Journal of Radiation Industry 5 (2) : 185~189 (2011)

Technical Paper

방사능 수치 오염 지도 작성을 위한 방사선 계측 시스템 연구

나원경[1,2] · 김한수[1] · 연제원[1] · 이레나[2] · 하장호[1,*]

[1]한국원자력연구원, [2]이화여자대학교 의과대학부속 목동병원 방사선종양학과

Study of Radiation Mapping System for Water Contamination in Water System

Teresa W. Na[1,2], Han Soo Kim[1], Jei Won Yeon[1], Rena Lee[2] and Jang Ho Ha[1,*]

[1]*Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon, Korea*
[2]*Department of Radiation Oncology, Ewha Womans University Mokdong Hospital, Seoul, Korea*

Abstract - As nuclear industry has been developed, a various types of radiological contamination has occurred. After 9.11 terror in U.S.A., it has been concerned that terrorists' active area has been enlarged to use nuclear or radioactive substance. Recently, the most powerful earth-quake stroke, which triggered a massive tsunami in Japan and then Fukushima nuclear power plant reactor has suffered from a serious accident in history. The Fukushima reactor accident has occurred an anxiety of radiation leaks and about 170,000 people have been evacuated from the accidental area near the nuclear power plant. For these reasons, a social chaos can be occurred if radiological contamination occurs to the supply system for the drinking water. As such, the establishment of the radiation monitoring system for the city main water system is compelling for the national security. In this study, a feasibility test of radiation monitoring system which consists of unified hybrid-type radiation detectors was experimented for multi detection system by using gamma-ray imaging. The hybrid-type radiation sensors were fabricated with CsI(Tl) scintillators and photodiodes. A preamplifier and amplifier was also fabricated and assembled with the sensor in the shielding case. For the preliminary test of detection of radiological contamination in the river, multi CsI(Tl)-PIN photodiode radiation detectors and ^{137}Cs gamma-ray source were used. The DAQ was done by Linux based ROOT program and NI DAQ system with Labview program. The simulated contamination was assumed to be occurred at Gapcheon river in Daejeon city. Multi CsI(Tl)-PIN photodiode radiation detectors were positioned at the Gapcheon river side. Assuming that the radiological contaminations flows in the river the ^{137}Cs gamma-ray source has been moved and then, the contamination region was reconstructed.

Key words : CsI(Tl)-PIN photodiode detector, National security, Radiological contamination of water supply system, Radiation mapping image

서 론

최근 원자력산업의 발전과 방사능 이용기술 확대로 다양한 형태의 방사능 오염 발생 가능성이 증가하고 있

* Corresponding author: Jang Ho Ha, Tel. +82-42-868-2038, Fax. +82-42-868-4738, E-mail. jhha@kaeri.re.kr

Fig. 1. Fabricated CsI(Tl)-PIN photodiode detector with CsI(Tl)-PIN photodiode sensor and analog signal processing devices.

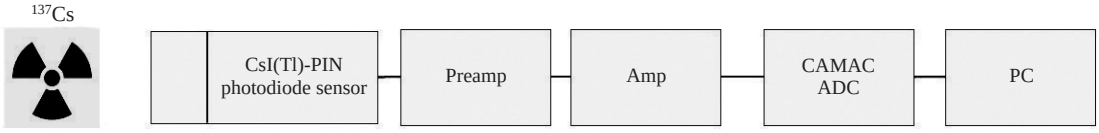

Fig. 2. Schematics diagram of CsI(Tl)-PIN photodiode detector performance test and signal processing.

다. 미국 9.11 테러 사건 이후 해외 테러집단의 활동범위가 확대되고 있고 핵 및 방사성 물질을 이용한 테러 가능성이 증가되고 있어 국가안보적 비상사태가 우려되고 있다. 또한 최근에 일본 후쿠시마 원전 폭발로 인하여 방사성 물질로 인한 방사능 오염의 불안감이 확산되고 있고 약 170,000명의 인구들이 대피하였다. 특히나 식수로 쓰는 하천수의 방사능 오염은 범사회적 불안을 야기하므로 국가보안적 차원에서 차단되어야하며, 국가차원의 대비책으로 하천수의 방사능 오염 계측 시스템의 구축이 시급하다. 이 연구에서는 hybrid-type 방사선 계측기를 자체 설계 및 제작을 통하여 하천수 방사능 오염 측정을 위한 가상실험을 구현하였다. 제작한 hybrid-type 방사선 계측기는 CsI(Tl) 섬광체와 광다이오드를 결합한 센서와 아날로그 신호처리를 위해 전치증폭기 (preamplifier)와 증폭기 (amplifier)를 센서와 함께 결합하여 기존의 계측기 시스템의 편의성을 확보하였다. 일반적인 섬광체 계측기는 Photomultiplier tube (PMT)를 이용하는데 PMT는 고전압을 인가해야 하므로 대체적으로 계측기의 크기가 크다는 단점이 있다. 제작된 hybrid-type 방사선 계측기는 PMT 대신 광다이오드를 사용하여 소형으로 제작 가능하며, 저전력 소모로 제작하였다. 또한 자체 제작한 hybrid-type 방사선 계측기는 배터리 전원으로도 스팩트럼 분석기기에 직접 연결하여 신호분석을 할 수 있다는 장점이 있다.

이 연구에서는 하천수의 이동으로 인한 방사능 오염의 확산을 빠르게 계측할 수 있도록 다중 계측 시스템을 위해 제작한 일체형 hybrid-type 방사선 계측기들의 성능평가를 시행하였고 다중 계측 시스템으로 선원의 움직임에 따른 감마선 영상을 구현하였다.

재료 및 방법

Hybrid-type 방사선 센서는 CsI(Tl) 섬광체 (10 × 10 × 20 mm^3)와 광다이오드를 결합 · 제작하였으며, 아날로그 신호처리를 위해 전치증폭기와 증폭기를 제작하여 조합하였다. 단일 hybrid-type 감마선 계측기의 크기는 25 (W) × 25 (L) × 100* (H) mm^3이며, 센서, 전자회로, 그리고 전원장치와 함께 조합하여 외부 노이즈를 제거하기 위해 알루미늄 케이스에 넣어서 소형화하였다. 감마선 계측기의 입력 전압은 +7 ~ +15 DCV이고, 최대 출력 전압은 +6 V이고 offset, Gain과 Pole-zero들의 조절이 가능하다 (Kim *et al*. 2010).

20개의 CsI(Tl)-PIN 광다이오드 감마선 계측기들의 성능평가는 ^{137}Cs (662 keV) 감마선원과 NIM 모듈 CAMAC ADC (Analog Digital Converter)를 선원의 스팩트럼 측정을 위해 사용하였고 리눅스 기반의 ROOT 프로그램으로 측정한 스팩트럼들을 교정하였다.

하천수 오염 측정을 위한 가상실험으로 20개의 다중 CsI(Tl)-PIN 광다이오드 감마선 계측기의 성능평가는 ^{137}Cs (662 keV) 감마선원, 리눅스 기반의 ROOT 프로그램과 NI사의 DAQ 시스템과 DAQ로부터 나오는 신호분석을 위해 Labview 프로그램을 사용하였다. NI사 Compact DAQ 시스템 모듈 (NI cDAQ 9178)은 32비트급이고 NI 9201은 12-비트의 아날로그 입력 모듈로 ±10 V 입력 범위의 8개의 아날로그 입력라인이 있고 샘플링 rate

은 500 kS s^{-1}이다. 가상 모의실험을 위해 총 20개의 다중 CsI(Tl)-PIN 광다이오드 감마선 계측기들은 대전시 갑천 가상사진 위에 갑천변을 따라 배치되었다. 갑천 사진내에서 "둔산대교"라고 기재되어있는 다리 위를 기준으로 잡았다. 하천의 방사능 오염을 모사하기 위해 ^{137}Cs 선원을 옮겨가면서 모의실험하였다.

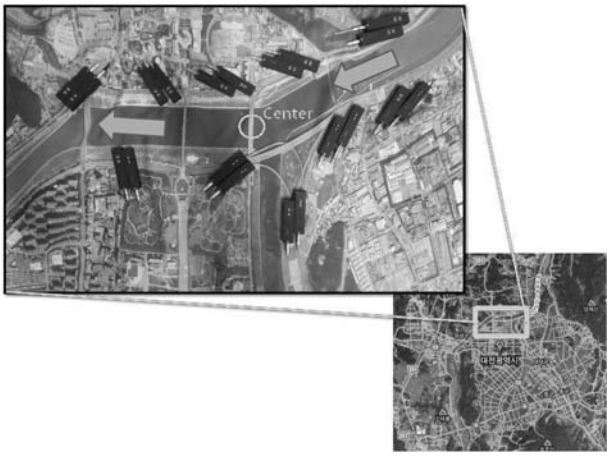

Fig. 3. Location of the detectors for simulated radiological contamination in Gapcheon river (Image obtained by Google Map).

20개의 다중 CsI(Tl)-PIN 광다이오드 감마선 계측기의 성능평가 실험은 특정 위치에 배치된 다수의 계측기들과 NI사의 DAQ 시스템을 사용하여 신호처리 장치를 구성하여 선원이 배치되어진 위치에 따른 계수값을 방사선 강도로 표시하도록 구성하였다. 측정되어진 계수값은 리눅스 기반 ROOT 프로그램으로 감마선 영상을 재구성하였다.

결과 및 논의

각각 CsI(Tl)-PIN 광다이오드 감마선 계측기 교정을 위해 662 keV 감마선 에너지를 가진 ^{137}Cs 선원을 사용하였으며 Table 1에서 보는 바와 같이 에너지 분해능은 약 11.2±0.6%의 분포를 가졌다.

대전시 갑천의 방사능 오염에 대한 가상 모의실험에

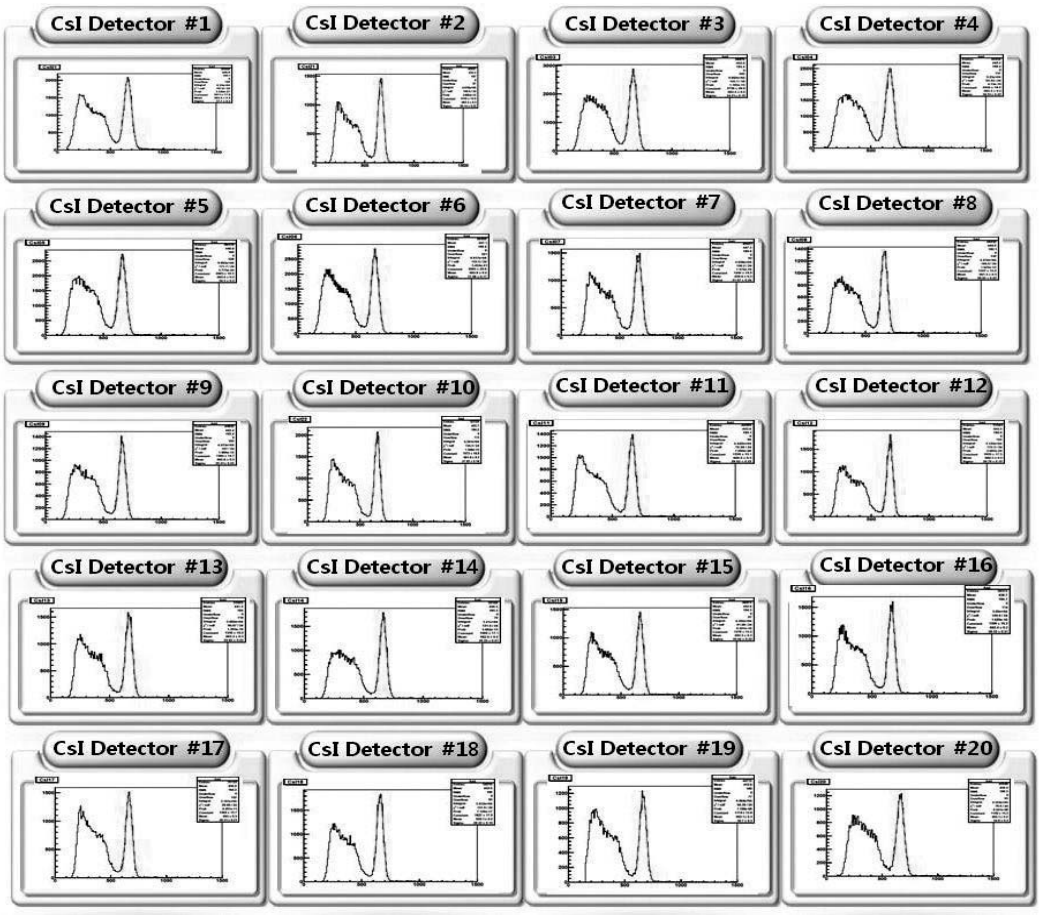

Fig. 4. Measurement of ^{137}Cs gamma-ray spectra with CsI(Tl)-PIN photodiode detectors.

Table 1. Energy resolutions of multi CsI(Tl)-PIN photodiode detectors

계측기 번호	분해능 at 662 keV (%)
1	13.1±0.6
2	9.9±0.4
3	12.1±0.5
4	13.1±0.5
5	12.3±0.5
6	11.4±0.4
7	11.2±0.6
8	10.2±0.5
9	10.7±0.6
10	10.3±0.6
11	10.1±0.5
12	9.5±0.5
13	9.5±0.5
14	10.4±0.5
15	10.1±0.5
16	10.4±0.5
17	10.0±0.5
18	11.0±0.6
19	12.4±0.7
20	10.3±0.5

Table 2. Locations of multi CsI(Tl)-PIN photodiode detectors' coordinates

계측기 번호	위치값 (X cm)	위치값 (Y cm)
1	49.0	3.8
2	44.5	4.7
3	34.5	0.0
4	30.5	−2.5
5	12.4	−19.9
6	9.9	−21.5
7	−2.5	−11.8
8	−4.6	−9.3
9	−30.2	−10.3
10	−32.6	−10.2
11	32.5	20.0
12	33.9	22.9
13	13.0	13.1
14	9.1	11.8
15	−2.5	9.0
16	−6.9	8.2
17	−20.3	7.0
18	−23.3	6.0
19	−42.5	3.2
20	−48.5	0.0

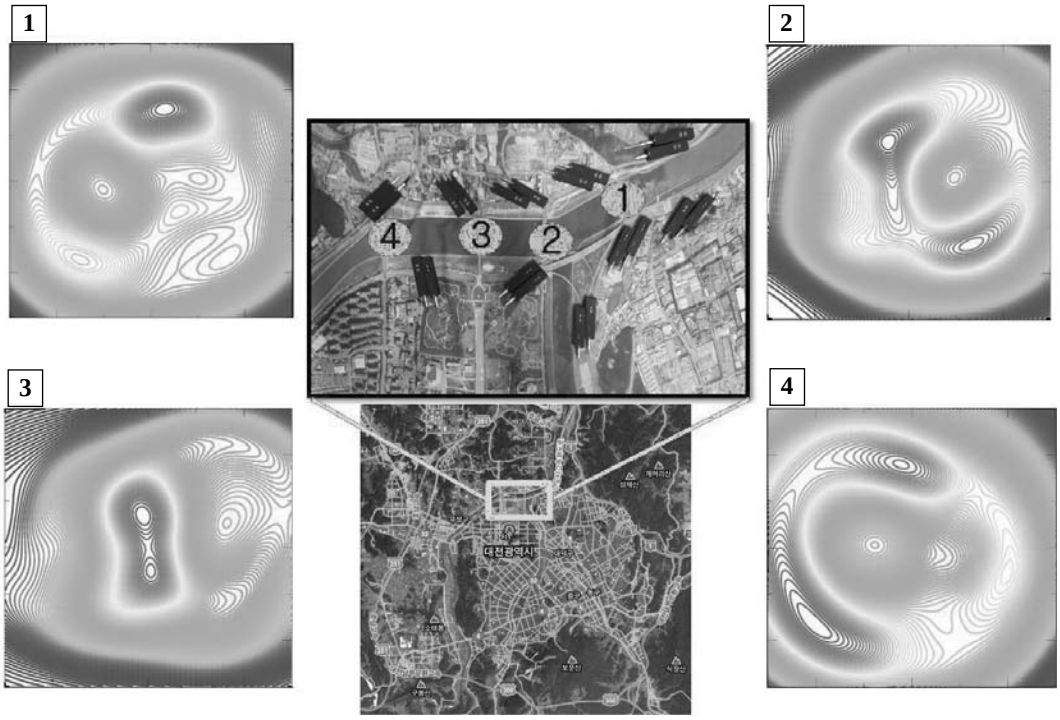

Fig. 5. Gamma-ray image reconstruction at different location of the ^{137}Cs source.

서 20개의 다중 CsI(Tl)-PIN 광다이오드 감마선 계측기들의 기준으로부터 떨어진 거리 배치는 다음 Table 2와 같이 이루어졌다.

^{137}Cs 선원의 첫 번째 위치는 기준으로부터 (19 cm, 7.5 cm) 떨어진 지점이다. 두 번째 위치는 기준점에 배치되었고 세 번째 위치는 (−16.5 cm, 0 cm) 지점, 마지막 네 번째 위치는 (−39.3 cm, −2 cm) 지점에 배치되었다.

20개의 다중 CsI(Tl)-PIN 광다이오드 감마선 계측기를

이용하여 측정 지역의 오염 정도를 이미지화하여 오염원을 예측할 수 있는 자료를 산출하기 위해 NI사 DAQ 시스템을 사용하였고 시스템 구동을 위해 Labview 프로그램을 20개 계측기들의 배열에 따라 측정되는 계수값들을 쓰도록 프로그래밍 하였다. ^{137}Cs 선원 위치에 따라 측정된 계수값을 이용하여 ^{137}Cs 선원 위치 및 방사능 세기를 리눅스 기반의 ROOT 프로그램을 이용하여 이미지화, 이미지 재구성을 행하였다. 영상 재구성은 ROOT 프로그램을 사용하여 방사성 동위원소의 예상되는 위치의 추측의 예측치와 실험치를 비교분석하여 영상화 하였다. 감마선 영상을 재구성한 결과 주변에 계측기의 수가 많을 수록 위치 분해능이 좋았으며 선원에서 가장 가까운 CsI(Tl)-PIN 광다이오드 감마선 계측기의 계수값(빨간 영역)이 다른 영역보다 더 높은 것을 볼 수가 있었다. 또한 선원의 위치가 옮겨감에 따라 선원에 근접한 계측기들의 계수값(빨간 영역)들이 옮겨가면서 영상도 바뀌는 것을 확인할 수가 있었다. Fig. 5에서 그린 감마선 영상에서 1번 위치의 경우 동위원소 위치 영상 분해능은 95%의 정확도로 40.9 cm에 분포한다는 결과를 얻었다. 실제 환경에서는 계측기의 위치 분포의 최적화가 중요하며, 현장에서는 활용 가능성을 확인하였다.

결 론

본 연구에서는 hybrid-type CsI(Tl)-PIN 광다이오드 계측기를 설계 및 제작하여 센서의 성능평가를 행하였고 국가안보 차원에서 하천수 방사선 오염 측정을 위해 제작한 방사선 모니터링 CsI(Tl)-PIN 광다이오드 계측기의 성능 및 특성평가를 행하였다. 선원 위치 추적을 위해 다중 hybrid-type CsI(Tl)-PIN 광다이오드 감마선 계측기들의 성능평가는 NI사 DAQ 모듈 시스템과 Labview 프로그램을 이용하여 ^{137}Cs 선원 위치에 따른 계측기들의 계수값들을 측정하여 이미지 재구성을 행하였다. 감마선 오염 지도 작성 계측 시스템은 동위원소 위치에 따른 방사선 영상을 얻을 수 있어 현장 활용 가능성을 확인하였다. 향후 에너지 분해능 향상을 위해 자체 제작한 전자회로의 노이즈 감소를 위한 시스템 최적화 연구를 수행할 계획으로 보안 검색, 환경 오염 감시, 교육, 산업 등 다양한 분야 적용연구를 진행할 계획이다.

사 사

본 연구는 한국원자력연구원 창의연구과제 및 교육과학기술부 연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다. 영상 구현에 도움주신 김남영 박사님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

나원경, 김한수, 연제원, 이레나, 하장호. 2011. 광역 하천수 방사능 오염 측정을 위한 Hybrid-type CsI(Tl)-PIN 광다이오드 계측시스템 개발. 대한방사선방어학회 2011년도 춘계학술발표회 및 심포지엄. KARP1_C2011A_0054.

Kim HS, Park SH, Ha JH, Lee DH and Cho SY. 2010. Characteristics of a fabricated PIN photodiode for a matching with a CsI(Tl) scintillator. *IEEE TNS* **57**(3):1382-1385.

Korea National Instrument. www.ni.com/ko.

Manuscript Received: May 11, 2011
Revision Accepted: May 16, 2011