

담수 퇴적물의 분석법간 비교 분석

윤병석[†] · 김은미 · 김학철 · 이재희 · 정상기 · 이상태

한국수자원공사 수돗물분석연구센터

(2006년 3월 14일 접수, 2006년 11월 27일 채택)

Comparison of the Methods to Analyze Freshwater Sediments

Byeongseok Yoon[†] · Eunmi Kim · Hakchul Kim · Jaehee Lee · Sanggi Jung · Sangtae Lee

Water Analysis & Research Center, Korea Water Resources Corporation

ABSTRACT : In this study, Chemical Oxygen Demand(COD) which is the measure of organic substances, Total nitrogen(T-N), Total phosphorous(T-P), Fe and Mn were analyzed in the sediments of dam reservoir. The purpose of this study were to understand the relevances among the analytical methods adopted and the applicabilities of those methods.

For the determination of COD, Standard Method for the Examination of Marine Environment(SMEME) and Standard Method for the Examination of Sanitary(SMES) was used. Both method had wide dynamic range and the deviations of the values obtained by two methods were small because $KMnO_4$ method closely reflected BOD and organic substances.

For the determination of T-N and T-P, Standard Method for the Examination of Food(SMEF) and Standard Method for the Examination of Sanitary(SMES) were used. Two methods for T-N were both the acid-base titration but SMES gave less T-N values than SMEF because of the differences in digestion and distillation steps.

Two methods for T-P gave the comparable values after acid digestion of HNO_3 and $HClO_4$.

The determination of heavy metals as a Fe, Mn was mainly divided to the leaching method and acid digestion method. The values obtained by leaching method were less than those by digestion method. It is thought that the condition of acid digestion was more severe than that of leaching method.

Key Words : Sediments, COD, T-N, T-P, Metals

요약 : 본 연구는 담수 퇴적물 중 유기물의 척도가 되는 화학적산소요구량, 영양염류인 총질소와 총인 및 금속류인 철과 망간에 대해 국내·외 분석법을 적용하여 분석을 실시함으로써 각 분석법간의 상관성을 파악하고 그 적용성을 알아보려고 하였다.

화학적산소요구량은 국내 해양환경공정시험방법과 일본의 위생시험법을 적용하였는데 두 방법 모두 측정범위가 넓고, 생물학적산소요구량이나 유기물질과 상관관계가 좋은 과망간산칼륨법을 이용하고 있기 때문에 분석법간 편차가 크지 않음을 확인하였다.

총질소와 총인의 경우 국내 식품공전에 의한 시험법과 일본의 위생시험법을 적용하여 분석을 실시하였다. 총질소는 두 방법 모두 중화 적정법이지만 시료 분해 및 증류 과정의 차이에 의해 일본의 위생시험법에 의한 분석 값이 약간 낮은 경향을 보였다. 총인의 경우 두 방법 모두 질산과 과염소산에 의한 분해 후 값을 측정하는 방법으로 비슷한 결과를 보였다. 철과 망간과 같은 금속류의 실험은 크게 용출방법과 산분해법을 실시하였다. 용출법에서 얻은 결과값은 산분해한 값에 비하여 적은 값을 나타내었는데 그 이유는 용출조건 보다 산분해 조건에서 금속류가 더 잘 녹아나오기 때문이다.

주제어 : 퇴적물, 화학적산소요구량, 총인, 총질소, 금속류

1. 서론

퇴적물은 수질관리에 있어 중요한 고려 대상 중 하나이다. 현재 해저퇴적물의 오염으로 인한 저서생물의 서식환경 악화 등 해양환경 문제가 제기되고 있으며, 담수 퇴적물의 오염으로 인한 문제가 제기되는 등 퇴적물에 대한 체계적인 조사와 관리의 필요성이 점차 증대되고 있는 실정이다.¹⁾ 하지만 국내의 경우 담수 퇴적물의 분석에 대한 공인된 시험방법이 마련되어 있지 않아, 국내 토양오염공정시험방법이나 일본 위

생시험법 중 저질시험법²⁾ 등 다양한 분석법을 적용함으로써 자료의 일관성이 결여되는 문제가 발생하고 있다. 또한 퇴적물은 어떤 분석방법으로 전처리를 하느냐에 따라 측정되는 농도가 크게 상이하여, 관리 기준을 적용함에 있어서도 다른 분석방법을 근간으로 설정된 각 나라의 관리기준을 일률적으로 적용하는 데는 어려움이 있다.³⁻⁵⁾ 따라서 본 연구에서는 분석에 적용되고 있는 국내·외 분석법을 통한 분석 결과를 비교해 봄으로써 각 분석법간의 상관성을 파악하고, 그 적용성을 알아보려고 하였다. 이러한 분석법간 비교는 외국 기준의 적용성 여부 판단이나 향후 담수 퇴적물의 관리기준 수립의 근거로 이용 가능할 것이며, 퇴적물의 체계적인 조사와 관리를 위한 기초자료로도 이용 가능할 것이다.

[†] Corresponding author
E-mail: seok0208@daum.net
Tel: 042-629-2055

Fax: 042-629-2079

2. 조사 방법

2.1. 조사범위

본 연구는 퇴적물 분석에 이용되고 있는 국내·외 분석방법을 적용하여 동일 퇴적물의 분석을 실시하여 시험법간의 결과 비교를 실시하였다.

2.2. 조사대상 항목

본 연구는 유기물 오염도를 나타내는 화학적 산소요구량, 영양염류인 총질소와 총인 및 금속류인 철과 망간을 조사 대상으로 하였다. 분석법간의 비교를 위한 사전 분석으로는 함수율, 강열감량, 입도를 분석하였다.

강열감량은 유기물, 화학적 산소요구량, 인, 금속류와 높은 상관관계를 갖는데 퇴적물 오염의 개요를 파악하는데 특히 유효하다. 퇴적물은 상부의 수질이 같은 경우라도 입도에 따라 분석값이 크게 상이하므로 입도에 의한 영향을 고려할 필요가 있다.

2.3. 시료의 채취 및 시험방법

퇴적물 시료는 입의 하천의 상류, 중류, 하류 3지점에서 채취하였다. 그랩형 채취기를 사용하여 각 지점별 3회 이상 채취하여 균질하게 혼합하였으며, 즉시 실험실로 운반하여 냉동 보관 후 각 시험방법에 따라 시험을 실시하였다. 선정된 실험 항목에 대해서 분석법간의 비교 실험을 실시하였는데 각 항목에 대한 적용 시험 방법은 Table 1과 같다.

비교 분석을 위한 사전 분석으로 함수율, 강열감량, 입도 분석을 실시하였는데 해양환경공정시험법 중 퇴적물편(이하 해양환경공정시험방법)을 적용하였다.

COD는 해양환경공정시험방법(Standard Method for the Examination of Marine Environment : SMEME로 표기)과 일본의 위생시험법(Standard Method for the Examination of Sani-

tary : SMES로 표기) 중 저질시험법(이하 위생시험법)을 적용하여 분석을 실시하였으며, 영양염류인 T-N과 T-P는 식품공전 시험법(Standard Method for the Examination of Food : SMEF로 표기)과 위생시험법을 적용하여 분석을 실시하였다.

총질소의 경우 두 방법 모두 중화적정법이지만 시료의 분해 및 증류 과정에 차이가 있으며, 또한 총인의 경우도 두 방법 모두 질산과 과염소산에 의한 분해 후 측정으로 분해 과정에 약간의 차이가 있다.

금속류인 철과 망간은 크게 용출방법과 산분해 법으로 분석을 실시하였다. 용출방법으로는 폐기물공정시험방법(Standard Method for the Examination of Waste : SMEW로 표기), TCLP(Toxicity Characteristic Leaching Procedure)와 토양오염공정시험방법(Standard Method for the Examination of Soil Pollution : SMESP로 표기) 중 Cu, Cd, Pb 전처리 방법, 토양오염공정시험방법 중 As 전처리 방법을 적용하였으며 산분해법으로는 해양환경공정시험방법, EPA(Environmental Protection Agency) method 3050B, EPA method 3051A, 토양오염공정시험방법 중 Zn, Ni 전처리 방법, 질산+황산 분해방법을 적용하여 분석하였다.

용출시험 방법은 용출에 사용하는 용출액의 종류 및 용출 시간, 진탕방법 등이 상이하다. Table 1에 나타난 바와 같이 토양오염공정시험방법 중 Cu, Cd, Pb 전처리 방법의 경우 0.1 N 염산용액으로 1시간 진탕하지만, As 전처리 방법의 경우는 1 N 염산용액으로 30분 진탕한다.

EPA method 3050B는 강산분해법으로 환경적으로 유효한 부분 중 대부분을 용해시켜 분석하는 방법으로 일반적으로 이용되는 방법이며, EPA method 3051A는 EPA method 3050B를 대체할 수 있는 방법으로 마이크로웨이브를 이용하여 간편하게 전처리할 수 있는 방법이다.

산분해 방법 중 질산+황산 분해방법은 킬달플라스크에 시료와 질산을 넣어 증발 농축 후 질산 5 mL와 황산 5~10 mL를 넣어 액이 맑아질 때까지 가열 분해한 후 분석하였다.

Table 1. Analytical methods selected for comparison

Item		Test method		
Intense heat lose, Size analysis		SMEME		
COD		SMEME SMES		
T-N, T-P		SMEF SMES		
Heavy metal (Fe, Mn)	Elution Method	Method	Reagent	Preparation
		SMEW	HCl dilution liquid	6 Hrrapidly shake
		TCLP	CH ₃ COOH dilution liquid	18 Hr slowly shake
		SMESP(Cu, Cd, Pb method)	HCl 0.1 N	1 Hr shake
		SMESP(As method)	HCl 1 N	30 min shake
	Acid Digestion Method	SMEME	HNO ₃ + H ₄ ClO ₄	Heating
		EPA(3050B)	HNO ₃ + H ₂ O ₂ (1+1)	Heating(5 Hr)
		EPA(3051A)	HNO ₃	Microwave(10 min)
		SMESP(Zn, Ni method)	HCl + HNO ₃	Normal temp.(2 Hr) → Heating(2 Hr)
	HNO ₃ + H ₂ SO ₄	HNO ₃ + H ₂ SO ₄	Heating	

분석 방법으로 이 외에도 연속추출법 등 다양한 방법이 존재하나 퇴적물 분석에 많이 사용되는 분석법 중 일부를 선택하여 분석함으로써 분석법간 값의 차이가 있음을 우선적으로 확인해 보고자 하였다.

2.4. 시약 및 시험기구

본 연구에 사용된 시약은 Merck 및 Junsei사의 특급시약을 사용하였으며 금속류의 분석을 위해 Perkin Elmer사의 ICP인 Optima 5300 DV를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 함수율, 강열감량 및 입도분석

함수율, 강열감량, 입도분석은 해양환경공정시험방법으로 분석하였다. 함수율 분석 결과 상류의 경우 45.8%, 중류는 53.7%, 하류는 55.2%를 나타내었다.

강열감량은 65℃ 이하의 건조기에서 건조한 시료를 분마하여 230 메쉬(0.063 mm) 체를 통과시킨 후 5 g의 건조시료를 550℃에서 2시간 가열하여 분석하였다. 분석결과 상류의 경우 9.0%, 중류는 9.9%, 하류는 10.8%의 값을 나타내었다.

입도분석은 채취된 퇴적물 20~30 g을 취하여 과산화수소로 유기물을 분해한 후 입도가 4 Φ 이상일 경우는 습식 체질법을, 이보다 작은 경우는 피펫팅법을 이용하여 분석하였다. 아래 Fig. 1은 상류, 중류, 하류 등 시료채취 지점에 따른 입도백분율 누적곡선이다. 그래프에 나타나듯이 하류로 갈수록 작은 입자의 양이 많아짐을 확인할 수 있다.

퇴적물의 오염물질 농도는 수중 오염물질 농도보다는 퇴적물 입자의 흡착성에 영향을 크게 받게 되는데 수중에 같은 농도의 오염물질이 존재하여도 실트나 모래보다 점토입자에 수배에서 수천 배 많은 오염물질이 분포하게 된다.

3.2. COD 및 영양염류(T-N, T-P)

채취된 퇴적물의 COD 분석은 해양환경공정시험방법(SMEME)과 위생시험법(SMES)을 적용하였다. 두 방법 모두 측정범위가 넓고, 생물학적산소요구량이나 유기물질과의 상관관계가

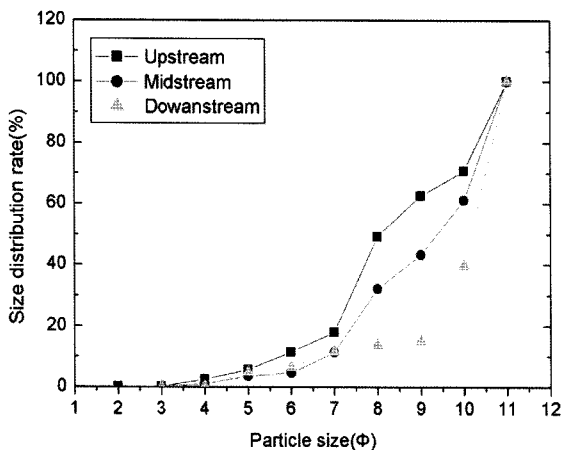


Fig. 1. Cumulative curve of particle size percentiles.

좋은 과망간산칼륨법으로 분석법간 편차가 크지 않은데 그 결과는 Fig. 2와 같다. 시험 결과 두 시험법에서 건시료 1 g 당 약 20~30 mg O₂/g의 결과를 보였으며, Fig. 1의 입도 분석결과 작은 입자가 많이 존재하는 하류가 상류와 중류보다 높은 값을 나타내었다.

Fig. 3은 건시료 1 g 당 총질소의 농도를 나타내고 있다. 총질소의 경우 식품공전 시험법(SMEF)과 위생시험법(SMES) 모두 중화적정법을 이용한 실험으로 세미마이크로 킬달 장치를 이용한 방법이다.

오염이 진행된 물은 환원상태인 경우가 많아 일반적으로는 질산성 질소는 존재하지 않거나 미량 존재하지만 만약 산화상태가 될 경우 질산성질소의 영향을 무시할 수 없게 되므로 두 시험법 모두 시료분해 전 단계에서 NO₃-N을 살리산 및 티오황산나트륨으로 환원하는 단계를 포함하고 있다.

총질소의 분석 결과는 황산의 양 등 시료의 분해 및 중류 과정의 차이에 의해 일본의 위생시험방법에 의한 분석 값이 약간 낮은 경향을 나타내었다.

Fig. 4는 건시료 1 g 당 총인의 농도를 나타내고 있다. 총인의 경우 식품공전 시험법과 위생시험법 모두 질산과 과염소산에 의한 분해 후 결과를 측정하는 방법인데 비슷한 결과를 보이고 있다. 지점별 농도는 입자가 작은 하류의 값이 상류와 중류값보다 높게 나타나는데, 총질소의 경우보다 지점별 값의 변화율이 크게 나타나고 있다.

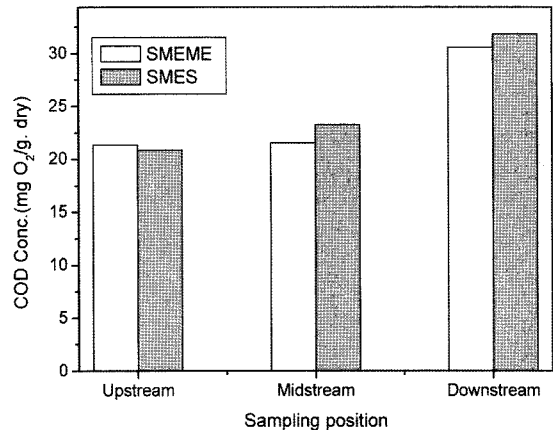


Fig. 2. COD concentrations per 1 gram of dry samples.

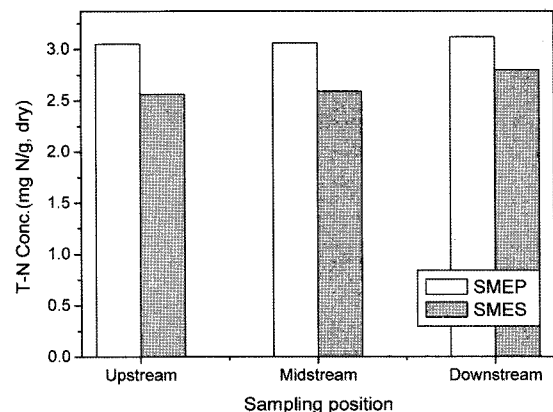


Fig. 3. T-N concentrations in 1gram of dry samples.

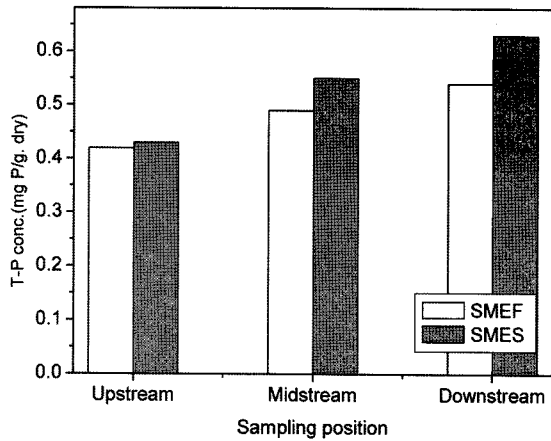


Fig. 4. T-P concentrations in 1 gram of dry samples.

3.3. 금속류(철, 망간)

3.3.1. 금속류의 위치별 농도비교

금속류의 분석은 분석 전 시료의 준비에서부터 전처리에 이르기까지의 과정에 따라 그 검출농도가 크게 상이한데 각 시험방법에서 규정하고 있는 시료의 준비와 전처리 방법을 각각 적용하여 분석을 실시하였다. 실험은 철과 망간에 대해 용출법과 산분해법으로 구분하여 실시하였는데, 용출법이 산분해법보다 낮은 결과값이 나옴을 확인할 수 있다. 철의 경우 시험법별로 상류는 20.44~35851(mg/kg), 중류는 50.47~38890(mg/kg), 하류는 28.73~45806(mg/kg)의 값을 나타내었고, 망간의 경우 상류는 1.83~872.9(mg/kg), 중류는 3.73~1215(mg/kg), 하류는 7.50~2516(mg/kg)의 결과 값을 나타내었다.

각 지점별 농도는 하류로 갈수록 증가하는 경향을 보이는데 이는 하류로 갈수록 퇴적물의 입도가 작고, 유기물 함량이 많기 때문으로 사료된다.

또한 지점별 농도 증가율은 철보다 망간이 큰데, 지점별 철과 망간의 농도 증가율이 다르므로 보아 퇴적물의 특성에 따른 금속의 흡착 경향은 항목별로 다를 수 있다.

3.3.2. 용출 시험방법 비교

금속류에 대한 용출시험방법 비교를 위해 미국의 용출시험방법인 TCLP 방법과 우리나라의 용출시험방법인 폐기물 공정시험방법, 토양오염공정시험방법 중 Cu, Cd, Pb 전처리 방법, 토양오염공정시험방법 중 As 전처리 방법을 통한 실험을 실시하였다. TCLP 실험법의 경우 진탕을 할 때 회전용출기를 이용하도록 하고 있으나 폐기물공정시험방법에서 이용하는 수평용출기를 이용하여 용출하였다. 폐기물공정시험방법은 함수율을 보정한 결과이며 TCLP는 보정하지 않은 결과인데 함수율이 약 50% 정도임을 감안하여도 Fe, Mn의 경우 TCLP법이 폐기물공정시험방법에 의한 결과 값보다 크게 나타났다. 그 이유는 용출액이 폐기물공정시험방법의 경우는 염산 희석액이며, TCLP의 경우는 아세트산 희석액으로 다르기 때문이다. 그리고 진탕 시간도 6시간과 18시간으로 다른 등 용출 조건의 차이에 의함으로 사료된다. 또한, 1 N 염산으로 30분 진탕한 경우(토양오염공정시험방법 중 As

전처리 방법)가 0.1 N 염산으로 1시간 진탕한 경우(토양오염공정시험방법 중 Cu, Cd, Pb 전처리 방법)보다 높은 값을 나타내었는데, 이는 높은 농도의 염산에서 짧게 용출한 값이 낮은 농도의 염산에서 길게 용출한 값보다 높게 나와 용출액의 농도차이에 의해 분석 결과에 영향이 큼을 알 수 있다.

용출방법에 의한 철과 망간의 분석 결과를 Table 2, 3과 Fig. 5, 6에 각각 나타내었다.

3.3.3. 산분해 시험방법 비교

산분해 방법의 비교를 위해 해양환경공정시험방법, EPA method 3050B, EPA method 3051A, 토양오염공정시험방법 중 Zn, Ni 전처리 방법, 질산+황산 분해방법을 실시하였다. 각각의 시험방법에 따라 사용하는 산의 종류와 분해시간 등 분해조건이 달라진다. 해양환경공정시험방법은 질산과 과염소산을 넣은 후 분해시까지 가열하였으며, EPA method 3050B의 경우(1+1)질산과 과산화수소를 넣은 후 단계적으로 약 5시간 가열하였다. EPA method 3051A은 시료에 질산 10 mL

Table 2. The results of Fe analysis by Elution methods(mg/kg)

Method	Upstream	Midstream	Downstream
SMEW	20.44	50.47	28.73
TCLP	365.7	-	660.3
SMESP (As method)	3686	3976	4287
SMESP (Cu, Cd, Pb method)	400.1	356.4	345.7

Table 3. The results of Mn analysis by Elution methods(mg/kg)

Method	Upstream	Midstream	Downstream
SMEW	1.83	3.73	7.50
TCLP	131.7	196.4	397.6
SMESP (As method)	400.9	534.0	830.8
SMESP (Cu, Cd, Pb method)	277.6	402.9	642.0

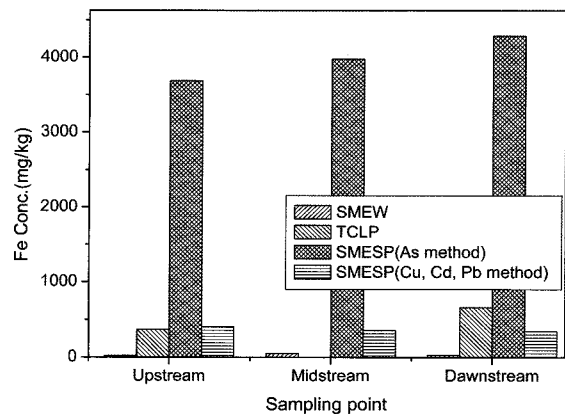


Fig. 5. The comparisons of Fe concentration by Elution methods.

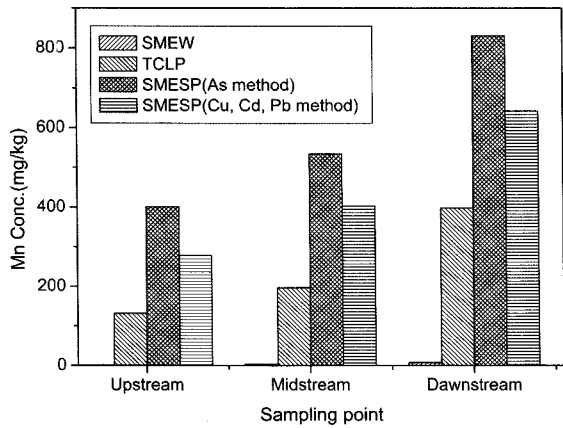


Fig. 6. The comparisons of Mn concentrations by Elution methods.

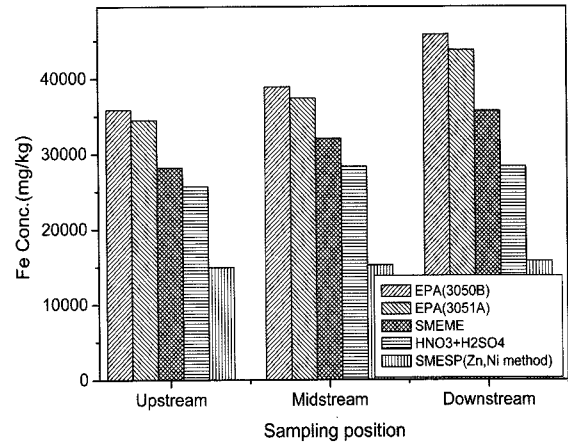


Fig. 7. The comparisons of Fe concentrations with various acid digestion methods.

를 넣은 후 microwave로 분해하였으며, 토양오염공정시험방법 중 Zn, Ni 전처리 방법은 특수 반응용기에 염산과 질산을 넣고 상온에서 2시간 정지 후 2시간 가열분해하였다.

용출시험법과 산분해 시험법의 농도차이가 매우 큼에 비해 산분해 방법 간의 농도차이는 크지 않으며 상류, 중류, 하류에 걸쳐 비슷한 경향을 보임을 알 수 있다. 산분해법에 의한 철과 망간의 분석 결과를 Table 4, 5와 Fig. 7, 8에 각각 나타내었다. 그래프에 나타나듯이 Fe, Mn의 경우 분석 결과는 (1+1)질산과 과산화수소를 이용해 가열분해한 EPA method 3050B 방법이 가장 크게 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 분석에 적용되고 있는 국내·외 분석법을 통해 분석한 결과를 비교함으로써 각 분석법간의 상관성을 파악하고 그 적용성을 알아보고자 하였다.

Table 4. The results of Fe analysis by Acid digestion method (mg/kg)

Method	Upstream	Midstream	Downstream
EPA(3050B)	35851	38890	45806
EPA(3051A)	34482	37362	43742
SMEME	28170	32033	35683
HNO ₃ + H ₂ SO ₄	25693	28328	28323
SMESP (Zn, Ni method)	14920	15220	15739

Table 5. The results of Me analysis by Acid digestion method (mg/kg)

Method	Upstream	Midstream	Downstream
EPA(3050B)	872.9	1215	2516
EPA(3051A)	794.0	1137	2381
SMEME	721.8	1054	2204
HNO ₃ + H ₂ SO ₄	584.2	802.4	1416
SMESP (Zn, Ni method)	699.1	896.0	1608

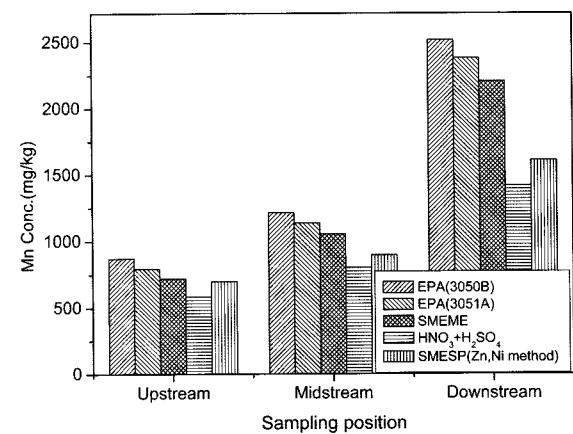


Fig. 8. The comparisons of Mn concentrations with various acid digestion methods.

분석 방법을 보면 금속류의 경우 분석법간 차이가 많이 나는데 분석을 하는 목적에 따라 적절한 분석방법이 선택되어야 할 것이며 외국의 기준을 이용할 경우에는 분석법을 고려하여 적용 가능한지의 여부를 살펴야 할 것이다.

위의 시험 방법 중 EPA method 3051A 방법은 외국의 관리기준과의 비교가 용이하고, 전처리 방법이 간단하여 실험이 용이한 방법이다.

국내·외에서 퇴적물 분석에 적용하고 있는 각각의 분석법을 통해 동일 퇴적물을 분석한 결과는 다음과 같다.

- COD에 있어서는 시험법간의 편차가 크지 않음을 확인하였는데, 이는 시험법들 모두 측정범위가 넓고 생물학적산소요구량이나 유기물과 상관관계가 좋은 과망간산칼륨법을 이용하고 있기 때문으로 판단된다.
- T-N의 결과에서 식품공전 시험법과 위생시험법을 이용한 결과 위생시험법에 의한 값이 약간 낮은 경향을 보였는데 이는 시료 분해 및 증류 과정의 차이에 의한 것으로 판단되며, T-P에 있어서는 식품공전 시험법과 위생시험법의 결과가 비슷한 경향을 나타내었다.
- 금속류의 경우 위치별 농도는 입도가 작고 유기물 함

량이 많은 하류로 갈수록 증가하는 경향을 보였으며, 증가율은 철보다 망간이 큼을 확인하였다. 각 항목별로 광물격자의 형태가 다르고, 시약에 대한 선택성이 다르므로 이에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

- 금속류의 경우 용출방법은 용출액 등 용출조건이나 용출액의 농도 차이에 따라 분석결과에 차이가 있었으며, 산분해법의 경우 사용하는 산의 종류에 따라 분석값의 차이가 발생하는데 (1+1)질산과 과산화수소를 이용해 가열분해한 EPA method 3050B 방법이 가장 큰 값을 나타내었다.
- 금속류의 경우 실험방법이 용출방법인지 산분해 방법인지에 따라 농도값의 차이가 크게 나타났으나 같은 산분해 방법의 경우 큰 차이를 보이지는 않았다. 하지만 퇴적물의 종류나 분석 항목에 따라 그 경향이 달라질 수 있으므로 향후 이에 대한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김재윤, “대청호 유역의 수질 변동특성 및 상관성에 관한 연구,” 한국환경과학회지, **5(6)**, 763~770(1996).
2. 日本藥學會篇, “衛生試驗法 注解 低質試驗法篇 金原出版株式會社,”(1990).
3. Cincinnati, OH., “Stabilization/solidification of CERCLA; physical tests, chemical test procedures, technology screening, and field activities,” U.S. EPA., 625/6~82/022(1989).
4. RREL, Cincinnati, OH., “A comparative evaluation of two extraction procedures,” EPA., 600/S2~91/049(1992).
5. 어수미, “서울시 인근의 한강 본류 및 지류에 대한 하상 저질의 중금속오염도 평가,” 서울대학교 박사학위 논문 (1994).
6. 염승준, 이평구, 강민주, 신성천, 유연희, “주암댐 집수유역내 하상퇴적물의 중금속 오염현황 및 거동 특성,” 자원환경지질, **37(3)**, 311~324(2004).
7. 유태중, 현미, 조재현, “영산강 유역 하천 저질토의 영양염류 용출율 측정,” 한국상하수도학회지, **17(3)**, 409~418(2003).
8. 이창균 외 8인, “간월·부남호의 수질 및 퇴적물 특성 연구,” 2005대한환경공학회 춘계학술대회, 1153~2260(2005).
9. 이창섭, “낙동강 중·상류지역 하천의 표류수 및 퇴적층의 중금속 및 수질분석,” 한국화학학회지, **44(6)**, 547~555(2000).
10. 이창희, 김은정, “호소 및 하천 오염 퇴적물 관리 방안,” 환경정책평가연구원(1998).