

PF6) 노면배수에 함유된 미량오염물질 및 제거에 관한 연구

김부길, 박흥재¹, 장성호²

동서대학교 토목공학과, ¹인제대학교 환경공학부/기초과학연구소,
²부산대학교 지역환경시스템공학전공

1. 서 론

미량오염물질은 크게 중금속과 같은 무기오염물질(PIPs, Persistent Inorganic Pollutants)과 유기오염물질(POPs, Persistent Organic Pollutants)로 나누어진다. POPs은 강한 독성과 함께 잔류성, 지용성, 반휘발성 등의 특성이 있으므로 다른 오염물질과 구분된다.^{1,2)}

유기오염물질은 화학적 조성에 따라 PCBs, 다이옥신, 유기염소살충제 등과 같은 할로젠화 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.^{12,13)}

중금속의 주요 발생원으로 자동차의 연소에 의한 매연 및 분진, 그리고 타이어와 브레이크 패드의 마모 등을 들 수 있다. PAHs는 가소제(나프탈렌), 색소(아세나프틴, 피렌), 염료(안트라센, 플로르안센) 및 농약 등에서 발생된다. 산업공정과 자동차 배기가스의 불완전연소에 유래하는 중금속과 PAHs는 노면배수에 함유되어 수계로 유입되고 있다.⁵⁻⁷⁾

입자상 형태로 존재하는 미량오염물질은 미세입자와 유사하게 거동하며⁸⁾, 대부분이 노면배수와 함께 유출되고 있다.⁹⁾ 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. 실험재료 및 분석방법

2.1. 실험재료

자동차 운행에 기인하여 노면배수에 함유될 수 있는 중금속의 종류인 Zn, Cd, Pb, Cu, Cr, Mn, Al, Cu, Cr, Ni 와⁸⁾ 미국 환경보호청(US EPA)에서 지정한 16개의 PAHs 물질을 근거로 분석항목을 정하였다.

시료는 도시고가도로의 노면퇴적물을 채취하였다. Table 1은 채취한 노면퇴적물의 입자

크기와 중량별 비율을 나타낸다. 2,000 μm 이하의 입자가 중량비율 약 80%미만이고, 미세부 유입자로 분류할 수 있는 150 μm 이하 입자의 중량비율은 약 5%미만으로 나타났다.

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)

2.2. 분석방법

미량오염물질의 농도를 분석하기 위하여 채취한 노면퇴적물의 아래의 Fig. 1 과 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. 2.과 같이 원수 저류조 및 교반장치, 여재부로 구성된 상향류식 여과장치를 제작하였다. 원수

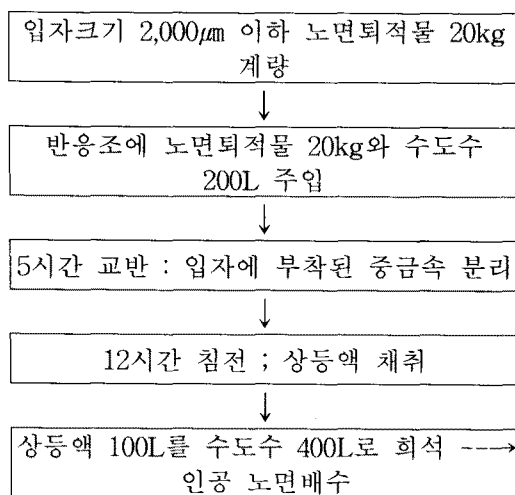


Fig. 1. Order of preparing artificial road runoff

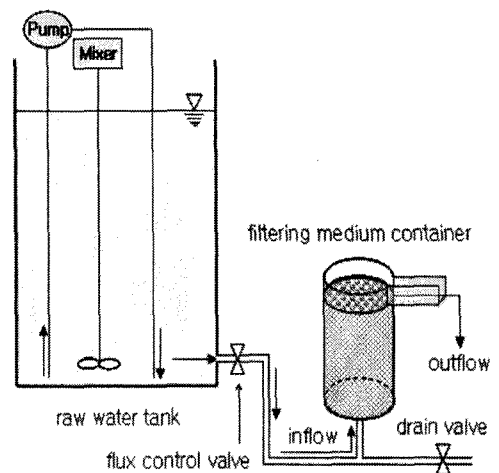


Fig. 2. Upflow filtration experiment equipment

저류조의 농도는 교반 및 내부 순환으로 일정하게 유지하였다. 장치사양은 Table 2.와 같고, 여재로 사용된 탄화물 펠렛의 형상은 타원형이며 물성은 각각 크기 : 4mm, 비중 : 1.1 ~1.2, 압축강도 : 200~250kgf/cm² 재질 : 60% PE +40% 탄화물, 공극율 : 36.5% 와 같다.

Table 2. specification of equipment

raw water tank	size	∅ 765mm, h 790mm
	mixer	80W
	pump	2100L/hr x 195W
filtering medium container		∅ 90mm, h 300mm

3. 결과 및 고찰

3.1. 노면배수에 함유된 중금속 농도

Table 3에 인공 노면배수 함유된 중금속의 종류와 농도를 나타낸다. 총 12가지 중금속 항목에 대하여 분석한 결과, 도시고속도로 노면퇴적물의 노면배수에서 검출된 중금속의 종류는 Zn, Pb, Cu, Cr, Cd, Fe, Al, Co, Ni, Mn 등 10가지고 As, Hg는 검출되지 않았다. 이 중 Zn, Pb, Cu, Cr, Cd의 농도는 각각 0.418mg/L, 0.058mg/L, 0.104mg/L, 0.014mg/L, 0.00075mg/L로 나타나 박상우 등¹¹⁾이 보고한 실제 노면배수의 농도 범위에 포함되었지만, 구조물이나 차체의 마모로 발생하는 Fe, Al의 농도는 각각 5.31625mg/L, 4.01625mg/L로 약간 높게 나타났다. 이러한 현상은 Al, Fe는 입자상의 형태로 배출되기⁸⁾ 때문으로 생각되었다. 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.

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

3.2. 노면배수에 함유된 PAHs 농도

Table 4에 인공 노면배수 함유된 PAHs의 종류와 농도를 나타낸다. 미국 환경보호청 (US EPA)에서 지정한 16개의 PAHs 물질에 대하여 분석한 결과, 인공 노면배수에서 검출된 PAHs Naphthalene, Acenaphthene 등 2가지 종류였다. 벤젠고리가 2~3개로 이루어진 저분자량의¹²⁻¹³⁾ LPAHs(Naphthalene, Acenaphthene)는 검출되었으나, 그 밖의 고분자량 HPAHs는 검출되지 않았다. 이러한 결과는 실험에 사용된 노면배수의 입자크기가 2,000 μ m 이하이며, 입자에 부착된 중금속 등을 분리시키기 위하여 교반하고 침전후의 상등액을 회석하였기 때문으로 생각된다. 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 2,000ml/min에 사용된 여재량은 0.0019m³이며, 처리수량은 시간 경과에 따라 감소하는 경향을 보였다.

Table 5에 인공 노면배수 함유된 미량오염물질 농도와 흡착시간에 따른 처리수 농도를 나타낸다. 유입부하량 대비 유출부하량으로 도출한 중금속의 총괄적인 제거율은 :7.5% - 29.0%정도였고, PAHs의 경우, Acenaphthene는 약 20% - 40%의 제거율을 보였다.

Table 5. Concentrations of Micropollutants Contained in Road Runoff and treatment water

	Time Flux (ml/min)	Raw Water	Treated water						
			5min	10min	15min	20min	25min		30min
			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.	N.D.
Hg	N.D.	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	

4. 결 론

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 중

금속 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 LPAHs인 Naphthalene, Acenaphthalene만 일부 검출되었다.

PAHs 종류 중에서 LPAHs인 Naphthalene, Acenaphthalene만 미량을 검출되고 HPAHs가 불검출된 원인으로 전처리과정을 들 수 있다. 그리고 미세입자와 중금속의 제거특성에는 상관성이 있으며 HPAHs는 여과나 흡착으로 제거가 기대된다. 이에 관련된 중금속 및 PAHs제거특성의 연구가 앞으로의 과제로 생각된다.

참 고 문 헌

- International Institute for Sustainable Development Earth Negotiations Bulletin 15(19), 2~10(1999)
- International Institute for Sustainable Development Earth Negotiations Bulletin 15(12), 2~7(1998)
- 조규탁, 이동수, 신용승 : 다환방향족 탄화수소(Polyaromatic, Hydrocarbons, PAHs)의 국내 배출량추정 - 잔류성 유기오염물질(Persistent Organic Pollutants)의 국제규제에 대응하여, 대한환경공학회지, 기술자료, Vol, 22, NO, 10, PP 1921~1932(2000)
- U.S EPA, Locating and Estimating Air Emissions and Sources of polycyclic organic matter, EPA - 454/ R-98-014, office, of Air Quality Planning And Standards, Environmental, Protection Agency, Research Triangle Park, NC(1998)
- 최지용, 신창민, 2002, “비점오염원 유출저감을 위한 우수유출수 관리방안”, 연구보고서, KEI/2002/RE-03, 한국환경정책 평가연구원
- 이은주, 고석오, 강희만, 이주광, 임경호, 이병식, 김이형, 2006, 고속도로 노면유출수의 중금속 유출 특성 및 상관성, 한국물환경학회지, 22(1), 128~133
- 노성덕, 이대근, 전양근, 2004, 도로상의 비점오염물질 저감을 위한 초기 우수유출수 처리에 관한 연구, 한국물환경학회지, 20(5), 525~533
- Sansalone J.J., Buchberger S.G. and Al-Abed S.R., 1996, Fractionation of Heavy Metals in Pavement Runoff, The Science of the Total Environment, 189/190, 371-378
- 김부길, 이병철, 2006, 노면퇴적물의 입자 크기에 따른 중금속 오염에 관한 연구, 한국환경과학회지, 15(12), 1171~1175

U. S. EPA clean Air Act Section 112(c), (6), specific Pollutants, Federal Register online
Via GPO ACCESS(wais access, g po, gov) (1997)

박상우, 오재일, 최영화, 김종화, 하재원, 2007, 도로노면 유출수의 비점오염원 배출 특성
Kim, G.-B., Maruya, K.-A., Lee J.-H. and koh, C. : Distribution and Sources of
Polycyclic Hydrocarbons in Sediments from kyeonggi Bay, korea, Marin
Pollution Bulletin, VOL, 38, PP 7-15(1999)

Budzinski, H, Jones, I, Bellocq, J., Pieratd, C. and Garrigues, P. : Evaluation of
Sediment Contamination by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Gironde
Estuary, Marine Chemistry, Vol. 58, pp. 85-97(1997)