

혈(hull)의 잔여분말 자동분리 장치 성능 평가

Performance test on the automatic separation device of residual SNF powders from cladding hull

*정재후¹, *김영환², 김기호³, 이효작⁴, 윤지섭⁵
 J. H. Jung¹, *Y. H. Kim², G. H. Kim³, H. J. Lee⁴, J. S. Yoon⁵
 1, 2, 3, 4, 5 한국원자력연구원

Key words : Hull and powder, Auto-separation, Recovery device, Spent fuel, Rod-cuts, Performance appraisal

1. 서론

본 연구의 목표는 혈의 잔여분말 자동분리 장치를 사용하여 장치에 대한 잔여분말 분리 성능 평가를 수행하는 것이다. 이것은 혈에 묻어 있는 잔여분말을 2차적으로 분리 회수(1차 회수는 탈피복/분말화 일체형 장치인 산화 반응부에서 이루어짐)하기 위하여 혈의 공급 및 이송, 잔여분말 분리 방안 등을 분석하였다. 또한, 각각 conveyer 방식, partsfeeder 방식, air shower 방식 등을 적용한 드럼 회전 및 축 왕복회전의 연속식 혈 잔류분말 자동분리 메커니즘을 독창적으로 고안하였다. 고안한 메커니즘을 토대로 사용후 핵연료(SNF: Spent Nuclear Fuel) 100 kgHM/batch 용량의 혈 잔류분말 자동분리 장치를 설계 및 제작하였다. 제작된 장치에 대한 장치 동작시험 및 특성시험을 수행하였다. 수행 내용으로는 장치 드럼내 메시 회전, partsfeeder 회전, 혈 공급, 혈정렬 및 혈이송, 클램핑 동작, air shower 상태, 분리된 혈과 분말 수집, 기타 control panel 작동 상태 등을 수행한 후 장치에 대한 성능 평가를 수행하였다. 장치의 성능 평가를 수행한 결과, 잔류분말 회수율이 약 96%로서, 당초 목표인 회수율 95% 이상을 달성할 수 있었다. 이와 같은 결과는 장치의 일부 수정 보완을 하면 향후 공학규모인 high-throughput 탈피복/분말화 일체형 장치를 개발하는데 좋은 자료로 활용될 수 있다.

2. 장치 개념

혈(hull) 잔여분말 자동분리 장치는 high-throughput 탈피복/분말화 일체형 장치 내의 산화 반응부에서 일정한 길이로 절단된 연료를 500 ℃에서 산화시키면 펠릿이 분말(powder)로 변화되어 혈과 분말로 각각 수집 용기에 수집된다. 혈(hull) 잔여분말 자동분리 장치는 수집된 혈에 묻어 있는 잔여분말을 자동 분리하는 장치로 혈의 잔여분말 자동분리 메커니즘을 고안하기 위하여 잔여분말의 분리 특성을 조사하고 혈의 공급방식, 이송방식, 혈 내·외부 잔여분말 분리방식, 운전방식 등을 검토하고 선정한다. 혈의 잔여분말 분리 메커니즘을 고안하기 위하여 최종적으로 혈의 공급, 이송 및 잔여분말 분리 등을 분석하여 각각 conveyer 방식, partsfeeder 방식, air shower 방식 등을 접목한 드럼 회전 및 축 왕복회전의 연속식 자동분리 메커니즘을 고안하였으며, 그림 1과 같다. 또한, 처리 용량 100 kgHM/batch, 혈 길이 50 mm, 혈에서의 잔여분말 2차 회수율 95% 이상(분말의 1차 회수율은 산화 반응부에서 95% 이상 이루어짐), 운전 조건은 1회에 12시간 연속운전, 산화 반응부와 잔여분말 분리부의 자동연결(산화 반응부로부터의 혈 수집, 잔여분말 분리 후 혈 및 잔여분말의 자동 수집 등의 요건을 도출하였다.

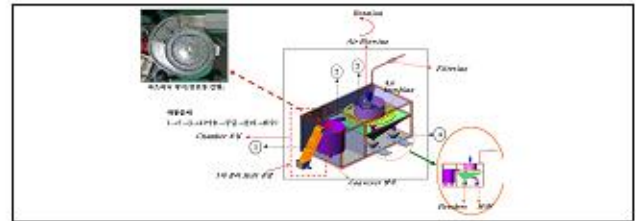


Fig 1. Parts feeder / Separation mechanism contrivance.

3. 장치 설계 및 제작

혈의 잔여분말 자동분리 장치를 개발하기 위하여 고안 및 도출된 개념 자료들을 바탕으로 설계 및 제작한다. 이 장치의 주요부는 크게 혈/분말 분리 드럼부, brush 메커니즘부(드럼내부), parts feeder부, 혈 feeding부, 혈 내·외 분리부, 혈/분말 배출부, 혈/분말 수집 용기부, control panel부 등으로 구성된다. 혈의 잔여분말 자동분리 장치 설계시 고려할 사항들은 다음과 같다. 처리용량 100 kgHM/batch, 혈의 길이 50 mm, 혈에 묻어 있는 잔여분말 2차 회수율 95% 이상, 운전 조건은 1회에 12시간 이상 연속운전, 분리한 혈과 분말을 자동으로 수집용기에 수집하기 위한 자동수집용기 연결방식, 산화반응 모듈과 잔여분말 분리 모듈의 자동연결방식, 혈 잔여분말 자동분리 메커니즘에서 수집된 분말과 고온진공 모듈의 자동연결방식 등을 고려하였다. 이와같이 최종적으로 혈의 공급, 이송 및 잔여분말 분리 기술(conveyer 방식, partsfeeder 방식, air shower 방식 등을 적용한 드럼 회전 및 축 왕복회전 등을 접목한 연속식 자동분리 메커니즘 등) 등을 분석하여 제작할 장치를 3D 애니메이션으로 구현하였으며, 그림 2와 같다.

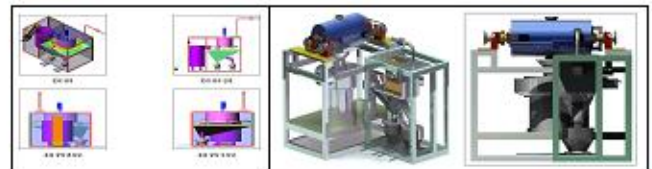


Fig 2. Separation concept / 3D modeling.

고안한 혈의 잔여분말 자동분리 메커니즘을 기준으로 길이(L) 1,500 mm, 높이(H) 1,229 mm, 폭(W) 1,200 mm의 크기로 장치를 설계 및 제작하였으며, 그림 3에서 보는 바와 같다.



Fig 3. Separation device design / Manufacture 379

4. 장치성능평가

장치의 성능 평가를 하기 위하여 사용된 재료는 SUS316 tube 이며, 규격은 지름(ϕ) 10.07 mm, 길이(L) 50 mm 이다. 용량은 10 kg(연료 5 kgx 2회 실험) 이다. 본 성능평가에서는 실제의 사용후 핵연료를 사용하여야 하나 이는 현실적으로 불가능 일이다. 그래서 이와같은 사용후핵연료 분말대용으로 사용할분말은 모의 연료를 제조하여 사용하였다. 모의 분말을 사용하기 위하여 모의 펠릿 제조로 선정된 텅스텐+탄화규소 분말은 UO_2 (부피 팽창비: 2.7) 대비 부피 팽창비가 과도하므로(3.3) UO_2 펠릿의 부피 팽창율에 유사한 조성을 맞추기 위하여 부피 감소 효과가 있는 탄화규소 (SiC)를 텅스텐과 혼합하였다. 그 결과, 배합비가 텅스텐 90 %, 탄화규소 10%일 때가 UO_2 대비 가장 유사한 부피 팽창비(2.5~3.4)로 도출되었다. 이와 같은 혼합시료를 사용하여 모의 펠릿을 제조하였고, 제조된 펠릿은 탈피복/분말화 일체형 장치 내부의 산화반응 부에서 산화 후 산화된 분말을 수집하여 철에 묻혀 성능 평가를 하였으며, 그림 4와 그림 5와 같다. 성능 평가 방법은 분말량의 관계로 총 10 kg을 사용하여 2회(실험 1차 5kg 실험 2차 5kg)에 나누어 평가 하였으며, 철에 묻은 분말은 약 3 % (약 150 g)로 가정하였다. 성능 평가 결과, 실험 1차와 2차때의 회수율은 96.44%와 96.07%으로 각각 나타났으며, 평균은 96.25% 이다. 나머지 회수되지 않은 잔여분말 3.55%와 잔여분말 3.93%는 실험시 장치에 묻어 있는 것으로 각각 판단된다. 따라서, 회수율을 높이려면 회수 시간을 길게 주거나, 장치에 진동을 더 많이 줌으로서 회수율을 높일 수 있다. 성능 평가 결과는 그림 6, 표 1에서 보는 바와 같다.

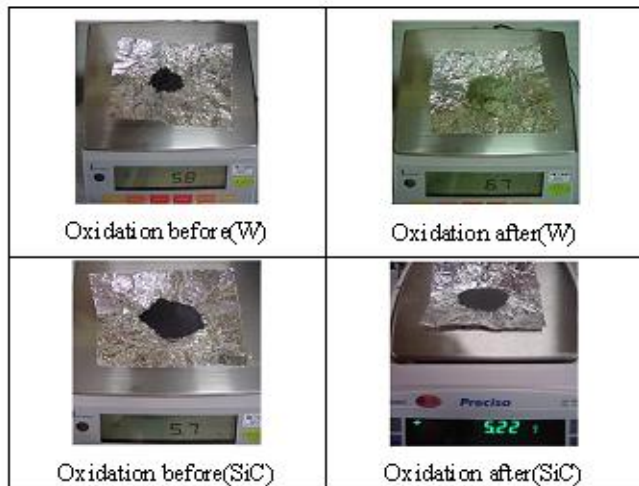


Fig 4. Powder material(SiC, W).

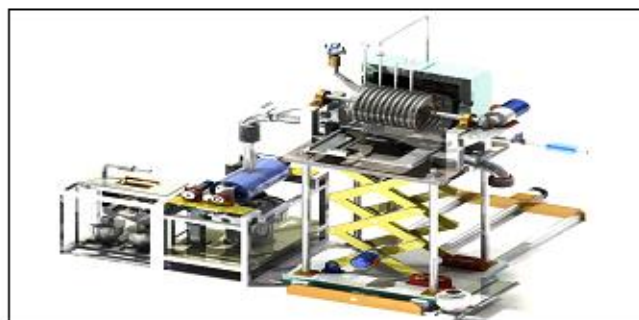


Fig 5. Decladding and vol-oxidation device / Separation device.

Table 1. Results of Performance appraisal

실험	1차 무게 (g)	펠릿 개수 (개)	펠릿 무게 (g)	분말 무게 (g)	펠+분말 무게(g)	분말+용기 무게(g)		회수율 (%)
						분말	실험 후	
1차 실험	894.80	211개	1481.37	150	1431.37	1999.27(a)	2085.94(b)	96.44 (3.54)
2차 실험	894.80	211개	1480.94	150	1430.94	1942.74(a)	2084.87(b)	96.07 (3.93)
평균값	894.80	211개	1481.14	150	1431.14	1,941.02(a)	2085.41(b)	96.25 (3.75)



그림 6. Experimentation on before / after(hull / powder).

5. 결론

본 연구에서는 철(hull)의 잔여분말 자동분리 장치를 개발하여 본 장치에 대한 성능 평가를 수행하였다. 본 장치를 개발하기 위하여 철의 공급 및 이송, 잔여분말 분리 방안 등을 분석하였다. 또한, conveyer 방식, parts feeder 방식, air shower 방식 등을 적용한 드럼 회전 및 축 왕복회전의 연속식 철 잔류분말 자동분리 메커니즘을 독창적으로 고안하였다. 이와같은 것들을 바탕으로 사용후핵연료 100 kg/HM/batch 용량의 철의 잔류분말 자동분리 장치를 제작하고, 성능 평가를 수행하였다. 성능 평가를 수행한 결과, 잔류분말 회수율이 약 96.25% (당초 회수율 목표 95%) 이상을 달성할 수 있었다. 회수하지 못한 나머지 잔여분말은 장치의 일부를 보완하거나 성능 평가를 회수 시간을 길게 주고 장치에 진동을 더 많이 줌으로써 회수율을 높일 수 있을 것이다. 따라서, 개발한 장치를 같이 용한다면 향후 대용량 고효율 탈피복/분말화 일체형 장치를 개발하는데 좋은 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

6. 참고문헌

1. K.Okada, "Separation method for a spent fuel rod", Japanese Patent No. 84140163, July 5, 1984.
2. C.S.Choi et al., "Improvement of conversion and reconversion process for nuclear fuel", KAERI/RR-802/88, 1988.
3. 양명승 외, "핵연료제조 및 품질관리기술개발," KAERI/RR-1744/96, 한국원자력연구소, 과학기술처, 1996.
4. 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.
5. 박병석 외 "사용후핵연료 원격취급실증장치개발," KAERI/RR-2754/2006, 한국원자력연구원, 과학기술부, 2006.