

# 대용량 사용후핵연료 공기산화로 설계를 위한 모의연료 제조연구

황정식<sup>1</sup>, 원종호<sup>1</sup>, 김영환<sup>2</sup>, 정재후<sup>2</sup>, 윤광호<sup>2</sup>, 박병석<sup>2</sup>

## A Study on a Fabrication of Simulated Fuels for a design of a High-Capacity Vol-oxidizer

J. S. Hwang, J. H. Won, Y. H. Kim, J. H. Jung, K. H. Yoon, B. S. Park

### Abstract

This study aims to design the high-capacity vol-oxidizer using simulated fuels instead of spent nuclear fuels. Simulated fuels are fabricated by blending tungsten powder with silicon carbide powder, and thereafter, paraffin coating covers simulated fuels to increase their strength. An oxidation experiment using simulated fuels have been carried out in order to analyze oxidation characteristics similar to spent fuels. After oxidation, simulated fuels were almost oxidized to be powders. Increased volume of simulated fuels approached to spent fuels. These results can be utilized as important informations for designing a high-capacity vol-oxidizer.

**Key Words** : Oxidation Powder, Tungsten Powder, Simulated Fuel

### 1. 서 론

2057년까지 PWR 및 CANDU 사용후핵연료 발생량은 각각 20,500 및 14,800 MTU로 나타났으며 17×17핵연료가 2003년기준으로 전체대비 56%를 점유하는 것으로 나타났으나, 최종시점에서는 16×16 KSFA 사용후핵연료 발생량이 급격히 증가하여 70% 정도를 점유하는 것으로 나타났다[1]. 사용후핵연료(Spent Fuel)는 높은 방사선과 열을 방출하는 고준위 폐기물로 인식되고 있지만 재사용이 가능한 우라늄을 95% 이상 함유하고 있기 때문에 효과적으로 재 순환이 된다면 미래의 귀중한 에너지 자원이 될 수 있는 양면성을 갖고 있다. 이와 같이 현재까지 대부분의 연구는 재처리를 위하여 작은 실험실 규모로 연구가 되어왔다[2]. 국내 있는 한국원자력연구원의 차세대 관리 공정시설에서는 사용후핵연료의 발생량을 줄이기위해 ACP가 개발되고 있으며 우라늄 펠릿을 처리할 수 있는 공기산화로가 개발되고 있다. 그러나 공기산

화로의 성능은 우라늄 디옥사이드 펠릿을 200g~2kg/batch까지만 처리할 수 있다[3].

핵연료 차세대관리 공정은 크게 나누어 사용후연료의 분말화, 리튬에 의한 우라늄 산화분말의 금속전환, 그리고 전환된 사용후핵연료 금속봉의 주조 등으로 구성된다. 본 논문은 사용후핵연료의 분말화 공정에 관련하여 대용량의 산화장치 설계 시 모의실험을 하기 위한 수행된 실험이다. 실제 사용후 핵연료로 장치설계를 위한 실험을 할 경우 작업자는 납 유리 차폐창(Lead-Glass Shield Window)을 통해 핫셀내부를 보면서 작업을 수행해야하며 MSM(Master-Slave ManiPulator)로 조작해가며 실험을 해야한다[4]. 이와 같이 실험실의 공간적 제약과 안전성 등의 외부, 내부 피폭에 유의해야 하는 되는 제약이 뒤따르기 때문에 모의연료를 제조하여 대용량 산화 분말화 장치 설계에 도움이 되고자 한다. 그러기 위해선 실험에 필요한 소형의 산화장치가 필요하게 되며 그 장치를 이용한 분말화 실험이 필요하다.

1. 충남대학교 대학원 나노마이크로시스템  
2. 한국원자력연구원

## 2. 본 론

### 2.1 모의연료 제작

그림 1 과 같이 사용후핵연료의 모의연료 펠릿을 제조를 위하여 텅스텐과 탄화규소 분말을 각각의 비율로 제조를 하였다. 모의연료 펠릿(a), (b), (d)는 취급상 파손의 위험이 있어 파라핀코팅을 하였고 펠릿(c)는 코팅을 하지 않았다. 그 결과 30 cm높이의 낙하시험에서 (c)의 펠릿보다 (a, b, d)의 펠릿이 수십배의 강도를 보였다.

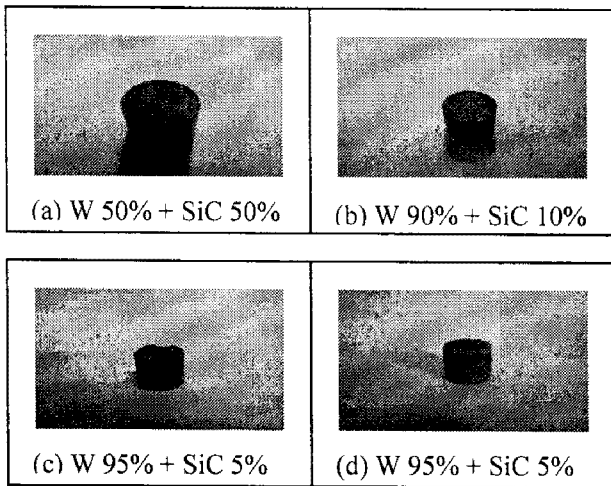


Fig. 1 Simulated Fuel

### 2.2 소형산화장치 및 실험

그림 2 는 모의연료 펠릿의 산화 실험장치이며 질소와 산소의 혼합비를 변화시킬 수 있는 유량 조절기(Mass Flow Controller)를 사용하여 공기 400cc를 입구(a)에서 메탈메쉬(e)를 거쳐 출구(b)로 흐르도록 제작하였다. 그리고 입구와 출구에 기체흡입 방식인 산소농도측정기(c,d)로 시간당 7ℓ의 기체를 흡입하여 이에 대한 산소농도를 측정하였다. 각각의 비율로 제작한 모의연료 펠릿을 산화로에 장입을 하고 메탈메쉬(e)의 위치에 놓인 모의연료 펠릿은 전기저항 발열체인 칸탈(f)로 산화로를 상온에서 500℃까지 온도를 상승시켜 산화반응이 완료 될 때까지 500℃를 유지하도록하였다. 산소농도 측정기(c, d)는 프로그램(Auto Lab)으로 30 초 단위로 산소의 농도를 측정하여 각각의 모의연료 펠릿의 산화반응시 산소농도 값을 저장하였다.

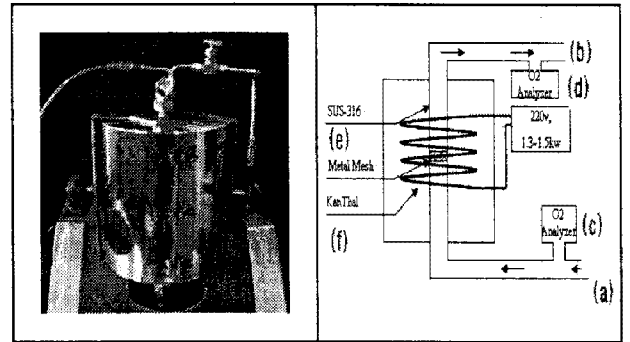


Fig. 2 Oxidation Device of Simulated Fuel

### 2.3 모의연료 실험결과

모의연료 펠릿의 산화특성을 알아보기 위하여 실험을 수행하였다. 그림 3 은 사용후핵연료 펠릿의 산화반응곡선을 토대로 유사한 산화반응 곡선의 값을 도출하기 위한 것으로 각각의 모의연료 펠릿의 온도에 따른 시간당 산화반응 곡선이다. 사용후핵연료 펠릿은 500℃온도 조건에서 150 분의 산화반응시간을 보였으며 비율별로 제조한 모

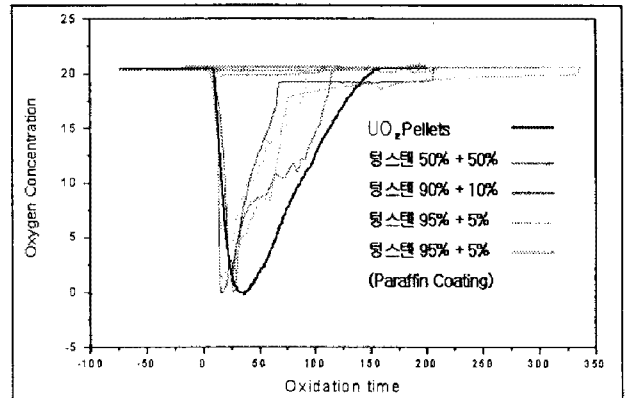
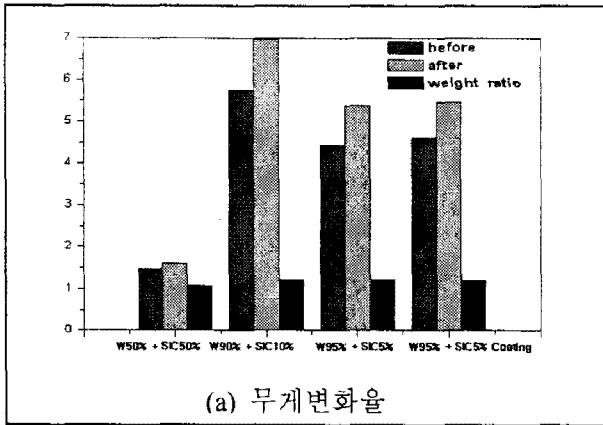


Fig. 3 Oxidation Curve of Simulated Fuel

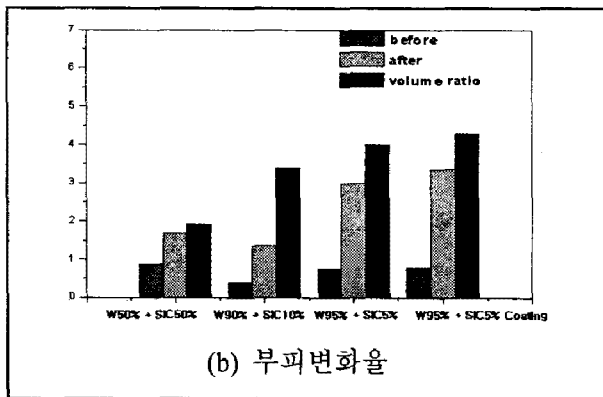
의연료 펠릿도 그의 산화곡선 안에서 반응을 하는걸 알 수 있었다.

그림 4 는, 산화반응의 온도조건 500℃, 공기 400cc 에서 비율별(50:50, 90:10, 95:5)에 따른 모의연료 펠릿이 산화반응후 부피와 무게변화율을 나타낸것이다. 4 가지 모의연료 펠릿의 산화시간은 평균적으로 175 분이 소요됐으며 부피 변화율에서 텅스텐의 함유량이 증가할수록 부피도 증가한다는 걸 알 수 있었다.

실제 UO<sub>2</sub> 펠릿의 산화분말 부피 증가율을 모의연료의 부피증가율에 비추어 볼 때 산화반응 실험에서의 결과와 같이 모의연료(90:10) 펠릿의 부피증가율이 실제 펠릿의 부피증가에 유사하였다.



(a) 무게변화율



(b) 부피변화율

Fig. 4 Variation Ratio of Volume and Weight

#### 4. 결론

모의연료 펠릿 제조는 실제의 사용후핵연료 분말화장치의 제작에 있어서 대용량 공기산화로의 기계적 설계를 위해 수행하였다. 본 실험에서는 모의연료 펠릿을 텅스텐과 탄화규소분말의 비율별 (50:50, 90:10, 95:5)로 제작하였다. 제작한 모의연료

펠릿 취급상 문제점을 해결하기 위하여 파라핀코팅을 하여 기존 모의연료보다 몇 배의 강도를 가지게 되었다. 소형산화장치를 이용하여 (온도 500°C, 투입공기량 400cc) 코팅된 모의연료 펠릿으로 실험을 수행하였으며 UO<sub>2</sub> 펠릿의 산화반응곡선 안에 근접하는 산화반응곡선을 도출해 내었다. 또한, 부피증가율에서 혼합비율(90:10)가 실제 UO<sub>2</sub> 펠릿의 2.7배에 유사한 값을 가졌다. 이러한 결과는 사용후핵연료의 분말화 장치 제작에 있어서 설계 및 모의실험에 기본자료로 활용될 수 있다.

#### 참고 문헌

- [1] 조동건, 최종원, 한필수, 2006, 심지층 처분시스템 설계를 위한 사용후핵연료 현황 분석 및 예측, 한국방사성폐기물학회지, 제4권, 제1호, pp. 87~93.
- [2] Uchiyama. G, Kitamura. M, Yamazaki. K, 1992, Study on Vol-oxidation process for Tritium Control in Reprocessing, Radioactive Waste Management and the Nuclear Fuel Cycle., Vol. 17, No.1, pp. 63 ~ 79.
- [3] Cul. B. D, Hunt. R.H, Spencer. B, 2004, Advanced Head-end Processing of Spent Fuel, "2004 American Nuclear Society Winter Meeting", Washington DC, Nov, 16.
- [4] J. S. Yoon, S. H. Kim, and T. G. Song, 2003, Visualization and analysis of remote operation involved in advanced conditioning process, Proc. Of the 4<sup>th</sup> Korea-China joint Workshop on Nuclear Waste Management, pp. 205-219.