

## 우라늄에 의해 오염된 금속물의 재활용을 위한 용융제염 기술 개발에 관한 연구

김용재, 이영배, 류재봉, 강현규

한전원자력연료, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 242

yikim@knfc.co.kr

### 1. 서론

원자력 연료의 제조를 위한 시설 운영과정 중 장비 노후화 또는 설비의 개선 및 교체에 따른 금속 폐기물이 지속적으로 발생되는데, 이중 대부분이 스테인레스 스틸과 탄소강류와 같은 철금속이며 타 폐기물들에 비하여 재활용도가 매우 높아 귀중한 자원으로 여겨지고 있다. 원자력연료의 제조과정 중에서 발생하는 금속물의 오염특성은 우라늄에 의한 표면오염이 대부분이기 때문에 화학세정, 고압살수 등과 같은 표면제염을 통하여 폐기물의 방사능 농도를 저감시킬 수 있어 이러한 방법을 통해 금속 폐기물 중 일부를 자체처분하여 재활용하고 있다. 그러나 상기와 같은 표면제염의 방법은 기하학적 모양이 비교적 단순하고 표면이 매끄러운 평판형태 및 그와 유사한 금속폐기물에 대해서만 적용이 가능하며, 너트와 볼트와 같이 기하학적 모형을 복잡한 금속폐기물의 경우에는 제염이 어렵거나 오염의 측정이 불가능하다. 이를 해결하기 위해, 금속폐기물을 용융시켜 금속물 내 방사성물질을 제염하여 자체처분 처리하는 금속물의 용융제염 기술을 연구하였다. 이 연구에서는 금속물 용융제염 기술의 핵심이라고 할 수 있는 용융 시 방사능 물질(이번 실험의 경우 우라늄)의 이동에 따른 제염효과 및 용탕 내 오염원의 균질성에 대해 검토하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 유도가열 실험장비

본 연구에 사용된 고주파 유도가열 실험장비는 고주파발전기, 용융로, 래들, 몰드이송장치, 냉각장치로 구성되어 있으며, 개략도는 Fig 1.과 같다. 1.5kHz의 고주파를 사용하며 최대 2000℃까지 가열이 가능하고 처리용량은 약 250kg/batch 이다. 용융로는 가로 : 900mm, 세로 : 900mm, 높이 : 1100mm의 크기에 알루미늄 도가니를 사용하였으며 용탕을 모두 배출할 수 있도록 90도 이상으로 기울일 수 있는 유압 tilting system 을 갖추어 용융로에서 용

탕을 래들에 배출하고 래들에 모여진 용탕을 다시 몰드에 배출하여 인고트가 제작되도록 설계하였다. 몰드이송장치는 인고트 제작을 위해 몰드의 위치를 이동시키는 장치로 1 batch당 10개의 인고트를 제작할 수 있도록 되어 있다. 냉각장치는 수랭식 냉각방식을 적용하고 있으며, 펌프를 이용한 냉각수의 순환 및 냉각팬을 통해 작동 되도록 하였다.

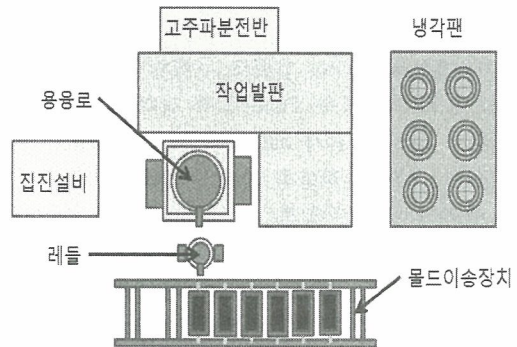


Fig. 1. Schematic of metal melting equipment.

#### 2.2 실험방법

약 100kg의 탄소강과 첨가제인 가탄제를 용융로에 장입한 후 금속물을 가열하여 용탕을 생성하였고, 추가로 약 150kg의 금속폐기물을 순차적으로 장입하여 용융시켰다. 충분한 용탕 생성을 확인 후 제염을 위해 불순물제거제를 첨가하였고, 용탕의 상부에 생성된 슬래그를 반복적으로 제거하는 작업을 수행하였다. 제염작업은 상기와 동일한 방법으로 3회 수행 하였다. 제염작업 후 용융로의 용탕을 몰드에 부어 각 Batch별 10개의 인고트를 제작하였고 인고트 중 2개를 임의로 선정 후, Fig 3.과 같이 인고트의 각기 다른 3개 지점을 선택하여 상, 중, 하부위에서 drilling 방식으로 시료를 채취하여 ICP-MS를 통해 방사능 농도를 분석하였다. 제염작업으로 생성된 슬래그에 대해서는 제염 초기, 중기, 말기로 구분하여 제염의 횟수와 슬래그 내 방사능 농도의 상관관계를 분석하였다.

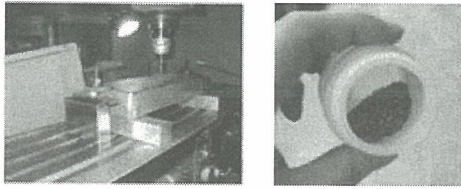


Fig. 2. Sampling(drilling) & sample.

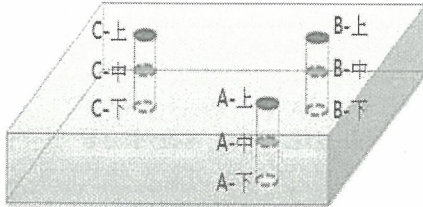


Fig. 3. Sampling point in ingot.

2.3 실험결과

ICP-MS를 이용하여 임의로 선택한 인고트 2개의 방사능 농도 측정값은 Table 1.과 같다. 1, 2번 인고트 방사능 농도 범위가 0.0047 ~ 0.0096 Bq/g로 다소 편차가 보이는 것으로 보이나 해당 준위가 자연계 준위의 미만(자연계 토양 내 우라늄 농도 약 3~5ppm, 0.25~0.42Bq/g)으로 매우 낮기 때문에 이로 인해 발생하는 측정 통계상의 오차를 고려할 때 당 결과 값이 용탕 내 균질성을 입증한다고 판단된다.

Table 1. Radioactivity in sample of ingot.

번호	지점	방사능 농도(Bq/g)	
		#1 인고트	#2 인고트
1	A-상	0.0073	0.0054
2	A-중	0.0068	0.0061
3	A-하	0.0062	0.0069
4	B-상	0.0079	0.0049
5	B-중	0.0096	0.0056
6	B-하	0.0079	0.0050
7	C-상	0.0047	0.0062
8	C-중	0.0077	0.0078
9	C-하	0.0058	0.0053
평균	-	0.0071	0.0059
표준편차		0.00143	0.00095

제염작업 후 발생된 총 슬래그의 양은 14.3kg 이며 제염이 지속된 시간 순서에 따라 발생된 슬래그의 방사능 농도는 Table 2.와 같다. 기하학적 구조가 복잡하여 측정이 어려운 오염 금속폐기물을 대상으

로 용융제염을 수행하였기 때문에 제염계수는 구하지 못하였으나 슬래그와 인고트의 방사능 농도를 비교해본 결과, 대부분의 방사능 물질이 슬래그로 이동된 것을 확인할 수 있었으며, 따라서 우라늄에 의해 오염된 금속물의 용융제염 효과는 매우 우수한 것으로 판단된다.

Table 2. Radioactivity in slag.

구분	방사능 농도(Bq/g)
제염 초기	337
제염 중기	13.2
제염 말기	9.02

3. 결론

복잡한 기하학적 형상을 가진 금속폐기물에 대한 용융제염 실험결과, 용융을 통해 우라늄에 의해 오염된 금속물의 제염이 가능하며 용융제염으로 발생된 인고트는 균질한 오염 특성을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 용융제염을 통해 그 동안 자체처분이 어려웠던 복잡한 형상의 금속폐기물에 대해 (2012년 3월) 자체처분 인허가 승인을 받아 재활용을 위해 자체처분을 수행하였다. 다만, 용융제염으로 인해 발생하는 2차폐기물의 처리 방안 등에 대한 연구개발이 진행되어야 할 것으로 예상된다.

4. 참고문헌

- [1] 이규일 외 “해체금속폐기물의 용융제염”, 2008 한국방사성폐기물학회.
- [2] 한국원자력연구원, “EPM방식 일괄처리에 의한 제염 후 처리공정 개발”, KAERI/CR-352/2009, 2010. 2.