

VHTR 압력용기 해체시 방사화 핵종 재고량 평가

김윤식^{1*}, 박제호¹, 조창근²

¹(주)코네스코퍼레이션, 서울시 서초구 명달로 65 일흥빌딩 5F

²한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989길 111

*yunsik@kones21.com

1. 서론

초고온가스로(VHTR, Very High Temperature gas-cooled Reactor) 압력용기 재료로 고려중인 SA533, Gr b, Class1 및 SA508, Class3은 강도 및 인성이 뛰어나 원자로압력용기(RPV, Reactor Pressure Vessel) 및 원자로 내부구조물에 널리 사용되고 있다. 이러한 스테인리스강 재질의 경우 고에너지 방사선 환경에서 장기간 노출 시 중성자 조사에 의한 방사화 핵종이 발생한다. 방사화 핵종의 재고량 평가는 해체과정에서 요구되는 해체 계획 수립, 폐기물 관리 등에 중요한 영향을 미치므로 본 논문에서는 VHTR 압력용기에 대한 방사화 핵종 재고량 평가를 수행하였다.

2. 본론

2.1 VHTR 연료

열출력 350 MWth의 VHTR에 사용되는 연료는 육각형태의 블록이며, 폭이 약 36 cm, 높이는 79.3 cm이다. 연료블록에는 헬륨구멍과 연료(Compact)가 배치되어 있으며, 연료에는 TRISO(TRI ISOtropic) 입자들이 흑연과 혼합되어져 있다. TRISO 제원은 Table 1과 같다.

Table 1. Dimensions of Fuel Block

Item	Value
Fissile Material	UC0.5O1.5
Enrichment (U-235)	15.5 [w%]
Packing Fraction	various
Compact Radius [cm]	0.6225
Hole Radius [cm]	0.635
Compact Length [cm]	4.928

2.2 VHTR 노심특성

VHTR노심은 10개의 층으로 Fig. 1과 같이 각층마다 연료블록 66다발 및 내/외부 흑연반사체블록 97다발, 그리고 외각 영구 흑연반사체블록으로 이루어져 있으며 주요 노심인자는 아래 Table 2에 나타내었다.

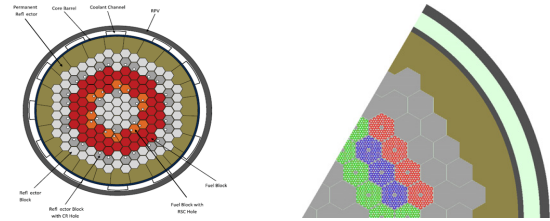


Fig. 1. VHTR Reactor Core.

Table 2. Characteristics of VHTR core

Thermal Power	350	[MWth]
Total FB/Core	660	#
Average power/FB	0.53	MW/FB
Specific Power	67.1	MW/tU

2.3 평가 코드 및 가정사항

평가 코드와 핵반응단면적 라이브러리는 SCALE 6.1.3코드의 Triton 모듈 및 ENDF/B-VII 238 Group을 적용하였으며, 평가에 적용한 가정사항은 아래와 같다.

- 1) 설계수명 60 년 동안 지속적으로 가동하며, 냉각기간은 20 년으로 한다.
- 2) 원자로 가동기간 동안 비출력 및 노심에서 생성되는 중성자 선속은 일정하다.
- 3) 노심 장전 주기는 450 일 3주기로 가정한다.

2.4 평가모델

방사화 평가 대상은 Core Barrel 및 압력용기(RPV)를 대상으로 한다. Fig. 2와 같이 Core Barrel은 1 cm 두께 단위로 안쪽부터 6개 구간, RPV는 1 cm 두께 단위로 안쪽부터 9개 구간으로 각각 나누어 평가를 수행 하였다.

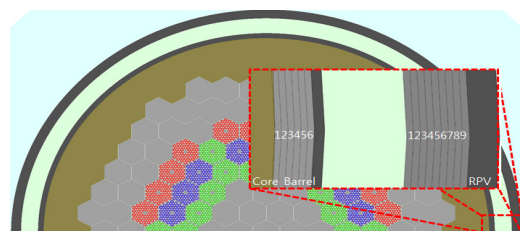


Fig. 2. Analysis Model.

2.5 평가 결과

가동기간 동안 각 평가대상의 평균 중성자 조사선량은 Table 3에 나타내었다. Core Barrel(1번 구간) 비방사능은 가동정지 직후에 2.627E+09 Bq/g, 20년 후 1.403E+07 Bq/g, RPV(1번 구간)의 비방사능은 가동정지 직후에 2.572E+07 Bq/g, 20년 후 1.674E+05 Bq/g으로 평가되었다. 각 평가 대상의 냉각기간에 따른 비방사능은 Fig. 3, 4에 나타내었다.

방사성 핵종으로는 Fe-55 및 Ni-63 핵종이 총 방사능량에서 가장 많은 비중을 차지하였다. Fe-55 핵종은 비교적 짧은 반감기(2.73년)를 지니므로 시간이 경과할수록 총 방사능량에 대한 비중이 점차 감소하는 결과를 보였으며, 반면 Ni-63 핵종은 장 반감기(4,120년) 핵종으로 냉각기간이 경과할수록 총 방사능량에 대한 비중이 점차 증가하는 결과를 보였다. Core Barrel(1번 구간) 및 RPV(1번 구간)의 각 핵종별 비방사능은 Fig. 5, 6에 나타내었다.

Table 3. Neutron Flux $n/(cm^2 \cdot sec)$

Point	Core Barrel	RPV
1	1.235E+12	1.361E+10
2	7.115E+11	7.848E+09
3	3.909E+11	4.425E+09
4	2.152E+11	2.569E+09
5	1.192E+11	1.551E+09
6	6.609E+10	9.048E+08
7		5.796E+08
8		3.563E+08
9		2.659E+08

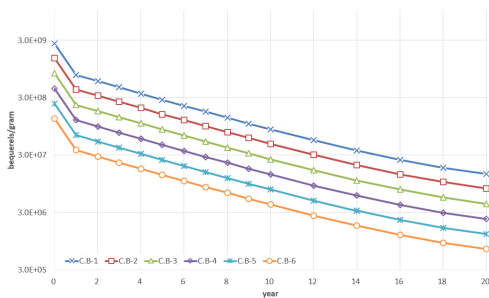


Fig. 3. Total Specific Activity of Core Barrel.

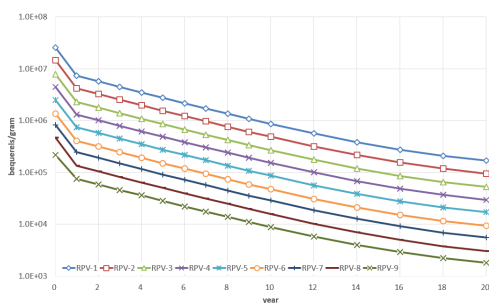


Fig. 4. Total Specific Activity of RPV.

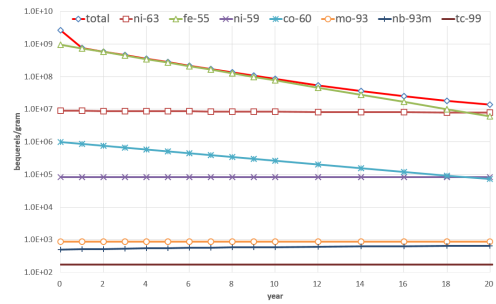


Fig. 5. Nuclide Specific Activity of Core Barrel.

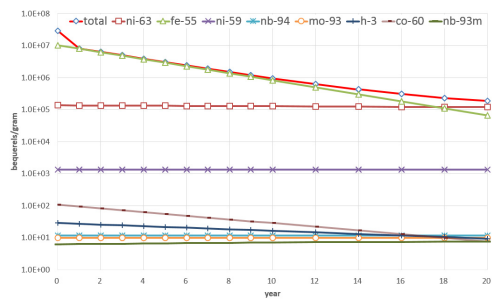


Fig. 6. Each Nuclide Specific Activity of RPV.

3. 결론

평가 결과를 기반으로 원자력안전위원회고시 “제 2014-003호”[3]에 준하여 초고온가스로 압력용기는 방사성폐기물로 분류되어야 한다. 계산결과로부터 Core Barrel은 저준위방사성폐기물의 핵종별 방사능 농도 제한치를 초과하여 중준위방사성폐기물로 분류되었으며, 자체처분 허용농도의 8.007E+05배 이상으로 평가되었다. RPV는 자체처분 허용농도의 100배 이상이나 저준위방사성폐기물의 핵종별 방사능 농도 제한치를 초과하지 않아 저준위방사성폐기물로 분류되었다. 본 평가 결과는 추후 초고온가스로 설계 과정에서 해체계획 반영을 위한 기술적인 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(No.20131520301990)

5. 참고문헌

- [1] 한국원자력연구원, “초고온가스로 계통개념 연구 단계보고서”, 2015. 2.
- [2] ORNL, “Scale: A Comprehensive Modeling and Simulation Suite for Nuclear Safety Analysis and Design”, ORNL/TM-2005/39 Version 6.1, June 2011.
- [3] 원자력안전위원회고시, 제2014 - 003호, “방사성 폐기물 분류 및 자체처분 기준에 관한 규정”