

740MW_t 가압경수로의 다순환물리계산에 대한 연구

허일문, 리철화, 김영혁

대다수의 동력용원자로들에서는 연소도를 높이기 위하여 연료집합체들을 여러개의 묶음으로 나누어 교체하는 부분교체방식을 리용하고있다.[1, 3-5] 이 경우 평형순환에 도달할 때까지 여러개의 운영순환을 포괄하는 다순환로심계산을 진행하여야 한다.

우리는 자체로 개발한 가압경수로물리계산체계[2]를 리용하여 열출력이 740MW_t인 가압경수로에 대한 다순환물리계산을 진행하였다.

1. 740MW_t 가압경수로의 주요정수들

740MW_t 가압경수로의 주요정수들은 표 1과 같으며 로심에서 연료집합체배치 및 연료 교체방식과 개별적집합체의 구조는 그림 1, 2와 같다.

표 1. 740MW_t 가압경수로의 주요정수

지표	값	지표	값	지표	값
로심		세포배렬형식	16×16정방형	외피재료	Zr
열출력/MW	740	연료봉세포		밀도/(g·cm ⁻³)	6.55
비출력/(MW·t ⁻¹ ·U ⁻¹)	25.75	세포격음/cm	1.3	외경/cm	0.990
압력/MPa	15	연료알심재료	UO ₂	내경/cm	0.858
열매입구온도/°C	287	밀도/(g·cm ⁻³)	9.834	열매(랭각재)	H ₂ O
높이/cm	260	농축도/%	1.5, 2.4, 2.8	조중봉안내관세포	
연료집합체개수	97	밀도(Gd ₂ O ₃ 포함)/(g·cm ⁻³)	9.702	재료	Zr
연료집합체종류	3	알심직경/cm	0.84	외경/cm	1.246 7
				내경/cm	1.145

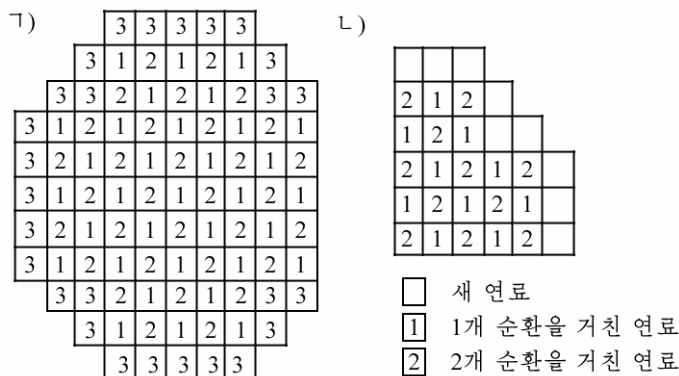


그림 1. 740MW_t 가압경수로의 로심 연료집합체 배치(Γ) 및 연료 교체 방식(Λ)

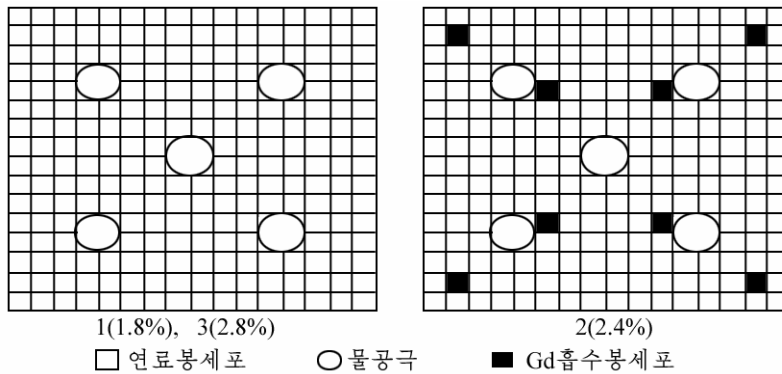


그림 2. 연료집합체구조

로심은 농축도가 각각 1.8, 2.4, 2.8%인 세가지 종류의 정방형연료집합체 97개로 구성되었으며 매 연료집합체에는 236개의 연료봉세포와 5개의 조종봉안내관(1개당 4개의 세포 면적을 차지한다.)이 들어있다. 특히 농축도가 2.4%인 집합체에는 8개의 Gd_2O_3 가연성흡수봉세포가 포함되어있다.

연료교체는 한번에 전체 집합체의 1/3을 교체하는데 바깥-아낙교체방식 즉 반사체와 린 접한 변두리위치에 새 연료집합체들을 장입하고 가운데에 위치한 연소도가 높은 집합체들을 꺼내는 방식을 취하였다. 이것은 출력분포를 평탄화하는데 유리하다.

림계탐색에서는 열매속의 붕소농도조종방식을 리용하였다.

2. 계 산 결 과

1순환과 7순환의 시작과 마감에서 집합체별평균출력분포는 그림 3, 4와 같다.

0.913 2	0.833 5	0.574 7	
1.044 0	1.059 0	0.813 8	0.633 5
1.244 0	1.109 0	1.084 0	0.824 8
1.240 0	1.312 0	1.129 0	
1.408 0	1.278 0		
1.322 0			

ㄱ)

0.872 6	0.838 5	0.633 9	
1.047 0	1.134 0	0.901 9	0.710 7
1.225 0	1.098 0	1.169 0	0.917 4
1.104 0	1.222 0	1.099 0	
1.203 0	1.095 0		
1.082 0			

ㄴ)

그림 3. 1순환초기(ㄱ)와 마감(ㄴ)에 집합체별평균출력분포

0.947 6	0.913 5	0.643 4	
1.011 0	1.152 0	0.945 5	0.840 2
1.119 0	1.034 0	1.250 0	1.416 0
0.954 4	1.095 0	1.034 0	
0.923 7	0.906 4		
0.761 5			

ㄱ)

0.916 1	0.890 5	0.667 3	
1.022 0	1.143 0	0.936 6	0.786 4
1.153 0	1.055 0	1.179 0	1.206 0
1.030 0	1.145 0	1.036 0	
1.049 0	1.006 0		
0.899 0			

ㄴ)

그림 4. 7순환초기(ㄱ)와 마감(ㄴ)에 집합체별평균출력분포

그림 3, 4에서 보는바와 같이 1순환의 경우 순환마감의 출력분포는 시작에 비하여 현저히 평탄화되었지만 이미 평형순환에 도달한 7순환에서는 큰 차이가 없다.

7순환마감에서 집합체별연소도분포는 그림 5와 같다.

8.377	8.096	5.859	
28.640	16.510	25.060	7.220
19.240	28.390	18.490	11.730
28.570	18.940	31.230	
21.430	28.290		
33.360			

그림 5. 7순환마감에서 집합체별평균 연소도분포($\text{GW} \cdot \text{d} \cdot \text{t}_U^{-1}$)

그림 5에서 보는바와 같이 1개 순환만을 거친 집합체들의 연소도는 $11.730 \text{ GW} \cdot \text{d} \cdot \text{t}_U^{-1}$ 이하의 작은 값을 가지며 2개 순환을 거친 집합체들의 연소도값은 $16.51 \sim 21.43 \text{ GW} \cdot \text{d} \cdot \text{t}_U^{-1}$, 3개 순환을 거친 집합체들의 연소도는 $25 \text{ GW} \cdot \text{d} \cdot \text{t}_U^{-1}$ 이상의 큰 값을 가진다.

각이한 운영순환에서 연소도에 따르는 림계붕소질량변화는 그림 6과 같다.

그림 6에서 보는바와 같이 1순환의 경우 크세논평형해독에 도달한 이후에 Gd흡수체의 연소효과로 하여 연소도가 증가함에 따라 림계붕소농도가 초기에 약간 증가하는 경향을 보이다가 서서히 감소하기 시작하며 Gd가 대부분 소모됨에 따라 선형적으로 감소한다. 나머지 운영순환들에서는 크세논평형해독이후에 림계붕소농도가 거의 선형적으로 감소하며 3순환후에는 곡선들이 거의 일치한다.

각이한 운영순환에서 연소도에 따르는 출력불균일결수의 변화는 그림 7과 같다.

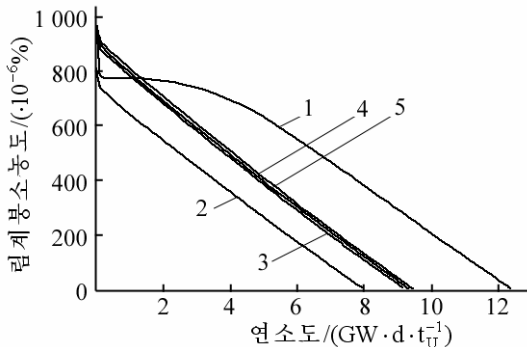


그림 6. 각이한 운영순환에서 연소도에 따르는 림계붕소농도변화
1-5는 각각 1, 2, 3, 4, 5순환인 경우

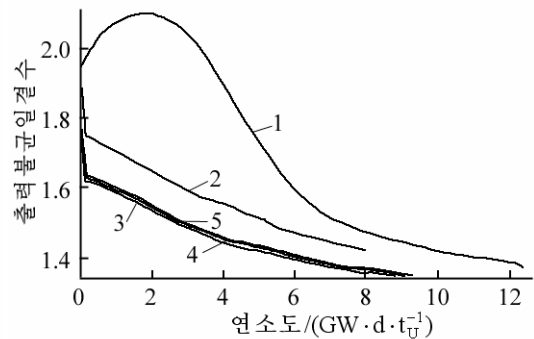


그림 7. 각이한 운영순환에서 연소도에 따르는 출력불균일결수변화
1-5는 각각 1, 2, 3, 4, 5순환인 경우

그림 7에서 보는바와 같이 1순환에서는 연소도가 증가함에 따라 처음에는 출력불균일결수가 증가하다가 다시 감소한다. 이것은 순환초기에 농축도가 2.4%인 Gd흡수체를 포함한 연료집합체의 출력준위가 주변의 농축도가 1.8%인 연료집합체보다 높은 상태에 있으며 연소됨에 따라 Gd가 연료보다 더 빨리 연소되면서 출력준위차가 커지는 것과 관련된다. 기타 순환에서는 출력불균일결수가 연소도가 증가함에 따라 서서히 감소하며 3순환후에는 출력불균일결수변화곡선이 거의 일치한다. 즉 평형순환이 이루어졌다고 볼수 있다.

매 운영순환의 주요특성량들은 표 2와 같다.

표 2에서 보는바와 같이 1순환의 만출력작업일수는 478일로서 1년 3개월정도이며 3순환후에는 약 360일 즉 1년정도이다. 또한 평형순환의 순환연소도와 해체연소도는 각각 $9\,250$, $28\,200 \text{ MW} \cdot \text{d} \cdot \text{t}_U^{-1}$ 정도이다.

표 2. 매 운영순환의 주요특성량들

순환	순환길이 (만출력작업일수)	순환연소도 /MW·d·t _U ⁻¹	평균해체연소도 /MW·d·t _U ⁻¹	MDNBR
1	478.0	12 300.0	13 335	2.94
2	306.0	7 875.0	22 657	3.20
3	356.9	9 183.2	27 228	3.52
4	364.3	9 375.0	27 998	3.53
5	354.6	9 125.0	28 322	3.49
6	358.5	9 225.6	28 187	3.49
7	360.3	9 272.8	28 213	3.52
8	357.7	9 204.0	28 181	3.48
9	359.5	9 250.0	28 257	3.51
10	357.5	9 198.0	28 192	3.50

또한 최소림계열속예비결수(MDNBR)는 1순환에서 2.94, 평형순환에서는 3.5정도로써 열공학적으로 충분한 안전여유를 가진다.

맺는말

우리는 3차원연소해석과 열력학적순환, 림계탐색기능을 가진 가압경수로물리계산체계를 리용하여 740MW_t 가압경수로의 다순환물리계산을 진행하고 각이한 운영순환의 주요로 물리적특성량들을 얻었다.

참고문헌

- [1] 허일문 등; 원자력, 2, 8, 주체98(2009).
- [2] 허일문 등; 원자력, 2, 19, 주체102(2013).
- [3] 허일문 등; 원자력, 1, 22, 주체103(2014).
- [4] W. Wagner et al.; International Steam Tables, Springer, 189~287, 2008.
- [5] 谢仲生; 压水堆核电厂堆芯燃料管理计算及伏化, 原子能出版社, 86~104, 2001.

주체104(2015)년 12월 5일 원고접수

Multicycle Physics Calculation for PWR of 740MW_t

Ho Il Mun, Ri Chol Hak and Kim Yong Hyok

We performed multicycle physics calculation of 740MW_t PWR using developed PWR physics calculation system with capabilities of three dimensional burnup analysis, thermalhydraulic feedback and criticality search, obtained the values of fuel assembly average power distribution, critical boron concentration and power peak factor according to the operation days in each fuel cycle.

Key words: PWR, fuel assembly, equilibrium cycle