

## 사용후핵연료 분말의 균질화 연구

나상호, 정정환, 송대용, 신희성, 김호동, 유명준\*  
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045  
 \*한전원자력연료(주), 대전광역시 유성구 덕진동 493  
 shna@kaeri.re.kr

### 1. 서론

세라믹 핵연료인 이산화우라늄( $UO_2$ )은 경수로(LWR)형 연료로, 현재 세계 원자력발전의 주종을 이루고 있다. 향후 우라늄 자원의 고갈 및 사용후핵연료의 저장 부담에 따른 자원 재활용 측면에서 경수로 사용후핵연료의 재활용 처리를 통한 혼합산화물(MOX) 또는 파이로 공정을 통한 초우라늄소(TRU) 핵연료로 이용하는 방안이 많이 강구되고 있다. 그 중에서도 파이로 공정은 핵확산 저항성이 큰 장점으로 인하여 미래원자력 핵주기 시스템으로 고려되고 있다.

이산화우라늄을 장전한 연료봉 다발을 원자로에서 조사시킬 경우, Fig. 1에 G23-K10 연료봉에 대한 연소도 프로파일을 일례로 도시한 바와 같이, 연료봉의 길이방향 길이에 따라 연소도가 다를 수 있다. 연소도에 따라 U의 농축도 그리고 TRU 및 생성되는 핵분열생성물의 양이 다르므로 사용후핵연료에서 금속 우라늄을 만들기 위해서는 분말 균질화(powder homogenizing) 공정이 요구된다.

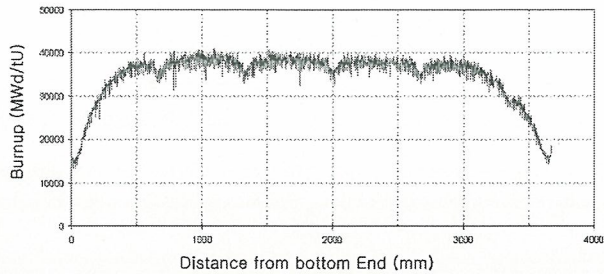


Fig 1. Schematic burnup profile of the G23-K10 fuel rod

최적의 분말 균질화를 위해서는 분말의 입자 크기와 혼합장치가 필수적인 인자이다. 분말이 미세할수록 분말의 균질화는 향상되며, 미립의 분말을 제조하기 위해서는 산화속도, 그리고 산화온도 및 시간 등의 변수를 잘 조절하여야 한다. 혼합장치는 혼합의 성능을 향상시키기 위한 다양한 방법이 연구되고 있으며, 실험실 규모(예 ; Tubular mixer) 또는 양산용 규모(예 : Nauta mixer)로 상업화된 장치가 많이 개발되어 있다.

본 연구에서는 현재 경수로 핵연료 제조용 혼합장치와 혼합방법을 예로 들어 향후 사용후핵연료 분말을 혼합할 경우, 분말의 최적 균질화를 위한 방안을 강구하고자 한다.

### 2. 실험 예

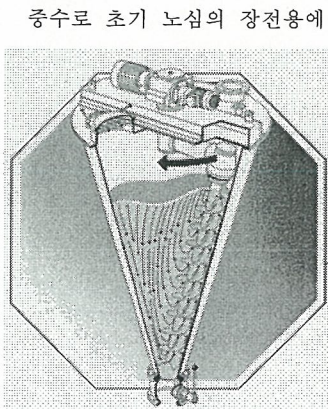


Fig 2. Schematic Nauta mixer

중수로 초기 노심의 장전용에 사용되는 이산화우라늄의 U-235 농축도는 0.52 wt%이다. 이러한 농축도를 맞추기 위하여 감손우라늄(농축도 ; 0.22 wt%)과 천연우라늄(농축도 : 0.72 wt%)의 무게 비를 약 4 : 6의 비율로 혼합한다(로트당 약 2.7톤). 혼합장치는 Fig. 1에 도시한 바와 같이, 원추형의 용기 내에 있는 길이 방향의 스크류가 자전(67 rpm)하면서 공전(1.5 rpm)하는 Nauta mixer이다. 혼합하고자 하는 분말의 장입 순서는 천연/감손/천연/천연/감손/천연/감손/천연우라늄이 장입된 용기 순으로 교차 투입하여 균질화가 용이하도록 한다. 혼합 시간은 일차적으로 90 분이며, 혼합기 바닥 부분에 있는 미혼합 가능성이 있는 분말 약 400 kg 정도를 인출하여 용기에 재장입한 후 추가로 90 분을 가동시킨다.

혼합된 분말을 용기 9 개에 장입한다. 9개의 용기 중 5 개의 용기를 선택하여 농축도 분석용 시료를 취출한다. 농축도를 분석한 결과  $0.52 \pm 0.02$  wt%로 나타났으며, 이는 목적인 농축도  $0.52 \pm 0.05$

wt% 이내에 속하는 아주 양호한 결과를 얻었다.

### 3. 결론

기존의 혼합장치와 혼합방법을 이용하여 감손 이산화우라늄 분말과 천연 이산화우라늄 분말을 혼합하여 목적인 농축도를 얻을 수 있었다. 향후 연소도 차이에 따라 생성된 비균질성의 사용후핵연료에서 위에서 언급한 혼합 장치와 방법을 사용할 경우 양호한 균질도를 구할 수 있을 것으로 사료된다.