

혼합형 플라즈마토치 용융로에 의한 금속·콘크리트 혼합물의 용융

이상우, 박승철, 박종길

한국수력원자력(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 장동 25-1

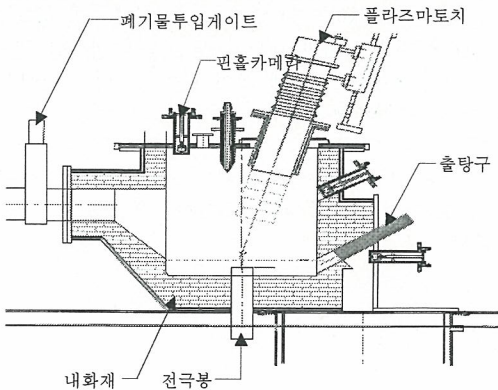
sang1@khnp.co.kr

1. 서론

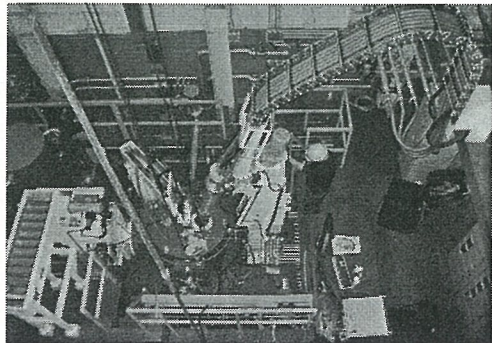
우리나라 전력의 40% 이상을 공급하고 있는 국내 원자력발전소(총 20기)에서 발생하는 금속류나 콘크리트 등과 같은 비가연성폐기물을 환경친화적으로 처리하기 위해 한수원(주)원자력발전기술원에서는 2008년초 국내 최초로 500kW급 혼합형 플라즈마토치 용융로(Plasma Torch Melter) 개발을 완료하였다. 이 혼합형 플라즈마토치 용융시스템은 비이송(non-transfer) 및 이송(transfer) 전류비를 전력용량 범위 내에서 자유롭게 혼합하여 운전할 수 있는 설비이다. 일반적으로 플라즈마 용융시스템은 다양한 폐기물을 용융처리할 수 있는 범용기술로서 매우 안정된 슬래그 고화체를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 SO_x, NO_x, 다이옥신 등의 배기체 유해물질 발생을 최소화할 수 있는 가장 효율적인 폐기물처리 방법 중의 하나이다. 이러한 플라즈마토치 용융로 기술은 에너지밀도가 높은 고온을 쉽게 얻을 수 있어서 원전 운영중에 발생하는 비가연성폐기물 처리뿐만 아니라 교육과학기술부 고시 제2008-65호 『중·저준위 방사성폐기물 인도규정』을 만족하지 못하는 폐기물의 처리 및 향후 원자력시설 해체폐기물 처리에도 대비할 수 있는 미래형 처리기술로 판단된다. 본 논문에서는 원자력발전기술원에서 운영중인 500kW급 혼합형 플라즈마토치 용융로 시스템을 이용하여 최근에 수행한 금속·콘크리트 혼합물의 용융특성시험결과를 논의하였다.

2. 시스템 구성

500kW급 혼합형 플라즈마토치 용융처리 시스템은 비가연성폐기물을 처리할 수 있는 실증규모 설비로서 플라즈마토치, 용융로, 폐기물투입시스템, 전원시스템 등의 주계통과 가스쿨러, 냉각계통 설비, 가스공급계통 설비, 핀홀(pin hole) 카메라시스템, 용융물배출 냉각시스템 등의 보조계통으로 구성된다. 이 시스템의 특징은 토치운전시 자유롭게 비이송 및 이송전류비를 조절가능하게 하는 전원공급 시스템이다. 또한 용융로는 로벽을 이루는 내화재 밖으로 냉각용 이중 shell로 구성되어 물로 냉각할 수 있도록 설계되어 있다. 폐기물투입시스템은 유압장치에 의해 작동되는 컨베이어 버킷 시스템 및 드림포장 폐기물 투입시스템으로 구성되어 있다. 냉각계통 설비는 토치/용융로, 전원/냉각채널, 용융물포집 계통 등 크게 3개의 냉각루프로 구성되어 있다. 플라즈마 토치는 알곤가스 분위기에서 고주파발생기로 점화(ignition)하고 이후는 플라즈마 동작가스로 질소를 공급하여 운전하도록 설계되어 있다. 운전 중 핀홀카메라를 이용하여 폐기물 공급구 용탕표면 출탕상황을 육안으로 확인할 수 있다. 원자력발전기술원에서 운영중인 혼합형 플라즈마토치 용융로 시스템의 주요부분을 그림 1에 나타내었다.



(a) 플라즈마토치 용융로 개략도

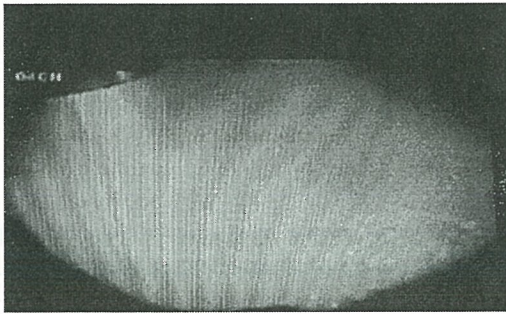


(b) 플라즈마토치 용융로 전경

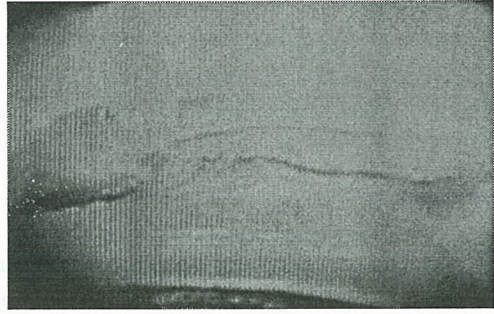
그림 1. 원자력발전기술원의 500kW급 혼합형 플라즈마토치 용융로시스템

3. 실험 및 결과

플라즈마토치 용융로의 운전변수와 설계변수의 변화에 따른 연속시험을 통해 폐기물의 용융능력, 토치운전모드전환, 출탕 등 용융 특성시험을 수행하였다. 시험에 사용한 비가연성폐기물은 모의 폐기물로서 고철, carbon steel, stainless steel 등으로 구성된 금속류 50wt%와 건축물 벽돌로 구성된 콘크리트 50wt%를 소형드럼(Φ300×H300)에 포장하여 투입하였다. 토치를 점화한 후 초기에는 비이송운전을 수행한 후에 열효율을 고려하여 대부분 이송모드에서 운전을 수행하였다. 시험 중 토치와 용탕의 거리를 조절하면서 이송운전시에는 보다 근접하게 거리를 유지하도록 조절하였다. 토치 전방전극의 수명과 관련하여 토치의 전방노즐은 물로 냉각하며 이때 냉각수의 압력과 전기비저항은 일정하게 유지하였다. 용융로 기저층을 형성하고 있는 금속층을 포함한 기존 용탕을 재용융하여 용탕을 준비하는데 일정시간이 소요되었다. 출탕을 위한 출탕전극과 용탕간 방전을 수행할때 비이송모드의 전류혼합비를 높이고 용탕표면과 토치간의 방전열에 의해 출탕구가 열리면 다시 이송모드에서 운전을 수행하였다. 금속과 콘크리트의 혼합물로 구성된 소형드럼의 용융물은 간헐식으로 운전된 용탕에 있었던 용융물을 포함하여 배출하였다. 시험결과 토치하우징과 용탕간의 비정상적인 아킹은 관찰되지 않았으며, 시험 종료 후 정밀검사결과 토치에 대한 아킹과 관련된 아무런 손상을 발견할 수 없었다. 폐기물 용융속도를 평가한 결과 플라즈마토치 용융시스템의 폐기물 처리용량은 금속·콘크리트 혼합물 기준으로 설계용량보다 여유가 있는 것으로 확인하였다. 시험 중 일시 국부적인 용탕의 비등현상이 발견되었으나 power balance를 조절하여 해결할 수 있었다.



(a) 초기용탕 장면



(b) 드럼투입후 용융장면

그림 2. 플라즈마토치 용융로 용탕 및 비가연성폐기물 용융장면

4. 결론

원자력발전기술원의 500kW급 혼합형 플라즈마토치 용융시스템을 이용하여 금속·콘크리트 혼합물에 대한 용융시험을 수행하였다. 그 결과 토치 하우징과 용탕간의 비정상적 아킹이 발생하지 않았고 폐기물 용융능력은 설계용량보다 여유가 있는 것으로 확인되었다. 시험 중 일시적으로 용탕의 비등현상이 있었으나 power balance를 조절하여 용탕의 비등현상을 쉽게 제어할 수 있었다. 이러한 실험결과를 활용하여 향후 플라즈마를 이용한 중·저준위 방사성폐기물의 효율적인 처리 및 실용화를 위해 폐기물 종류별로 운전변수 최적화 기술개발에 박차를 가할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 지식경제부, 2008 원자력발전백서(2008)
2. 한국수력원자력(주) 원자력발전기술원, “중·저준위 방사성폐기물 유리화 원형플랜트 개발(II)” 최종 보고서(2008)
3. IT3 Conf., Phoenix, Arizona, Destruction of Electrical Equipment and PCB oil in a Plasma Enhanced Melter(2004)