

금속 우라늄 부스러기의 안전한 산화처리에 관한 연구

이돈배, 김창규, 김정도, 신원철, 이윤상, 오석진, 김기환
 한국원자력 연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지
 dblee@kaeri.re.kr

금속 우라늄은 공기 중의 산소와 친화력 커서 마찰열을 동반하는 가공 중에는 쉽게 발화되며, 발생된 부스러기 저장 중에서도 자연 발화되는 사건이 빈번히 발생하고 있다. 감손 우라늄 금속의 절단, 기계가공, 분말 제조 실험 등에서 발생하는 부스러기 또는 분말은 열적으로 불안정하여 자연발화의 위험성을 항상 내포하고 있다. 따라서 이것을 안정한 상태로 보관하거나 처리하는 문제가 주요하게 대두되고 있다. 본 연구에서는 우라늄 금속 부스러기를 안정한 우라늄 산화물 형태로 변환 시켜 보관하는 방법을 모색하기 위하여 수중에서 공기를 주입하여 산화반응 시키는 방법과 진공 중에서 가열하여 산소를 공급하면서 반응시키는 방법에 대해 실험을 수행하였다. 실험 결과 진공 분위기에서 가열하여 산소 주입량을 조절하면서 반응 시키는 방법이 작업성도 안전하고 배출 가스에 의한 환경오염도 적은 산화처리 방법임을 확인하였다.

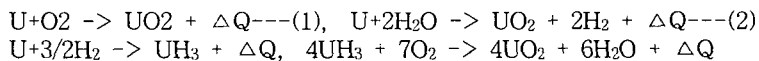
- 실험 방법

수중에서 공기를 주입하면서 반응시키는 장치를 제작하여 공기 주입속도 0.5 liter/min, 교반 회전수 1000 rpm으로 3 개월 동안 상온에서 반응시켰다. 한편 공기의 영향을 알아보기 위하여 공기 주입 및 교반 없이 같은 조건으로 반응시험을 수행하였다. 3 개월 반응시킨 후 고액 분리하여 고체를 건조시킨 후 현미경 관찰 및 조직분석을 수행하였다.

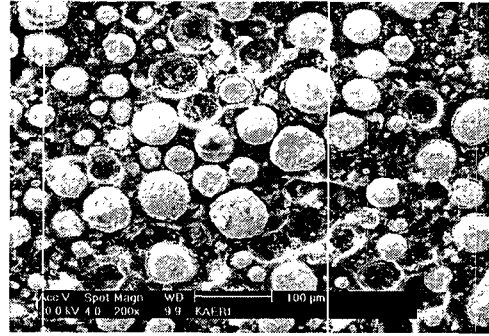
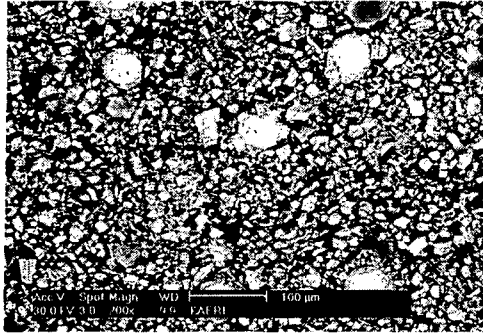
또한 수냉 jacket의 원통형 진공 chamber, PID 제어 방식의 가열장치와 온도 기록 장치, Dry pump를 갖춘 진공 시스템, 산소 공급 system으로 구성된 진공 산화 처리로를 제작하여 산화 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 시료는 연구용 원자로 핵연료 개발에 사용된 순수한 감손우라늄 분말과 기계톱에서 발생한 감손 우라늄 부스러기를 사용하였다. 시료의 양은 각각 100 g 또는 50g을 사용하였다. 산소를 주입하는 동안 heater의 온도는 각각 400 °C를 유지하도록 하였다.

- 실험 결과 및 고찰

우라늄 금속 원심분무 분말을 수중에서 반응시킨 고행물을 그림 1에 나타냈다. 공기 주입 없이 90일 동안 반응 시킨 고행 잔물은 10-20 μm 크기로 잘게 부스러진 입자로 변하였다. 공기를 주입하면서 반응 시킨 고행 잔물은 거의 구형의 입자로 존재하였고 입자 크기도 크게 감소되지 않은 것으로 나타났다. 각 고행 잔물에 대한 EDX 분석을 한 결과 미세 입자는 U₃O₈ 인 것으로 나타났고, 구형의 큰 입자는 반응되지 않은 우라늄 금속 분말로 판명되었다. 우라늄 금속에 대하여 물속에서 일어나는 반응을 다음과 같이 보고하고 있는데, 공기가 주입된 경우는 발생된 수소를 배출함으로써 산화가 완만하게 일어난 결과로 생각된다.



한편 진공 분위기에서 약 150 torr 까지 산소를 주입하고 온도를 서서히 상승 시켜 반응을 관찰한 결과, 160-170 °C에서 착화 되어 격렬하게 화염을 발하면서 산화되었다. 이 경우 기록된 최고 온도는 약 1200 °C 정도 되었다. 우라늄 분말을 진공 분위기에서 가열하여 착화 온도 이상인



a) 공기 주입 없이 반응시킨 경우

b) 공기를 주입하면서 반응시킨 경우

그림 1 원심분무 분말 시료에 대하여 90일 동안 반응 시킨 결과를 나타낸 SEM 사진

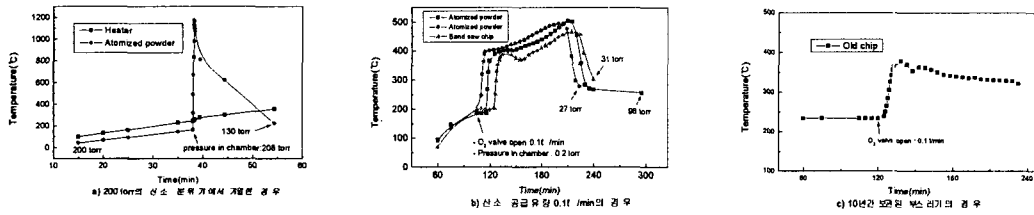


그림 2 감손 우라늄 분말 및 부스러기의 산소 주입량에 따른 산화 반응속도 및 온도 변화

189 °C에서 0.1 l/min의 속도로 산소를 주입한 경우 산소 주입이 시작되고 약 5분이 지난 후에 착화되어 약하게 발광하면서 산화되었으며 반응 최고 온도는 494°C 였다. Band saw에 의한 절단 작업에서 발생되어 2-3일 정도 경과된 우라늄 부스러기를 시료로 하여 위와 같은 산화 시험을 한 결과도 거의 같은 산화 거동을 나타냈다. 반면 장기간 보관된 우라늄 부스러기의 산화실험에서는 빛을 발하며 연소되는 상황은 발생되지 않고 서서히 반응이 진행되는 것으로 나타났다. 온도 상승폭도 약 150 °C 정도로 fresh한 우라늄 부스러기 인 경우의 온도 상승폭 약 300 °C보다 월등히 작았다. 반응 완료 시점으로 생각된 온도 하강 시점까지의 경과시간이 약 20 분 정도로 fresh한 우라늄 부스러기인 반응 시간 90보다 보다 매우 짧았다. 이 결과는 수중에서 오랫동안 보관하면서 서서히 물과 반응하여 우라늄 부스러기 대부분 산화된 때문인 것으로 생각된다.

- 결론

수중에서 공기를 주입하면서 반응 시키는 방법은 산화 속도가 완만하였다. 이것은 주입 공기가 우라늄 금속이 물과 반응하여 생성되는 수소를 축출하는 현상에서 기인하는 것으로 추정된다.

산소 가스로 산화시키는 실험을 통하여 순수한 우라늄 분말이 산소와 반응하여 착화되는 온도는 약 160-170 °C인 것으로 측정되었다. 산소가 충분히 공급되면 화염을 동반하는 격렬한 연소현상을 나타내지만 산소 공급 속도를 억제함으로써 완만하게 연소되는 현상을 나타냈고 온도 상승폭도 대폭 감소되었다. 장기간 물속에서 보관된 우라늄 부스러기는 대부분 산화가 상당히 진행되어 완만한 반응을 보였으며 온도 상승폭도 작았고 반응시간도 보관 시간이 짧은 우라늄 부스러기의 반응시간 보다 월등히 짧았다.

따라서 진공분위기에서 건조 후 착화 온도 이상으로 가열시켜 산소 주입량을 조절하여 서서히 산화 시키는 방법이 안전하고, 배출 연소 가스로 인한 환경오염 우려가 없는 우라늄 부스러기 산화처리 방법인 것으로 생각된다.