

## MCNP에 의한 가압경수로연료집합체에서 각이한 세포의 중성자묵음분포

채정숙, 허일문

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《지금 건설중에 있는 발전소들의 조업기일을 앞당기고 대규모의 단천발전소를 최대한 기간에 건설하며 원자력발전소건설을 동시에 밀고나가 전력문제해결의 전망을 열어놓아야 합니다.》(《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화보고》 단행본 50페이지)

원자로로심물리계산에 리용되는 결정론적프로그램들의 정확성과 믿음성은 흔히 실험 결과나 MCNP모의결과와의 비교를 통하여 검증된다.[2, 3]

논문에서는 MCNP5를 리용하여 열출력이 738MW인 가압경수로에서 정방형연료집합체의 연료봉세포와 가연성흡수봉세포의 중성자묵음분포를 계산하고 자체로 개발한 가압경수로물리계산체계 《부흥》의 결과[1]와 비교하여 《부흥》체계의 정확성을 검증하였으며 연료집합체안의 각이한 위치에 놓인 세포들에서 중성자묵음분포를 평가하였다.

### 1. 가압경수로연료집합체의 구조와 주요정수들

계산대상으로 정한 738MW<sub>t</sub> 가압경수로의 로심은 연료농축도가 각각 1.8, 2.4, 2.6%인 세가지 종류의 97개의 연료집합체들로 이루어져있으며 그가운데서 가연성흡수봉을 포함한 연료집합체와 대부분을 차지하는 연료봉세포의 구조는 그림 1과 같다.

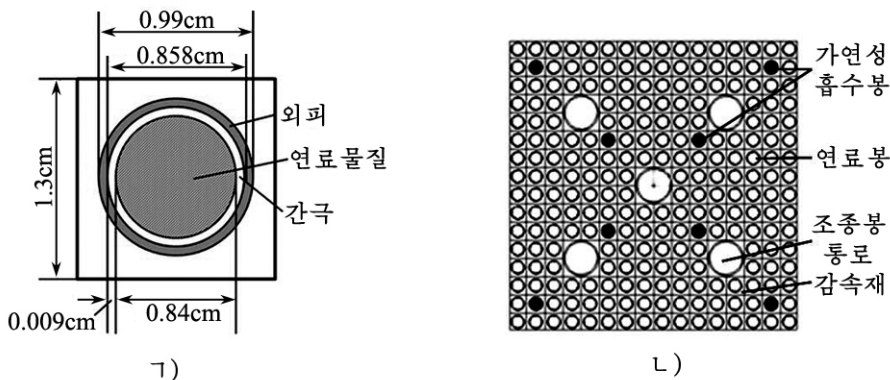


그림 1. 연료봉세포(a)와 연료집합체(b)의 구조

연료집합체는 16×16 정방형격자구조를 가지고 연료봉세포와 조종봉안내관(측정통로) 세포, 가연성흡수봉세포의 세가지 종류로 구성되며 1/8대칭이다. 이 연료집합체의 주요정수들은 표와 같다.

표. 연료집합체의 주요정수

— 연료집합체구조		— 연료봉	
격자배렬	16×16정방형격자	○ 석심	
연료봉	228개	재료	UO <sub>2</sub>
조종봉안내관	5개	농축도	2.4%
가연성흡수봉	8개	밀도	9.864 g/cm <sup>3</sup>
격자걸음	1.3cm	직경	0.84cm
유효높이	260cm	○ 외피	
— 감속재 및 열매(H <sub>2</sub> O)		재료	지르칼로이
밀도	1.0 g/cm <sup>3</sup>	밀도	6.478 g/cm <sup>3</sup>
H	11.19%	내경	0.858cm
O	88.81%	외경	0.99cm
— 조종봉안내관 또는 측정통로		— 가연성흡수봉	
재료	지르칼로이	석심재료	천연UO <sub>2</sub> +4.0% Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
밀도	6.478 g/cm <sup>3</sup>	밀도	9.733 g/cm <sup>3</sup>
내경	2.32cm	※ 기하학적크기와 구조는 연료봉과 같음	
외경	2.52cm		

## 2. 연료집합체의 각이한 세포에서 중성자뭉침분포

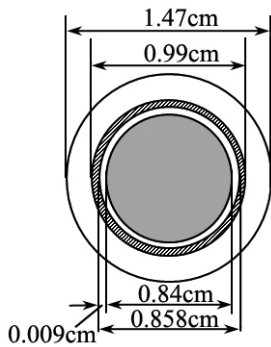


그림 2. 등가원기둥세포

본문에서는 우선 MCNP5를 리용하여 무한격자의 경우 연료봉 세포와 연료집합체안에 있는 가연성흡수봉세포의 중성자뭉침분포를 평가하고 자체로 개발한 가압경수로물리계산체계 《부흥》의 결과와 비교하였다.

세포계산에서는 흔히 정방형세포를 1차원원기둥세포로 등가(그림 2)시키는데 본래의 바른4각형경계가 등가원기둥경계로 바뀌어지므로 백색경계조건(등방반사경계조건)을 적용하였다. 그것은 실제적인 바른4각형경계에서는 거울반사경계조건이 정확히 성립하지만 등가원기둥세포에 그대로 적용하는 경우에 감속재안에서 중성자뭉침이 더 크게 평가되기때문이다.

무한격자인 경우의 연료봉세포와 연료집합체안에 있는 가연성흡수봉세포의 동경방향 중성자뭉침분포에 대한 MCNP결과와 《부흥》의 계산결과는 그림 3과 같다. 《부흥》프로그램을 리용한 계산에서는 69군수송계산을 진행한 후 그 결과를 4군으로 축약하였는데 분할구조는 10MeV~9 118eV, 9 118~4eV, 4~0.625eV, 0.625~0eV이다. 그리고 가연성흡수봉 세포계산에서 주위에 20개의 연료봉세포에 해당하는 부가충을 첨부하였다. MCNP계산에서도 4군분할을 우와 일치시켰다. 그림 3에서 보는데와 같이 두 세포에서 중성자뭉침분포에 대한 MCNP결과와 《부흥》프로그램의 결과는 거의 완전히 일치한다. 가장 차이가 큰 연료봉세포에서 1군(빠른군)중성자뭉침의 최대상대편차는 1.4%이다.

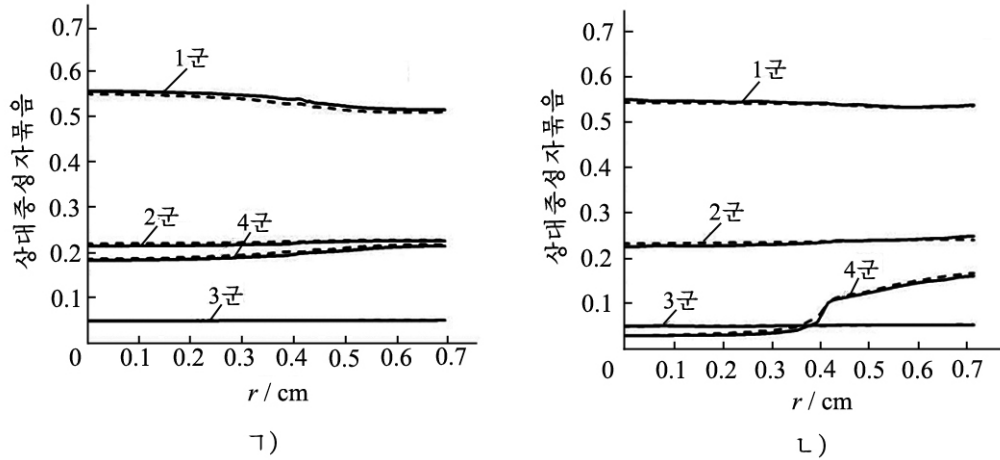


그림 3. 연료봉세포와 가연성흡수봉세포의 동경방향 중성자뭉음분포

7) 연료봉세포, 2) 가연성흡수봉세포(실선-MCNP결과, 점선-《부흥》결과)

빠른중성자는 연료에서 분열에 의해 발생되며 열중성자는 주로 감속재에서 감속과정  
에 얻어지므로 1군중성자뭉음은 연료구역에서 상대적으로 높고 반대로 열군(4군)중성자뭉  
음은 감속재에서 상대적으로 높다. 그리고 연료봉세포의 경우 모든 군의 중성자뭉음분포  
곡선이 세포경계에서 수평을 이루는데 그것은 경계에서 등방반사(무한격자)조건의 영향때  
문이다.

가연성흡수봉세포의 경우 연료석심재료에 포함된 가연성흡수체인 Gd의 열중성자흡수자  
름면적이 수만b으로서 매우 크므로 일반연료봉세포에 비해 연료구역에서의 열군중성자뭉음이  
약 1/6정도로 크게 감소되어 3군중성자뭉음보다도 아래에 놓인다. 이처럼 열중성자에 대한 가  
연성흡수봉결면의 공간차폐효과는 두 프로그램의 계산결과에서 다같이 뚜렷하게 나타난다.

또한 가연성흡수봉세포는 동일한 세포들로 둘러싸인 무한격자가 아니라 성질이 뚜렷  
하게 구별되는 연료봉세포들속에 놓여있으므로 중성자뭉음분포곡선이 세포경계에서 수평  
이 아니며 특히 열군중성자뭉음이 뚜렷한 경사를 이룬다.

위의 결과들은 가압경수로의 세포 및 집합체계산에서 《부흥》프로그램의 정확성을 확  
증해준다.

논문에서는 다음으로 MCNP5에 의하여 연료집합체내부에서 주위에 같은 연료봉세포  
들로 둘러싸인 일반연료봉세포와 조종봉통로(물로 차있음)옆에 놓인 연료봉세포, 가연성  
흡수봉세포옆에 있는 연료봉세포에서의 중성자뭉음분포를 각각 평가하였다. 계산은 연료  
집합체경계에서 거울반사경계조건을 리용하여 진행하였다.(그림 4)

그림 4에서 보는바와 같이 동일한 연료봉들로 둘러싸인 연료봉세포에서의 중성자뭉  
음분포는 그림 3의 7)에서 본 무한격자조건에서의 중성자뭉음분포와 일치하지만 가연성흡  
수봉이나 조종봉통로옆에 있는 연료봉세포에서는 열군중성자의 상대뭉이 현저히 차이난다.

내부가 물로 차있는 조종봉통로옆에 있는 연료봉세포에서는 상대적으로 중성자의 감  
속이 세지므로 열군중성자의 뭉이 증가하여 2군중성자보다 큰 값을 가진다.(그림 4의 2))  
반대로 열중성자를 세계 흡수하는 가연성흡수봉주변에 있는 연료봉세포에서는 열군중성  
자뭉이 일반연료봉에서보다 감소된다.(그림 4의 3))

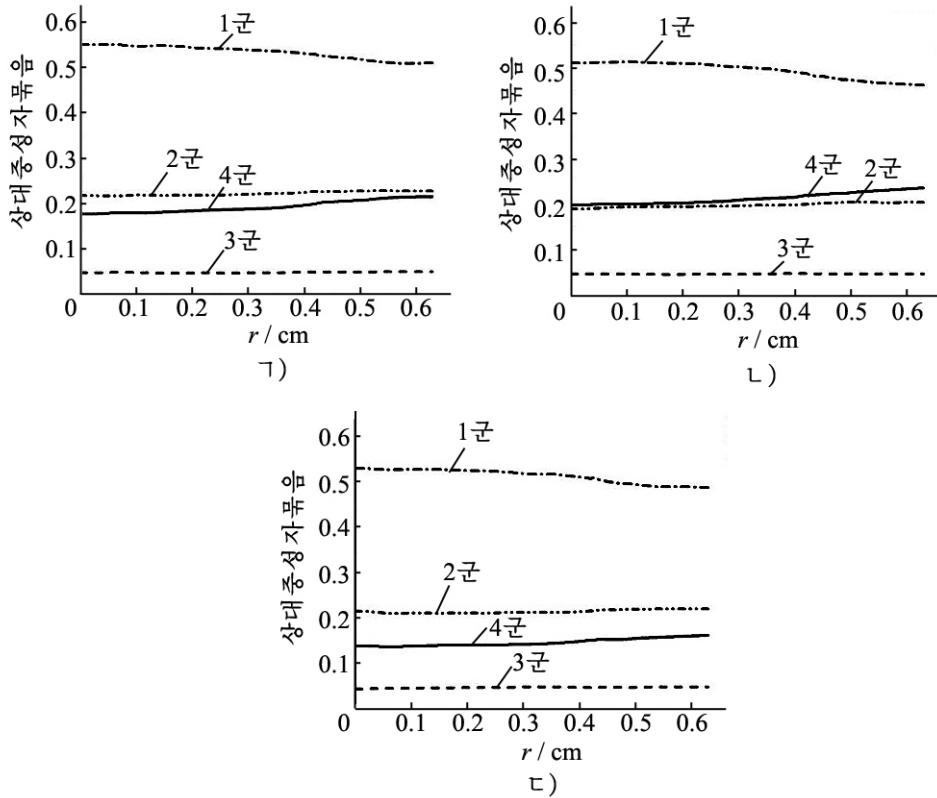


그림 4. 연료집합체안의 각이한 위치에서 연료봉세포의 동경방향중성자농도분포  
 ㄱ) 연료봉들로 둘러싸인 연료봉세포, ㄴ) 조종봉통로옆의 연료봉세포,  
 ㄷ) 가연성흡수봉옆의 연료봉세포

## 맺는 말

MCNP5를 리용하여 열출력이 738MW인 가압경수로연료집합체에서 연료봉세포와 가연성흡수봉세포의 중성자농도분포를 평가하고 자체로 개발한 가압경수로물리계산체계 《부흥》결과와 비교하여 《부흥》프로그램의 정확성을 검증하였다.

연료집합체안의 서로 다른 위치에 있는 연료봉세포들에서 중성자농도분포를 평가하였다.

## 참고 문헌

- [1] 허일문 등; 원자력, 2, 19, 주제102(2013).
- [2] X-5 Monte Carlo Team; MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, LA-UR-03-1987, Los Alamos National Laboratory, 2003.
- [3] A. Sood et al.; Analytical Benchmark Test Set for Criticality Code Verification, LA-13511, Los Alamos National Laboratory, 1999.

## **Neutron Flux Distribution of Different Cells in the PWR Fuel Assembly by MCNP**

*Chae Jong Suk, Ho Il Mun*

We calculated the neutron flux distribution of fuel cell and burnable absorber cell of 738MW<sub>t</sub> PWR fuel assembly by MCNP5, a Monte Carlo particle transport code. We compared the calculation results with one of “Puhung”, the PWR physics calculation code and verified the scientific accuracy of the code. We also estimated neutron flux distribution of fuel cells placed at different sites within the fuel assembly.

Key words: PWR, fuel assembly, neutron flux distribution