

**중성자 방사화 분석법과 원자 분광법을 이용한
갯벌 시료 속에 존재하는 미량원소들의
화학종 분류 및 분석**

**The chemical speciation and analysis of trace elements in
mud flat with neutron activation analytical method(NAA)
and atomic spectroscopy.**

연구기관
목포대학교

과 학 기 술 부

제 출 문

과 학 기 술 부 장 관 귀하

본 보고서를 “중성자 방사화 분석법과 원자 분광법을 이용한 갯벌 시료 속에 존재하는 미량원소들의 화학종 분류 및 분석에 관한 연구” 과제 최종보고서로 제출합니다.

2001. 7. 2.

연구기관명 : 목포대학교

연구책임자 : 남상호

연구원 : 김민재

한성심

요 약 문

I. 제 목

중성자 방사화 분석법과 원자 분광법을 이용한 깃벌 시료 속에 존재하는 미량원소들의 화학종 분류 및 분석.

II. 연구개발의 목적 및 필요성

이 연구는 모체가 복잡한 깃벌시료와 같은 환경 시료들속에 존재하는 무기 원소들을 정확히 분석하기 위한 분석법을 개발 및 연구하는데 있다. 모체가 복잡한 시료의 경우에는 시료 전처리 과정에서 발생하는 분석 오차, 그리고 시료와 똑같은 표준용액을 만드는 어려움 등 여러 가지 정확한 분석을 저해하는 요인들이 존재한다. 그래서 이 연구에서는 비파괴 분석법이면서 시료 전처리 과정을 거의 필요로 하지 않는 중성자 방사화 분석법(Neutron Activation Analysis, NAA)을 이용한 깃벌 속의 무기 원소들의 분석능력과 효용성을 검증하고자 하였다. 비교 분석을 위해서는 유도결합 플라즈마 원자 방출 분광법(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry, ICP-AES)를 이용하였다. ICP-AES는 파괴 분석법이면서 시료 전처리 과정을 해야하는 분석법이다. 그 두 분석방법을 이용하여 깃벌 속의 무기 원소들을 분석하는 능력을 점검하고 분석 비교 하고자 하였다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

우선 ICP-AES 분석법을 위한 깃벌의 시료 전처리 과정에 대한 선행 연구가 시행되었다. 모체가 복잡한 시료들인 경우에 그 시료 전처리 과정은 대단히 중요하다. 왜냐하면 시료 전처리 과정에서 발생할 수 있는 오차가 분석 결과에 큰 오차를 일으킬 수 있기 때문이다. 그리고 NIST(National Institute of Standards and Technology, USA) 표준 시료 물질을 NAA 와 ICP-AES를 이용하여 동시에 분석하여 비교하였다. 그리고 최종적으로 깃벌시료들을 채취하여 그 속에 존재하는 무기 원소들을 비교하였다.

IV. 연구개발결과

이 연구에서는 ICP-AES를 위한 5가지의 갯벌시료 분석을 위한 시료 전처리 방법들이 시도되었다. 그리고 3가지 다른 종류의 NIST SRM 들을 분석 비교 하여 최적의 시료 전처리 방법이 선택되었고 그 분석 결과 값들이 NAA 방법으로 이루어진 분석 결과 값과 비교하였다. 두 가지 분석법 모두 SRM 내에 있는 주요 원소들에 대해서는 확인된 값과 측정된 값이 매우 비슷하였고, 원소들에 따라 두 분석법의 분석 정확도와 정밀도가 조금씩 달랐다. 그러나 미량 원소들에 대해서는 NAA 방법이 훨씬 우수한 분석결과를 보여 주었다. 그것은 ICP-AES에서는 시료 전처리 과정에서 여러 가지 산을 사용하여야 하기 때문에 산에 의한 시료 용액이 오염 가능성을 배제할 수 없었다. 결과적으로 NAA 분석법은 NIST SRM 내의 주요 원소들과 미량 원소들의 분석에 적합하였으므로 그 방법을 갯벌 시료에 적용하였다. 또한 ICP-AES를 이용하여 갯벌시료들을 분석하였으나 주요 원소들에 대한 분석은 비교적 잘 되었으나 미량 원소들의 분석을 하는데 매우 어려움이 많았고 그 결과 값들의 신뢰도는 매우 낮았다. 따라서 복잡한 환경 시료의 경우에는 NAA 방법이 훨씬 훌륭한 분석법이었음을 알게 되었다.

V. 연구개발결과의 활용계획

이 연구에서 모체가 복잡한 환경시료의 경우에 있어서 비파괴 분석법인 NAA 분석법이 파괴분석법인 ICP-AES 분석법보다 우수함을 보여 주었다. 따라서 앞으로 NAA 방법은 모체가 복잡한 환경시료들 중에 있는 무기원소들의 분석을 위하여 많이 활용되어 질 것이다.

S U M M A R Y

In this study, the NAA(Neutron Activation Analysis) were investigated for the determination of inorganic elements in mud flat. The NAA is a non-destructive method and the sample preparation is not necessary. ICP-AES(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry) were also studied for the analysis of mud flat to compare with the NAA. The results of this research showed that NAA were superior to ICP-AES for the determination of minor elements in sediment even though it is a non-destructive method. Accordingly, the NAA will play an important role in analysis of environment samplme with complex matrix

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	1
Chapter 2. The current status of technology	2
Chapter 3. The content and results of the research	4
Chapter 4. The achievement of the research	8
Chapter 5. The work plan using the results of the research ...	9
Chapter 6. References	10

목 차

제 1 장 서론	1
제 2 장 국내·외 기술개발 현황	2
제 3 장 연구수행 내용 및 결과	4
제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도	8
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	9
제 6 장 참고 문헌	10

제 1 장 서론

지금 우리는 다양한 시료 속에 존재하는 화학 물질들에 대한 정확한 분석이 매우 필요하고 중요한 시대에 살고 있다. 그것은 여러 다양한 산업들의 발달로 인해 발생하는 유해 환경오염의 원인과 그 유해 물질들의 인체에 대한 유해성 등이 정확한 물질들의 분석을 통하여 판단하고 예측할 수 있기 때문이다. 이 연구는 갯벌 속의 미량 원소들을 정밀 분석하는 분석법을 연구 및 개발하는 것이다. 이 연구는 우리 모든 인간들이 갯벌 속에 살고 있는 어류 및 패류를 음식물로 섭취한다는 관점에서 볼 때 매우 중요하다. 갯벌은 육상과 해양의 추이대로서 지구 생태계 중에서 생산성이 가장 높고 생물 및 미생물 자원이 풍부하지만 육상과 해양에 비해 상대적으로 소외되어 왔다. 선진국들은 1980년대에 갯벌의 중요성이 인식되면서 갯벌 간척사업이 중단되고 갯벌의 경제적 가치 평가, 종 다양성 유지 및 유용 유전자 확보 차원에서 활발한 연구가 진행되었다. 우리 나라 서남해안은 조석간만의 차가 크고 방대한 갯벌이 형성되어 종 다양성과 생산성이 높아 세계적으로 희귀한 갯벌 자원으로 평가되고 있다. 그러나 1960년 이후 대단위 간척사업으로 많은 해안갯벌이 파괴되었으며, 갯벌 생물의 생태계가 위협받는 현실이다. 그러나 다행히 목포를 중심으로 한 서·남권해역의 갯벌은 보존이 비교적 양호한 편이다. 따라서 이 갯벌이 이 연구의 주 대상이었다. 특히 요즈음은 갯벌 속에 Ge(게르마늄)이 다량 함유되어 있어 인체에 유익하다고 알려짐으로서 사회적인 관심이 매우 높다. 그리고 폐수 및 폐유등에 의한 토양과 수질 오염으로 인한 갯벌의 오염문제가 날로 심각해지고 있다. 그러나 지금 현재까지 갯벌 속에 존재하는 유용한 유기 및 무기 물질들이 정확하게 어느 정도 어떤 종류로 존재하고 있는지 그리고 갯벌들은 얼마나 오염이 되어 있는지에 대한 정확한 정보가 없다. 그 부족한 정보의 이면에는 그 물질들에 대한 시료 전처리 과정의 어려움뿐만 아니라 모체가 매우 복잡하여 모체 효과에 의한 방해 때문에 정확한 원소들의 분석이 어렵다는 면이 있다. 따라서 이 연구에서는 모체가 복잡한 갯벌과 같은 시료들에 대한 최적의 시료 전처리 과정 연구와 분석법을 연구 개발하고자 하는데 있다. 이 연구에서는 특히 시료전처리과정을 전혀 하지 않는 중성자 방사화 분석법(NAA)이 이용되어진다. 그리고 그 결과를 비교하기 위하여 유도결합 플라즈마 원자 방출기(ICP-AES)를 이용하여 갯벌에 대한 분석이 이루어진다. 따라서 모체가 복잡한 갯벌시료들과 같은 환경 시료들에 대하여 NAA 방법이 얼마나 유용한지를 밝히고 점검하고자 한다.

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

이 연구에서 이용되는 두 가지의 분석방법은 중성자 방사화 분석법과 유도 결합 플라즈마 원자 방출 분광법(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry, ICP-AES)이다. 방사화 (Activation)라고 하는 것은 시료를 중성자, 하전입자 그리고 광자 등으로 조사시켜 원자핵 반응을 통하여 불안정한 방사성 핵종을 만드는 것이다. 즉 방사화 분석법은 원자핵 반응에 바탕을 둔 분석기술이며 이때 생성된 불안정한 방사성 핵종이 안정한 상태로 변할 때 방출하는 고유한 방사선이나 방사능을 측정함으로써 각 원소를 확인하거나 정량할 수 있는 방법이다. 방사화 분석은 고감도로써 통상 사용하는 시료의 양은 수 mg에서 수백 mg으로 시료중의 분석 원소량은 10^{-6} - 10^{-3} (ppt - ppm)정도로 원소에 따라 분석감도는 크게 다르다. 또한 비파괴법에 의해서 다 원소 동시 분석을 할 수 있으며 적당한 분석조건에서 30 - 40 종의 원소 분석이 가능하다. 정확도 및 재현성은 아주 높지는 않지만 비 파괴분석의 경우에는 전처리 과정에서 발생하는 오차를 줄일 수 있기 때문에 미량 분석인 경우에 타 방법보다 유리하다. 하지만 방사성 붕괴의 통계적 오차를 고려해야 한다. 화학적 성질이 유사한 원소의 분석이 가능하며 희토류 원소, 알칼리 원소 등의 분석에 상호 방해받지 않으며 분석에 사용하였던 시료도 방사능 감쇠 후에는 재사용이 가능한 동일 시료를 타 분석법에 사용할 수 있는 방법이다. 원자핵 반응을 이용한 분석법이기에 때문에 원소 분석에는 적합하지만 원자가나 분자 형태 등은 판별할 수 없다. 방사화 분석법은 원자로와 같은 대형의 중성자원과 방사선 측정기가 필요하기는 하지만 광범위한 분야의 기초, 응용연구에 다양하게 활용할 수 있는 방법이다. NAA 방법의 최대의 장점은 시료 전처리과정을 거의 하지 않는다는 것이다. 따라서 실제 분석하는 과정에 있어서 시료 전처리 과정에서의 발생될 수 있는 분석 결과의 오차를 줄일 수 있다는 장점이 있다.

그 중성자 분석법의 비교 분석을 위해서는 유도결합 플라즈마 원자 방출 분광법이 이용되었다. 그 시료 전처리 방법으로는 마이크로파 분해 방법이 많이 사용되어 진다. 그 마이크로파를 이용한 시료 전처리과정(microwave digestion method)은 미량의 진한 산을 이용하여 소량의 환경 시료를 높은 온도와 압력에서 용해시키는 방법으로서 짧은 시간에 시료의 손실 없이 완벽하게 시료를 용해시키는 장점 때문에 현대에 와서 매우 널리 이용되어지고 있는 방법이다. 이 연구에서는 여러 가지 시료 전처리 과정을 이용하여 얻어진 분석 결과들을 비교, 검토한 후에 개별 시료를 위한 최적의 시료전처리 방법이 선택되어 졌다. 그 선택된 시료 전처리 방법을 이용하여 시료를 처리한 후에

유도 결합 플라즈마 원자 방출분광기(ICP-AES)를 이용하여 갯벌 속에 있는 게르마늄을 포함한 미량 원소들의 정밀한 정성 및 정량 분석을 한다. 이 ICP-AES는 지금 수용액 시료 내에 있는 무기 물질들의 정밀 분석을 위한 가장 대표적인 분석 기기 중의 하나이다. 플라즈마에는 직류 플라즈마(Direct Current Plasma, DCP), 마이크로파 유도 플라즈마(Microwave Induced Plasma, MIP), 유도결합 플라즈마(Inductively Coupled Plasma, ICP) 등 여러 가지가 있으나, 원소 분석을 위한 사용빈도와 상용화된 분석기기의 수요에 의하여 유도 결합 플라즈마가 당연히 타 플라즈마 장치들에 비해 우위에 있음을 알 수 있다. 그 이유는 화학분석가들이 ICP를 이용하여 시료 속에 있는 다 원소 분석(multi-elemental analysis)을 쉽게 할 수 있고 분석시간을 매우 단축할 수 있기 때문이었다. 이 방법은 대부분의 원소들에 대한 분석범위가 비교적 넓고 한번의 분석으로 미량 및 다량의 원소 분석을 동시에 할 수 있는 장점을 갖고 있다.

제 3 장 연구수행 내용 및 결과

이 연구의 목표는 다양한 무기원소 분석을 위하여 시료 전처리 과정이 전혀 필요하지 않은 중성자 방사화 분석법과 시료 전처리 과정을 해야 하는 원자 분광법의 원소 분석능력을 비교 검토하여 중성자 방사화 분석법의 깃벌시료에 대한 분석능력과 효용성을 점검하고자 하였다. 따라서 이 연구에서는 우선 ICP-AES를 위한 최적의 깃벌 시료 전처리 과정을 찾는 연구를 위하여 NIST(National Institute of Standards and Technology, USA) 표준물질을 사용하였다. 그 시료는 NIST SRM(Standard Reference Material)1646a Estuarine sediment 이었다. 본 연구는 Microwave Digestion system를 이용하여 시료를 전처리 하였다. 시료 전처리 방법 #1, #2, #3, #4는 Microwave를 이용하여 250 W에서 5 min, 400 W에서 5 min, 그리고 600 W에서 15 min 동안 시료를 분해하였다. 그리고 H_3BO_3 를 사용한 시료 전처리 방법 #2, #3, #4는 H_3BO_3 을 첨가한 후 600W에서 10 min 동안 분해하는 과정을 추가적으로 실시하였다. 시료 전처리 방법 #5는 Microwave를 이용하여 750 W로 10분 동안 170°C까지 온도를 올리고 5분 동안 170°C를 유지하는 시료분해 과정을 시행하였고, 분해가 끝나면 시료와 용기를 식히고 H_3BO_3 포화용액 10 mL를 넣고 750 W로 10분 동안 170°C까지 온도를 올리고 3분 동안 170°C를 유지하는 시료분해과정이었다. 그리고 본 연구에서는 HF의 사용으로 인한 분석기기 내부 glass류의 부식을 줄이기 위해 H_3BO_3 을 사용하여 시료를 전처리 하였고, 또 일부 분석기기 내부(chamber, nebulizer)를 Teflon 재질로 교체하여 실험하였다. 모든 시료 전처리 방법은 sediment 시료를 주로 구성하는 Si 계열을 완전분해하기 위해 HF를 사용하는 방법으로 시료 전처리 방법 #1은 HF와 $HClO_4$ 를 사용하고 Microwave를 이용하여 시료를 분해하였다. 그 결과를 <Table 1>에 나타내었다. 결과에서 보듯이 그 확인된 값(certified value)과 실험 값(experimental value) 사이의 상대 오차 범위가 6.21~39.69 %로 나타났다. 시료 분해 과정에서 시료들이 혼합 산과 Microwave에 의해 완전 분해되지 않았다. 그 결과 Ca의 경우 그 실험 값(0.313%)과 확인된 값(0.519%)의 차이가 크게 나타남을 알 수 있었다. 이를 여러 번 재시도를 하였으나 그 오차를 줄일 수 없었다. 따라서 이 시료 전처리 방법은 sediment 시료 속의 Ca 분석에는 최적의 방법이 아님을 알 수 있었다. 시료 전처리 방법 #2는 시료 전처리 방법 #1에 H_3BO_3 포화용액 5 mL를 첨가하였고 시료 전처리 방법 #3은 3 mL를 첨가하여 시료를 분해하였다. 시료 전처리 방법 #2는 그 결과 값과 확인된 값 사이의 상대오차가 13.79~81.36 %로 나타났다. 특히 Ca는 49.52 %, Mg는 81.36 %의 상대오차로 sediment 시료 속의 Ca, Mg

<Table 1> Analytical Results of Estuarine Sediment, NIST SRM 1646a

Element	Certified Value (%)	Exp. Value(%)				
		ICP-AES				
		#1	#2	#3	#4	#5
Al	2.297 ± 0.018	2.055 ± 0.01	1.909 ± 0.013	1.829 ± 0.010	2.124 ± 0.013	1.809 ± 0.006
Ca	0.519 ± 0.020	0.313 ± 0.004	0.262 ± 0.001	0.443 ± 0.002	0.499 ± 0.004	0.435 ± 0.002
Fe	2.008 ± 0.039	1.813 ± 0.008	1.731 ± 0.008	1.922 ± 0.006	1.833 ± 0.014	1.743 ± 0.001
Mg	0.338 ± 0.009	0.317 ± 0.003	0.063 ± 0.001	0.338 ± 0.001	0.381 ± 0.004	0.357 ± 0.001
K	0.864 ± 0.016	0.803 ± 0.01	0.707 ± 0.002	0.711 ± 0.005	0.660 ± 0.009	0.628 ± 0.002
Na	0.741 ± 0.017	0.673 ± 0.005	0.930 ± 0.001	0.599 ± 0.005	0.649 ± 0.009	0.591 ± 0.002

시료 전처리 방법 #1 : 0.1g sample + 4mL HF + 1mL HClO₄

시료 전처리 방법 #2 : 0.1g sample + 4mL HF + 1mL HClO₄ + 5mL H₃BO₃ 포화용액

시료 전처리 방법 #3 : 0.1g sample + 4mL HF + 1mL HClO₄ + 3mL H₃BO₃ 포화용액

시료 전처리 방법 #4 : 0.1g sample + 2mL HNO₃ + 2mL HF + 3mL HCl + 1.0g H₃BO₃

시료 전처리 방법 #5 : 0.1g sample + 6mL HNO₃ + 3mL HCl + 3mL HF

분석에는 적합하지 않음을 알 수 있었다. 시료 전처리 방법 #3을 이용한 분석결과에서 보듯이 실험 값과 확인된 값의 상대 오차가 0.11~20.37 %로 시료 전처리 방법 #2에서 보다 실험 값이 확인된 값에 근사했다. 시료 전처리 방법 #4는 HNO₃, HF, H₃BO₃ 그리고 HCl를 사용하여 시료를 분해하였다. 그 실험 결과에서 알 수 있듯이 시료전처리 방법 #3보다는 모든 실험 값이 확인된 값과 근사하지 않았지만 모든 측정원소에서 10.6~29.28 %의 상대오차로 평균적으로 실험 값이 확인된 값에 근사하게 나타났다. 특히 이 시료 전처리 방법은 시료 전처리 방법 #2와 #3에서 정확한 실험 값을 얻지 못했던 Ca에 대해 10.65 %의 상대오차로 비교적 확인된 값에 근사함을 알 수 있었다. 시료 전처리 방법 #5는 혼합 산(HNO₃ + HF + HCl + H₃BO₃)을 이용하여 Microwave로 시료를 분해시키는 방법으로 그 결과 값을 보면 상대오차 범위가 5.63~27.32 %로, 특히 Mg는 5.62 %로 실험 값이 확인된 값에 근사했으며 K의 경우에는 27.32 %로 다른 원소들에 비해 그 실험 값이 확인된 값에 근사하지 못했다. 다음 과정으로는 앞에서 실험한 시료 전처리 방법을 이용하여 NIST SRM 1646 Estuarine sediment와 NIST SRM 2704 Buffalo River sediment를 ICP-AES를 이용한 분석방법과 중성자 방사화를 이용한 분석방법을 비교하였다. 그 결과 값을 <Table 2>와 <Table 3>에 나타내었다. ICP-AES를 이용한 분석방법에서 시료 전처리 방법 #1에서는 실험 값과 확인된 값 사이의 상대오차 범위가 NIST SRM 1646에서는 6.9~97%로, NIST SRM 2704에서는 0.5~322%로 나타났으며 시료 전처리 방법 #2에서는 그 상대오차 범위가 9~97%, 9.4~96%로 나타났다. 특히 이 시료 전처리 방법 #1과 시료 전처리 방법 #2는 Ca, Mg의 분석에 대해 매우 부적합한 시료 전처리 방법임을 알 수 있다. 그리고 이 시료 전처리 방법 #1과 #2는 NIST SRM 1646a를 통한 실험에서와 마찬가지로 NIST SRM 1646과 NIST SRM 2704를 이용한 실험결과에서도 알 수 있듯이 sediment 시료 속의 무기물 분석을 위한 시료 전처리 방법으로는 부적합하다는 것을 알 수 있었다. 시료 전처리 방법 #3에서는 NIST SRM 1646a를 이용하여 시료를 전처리 하였을 때는 작은 상대오차 범위로 훌륭한 방법임을 알 수 있었으나 NIST SRM 1646과 NIST SRM 2704를 이용하여 시료를 전처리 했을 때는 9.8~345%와 8~1247%의 비교적 큰 상대오차 값으로 다양한 sediment 시료들의 전처리 과정으로는 부적합함을 알 수 있었다. 특히 K(228%, 121%), Na(345%, 1247%)의 경우에는 그 실험 값이 확인된 값의 차이가 커서 sediment 시료 속의 K, Na 분석을 위한 시료 전처리 방법으로는 적합하지 않았다. 시료 전처리 방법 #4와 #5는 NIST SRM 1646a를 이용한 시료 전처리 방법에서는 평균적으로 적절한 방법임을 알 수 있었다. 그러나

<Table 2> Analytical Results of Estuarine Sediment, NIST SRM 1646.

Element	Certified Value (%)	Exp. Value(%)					
		INAA	ICP-AES				
			#1	#2	#3	#4	#5
Al	6.25 ± 0.20	5.74 ± 0.216	2.75 ± 0.008	5.07 ± 0.012	7.36 ± 0.087	5.96 ± 0.023	5.21 ± 0.036
Ca	0.83 ± 0.03	0.81 ± 0.049	0.16 ± 0.0004	0.15 ± 0.001	1.58 ± 0.005	0.80 ± 0.005	0.71 ± 0.003
Fe	3.35 ± 0.10	3.23 ± 0.168	3.12 ± 0.008	2.79 ± 0.016	3.05 ± 0.020	3.20 ± 0.012	2.96 ± 0.016
Mg	1.09 ± 0.08	-	0.037 ± 0.0002	0.029 ± 0.001	0.20 ± 0.003	1.20 ± 0.004	1.03 ± 0.001
K	1.4	1.38 ± 0.082	1.99 ± 0.002	1.83 ± 0.019	4.60 ± 0.060	1.59 ± 0.012	1.56 ± 0.005
Na	2	1.76 ± 0.099	2.23 ± 0.007	1.82 ± 0.005	8.89 ± 0.100	1.65 ± 0.005	1.65 ± 0.013

<Table 3> Analytical Results of Buffalo River Sediment, NIST SRM 2704.

Element	Certified Value (%)	Exp. Value(%)					
		INAA	ICP-AES				
			#1	#2	#3	#4	#5
Al	6.11 ± 0.16	5.84 ± 0.21	4.94 ± 0.056	4.34 ± 0.030	6.62 ± 0.040	5.69 ± 0.040	5.32 ± 0.031
Ca	2.60 ± 0.03	2.78 ± 0.13	0.08 ± 0.0003	0.18 ± 0.001	0.75 ± 0.012	2.45 ± 0.014	2.34 ± 0.008
Fe	4.11 ± 0.10	4.11 ± 0.17	2.50 ± 0.038	3.72 ± 0.017	3.76 ± 0.050	3.81 ± 0.037	3.77 ± 0.021
Mg	1.20 ± 0.02	-	0.05 ± 0.0005	0.05 ± 0.0004	0.17 ± 0.000	1.30 ± 0.002	1.17 ± 0.004
K	2.00 ± 0.04	1.91 ± 0.15	2.01 ± 0.018	1.55 ± 0.004	4.42 ± 0.028	1.54 ± 0.013	1.62 ± 0.004
Na	0.547 ± 0.014	0.54 ± 0.03	2.31 ± 0.005	0.85 ± 0.005	7.37 ± 0.074	0.52 ± 0.002	0.57 ± 0.004

NIST SRM 1646과 NIST SRM 2704를 이용하여 시료를 전처리 했을 경우 그 실험 값과 확인된 값 사이의 상대오차범위가 모든 측정원소들을 고려했을 때 시료 전처리 방법 #4에서는 각각 3.6~17.5%와 4~23%로 그리고 시료 전처리 방법 #5에서는 각각 5.5~17.5%와 2.2~19.2%로, 평균적인 오차범위로 시료전처리 방법 #4가 비교적 시료전처리 방법 #5보다 작다. 그러므로 시료 전처리 방법 #4가 다양한 sediment 시료 전처리에 적합한 방법임을 알 수 있었다. 따라서 ICP-AES를 위해 앞서 시행한 선행연구와 연구 결과를 보았을 때 sediment 시료 속에 있는 주요 원소 (Al, Ca, Mg, Fe, K)의 측정에는 시료 전처리 방법 #4가 가장 훌륭한 방법임을 알 수 있었다. 반면에 중성자 방사화 분석법을 이용한 표준물질 (NIST SRM 1646, NIST SRM 2704)의 측정 결과는 <Table 2>와 <Table 3>에서 보여 주듯이 NIST SRM 1646에서는 2.9~11.9%, NIST SRM 2704에서는 0.05~7.0%로 비교적 낮은 상대오차 범위를 가짐을 알 수 있었다. 그 다음으로 sediment 시료 속의 미량 무기원소(As, Cr, Pb, Se, Co, Ge, Ce, U) 분석을 위하여 ICP-AES를 이용한 분석법과 원자화 방사화 분석법의 두 가지 분석방법을 이용하였다. 우리는 ICP-AES를 이용한 분석방법에서 sediment 시료 속에 미량으로 존재하는 원소분석을 하기 위하여 시료 전처리 방법 #4를 이용하였고, 그 결과 값을 <Table 4>에 나타내었다. NIST SRM 1646a 표준물질을 이용하여 실험한 결과에서 볼 수 있듯이 sediment 시료 속에 미량으로 존재하는 원소(As, Pb, Se, Co, U)들에 대해서는 그 확인된 값과 실험 값 사이에는 상대 오차가 9.2~31750%로 매우 큼을 알 수 있었다. 그러나 Cr의 경우 그 상대오차가 9.2%로 다른 미량원소들에 비해 비교적 낮은 상대오차 값을 나타내었다. 이러한 큰 상대오차 값의 요인으로는 시료 전처리 과정에서 사용된 산(HNO₃, HF, H₃BO₃, HCl)들 속에 있는 불순물로 인한 요인과 sediment 시료 속의 복잡한 모체에 의한 요인을 예상할 수 있었다. 그리고 <Table 4>에서 보여주듯이 중성자 방사화 분석법을 이용하여 sediment 시료 속에 있는 미량 원소 측정 결과를 보면 그 표준물질의 확인된 값과 실험 값의 상대오차 값이 NIST SRM 1646의 경우 2.2~28.3%로, NIST SRM 2704의 경우 0.03~16.4%로 비교적 작다. 따라서 sediment 시료 속에 존재하는 미량 원소들의 측정에는 ICP-AES에 의한 분석 방법보다 중성자 방사화 분석법으로 측정하는 방법이 더 적합함을 알 수 있었다. 지금까지 sediment 표준물질을 이용하여 ICP-AES 분석 방법에 의한 결과와 중성자 방사화 분석에 의하여 얻어진 분석결과를 통하여 두 방법의 원소 분석 능력과 정확도를 점검하였다. 이를 통하여 ICP-AES에 의한 방법의 시료 전처리 과정의 중요성을 인식하고 여러 가지 시료 전처리 과정들 중에서 가장 훌륭한

<Table 4>Analytical Results of NIST SRM 1646a, 1646, 2704

Element	NIST SRM 1646a		NIST SRM 1646		NIST SRM 2704	
	Certified Value ($\mu\text{g/mL}$)	Exp. Value (ICP-AES)	Certified Value ($\mu\text{g/mL}$)	Exp. Value (NAA)	Certified Value ($\mu\text{g/mL}$)	Exp. Value (NAA)
As	6.23 \pm 0.21	280.39 \pm 9.25	11.6 \pm 1.3	10.5 \pm 1.99	23.4 \pm 0.8	19.2 \pm 2.2
Cr	40.9 \pm 1.9	37.14 \pm 0.69	76 \pm 3	77.7 \pm 4.4	135 \pm 5	136 \pm 8.7
Pb	11.7 \pm 1.2	142.18 \pm 3.24				
Se	0.193 \pm 0.028	61.47 \pm 2.58	(0.6)	1.74 \pm 0.25	1.12 \pm 0.05	2.39 \pm 0.36
Co	5	24.63 \pm 0.67	10.5 \pm 1.3	9.94 \pm 0.49	14.0 \pm 0.6	14.0 \pm 0.5
Ge		27.30 \pm 1.25				
Ce	34	65.24 \pm 3.61	(80)	70.3 \pm 3.6	60.2 \pm 5.4	70.3 \pm 3.6
U	2.0	133.24 \pm 2.83		5.48 \pm 0.80	(3.13)	3.61 \pm 0.69

Digestion Method : 0.1g sample + 2mL HNO₃ + 2mL HF + 3mL HCl + 1.0g H₃BO₃

통한 방법을 찾고 그 훌륭한 방법과 중성자 방사화 분석법을 이용하여 서·남해안 지역의 갯벌들 속에 존재하는 무기원소들(Al, Ca, Fe, As, Cr, Se, Co, Pb, Ce, U)을 비교 분석하였다. 서·남해안 갯벌 시료들로는 강진, 신안군 압해도 북구리, 신안군 압해도 구로리, 그리고 무안군 연안 등지의 갯벌을 해안선에 각 지점을 정하여 그 각 지점에서 해안으로부터 100m 간격으로 시료를 30여개 채취하였다. 그 결과 값을 <Table 5>, <Table 6> 그리고 <Table 7>에 나타내었다. Al, Fe 등 갯벌시료에 존재하는 주요 원소에 대해서는 ICP-AES를 이용한 분석법과 중성자 방사화 분석법으로 측정된 결과값들이 비교적 비슷하게 나타났다. 그리고, 비록 갯벌시료 속에 $100\mu\text{g}/\text{mL}$ 내외로 들어 있는 Ce, Cr의 경우에서도 두 분석법으로 측정된 값들 사이에 비교적 근사한 결과를 나타내었다. 그러나 앞서 설명한 바와 같이 sediment 시료 속에 존재하는 미량 원소(As, Co, Se, U 등)의 측정에는 ICP-AES를 이용한 분석법보다는 중성자 방사화 분석법이 더 훌륭한 방법임을 알 수 있었는데 그 결과 값에서도 보듯이 As를 비롯한 Co, Se, U 그리고 Ca 에서도 ICP-AES를 이용한 분석결과와 중성자 방사화 분석법을 이용한 결과 값이 상당히 큰 차이를 보여 주고 있다. 그 이유는 ICP-AES에 의한 결과는 시료전처리 과정에서 사용된 산(HNO_3 , HF, H_3BO_3 , HCl)들 속에 있는 불순물로 인한 요인과 sediment 시료속의 복잡한 모체에 의한 영향 때문에 NAA법의 결과와 일치하지 않는다. 즉 ICP-AES의 경우 미량원소 분석시 모체에 의하여 플라즈마의 온도 및 전자밀도가 크게 영향을 받게 되고 따라서 분석결과 또한 영향을 받는다는 것이다. 특히 이 결과에서는 Ca의 경우 ICP-AES를 이용한 분석 결과 값과 중성자 방사화 분석법을 이용한 결과 값 사이의 오차가 크게 나타났는데 그 이유는 갯벌 시료 속에 존재하는 모체효과 때문이라고 예상하고 있다. 또한 중성자 방사화 분석법으로 측정 불가능한 Pb의 경우 ICP-AES를 이용한 분석방법은 <Table 4>에서 볼 수 있듯이 낮은 분석 정확도로 인해 갯벌 시료에서의 분석결과를 신뢰 할 수 없었다. 이 연구에서의 Pb에 대한 부정확한 결과에 대한 조사는 현재 진행중에 있다. 따라서 Pb를 제외한 다른 원소에 대해 좋은 분석 정확도를 갖는 중성자 방사화 분석법이 모체가 복잡한 갯벌시료의 분석에서 시료전처리 과정이 복잡하고 분석 정확도가 낮은 ICP-AES를 이용한 분석법보다 우수함을 알 수 있었다. 이 연구를 통해서 우리는 중성자 방사화 분석법을 이용하여 갯벌 내에 있는 유해한 원소 및 유용한 원소들을 정밀 분석함으로써 유용한 자원 발굴에 대한 과학적 자료를 제공할 뿐만 아니라 유해한 원소들에 대한 정량적 자료로서 환경관련 기관들 및 산업체와 학계 등에서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

<Table 5> ICP-AES 에 의한 분석법과 NAA 에 의한 분석법을 이용하여 갯벌시료 분석결과 비교

단위 $\mu\text{g/mL}$

		Al	Ca	U	As	Ce	Co	Cr	Fe	Se	Pb
#1	ICP-AES	86490 ± 866	5805 ± 34	292.0 ± 15.5	251.36 ± 18.34	126 ± 14	34.6 ± 2.0	85 ± 4	40728 ± 385	150.8 ± 13.0	212.8 ± 14.2
	NAA	94990 ± 1092	8024 ± 687	2.8 ± 0.8	11.50 ± 0.40	103 ± 1	15.7 ± 0.2	79 ± 1	42435 ± 564	1.7 ± 0.5	±
#2	ICP-AES	87769 ± 852	5872 ± 37	283.0 ± 3.4	262.86 ± 8.60	133 ± 9	34.4 ± 1.1	78 ± 2	39568 ± 273	158.5 ± 9.8	212.8 ± 8.5
	NAA	93110 ± 1080	10111 ± 842	2.8 ± 0.7	12.80 ± 0.50	114 ± 1	16.4 ± 0.3	81 ± 2	43323 ± 780	1.4 ± 0.7	±
#3	ICP-AES	86519 ± 246	5812 ± 35	260.6 ± 5.5	251.02 ± 8.01	110 ± 8	32.2 ± 1.1	74 ± 3	38291 ± 264	154.4 ± 7.2	207.9 ± 6.8
	NAA	92370 ± 1413	10757 ± 896	3.4 ± 0.7	14.70 ± 0.50	102 ± 1	14.2 ± 0.3	81 ± 2	39527 ± 620	1.9 ± 0.6	±
#4	ICP-AES	90277 ± 603	5319 ± 47	273.3 ± 4.3	272.71 ± 8.07	128 ± 7	37.0 ± 1.2	87 ± 2	37310 ± 284	182.5 ± 2.0	214.4 ± 0.9
	NAA	91210 ± 401	12267 ± 943	2.3 ± 0.7	9.30 ± 0.30	104 ± 1	14.9 ± 0.2	74 ± 1	37673 ± 573	0.6 ± 0.3	±
#5	ICP-AES	77991 ± 207	8656 ± 41	238.4 ± 8.3	250.06 ± 9.42	120 ± 9	33.6 ± 1.5	76 ± 3	32289 ± 250	155.8 ± 9.0	192.3 ± 6.0
	NAA	83430 ± 484	13246 ± 883	2.9 ± 0.7	8.30 ± 0.40	97 ± 1	13.5 ± 0.2	73 ± 1	33011 ± 528	0.8 ± 0.4	±
#6	ICP-AES	79285 ± 944	8549 ± 59	219.2 ± 16.9	266.57 ± 9.98	74 ± 11	31.3 ± 1.3	81 ± 3	33106 ± 195	133.9 ± 10.2	171.6 ± 10.7
	NAA	89650 ± 1121	12090 ± 989	1.8 ± 0.7	7.50 ± 0.40	99 ± 1	15.3 ± 0.3	79 ± 1	37562 ± 635	1.9 ± 0.5	±
#7	ICP-AES	90391 ± 525	8862 ± 51	235.1 ± 12.3	271.98 ± 16.27	78 ± 14	30.8 ± 2.5	80 ± 4	36668 ± 238	121.0 ± 6.9	168.6 ± 5.3
	NAA	88060 ± 1030	11200 ± 908	3.3 ± 0.7	6.70 ± 0.50	100 ± 1	15.0 ± 0.3	81 ± 1	38428 ± 588	0.7 ± 0.3	±
#8	ICP-AES	88620 ± 930	9385 ± 68	233.2 ± 1.4	262.80 ± 13.36	81 ± 6	28.8 ± 0.8	76 ± 1	35882 ± 292	115.3 ± 6.4	157.0 ± 3.4
	NAA	83150 ± 865	10744 ± 822	2.2 ± 0.4	6.00 ± 0.30	99 ± 1	14.9 ± 0.2	76 ± 1	37440 ± 614	±	±
#9	ICP-AES	93917 ± 1187	9755 ± 42	302.0 ± 28.2	281.69 ± 15.93	99 ± 9	33.2 ± 1.2	89 ± 2	40500 ± 343	136.8 ± 7.7	168.7 ± 6.0
	NAA	89040 ± 356	12172 ± 778	1.5 ± 0.6	7.70 ± 0.50	96 ± 1	15.6 ± 0.3	79 ± 1	40637 ± 687	0.8 ± 0.2	±
#10	ICP-AES	92673 ± 1550	8419 ± 8	316.1 ± 8.8	273.32 ± 0.24	96 ± 2	33.3 ± 0.3	110 ± 2	42342 ± 178	137.6 ± 2.1	192.0 ± 3.1
	NAA	94260 ± 943	13028 ± 1125	3.6 ± 0.7	10.90 ± 0.50	101 ± 1	16.8 ± 0.3	94 ± 1	42902 ± 635	0.9 ± 0.4	±

<Table 6> ICP-AES 에 의한 분석법과 NAA 에 의한 분석법을 이용하여 갯벌시료 분석결과 비교

단위 $\mu\text{g/mL}$

		Al	Ca	U	As	Ce	Co	Cr	Fe	Se	Pb
#2-1	ICP-AES	85834 ± 171	9644 ± 35	281.30 ± 13.10	275.28 ± 9.72	81.94 ± 9.66	34.86 ± 0.14	80.6 ± 3.9	35100 ± 113.93	127.59 ± 10.42	177.4 ± 5.1
	NAA	78871 ± 434	15032 ± 924	4.59 ± 0.80	8.12 ± 0.61	141.6 ± 0.65	13.69 ± 0.15	83.4 ± 0.9	36444 ± 167.64	0.62 ± 0.25	±
#2-2	ICP-AES	90719 ± 273	9816 ± 33	277.59 ± 14.44	272.34 ± 5.19	75.32 ± 2.23	34.72 ± 0.96	74.7 ± 2.0	37205 ± 305.80	121.94 ± 6.72	170.8 ± 0.6
	NAA	84043 ± 487	13680 ± 802	0.83 ± 0.51	9.59 ± 0.76	126.10 ± 0.69	14.59 ± 0.15	86.9 ± 1.0	38135 ± 175.42	0.64 ± 0.20	±
#2-3	ICP-AES	71663 ± 213	9597 ± 52	182.64 ± 3.25	292.15 ± 9.77	59.34 ± 3.24	28.96 ± 0.32	44.4 ± 0.4	19293 ± 56.25	106.10 ± 2.55	161.1 ± 3.0
	NAA	61011 ± 372	14375 ± 782	2.34 ± 0.78	6.65 ± 0.59	164.79 ± 0.73	8.50 ± 0.12	68.0 ± 0.8	22352 ± 129.64	0.57 ± 0.17	±
#2-4	ICP-AES	76492 ± 486	9748 ± 42	209.51 ± 6.07	297.88 ± 17.63	75.32 ± 11.59	33.11 ± 1.91	55.1 ± 2.6	22890 ± 17.35	126.19 ± 10.99	164.6 ± 7.1
	NAA	64409 ± 522	14661 ± 990	7.52 ± 1.23	6.03 ± 0.60	157.07 ± 0.72	8.87 ± 0.12	77.0 ± 0.9	24096 ± 132.53	0.33 ± 0.12	±
#2-5	ICP-AES	81336 ± 282	10353 ± 36	284.30 ± 6.39	285.65 ± 12.06	99.75 ± 6.37	38.75 ± 0.66	80.4 ± 1.2	20993 ± 131.77	147.85 ± 2.36	174.4 ± 6.3
	NAA	79707 ± 391	14020 ± 781	3.50 ± 0.93	8.42 ± 0.68	105.20 ± 0.60	14.07 ± 0.15	84.5 ± 0.9	37172 ± 167.27	1.65 ± 0.35	±
#2-6	ICP-AES	71437 ± 198	9636 ± 85	216.47 ± 20.16	243.87 ± 19.26	114.69 ± 16.64	32.64 ± 2.44	72.1 ± 3.0	17620 ± 178.23	112.73 ± 15.68	159.2 ± 15.5
	NAA	75018 ± 420	13680 ± 834	5.27 ± 1.52	6.86 ± 0.54	119.54 ± 0.66	11.99 ± 0.14	75.5 ± 0.9	31479 ± 151.10	0.79 ± 0.28	±
#2-7	ICP-AES	67340 ± 59	5595 ± 26	218.68 ± 10.94	264.61 ± 16.60	112.23 ± 15.64	35.11 ± 1.62	65.9 ± 2.7	15613 ± 58.32	120.29 ± 11.46	165.1 ± 7.8
	NAA	70606 ± 395	13873 ± 846	3.37 ± 1.27	8.49 ± 0.72	109.34 ± 0.60	13.46 ± 0.14	71.6 ± 0.8	29650 ± 145.28	1.67 ± 0.37	±
#2-8	ICP-AES	81921 ± 560	5935 ± 15	256.14 ± 10.44	240.54 ± 6.02	110.52 ± 3.62	36.22 ± 0.90	83.7 ± 1.9	20871 ± 125.79	124.84 ± 5.55	162.0 ± 2.6
	NAA	84110 ± 370	12675 ± 816	4.74 ± 1.58	9.95 ± 0.72	98.74 ± 0.58	13.93 ± 0.15	78.9 ± 0.9	36327 ± 163.47	1.34 ± 0.39	±
#2-9	ICP-AES	68719 ± 599	5256 ± 26	221.17 ± 10.85	241.18 ± 11.16	108.29 ± 13.69	33.36 ± 1.47	71.9 ± 2.1	16607 ± 85.33	117.76 ± 6.66	151.7 ± 6.6
	NAA	77856 ± 405	13935 ± 803	4.74 ± 1.58	9.95 ± 0.72	101.65 ± 0.59	11.79 ± 0.13	74.5 ± 0.8	30741 ± 150.63	0.80 ± 0.18	±
#2-10	ICP-AES	67001 ± 391	6698 ± 57	221.69 ± 6.48	286.52 ± 19.24	53.47 ± 8.87	29.77 ± 0.77	54.1 ± 1.2	15582 ± 91.76	109.21 ± 9.63	165.9 ± 5.5
	NAA	73007 ± 416	10387 ± 654	2.92 ± 0.87	4.98 ± 0.45	92.53 ± 0.56	10.45 ± 0.13	67.3 ± 0.8	27467 ± 142.83	0.68 ± 0.26	±

<Table 7> ICP-AES 에 의한 분석법과 NAA 에 의한 분석법을 이용하여 갯벌시료 분석결과 비교

단위 $\mu\text{g/mL}$

		Al	Ca	U	As	Ce	Co	Cr	Fe	Se	Pb
#2-11	ICP-AES	73452 ± 348	6602 ± 29	249.20 ± 6.69	305.72 ± 14.34	74.1 ± 8.94	30.70 ± 0.88	58.1 ± 1.8	30340 ± 240.96	115.93 ± 6.85	127.7 ± 3.8
	NAA	76793 ± 630	12327 ± 970	2.00 ± 0.90	8.65 ± 0.68	98.2 ± 0.59	11.70 ± 0.13	79.4 ± 0.9	31319 ± 156.59	1.54 ± 0.28	±
#2-12	ICP-AES	76837 ± 1435	6403 ± 26	275.71 ± 10.11	324.25 ± 21.07	83.7 ± 13.88	33.69 ± 1.79	70.8 ± 3.6	32894 ± 235.93	126.28 ± 11.76	129.0 ± 6.4
	NAA	75493 ± 445	11631 ± 785	4.13 ± 0.93	7.56 ± 0.57	98.0 ± 0.59	12.51 ± 0.14	73.5 ± 0.9	32164 ± 160.82	1.43 ± 0.33	±
#2-13	ICP-AES	67843 ± 197	7287 ± 26	215.33 ± 2.38	293.39 ± 13.98	78.4 ± 9.20	27.36 ± 1.34	46.6 ± 0.6	25887 ± 121.36	107.35 ± 5.27	101.8 ± 2.4
	NAA	64067 ± 340	9483 ± 657	7.35 ± 1.60	5.71 ± 0.58	97.3 ± 0.62	9.98 ± 0.12	66.4 ± 0.8	25819 ± 136.84	1.52 ± 0.31	±
#2-14	ICP-AES	76094 ± 910	7535 ± 38	245.54 ± 1.63	294.00 ± 11.67	86.0 ± 6.62	31.86 ± 0.92	47.7 ± 1.3	30273 ± 126.80	124.31 ± 4.07	105.9 ± 2.0
	NAA	72902 ± 357	14151 ± 974	5.23 ± 0.99	6.66 ± 0.60	132.9 ± 0.65	11.71 ± 0.13	58.2 ± 0.8	28665 ± 149.06	0.88 ± 0.33	±
#2-15	ICP-AES	84356 ± 652	7358 ± 20	274.02 ± 6.11	297.05 ± 11.58	90.1 ± 6.62	35.74 ± 0.88	61.5 ± 0.9	36219 ± 59.19	127.92 ± 6.42	103.9 ± 3.4
	NAA	81386 ± 358	13602 ± 860	6.19 ± 1.07	8.90 ± 0.75	150.8 ± 0.69	14.85 ± 0.15	72.6 ± 0.9	36252 ± 166.76	1.62 ± 0.37	±
#2-16	ICP-AES	87308 ± 1616	6465 ± 51	319.88 ± 23.91	298.38 ± 15.14	108.2 ± 9.71	40.44 ± 1.46	73.0 ± 2.5	38071 ± 269.63	142.46 ± 7.18	102.8 ± 4.4
	NAA	86587 ± 476	12721 ± 943	4.35 ± 0.92	7.92 ± 0.59	107.4 ± 0.62	17.14 ± 0.16	79.3 ± 0.9	38969 ± 171.47	0.88 ± 0.24	±
#2-17	ICP-AES	67688 ± 971	5969 ± 26	211.14 ± 3.71	299.37 ± 6.98	66.2 ± 7.15	28.26 ± 0.97	45.3 ± 0.8	21324 ± 214.83	120.08 ± 1.97	78.9 ± 2.2
	NAA	67844 ± 434	12227 ± 857	3.75 ± 0.68	5.29 ± 0.75	82.4 ± 0.54	7.78 ± 0.11	59.3 ± 0.8	21700 ± 125.86	1.23 ± 0.32	±
#2-18	ICP-AES	86956 ± 1047	5321 ± 23	293.39 ± 14.63	280.89 ± 9.18	89.8 ± 8.67	35.85 ± 1.37	69.6 ± 2.7	37725 ± 231.06	124.55 ± 7.73	76.7 ± 2.2
	NAA	81605 ± 269	10820 ± 691	5.40 ± 1.69	11.60 ± 0.73	97.9 ± 0.58	13.87 ± 0.15	75.9 ± 0.9	35117 ± 165.05	1.41 ± 0.29	±
#2-19	ICP-AES	71408 ± 799	5906 ± 57	212.26 ± 5.52	285.74 ± 11.16	62.4 ± 6.01	30.30 ± 0.77	49.9 ± 0.7	25617 ± 135.46	114.56 ± 4.66	64.0 ± 0.5
	NAA	66800 ± 374	13757 ± 880	2.67 ± 0.91	5.88 ± 0.74	98.0 ± 0.59	9.49 ± 0.12	66.2 ± 0.8	26215 ± 141.56	0.85 ± 0.17	±
#2-20	ICP-AES	78831 ± 385	5931 ± 30	285.46 ± 4.50	303.16 ± 6.14	101.3 ± 9.53	37.62 ± 0.90	68.3 ± 1.6	33793 ± 297.15	151.47 ± 9.35	76.5 ± 4.7
	NAA	79678 ± 406	11655 ± 914	5.30 ± 0.94	9.78 ± 0.72	106.6 ± 0.59	13.42 ± 0.14	74.5 ± 0.9	33898 ± 159.32	1.31 ± 0.39	±

제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도

이 연구는 중성자 방사화 분석법(NAA)과 유도결합 플라즈마 원자방출 분광법(ICP-AES)을 이용하여 갯벌 환경 시료 내에 있는 무기원소들을 분석하였다. 비파괴 분석법이면서 시료 전처리과정을 하지 않는 중성자 분석법이 파괴 분석법이면서 복잡한 시료 전처리 과정을 해야하는 ICP-AES 보다 그 분석 결과 값들이 우수함을 입증하였다. 따라서 시료가 비파괴되면서 무기원소 분석을 해야한다면 이 NAA 분석 방법은 그 역할이 매우 크다고 할 수 있다. 따라서 앞으로 환경시료 분석을 위하여 그 NAA의 활용도가 점점 확대될 것으로 기대 된다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

이 연구에서 두 가지의 분석방법(NAA와 ICP-AES)을 이용하여 깃벌과 같은 시료를 분석한 결과 시료 전처리 과정을 하지 않는 NAA방법이 복잡한 시료전처리 과정을 해야하는 ICP-AES 방법보다 우수함이 입증되었다. 특히 미량원소 분석인 경우에 NAA 방법은 ICP-AES 보다 훨씬 우수하였다. 따라서 모체가 복잡한 경우에 NAA 방법은 미량 무기원소 분석에 매우 유용함이 입증되었으므로 앞으로 모체가 복잡한 환경시료들인 경우에 NAA 방법이 더욱 활용되어질 것이다. 따라서 이 선행 연구에서 시간의 제약 때문에 많은 다양한 깃벌시료를 분석하지 못하였다. 특히 NAA는 하나로써 이용해야 하는 시간적 제약 때문에 분석시간이 많이 소요되었다. 따라서 앞으로 NAA를 이용하여 깃벌시료들의 분석을 통한 환경오염의 평가 및 유용 자원의 측정 연구를 할 필요성이 있다. 그리고 깃벌이외의 여러 다양한 환경 시료 분석에 NAA는 매우 유용하게 사용되어 질 것이고 그 역할이 매우 중요하게 될 것이다.

제 6 장 참고 문헌

1. Akbar Montaser and D. W. Golightly, *Inductively Coupled Plasmas in Analytical atomic Spectrometry*, Second Edition.
2. T. Gasparics, I. Csato, and Gy. Zaray, *Analysis of Antarctic Marine Sediment by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission And Total Reflection X-Ray Fluorescence Spectrometry*, *J. Microchem.* 1997, 55, 56, 63
3. H. M. Kingston, J. B. Jassie, *Introduction to microwave Sample Preparation Theory and Practice*, American Chemical Soc., Washington, DC, 1988.
4. P. J. Lamothe, T. L. Fries, *J. Consul, J. Anal. Chem.*, 1986, 58, 1881.
5. R. A. Nadkami, *Anal. Chem.*, 1984, 56, 2233
6. M. Thompson, J. N. walsh, *A Handbook of Inductively Couple Plasma Atomic Spectrometry*, Chapman & Hall, New York, 1983
7. J. B. Worthington, H. L. Pardue, *Anal. Chem*, 1970, 42, 1157
8. P. a. Rodrigerez, H. L. Pardue, *Anal. Chem.*, 1969, 41, 1376
9. T. Nakahara, T. Wasa, *Microchem. J.* 1994, 49, 202
10. M. Thompson, B. Pahlavanpour, *Anal. Chim, Acta.* 1979, 109, 251