

MCNP를 리용한 가압경수로의 로심에서 연료묶음의 세밀출력분포계산

채정숙, 서 철

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《지금 건설중에 있는 발전소들의 조업기일을 앞당기고 대규모의 단천발전소를 최대한 기간에 건설하며 원자력발전소건설을 동시에 밀고나가 전력문제해결의 전망을 열어놓아야 합니다.》

원자로의 열공학설계나 안전성분석에서는 흔히 연료봉의 최대가열점을 확정할 필요가 제기되는데 그러자면 세밀출력분포를 구한 다음 출력불균일계수를 구하여야 한다.

로심물리계산에 널리 리용되는 매듭법은 공학설계의 정확도요구를 만족시킬뿐아니라 높은 계산효율성을 가지는 반면에 연료묶음의 평균출력분포만을 줄뿐 연료묶음안에서 세밀한 출력분포를 얻을수 없는 결함을 가지고있다. 보통 매듭법의 결과에 기초하여 보충적인 계산을 통하여 세밀출력분포를 구하는 대표적인 방법은 고계다항식전개에 기초한 모듈화방법[1-3]이다.

우리는 이러한 방법들에 의한 계산결과의 비교자료로 리용할수 있도록 MCNP5를 리용하여 전기출력이 1 000MW인 가압경수로의 로심(가온령출력상태, 로심온도 296°C)에서의 출력분포와 연료묶음의 세밀출력분포를 계산하였다.

1. 출력분포계산을 위한 MCNP계산모형

계산대상으로 정한 1 000MW급 동력용가압경수로의 로심은 연료농축도가 각각 1.28, 2.34, 2.84, 3.34%인 연료봉들과 가연성흡수봉으로 이루어진 9가지 종류의 연료묶음 177개로 이루어져있으며 매 연료묶음은 16×16정방형격자로 이루어졌다.

로심의 등가직경은 312cm, 유효높이는 380cm이며 연료묶음사이의 물간극은 0.528cm, 연료묶음걸음은 20.56cm이다.

로심의 기하학적구조와 로심에서 연료묶음의 배치는 그림 1, 2와 같다.

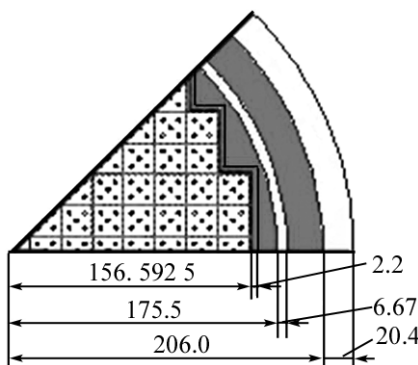


그림 1. 로심의 기하학적구조(1/8대칭)
단위는 cm

8	D	C	B				
7	C ₁	C ₁	D ₂	D	B		
6	B ₁	B ₂	A	D ₂	D ₁	C	
5	B ₂	A	C ₁	A	C ₁	D ₁	B
4	A	D ₂	A	C ₁	A	D ₂	D
3	B ₂	A	C ₁	A	C ₁	A	D ₂ B
2	B ₁	B	A	D ₂	A	B ₂	C ₁ C
1	A	B ₁	B ₂	A	B ₂	B ₁	C ₁ D
	1	2	3	4	5	6	7 8

그림 2. 로심에서 연료묶음의 배치(1/4대칭)

MCNP계산을 위하여 연료묶음 A, B, B₁, B₂, C, C₁, D, D₁, D₂를 각각 universe 1~9로, 개별적인 연료봉과 가연성흡수봉들은 농축도에 따라 universe 11~16으로, 측정통로와 조종봉안내관은 universe 20~24로 정의하고 모든 세포들은 세포카드와 물질카드에서, 세포의 기하학적크기는 면카드에서 각각 정의하였다.

중성자묶음분포와 출력분포를 얻기 위하여 F4텔리와 F7텔리를 각각 정의하면 계산 모형이 완성된다.

리용된 핵반응자름면적자료는 평가된 핵자료 ENDF/B-VI이며 열중성자들에 대하여 자유기체모형과 $S(\alpha, \beta)$ 모형이 모두 리용되었다.

2. 계산결과 및 분석

먼저 로심에서의 연료묶음별평균출력분포를 계산하였다.(표 1, 그림 3)

표 1. 로심에서의 연료묶음별평균출력분포

행 렬	1	2	3	4	5	6
1	0.804 9					
2	1.008 8	1.256 0				
3	1.173 2	0.850 7	0.989 2			
4	0.827 3	1.159 5	0.748 7	0.945 8		
5	1.139 5	0.815 4	1.035 7	0.803 5	1.101 0	
6	1.066 9	1.193 2	0.850 1	1.290 4	1.156 2	0.722 2
7	1.324 3	1.230 7	1.129 1	1.089 8	0.640 7	
8	1.139 7	0.909 3	0.598 5			

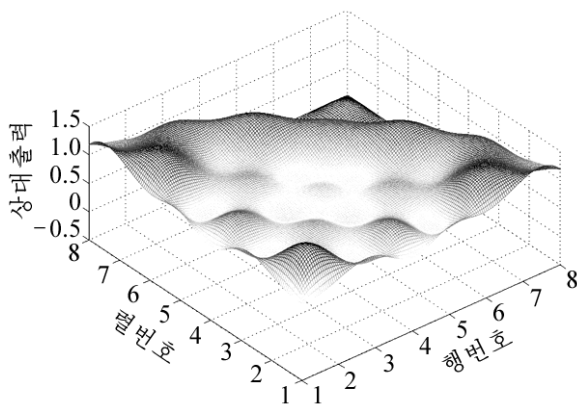


그림 3. 로심출력분포(1/4구역)

표 1과 그림 3에서 보는바와 같이 출력은 로심의 중심부에서 낮고 변두리로서 가면서 증가하며 (1, 7)위치에 있는 연료묶음 C₁에서 최대값 1.324 3을 가진다. 로심의 유효증식계수는 1.211 6이며 출력불균일계수는 1.337 3이다.

다음으로 출력이 가장 큰 (1, 7)연료묶음에서의 세밀출력분포를 계산하였다.(표 2-5, 그림 4) 매 분구에서 순서번호는 로심의 중심에서 변두리쪽으로 나가는 방향에서 증가하며 행번호는 왼쪽에서 오른쪽으로 가면서 증가하도록 취하였다.

(1, 7)연료묶음의 1사분구는 C₁ 및 D 묶음과 접하고있으며 4사분구는 C₁ 및 B₁ 묶음과 접하고있다. (1, 7)연료묶음은 로심의 1/4대칭면에 놓이므로 연료묶음에서의 세밀출력분포는 1사분구 및 4사분구가 2사분구 및 3사분구와 대칭을 이루어야 한다.

표 2-5와 그림 4에서 보는바와 같이 연료묶음에서의 세밀출력분포는 대칭성을 잘 만족시킨다.

표 2. 연료묶음 C_1 의 1사분구에서 세밀출력분포

행 렬	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1.141 1	1.111 3	1.067 3	1.055 2	1.075 4	1.120 1	1.197 8
2	1.146 8	1.163 4	1.012 4	1.074 6	1.111 9	1.116 9	1.126 8	1.228 8
3	1.096 1	1.010 2	0.088 8	1.019 1	1.123 2	1.173 6	1.130 6	1.268 4
4	1.065 2	1.070 3	1.029 1	0	0	1.154 9	1.167 5	1.215 0
5	1.063 4	1.107 2	1.118 9	0	0	1.127 5	1.152 8	1.189 8
6	1.095 9	1.092 7	1.185 5	1.138 3	1.137 4	1.139 1	0.998 7	1.156 3
7	1.107 1	1.120 8	1.134 0	1.167 1	1.158 8	1.023 3	0.087 5	0.937 2
8	1.198 9	1.207 6	1.214 7	1.235 2	1.205 6	1.144 7	0.922 2	1.081 9

표 3. 연료묶음 C_1 의 2사분구에서 세밀출력분포

행 렬	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.193 2	1.120 6	1.066 5	1.060 1	1.061 3	1.110 1	1.142 4	0
2	1.229 1	1.133 0	1.127 9	1.121 5	1.071 6	1.008 1	1.161 2	1.148 1
3	1.257 7	1.122 8	1.169 6	1.118 1	1.011 8	0.088 3	1.009 1	1.087 6
4	1.215 3	1.172 8	1.148 2	0	0	1.020 9	1.078 6	1.057 9
5	1.199 3	1.145 7	1.120 0	0	0	1.116 2	1.101 2	1.064 9
6	1.161 7	0.988 9	1.135 3	1.137 9	1.131 0	1.177 1	1.085 3	1.090 5
7	0.945 3	0.086 9	1.019 6	1.151 9	1.161 2	1.127 6	1.115 1	1.097 8
8	1.088 6	0.930 1	1.150 3	1.216 4	1.231 9	1.212 6	1.199 7	1.190 7

표 4. 연료묶음 C_1 의 3사분구에서 세밀출력분포

행 렬	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.056 7	0.949 5	1.152 4	1.205 2	1.231 1	1.223 3	1.212 9	1.170 5
2	0.938 2	0.086 5	1.033 6	1.170 9	1.204 6	1.167 2	1.114 7	1.094 4
3	1.157 0	1.025 7	1.124 9	1.136 9	1.154 1	1.203 2	1.100 9	1.096 9
4	1.228 0	1.165 2	1.131 8	0	0	1.116 7	1.126 9	1.084 2
5	1.250 7	1.151 5	1.153 4	0	0	1.039 9	1.109 1	1.091 2
6	1.209 4	1.134 2	1.180 3	1.111 7	1.024 2	0.089 1	1.016 9	1.111 5
7	1.229 8	1.122 3	1.097 1	1.098 9	1.050 2	0.996 4	1.130 2	1.128 9
8	1.184 5	1.111 0	1.081 9	1.066 8	1.075 0	1.117 5	1.128 3	0

표 5. 연료묶음 C_1 의 4사분구에서 세밀출력분포

행 렬	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.176 9	1.213 7	1.231 4	1.238 8	1.213 2	1.159 9	0.952 6	1.050 2
2	1.103 1	1.120 2	1.166 5	1.211 4	1.179 8	1.039 7	0.086 5	0.943 4
3	1.101 0	1.105 8	1.209 9	1.153 6	1.142 5	1.129 4	1.020 3	1.159 6
4	1.076 3	1.118 8	1.114 4	0	0	1.132 3	1.157 5	1.225 1
5	1.084 4	1.102 8	1.031 6	0	0	1.145 0	1.157 3	1.254 9
6	1.117 3	1.011 1	0.088 1	1.024 5	1.111 8	1.187 5	1.130 1	1.201 1
7	1.136 3	1.121 2	0.994 4	1.048 2	1.103 9	1.101 7	1.116 3	1.223 4
8	0	1.119 6	1.111 5	1.084 6	1.057 8	1.077 3	1.103 4	1.182 6

조종봉안내관이 설치된 물공극(출력이 0)들과 가연성흡수봉세포들을 제외한 나머지 세포들에서 출력분포는 비교적 평탄하며 특히 물공극주변의 저농축연료봉세포들에서 출력은 물공극가까이에 있지 않는 농축연료봉세포들에 비하여 큰 값을 가진다. 그것은 핵분열로 발생한 빠른중성자들이 물공극구역에서 감속되어 열중성자로 되고 이 열중성자들이 물공극주변에 배치된 연료봉들에서의 분열사건발생에 큰 기여를 하기때문이다.

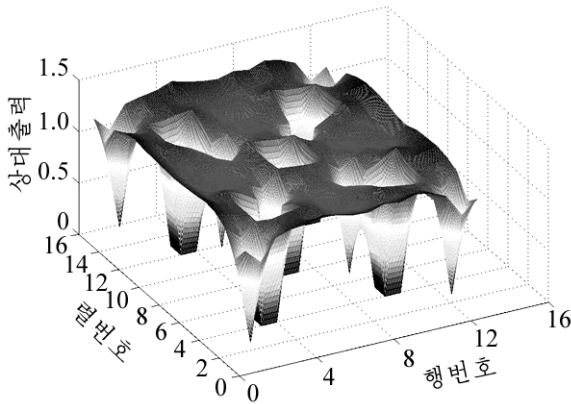


그림 4. 연료묶음 C₁에서의 세밀출력분포

(1, 7)연료묶음에서 최대출력은 1.268 4이며 1사분구의 (8, 3)위치에 있는 연료봉에서 나타난다.

MCNP실행에서는 세대당 10만개의 중성자를 발생시켰으며 70개 세대중 첫 5개 세대를 무시하였다.

맺 는 말

우리는 MCNP5를 리용하여 전기출력이 1 000MW인 동력용가압경수로의 로심(가온령출력상태)에서 평균출력이 최대값을 가지는 연료묶음을 선택하고 그안에서의 세밀출력분포를 계산하였다.

참 고 문 헌

- [1] 김세일 등; 원자력, 4, 12, 주체104(2015).
- [2] F. Khoshahval et al.; Ann. Nucl. Energy, 69, 25, 2014.
- [3] 竹生东 等; 西安交通大学学报, 34, 5, 23, 2000.

주체109(2020)년 3월 5일 원고접수

Detailed Power Distribution Calculation of the Fuel Assembly in PWR Core by MCNP

Chae Jong Suk, So Chol

We chose the fuel assembly having maximum average power in core of hot zero power state of 1 000MW PWR and calculated the detailed power distribution by MCNP5, the Monte Carlo particle transport code.

Keywords: PWR, fuel assembly, power distribution