

안전조치 적용을 위한 핵물질계량 LIBS 개발 장치구축

정정환, 양정하, 정의창, 신희성

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045번지

iwieong@kaeri.re.kr

1. 서론

핵물질 계량관리 기술들에는 크게 비파괴측정법, 열량계법, 화학분석법 등이 있다. 그중 적은 시간과 폐기물이 발생하지 않는 비파괴측정법(NDA)의 적용이 가장 효율적이라는 판단 아래, 사용후핵연료를 대상으로 하는 NDA기술 중, 중성자 측정이 KAERI의 핵물질계량안전조치과제에서 개발되어 수행 중이다. 중성자 측정법은 Cm-244의 자발핵분열에서 방출되는 중성자를 He-3 중성자 검출기로 측정된 후, 미리 수행된 화학분석을 통한 함량 비(U/Cm, Pu/Cm ratio)를 이용하여 핵물질의 함량을 평가하는 기법으로서, 현재는 ORIGEN 코드를 이용한 연소 시뮬레이션으로 결정한 Cm ratio에 의존하고 있다. 하지만 이 방법은 사용후핵연료의 처리 공정 물질 내에서, U, Pu, Cm 함량 비가 일정하다는 전제 조건하에 적용이 가능하다는 제약점이 있다. 따라서 대안으로 차세대관리공정 핵물질 측정방안으로서 레이저 유도 파쇄분광법(Laser Induced Breakdown Spectroscopy - LIBS, Fig. 1 참조)의 활용이 주목을 받고 있으며 이 측정 방안은 과거 20년간 여러 분야의 산업적 과학적으로 많은 발전이 있어 왔다.

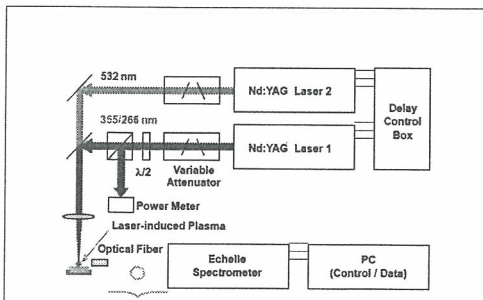


Fig. 1. Schematic of components of a LIBS system

2. 본론

LIBS는 광학을 바탕으로 한 레이저로, 이는 액체, 고체, 기체의 원소구성비를 측정하는데 사용할 수 있고, 몇몇의 경우 작은 분자 또한 분석할 수 있으며, 플루토늄과 우라늄을 포함한 악티나이드에 대해 동위원소를 구분할 수 있을 뿐만 아니라 Pu/Cm, U/Cm, Pu/U, U/Pu 등 성분 비율 분석을 수행할 수 있다.

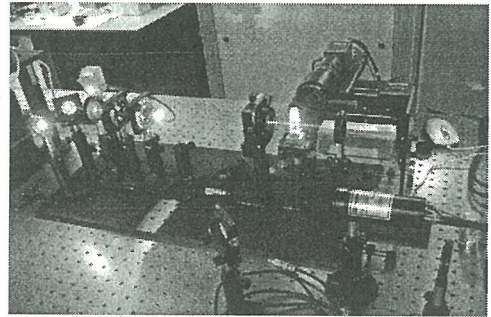


Fig. 2. Experimental setup for LIBS

LIBS 기술은 몇 가지 이점을 제공한다. 바로, 설정이 가능하다는 것인데 이는 다른 모양, 크기, 환경설정이 설계되고, 만들어지며, 다양한 수준의 감도, 정확성, 배치 구성에 따라 테스트될 수 있다는 것을 의미한다. 원소 주기표에 있는 모든 원소를 다양한 수준의 감도로 분석하는 데 사용할 수 있으며 시료를 전처리 과정 없이 빠른 속도로 신속하게 정확히 분석할 수 있는 분석법이기도 하다. 본 실험실에서는 기 보유하고 있는 LIBS 장비(Nd: YAG LASER 모델명: LIPPA 3001, Fig. 2 참조)를 이용하여 진공 상태에서 란타나이드 계열의 실험을 하여 안전조치 적용가능성을 타진하고 이에 따라 방향을 설정하였다. 또한 미국의 LANL(Los Alamos National Laboratory)과 KAERI 간 공동연구로 LIBS에 대한 PCG 협력 연구를 2009년부터 수행하여 왔는데, 금년에는 핵물질계량의 안전조치 장비 개발에 의한 논의 및

상호협력을 장비구축(Fig. 3 참조)을 중심으로 하기로 하고 매년 공식적인 회의도 하기로 하였다. 따라서 다음 실험 목표인 악티나이드계열의 실험을 수행하기 위하여 먼저 본 과제 내 기 보유하고 있던 핵물질을 사용 할 수 있는 실험실을 선정하였다.

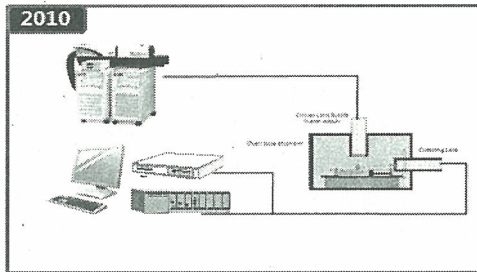


Fig. 3. The LIBS for safeguards

이 실험실은 각종 란타나이드 및 악티나이드 원소의 혼합시료로부터 잉곳을 주조하던 실험실로서, 향후 LIBS 측정시료의 주조를 위한 ARC Furnace 활용도 기대할 수 있다. 이후 실험실의 핵물질 및 장비사용 변경신청서(DIQ)를 제출하고 보관중인 핵물질 및 기존에 사용하던 장비를 제염해체하고 배치하고자 하는 각각의 장비를 구성하여 청정구역으로 확보 하기위한 작업을 진행 중이며, 앞으로 약 60일 가량 소요 될 것으로 예상된다. 또한, 한편으로는 실험의 신중함과 신속성을 기하기 위하여 기존의 실험 장비의 재정비 및 악티나이드 원소 측정에 적합하고 감도와 분해능이 우수한 Spectrometer (ESA 4000 191~420 nm 제조사 : Eschelle) 구성이 완료되기 전까지는 KAERI 내 화학분석부에 보유하고 있는 LIBS 장비를 활용하고, 본과제의 장비보강을 통하여 프레임 내 마운팅 된 시료를 제조하여 대기 상태에서 무독성 대응물질에 대한 측정실험을 병행하며 안전조치 적용에 가능한 장치구축에 중점을 두고 개발 중이다.

3. 결론

안전조치 적용을 위한 핵물질 계량을 하기 위한 장비구축을 하기 위하여서는 핫셀이나 글로브 박스와 같은 좋지 않은 환경에서도 원격 분석을 지원할 수 있는 장비개발이 본연구의최종 목표이

다. 따라서 공정 현장 내 시료 및 그 외의 시료의 검사와 분석을 위한 장비는 이동식 시스템으로 (Fig. 4 참조), 플루토늄과 우라늄의 동위원소를 측정할 수 있는 장비는 고 해상도 분광기를 겸비한 카트 탑재(cart-mounted) 시스템으로, 실험실 및 격납시설에 고정되어 대량으로 공정 처리하는 시설에서는 공정 해법의 근 실시간 측정이 가능한 시설 내 시스템으로 구성하는 기본적인 장비 개발의 접근 방법이 필요 하겠으며, 열거한 것 중 안전조치 적용에 가장 원활하고 효율적인 LIBS 장비구축 개발은 은 이 세 가지를 혼합한 장비의 개발이 가장 이상적이라 하겠다.

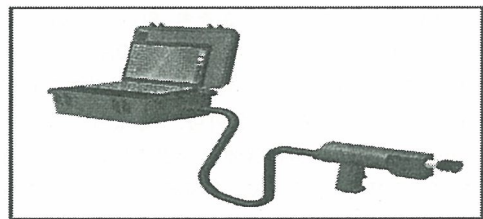


Fig. 4. Portable LIBS System (conceptual figure)

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었다.