300 mm

~1.2, 압축강도 : 200~250 kgf/cm² 재질 : 60% PE + 40% 탄화물, 공극율 : 36.5% 와 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 노면배수에 함유된 중금속 농도

Table 3에 인공 노면배수 함유된 중금속의 종류와 농도를 나타내었다. 총 12가지 중금속 항목에 대하여 분석한 결과, 도시고속도로 노면퇴적물의 노면배수에서 검출된 중금속의 종류는 Zn, Pb, Cu, Cr, Cd, Fe, Al, Co, Ni, Mn 등이며 As, Hg는 검출되지 않았다. 이 중 Zn, Pb, Cu, Cr, Cd의 농도는 각각 0.418 mg/L, 0.058 mg/L, 0.104 mg/L, 0.014 mg/L, 0.00075 mg/L로 나타나 박 등¹²⁾이 보고한 실제 노면배수의 농도 범위에 포함되었지만, 구조물이나 차체의 마모로 발생하는 Fe, Al의 농도는 각각 5.31625 mg/L, 4.01625 mg/L로 약간 높게 나타났다. 이러한 현상은 Al, Fe는 입자상의 형태로 배출되기 때문으로 생각되었다⁹⁾. Cr, Pb 등 용존과 입자의 중간형태로 배출되는 항목들은 비교적 낮은 농도를 보였다.

Table 3. The kinds and concentrations of the heavy metals contained in the artificial road runoff

No.	Heavy metal	Conc.(mg/ℓ)
1	Cd	0.00075
2	Co	0.002875
3	Ni	0.00975
4	Cr	0.014
5	Mn	0.18725
6	Zn	0.417875
7	Cu	0.104375
8	Pb	0.058
9	Al	4.01625
10	Fe	5.31625
11	As	N.D.
12	Hg	N.D.

3.2. 노면배수에 함유된 PAHs 농도

Table 4에 인공 노면배수 함유된 PAHs의 종류와 농도를 나타내었다. 미국 환경보호청(US EPA)에서 지정한 16개의 PAHs 물질에 대하여 분석한 결과¹³⁾, 인공 노면배수에서 검출된 PAHs Naphthalene, Acenaphthene 등 2가지 종류였다. 벤젠고리가 2~3개로 이루어진 저분자량 LPAHs(Naphthalene, Acenaphthene)^{4,5)}는 검출되었으나, 그 밖의 고분자량 HPAHs는 되지 않았다. 이러한 결과는 실험에 사용된 노면배수의 입자 크기가 2,000 μm 이하이며, 입자에 부착된 중금속 등을 분리시키기 위하여 교반하고 침전후의 상등액을 회석하였기 때문으로 추정된다. 즉, 이러한 과정에서 고분자량 HPAHs의 대부분이 제거되거나 회석되어 불검출된 것으로 추정된다.

3.3. 상향류식 여과장치에 의한 미량오염물질 제거특성

Fig. 2의 실험장치를 이용하여 SS의 제거에 동반하는 미량오염물질 제거특성을 검토하였다. 원수량 2,000 ml/min에 사용된 여재량은 0.0019 m³이며, 처리수량은 시간 경과에 따라 감소하는 경향을 보였다.

Table 5에 인공 노면배수 함유된 미량오염물질 농도와 흡착시간에 따른 처리수 농도를 나타내었다. 유입부하량 대비 유출부하량으로 도출한 중금

Table 4. The kinds and concentrations of PAHs contained in the artificial road runoff

No.	PAH chemical name	Conc.(mg/ℓ)
1	Naphthalene	0.00156
2	Acenaphthylene	ND
3	Acenaphthene	0.00184
4	Fluorene	ND
5	Phenanthrene	ND
6	Anthracene	ND
7	Fluoranthene	ND
8	Pyrene	ND
9	Benzo(a)anthracene*	ND
10	Chrysene*	ND
11	Benzo(b)fluoranthene*	ND
12	Benzo(k)fluoranthene*	ND
13	Benzo(a)pyrene*	ND
14	Indeno(1,2,3-cd)pyrene*	ND
15	Dibenzo(a,h)anthracene*	ND
16	Benzo(g,h,i)perylene*	ND

Table 5. Concentrations of micropollutants contained in road runoff and treatment water

Time	Raw water	Treated water						
		5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min	
Flux (ml/min)		1070	530	340	150	130	106	
SS(mg/L)	42.5	38.0	33.0	31.5	31.0	29.5	26.5	
Turbidity(NTU)	45.6	40.5	37.2	32.1	29.5	30.1	27.8	
Heavy metal (mg/L)	Cd	0.00075	0.0005	0.00075	0.0005	0.0005	0.00025	0.0005
	Co	0.002875	0.00225	0.002	0.00175	0.0015	0.0015	0.0015
	Ni	0.00975	0.009	0.00825	0.00675	0.008	0.0065	0.007
	Cr	0.014	0.0105	0.009	0.00775	0.00775	0.0065	0.00775
	Mn	0.18725	0.16575	0.144	0.097	0.15375	0.0875	0.0905
	Zn	0.417875	0.353	0.299	0.28225	0.29575	0.24725	0.279
	Cu	0.104375	0.104	0.08	0.07325	0.07525	0.06375	0.0865
	Pb	0.058	0.0485	0.0385	0.0415	0.0335	0.03125	0.03325
	Al	4.01625	3.3125	3.775	2.1925	2.6325	1.977	2.65
	Fe	5.31625	4.15	3.6625	3.1075	3.1325	2.625	3.1125
As	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
Hg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
PAH	Naphthalene	0.00156	0.0084	0.00168	0.0066	0.003	0.00112	0
	Acenaphthene	0.00184	0	0.0014	0	0	0.00112	0.0014

속의 총괄적인 제거율은 7.5%~29.0% 정도였고, PAHs의 경우, Acenaphthene는 약 20%~40%의 제거율을 보였다.

4. 결론

본 연구에서는 미량오염물질의 제거 특성에 관한 예비 조사로, 인공 노면배수에 함유된 중금속 및 PAHs 종류와 농도에 관한 조사를 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 노면퇴적물에는 2,000 μm 이하의 입자 및 150 μm 이하 입자가 각각 중량비율 약 80%정도, 6%미만으로 함유되어 있다.

(2) 노면배수에서 발생 가능한 12가지 중금속 항목 중에서 As, Hg를 제외한 10가지 항목이 검출되었고, 중금속의 총괄적인 제거율은 7.5%~29.0%로 나타났다.

(3) PAHs의 일종인 Acenaphthene는 약 20%~40%의 제거율을 보였다.

(4) 전처리를 거친 인공 노면배수에서는 PAHs 종류 중에서 LPAHs인 Naphthalene, Acenaphthalene만 미량을 검출되고 HPAHs가 불검출된 원인으로 전처

리과정을 들 수 있다. 그리고 미세입자와 중금속의 제거특성에는 상관성이 있으며 HPAHs는 여과나 흡착으로 제거가 기대된다. 이에 관련된 중금속 및 PAHs제거특성의 연구가 앞으로의 과제로 생각된다.

참고 문헌

- 1) International Institute for Sustainable Development Earth Negotiations Bulletin, 1999, 15(19), 2-10.
- 2) International Institute for Sustainable Development Earth Negotiations Bulletin, 1998, 15(12), 2-7.
- 3) Cho K. T., Lee D. S., Shin Y. S., 2000, Estimation of Domestic Emission of Polyaromatic Hydrocarbons for Global Regulation of Persistent Organic Pollutants, Korean Society Of Environmental Engineers, 22(10), 1921-1932.
- 4) Kim G. B., Maruya K. A., Lee J. H., Koh C., 1999, Distribution and Sources of Polycyclic Hydrocarbons in Sediments from kyeonggi Bay, Korea, Marine Pollution Bulletin, 38, 7-15.
- 5) Budzinski H., Jones I., Bellocq J., Pieratd C., Garrigues P., 1997, Evaluation of Sediment Contamination by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Gironde Estuary, Marine Chemistry, 58, 85-97.
- 6) Choi J. Y., Shin C. M., 2002, Management of Nonpoint Pollution by Reducing Storm Runoff, Korea

- Environment Institute, KEI/2002/RE-03.
- 7) Lee E. J., Ko S. O., Kang H. M., Lee J. K., Lim K. H., Lee B. S., Kim L. H., 2006, Washoff Characteristics of Metal Pollutants in Highways, Korean Society On Water Quality, 22(1), 128-133.
 - 8) Roh S. D., Lee D. K., Chun Y. K., 2004, A Study on the Early-stage Storm Runoff Treatment for the Reduction of Non-point Pollution Materials on the Road, Korean Society On Water Quality, 20(5), 525-533.
 - 9) Sansalone J. J., Buchberger S. G., Al-Abed S. R., 1996, Fractionation of Heavy Metals in Pavement Runoff, The Science of the Total Environment, 189/190, 371-378.
 - 10) Kim B. G., Lee B. C., 2006, A Study On Heavy Metal Contamination in the Different Size Fractions of Deposited Road Particles(DRPs), 15(12), 1171-1175, and Koh C., 1999, Distribution and Sources of Polycyclic Hydrocarbons in Sediments from Kyeonggi Bay, Korea, Marine Pollution Bulletin, 38, 7-15.
 - 11) U.S. EPA, Locating and Estimating Air Emissions and Sources of Polycyclic Organic Matter, 1998, Office of Air Quality Planning and Standards, Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, EPA - 454/ R-98-014.
 - 12) Park S. W., Oh J. I., Choi Y. H., Kim J. H., Ha J. W., 2007, Characteristics of Non-point Pollutants from the Road Runoff, Korean Society of Water and Wastewater, 21(2), 235-242.
 - 13) U.S. EPA, Clean Air Act Section 1997, Specific Pollutants, Federal Register online Via GPO ACCESS (www.access.gpo.gov), 112(c), (6).