

사용후핵연료 소결체 인출장치의 개발 및 실험

Development of Decladding Device for the Spent Fuel Pellet and Experiment

홍동희*, 윤지섭*, 정재후*, 김영환*, 이종열*, 김도우**,
(*한국원자력연구소, **한양대학교)

Dong-Hee Hong*, Ji-Sup Yoon*, Jae-Hoo Jung*, Young-Hwan Kim*, Jong-Youl Lee*, Do-woo Kim**
(* KAERI, **HanYang Univ)

Abstract

The recycling process for reuse of uranium in the spent fuels consists various unit processes and the decladding process to extract the spent fuel pellet from the zirconium-based cladding is the beginning process of the recycling. There are two methods - mechanical and chemical - in the decladding process. In this paper, the mechanical decladding device by using a motor as a driving part and a press pin to separate the pellets from tube has been developed. This device was automated and modularized to make the remote operation and maintenance easy.

Key Words : Spent Fuel(사용후핵연료), Decladding(소결체와 피복관의 분리)

1. 서론

일반적으로 사용되는 사용후핵연료 탈 피복 공정은 화학적 방법, 기계식 방법, 화학적 및 기계적 방법을 조합한 절단-추출 공정이 있다. 이 방법중 사용후핵연료의 회수율 및 실제 적용성의 관점에서 볼 때 화학적 방법은 습식 공정으로 소결체 회수율은 높으나, 방사성 폐액이 다량으로 발생하기 때문에 본 연구에서는 기계식 소결체 인출 방식을 선택하였다. 이 방법의 기본 원리는 구동부의 모터를 이용하여 소결체 압출핀에 동력을 전달하고, 인출부에서 소결체 압출핀을 사용하여 30mm로 절단된 사용후핵연료봉에 압착력을 가하여 절단된 사용후핵연료봉 으로부터 소결체와 피복관(Tube)을 분리한다. 본 장치의 장점은 다양한 형태 및 크기의 사용후핵연료봉에 적용이 가능하고 사람이 직접 접근할 수 없는 핫셀 내에서의 사용후핵연료 소결체인출 시 원격 조작으로 사용이 가능하도록 제작하였다. 모의 사용후핵연료봉을 이용하여 제작한 장치에 대한 1차 실험을 수행한 결과 소량의 분진 발생, 소결체를 인출한 연료봉의 수량 파악 불가능, 스프링부의 이물질 생성, 고장

시 유지보수를 위한 서보 모터의 분리 불가능, 로터리 플레이트의 영점 조정 부정확 등의 문제점이 발생하였다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 분석하고 장치를 개선하여 성능을 향상시켰다. 또한 개선된 장치는 핫셀에 적용 할 것에 대비하여 장치의 주요 구성부인 압출핀 구동부를 모듈화하고 이를 장치 상부에 배치하여 고장 시에 원격으로 분해 및 조립이 가능하도록 하였다.

2. 소결체 인출장치의 개요

본 장치는 크게 소결체 인출부와 연료봉 공급장치부로 구성되며, 소결체 인출장치부는 워기어를 사용하여 구동되며 모터의 회전 워기어를 구동시켜 행정길이 조절 암이 안내 가이드를 따라 상하 작동을 할 수 있는 구조로 제작하였다. 연료봉 공급 장치부는 30mm 절단된 사용후핵연료봉을 공급하는 시스템이다. 구동부는 2개의 모터로 구성되는데, 상부 모터는 소결체를 인출하기 위한 압출핀 구동모터이고 하부 모터는 지그 회전관을 회전시켜 주는 모터이다. Jig부는 핵연료봉을 자동으로 입·출할 수 있도록 설계하였다. 용기부는 모의 핵

연료봉으로부터 인출된 피복관 및 소결체가 담겨지는 용기다.

3. 소결체 인출장치의 설계 및 제작

3.1. 장치 설계

소결체 인출 장치의 주요 설계요건으로는 소결체 회수율 향상과 핫셀 내부에 설치 할 경우에 대비하여 장치의 원격 구동 및 고장시 장치의 유지·보수성 등으로 설정하였다. 설계요건 설정후 기계식 소결체 인출기술에 대한 자료를 조사하여 분석하고, "2개의 핸들을 이용한 소결체 인출장치"를 제작하여 회수율 측정 시험 등을 통하여 사용후핵연료 소결체 인출 장치 설계에 필요한 기본 사양을 결정하였다. 설계요건 및 사양을 바탕으로 사용후핵연료 소결체 인출장치를 설계 및 제작하였다. 모의 사용후핵연료봉을 이용하여 제작한 장치의 실험을 수행한 결과 분진 발생, 소결체의 회수율 저조, 인출한 연료봉의 수량 파악 불가능, 스프링부 이물질 생성, 서보모터 분리의 곤란, 로타리 플레이트 영점 조정 부정확 등의 문제점이 발생하였다. 이러한 문제점을 분석하고 개선하여 장치의 설계에 반영하였다. 개선한 사용후핵연료 소결체 인출장치에 대한 설계도는 그림 1과 같으며, 장치의 주요 부품에 대한 사양은 다음 표 1 ~ 3과 같다.

표 1. 모터 부착 Jack의 성능표

형번	모터			감속비(H)		감속비(L)	
	용량 (kw)	주파수 (Hz)	회전수 (rpm)	승강 속도 (m/m/min)	허용 가중 (kg)	승강 속도 (m/m/min)	허용 하중 (kg)
56	0.75	60	1,800	1878	920	626	1950

표 2. AC 서버 모터 정격 및 사양

형식 (모터)	사양 (드라이버)	Flange Size	정격출력 (W)	정격토크	
				(N·m)	(kgf·cm)
CN02	5002	60	200	0.64	6.5

순시최대토크		정격회전 속도 (rpm)	최대회전 속도 (rpm)	회전자관성 (-GD ² /4)	
(N·m)	(kgf·cm)			(kg·cm ² ·s ⁻²)	(kg·m ² ·x 10 ⁻⁴)
1.92	19.5	3,000	5,000	0.095	0.093

정격과워 래이트 (kW/s)	엔코드 형식		중량(kg)
	표준	옵션	
43.6	Incremental 2,000	Absolute11/13bit 2,048(p/rev)	1.14

표 3. AC 서버 모터 드라이버 정격 및 사양

항목	입력 전원		적용 모터		
	정원전압 (주1)	선원용량 (kVAa)	전압형태	연속출력 전류 (A)	최대출력 전류 (A)
FDA-5002C	3상 AC 200~230 (V) _{±10/-15%} , 50/60(Hz)	0.8	3상 정현파 구동형 AC 서버모터	2.1	6.3

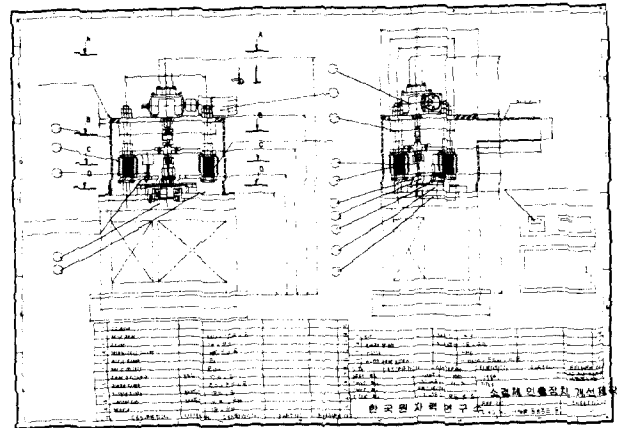


그림 1 소결체 인출장치 설계도

3.2. 소결체 인출장치의 제작

소결체 인출장치 제작품은 그림 2에서 보는 바와 같으며, 주요 구성은 압출판 구동모터, 로드셀, 소결체 고정 JIG회전판, 분진 포집 장치, 브러싱 메커니즘, 카운터 메타기, 스프링 보호막, 서보 모터, 사용후핵연료봉 투입 감지 센서, 피복관 회수부, 회전 판 영점 센서 등으로 구성하여 제작하였다. 주요 부품들의 재료는 STS 316, SS41, SCM-41종 강재 및 SCM-21종의 기계 구조 강을 사용하였다.



그림 2. 소결체 인출장치 제작품

4. 소결체인출장치의 작동 공정

소결체 인출에 대한 Flow chart는 그림 3-4에서 보는 바와 같으며, 장치의 작동은 크게 절단된 연료봉의 삽입, 핀 및 로타리 플레이트의 회전 등으로 구성된다.

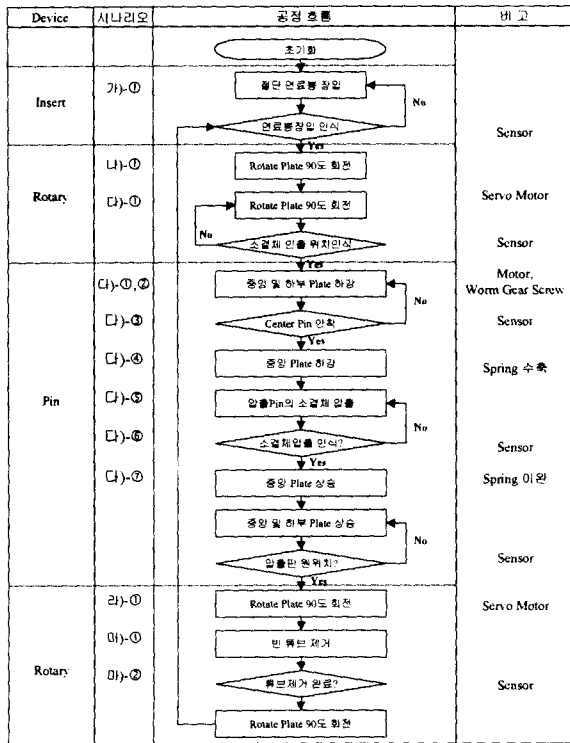


그림 3-4. 소결체 인출 공정도 Flow chart

5. 소결체인출장치의 실험

본 연구에서의 실험은 압축강도 및 밀도를 사용처 연료와 동일하게 석고로 제작한 모의 사용후핵연료 사용하여 수행하였다.

5-1 장치개선 전 실험

본 과제에서 개발한 장치를 이용하여 1차 실험을 행한 결과는 그림 3 - 4와 같다.(그림 3은 모의 소결체 회수율, 그림 4는 모의 소결체 압출 최대 힘을 나타 것이다.)

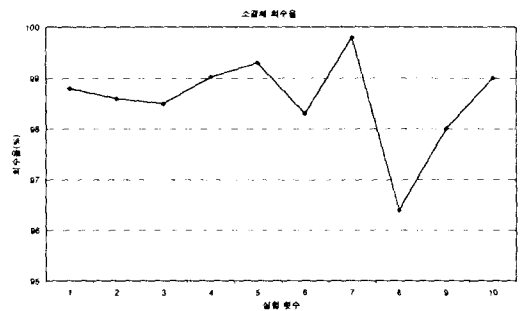


그림 3. 모의 소결체 회수율 (%)

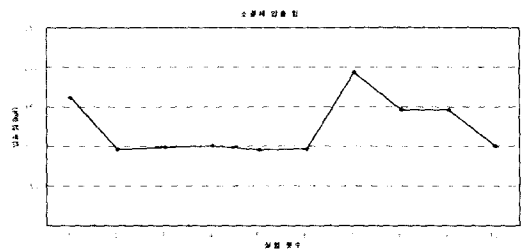


그림 4. 소결체 압출 최대 힘 (Kgf)

제작한 장치를 이용하여 실험을 수행한 결과 장치의 작동 및 소결체의 인출에는 큰 문제가 없었으나, 분진 발생, 소결체 인출 연료봉 수량 파악 불가능, 스프링 부의 이물질 생성, 서보 모터의 유지·보수 곤란, 회전판 영점 조정 부정확 등의 부분적인 문제가 발생하였으며 이로 인하여 소결체의 회수율이 설계요건을 충족하지 못하였다.

5-2. 장치개선 후의 실험

1차 실험 결과를 토대로 소결체 인출장치에 대한 분

제점을 분석하고 개선하여 사용후핵연료 소결체인출 시험을 수행한 결과는 그림 7 - 8과 같다. (그림 7은 모의 소결체 회수율, 그림 8은 모의 소결체 압출 최대 힘을 나타낸 것이다.)

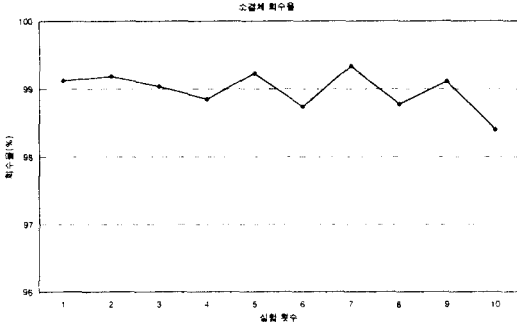


그림 7. 모의 소결체 회수율 (%)

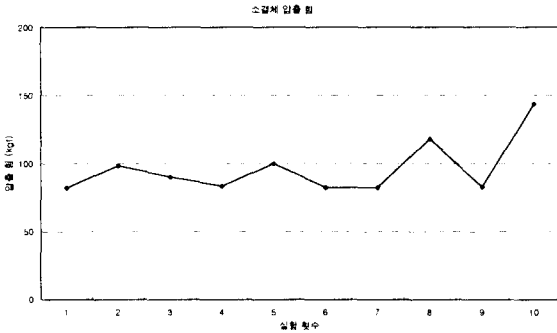


그림 8. 모의 소결체 압출 최대 힘 (Kgf)

장치 개선 후 실험결과 장치분진발생, 소결체 압출시 연료봉 수량 파악 불가능, 스프링부의 이 물질 생성, 서보 모터의 원격 유지·보수 불가능, 회전판의 영점 조정기능 등의 문제점이 개선되었으며, 장치의 기능 향상에 따라 소결체 회수율은 98%이상으로 설계 요건을 충족하였다.

6. 결론

사용후핵연료 소결체인출 장치의 개발을 위하여 본 연구에서는 원자력 선진국 문헌 등을 통한 자료조사를 수행하여 공정 수행시 다량의 2차폐기물을 발생시키는 습식 보다는 폐기물 발생량이 적은 기계식 방법이 적합하다는 결론에 도달하였다. 장치 설계에 대한 기본적인 데이터의 확보를 위하여 "2개의 핸들을 이용한 소결체

인출장치"를 제작하여 실험을 수행하여 장치의 압출력 등에 대한 설계 자료를 확보하였다. 또한 본 장치를 핫셀 등에 사용하기 위하여 모듈화여 설계 및 제작한 후 실험을 수행하였으나, 분진발생 등 다소의 문제점이 발생되었다. 이와 같은 장치의 문제점을 분석, 보완후 그 결과를 설계에 반영하고 장치를 제작하여 실험을 수행한 결과 소결체 회수율은 98% 이상으로 향상되었으며, 압출력은 100Kgf 정도로 설계요건 들을 충족하였다. 본 연구 수행으로 확보한 설계자료 및 실험 데이터는 향후 유사한 장치의 설계에 활용될 것이며 개발한 소결체 인출장치는 향후 사용후핵연료 재활용을 위한 공정에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

참고 문헌

1. K. Fukudome, "Mechanical Decladding by Rolling Straightener", Technical Report, Kobe Steel Ltd. July (1997).
2. F.H. Hammad, H.R. Higgy, and A.A. Abdel-Rassoul, "Mechanical Decladding of Nuclear Fuel Elements", J. Brit. Nucl. Soc., 21 (1971).
3. A.A. Abdel-Rassoul, H.R. Higgy, and F.H. Hammad, "Decladding of Nuclear Fuel by Rolling-Straightener Technique", J. Nucl. Energy 23, 551 (1969).
4. Matcheret and M. Bourgeois, "Mechanica Decladding of Stainless-steel-clad Oxide Fuels" CEA-R-4469 (1973).
5. 양명승 외, "핵연료제조 및 품질관리 기술개발, KAERI/RR-1744/96, 한국원자력연구소, 과학기술처 1986.
6. 박장진 외, "경·중수로 연계핵연료주기 기술개발, KAERI/RR-2009/99, 한국원자력연구소, 과학기술처 1999.
7. 정재후 외 "비산화식 (기계식) 모의 소결체 인출장치 메커니즘 개발," KAERI/TR-1418/99, 한국원자력연구소 1999.