

MCNP 코드를 이용한 영광3호기 방사선관리구역에서의 중성자 스펙트럼 계산

한치영, 김종경
한양대학교

조찬희, 신상운, 송명재
전력연구원

요 약

영광3호기 방사선관리구역에 대한 중성자선량률을 정확히 평가하기 위하여 MCNP4A 전산코드를 이용, 방사선관리구역에서의 중성자 스펙트럼 계산을 수행하였다. 영광3호기에 대한 보다 정확하고 정밀한 3차원 몬테칼로 모델을 구축하기 위하여 핵연료집합체 구성요소 및 원자로심을 둘러싸고 있는 baffle, barrel, 압력용기 등을 정확하게 묘사하였으며, 특히 방사선관리구역 주위의 구조물에 대해서도 3차원 MCNP 모델을 구축함으로써 원자로심부터 방사선관리구역까지 완전한 몬테칼로 모사(full-scope Monte Carlo simulation)를 이용한 계산을 수행하였다. 계산결과는 에너지구간에 따른 중성자속 스펙트럼으로 나타내었으며 이 결과를 바탕으로 중성자속에 대한 선량을 환산인자를 고려하여 중성자선량률을 계산할 수 있다.

1. 서 론

원자력 발전소 운전중 기기점검이나 보수 등의 목적으로 원자로 건물내를 출입하는 작업자의 보호를 위하여 방사선관리구역에서의 정확한 중성자선량률 평가가 이루어 져야 한다. 특히 ICRP-60⁽¹⁾에서는 중성자에 의한 피폭선량을 중성자 에너지 구간별로 평가하도록 권고하고 있으므로 방사선관리구역에서의 중성자선량률을 평가하기 위해서는 그 지점에서의 정확한 중성자 스펙트럼이 필요하다. 이에 방사선관리구역에서의 실제 중성자 스펙트럼 측정 및 측정된 스펙트럼에 대한 타당성있는 평가를 해야 하며 이를 위해서는 이론적 계산에 의한 중성자 스펙트럼 평가가 함께 이루어 져야 한다.

원자로의 중성자속 계산에서는 기존의 각분할법에 의한 계산시 핵단면적자료, 중성자 선원항, 원자로의 기하학적 모델링, 수송방정식의 해법 등에서 발생하는 불확실성을 극복하기 위하여

몬테칼로 방법이 이용되고 있다. 몬테칼로 방법은 핵단면적에 대해서는 연속에너지에 대한 핵반응단면적을 사용할 수 있으며 원자로의 모든 요소를 3차원으로 정밀하게 모델링할 수 있으므로 원자로심을 포함한 주변 구조물을 실제에 가깝게 묘사할 수 있다. 그러므로 각각의 핵연료봉에서 생성되는 중성자 선원항을 그대로 모사함으로써 핵연료집합체의 균질화로 인한 부정확한 중성자 선원항이 발생시키는 불확실성을 없앨 수 있다.

본 연구에서는 현재까지 몬테칼로 방법에 의한 수송해석 코드 중 가장 널리 사용되고 있는 MCNP 전산코드⁽²⁾를 이용하여 영광3호기 3주기 초기노심에 대해서 방사선관리구역에서의 중성자 스펙트럼을 계산하고자 한다.

2. MCNP 모델링

영광3호기 원자로노심은 177개의 핵연료집합체로 이루어져 있으며, 하나의 핵연료집합체는 16×16 격자형으로 핵연료봉 236개와 5개의 안내관으로 구성되어 있다. 3주기 초기노심의 핵연료집합체는 핵연료봉과 가연성독봉의 장전모형에 따라 14가지 종류로 나누어 지며, 가연성독봉의 경우 흡수체로서 $Gd_2O_3-UO_2$ 가 사용되나 상부와 하부는 모두 천연우라늄으로 구성되어 있다.^(3,4)

본 연구에서는 영광3호기에 대한 보다 정확하고 정밀한 3차원 몬테칼로 모델을 구축하기 위하여 핵연료집합체를 구성하는 핵연료봉, 가연성독봉 및 안내관 등을 모두 MCNP 모델링에 포함시켰고 원자로심을 둘러싸고 있는 baffle 및 barrel과 압력용기 등도 정확하게 묘사하였다. 또한 3주기 초기노심에 대한 14가지 종류의 핵연료집합체를 모두 묘사하였으며 특히 핵연료 구성성분의 정확한 함유량을 고려하기 위하여 CASMO-3 코드⁽⁵⁾를 이용, 14가지 핵연료집합체 각각에 대하여 연소도에 따른 핵분열생성물질 및 핵분열생성물질의 함유량을 계산한 후 이를 MCNP 코드의 입력자료로 사용하였다. 임계도에 직접 영향을 미치는 냉각수 밀도 및 냉각수 속의 붕소 농도 또한 직접 계산하여 MCNP 코드에 입력하였으며 냉각수 온도를 고려한 핵단면적자료를 사용하였다. 핵단면적자료집은 미국 Los Alamos 국립연구소의 T-2그룹에서 철의 비탄성 산란에 대해 수정한 RMCCS를 이용하였다. 그리고 원자로 일부분이 아닌 원자로심 전체를 완전히 묘사함으로써 실제 노심과 다름없는 환경을 설정하였으며 방사선관리구역 주위의 구조물(콘크리트 벽, 증기발생기, 배관 등)에 대해서도 3차원 MCNP 모델을 구축함으로써 원자로심으로 부터 방사선관리구역까지 완전한 몬테칼로 모사(full-scope Monte Carlo simulation)를 이용한 계산을 수행할 수 있도록 하였다.

2. 중성자 선원항 및 스펙트럼 계산

영광3호기 3주기 초기노심에 대해서 구축된 모델을 검증하기 위하여 MCNP 코드내의 KCODE 계산을 이용, 임계도 계산을 수행하였으며 그 결과 실제 노심과 거의 다른없는 상태임을 확인하였다. 또한 선원항 계산을 위하여 원자로 내 각각의 핵연료봉에 대한 핵분열반응밀도를 계산한 후 본 연구에서 개발한 결과처리 보조프로그램을 이용하여 노심 전체에 대한 핵연료봉의 상대적 출력분포를 계산하였으며 핵설계보고서⁽⁴⁾ 자료와 비교, 검증하였다. 이렇게 계산된 중성자 선원항을 다시 MCNP 모델의 고정 선원항으로 이용하여 중성자 플루언스 계산을 수행하였다. 원자로심 내에서의 중성자 수는 원자로의 출력과 $\bar{\nu}$ 값으로 결정할 수 있으므로 영광3호기에 대한 2815MWt 출력과 결과처리 보조프로그램에서 계산된 $\bar{\nu}$ 값을 이용, 원자로심내에서의 중성자 수를 고려하여 실제 중성자속 스펙트럼을 계산하였다.

한 지점에 대해서 계산을 수행하였으며 정확한 위치는 그림 1과 2에서 검은색 원으로 표시한 지점이다. 즉 높이가 122ft로 콘크리트 벽 밖의 RCP 부근이다. 그 결과는 에너지구간에 따른 중성자속 스펙트럼으로 그림 3에 나타내었다. 그림에서 보듯이 1eV 이하의 중성자가 대부분을 차지하며 에너지가 증가함에 따라 중성자속은 감소함을 보여 주고 있다. 그러나 아직 영광3호기 발전소 건물내에서의 실제 중성자 스펙트럼 측정에 대한 평가작업이 정확히 이루어 지지 않아 비교할 수 없으나, 계산결과를 바탕으로 중성자속에 대한 선량률 환산인자를 고려하여 중성자선량률을 계산할 수 있다.

3. 결 론

영광3호기 방사선관리구역에 대한 중성자선량률을 정확히 평가하기 위하여 MCNP4A 전산코드를 이용, 3주기 초기노심에 대한 중성자 선원항을 계산하였으며 한 지점에 대한 중성자 스펙트럼 계산을 수행하였다.

원자로심, 압력용기 및 압력용기주변에서의 중성자 플루언스 계산을 위하여 몬테칼로 방법이 이용된 경우는 있었으나 원자로심으로부터 비교적 멀리 떨어진 지역에서의 중성자 스펙트럼 계산을 위하여 몬테칼로 방법이 이용된 예는 찾아 볼 수 없다. 따라서 향후 계속해서 실제 측정가능한 몇몇 지점(증기발생기 주위, 재장전수조 주위 등)에 대한 주변 구조물을 모델링하여 중성자선량률 평가를 위한 중성자속 스펙트럼을 생산할 것이며, 이 결과를 발전소 건물내에서의 실제 측정 및 평가자료와 비교함으로써 많은 시간이 소요되는 중성자 스펙트럼 실측작업을 MCNP 전산코드를 이용한 계산으로의 대체 가능성을 평가하고자 한다.

참고 문헌

1. ICRP, "1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection," ICRP Publication 60, Pergamon Press, Oxford, New York, Frankfurt, Seoul, Sydney, Tokyo, 1990.
2. "RSIC Computer Code Collection : MCNP—A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4A," LA-12625, J. F. Breisemeister, *Ed.*, Los Alamos National Laboratory, 1993.
3. "Final Safety Analysis Report, Yonggwang Unit 3," Korea Electric Power Corporation.
4. "Nuclear Design Report for Yonggwang Nuclear Power Plant Unit 3 Cycle 3," KNFC, 1997.
5. M. Edenius and B. H. Forssen, "CASMO-3 A Fuel Assembly Burnup Program User's Manual, Version 5.1," STUDSVIK/NFA-89/3, 1989.

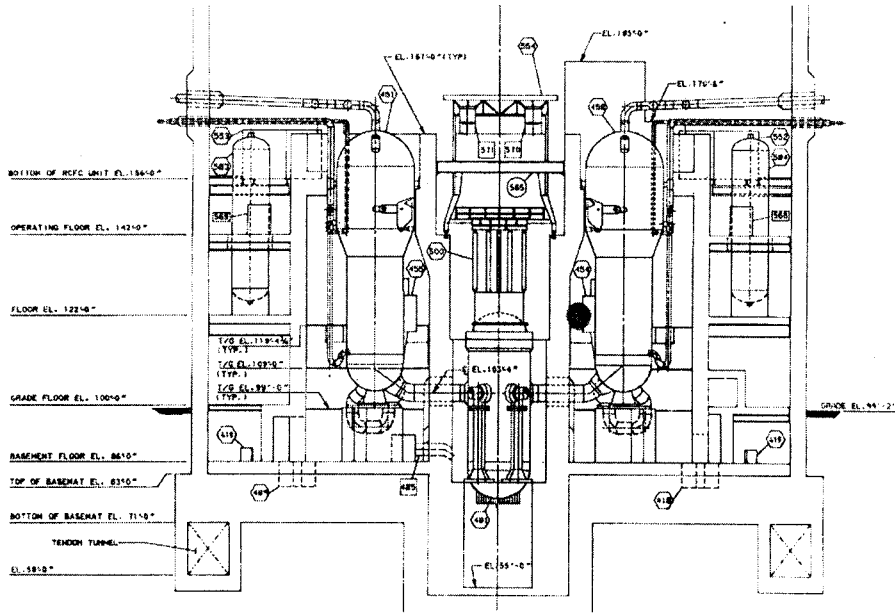


그림 1. 영광3호기 측면도

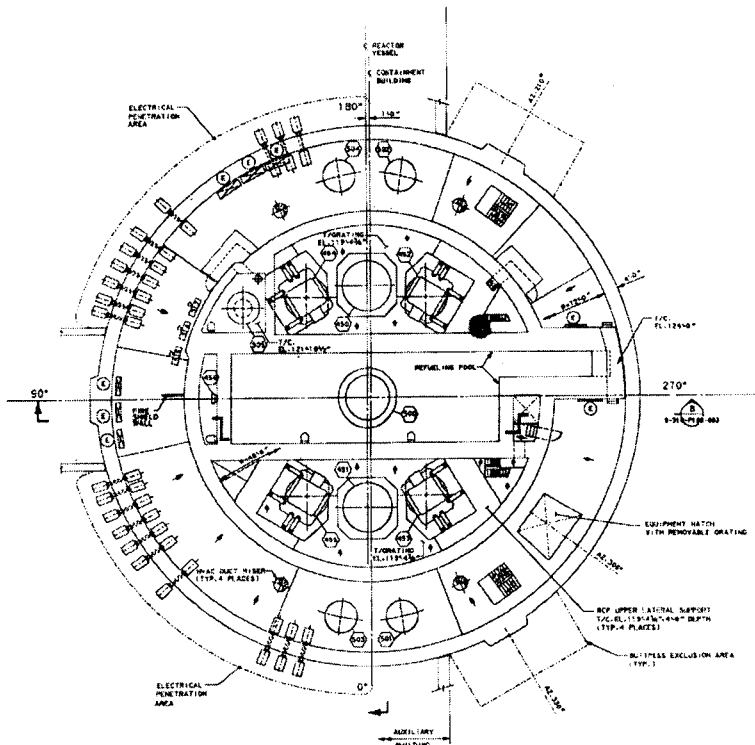


그림 2. 영광3호기 높이 122ft 에서의 단면도

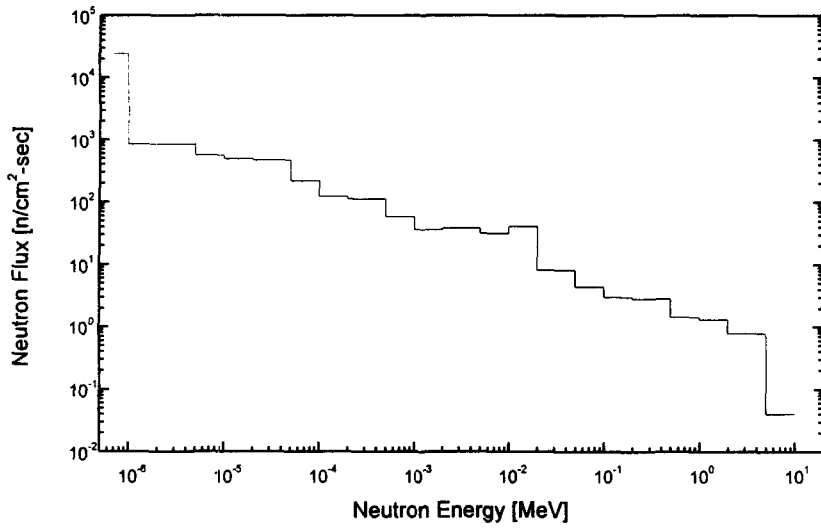


그림 3. 122ft-RCP 부근에서의 중성자 스펙트럼