

펠릿과 헐의 분리 연구를 위한 슬리팅 장치 개발

정재후·윤지섭·홍동화·김영환·진재현·박기용

Development of the slitting device on separation study of pellet and hull

J. H. Jung, J. S. Yoon and D. H. Hong, Y. H. Kim, J. H. Jin, G. Y. Park

Abstract

The spent fuel slitting device is an equipment developed in order to feed UO_2 pellet to the dry pulverizing/mixing device. In this study, we have compared and analyzed the handling method of the slitting and that of the pellet and hull, processing time, separating time for 20kgHM, the number of blades, on the existing slitting device using in DUPIC, and spent fuel management technology research and test facility. Also, we have compared and analyzed about an advantage and weak point, designing and producing, processing, establishment, operation, maintenance about the vertical and horizontal slitting device. Based on these results, we have developed the vertical slitting device. By using the results, we have enhanced the slitting processing time(over 40%)in comparison with DUPIC device, and it will be effectively applied to available data for designing and producing of the hot test facility.

Key Words : Spent fuel rod, slitting device, dry pulverizing/mixing device, UO_2 pellet, DUPIC process, blade, maintenance, design/manufacture

1. 서 론

사용후핵연료는 원자력을 이용한 전력생산에 따라 필연적으로 발생하는 부산물로서, 이를 안전하고 효율적으로 관리할 수 있는 기술을 개발하기 위한 연구가 수행되고 있다. 특히, slitting 장치 기술은 핵연료를 재활용 또는 처분을 위한 공정의 전처리 단계로서 핵연료 액체 폐기물이 다량 발생하는 종래의 방법에 의한 기술을 지양하고, 공정 폐기물량의 감소 등 여러 측면에서 유리한 방법을 이용하는 기술에 대한 관심이 집중되고 있는 추세이다. 연료봉 slitting 방법으로 운전 방식에 따라

습식법과 건식법으로 분류하며, 건식법을 좀더 세분화하면 화학적 방법과 기계적 방법으로 분류한다. 화학적 방법은 화학 반응물과 연료 물질 또는 피복관 재료와의 화학 반응을 기초로 slitting을 하는 것이다. Slitting 장치는 절단장치로부터 절단된 250 mm의 연료봉을 기계적인 도구를 사용하여 pellet과 hull 분리하는 장치이다. 본 연구에서는 slitting 장치를 개발하기 위하여 수직형 및 수평형 slitting 장치에 대한 장·단점을 분석하고, DUPIC과 차세대관리공정의 slitting 장치에 대한 기술을 비교하였다. 이를 토대로 수직형 및 수평형 slitting 장치에 대한 장·단점 분석 결과를 바탕으로 수직형 slitting 장치를 개발하였다.

* 한국원자력연구소, 사용후핵연료기술개발부

2. Slitting 기술

2.1. Slitting 기술의 개념

경수로형 사용후핵연료의 재활용 공정 중의 첫 번째 단계는 펠릿과 hull을 분리하는 공정이다. 이러한 slitting 공정들의 기술현황을 분석하고, 핵연료 해체 공정에 있어서 필수적인 금속 절단 기술에 대해서도 평가하였다. 본 연구에서는 slitting 작업시간을 증가시키고, 안전성 및 적용성의 관점에서 운전 방식을 확립하기 위하여 이러한 slitting 기술을 조사하고 분석하였다.

2.2. Slitting의 종류 및 방법

Slitting은 건식 분말화/혼합 공정의 전 단계이며, 종류로는 굴림/늘이기법, 절단/파쇄법, 전기 이동법, 절단/용해법, zircex 법 등이 있으며, 세부적인 내용은 다음과 같다. 굴림/늘이기법 기술은 이집트에 의해 시도된 것으로 연료봉 자체를 다단계된 롤러사이로 통과시켜 축 방향으로 길이를 늘이고, 반경방향의 변형을 유도함으로써 연료봉 내부의 연료소자가 으깨어지게 하여 펠릿과 hull을 분리하는 장치이다. 절단/파쇄법 기술은 프랑스에 의해 시도된 것으로 연료봉을 약 70 mm 길이로 절단한 후 hammer mill로 1차 파쇄시키고, 2차 ball mill에 의해 펠릿과 hull을 파쇄시켜 분리한다. 전기 이동법 기술은 미국의 ANL에서 핵연료 건식 slitting을 위하여 개발한 기술이다. 연료봉을 일정한 길이로 절단한 후 $\text{CaCl}_2\text{-CaF}_2$ 용융염이 들어 있는 전기 분해실의 음극 바스켓에 담고 전류를 통함으로써 지르칼로이 합금체 중 지르코늄과 주석 성분이 양극으로 되는 원리를 이용한 것이다. 전기 이동법 기술은 slitting 속도가 느리고 연료 물질들이 액체 카드뮴과 함께 양극이 되는 단점을 가지고 있으며, 이를 해결을 위한 증류 공정이 부수적으로 필요하다. 절단/용해법 기술은 종래의 습식 재처리 공정 중 head-end 단위공정의 절단/질산 용해공정과 일치하는 slitting 방법으로 연료 물질회수 면에서는 99 % 이상의 탁월한 성능을 나타낸다. Zircex 법 기술은 당초 U-Zr 합금 연료의 재처리 공정에서 사용된 slitting 방법으로 zircaloy-4의 slitting에도 그 적용이 가능하다. 피복 관의 지르칼로이 합금체 중에서 지르코늄과 주석 원소들을 염화물 반응에 의해 휘발성

물질로 전환시켜 수화 반응에 의해 산화 분말로서 회수시키는 방법이다.

3. 수직형 및 수평형 slitting 장치 비교·분석

3.1. 수직형 및 수평형 slitting 장치 비교·분석

수직형 및 수평형 slitting 장치에 대한 설계·제작, 작업공정, 장치설치, 운전, 유지·보수 등을 비교·분석하였다. 내용은 표 1에서 보는 바와 같다.

표 1. 수직형 및 수평형 slitting 장치의 비교·분석

내용	수직형 slitting 장치	수평형 slitting 장치
설계/제작	· 설계/제작이 용이함 · 안전성이 좋음	· 안전성이 좋지 않음
작업공정	· 펠릿/hull 수집용이 · Blade 마모가 적음	· 작업시 불안전함 · Blade의 마모가 큼
장치설치	· 바닥에 고정할 필요가 없음	· 바닥에 고정
운전	· 고장이 적고 운전용이 · 장치의 흔들림이 적음 (수직 상/하 운동) · 작업의 효율성이 좋음	· 운전이 용이치 않음 · 장치의 흔들림이 심함(수평 좌/우 운동) · 기계에 무리가 많음 · 작업 효율성 저조
유지/보수	· 용이함	· 용이하지 않음

3.2. 수직형 및 수평형 slitting 장치 개념도

수직형 및 수평형 slitting 장치에 대한 설계·제작, 작업공정, 장치설치, 운전, 유지·보수 등을 비교·분석하였다. 이와 같이 비교·분석한 결과를 바탕으로 수직형 및 수평형 slitting 장치에 대한 설계 개념도는 그림 1에서와 같다.

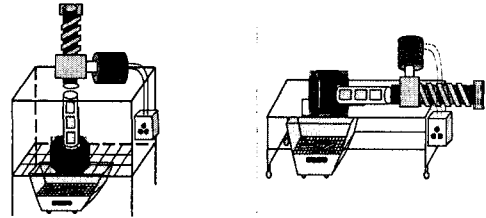
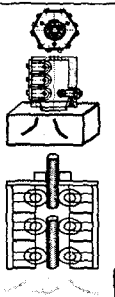
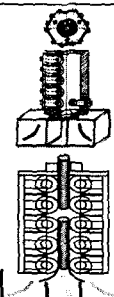


그림 1. 수직형 및 수평형 slitting 장치 개념도

3.3. DUPIC과 차세대관리공정의 slitting 장치 비교

DUPIC 공정과 차세대관리공정의 slitting 장치에 대한 slitting 방법, 펠릿 및 hull 처리 방법, 공정소요시간, 20 kg/HM 분리소요시간, blade 수, slitting 장치의 개념도 등을 비교·분석하였다. 비교·분석 결과는 표 2에서 보는 바와 같다.

표 1. DUPIC과 차세대관리공정에 대한 비교·분석

공정 내용	DUPIC 공정	차세대관리 공정
slitting 방법	· 수동 개념	· 자동화 개념
처리 방법	· 펠릿/hull 분리 안됨	· 펠릿/hull 분리
공정 소요시간	· Irod 80분 (25 cm 절단연료봉/1cycle)	· Irod 48분 (25 cm 절단연료봉/1cycle)
Blade 수	· 3 개	· 5 개
Slitting 장치 개념도		

4. 연료봉 slitting 장치 사양 및 설계·제작

4.1. 장치의 구성 및 사양

사용후핵연료봉 slitting 장치의 구성은 slitting 몸체, 리이드 스크류, 핸들, 감속기어, 펠릿 회수용기 및 hull 회수용기, 바퀴, load cell 등이다. 사용후핵연료봉 slitting 장치의 크기로는 높이 965.9 mm, 폭 800 mm, 길이 800 mm 이다. 장치의 주요 사양으로는 bevel gear M 2, Z 20, Z 40, bush, #UCFL 203, DCM 25, screw TM 25, square pipe 40 x 40, unit baring #UCFL 203, foot master GD 80F, handle FS-1010 digital indicator와 DBBP load cell 등을 사용하였다.

4.2. 장치 설계

사용후핵연료봉 slitting 장치를 확보하기 위하

여 수직형 및 수평형 slitting 장치에 대한 설계·제작, 작업공정, 장치 설치, 운전, 유지·보수 등의 분석 결과를 토대로 수직형 slitting 장치를 설계하였다. 사용후핵연료 slitting 장치의 주요 부품으로는 slitting 몸체, 리이드 스크류, 핸들, 감속기어, 펠릿 회수용기 및 hull 회수용기, 바퀴, load cell 등이다. 그림 2는 장치의 개념도 및 사용한 blade를 나타낸 것이며, 그림 3, 4는 장치의 설계도 및 그래픽 시뮬레이션을 나타낸 것이다.

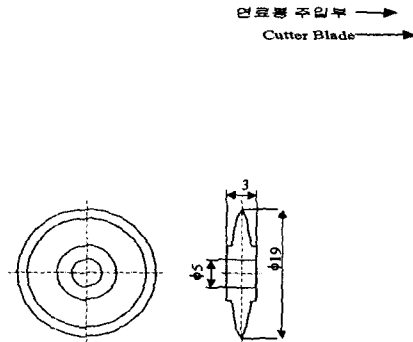


그림 2. 개념도 및 사용한 blade.

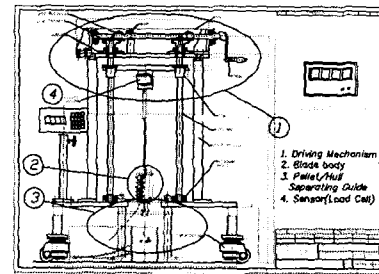


그림 3. Slitting 장치 설계도.

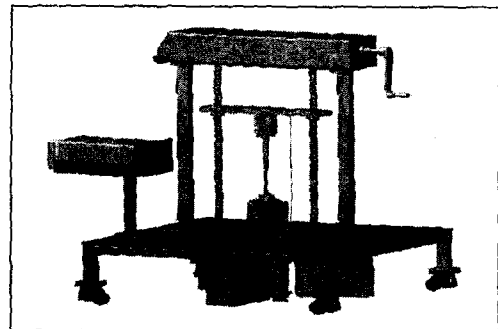


그림 4. Slitting 장치의 그래픽 시뮬레이션.

4.3. 장치 제작

사용후핵연료봉 slitting 장치는 gear 회전부, 리이드 screw 부, frame 및 support 등으로 구성되며, 제작 내용은 다음과 같다. Gear 회전부는 리이드 screw 부분에 회전력을 전달하기 위한 것으로 handle, bearing support, upper plate, bevel gear 등으로 구성되며, bevel gear의 감속비를 2 : 1로 하고, 2개의 리이드 screw 축에 연결한다. Handle 축에는 흔들림 및 bevel gear의 원활한 맞물림 및 이탈을 방지하기 위하여 support에 bush를 삽입한 후 조립한다. 리이드 screw에 회전력을 전달하게 되므로 핸들을 사용하여 수동으로 돌려야 하기 때문에 많은 힘이 소요됨으로 핸들을 원활하게 돌릴 수 있는 방법으로 한다. 부품들의 재료는 특수강인 SCM-4를 사용하고, 정밀하게 가공 및 후처리한다. 리이드 screw부는 많은 힘을 받게 되므로 몸체 지지대에 고정하고, 리이드 screw부에 로드 셸을 부착 할 시에는 견고하고 정확하게 부착한다. 리이드 screw와 screw 사이에 부착된 slitting pin은 연료봉을 slitting 할 때 사용됨으로 steel로 제작한다. Frame 및 support 부는 연료봉 slitting 시 많은 힘을 받게 되므로 흔들림과 안정성 등을 고려하여 제작한다. Frame의 하단에 foot master를 부착하고, 이동시에는 원활한 작동과 slitting 시에는 레벨링 브레이크를 고정시킬 수 있도록 한다. Frame 및 support의 재질은 SS41를 사용하고, 비틀림이나 흔들림이 없도록 제작하였다. 장치의 제작품은 그림 5에서와 같다.

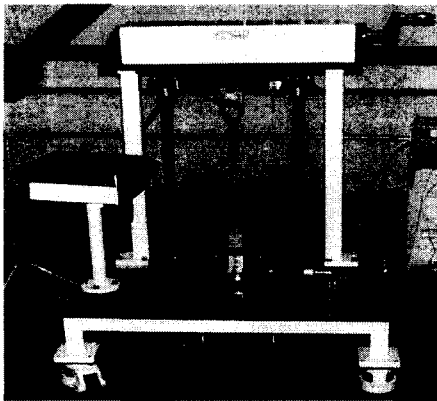


그림 5. slitting 장치 제작품

5. 결 론

사용후핵연료봉의 slitting 장치는 운전 방식에 따라 습식법과 건식법으로 분류되며, 건식법을 좀더 세분화하면 화학적 방법과 기계적 방법으로 분류한다. 화학적 slitting은 화학 반응물에 의해 피복판 재료와의 화학 반응을 기초로 한다. 기계적 slitting은 절단된 250 mm의 연료봉을 기계적인 도구를 사용하여 물리적 힘에 의해 연료봉으로부터 펠릿과 hull을 분리하는 것이다. 본 연구에서는 이러한 방법들을 토대로 핵연료의 slitting 장치의 타당성을 분석하였다. 분석을 위하여 수직형 및 수평형 slitting 장치에 대한 장·단점과 작업 소요시간, 유지·보수, 비산 문제 등을 검토하였다. 이와 같이 비교·분석한 결과를 토대로 사용후핵연료봉 slitting 장치를 설계·제작하였다. 사용후핵연료봉 slitting 장치는 기초 동작특성 시험과 성능 평가시험을 통하여 향후 실증용 slitting 장치로 널리 사용될 것으로 생각된다.

참고 문헌

1. 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.
2. K.Fukudome, "Mechanical Decladding by Rolling Straightener", Technical Report, Kobe Steel Ltd., July, 1997.
3. O.Levenspiel, "Chemical Reaction Engineering", 2nd Ed., p.361, McGraw-Hill, New York, 1972.
4. 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°C", J. Nucl. Mater., 209, 270, 1994.
5. 양명승 외, "핵연료 제조 및 품질관리 기술개발," KAERI/RR-1744/96, 한국원자력연구소, 과학기술처, 1996.
6. 신영준 외, "사용후핵연료 차세대관리공정개발," KAERI/RR-2128/2000, 한국원자력연구소, 과학기술부, 2000.