

## 융합-분렬혼성로의 로심구성에 대한 연구

채 정 숙

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학연구부문에서는 주체공업, 사회주의자립경제의 위력을 강화하고 인민생활을 향상시키는데서 나서는 과학기술적문제들을 우선적으로 해결하며 최첨단의 새로운 경지를 개척하기 위한 연구사업을 심화시켜야 합니다.》

핵동력공업발전에서 제기되고있는 안전성문제와 핵폐기물처리문제, 연료공급문제를 해결하기 위한 방도로써 현재 세계적으로 혼성로에 대한 연구가 진행되고있다

혼성로는 크게 가속기구동아림계혼성로와 융합-분렬혼성로의 두가지 부류로 개발되고있으며 일부 나라들에서는 시험단계를 벗어나 실용화단계에 이르고있다.[1-5]

원자로의 설계와 실제운영에 앞서 원자로의 림계특성을 나타내는 유효증식결수  $k_{eff}$ 에 대한 계산을 진행하는것은 원자로의 안전을 담보하는 중요한 공정이다.

우리는 우리 나라의 실정에 맞게 (D-T)융합반응에서 나오는 14MeV 중성자를 구동원천으로 하는 융합-분렬혼성로방식을 선택하고 로심의 기하학적 및 물질구조를 설계하고  $k_{eff}$ 를 계산하였다.

### 1. 융합-분렬혼성로로심의 기하학적 및 물질구조

융합-분렬혼성로로심은 크기가 120cm×120cm×100cm 인 직4각기둥이다.

로심의 중심에는 융합원천을 놓고 동경방향으로 분렬구역, 초중수소증식구역, 반사체 구역들이 층구조를 이루게 하였으며 중성자의 열화거리와 물질과의 호상작용을 고려하여 각 구역의 크기를 설정하였다.[2, 3]

융합원천에서는 다음의 융합반응이 진행된다.



융합원천의 세기는  $10^9$ 개/(cm<sup>2</sup>·s)이다.

혼성로로심의 기하학적자름면은 그림과 같다.

융합원천을 분렬구역으로 둘러싸는데 분렬구역은 직경이 4cm이고 불수강외피를 씌운 원기둥형태의 연료봉들을 정방형으로 배치하였다. 연료봉들은 감속 및 랭각재로 둘러싸여있다. 분렬구역은 초중수소증식구역과 흑연반사체로 둘러싸여있다. 이 구조는 중성자루실을 감소시키고 중성자를 효과적으로 리용할수 있게 한다.

로심의 유효증식결수는 0.97~0.98로 유지되어야 한다.

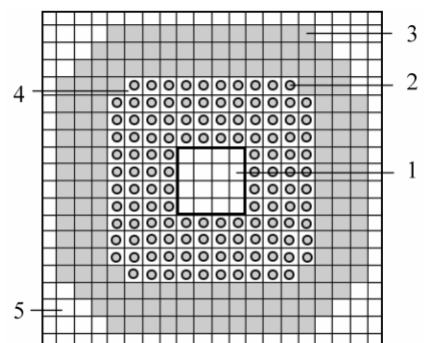


그림. 혼성로로심의 기하학적자름면  
1-원천구역, 2-분렬구역, 3-초중수소  
증식구역, 4-감속재 및 열매구역,  
5-반사체구역

표 1에 로심의 주요설계파라미터들을 주었다.

표 1. 로심의 주요설계파라미터들

특성량	값	특성량	값
총세포수/개	400	세포길이/cm	6
분렬구역세포수/개	124	세포너비/cm	6
초중수소증식구역세포수/개	160	연료봉직경/cm	4
반사체구역세포수/개	100	연료봉외피두께/cm	0.1
원천구역세포수/개	16	연료	UO <sub>2</sub> , UC
연료봉개수/개	124	연료봉외피	불수강316
로심길이/cm	120	감속재 및 열매	H <sub>2</sub> O
로심너비/cm	120	초중수소증식물질	Li <sub>2</sub> O
로심높이/cm	100	반사체	흑연

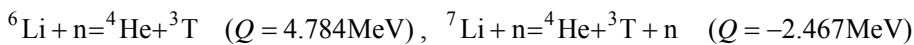
분렬구역에서 연료물질은 융합반응에서 생긴 중성자에 의하여 분렬되면서 중성자를 증식시킨다. 연료물질로는 이산화우라늄(UO<sub>2</sub>)과 UC도자기연료를 리용하였는데 UO<sub>2</sub>은 연소도(100MWd/kg)가 매우 크고 도플러효과가 비교적 크며 녹음점이 매우 높은것(2 750°C)으로 하여 산화물연료의 열전도성이 부족한것을 충분히 보상해준다. UC도자기연료는 다음세대 원자로의 연료후보물질이다.[1, 5]

융합중성자의 침적에너지와 연료물질의 분렬에너지는 펄스핵에 의하여 구역밖으로 배출된다.

펄스핵 및 열매로는 현재 경수로들에서 리용되고있는 경수를 리용하였다.

초중수소증식구역에서 증식물질은 산화리튬(Li<sub>2</sub>O)이며 열중성자들은 <sup>6</sup>Li과, 빠른중성자들은 <sup>7</sup>Li과 반응하여 초중수소를 만드는데 이것을 다시 융합반응에 리용할수 있다.[4, 5]

반응식은 다음과 같다.



## 2. 유효증식결수의 계산

MCNP5를 리용하여 핵연료들의 농축도에 따르는 유효증식결수를 계산하였다.

표 2. UO<sub>2</sub>연료의 농축도에 따르는 유효증식결수

농축도/%	$k_{\text{eff}}$	농축도/%	$k_{\text{eff}}$
3.00	1.094 11	1.91	0.979 32
2.50	1.049 13	1.90	0.974 09
2.00	0.994 32	1.80	0.962 50
1.93	0.983 52	1.50	0.911 00
1.92	0.980 21	1.00	0.787 10

대하여  $k_{\text{eff}}$ 계산을 진행한 결과는 표 3과 같다.

표 3에서 보는바와 같이 UC연료의 합리적인 농축도는 1.60~1.64%이다.

계산결과로부터 우리가 모의한 로심구조는 연료의 농축도에 대한 요구조건이 높지 않으며 경제적으로 효과적이라는것을 알수 있다.

현재 경수로들에서 널리 리용되고있는 연료인 UO<sub>2</sub>에 대하여 농축도에 따르는 유효증식결수를 계산한 결과는 표 2와 같다.

표 2에서 보는바와 같이 UO<sub>2</sub>연료의 합리적인 농축도는 1.90~1.93%이다.

다음세대 원자로들의 연료후보물질인 UC에

표 3. UC의 농축도에 따르는 유효증식결수

농축도/%	$k_{\text{eff}}$	농축도/%	$k_{\text{eff}}$
3.00	1.121 20	1.68	0.985 36
2.50	1.083 40	1.66	0.985 05
2.00	1.036 30	1.64	0.980 12
1.90	1.018 00	1.63	0.975 65
1.80	1.004 00	1.61	0.975 86
1.70	0.989 85	1.60	0.974 44

## 맺 는 말

융합—분열혼성로의 설계운영에 필요한 자료를 얻기 위하여 융합—분열혼성로의 개념설계를 위한 로심의 기하학적 및 물질구조를 설계하고 두가지 연료에 대하여 각이한 농축도에 따르는 립계계산을 진행하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] Sumer Sahin et al.; Annals of Nuclear Energy, 30, 245, 2003.
- [2] Kadir Yildiz; Annals of Nuclear Energy, 32, 101, 2005.
- [3] S. David et al.; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 443, 510, 2000.
- [4] 徐红 等; 原子能科学技术, 44, 562, 2010.
- [5] 程和平 等; 原子能科学技术, 43, 115, 2009.

주체105(2016)년 12월 5일 원고접수

## On the Composition of Core of Fusion-Fission Hybrid Reactor

*Chae Jong Suk*

We designed geometrical and material structure of core of fusion-fission hybrid reactor and calculated criticality according to changing of degree of enrichment of two fuels to get data for design and operation of fusion-fission hybrid reactor.

Key words: fusion-fission hybrid, hybrid, reactor, hybrid reactor, core