

처분용기 재료의 KURT 장기부식시험 개요

이민수, 김노박, 최희주, 문순성

한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 989번길 111

minm@kaeri.re.kr

1. 서론

고준위 폐기물을 심지층에 처분하기 위해서는 오랫동안 구조적 건전성을 유지할 수 있는 처분용기가 필요하다. 처분용기는 구조적 강성을 유지하기 위한 단단한 내부 용기와 오랜 기간 부식에 견딜 수 있는 내부식성 외부 용기로 구성된다. 결국, 외부 용기와 내부용기가 침식이 되어야 내부의 방사성 물질이 밖으로 흘러나오게 되므로, 오랜 기간 부식되지 않는 외부 및 내부 용기재료를 사용하는 것이 매우 중요하다. 하지만 심부 지하 환경에서 어떤 재료가 장기적으로 부식에 잘 견딜 수 있을 지는 실제 환경부식시험을 통해 확인하는 것이 가장 바람직하다.

이에 본 연구에서는 실제 처분 조건에 가깝게 꾸밀 수 있도록 KURT (한국원자력연구원 내, 지하연구터널)에 부식 시험 모듈을 설치하였다. 부식시험은 실제 처분조건과 비슷하게 금속 시험편을 압축 벤토나이트로 감싸고, 그 주변을 심부에서 뽑아낸 지하수를 꾸준히 흘려주어, 수화학적으로 부식 시험 모듈이 심부환경과 비슷하도록 하였다. 사용된 시험재료로는 내부식 재료로 널리 이용되고 있는 구리, 티타늄, 그리고 스테인리스를 선택하였으며, 내부용기 재료인 구상흑연주철도 부식 시험에 추가하였다. 구리는 일반동과 최근 개발되고 있는 저온분사코팅동 2종을 사용하였다[1].

2. 본론

2.1 시험

실험에는 직경 15 mm, 두께 1.0 mm의 동전형 금속 시험편을 이용하였다. 시험편은 표면적인 약 400 mm²으로서, 표면은 Sandpaper #2,000으로 표면을 1차로 연마하고, 0.3 μm 알루미나 슬러리 입자로 최종 연마하였다. 연마된 시험편은 에탄올로 세척하여 표면상의 이물질을 제거한 후 사용하였다.

금속 시험편은 티타늄 재질의 금속용기에 압축 벤토나이트로 감싸서 넣었다(Fig. 1). 압축 벤토나이트는 경주산 Ca-벤토나이트로 건조 압축 밀도

1.6 g/cm³이었다. 티타늄 금속 용기는 팽윤하는 벤토나이트를 격리시키고, 외부에서 지하수가 스며들어 올 수 있도록 상하부에 천공시키고 티타늄 필터를 두었다.

티타늄 용기는 다시 70도로 유지된 2개의 항온조에 50개씩 총 100개를 제작하여 넣었다. 항온조는 외부의 산소 영향을 최소화하기 위해, KURT 지하에서 뽑아낸 지하수를 10~20 cc/min의 유속으로 꾸준하게 내부로 흘러 주었다. 이렇게 하여 항온조 내부조건을 심부처분조건에 가깝게 유지하였다.

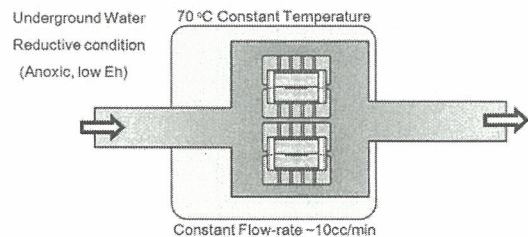
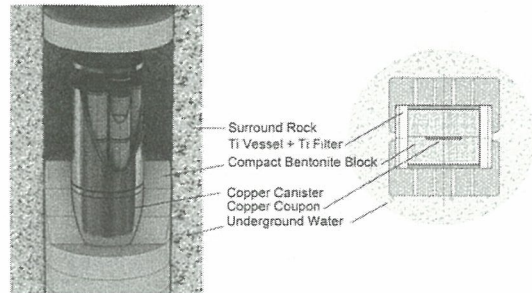


Fig. 1. Structure of a corrosion vessel modeling after a engineered barrier system.

부식시험이 진행되는 동안 항온조로 흘러 들어가는 지하수의 수질과 항온조에서 흘러나오는 수질을 측정하였다. 측정된 항목은 온도, pH, ORP, 용존 산소량이었다. 수질 측정은 수질 환경이 실제 심부환경과 어느 정도 유사한지 파악하기 위함이었다.

일정기간 경과된 후, 금속시험편은 개별적으로 5

개를 한조를 하여 수집한 후, 부식 피막을 제거하고 무게 감손법에 의한 평균 부식두께를 식 (1)과 같이 계산하였다.

$$D_c(\text{mm}) = \frac{W_{\text{loss}}(\text{g})}{A_s(\text{mm}^2) \times d(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3})} \times 1,000 \quad (1)$$

여기서, W_{loss} : Amount of Weight loss, A_s : Specimen Area, d : Specimen density 이다.

부식 피막의 제거 방법은 다음과 같다[2].

- 구리: 2.5% HCl 수용액에서 20 sec 가량 초음파 세척함.
- 주철: 35%HCl 500ml(sp gr 1.18) 및 3.5g hexamethylene tetramine을 혼합한 2L 수용액에 상온에서 5분간 초음파 처리함.
- STS : Diammonium Citrate 200g을 녹인 1L water 용액에 70°C, 10분간 초음파 처리함.
- Ti: 피막을 제거하지 않고, 무게 증가를 측정하였음. 무게 증가의 원인이 TiO₂의 생성에 있다고 가정하였음.

한편, 측정된 시편은 다시 연마처리 후, 항온조에 재 삽입하였다.

2.2 결과

현재 까지 2년간의 수질을 분석한 결과, KURT는 인간 활동으로 인해 지하수의 용존산소량이 조금씩 증가되어 원래 기대하였던 혐기성 조건의 부식 시험은 불가능하였다. 공급수의 용존산소량은 약 4~5 mg/L이며, 70°C로 가온된 항온조 내부의 용존 산소량은 약 3~4 mg/L로 측정되었다. 측정된 pH는 공급수는 약 8.9 정도로서, 항온조에서는 8.5로 약간 감소하였다.

현재 까지 측정된 시편의 부식율은 실험실에서 측정된 값에 비해 낮은 수치를 나타내고 있다. Fig. 2에 2년간 측정된 구리시편의 부식 두께를 나타내었다. 구리는 58일 시편과 660일 시편의 부식두께가 큰 차이가 없이 아주 낮은 부식율을 나타내었다. 스테인리스의 경우에는 2년간의 실험에도 전혀 부식되지 않았다. 하지만 티타늄의 경우에는 초기1년에는 전혀 부식되지 않다가 2년째에는 약간의 부식이 감지되었다. 한편, 구상흑연 주철은 예상과 달리 부식이 진행됨에 따라 부식 두께의 증가가 감소되는 passive한 거동이 나타나고 있다. 초기에는 부식두께가 빨리 증가되었으나, 그 이후에는 느려졌다. 원인으로서는 압축벤트

나이트에서 생성된 부식생성물이 압착되어 보호막을 형성하는 것이 아닌가 추측되었다.

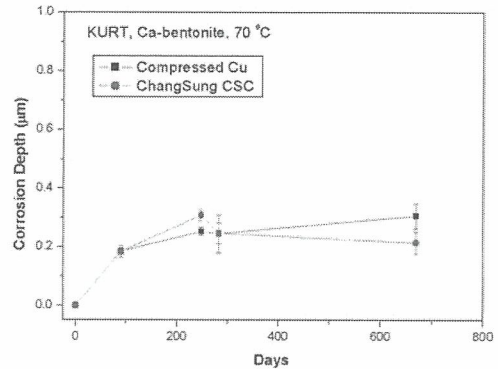


Fig. 2. Corrosion depth of copper specimens from a long-term KURT test in a EBS simulated condition.

3. 결론

KURT를 이용한 장기부식 시험은 실험실에서 장기부식시험과 달리, 부식환경을 일정하게 유지할 수 있다는 장점이 있다. 앞으로 10년 이상 꾸준히 진행하여 처분용기 재료의 정확한 부식율 산정에 도움을 줄 예정이다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 원자력연구개발사업 과제로 수행된 것으로서, 본 연구의 재정지원에 감사드립니다.

5. 참고문헌

- [1] MS. Lee, H.J. Choi, J.W. Choi, and H.J.Kim, "Application of Cold Spray Coating Technique to an Underground Disposal Copper Canister and Its Corrosion Properties", Nuclear Engineering and Technology, Vol. 43 no.6, PP 557-566 (2011).
- [2] ASTM G1-03, "Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating corrosion Test".