

하천 및 호소 퇴적물 입도분석 방식의 비교와 입도에 따른 중금속물질의 분포경향

Comparison of Particle Size Analysis and Distribution of Heavy Metals in River and Lake Sediments

오형석¹⁾ · 신원식²⁾ · 김준하³⁾ · 황인성⁴⁾ · 허진⁵⁾ · 신현상⁶⁾ · 오정은⁷⁾ · 허인애⁸⁾ · 김영훈[†]

Oh, Hyungsuk · Shin, Wonsik · Kim, Joonha · Hwang, Inseong · Hur, Jin ·
Shin, Hyunsang · Oh, Jeongeun · Huh, Inae · Kim, Younghun

ABSTRACT : Dry sieving, wet sieving and photoscattering analyzer were tested as particle size analyzing methods for sediments from rivers and lakes of Han river, Nakdong river, Youngsan river, and Kungang river area. Dry sieving showed a big error due to coagulating effect over drying process and this phenomena was severe for lake sediment. Wet sieving and PSA showed an accurate results though wet sieving needs more labor and complicate processes. Freeze-dry or freeze-dry after oxidation of organics with hydrogen peroxide showed improved results but gave lower portion of fine particles in comparing with wet sieving. Heavy metal contents and extractable metal contents were investigated for the sediments and high heavy metal content and extractable amount were obtained from fine particles as expected. Using of proper particle size analyzing method is important and the sediment management should be focused on the fine particles.

Keywords : Particle size, Sediment, Dry sieving, Wet sieving, Photoscattering analyzer

요지 : 한강, 낙동강, 영산강, 금강의 하천 및 호소퇴적물을 대상으로 건식체질법, 습식체질법, 광산란법(PSA) 등의 입도분석법을 비교연구 하였다. 건식체질법의 경우 건조과정에서 발생하는 엉김현상에 의해 오차가 크게 발생하며 이러한 현상은 호소시료의 경우 두드러지게 나타났다. 습식체질법은 건식체질법에 비해 복잡하고 노동력이 보다 많이 필요하지만 정확한 분석이 가능하며 PSA의 경우에도 습식체질과 유사한 경향을 나타내었다. 엉김현상을 방지하기 위한 동결건조 및 과산화수소수에 의한 유기물의 산화/동결건조의 경우 엉김현상을 일부 개선할 수 있었으나 여전히 습식체질에 비하여 미세입자의 분율이 적게 나타났다. 입도별 중금속 속의 용출량 및 함유량이 조사되었으며 예상된 바와 같이 호소 및 하천시료 모두 미세입자에서 높은 농도의 중금속이 용출되었다. 퇴적물의 관리에 있어서 정확한 입도분석법의 사용과 미세입자에 대한 관리가 보다 중요하다.

주요어 : 입도, 퇴적물, 건식체질, 습식체질, 레이저회절

1. 서론

하천 및 호소퇴적물은 물의 흐름에 의해 상류로부터 이동한 입자들이 하천 및 호소 바닥에 침전되어 있는 입자이며, 특히 집중 강우 시 빠른 유속에 의해 많은 양의 퇴적물이 이동되어 하천 하류나 호소 바닥층에 이동하여 축적되는데, 퇴적물은 물리화학적 상태변화에 따라 수질에 영향을 미칠 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 하천 및 호소퇴적물에

는 농약, PCBs, PAHs, VOC와 같은 독성유기물질, 질소와 인과 같은 영양염류, 중금속 등의 다양한 오염물질이 포함되어 있는 경우가 있으며 퇴적물의 입도가 작은 경우 보다 많은 오염물질을 포함할 수 있다. 오염물질은 흡착, 이온교환, 침전, 가수분해, 미생물 활동과 같은 메카니즘을 통하여 축적되며 퇴적물의 물리화학적 환경조건에 따라 다시 수계로 탈착 및 용출될 수 있다. 오염물질의 흡탈착에 영향을 미치는 인자는 pH, ORP(산화-환원조건), 용존산소 농도 등

1) 비회원, 안동대학교 응용화학과 대학원

2) 정회원, 경북대학교 환경공학과 부교수

3) 비회원, 광주과학기술원 환경공학과 조교수

4) 비회원, 부산대학교 환경공학과 부교수

5) 비회원, 세종대학교 지구환경과학과 조교수

6) 비회원, 서울산업대학교 환경공학과 부교수

7) 비회원, 부산대학교 환경공학과 부교수

8) 비회원, 국립환경과학원

† 정회원, 안동대학교 환경공학과 부교수(E-mail : youngkim@andong.ac.kr)

하천 및 호소의 물리화학적요인과 유량, 유속, 조도계수 등 수리적 요인이 있다. 하천 및 호소의 수질관리와 동시에 퇴적물의 관리도 매우 중요하며 오염물질의 저장 및 유출원으로써 퇴적물의 기초적인 조사는 매우 필요하다.

하천퇴적물의 특성조사연구에서 입도분석은 가장 기본적인 중요한 항목의 하나이다. 퇴적물 특성에서 입도의 중요성은 입도분포가 퇴적물의 퇴적 및 이동 등에 영향을 미칠 뿐만 아니라 퇴적학적 측면에서 퇴적물의 기원 및 역사에 대한 정보도 제공한다. 퇴적물의 입도특성은 하천퇴적물의 환경적 측면에서도 매우 중요하다. 미세한 퇴적물은 높은 비표면적을 가지며 유기오염물질 및 중금속을 포함하는 무기오염물질이 흡착할 수 있는 자리를 제공한다. 퇴적물이 환경적 측면에서 중요한 이유는 오염물질의 저장소로 역할을 하기 때문이며 오염물질의 흡수, 저장, 재공급에 영향을 미치기 때문이다.

입도분석법으로는 피펫법, hydrometer, 레이저회절(laser diffraction), sedigraph, coulter counter, hydrophotometer, 건체질, 습체질(wet sieving) 등이 있다. 입도와 관련이 있는 국내공정시험법 가운데 토양오염공정시험법에서는 건식체질법을 기준으로 하고 있으며 해양오염공정시험법에서는 피펫법, 건식체질, 습식체질 등이 사용되고 있다. 모래만 있는 경우 건식체질법을 사용하며, 모래와 펄이 있을 경우 습식체질 및 피펫법을 사용하게 된다. 건식체질법은 여러 입자크기의 체를 사용하여 체질하며 입자가 통과하는 가장 작은 체의 체 간격을 입자의 크기로 하며, 각 체를 통과한 입자들의 무게를 측정하여 무게비율로 입자의 평균입도를 계산한다. 피펫법은 입자의 침강속도가 입자크기에 비례한다는 Stock 법칙에 근거하여 퇴적물 입도를 측정하는 간접측정법이다. 일정한 시간에 시료의 일부분을 정해진 깊이에서 피펫하여 건조 후 그 무게를 측정하며 무게비율로 평균입도를 계산한다. 입도는 매질의 밀도, 입자의 비중, 입자의 크기에 따라 다르게 계산된다. 최근 분석기기의 발달로 광학 기술을 이용하여 짧은 시간에 입도를 분석할 수 있는 다양한 기계들이 나오고 있다. 가장 흔히 사용되고 있는 기기로는 레이저회절법과 coulter counter법이 있다.

위에 설명한 다양한 분석법은 시료의 전처리 유무, 시료의 특성에 따라 분석결과에 오차가 발생할 수 있다(Foreword, 2007). 특히 시료를 건조하는 등의 전처리를 할 경우 입자의 영감현상에 의해 오차가 발생할 수 있다.

체질법 및 피펫법은 비교적 오랫동안 사용되어 왔으나 많은 시간과 인력을 필요로 하는 단점이 있다. 많은 시료를 단시간에 분석하여야 하는 경우 많은 노동력이 필요하며 연구자 간 및 실험실 간 오차가 발생할 가능성이 있다. 각 입도분석법은 서로 다른 원리에 근거하여 입자의 서로 다른

특성을 측정하게 되며 다양한 방법으로 생산된 입도결과는 활용 전에 분석방법에 대한 검토가 있어야 한다. 그리고 각 퇴적물의 특성 및 대략적 입도범위에 따라 적절한 입도분석법이 채택되어야 한다. 하천퇴적물은 오염물질의 저장소 역할을 하며 오염이 심각할 경우 준설 등의 방법에 의해 오염물질이 제거될 수 있으며 기초자료로서 입도의 분석은 필요하다. 특히 호소의 경우 부영양화 현상이 발생하며 조류의 과다번식으로 인해 수 생태계에 악영향을 미친다. 이러한 경우 퇴적물에 침전된 영양염류는 매우 중요한 역할을 한다. 하천환경 및 생태계에서 입도는 퇴적환경의 특성을 나타내는 가장 기본적인 측정항목이다. 하천 및 호소퇴적물의 지속적 조사 및 모니터링을 위한 표준화된 입도시험법이 필요하다. 퇴적물의 특성에 적합하고 조사목적에 적합한 입도시험법을 사용하여야 한다.

외국에서는 많은 연구자들에 의해 다양한 입도분석법의 비교연구가 수행되어 왔다(Beuselinck 등, 1998; Cheetham 등, 2008; Flemming, 2007; Gluschke 등, 2004; Goossens, 2008; Molinaroli 등, 2000; Pye 등, 2004; Ramaswamy 등, 2006). Goossens은 10종의 입도분석기기를 이용하여 비교분석 하였으며 가장 이상적인 분석법은 없으며 각 분석법의 비교를 위하여 퇴적물의 형태, 퇴적물의 양, 측정속도, 측정과정의 복잡성, 결과의 재현성, 측정목적 등의 요소가 고려되어야 한다고 하였다(Goossens, 2008). Gluschke 등은 13개의 실험실에서 습식 및 건식체질법에 의해 해양퇴적물에 대한 분석을 하였으며 60 μ m 이상, 20 μ m - 60 μ m, 20 μ m 이하로 구분하여 비교하였고 실험실 간 결과 값의 차이가 있으며 건식법과 습식법 간의 차이가 있음을 확인하였다. 또한 중금속은 대부분 20 μ m 이하 크기의 입자에 존재하고 있다고 보고하였다(Gluschke 등, 2004). 국내에서는 이러한 비교분석작업이 거의 전무한 상태이며 기존 분석 자료의 효과적 활용을 위한 노력이 일부 이루어지고 있다(최진용 등, 1999; 현상민 등, 2003). 그러나 이러한 노력은 대부분 해양학, 해양퇴적학 분야에서 수행되고 있으며 하천 및 호소의 퇴적물에 대한 연구는 거의 없다. 해양퇴적물에 대한 연구로는 최진용 등에 의해 실험실 간, 실험방법 간의 차이를 측정하였으며, 레이저회절법, 체질법, 피펫법의 특징을 설명하였다(최진용 등, 1999). 현재 해양 퇴적물 입도분석법으로 레이저 회절법, 체질법, 피펫법이 대부분 사용되어지고 있다. 그러나 하천 및 호소 퇴적물의 경우 다양한 분포의 입자(자갈질, 모래질, 실트질, 점토질)가 동시에 함유되어 있는 경우가 대부분이다. 피펫법은 미세한 입자를 측정할 때 주로 사용되나 많은 시간이 필요로 하는 단점이 있다.

본 연구에서는 건식체질법, 습식체질법, 광산란법을 이용하여 하천 및 호소퇴적물의 입도를 비교분석하여 분석법의

특성을 파악하고자 하였으며 입도분포에 따른 오염물질의 분포경향을 조사하기 위해 각 입도 크기에 따른 중금속의 분포경향을 측정하고자 하였다.

2. 실험방법 및 재료

2.1 시료채취

퇴적물시료는 전국의 4대강 및 호소에서 채취하였으며 각 채취지점 및 시료번호를 표 1에 요약하였다. 시료채취는 2008년 5월-7월에 하였으며 주요 수질모니터링지점에서 채취하였다. 퇴적물시료는 grab sampler를 이용하여 채취하였으며 하천의 1개 지점에서 3회 이상 채취하여 혼합시료를 1개 시료로 하였다. 시료는 폴리에틸렌재질의 용기에 담아 냉장상태에서 실험실로 운반하였다.

표 1. 하천 및 호소퇴적물시료 채취지점 및 시료번호

유역	시료번호	하천 및 호소	지점위치
금강	GR01	하천	상류
	GR02	하천	중류
	GR03	하천	하류
	GL01	호소	대청호(추동)
	GL02	호소	대청호(댐앞)
	GL03	호소	대청호(청주취수장앞)
한강	GL04	호소	대청호(장계교)
	GL05	호소	대청호(회남교)
	GL06	호소	대청호(대정리)
	HR01	하천	남한강
	HR02	하천	북한강
낙동강	HR03	하천	임진강
	HR04	하천	한강지천(진위천)
	HL01	호소	소양호(댐앞)
	HL02	호소	소양호(오항리)
	HL03	호소	소양호(양구선착장앞)
영산강	HL04	호소	소양호(신남선착장앞)
	HL05	호소	소양호(양구교)
	NR01	하천	상류
영산강	NR02	하천	중류
	NR03	하천	하류
	NL01	하천	안동호(댐앞)
영산강	NL02	호소	안동호(노산동)
	NL03	호소	안동호(마동)
	YSR01	하천	상류
	YSR02	하천	하류
	YSR03	하천	섬진강
	YSL01	호소	영산호(방조제앞)
YSL02	호소	영산호(담머리앞)	
YSL03	호소	영산호(양도앞)	

2.2 입도 분석 방법

2.2.1 건식 체질법

퇴적물 입도분석을 위한 시료는 풍건, 또는 105±5°C의 오븐을 이용하여 건조하였으며 건조 후의 덩어리 형태의 퇴적물 시료를 막자사발을 이용하여 가볍게 분쇄하였다. 정량한 시료를 0.063mm의 표준체를 이용하여 자갈/모래 및 점토로 분류하였다.

2.2.2 습식 체질법

입도분석에 있어서 습식분석법은 국내에서는 공시된 분석방법은 없으나 해외에서 입도 분석방법의 하나로써 사용되고 있다. 분석방법은 소형 표준체(63µm)를 제작하여 사용하였다. 습식시료 체질방법은 습식시료 일정량의 무게를 측정 후 63µm체로 감싼 아크릴 원통에 시료를 넣고 증류수 일정량을 붓는다. 이때 아크릴 원통 아래에 비이커로 63µm를 통과하는 입자를 받는다. 입자가 체 아래로 통과하도록 흔들어진 후 입자가 잘 통과하지 않을 시 초음파를 약 2~5분 처리를 하고 흔들어 준다. 증류수가 체 아래로 완전히 내려갈 때까지 수행하며 다시 증류수를 첨가하여 체에서 빠져 나오는 물이 맑아 질 때까지 이 작업을 여러 번 반복 수행한다. 분리한 63µm이상의 입자는 건조시켜 무게를 측정하고 63µm이하의 입자는 정지시키며 상등액을 제외한 남은 입자를 건조시켜 무게를 측정한다. 남은 상등액은 원심분리 후 건조시켜 63µm이하의 입자와 혼합한다. 사용된 시료의 무게를 함수율로 보정하여 63µm이상과 63µm이하로 입자크기 분포도(%)를 산출한다.

2.2.3 PSA(Particle Size Analyzer)분석법

PSA 분석방법은 국내에 공시된 분석방법은 없으나 해외에서는 입도분석방법 중 하나로써 많이 사용되고 있다. 분석원리는 시료를 용매에 분산시킨 후 레이저가 통과하는 부분을 지나도록 하여 입자 크기에 따른 레이저의 산란각을 측정하여 입자크기와 분포도를 측정한다. 사용된 시료는 습식시료이며 분석에 사용한 장비는 Malvern Instruments사의 Mastersizer 2000을 이용하였다. 측정범위는 0.02~2000µm이다.

2.3 중금속분석

하천 및 호소퇴적물에는 다양한 무기 및 유기물질에 포함되어 있으며 중금속은 퇴적물에 가장 흔히 포함되어 있는 오염물질이다. 중금속의 존재형태는 외부기원에 의한 것으로 퇴적물 입자표면에 흡착 및 침착되어 있는 경우와 퇴적

물을 구성하는 퇴적토의 구성성분으로 포함되어 있는 경우도 있다. 퇴적물에 포함되어 있는 중금속은 용출 및 전량분석법에 의해 분석이 가능하며 각각의 전처리법은 장단점이 있다. 용출법은 퇴적토 표면에 흡착 또는 약한 결합의 형태로 존재하는 중금속을 용출하여 그 농도를 측정하게 하는 방법이며 전량분석법은 일정양의 퇴적토를 산으로 분해하여 퇴적토에 포함된 중금속을 측정한다. 외부기원에 의한 오염정도 및 환경변화에 의해 쉽게 용출될 수 있는 중금속의 양은 용출법에 의한 분석이 정당하다(Cappuyns 등, 2005). 그러나 퇴적토 자체의 중금속 함유도를 알고자 할 경우 전량분석법이 사용된다. 중금속 분석 중 용출분석법은 Cu, Cd, Pb의 경우 HCl 0.1N, As의 경우 HCl 1N을 사용하여 전처리를 하였으며 전 함량 분석법은 왕수를 사용하여 전처리를 수행하였다. 전처리된 시료는 AAS(Perkin Elmer-Analyst 100)를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 입도분석방식에 의한 입도분포

퇴적물 입도와 퇴적물의 중금속 및 유기물 농도는 높은 상관관계를 가지고 있어 정확한 퇴적물 입도분석방법은 환경적 측면에서 중요하다. 본 연구에서는 총 17개 호소시료에 대하여 3개 입도분석법(건식체질, 습식체질, PSA)을 63 μm 입도기준으로 비교분석하였다(그림 1). PSA와 습식체질법의 경우 일부 지점(HL04, HL05, NL02)을 제외한 모든 지점에서 63 μm 이하의 입자 분포가 약 70%이상으로 높은 분포도를 보이고 있으며 모래 및 미세입자의 구분에 있어서도 유사한 경향을 보이고 있다. 건식체질법의 경우 63 μm 이상의 입자 분포가 약 70%이상으로 앞선 PSA 및 습식체

질법과 매우 상이한 결과를 보이고 있다. 호소시료의 경우 대부분 미세입자이며 PSA 및 습식체질법의 결과는 예상된 바와 같이 미세입자의 비율이 높다. 그러나 건식체질법의 경우 굵은 입자인 모래성분의 비율이 높게 나타나고 있으며 이는 PSA 및 습식체질과 비교하여 큰 차이를 보이고 있다. 이러한 현상은 미세입자성분이 건조과정에서 영김현상에 의해 큰 입자를 형성하고 체질과정에서 큰 입자로 간주되기 때문으로 판단된다. 본 연구에서 영김현상에 의해 형성된 큰 입자를 다시 분쇄하기 위해 건식체질 후 63 μm 이상인 입자를 다시 막자와 막자사발을 이용하여 약한 힘을 가하여 분쇄하였으며 분쇄강도에 따라 미세성분의 비율이 점차 증가하였다. 2회 이상 분쇄한 경우에도 PSA 및 습식체질의 결과와 같지 않았으며 모래성분의 비율이 높게 나타났다. 보다 강하게 분쇄를 시도하였으나 모래 등 큰 입자가 파쇄되는 현상이 나타나 영겨있는 미세입자를 선택적으로 분쇄하는 것이 불가능하였다. 이러한 결과를 종합하면 건식체질의 경우 영김이 없는(segregated particles) 입자의 경우 용이한 체질 결과를 얻을 수 있으나 건조과정에서 영김이 있는 경우 큰 오차를 유발할 수 있음을 확인하였다. 습식체질의 경우 체질의 과정이 건식에 비해 복잡하고 체질 후 건조과정이 필요하며 다량의 물을 사용해야 하는 단점이 있으나 미세입자의 영김에 의한 오차가 없으므로 호소퇴적물과 같은 미세입자의 비율이 높은 습시료의 경우 습식체질에 의한 입도 분석이 건식체질에 비하여 정확하다고 판단된다. PSA의 경우 공정시험법으로 선택되어 있지 않고 있으나 습식체질법의 결과와 매우 유사한 경향을 보이고 있으며 분석절차가 매우 간단한 장점이 있어 퇴적물의 입도분석법으로 사용될 수 있다.

총 13개 하천시료에 대하여 건식체질과 습식체질법을 비교하였다(그림 2). 입자의 크기가 63 μm이하인 경우 실트 및

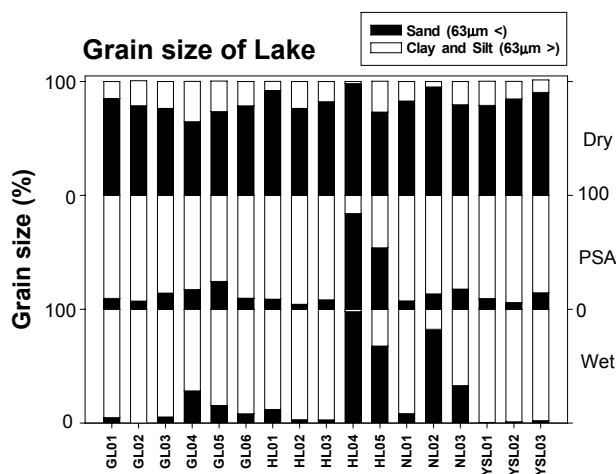


그림 1. 건식체질법, 습식체질법, PSA분석법을 이용한 4대강유역 호소 퇴적물의 입도 비교 분포도

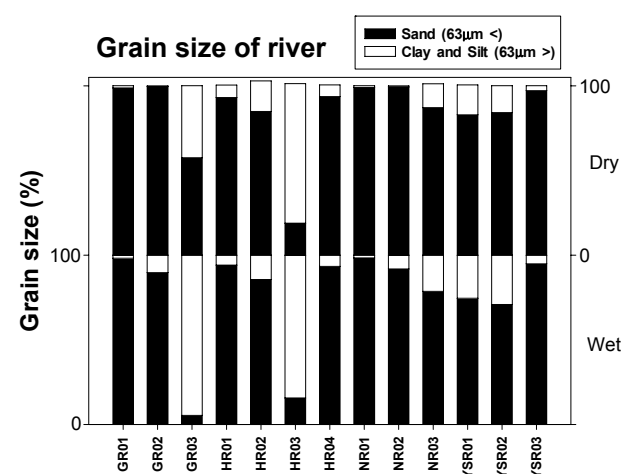


그림 2. 건식체질법, 습식체질법을 이용한 4대강유역 하천 퇴적물의 입도 비교 분포도

점토질로 간주하며 63 μm 이상인 경우 모래성분으로 구분하였으며, 하천시료의 경우 예상된 바와 같이 모래성분이 실트 및 점토분 보다 많다. 건식체질 및 습식체질은 유사한 결과를 보이며 모래성분이 대부분을 차지하고 있다. 두 입도 측정방법은 13개 하천시료에 대하여 0.1-82.9%의 상대오차를 보이고 있다. GR16과 HR24의 경우 실트 및 점토성분이 모래성분 보다 많게 나타나고 있다. 동일한 시료에 대한 분석결과를 비교하면 습식체질이 건식체질보다 실트 및 점토성분이 보다 많게 나타난다. 이러한 경향은 미세입자 비율이 높은 GR03, HR03, YSR01, YSR02에서 두드러지게 나타난다. 그러므로 입도분석법으로 가장 많이 사용되고 있는 건식체질법의 경우 미세입자의 영김현상에 의한 오차가 매우 크며 모래성분의 비율이 매우 큰 경우에 한하여 사용될 수 있다.

3.2 전처리과정에 의한 입도분포

앞에서 설명한 바와 같이 건식체질법은 습식체질에 비하여 조작이 매우 간편하고, 체질에 소요되는 시간이 매우 짧다. 그러므로 영김현상에서 오는 오차를 줄일 수 있다면 가장 간편한 입도분석법이 될 수 있다. 본 연구에서는 건식체질에 앞서 영김현상을 줄이기 위해 과산화수소수의 처리 및 동결건조에 의한 건조 등의 전처리를 수행하였다. 과산화수소수는 가장 흔히 사용하는 산화제로 토양에 포함되어 있는 유기물의 분해에 사용되고 있다. 퇴적물에는 비교적 고농도의 유기물이 포함되어 있으며 유기물은 퇴적물이 쉽게 영기게 한다. 그림 3은 3개의 호소시료에 대하여 전처리 후 건식체질법에 의한 결과와 건식체질 및 습식체질법에 의한 결과를 동시에 나타내었다. 과산화수소수의 첨가에 의한 유기물의 산화는 영김현상의 방지에 큰 역할을 하지 못하고 있으며 동결건조 후 건식체질의 결과는 실트 및 점토의 비율이 다소 증가한 것으로 나타나고 있다. 과산화수소수에 의한 산화와 동결건조를 동시에 수행한 경우 다소 실트 및 점토의 비율이 증가하였다. 그러나 여전히 습식체질에 비하여 실트 및 점토의 비율이 낮으며 모래의 비율이 30-60%정도 높게 측정되고 있다. 일부 기존 연구에 의해 제안된 산화제 및 동결건조는 시료에 따라 보다 정확한 입도측정에 도움이 되나 참값에 가까운 습식체질에 비하여 높은 모래비율을 나타내어 오차가 크다.

3.3 입도 및 입도분석법에 따른 중금속 분포

입도에 따른 오염분포에 있어서 미세입자에 보다 많은 오염물질이 분포되어 있다고 알려져 있으나 준설을 포함하는 퇴적물의 적절한 관리를 위해 필요에 따라 각 입도에 분

포되어 있는 오염물질의 양을 측정할 필요가 있다. 본 연구의 결과에서 알 수 있듯이 습식체질법이 건식체질법에 비하여 정확한 분석법이며 특히 미세입자의 비율이 큰 경우 건식체질법에 의한 오차가 크다. 그러나 습식체질법은 퇴적물 양의 수십 배에 달하는 물을 사용하여야 하며 체질과정에서 입자표면으로부터 오염물질이 탈리될 수 있다. 그림 4는 습식체질 후 상등액에 포함된 중금속을 분석한 결과이다. 중금속에 따라 2-3 $\mu\text{g/L}$ 에서 50-300 $\mu\text{g/L}$ 의 중금속이 용출되

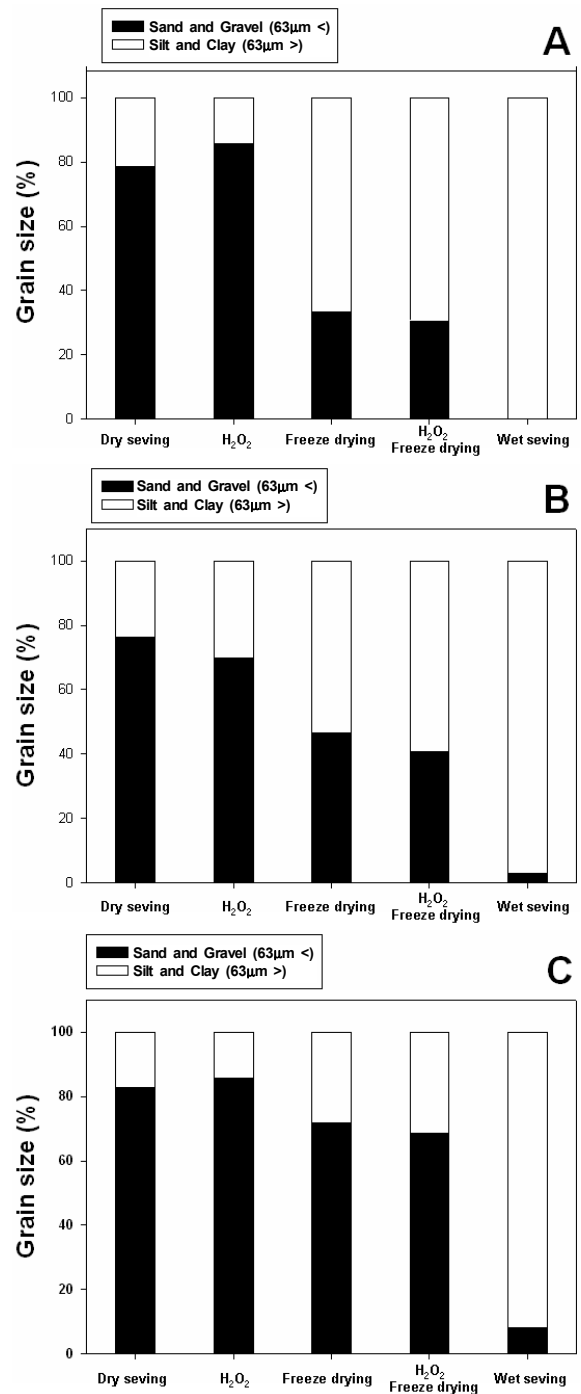


그림 3. 동결건조 및 과산화수소수를 이용한 산화 전처리 후 건식체질법과 습식체질법에 의한 입도 분포도(A: GL02, B: HL02, C: NL01)

표 2. 입자사이즈에 따른 호소시료 평균 중금속 함량 분포도(%)

	용출			전 함량		
	63µm 이상	20µm - 63µm	20µm 이하	63µm 이상	20µm - 63µm	20µm 이하
As						
GL	14.07	33.35	52.57	12.38	27.80	59.82
HL	16.31	35.57	48.12	17.30	38.48	44.22
NL	10.90	50.09	39.02	18.60	19.12	62.28
YSL	11.13	42.80	46.07	24.25	28.02	47.72
Cd						
GL	34.37	14.31	51.32	15.42	21.13	63.46
HL	7.59	26.06	46.35	11.58	26.22	62.20
NL	31.68	25.20	43.12	17.88	22.81	59.31
YSL	0.00	10.90	55.77	13.87	24.09	62.04
Cu						
GL	19.52	34.75	45.74	12.91	36.53	50.56
HL	11.79	40.10	48.11	17.73	29.14	53.14
NL	10.82	44.76	44.43	6.98	27.36	65.66
YSL	21.14	34.60	44.25	23.71	41.01	35.28
Pb						
GL	9.52	43.42	47.06	18.60	30.97	50.42
HL	4.39	38.77	56.85	15.11	21.04	63.85
NL	4.44	37.21	58.36	24.03	24.78	51.19
YSL	11.35	36.47	52.18	10.11	23.86	66.02

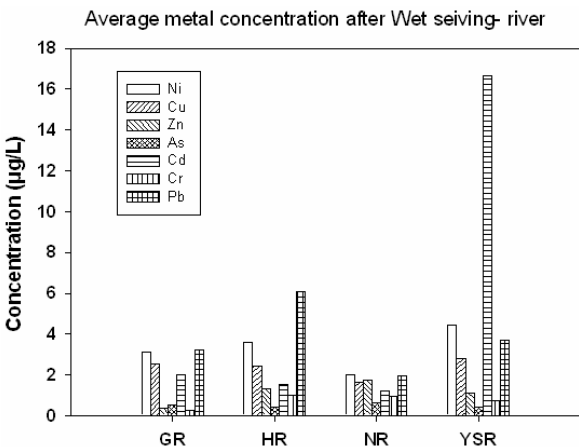
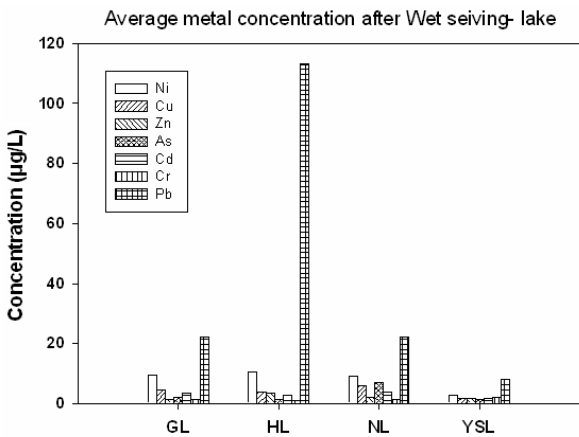


그림 4. 습식체질 과정에서 용매에 의해 용출된 중금속 함량

어 나온 것을 확인 할 수 있다. 일반적으로 호소시료에서 용출된 중금속의 농도가 하천시료에 비하여 높은 것으로 나타

표 3. 입자사이즈에 따른 하천시료 평균 중금속 함량 분포도(%)

	용출		전 함량	
	63µm 이상	63µm 이하	63µm 이상	63µm 이하
As				
GR	29.99	70.01	61.90	38.10
HR	35.95	64.05	63.40	36.60
NR	48.85	51.15	54.19	45.81
YSR	0.13	99.87	60.49	39.51
Cd				
GR	86.10	13.90	24.94	75.06
HR	25.00	75.00	43.13	56.87
NR	33.33	66.67	40.59	59.41
YSR	0.00	66.67	42.01	57.99
Cu				
GR	16.40	83.60	61.90	38.10
HR	10.75	89.25	63.40	36.60
NR	8.25	91.75	54.19	45.81
YSR	22.07	77.93	60.49	39.51
Pb				
GR	9.61	90.39	27.80	72.20
HR	8.20	66.80	39.51	60.49
NR	1.48	98.52	45.19	54.81
YSR	11.73	88.27	35.13	64.87

나고 있다. 증류수에 용출된 중금속의 양은 토양오염공정시험법에 의해 분석된 건조시료에 포함된 전 함량 중금속량의 60-65,000배 낮은 비율의 범위를 나타낸다. 건조시료의 경우 영감현상에 의한 외곡으로 입도에 따른 오염물질의 분포에 오차를 발생할 것으로 예상되며 현재 상황에서 가장 정확하

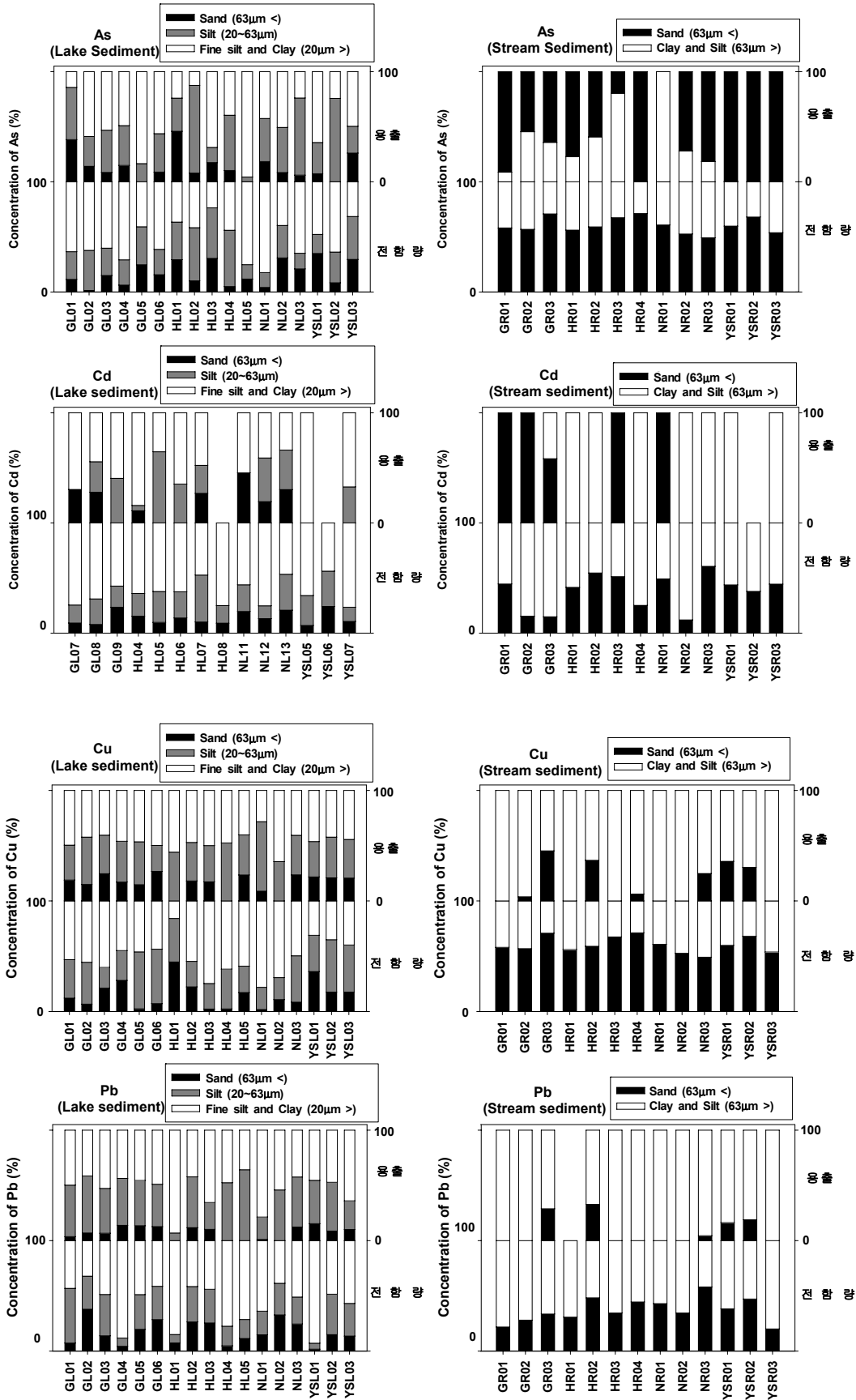


그림 5. 양재 및 천안강 테크노포에 의한 인도시가지점 배수 및 하천시점의 중금속 성분도(%)

방법은 동결건조 후 건식체질에 의한 입도분류 및 오염물질 분포조사가 될 것이다.

건식체질법으로 입도분리 한 시료를 대상으로 토양오염 공정시험법에 준하는 용출법 및 전 량분석법에 의하여 퇴적물에 포함된 중금속 농도를 분석하였다. 호소시료의 경우 동일한 시료를 용출 및 전량분석법으로 중금속 용출 시 모 두 점토 및 실트질에서 중금속 농도가 모래분에 포함된 중금속에 비하여 높으며 평균적으로 보아 점토에 포함된 중금속이 실트에 포함된 중금속보다 많다. 하천퇴적물의 경우 호소퇴적물에 비해 중금속 별 편차가 크며 용출의 경우 점 토 및 실트에 포함된 중금속의 양이 모래에서 용출된 중금속 보다 많으며 전량의 경우 As, Cu는 평균적으로 모래에 포함된 비율이 높으나 Cd, Pb 등의 경우 용출과 같이 점토 및 실트질에 포함된 비율이 높다. 이러한 사실은 4대강에 퇴적되어 있는 퇴적물에서 As, Cu 등은 퇴적물을 구성하는 광물질에 포함되어 있는 성분이 비교적 높으며 Cd, Pb의 경 우 입자표면에서 용출되어 나오는 비율이 상대적으로 높다고 해석될 수 있다. 이러한 결론은 용출과 전량분석에서 모래와 점토, 실트에서 나오는 중금속의 비율을 비교하면 쉽게 알 수 있다. 즉 Cd, Pb의 경우 전량에 비해 용출의 경우 점토 및 실트에서 나오는 비율이 확연히 높다. 각 입도에 대한 중금속 농도의 상대적 비율을 그림 5와 표 2-3에 나타내 었다. 이러한 결과는 4대강 전반에 대한 결과이며 각 하천 에 대한 전체 특성을 평가하기에는 본 연구에서 분석한 시 료의 수가 부족하다.

4. 결 론

4대강의 호소 및 하천분류의 퇴적물시료를 채취하였으며 퇴적물의 기본 특성의 하나인 입도를 분석하기 위해 건식체 질법, 습식체질법, PSA 등의 입도분석법을 비교하였다. 또 한 하천시료와 호소시료를 대상으로 입도별 중금속 오염도 를 조사하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

입도분석법 가운데 건식체질법은 분석절차가 간편하다 는 장점이 있으나 호소시료와 같은 미세 입자의 비율이 높 은 시료의 경우 큰 오차가 발생하며 그 원인은 건조과정에서 영김현상에 의한 미세입자가 보다 큰 입자를 형성하고 체질과정에서 분쇄가 되지 않는 것이다. 그러므로 건식체질 법은 모래성분의 비율이 큰 하천시료에 적합하다. 반면 습 식체질법은 절차가 복잡하고 체질 후 건조 등의 과정이 필 요하지만 점토와 같은 미세분의 비율이 큰 시료의 입도분석 에 적합하다. PSA의 경우 간편하며 습식체질과 매우 유사 한 결과를 얻었으며 습식시료를 건조과정 없이 사용할 수

있어서 영김에 의한 외곡을 피할 수 있다. 건조과정의 영김 현상을 최소화하기 위하여 동결건조 및 과산화수소수에 의 한 유기물의 산화 후 동결건조를 수행하였으나 영김현상을 완전히 제거할 수 없었다. 결론적으로 모래비율이 큰 하천 퇴적물시료의 경우 건식체질법이 용이하며 호소퇴적물의 경우 습식체질법 및 PSA법이 적합하다고 판단된다.

미세입자는 높은 비표면적으로 상대적으로 많은 오염물 질을 포함할 수 있으며 따라서 미세입자의 비율은 환경적으 로 중요한 의미를 갖는다. 입도별 퇴적물의 중금속 오염도 를 조사하였으며 표면에서 쉽게 용출되는 성분 및 퇴적물의 구성성분으로 존재하는 중금속의 양을 용출 및 전량분석법 에 의해 조사하였다. 연구결과 하천시료와 호소시료 모두에 서 미세입자에서 용출된 중금속의 비율이 큰 입자에서 용출 된 비율 보다 높았으며 이러한 경향은 중금속의 종류에 따 라 다소 차이가 있었다. 이상의 결과에서 예상된 바와 같이 하천 및 호소 퇴적물의 관리에 있어서 미세입자의 중요도가 높음을 증명하였다.

참 고 문 헌

1. 최진용, 최진혁, 김석윤(1999), 퇴적물 입도분석 방식 비교: 예비결과, *Journal of the Korean Society of Oceanography*, Vol. 4, No. 3, pp. 246~253.
2. 현상민, 이태희, 최진성, 최동림, 우한준(2003), 광양만 및 여 수해만 표층퇴적물의 지화학적 특성과 중금속 오염, *Journal of the Korean Society of Oceanography*, Vol. 8, No. 4, pp. 380~391.
3. Beuselink, L., Govers, G., Poesen, J., Degraer, G. and Froyen, L.(1998), Grain-Size Analysis by Laser Diffractometry: Comparison with the Sieve-Pipette Method, *Catena*, Vol. 32, No. 3-4, pp. 193~208.
4. Cappuyens, V. and Swennen, R.(2005), Kinetics of Element Release During Combined Oxidation and pHstat Leaching of Anoxic River Sediments, *Applied Geochemistry*, Vol. 20, No. 6, pp. 1169~1179.
5. Cheetham, M. D., Keene, A. F., Bush, R. T., Sullivan, L. A. and Erskine, W. D.(2008), A Comparison of Grain-Size Analysis Methods for Sand-Dominated Fluvial Sediments, *Sedimentology*, Vol. 55, No. 6, pp. 1095~1913.
6. Flemming, B. W.(2007), The Influence of Grain-Size Analysis Methods and Sediment Mixing on Curve Shapes and Textural Parameters: Implications for Sediment Trend Analysis, *Sedimentary Geology*, Vol. 202, No. 3, pp. 425~435.
7. Foreword.(2007), From Particle Size to Sediment Dynamics: an Introduction, *Sedimentary Geology*, Vol. 202, No. 3, pp. 333~336.
8. Gluschke, M., Woitke, P., Wellnitz, J. and Lepom, P.(2004), Sieving of Sediments for Subsequent Analysis of Metal Pollution: Results of a German Interlaboratory Study, *Accred Qual Assur*, Vol. 9, No. 10, pp. 624~628.
9. Goossens, D.(2008), Techniques to Measure Grain-Size Dis-

- tributions of Loamy Sediments: a Comparative Study of Ten Instruments for Wet Analysis, *Sedimentology*, Vol. 55, No. 1, pp. 65~96.
10. Molinaroli, E., Falco, G. D., Rabitti, S. and Portaro, R. A. (2000), Stream-Scanning Laser System, Electric Sensing Counter and Settling Grain Size Analysis: a Comparison Using Reference Materials and Marine Sediments, *Geology*, Vol. 130, No. 3-4, pp. 269~281.
 11. Pye, K. and Blott, S. K.(2004), Particle Size Analysis of Sediments, Soils and Related Particulate Materials for Forensic Purposes Using Laser Granulometry, *Forensic Science International*, Vol. 144, No. 1, pp. 19~27.
 12. Ramaswamy, V. and Rao, P. S.(2006), Grain Size Analysis of Sediments from the Northern Andaman Sea: Comparison of Laser Diffraction and Sieve-Pipette Techniques, *Journal of Coastal Research*, Vol. 22, No. 4, pp. 1000~1009.

(접수일: 2009. 10. 15 심사일: 2009. 11. 16 심사완료일: 2010. 4. 6)