

공학적 방벽에서의 구리의 장기부식연구

이민수, 최희주, 최종원, 이지현
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045
minm@kaeri.re.kr

1. 서론

고준위 방사성 폐기물의 영구처분을 위한 Canister 재료로서 구리가 유망하다[1,2]. 구리 용기는 큰 크기로 제작이 힘들다는 단점이 있기 때문에, 직접 내부 용기 표면에 구리를 두껍게 코팅하고자 하는 연구가 원자력연구원과 RIST가 공동으로 진행하고 있다[3]. 코팅동이 일반동과 마찬가지로 우수한 내부식성을 가진다면 처분용기 재료로서 적용이 가능하리라 본다. 초기분석으로서 코팅동은 일반 동에 비해서 단단하고 연성이 없었다. 이러한 물리적 특성의 차이로 말미암아 코팅동이 다른 압출동 및 단조동과 부식거동에서 어떻게 다른지 직접적인 환경 부식시험으로 비교 분석할 필요성이 있다. 이에 본 연구에서는 코팅 조건을 달리한 세가지 코팅동과 함께 압출동, 단조동에 대해 실제 처분환경을 모방하여 장기부식 시험을 계획하였다.

2. 본론

2.1 장기부식 시스템

통상적인 사용후핵연료의 지하처분 방식은 지하 암반에 Borehole을 뚫고, 압축벤토나이트로 주위를 둘러싼 형태로 구리 처분용기를 밀봉하게 된다. 처분후에는 지하수가 암반으로부터 스며 나와 압축벤토나이트를 팽윤시키고, 구리처분용기에 도달하여 구리의 부식을 활성화 시킨다. 따라서 부식시험에서는 지하암반은 내부식성의 티타늄 용기로 하고, 그 내부에 압축벤토나이트로 둘러싸인 구리시편을 넣어 줌으로서 지하처분환경을 모사하였다(Fig. 1). 실험용액으로는 KURT 지하 borehole에서 채취한 것으로 사용하였다. 지하수에 의해 팽윤된 벤토나이트 입자들이 빠져나오지 못하도록 티타늄 필터를 금속용기 내부에 장착하였다.

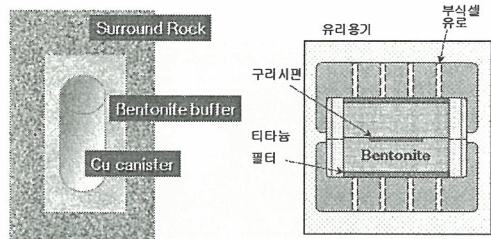


Fig. 1. Structure of a corrosion vessel modeling after an engineered barrier system

2.2 시편

시험에 사용된 구리시편을 Table 1에 수록하였다. 시험에 사용된 시편은 직경 15mm, 두께 1.0mm 크기의 동전형으로서, 무게는14.1~14.2g 정도로서 표면적은 약 400 mm²인 것을 사용하였다. 각각의 시편은 Sandpaper #2,000으로 표면을 1차로 연마하고, 0.3 μm 알루미나 슬러리 입자로 최종 연마하였다. 연마된 시편은 에탄올로 세척하여 표면상의 이물질을 제거한 후 사용하였다.

Table 1. Copper specimen list

장기부식 시험용 시편의 종류	
#2	SUS에 고순도 Tafa구리 입자를 코팅
#3	주철 표면에 창성구리 입자를 코팅
#4	압출동,
#5	단조동
#6	6:4황동(Naval brass)
#7	Al 청동(Al bronze)

2.3 시험

시험에 사용된 용액은 직접 KURT(KAERI 연구용 처분 터널) 200 m 처분공에서 뽑아낸 용액을 채취하여 사용하였다. 지하수 용액은 Eh가 -384 mV 로서 -100mV 부근에서 측정된 구리의 산화 환원전위보다 낮았다. 부식시험 직전 측정된 pH가 7.7~8.1의 약 알카리 상태를 확인하고, 시험에 사용하였다. 시험에 사용된 밀폐 유리병은 상

업적으로 판매하는 것으로서 실리콘 고무로 밀폐되는 500mL 용기였다. KURT 용액 약 350 mL를 부어넣어 부식용기가 충분히 잠길 정도로 하였으며, 밀폐전에 30분간 고순도 N₂ gas를 purging하여 작업 중, 산소의 침입을 최소화 하였다. 조립이 완료된 유리병은 70 °C로 조절된 항온챔버에서 장기간 보관하였다 (Fig. 2).



Fig. 2. Corrosion modules in a environmental chamber

시험이 끝난 부식용기를 밀봉용 유리병에서 집어낸 후, 1일 정도 110°C에 건조오븐에서 말린 후, 해체하였다. 압축벤토나이트 내부에서 제거된 구리시편은 먼저 에탄올 용액에 두고 1분간 초음파 세척기로 세척하여 표면의 점토 입자와 불순물을 제거하고, 표면의 부식상태를 광학현미경으로 관찰한 후, 2.5% HCl 용액에서 10~20초간 초음파 처리하여 산화막을 제거하고 10⁻⁴ g 수준으로 무게를 측정하였다.

측정된 감소량을 이용하여 아래 식과 같이 부식두께를 계산하였다. 여기서, W_{loss}는 감소량, A_s는 시편의 표면적, δ_d는 시편의 밀도 및 D_c는 부식 두께이다.

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

3. 결론

초기 2개월에서 12개월 사이의 구리 시편들의 부식두께는 0.1 ~0.3 μm 부근으로 더 이상 증가하지 않고 아주 낮은 일정한 값을 나타내었다. 이 동안 부식시편은 표면만 변색되었을 뿐, 초기 연마된 표면의 광택을 그대로 유지하였다. 이후 실

험실 화재로 인해 용기의 보관상태가 불량해지면서 이후 측정된 몇몇 시편들은 부식율이 갑자기 증가하는 패턴을 보였다. 하지만 2년간의 시험에도 부식 두께는 최대 1 μm 수준을 유지하고 있었다. 이는 1,000년의 기간으로 환산하면 1mm의 부식두께에 해당하는 것으로서 우리가 원하는 장기 부식 안전성을 확인할 수 있었다. 실험에 사용된 구리시편은 약간의 차이는 있었지만, 초기 부식 이후, 부식피막이 일단 형성되면 부식이 잘 진행되지 않았다. 하지만 산소가 유입되면 부식율이 높아진다는 평범한 사실을 재확인할 수 있다..

4. 감사의 글

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

5. 참고문헌

- [1] W.H. Bowyer, "Design Basis for The Copper/Steel Canister", SKI Report 98:29, 1998
- [2] F. King, L Ahonen, C Taxen, U. Vuorinen, L Werme, "Copper corrosion under expected conditions in a deep geologic repository", SKB TR-01-23, 2001
- [3] M.S. Lee, H.J. Choi, et al. "저온분사로 제조된 구리층의 부식특성" 춘계방사성폐기물학회논문집, pp.137-138, 2008