

광역의 세슘 오염토양 잔류방사능 측정을 위한 대면적 PVT 검출기와 Deconvolution 알고리즘을 적용한 연속식 측정시스템 개발

서민우*, 송정호, 오정민, 김성렬, 강상원
 (주)오르비텍, 서울특별시 금천구 범안로 1130
 *seominwoo7@orbitech.co.kr

1. 서론

후쿠시마 원전사고로 인해 원전 주변의 광역 부지 토양에 세슘(Cs) 핵종 등이 오염되어 일반 주민의 거주가 곤란한 실정이며, 일반 주민의 거주를 허용하기 위한 환경 복원이 필요하다. 이를 위해서는 대용량 오염토양을 신속하게 측정, 분리, 제어, 처분 또는 환경 복원하는 상용화 기술이 요구되고 있다. 이러한 이유로, 광역 오염토양의 잔류방사능을 측정하기 위하여 개발한 측정시스템은 대면적 PVT 섬광체, 광전자증배관, MCA를 포함한 일체형 전자회로모듈로 구성되며, 검출센서로부터 측정된 에너지스펙트럼의 에너지분해능, 최소검출방사능, 불확도를 향상시키기 위하여 Deconvolution 알고리즘을 적용하였다.

본 연구에서 개발한 측정시스템은 감마교정선원을 이용한 실험과 MCNP 전산코드 계산에 의해서 검출기에 입사하는 감마에너지별 고유검출응답을 도출하고, 이를 MATLAB 수학적 전산프로그램을 이용하여 Direct matrix-inversion method에 적용하여 Deconvolution 알고리즘을 구현하였다. 추가적으로, 잔류방사능 측정시스템에서 측정된 에너지스펙트럼, 방사능 측정 값, 측정시간, 알람표시, 토양 이동속도 및 밀도 보상을 표시 및 제어하기 위한 통합 소프트웨어를 LabView 프로그래밍을 이용하여 개발하였다.

2. 본론

2.1 구성

본 연구에서 개발한 오염토양의 잔류 방사능 측정시스템은 Fig. 1과 같이 100 cm(길이) × 50 cm(폭) × 5 cm(높이) 대면적 PVT 플라스틱 섬광체, 광전자증배관(PMT), MCA를 포함한 일체형 전자회로모듈 및 자연방사선 영향을 최소화하기 위한 납차폐체 등으로 구성된 검출부와 검출부에서 측정된 에너지스펙트럼을 Deconvolution 알고리즘 적용 및 구현하고, 오염토양의 방사능농도, 측정시간, 알람표시, 오염 토양을 이송하는 컨베이어시스템에서 출력되는 토양 이동속도와 밀도를 보상하는 제어·표시부로 구성된다.

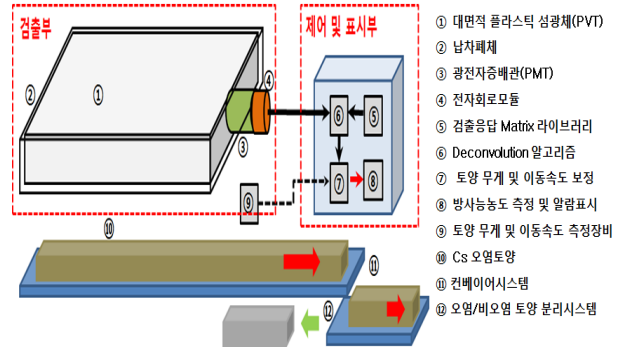


Fig. 1. Block diagram of Radiation Measurement System.

2.2 설계

본 연구에서 개발한 측정시스템의 검출센서는 대면적 PVT 플라스틱 섬광체이며, 이는 대면적 또는 개발자가 원하는 기하학적인 구조로 제작가능하고, NaI(Tl) 섬광검출센서와 반도체 검출센서의 여타 다른 검출센서에 비해 가격도 저렴하며, 측정하고자 하는 현장의 온도 변화에 따라 측정 값의 영향이 미미하다는 장점은 있다. 하지만 플라스틱 검출센서로부터 측정된 에너지스펙트럼은 광전피크가 나타나지 않으며, 에너지분해능이 나빠서 핵종판별이 어렵다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여, 본 연구에서는 대면적 PVT 플라스틱 검출센서에서 측정된 에너지스펙트럼에 Deconvolution 알고리즘을 적용하였다.

본 측정시스템에 적용한 Deconvolution 알고리즘의 Direct matrix-inversion method은 수식 1)과 같다. 여기서, 검출센서에 입사하는 감마에너지별 검출응답 Matrix는 Cs-137(1 μCi, 5 μCi, 10 μCi)과 Co-60(1 μCi)의 감마교정선원을 이용하여 측정된 에너지스펙트럼과 Fig. 2와 같이 MCNP 전산코드를 이용하여 본 측정시스템을 동일한 구조로 모사하고 계산한 에너지스펙트럼을 비교분석하여 도출하였다. MCNP 계산에는 F8 Tally card와 GEB (Gaussian Energy Broadening Function)을 적용하였다.

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ \vdots \\ M_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdots & R_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{m1} & R_{m1} & \cdots & R_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

- M : 측정된 에너지스펙트럼
- R : 검출응답함수
- I : 입사하는 방사선에너지
- b : 백그라운드

감마교정선원의 실험과 MCNP 전산계산을 토대로 도출한 Cs-137과 Co-60 감마선원의 검출응답 Matrix에서 MATLAB 수학적 전산프로그램을 이용하여 Deconvolution 알고리즘을 구현하였다.

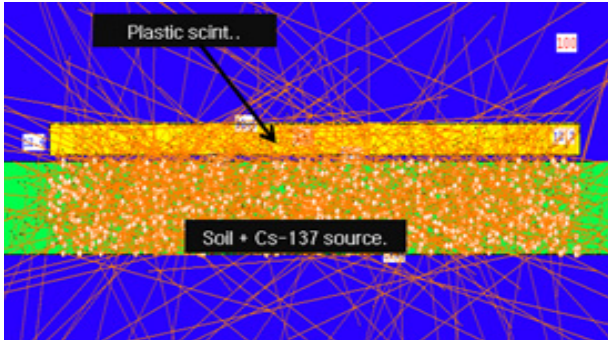


Fig. 2. MCNP modeling for Radiation Measurement System.

2.3 소프트웨어 개발

본 측정시스템에서 측정한 에너지스펙트럼, 방사능 측정 값, 측정시간, 알람표시, 토양 이송속도 및 토양밀도를 보상하기 위한 표시 및 제어하는 통합 소프트웨어를 LabView 프로그래밍을 이용하여 Fig. 3와 같이 개발하였다.

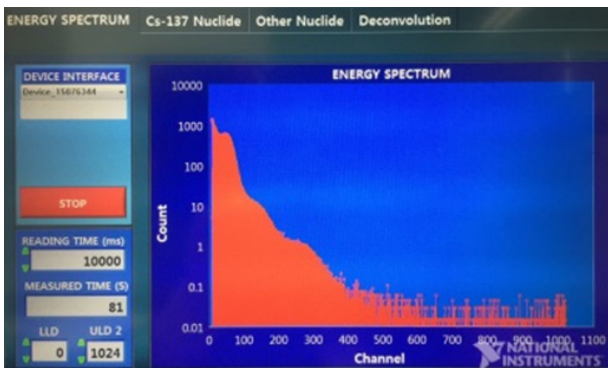


Fig. 3. The Software for Radiation Measurement System.

2.4 측정결과

본 연구에서 개발한 측정시스템에서 Cs-137와 Co-60 감마선원으로부터 측정한 에너지스펙트럼은 Fig. 4와 같으며, 이를 Direct matrix-inversion method를 적용하여 Deconvolution 알고리즘을 구현한 에너지스펙트럼은 Fig. 5와 같다. Fig. 4에서는 Cs-137과 Co-60 선원에 의해서 측정시스템의 검출센서에서 측정한 에너지스펙트럼은 광전피크는 나타나지 않으며, 단지 컴프턴단애로 보이는 피크만 확인되었으며, 이를 기준으로 핵종판별하기에는 불명확하게 보인다. 이를 보완하기 위하여 Fig. 5와 같이 Deconvolution 알고리즘을 적용한 에너지스펙트럼에서는 Cs-137과 Co-60 선원을 판별 가능하였다.

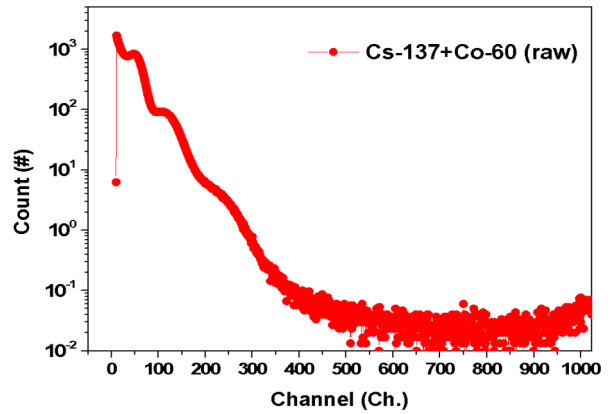


Fig. 4. Energy spectrum measured to RMS at Calibration source Cs-137 and Co-60.

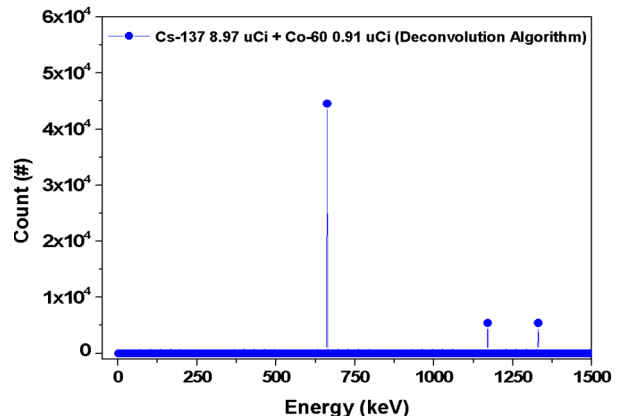


Fig. 5. Direct matrix-inversion deconvolved spectra Energy spectrum recorded to RMS at Calibration source Cs-137 and Co-60.

3. 결론

본 연구에서는 광역의 세슘 오염 부지 내 토양의 잔류방사능을 신속하게 측정 가능한 측정시스템을 개발하였다. 본 측정시스템은 광역의 세슘 오염토양을 측정하기 위하여 대면적 PVT 검출기와 Deconvolution 알고리즘을 적용하여 개발하였으며, 이를 토대로 핵종판별이 가능하도록 하였다. 또한 본 측정시스템에서 측정한 에너지스펙트럼, 측정시간, 방사능농도, 토양 이송속도 및 토양밀도를 보상하기 위한 소프트웨어를 개발하였다.

향후에는 Cs-137와 Co-60 선원이외의 다른 핵종에서도 측정 가능하도록 개발예정이다.

4. 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부가 시행한 에너지기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

[1] Glenn F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, Third Edition.