

비점오염저감시설인 침투도랑과 여과형 시설내 침강지 퇴적물의 물리화학적 특성 분석

이 소 영* / 이 은 주** / 김 철 민* / M.C. Maniquiz* /
손 영 규*** / 김 지 형**** / 김 이 형*****†

Physico-Chemical Characteristics of Sediment in Sedimentation Tank of Infiltration Trench and Filtration System

Lee, Soyoung* / Lee, Eun-Ju** / Kim, Chulmin* / Maniquiz, M.C.* /
Son, Youngkyu*** / Khim, Jeehyeong**** / Kim, Lee-Hyung*****†

요약 : 최근 환경부의 환경정책은 수질오염총량관리제도의 전국적인 확대를 앞두고 다양한 토지이용에서 발생하는 비점오염물질의 관리를 추진하고 있다. 이러한 환경정책의 변화와 함께 4대강 수계에 비점오염원 시범사업을 통해 다양한 비점오염저감시설의 효율평가 및 시설의 유지관리에 대하여 모니터링도 수행하고 있다. 따라서 본 연구는 한강수계에 설치된 비점오염 저감시설 중에서 전처리 시설로 설치되어 있는 침강지 또는 침사지 퇴적물의 물리화학적 성상을 연구함으로써 폐기물로써의 퇴적물 관리에 대한 기초자료를 제시하고자 한다. 일반적으로 비점저감시설의 전처리 시설로 사용되는 침강지는 일정한 체류시간을 제공함으로써 강우유출수내의 입자상 물질을 제거함과 동시에 비점저감시설 내의 여과재 및 침투재의 폐색을 예방하고자 설치되는 전처리 시설이다. 침강지 퇴적물의 물리화학적 특성 연구 결과에 의하면, 일반적으로 Zn과 Cd는 75 μ m이하의 퇴적물 입도분포에서 입자 표면적으로의 흡착능도가 높은 것으로 나타났다. 중금속 부하량을 살펴본 결과, 입자의 크기가 425-850 μ m 범위 일 경우 중금속 농도가 가장 높게 나타났다. 전체 중금속에 대한 분석 결과, Cu, Zn, Pb의 중금속 함량이 입도분포 425-850 μ m 사이에서 30% 이상을 나타내었다. 중금속 중에서 다른 항목에 비하여 Cu, Pb 및 Zn의 함량이 높게 나타났는데, 이는 차량의 타이어와 엔진파트에 이러한 중금속이 많이 함유되어 있기 때문이다. 또한 본 연구결과 침강지는 퇴적물의 퇴적과 함께 다양한 중금속의 제거가 발생하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 최적관리방안, 중금속, 입도크기, 입자상 물질, 퇴적물

Abstract : The paved areas such as parking lots and roads are stormwater intensive landuses since they are impervious and have high pollutant mass emissions from vehicular activity. Vehicle emissions include different pollutants such as heavy metals, oil and grease, particulates from sources such as fuels, brake pad wear and tire wear. Especially, the released heavy metals can be easily absorbed on the surface area of small particulate materials because of its ionic strength. Therefore, by constructing the sedimental tank in structural BMPs as a pre-treatment facility, the particles and heavy metals both can be removed from the runoff at an instant. To understand the physico-chemical characteristics of sediments from sedimentation tank, one-year study at an infiltration trench and filtration system was conducted to quantify the metal mass absorbed on sediments with various particle sizes. The

† Corresponding author : leehyung@kongju.ac.kr
* 정회원-공주대학교 건설환경공학부-방재연구센터
** 정회원-공주대학교 건설환경공학부-BK21 계약교수
*** 정회원-고려대학교 사회환경시스템공학과 박사과정
**** 비회원-고려대학교 사회환경시스템공학과 교수
***** 정회원-교신여자공주대학교 건설환경공학부 교수

structural BMPs for this study are located in Yongin City, Kyunggido. The research results show that Cu, Zn and Pb are dominant metal compounds in the sediments. Also the metal concentrations are highest at the ranges of 425-850 μ m particle sizes. The results will provide the basic physico-chemical information of sediments to treat it as solid wastes and to determine the design criteria of sedimentation tank in structural BMPs.

Keywords : BMPs, Heavy metal, Particle size, Particulate, Sediment.

1. 서 론

포장지역에서 발생하는 강우유출수는 대기에 비산된 먼지와 도로에 퇴적되어 있는 입자상 물질 및 오염물질과 물리화학적 반응을 통해 오염된다. 특히 강우시 강우유출수는 노면 및 각종 시설로부터 인간의 건강에 위해를 끼치는 다양한 유해 중금속 원소와 일상생활에서 많이 사용하고 있는 각종 유기 독성성분을 용해시켜 유출시키며 최종적으로 하천과 바다로 흘러가 수계환경 오염의 원인으로 작용하고 있다(Dempsey et al., 1993; Ellis and Revitt, 1982; Hoffman et al., 1985; Lee et al., 1997b; Lee and Touray, 1998). 또한 노면으로부터 강우유출수에 의해 이송된 오염된 퇴적물은 우수관을 통해 주요하천으로 유입되므로 직접적으로 하천수질에 영향을 미치는 한편, 하천 바닥에 퇴적되어 장기적인 내부 오염원으로 작용한다(한국과학재단, 2002). 이러한 강우에 의하여 유출되는 입자상 오염물질은 전처리 시설로 널리 이용되는 침강지를 통해 퇴적물 형태로 제거함으로써 수계의 수질 개선 및 비점저감시설의 유지관리를 용이하게 할 수 있다(Regenmorter et al., 2002).

일반적으로 도로는 높은 포장율과 함께 많은 차량의 운행으로 인하여 오염물질의 축적이 매우 높은 토지이용이다. 차량의 운행은 타이어의 마모를 유발시키며 다량의 Zn, Cd, Cu를 배출시키며, 브레이크 패드로부터 Sb, Cu, 그리고 부식으로 Fe, Cd, Zn, Cu, V, Ni를 배출시킨다. 또한 차량의 윤활유로부터 V, Cd, Cu, Zn, Mo과 같은 오염물질이 배출되며 연료첨가제로부터 V, Cd, Zn, Pb가 배출되게 된다(Regenmorter et al., 2002). 이러한 미세입자 및 차량으로 기인한 각종 중금속

오염물질은 강우유출수로 인하여 거동한다. Droppo et al.(1998)에 의하면, 도로 강우유출수는 고농도의 중금속을 함유하고 있는데 도로의 퇴적물에 비하여 대략 6배 정도의 미세입자(36-227 μ m)로 구성되어 있는 것으로 보고되고 있다. 따라서 이러한 다양한 비점오염물질을 제거하기 위하여 다양한 처리 기작을 가진 기술들이 선진국에서 적용되고 있는데, 여기에는 식생형, 장치형, 침투형, 여과형 및 기타 시설로 분류된다. 이러한 모든 시설은 입자상 물질의 제거 및 본 시설의 유지관리와 효율증대를 위하여 침강지와 같은 전처리 시설이 연결되게 된다. 그러나 이러한 전처리 시설은 오염물질을 침전시켜 수질을 향상시킬 수 있도록 설계되지만, 일반적으로 퇴적물 중에 점토와 실트가 많이 함유되어 있을 경우 침강속도가 느려 제 기능을 발휘하지 못하고 있다. 따라서 적정 침강지 설계를 위해서는 침강되는 퇴적물의 입도분포 및 오염물질의 흡착정도가 해석되어 반영되어야 한다. 또한 침강지에 퇴적된 퇴적물은 폐기물로 분류되기에 향후 이의 관리를 위한 기본적인 자료제공을 하기 위하여 퇴적물의 물리화학적 성상 조사가 필수적으로 이루어져야 한다. 그러나 환경부 주도로 수행 중인 4대 수계별 비점저감시설 시범설치사업이 초기단계이기에 아직 침강지에 퇴적되어 있는 퇴적물의 성상 분석 결과가 전무한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 비점저감시설 중에서 침투도랑의 전처리 시설로 활용되는 침강지에 퇴적된 퇴적물의 물리적 성상을 조사하여 침강지 내에서의 침강 입자의 분포를 조사하고자 하며, 화학적 성상을 조사하여 폐기물 관리에 대한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 대상시설 및 대상 시료

본 실험을 위한 퇴적물 시료는 그림 1에서 나타난 바와 같이 한강수계에 설치되어 있는 비점오염저감시설 중에서 '침투도랑(site 1)'과 장치형 시설 중 '와류형+여과시설(site 2)'의 침강지 하부에서 채취를 하였다. 각 저감시설에 대한 처리대상 토지이용, 포장형태, 대상 유역면적 및 시설면적은 표 1과 같다.

Site 1은 도로에서 유출되는 강우 유출수 처리를 위한 비점저감시설이다. 도로에서 유출되는 강우 유출수는 배수로를 통해 차집되어 침강지에 유입되며 1차 처리를 거쳐 침투도랑으로 유입된다. 침투도랑을 통해 처리된 처리수는 최종적으로 인근의 경안천으로 방류되며(그림 1), 또한 침강지는 후속공정으로 존재하는 침투도랑의 설계처리용량을 초과하는 강우유출수에 대해서 1차 처리후 경안천으로 월류시키는 역할도 하게 된다. Site 2는 대상유역이 주차장이며, 와류와 여과형이 연계되어 있는 시설로 처리된 유출수는 최종적으로 경안천으로 방류된다(그림 1). 환경부의 비점오염저감시설 시범사업으로 설치된 이러한 시설은 2005년 12월에 완성 후 현재까지 운영되고 있다. 각 시설별 침강지의 규모는 site 1의 경우 1m(L) × 1m(W) × 2 m(H)이며 침강지 유출구의 높이는 1.6m이고, site 2의 경우 1m(L) × 1m(W) × 2 m(H)이고 침강지 유출구의 높이는 0.5 m이다. 본 연구는 10개월 동안 침강지에 퇴적된 퇴적물 시료를 대상으로 퇴적물의 물리적 및 화학적 특성을 분석하기 위하여 입도분석 및 입도분포별 중금속

분석을 수행하였다.

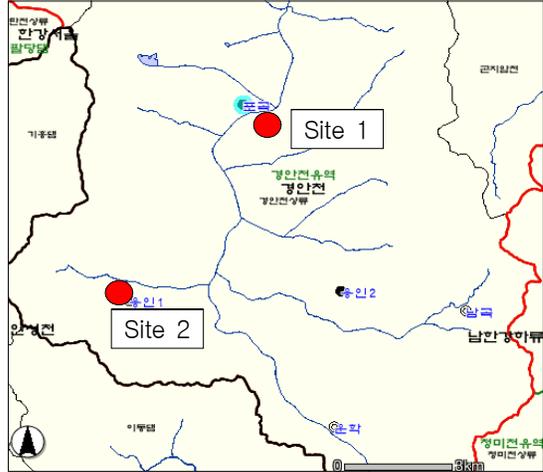


그림 1. 모니터링 위치

2.2 분석방법 및 분석항목

침강지에서 채취된 퇴적물은 물리화학적 특성을 파악하기 위하여 실험실로 운반한 후에 풍건하였다. 풍건된 시료는 분쇄하여 2mm체를 이용하여 체가름 한 후 체에 통과한 시료에 대하여 분석을 행하였다. 퇴적물 입자의 입도크기별 분포특성을 파악하기 위해 입도분석이 우선 수행되었으며, 입도분석기(Particle Size Analyzer)와 체분석(Sieve Test)을 동시에 수행하였다. 이러한 분석을 통해 분리된 입자와 전체시료에 대해서 중금속 분석을 위한 전처리를 수행하였으며, 전처리가 이루어진 시료는 유도결합플라즈마(Inductively Coupled Plasma, ICP)를 이용하여 입도별 중금속 농도를 분석하였다. 입도 크기는 2,000, 1,000, 850, 425, 250, 180, 150, 75 μ m의 순으로 분석이 이루어 졌다. 중금속 농도 분석은 Cr, Fe, Ni,

표 1. 모니터링 지점현황

Site	Locations	Land uses	Pavement type	Drainage area (m ²)	Imperviousness rate(%)	Facility area(m ²)
1	Chundaeri, Yongin city, Kyunggido	Road	Asphalt	5,000	100	309.5
2	Samgadong, Yongin city, Kyunggido	Parking lot	Asphalt	10,700	100	19.2

Cu, Zn, Cd, Pb 항목에 대하여 실시하였다. 이러한 중금속 분석을 위한 시료의 전처리는 토양환경보전법의 전처리방법(0.1N HCl)을 이용하여 수행하였으며, 그 과정은 다음과 같다: 시료 10g을 100ml의 삼각플라스크에 넣고 0.1N 염산용액 50ml를 넣은 후 항온 수평진탕기(100회/분, 진폭 10cm)를 사용하여 30°C를 유지하면서 1시간 진탕시켰다. 이렇게 중금속을 용해시킨 후 여과지(0.45 μ m)로 시료를 거른 뒤 ICP 분석을 통해 화학적 성상을 분석하였다.

또한, 퇴적물의 광물학적 조성을 분석하고자 X-선 회절분석을 실시하였다. X-선 회절분석은 RIGAKU D/MAX 2500(JAPAN) (Cu K α)를 이용하였고, Cu target을 사용하여 5°-45°범위로 0.02간격으로 분석하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 입자크기 분포

침강지로부터 채취한 퇴적물에 대하여 입자크기별 비율을 측정하여 그 결과를 그림. 2에 나타내었다. Site 1의 경우 425 μ m보다 큰 입자가 50% 이상을 차지하는 것으로 분석되었으며, site 2의 경우 이러한 입자가 80% 이상을 차지하고 있는 것으로 나타났다. Site 2의 퇴적물 입도분포를 site 1과 비교할 시 입자크기가 비교적 큰 입자들의 비율이 높은 반면에 작은 크기 입자의 비율이 낮게 나타났는데, 그 이유는 낮은 차량의 운행으로 인하여 축적된 입자가 분리되지 않고 시설로 유입되기 때문이다. 그러나 이러한 해석은 객관적인 판단이기에 본 자료의 활용은 대체적인 퇴적물의 입경 크기이다. 이러한 오염된 퇴적물의 입경크기를 나타내는 입도분포는 향후 처리시설 선정 및 설계에 있어서 중요한 설계인자이다. 외국의 경우(Vaze et al., 2002), 비점오염원 저감시설의 설계에 처리대상 오염물질의 선정과 처리하고자 하는 입자의 크기를 중요한 설계인자로 이용하고 있다. 특히 침강지는 모든 비점오염저감시설에 전처리 시설로 필수적으로 연계되는 시설이

기에 침강지 개량 기술 개발 차원에서 본 연구결과는 중요한 설계인자를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

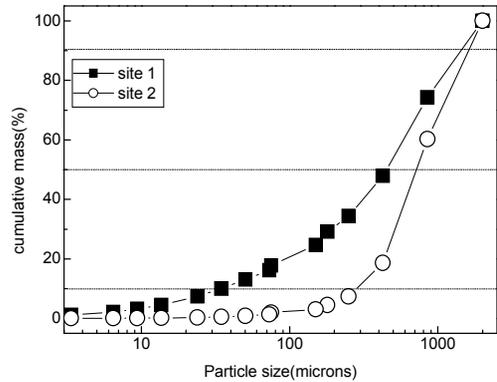


그림 2. 입자크기별 중량비

3.2 입자크기별 중금속 농도

표 2와 3은 입도크기별로 중금속 농도를 나타낸 것이다. 지점별로 살펴보면 Zn과 Ni을 제외하고 나머지 중금속 항목에서는 site 2에서 비교적 높은 중금속 농도를 나타내고 있는 것으로 분석되었다. 퇴적물에 대한 총 중금속 농도를 살펴보면 Fe 제외하고는 Zn, Cu, Pb의 순으로 함량이 높게 분석되었다. 이러한 결과를 고속도로 배수로변에서 검출되는 중금속의 농도 (이주광, 2005) 와 비교한 결과 비점저감시설의 침강지로부터 발생된 퇴적물의 농도가 비교적 낮은 것으로 나타났다. 또한 본 연구 결과를 비점저감시설 인근 주변의 토양자료(환경부, 2005)의 주요 중금속 농도인 Cu 2.923 mg/kg, Zn, 40.785mg/kg, Pb 0.073 mg/kg 와 비교한 결과 비점저감시설의 침강지내 퇴적물의 농도가 인근 토양에 비해 다소 높은 것으로 나타났다.

입자크기별 중금속 농도를 분석한 결과, site 1에서는 Zn과 Cd이 75 μ m이하의 입경 분포에서 농도가 높게 나타났으나, 뚜렷한 입자크기별 중금속의 경향은 없는 것으로 나타났다. Site 2의 경우 Fe을 제외하고 입자크기가 작아질수록 중금속 농도가 높아지는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 이병원(2006)의 연구 결과에 유사한 경향을 보이

표 2. 입자크기별 중금속 농도 (site 1)

Particle-size fraction (μm)	Total metal concentration (mg/kg)						
	Cu	Zn	Pb	Cr	Fe	Ni	Cd
0-75	0.08	64.96	0.12	0.02	11.89	1.82	0.16
75-150	4.22	52.34	5.08	0.39	203.73	2.55	0.12
150-180	3.48	42.06	3.15	0.44	268.35	2.39	0.10
180-250	3.34	46.72	3.37	0.33	248.17	2.55	0.11
250-425	4.44	51.61	4.06	0.50	341.05	2.64	0.12
425-850	4.90	56.00	3.73	0.53	356.14	2.61	0.12
850-2000	2.71	35.05	1.84	0.30	212.78	2.18	0.08
Whole	3.22	50.24	2.69	0.35	235.84	2.35	0.11

표 3. 입자크기별 중금속 농도 (site 2)

Particle-size fraction (μm)	Total metal concentration (mg/kg)						
	Cu	Zn	Pb	Cr	Fe	Ni	Cd
0-75	15.69	127.35	22.76	0.75	534.03	4.19	0.52
75-150	6.42	60.76	9.07	0.50	507.57	1.95	0.20
150-180	4.89	49.51	6.13	0.40	520.24	1.59	0.15
180-250	4.70	44.77	5.33	0.40	548.35	1.54	0.15
250-425	4.12	42.68	4.45	0.38	635.71	1.52	0.17
425-850	3.96	41.57	4.60	0.47	734.03	1.91	0.17
850-2000	3.15	29.58	3.90	0.40	782.55	1.70	0.14
Whole	3.95	39.04	4.75	0.43	727.39	1.81	0.16

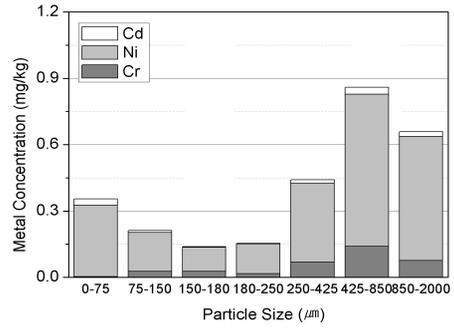
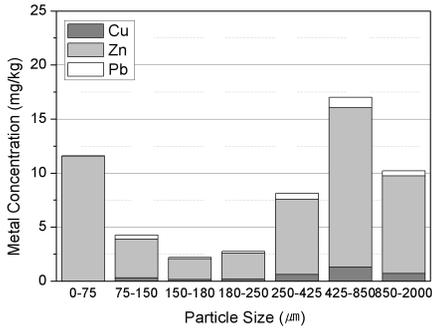
는 것으로 나타났다. 그러나 이병원(2006)의 연구가 250 μm 이상의 입자크기를 대상으로 한 것에 비하여 본 연구는 입자분석기를 이용하여 250 μm 이하의 입자에 대하여 더 세분화하여 분석하였기에 그 결과는 효용성이 매우 높을 것으로 판단된다. 그러나 75 μm 이하 입자의 중금속 농도에서 두지점간의 차이가 존재하고 있기에 지점별 강우전 도로 표면에 쌓인 퇴적물의 특성분석 및 강우유출수 내 입도분포의 특성등에 관한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3.3 입도분포를 고려한 중금속 농도

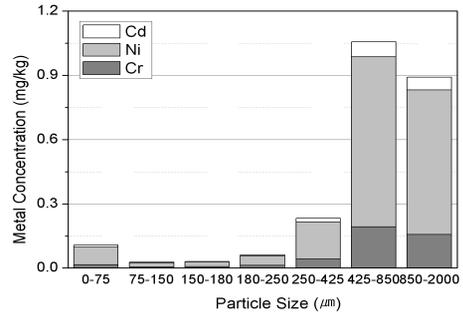
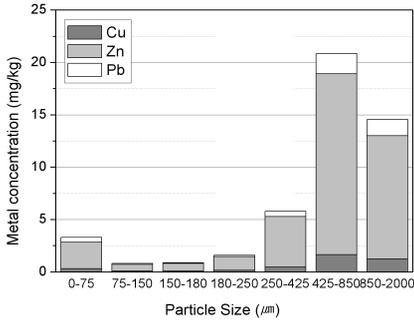
퇴적물의 입도분포를 고려한 중금속 농도를 그림 3과 4에 나타내었다. 두 지점 모두 425-850 μm 범위의 입도분포에서 가장 높은 중금속 농도를 나타내는 것으로 분석되었다. 이를 지점별로 분석해 본 결과, site 1의 경우 Zn 농도는 425-850

μm 범위에서 농도가 가장 높았으며, 이어서 75 μm 이하의 입도분포에서의 농도로 나타나 입경이 적은 입자에 흡착된 중금속의 농도가 높다는 것을 알 수 있었다. Cd, Ni, Cr의 경우 Cu, Zn, Pb에 비해 낮은 농도로 존재하는 것으로 나타났으나, 입자별 중금속 농도를 분석해보면 425 μm 이상 입자에서의 농도가 높은 것으로 분석되었다. 따라서 비교적 높은 농도를 보이고 있는 Cu, Zn, Pb의 농도를 전체 중금속에 대한 비교한 결과 425-850 μm 입도범위에서 이들 중금속의 함량이 30% 이상임을 알 수 있었다.

이는 퇴적물 내 입자크기별 중량비의 차이로 인하여 이 범위에 대한 비율이 높게 나타난 것으로 판단된다. 그러나 향후 입자별 중금속의 흡착 선호도에 대한 연구를 수행한다면 더욱더 세밀한 해석이 가능할 것으로 판단된다. 이러한 분석 결과는 침강지의 침강 성능을 평가하기 위한 기초자

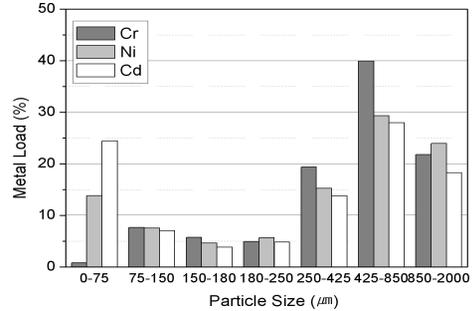
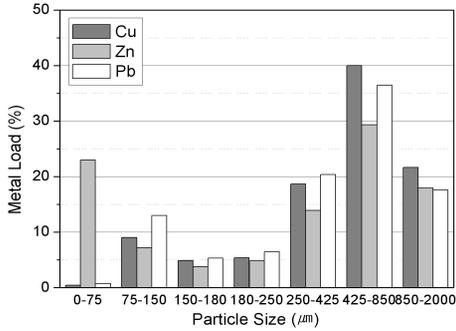


(a) site 1

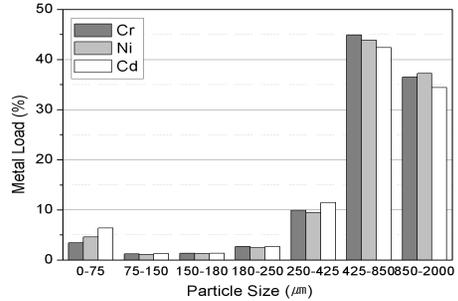
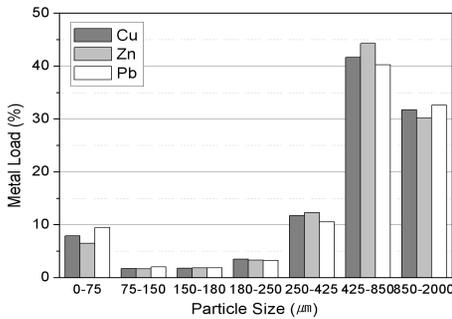


(b) site 2

그림 3. 입자크기별 중금속 농도분포



(a) site 1



(b) site 2

그림 4. 입자크기별 중금속 부하량 비율

료로 활용 될 수 있을 것으로 판단된다. 비점오염 원으로부터 유출된 강우 유출수는 침강지에서 침강 가능한 입자의 침강이 일어나게 되는데 대체적으로 425 μm 이상의 입자의 침강 비율이 높게 나타난다는 것을 의미한다. 따라서 침강지 후속공정 설계시 침강지에서 제거되는 입자의 입경크기보다 적은 입자를 여과할 수 있는 매디아를 선정하여 설계한다면 비점저감시설의 효율을 높게 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

3.4 광물조성

비점저감시설(Site 2)내 침강지 하부에서 채취한 퇴적물에 대하여 각 입도에 따른 XRD분석결과를 그림 5에 나타내었다. 퇴적물의 구성성분으로 석영(quartz), 조장석(albite), 미장석(microcline), 운모(muscovite), 백운석(dolomite)등이 검출되었다. 이러한 결과는 도로변에서 채취한 도

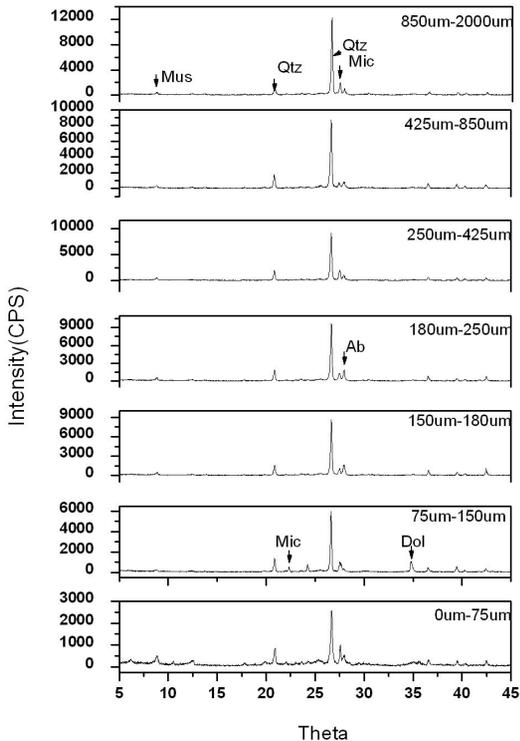


그림 5. 입자크기별 퇴적물 시료의 XRD 분석결과 (Qtz: quartz, Mic: microcline, Ab: albite, Mus:muscovite, Dol:dolomite)

로변 우수관퇴적물의 구성성분(한국과학재단, 2002)과 비슷한 경향을 나타내는 것으로 분석되었고, 이것은 대상시료가 도로표면에 축적되어 있는 오염물질을 처리하기 위한 비점저감시설로부터 발생된 퇴적물이기에 유사한 특성을 보이는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 비점오염저감시설의 전처리 시설로 이용되는 침강지에서 1년 동안 발생하는 퇴적물을 채취하여 입자의 입도 분석 및 입도별 중금속의 농도를 물리화학적으로 분석한 결과를 정리한 것이다. 본 연구결과는 비점오염저감시설에서 폐기물로 분류되어 발생하는 퇴적물의 처리방향 및 침강지의 설계와 후속공정에서의 매디아 선정을 함에 있어서 기초자료로 활용될 것으로 판단된다. 연구를 통해 획득된 내용을 정리하면 다음과 같다.

1. 비점저감시설에 적용되어 있는 침강지를 대상으로 한 퇴적물 입도결과, 425 μm 이상의 입자 비율이 높은 것으로 나타났다. 그러나 적은 입자의 경우 보다 많은 양의 중금속이 흡착되기에 이보다 적은 입자의 침강을 위한 기술이 개발되어 침강지의 설계에 반영되어야 할 것이다.
2. 침강지내 퇴적물에 대한 중금속은, Fe을 제외하고는 대체적으로 입자크기가 작아질수록 중금속 오염물질의 농도가 높아지는 경향을 나타내었다. 이는 입경이 적을수록 넓어진 중량에 비해 넓어진 표면적에 많은 양의 중금속이 부착되기 때문이다.
3. 퇴적물의 입도분포를 고려한 중금속 농도는 일반적으로 425-850 μm 범위의 입자분포에서 중금속 농도가 비교적 높게 나타났지만 이는 침강지내 퇴적된 퇴적물의 입도분포가 이 범위에서 가장 많은 양을 나타내고 있기 때문이다.
4. 또한 425-850 μm 입도범위에서 전체 중금속

에 대한 Cu, Zn 및 Pb의 함량은 30% 이상을 나타내는 것으로 분석되었다. 이러한 원인은 침강지로 유입되는 강우유출수가 주차장과 도로에서 유출되는 강우유출수이며, 여기에는 자동차의 차체, 타이어 및 엔진파트 등에 사용되는 Cu, Zn 및 Pb가 다량 함유되어 있기 때문이다.

5. 이러한 침강지내 퇴적물의 물리화학적 특성 분석 결과는 침강지 후속공정 설계시 매디아를 선정함에 있어서 바람직한 기초자료가 될 수 있을 것이며, 그러한 매디아는 침강지에서 제거되는 입자의 입경크기보다 적은 입자를 여과할 수 있는 능력을 가진 입자크기여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 이주광, 강희만, 장태순, 강혜진 (2005). “고속도로 변 토양과 퇴적물의 중금속 농도 장기변화추이 (II).” 한국폐기물학회 추계발표회 논문집, pp. 102-105
- 이병원, 최승철, 원철희, 배봉현, 정원구, 임재명 (2006). “배수구역별 하수관거 내 퇴적물의 입도 및 중금속 분포에 관한 연구.” 대한상하수도학회·한국물환경학회 06공동 추계학술발표회 논문집, pp.140-146.
- 한국과학재단 (2002). “서울시 무기 환경시스템의 환경지구화학 및 수리지질학적 연구.” pp. 8-115.
- 환경부 (2005). “2004년도 토양 측정망 및 실태조사 결과.” pp. 31-74.
- Dempsey, B. A., Tai, Y. L. and Harrison, S. G. (1993). “Mobilization and removal of contaminants associated with urban dust and dirt.” Water Science and Technology, 28, pp. 225-230.
- Droppo, I.G., Irvine, K.N., Murphy, T.P., Jaskot, C. (1998). “Fractionated metals in street dust of a mixed land use sewershes, Hamilton, Ontario. In: Wheater, H., Kirby, C. (Eds.)” Hydrology in a Changing Environment, vol.III. John Wiley & Sons, New York, pp. 383-394.
- Ellis, J.B., Revitt, D.M. (1982). “Incidence of heavy metals in street surface sediment : solubility and grain size studies.” Water, Air, Soil. 17, pp. 87-100.
- Hoffman, E. J., Latimer, J. S., Hunt, C. D., Mills, G. L. and Quinn, J. C. (1985). “Stormwater runoff from highways.” Water Air Soil Pollut., 25, pp. 349-364.
- Lee, P. K., Baillif, P. and Touray, J. C., (1997b). “Geochemical behavior and relative mobility of metals (Mn, Cd, Zn and Pb) in recent sediments of a retention pond along the A-71 Motorway in Solonge, France.” Environmental Geology, 32, pp. 142-152.
- Lee, P. K. and Touray, J. C. (1998). “Characteristics of polluted artificial soil localized on a motorway border and effects of acidification on the leaching behavior of heavy metals (Pb, Zn, Cd).” Water Research, 32, pp. 3425-3435.
- Regenmorter, L., M. Kayhanian, R. Chappel, T. Burgessor, and K. Tsay. (2002). “Particle and the associated pollutant concentrations in highway runoff in Lake Tahoe California.” Proceedings of StromCon 2002 Conference. August 2002.
- Vaze, J., Chiew Francis H.S. (2002), “Experimental study of pollutant accumulation on an urban road surface.” Urban Water, 4, pp. 379-389.