

## 인코넬 용융시 방사성 핵종의 분배특성

민병연, 김계남, 최왕규, 이근우

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

[bymin@kaeri.re.kr](mailto:bymin@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

원자력 시설의 유지, 보수나 수명을 다한 뒤 해체하는 경우에 막대한 양의 방사성 금속폐기물이 발생한다. 금속 폐기물의 감용 및 재활용 기술 중 현재까지 가장 적절한 기술로서 용융 기술이 있다. 대형 금속폐기물을 용융제염하여 방사성 폐기물 용기재료나 처분장 구조재 등으로 재사용함으로써 폐기물 양을 감소시키고 산업적으로도 자원 재활용 효과를 얻을 수 있어 방사성 폐기물의 부피감용 및 자체처분을 통해 해체 금속성 폐기물의 관리에 활용성이 큰 기술이다. 특히 열교환기, 습분 분리기, 증기발생기와 같은 크기가 큰 장치로부터 발생하는 대형 금속폐기물들은 최종 처분 시 처분공간을 많이 점유하게 되고 압력용기의 탄소강, 스테인레스강 및 인코넬 등과 같은 재활용 가치가 큰 물질을 함유하고 있어 오염된 금속폐기물을 용융 제염함으로써 최종처분시설 공간을 절약하는 동시에 이들 가치 있는 많은 양의 금속을 회수하는 것이 가능하다. 1980년대 중반부터 원자력시설 해체시 발생하는 금속성폐기물의 감용 및 재활용을 위한 오염금속의 용융기술이 새로운 산업으로 부각되어 방사성 금속폐기물량을 최소화하기 위한 확립된 기술로 이용되고 있으며, 원자력 시설을 가지고 있는 선진국들은 해체시 발생하는 금속폐기물에 대한 고감용율, 제염효과, 금속의 재사용 가능성 및 안전성 등에 대한 평가를 수행한 경험을 가지고 있다.

금속성폐기물의 부피감용 및 재활용을 위한 제염방법에는 화학제염, 전해제염, 초음파제염, 진동연마법 등 다양한 방법이 있으나, 용융제염에 비해 제염폐기물 발생량이 많고 잔류방사능 측정이 훨씬 더 어렵다. 이러한 제염방법은 주로 용융제염 전처리 기술로 많이 사용되고 있다. 금속용융 기술은 다른 처리방법에 비해 부피 감용비가 클 뿐만 아니라, 휘발성 핵종이나 우라늄(U)과 같이 모재 금속과 반응성이 적은 핵종은 무기물질의 혼합물인 슬래그(slag)에 의해 안정화 되어 제염되며, 휘발되지 않는 방사성 핵종들은 용융금속의 결정격자 내에 방사성 핵종을 고정화시켜 비방사능을 낮출 수 있다는 장점들을 가지고 있다[1~3]. 오염된 제염대상 장치 부품은 흔히 구조가 복잡해서 내부표면상의 방사능 준위와 정확한 위치 감별이 어렵고 시간이 많이 소요되며 이의 monitoring 가격 또한 비싸다. 그러나 용융 후에는 표면방사능이 mass에 분산되어 모든 잔류 핵종이 균일하게 분포 및 고정화되어지므로 각 주괴 시료로부터 방사능을 정확하게 측정할 수 있어 시간과 비용을 절약할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 증기발생기 해체시 발생하는 인코넬과 동일한 시편에  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  으로 오염시켜 용융 조건에 따라 방사성핵종의 거동, 균질화 및 제염특성을 고찰하고자 한다.

### 2. 실험 조건

본 연구에서 사용된 흑연 아크로(Graphite arc furnace) 용융설비는 장치하부의 동판 기저전극과 상부의 흑연전극, 장·탈착이 자유로운 동(Copper) 도가니, 150kW DC 전원공급 시스템과, 전극 상·하 구동 모터, 냉각시스템 및 지역 제어반, 내부 육안 점검 포트(View port), Chamber, 유압시스템, 진공시스템으로서 구성되어 있다. 시편은 두께가 1mm인 시편을 가로세로 10mm×10mm의 크기로 절단하여 800g을 흑연도가니에 장입하여 용융하였다. 방사성핵종의 거동 및 균질화에 의한 제염 특성을 고찰하기 위해 슬래그 형성제(Slag former)의 열기도, 그리고 방사성 핵종의 오염농도를 변화시켜 가면서 실험을 수행하였다. 실험조건은 표 1에 실험절차는 Fig. 1에 나타내었다.

Table 1. Experimental condition

구분	염기도	슬래그양 (wt%)	조성(%)			방사능 (Bq)	
			SiO <sub>2</sub>	CaO	A <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Co	Cs
No slag						2500	2380
Slag	0.82	10	50	30	20	2500	2380
	1.42		40	40	20	3250	3070

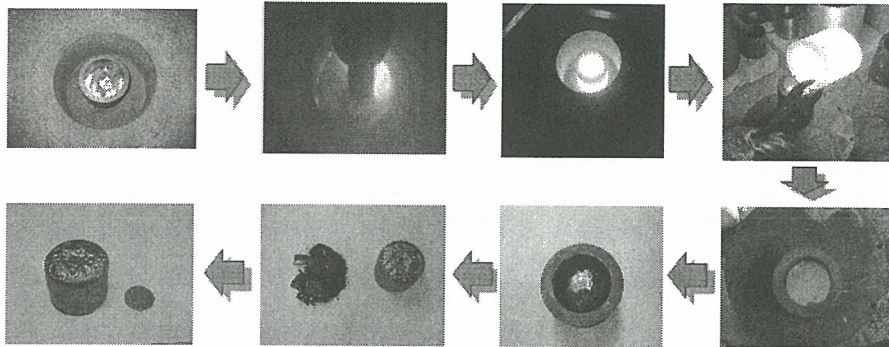


Fig. 1. Procedure of melting for inconel sheet

### 3. 결론

인코넬 시편 용융시 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 슬래그를 첨가하여 용융한 인코넬의 경우 98% 이상의 주괴 회수율을 보였으며 이는 슬래그층에 의해 용융된 인코넬의 산화 방지 및 도가니 밖으로의 소실량을 줄일 수 있었기 때문.
- 약 2%의 인코넬 소실은 액적상태로 슬래그 상에서 발생되었으며 일부 산화물질 및 도가니와 반응하여 Fume 형태로 대기중으로 분산됨.
- 슬래그 미 첨가시 용융한 경우 투입 인코넬의 약 94% 회수함. 이는 용융 시 용융된 용융물이 도가니에 부착되거나 도가니 외부로 분산되었기 때문.
- 슬래그 염기도 1.4에서 인코넬 회수율이 98%로 가장 높았으며 투입된 인코넬의 재질 모양과 동등한 색상을 지닌 주괴 회수함.

### 참고문헌

1. Gräbener, K. H., Beyer, H. and Westermann, H., "Melting Aluminium and Copper on Laboratory and Industrial Scale", Proceeding of Technical seminar on melting and recycling of metallic waste materials from decommissioning of nuclear installations, European Commission, Germany, 209~224 (1993).
2. Bosse, H., Sappok, M., Westermann, H., Dümpelmann, W. and Steiner, H., "Separation of Metals by Melting", Proceeding of Technical seminar on melting and recycling of metallic waste materials from decommissioning of nuclear installations, European Commission, Germany, 225~236 (1993).
3. Garcia, R. S., "Commercially Available Low-Level Radioactive and Mixed Waste Treatment Technologies", INEL & Locked-Martin Technologies Company (1996)