

## 우라늄변환시설 용융금속폐기물의 자체처분을 위한 평가

홍상범, 황두성, 이기원, 문제권

한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 989번길 111

sbhong@kacri.re.kr

### 1. 서론

OECD/NEA 자료에 의하면 향후 50동안 발생되는 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>. 해외 선진국 및 국내에서도 원자력시설 해체과정에서 발생된 금속폐기물의 재활용을 위한 용융연구가 수행되었고, 스웨덴 Studsvik, 프랑스 SOCO DEI, 일본 JAEA 및 독일 Siempelkamp 등에서 상당한 규모의 용융시설을 구축하여 운영하고 있다. 이러한 시설에서는 유도로(Induction Furnace)를 이용하여 용탕의 교반효과로 인한 용융금속 내 성분이 균질하게 분포되어 대표시료 확보가 용이하며, 핵종별 분배특성으로 인한 제염효과 이외에 금속폐기물의 부피를 저감할 수 있는 장점이 있다<sup>[2]</sup>. 우라늄변환시설은 해체과정에서 발생된 금속폐기물이 총 208.6톤으로, 이중 탄소강은 약 135.6톤이고, 스테인레스강은 약 76.0톤이 발생되었다. 스테인레스강 해체폐기물은 초음파화학제염공정으로 제염 처리하였으며, 탄소강 해체폐기물은 스팀제염을 수행하였으나 제염이 용이하지 않은 금속폐기물 약 73톤에 대하여 용융제염을 수행하여 자체처분대상폐기물로 전환하였다.

탄소강 제염을 위해 해체금속 용융설비는 180 kg/batch 의 용량으로 제작 설치하여 용융처리하였다. 용융된 금속폐기물의 재활용을 위한 금속용융을 통한 작업자 및 일반인의 피폭선량을 평가하여 자체처분을 위한 처분제한치를 도출하였고 관련 선행연구 결과와 비교하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 금속폐기물 용융

금속폐기물의 용융을 처리를 위해 폐기물발생량이 적고, 효과적으로 운전할 수 있는 고주파유도로를 사용하였다. 용융장치는 고주파 발진장치와

용해로체로 구성된 고주파 유도설비와 냉각계통으로 구성된다. 용융시스템의 용량은 180 kg/batch 이고, 고주파발진장치는 철재 200kg을 용융할 수 있는 용량이고, 입력전원은 3상 440V, 60Hz, 출력전원은 200kW, 출력 주파수는 3kHz이다. 용융과정에서 시료 채취는 매 배치마다 수행하였고, 국자모양의 시료채취기를 이용하여 시료를 채취하여 분석하였다. 생성된 Ingot의 방사능농도는 배치마다 다소 차이는 있었지만 최대 약 0.05 Bq/g 이고, 오염된 우라늄은 대부분 용융과정에서 슬래그로 이동하여 슬래그의 방사능 농도는 약 24 Bq/g으로 분석되었다. 외국의 연구결과에서도 위의 경우와 같이 우라늄 오염 금속폐기물의 용융 후 금속, 분진 및 슬래그의 방사능 분율을 분석한 결과 금속(0~1%), 분진(0~5%) 및 슬래그(95~100%)의 결과를 제시하고 있다<sup>[3]</sup>. 용융된 Ingot내에 우라늄이 균질하게 분포하는지 확인하기 위해 시료를 상/중/하로 구분하여 각각의 위치에서 채취해 분석한 결과 상단(0.032 Bq/g), 중단(0.046 Bq/g), 하단(0.042 Bq/g)으로 매우 균질한 결과를 얻을 수 있었다.

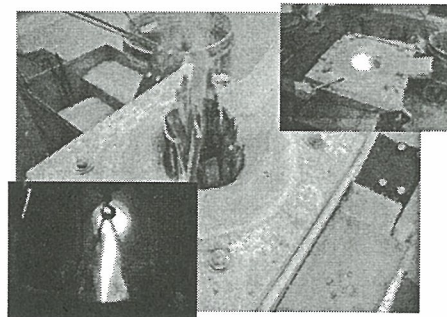


Fig. 1. Induction furnace of melting system.

#### 2.2 자체처분을 위한 안전성 평가

우라늄변환시설의 해체과정에서 발생되어 용융처리된 금속폐기물의 자체처분을 위해 RESRAD-RECYCLE 및 RESRAD 전산코드를 이용하여 안전성평가를 수행하였고, 핵종별 처분제한치를

도출하였다. 금속폐기물의 재활용을 위해 RESRAD-RECYCLE 전산코드에서 고려하고 있는 시나리오 중 아래와 같으며, 본 평가에서는 아래의 시나리오 중 직접 재이용되는 시나리오, 제한적으로 원자력산업에 재활용되는 시나리오 및 소비재와 공공재의 활용가능성이 낮은 시나리오는 제외하였다. 그리고, 금속 재활용을 위해 제품을 제조하는 과정에서 재용융이 이루어진다. 이 과정에서 오염된 금속내 방사성물질 대부분이 슬래그로 이동됨을 고려하기 위하여 시나리오를 고려하였다. 슬래그의 경우 대부분이 매립 및 도로 포장재로 사용됨을 고려하여 매립에 따른 안전성을 RESRAD 전산코드를 적용하였다. 유효선량 개념을 적용하기 위해 내부피폭(흡입/섭취)에 대한 선량환산인자를 적용하기 위해 내장 라이브러리를 수정하였다. 매립 시나리오의 경우 특히 연령군(4개 그룹)에 따른 영향을 고려하여 평가하였다.

Table 1. Applied Scenario for steel recycling.

단계	시나리오	고려 여부	재활용	시나리오	고려 여부
고철 운반	절단작업자	o	생산품 유통	적하작업자	o
	적하작업자	o		트럭운전자	o
	트럭운전자	o		판매조립작업자	o
	주변 거주자	o		작업장작업자	o
철강 용융	고철취급자	o	소비재	주차장	o
	야적장취급자	o		방/사무실	o
	용융로 적하작업자	o		가정용구	o
	용융로운전자	o		자동차	o
	분진여과기 취급자	o		배/보트	x
	정련작업자	o		사무용가구	o
	강피주조 작업자	o		가정용가구	o
	소모품주조 작업자	o		프라이팬	o
	슬래그작업자	o		음료수켄	x
	강피 운반	적하작업자		o	공공재
트럭운전자	o	건물(철근)	o		
야적장작업자	o	건물(돌형)	x		
초기 가공	판매제조자	o	제한적 재활용	교량	o
	코일제조자	o		차폐재, 폐기물용기	x
최종 가공	판매취급자	o	재이용 매립	장비, 건물	x
	코일취급자	o		슬러지 매립	o

초기 오염도는 우리나라변환시설에서 사용된 천연우라늄의 방사능분율을 고려하여 총 우라늄오염도를 1Bq/g으로 가정하였다. 평가결과 금속재활용에 따른 피폭선량 평가를 위해서 전산코드를

이용하여 평가한 결과 금속용융과정에서 슬래그 작업자가 최대 1.41E-02 μSv/y로 평가되었으며, 집단선량의 경우 재활용 시나리오 중 주차장 시나리오에서 6.90E-07 man.Sv/y로 평가되었다.

슬래그 매립의 경우 RESRAD 전산코드를 이용하여 평가한 구체적인 결과는 아래의 그림과 같다.

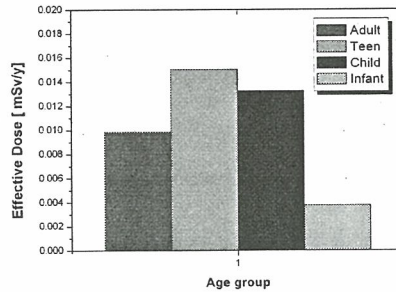


Fig. 2. Induction furnace of melting system.

### 3. 결론

고주파 유도로를 이용하여 우리나라변환시설 해체과정에서 발생되어 용융된 금속폐기물의 자체 처분을 위한 안전성평가를 수행하였다. 금속재활용의 경우보다 금속재활용 과정에서 발생된 슬래그 매립에 따른 피폭선량이 높게 평가되었고, 연령군을 고려하여 평가결과 십대(Teen)에서 가장 높은 15.03 μSv/y로 평가되었고, 자체처분을 위한 처분제한치는 0.67Bq/g으로 IAEA에서 제시하고 있는 천연 방사성물질에 대한 기준치 1 Bq/g보다 다소 보수적인 결과를 보여주고 있다. 향후 해체과정에서 발생될 대량의 금속폐기물을 자체 처분하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

### 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] NCRP, "Managing Potentially Radioactive Scarp Metal", NCRP Report No 141 2002.