

방사선 차폐해석 코드 체계에 관한 조사 연구

임장환, 이해찬, 이성기, 최기성, 임채준

한전원자력연료(주), 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 242

jhlim@knfc.co.kr

1. 서론

멀티프로세서 병렬처리 컴퓨터 시스템의 발달로 인하여 몬테카를로 방법(Monte Carlo Method)은 방사성 물질의 수송해석에 가장 보편적으로 사용되고 있다. 몬테카를로 방법은 통계적 문제에 대해 난수(Random Number)를 사용한 무작위적 표본 추출(Sampling)을 이용하여 해를 구하는 방법으로서 결정론적 코드로 해석할 수 없는 복잡한 문제에 유용하다. 몬테카를로 방법론을 사용하고 있는 코드 중 전통적으로 가장 많이 사용되고 있는 몬테카를로 코드인 MCNP(Monte Carlo N-Particle transport)와 사용자 편의를 제고하기 위해 한층 강화된 GUI 기능을 적용하여 미 오크리지 연구소(ORNL)에서 개발한 MAVRIC(MONACO with Automated Variance Reduction using Importance Calculation) 코드가 대표적이다. 따라서 본 연구에서는 두 코드를 방사선 차폐해석분야에 적용함에 있어 유용성 등을 상호비교 및 분석을 통하여 관련 엔지니어링 업무효율성 제고 차원에서 장·단점 비교평가를 수행하였다.

2. 본론

2.1 MCNP 코드

MCNP 코드[1]는 확률론적 방법론을 이용한 입자 수송이론 코드로서 물질들의 다양한 3차원 구조에서의 중성자, 광자, 전자의 거동을 모사할 수 있다. MCNP 코드의 주요 구성요소는 Fig.1에 보는 바와 같으며, 현재 임계, 차폐, 의료분야 등 다양한 분야에서 사용되고 있다.

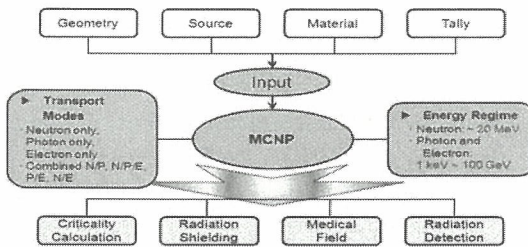


Fig. 1. MCNP Code Structure and Work Flow.

2.2 MAVRIC 코드

한편 MAVRIC 코드[2]는 SCALE 패키지내의 한 GUI모듈로서 몬테카를로 코드인 MONACO(A fixed-source, multi-group Monte Carlo shielding code)를 기반으로 하고 있다. MAVRIC 코드는 복잡한 몬테카를로 문제들을 해결하기 위하여 Importance map을 쉽게 적용할 수 있는 CADIS(Consistent Adjoint Driven Importance Sampling) 방법론을 사용하고 있다. 또한 MONACO 코드 이외에 공명반응단면적을 계산하는 모듈인 BONAMI, CENTRM, adjoint flux를 결정하기 위한 Denovo 코드 등으로 구성되어 있으며 주요 구조는 Fig.2와 같다.

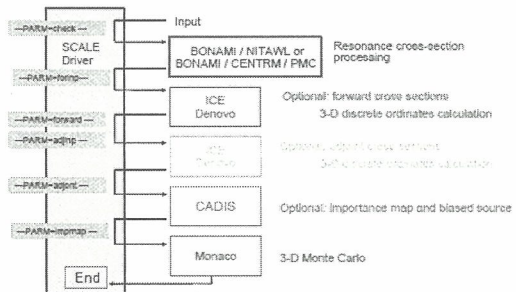


Fig. 2. MAVRIC Code Structure and Work Flow.

2.3 MCNP vs MAVRIC 성능 비교 평가

MCNP와 MAVRIC코드와 관련하여 세 가지 측면에서 비교·분석을 수행하였으며 다음 Table 1과 같이 정리하였다.

Table 1. Comparison between MCNP and MAVRIC.

구분	MCNP	MAVRIC
사용자 편리성측면	텍스트를 기반으로 입력 및 출력 등이 이루어지기 때문에 비효율적임	GUI를 사용하여 접근성이 용이함
안정성 측면	전 세계의 많은 사용자들에 의해 다양한 환경에 걸쳐 검증, 유지 및 개선된 병용코드임	2009년에 개발되어 현재 안정화 검증 단계임
코드 운용측면	차폐해석 수행 시 사용되는 입력값(Geometry, Material 등)을 사용자가 직접 텍스트로 입력해야 하기 때문에 비효율적임	SCALE 패키지에 포함되어 있어 선량량 분석코드, 임계해석코드들과 상호연립패키스가 용이함

분석결과 MAVRIC 코드는 사용자 편리성, 코드

운용측면에서 MCNP 코드보다 효율적이나 안정성 측면에서는 입력파일 작성 시 입력틀의 아이콘이 사라지거나 입력값이 고정되어 수정되지 않는 등 현재까지는 불안정성이 내재되어 있어 MCNP 코드가 범용코드로서 보다 효율적이다.

2.4 벤치마킹 계산 평가

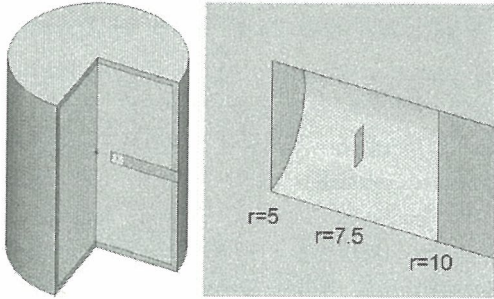


Fig. 3. A simple model for the geometry of the activation experiment(neutron howitzer).

Fig.3[4]은 물로 가득 찬 Plexiglass Tank안에 ²³⁹Pu-Be 중성자선원(point source)이 중심부에 위치하고 있으며 Access port 내부에 있는 Gold foil에서의 Activation rate을 측정하는 실험이다. MCNP코드와 MAVRIC 코드를 사용하여 비교 분석하였으며 해석 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Comparison of MCNP/MAVRIC Results.

구분	Average value	Relat. Uncert.
MCNP	2.72425E+05	0.03128
MAVRIC	2.60136E+05	0.03992

간단한 예제이므로 결과값의 차이는 비교적 미미하였다. 그러나 입력파일 중 물성치 입력 시 Fig. 4와 같이 MAVRIC 코드는 해당 물질이 DB로 존재하는 반면 MCNP코드는 사용자가 웹상에서 직접 찾아야하는 불편함이 있다. 또한 MCNP 코드는 입력문이 텍스트 기반으로 구성되어있기 때문에 복잡한 기하형상을 가진 문제를 해결할 때 상대적으로 MAVRIC 코드에 비해 효율성이 떨어진다. 따라서 해석 대상 시스템의 기하형상, 방사선원 등 경계조건을 잘 분석하고 전반적인 양립성을 고려 최적의 코드를 선정하여 해당 해석을 수행할 필요가 있다.

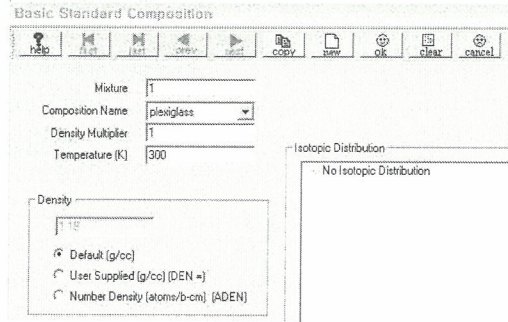


Fig. 4. MAVRIC Composition input panel.

3. 결론 및 향후 계획

본 연구의 분석결과로 판단컨대, 전반적인 효율성 측면에서 MAVRIC 코드가 우수하다, 그러나 시스템 에러, 벤치마킹 검증 자료 부족 등 현재까지는 범용코드로서 인허가 취득용 평가업무에 활용하기에는 다소 부족한 점이 있다. 따라서 전략적으로 안정화 시점까지는 MCNP 코드를 이용하여 차폐해석 수행체계를 유지하고, 향후 MAVRIC 코드 개발 추이 및 안정화 단계를 지속적으로 모니터링 할 필요가 있다. 또한 보다 정확한 비교 및 성능평가를 위하여 벤치마킹 시험 등 추가적인 연구가 수반되어야 할 것으로 판단된다.

4. 참고문헌

- [1] MCNP - A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version5.
- [2] “사용후핵연료 소내 운송 및 저장관련 핵심 기반기술개발(I)” 최종보고서, 2011, KNF.
- [3] Douglas E. Peplow, “Monte Carlo Shielding Analysis Capabilities with MAVRIC” (2010).
- [4] “Spring 2011 SCALE(Monaco/MAVRIC) Training Courses” (2011).