

호소내 퇴적물의 중금속 분석 비교

박 선 구★·송 기 봉·조 기 환*

국립환경연구원, *유일정공(주)
(2000. 10. 16 접수)

Comparison of Heavy Metals Analysis in Sediment

Sun-Ku Park*, Ki-Bong Song and Ki-Hwan Cho*

National Institute of Environmental Research, Environmental Complex 2-1,
Kyungseo-dong Seo-gu, Incheon, 404-170, Korea,

*Rm B-803, Hagey Ind, Complex, 250-3, Hagey-dong, Nowon-gu, Seoul, 139-230, Korea
(Received October 16, 2000)

요 약: K 수계 6개 지점의 퇴적물에 대해 Fe, Cu, Cr, Zn, Cd를 측정분석하였으며 분석방법들을 비교 분석하였다. 마이크로웨이브에 의한 전처리 방법이 미국의 TCLP (toxicity characteristic leaching procedure) 나 폐기물공정시험방법보다 Fe, Cu, Cr, Zn, Cd 모두 높은 값을 나타내었다. 마이크로웨이브, TCLP, 폐기물 공정시험방법에 의한 중금속 분석결과 각각 38.1-48.0 mgFe/kg, 10.2-15.9 mgFe/kg, 3.5-12.6 mgFe/kg, 37.0-50.1 mgCu/kg, 0.06-0.24 mgCu/kg, 0.01-0.03 mgCu/kg 및 137.2-152.0 mgZn/kg, 0.67-0.82 mgZn/kg, 0.3-0.5 mgZn/kg으로 나타났다. 이상의 결과로부터 퇴적물 중에 오염도를 정확히 평가하기 위해서는 효율적이고 새로운 시험방법 개발 연구에 관심을 두어야 한다.

Abstract: The study was carried out to analyze the pollutant Fe, Cu, Cr, Zn, Cd for sediments collected from lake in K river basin. Three analytical methods currently used in Korea, Japan, U.S.A, were compared. Pretreatment using microwave digestion showed higher analytical results for Fe, Cu, Cr, Zn, Cd than Korean Official Method (KOM) and American Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) Method. Also, analytical results using microwave digestion, TCLP and KOM were as follows; 38.1-48.0 mgFe/kg, 10.2-15.9 mgFe/kg and 3.5-12.6 mgFe/kg, 37.0-50.1 mgCu/kg, 0.06-0.24 mgCu/kg and 0.01-0.03 mgCu/kg, 137.2-152.0 mgZn/kg, 0.67-0.82 mgZn/kg and 0.3-0.5 mgZn/kg, respectively. From this result, a new analytical method for the determination of heavy metal in sediment should be developed for the accurate estimation of pollution degree in sediment.

Key words: sediment, TCLP, microwave, water quality, Fe, Cu, Cr, Zn, Cd

1. 서 론

인구의 도시집중 및 증가와 생활수준 향상에 따른

생활용수 증가, 화학공업 산업 발달에 따른 공업용수 사용량 증가 등에 따라 공공수역으로 유입되는 오수량이 증가되어 오염물질의 농도가 계속적으로 축적되고 있다. 따라서 상수원수로 사용되고 있는 하천이나 호수 등의 공공수역 내의 자연정화능력은 떨어지고 있어 수생 생태계 등 수질환경은 점차 악화되고 있는 추세이다.¹⁻³

* Corresponding author
Phone : +82-(0)32-560-7137 Fax : +82-(0)32-568-2041
E-mail : sunku@me.go.kr

지금까지 공공수역에 대한 수질보전 및 관리는 산업폐수 및 생활오수 등을 완전히 처리하여 상수원으로 방류시키는 것과 배출원에서 수질오염물질을 상수원으로 오염물질을 최소로 흘려보내는 것 등에 만 큰 관심의 대상이 되어왔다.⁴

그러나 호소나 하천에 유기오염물질을 함유한 토사의 유입과 호소 내에서 서식하는 어패류, 조류 및 식물 등의 고사체가 퇴적된 퇴적물에 의한 오염도를 파악하는 조사연구가 아직까지 매우 미흡한 실정이다. 특히, 퇴적물 중의 중금속 오염도에 의한 수질에 미치는 영향 관련 조사연구는 거의 이루어지고 있지 않는 실정이다. 따라서 퇴적물 중에 중금속에 대한 정확한 오염정도를 파악하여 퇴적물로부터 중금속이 수질에 미치는 영향에 대한 조사연구에 큰 관심을 두어야 할 것이다.⁵⁻⁷

최근에는 호소 수질개선 일환으로 퇴적물로부터 용출되는 각종 오염물질의 기여도를 줄이고 제거하기 위하여 호소내 퇴적물을 준설하자는 필요성이 대두되고 있으나 준설할 경우, 이로 인한 2차적인 수질오염의 우려와 효율성 및 경제성 결여 측면에서 많은 논란이 야기되었다.⁸⁻⁹

호소나 하천의 만입부와 같은 폐쇄성 수역의 수질오염은 유입부하원(외부부하)과 퇴적물로부터의 오염물질 등의 용출원(내부부하)으로 이루어지므로 호소, 하천 등 수중의 퇴적물이 수질에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 우선적으로 퇴적물에 대한 정확하고 신뢰성 있는 측정분석이 선행되어 오염정도를 정확히 파악하는 것이 무엇보다도 중요하다. 이를 위하여 퇴적물 중의 중금속이 수질로 용출되는 특성파악이 선행되어야 한다.

일반적으로 수중 퇴적물내의 금속류는 산화되어 응집된 산화물 형태(예, ZnO, PbO, CuO 등), 수산화물(예, M(OH)₂)로 응집되어 있거나 다른 유기물 또는 무기물과 착염(complex)상태로 존재하고 있다.

퇴적물에 존재하는 금속이 수중으로 용출되어 용해되는 일반적 특성은 금속(2가)의 산화물 또는 수산화물의 경우 이온상태로 용해된다.¹⁰⁻¹¹

퇴적물로부터 수중으로 중금속이 용출되는 특성과 오염정도를 정확히 파악하기 위해서는 자연상태의 조건과 유사한 용출시험 및 측정분석방법 마련이 중요하다. 환경부에서 고시된 폐기물공정시험방법이 공식적으로 표준화된 분석방법으로 정하고 있는데 보다

효율적이고 새로운 측정분석방법 개발을 위한 심도있는 조사연구가 필요하다고 생각된다.

본 연구에서는 각 나라의 퇴적물 중에 중금속 용출시험 방법들을 비교하고, 3가지 시험방법들을 이용하여 퇴적물로부터 중금속 Fe, Cu, Cr, Zn, Cd이 용출되어 나오는 농도를 비교 분석하였다.

2. 실험

2.1. 시약 및 기구

실험에 사용된 모든 시약은 특급시약을 사용하였고, 중류수는 1차적으로 중류된 것을 다시 탈이온화시킨 17.8 MΩ·cm 이상의 3차 초순수 중류수를 사용하였다. 모든 초자 및 기구는 3차 중류수로 씻은 후 건조하여 사용하였다. 시료채취는 코아 채취기(core sampler)를 사용하여 코아 투브속에 채취되도록 하였고, 냉동 건조된 퇴적물은 2 mm체로 걸렸으며, 이들 시료는 3종류인 질산과 황산의 혼합산, 65%의 질산, 과염소산 70% 및 과산화수소 30%의 혼합산, 그리고 초산에 1 M NaOH가 첨가된 것을 각각 달리 넣어 전처리하였다. 마이크로웨이브에 의한 전처리는 Milestone사의 Mega를 사용하였으며, 전처리된 시료의 중금속은 Varian 사의 Spectra AA 300 원자흡광광도계(ato-mic absorption spectrophotometer)를 사용하여 분석하였다.

2.2. 실험방법

K 수계 수심이 30-40 m의 6개 지점의 퇴적물을 코어 샘플러를 이용하여 코어튜브에 채취한 후¹² 부유성 퇴적물이 완전히 침전될 때 까지 1주일 동안 4°C 냉장보관하였다. 퇴적물층 위의 물을 퇴적물이 교란되어 흘러나오지 않도록 조용히 비이커에 옮긴 다음 최상부로 부터 5 cm 이내의 퇴적물을 원심 분리하여 물을 제거한 다음 5일 동안 진공 하에 냉동 건조시켰다. 건조된 각각의 시료를 2 mm 눈금체로 거른 다음 건조된 시료를 3가지 방법에 의해 다음과 같이 전처리 하였다. 첫째, 시료에 65% HNO₃ 5 mL, 70% HClO₄ 1 mL, 30% H₂O₂ 1 mL을 넣어 Table 1의 조건에 따라 마이크로웨이브로 전처리 하는 방법, 둘째 질산 5 mL와 황산 5-10 mL을 넣어 가열분해하는 방법, 셋째 초산 5.7 mL와 1 M NaOH 64.3 mL 넣어 전처리를 하였다. 전처리한 시료는 원자흡광광도계를 이용하여 각각의

Table 1. microwave condition for pretreatment of sediment

Step	Time (min)	Power (W)
1	6	250
2	6	400
3	6	650
4	6	250
Temp.		164±4°C
Pressure		760±70

중금속을 측정 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

K 수계 수심이 30-40 m의 6개 지점(CS-1, CS-2, CD-3, CD-5, MI-4, MI-9)에 대한 퇴적물 분석방법과 분석결과의 비교는 다음과 같다.

3.1. 고형물 중금속 분석방법 비교

퇴적물을 대한 정확하고 신뢰도 있는 측정분석 테이터 산출을 하기 위해서는 보다 효율적인 분석방법 개발이 중요하여 국내외 측정분석 방법를 비교 분석하였다.

퇴적물 중에 중금속 함유 정도는 전처리에 따라 그 분석결과가 다르게 나타나는데 그 전처리방법도 매우 다양하게 나타나고 있다. 먼저 마이크로웨이브에 의한 전처리 방법을 살펴보면 산이 첨가된 시료를 마이크로파를 흡수하지 않고 통과하는 재질의 밀폐형 용기에 넣어 마이크로파를 가하면 강산에 의해 시료가 산화되면서 극성성분들의 빠른 진동과 충돌에 의하여 시료의 분자결합이 절단되어 시료가 이온상태의 수용액으로 분해된다.

이 방법은 밀폐형 용기에 마이크로파의 가열조작을 통하여 수중에서 회수할 수 있는 금속의 정량적인 회화방법이다.¹³ 또한 시료의 다양한 종류에 따라 산의 종류와 전처리 시간 등을 매뉴얼에 의해 손쉽고 간편하게 조작할 수 있다. 즉 전처리 방법이 다소 간편하고 빠른 시간에 수행할 수 있는 장점이 있는 반면에 이러한 장비를 구입하는데 가격이 다소 비싸고 설치하는데는 다소 번거로움이 있는 단점이 있다.^{14,15}

다른 방법으로는 시료 적당량(g)을 정확히 달아 정제수에 염산을 넣어 pH를 5.8-6.3으로 한 용매를 1:10 (W:V)의 비율로 혼합하고 혼합액이 500 mL 이상

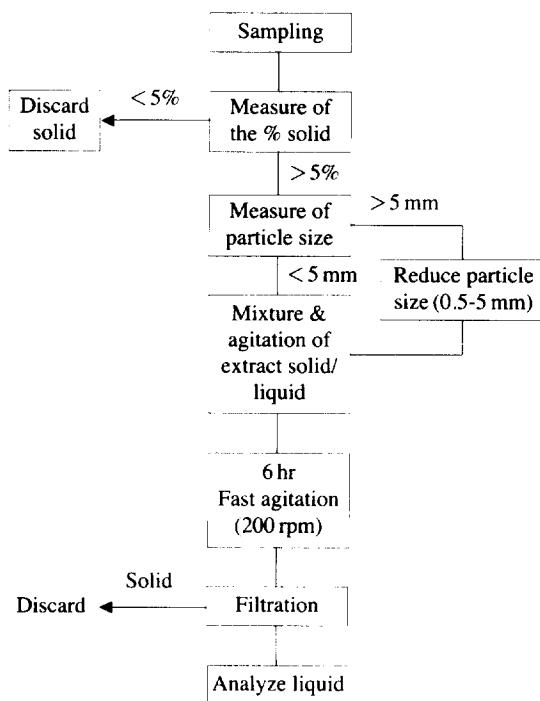


Fig. 1. The flow chart for leaching test of Korea and Japan.

되도록 한다. 혼합액을 상온, 상압에서 진탕회수가 매 분당 약 200회, 진폭이 4.5 cm의 진탕기를 사용하여 6시간 연속 진탕한 다음 여과하고 여과액을 적당량 취하여 용출시험 검액으로 한다. 다만, 여과가 어려운 경우에는 원심분리기를 사용하여 매분 당 3,000 회전 이상으로 20분 이상 원심분리한 다음 상등액을 적당량 취하여 중금속 시험용 검액으로 한다.

이러한 방법은 우리나라 폐기물 공정시험방법 제2장 제5항에 정하고 있는 시험방법¹⁶이며 또한 일본¹⁷에서도 우리나라와 거의 유사하게 적용하고 있다. 여기에 대한 구체적인 시험방법은 Fig. 1에 나타내었다.

또 다른 방법은 미국의 TCLP 방법¹⁸으로 100 g 이상의 시료를 추출용기에 넣은 다음 초산 5.7 mL를 넣고, 1 M-NaOH를 64.3 mL를 가한 후 시약용 중류수를 가하고 추출용기를 테프런 테이프 재질의 뚜껑으로 완전히 밀봉한 다음 회전교반기(rotary agitation device)에 고정시키고, 30±2 rpm으로 18±2시간으로 회전시킨다. 이때 회전 교반이 계속되는 동안 고체 시료에 따라(예. 석회 또는 calcium carbonate를 함유하는 시료는 이산화탄소 같은 가스를 포함할 수 있음) 추출

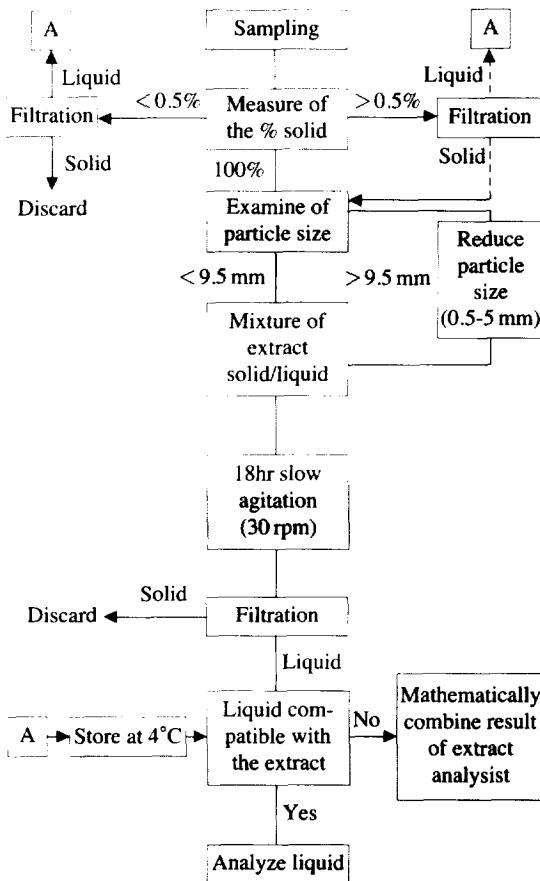


Fig. 2. The flow chart for TCLP method of U.S.A.

용기내에 압력이 커질수 있으므로 과도한 압력을 완화시키기 위하여 주기적(예, 15분, 30분 및 1시간 후마다)으로 추출용기를 열어 후드로 벤트(vent) 시킨다. 추출하는 동안의 온도는 $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 를 유지시킨다. 추출 후에 유리섬유 여지로 여과하여 액상 및 고상으로 분리한다. 이때 금속물질의 이동성(mobility)을 평가하고자 할 때 여과자는 반드시 산 세척된 것을 사용한다. TCLP 추출물의 pH를 측정한 다음 즉시 금속분석 정량을 실시한다. 각각의 추출한 액의 부피를 결정하고($\pm 0.5\%$ 까지), 적절한 분석을 수행한 후 간단한 부피-무게(volume-weighted) 평균을 이용하여 분석물의 농도를 계산한다. 여기에 대한 구체적인 시험방법은 Fig. 2에 나타내었다.

주요 국가별 퇴적물 용출시험 방법 및 세부진행과정은 대개 그 나라의 공정시험방법이나 가이드라인으

Table 2. Comparisons of leaching tests adopted by industrialized countries and Korea

Country	Waste (g)	S : L	Leachant	Agitation
Korea	50	1 : 10	Deionized water	6 hr
Japan	50	1 : 10	Deionized water	6 hr
U.S.A	100	1 : 20	Deionized water buffered at pH 5 or 3 with acetic acid	18 hr

로 규정되어 있으며 세부적인 비교분석은 Table 2에 나타내었다.

전처리는 Table 2에서 보는 바와 같이 주로 용매의 제조방법, 용매와 시료의 혼합비, 진탕시간 등에서 차이를 보이고 있다. 용매의 조제방법은 중류수에 초산 또는 염산을 첨가하거나 CO_2 를 포화시켜 pH를 조절하는 방법으로 크게 구분할 수 있다. 시료와 용매의 혼합비는 주로 1:10 또는 1:20을 사용하고 있으며, 진탕시간은 1-48시간의 범위로 규정하고 있다.

우리나라 및 일본 시험방법, 그리고 미국 TCLP방법의 진행과정을 다음과 같이 비교 검토하였다.

전처리 시험방법에서 사용하는 장치와 진탕시간을 살펴보면 TCLP법은 진탕속도가 낮은 대신에 진탕시간이 길고, 반면에 우리나라 및 일본의 시험방법은 이와 반대로 규정하고 있다.

한편, 용매를 조제하는 방법에 있어서 우리나라 및 일본의 시험방법은 고형물 자체가 지니고 있는 pH에 관계없이 일정한 용매를 사용하는 반면에 TCLP법에서는 고형물 자체의 pH를 고려하여 2종류의 용매를 선택하여 사용하고 있다.

우리나라, 일본 및 미국에서 규정하고 있는 용출 인자들에 대한 구체적인 비교를 Table 3에 나타내었다.

3.2. 중금속 분석결과 비교

6개 지점의 퇴적물에 대한 우리나라 폐기물공정시험방법과 마이크로웨이브, 그리고 미국의 TCLP 3가지 전처리 방법에 의해 Fe, Cu, Cr, Zn, Cd을 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

Fe의 경우 마이크로웨이브로 전처리한 퇴적물 중의 함유농도는 $38.1\text{-}48.0\text{ mg/kg}$ 의 범위를 나타냈으며, 미국의 TCLP와 우리나라 폐기물공정시험방법에 따라 전처리 하였을 때는 각각 $10.2\text{-}15.9\text{ mg/kg}$ 와 $3.5\text{-}12.6\text{ mg/kg}$ 의 농도범위를 나타내었다. 6개 지점별로 퇴적

Table 3. Details of leaching tests adopted by Korea, Japan and U.S.A

Division	Test method of Korea and Japan	TCLP method* of U.S.A
Particle size	< 5 mm	< 9.5 mm
Extraction apparatus	Parallel shaker (Vibration : 4-5 cm, speed : 200 rpm)	Rotation shaker (speed : 30 rpm)
Agitation time	6 hr	18 hr
pH of solution	5.8-6.3 (Adjustment by HCl)	2.88 or 4.93 (Adjustment by 0.5M acetic Acid)
Sample capacity	> 50 g	100g
Sample & solution ratio of temperature	1 : 10 15-25°C	1 : 20 22±3°C
Filter	Glass fiber filter (1 μm)	Glass fiber filter (0.6-0.8 μm)
Extraction vessel	-	2L Teflon bottle or PE bottle
Moisture correction factor	Necessary	Unnecessary

* TCLP: '90년부터 미국 EPA에서 용출시험 방법으로 채택하고 있는 방법임.

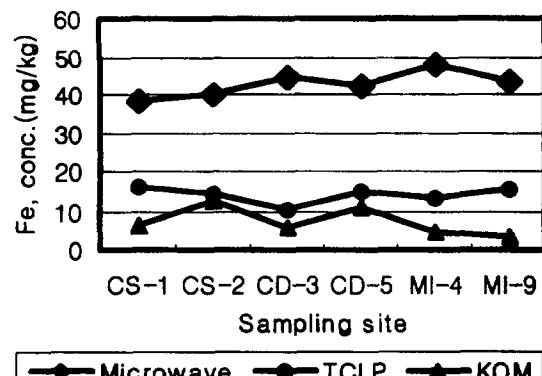


Fig. 3. Analytical results of Fe in sediment for microwave, TCLP and KOM method.

물 중에 철의 함유정도는 거의 비슷하게 나타나 지점 별에 의한 오염정도를 비교·평가하기가 어려웠다. 상기의 결과로 보아 퇴적물 중의 철의 농도가 마이크로웨이브로 전처리 하였을 때 가장 높은 농도로 검출되었고 그 다음은 미국의 TCLP 방법이 높게 나타났으며, 우리나라 폐기물공정시험 방법에 따라 전처리 하였을 때 가장 낮은 농도로 나타났다. 즉 세 방법에 의한 농도를 비교·분석하였을 때 마이크로웨이브가 다른 두 방법보다 약 3-4배 정도 높게 나타났다. 그러나 미국의 TCLP 방법과 우리나라 폐기물공정시험 방법에 따라 전처리 하였을 때 약간의 차이는 있었으나 거의 유사하게 나타났다. 여기에 대한 구체적인 결과

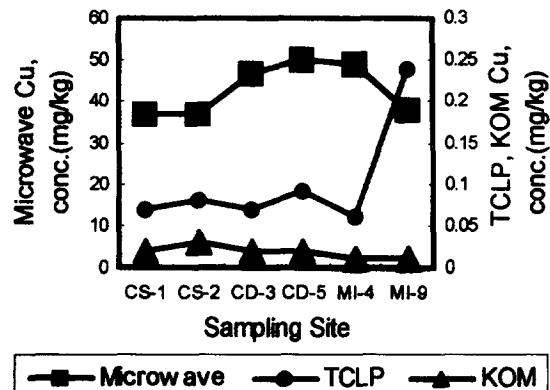


Fig. 4. Analytical results of Cu in sediment for microwave, TCLP and KOM method.

는 Fig. 3에 나타내었다.

따라서 퇴적물 중의 정확한 오염도는 분석하기 위한 항목의 전처리 방법에 따라 상당한 차이로 나타나기 때문에 퇴적물 중의 정확하고 신뢰도 있는 오염도 평가를 하기 위해서는 보다 효율적이고 새로운 시험 방법 개발 연구에 집중되어야 할 것이다.

Cu의 경우 마이크로웨이브로 전처리한 농도는 37.0-50.1 mg/kg의 범위를 나타냈으며, 미국의 TCLP와 우리나라 폐기물공정시험 방법은 각각 0.06-0.24 mg/kg 와 0.01-0.03 mg/kg의 농도범위를 나타내었다. Fe의 경우와는 달리 마이크로웨이브가 다른 두 방법에 비해 매우 큰 차이를 나타냈다. 이것은 금속의 종류별

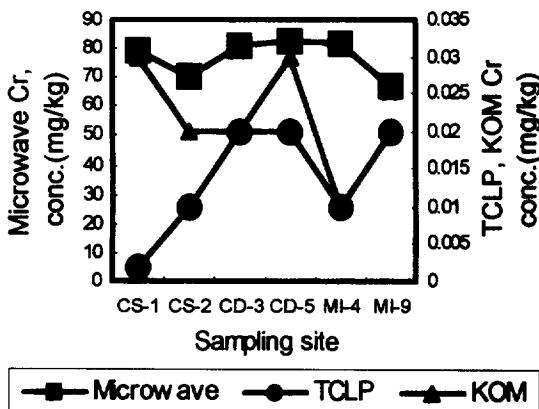


Fig. 5. Analytical results of Cr in sediment for microwave, TCLP and KOM method.

특성에 따라 전처리 방법을 다르게 함으로서 용출되는 금속의 량이 다르게 검출되는 것으로 판단되었다. 따라서 퇴적물 중의 구리의 농도는 마이크로웨이브에 의한 전처리 방법에 따라 분석하는 것이 보다 정확하게 파악할 수 있으리라 생각된다. 여기에 대한 구체적인 결과는 Fig. 4에 나타내었다.

Cr의 경우 마이크로웨이브로 전처리한 농도는 67.2-82.8 mg/kg의 범위를 나타냈으며 미국의 TCLP와 우리나라 폐기물공정시험 방법은 각각 0.002-0.02 mg/kg 와 0.01-0.03 mg/kg의 농도범위를 나타내었다. Cu 처럼 전처리 방법에 따라 비슷한 패턴의 농도를 보이고 있으나 단지 마이크로웨이브에서 약 1.5배 더 높게 검출되었다. 여기에 대한 구체적인 결과는 Fig. 5에 나타내었다.

Zn의 경우 마이크로웨이브로 전처리한 농도는 137.2-152.0 mg/kg의 범위를 나타냈으며 미국의 TCLP와 우리나라 폐기물공정시험 방법은 각각 0.67-0.82 mg/kg 와 0.3-0.5 mg/kg의 농도범위를 나타내었다. Cu, Cr 처럼 전처리 방법에 따라 비슷한 양상 농도를 보이고 있으나 마이크로웨이브 방법에서만 약 2-3배 더 높게 검출되었을 뿐만 아니라 TCLP, KOM 모두 더 높게 나타났다. Zn은 다른 금속보다 더 높은 농도를 나타냈는데 이것은 자연적인 현상에 의해 축적되는 Zn의 농도가 많았기 때문인 것으로 판단된다.¹⁹ 여기에 대한 구체적인 결과는 Fig. 6에 나타내었다.

Cd의 경우 마이크로웨이브로 전처리한 농도는 2.4-

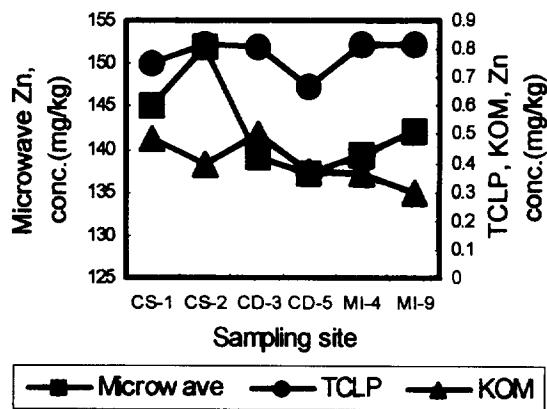


Fig. 6. Analytical results of Zn in sediment for microwave, TCLP and KOM method.

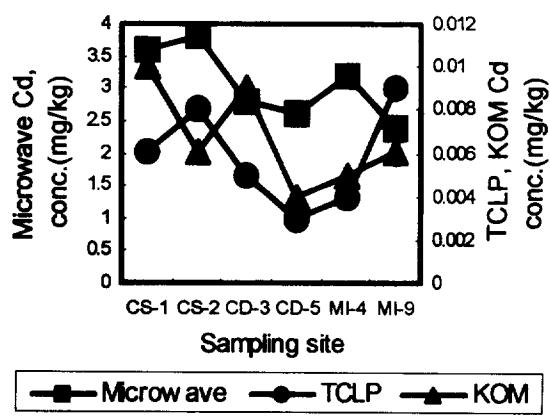


Fig. 7. Analytical results of Cd in sediment for microwave, TCLP and KOM method.

3.8 mg/kg의 범위를 나타냈으며 미국의 TCLP와 우리나라 폐기물공정시험 방법은 각각 0.003-0.009 mg/kg 와 0.004-0.01 mg/kg의 농도범위를 나타내었다. Fe, Cu, Cr, Zn처럼 농도가 전처리 방법에 따라 비슷한 양상을 보이고 있으나 대체적으로 가장 낮은 농도로 검출되었다. 여기에 대한 구체적인 결과는 Fig. 7에 나타내었다.

마이크로웨이브 분해, 미국의 TCLP 및 국내 폐기물 공정시험방법에 의한 퇴적물중 Fe, Cu, Cr, Zn, Cd에 대한 분석결과의 신뢰도는 정도관리차트에 따라 검증하였다.²⁰⁻²¹

이상의 결과를 고찰해 볼 때 세가지 전처리방법 중

마이크로웨이브에 의한 방법이 다른 두 방법의 미국 TCLP 및 우리나라 KOM 보다 가장 높은 농도로 나타났다. 또한 세가지 모든 방법에 대해서 Zn이 가장 높은 농도로, Cd이 가장 낮은 농도로 나타났다. 그리고 지점별에 따른 퇴적물 중의 금속의 농도는 약간의 차이는 있으나 비슷한 양상을 보이고 있었다.

4. 결 론

1. 6개 지점의 퇴적물에 대한 Fe, Cu, Cr, Zn, Cd의 함유정도는 마이크로웨이브에 의한 전처리 방법이 미국 TCLP 방법 및 폐기물공정시험방법보다 높은 농도로 나타났으며, TCLP는 폐기물공정시험방법보다 약간 높게 나타났으나 거의 비슷하게 나타났다.

2. 세가지 방법 모두에 대해 Zn이 가장 높은 농도로, Cd이 가장 낮은 농도로 나타났다. 그리고 지점별에 따른 퇴적물 중의 금속의 농도는 약간의 차이는 있으나 비슷한 양상을 보이고 있었다.

3. 퇴적물 중의 정확한 오염도는 분석하기 위한 항목의 전처리 방법에 따라 상당한 차이로 나타나기 때문에 퇴적물 중의 정확하고 신뢰도 있는 오염도 해석 및 평가를 하기 위해서는 보다 효율적이고 새로운 시험방법 개발 연구에 집중되어야 할 것이다.

참고문헌

- 박선구, 김성수, 고오석, 분석과학, 12, 141-150 (1999).
- 박선구, 현대환경리포트, 68-78, 현대환경연구소, 2000.
- 오영민, 신석봉, 수질관리, 205, 산업공해연구소, 1982.
- 박선구, “정수장진단반”, 73-93, 한국수자원공사, 2000.
- 박선구 등의 7명, “호소, 하천 퇴적물의 조사”, 1-3, 국립환경연구원, 1997.
- 박선구 등의 5명, “호소 및 하천의 퇴적물 조사”, 1-3, 국립환경연구원, 1998.
- Robert B. Biggs, “Coastal Sedimentary Environments”, 91-94, 1990.
- 팔당호 시험준설 영향조사 보고서, 4-5, 환경부, 1990. 12월.
- 팔당호 퇴적물 준설 타당성 검토 공청회, 1-5, 국립환경연구원, 1998. 9. 22.
- International Iron and Steel Institute, Management of Steel Industry By-Products and Waste,” 1987.
- Stumm, Werner and Morgan, James J., Aquatic Chemistry, 2nd Edition, 1981.
- Robert L. Booth, “Handbook for Sampling and Sample Preservation of Water and Wastewater, 293-344, USEPA, Cincinnati, Ohio, 1982.
- 수질오염공정시험방법, 53, 환경부고시 제99-208호, 2000.
- “APC-30/ATC-300 Automatic Pressure & Temperature Control manual”, Milestone, Microwave Laboratory, 1995.
- “MLS-1200 Mega Microwave Digestion System with MDR Technology”, Italy, 1995.
- 폐기물공정시험방법, 23, 환경부고시 제2000-41호, 2000.
- 大平後男 外 5人, “產業廢棄物 溶出試驗方法의 檢查”, 產業公害 Vol. 18, 1988.
- Duranceau, Paul E., “USEPA’s New Leaching Test : The Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP),” Madison Waste Conf. Munic. Ind. Waste 10th, 1987.
- 박선구, 김성수, 고오석, 분석과학, 2000 투고중.
- 박선구, 류재근, 한국환경분석학회, 1, 1-3 (1999).
- 박선구, 이인선, 류재근, 한국환경분석학회, 2, 1-5 (1999).