

연안역 불투수지역 배수구 퇴적물의 오염특성에 관한 연구

김 연 석* / 박 기 수** / 김 영 철***

Pollutant Content of the Sediments in the Drain Channel of Paved Catchments in Coastal Areas

Kim Yeon-seok* / Park Ki-soo** / Kim Young-chul***

요약 : 충남 서해 연안역에 위치하고 있는 해수욕장, 항구, 박물관의 주차시설과 교량에서 발생하는 퇴적물의 입도분포 특성 및 오염물질 함량을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 퇴적물의 입경별 % 누적중량분포를 분석한 결과 대부분 106~500 μm 사이의 입경범위가 많이 분포되는 것으로 나타났다. 퇴적물의 입경분석 결과 모든 지점에서 유효경 D_{10} 의 범위는 40~160 μm , D_{50} 의 범위는 200~810 μm , D_{60} 는 235~1005 μm 로 나타났다. D_{10} 의 경우 입경범위가 큰 차이가 없는 반면에 D_{50} , D_{60} 은 큰 차이를 보였다. 대체로 입자크기가 작으면 작을수록 오염물질 함량은 증가하는 것으로 분석되었는데 이는 입자의 크기가 작으면 작을수록 비표면적이 증가하여 오염물질 흡착량이나 결합량이 증가하였거나 입자자체가 타이어나 배가스 분진입자일 가능성이 크기 때문에 사료된다. 입경 크기가 $\leq 63\mu\text{m}$ 입자에서 VS, COD_{cr} , TN, TP의 오염물질이 최저 2배에서 최고 14배 높은 것으로 분석되었다. Cu와 Pb은 모든 지점에서 검출되었으며 일반 오염물질과 마찬가지로 입경이 작을수록 함유량도 증가하는 것으로 나타났다. Cu 함량은 지점 별로 큰 차이가 없었으나 Pb의 경우는 신진도 진입도로인 신진대교 지점에서 다른 곳에 비해 2배에서 3배 정도 높게 검출되었다. Cd은 해수욕장이나 서천 해양 박물관 지점에서는 미세 입자에서만 검출되었으나 대천항 주차장과 신진도에서는 모든 크기의 퇴적물에서 검출되었다.

핵심용어 : 불투수지역, 입도분석, 중금속, 퇴적물

Abstract : In this study, the particle size distribution and pollutants content of sediments collected from different sites in the coastal area of Chungnam province were analyzed. The sediment samples were collected from different parking lots near beaches, harbors, museum and bridges. The particle size distribution analysis showed that the particle is generally 106-500 μm and the effective size D_{10} ranges from 40 to 60 μm while the D_{50} and D_{60} ranges from 200 to 810 μm and 235 to 1005 μm , respectively. For particle size D_{10} , there was no significant difference in all sites. However, for D_{50} and D_{60} , the range is large. Sediment analysis implicates that as the particle size decreases, the pollutant content increases. This is because smaller particles have higher specific surface area resulting to have more adsorption capacity. Particles from tires, emission gas from vehicles and dust particles belongs to smaller particles. For particle sizes less than 63 μm , the analysis showed that as the particles become coarser, the concentration of VS, COD_{cr} , TN, and TP is at least 2 to 14 times higher. Cu and Pb were detected in all sites and shows a higher concentration with smaller particle size. Cu concentration are almost the same for all sites but in the case of Pb, the sediments from Sinjindo has higher concentration of up to 2 to 3 times as compared to those collected from the other sites. In the Beach site as well as in the Seocheon Ocean Museum, Cd was contained only in fine particles. However, in Daechon Harbor and Sinjindo Bridge sites, Cd was detected in all the sediment particle size.

Keywords : Coastal area, Metal, Particle size, Sediments

+ Corresponding author : ykim@hanseo.ac.kr

* 정회원, 한서대학교 환경공학과, wqtl@hanmail.net

** 비회원, 한서대학교 환경공학과, parkks3507@naver.com

*** 정회원, 한서대학교 환경공학과 교수, ykim@hanseo.ac.kr

1. 서 론

2000년대 이후 충청권은 의욕적인 집중개발이 이루어지고 있고, 특히 우리나라의 주요 무역상대국중의 하나인 중국과의 지리적인 이점을 가지고 있는 서해안연안지역에서 개발수요가 급증하고 있는 추세이다.

충청남도의 대표적 연안지역인 당진, 서산, 아산 등에 각종 중화학공장 등의 증설이 크게 증가되고 있다. 특히, 우리나라 서해에서 가장 많은 관광객이 찾고 있는 대천해수욕장(년 평균 관광객 14,382,110명), 춘장대 해수욕장(년 평균 관광객 5,098,417명) 같은 충남연안지역은 개발압력에 밀려 연안역 오염이 가장 우려되는 지역 중 하나이다. 또한 연안역 인근 국도와 주차장시설을 이용하는 교통량은 매년 증가하는 추세로 연안인근 환경의 오염도는 앞으로 더욱 가중될 것으로 예상된다.

도로 및 주차시설에서 축적된 각종 중금속, 유류 등의 오염물질은 강우활동이 개시되면서 일시에 빗물과 함께 유출된다. 도로 및 교량, 주차장의 배수시설을 통하여 유출되는 비점오염물질 중 입자상 오염물질은 빗물과 함께 유출되어 연안지역으로 흘러들거나 배수받이 공간에 축적되는데 여기서 발생하는 퇴적물은 주로 타이어 마모물질이나 브레이크 작동 및 차량구동시 발생하는 금속류, 죽은 식물의 사체, 기타 쓰레기로 구성되어 있다. 이와 같은 물질은 연안해역의 오염물질 즉 중금속, 오일/그리스, 영양소의 주요 공급원이 될 수 있다. 특히 해수욕장의 해변을 따라 설치된 주차장은 해변으로부터 불과 수 미터에서 수 십미터 밖에 떨어져 있지 않으므로 강우시 발생된 비점오염물질이 곧바로 해변의 모래사장으로 유출되어 장기간에 걸쳐 축적될 가능성이 있다. 다양한 형태의 탄화수소와 중금속이 흡착된 퇴적물은 대형 강우시 직접 연안해역으로 배출되어 연안역 수질에 미치는 영향 및 잠재력은 매우 크다.

이러한 오염물질은 모래사장이거나 연안역 갯벌 생태계에 독성을 띠는 물질로 먹이사슬과정에서 생물농축이 이루어질 뿐 만 아니라 사람의 인체와 직접적인 접촉이 이루어지는 모래와 해수욕장의

수질을 악화시켜 사람의 건강에도 해를 끼칠 가능성이 높다. 외국의 연구결과에 따르면 포장지역으로 조성된 주차장에서 발생하는 강우 유출수에는 중금속 함유율이 높은 미세 입자를 포함하고 있다(Sansalone et al, 1996; Zanders, 2005). 따라서, 강우유출수에 함유된 용해성 입자성 중금속류는 이송과정이 다르므로 실제 현장에서의 조사 분석이 중요하다고 지적하고 있다(Tuccillo, 2006; 이은주 등 2006).

또한 노면으로부터 강우유출수에 의해 이송 되는 입자상 오염물질은 우수관을 통해 주요하천으로 유입되므로 직접적으로 하천수질에 영향을 미치는 한편, 하천바닥에 퇴적되어 장기적인 내부 오염원으로 작용한다(한국과학재단, 2002). 주차장 및 교량도로 배수받이 지점에 식물이 고사하거나 주변 토양이 검은색을 오염되는 것은 이와 같은 도로 비점오염원에 기인한 경우가 대부분이다. 미국을 비롯한 선진국들은 다양한 비점오염원 중에서 도로, 주차장 및 교량 등과 같은 포장된 지역을 우선관리순위로 정하여 비점오염물질을 관리하고 있다. 그 이유는 포장지역이 강우 유출계수가 크며, 많은 인간 및 차량으로 인하여 오염물질의 유출부하량이 유출면적에 비하여 상당히 높기 때문이다.(김이형 등 2004; 이은주 등 2006) 최근 국내에서도 비점오염원에 대한 중요성을 인식하고 다양한 저감방안을 모색하고 있으나, 저감방안 수립을 위한 도로 및 교량도로에서의 비점오염 유출측정, 입경별 오염물질 함량등에 대한 기초 자료는 아직도 미진한 실정이다(이준호, 2007).

본 논문에서는 충남 서해연안 인근 주차시설의 배수받이에 축적된 퇴적물의 오염특성에 대한 기초자료를 확보하고 강우시 주차장에서 발생하는 비점오염물질을 저감하는데 필요한 최상의 관리방안(Best Management Practices, BMPs)을 선정, 설계하는데 필요한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

2. 연구방법

2.1 조사대상 지점 선정

충남 서해 연안역 주차시설에서 발생하는 퇴적물의 오염물질 함량을 평가하기 위하여 강우 개시 후 모든 강우 유출수가 한 지점으로 집수되는 간선 배수로의 배수받이를 조사대상 지점으로 선정하였다. 본 조사는 2011년 4월부터 2011년 6월 까지 해수욕장 10개, 항포구 3개, 교량 1개, 박물관

관 1개소를 포함한 총15개소의 지점을 선정하여 배수받이 퇴적물질을 채취 하여 분석을 실시하였다. 조사지점별 배수면적, 해안과의 거리, 포장재질 등 지점에 대한 자세한 내용은 Table 1에 제시되어 있으며 Fig. 1에는 15개소의 조사대상 지점의 위치를 나타내고 있다.

Table 1 Paved area informations investigated in this study

Location	Area(m ²)	Pavement Material	Capacity* (cars)	Sediment depth(cm)	Distance to shore(m)
Mongsanpo Beach	7,609	Block	400	24(3.15)**	200
Kozi Beach(1)	60,168	Asphalt	947	27(0.45)	12
Kozi Beach(2)	567	Asphalt	286	16(28.2)	6
Manripo Beach(sedan)	7,606	Asphalt	280	18(2.36)	200
Manripo Beach(bus)	5,620	Asphalt	100	10(1.79)	200
Daechon Harbor	6,023	Asphalt	177	10(1.67)	120
Daechon Beach	12,000	Asphalt	850	12(1.0)	350
Shinjindo Harbor	5,790	Asphalt	155	24(4.15)	20
Shinjindo Bridge	9,239	Block	350	7(0.76)	5
Yeonpo Beach	1,463	Asphalt	75	11(7.53)	70
Muchangpo Beach(3)	2,280	Asphalt	100	12(5.26)	2
Muchangpo Beach(6)	1,700	Asphalt	55	40(23.5)	6
Chunjangdae Beach	9,300	Asphalt	362	5(0.54)	50
Hongwon Harbor	3,060	Asphalt	200	-	10
Seochon Ocean Museum	400	Asphalt	100	5(12.5)	10

*Maximum daily parking capacity ** Depth per 1,000m² parking lot area

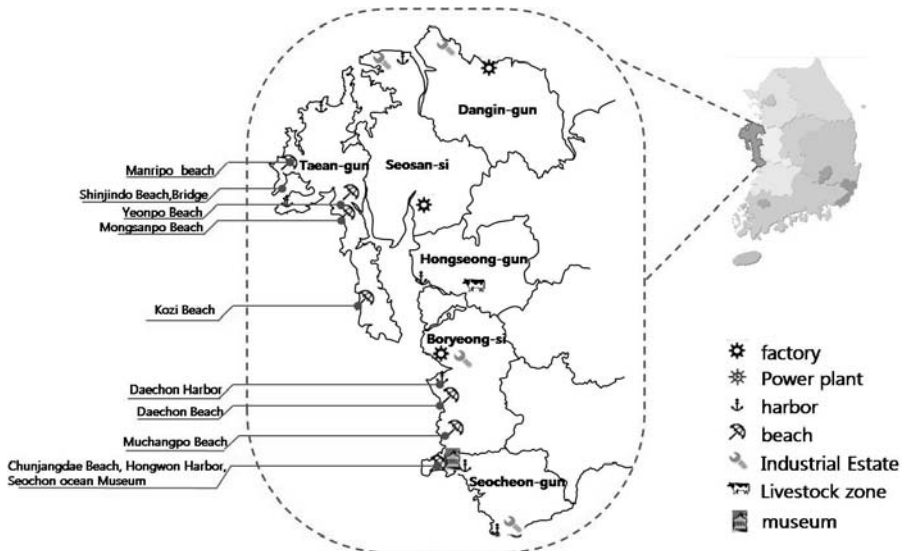
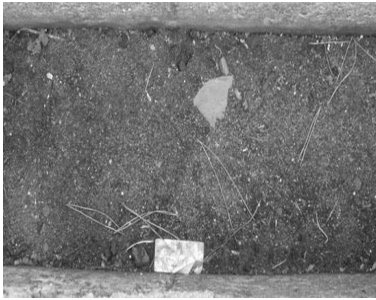


Fig. 1 Locations of the paved area used in this study

2.2 분석방법 및 분석항목

채취된 퇴적물의 특성을 파악하기 위하여 실험실로 운반 후에 자연 상태에서 풍건하였다. 퇴적물 입도분석을 평가하기 위하여 표준체를 이용하여 입도분석이 수행되었으며 Fig. 2에 나타난 바와 같이 2,360, 850, 500, 355, 106, 63 μm 순의 입도크기로 체분석(sieve analysis)을 실시하였다.



각각의 퇴적물의 오염물질 함량을 평가하기 위하여 체로 분리된 입자에 대하여 크기별로 유기물질 함량, 휘발성 고형물(VS), 총질소(TN), 총인(TP) 함량을 *Standard Method*(AWWA, 1995)에 의거 하여 분석하였고 중금속항목으로는 구리(Cu), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 비소(As), 6가 크롬(Cr^{6+}) 함량을 토양오염공정 시험기준에 의해 분석하였다.

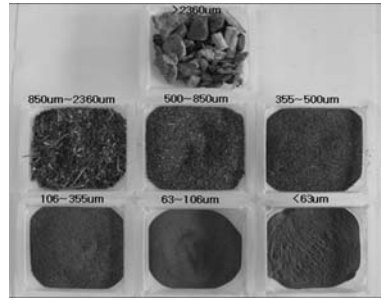


Fig. 2 Waste sediments in drain channel and separated sediments by sieve

3. 연구결과 및 고찰

3.1 퇴적물 입도분석 분석결과

대부분의 배수구에 축적된 퇴적물은 자동차 배가스 분진과 타이어 분진, 기름으로 인하여 대부분 검은색을 띠고 있었으며 지점에 따라 여러종류의 악취(기름냄새, 계란 썩은 냄새, 생선 썩은 냄새, 퇴비냄새)를 풍기고 있었다. 대부분의 배수구에서 퇴적물 중 헝잡물은 나뭇잎, 비닐류, 유리류, 담배꽂초 등이 주종을 이루고 있었다.

조사대상 퇴적물의 입경별 % 누적중량 분석결과를 Fig. 3에 나타내었다. 대부분 106~500 μm 사이의 입경범위가 많이 분포되는 것으로 나타났다. 대부분의 퇴적물에서 입자크기가 큰 입자들의 비율이 높은 반면에 355 μm 보다 작은 입자는 평균 40% 비율로 상대적으로 낮았다. Table 2에는 각각의 입도분석 결과를 요약하여 나타내었다. D_{10} 은 누적 입도분포 그래프에서 중량으로 10%에 해당하는 입자의 크기 즉 유효경(effective size)을 나타내며 D_{60} 은 60%에 해당하는 퇴적물의 직

경을 나타낸다. 퇴적물의 입경분석결과 모든 지점에서 D_{10} 의 범위는 40~160 μm , D_{50} 의 범위는 200~810 μm , D_{60} 은 235~1005 μm 로 나타났다. D_{10} 의 경우 입경범위가 큰 차이가 없는 반면에 D_{50} , D_{60} 은 큰 차이를 나타내고 있다.

한편 이소영(2007)등에 의하면 도심지 주차장 퇴적물의 입도를 분석한 결과 425~850 μm 사이의 입자가 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타내었다. 입경이 250 μm 보다 큰 입자는 70%이상을 차지하고 있는 것으로 나타내었으며, D_{50} 의 범위는 200~600 μm 으로 분석되어 졌다. 본 연구조사결과와 미세한 차이는 있었으나 유사한 경향을 나타내었다. D_{60}/D_{10} 의 비율은 균등계수(uniformity coefficient)라고 부르는데 이 수치는 입자가 얼마나 균일한 입자로 구성되어 있는지를 나타내는 척도로 널리 사용되고 있다.

본 연구조사 결과 대천항($U = 6.28$), 대천해수욕장($U = 5.51$), 서천해양박물관($U = 5.61$), 신진대교($U = 20$), 신진도항($U = 6.0$) 지점에서는 대립자의 점유율이 높아 불균일하였으나 그 밖의 지역에서는 2~3 정도로 비교적 균일한 입도분포

를 나타내었다. 이와 비슷한 연구사례로 이주광 (1999)의 폐모래 처리대책에 관한 연구에 의하면 고속도로에서 수거한 잔류토사(퇴적물)를 분석한 결과 수원지사(U = 4.43), 군포지사 (U = 2.00), 화성지사 (U = 3.44), 동서울지사 (U = 4.29) 퇴적물 적치장의 균등계수가 5보다 작은 것으로 조사되었다. 따라서 고속도로 노면에서 수거된 퇴적

물의 입자크기가 연안역 교통시설에서 보다 균일함을 알 수 있었다. 이와 같이 주차장에서보다 노면에서 입도분포가 균일한 이유는 고속으로 주행하는 노면에서 타이어 마모분진 등이 차지하는 비율이 상대적으로 높기 때문인 것으로 사료되며 또한 고속주행하는 차량으로 인한 고형물 입자의 분쇄작용도 원인이 될 수 있을 것으로 판단된다.

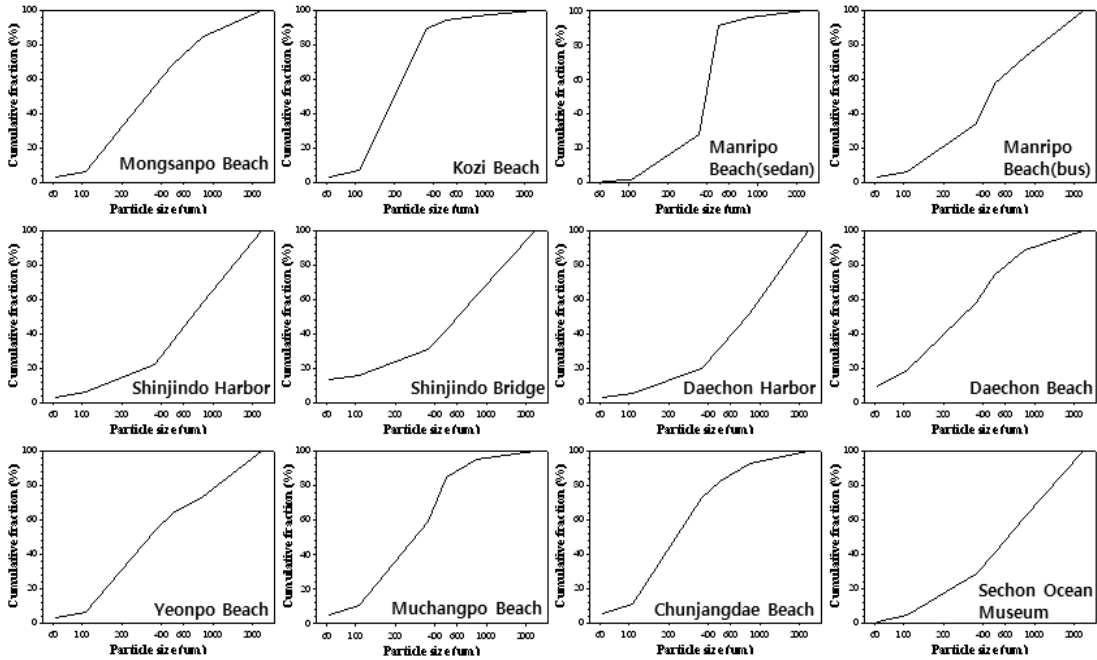


Fig. 3 Cumulative particle size distributions of the waste sediments

Table 2 Characteristics of the particle size distribution

Location	D ₁₀ (µm)	D ₅₀ (µm)	D ₉₀ (µm)	Uniformity coefficient
Mongsanpo Beach	115	310	390	3.39
Kozi Beach(1)	110	200	235	2.14
Manripo Beach(sedan)	160	400	420	2.63
Manripo Beach(bus)	140	450	550	3.93
Daechon Harbor	160	810	1005	6.28
Daechon Beach	69	280	380	5.51
Shinjindo Harbor	150	700	900	6.00
Shinjindo Bridge	40	610	800	20.0
Yeonpo Beach	140	340	450	3.21
Muchangpo Beach(6)	110	300	360	3.27
Chunjangdae Beach	100	230	280	2.80
Sechon Ocean Museum	140	620	785	5.61

3.2 배수받이 영양염류, 유기물질 분석결과

조사대상 지점 총15개소 중 배수받이 내부에 퇴적물이 존재하지 않았던 꽃지 해수욕장의 소형차 주차장, 무창포해수욕장의 제 3주차장, 흥원항구를 제외하고 각각의 시설의 배수받이 지점에서 채취된 퇴적물의 입경별 평균 VS, COD, TN, TP 함량을 Fig. 4에 정리하였다.

대체적으로 입자크기가 작으면 작을수록 오염물질 함량은 증가하는 것으로 분석되었는데 이는 입자의 크기가 작으면 작을수록 비표면적이 증가하여 오염물질 흡착량이나 결합량이 증가하였거나 입자자체가 타이어나 배가스 분진입자일 가능성이 크기 때문으로 사료된다.

퇴적물 단위중량 당 오염물질 평균함량을 산출한 결과 입경이 63 μm 보다 작은 경우 VS 1.11~6.78g/kg(평균 2.28g/kg), COD_{cr} 0.08~2.29g/kg

(평균 0.42g/kg), TN 64.1~596.2g/kg(평균 192.1g/kg), TP 67.0~193.2g/kg(평균 123.0g/kg)을 나타내었다. 한편 63~106 μm 의 경우 VS 0.77~2.92g/kg(평균 1.43g/kg), COD_{cr} 0.07~0.60g/kg(평균 0.22g/kg), TN 44.4~428.7g/kg(평균 148.7g/kg), TP 41.8~442.6g/kg(평균 128.6g/kg)을 나타내었다.

Table 3에는 입경 $\leq 63\mu\text{m}$ 의 퇴적물의 오염물질 특성을 나타내었다. 각 지점별 전체 퇴적물의 오염물질 함유량 중 입경 크기가 $\leq 63\mu\text{m}$ 입자에 함유된 퇴적물의 함유량이 높은 경우 모든 지점에서 VS, COD_{cr}, TN, TP의 오염물질이 최저 2배에서 최고 14배 높은 것으로 분석되었다. 그러나 대천해수욕장 주차장에서 채취된 전체 퇴적물 중 $\leq 63\mu\text{m}$ 의 입자가 2.4%의 함유된 데 비해 VS는 10배, COD_{cr} 11배, TN 13배, TP 8배의 오염물질 함유된 것으로 조사되었다.

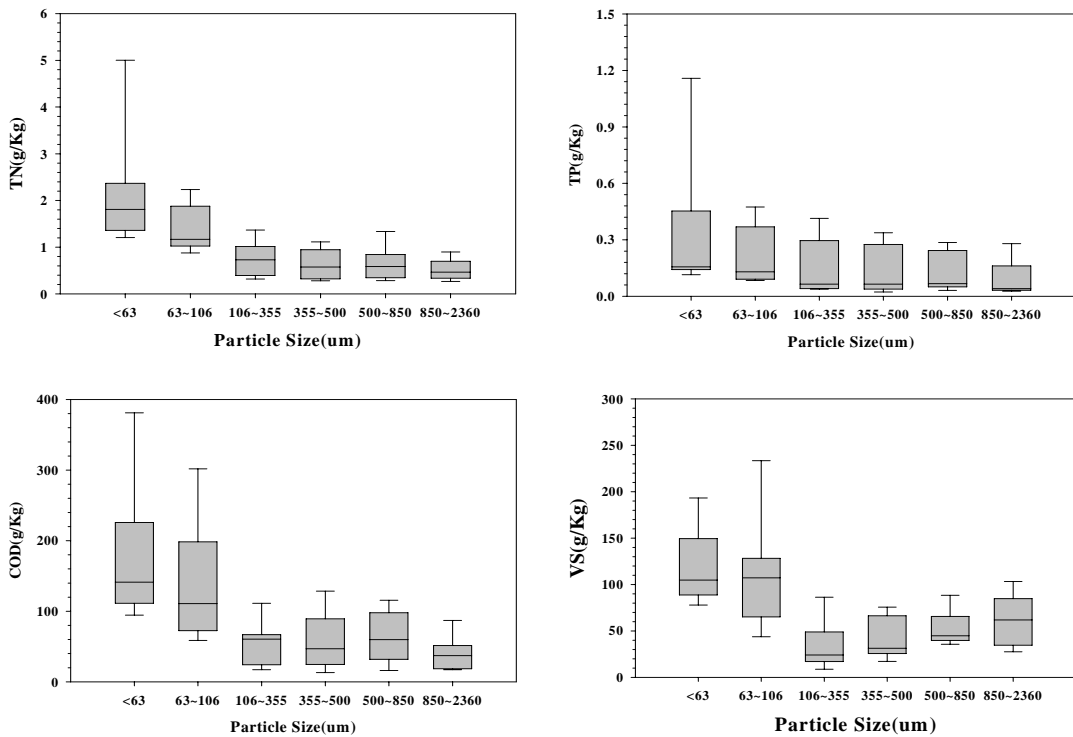


Fig. 4 Contents of the pollutants in different sizes of waste sediment particles

Table 3 Comparison of the pollutants contents with respect to fine particle fraction

Location	Sediments($\leq 106\mu\text{m}$) Fraction(%)	Pollutant Fraction Adsorbed in Sediments($106\mu\text{m}$)			
		VS	CODcr	T-N	T-P
Mongsanpo Beach	3.6	10.0	16.1	10.2	10.7
Kozi Beach	3.8	18.6	15.4	25.3	31.9
Manripo Beach(sedan)	2.7	18.0	17.2	25.6	13.7
Manripo Beach(bus)	0.7	1.3	8.1	0.03	0.3
Daechon Harbor	2.7	17.2	4.0	22.8	17.6
Daechon Beach	2.4	24.5	25.4	30.1	18.5
Shinjindo Harbor	2.4	8.1	7.8	6.9	6.8
Shinjindo Bridge	9.7	33.4	55.1	40.8	36.8
Yeonpo Beach	3.2	21.4	16.8	18.3	28.5
Muchangpo Beach	5.1	31.8	21.8	27.6	26.3
Chunjangdae Beach	6.2	29.2	15.3	22.7	18.1
Seochon Ocean Museum	3.9	12.8	10.8	14.9	17.4

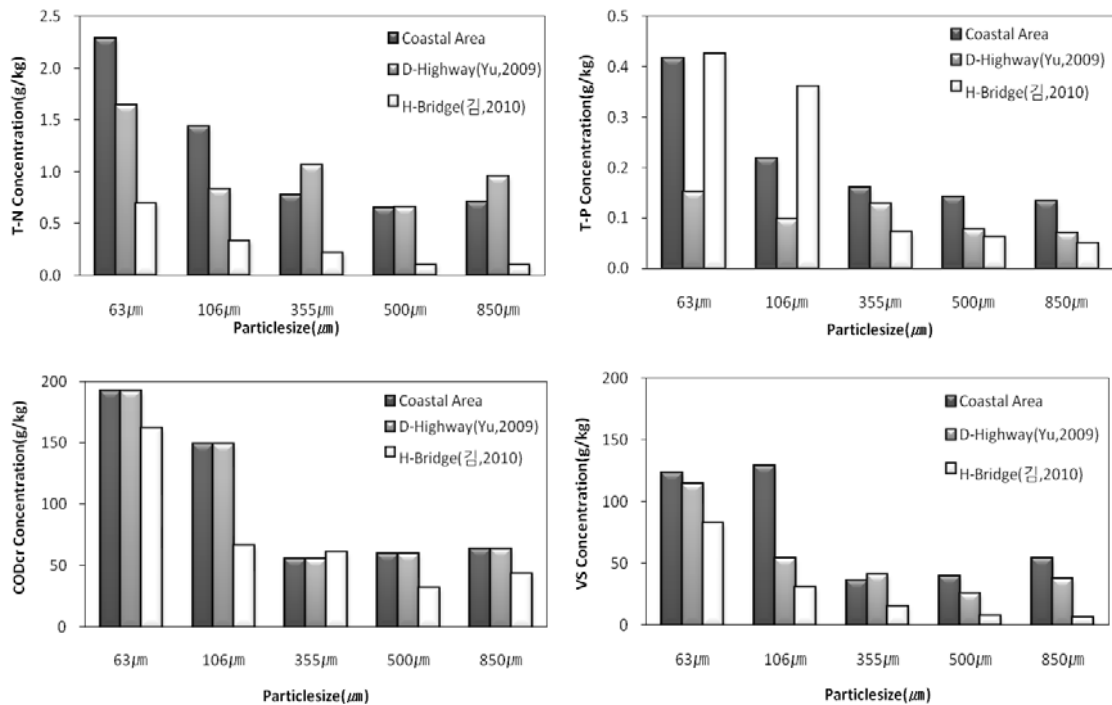


Fig. 5 Comparison of the pollutants contents with respect to sources

Fig. 5에는 고속도로 구간에서 발생된 입경별 퇴적물 오염물질 함량을 분석한 우강화(2009)와 교량에서 발생된 입경별 퇴적물 오염물질 함량을 분석한 김연석(2010)의 연구결과와 본 연구결과를 비교 분석하였다. Fig. 5에서 연안지역 교통시설(=Coastal Area), 서해안 고속도로 당진지사 퇴적물(=D-Highway), 충남 서산 해미국도 45호선 교량(=H-Bridge)라 명명하였다.

비교분석 결과 입경별 63~850 μm 에서 분석항목 VS, COD, TN, TP 함량은 대부분 연안역 지점의 배수받이 퇴적물에서 발생된 퇴적물이 비교적 높

은 수치를 나타내었다. 입경크기별 오염물질 함유량을 비교 분석한 결과는 $\leq 63\mu\text{m}$ 이하의 입경에서 함유량이 매우 높게 나타내었으며 입경이 크면 클수록 오염물질 함량이 낮아지는 유사한 경향을 나타내었다. 주차장 퇴적물에서 입경이 작을수록 VS 함량이 높은 이유는 자동차 타이어 분진이나 경유차의 불완전 연소시 발생하는 배가스 분진 때문으로 판단된다.

3.3 배수받이 중금속 분석결과

Table 4에는 전체 지점 중 무창포해수욕장,

Table 4 Heavy metal contents in the sediments

*단위(mg/kg)

Location	Size	Cu	Cd	Pb	As	Cr ⁶⁺
Muchangpo Beach	$\leq 63\mu\text{m}$	37.62	0.27	100.68	9.33	0.66
	63~106 μm	24.72	ND	83.18	13.23	0.79
	106~355 μm	8.90	ND	30.25	ND	ND
	355~500 μm	6.07	ND	32.81	ND	ND
	500~850 μm	14.98	ND	33.03	2.60	ND
Kozi Beach	$\leq 63\mu\text{m}$	60.45	0.29	107.93	11.43	1.29
	63~106 μm	26.52	ND	47.33	0.83	ND
	106~355 μm	4.58	ND	9.13	26.20	ND
	355~500 μm	9.35	ND	26.63	ND	ND
	500~850 μm	16.31	ND	25.13	ND	ND
Daechon Harbor	$\leq 63\mu\text{m}$	47.86	0.56	108.15	11.87	1.59
	63~106 μm	50.49	0.35	102.38	11.47	1.35
	106~355 μm	33.76	0.21	79.76	12.97	0.76
	355~500 μm	22.42	0.20	54.15	6.60	0.96
	500~850 μm	27.60	0.27	63.97	7.57	0.87
Shinjindo Bridge	$\leq 63\mu\text{m}$	42.03	0.58	201.62	1.83	0.93
	63~106 μm	44.14	0.67	279.51	ND	1.06
	106~355 μm	26.55	0.30	255.61	ND	0.75
	355~500 μm	30.21	0.30	81.68	ND	0.62
	500~850 μm	39.98	0.34	166.62	ND	0.51
Seochon Ocean Museum	$\leq 63\mu\text{m}$	57.70	0.11	60.13	2.30	0.72
	63~106 μm	30.41	ND	46.69	ND	ND
	106~355 μm	15.70	ND	30.25	ND	ND
	355~500 μm	9.71	ND	15.95	1.63	0.51
	500~850 μm	12.12	ND	15.95	ND	ND

*ND: 정량한계 미만

대천항, 꽃지 해수욕장, 서천해양 박물관, 신진대교 지점을 선정하여 중금속 항목인 구리(Cu), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 비소(As), 6가 크롬(Cr⁶⁺)의 입경별 중금속 함량을 분석하여 그 결과를 제시하였다. Cu와 Pb는 모든 지점에서 검출되었으며 일반 오염물질과 마찬가지로 입경이 작을수록 함유량도 증가하는 것으로 나타났다. Cu 함량은 지점 별로 큰 차이가 없었으나 Pb의 경우는 신진도 진입도로인 신진대교 지점에서 다른 곳에 비해 2배에서 3배 정도 높게 검출되었다. 평균 Cu, Pb의 함유량은 평균 Cu는 27.6~60.5mg/kg(평균 49.1mg/kg), Pb는 60.1~201.6mg/kg(평균 115.7mg/kg)으로 나타내었다. Cd은 해수욕장이나 서천해양박물관 지점에서는 미세 입자에서만 검출되었으나 대천항 주차장과 신진도에서는 모든 크기의 퇴적물에서 검출되었다. As는 대천항 주차장에서 모든 크기의 입자에서 검출되었으나 나머지 지점에서는 입경에 따라 검출 또는 불검출 되었다. Cr⁶⁺는 Cd과 유사한 결과를 나타내었다. 조사지점별로 중금속의 함유량의 차이는 전반적으로 주차시설 이용차량의 형태와 교통량에 의해 결정될 것으로 판단되나 정확한 원인을 단언하기는 어렵다. 자동차의 안티-노킹제로 사용되고 있는 납은 실제로 무연휘발유에도 소량의 Pb이 첨가되어 있고 휘발유의 연소 및 자동차 타이어 마모시 발생하는

것으로 보고되어있으며 납의 축적은 교통량과 풍향과의 관계가 깊으며 다른 중금속과 달리 입자형태이기 때문에 배수받이에 많은 함량이 축적된 것으로 사료된다. Cu는 대부분 자동차 타이어와 브레이크 계통에서 발생하는 것으로 파악되고 있으며 김홍수(1992), 방극진(1995)에 의하면 Cd은 자연 상태에서 아연과 함께 발견되며 도로변 토사에 존재하는 카드뮴은 타이어에 함유된 아연의 불순물에서 기인된 것으로 알려져 있다.

Fig. 6에서는 본 연구를 통하여 얻은 중금속 분석결과와 고속도로, 국도, 교량, 대학 캠퍼스로부터 수거된 퇴적물을 대상으로 분석한 결과(이은주 2006, 이준호 2007)를 비교하였다. 비교 분석한 결과 Cu 항목은 연안역 지점의 함량이 다른 연구의 고속도로 및 교량에서 관측된 값보다는 낮은 것으로 나타났다.

그러나 일반도로나 대학 캠퍼스 도로보다는 소립자에서 높게 나타난 반면 대립자에서는 반대의 결과가 얻어졌다. Pb의 경우에도 Cu와 유사한 양상을 보였으나 연안역 교통시설의 퇴적물이 입경에 상관없이 높은 함유량을 보였다. 아직 이러한 사실을 입증할 만한 자료는 충분하지 않지만 중금속 함량에 영향을 미치는 요인으로 주변 환경, 교통량과 차량형태, 운행속도, 포장형태 등을 꼽을 수 있다.

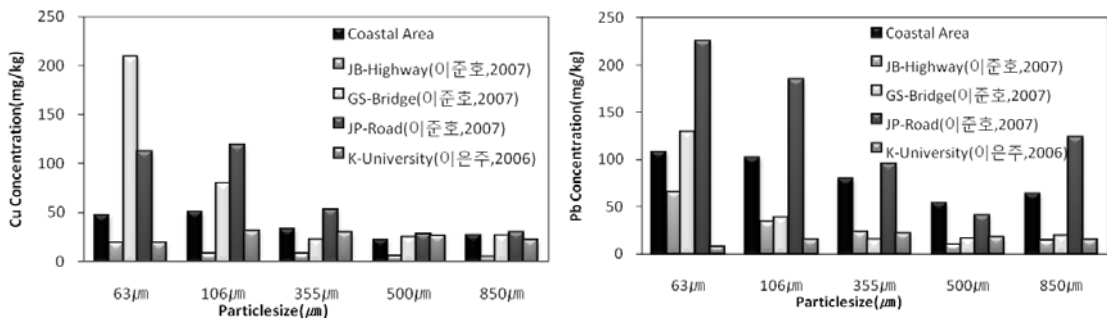


Fig. 6 Comparison of Cu and Pb contents between this study and other investigations

3.4 자연형 BMP 선정시 고려사항

포장면 강우유출수를 습지형태의 자연형 BMP를 이용하여 처리할 경우 침강지와 같은 전처리 시설을 도입하여 입자상 오염물질을 제거해야 한다. 입자형태의 중금속이 다량 함유되어 있는 강우유출수를 전처리 시설 없이 습지와 같은 자연형 BMP에 의해 처리할 경우 습지전체에 확산되어 추후 습지 바닥 준설시 발생하는 퇴적물의 양적, 질적 측면에서 복잡한 처리/처분 문제에 봉착할 수 있다. 따라서 중금속을 함유한 입자를 제거하고자 할 경우 전처리 공정과 후처리 공정을 독립적인 공간으로 설계하여 퇴적물 준설 및 처리/처분을 용이하도록 한다.

처리대안으로 수직 흐름형 여과식 습지(vertical flow subsurface wetland, VFS wetland)를 조성할 경우 전처리로 침강공정이 있다고 해도 중금속량을 다량 함유하고 있는 미세입자($\leq 63\mu\text{m}$)의 침전제거는 용이하지 않으므로 Cu, Pb 등이 습지의 상부 여층에 축적되어 식재된 식물체에 독성으로 작용하여 성장을 방해할 가능성이 높다. 또한 여층 내부에서도 여재표면에 포착되어 공극에 축적된 중금속 입자로 인하여 VFS 습지에서 기대하고 있는 생물학적 분해작용을 저해할 가능성이 매우 높으므로 그 가능성을 염두하고 적절한 처리방안을 수립해야 할 것으로 판단된다.

또한 VFS 습지를 설계할 때 내부에 충전할 여재를 결정할 때 여재의 흡착능이 크면 목표성능을 달성하는데 유리하지만 추후 흡착능이 소진된 이후 양적, 질적으로 폐여재의 처리/처분에 큰 어려움이 닥칠 수 있으므로 가급적 흡착능이 없거나 적은 여재를 선정하여 여과기능과 생물학적 기능에 의해 처리가 이루어지도록 해야 할 것으로 사료된다.

전술한 바와 같이 연안역에 위치하고 있는 주차장 등에서 발생하는 입자상 오염물질과 내륙지역의 포장면에서 발생하는 입자 사이에 일부 입경별 오염물질 함량차이 이외에는 정량적으로 그 차

이를 명확히 설명하는 데에는 한계가 있다. 그러나 연안역 포장면에서 발생하는 강우 유출수와 다른 내륙지역의 강우유출수와 염분농도에 큰 차이가 있었다. Fig. 7에는 대천항 주차장에서 강우시 관측된 전기전도도 농도변화와 서천농공단지에서의 농도변화(환경부, 2008)를 비교한 것이다. 자료에 따르면 선행건기일수(antecedent dry day) ADD가 7일 이내로 짧으면 두 값 사이에 큰 차이가 없지만 ADD가 2주 이상 지속될 경우 그 농도는 2배에서 5배 이상 차이가 있었다. 이러한 차이는 연안지역 특성상 바다에서 바람이나 파도에 의해 발생하는 에어로졸의 포장면 침적과 바람에 의한 백사장 모래의 이동 침적, 그리고 각종 수산물 수송차량 등에 의해 발생하는 것으로 추정된다. 염분은 식물의 증식에 큰 영향을 미치고 또한 토양의 투수성을 저하시키므로 연안역에서 발생하는 강우유출수 처리계획을 수립할 때에는 염분농도를 고려하여 처리방안 및 식물종을 선정해야 할 것으로 판단된다.

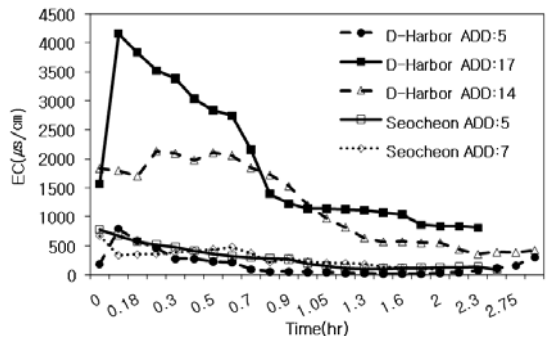


Fig. 7 Comparison of the electric conductivity values during the rainfall events in the rainfall runoffs of D-Harbor area and Seocheon agro-industrial area

4. 결 론

충남 서해 연안역에 위치하고 있는 해수욕장, 항구, 박물관의 주차시설과 교량에서 발생하는 퇴적물의 입도분포 특성 및 오염물질 함량을 조사한

결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 퇴적물의 입경별 % 누적중량분포를 분석한 결과 대부분 106~500 μm 사이의 입경범위가 많이 분포되는 것으로 나타났다. 퇴적물의 입경분석결과 모든 지점에서 유효경 D_{10} 의 범위는 40~160 μm , D_{50} 의 범위는 200~810 μm , D_{60} 는 235~1005 μm 로 나타났다. D_{10} 의 경우 입경범위가 큰 차이가 없는 반면에 D_{50} , D_{60} 는 큰 차이를 보였다. 대천항 지점($U = 6.3$), 대천해수욕장($U = 5.5$), 서천해양박물관($U = 5.6$), 신진대교($U = 20.0$), 신진도 항($U = 6.0$)에서는 대립자의 점유율이 높아 불균일하였으나 그 밖의 지역에서는 2~3 정도로 비교적 균일한 입도분포를 보였다.
2. 대체로 입자크기가 작으면 작을수록 오염물질 함량은 증가하는 것으로 분석되었는데 이는 입자의 크기가 작으면 작을수록 비표면적이 증가하여 오염물질 흡착량이나 결합량이 증가하였거나 입자 자체가 타이어나 배가스 분진입자일 가능성이 크기 때문으로 사료된다. 입경 크기가 $\leq 63\mu\text{m}$ 입자 클수록 VS, COD_{cr} , TN, TP의 오염물질이 최저 2배에서 최고 14배 높은 것으로 분석되었다.
3. Cu와 Pb는 모든 지점에서 검출되었으며 일반 오염물질과 마찬가지로 입경이 작을수록 함유량도 증가하는 것으로 나타났다. Cu 함량은 지점 별로 큰 차이가 없었으나 Pb의 경우는 신진도 진입도로인 신진대교 지점에서 다른 곳에 비해 2배에서 3배 정도 높게 검출되었다. Cd는 해수욕장이나 서천해양박물관 지점에서는 미세 입자에서만 검출되었으나 대천항 주차장과 신진도에서는 모든 크기의 퇴적물에서 검출되었다. As는 대천항 주차장에서 모든 크기의 입자에서 검출되었으나 나머지 지점에서는 입경에 따라 검출 또는 불검출 되었다. Cr^{6+} 는 Cd와 유사한 결과를 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2011년도 지역기술혁신사업(09지역기술혁신B-01)에 의한 환경친화적 연안역 개발기술연구단 과제로 수행된 결과를 정리한 것으로 연구비 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

- 김이형, 강주현, 2004. 고속도로 강우 유출수내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위 산정. 한국물환경학회지. 20(6). pp. 631-640.
- 김연석, 한봉윤, 우강화, 김영철. 2010. 교량에서 수집된 토사와 고속도로 청소 퇴적물의 입경별 오염물질 함량 비교 연구. 한국물환경학회 상하수도학회 학술발표회 논문집.
- 김홍수, 1992. 대전-천안간 고속도로변 토양과 작물체납과 카드뮴 함량분석에 관한 연구. 청주대학교 산업 경영대학원 석사학위논문.
- 이소영, 이은주, 김철민. M.c.Maniquiz, 손영규, 김지형, 김이형, 2007. 비점오염저감시설인 침투도랑과 여과형 시설내 침강지 퇴적물의 물리화학적 특성 분석. 한국습지학회지. 9(3). pp. 35-42.
- 이은주, 고석오, 강희만. 이주광, 이병식, 임경호, 김이형, 2006. 포장지역에서의 강우사상별 EMC 산정 및 단순 샘플농도와와의 비교. 한국물환경학회지. 22(1). pp. 104-109.
- 이은주, 이소영, 김준명, 김일규, 김이형, 2006. 주차장 퇴적물의 중금속 농도 및 침전 속도. 한국도로학회 학술발표회 논문집. pp. 313-318.
- 이준호, 조용진, 방기웅. 2007. 강우시 도로유출수 수질특성 및 입경분포. 대한환경공학회지. 27(6). pp. 777-784.
- 방극진, 1992. 환경오염 유해화학물질 편람. 환경부. 2008. 한강수계 비점오염저감시설 모니터

링 및 유지관리 3차년도 보고서
한국과학재단. 2002. 서울시 무기 환경시스템의
환경지구화학 및 수리지질학적 연구. pp. 8-
115.
한국도로공사. 1999. 폐모래 처리대책에 관한 연구
APHA, AWWA and WEF, 1995. Standard
methods for the examination of water and
wastewater. 21th ed. American public health
association. Washington. DC
Yu Jianghua, Yi Qitao, Youngchul Kim. 2009.
Performance Analysis of a Hydrodynamic
Separator for Treating Particulate Pollutants
in Highway Rainfall Runoff. Environmental
Engineering Research. 14(4). PP. 262-269
Sansalone, J.J, S.G. Buchberger, S.R. Al-Abed,
1996. Fraction of heavy metals in pavement

runoff. The Science of the Total
Environment. 189. pp. 371-378.
Tuccillo, E.T, 2006. Size fraction of metals in
runoff from residential and highway storm
sewers. The Science of the Total
Environment, 355. pp. 288-300.
Zanders, J.M, 2005. Road sediment:
characterization and implications for the
performance of vegetatedstrips for treating
road runoff. The Science of the Total
Environment. 339(1-3). pp. 41-47.

- 논문접수일 : 2011년 09월 12일
- 심사의뢰일 : 2011년 09월 14일
- 심사완료일 : 2011년 11월 22일