

## 이온주입에 의한 크립톤 및 제논 기준물질 제조

박순달, 김정석, 하영경, 송규석  
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045  
 nsdpark@kaeri.re.kr

크립톤 및 제논 등 핵분열생성기체는 핵연료의 증성자 조사 시 생성되는 핵분열생성물중 가장 많이 생성되는 핵종이다. 생성된 크립톤 및 제논은 대부분 사용후핵연료 조직내에 잔류되어 핵연료의 물리화학적 특성을 변화시키며, 일부는 방출되어 핵연료봉내압을 증가시키고 헬륨 물분율을 감소시킨다<sup>1,2,3</sup>. 핵분열기체방출율(Fission Gas Release(FGR))은 상용 원자로의 연소도 상한 설정에 중요한 자료가 된다. 핵분열기체방출율은 핵연료의 증성자조사 시 생성된 핵분열기체의 총량과 핵연료봉내 방출량으로부터 구할 수 있다. 핵분열기체생성량(Fission gas generation(FGG))은 코드에 의한 계산 혹은 실험적 측정으로 구할 수 있다. 보다 정확한 핵분열기체관련 코드를 개발하고 검증하기 위해서는 사용후핵연료 내 잔류핵분열기체의 조성 및 동위원소 분포에 대한 실험적 자료의 축적이 요구된다.

사용후핵연료 내 잔류 핵분열기체 측정은 잔류기체 추출을 위한 시료의 파괴, 방출기체 포집, 측정의 단계로 이루어진다. 잔류핵분열기체의 정량적 측정을 위해서는 크립톤 혹은 제논이 주입된 고체 표준물질이 요구된다. 크립톤 및 제논은 주기율표상 영축의 불활성기체로서 어떤 재료와도 반응하기 힘든 성질을 가진다. 이와 같은 크립톤 및 제논 기체의 특성으로 인해 고체매질에 정량적으로 주입한 표준물질 제조가 용이하지 않다. 따라서 본 연구에서는 재료의 표면특성 개질에 이용되는 이온주입기를 사용하여 고체 매질에 주입된 크립톤 혹은 제논 기준시편을 제조하고자 하였다.

이온주입에 의한 크립톤 및 제논 기준시편 제조 시 타겟은 가정용 알루미늄 호일을 사용하였다. 고체매질에 이온주입 시 주입 깊이는 수백 nm 이하이며 이온주입량은 일정 농도까지 주입시간에 비례하는 경향을 보인다<sup>4</sup>. 사중극자질량분석기에 의한 기체 시료의 크립톤 및 제논 측정한계는 0.5 vpm 정도이다. 알루미늄은 취급 및 가공이 용이하고 이온주입 후 원하는 농도에 따라 절단하여 사용할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 두께 약 15  $\mu\text{m}$ -18  $\mu\text{m}$ 인 가정용 알루미늄 호일에 각기 다른 성능의 이온주입기로 크립톤 혹은 제논을 주입 하였다. 이온주입기로 알루미늄 호일에 크립톤은 가속전압 70 keV에서 1.0 E17-4.0 E17 ions/ $\text{cm}^2$ 를 목표로 주입하였다. 또한 제논은 같은 가속전압에서 1.3 E18 ions/ $\text{cm}^2$ 를 목표로 주입하였다. 이 정도의 높은 주입량을 얻기 위해서는 4 시간-8 시간의 주입이 요구된다. 이온주입량을 조절할 수 있는 다른 이온주입기로 가속전압 400 keV에서 크립톤 질량 84를 분리하면서 3.0 E16 ions/ $\text{cm}^2$ 를 목표로 주입하였다.

이온주입한 알루미늄 호일에 주입된 크립톤 및 제논의 주입량을 정량적으로 확인하기 위해서는 Rutherford backscattering spectrometer(RBS)라는 기기로 표면분석을 해야 한다. 본 연구에서는 1.7 MeV tandem Van de Graff 가속기에 설치되어 있는 RBS로 분석하였다. 이 분석방법은 표준물질이 필요 없는 절대분석법이며 비파괴분석법이다. 그림 1은 크립톤 및 제논을 주입한 알루미늄 호일 표면의 200배 이차전자현미경상 및 RBS 정량분석 스펙트럼이다.

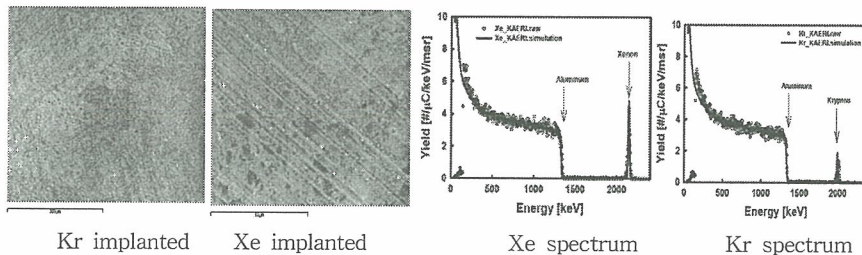


Fig. 1. Secondary electron image(SEI) and rutherford backscattering spectroscopy(RBS) analysis results of Kr or Xe implanted Al foils.

RBS 분석결과 크립톤 및 제논의 주입 깊이는 10 nm-180 nm 범위로 주입 깊이는 가속에너지에 비례하였으며 주입이온의 질량에 반비례하였다. 가속전압 70 KeV로 주입한 알루미늄 호일의 크립톤 농도

는 주입 목표량의 약 24%로 나타났다. 또한 같은 가속전압으로 주입한 제논의 농도는 주입목표량의 약 2% 정도였다. 가속전압 400 KeV로 주입한 알루미늄 호일의 크립톤 농도는 주입목표량의 약 110% 정도로 나타났다. 본 연구에서는 이온주입한 타겟의 주입농도를 정확하게 알 수 있으면 만족하므로 목표 주입량은 중요하지 않다. 알루미늄 호일에 크립톤 혹은 제논 주입 후 RBS로 이온주입량을 결정하여 사용 후 핵연료내 잔류핵분열기체 측정 시 기준시편으로 사용할 예정이다.

#### 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발중장기 계획사업의 일환으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. M. Mogensen RISO-M-2352, "Determination of retained gas in irradiated samples," 1982.
2. D. L. Baldwin, HEDL-7004, "New instrumental method for determining noble fission gas retained in irradiated nuclear fuels," 1981.
3. Y. Hatakeyama, K. Sudou, H. Kanazawa, JAERI-Tech2004-033, "Development of fission gas measurement technique in the irradiated fuel pellet," 2004.
4. T. Weber, K-P. Lieb, "High Fluence xenon irradiation of aluminium: Sputtering and saturation implantation," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B44(1989)54-60.