

고압 제논 챔버 제작 및 선형성, 안정성 평가

이철호¹ · 장도윤¹ · 박병현¹ · 강병휘¹ · 김용균^{1,*}

한양대학교 원자력공학과¹

E-mail: ykkim4@hanyang.ac.kr

중심어 (keyword) : HPXe chamber, 이온 챔버, MCNPX, 선형성, 안정성

서론

High-pressure xenon (HPXe) gas는 원자번호가 54번으로 큰 기체이기 때문에 100keV 영역대의 에너지를 가지는 감마선의 검출효율이 매우 높다. 그리고 ¹³⁷Cs 선원이 방출하는 662keV 감마선에 대한 에너지 분해능이 1.7-2%로 우수하다. 또한 제논 가스가 주입된 이온 챔버는 높은 온도까지의 온도변화에서도 반응성이 크게 변하지 않기 때문에, 외부 환경 변화가 큰 분야에 적용이 가능하고, 최근에는 방사선감시장치(RMS)에서 이상적인 검출기로 고려되고 있다.

본 연구에서는 고압 제논 챔버를 설계 및 제작하고 감마선에 대한 반응성을 측정 후, 안정성을 평가하였다. 챔버 제작을 위해 MCNPX code를 이용하여 외벽 두께에 따른 에너지 스펙트럼과 방사선원의 입사 방향에 대한 의존성에 대해 전산모사를 수행하여 챔버를 설계하였다. 설계에 따라 제작된 챔버에 에너지 분해능을 향상시키기 위해 shielding mesh를 적용하였으며, 가스 정제 및 주입 시스템을 이용하여 고순도 Xe+7% ⁴He 가스를 주입하여 이에 대한 특성 평가를 수행하였다. 그리고 RMS에서 다루고 있는 선량률(5-80 μ Sv/h)에 대한 선형성을 ²²⁶Ra 선원을 이용하여 평가하였다. 마지막으로 안정성 평가에 앞서 ¹³⁷Cs 선원을 이용하여 시간에 대한 전류를 측정하였다.

재료 및 방법

본 연구에서는 실린더 형태의 HPXe 이온챔버 DC 모드를 설계 및 제작하였다. DC 모드는 AC 모드와 큰 차이점은 없지만, DC 모드는 외벽에 전극을 입혀서 고전압을 부여하는 것이 다른 점이다. 제작된 이온 챔버의 직경은 42mm, 길이 130mm로 유효체적은

142.94cm³이다. 절연체로는 세라믹을 사용하였으며, 양이온에 의해 생성된 전하를 차단하기 위해 그림1과 같이 shielding mesh 전극을 설치하였다.

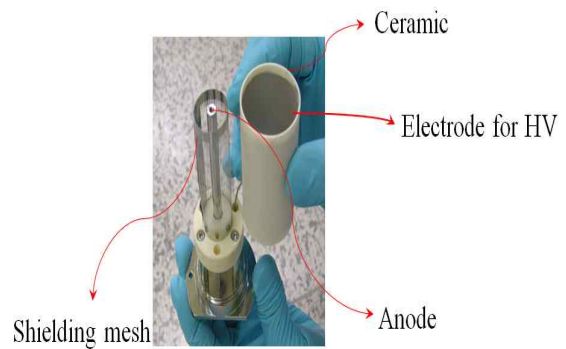


그림1. HPXe 챔버의 내부 모습

설계 제작된 HPXe 이온 챔버의 감마선 반응 스펙트럼을 획득하기 위해 MCNPX code를 이용하여 분석하였다. 방사선원의 에너지는 ¹³⁷Cs이 방출하는 감마선 662keV로 가정하였으며, 기체 압력은 40atm으로 설정하였다. 그리고 외벽 두께는 0.8mm, 2mm, 3mm로, 방사선원의 입사 방향은 챔버 중심축을 0도 기준으로 45도 간격으로 180도까지 변화를 주었다.

HPXe 이온 챔버의 선량률에 대한 선형성 평가를 위해 한국원자력연구원의 Calibration Room에서 ²²⁶Ra 선원(0.906mCi)을 이용하여 거리에 따른 전류변화를 살펴보았다 [1]. 그리고 안정성 평가를 위한 실험에 앞서 ¹³⁷Cs 선원을 이용하여 10시간 동안 전류변화를 측정하였다.

결과 및 고찰

HPXe 이온 챔버의 외벽 두께를 0.8mm, 2mm, 3mm로 변화를 준 MCNPX 전산모사 수행 결과는 그림2와 같다.

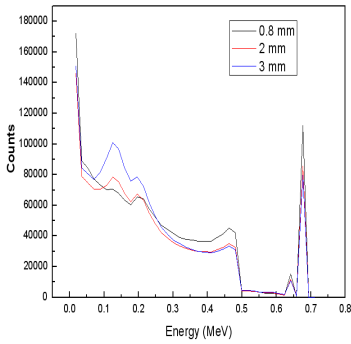


그림2. ^{137}Cs 선원에 대한 외벽 두께에 따른 전산모사 결과 외벽의 재질은 제작된 이온 챔버와 같은 stainless로 가정하였다. 그림2의 결과에서 Photo peak부분을 통해 외벽의 두께에 따른 스펙트럼의 변화가 없음을 확인하였다.

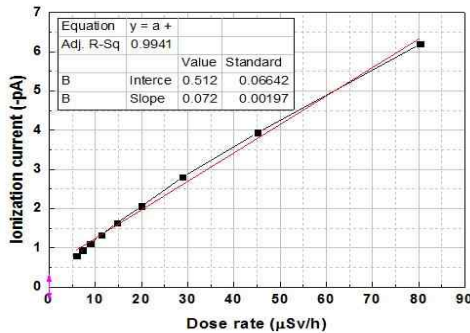


그림3. ^{226}Ra 선원을 이용한 선량률에 대한 선형성 제작된 HPXe 이온 챔버의 선형성 평가를 위해 $^{226}\text{Ra}(0.906\text{mCi})$ 선원과 챔버 사이의 거리를 일정하게 변화시켜서 전류변화를 측정하였다. 선형성 측정 결과 본 HPXe 이온 챔버는 5-80 $\mu\text{Sv/h}$ 선량률 범위에서 99.4%의 선형성을 가지고 있으며 결과는 그림3과 같다.

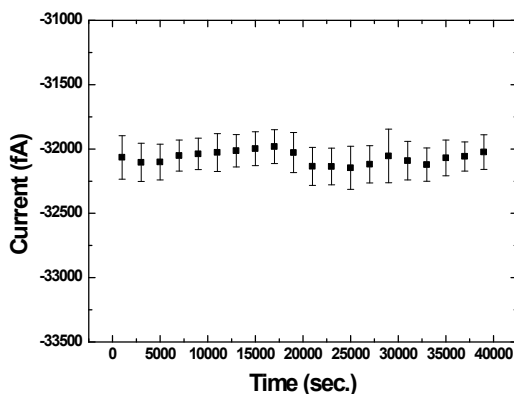


그림4. HPXe 챔버의 시간에 대한 전류변화 챔버의 안정성 평가에 앞서 ^{137}Cs 선원을 이용하여 10 시간 동안의 전류변화를 매 1초 간격으로 측정하였고, 2000초 구간마다 평균과 표준편차를 그림4에 나타내었

다. 10시간 동안의 전류 평균값은 -32pA , 표준편차는 0.39pA 로 측정되었고, 평균값 기준으로 $\pm 2.5\%$ 의 상대 오차를 보였으며 평균값에 대한 표준편차의 비는 1.2%였다. Argon gas로 충전된 챔버의 평균값에 대한 표준편차의 비가 1.27%인 것과 비교했을 때, 차이가 없음을 확인할 수 있었다. [2] 즉, xenon gas는 argon gas의 장점을 가지고 있으면서 원자번호가 큰 기체이므로 감마선의 검출 효율이 좋으며, 에너지 분해능이 우수하므로 방사선감시장치(RMS)에서 이상적인 검출기로 고려되고 있다.

결론

본 연구에서는 MCNPX 전산모사 결과를 이용하여 Shielding mesh를 적용한 HPXe 이온 챔버를 설계 및 제작하였다. 챔버를 이용하여 선량률에 대한 전류 변화가 99.4%의 선형성을 가지는 것을 확인하였다. 그리고 10시간 동안 측정한 전류가 평균값 -32pA 을 기준으로 $\pm 2.5\%$ 의 상대오차를 가지고 있었다.

추후에는 안정성 평가를 위한 대량의 자료 확보를 위해 1년간 전류변화를 측정할 예정이다. 자료 확보 및 분석을 통해 안정성이 확인된다면, 제작된 HPXe 챔버를 이용하여 국내 원자력발전소 주변의 선량률을 실시간으로 감시할 수 있는 시스템을 구축할 수 있을 것이라 예상된다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 원자력연구개발사업의 고속중성자 정밀 측정 기술 및 장치개발(20090081806) 그리고 지식경제부 원전 방사선 안정성 향상 기술 연구센터사업(2008PEPHME0600002008)의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

1. H. S. Kim, S. H. Park, J. H. Ha, et al., Radiation Measurements 43, 659-663 (2008).
2. H. S. Kim, J. H. Ha, et al., Journal of radiation protection, Vol. 34, No. 2 (2009)
3. Albert beyerle, et al., Hard X-ray and Gamma-ray Detector Physics VII. Volume 5922, pp. 56-61 (2005)