

플라즈마/연소 융합기술을 이용한 세라믹계

유리 분말 기중용해로 개발

동상근** · 이은경* · 정우남*

Development of glass melting furnace using both plasma and combustion

Sangkeun Dong**, Eunkyung Lee*, Woonam Jeong*

ABSTRACT

This paper is suggesting about glass melting technology, using both plasma and combustion heat source. The mixed flame was formed to flow pattern of turning by plasma and combustion in melting zone. The burning time was extremely extended for vitrification of raw materials in melting zone, as a result, melting time was significantly reduced. This system was designed to smaller size than existing glass melting facilities. We had achieved to 30% energy saving, due to reduce residence time of melted materials inside furnace.

Key Words : Plasma, Combustion, Glass melting furnace

1. 서 론

현재 세계적으로 넓게 보급되고 있는 유리 용해 기술은 시멘스형이라고 불리는 탱크가마를 이용하는 기술이다. 가마의 형태로는 용도나 용융 규모에 맞게 다양하게 있는데, 버너화염의 복사를 이용해서 유리 원료를 가열하여, 폐열을 축열로에 의해 회수하고 축열한 에너지를 버너의 대체에 의해 연소공기의 예열로 이용하여 열효율을 향상하는 방식이다. 이 시멘스형로는 수십 년에 걸쳐 기술개발이 더해져 전체의 열에너지 효율은 고효율에 설계되어 있고, 화력발전의 효율과 같은 레벨의 30%대 이며, 거의 한계까지 왔다고 여겨지고 있다. 따라서 선진국에서는 기존 유리 용해 제조기술의 한계를 극복하기 위한 연구들이 진행되고 있다. 일본의 경우 유리 제조 에너지 삭감을 위해 연구개발을 추진하며, 시멘스로의 제조 고효율화 뿐만 아니라 신규 유리 용융기술의 연구도 진행하고 있다. 신규 유리 용융기술은 비 시멘스로형 용융기술이며, 유럽과 미국에서는 이미 연구가 진행되고 있지만, New Glass Forum(NGF)을 중심으로 진행하고 있는 신규 용

융 기술개발은 선형기술의 문제점 극복을 목표로 하고 있으며, 획기적인 기술이라고 기대하고 있다. 본 연구는 선진국의 기술 개발 추이에 대응하기 위해 직접 유리화에 의해 혁신적 에너지 절약형 유리계 용해로 기술을 개발 하고자 한다. 유리 원료용해에 필요한 에너지를 가능한 삭감하는 것을 목표로 하며, 유럽·미국·일본의 선 연구자의 시험 결점을 충분히 고려해서 고안한 용해방식의 개발을 목표로 하고 있다. 본 연구는 플라즈마 열원 기술을 응용하여 일반 유리제품뿐만 아니라 차세대 전자용 Frit(PDP, 유기EL 등) 및 세라믹 소재의 혁신적 유리계 용해 프로세서 기술 개발(기존 대비: CO₂ 저감 30%, 용해용적 1/2 감소, 용해시간 1/2 감소)이다. 즉, 플라즈마와 산소버너의 복합열원을 이용하며 열원에서 원료로 열전달 효과를 향상시키기 위해 가열중에 원료를 투입한다. 복합 가열원에 의해 원료가 기중에서 용해하는 것이다.

2. 기술 구조 및 원리

2.1 전체 공정 시스템

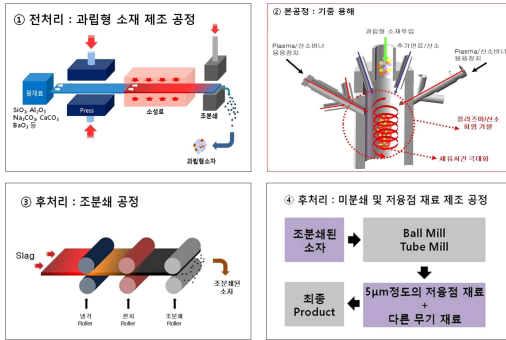
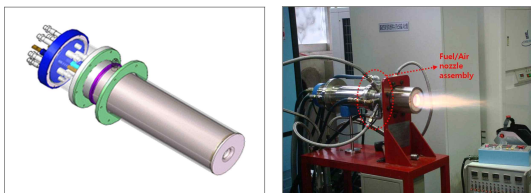


Fig. 1 전체 시스템 공정도

Fig. 1은 플라즈마/연소 기중 용해기술을 이용한 유리계 frit 제조의 전체 공정 순서를 나타낸다. ① 전처리: 과립형 소재 제조공정은 원재료 (SiO_2 , Al_2O_3 , NaCO_3 , CaCO_3 , BaO_3)등을 프레스가공하여 판넬처럼 얇게 만든다. 그 후 소성로로 통과시켜 가열 후 조분쇄 공정을 거쳐 과립형소재로 만든다. ② 본공정: 용해로 공정은 플라즈마/연소 혼합장치를 이용한 기중 용해공정에 해당된다. 슬래그 형태로 출탕되어 후처리 공정에 연결된다. ③ 후처리: 조분쇄 공정은 3단 roll로 이루어져 있으며, 냉각/핀치/조분쇄 공정을 거친다. 따라서, 조분쇄/조분쇄 형태의 제품으로 출하된다. ④ 후처리: 저융점 소재 제조 공정에서는 PDP, LED에 사용되는(유전체, seal재, 격벽, 페이스트 등) 유리 frit, 세라믹 frit이 용도에 맞게 다른 무기질 분말과 배합하여 저융점 frit으로 최종 product를 생산하게 된다.

2.2 플라즈마 토치 제작

Fig. 2에 제작한 50kW급의 플라즈마 토치와 방전 실험 장면을 나타내었다. 플라즈마 토치는 100A, 40kW에서 안정된 성능을 보였으며, 플라즈마 토치의 효율은 약 75% 정도로 나타났다. 플라즈마/연소 융합 버너는 플라즈마 토치와 가스버너가 융합한 형태이며, 유동의 수렴 및 냉각을 위해 연료라인은 원주방향으로 180° 간격으로 2개, 산화제 라인은 원주방향으로 120° 간격으로 3개로 구성되어지며, 2개의 산화제 라인에 연료라인과 30°의 각을 가지고 구성되어진다.



[50kW 플라즈마 토치] [플라즈마 + 연소 실험]
Fig. 2 기중 용해용 플라즈마 토치

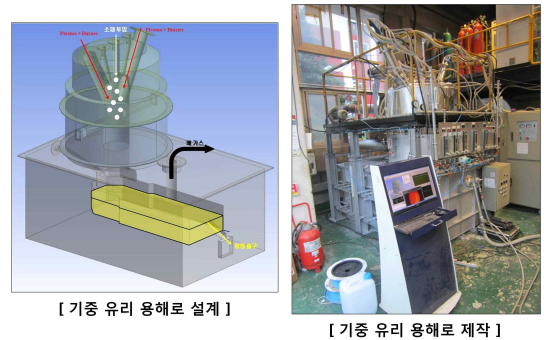


Fig. 3 기중 용해로 설계 및 제작

2.3 기중 용해로 설계 및 제작

Fig. 3에 설계/제작된 기중용해로를 나타내었다. 과립형 분말 형태로 제조된 소재는 가열중에 수직으로 용해부로 투입되며, 선회 패턴 유동을 형성함으로써 체류시간을 극대화하여 소재의 용해 시간을 감소 시켰다. 또한, 기존의 유리 용해로에 비해 용해조의 크기가 크게 감소하여 소재가 용융된 후, 용해조에서 체류하는 중에 발생하는 열 손실을 최소화 하였다.

3. 실험 결과

3.1 용해 온도 제어

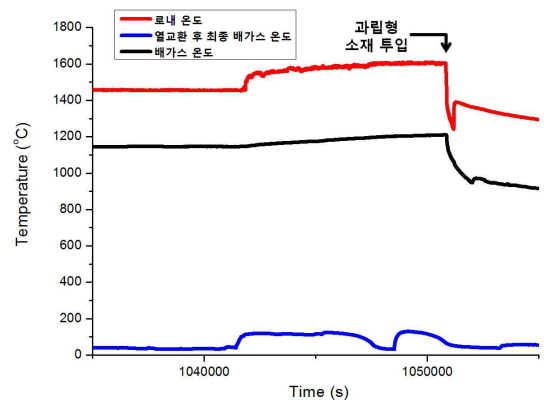


Fig. 4 기중 용해 온도 제어

Fig. 4에 기중 용해를 위한 로내 분위기 온도와 배가스 온도를 나타내었다. 운전 조건으로서 과립형 소재의 공급량은 feeder의 rpm이 600rpm 일 때 55kg/h 이었다. 분위기 온도가 1,650°C에

서 과립형 소재를 투입하여 용해를 시작하였고 기중용해가 시작되면서 로내 분위기 온도와 배가스 온도가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 배가스 온도는 1,100-1,200℃를 유지하고 있다. 과립형 소재는 기중용해 후 slag형태로 용해조에서 약 1-2시간 정도 후 출탕 되었다.

3.2 시편 분석

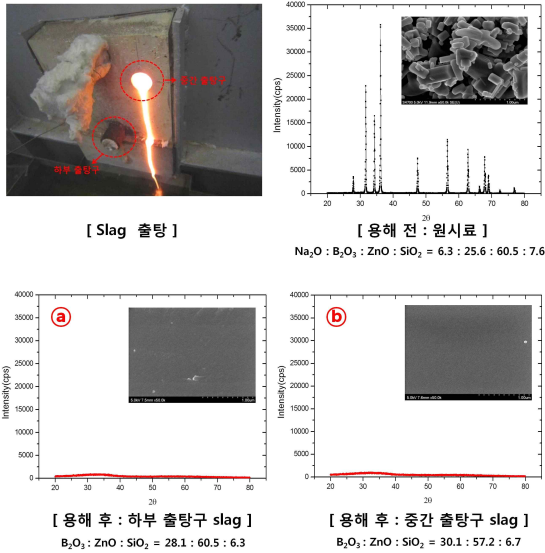


Fig. 5 XRD & SEM 분석 결과

Fig. 5에 유리화 전의 원시료의 분석결과와 출탕된 slag의 XRD & SEM 분석 결과를 나타내었다. 기중 용해 1-2 시간 후, 하부 출탕구에서 출탕된 slag의 XRD & SEM 분석 결과(㉑)를 살펴보면, 최하부에 있어서 약간의 불순물이 나올 수 있는 상황이나 유리화는 거의 99% 이상 진행된 것으로 보인다. 원시료와 비교했을 때, 전 영역에 걸쳐 peak가 관찰되지 않으며, slag의 원소 분석에 의하면, $\text{B}_2\text{O}_3:\text{ZnO}:\text{SiO}_2=28.1:60.5:6.3$ 으로 목표 성분에 거의 일치하고 있다. 또한, SEM 사진을 살펴보면, 약간의 불순물이 있는 것으로 보이나 미미하고 무 결정의 상태를 보이고 있다. 또한, 중간 출탕구에서 출탕된 slag의 XRD & SEM 분석 결과(㉒)를 살펴보면, slag의 성분이 $\text{B}_2\text{O}_3:\text{ZnO}:\text{SiO}_2=30.1:57.2:6.7$ 로 나타났다. XRD 결과에 의하면 결정이 거의 없는 99% 이상 유리화가 진행된 것을 알 수 있으며, SEM 사진에서도 나타난 바와 같이 거의 완벽한 무 결정 유리화된 표면을 볼 수 가 있다.

4. 결 론

공간적, 시간적으로 제약이 많고 에너지 효율이 떨어지는 기존의 전기히터방식의 유리 용해로를 대체하고자 플라즈마/연소 융합기술을 이용한 기중용해로 기술을 개발하였다. 본 연구를 통해 소재의 용융시간을 단축시키고 용해 용적의 크기를 줄인 compact한 기중 용해로를 설계/제작/실험하여 기존의 유리용해로 대비 많은 에너지 절감을 달성 할 수 있었다.

후 기

본 연구는 중소기업청에서 시행한 중소기업기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 동상근, 이은경, 홍성국, 김성일, 정우남, 금시원, 김인태, "플라즈마/산소 연소를 이용한 저탄소형 유리계 소재 용해로 기술 개발", 중소기업 기술개발사업 최종보고서, 2012
- [2] Y. Yao, M.M. Hossain, T. Watanabe, T. Matsuura, F. Funabiki, T. Yano, "A multi-phase AC arc discharge and its application in in-flight thermal treatment of raw glass powders", Chemical Engineering Journal, Vol. 139, 2008, pp. 390-397
- [3] T. Watanabe, K. Yatsuda, Y. Yao, T. Yano, T. Matuura, "Innovative in-flight glass-melting technology using thermal plasmas", Pure Appl. Chem, Vol. 82, 2010, pp. 1337-1351