

## Arc Furnace에서 알루미늄 폐기물의 용융 특성

최왕규, 송평섭, 민병연, 정종현, 오원진

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

노후화된 원자력 연구시설 및 발전시설들의 제염 및 해체는 원자력의 역사가 오래된 미국이나 유럽뿐만 아니라 국내에서도 해결해야할 절실한 과제로 부각되고 있다. 특히, 국내의 경우 최초의 원자로인 TRIGA 연구로 및 우라늄 변환시설에 대한 제염해체사업이 진행 중에 있으며, 이러한 원자력 연구시설의 해체 시 수백 톤 이상의 다양한 방사성 금속폐기물이 발생될 것으로 예상하고 있다. 따라서 본 연구에서는 금속용융 기술을 이용하여 원자력 연구시설의 해체 시 발생하는 여러 가지 금속성 폐기물 중에서 알루미늄에 대한 용융기술의 기초를 수립하고자 하였다. 이를 위해 아크로에서 방사성 핵종으로 오염시킨 알루미늄 폐기물을 대상으로 용융 특성 및 용융 시 방사성 핵종의 분배 특성에 대해 조사하였다. 알루미늄의 용융은 용융 시 첨가하는 플럭스의 종류 및 조성 그리고 첨가량에 따라 매우 다른 특성을 나타내기 때문에 플럭스의 종류와 조성 그리고 첨가량에 따른 용융 특성 및 방사성 핵종의 분배 특성을 파악하고자 한다.

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 Graphite Arc Furnace로서 상부의 흑연(graphite) 전극봉과 하부의 구리 도가니(copper crucible)에 전원을 공급하는 전원공급시스템, 용융 시 고온의 열에 의한 열 충격을 방지하기 위해 Chamber와 전극(electrode) 주위에 냉각수를 공급하여 시스템의 안정을 유지시키는 냉각시스템 그리고 배기가스가 필터뱅크(HEPA, Char-coal, HEPA filter)를 거쳐 최종적으로 RMS(Radiation monitoring system)을 통해 안전하게 대기 중으로 배출되는 배기가스 시스템으로 구성되어 있다. 실험에 사용된 알루미늄 시편은 우라늄 변환시설의 제염/해체 시 발생하는 알루미늄과 같은 조성을 갖는 것을 택하였다. 알루미늄 시편은 습분 및 폭발을 일으킬 수 있는 유해물질과 유기용제 및 오일과 같은 환원물질을 제거하기 위해 전처리를 거쳐 완전 건조한 후 사용하였으며, 10mm×10mm의 크기로 절단하여 300 g의 알루미늄을 용융하였다.

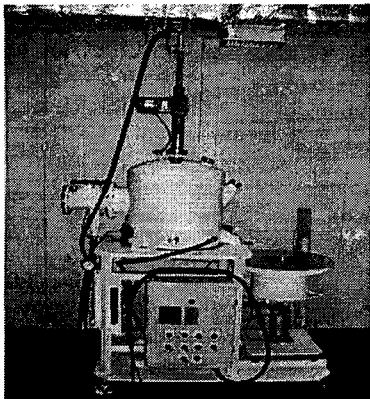


Fig. 1. Experimental apparatus(Graphite Arc Furnace).

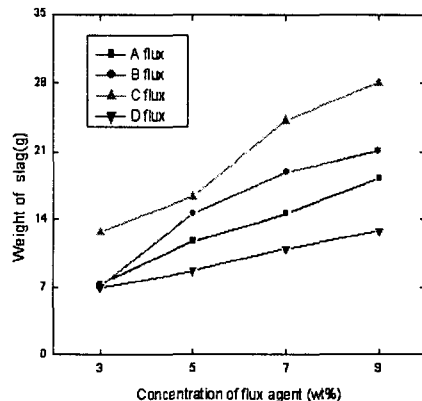


Fig. 2. Effect of the concentration of flux on the slag formation.

첨가된 플럭스의 증가에 따른 슬래그의 발생량 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 첨가된 플럭스의 양이 증가할수록 슬래그는 증가하는 경향을 나타냈으며 플럭스 C(CaF<sub>2</sub>)가 가장 많은 양의 슬래그를 발생시켰다. 이에 반해 플럭스 D(LiF, KCl, BaCl<sub>2</sub>)에 의해 발생된 슬래그는 가장 적은 양의 슬래그가 발생되었다. 그러나 슬래그의 증가 경향은 플럭스의 종류에 따라 다른 형태로 나타나고 있다. 유동성이 좋은 플럭스 A(NaCl, KCl, Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>)와 D는 상대적으로 유동성이 적은 플럭스 B(NaCl, NaF, KF)와 C에 비해 슬래그 발생량이 최대 50% 정도 적게 발생하였다.

첨가된 플럭스의 양이 증가함에 따른 Co의 분배특성을 Fig. 3에 나타내었다. 주괴와 슬래그에서 Co는 플럭스를 주입하지 않았을 때 보다 플럭스를 주입한 경우에 최대 40% 이상의 방사성 오염물질이 오염된 금속 폐기물에서 슬래그 상으로 분배됨을 확인할 수 있었다. 발생하는 슬래그의 양과 Co의 분배특성을 고찰한 결과 슬래그의 발생량이 상대적으로 많았던 플럭스 B와 C의 실험에서 높은 방사성 핵종의 포집 효율을 나타내었다. 전반적으로 주괴에 포집되는 Co의 농도는 25~30% 정도로 나타났으며, 슬래그에서는 좀 더 많은 40~50% 정도의 포집 효율을 나타내었다.

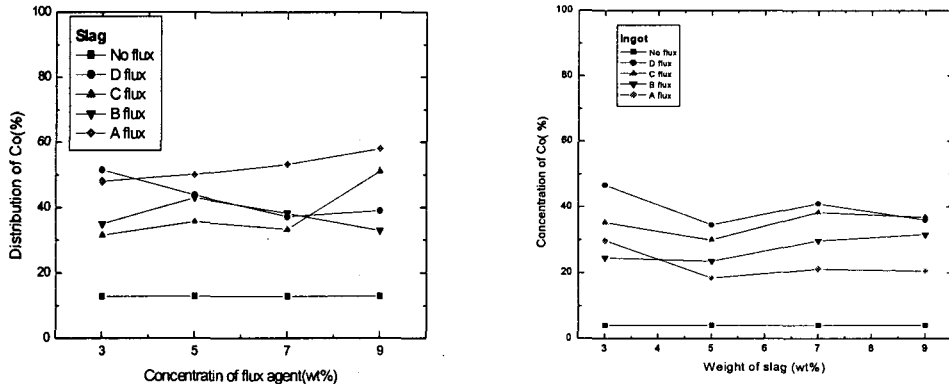


Fig. 3. Effect of concentration of flux agent on the distribution of Co in ingot and slag phase.

Fig. 4는 주괴와 슬래그에서 플럭스 첨가량의 증가에 따른 Cs의 분배 특성을 나타낸 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이 주괴에서 Cs는 플럭스의 종류에 관계없이 아주 소량만이 분포됨을 알 수 있다. 이는 많은 연구에 의해 밝혀진 바와 같이 용융 시 높은 온도에 의해 Cs이 휘발되었기 때문이다. 그러나 슬래그에서는 플럭스의 종류에 따라 최대 40%까지 잔류함을 확인할 수 있다. 특히, 플럭스 A, B, C의 실험에서는 더욱 높은 Cs의 포집효율을 보이는데 이는 Cs 화합물의 증기압 차이와 가스상 성분의 평형조성 그리고 증기상 세습의 응축기구의 차이에 기인한다. 주괴와 슬래그 상에 존재하는 Sr의 분배 특성을 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 플럭스의 첨가량이 증가함에 따라 Sr은 Cs의 결과와 동일한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있으나 차이점은 반휘발성인 스트론튬의 경우에는 Cs보다 슬래그에서 다소 높은 포집률을 보여주고 있다. 그러나 주괴에서는 Cs과 마찬가지로 거의 휘발되어 1%이하로 존재함을 확인할 수 있었다.

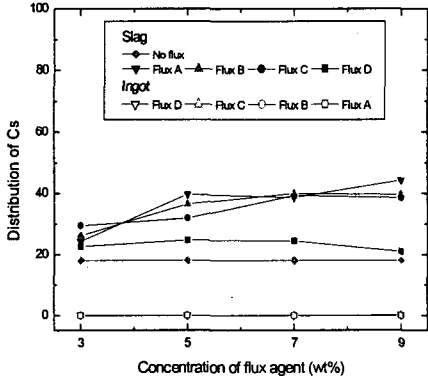


Fig. 4. Effect of the flux composition on the distribution of Cs.

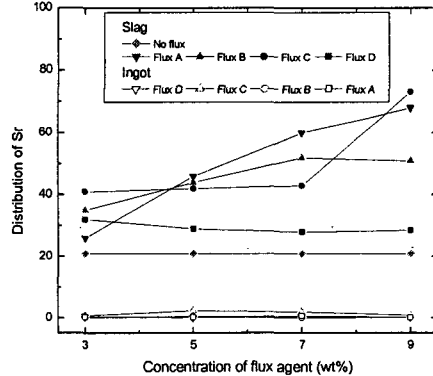


Fig. 5. Effect of the flux composition on the distribution of Sr.

아크로에서 알루미늄 폐기물의 용융 시 사용된 플럭스의 종류에 따라 유동특성과 슬래그의 발생량이 다양하게 나타남을 확인할 수 있었다. 비휘발성 핵종인 Co는 플럭스 첨가에 의해 최대 60%까지 슬래그 상으로 이동시켜 제염할 수 있음을 확인할 수 있었고, Cs과 Sr도 각각 50%와 79%까지 슬래그 내의 잔류시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.