

공학규모 잉곳주조장치 제작 및 구리잉곳 주조 경험

강희석, 조춘호, 이윤상, 김정국, 이한수
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
 hskang1@kaeri.re.kr

1. 서론

원자로 운전 후 사용후핵연료의 93% 정도를 차지하고 있는 다량의 U 및 TRU 금속의 회수를 위한 여러 방법 중 한국원자력연구원은 건식의 고온용융염 전해정련 방법을 채택하였다. 사용후핵연료의 건식처리공정은 산화물 핵연료의 금속화 및 전해정련 공정을 걸쳐 수 mm 정도의 순수한 수지상 형태로 만들어 진다. 이러한 전착물은 전해정련 과정에서 염이 함유되어 있어 증류장치에서 염을 제거한 후의 우라늄 전착물은 잉곳주조 장치에서 괴 형태로 제조를 한다. 미국 아이다호국립연구소(Idaho National Laboratory, INL)에서는 cathode processor를 이용하여 우라늄 전착물을 우라늄 잉곳으로 제조한다[1, 2]. 공정관련하여 이 장치의 특징은 도가니에 우라늄 전착물을 장입한 후 약 10 Torr 부근에서 900~950℃로 가열하여 염을 휘발시킨 후 1300℃로 가열하여 전착물을 용해시킨 후 도가니를 자연냉각시켜 잉곳을 만든다. 그러나 이러한 방법은 회분식 형태로 생산성이 낮을 뿐 아니라, 도가니에 잉곳이 용착하는 단점이 있다. 따라서 도가니에 잉곳이 용착하는 단점을 보완하고 생산성을 높이기 위한 새로운 방법을 모색할 필요가 있다. 본 연구에서는 이전의 실험실규모 잉곳주조장치의 실험결과들을 토대로 공학규모의 잉곳주조장치를 설계·제작하고 전착물 feeder 및 진공챔버의 진공시험을 수행하였으며, Cu 분말을 이용한 주조실험 결과를 정리하였다.

2. 내용 및 결과

2.1 공학용 잉곳주조장치의 설계 및 제작

한국원자력연구원에서는 생산성을 높이고, 도가니에 잉곳이 용착하는 단점을 보완하기 위하여 염 제거 및 잉곳주조 공정을 분리하였다. 또한 잉곳주조 공정에서는 원료를 연속장입할 수 있는 방안을 구상하고 도가니를 경동시켜 주형에 용탕을 주입하여 잉곳을 제조하는 개념을 도입하여

잉곳 생산성을 높이도록 하였다. 따라서 이전의 실험실규모 잉곳주조장치의 실험결과들을 기초로 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 공학규모의 잉곳주조장치를 설계·제작하였다. 용해 도가니의 용량은 3리터, 몰드 도가니는 7kg 용량을 8개 수용할 수 있는 턴테이블 방식을 택하여 약 50kg의 우라늄을 처리할 수 있는 규모로 제작하였다. 한편 몰드 도가니 하부에는 무게 측정이 가능한 로드셀을 장착하여 용해 도가니에서 몰드 도가니로 용융물 출탕시 용융물의 무게를 실시간으로 확인할 수 있도록 준비하였다. 전착물 feeder 용량은 50ℓ의 크기로 진동방식을 이용하여 용해 도가니에 공급하는 방법을 고안하였다. 용해 도가니 가운을 위한 유도히터는 실험실규모의 잉곳주조장치와는 달리 비수냉코일 방식을 적용하여 그 적용성을 이미 시험한 바 있다[3].

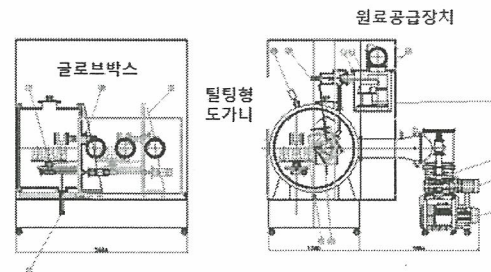


Fig. 1. Conceptual diagram of the ingot casting equipment.

2.2 전착물 feeder 및 진공챔버의 진공 시험

전착물 feeder 및 진공챔버에서 진공시험을 실시하였다. Fig. 2(a)에서 보인 바와 같이 전착물 feeder에서 감압 개시 후 5분 경과시 10^{-2} torr의 진공분위기로 도달되었지만, Fig. 2(b)에서와 같이 진공펌프를 차단하고 전착물 feeder의 밀봉상태에서 20분 경과시 10^{-1} torr로 진공분위기의 불안정함을 나타내었다. 제작 시 결함으로 지적하여 제작업체에게 이의 개선을 요구하였다. 진공챔버에서는 Fig. 3(a)에 보인 바와 같이 감압 개시 후 5분 경과시 10^{-2} torr의 진공분위기로 도달되었으며, Fig. 3(b)에 나타낸 바와 같이 진공펌프를 차단하

고 진공챔버의 밀봉상태에서 60분이 경과되도록 10⁻²torr로 진공분위기를 유지하는 매우 안정된 밀봉 상태를 보였다.

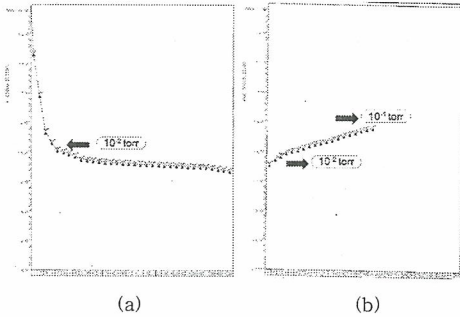


Fig. 2. Vacuum test in the dendlite feeder; (a)Decompression process, (b)After blocking the vacuum pump.

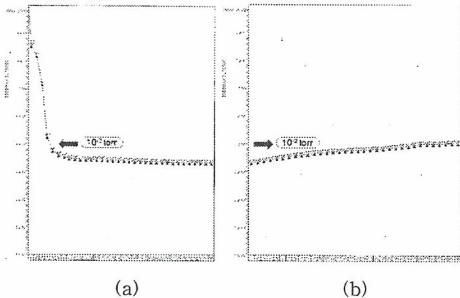


Fig. 3. Vacuum test in the vacuum chamber; (a)Decompression process, (b)After blocking the vacuum pump.

2.3 Cu 잉곳 및 Cu 분말 주조 시험

우라늄과 Cu의 단위 무게당 열용량 비교에서 우라늄의 열용량은 0.116J/g_K이고 Cu는 0.384 J/g_K이므로 우라늄의 열용량이 Cu의 약 1/3정도이다. 따라서 Cu 3kg의 용해는 동일 열량으로 우라늄 약 9kg의 용해 효과를 나타낼 수 있다. Fig. 4의 (a)는 주형을 200℃ 예열 후 흑연도가니를 1200℃까지 승온한 후 Cu 3kg을 주조한 결과이다. 따라서 본 장비에서 우라늄을 주조할 경우 어느 정도 건전한 주물을 확보할 수 있을 것으로 보였다. 또한 Cu 잉곳을 용해하여 주물을 만들었지만, 본 연구에서 최종적으로 사용되는 우라늄은 dendrite 구조의 우라늄 전착물이기 때문에 Cu 분말을 사용한 용해 시험도 수행하였는데 Fig. 4의 (b)는 Cu powder 500g을 사용하여 1200℃에서 용해한 결과이다. Cu 주물의 결과를 바탕으로 향

후 우라늄 전착물을 보다 건전하게 주조할 수 있다는 가능성을 확인하였다.

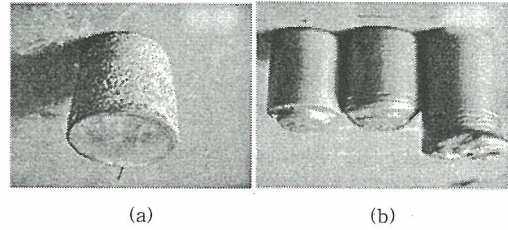


Fig. 4. Cu ingot casting experiment in the engineering scale of ingot casting equipment; (a)Cu chip ingot, (b)Cu powder ingot.

3. 결론

실험실규모 잉곳주조장치의 실험결과들을 토대로 공학규모의 잉곳주조장치를 설계·제작하였으며 전착물 feeder 및 진공챔버의 진공시험을 수행하였다. 제작된 장치를 이용하여 Cu 잉곳 및 분말을 이용한 주조실험을 수행하여 향후 우라늄 전착물 주조의 가능성을 확인하였다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

[1] B. R. Westphal, J.C. Price, D. Vaden, R.W. Benedict, "Engineering-scale distillation of cadmium for actinide recovery", Journal of Alloys and Compounds, JALCOM-15816 (2007).
 [2] A. R. Brunsvold, P. D. Roach and B. R. Westphal, "Design and development of a cathode processor for electrometallurgical treatment of spent nuclear fuel", Proceedings of ICONE 8: 8th International Conference on Nuclear Engineering, April 2-6, USA, Baltimore (2000).
 [3] 이운상 외 "비수냉코일 개발", 2010년 한국방사성폐기물학회 추계학술발표회 (2010).