소형 산화 장치를 이용한 공급 유량별 UO_2 Pellet 산화 연구

엄재법, 김영환, 윤지섭, 정운관*
한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지
*조선대학교, 광주광역시 동구 서석동 375번지
demo3195@naver.com

요약

사용후핵연료 차세대관리공정에서는 UO_2 펠렛을 균질화된 U_3O_8의 분말 형태로 되어야만 금속전환공정에서 반응효율을 높일 수 있다. 본 연구에서는 실증용 건식분말화 장치에서 분말의 비산을 방지하면서 산화 효율을 최대한 높일 수 있는 최적 조건을 찾는데 있다고 할 수 있다. 본 연구의 실험에서 UO_2 펠렛(약 90 g)에 유량별 공정 변수를 주어 최적화된 산화 조건을 조사하였다. 그 결과, 500 ℃ 에서 유량은 이론 산화량의 2배(1640 cc/min)의 조건에서 최적의 산화 효율을 보여주었다. 따라서 본 연구에서 실증용 건식분말화 장치의 비산을 방지하면서 산화 효율을 최대한 높일 수 있는 최적 유량을 결정하였다.

1. 모의실험장치

UO_2 펠렛을 이용하여 산화 실험을 하기 위해 Fig 1처럼 실험장치를 제작하였다. 모의실험용 장치의 재질은 SUS 304L이며, 높이 210 mm x 지름 100 mm의 원통형의 장치와 온도 조절 제어 Thermocouple와 프로그램 상으로 읽는 Thermocouple, 실증용 장치에서는 모터를 구동시켜서 산화 시간을 단축하고, 99 %이상의 회수율을 얻어내며 모의실험용 장치에는 Impeller와 Handle을 설치하여 유사한 조건을 만들었다.

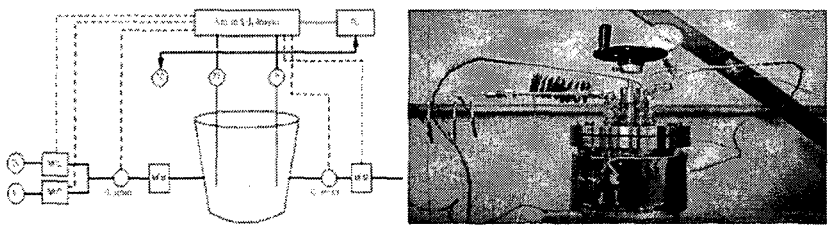

Fig 1. The outline plan and the equipment of a mock test of the vol-oxidation.

2. 실험방법 및 고찰

모의 소형 산화 장치를 이용하여 UO_2 펠렛 산화 연구에서는 조사되지 않는 CANDU형 천연우라늄을 빠른 시간에 최대한의 비산을 막으면서 최적의 산화 유량을 찾기 위해 500 ℃의 고온에서 유량의 변화를 주면서 산화 실험을 수행하였고, UO_2 Pellet 5개의 완전 산화를 위해 필요한 공기량은 아래 표를 근거로 520 cc/min로 설정하였다.

UO_2 분자량은 270.02이다. 따라서 UO_2 Pellet 1개(18.26 g)는 0.0666b mol에 해당한다. $UO_2 + 1/3O_2 \rightarrow 1/3U_3O_8$이며, UO_2 1 mol의 산화에는 1/3 mol의 산소가 필요하고, 결국 UO_2 Pellet 1개의 산화에는 0.0222 mol의 공기가 요구된다. 이상 기체로 가정하면 1 기압 298 K에서 이상기체 1 mol은 22.4 ℓ이고, 산소는 보통 공기 중에 21 %를 차지한다. 따라서 21/100 x 0.0222 mol x 22.4 ℓ x 5 = 520 cc의 공기가 소요된다.

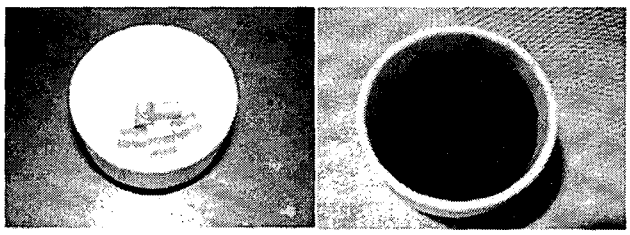

Fig 2. UO_2 Pellets used in a vol-oxidation test and U_3O_8 powers after a vol-oxidation.

각 실험의 시편을 채취한 후, TGA(Thermogravimetric Analysis) 및 XRD(X-ray Diffraction)으로 U_3O_8 분말을 확인하였다. Fig 3은 완전 산화 유량의 약 2배인 조건에서 산화 최단 시간을 보여줬으며 99.9 %의 β-U_3O_8의 분말을 얻을 수 있었다. 또한 최종적 산화 반응물인 U_3O_8의 TGA 결과와 XRD 결과를 보여준 것이다.

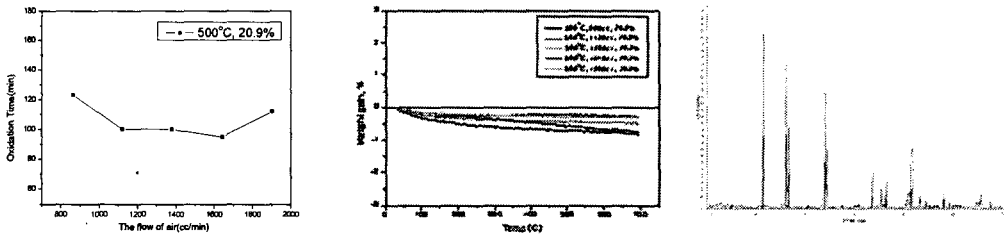

Fig 3. The result of an oxidation time and a XRD and TGA analysis in a vol-oxidation.

3. 결론

본 연구에서는 소형 산화 장치를 이용하여 UO_2 펠렛의 산화 실험을 수행하였고 UO_2 펠렛을 공급 유량별 산화 실험하여 TGA분석 및 XRD분석 결과 U_3O_8의 99.9 %가 분말화 되었음을 알 수 있었다. Vol-oxidation 공정의 안전성과 경제성 그리고 산화시간의 최소화 등을 고려하여 500 ℃에서 완전 산화량의 약 2배(1640 cc/min)의 조건에서 비산을 방지하는 최적화 점을 찾아내었다.

향후 대용량(20 kg/batch)의 UO_2 펠렛의 산화를 위해 최적 유량을 바탕으로 한 산화 온도 및 O_2농도 등의 다른 공정 변수를 두어 산화 최단 시간을 알 수 있는 연구를 수행할 예정이며 이로서 실증용 건식분말화 장치 운전의 기본 데이터로 이용될 수 있을 것으로 본다.