

## 실증용 탈피복 장치를 이용한 모의 핵연료 슬리팅 시험

정재후 · 홍동희 · 김영환 · 박병석 · 이종광

### Slitting Test of Simulated Fuel Rod by Using a Newly Developed Decladding Device

J. H. Jung, D. H. Hong, Y. H. Kim, B. S. Park, and J. K. Lee

#### Abstract

In this study, we developed a decladding device which separates 250 mm length of simulated nuclear spent fuel rod into the pallets and the pieces of the hulls after inserting the rod cut into the module with several pairs of blades. To improve the performance of the equipment, we considered some mechanisms to prevent the rod cut from being exposed or bounced into the hot-cell, to reduce the operation time, and to insert the rods automatically. It is expected that the newly developed system will contribute to prevent radioactive pollution in the hot-cell, reduce the operation time, and to increase the safety of the operators. As a result of the performance test for some mockup fuel rod cuts in the ACP(Advanced Spent Fuel Control Process) facility, it was verified that the decladding device could be applied to the actual fuel rod cut. And it will be able to use for a scale-up facility in the future.

**Key Words** : Decladding device, Simulated nuclear spent fuel rod, Pallet/hulls, Blade module, Hot-cell, Advanced Spent Fuel Control Process(ACP), Scale-up facility.

#### 1. 서론

본 연구에서는 사용후핵연료 차세대관리공정의 첫 번째 단위공정 장치 중 하나인 실증용 slitting 장치는 250 mm의 길이로 절단된 모의 사용후핵연료봉으로 부터 모의 pellet과 hull을 분리하기 위한 장치이다. 즉, 여러 쌍의 cutter blade로 구성된 blade module 속으로 연료봉을 밀어 넣어 3개의 hull 조각으로 slitting하는 장치이다. 이 장치는 절단된 모의 연료봉을 탈피복 장치 쪽으로 이동하거나 장착하여 slitting 할 때 pellet이 핫셀 내에서 공기 중으로 노출되며 튀어나갈 수 있기

문에 핫셀 내부를 오염시킬 수 있다. 또한, 본 연구에서의 종합공정의 목표인 20 kgHM/batch의 모의 사용후핵연료를 확보하기 위해서는 250 mm로 절단된 135개의 연료봉을 slitting 한다. 이에 소요되는 시간은 약 10시간 이내로 다른 단위공정 장치에 비하여 많은 시간이 소요되고, 연료봉을 하나하나씩 수작업으로 취급하기는 역부족이며, 작업자의 부주위로 인한 사고 발생의 위험 가능성도 매우 높다. 따라서, 이러한 것을 해결하기 위하여 탈피복 장치의 주요 일부를 개선 및 보완하여 자동화 공정 시스템을 구축함으로써 핫셀의 오염 방지 및 작업 시간 단축과 취급자가 안전하게 작

업할 수 있도록 하였다. 이러한 실증용 탈피복 장치를 방사선 구역인 핫셀 내에 투입 설치하여 장치의 동작특성시험과 slitting 시험을 수행하였다.

## 2. 실증용 탈피복 장치 설계 및 제작

### 2.1 장치 설계 사양, 설계 및 제작

실증용 탈피복 장치의 크기는 높이 1,158, 폭 425, 길이 539 mm 이다. 장치의 주요부는 압출 motor, 압출 핀, 기어부, 볼 스크류, 프레임, 리미트 센서, Blade module, 연료봉 장입 메커니즘, Pellet/Hull 분리대 및 수집용기, Control panel 등으로 구성된다. 실증용 장치는 250 mm로 절단된 모의 연료봉을 MSM에 의하여 자동 장입하는 자동 메커니즘, pellet과 hull 분리대에 의해 pellet과 hull을 자동으로 분리되어 각각의 용기에 담겨지는 메커니즘으로 설계 제작하였다. 이러한 장치의 설계 및 제작은 그림 1과 2에서 보는 바와 같다.

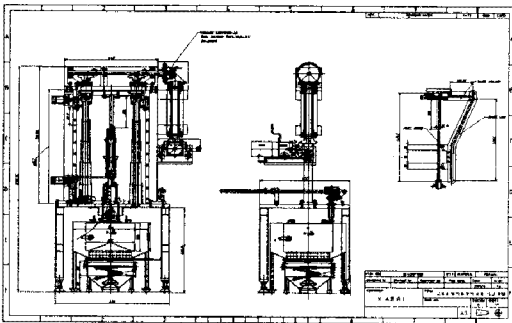


그림 1. 실증용 탈피복 장치 설계도.

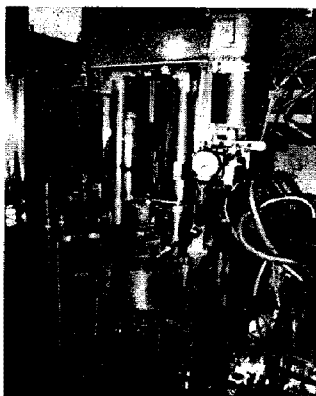


그림 2. 실증용 탈피복 장치.

## 3. 슬리팅 시험

### 3.1 장치 원격 운전 안전성 평가

실증용 탈피복 장치의 원격운전 안전성을 평가하기 위하여 핫셀 내에 설치된 실증용 장치를 이용하여 절단된 250 mm 연료봉 135개의 slitting

시험을 수행하였다. 실증용 탈피복 장치의 원격 운전의 안전성 평가 방법은 표 1, 그림 3과 같이 수행하였다. 즉, 먼저 장치의 운전 순서를 정하고 이 운전 순서에 따라 반복 운전을 하여 운전기술을 습득하고, 원격운전시의 문제점 또는 개선 사항을 도출하고 운전성을 보완하였다. 운전성의 평가는, 초기 운전시간, 운전기술 습득후의 운전시간 및 장치 보완후의 운전시간을 상호 비교함으로써 이루어졌다. 실증용 장치의 운전성 평가 결과, MSM을 이용한 장치의 원격 운전성은 대체적으로 양호하며, 운전성을 개선함으로써 운전시간도 향상되었으나, 몇 가지의 보완사항이 도출되었다.

표 1. 탈피복 장치의 운전성 평가(시간 : 초)

운전	1차 운전	운전 결과 및 평가 (보완/운전시 주의)	운전 Tool	운전 기술 습득(초)	운전기술 습득/운전성 개선
안착대에 캡슐 장전	45	취급/편리성 양호 (캡슐 표면 러닝)	MSM	37	34
캡슐 뚜껑 제거	20	조작/안전성 양호 (뚜껑 보완)	MSM	15	14
캡슐 안착대, 위구로 전진	30	조작/안전성 양호 (연료봉 이탈 주의)	MSM	25	23
캡슐 60도 회전	100	조작성/회전 양호 (연료봉 장입 불분명)	MSM	90	87
캡슐 안착대 후진	25	조작/안전성 양호	MSM	20	22
압출핀 하강	285	블레이드 양호 (구동장치 소음 발생)	운전자	285	285
압출핀 상승	80	하강/상승 구동 양호 (구동장치 소음 발생)	운전자	80	80
탈피복 후 캡슐 제거	40	취급 편리성 양호 (캡슐 표면 러닝)	MSM	36	34
피복관 용기 탈착	0.2	조작 안전성 양호	MSM	0.2	0.2
피복관 용기분 개방	0.1	조작 안전성 양호	MSM	0.1	0.1
피복관 컨테이너로 이동	1.5	조작 안전성 양호 (피복관 및 펠릿 주의)	MSM	1.5	1.5
펠릿 분리	0.7	조작 안전성 양호(펠릿주의)	MSM	0.7	0.7
총 소요 시간	628			591	582

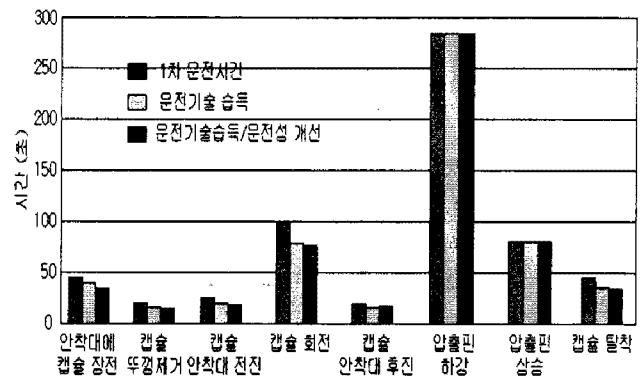


그림 3. 탈피복 장치의 운전성 평가.

### 3.2 탈피복 장치 유지보수 신뢰도 검증

실증용 탈피복 장치 중 고장 발생 가능성이 높은 유지보수 대상모듈은 표 2, 그림 4와 같다. 이와 같은 대상 모듈의 원격 유지보수가 용이하도록 각 대상별로 구조를 개선하였으며 각 유지보수 대상별로 유지보수 절차와 유지보수 공구를 선정하였다. MSM을 이용하여 원격 분해 조립 시험을 수행한 결과, 대체로 모듈이 쉽게 분해 조립되었으나, 리미트용 커넥터의 원격 조립작업이 쉽지 않았으며 이의 보완을 위하여 커넥터의 교체가 요구된다.

표 2. 유지보수 모듈별 분해조립 소요시간

유지 보수 대상	시야 확보	부재 (kg)	작업시간 (분)		유지 보수 결과	필요 장치
			분해 시간	조립 시간		
블레이드 모듈	육안	1.82	1	1	양호	MSM
압출핀	육안	0.4	1	1	양호	MSM
모터 모듈	육안	7.56	4	6	양호	MSM, 크레인
리미트용 커넥터	카메라 2	0.04	1	8	FZG로 교환	MSM
리미트 (상, 하)	카메라 2	0.96	3	4	양호	MSM

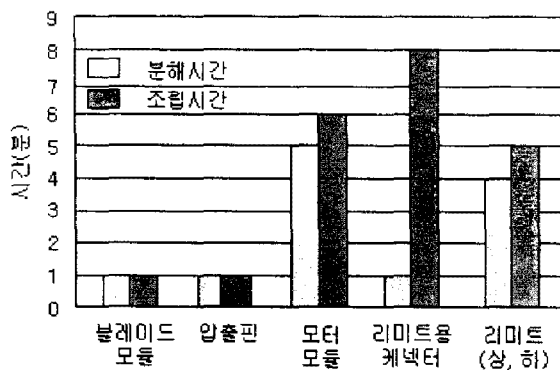
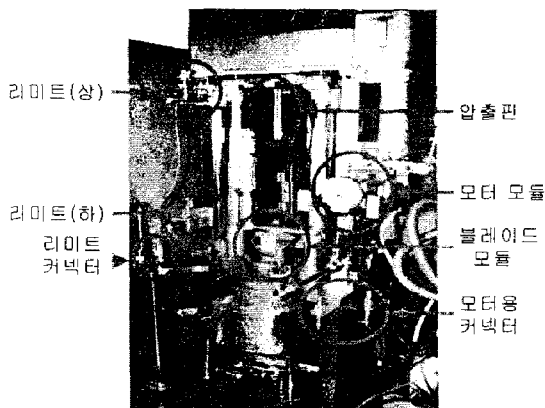


그림 4. 유지보수 모듈별 분해, 조립 소요시간.

표 3. 피복관 및 펠릿 분리 실험 결과

공정	방법	실험 횟수					소요시간(초)	
		캡슐 1	캡슐 2	캡슐 3	캡슐 4	캡슐 5	전체 시간	평균 시간
안착대에 캡슐 정진		35	32	33	34	36	170	34
캡슐 윗면 세척		13	14	12	15	16	70	14
캡슐 안착대 정진		25	20	20	25	25	115	23
캡슐 회전, 연료봉 정진		85	90	85	85	90	435	87
캡슐 안착대 후진		20	25	20	20	25	110	22
압출 핀 하강		285	285	285	285	285	1,425	285
압출 핀 상승		80	80	80	80	80	400	80
캡슐 탈착		33	34	32	36	35	170	34
피복관 용기 탈착		7	-	-	-	-	7	0.2
피복관 용기 분개방		5	-	-	-	-	5	0.1
피복관 분리		50	-	-	-	-	50	1.5
펠릿 분리		25	-	-	-	-	25	0.7
전체 소요시간		663	580	567	580	592	2,982	582



그림 5. 피복관과 펠릿 분리 실험.

### 3.3 Pellet/hull의 분리성능 평가

Pellet과 hull의 분리성능 평가시험은 방사선 구역인 핫셀 내에서 MSM을 이용한 원격방식으로 연료봉의 pellet과 hull이 정상적으로 자동 분리되는지를 실험하였다. 실험에 사용한 연료봉은 사용 후핵연료 펠릿 20 kgHM에 해당하는 250 mm의 모의 연료봉 135개로 slitting 시험을 135회 수행하였다. 실험 결과, 연료봉은 pellet과 hull의 분리대에 의하여 pellet과 hull이 자동으로 분리되며, 분리된 pellet과 hull은 각각의 용기에 잘 담겨지

는 것을 확인하였다. 또한 135개 연료봉의 slitting에 소요된 시간은 5시간 10분으로 당초 목표인 10 시간과 비교하여 약 48 % 시간을 단축시켰으며, 이는 표 3과 그림 5에서 보는 같다. Slitting 시험에서 도출된 보완 사항으로는 리미트 케넥터를 FIG 타입에서 FZG 타입으로 교체하고, 캡슐 옆면 마찰력을 크게하여 MSM 조작기로 캡슐 이송시 미끄러짐 사고를 방지할 수 있어야 한다.

## 5. 결론

본 연구에서 개발된 실증용 탈피복 장치는 여러 쌍의 블레이드 모듈로 된 메커니즘 속으로 250 mm 길이로 절단된 모의 사용후핵연료봉을 밀어 넣어 펠릿과 헐로 분리하는 탈피복 장치이다. 이는 핫셀 내에서 슬리팅시 펠릿이 핫셀 내에 노출 및 튀어나가는 것을 방지하고 슬리팅 시간 단축이나 연료봉을 자동으로 장입 할 수 있는 메커니즘과 유지보수가 가능한 모듈방식으로 개선/보완 하였다. 이 장치를 이용하여 본 연구의 종합공정목표인 20 kgHM/batch의 모의 사용후핵연료를 확보하기 위하여 절단된 연료봉 135개의 슬리팅 시험을 통하여 장치의 원격 운전 안전성 평가와 유지보수 신뢰도 검증 및 pellet/hull의 분리성능 평가를 수행

하였다. 수행 결과, MSM을 이용한 장치의 원격 운전성과 분해 및 조립도 대체적으로 양호하며, 슬리팅 시간은 5시간 10분으로 당초 목표인 10 시간과 비교하여 약 48 % 시간을 단축시켰음을 알 수 있었다. 따라서, 현재 개발되어 ACPF에서 시험 검증된 실증용 탈피복 장치는 향후 scale-up 데이터를 생산하는데 적용될 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- (1) Macheret and M. Bourgeois, "Mechanical Decladding of Stainless- steel-clad Oxide Fuels", CEA-R-4469, 1973.
- (2) K.W.Song and M.S.Yang, "Formation of column  $U_3O_8$  grains on the oxidation of  $UO_2$  Pellets in air at  $900^\circ C$ ", J. Nucl. Mater., 209, 270, 1994.
- (3) K.Fukudome, "Mechanical Decladding by Rolling Straightener", Technical Report, Kobe Steel Ltd., July, 1997.
- (4) Mattias Hartrumpf and Roland Munser, "Optical three-dimensional measurements by radially symmetric structured light projection", Applied Optics, Vol. 36, No. 13, pp. 2923-2928, 1997.