

# 유동화 속도 변화에 따른 $U_3O_8$ 구형입자에 대한 정상해석 An Steady Analysis on Spherical Particle of $U_3O_8$ with Various Fluidization Velocity

\*#김영환<sup>1</sup>, 박병석<sup>1</sup>, 윤지섭<sup>1</sup>, 김성현<sup>1</sup>, 정재후<sup>1</sup>

\*Y. H. Kim(yhkim3@kaeri.re.kr)<sup>1</sup>, B. S. Park<sup>1</sup>, J. S. Yoon<sup>1</sup>, S. H. Kim<sup>1</sup> and J. H. Jung<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국원자력 연구원

Key words : Vol-oxidizer, U3O8, Velocity. Particle, Steady, Air, Flow

## 1. 서론

건식 분말화 장치는 이후 공정인 환원 공정의 효율을 높이기 위해  $UO_2$  사용 후 연료를  $U_3O_8$  분말로 바꾸어주는 장치이다. 이런 건식 분말화 장치의 효율을 높이기 위해서는 반응로에 불어 넣어주는 공기의 유량을 증가시킬 필요가 있다. 하지만 공기와 반응하여 생성되는  $U_3O_8$  입자는 그 크기가 최소 3  $\mu m$  정도로 매우 미세하여, 반응로 출구를 통해 외부로 빠져나갈 가능성이 있다. 이를 방지하기 위해 분말화 장치 출구 바깥에는 필터가 설치되어 있으나 공기와 함께  $U_3O_8$  입자가 계속해서 빠져나갈 경우 입자로 인해 필터가 막혀 제 기능을 할 수 없게 된다. 따라서 건식 분말화 장치는 미세한  $U_3O_8$  입자가 반응로 밖으로 빠져나가지 않도록 입구에서의 공기 유량을 일정 수준 이하로 조절해주는 것이 필요하다. 이 연구의 목적은 다양한 입자 크기에 대해 입자가 출구로 빠져나가지 않을 입구에서의 공기 유량 한계치를 정하는 것이다. 본 연구에서는  $U_3O_8$  구형 입자크기(3  $\mu m$ , 5  $\mu m$ , 7  $\mu m$ , 9  $\mu m$ , 11  $\mu m$ )에 따른 최대 허용 공기 유량을 결정하였다. 또한 주어진  $U_3O_8$  입자에 대한 거동 특성 해석을 수행하여, 최대 유량 허용치를 계산하였다.

이 해석을 위해 유동과 입자를 동시에 해석할 수 있는 ANSYS-CFX 5.7.1과 ANSYS-CFX 10.0 두 가지의 소프트웨어가 사용되었다. 해석 결과 5가지 입자 크기에 대한 유량 한계치를 도출하였으며, 이전 Stoke' 식 결과<sup>1)</sup>와 상호 비교하였다.

## 2. 본론

### 2.1 해석 대상 및 해석 조건

해석 대상의 형태 및 크기는 그림 1과 같다. 반응로의 전체 높이는 35cm 이며, 입구의 지름은 15cm, 출구의 지름은 30cm이다. 입구에서 15cm 떨어진 지점에서부터 반응로의 지름이 확장되기 시작한다. 해석 조건은 표 1에 주어졌다. 구형입자 지름 3  $\mu m$ , 5  $\mu m$ , 7  $\mu m$ , 9  $\mu m$ , 11  $\mu m$ 에 대해 steady 해석을 수행하였다. 입구에서 초당 10개의  $U_3O_8$  입자를 공기와 같이 흘려주었다. 유량 허용치를 찾기 위해 입자 크기 하나당 약 4~5 가지의 입구 공기 유량을 선정해서 해석하였다.

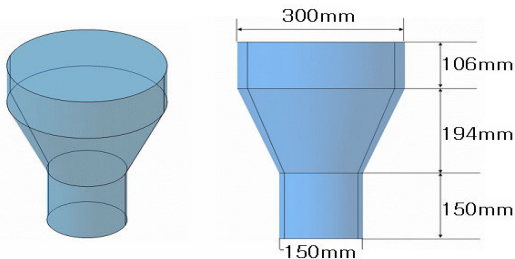


Fig. 1. Schematic dimension on the vol-oxidizer for analysis.

Table 1 Analysis conditions of vol-oxidizer

입자형태	입자크기( $\mu m$ )	입구에서 입자유량	해석방법
구형	3,5,7,9,11	10개/s	steady

### 2.2 구형 입자에 대한 steady 해석 결과

#### 2.2.1 지름 3 $\mu m$ 구형 입자에 대한 해석 결과

그림 2, 그림 3은 유효 지름이 3  $\mu m$ 인 구형 입자에 대한 steady 해석 결과이다. 그림 2는 입구에서의 공기 유량이 0.0015

kg/s일 때, 입자의 거동특성을 보여주고 있다. 입자 거동특성 그림에서 볼 수 있듯이 공기의 유속이 가장 빠른 반응로의 가운데에서도 입자가 반응로 밖으로 빠져나가지 않는다.

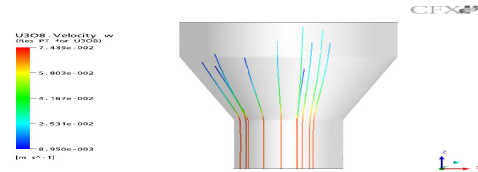


Fig. 2. Behavior characteristics of spherical particle on the 3  $\mu m$  at 0.0015 kg/s.

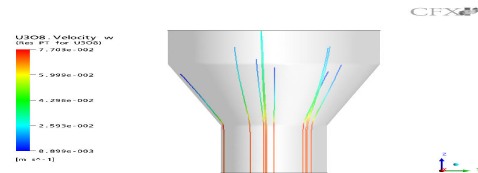


Fig. 3. Behavior characteristics of spherical particle on the 3  $\mu m$  at 0.00155 kg/s.

#### 2.2.2 지름 5 $\mu m$ 구형 입자에 대한 해석 결과

아래 그림은 유효 지름이 5  $\mu m$ 인 구형 입자에 대한 steady 해석 결과이다. 그림 4는 입구에서의 공기 유량이 0.00165 kg/s 일 때, 그림 5는 입구에서의 공기 유량이 0.0017 kg/s일 때 입자의 거동특성이다. 입자 거동특성은 공기 유량이 0.00165 kg/s일 때는 공기의 유속이 가장 빠른 반응로의 가운데에서도 입자가 반응로 밖으로 빠져나가지 않는다. 하지만 공기 유량이 0.0017 kg/s일 때는 반응로의 가운데 부분에서 밖으로 빠져나가는 입자의 흐름을 그림 5에서 볼 수 있다.

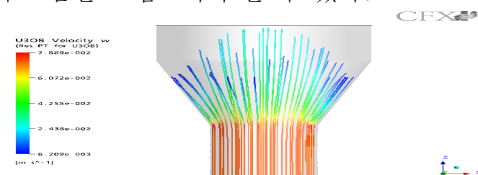


Fig. 4. Behavior characteristics of spherical particle on the 5  $\mu m$  at 0.00165 kg/s.

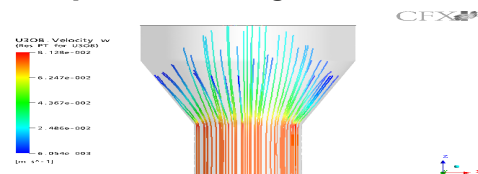


Fig. 5. Behavior characteristics of spherical particle on the 5  $\mu m$  at 0.0017 kg/s.

#### 2.2.3 지름 7 $\mu m$ 구형 입자에 대한 해석 결과

아래 그림은 유효 지름이 7  $\mu m$ 인 구형 입자에 대한 steady 해석 결과이다. 그림 6은 입구에서의 공기 유량이 0.00185 kg/s 일 때, 그림 7은 입구에서의 공기 유량이 0.0019 kg/s일 때 입자의 거동특성이다. 입자 거동특성은 공기 유량이 0.00185 kg/s일 때는 공기의 유속이 가장 빠른 반응로의 가운데에서도 입자가 반응로 밖으로 빠져나가지 않는다. 하지만 공기 유량이 0.0019 kg/s일 때는 반응로의 가운데 부분에서 밖으로 빠져나가는

는 입자의 흐름을 그림 7에서 확인할 수 있다.

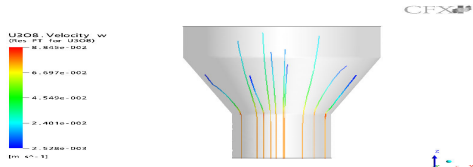


Fig. 6. Behavior characteristics of spherical particle on the 7 μm at 0.00185 kg/s.

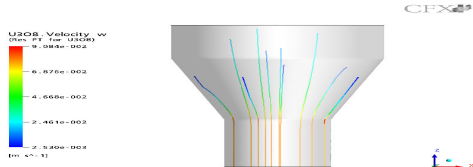


Fig. 7. Behavior characteristics of spherical particle on the 7 μm at 0.0019 kg/s.

2.2.4 지름 9 μm 구형 입자에 대한 해석 결과

아래 그림은 유효 지름이 9 μm인 구형 입자에 대한 steady 해석 결과이다. 그림 8은 입구에서의 공기 유량이 0.0021 kg/s일 때, 그림 9는 입구에서의 공기 유량이 0.0022 kg/s일 때 입자의 거동특성이다. 입자 거동특성 그림에서 볼 수 있듯이 공기 유량이 0.0021 kg/s일 때는 공기의 유속이 가장 빠른 반응로의 가운데에서도 입자가 반응로 밖으로 빠져나가지 않는다. 하지만 공기 유량이 0.0022 kg/s일 때는 반응로의 가운데 부분에서 밖으로 빠져나가는 입자의 흐름을 그림 9에서 볼 수 있다.

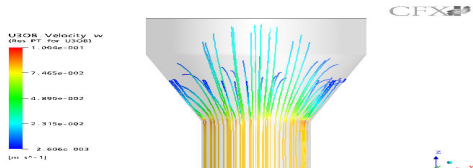


Fig. 8. Behavior characteristics of spherical particle on the 9 μm at 0.0021 kg/s.

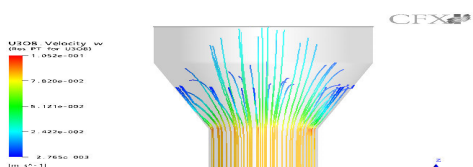


Fig. 9. Behavior characteristics of spherical particle on the 9 μm at 0.0022 kg/s.

2.2.5 지름 11 μm 구형 입자에 대한 해석 결과

아래 그림은 유효 지름이 11 μm인 구형 입자에 대한 steady 해석 결과이다. 그림 10은 입구에서의 공기 유량이 0.0024 kg/s 일 때, 그림 11은 입구에서의 공기 유량이 0.0026 kg/s일 때 입자의 거동특성이다. 입자 거동특성 그림에서 볼 수 있듯이 공기 유량이 0.0024 kg/s일 때는 공기의 유속이 가장 빠른 반응로의 가운데에서도 입자가 반응로 밖으로 빠져나가지 않는다. 하지만 공기 유량이 0.0026 kg/s일 때는 반응로의 가운데 부분에서 밖으로 빠져나가는 입자의 흐름을 그림 11에서 볼 수 있다.

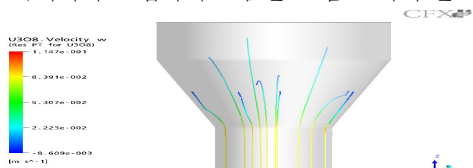


Fig. 10. Behavior characteristics of spherical particle on the 11 μm at 0.0024 kg/s.

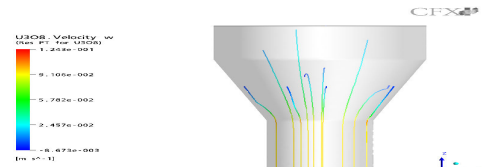


Fig. 11. Behavior characteristics of spherical particle on the 11 μm at 0.0026 kg/s.

2.3 Stoke's 식과 해석 결과와의 비교

그림 12에서 알 수 있듯이, Stoke's 식 비해 본 결과의 유량 허용치가 훨씬 큰 값을 가짐을 알 수 있다. 그 차이는 3 μm 입자의 경우 약 41배 정도이며, 11 μm의 경우 약 6배 정도이다. 하지만 이것은 3 μm 일 때의 유량 허용치가 매우 작은 값이기 때문이며, 절대적인 차이는 오히려 더 벌어지고 있음을 알 수 있다.

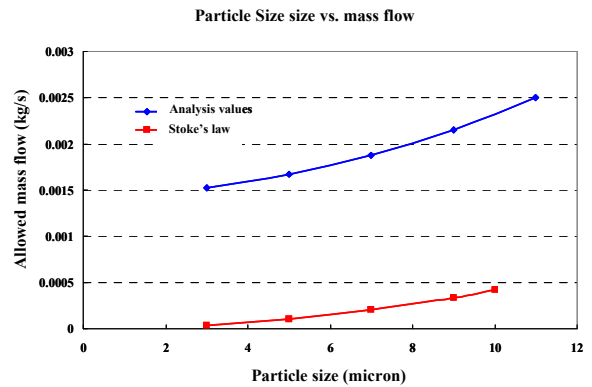


Fig. 12. Allowed mass flow on the particle size.

3. 결론

사용후 핵연료 차세대관리공정 장치들 중에서 금속전환로 반응효율을 증가시키기 위해서 균질화된 U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 분말을 공급하는 실증용 UO<sub>2</sub> pellet 산화로 개발이 필요하다. 실증용 UO<sub>2</sub> pellet 산화로의 설계와 최적공급 유량을 결정하기 위하여 U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 유동화 속도 변화에 따른 U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 구형입자에 대한 정상해석을 수행하였다. 구형 U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 입자의 다섯 가지의 지름 크기에 대해 각각 steady 해석을 수행하였다. 해석결과의 입자거동특성을 분석하여, 입자가 Vol-oxidizer 반응로 바깥으로 빠져나가지 않을 유량 한계치의 범위를 도출하였다. 그 결과 Stoke's 식에서 하나의 구형 입자에 대해 해석한 결과보다 크게는 40배, 적게는 6배 정도 큰 유량 한계치가 계산되었다. 이러한 차이의 원인은 해석 시 고려된 입자의 개수, 해석에 사용된 이론적 근거 등에 있다고 보인다. 입자 개수에 의한 효과를 고려하기 위해서는 입자의 개수가 변화함에 따라 유량 한계치를 계산하는 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것으로 보인다.

후기

본 연구는 과학기술부의 원자력 중장기연구개발사업의 일환으로 수행되었음.

참고문헌

- Kim Y. H and Yoon J. S. 2005, "Measurement of Terminal Velocity for Scatter Prevention of Powder in the Voloxidizer for Oxidation of UO<sub>2</sub> Pellet" J. of the Korean Radioactive Waste Society Vol.3(2), P. 77-84, June.
- CFX Solver Theory, Ansys Inc., 2003
- Adachi K., Kiriya S., and Yoshioka N. 1978, "The Behavior a Swarm of Particles Moving in a Viscous Fluid", Chem. Eng. Sci., 33, 115.