

## Flux를 이용한 용융 거동 특성 연구

조현제, 박승철, 김천우

한수원중앙연구원, 대전광역시 유성구 유성대로 1312번길 70

cho@khnp.co.kr

### 1. 서론

플라즈마 토치를 이용한 용융에서 금속은 비중에 의해 용융물 하부에 유동층을 형성하며, 비중이 낮은 비금속 슬래그는 상부에 형성하기 때문에 콘크리트 등 비가연성 물질 등은 플라즈마 토치를 이용한 용융시 유도가열 메카니즘을 적용할 수 있다. 즉, 플라즈마 용융 분위기에서 금속층은 낮은 점도와 높은 전기전도도를 형성하기 때문에 전극 carrier로 작용하여 금속층 상부를 덮고 있는 슬래그의 열원 역할을 하게 된다. 슬래그는 1,500°C 이상의 플라즈마 고온에서 무기물질들이 유리형태인 규산염에 결합된 형태로 존재하게 된다. 대부분의 슬래그는 유리화(vitrification)되는 SiO<sub>2</sub> 성분이 많이 분포되어 있으며, 거동 특성에 따라 망상구조(network former)를 가지는 SiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 등은 산성산화물, 망상구조를 파괴(network modifier)하는 CaO, MnO, FeO, Na<sub>2</sub>O 등은 염기성 산화물 및 중성산화물(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)로 분류된다. 따라서 슬래그는 무전하 분자들의 혼합으로 화학적 거동은 염기도(basicity)라는 염기성 및 산성 산화물 성분 비율에 따라 나타난다. 슬래그에서 염기도의 크기는 용융물의 거동에 중요한 인자로 작용하게 되는데, 그중 하나가 용융물 점도로 나타난다. 용융물 점도는 금속층과 슬래그 용융물 사이의 물질교환 속도에 영향을 주는데, 점도가 낮으면 대류가 양호해져 슬래그와 금속의 혼합으로 인한 열전도가 용이한 반면 내화물에 대한 침식 영향은 크게 된다. 그러나 점도가 높으면 슬래그내 이온들의 확산 움직임이 둔해져서 전기전도도를 저하시키는 요인이 된다. 본 연구는 낮은 염기도를 이루는 물질의 용융 후 배출 특성을 분석하고 원활한 배출과 용융물의 로내 건전성 유지를 위한 flux의 조건을 도출하는데 목적이 있다.

### 2. 본론

본 연구에 이용한 콘크리트는 0.2~0.3 내외의

낮은 염기도로 인해 용융 슬래그의 점도는 높게 되고 이로 인해 로내 용융물의 유동성이 떨어져 foaming 현상 등 불안정한 운전조건이 발생할 수 있으며, 용융 슬래그는 배출(pouring)이 원활하지 않게 된다. 고점도 슬래그를 배출하기 위해서는 배출구에 유도가열방식을 적용하여 추가로 용융물을 가열 후 배출시키거나 배출에 적절한 점도를 유지시킬 flux를 첨가하여 슬래그를 자동 배출하는 방법이 있다. Flux를 이용한 자동배출 조건을 도출하기 위해 용융 슬래그의 점도를 모델 및 실험값을 비교하였다. 콘크리트 용융물에 대한 점도분포를 Riboud 모델을 이용하여 온도에 따른 점도 분포를 계산하였다. 측정온은 전기로에 장착된 Brookfield HB-DVIII viscometer를 이용하였다. 그림 1에서 측정값은 계산값에 비해 상당히 높은 분포값을 보여주고 있다. 슬래그 배출시 고려되는 온도인 1,500°C이하에서 계산 및 측정값이 상당히 높은 고점도로 배출이 어려울 수 있다.

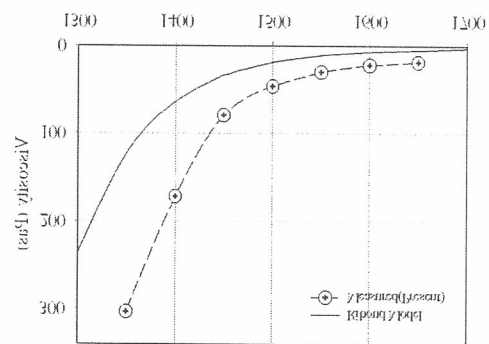


Fig. 1. Comparison with Concrete Molten Viscosity.

그림 1에서 보여주는 측정값의 점도는 용융로내 플라즈마 운전 온도인 1,500°C 이상에서도 상당히 높은 점도를 보여주고 있다. 이것은 일반적인 슬래그 운전점도 분포인 100 poise (10 Pas) 이하보다 높은 값으로 용융슬래그 배출이 어려운 영역으로 분석된다.

3. 결론

저 염기도를 갖는 비가연성 콘크리트에 대한 용융 상태와 슬래그 배출을 위해 30kW급 소형용융로를 이용하여 실험하였다. 먼저 콘크리트 용융 슬래그를 배출하기 위해 배출구에 유도가열방식을 적용하였으며, 배출구 유도가열 출력을 30kW에서 60kW로 변화시키면서 변화를 분석하였다. 그림 2와 같이 출력에 따른 배출구 온도변화에 의한 슬래그 배출시험 결과, 유도가열 출력을 45kW까지 서서히 증가시켜도 배출구에 위치한 용융물이 가열만 될 뿐 배출되지 않았으며, 50kW 시점부터 약간의 용융물만 배출되고 더 이상 배출은 되지 않았다(그림2 점선영역). 이때 배출된 용융물은 용융초기 ignition으로 이용된 금속용융물이 빠져 나온 것으로 확인되었다. 두 번째는 상기 용융물에 flux로 CaO를 5wt% 단위로 구분하여 일정시간 투입하였다. 10wt%의 flux를 투입한 결과 용탕내 용융물 상태는 저 점도를 유지하여 유동성이 확연히 양호해진 것으로 나타났으며 배출구 유도가열 출력을 30kW정도 올리자 원활하게 배출되는 것으로 나타났다(그림 2 실선영역).

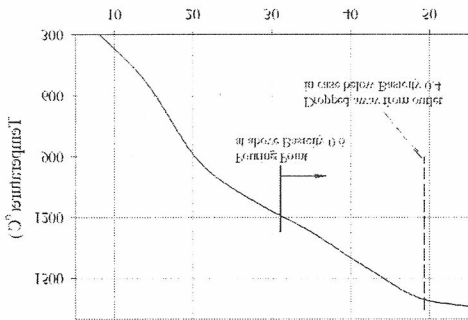


Fig. 2. Induction Heating Curve Applied on Pouring System.

그림 2의 flux를 이용한 실험을 바탕으로 CaO 첨가량에 대한 점도 곡선을 그림 3과 같이 얻었다. 그림에서 용융물이 0.5 이상의 염기도를 유지할 경우 용융 슬래그는 배출 가능한 것으로 나타났으며, 배출구를 가열방식으로 적용할 경우 원활히 배출될 수 있는 것으로 확인되었다.

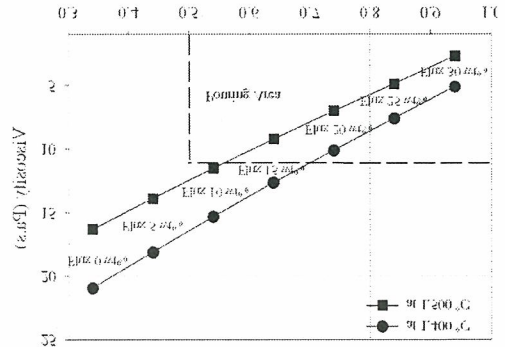


Fig. 3. Distribution of Basicity vs Viscosity by Additive.

본 연구에 이용한 콘크리트는 염기도가 0.25 내외로 상당히 낮은 물질로써, 배출에 적절한 점도를 유지하기 위해서는 용융물에 flux를 15% 이상 적용해야 하는 것으로 나타났다. 이것은 염기도 수치를 0.5 이상 유지하는 값으로 배출구 가열방식을 사용하지 않고 자동 출탕을 유도할 경우 flux 양은 더 필요한 것으로 나타났다. 염기도가 0.2~0.3인 콘크리트 용융물에 flux를 추가하여 염기도를 0.8이상 올리면 용융물의 유동성이 활발하여 용융물의 요동이 상당하였으며 부분적으로 foaming 현상도 발생하였다. 따라서 향후 저 염기도를 갖는 용융물 상태관리 및 슬래그 배출시 flux 양을 적절하게 이용할 필요가 있는 것으로 확인되었다.