

흑연 구조체에 조사된 중성자 선속을 이용한 Wigner 에너지 분석

황정훈, 이동규, 이근우, 정종현, 정경환
 한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150 번지
 hihoon78@kaeri.re.kr

Wigner 에너지는 흑연내부에 중성자 조사로 인해 탄소결정들의 불안정한 구조적 변화로 발생 되는 열에너지이다. 이 에너지는 중성자 조사량에 따라 크게 영향을 받는다. Wigner 에너지의 방출로 인하여 저장용기의 손상 및 화재의 위험성을 조기에 감지하며, 중성자가 조사된 흑연의 안정적인 관리를 위하여 Wigner 에너지의 제거가 필요하다..

본 연구는 흑연내에서 조사되는 중성자 선속[1]에 의해 결정되는 Wigner 에너지의 관계를 예측하기 위해서 Wigner 에너지의 열적 특성과 흑연내에서 거리별 중성자 선속 계산이 수행되었다. 먼저 Wigner 에너지의 측정은 가열냉각의 영향으로 중성자의 영향을 받은 흑연에 축적되는 에너지가 다시 흑연 밖으로 방출되는 현상이 동시에 일어나는 특성을 이용하여 DSC(Differential Scanning Calorimeter)의 일정 온도 상승 방법(Linear Temperature Rise Method)으로 구하였고, MCNP-4C[2] 코드를 이용하여 Thermal Column에 분포되는 중성자 선속을 구하였다. 이 과정을 이용하여 Thermal Column 내의 조사된 중성자 분포에 대한 Wigner 에너지의 관계를 알아본다.

- 흑연내의 Winger 에너지 방출 및 방사성 기체 방출 특성 분석

중성자 조사에 의해 흑연 내에 축적된 Wigner 에너지의 양과 가열온도에 의한 에너지 방출량은 DSC(Differential Scanning Calorimeter)를 사용하여 측정하였다. 내부에너지는 분말화 된 흑연을 10 °C/min의 승온온도로 500 °C까지 가열하면서 측정하였다. Winger 에너지 방출을 위한 가열 냉각 온도조건에서 방사성 기체 방출특성을 평가하기 위하여 분말화 된 흑연시료를 300 ~ 500 °C로 가열하면서 포집된 방사성 기체를 분석하였다. 그 결과를 그림 1 에 나타내었다. 온도가 120 °C에 도달하면 Wigner 에너지가 방출하기 시작하여 200~250 °C구간에서 가장 많이 방출되고, 500 °C이상 가열하면 대부분의 에너지가 방출되었다.

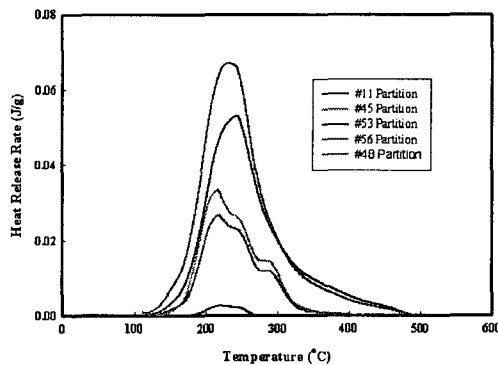


그림 1 온도에 따른 열방출 에너지의 관계

- MCNP-4C에 의한 Thermal Column의 모델링

MCNP-4C를 이용하여 연구로 2호기 내의 Thermal Column 내부에 위치되어 있는 흑연 구조체를 설계하였다. 연구로 노심에서 발생하는 평균중성자 선속은 $1.4 \times 10^{13} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이며, Thermal Column은 그림 2 와 같이 Horizontal 구조와 Vertical 구조로 되어 있다. Horizontal 구조일 경우 가로 122 cm, 세로 122 cm, 깊이 335 cm의 크기로서 0.3 cm 두께의 Boral 및 5 cm 두께의 폴리에틸렌으로 라이닝된 구조체 안에 10.2 cm × 10.2 cm 크기의 흑연블록과 납벽돌이 채워진 형태이며, Vertical 구조는 가로 91.4 cm, 세로 91.4 cm, 깊이 86.4 cm의 크기를 같은 알루미늄 Basket에 78.7 cm 길이의 흑연기둥이 채워진 구조이다. 중성자 선속은 노심과 Thermal Column의 거리를 5, 10, 15, 20 cm 간격으로 계산을 하였다.

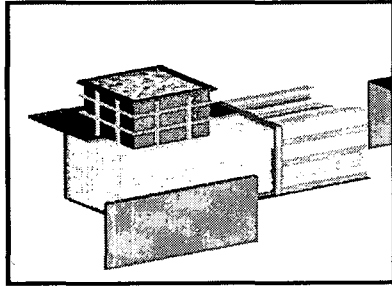


그림 2 Thermal Column의 구조

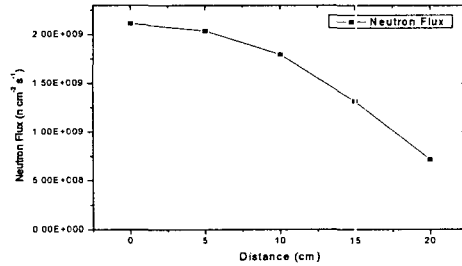


그림 3 흑연 구조체의 거리별 중성자 선속

그림 3 은 Thermal Column의 거리에 대한 중성자 선속의 분포를 나타내었다. 중성자 역시 거리에 따라 선속의 양이 줄어드는 것을 알 수 있었다. Wigner 에너지는 흑연내부로 조사되는 중성자 선속이 크거나 조사거리가 짧을수록 높은 온도가 보이는 것으로 분석되었다. 또한 각 거리별 중성자 선속값과 DSC의 측정결과를 근거로 흑연의 거리당 중성자 선속에 대한 Wigner 에너지 관계 정량적으로 제시할 것이다.

참 고 문 헌

1. Mahound M. IMAN, Thermal neutron flux distribution in ET-RR-2 Reactor Thermal Column. Nucler Technology & Radiation Protection 1-2 64-67 (2002)
- 2 J.F. Briesmeister for Group X-6 MCNP-A General Monte Carlo N-Particle version-4B, LAND, report LA-12626-M (1993)