

## 핵물질 안전조치를 위한 Remote LIBS 설계 평가

김승현, 주준식, 정정환, 신희성, 김호동  
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 대덕대로 1045  
[kimsh76@kaeri.re.kr](mailto:kimsh76@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

Laser induced breakdown spectroscopy(LIBS)는 1980년 초반에 미국의 Radziemski 박사에 의해 개발된 측정 장치이다. 시료 표면에 안정된 고출력의 레이저를 조사시켜 표면에서 플라즈마를 발생시키면, 플라즈마 속에서 시료는 충분히 vaporization되어, atomization 및 ionization된다. 일정 수명 이후 에너지를 방출하면서 다시 ground state로 돌아가는데, 이 때 방출되는 에너지는 원소의 종류 및 여기 상태(1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> excited state등)에 따라 고유의 파장을 방출하게 되고, 표준 시료를 이용해 미리 획득한 각 원소별 고유 파장과 비교함으로써 미지의 sample에 대해 정성 및 정량분석을 하는 기술이다.

이 장치의 장점은 비교적 간단한 장치 구조와 간단한 조작법으로 다원소 시료에 대해 실시간으로 현장에서 분석이 가능하다는 점이다. 이 연구는 이러한 장치의 특성을 살려, 핵물질 안전조치 목적 하에 LIBS의 특성을 파악하고, optical fiber를 이용해 원격제어가 가능한 Remote LIBS 개발을 평가해 봄으로써, Hot-cell등의 고방사능 환경에서 민감핵물질의 계량을 실행하려는데 그 목적이 있다.

### 2. 본론

세계적으로 Remote LIBS는 현재 5~6개 제품이 개발 중에 있다. 최근에는 IAEA의 사찰에 이용할 목적으로도 그 이용이 주목받고 있으며, 그 개발에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 이에 현재 개발 중인 Remote LIBS 장비와 유사한 성능을 가진 LIBS(그림 2. 참조)을 이용하여, 기본 금속을 대상으로 장비에 대한 성능 평가를 실시해 보고, 이를 바탕으로 Remote LIBS에 대한 개념설계를 실시하였다.

- LIBS를 이용한 Fundamental metal(Fe, Ni, Zn, Nd)의 정량분석

LIBS를 이용한 정량분석에서는 재현성 높은 plasma를 발생시키는 것이 중요하며, 실험을 통하여 재현성 측면에서 최적의 측정 조건을 산출했다. 산출된 조건하에서 plasma 주변의 공기를 600 mtorr이하의 vacuum 상태로 조절하고, plasma sphere을 inner sphere과 outer sphere로 분리하여, 상대적으로 안정적인 outer sphere을 측정하였다. 이와 같은 방법으로 SUS 300 series의 Fe와 Cu alloy sheet 3종에서의 Ni과 Zn, 자체 제작한 (Cu+Nd) 이원소합금에서의 Nd에 대한 반-정량분석을 시도하였다. 전체적으로 10%이내의 측정오차를 획득하였으며, 그림 1은 이에 대한 결과를 보여준다.

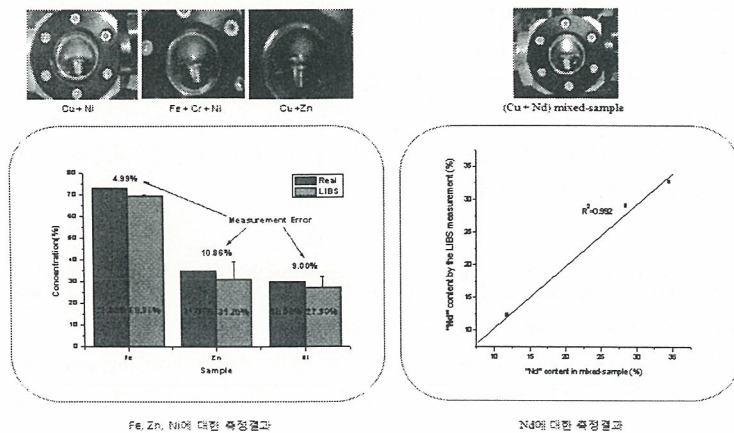


그림 1. Fe, Zn, Ni에 대한 측정결과와 실제 플라즈마 발생

- Remote LIBS에 대한 개념 설계

기본적인 성능테스트를 바탕으로, 그림 2와 같은 Remote LIBS를 계획하였다. 세계적으로 정성분석만을 하는 Remote LIBS는 완성단계에 있는 것도 있지만, 안전조치 관점에서 Uranium이나 Plutonium에 대한 정량분석은 필수적이다. 이러한 이유로, 정량분석이 가능하도록 simplicity vacuum chamber를 전면부에 도입을 하였으며, plasma를 inner sphere과 outer sphere로 구별할 수는 있는 600 mtorr이하의 진공상태를 6초간(laser 50회 조사를 기준)만 유지하게 제작한다며, 기본 성능테스트의 결과와 같이, 해당 원소에 대해 10%이내의 측정오차로 정량분석이 가능할 것이라는 결론을 얻었다.

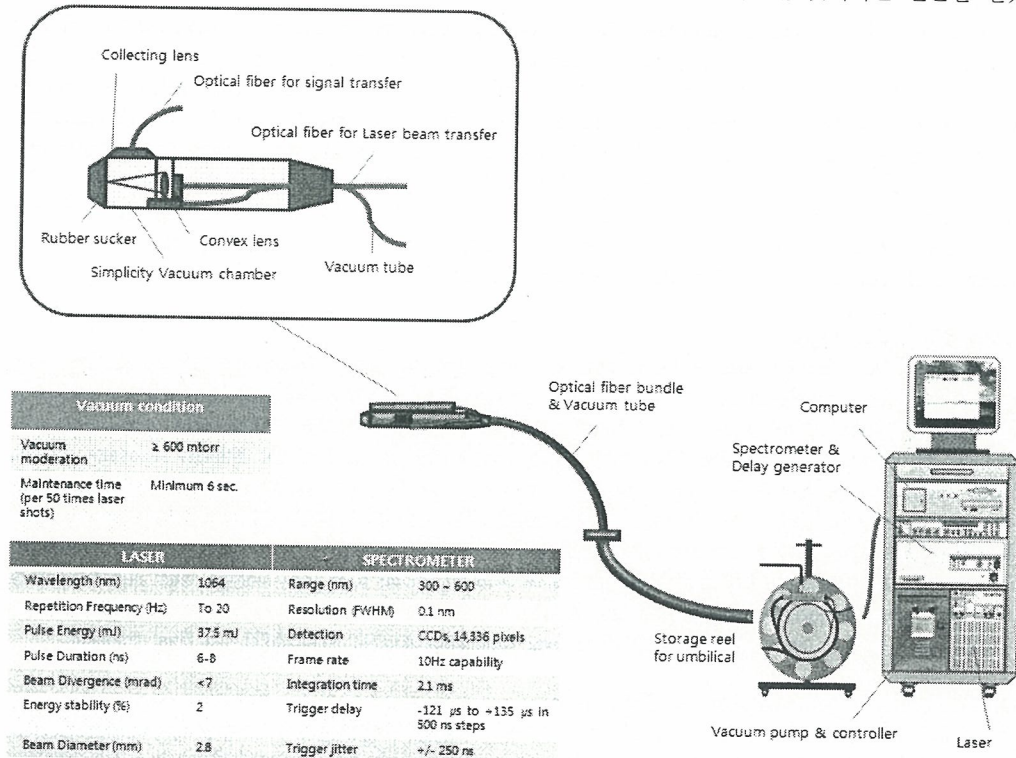


그림 2. 개발 계획 중인 Remote LIBS

3. 결론

Remote LIBS는, 최근 핵시설에 대한 사찰의 목적으로 현장에서 실시간으로 민감핵물질을 계량하기 위해 그 개발이 활발하게 진행 중이며, Optical fiber를 이용하여 Hot-cell과 같은 협소한 고방사능 공간에서도 그 활용이 가능하다. 또한, 비교적 간단한 조작으로 정성 및 정량분석이 가능한 장비를 저렴하게 구축할 수 있는 장점도 가진다.

LIBS를 이용한 핵물질의 안전조치는 다음의 두 가지 측면에서 검증이 가능하다. 첫째, 중성자 검출기를 통한 핵물질 계량에서 중요한 요소인 Cm ratio을 Cm에 대한 직접적인 정량분석을 통해 검증할 수 있으며, 둘째 standard source를 이용한 측정을 통하여 측정 데이터의 통계적 분포를 산출하고 이와 비교함으로써 현장에서 Uranium 및 Plutonium에 대한 반-정량분석을 실시하는 것이다. 실제 Remote LIBS 제작 시에는 simplicity vacuum chamber의 진공 유지력이 가장 중요한 요소로 작용할 것으로 보이며, 600 mtorr을 6초 이상만 유지할 수 있도록 제작한다며, standard source를 통해 획득한 정규분포곡선과 상호 비교함으로써, 현장에서 민감핵물질에 대해 기본 성능테스트와 같은 10% 이내의 측정오차를 갖는 정량분석으로, 신속한 안전조치가 수행될 수 있을 것으로 판단된다.

앞으로 기본적인 성능테스트를 더 보완하여, 계획된 remote LIBS를 구축할 것이며, 향후 보완하여 정량분석이 가능하며, 휴대가 용이한 carrier 정도 크기의 LIBS도 제작할 계획을 가지고 있다.