

## 알루미늄 금속폐기물 유리화 타당성 연구

조현제, 김지연, 김천우

한국수력원자력(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 금병로 508

cho@khnp.co.kr

## 1. 서론

한국수력원자력(주)에서는 원전 방사성폐기물을 안정화하고 그 부피를 저감하는 방안의 일환으로 1994년부터 유리화기술을 개발하고 있으며, 2009년 올진 원전에 유도가열식 저온용융로(CCIM) 설비를 준공하고 상용운전을 개시 하였다. 현재 올진 유리화설비에서는 원전 중·저준위 방사성폐기물 중 가연성잡고체(DAW)와 폐수지(Spent Resin)를 유리화 하고 있다.

원전 중·저준위 방사성폐기물 중 공기조화계통에서 발생하는 필터 여과재 중에 알루미늄 금속막(foil)이 있다. 일반적으로 알루미늄 금속 막은 드럼포장 후 압축하였으나 수년전부터 일본 등에서 드럼저장 및 드럼저장 상태로 처분 부적합 결정이 나오면서 이를 안정적으로 처리하는 방안이 대두 되었다. 따라서 한국수력원자력(주)에서는 알루미늄 금속폐기물에 대한 유리화 가능성 평가를 위해 실험실 규모의 용융특성 실험을 수행하였다. 알루미늄 금속을 유리용융로내에서 산화시켜 유리 구성원소인 알루미늄 산화물( $Al_2O_3$ )로 만들기 위해 일정한 조성을 갖는 붕규산 유리프릿(frit)을 개발하였다.

본 연구를 통하여 알루미늄 산화물이 유리조성내에서 적절한 용해도를 갖고 혼합과 배출이 용이한 점도를 갖는 유리조성을 개발하였다. 또한, 알루미늄 금속폐기물이 함유된 유리조성에 대한 물리적 특성을 분석하였다.

## 2. 본론

## 2.1 용융실험

알루미늄 금속을 지름 1 cm 이하의 작은 조각으로 분쇄한 후 붕규산 유리프릿과 혼합하여 이를 점도 도가니에 담은 후 1,150 °C 환경의 고온 전기로에서 용융하였다. 알루미늄 금속 용융에 사용된 붕규산 유리프릿 조성은 알루미늄 산화물( $Al_2O_3$ ) 용해에 용이하도록  $SiO_2+B_2O_3$ 의 함량이 절반 이상 되도록 하였으며 여기에  $Na_2O$ 를 첨가

제로 사용하였다. 실험에 사용된 주요 산화물 조성의 최고값은 Table 1과 같다.

Table 1. Maximum compositions for Al metal vitrification

Oxides	Composition (wt.%)
$B_2O_3$	<20
$Na_2O$	<17
$SiO_2$	<46

일정 비율의 알루미늄 금속과 붕규산 유리프릿이 혼합된 모양을 Figure 1에서 볼 수 있다. 그림에서와 같이 알루미늄 금속 조각과 유리프릿을 혼합한 후 점도 도가니에 담고 이를 전기로에 장입하였다. 전기로 용융온도를 10 °C/min으로 1,150 °C 까지 올린 후 2시간 정도 용융상태를 유지하도록 하였다. 용융물의 상태와 점도특성을 분석하기 위해 흑연몰드에 용융물을 배출하였다.

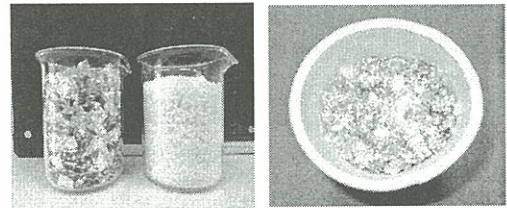
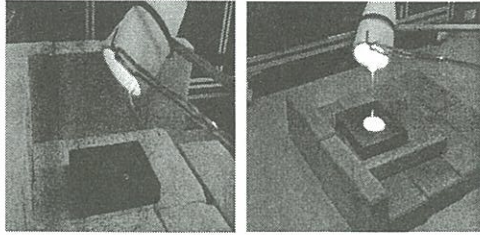


Fig. 1. Preparation of Al and Glass Frit

## 2.2 유리점도 평가

알루미늄 금속과  $SiO_2+B_2O_3$ 의 두 가지 조성으로만 이루어진 유리프릿을 혼합하고 용융한 실험 1의 경우, 배출 시 용융유리의 점도가 높은 것을 확인 하였다(Figure 2(a) 참조). 그러나, 알루미늄 금속과 첨가제( $Na_2O$ )가 포함된 유리프릿을 혼합하여 용융한 실험 2의 경우 양호한 점도를 유지하여 원활하게 배출할 수 있음을 알았다(Figure 2(b) 참조). 일반적으로 유리의 점도 100 poise(꿀의 점도와 같음)가 고점도와 저점도의 경계인데 실험 1은 100 poise 이상이고 실험 2는 100 poise

이하로 평가되었다.



(a) High viscosity (b) Low viscosity

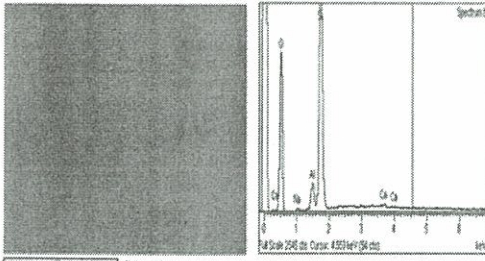
Fig. 2. Viscosity of Glass Melt

알루미늄 금속의 경우 1,150 °C 붕규산 유리용탕 환경에서 산화가 잘 일어나는 것으로 평가되었으며 금속형태나 다른 결정형태로 침전되지 않고 유리구조속에 균질하게 분포 하는 것으로 분석되었다.

본 연구결과는 향후 국내·외 관련 폐기물 유리화를 위한 중요한 기초자료로 활용될 예정이다. 특히 알루미늄 금속에 대한 처리해법을 마련할 뿐만 아니라 장기적으로 안정적인 처분문제도 해결할 것으로 기대한다.

### 2.3 균질성 분석

알루미늄 금속이 함유된 두 종류의 유리고화체를 주사현미경(SEM)을 이용하여 분석한 결과, Figure 3(a)과 같이 금속이나 결정 등의 이차상이 없는 균질한 상태를 나타내었다. 즉, 알루미늄 금속은 금속이나 결정형태로 침전됨이 없이 완전 산화되어 유리구조속에 모두 용해되어 들어간 것으로 에너지분산형분광기(EDS)를 이용한 결과 확인되었다. Figure 3(b)의 스펙트럼선을 볼 때 알루미늄 산화물의 분광선을 확인할 수 있다.



(a)SEM micrograph (b) EDS spectrum

Fig. 3. Results of SEM/EDS for vitrified form containing alumina

### 3. 결론

원전에서 발생하는 방사성폐기물 중 알루미늄 금속에 대한 유리화 타당성 연구를 실험실적으로 수행하였다. 전기로를 이용한 알루미늄 금속의 용융은 붕규산 유리계에서 용이한 것으로 나타났으나, 용융로의 운전변수 중 중요한 용융유리의 점도를 맞추기 위해서는 점도를 효과적으로 조절할 수 있는 첨가제( $\text{Na}_2\text{O}$ )가 필요한 것으로 평가되었다.