

## 삼중수소 재활용을 위한 계량 인증 시설 벽면에서의 삼중수소 및 헬륨 재고량 평가 모델

육대식, 이상철, 이건재, 송규민\*, 손순환\*

한국과학기술원, 대전광역시 유성구 구성동 373-1

\*한국전력연구원, 대전광역시 유성구 문지동 103-16

[dsvook@nuchen.kaist.ac.kr](mailto:dsvook@nuchen.kaist.ac.kr)

현재 국내 월성 원자력 발전소에 건설중인 삼중수소 제거 시설이 완공되어 운영에 들어가면 연간 700g의 삼중수소를 생산하게 될 것으로 기대되어진다. 이렇게 수집된 삼중수소를 자원화 하기 위하여 현재 전력연구원에서는 삼중수소 계량인증 시설 개발 연구를 시작하였다. 계량 인증시설은 삼중수소를 저장용기로부터 회수, 처리, 재분배 과정을 거치기 때문에 인증 시설 벽면으로의 삼중수소의 확산, 벽면내의 삼중수소 붕괴에 따른 헬륨 생성에 따른 재고량 평가가 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 기존 문헌[1]의 삼중수소 및 헬륨의 깊이에 따른 분포 평가 모델로부터 벽면내에서의 삼중수소 및 헬륨 재고량 평가 모델을 해석적인 방법을 통해 유도하였다. 또한, 유도된 결과식의 검증에 위하여 이전의 연구[2]에서 제시한 결과와의 비교 평가를 수행하였으며, 온도 및 압력, 시간에 따른 삼중수소 및 헬륨의 재고량을 평가 제시하였다.

### - 삼중수소 및 헬륨 재고량 평가 모델

이미 잘 알려져 있는 바와 같이 삼중수소의 재질의 벽면에서의 확산을 나타내는 지배 방정식은 기존의 확산 방정식에 방사성 붕괴를 고려하여 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\frac{\partial C(x, t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C(x, t)}{\partial x^2} - \lambda C(x, t) \quad (1)$$

본 연구의 경우 한 번 삼중수소를 저장하면 새로운 삼중수소의 공급이 없는 저장용기와 달리 삼중수소 인증 시설의 벽면은 지속적으로 삼중수소와 접촉하게 되기 때문에 접촉면에서의 삼중수소 붕괴를 고려하지 않았다. 위의 식(1)로부터 삼중수소 및 헬륨의 재질의 벽면에서의 삼중수소 분포를 나타내는 연구가 C.E. Ells에 의해 수행되었으며[1], 그 결과 식으로부터 벽면 깊이에 따른 적분을 통하여 다음과 같은 재질 벽면내에서의 삼중수소 재고량 결과 식을 유도 하였다.

$$C_{st} \left[ \frac{\lambda l}{2} - \frac{2\lambda^2 l t}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos(n\pi))}{n^2(\lambda + \frac{Dn^2\pi^2}{l^2})} - \frac{2\lambda D}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos(n\pi))}{(\lambda + \frac{Dn^2\pi^2}{l^2})} (1 - \exp(-(\lambda + \frac{Dn^2\pi^2}{l^2})t)) \right] \quad (2)$$

또한 재질 벽면 내에서의 헬륨의 재고량을 나타내는 결과 식은 다음과 같다.

$$C_{st} \left[ \frac{l}{2} - \frac{2\lambda l}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos(n\pi))}{n^2(\lambda + \frac{Dn^2\pi^2}{l^2})} - \frac{2Dn}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(1 - \cos(n\pi))}{(\lambda + \frac{Dn^2\pi^2}{l^2})} \exp(-(\lambda + \frac{Dn^2\pi^2}{l^2})t) \right] \quad (3)$$

여기서  $C_{st} = 1.94 \times 10^{-7} \exp(-10.2(kJ)/RT) P_{T_2}^{1/2} (\text{mol } T_2 / \text{cm}^2 / \text{Pa}^{1/2})$ [3] 값을 활용하였으며 확산 계수는  $D(\text{cm}^2/\text{sec}) = 4.2 \times 10^{-2} \exp(-64(kJ)/RT)$ [4] 값을 활용하였다. 또한  $l$ 은 벽면의 두께(cm),  $\lambda$ 는 붕괴 상수( $=1.793 \times 10^{-9} \text{ sec}^{-1}$ )이다. 유도된 삼중수소 재고량의 검증에 위하여 Willms[2]에 의해 제시된 극히 제한적인 경우에 활용될 수 있는 간략화된 모델과 식(2)와의 비교 검증을 실시하였고 그 결과는 그림 2에 나타내었다.

### - 결론

그림 2와 그림 3을 통해서 알 수 있듯이 삼중수소의 재질의 벽면내에서의 재고량은 압력에 의한 변화 보다는 온도의 변화에 따라 좀 더 민감하게 변화 되는 것을 알 수 있었다. 이것은 초기 조건에서 압력의 변화가 미치는 영향을 통해서도 충분히 예측할 수 있는 결과이다. 또한 그림 4에서 알 수 있듯이 삼중수소의 두 반감기 정도의 시간이 지난 후에는 헬륨의 재고량이 삼중수소의

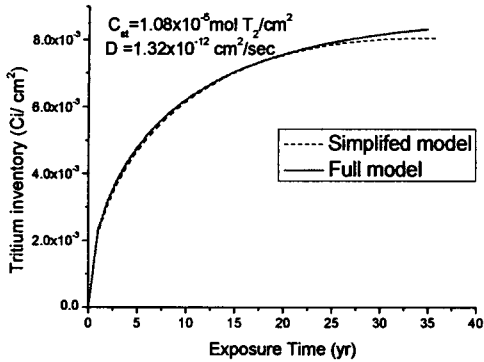


그림 3. 기존 문헌[2]과 본 연구에서 제시된 델파의 삼중수소 재고량 비교 결과

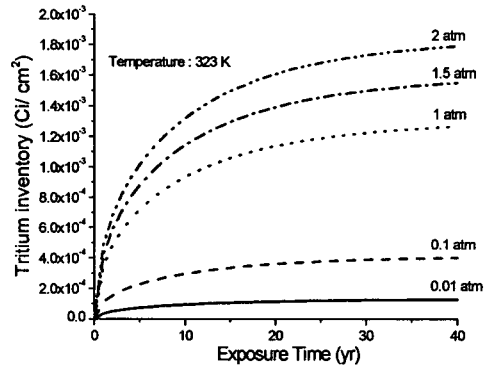


그림 4. 압력 변화에 따른 벽면내에서의 삼중수소 재고량 평가

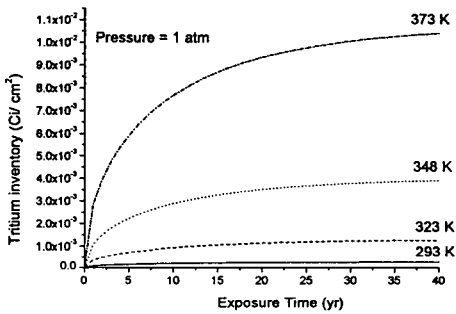


그림 5. 온도 변화에 따른 벽면내에서의 삼중수소 재고량 평가

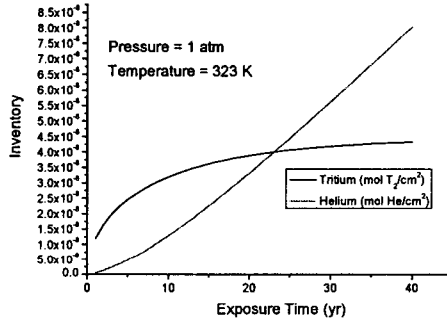


그림 6. 시간에 따른 재료의 벽면에서의 삼중수소 및 헬륨 재고량 평가

재고량 보다 더 많이 생성됨을 알 수 있었으며 이러한 경향은 온도 및 압력에 의한 영향과는 관계 없이 삼중수소의 방사성 붕괴에 따른 시간만이 유일한 인자임을 확인 할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원을 받은 전력연구원의 연구 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

[1] C.E. Ells and S.A. Kushneriuk, Helium in the austenitic stainless steel of tritium-handling facilities, AECL-6844, 1980.  
 [2] R.Scott Willms, Simplified estimation of tritium inventory in stainless steel, Fusion science and Technology, Vol. 48, pp 204-207, 2005.  
 [3] Masayasu SAGISAKI, Hirotaka FURUSA, et al., Tritium solubility in SUS-316 Stainless Steel, J.of Nucl. Mater. Vol 120, pp 36-40, 1984.  
 [4] Masayasu SAGISAKI, Hirotaka FURUSA, et al., Surface Reaction and Bulk Diffusion of Tritium in SUS-316 Stainless Steel, J.of Nucl. Mater. Vol 133&134, pp 280-283, 1985.