

고압제논(HPXe) 이온함 검출기 제작 및 성능평가

박준식 · 장도윤 · 강병휘 · 김응균*
한양대학교

E-mail: ykkim4@hanyang.ac.kr

중심어 (keyword) : HPXe, 이온함, 검출기 성능평가, 환경 방사선 감시 시스템

서론

고압 제논(HPXe) 이온함 검출기는 감마선과 X-선을 측정할 수 있는 효율적인 검출기로 연구되고 있으며, 현재 상온 반도체인 CZT 검출기와 더불어 활발히 연구 개발되고 있는 검출기 중의 하나이다. 특히, 일반 섬광체에 비하여 고분해능으로 방사선을 측정할 수 있으며, 이동형 방사선 계측기로 제작이 가능하다. 불활성 가스인 Ar, Kr, Xe을 15기압에서 50기압까지 고압으로 충전하여 사용하는 장수명 이온함 검출기는 산업용 두께 측정기에도 활용되는 등 광범위하게 활용되고 있다[1,2]. 또한 대량 생산을 통하여 산업화가 가능하면서, 가스 압력을 증가시켜 감마선에 대한 반응성이 높고, 간단한 구조를 가지며 적은 비용으로 장기간 안정적으로 사용할 수 있는 검출기로서 고압 제논 이온함 검출기의 필요성이 더욱 커지고 있는 형편이다. 그에 따라 국내 원전의 환경 방사선 감시 시스템에 고압제논 검출기를 사용한 시스템의 도입이 증가하고 있다.

본 연구에서는 고압 제논 이온함 검출기를 자체 개발하고 그 성능을 평가하였다.

재료 및 방법

설계 제작된 고압 제논 이온 챔버의 감마선에 반응 스펙트럼을 MCNPX 코드를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 감마선의 에너지는 660 keV 에너지대를 이용하였고 제논의 기압은 40 atm으로 하여 시뮬레이션 하였다. Ar기체와 Xe기체의 예상 스펙트럼을 전산모사

하고, HPXe 챔버의 외벽 두께에 따른 스펙트럼의 형태를 전산모사 하였다. 제작된 실린더형 이온함의 직경은 42 mm이고, 길이는 130 mm이며 이에 따른 유효체적은 142.94 cm³ 이었다. 절연체로는 세라믹을 사용하였으며, 내벽에 전극을 입혀 외극에 음의 고전압을 걸어주는 방식을 택하였고, 양이온에 의해 생성된 전하를 막기 위해 shielding mesh 전극을 두었다. 고압을 견디기 위한 flange에 세 개의 feed-through를 사용하여 내부 전극과 연결할 수 있도록 하였다. feed-through는 ceramaseal사의 5 kV DC 전압의 conductor는 nickel로 되어 있는 것을 사용하였다.

모든 성능 테스트에서 전류의 측정은 ULS사의 전류 측정 모듈인 ULS75100을 사용하였다. 신호의 기록은 current meter와 computer 간의 RS232 Serial 통신을 통하여 자동적으로 초당 한 번씩 기록되도록 하였다. 이온함의 포화전류를 확인하기 위한 실험에서 사용한 high voltage power supply 모듈로서 CAEN사의 N471A가 사용되었고, Cs-137 표준선원을 챔버 중심 외벽에 밀착 고정시켜 0 V 부터 3000 V까지 200 V의 간격으로 충분한 안정화 시간을 거쳐 같은 시간대의 전류신호를 평균하여 기록하였다. 누설 전류 측정은 자연방사선에 의한 영향을 최소화 하기위해 lead block으로 챔버를 차폐시킨 상태에서 진행 되었다. 선량률에 대한 전류 선형성 실험은 6.49 μ Ci의 Co-60 선원을 사용하여 챔버 중심으로부터의 거리가 각각 25 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm, 60 cm 인 위치에서 측정하여 평가하였다. 마지막으로 안정성 실험은 포화전류 실험에서와 같은 조건으로 약 17 시간동안의 전류 변화를 기록함으로써 전류의 변화도를 확인하였다.

결과 및 고찰

포화전류 실험의 결과 그래프는 아래의 Fig. 1에 나타내었다.

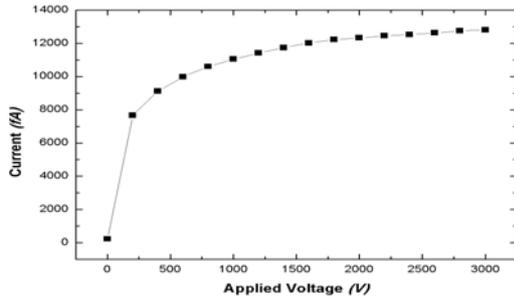


Fig. 1. 전압에 따른 고압 제논 이온함의 포화곡선

포화전류는 약 1500 V에서 나타남을 확인할 수 있었고 slope plateau는 $6.81 \times 10^{-3} \% / V$ 였다. 이 결과에 따라 다른 모든 실험은 1500 V에서 측정하였다. 누설전류의 평균값과 표준편차는 10.13 fA와 13.70 fA이었으며 누설전류의 변동폭은 94 fA 였다.

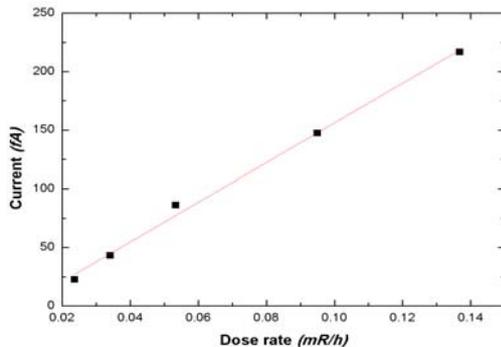


Fig. 2. 저선량에 따른 전류의 선형성

선량률에 대한 전류 선형성 실험 결과는 Fig. 2에 보였다. fitting된 line의 기울기와 y절편은 각각 1690 과 -12.9 이고 Root Mean Square (RMS) error는 0.99로서 선형성을 보여주었다. 안정성 실험에 대한 결과는 Fig. 3에 보였으며 시간이 지남에 따라 전류가 낮아지는 경향을 보였다. 전류의 평균값과 표준편차는 각각 12.40 pA와 $9.548 \times 10^{-2} pA$ 였다. 앞으로 보다 장시간에 걸친 전류 측정 실험이 필요할 것으로

생각된다.

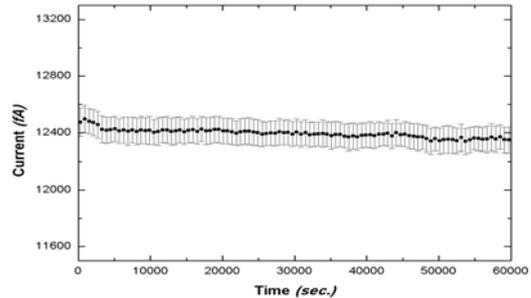


Fig. 3. 시간 경과에 따른 전류 안정성 실험 결과

결론

이상의 연구를 통하여 고압 제논 이온 챔버의 개발로 고압형 가스 검출기 제작 기술을 확립할 수 있으며, 검출 효율이 높은 이온함 검출기의 제작 및 활용이 가능할 것으로 기대된다. 앞으로 고압제논 이온함 검출기가 현재 환경 방사선 핵종 분별 및 환경 방사선 선량 측정에 대중적으로 사용되고 있는 섬광형 검출기와 고압 아르곤 이온함 검출기를 대용하기 위해서는 추가적인 spectroscopy 실험을 통한 성능평가가 필요하다. 나아가 고압 제논 이온함 검출기는 지질 탐사, 원자로 및 방사성 폐기물 관리 시설에도 활용이 가능할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 원전방사선 안전성 향상기술 연구센터 과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] A.E. Bolontnikov, et al., "The spectroscopic properties of high-pressure xenon," Nucl. Instrum. Methods A 396, 360-370 (1997).
- [2] A.E. Bolontnikov, et al., "Improving the energy resolution of high pressure Xe cylindrical ionization chambers," IEEE Trans. Nucl. Sci. 44, 1006-1010 (1997).