

파이로 공정 입력물질 계량 방안

이재훈*, 나상호, 김봉영, 배동선, 서희, 박세환, 안성규, 김호동, 박근일
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
*chlee80@kaeri.re.kr

1. 서론

한국원자력연구원은 핵비확산성을 확보할 수 있는 사용후핵연료 재활용 방법으로 파이로 프로세싱 기술을 개발하고 있다. 파이로 공정 기술은 현재 개발 중인 기술이기 때문에 안전조치 접근 방안이 확립되어 있지 않다. 또한 습식 재처리와 달리 공정 물질의 형태가 다양하고, Pu, U 가 공정별로 균질하지 않기 때문에 기존 핵물질계량 관리 기술을 그대로 적용하기 힘들다. 특히 전처리 공정 방법에 따라 핵물질의 조성 및 형태가 다르기 때문에, 입력물질계량에 있어서 공정을 고려한 계량 방안이 필요하며, Hot-cell 작업을 고려하여 계량장치의 원격성 및 유지보수성을 확보하여야 한다[1].

본 연구에서는 전해환원 공정의 입력물질의 형태로써 fragment와 porous pellet로 가정하고, 이에 따른 입력물질 계량 방안을 1) 습식 재처리의 IAT (Input Accountancy Tank)와 비슷한 개념의 사용후핵연료 균질화 및 DA (Destructive Analysis), 2) fragment 형태일 경우 대표 샘플링 (Representative Sampling) 및 DA, 3) 물질의 형태와 관계없이 이용할 수 있는 연료봉 감마 스캔을 통한 ICT (Isotope Correlation Technique) 으로 제안하며 [2, 3], 균질화와 대표샘플링 계량 방안의 장치 특성 실험을 진행하였다.

2. 본론

2.1 Homogenization of spent fuel powder

산화탈피복 공정 후 사용후핵연료는 UO_2 에서 U_3O_8 형태의 분말 형태로 변환된다. U_3O_8 분말은 연료봉의 위치에 따라 TRU의 구성비가 다르기 때문에 계량을 위해 분말 시료를 채취할 경우 시료의 대표성이 없어 계량 오차의 원인이 된다. 따라서 시료의 대표성을 확보하기 위해 U_3O_8 분말의 균질화가 필요하며, 이때 균질화 장치는 균질도 특성 및 화학분석 시료 개수, 균질화 공정 시간, hot-cell 내부 운전에 대한 원격성 및 유지보수성을 고려하여야 한다. 화학분석 시료의 개수를 고려할 경우 약 500 kg 의 집합체를 한 번에 균질화할 수 있는 대용량 장치가 좋으나, 4 m 이상의 장치

크기와 내부 장치의 복잡성 때문에 hot-cell 운전을 위한 원격성과 유지보수성을 확보할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 화학분석 시료의 증가를 최소화할 수 있고, 원격성과 유지보수성을 확보할 수 있는 작은 용량(< 100 kg)의 균질화 장치를 이용하는 2단계 균질화 장치 개념을 설정하였다. Fig. 1의 2단계 균질화 개념은 1단계에서 균질도 특성은 비교적 떨어지지만, 원격성과 유지보수성이 뛰어난 tumbling mixer와 같은 혼합 장치에서 시료의 대표성을 확보할 수 있도록 충분히 많은 양 (>5%)을 샘플링하고, 10~20 kg 처리 용량의 Nauta mixer와 같은 균질도 특성이 좋은 2차 혼합 장치에서 균질화 후 화학분석을 위한 gram 레벨의 시료를 채취하는 것이다.

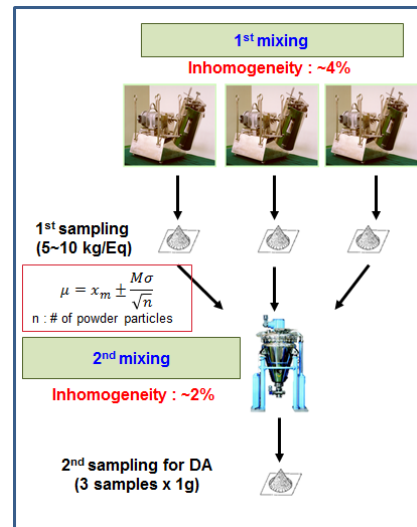


Fig. 1. The concept of 2 stage homogenization.

2단계 균질화 개념의 2차 혼합장치의 특성을 확인하기 위하여, 10L 급 nauta 혼합장치를 제작하였으며, Fe_2O_3 , NiO 산화금속 시료를 이용하여 균질도 평가를 수행하였다. Table1 은 테스트한 시료의 특성이며, 1, 2, 3, 6 시간 혼합 후 각 12 시료를 채취하여 ICP-OES (Thermo Scientific ICAP 6300)을 이용하여 분석하였다. Fig. 2에서와 같이 혼합 시간이 증가할수록 혼합비의 비균질도가 RSD 2%로 개선됨을 확인할 수 있다.

Table 1. Characteristics of metal oxide used in mixing experiment

	Density (g/cc)	Particle size mesh	Mixture fraction
Fe ₂ O ₃	5.24	325	6 (600g)
NiO	6.67	(~40 um)	2.5 (250 g)

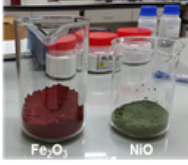
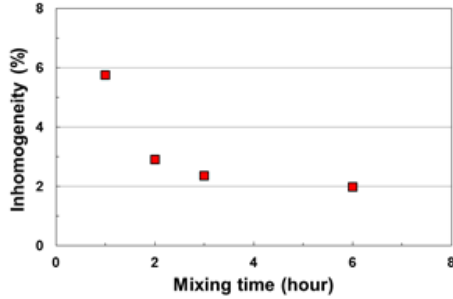



Fig. 2. Inhomogeneity with respect to mixing time. (Measurement uncertainty was included in inhomogeneity).

2.2 Representative sampling (대표샘플링)

환원 공정 입력물질이 fragment일 경우 혼합을 통한 균질화가 불가능하기 때문에, 샘플링 기법 중 오차가 낮은 rotary type의 sample divider (PT-200, Retsch)를 이용한 대표샘플링 기법을 테스트하였다 (Fig. 3). 최종 화학 분석 시료 샘플링 방법은 fragment를 대표샘플링으로 시료량을 줄인 후, 파쇄, 혹은 voloxidation을 통해 입도 크기를 줄이고, gram 화학분석용 샘플링을 위한 추가 대표샘플링 하는 것이다.

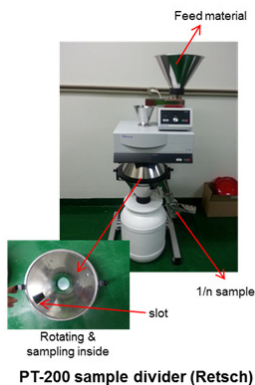


Fig. 3. sample divider PT-200.

사용후핵연료 입도 분포를 고려하여 6:3:1 비율의 2, 1, 0.5 mm ZrO₂를 이용해 대표샘플링 실험을 하였으며, 시료 조건은 Table 2와 같다. Table

2와 같이 혼합비의 상대오차가 최대 1% 이하로 샘플링되는 것을 확인할 수 있다.

Table 2. experiment condition & result

Conditions and Result			
Slot width (mm)	1/11 sampling		
ZrO ₂ size (mm)	2	1	0.5
Mass (g)	1500	750	250
Mixture fraction	6	3	1
Measured RSD (%)	0.215	0.431	0.907

3. Summary

대용량 파이로 공정을 고려한 입력물질 계량방안을 제안하였으며, 산화금속 시료를 이용해 균질화 장치 및 대표샘플링의 성능 평가를 진행하였다. 초기 성능 실험으로 2% 이하의 비균질도 특성 및 1% 이하의 샘플링 오차를 얻었다. 향후 1차 균질화를 포함한 전체 핵물질계량시스템의 입력물질계량 오차에 대해 평가할 계획이다. 또한 균질화 장치의 screw 조건 최적화를 통한 균질도 특성 실험, 그리고 모의핵연료 시험을 통한 검증이 필요하다.

4. 감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2012M2A8A5025947).

5. 참고문헌

- [1] 안성규, 권은하, 김봉영, 서희, 송대용, 원병희, 이채훈, 조광호, 박세환, 박근일, "파이로 시설 예비개념설계를 위한 안전조치시스템 요건 개발", 한국방사성폐기물학회 2015 춘계학술발표회 논문요약집, 13(1), 19~20, 2015, 인천.
- [2] 김봉영, 안성규, 박광준, 박세환, 박근일, "파이로 안전조치시스템 예비개념설계를 위한 시료분석실 요건 개발", 한국방사성폐기물학회 2015 춘계학술발표회 논문요약집, 13(1), 115~116, 2015, 인천.
- [3] Hee Seo, et. al., "Isotope correlation technique for Pu mass analysis of PWR UO₂ spent fuel rods", Journal of Nuclear Science and Technology, submitted, 2015.