

전산모사를 이용한 잉곳주조 용탕의 응고거동 분석

강희석, 장준혁, 이한수, 김정국

한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 989번길 111

hskang1@kaeri.re.kr

1. 서론

한국원자력연구원에서는 우라늄 잉곳주조의 효율성을 극대화하기 위하여 연속식 잉곳주조공정을 개발하였으며, 실험실 규모의 주조장치를 제작하여 실험조건을 확립하기 위한 연구를 수행하고 있다 [1,2]. 이와 더불어 우라늄 처리 용량을 최대화하기 위하여 50 kgU/batch 용탕의 공학규모 연속식 우라늄 잉곳주조장치를 개발하기 위한 연구를 병행하고 있다. 하지만, 아직까지 잉곳주조 과정 중 용탕의 유동 및 응고거동에 대한 연구가 미비하여 출탕 및 응고조건을 확립하는데 어려움을 겪고 있는 실정이다. 본 연구에서는 컴퓨터 전산모사 프로그램(AnyCasting)을 도입하여 몰드의 예열온도, 용탕의 온도, 출탕속도에 따른 응고거동을 분석하였다. 이 결과를 바탕으로 수축공의 크기를 최소화하여 고품질의 우라늄 잉곳을 얻을 수 있는 공정조건을 확립하고자 하였다.

2. 본론

2.1 컴퓨터 전산모사

몰드 도가니의 예열온도, 용탕의 온도, 출탕속도에 따른 응고거동을 분석하기 위한 컴퓨터 simulation software로 AnyCasting을 도입하였다. 그림 1과 같이 주형을 설계하여 Modeling에 사용하였다. 용해물질로 우라늄과 금속특성이 비슷한 Cu를 선정하여 simulation을 진행하였다.

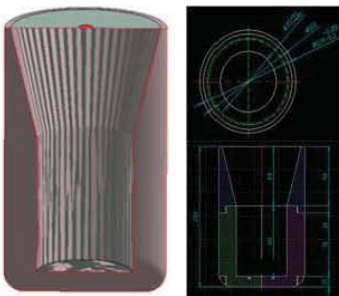


Fig. 1. A schematic diagram of mold crucible.

2.2 몰드예열온도의 영향

용탕의 온도를 Cu의 용점(1083°C)보다 높은 1300°C로 설정하고, 몰드 도가니의 온도를 300°C와 400°C로 설정하여 simulation을 수행하여 그 결과를 살펴보았다. 그림 2(a)는 몰드온도에 따른 응고순서를 도시한 결과이며, 그림 2(b)는 응고결과 형성된 수축공의 분포 및 크기를 예측한 결과이다. 몰드의 온도가 낮아짐에 따라 급속응고가 진행되어 수축공의 길이가 증가함을 확인할 수 있었다(48.8→52.4%). 품질이 우수한 잉곳을 얻기 위해 수축공의 하부 이하만을 절단하여 회수할 필요가 있기 때문에, 수축공의 크기를 최소화 할 필요가 있다. 따라서 몰드의 예열온도는 400°C 이상으로 유지할 필요가 있음을 확인하였다.

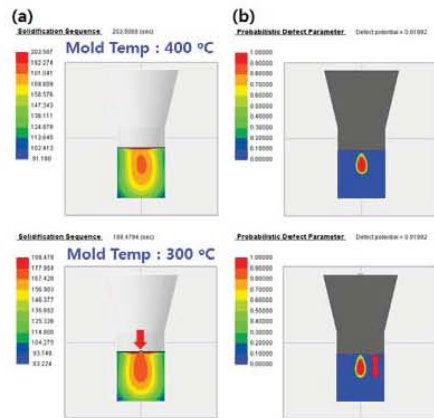


Fig. 2. (a) Solidification sequence and (b) distribution of shrinkage for various temperature of mold.

2.3 용탕온도의 영향

몰드 도가니의 예열온도를 400°C로 일정하게 유지함을 가정하고, 용탕의 온도를 Cu의 용점(1083°C) 이상인 1100, 1200, 1300, 1400°C로 각각 설정하여 simulation을 실시하였다. 용탕의 온도를 1100°C로 설정하였을 경우, super-heating 정도가 작아 몰드 안에서 불규칙한 모양으로 응고됨을 확인할 수 있었다. 용탕의 온도를 1200°C 이상으로 설정하였을 경우의 결과를 그림 3에 도시하였다. 그림 3(a)는 다양한 온도의 용탕에서 시간에

다른 용고순서를 도시한 결과이며, 그림 3(b)는 용고결과 형성된 수축공의 분포 및 크기를 예측한 결과이다. 이 결과로부터, 용탕의 온도가 높아질수록 표면용고가 진행되어 수축공이 잉곳의 내부에 생성되는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 품질이 우수한 잉곳을 얻기 위한 용탕의 온도는 1200°C 부근이 적절할 것으로 판단되었다.

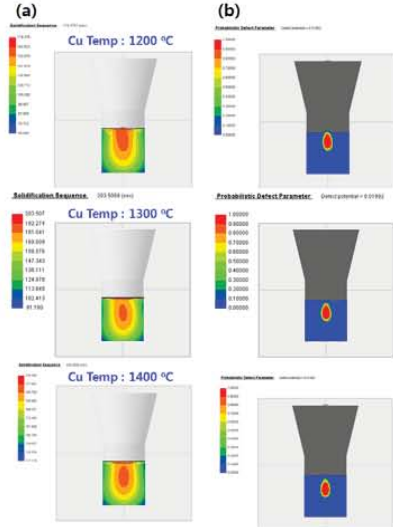


Fig. 3. (a) Solidification sequence and (b) distribution of shrinkage for various temperature of molten Cu.

2.4 출탕속도의 영향

용탕의 온도를 1300°C, 몰드의 온도를 400°C로 설정하고 출탕속도를 그림 4와 같이 변화하여 용탕의 용고거동을 살펴보았다.

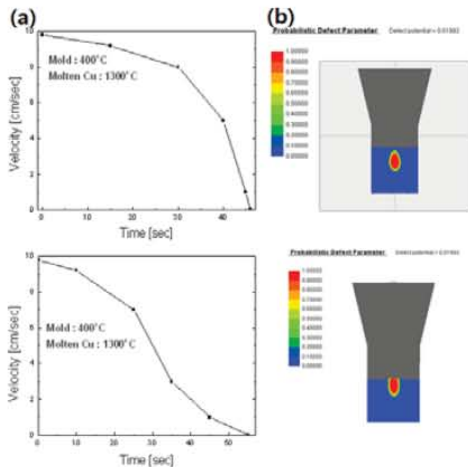


Fig. 4 (a) Injection behaviors of molten Cu and (b) corresponding distribution of shrinkage.

그 결과 용탕의 주입속도가 선형에 가깝게 줄어들 경우 수축공이 월등히 작아지는 것을 확인할 수 있었다(48.8→44.5%). 따라서 수축공의 크기 및 분포가 용탕의 주입거동에 민감하게 변하는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결론

본 연구에서는 컴퓨터 전산모사를 통하여 몰드의 예열온도, 용탕온도, 출탕속도에 따른 용탕의 용고거동을 분석하여 다음의 결과를 확인할 수 있었다.

- Mold의 예열온도가 높을수록 cavity가 감소되었다.
- Cu의 용탕에 관해서는 1200°C 부근으로의 super-heating이 수축공을 감소시키는 요인으로 작용하였다.
- 용탕 주입 방법에 따라서 cavity의 형성 거동이 민감하게 변하는 경향을 보였다.

이러한 몰드의 예열온도, 용탕의 온도, 출탕속도에 따른 용고거동의 분석결과는 잉곳구조장치의 운전조건을 확립하는데 크게 기여할 것으로 판단되었다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부에서 주관하는 원자력중장기계획사업의 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.