

## 고주파 유도로(Induction Furnace)를 이용한 용융금속의 분배특성 평가

홍상범, 박진호, 황두성, 이기원, 정운수  
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045  
 sbhong@kaeri.re.kr

### 1. 서론

세계적으로 수많은 원자력시설의 운영 및 해체 과정에서 상당한 양의 금속폐기물이 발생된다. OECD/NEA 자료에 의하면 향후 50동안 발생하는 금속폐기물의 양은 약 3,000만 톤 정도가 될 것으로 추산된다. 이러한 폐기물의 대부분은 방사성물질에 의해 미미하게 오염되어 있어 재활용하는 경우 상당한 경제적 이득을 얻을 수 있다<sup>[1]</sup>.

원자력연구원에서는 연구로 1&2호기 및 우라늄 변환시설의 해체를 성공적으로 수행하고 있다. 연구로 해체과정에서 해체된 철재폐기물은 252.5 톤이 발생하였고, 발생량의 85%정도가 자체처분 대상폐기물로 분류된다. 우라늄변환시설 해체 철재폐기물은 178.3 톤이 발생하였고, 발생량의 70% 정도가 자체처분대상폐기물로 분류되었다. 이러한 금속폐기물은 특별한 처리방안 없이 절단하여 저장용기에 포장하여 저장하고 있는 실정이다. 그러나 해체과정에서 발생된 금속폐기물은 모두 폐기물로 처분할 대상이 아니므로 이를 재사용 및 재활용을 통해 경제적인 이득을 얻을 수 있다. 해외 선진국 및 국내에서도 원자력시설 해체과정에서 발생된 금속폐기물의 재활용을 위한 용융연구가 수행되었고, 스웨덴 Studsvik, 프랑스 SICODEI, 일본 JAEA 및 독일 Siempelkamp 등에서 상당한 규모의 용융시설을 구축하여 운영하고 있다. 이러한 시설에서는 유도로(Induction Furnace)의 장점인 용탕의 교반효과를 이용하여 용융금속 내 성분이 균질하게 혼합되는 효과를 얻고, 운전 및 제어가 용이하고 및 가열시간이 적어 생산성 향상할 수 있는 장점이 있다<sup>[2]</sup>.

연구로 및 우라늄변환시설 해체금속폐기물 처리를 위해 고주파 유도로(Induction Furnace)를 이용하여 용융처리를 위한 기초연구를 수행하였다. 금속 용융과정에서 불순물의 형태로 다양한 원소를 첨가하여 분배특성을 조사하였고, 방사성 물질을 첨가하여 핵종이 용융금속내에 균질하게 분포하는지 확인하였고, 핵종이 Ingot, Slag 등으

로 이동되는 분배특성을 확인하였다. 이러한 결과는 향후 고주파 유도로를 이용한 금속용융 과정 및 용융 후 재활용을 위한 안정성평가 등에 유용한 자료로 활용할 수 있다. 해외 선진국의 경우 금속용융에 의한 분배인자에 대한 연구가 활발하게 이루어 졌고 이를 이용하여 자체처분을 위한 선량평가 및 농도 도출을 위한 연구가 수행되고 있다<sup>[3-4]</sup>.

### 2. 본론

#### 2.1 실험 장치

금속폐기물의 용융을 위해 사용된 고주파 유도로는 직경이 10cm 높이가 30cm에 용량이 7 kg/batch의 로체를 이용하였다. 입력전원은 3상의 440V, 60 Hz이며, 출력전원은 200 kW, 출력주파수는 1~5 kHz로 구성하였다. 용융장치의 최고가열온도는 약 1700 ℃이고, 입/출력 전원 및 출력은 컴퓨터제어방식으로 작동되도록 설계 제작하였다. 용융 후 용융금속을 원격으로 제어하여 도가니로 붓기 위해서 도가니가 로체의 Tilting 각도에 따라 위치가 자동으로 조작성 가능하도록 Tilting 장치를 제작하였다. 그 외에 냉각수공급시스템, 배기체처리시스템 등을 구성하여 용융장치를 설치하였다.



Fig. 1. Induction furnace melting system

2.2 용융과정의 분배특성

고주파 유도로를 이용하여 철재(carbon steel) 용융과정에서 다양한 추적자(Tracer)를 첨가하였다. Tracer는 금속형태의 Co, Cs, Ce를 첨가하였고, 방사성핵종으로는 우라늄과 Co-60을 첨가하여 용융과정에서 분배특성을 확인하였다. Co-60의 경우 대부분이 Ingot내에 존재하며, 우라늄의 경우 대부분 Slag로 이동함을 알 수 있다.

Table 1. Partition factor in melting process

구분	금속 Tracer			방사성물질	
	Co (%)	Cs (%)	Ce (ppm)	U (Bq/g)	Co-60
시료 (용융전)	0.19	<50	<10	0.04	0.16
Ingot	0.20	<50	<10	0.04	0.16
Slag	0.01	<50	4800	0.23	0.03

2.3 Ingot내 균질도 평가

용융과정에서 사용된 Tracer는 금속 형태의 Co, Ni, Mn, Cu, Al을 첨가하였고 Ce와 Cs는 질산염으로 첨가하여 실험을 수행하였다. Ingot내에 첨가된 Tracer의 분포를 확인하기 위해 시료를 판형으로 가공하고 9개의 영역으로 구분하여 각 위치에서 시료를 채취하여 ICP-AES분석을 수행하였다. 판형으로 가공된 Ingot는 Figure 2와 같다.



Fig. 2. Sampling position in the ingot

용융된 Ingot내 방사성핵종인 Co-60과 우라늄의 분포를 확인하기 위해 연구로 및 우라늄변환 시설의 해체폐기물을 이용하여 핵종의 분포를 확인하였다. 우라늄변환의 경우 180 kg/Batch의 용융로체를 이용하였다. 분석을 위해 Ingot의 상, 중, 하로 구분하여 3개의 지점에서 시료를 채취하여 분석하였다. 결과는 Table 2 및 Table 3에 제시하였듯이 Ingot내에 다양한 금속 Tracer 및 방사성핵종인 Co-60, Uranium의 분포는 유도로의

특성과 같이 매우 균질하게 나타남을 알 수 있다.

Table 2. Distribution of the tracer in the ingot

위치	Ni (%)	Mn (%)	Cu (%)	Co (%)	Al (ppm)	Cs (ppm)
1	0.20	0.33	0.21	0.66	<50	<50
2	0.21	0.36	0.24	0.68	<50	<50
3	0.21	0.35	0.23	0.68	<50	<50
4	0.20	0.35	0.22	0.68	<50	<50
5	0.20	0.35	0.22	0.64	<50	<50
6	0.21	0.35	0.22	0.67	<50	<50
7	0.20	0.34	0.22	0.68	<50	<50
8	0.20	0.33	0.22	0.66	<50	<50
9	0.20	0.34	0.22	0.66	<50	<50

Table 3. Distribution of Uranium and Co-60 in ingot

위치	Co-60 (Bq/g)	U (Bq/g)
상단	0.163	0.032
중단	0.167	0.046
하단	0.162	0.042

3. 결론

고주파 유도로를 이용하여 금속 용융과정에서 분배특성을 확인한 결과 Co의 경우 대부분이 Ingot내에 존재하며, 우라늄의 경우 대부분 Slag로 이동함을 알 수 있다. 용융 후 Ingot내 Tracer 및 방사성핵종의 분포를 확인한 결과 다양한 금속 Tracer 및 Co-60 및 Uranium의 경우에도 매우 균질하게 분포함을 알 수 있었다.

4. 참고문헌

- [1] OECD/NEA, Recycling and Reuse of Scrap Metals, NEA report of CPD, 1996.
- [2] 박진호 외, EPN 방식 일과처리에 의한 제염 후 처리공정 개발, KAERI/CR-352/2009.
- [3] U.S. NRC, Radiological Assessments for Clearance of Materials from Nuclear Facilities, NUREG/CR-1640, Washington, 2003.
- [4] Recommended radiological protection criteria for the recycling of metals from the dismantling of nuclear installation, Radiation Protection No.89, 1998.