

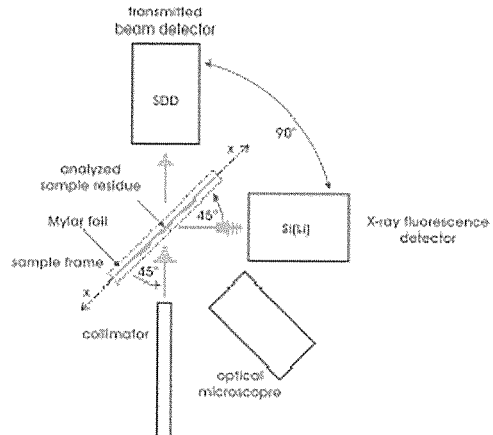
IAEA의 X-선 형광분석(XRF) 연구활동

XRF¹⁾분야에서의 최근 연구 활동과 그 결과의 몇 가지 예를 소개한다.

1. 미량 샘플의 원소 성분 농도 결정

미세한 분말 형태의 샘플의 정량분석을 위한 절차가 개발되고 있다. 1 mg미만 샘플의 원소 성분 농도를 결정하기 위한 처리과정은 콜리메이션된 1차 X-선 빔과 주사 X-선 스펙트로미터를 이용한다. 이 절차는 후보 기준물질 (candidate reference materials) 의 균질성의 검사와 화학분석을 수행할 물질의 최소량을 결정짓는데 유용한 것으로 밝혀졌다.

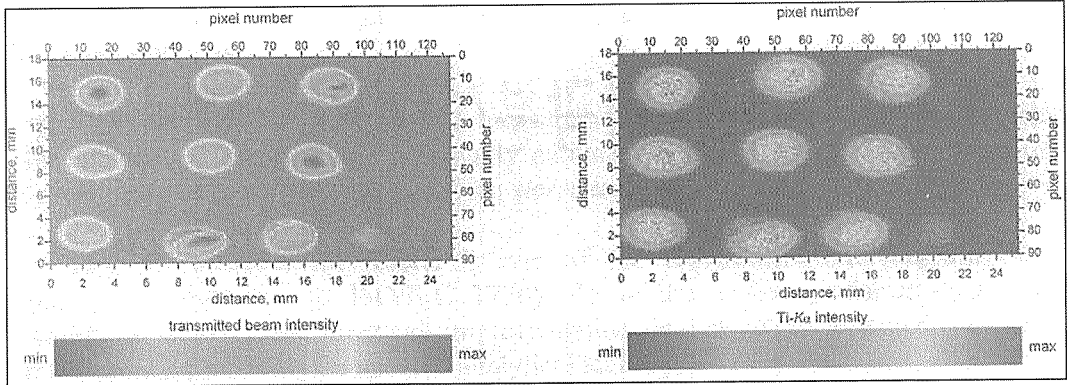
이 분석방법은 3 kW, Mo 양극 X-선 튜브, 액체질소 냉각 Si (Li) 검출기, 열전기냉각 실리콘편류검출기 (silicon drift detector; SDD), 컴퓨터 제어 샘플 정위대 (sample positioning stage) 등으로 구성된 XRF 스펙트로미터를 이용한다. 1차 빔은 은으로 된 콜리메이터를 통해 직경 0.6 mm (FWHM) 까지의 좁은 빔으로 조정된다. X선관은 20 kV, 5



〈그림 1〉 측정 배열의 개요. SDD는 투과된 빔의 에너지 분산 스펙트럼을 측정하는데 사용되며 Si (Li) 검출기는 건조된 미량 샘플의 주어진 위치로부터 발생하는 형광 X-선을 수집한다.

mA로 작동되며 샘플은 포인트 당 생시간으로 0.3 ~ 1초 간격으로 스캔된다. 측정 배열의 개요를 〈그림 1〉에 나타내었다. 투과된 빔 강도와 Ti 피크의 강도의 분포를 비트맵 이미지의 형태로 〈그림 2〉에 보였다.

1) X-ray fluorescence



〈그림 2〉 건조된 미량샘플을 포함하는 스캔 영역에서의 투과된 빔의 강도와 Ti-K α 신호의 분포
 9개의 큰 점은 건조된 샘플의 분취량에 해당한다.
 오른쪽 밑에 희미하게 보이는 점은 건조된 표준 용액의 점이다.
 스캔된 영역의 넓이는 25.4×18mm² 이다(128×91 픽셀).

〈표 1〉 펄프산업에서 발생하는 폐수의 수질 특성

원소	미량시료(~1 mg) 중 농도 ^{a)}	표준물질의 대량농도 ^{a)}
	[wt. %]	
Ti	0.884(0.082)	0.82(0.055)
Fe	7.91(0.24)	6.8(0.3)
$\mu\text{g/g}$		
Cr	352(22)	288(50)
Mn	1757(58)	1670(90)

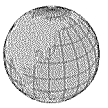
a) 괄호내 값은 표준편차임.

누적 스펙트럼은 분석된 샘플의 원소 농도를 결정하는데 사용된다(그 결과의 예를 〈표 1〉에 제시함). 자세한 정보는 Dariusz Wegrzynek (DWegrzynek@iaea.org) 으로부터 얻을 수 있다.

2. 분석측정의 표준소급성

XRF 그룹이 현재 기울이고 있는 노력 중의

하나는 XRF 기술의 분석측정 표준소급성을 위한 절차 개발을 들 수 있다. 이 주제에 대한 견해들은 다음과 같다. 임의의 분석기술도 결과를 생산해낼 수 있지만 측정 결과를 신뢰할 수 있으려면 공인되고 입증된 표준에 비교될 수 있어야 한다. 따라서 표준소급성이란 어떤 정량분석의 결과가 국제표준단위(SI단위)에 소급될 수 있도록 절차를 개발하고 적용하는 과정과 관계된다. 이러한 절차들은 분석 시



과 측정 목적이 서로 다른 믿을만한 기관에서 개발되어야 할 것이다.

측정학의 국제 기본용어에서는 표준의 소급성을 다음과 같이 정의한다.

“...표준 소급성은 주로 국가나 국제 표준과 같은 명시된 불확도를 갖는 명시된 기준과 단절 없는 비교를 통해 연계되는 어떤 측정 결과의 속성 또는 어떤 표준의 값이다.”

측정결과와 표준 소급성은 ISO/IEC 17205에 의한 측정인증을 준비하는 필수사항 중의 하나이다. 표준 소급성에 대해 이용 가능한 몇몇 지침이 있으나 실무적용은 이들 지침들로부터 도출되어야 하며 구체적인 분석 기술과도 조화시켜야 한다.

〈표준소급성의 요소〉

표준 소급성의 확립을 위한 요구사항을 충족시키기 위해서는 다음과 같은 조건들이 만족되어야 한다.

- 1) 분석결과가 알려진 값(참조 표준) 또는 인정된 방법(참조 방법)과 연계되어야 한다.
 - 명시된 기준
- 2) 표준 소급성은 측정 크기나 단위에 까지 표준 또는 방법의 소급체계를 따라야 한다.
 - 단절 없는 비교 연계
- 3) 사용된 측정과 방법의 중요한 단계마다 불확실성의 관리가 수행되어야 한다.
 - 명시적 불확도. 나아가 표준소급성은 품질관리 체계의 본질적 부분이므로 다음과 같아야 한다.
- 4) 측정 조건, 교정 절차 그리고 계산은 명백하고 충분히 적시되고 기록되어야 한다.

- 5) 보완적 품질관리 절차의 실행에 대한 증거가 존재해야 한다(통계관리 차트, 상호 비교 시험의 참여, 실력 테스트와 같은 내,외부적 품질관리 관행)

교정은 표준소급성의 연계성이 성립되는 경로 중의 하나이다. 교정은 다음과 같은 목적을 위해 관심 샘플의 미지의 값을 알려진 값(표준)과 비교하는 작업이다.

- 장비의 정확한 기능을 보장(장비 교정)
- 분석기능자 정체파악을 위한 에너지 관계를 수립(에너지 교정)
- 분석기능자를 위한 강도의 관계를 수립(방법 교정)

교정의 품질은 분석 결과의 측정 불확도에 직접적으로 영향을 미친다. 더욱이 실제 상황을 대표하는 처리식(방법사양)의 옳음은 검증과 평가된 불확도를 통해 평가된다. 따라서 방법검증은 가능한 오차 원인의 평가 수단으로서의 역할을 하고, 또한 제거, 감축 및 수정을 통해 오차의 통제를 용이하게 한다.

검증은 방법의 범위, 정확도, 민감도, 변별도, 선형범위, 측정한도 등을 고려함으로써 이루어진다. 이러한 검증은 방법사양의 적절성을 확인하는데 도움을 준다.

방법 검증은 적절한 기준물질(reference material)에 대한 측정을 통해서 또는 신뢰할 만한 독립적인 방법의 결과와 비교함으로써 실현된다. 이것은 공인된 물질(certified material)의 결과 값이 개별적인 실험실 결과보다 더 높은 계량학적(meterological) 수준을 지닌다는 사실에 기인한다.

불확도란 측정결과에 수반되는 변수로서 측정대상으로부터 기인되는 것으로 간주 되는 측정치의 분산을 특성화한다. 불확도는 측정 및 분석 과정(불확도원)의 다양한 단계에서 오는 모든 불확실성 인자를 포괄한다. 불확도 평가 과정은 다음과 같은 과정들로 요약될 수 있다.

- 측정대상의 사양

이 단계에서는 측정대상을 명확히 표시하고 측정대상과 입력 변수들 간의 관계를 명확히 진술한다.

- 불확도원의 식별

앞서 언급한 입력 변수들의 불확도에 기여하는 모든 원인의 목록을 만들 필요가 있다. 또한 측정 방법 및 절차에 사용된 가정과 근사에도 주의해야 한다.

- 불확도 요인의 정량화

각각의 규명된 불확도원의 기여는 따로 평가하거나 기존의 데이터로부터 고려하여야 한다.

- 복합 불확도의 계산

전체적인 불확도는 평가된 중요한 불확실성 요인의 효과를 결합하여 계산되어야 한다.

분석 결과의 소급성 확립은 분석/교정 실험실의 품질체계 이행에서 중요한 부분을 구성한다. 소급성의 달성 및 증명은 측정결과를 다음과 같은 사실에 근거하여 신뢰할 수 있음을 의미한다. 측정값의 정확성이 인정된 국가 또는 국제 표준 값에 비견되며, 불확도의 정도가 제시되고 측정 결과가 재현 가능하다. 더 자세한 정보는 Samuel Akoto Bamford (S.A. Bamfordra@iaea.org)로부터 얻을 수 있다.

3. 현장 XRF 기술의 응용에 관한 연구협력 최종 회의

공동연구과제(Coordinated Research Project: CRP)의 아래에 “현장 XRF 기술의 응용”에 관한 연구협력 최종회의가 2003년 8월에서 12월 사이에 비엔나에서 개최되었다. 알바니아, 아르헨티나, 벨기에, 중국, 가나, 헝가리, 이탈리아, 파키스탄, 폴란드, 루마니아, 슬로베니아 공화국, 영국에서 온 참가자들은 CRP 연구 활동 및 결과를 검토하는데 있어 정량 및 보정 절차의 향상과 합금특성분석, 고철 분류, 미술품 비파괴검사, 토양 오니 및 암석 분석 등을 포함한 현장 응용기술의 조화된 운용 절차에 중점을 두었다. CRP의 결과를 수록한 기술 문서는 2004년 마지막 분기에 이용 가능할 것이다. 더 자세한 정보는 Andrzej Markowicz (A. Markowicz@iaea.org)로부터 얻을 수 있다.

4. 회원국의 X-선 형광분석

지난 몇 개월 동안 오스트리아, 그리스, 헝가리, 스페인으로부터 XRF와 그와 관련된 연구 활동 현황을 받았다. 원본에 근거한 짧은 정보 교환 내용을 아래에 제시하였다.

가. 오스트리아²⁾

샘플교환기를 갖춘 새로운 TXR³⁾ 진공함 개발

Atominstitut의 X-선 그룹은 TXRF에 사용되는 샘플교환기를 갖춘 새로운 진공함을 고



안하여 설치하였다. 주요 특징은 다음과 같다.

5.9 keV에서 140 eV에너지 분해능의 SDD를 내장한 소형의 편리한 디자인으로서 전기냉각으로 액체질소가 필요 없다. 진공함 내부에 설치된 12개 위치 트레이는 여러 개의 샘플을 다룰 수 있게 해준다. 다층 단색화장치를 이용한 단색 여기로 진공에서의 측정이 가능하다. 전체적인 시스템은 X-선 발생장치, 몰리브덴 양극의 X-선 튜브, 폐쇄 회로 냉각 시스템, 진공함, 단색화장치, 제어기와 수정반사

체를 포함한 12개의 샘플 교환기, 검출기, 증폭기, MCA를 포함하고 있다.

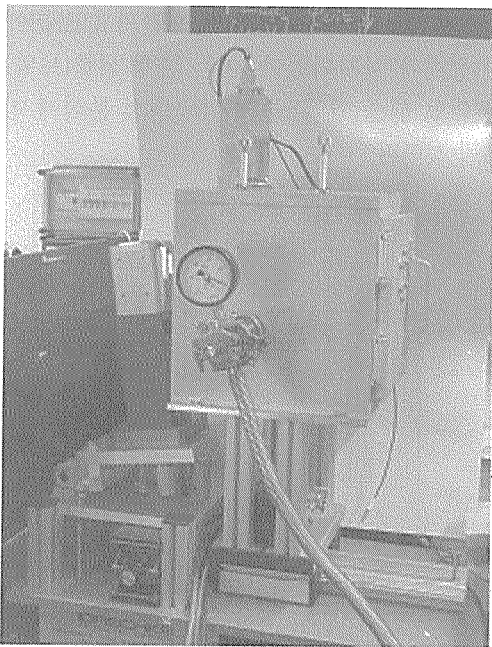
소프트웨어적으로 자동 측정 사이클이 가능하고 QXAS⁴⁾ 포맷으로 스펙트럼이 저장된다. 표준 구조는 몰리브덴 튜브를 사용하지만 낮은 원자번호의 원소에서 보다 효율적으로 여기가 가능한 구리나 크롬 양극의 X-선 튜브를 수용하도록 조정가능하다. <그림 3>에 발생장치와 PC를 제외한 전체 설비 배열을 보이고 있다 (WOBISTRAX로 불림). <그림 4>는 샘플교환기 부분이다.

WOBISTRAX의 성능을 <그림 5>에 예시하였는데 이는 900 pg의 루비듐 샘플의 스펙트럼으로 50 kV, 40 mA의 Mo-K α 선으로 여기하고 100초 측정된 것이다.

이 스펙트럼은 탁월한 백그라운드 조건을 보이고 있어 1000s로 외삽하여 QXAS로 피크를 분석하면 0.7 pg의 측정 한계를 얻는다.

<그림 6>은 10 pL의 NIST 1643c SRM⁵⁾ 실제 샘플의 스펙트럼을 보여주고 있는데 수용액 샘플은 반사체 위에 건조되었다. 미량 원소의 농도는 $\mu\text{g/L}$ 수준이다.

진공펌프 (rough pump) 로 얻는 10 mbar의 TXRF 챔버 내부의 진공은 2.96 keV의 Ar-K선을 Vh함하여 공기로부터 발생하는 백그라운드를 줄여 검출 한계를 보다 향상시켜준다. Na 이상의 낮은 원자번호의 원소들이



<그림 3> WOBISTRAX의 전체적인 개관

2) Atominsttitut, Vienna University of Technology, Vienna, Austria Contributors: C.Streli, P.Wobrauschek (wobi@ati.ac.at), N.Zoeger, G.Pepponi

3) Total reflection X-ray fluorescence

4) Quantitative X-ray Analysis System

5) 미국표준과학원(NIST)가 제공하는 분석표준물질(standard reference material)

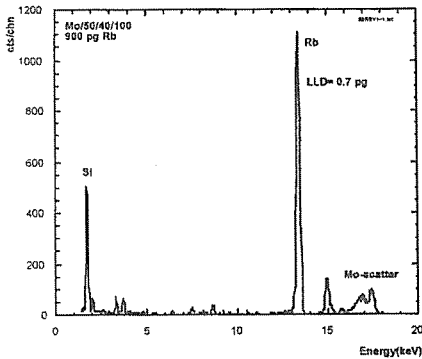


〈그림 4〉 WOBISTRAX의 샘플 교환기

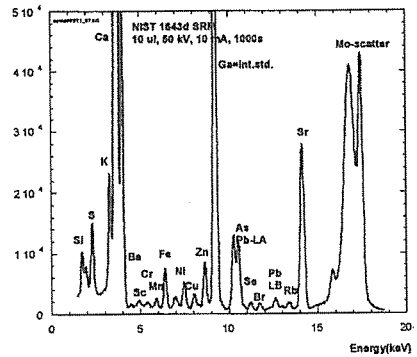
측정될 수 있는데 이는 공기 중의 낮은 원자번호 원소로부터 발생하는 낮은 에너지의 형광 X-선의 흡수가 없고 SDD 검출기도 8pm 베릴륨 창을 사용하여 흡수를 줄여주기 때문이다.

그러나 보다 효과적인 여기를 위해서는 크롬 양극의 X-선 튜브를 사용해야 한다.

이 경우 초박창 (ultra thin window) 검출기를 이용하면 검출 가능한 원소의 범위를 산소까지 내릴 수 있다. WOBISTRAX는 오스트리아 안전 규정의 완전방호 요건을 만족하며 관리구역 밖에서도 운영될 수 있다. IAEA TIC 사업으로 자메이카의 킹스톤의 ICENS에 이 장비가 설치되었다. 이는 환경 샘플(토양)과 의료 샘플(혈액) 중의 미량원소 분석에 이용될 것이다.

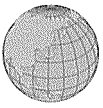


〈그림 5〉 900 pg 의 루비듐의 스펙트럼. 50 kV, 40 mA 몰리브덴 여기, 1000s 측정에서 0.7 pg의 검출한계를 보임.



〈그림 6〉 10 μL의 NIST 1543 물 샘플의 스펙트럼

6) Institute of Nuclear Physics, NCSR "Demokritos", Athens, Greece Contributor : Andreas Karydas (karydas@inp.demokritos.gr)



나. 그리스⁶⁾

그리스 국립연구단지 (NCSR) Demokritos 의 핵물리연구소 (INP) 물질분석실 (LMA) 은 지난 몇 년간 특별히 문화재의 비파괴적 분석에 사용될 휴대용 XRF장비의 개발, 평가, 분석적 응용에 활발하게 관여해 왔다.

문화재의 보존 및 유지 연구는 현재 국내외 문화단체의 주된 관심사이다. 그리스와 그 이외 지역에서의 고고학자, 보존 및 연대측정 학자들이 갖는 강한 관심과 동기부여로 인해 LMA, 박물관(아테네의 Benaki박물관)의 고고학자/보존 과학자들, Thera재단, 문화보존부, 그리스내의 외국 학교들 (American School of Classical Studies, French School of Athens), 대학기관들 (Department of Conservation of Antiquities & Works of Art in the Technological Educational Institution of Athens, University of Cincinnati, Universite de Paris I, Pantheon Sorbonne), 민간기관 (THETIS, Thetis Authentics Science and Techniques for Art History Conservation Ltd), 그리고 여러 협회기관들을 연계하는 거대한 네트워크가 구축되어 왔다.

색깔 장식 세라믹 꽃병[1], 청동 조각물[3], 벽화에 쓰인 안료[4,5], 대리석 조각의 다채색 소재, 고대 금은 장신구[6], 보석, 로마시대 동전[7] 등을 포함하여 다양한 문화재/미술품들이 연구되었다.

현장 XRF 분석법의 연구와 분석적 응용은

현재까지 다음과 같은 사항에 집중되어 왔다.

- 1) 분석 및 민감도 범위를 향상시키기 위한 휴대용 XRF 장비의 최적 선정 및 결합
- 2) 다양한 문화재에서의 고고학적/보존학적 문제에 관한 구체적 답을 제시하기 위한 XRF 분석법의 잠재력 평가
- 3) 휴대용 장비 (XRD, PIXE⁷⁾-alpha) 에 근거하여 최근 개발된 분석 기술에 대한 현장 XRF 분석법의 보완적 역할
- 4) 교육과정을 통해 보존과학 분야에서 올바른 XRF분석법 사용의 확산

LMA는 다음과 같은 휴대용 XRF 스펙트로미터들을 고안, 개발하여 현장 연대측정 연구에 이용해 왔다.

1) 휴대형관여기 XRF 분석기

PIN 검출기 (XR-100T, Amptek Inc.), 125 mg 베릴륨 창을 가진 50 W의 Rh-양극 X-선 튜브 (Model XTF5011, Oxford), 데이터 획득을 위한 MCA (MCA8000A, Amptek Inc.) 등으로 구성되어 있다. 서로 다른 물질을 조합하여 끼워 넣음으로써 X-선 스펙트럼을 필터링할 수 있다. 두 개의 레이저 포인터가 설치되어 두 빔의 교차점이 입사 X-선과 검출기 축과의 교차점과 일치하도록 하고 있다. 스펙트로미터 헤드는 X-Y-Z 구동장치에 설치되어 X-Y 방향으로는 약 20 cm 정도 움직임이 가능하며, 반면 큰 물체(벽화의 안료, 대리석 또는 청동 조각상)를 분석할 수 있도록 수직 방향으로는 30 cm에

7) particle induced x-ray emission analysis

서 160 cm의 움직임이 가능하다.

- 2) 방사성동위원소 유발 휴대형 XRF (IXRF) PIN X-선 검출기 (XR100T, Amptek Inc)와 함께 Cd-109 와 Am-241의 두 방사선원이 포함되어 있다. X선원과 검출기가 여기와 검출 조건 모두에 대해 최적화된 소형의 구조 내에 부착되어 있다. 조사 면적은 적절한 콜리메이터에 의해 약 3 mm^2 로 제한되어 있다.
- 3) 휴대형 세미마이크로 XRF 낮은 출력의 X-선 튜브, 25 mm^2 면적

300 μm 의 크리스탈 두께로 된 Si-PIN X-선 검출기 (XR-100CR Amptek Inc.), 측정 지점의 시각화를 위한 광학 현미경과 이들 구성 요소의 정렬과 설치에 필요한 기계 부품 등으로 구성되어 있다. 장치 내의 여기 선원은 1.6 W 배터리로 작동되는 접지된 금 양극의 단창형 (end-window) X-선 튜브로 본래 의료 목적으로 제작된 것이다. Be 탐촉자 (probe) 끝의 외장은 텅스텐-구리 합금의 튜브 막대와 240 μm 의 바늘구멍을 갖

참고문헌

- [1] E. Aloupi, A. G. Karydas, P. Kokkinias, T. Paradellis, A. Lekka and V. Karageorhis, "Non destructive Analysis and visual recording survey of the pottery collection in the Nicosia Museum, Cyprus", *Archaeometry Issues in Greek Prehistory and Antiquity*, Eds. Y. Bassiakos, E. Aloupi and Y. Facorellis p. 397410 (2001)
- [2] G. Karydas, Ch. Zarkadas, A. Kyriakis, J.Pantazis, A. Huber, R. Redus, C. Potitiadis and T. Paradellis, "Improvement of peak to background ratio in PIXE and XRF methods using thin Si PIN detectors", *Xspectrometry* 32 (2003) 93
- [3] V. Argyropoulos, A G. Karydas, A. Vossou Domi, T. Karabotsos, E. Kapatou, V. Perdikatsis, G. Economou, Ch. Zarkadas, and D. Charalambous, "A scientific approach for the conservation of the outdoor bronze monument of Theodoros Kolokotronis", *Conservation in Science*, Eds. J. H. Townsend, K. Eremin and A. Adriaens, p. 141(2003)
- [4] T. Pantazis, A. G. Karydas, C. Doulas, A. Vlachopoulos, P. Nomikos, E. Thomson, C. Vecoli, M. Dinsmore, "XRay Fluorescence Analysis of a Gold Ibex and other Artifacts from Akrotiri", *Aegaeum* 24, p.155(2003)
- [5] A.G. Karydas, X. Brecoulaki, Th. Pantazis, E. Aloupi, V. Argyropoulos, D. Kotzamani, R. Bernard, Ch. Zarkadas and Th. Paradellis, "Importance of inEDXRF measurements in the preservation and conservation of material culture", in the Proceedings of the "Xon Archaeometry" Workshop (in press)
- [6] A.G. Karydas, D. Kotzamani, R. Bernard, J. N. Barrandon and Ch. Zarkadas, A compositional study of a museum jewellery collection (7th-1st BC) by means of a portable XRF spectrometer ", *Nuclear Instruments and Methods, Part B* (in press)
- [7] E. Drakaki, A. G. Karydas, B. Klinkenberg, M. Kokkoris, A.A. Serafetinides, E. Stavrou, R. Vlastouand Ch. Zarkadas, "Laser cleaning on ancient coins", *Applied Physics A'* (in press)



는 백금 디스크 콜리메이터로 되어있다. 텅스텐-구리 합금 튜브는 X-Y 구동장치에 위치해 있다. 분석 대상의 가시화는 광학 현미경을 사용함으로써 가능하다. Ca으로부터 Cu까지의 범위 내의 원소들에 대해 0.25에서 0.55 ng 정도의 검출한계를 얻을 수 있다(1000s 측정시간). 가까운 장래에 공간 분해능을 향상시키고(수십 마이크론 정도) 절대 측정 한계를 향상시키기 위해 다중 모세관 렌즈 (polycapillary lenses) 가 시험될 것이다.

다. 헝가리 KFKI⁸⁾

선원 확인을 위한 질량감응분석 (mass sensitive analysis) 으로 보완된 hot/cold 입자의 XRF와 XANES⁹⁾ 분석법

보건환경부 산하의 KFKI 원자력연구소 (AEKI)는 환경 샘플 속에 비방사능이 작고 긴 반감기를 갖는 핵종의 존재를 결정할 수 있는 보완적인 마이크로분석 기술을 개발하기 위해 EU의 초우라늄원소연구소 (ITU) 와 긴밀한 협조를 해왔다. 아이레해의 침전물이나 파손된 원자폭탄에서처럼 그러한 입자들의 양은

환경 내에서 매우 낮을 수 있다.

최적의 샘플처리로 10^5 입자 중 1개를 확인할 수 있다. 입자내 존재하는 소량의 악티나이드 농도는 단일 입자 분석 X-선 방출법 (single particle analysis X-ray emission methods: EPMA¹⁰⁾ 또는 μ -XRF) 으로 결정될 수 있다. EPMA와 같은 전통적 입자 분석 기술과 AEKI에서 이용 가능한 실험실 micro-XRF의 조합은 시료 영역에서 악티나이드 농도가 높은 부분을 찾을 수 있고 또한 방사광 XRF 와 XANES 분석법은 미량 악티나이드 조성에 대한 정량적 정보와 원자가 상태를 밝혀준다. 분석한 입자의 옮겨 ITU의 CAMECA IMS 6f 이차이온질량분석기 SIMS¹¹⁾로 핵종조성을 결정할 수 있다. 앞서 말한 고감도 기술의 조합으로 10^{-13} g의 장반감기 방사성동위원소들이 확인될 수 있다.

참고문헌

S. Torok, J. Osan, L. Vincze, S. Kurunczi, G. Tamborini, M. Betti, Characterization and speciation of depleted uranium in individual soil particles using microanalytical methods, Spectrochim. Acta B, in press.

8) KFKI Atomic Energy Research Institute, Budapest, P.O.Box 49
email.sztorok@sunserv.kfki.hu

European Commission Joint Research Centre, Institute for Transuranium Elements, 76344, EggensteinGermany, email: betti@itufz.de

Contributors: Szabina Torok¹ and Maria Betti²

9) XRF와 XANES X-ray absorption near edge spectroscopy

10) Electron Probe Micro Analyzer(전자현미분석기)

11) secondary ion mass spectrometer

라. 스페인¹²⁾

발렌시아 대학 재료과학연구소 (ICMUV)의 설비는 전반사 X-선 형광분석기 (TXRF), 고정형 및 이동형 에너지분산형 XRF (EDXRF)¹³⁾를 포함하고 있다. 이러한 장비들은 미술학과 고고학연대측정 분야에서 사용되며 이 분야에 일부 응용이 이루어지고 있다.

휴대형 EDXRF 스펙트로미터는 여러 가지가 걸쳐 있는 환경에서 현장, 온라인 분석을 수행하는데 적합하며 고정형 EDXRF 장비는 종이와 금속 조각의 분석을 수행하는데 좋다. TXRF 분석은 미소량 샘플 (micro-sample) 속의 미량 원소의 고감도의 분석을 위한 최고의 기술이다. TXRF 기술을 이용하여 반복된 보존과정 단계에서의 보존작업자가 사용한 면(綿)을 분석하였다. 이 방법이 미술품의 서로 다른 층이나 영역의 구성 성분을 연구하는데 좋은 수단인 것으로 나타났다.

진행 중인 과제는 다음을 포함하고 있다.

- 1) 어떠한 손상도 입히지 않고 연구되어야 하는 귀중 고대 세라믹 유품의 분석
휴대형 EDXRF 측정은 샘플 채취를 완전 생략한 비파괴적 분석 방법을 제공한다. 유약의 상층 또는 하층 채색을 판별하기 위한 대체 수단은 세라믹 단면을 현미경을 이용해 관찰하는 것인데 이는 샘플링이 필요하며 관찰 대상의 물리적 건전성

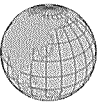
에 손상을 입히게 된다. 우리 연구의 목적은 측정 대상의 물리적 건전성을 유지하는 비파괴적 기술을 적용하는 것이다.

유약 상층 또는 하층 채색을 확인하기 위한 휴대용 EDXRF 스펙트로미터를 제안하였는데 이는 입사선의 각도가 변할 때 유약층의 주요 원소로부터 발생하는 Pb (La) 선과 도로에서 발견되는 주요 원소 (Co, Mn, Ni)로부터 발생하는 K α 선 사이의 서로 다른 값의 비율에 근거를 두고 있다. 검출기의 위치가 고정되어 있다면 이러한 비율 (Pb(La)/Co(K α) 등)은 유약하층 채색에서는 각도에 따라 유약하층 채색에서는 각도에 따라 감소한다. 6개의 발렌시아 세라믹 조각들이 이 방법에 의해 연구되었으며, 유약 상층 또는 하층 채색을 규명하였다.

- 2) Palau de la Generalitat Valenciana의 Salon de Cortes 벽화의 비파괴적 EDXRF 분석
휴대용 EDXRF 장비로 6개의 벽화에 대해 100개 이상의 지점에서 체계적으로 분석되었다. 안료의 분석을 통해 구성성분을 결정하고 기록되어 있지 않은 복원을 발견하였다.
- 3) 기타 종이와 판화의 EDXRF 스펙트로메트리에 의한 비파괴적 분석 **KRIA**

12) Unidad de Archeometria (UA). Instituto de Ciencia de los Materiales de la Universitat de Valencia (ICMUV) P.O. Box 22085, EValencia Contributors: C. Roldan, J.L. Ferrero (Clodoaldo.Roldan@uv.es)

13) Energy Dispersive X-Ray Fluorescence



참고문헌

- [1] C. Roldan, J. Coll, J. L. Ferrero, D. Juanes, Identification of the overglaze and underglaze cobalt decoration of ceramics from Valencia(Spain) by portable EDXRF spectrometry, X Spectrometry, 33(2004) 28
- [2] M. Ardid, J. L. Ferrero, C. Roldan, D. Juanes, J.L. Lluch, R. Vives, P. Punter, Design of EDXRF equipment for the non destructive study of engravings, to be published in Advances in XAnalysis, ICDD, 2004.
- [3] M. Ardid, J.L. Ferrero, D. Juanes, J.L. Lluch, C.Roldan, Comparison of TotalXFluorencence, Static and Portable Energy Dispersive XFluorescence Spectrometers for Art and Archaeometry Studies, 17th International Congress on XOptics and Microanalysis, Chamonix MontBlanc, France, September 22nd -26th, 2003.

기타 XRF 참고문헌

- [1] K. Tsuji, R.Van Grieken, J. Injuk, Eds., X-Spectrometry: Recent Technological Advances, John Wiley & Sons, 2004.
- [2] Philip J. Potts, Andrew T. Ellis, Peter Kregsamer, John Marshall, Christina Strelj, Margaret West and Peter Wobrauschek, "Atomic Spectrometry update. Xfluorescence spectrometry", J. Anal. At. Spectrom., 2003, 18, 1297

출처 : IAEA XRF Newsletter 2004. 4. 7

번역 : 이재기(한양대학교 원자시스템공학과 교수)