

## SMART 연구로 IST 영역에서의 중성자속 분포 평가

구 본승, 김 교운, 이 정찬, 지 성균

한국원자력연구소

대전시 유성구 덕진동 150 번지

bskoo@kaeri.re.kr; sky@kaeri.re.kr; ccllee@kaeri.re.kr; zee@kaeri.re.kr

### 1. 개요

SMART 연구로의 방사선 차폐 기능을 강화하기 위하여 원자로압력용기 외부에 설치된 내부차폐탱크 (IST-Internal Shielding Tank) 영역에서의 에너지 구간별 중성자속 분포를 평가하였다. DORT 와 MCNP 전산코드를 이용, 100% 출력 운전조건에 대하여 계산을 수행하였으며, 이 결과는 노외계측기가 IST 영역에 설치될 경우 노외계측기 선속 요건으로 이용될 수 있다.

### 2. 본론

#### 2.1 전산코드

중성자속 평가에 사용된 DORT[1] 코드는 2 차원 각분할법 수송코드로 방사선 차폐에 주로 사용되며 노심 선원항 자료와 GIP[2]에 의한 거시 핵단면적 자료를 필요로 한다. GIP 계산에는 중성자 47 군과 감마 20 군으로 구성된 67 군의 BUGLE-96[3]을 사용하였다. 그리고 DORT 계산에서 P<sub>5</sub> 차원 산란 및 S<sub>8</sub> 차원 각분할 방법을 사용하였는데, S<sub>8</sub> 차원 각분할 방법에 사용되는 Quadrature Set 은 참고문헌 4 로부터 취하였다.

MCNP 계산에서는 핵단면적 자료로 ENDF/B-VI[5]의 600K/300K 라이브러리를 사용하였으며 입력문의 TMP(Free-Gas Thermal Temperature) 카드를 이용하여 각 영역별 온도분포 변화를 보정하였다. 그리고 냉각재로 사용되는 물의 밀도를 위치에 따라 변화시켰다. 즉 노심영역은 노심 평균온도에서의 값을, 노심원통(Barrel)부터 원자로압력용기 사이는 노심 입구온도에서의 값을, 그리고 IST 내부는 상온에서의 값을 사용하였다.

#### 2.2 모사 범위 및 해석 방법

그림 1 은 DORT 및 MCNP 모사에 사용된 SMART 연구로의 구조로, DORT 계산 모델은 축 방향으로 원자로압력용기 하단(z=-116.5cm)으로부터 노심 부분을 거쳐 노심 수집헤더 상부(z=78.3cm)까지 포함한다. 모델링은 반경 방향과 축 방향에 대해 245x191

미세 격자 구간으로 나누어 R-Z 기하구조로 모사하였으며 Reflective 및 Void 경계조건을 적용하였다. IST 영역에서의 중성자속 분포는 계측기 안내관이 설치되지 않은 경우와 계측기 안내관이 설치된 경우의 2 가지 경우로 나누어 평가하였다.

MCNP 계산 모델에서는 축 방향으로 유효노심을 포함하여 상·하 30cm 의 반사체 영역과 반경 방향으로 IST 영역까지 3 차원으로 모사하였다. 그리고 계산 결과는 F2/ F4 Tally 를 이용하여 노심 중심부터 IST 영역까지 거리에 따른 중성자속을 계산하였다. 또한 IST 영역에서 높이에 따른 중성자속 분포를 예측하기 위하여 가상 Surface 를 정의, 등 간격 별 중성자속을 동시에 계산할 수 있도록 하였다.

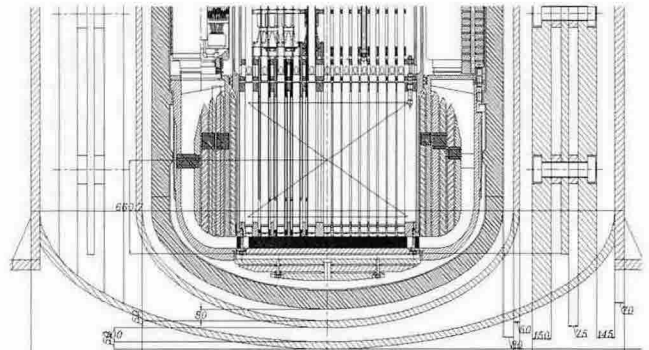


그림 1. SMART 연구로의 원자로 집합체 및 IST 구조

#### 2.3 계산 결과

DORT 코드를 이용하여 SMART 연구로 IST 영역에서의 중성자속 분포를 계산하였다. 각분할법 코드 계산의 경우 일반적으로 사용되는 30%의 불확실도를 적용하므로 노외계측기의 측정 범위를 고려하기 위하여 DORT 결과의 70%를 최종 중성자속으로 간주하였다.

계측기 안내관이 설치되지 않은 경우와 설치된 경우에 대한 중성자속 분포를 그림 2 와 그림 3 에 각각 나타내었다. 그림 2 의 IST 내부 첫 번째 물 영역 (151.7cm~161.7cm)에서의 중성자속 분포를 살펴 보면, 0.625eV 이하의 에너지를 갖는 중성자속의 경우, 물 영역이 시작되는 반경 152cm 부근은  $1.2 \times 10^8$  n/cm<sup>2</sup>s 이지만 155cm 근처에서는  $6.2 \times 10^8$

n/cm<sup>2</sup>s 까지 증가했다가 IST 내부 철 구조물 영역인 반경 162cm 부근에선 다시 1.0x10<sup>8</sup> n/cm<sup>2</sup>s 으로 감소한다. 계측기 안내관이 설치된 경우인 그림 3 에서도 유사한 결과를 보이는데, 반경 152cm 부근은 1.1x10<sup>8</sup> n/cm<sup>2</sup>s, 154cm 부근은 4.9x10<sup>8</sup> n/cm<sup>2</sup>s 를 보이고, 계측기 안내관이 설치되는 반경 162cm 부근에선 9.3x10<sup>7</sup> n/cm<sup>2</sup>s 으로 다시 감소한다. 그리고 안내관 내부에서는 이 값을 유지하다가 안내관의 끝 부분, 즉 2 번째 철 구조물 영역인 반경 184cm 부터 급격히 감소하는 것으로 나타났다.

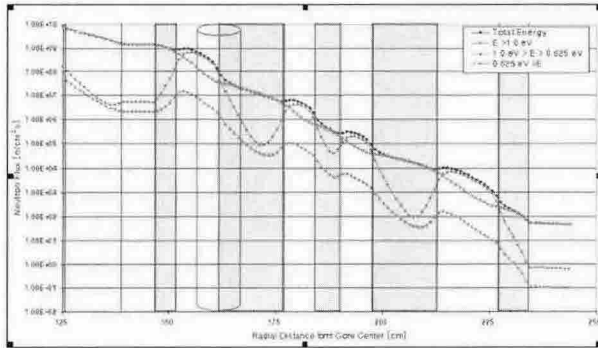


그림 2. 계측기 안내관이 설치되지 않은 경우 IST 영역의 에너지 구간별 중성자속 분포 (DORT 결과)

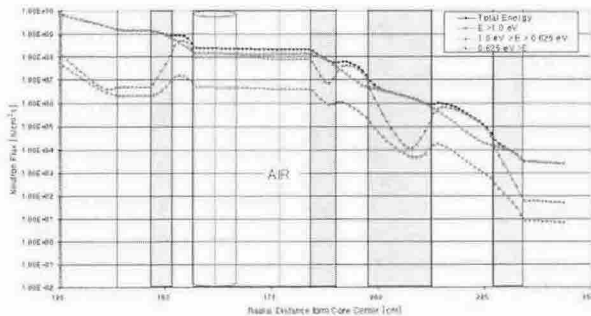


그림 3. 계측기 안내관이 설치된 경우 IST 영역의 에너지 구간별 중성자속 분포 (DORT 결과)

그림 4 는 MCNP 계산 결과로 전체적인 중성자속 형태는 계측기 안내관이 설치되지 않은 경우의 DORT 결과(그림 2)와 유사한 것을 알 수 있다. IST 바깥 면을 기점으로 열중성자속은 급격하게 증가하여 물 영역에서 최대치를 보이고 다시 감소하게 되며 이때의 열중성자속은 속중성자속보다 큰 값을 보이는데 앞의 경우와 마찬가지로 IST 철 구조물을 통과한 속중성자가 감속능이 큰 물 영역에서 에너지를 잃고 열중성자로 변하였기 때문이다. 이런 현상은 IST 영역이 끝날 때까지 반복 진행되며 중성자속의 크기는 선형적으로 감소한다.

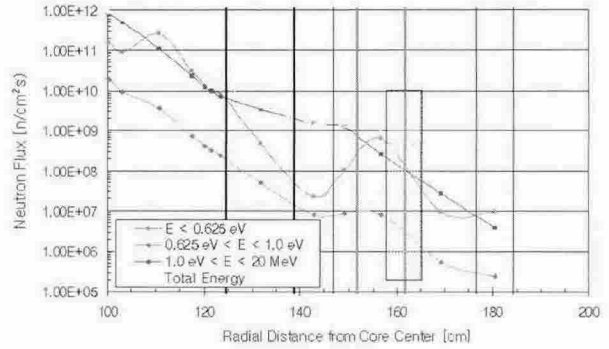


그림 4. 계측기 안내관이 설치되지 않은 경우 IST 영역의 에너지 구간별 중성자속 분포 (MCNP 결과)

### 3. 결론

고온 전출력 조건에서 SMART 연구로 IST 영역에서의 에너지 구간별 중성자속 분포를 DORT 와 MCNP 코드를 이용하여 평가하였다. 두 코드에 의한 열중성자속은 모두 IST 내의 첫 번째 물 영역에서 최대값을 보였으며 두 결과는 대략 10% 이내에서 일치하는 것으로 나타났다. 그러므로 DORT 계산값은 충분히 보수적이라고 판단되며 이 결과는 노외계측기가 IST 영역에 설치될 경우의 노외계측기 선속 요건으로 이용될 수 있다.

### 후 기

본 연구는 과학기술부의 일체형원자로 연구개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

- [1] RSICC Computer Code Collection-DOORS3.2, CCC-650, ORNL, April, 1998.
- [2] W. A. Rhoades, "The GIP Program for Preparation of Group-Organized Cross-Section Libraries," ORNL, April 13, 1978.
- [3] J. E. White, D. T. Ingersoll, C. O. Slater and R. W. Rossin, "BUGLE-96: Coupled 47 Neutron, 20 Gamma-Ray Group Cross Section Library Derived from ENDF/B-VI for LWR Shielding and Vessel Dosimetry Application," DLC-185, Oak Ridge National Laboratory, 1996.
- [4] J.P. Jenal et al, "The Generation of a Computer Library for Discrete Ordinates Quadrature Sets," TM-6023, ORNL, October, 1977.
- [5] "MCNP4C : Monte Carlo N-Particle Transport Code System," RSICC Code Collection, CCC-700, ORNL.