

저온 분사로 제조된 구리층의 부식특성

이민수, 최희주, 국동학, 최종원, 김형준*

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150

*포항산업과학연구원, 포항시 남구 효자동 산32

minm@kaeri.re.kr

1. 서론

방사성 폐기물의 심층처분에 있어서 가장 중요한 요소는 처분용기의 장기 안정성이다. 처분용기는 최소 1,000년에서 수십만년에 이르는 기간동안 지하처분장에서 핵종의 유출이 없이 안전하게 고준위 폐기물을 담지하고 있어야 한다. 이를 위해서 처분용기의 내부식성은 절대적이라고 할 수 있다. 처분용기의 내부식성을 위해서 스웨덴이나 핀란드 등에서는 고준위 폐기물이 담긴 주철용기를 다시 구리용기에 삽입하는 것을 고려하고 있다[1, 2]. 미국의 경우에 있어서는 유카처분장의 산화조건에 부응하는 물질로서 C-22 니켈 합금을 내부식 재료로 고려하고 있다[3]. 우리나라의 경우에는 지하 처분환경이 핀란드나 스웨덴과 같이 물이 많고, 산소가 거의 없는 환원조건이므로 처분용기의 내부식 재료로 구리가 고려되고 있다[4].

구리는 인류가 이용하기 시작한 가장 오래된 금속으로서 지금까지 뛰어난 내부식성이 인정받고 있는 물질이며, 고대유물을 통해 이미 수천년의 안정성을 검증 받고 있다. 구리가 부식되는 두께는 조건에 따라 달라지지만 수십 nm ~ 수 μm 에 불과한 것으로 여겨지고 있다. 따라서 만년이라는 기간을 고려할 경우, 내부식에 요구되는 구리용기의 두께는 1cm 내외로 추정하고 있다. 통상적인 처분용기의 크기는 지름 1m 내외에 높이 5m 가량이 된다. 이러한 크기의 용기를 연성이 좋은 구리로 단조로 제작하려면 용기벽은 자연스럽게 수십에서 수 cm 두께로 두텁게 제작될 수밖에 없다. 따라서 구리용기를 처분용기로 사용하는 것은 필요이상으로 처분용기가 무거워지는 동시에 비싼 고순도의 구리가 많은 양이 소요되므로 비용측면에서도 단점으로 지적되어 왔다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 기술적인 검토를 한 결과, 고준위 폐기물이 담긴 주철용기 표면을 구리로 코팅하는 방안이 검토되었다. 일반적인 용사 코팅 기술은 높은 온도로 인해 두터운 코팅층을 형성시키기 힘든 단점이 있으므로, 고속의 구리입자를 낮은 온도에서 분사하여 강한 마찰압력에 의해 금속 표면에 구리 막을 만드는 방법이 고려되었다. 이러한 저온 분사 코팅 방법은 국내에서 포항산업과학기술연구원(RIST)에서 활발히 연구하고 있는 방법이다. 본 연구에서는 RIST의 협조를 받아, 지금까지와는 다른 저온분사 코팅을 이용하여 1 cm 두께의 구리 층을 주철용기에 입히는 기술을 검토해 보고, 부식측면에서 일반 단조구리와 저온분사로 제조된 코팅구리와의 비교연구를 통해 처분용기 재료로서의 적용 가능성을 살펴보고자 하였다.

2. 본론

저온 분사 기술에 사용할 수 있는 다양한 구리 입자에 대해 분석해 보았다. 질소를 분사기체로 사용한 저온분사 실험에서 모든 구리입자가 저온분사 코팅 방법을 통해 두터운 구리 코팅층을 용이하게 형성시킬 수 있음을 확인하였다(그림 1). 코팅층의 기공도는 사용된 구리입자에 따라서 편차가 다소 나타났으나, 순도가 높은 Tafa 159는 기공도가 0.3 이하로 매우 낮게 나타났다. 국산 제품인 창성의 경우에도 비교적 낮은 0.45의 기공도를 보여 주었다.

구리 입자 중에서 성능이 높게 평가된 Tafa 구리 입자와 국산 창성 구리 입자를 사용하여 1 cm 이상의 두께로 저온분사 코팅하였다. 창성 구리입자는 모재인 금속판을 STS304 및 구상 주철로 두가지로 정하였으며, Tafa 구리 입자는 모재를 STS304로 하여 세가지 저온분사 코팅 시편을 제조하였다. 코팅층의 기본 물성을 알기 위해 인장시험을 실시한 결과, 저온분사 코팅 시편은 일반 압출 구리 시편에 비해 연성은 떨어지나 인장강도가 현격하게 높은 것을 알 수 있었다. 그리고 코팅층에 존재할 지 모르는 산화층을 알기위해서 코팅층을 XRD로 조사한 결과, Cuprite(Cu_2O) 및 Tenorite(CuO) 위치의 peak는 전혀 보이지 않았으며, 구리 금속의 결정부분만

강하게 나타나고 있음을 확인하고, 산화현상은 나타나지 않았다고 결론지었다.

Potentiostat을 이용한 코팅시편의 전기화학적 분극실험을 통해서 코팅시편의 전기화학적 부식 거동을 조사하였다. 그 결과 코팅시편은 일반 압출시편에 비해 전기화학적 부식거동이 떨어지는 것으로 보였다. 그러나 습공기 중의 구리부식 거동 분석한 결과, 코팅시편이건 일반 압출 동이건 모든 시편이 상당히 습공기 중에서도 상당히 안정한 물질이라는 것을 확인할 수 있었다.

염산 용액 중에서의 부식거동에서는 순도가 높은 Tafa 구리입자나 무산소 압출동은 거의 부식이 되지 않음을 알 수 있었으며, 이를 통해 저온분사코팅을 통해 형성된 구리층이 일반 구리와 동일한 내부식성을 가진다는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결론

이상으로서 저온분사 코팅 방법을 통해 두터운 구리 코팅층을 용이하게 형성시킬 수 있음을 확인하였다. 코팅층의 기공도는 순도가 높은 Tafa 159의 경우 0.3 이하로 매우 낮게 나타났다. 습공기 중에서의 부식시험에서도 코팅층은 일반동과 마찬가지로 상당히 안정한 물질이라는 것을 확인할 수 있었다. 부식실험에서는 코팅시편이나 일반 압출동이나 가공상의 차이점은 이야기하기 힘들었으며, 구리의 순도에 따라서 무게 감소, 즉 부식률의 차이가 나타났다.

이상과 같이 따라서 1 cm 두께의 구리 용기를 제작하는 방안으로서 저온 분사 코팅 방법을 살펴보고, 여러 가지 환경에서의 부식거동을 살펴본 결과, 저온분사방법을 통해 용이하게 고준위폐기물 처분용기에 필요한 외부 구리층을 생성시킬 수 있다고 보며, 향후 구리용기 제작에 적용될 수 있다고 결론내렸다.

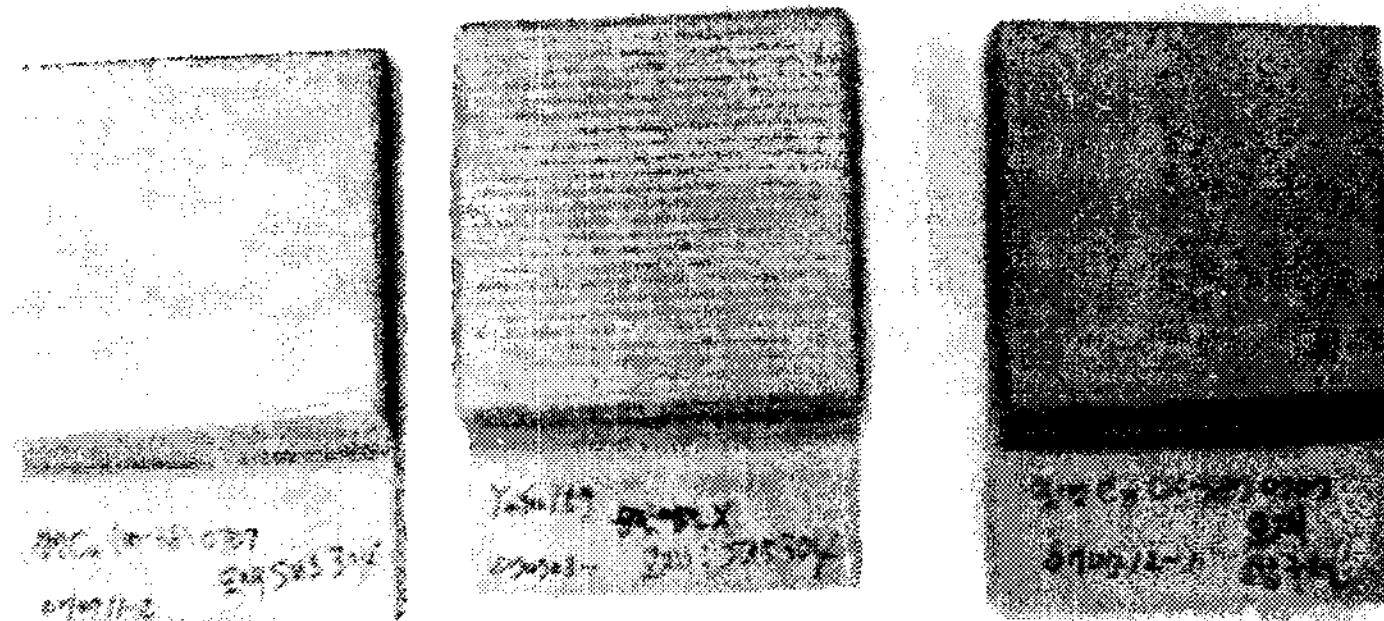


그림 1. 여러 가지 구리입자를 이용한 저온분사 구리 코팅층 시편

REFERENCES

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. G. Gordon, Corrosion 58 (2002) 811.
4. H.J. Choi, Y. Lee, J. Choi, et al. "PWR 사용후핵연료 처분용기 안전성분석보고서" KAERI/TR-3063/2005