

연속식 우라늄 잉곳주조장치 개발

장준혁, 강희석, 이한수, 김정국

한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 989번길 111

jangiunhyuk@kaeri.re.kr

1. 서론

전해정련공정은 사용후핵연료의 약 93%를 차지하고 있는 우라늄을 회수하는 파이로프로세스의 핵심공정으로 전체 파이로 공정의 생산성 및 경제성을 결정짓는 중요한 공정이다. 전해정련공정을 살펴보면, 전기화학을 이용하여 LiCl-KCl 용융염 속에서 우라늄 전착물을 음극전극 표면에 석출시킨다. 이렇게 회수된 우라늄 전착물은 길이가 수백마이크로의 dendrite 형상을 띄며, 약 20~30 wt%의 염을 포함하고 있다. 우라늄 전착물에 포함된 염을 제거하기 위하여 LiCl-KCl 공용염을 진공증류하여 분리하여, 순수한 우라늄 dendrite powder 만을 회수하게 된다. 하지만, powder 형태의 우라늄 dendrite가 산소와 반응성이 매우 크기 때문에 취급 및 보관에 큰 어려움이 있다. 이에, 우라늄 dendrite powder를 효과적으로 잉곳의 형태로 주조하기 위한 연구가 활발하게 수행되고 있다.

본 연구진은 잉곳주조의 효율성을 극대화하기 위하여 연속식 우라늄 잉곳주조공정을 개발하였다. 이를 적용하여 실험실 규모의 주조장치를 제작하여 실험조건을 확립하기 위한 연구를 수행하고 있으며, 이와 더불어 우라늄 처리 용량을 최대화하기 위하여 50 kgU/batch 용량의 공학규모 연속식 우라늄 잉곳주조장치를 개발하기 위한 연구를 병행하고 있다 [1,2]. 이에, 본 연구에서는 현재 연속식 잉곳주조공정을 도입하여 제작된 실험실 및 공학규모 잉곳주조장치의 성능 및 특성을 살펴보고, 이를 이용하여 연속식 잉곳주조공정의 적용 가능성을 살펴보았다.

2. 본론

2.1 실험실규모 연속식 잉곳주조장치

기존 연구를 통하여, 잉곳주조장치에서 우라늄 dendrite powder 용해 시, powder 형태의 전착물을 단독으로 용해도가나에 넣고 가온하는 용해방식으로는 전착물을 효과적으로 용해시키기 어려

운 것을 확인하였다. 본 연구진은 동일한 금속의 용탕을 미리 준비한 다음 금속 입자 또는 분말을 추가로 용탕에 공급하는 용해방법을 도입하였다. 이에, 실험실규모 잉곳주조장치에서는 입자 타입의 우라늄 전착물을 용탕에 추가적으로 장입하기 위하여 그림 1과 같이 전착물 추가 공급기를 설계·제작하여 설치하였다.

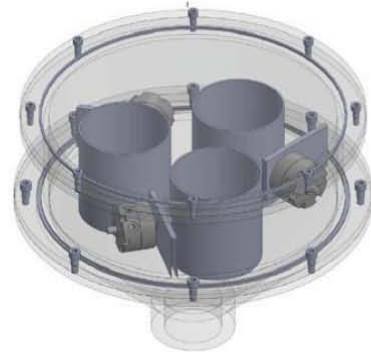


Fig. 1. A schematic diagram of dendrite feeder.

우라늄 용탕에 우라늄 dendrite powder를 추가적으로 공급하는 연속식 잉곳주조방법의 타당성을 평가하기 위하여 예비실험을 진행하였다. 우라늄 용탕을 만들기 위한 DU와 powder형태의 우라늄 전착물을 도가니에 함께 장입하여 용해실험을 수행하였다. 약 5.2 kg의 우라늄 잉곳 주위에 약 347 g의 우라늄 전착물을 끌고루 분산하여 장입하여, 1143°C로 가열하였다. 그 결과, 전착물이 우라늄 용탕과 함께 효과적으로 용융되어 우라늄 잉곳을 성공적으로 생산하였다.



Fig. 2. Fabricated uranium ingot.

2.2 공학규모 연속식 잉곳주조장치

잉곳제작의 생산성을 극대화하기 위하여, 텀텡 방식 및 턴테이블형 주형 도가니를 갖춘 연속식 우라늄 잉곳제조장치를 개발하였다. 우라늄 용탕을 주형에 공급하기 위한 방법으로 텀텡방식을 채택함으로써, 용탕의 비산 및 누설문제를 해결하였다. 또한, 8개의 흑연 도가니를 장착한 턴테이블을 설치함으로써, 연속적인 용탕의 주입 및 냉각이 가능하도록 설계하였다. 이러한 연속식 잉곳제조방법은 기존의 회분식 방법을 이용한 조업시 문제가 되는 흑연 도가니 폐기물 발생량을 획기적으로 절감 할 수 있는 독창적인 잉곳주조방식으로 평가받고 있다.

제작된 연속식 공학규모 잉곳주조장치의 우라늄 적용 가능성을 간접적으로 평가하기 위하여, 우라늄과 금속특성이 비슷한 Cu를 이용하여 주조 실험을 수행하였다. Cu chip을 4.7×10^{-2} torr이하로 진공배기 후, 약 1100 °C로 가열해 주었다. Cu chip이 녹아 용탕이 효과적으로 형성 된 것을 확인한 후 Cu chip을 추가 장입함으로써, 추가로 장입된 Cu chip이 용탕의 튀 현상 없이 원활하게 용해되는 것을 확인하였다. 그렇게 용해된 Cu용탕을 이용하여 연속적으로 잉곳을 제조하였다. 그 결과를 그림 3에 나타내었다: 1) 주형에 용탕의 출탕 완료 <그림 3(a)>. 2) 주형테이블을 회전시켜 빈 주형을 위치 <그림 3(b)>. 3) 도가니를 기울여 빈 주형에 새롭게 출탕 <그림 3(c)>. 4) 새로운 주물 제작 완료 <그림 3(d)>. 이러한 공정을 반복 수행하여 그림 4와 같이 연속적으로 잉곳을 생산할 수 있었다.

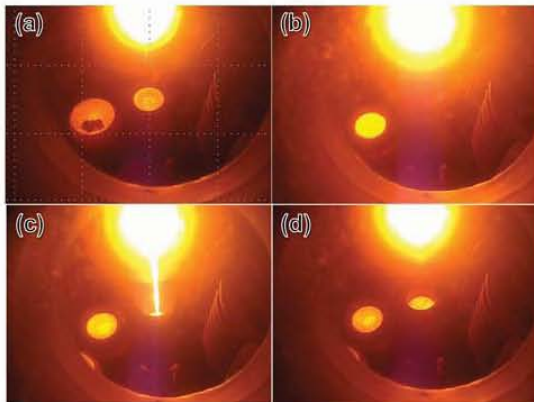


Fig. 3. Photographs of continuous ingot fabrication with Eng. scale equipment.



Fig. 4. Photographs of fabricated ingot with Eng. scale ingot casting equipment.

3. 결론

본 연구전은 우라늄 잉곳생산의 효율성 및 생산성을 극대화하기 위하여 연속식 우라늄 잉곳주조공정을 개발하여 장치를 제작하였다. 금속 용탕을 미리 준비한 후 금속 입자 또는 분말을 추가로 용탕에 장입하는 용해방식을 도입하였으며, 텀텡 방식 및 턴테이블형 주형 도가니를 갖추어 생산성을 높였다. 이를 이용하여 실험실규모 및 공학규모의 잉곳주조장치를 제작하였고, 성공적으로 잉곳을 주조하였다. 이러한 결과는, 연속식 우라늄 잉곳주조공정을 통하여 우라늄 잉곳의 생산성을 획기적으로 개선할 수 있음을 보여주고 있다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부에서 주관하는 원자력 중장기계획사업의 일환으로 수행 하였습니다.

5. 참고문헌

- [1] 한국방사성폐기물학회, 2010년 추계학술발표회 논문요약집, pp.287-288, 2010.
- [2] Journal of Korean Radioactive Waste Society, Vol. 8, No. 1, pp.85-89, 2010.