

고리 1호기 압력용기 원형해체 시 붕괴열 및 수화열을 고려한 충전 모르타르 건전성 평가

최유정*, 이성철, 하창주, 김창락

한전국제원자력대학원대학교, 울산시 울주군 서생면 신암리 해맞이로 689번길 882

*supern3@naver.com

1. 서론

원자로의 처분을 위한 방법으로는 원형처분과 절단 처분이 있으며, 절단처분 시 폐기물은 적절한 용기에 담겨 최종 처분장으로 보내지게 된다. 이때, 원자로나 증기발생기 등 대형구조물의 최종처분 시 폐기물의 안정화를 위해 최종 처분용기 내 빈 공간을 모르타르로 채우는 것이 고려되기도 한다. 이럴 경우 모르타르 수화반응으로 발생하는 열 뿐 만아니라 붕괴열에 의한 처분용기 내부의 안전성 재고가 필요할 것으로 판단된다. 따라서 본 논문에서는 고리 1호기 압력용기를 대상으로 붕괴열 및 모르타르 수화반응으로 발생하는 열을 고려한 최종처분 시 용기 내 건전성을 평가하기 위해, DIANA 9.4.4를 이용하여 2D로 모델링한 후 용기 내외부 온도 및 응력, 그리고 균열지수를 분석하여 원형 해체 처분 시 건전성을 분석하였다.

2. 본론

2.1 붕괴열

본 논문에서는 고리 1호기의 붕괴열을 고려하기 위해 ORIGEN 2를 이용하여 붕괴열을 계산하였으며, 원자로 압력용기의 두께에 따른 붕괴열의 발생 정도가 다를 것으로 판단하여, 두께 및 시간에 따른 붕괴열을 계산하였다. 시간별 두께별 붕괴열 결과 중 일부를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Decay heat per thickness

Thick \ Time	0	2.075	4.15	8.3
0day	4.96×10^{-4}	3.44×10^{-4}	2.39×10^{-4}	1.16×10^{-4}
1day	1.40×10^{-4}	9.72×10^{-5}	2.39×10^{-4}	3.27×10^{-5}
7day	1.34×10^{-4}	9.33×10^{-5}	6.48×10^{-5}	3.14×10^{-5}
30day	1.18×10^{-4}	8.18×10^{-5}	5.68×10^{-5}	2.75×10^{-5}
1yr	4.36×10^{-5}	3.03×10^{-5}	2.10×10^{-5}	1.02×10^{-5}

[Kcal/mm³×day]

2.2 해석 대상 구조 및 모델링

본 논문에서는 원자로 압력용기가 원형해체되어 내부에 모르타르를 충전하여 최종 처분하는 것을 대상으로 해석을 수행하였다. 해석 시 모르타르에 의한 수화열이 가장 클 것으로 생각되는 단면이 가장 큰 원자로 몸통 단면에 대해 평면요소를 이용하여 묘사하였으며, 대칭성을 고려하여 1/4을 모델링하였다.

2.3 온도

모르타르 타설 온도를 20°C로 가정하였으며, 처분 후 모르타르 타설 시점을 영구정지 직후부터 40년 후까지 설정하여 모르타르 타설 시점을 기준으로 모르타르로 충전된 원자로 내외부 온도를 아래의 그림으로 나타내었다. 해석 결과 처분 직후 모르타르를 충전할 경우 모르타르 내부가 상당히 높은 온도에 도달하는 것으로 예측되었다.

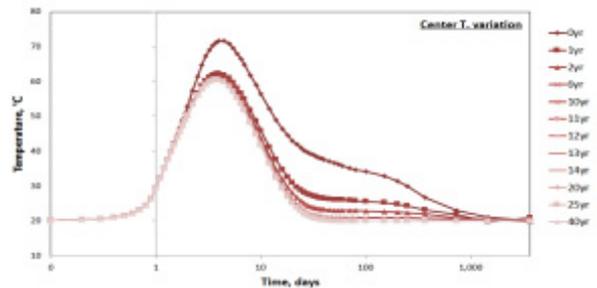


Fig. 1. Temperature time history at the center.

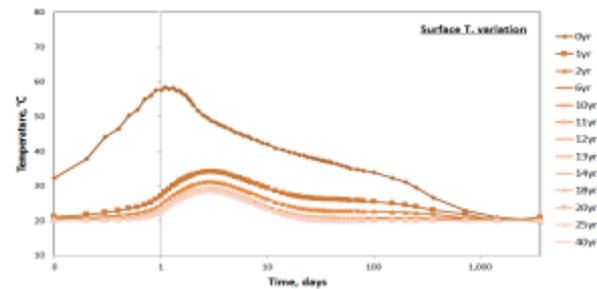


Fig. 2. Temperature times history at the surface.

2.4 응력

응력은 방사, 접선, 그리고 높이 방향으로 내외부 두 부분에 대해 각각 분석하였다. 그림에서 보는 바와 같이 내부 온도가 최고점에 도달했을 때 외부 구속에 의해 표면부에 인장응력이 발생하는 반면, 냉각이 완료된 이후에는 외부 구속에 의해 중심부에서 인장응력이 발생하는 것으로 나타났다.

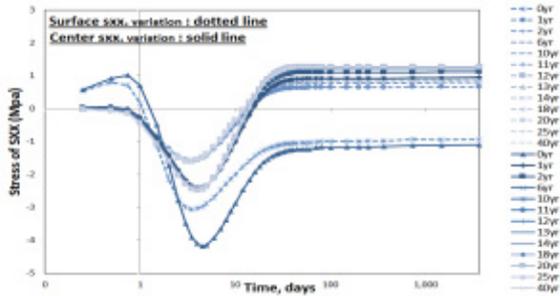


Fig. 3. Radial directional stress time history.

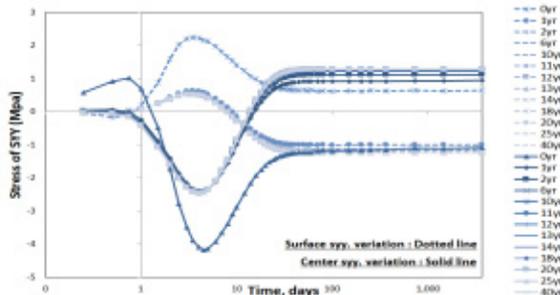


Fig. 4. Tangential directional stress time history.

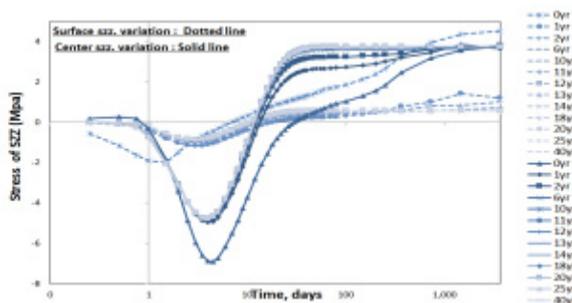


Fig. 5. Height directional stress time history.

한편, 균열지수를 살펴보았을 때, 일부 해석 결과에서 균열지수가 1 이하로 내려가는 것으로 나타났다. 즉, 원자로 압력용기 최종 처분 시 모르타르로 채울 경우 원자로 내부 중심부에서 충전된 모르타르에 균열이 발생할 가능성이 높은 것으로 예측되었다. 또한, 영구정지 직후 원자로 압력용기를 모르타르로 충전하여 처분할 경우 붕괴열에 의해 초기에 충전 모르타르 표면부에서 균열 발생 가능성이 높은 것으로 예측되었다.

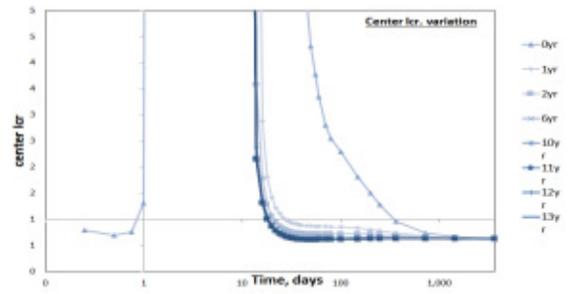


Fig. 6. Crack index time history at the center.

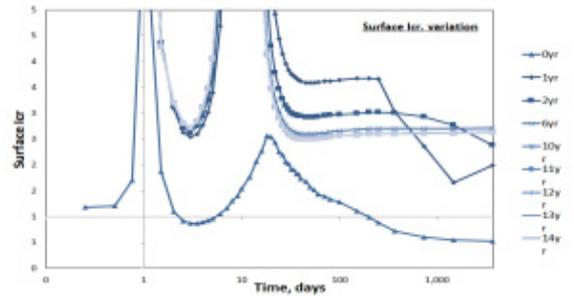


Fig. 7. Surface Icr, variation.

3. 결론

본 연구에서는 고리 1호기 원자로 압력용기를 대상으로 원형해체 시 원자로 압력용기 내부를 모르타르로 충전하는 것으로 가정하여 이에 대한 건전성을 해석적으로 검토하였다. 해석 결과 중심부에서 모르타르 내 균열 발생 가능성이 높은 것으로 예측되었으며, 잔존 붕괴열이 클 경우 충전 모르타르 표면부에서도 균열이 발생할 우려가 있는 것으로 예측되었다. 본 연구는 향후 절단 해체를 통한 최종 처분 시 최종 처분 용기 건전성 평가에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 감사의 글

본 연구는 원자력안전위원회의 재원으로 한국방사선안전재단의 지원을 받아 수행한 원자력안전연구개발사업의 연구결과입니다. (No. 1305009)

5. 참고문헌

- [1] Cha, S.W., "Modeling of Hydration Process and Analysis of Thermal and Hydral Stresses in Hardening Concrete", Ph.D. Dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea, 1999, 202.