

사용후핵연료 저장용기의 금속 밀봉재 고온가속화 격납건전성 성능시험

양윤영^{1*}, 최우석¹, 서기석¹, 조상순¹, 임종민²

¹한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

²한국항공우주연구원, 대전광역시 유성구 과학로 169-84

*yang0124@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후핵연료를 저장하는 볼트체결 캐스트의 격납 경계를 형성하는 주된 구성요소는 밀봉재(Seal)이다. 밀봉재의 종류는 크게 탄성중합 밀봉재(Elastomer Seal)와 금속 밀봉재(Metallic Seal)로 대변된다. 탄성중합 밀봉재는 방사능물질의 운반에 주로 사용되며, 금속 밀봉재는 저장용기에 사용된다. 이러한 밀봉재는 열과 방사선에 의해 그 성질이 저하된다. 또한, 밀봉재가 강한 열에 노출되면 크립(creep) 현상이 발생하는데 이러한 크립 현상은 밀봉재의 건전성을 저하시킨다. 따라서, 저장용기는 오랜 시간동안 방사능 물질을 내부에 담고 있어야 하기 때문에 내건전성이 좋은 금속 밀봉재를 사용하여야 한다[1].

본 연구에서는 Larson Miller parameter를 이용하여 금속 밀봉재의 수명을 예측하고, 고온 가속화 시험을 통하여 금속 밀봉재의 장기 저장기간 중 금속 밀봉재의 격납 건전성을 확인한다.

2. 본론

2.1 금속 밀봉재

사용후 핵연료 운반 및 저장용기에 사용되는 금속 밀봉재의 전체적인 윤곽은 Fig. 1과 같다. 금속 밀봉재의 내부에는 원형 스프링이 있으며, 외부에는 두 개의 재킷이 감싸고 있다. 원형 스프링과 내부 재킷은 스테인레스강으로 되어 있으며, 외부 재킷은 은 또는 알루미늄으로 되어있다.

2.2 시험 방법

금속 밀봉재 고온가속화 시험장비는 높은 온도를 일정하게 유지해주는 장치이다. Fig. 2의 고온 가속화 시험장비의 챔버에는 Fig. 3와 같이 저장용기의 뚜껑부를 모사한 소형 플랜지를 넣고 가열한다. 이 플랜지에서 뚜껑에 해당하는 플랜지에는 가공 홈(groove)이 있어 이 홈에 저장용기에 사용되는 금속 밀봉재를 위치시켜 고온가속화 시험을 수행한다.

금속 밀봉재 가속화시험에서의 누설측정 방법은 플랜지에 헬륨을 주입하고, 외부에서 이를 헬륨누설률 측정기기를 이용하여 누설률을 주기적으로 측정한다.

다. 이 데이터를 바탕으로 금속 밀봉재의 설계수명 내 건전성 평가를 한다.

시험에서는 원형모델에 사용되는 금속 밀봉재인 Helicoflex HND229 제품을 사용하였으며, 허용 누설률은 여러 문헌들에서 제시되고 있는 10^{-8} mbar.l/s를 사용하였다.

2.3 고온가속화 시험 조건

Larson Miller parameter(LMP)를 사용하면, 저온에서 장기간의 영향에 대한 평가를 고온에서 단기간의 영향에 대한 결과를 사용하여 예측할 수 있다. 금속 밀봉재의 가속화시험은 LMP에 근거해 설계수명과 등가인 시험 조건을 수립하였다[2]. 다음은 LMP 식이다.

$$LMP = T(C + \log_{10}t) \quad (1)$$

T는 절대온도(K), t는 시간(h), C는 상수값이다. 식(1)의 C 값은 여러 문헌들에서 각각 다르게 사용되고 있다. C 값이 클수록 시험 시간은 짧아진다. 본 연구에서는 상수 C값을 16으로 사용하였다. 정해진 C 값을 가지고 LMP 식에 등가 시험조건(128°C, 50 년)을 대입하여 시험 조건을 설정하였다.

설정된 시험조건을 가지고 1차 시험과 2차 시험을 진행하였다. 1차 시험은 180°C에서 9 주의 시험이며, 2차 시험은 165°C에서 39 주 동안 수행하였다.

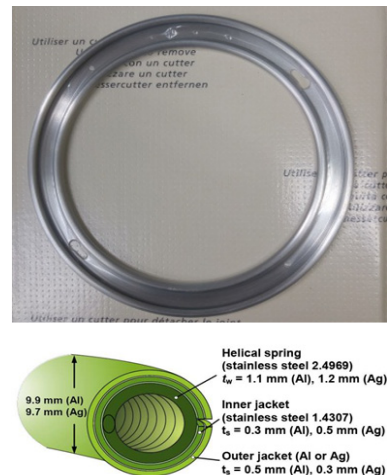


Fig. 1. Metallic Seal.



Fig. 2. High temperature chamber for acceleration leakage test.

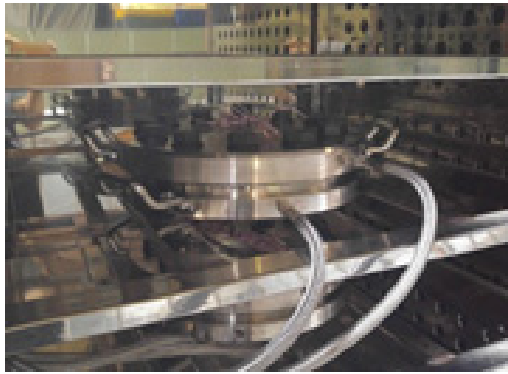


Fig. 3. Simplified lid assembly with metallic seal.

3. 결론

금속 밀봉재의 격납 건전성 평가를 위하여 1, 2차에 걸쳐 고온가속화 시험을 수행하였다. 가속화 시험을 수행하기 위하여 LMP에 근거하여 사용후 핵연료의 저장 조건과 유사한 가속화 시험 조건을 계산하였다. 계산된 가속화시험조건에서 금속 밀봉재의 누설률을 측정하였다. Fig. 4와 Fig. 5는 가속화 시험을 통하여 얻은 누설률 측정 데이터이다.

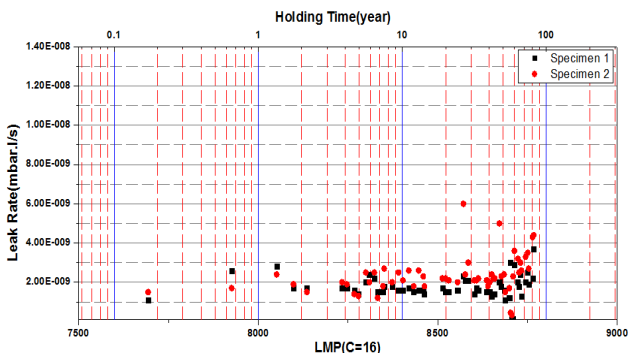


Fig. 4. 1st Leakage test result at temperature 180°C.

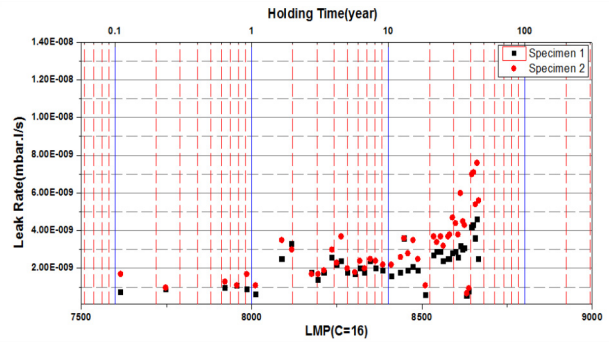


Fig. 5. 2nd Leakage test result at temperature 165°C.

1차 시험(180°C)에서는 50 년에 해당하는 9주 이후 추가 4주 동안도 누설이 발생하지 않았다. 2차 시험(165°C)에서는 현재까지(37 주) 누설이 발생하지 않아 격납 건전성이 유지됨을 보였다. 향후 금속 밀봉재의 격납 건전성 평가를 위한 고온 가속화 시험이 지속될 예정이다.

4. 감사의 글

본 연구는 산업부의 방사성폐기물기술개발사업(201471020173B)의 지원으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] Holger Volzke, Dietmar Wolff, Ulrich Probst, Sven Nagelschmidt, Sebastian Schulz, "Long-Term Performance of Metal Seals for Transport and Storage Casks", Proceedings of the 17th International Symposium on the PATRAM (2013).
- [2] Sassoulas H., Morice L., Caplain P., Rounaud C., Mirabel., Beal F., "Ageing of Metallic Gaskets for Spent Fuel Casks: Century-Long Life Forecast from 25,000-h-Long Experiment" Nuclear Engineering and Design 236 (2006).