

고온가스로 노심해석을 위한 MCNP 코드 핵자료 비교

신창호 a, 김순영 b, 김홍철 a, 김종경 a, 노재만 c

a 서울특별시 성동구 행당동 17 번지 한양대학교 원자력공학과, gemini@nural.hanyang.ac.kr

b 서울시 성동 행당동 17 번지 한양대학교 한양종합기술원 312 호 방사선안전신기술연구센터

c 대전광역시 유성구 덕진도 150 번지 한국원자력연구소

1. 서 론

1994 년 ENDF/B-V 에서 생산된 열중성자 산란 핵자료에 오차가 있는 것으로 보고되었고[1], 이를 개선한 열중성자 산란 평가핵자료집이 ENDF/B-VI.3 와 같이 발표되었다[2]. 2002 년 MCNP 사용자 모임에서는 탄소를 감속재로 사용하는 고온가스로의 임계도와 반응도 계산에 있어 ENDF/B-V 기반의 TMCCS 반응 단면적을 이용할 경우 잘못된 결과를 가져올 수 있음이 보고되었다[3].

MCNP 코드 최신 버전인 MCNP5 에는[4] 이전 버전의 열중성자 산란핵자료인 TMCCS 과 함께 ENDF/B-VI.3 기반의 SAB2002 라는 새로운 열중성자 산란핵자료가 포함되었다. 본 논문에서는 스위스의 PROTEUS 노심 및 핵연료 PEBBLE, 그리고 TRISO 핵연료를 대상으로 열중성자 산란핵자료 차이에 따른 임계도 결과를 비교하였다. 또한 다양한 중성자 반응핵자료 차이에 따른 임계도 계산 결과도 비교하였다.

2. 방법 및 결과

2.1 MCNP 용 핵자료 생산

NJOY99.90 코드를 이용하여 최근에 발표된 평가핵자료집인 ENDF/B-VI.8, JEF-2.2, JEFF-3.0, 그리고 JENDL-3.3 에 대해 고온가스로 노심해석을 위한 핵자료를 생산하였다. 핵자료 생산시 PURR 모듈을 이용하여 자기차폐 효과를 고려하였다. 또한 각 평가핵자료집에서 제공하는 열중성자 산란평가핵자료집을 이용하여 탄소에 대한 열중성자 산란핵자료도 생산하였다. 그러나 JENDL-3.3 의 경우 JENDL 에서 제공하는 열중성자 산란평가핵자료집이 존재하지 않아 ENDF/B-IV.3 평가핵자료집을 이용하였다.

2.2 임계도 계산모델

PROTEUS 노심[5]을 구성하는 최소 단위인 TRISO 와 TRISO 를 포함하고 있는 PEBBLE 의 비균질 모델을 대상으로 무한증배계수 (k_{inf})을 계산하였고, PROTEUS 노심 비균질 모델을 대상으로 유한증배계수 (k_{eff})을 계산하였다.

2.3 열중성자 산란핵자료 차이에 따른 결과

열중성자 산란핵자료의 차이를 보기 위해 산란 핵자료 외의 중성자 반응핵자료는 모두 MCNP5 에서 제공하는 ENDF60 핵자료를 이용하였다.

TRISO k_{inf} 계산에서 SAB2002 핵자료를 사용한 경우 1.29921 이었고, TMCCS 핵자료를 사용한 경우 1.29883 으로 계산되었다. TRISO 계산에 있어 두 핵자료 간의 k_{inf} 차이는 38 pcm 으로 중성자 산란핵자료 차이에 따른 k_{inf} 변화가 미미 하였다.

PEBBLE 의 경우 SAB2002 와 TMCCS 핵자료를 사용한 k_{inf} 는 1.67297 과 1.67312 로 각각 계산되어, 두 핵자료 간의 k_{inf} 차이는 15 pcm 으로 TRISO 경우와 같이 중성자 산란핵자료 차이에 따른 k_{inf} 변화가 없는 것으로 계산되었다.

PROTEUS 노심의 k_{eff} 계산에서 SAB2002 와 TMCCS 핵자료를 사용한 결과는 1.01309 와 1.01204 로 계산되었고, 그 차이는 105 pcm 으로 TRISO 와 PEBBLE 계산시 보다 더 많은 차이를 보였으나, 산란핵자료집 차이에 따른 영향은 미미한 것으로 판단된다.

표 1 에서 3 까지에는 TRISO, PEBBLE, 그리고 PROTEUS 노심을 대상으로 한 임계도 계산 결과를 계산에 이용한 핵자료 별로 나타내었다.

2.4 중성자 반응핵자료 차이에 따른 결과

TRISO k_{inf} 계산에서 NJOY 코드로 생산한 핵자료를 이용하여 임계도 계산을 한 경우 MCNP 에서 제공하는 핵자료를 사용한 결과와 비교하여 핵자료 생산에 이용한 평가핵자료에 따라 517 pcm 에서 2642 pcm 까지 차이를 보였다. 특히 JEFF 와 JENDL-3.3 의 경우 각각 2109 와 2642 pcm 로 많은 차이가 있었다.

PEBBLE k_{inf} 계산에서는 TRISO 경우와 비교하여 MCNP 에서 제공하는 핵자료를 사용한 결과와의 차이가 많이 감소하는 경향을 보였다. 특히 JEFF-3.0 을 사용한 경우 SAB2002 와 계산결과의 차이가 없었고, 최대 차이를 보인 경우는 JEF-2.2 로 589 pcm 의 차이가 있는 것으로 계산되었다.

PROTEUS 노심을 대상으로 한 계산에서는 JENDL-3.3 을 이용한 경우를 제외하고 모두 MCNP 에서 제공하는 핵자료를 이용한 결과와 비교적 유사한 결과를 보여 주었다. 그러나 JENDL-3.3 핵자료를 이용한 경우 k_{eff} 가 1.00778 로 531 pcm 의 비교적 큰 차이를 보였다.

표 1. TRISO 임계도 계산 결과

핵자료집	임계도	상대차이*
SAB2002	1.29921	
TMCCS	1.29883	-38
ENDF/B-VI.8	1.28237	-1684
JEF-2.2	1.30438	517
JEFF-3.0	1.27812	-2109
JENDL-3.3	1.27279	-2642

*((SAB2002 k_{inf})-(비교 대상 핵자료 k_{inf})) $\times 10^5$, pcm

표 2. PEBBLE 임계도 계산 결과

핵자료집	임계도	상대차이*
SAB2002	1.67297	
TMCCS	1.67312	15
ENDF/B-VI.8	1.67169	-128
JEF-2.2	1.67886	589
JEFF-3.0	1.67297	0
JENDL-3.3	1.66926	-371

*((SAB2002 k_{inf})-(비교 대상 핵자료 k_{inf})) $\times 10^5$, pcm

표 3. PROTEUS 임계도 계산 결과

핵자료집	임계도	상대차이*
SAB2002	1.01309	
TMCCS	1.01204	-105
ENDF/B-VI.8	1.01329	20
JEF-2.2	1.01404	95
JEFF-3.0	1.01329	20
JENDL-3.3	1.00778	-531

*((SAB2002 k_{eff})-(비교 대상 핵자료 k_{eff})) $\times 10^5$, pcm

3. 결론

고온가스로 계산에 있어 MCNP5 에서 제공하는 두 가지 열중성자 산란단면적인 SAB2002 와

TMCCS 을 사용하여 계산을 수행한 결과 PROTEUS 노심 임계도 계산에서 105 pcm 정도의 차이를 보였다. 외국에서 고온가스로 반응도 계산에 있어 탄소 감속재에 대한 열중성자 산란핵 자료의 영향이 클 것으로 보고된 것에 비해 PROTEUS 노심계산에 있어서는 열중성자 산란핵 단면적 차이에 따른 임계도 차이가 미미한 것으로 판단된다.

계산에 이용한 반응핵자료별 임계도 계산결과는 TRISO k_{inf} 계산에 있어 최대 2642 pcm 으로 많은 차이를 보여 주었으나, PROTEUS 노심 계산에 있어 JENDL-3.3 을 이용한 경우를 제외하고 반응 핵자료별 임계도 차이가 크지 않은 것으로 계산 되어, PROTEUS 노심해석에서는 적용하는 핵자료 집별로 그 계산결과의 차이가 크지 않을 것으로 판단된다.

감사의 글: 본 연구는 한국원자력연구소와 한양대학교 방사선안전기술연구센터의 지원으로 수행 되었습니다.

참고문헌

- [1] F. Difilippo, J. P. Renier, and B. Worley, "Thermalization of Neutrons in Graphite," Nuclear Science and Engineering, **124**, 465-472(1996).
- [2] MacFarlane, "New Thermal Neutron Scattering Files for ENDF/B-VI Release 2," Los Alamos National Laboratory (1994).
- [3] MCNP4C Electric Notebook No. 606 at RSICC: <http://rsicc.ornl.gov>.
- [4] X-5 Monte Carlo Team, "MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, Volume II: User's Guide," LA-CP-03-0245, Los Alamos National Laboratory (2003).
- [5] T. Williams, "LEU-HTR PROTEUS: Configuration Description and Critical Balances for the Cores of the HTR-PROTEUS Experimental Programme," TM-41-95-18, Paul Scherrer Institute (1996).