

Manufacture of the vol-oxidizer with a capacity of 20 kg HM/batch in UO₂ pellets using a design model

설계 모델을 이용한 UO₂ 펠릿 20 kg HM/batch용 분말화 장치 제작

Young-Hwan Kim, Ji-Sup Yoon, Jae-Hoo Jung, Dong-Hee Hong and Jae-Beop Uhm

Korea Atomic Energy Research Institute, 150 Duckjin-dong, Yuseung-Gu, Daejeon

yhkim2@kaeri.re.kr

김영환, 윤지섭, 정재후, 홍동희, 엄재범

한국원자력연구소, 대전시 유성구 덕진동 150번지

(Received August 3, 2005 / Approved August 8, 2006)

Abstract

Vol-oxidizer is a device to convert UO₂ pellets into U₃O₈ powder and to feed a homogeneous powder into a Metal Conversion Reactor in the ACP(Advanced Spent Fuel Conditioning Process).

In this paper, we propose a design model of the vol-oxidizer, develop the new vol-oxidizer with a capacity of 20 kg HM/batch in UO₂ pellets, and conduct a verification for the device. Design considerations include the internal structure, the capacity, the heating position of the device, and the size. The dimensions of the new vol-oxidizer are decided by the design model. We determine a permeability test of the U₃O₈ measuring the temperature distribution, and the volume of UO₂ and U₃O₈. We manufactured the new vol-oxidizer for a 20 kg HM/batch in UO₂ pellets, and then analyzed the characteristics of the U₃O₈ powder for the verification. The experimental results show that the permeability of the U₃O₈ throughout mesh enhance more than old vol-oxidizer, the oxidation time takes only 8 hours when compared with the 13 hours of the old device, and the average distribution of particle size is 40 μ m. The capacities of new vol-oxidizer for a 20 kg HM/batch in UO₂ pellets were agree well with the predictions of design model.

Key Words : UO₂ pellet, Oxidation, U₃O₈, Design model, Demonstration, Vol-oxidizer, Mesh

요약

UO₂ 펠릿 20 kg HM/batch용 분말화 장치는 차세대관리 공정의 금속전환로 안으로 균질화된 분말을 공급하기 위하여 UO₂ 펠릿을 산화하여 U₃O₈으로 분말화하는 장치이다. 본 연구에는

UO₂ 펠릿 20 kg HM/batch용 분말화 장치 설계모델을 제시하고, 실증용 분말화 장치를 제작하여 검증실험을 수행한다. 분말화 장치 설계모델은 내부구조, 성능, 가열로 위치와 크기 등이 고려된다. 실험 방법은 UO₂ 펠릿 20 kg HM/batch용 분말화 장치 설계 모델에 따라 기존의 3단 메시 분말화 장치를 이용하여 분말의 메시 투과시험과 온도변화 특성 실험을 하여 장치 내부구조를 결정한다. UO₂ 펠릿 20 kg HM/batch의 산화 반응도 실험과 가열로 위치별 온도 분포를 측정하고 장치의 성능과 가열로의 영역 위치를 결정한다. 장치 크기를 결정하기 위하여 산화전의 20 kg의 UO₂ 펠릿과 산화후의 U₃O₈ 부피를 측정한다. 이상의 결과를 토대로 실증용 분말화 장치를 설계, 제작하고, 검증을 위하여 산화도, 분말특성 및 분석 등을 수행하였다. 산화반응 실험결과에서 기존장치에 비하여 분말의 메시 투과율이 향상되었으며, 기존의 3단 메시 장치의 UO₂ 펠릿 산화시간이 13시간 소요된 것에 비하여 8시간으로 단축되었다. U₃O₈ 분말 특성 분석결과, 평균 입도가 40 μ m이었다. 제작된 UO₂ 펠릿 20 kg HM/batch용 분말화 장치 성능과 설계모델 예측 값은 대체로 잘 일치되었다.

중심단어 : UO₂ 펠릿, 분말화, U₃O₈, 설계모델, 실증용, 분말화 장치, 메시

I. 서 론

원자력 발전소의 사용후 핵연료인 방사성 폐기물량은 해마다 증가하고 있다. 이렇게 발생하는 폐기물량을 줄이고자 차세대관리 공정이 개발되고 있다. 차세대관리 공정들 중에서 금속순환로의 반응효율을 높이기 위해서 UO₂ 펠릿을 산화하여 U₃O₈ 분말을 공급하는 분말화장치가 필요하다. 그러나, 현재까지 원자력 관련 국가들의 분말화 장치 개발현황은 UO₂ 펠릿을 200 g~2 kg/batch 정도의 소용량을 처리할 수 있는 수준이다. 국내의 KAERI에서는 UO₂ 펠릿 20 kg HM/batch용 3단 메시 형태의 분말화 장치를 개발하였다[1]. 그러나 3단 메시 형 분말화 장치는 산화완료까지 13시간이 소요되며, UO₂ 펠릿 20 kg HM/batch의 대용량의 반응으로 인한 발열반응으로 온도조절이 안돼서 입도조절이 어려우며, 메시 위에 반응된 분말들이 메시지를 투과하지 못하고 남아 있어 회수율의 문제점이 있다[2]. 국의 연구동향을 보면, 미국의 SRL(Savannah River laboratory)에서는 트리티늄 제거를 위해서 경사진 형태의 분말화 장치를 제작하였고, 28,000 MWD/MTHM의 사용후핵연료 200 g/batch를 사용하여 소규모 산화 연구를 수행하였다[2]. 일본의 JAERI는 FBR(Fast Breeder Reactor)의

fuel cycle 개발 프로그램의 일환으로 1990년대 2 kgHM/batch 규모의 소형 공정장치를 개발하였고, 2005년에 재처리시험시설에 적용하기 위하여 공학 규모의 분말화 장치를 개발함에 있어서 수평형태 장치의 공기흐름에 대한 분말 산화 연구를 수행하였다[1]. 본 연구의 목적은 기존 장치에 비하여 소형이면서 대용량을 처리하고 산화효율이 높은 UO₂ 펠릿 20 kg HM/batch용 분말화 장치의 제작을 위하여 설계모델을 제시하고자 한다. 또한 설계 모델에 따라 실험결과를 반영하여 새로운 장치를 제작하고, 기존 장치에 비하여 새로운 장치의 성능을 검증하고자 한다.

연구방법은 다음과 같다. 실험순서는 먼저, 기존의 3단 메시 분말화 장치와 설계 모델을 이용하여 실험을 수행하였다. 설계모델의 첫 단계인, 장치의 내부 구조를 결정하기 위하여 분말의 메시 투과 회수율 시험과 온도변화 실험을 수행하였고, UO₂ 펠릿 20 kg HM/batch 산화반응 특성 실험과 가열로 온도분포 측정으로 장치 성능과 가열로 위치를 결정하였다. 그리고 20 kg의 UO₂ 펠릿과 산화 후 U₃O₈ 체적을 조사하여 장치 크기를 결정하였다. 이러한 실험을 토대로 실증용 장치 설계에 필요한 데이터를 확보하고, 새로운 실증용 분말화 장치를 제작하였으며, 기존 3단 메시 분말화 장치 대비하여 메시 투과 회수율, 산

화시간, 입도 등의 검증실험을 수행하였다.

II. 연구결과 및 논의

사용후 핵연료 차세대 관리공정의 금속전환로에 균질화된 분말을 공급하기 위해 실증용 분말화 장치를 제작하여야 한다. 현재 개념설계로 만들어진 3단 메시의 기존 분말화 장치를 이용하여 실증용 분말화 장치를 제작하는데 있어서 다음과 같은 조건이 따른다. 첫째 분말의 회수율이 높아야 한다. 둘째, 방사선 환경에서 작업자가 장시간 노출되지 않아야 하기 때문에 산화시간이 짧아야 한다. 셋째, 반응영역의 위치를 결정해야 한다. 넷째, 좁은 핫셀 공간에 설치하기 위하여 장치가 소형이어야 한다. 본 논문에서는 이러한 조건들을 만족하면서 UO_2 펠릿 20 kg HM/batch 용량을 처리할 수 있는 실증용 분말화 장치를 설계·제작하기 위해서 그림 1과 같이 실증용

분말화 장치의 설계모델을 제시하였다.

가. 3단 메시 형 기존 분말화 장치의 실험 및 결과

그림 2는 개념설계로 제작한 기존의 3단 메시 방법의 분말화 장치와 구조를 보여준다. 장치의 내부에는 4×4 mm(가로×세로)의 크기를 갖는 상부 메시와 2×2 mm(가로×세로)의 중간 메시, 100 μ m크기의 하부 메시를 설치한 형태이다. 기본원리는 PWR형 UO_2 펠릿(14×14 , J23, $\Phi 9.2$ mm, L 15 mm)의 20 kg이 상부 메시 위에 놓이면 500 $^{\circ}$ C로 가열하고 공기를 공급하면 산화된다. 이때 UO_2 펠릿의 산화되면서 상부 메시 크기보다 작은 알갱이는 중간 메시에 얹히고, 중간 메시 크기보다 작은 알갱이는 하부 메시에 얹히며, 최종으로 하부 메시 아랫부분에서 완전히 산화되어 하부에 있는 용기로 옮겨져 다음 공정으로 운반된다. 그림 3은 3단 메시 분말화 장치와 본 논문에서 제시된 설계모델을 이용하여 실험하는 장면이다. 기존의 3단 메시 장치의 외경은 $\Phi 850$ mm 이고, 장치높이는 1500 mm 이며, mock-up 실험실에서 산화 실험을 수행하였다.

설계모델의 제 1단계인 장치내부 구조를 결정하기 위하여 1 kg, 5 kg, 20 kg의 산화된 U_3O_8 분말을 메시에 통과시켜 통과율을 측정하였다. 투과 실험 방법은 UO_2 펠릿의 산화 종료 후, 바이브레이터의 진동값을 max. 3.4 mm/sec까지 변화를 주어 각 중량에 대해 투과정도를 관찰하였다. 그 결과, 대기 중의 수

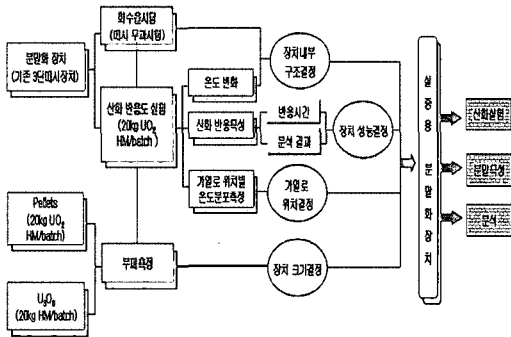


Fig. 1. Design sequence of vol-oxidizer.

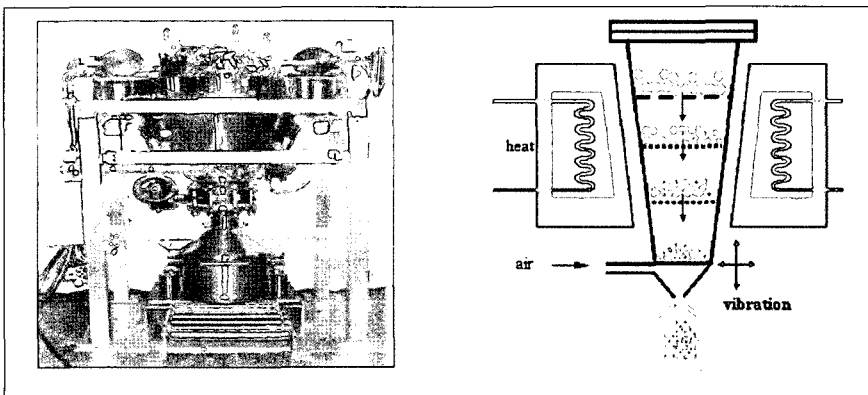


Fig. 2. Principle of the old experimental vol-oxidizer.

분으로 인하여 U_3O_8 분말이 서로 엉키는 특성 때문에 최대 진동 값에서도 그림 4-(a), (b)와 같이 상부 메시 4x4 mm(가로x세로)의 구멍 사이로 1kg의 U_3O_8 은 90%, 5kg의 U_3O_8 은 50%, 그리고 20kg의 U_3O_8 은 30% 밖에 투과되지 못하였다. 따라서 장치 내부의 메시 구조는 UO_2 펠릿의 반응 접촉 면적이 많으면서 U_3O_8 분말이 잘 통과되는 구조가 되어야 한다.

20 kg의 UO_2 펠릿을 투입한 후, 시간의 흐름에 따라 온도변화 실험을 하였다. 그림 5에서 보면 UO_2 펠릿이 산화하는 동안 온도변화는 400 ℃에서 560 ℃까지 불규칙적으로 변화를 보여주고 있다. 이런 이유는 UO_2 펠릿이 소량 산화했을 경우에 UO_2 펠릿의 발열반응으로 인한 온도변화에 큰 영향을 주지 않았으나, UO_2 펠릿이 20 kg의 대용량인 경우는 산화되면서 자체적으로 발열반응의 잠열에 의한 열 이동 때문에 온도변화에 큰 영향을 준 것으로 판단되나 초반의 온도가 500℃에서 감소하는 이유는 20 kg의 대용량이 반응 중에 분말의 쌓임 형태가 무너져 산소와 접촉되지 않았기 때문이고, 이후 온도가 발열반응으로 600℃까지 가속화된 것으로 사료된다. 따라서 장치

내부구조는 발열반응의 영향에 의한 가열로 온도조절기의 온도 조절을 용이하게 하기 위해서 분말을 일정하게 섞어 주는 구조로 설계되어야 한다.

UO_2 펠릿의 산화시간과 특성을 알아보기 위하여 산화반응 실험 장치를 그림 6과 같이 구성하여 제작하였다. 그림 중앙부분에 있는 사다리꼴 원기둥은 분말화 장치의 반응기이며, 이곳으로 O_2 와 N_2 의 혼합 반응가스를 공급하기 위하여 좌측하단의 O_2 유량 조절기(MFC : Mass Flow Controller)에서 혼합유량 12 l/m 중에 산소 40%를 흐르게 하고, N_2 유량 조절기에서 60%의 질소를 보내어 다음의 유량 조절기에서 혼합가스를 만들어 반응기로 보낸다. 이때 O_2 센서에서 입력 산소농도 값을 읽으며, 그 값이 O_2 분석기로 보내어 진다. 또한 반응기의 반응 중에 온도 값 역시 O_2 분석기로 보내지며, 반응하고 난 산소 농도 값이 반응기 출구에서 측정되어 O_2 분석기로 보내지고, O_2 분석기로부터 입력 산소농도와 출력 산소 농도 값을 비교하게 된다. 최종적으로 입력 산소농도 40%와 출력 산소 농도 40%가 같아지는 시간이 반응 종료되는 시점이 된다.

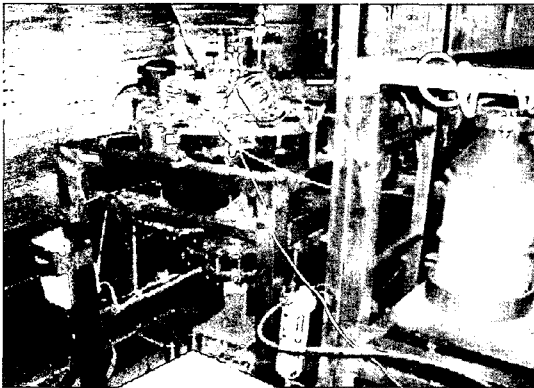


Fig. 3. Vol-oxidizer in the mock-up cell.

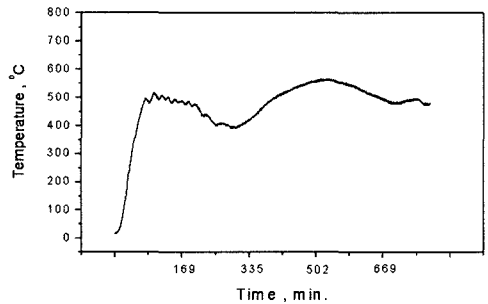


Fig. 5. The exothermic reaction of bulk mass.

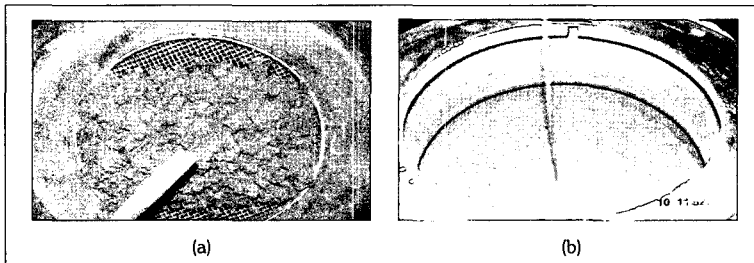


Fig. 4. Permeability test of U_3O_8 through the mesh, (a: 5kg, b: 20kg).

그림 7은 산화반응 실험 장치를 이용한 UO_2 펠릿 20 kg HM/batch의 산화실험 결과이다. 여기서 산소 농도는 40 %, 반응온도는 500 °C, 공기유량은 12 l /m 으로 하였다. 그림에서와 같이 산화시간이 펠릿 1~2개가 3~4시간 걸리는데 비하여 13시간의 긴 산화과정이 필요하였다. 그 이유는 UO_2 20 kg의 대용량으로 인하여 산소가 UO_2 펠릿과 접촉할 기회가 적었기 때문이다. 따라서 산화시간이 13시간의 많은 시간이 소요될 경우, 방사선환경에서 작업자가 위해하기 때문에 장치성능을 향상시켜 산화반응 시간이 단축되어야 한다.

차세대 관리공정의 금속전환로에서는 U_3O_8 분말이 2~60 μm 의 입도분포 범위가 되어야 한다 이는 공급분말이 20 μm 이하일 때는 공기공급에 의해서 비산될 우려가 있으며, 마그네시아 필터의 여과 성능에 영향을 미치기 때문이다. 그리고 60 μm 이상일 때는 반응접촉 면적이 작기 때문에 반응효율이 떨어지는 문제점이 있다. 따라서 그림 8과 같이 본 실험을 통하여 분석된 U_3O_8 입도분포가 평균 23 μm 으로 만족

스런 분포를 가지고 있지만, 비산가능성이 있는 20 μm 이하의 분말이 약 25% 이기 때문에 금속전환로에서 요구하는 입도분포를 만족하기 위하여 정확한 온도를 전달할 수 있는 장치에 대한 가열로의 최적 위치 등을 고려하여야 한다. 단, 여기서 입자의 길이는 입자하나의 모양에서 가장 긴 부분의 길이를 말한다.

요구되는 입도크기의 제조와 분말화 장치 가열로에 대한 히터의 적정위치를 결정하기 위하여 산화중의 각 위치에 대한 온도분포를 측정하였다. 측정 방법으로는, 기존의 3단 메시 분말화 장치의 상부 플랜지 중간과 가열로 내벽 근처에 슬라이딩 홀을 만들어 길이 40 cm의 온도 센서를 설치하여 상하로 움직이면서 각 부의 온도를 측정하였다. 상부 프랜지 하단에서 13 cm 위치를 upper, 가열로의 가장 중심부를 center, 상부 플랜지 하단에서 30 cm 부근을 low, 가열로 내벽 쪽을 side로 해서 측정하였다. 그 결과, 그림 9에서와 같이 온도범위가 상부에서는 450 °C, 중심에서는 520 °C, 하부에서는 410 °C, 내벽에서는 550 °C로 측정되었다. 이 결과들로부터 상부 메시 위

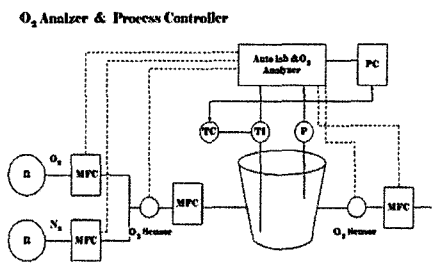


Fig. 6. Schematics of the experimentation system for oxidation.

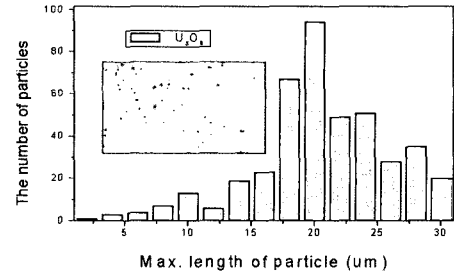


Fig. 8. Particle size distribution of the experimental vol-oxidizer (U_3O_8).

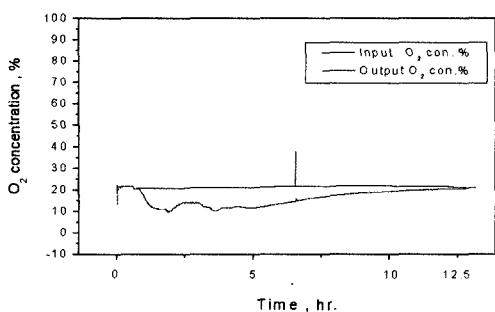


Fig. 7. Oxidation time using the experimental vol-oxidation.

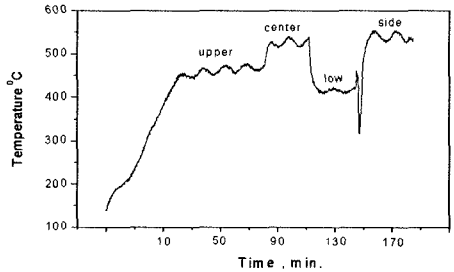


Fig. 9. Temperature at various position.

치를 가열로 중심부에 위치하여 이 부분이 반응온도 영역이 되도록 히터모듈 구조를 고려하여 설계하여야 한다.

실증용 분말화 장치의 최적 크기를 결정하기 위하여 20 kg HM/batch의 UO_2 무게를 측정하였다. 이 목적은 20 kg의 UO_2 펠릿이 상부 메시에 놓여 있을 때 상부 메시를 기준으로 가열로 상부, 하부 공간 크기를 결정하는 것이다. 측정방법으로는 체적을 알 수 있는 용기를 만들기 위해 투명한 용기에 용량을 알 수 있는 비커로 단계적으로 물을 채우면서 체적 눈금을 표시하였다. 다음은 물을 비우고 충분히 건조시켰다. 그림 10은 20 kg의 UO_2 펠릿을 담은 체적을 보여 주고 있으며, 20 kg UO_2 펠릿이 산화되고 난 후 팽창된 U_3O_8 의 부피를 보여준다. 따라서 UO_2 펠릿과 U_3O_8 의 부피 크기가 결정됨에 따라 가열로 크기 와 상부 메시 및 하부 메시 위치가 결정되었다.

나. UO_2 펠릿 20 kg HM/batch의 실증용 분말화 장치 개발

그림 11에서와 같이 기존의 3단 메시 분말화 장치와 제시된 설계모델을 이용하여 실험한 결과를 실증용 분말화 장치 설계에 반영하였다. 장치 내부구조를 결정하기 위하여 메시 투과 실험을 한 결과를 반영하여 상부메시에서 U_3O_8 분말이 잘 투과될 수 있도록 콘 형의 상부 메시를 설계하였다. 메시 크기는 7×7 mm(가로×세로) 크기의 구멍과 30°의 기울기를 가진 형태이며, UO_2 펠릿이 반응할 때 일부 산화된 분말은 아래로 떨어지고, 산화가 안 된 펠릿은 진동에 의해 큰 가운데 있는 구멍으로 떨어지는 구조로 설계를 하였다. 또한 장치 내부의 구조를 결정하기 위하

여 온도변화 실험 결과를 고려하여 설계에 반영하였다. 온도변화실험에서 UO_2 펠릿 20 kg HM/batch가 잠열과 발열반응에 의해 불규칙 변화가 발생하는 것을 방지하기 위하여 상부 플랜지 중앙을 메카니칼씰로 설계하고 그 것과 연결되는 축에 블레이드를 설계하여 분말을 혼합시킴으로써 U_3O_8 의 발열반응과 잠열을 제거하였다. 산화반응 특성시험결과를 반영하여 펠릿의 산화도 향상을 위한 구조설계를 다음과 같이 하였다. 13 시간 이상 소요되는 산화시간을 단축하기 위하여 사이클로이드 형 블레이드를 상하 두 개를 설계하고 정역회전이 가능하도록 했으며, 왕복회수가 3,800회/분의 고성능 바이브레이터를 가열로의 x, y, z 방향으로 설치되도록 설계하였다.

가열로의 최적위치에 적정온도를 전달하기 위하여 가열로 위치별 온도분포 측정결과를 설계에 반영하였다. 그 결과 상부 플랜지 하단에서 하부 분말조 질밸브 3 cm 상단까지를 히팅 영역으로 결정하고, 영역에 맞게 반달형 히팅 모듈을 설계하였다.

UO_2 펠릿 20 kg HM/batch 와 U_3O_8 의 부피를 측정하여 가열로 크기를 설계하였다. UO_2 펠릿 20 kg HM/batch의 부피는 3.7 L, U_3O_8 의 분말 부피는 10 ~ 13 L로 측정되었으며, 이 결과를 토대로 가열로 크기, 상부 메시의 형태, 메시의 크기, 메시의 위치를 설계하였다. 이상의 종합 결과를 설계에 반영하여 실증용 분말화 장치를 설계/제작 하였다.

기존의 3단 메시 분말화 장치와 제시된 설계 모델을 이용하여 도출된 설계요건을 가지고 제작한 실증용 분말화 장치를 이용하여 mock-up에서 검증 실험을 수행하였다. 그림 12에서와 같이 메시의 분말 투과 실험에서는 3 %정도의 일부 잔여 분말들이 메시

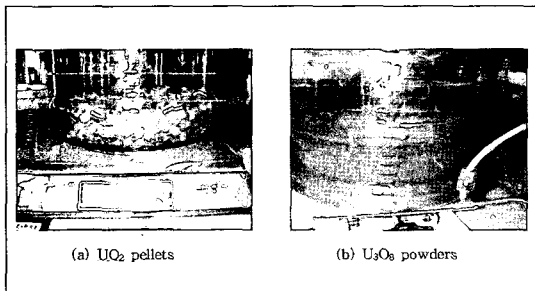


Fig. 10. Volume of 20 kg of UO_2 pellets(a), and U_3O_8 powders(b).

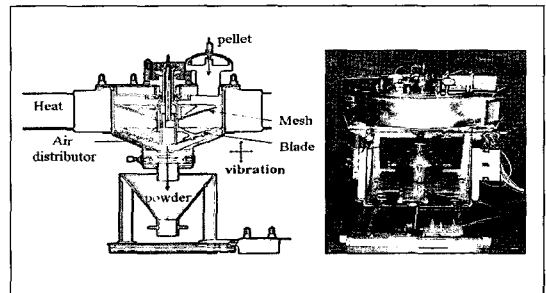


Fig. 11. Improved vol-oxidizer.

위에 남아있었으나, 기존 장치보다 분말투과율이 대폭 향상되었음을 보여주고 있다. 그림 13은 산화특성 실험을 수행한 결과이다. 그림에서 점선은 초기 주입 시 산소농도 40%의 입구 혼합반응가스를 표시하고, 가는 실선은 반응이 시작해서 끝날 때까지 산소가 소모된 출구 혼합 반응가스량을 나타낸다. 점선과 가는 실선이 분리되는 점에서 만나는 점까지가 산화시간을 나타내며, 기존장치의 산화시간 13시간에 비해 8시간으로 대폭 단축되었다. 여기서 보면 굵은 라인의 중간부분에 굵은 피크고선을 보여주고 있는데, 이것은 바이브레이터로 진동(max. 20 mm/sec)을 주었을 때 산화율이 증가됨을 보여주고 있다. 그러나 산화 시작 후 초기에 급격히 600 °C까지 온도가 상승하는 것을 알 수 있었다. 이는 초기에 60분 정도 회전블레이드를 작동하다가, 발열여부를 확인하기 위하여 80분 동안 블레이드의 회전을 멈추었기 때문에 발열

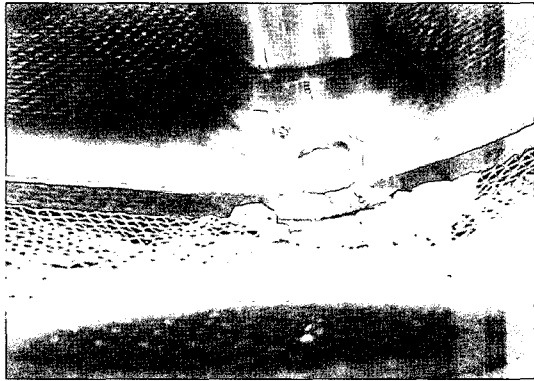


Fig. 12. Residual U_3O_8 powders on the mesh after vibration.

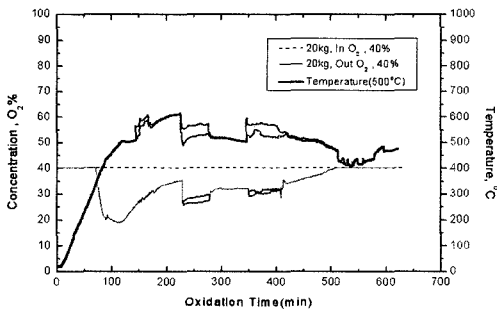


Fig. 13. Oxidation time and temperature of improved vol-oxidizer.

반응이 일어난 것으로 사료된다. 그림 14는 새로운 장치에서 반응된 U_3O_8 의 입자분포도를 보여준다. 입자 1개의 최대 길이로 크기를 나타냈을 때 평균 입자가 40 μm 의 크기임을 볼 때 500 °C 온도가 정확히 반응시료에 전달이 되었고, 기존장치보다 온도 조절이 향상되었음을 알 수 있다.

표 1에서 보면 개량된 방법의 메시 투과율이 67% 향상된 이유는 콘 형 메시 위에서 투과되지 못한 시료가 콘 형 메시 중앙의 배출구로 회전블레이드에 의해 모아져 내려가기 때문에 분말회수율이 향상되었다. 또한 개량된 방법의 산화시간이 5시간 단축된 이유는 정·역 회전이 가능한 2단 블레이드에 의해 시료를 섞어 줌으로써 시료가 공기와 접촉할 기회가 증가했기 때문이고, 이로부터 방사선 환경에 대한 작업시간이 단축되었다. 금속전환로에서 요구하는 입도범위인 20~60 μm 조건에 맞춰 개량된 장치의 분말입도를 40 μm 으로 조절이 가능했던 이유는 발열반응을 없애고 가열로반응영역의 적정위치에 반달형 히터모듈을 배치함으로써 정확하고 정량적인 온도전달이 가능했기 때문에 다음공정에서 요구하는 입도범위를 충족시켜줄 수 있었다. 아울러, 개량방법의 장치체적이 50% 소형화 된 이유는 UO_2 펠릿과 U_3O_8 분말의 체적을 측정하여 가열로크기와 메시의 적정위치를 고려하여 이로부터 핫 셀의 좁은 공간에서 분말화 장치 크기에 대한 Scale-up data로 활용될 수 있다.

이상의 실험 결과들을 종합해볼 때, 방사성 핵물질을 취급하는 실증용 분말화 장치를 설계하는데 있어서 대용량의 실험 시료의 화학적 독성과 방사선의

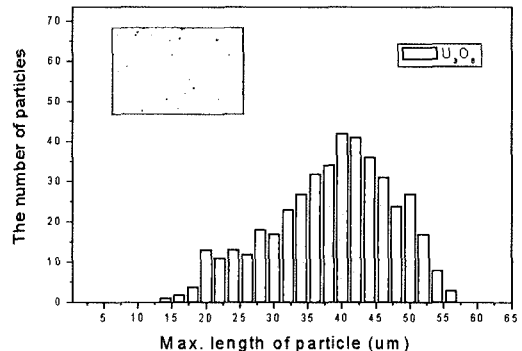


Fig. 14. Particle size distribution of improved vol-oxidizer(U_3O_8).

Table 1. Characteristics of the experimental and improved vol-oxidizer.

내용	기존방법	개량방법	향상된 특성	비고
차이점	- 수직 3단 메시 중에 시료가 상부 메시 위에서 산화되는 장치. - 대용량시료의 반응특성 및 현상 등이 고려되지 않은 초기 개념설계 장치.	- 시료가 콘형메시 위에서 회전 블레이드로 혼합되어 산화되는 장치. - 설계모델의 회수율, 발열, 산화도, 입도, 등이 고려됨.	- 설계모델에 따라 제작함으로써 High-throughput을 위한 scale-up data에 적용 가능함.	
메시 투과율	30%	97%	- 콘형메시와 블레이드를 설계하여 메시 투과율이 향상됨.	
산화 시간	13시간	8시간	- 블레이드의 정, 역회전으로 산화시간이 5시간 단축되고, 발열반응이 발생 안됨.	
분말 입도	23 μm	40 μm	- 반달형 히터 모듈 설계로 정확한 온도가 전달되어 입도조절이 가능해짐.	
장치 크기	Φ 850×H1500mm	Φ 700×H1100mm	- UO_2 와 U_3O_8 의 부피 측정으로 기존의 장치보다 50% 소형화됨.	

위해도 때문에 대용량 설계에 대한 실험적으로 시형착오를 겪는데 한계가 있으며, 많은 제약조건이 따른다. 또한 아직까지 국외의 원자력 기술에서도 분말화를 위해 실험용으로 소량의 핵물질만 취급해 오는 실정이고, 20 kg UO_2 펠릿을 사용한 국가는 전무한 상태다. 따라서 본 논문에서 제시된 설계모델의 방법으로 실험을 수행하여 향상된 연구결과를 고려할 때, 이보다 Scale-up 된 대용량 실증용 분말화 장치의 설계에 유용하게 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

III. 결론

본 연구에서는 대용량 설계에 적용될 수 있는 UO_2 펠릿 20 kg HM/batch용 분말화 장치의 설계모델이 제시되었다. 기존의 3단 메시 분말화 장치를 이용하여 실험이 이루어 졌으며, 실험 결과를 바탕으로 실증용 분말화 장치가 제작되고, 설계모델에 대한 검증 실험이 수행되었다. 제시된 설계모델에 따라 수행한 메시 투과 회수율 시험에서 U_3O_8 이 메시 구멍사이로 잘 투과되지 않다는 것이 고려되고 발열반응의 온도 특성이 반영되어 콘형 메시와 회전이 가능한 블레이

드가 설계되었다. UO_2 펠릿 20 kg HM/batch의 산화반응 실험을 통하여 산화시간이 13시간임이 확인되었으며, 산화시간을 단축하기 위해서 2단 블레이드로 정역회전이 가능하게 블레이드가 설계·제작되었다. 일정한 입도를 얻기 위하여 가열로의 각 내부영역에 따라서 온도분포도가 측정되었으며, 이 온도분포도와 최적의 반응온도를 고려하여 반달형 히팅 모듈이 설계되었다. 실증용 분말화 장치의 크기를 결정하기 위하여 산화 전 UO_2 펠릿 20 kg HM/batch와 산화 후 U_3O_8 의 부피를 측정하여 장치 크기와 메시 위치가 설계·제작되었다.

제작된 실증용 분말화 장치 성능의 검증실험 결과에서, 산화반응이 종료된 후 회수율은 97 %정도로 많이 향상되었지만 U_3O_8 분말을 아래로 이송하고 난 후 메시 위에 3%의 U_3O_8 의 잔여분말이 남아있는 것을 고려할 때 회수율이 99 % 이상될 수 있는 장치 구조로 개선할 필요가 있다. 산화시간은 13시간에서 8시간으로 단축되었으며, 산화 중 진동에 의하여 산화율이 증가되는 것을 고려할 때 고온에서 장시간 사용할 수 있는 고성능 바이브레이터가 요구됨을 알 수 있었다. 또한 온도특성에 있어서 기존의 3단 메시 장

치에 비해서 온도 변화가 안정적이었으나, 상부의 블레이드 회전모터가 높은 열을 8시간 이상 견딜 수 있기 위하여 단열구조가 되어야할 것으로 판단한다. 가열위치별 온도분포측정으로 히터의 적정위치를 결정함으로써 정확한 온도 값을 전달하여 분말의 40 μm 크기의 최적 입도분포를 만들 수 있었다. 이상의 결과로부터 제작된 UO₂ 펠릿 20 kg HM/batch용 분말화 장치의 성능과 제시된 설계모델 예측 값은 대체로 잘 일치됨을 보여 주었다.

본 논문에서 제시된 실증용 분말화 장치의 설계모델은 실증용 분말화 장치의 구조, 성능, 크기 등을 결정하는데 유용한 모델로서 향후 대용량의 실증용 분말화 장치를 설계하는데 활용될 수 있을 것으로 판단한다.

참고 문헌

- [1] J.S. Yoon, Y.H. Kim, J.H. Jung, J.H. Jin and D.H. Hong, "Development of Advanced Spent Fuel Management Technology" KAERI/RR-2425/2003, P75, (2003).
- [2] Y.H. Kim, J.S. Yoon, J.H. Jung, J.H. Jin and D.H. Hong, "Measurement of Terminal Velocity for Scatter Prevention of Powder in the Voloxidizer for Oxidation of UO₂ Pellet", J. of the Korean Radioactive Waste Society Vol. 3(2), P.77-84, June (2005).
- [3] J. A. Stone, "Vol-oxidation Studies with UO₂ Reactor Fuels", ANS, Meeting on Fuel Cycles for Eighties, DP-MS-80-9, Sep.-Oct. (1980).
- [4] U. Gunzo, K. Masafumi and T. Takesh, "Development of Vol-oxidation Process for Tritium Control in Reprocessing", JAERI-M, 91-199, November (1991).
- [5] P.N. Rowe, and G.N. Henwood, Trans. Inst. Chem. Eng., 39, 43 (1961).
- [6] K. Adachi, S. Kiriya, and N. Yoshioka, "The Behavior a Swarm of Particles Moving in a Viscous Fluid", Chem. Eng. Sci., 33, 115 (1978).
- [7] J. H. Goode, "Vol-oxidation Removal of Volatile Fission Products from Spent LMFBF Fuels", ORNL-TM-3723 (1973).
- [8] W. S. Groenier, "Current Position and Status of the Vol-oxidation Process at ORNL", ORNL/CF-77/67 (1977).
- [9] G. Uchiyama, S. Torikal, M. Kitamura, K. Yamazaki, S. Sugikawa, M. Maeda and T. Tsujino, "Outline of an Experimental Apparatus for the Study on the Advanced Vol-oxidation Process", JAERI-M 90-016 (1990).
- [10] J. A. Stone, "Vol-Oxidation Studies with UO₂ Reactor Fuels", DP-MS-80-0(1980).
- [11] T. Tsukizoe, "Recent Researches of Stationary Solis Seal", Junkatsu, 14 (1969).
- [12] J. A. D. R. Johnson, "Measurement of Radioactive Gaseous Effluents from Vol-oxidation and Dissolution of Spent Nuclear Fuel", 15th DOE Nuclear air Cleaning Conference (1981).