

고온진공 회전로형 휘발성 산화실험 장치제작

이재원, 조광훈, 이영순, 이해원, 박장진
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
niwlee@kaeri.re.kr

1. 서론

고온 휘발성 산화공정은 크게 약 400~700°C에서 산화탈피복을 통해 핵연료 펠렛 또는 분말덩어리를 산화하여 분말화 하는 단계와 1000~1200°C, 약 1 torr 이하의 진공에서 입자조절 및 휘발성 핵분열생성물을 제거하는 단계로 구성되어 있다. 진공상태에서는 휘발물질이 응축되지 않으며 휘발속도가 빨라서 휘발시간을 단축시킬 수 있다. 고온 1000~1200°C에서 진공을 유지한 상태에서 회전로형을 이용하여 핵분열생성물을 제거한 예가 없다. 또한 한국원자력연구원에서 개발한 핵분열생성물 배기체 포집기술은 고온화학흡착법에 의한 것으로 회전형 산화휘발장치와 고정형 배기체 포집장치간의 배기체의 응축을 방지할 필요가 있다. 전해환원공정에서 산화우라늄의 분말형태는 전해환원 반응속도와 충진율을 높이기 위해서는 미소결정들이 화학적으로 결합하여 다공성이 있는 구형 응집체 형태가 바람직 할 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 산화우라늄분말의 입도제어가 가능한 고온진공 회전형 휘발성 산화실험 장치를 제작하였다. 또한 고정형 알루미늄 관형로와 U_3O_8 분말을 이용하여 입도제어 가능성을 실험하였다.

2. 고정형로와 U_3O_8 분말 이용 입도제어 가능성 실험

단순하게 열처리를 하여 입자성장이 가능한지 확인하기 위해서 고정 수평형 알루미늄 관형로를 이용하여 공기분위기 및 진공하에서 연소도 80,000MWd/tU에 해당하는 $(U_{0.963}Nd_{0.037})_3O_8$ 분말의 입자성장을 관찰하였다. 공기분위기하 온도 500~1200°C에서 입자성장을 SEM으로 관찰한 결과를 그림 1에 나타내었다. $(U_{0.963}Nd_{0.037})_2O_2$ 소결체를 500°C에서 산화처리 하여 생성된 분말은 "Pop Corn" 형상을 보이며(그림 1.(a)), 900°C에서의 입자형상은 500°C에서와 같은 거친 표면은 없어지나 한 개의 입자내에 균열에 의해 생성된 미세입자들이 붙어 있는 형태를 그대로 유지한다(그림 1.(b)). 그러나, 1000°C에서는 이러한 미세입자들이 각각 하나의 등근 입자로 변형되며 목형성(neck formation)에 의해 입자성장이 시작되며(그림 1.(c)), 1100°C 이상에서는 온도가 증가됨에 따라서 표면에너지가 낮추기 위해서 입자는 비교적 원형에 가까우며, 치밀한 표면을 가진다(그림 1.(d)). 또한 온도증가에 따라서 입자가 보다 크게 성장함을 알 수 있었다. 진공하에서도 $(U_{0.963}Nd_{0.037})_3O_8$ 분말의 입도성장이 가능한지를 알아보기 위해서 $(U_{0.963}Nd_{0.037})_3O_8$ 분말을 1 torr의 진공을 유지하면서 상온에서 1200°C 까지 승온시켜 1시간동안 열처리를 하였다. SEM 관찰한 결과(그림 2)에 의하면 열처리 시간은 틀리지만 공기분위기와 동일하게 입자성장을 관찰할 수 있었다.

3. 고온진공 휘발성 산화실험 장치제작

200gU/batch의 SIMFUEL을 산화처리, 50 mmL 절단 핵연료 피복관 5개를 산화탈피복이 가능하도록 휘발성 산화실험 장치를 설계하였다. 휘발성 산화처리로는 약 1200°C(Inconel 재질)에서 1 torr 이하의 진공도를 만족하며, 휘발성 산화처리로의 회전속도는 최대 60 rpm 되도록 설계하였다. 그림 3.(a)은 고온진공 휘발성 산화공정 실험장치도를 나타낸 것으로 휘발성 산화처리로(산화탈피복로, 산화처리로), 산화처리로의 회전부, 진공유지 및 배기체 처리장치와 연결부, 온도센서 및 반응성 가스 주입구로 4개의 모듈 구성하였다. 회전부인 산화처리로의 진공을 유지하고 고정형인 배기체 처리장치와의 접속을 위해서 고정형 실린더(반응로 Guide)를 추가 설치하였으며, 고정형 실린더에 배관을 설치하여 배기체 처리장치와 접속하도록 하였다. 회전부와 고정부간의 진공은 가열로의 단열재 외측에 삽입된 내열성 O-ring에 의해서 유지된다. 회전부와 고정부간에 고온 내열성 베어링을 설치하여 회전부의 원활한 회전과 장치무게에 의해 생기는 응력을 분산시킬 수 있도록 하였다. 그림 4는 제작된 산화실험 장치의 사진이며, 산화처리로 내부에서 분말을 유동시켜 분말간의 접촉을 원활하여 분말입자가 성장할 수 있도록 등축방향으로 6개의 lifter blade를 설치하였다. 그림 5는 휘발성 산화실험 장치와 배기체 처리실험 장치를 연결한 고온 휘발성 산화공정 시스템을 나타낸 것이다. 두 장치의 연결부에는 휘발성 핵분열생성물의 응축을 방지하기 위해서 가

열기를 설치하였다. 분말 입도제어 실험시에는 두 장치를 분리할 수 있도록 하였다.

4. 결론

U₃O₈ 분말은 약 1000~1200℃에서 분말간에 소결에 의해서 응집되므로 고온진공 회전로형 산화실험 장치를 이용하여 분말을 회전시킬 경우, 구형에 가까운 분말이 생성될 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발 중장기 계획사업의 일환으로 수행되었습니다.

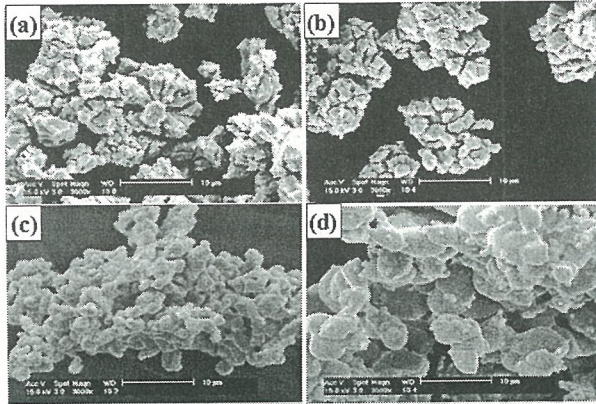


그림 1 온도에 따른 우라늄산화물 분말의 입자성장;
(a) 500°C/5hrs, (b) 900°C/16hr, (c) 1000°C/16hr,
(d) 1200°C/hr

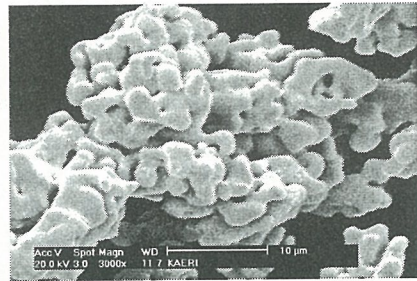
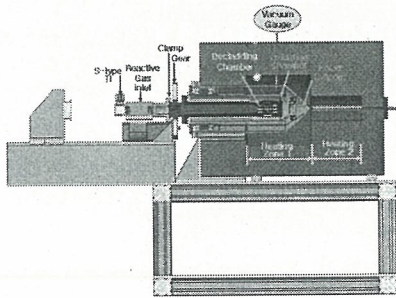
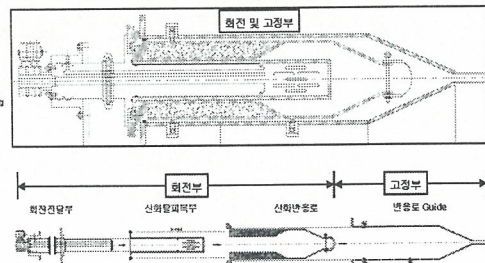


그림 2 진공분위기하에서 입자성장
(1torr, 1200°C/1hr)



(a) 전체도



(b) 회전부와 고정부

그림 3 휘발성 산화실험 장치 설계도면

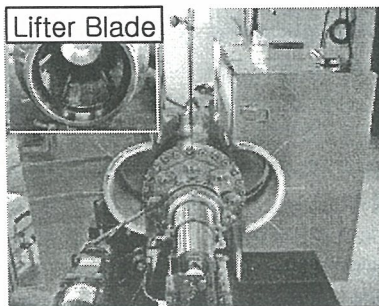


그림 4 휘발성 산화실험 장치

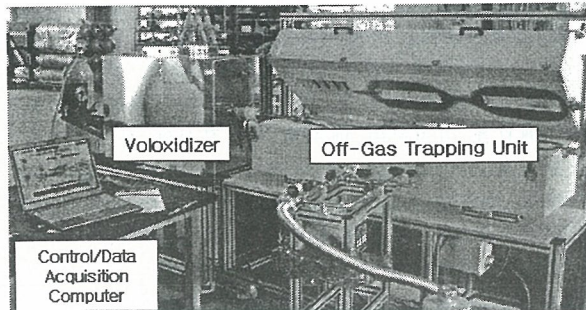


그림 5 고도 휘발성 산화공정 시스템