

# 휴대용 Quad-CZT Array System 개발 및 성능평가

이애리<sup>1</sup>, 정희준<sup>1</sup>, 정원영<sup>1</sup>, 신중기<sup>2</sup>,곽성우<sup>1\*</sup>, 박육량<sup>1</sup>, 김용권<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국원자력통제기술원, 대전광역시 유성구 유성대로 1534

<sup>2</sup>한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 과학로 62

<sup>3</sup>(주)뉴케어, 인천광역시 연수구 송도미래로 30

\*swkwak@kinac.re.kr

## 1. 서론

CZT(CdZnTe) 반도체 검출기는 핵물질 안전조치 관점에서 신연료의 U-235 농축도 검증을 위해 널리 활용되고 있으나, 다른 신타레이터 기반의 검출기들에 비해 물리적인 크기가 작아 상대적으로 검출효율이 낮다는 단점이 있다. 이에, 본 연구에서는 4개의 CZT를 병렬 배치하고 분석 알고리즘을 개발함으로써 본래의 CZT 검출기가 가지고 있는 단점을 개선하고자 하였다. 또한 개발된 검출기 Array의 특성 및 성능 평가를 위해 IAEA의 사찰 장비인 IMCN(an Inspector Multi Channel analyser coupled with a low-resolution NaI(Tl) gamma ray detector)과의 비교·평가를 수행하였다.

## 2. 본론

### 2.1 Quad-CZT Array System

Quad-CZT Array System은 4개의 CZT와 납 차폐체, 데이터 수집보드와 같은 전기공학적인 요소들과 배터리 및 케이블로 구성되어 있다 [Fig. 1]. 휴대성을 고려하여 가방 형태로 제작하였으며, 장비의 크기는 H23.5 × W51 × L38 cm 이며 무게는 28 kg 이다.

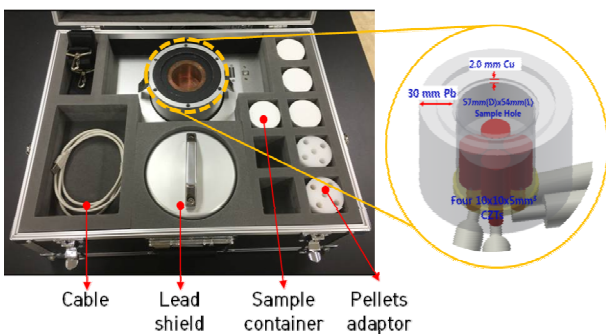


Fig. 1. Quad-CZT Array System.

본 장비는 UO<sub>2</sub> 소결체(pellet)와 분말(powder) 그

리고 신연료봉(fresh fuel rod)의 농축도 측정이 가능하며, 측정된 결과는 본 장비와 함께 개발된 분석 프로그램을 통해 확인이 가능하다.

### 2.2 IMCN

IAEA는 일반적으로 물자재고검사(PIV, Physical Inventory Verification) 시, 주로 IMCN 장비를 활용하며, IMCN은 NaI(Tl) 검출기, 차폐체, 그리고 다 채널분석 프로그램(IMCA 2000)으로 구성되어 있다 [Fig. 2].

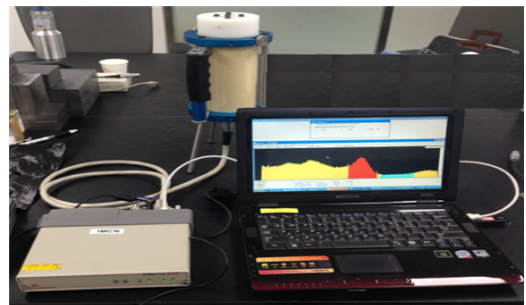


Fig. 2. IAEA Enrichment measuring equipment (IMCN) using the NaI(Tl) Detector.

NaI 검출기는 상온에서 분석이 가능하고, 계수효율이 높고, 다양한 형태로 제작이 가능하다는 장점이 있으나, 에너지 분해능이 낮으며 조해성이 있다는 단점이 있다. 따라서 최근 IAEA는 NaI(Tl)의 낮은 분해능 때문에 검사 결과의 신뢰성 향상을 위해 LaBr<sub>3</sub>(Ce) 검출기로 대체하고 있는 추세이다. LaBr<sub>3</sub>(Ce) 검출기는 고가이기 때문에 점진적으로 교체되고 있으며 현재는 NaI(Tl)와 LaBr<sub>3</sub>(Ce) 둘 다 선택적으로 사용하고 있다.

### 2.3 Quad-CZT Array System 성능평가

(주)한전원자력연료의 협조 하에 개발된 장비의 성능 평가를 수행하였으며, 비교·분석을 위해 IMCN 장비를 이용하여 동일한 실험을 수행하였다. 본 비

교·분석 실험에서 사용된 핵연료(UO<sub>2</sub> 소결체)는 농축도 3.14%이며, 동일 조건에서 수행된 시간 별 측정 결과는 다음과 같다.

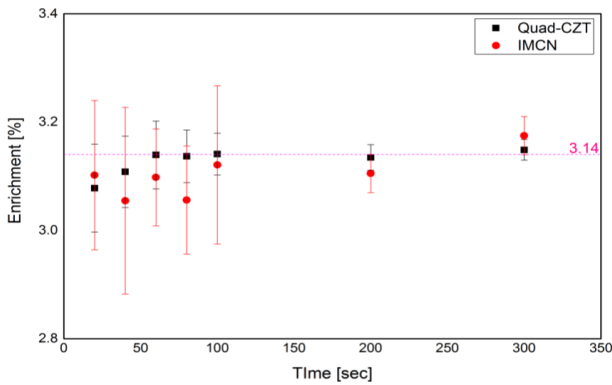


Fig. 3. Comparison of Measurement Results of UO<sub>2</sub> Pellets Enrichment.

Fig. 3에서 알 수 있듯이 Quad-CZT와 IMCN 장비 둘다 시간에 따라 상대적 오차는 감소하고 있지만 최초 20초 일 때만 제외하고 전체적으로 본 연구에서 개발된 Quad-CZT의 상대적 오차가 작았다. 50초 일 때 오차가 ±5% 이내로 안전조치 검사시 요구되는 조건을 만족시킬 수 있었다. 결국, 전체적으로 Quad-CZT Array System의 성능이 IMCN 보다 우수하였으며, 상대적으로 짧은 시간 내에 정확한 결과가 도출되었다.

농축도 별 장비의 성능평가를 위하여 농축도가 다른 다섯 개의 시료(0.7%, 1.71%, 2.20%, 3.14%, 4.10%)를 분석하였다. 측정 시간은 일반적인 IAEA의 측정 시간을 고려하여 100초, 300초로 설정하였다. 분석 결과, 두 장비 모두 IAEA 권고 오차범위(5%)에 부합하였으나, 본 연구에서 개발된 Quad-CZT Array System이 IMCN 장비보다 더 정확한 결과를 도출하는 것으로 평가 되었다.

### 3. 결론

본 연구에서는 현장에서 빠르고 정확한 농축도 검증을 위해 Quad-CZT Array System를 개발하고, IAEA 사찰장비와의 비교·분석을 통한 성능평가를 수행하였다. 평가 결과, 본 연구에서 개발된 장비가 사찰장비인 IMCN보다 더 빠른 시간 안에 정확한 결과 도출함을 확인할 수 있었다. 하지만 장비의 무게가 사찰장비에 비해 무겁다는 단점이 있어, 향후 추가 연구를 통해 장비의 경량화 및 적용범위 확대 방안을 모색할 예정이다.

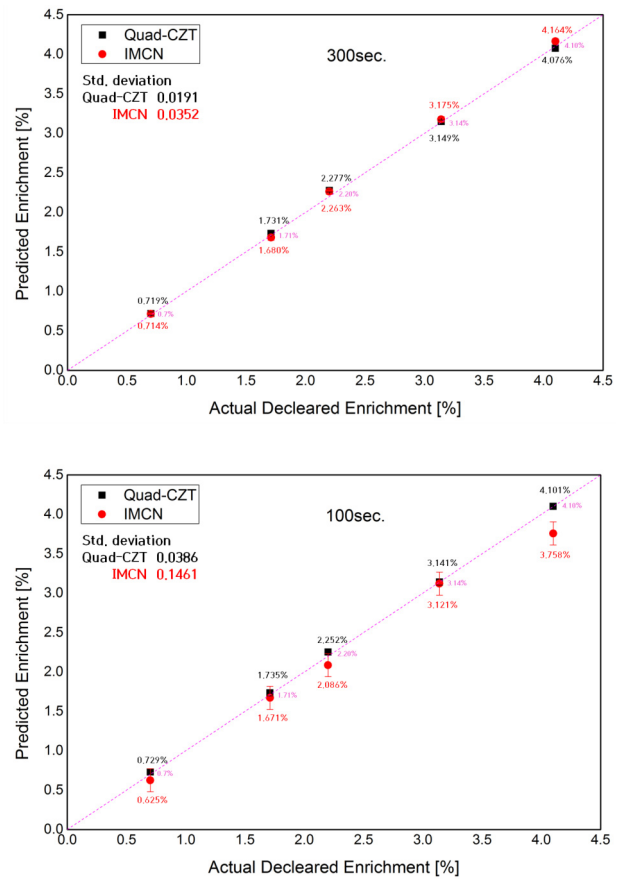


Fig. 4. Performance Comparison of the Quad-CZT Array System and IMCN under Two Different Measurement Times.

### 4. 참고문헌

- [1] Z. Xiaoqing, C. Zeng, D. M. Jamal, and P. Hao, "Improving the Spatial Resolution in CZT Detectors using Charge Sharing Effect and Transient Signal Analysis: Simulation Study", Nuclear Inst. And Method in Physics Research, Vol.808, p. 60, 2015.
- [2] S. A. El-Mongy and H. A.I, Depleted, "Natural and Low Enriched Uranium Verification by Recent Portable Passive Non-destructive Assay Tools", Journal of Nuclear and Radiation Physics, Vol. 2, No. 2, p. 79-87, 2007.