

## Lab. scale 우라늄 전착물 잉곳제조 장치 제작 및 시운전 경험

이윤상, 조춘호, 김용수, 이성호, 이한수  
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150  
 yslee@kaeri.re.kr

### 1. 서론

사용후핵연료의 건식처리 공정은 금속상의 사용후핵연료를 전해 정련하여 순수한 우라늄을 회수하는 공정으로서, 전해 정련 시 음극에 생성되는 우라늄은 수지상 형태이다. 따라서 우라늄의 중간 저장 혹은 재활용을 위해서는 회수된 우라늄 전착물을 잉곳형태로 제조할 필요가 있다. 이 연구에서는 이러한 우라늄 전착물을 잉곳형태로 제조하기 위한 잉곳주조 장치의 설계 개념 및 운전 경험을 소개하고자 한다.

### 2. 잉곳주조 장치의 설계 개념

우라늄잉곳 주조장치는 염 증류장치에서 회수된 금속우라늄 전착물을 녹여 잉곳 형태로 제조하는 장치이다. 우라늄의 용점은 1132 °C로서 유도가열 방식으로 도가니에 장입된 전착물의 온도를 1132 °C 온도보다 높은 약 1300 °C로 승온시켜 용탕이 주형으로 주입 중 충분한 열을 가지고 흐를수 있도록 가열한 후 주형에 주입하여 원하는 형태의 잉곳으로 주조하게 된다.

미국에서는 Batch 형태로 전착물을 한 도가니에 넣고 용해 후 도가니 냉각으로 한번에 우라늄 잉곳을 1개 생산하고 있으나, 우리가 제안한 연속식 우라늄 잉곳 주조 장치는 도가니에 연속하여 전착물을 장입할 수 있으며, 도가니에서 전착물을 용해한 후, 도가니를 기울여(Tilting), 주형에 출탕하여 우라늄 잉곳을 연속적으로 생산하며, 잉곳 생산 효율이 높은 장치이다.

그림 1은 잉곳주조장치의 개념도로서 원료 공급 장치는 컵 형태로 되어 있으며, 상부에서 전착물이 이 컵에 떨어트린 후 공압 실린더로 컵을 도가니 상부로 이동시킨 후, 도가니 상부에서 컵을 기울여 원료를 장입한 후 도가니를 고주파 유도 가열 방식으로 가열시킨다. 이 전착물이 용해되면 도가니 아래에 위치한 주형에 용탕을 주입한다. 이 장치는 실험실용 규모로 제작하였기 때문에 주형을 연속으로 꺼내는 장치는 장착하지 않았다. 주형에 주입한 용탕이 냉각되어 잉곳이 되면, 도가니와 주형이 매달려 있는 진공 챔버 문을, 글로브 박스 내로 이동시킨 후, 주형에서 잉곳을 꺼낸 후 Antechamber로 내려 보낸다. Antechamber 앞문을 열고 잉곳을 밖으로 꺼내면 작업이 완료된다.

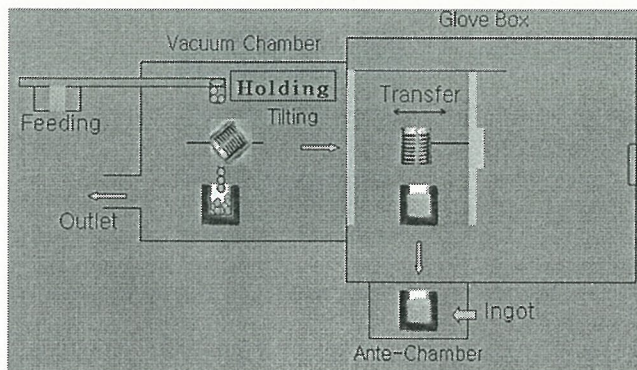


Fig. 1. Schematic diagram of ingot casting equipment.

### 3. 제작된 잉곳주조 장치의 성능 평가

잉곳주조장치의 성능평가를 위해 잉곳주조장치의 도가니, 주형 및 진공 챔버 내부 4곳 등 모두 6곳에 열전대를 설치하고, 발전기의 출력을 10 ~ 15 kW로 변화시키면서 장치의 성능을 평가하였다. 우리는 열용량이 Cu의 약 1/3 정도되며, Cu보다 더 잘 가열된다. 비중은 구리의 약 2.1배로 잉곳제조장치의 성능평가를 위해 Cu 약 1.5 kg을 장입하였는데, 이는 우라늄 약 4.5 kg에 해당하는 열을 필요로 한다.

그림 2와 같이 열전대를 설치하고, 고주파 발전기의 출력을 10 kW로 가열시험 한 결과 도가니 온도가 955 ℃까지 천천히 승온되었으며, 이 온도 이상 올라가지 않아 15 kW로 출력을 올렸는데, 승온 속도가 빨라지면서 파이프미터로 측정된 용탕의 온도가 1180 ℃가 되어 이 온도에서 도가니를 틸팅시켜 주형에 주입하였다. 이러한 실험 중 각 열전대의 최대 온도는 그림 3과 같이 진공챔버 상부에서 10 cm 하부에 위치한, 즉 도가니 뚜껑 상부에 위치한 열전대의 온도는 약 210 ℃, 그림에서 챔버 좌측 상부, 챔버 벽쪽에서 20 cm 안으로 들여 설치한 열전대의 온도는 142 ℃, 좌측 챔버 벽쪽에서 20 cm 안으로 들여 설치한 열전대의 온도는 95 ℃, 그리고 배기구 쪽으로 챔버 뒤쪽으로 챔버 벽쪽에서 20 cm 안으로 설치한 열전대의 온도도 95 ℃로 측정되었다. 주형 가열장치에 가열시키지 않을 경우 최대 60 ℃가 되었다. 주형 가열장치는 최대 700 ℃까지 가열할 수 있는 heater가 설치되어 있다.

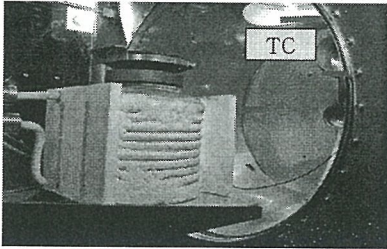


Fig. 2. Photograph of induction crucible, and locations of installed thermocouples.

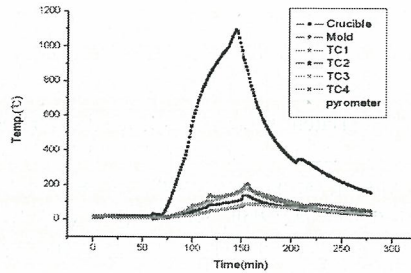


Fig. 3. Temperature profile of heating experiment with Cu ingot.

Cu 용탕을 도가니를 기울여 후연 주형에 주입하였는데, Cu 용탕이 원활이 주입되었다. 주형에서 잉곳을 분리하기 위해 글로브 박스 밖으로 주형을 빼내, 주형을 뒤집어 충격을 주면 쉽게 잉곳을 회수할 수 있었다. 회수한 잉곳은 그림 4와 같다.



Fig. 4. Cu Ingot cast with ingot casting equipment.

### 4. 결론

이와 같이 Cu를 사용한 실험의 결과로 판단할 때, 연속장입 및 틸팅에 의한 용탕 주입과 같은 방법을 사용하면 외국에 비해 생산성을 높일 수 있다.