

U-7Mo 및 U-7Mo-1Ti 분말 표면의 Nitride 코팅장치 개념 분석

이선용, 김우정*, 류호진*, 박종만*, 이윤상*, 원종호

충남대학교, 대전광역시 유성구 대학로 99

*한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

lsy7648@kaeri.re.kr

1. 서론

고성능 연구용 원자로에 적용하기 위해 고밀도의 U-Mo/Al 분산 핵연료가 개발되었으나, 조사 중 U-Mo 핵연료 분말 입자와 Al 기지와 반응으로 인하여 입자 표면에 형성되는 반응층은 핵연료의 성능저하는 물론 열전도도의 감소 및 팽윤 등의 문제들을 유발한다. 이와 같은 이유로 최근 반응층 형성을 억제시키는 방법에 관한 연구가 진행되고 있으며, 그 결과 Al 기지에 소량의 Si를 첨가하여 반응층의 부피를 줄이거나 U-Mo 분말 표면에 Si를 코팅하여 반응층이 형성되는 것을 방지하는 효과에 관한 연구 결과가 보고되고 있다[1]. 그러나 분산 핵연료에 Si를 첨가하는 것은 열전도도의 감소 및 조사 후 재처리가 안되거나 비용이 많이 드는 문제를 갖고 있다.

한국원자력연구원에서는 U-Mo 분말 표면에 반응층 형성을 억제하는 효과를 가져 올 것으로 기대되는 질화물 코팅층을 형성시키고자 고온 진공 열처리로 U-7wt%Mo 또는 U-7wt%Mo-1wt%Ti 분말이 담긴 zirconia 도가니를 삽입한 후 약 10^{-6} torr/1000°C의 조건에서 질화 처리를 수행하는 장치를 개발하였고, 이를 이용하여 질화물 코팅층의 성능에 관한 연구를 진행하고 있다[2,3]. 하지만, 현재 개발된 장치는 U-Mo 분말 표면에 질화물 코팅을 위해 N₂가스 주입 시 U-7Mo 분말과의 접촉 시간이 U-Mo 분말 사이즈에 따라 차이가 있고, 도가니와 열처리로 사이의 미세한 틈사이로 U-7Mo 분말이 새어나가 도가니 이외의 외부 오염이 우려된다. 또한, 장치 구조상 용량이 작은 열처리로에서 코팅이 이루어지기 때문에 1 batch에 약 40g 정도의 U-Mo 분말만 장입하여 코팅할 수 있다는 단점을 갖고 있다.

따라서, 본 연구에서는 위와 같은 기존의 질화물 코팅 장치가 갖고 있는 문제점들을 보완하여 보다 안전하고, 균일한 코팅층을 갖는 양질의 질화물 코팅 U-Mo 핵연료 분말을 대량으로 생산하기 위해 블로잉 방식의 장치를 Solid Works 프로

그램을 사용하여 설계하였다.

2. 실험방법

본 연구는 원심분무법으로 제조된 U-Mo 분말의 표면에 반응층 형성을 억제하는 효과를 가져 올 것으로 기대되는 질화물을 코팅시키는 장치를 보완하고 수정하여 기존의 장치보다 고효율, 고성능의 장치를 개발하는 것을 목적으로 진행되었다.

Fig.1은 기존의 질화물 코팅 장비에 대한 전체적인 이미지(a)와 분말 장입장치(b)의 세부 이미지이다. Fig.1 (a)에서 보는 바와 같이 크게 열처리로와 열처리로를 회전 시켜주는 회전장치, 그리고 진공 펌프로 나눌 수 있다. 코팅 작업 시 회전장치는 약 30rpm의 속도로 열처리로를 회전 시켜주며, 열처리로는 진공상태에서 약 1000°C까지 승온시켜 실험을 진행 하였다. 진공은 기본 10^{-6} torr를 유지하고, 작업 시에는 N₂가스를 약 80 sccm으로 흘려 보냄으로써 진공도를 10^{-3} torr의 상태로 유지하면서 코팅을 하였다.

위와 같은 방법으로 제조된 코팅 분말은 주사전자현미경(SEM)을 통해 코팅층의 두께 및 균일한 형성 상태를 확인하였다.

또한, 기존의 장치가 가지고 있는 단점을 보완할 수 있도록 블로잉 방식을 갖는 새로운 개념의 질화물 코팅처리 장비를 상용 프로그램인 Solid Works를 사용하여 개념 설계하였다.

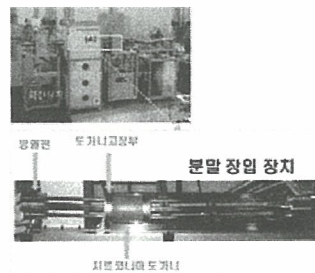


Fig. 1. (a)Nitride coating system; (b)powder loading part.

3. 결과 및 분석

Fig.2는 기존의 질화물 코팅 장치를 이용하여 U-Mo 분말 표면에 코팅층을 형성시킨 분말의 SEM 이미지이다. 분말은 약 90~150 um의 크기를 갖고 있으며, 원형의 U-Mo 분말 형태를 그대로 유지한 상태에서 약 1~2 um의 두께를 갖는 질화물 코팅층이 형성되어 있는 것이 관찰되었다. 열처리 로를 회전시킴으로써 분말 표면 전체에 고르게 N₂가스의 확산에 의한 질화물 코팅층이 형성된 것을 확인 할 수 있다.

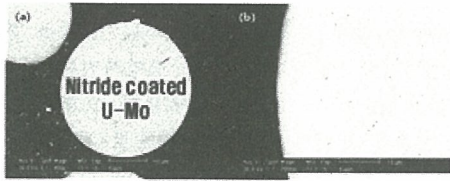


Fig. 2. SEM images of nitride coated U-Mo particles.

Solid Works 프로그램은 장비의 설계 및 도면을 그리는 상용 프로그램으로 블로잉 방식을 갖는 질화물 코팅장치의 개념 설계도를 그리는 데 사용되었다. Fig.3은 초기의 블로잉 개념을 도입한 개념도로 기존의 장치에 비해 U-Mo 분말이 열처리 로 안에서 회전에 의해 발생하는 손실 및 불균일한 혼합을 제어할 수 있도록 설계 되었다. 그러나 질화물 코팅 작업 시 열처리 로 전체에 균일한 열전달의 한계가 있고, 하부에서 N₂가스를 이용하여 분말을 블로잉 할 때 분말의 손실이 우려되어 Fig.4 (a)와 같이 하부에 망을 설치하여, 분말의 손실을 최소화 하도록 재설계 되었다. 또한, 열 전달의 문제는 Fig.4 (b)와 같이 기존의 원뿔형의 열처리로를 원통형으로 교체 함으로써 최소화 하도록 설계 하였다.

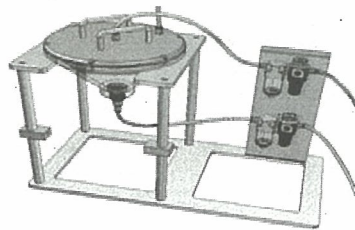


Fig. 3. A conceptual design of fluidized bed type nitride coating equipment.

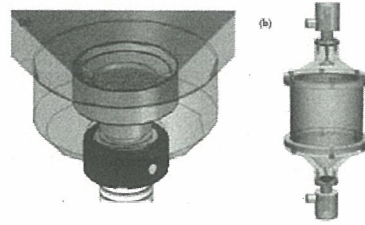


Fig. 4. The modified design of fluidized bed type nitride coating equipment.

4. 향후 연구방향

질화물 코팅 방법 중 유동층(fluidized bed) 반응로, 로터리 반응로, 임펠러 반응로 등의 개념을 비교 분석하고 장단점을 평가하고자 한다. 비교 분석을 위해 고려하여야 할 항목은 다음과 같이 도출하였다.

- Batch 당 코팅 분말 용량
- 코팅의 건전성 및 균질도
- 코팅 효율 및 반응가스 소모량
- 우라늄 분말 회수율

5. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 원자력 연구개발 사업의 지원으로 수행되었습니다.

6. 참고문헌

- [1] H.J.Ryu et al., Nuclear Engineering and Technology, 43 (2011) 159.
- [2] J.S.Park et al., 한국원자력학회, 2011년 춘계학술발표회, 태백, 5.26-27, 2011.
- [3] J.H.Yang et al.,RRFM-2011, Rome, Italy, 2011.