

실증용 사용후핵연료봉 Slitting 장치 설계

정재후 · 윤지섭 · 홍동희 · 김영환 · 진재현

Design of Spent Fuel Rod Slitting Device of an Actual Proof

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

Abstract

Slitting device is equipment to separate spent fuel of 250 mm rod cut pellets and hull in order to supply required UO_2 pellets through the dry pulverizing/mixing device. For development of its device, We have analyzed slitting programs so that the existing device is modified an appropriate scale in the advanced spent fuel conditioning process. The results of the analysis, we added the automatic separation function of pellets and hull, After slitting. Also, we have concentrated on reducing the operation time so that the support and the body of a slitting blade could have been established in the single structure to be easily maintained. It is based on a design and manufacture of a testing device and we have performed an efficiency evaluation. We have analyzed the results of efficiency tests of the slitting device and get the specification of the slitting device. we complete the basic design of the slitting device by using of these data. Therefore, We apply to a basic data when manufacturing a slitting device.

Key Words : Slitting device, spent fuel, rod cut pellet, UO_2 pellet, dry pulverizing/mixing device.

1. 서론

사용후핵연료봉 slitting 장치는 건식 분말화/혼합 장치에 필요한 UO_2 펠릿을 공급하기 위하여 절단된 250 mm의 연료봉으로부터 펠릿과 hull을 분리하기 위한 장치이다. DUPIC(Direct Use of spent PWR fuel In CANDU reactors)에서 실험용으로 개발한 slitting 장치를 차세대관리공정에 적합한

규모로 개조하기 위하여 slitting 방안을 분석하였고, 이를 바탕으로 시험용 장치를 제작하였다. 즉, 기존 실험용 장치에 slitting 후 펠릿과 hull의 자동 분리 기능을 추가하였고, 유지·보수가 용이하도록 지지대와 blade의 몸체를 단일 구조로 개조하여 작업 시간을 40 % 이상 단축시켰다. 개발한 장치는 펠릿이 피복관으로부터 효과적으로 분리되지만 수집 용기에 펠릿과 hull이 함께 수집되기

* 한국원자력연구소, 사용후핵연료기술개발부

때문에, 추가적인 분리 작업이 필요하였다. 장치의 개조를 통한 작업 시간 단축에 중점을 두었고, 개선된 장치의 시험 및 성능 평가를 수행하였다. 이러한 실험을 토대로 실증용 slitting 장치의 설계 사양서를 작성하기 위하여 장치의 성능실험 결과를 분석하여 실증용 장치 설계사양 도출 및 설계 및 설사양서를 작성하였다. 이러한 자료들은 실증용 장치를 설계 및 제작하는데 필요한 기본 데이터로 활용하고자 한다.

2. 기존 연료봉 slitting 장치 개조

2.1 장치 사양

Slitting 장치의 크기는 높이 970, 폭 800, 길이 800 mm 이며, 장치는 gear 회전부, 리이드 screw 부, frame 및 지지부 등으로 구성된다. 연료봉을 slitting 할 때 가해지는 힘을 측정하여, blade 간의 거리 및 작동속도 등의 동작 조건을 얻기 위하여 성능 평가를 수행한다. 이를 위하여 FS-1010 indicator와 DBBP load cell을 사용하였다.

2.2 설계 및 제작

Slitting 장치를 확보하기 위하여 비교 분석한 결과를 바탕으로 수직형 장치를 채택하여 설계 및 제작하였다. 장치의 주요 부품으로는 몸체, 리이드 스크류, 핸들, 감속기어, 펠릿 및 hull 회수용기, 압출 핀, load cell 등으로 구성된다. 또한, 이 장치는 펠릿과 hull의 분리 기능을 보유하고 있으며, 그림 1과 같이 장치를 제작하였다.

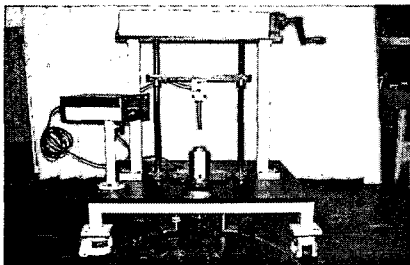


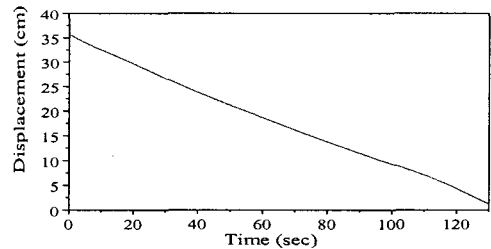
그림 1. 실험용 slitting 장치.

3. Slitting 장치 성능 평가

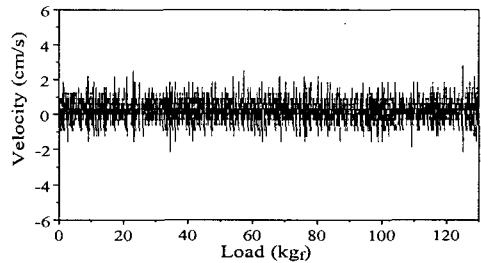
장치의 성능평가 시험에서는 실제 연료봉을 확보하기 어렵기 때문에 모의 연료봉을 사용하였다.

모의 연료봉의 튜브는 길이 250 mm의 실제 연료봉 튜브를 그대로 사용하였으며, 펠릿은 알루미늄으로 제작하였다. 장치 동작 속도 변화에 따른 성능평가 시험은 장치를 저속과 고속으로 동작시키면서 각각 성능 평가 시험을 수행하였다. 저속 성능평가 시험은 1~3회까지 시험하였으며, 각각의 평균 속도는 저속시 0.27, 0.28, 0.28 cm/sec이며, 결과는 그림 2와 같다. 고속 성능평가 시험은 1회~3회까지 시험하였으며, 고속시 평균 속도는 0.34, 0.4, 0.47 cm/sec 이며, 그림 3과 같다.

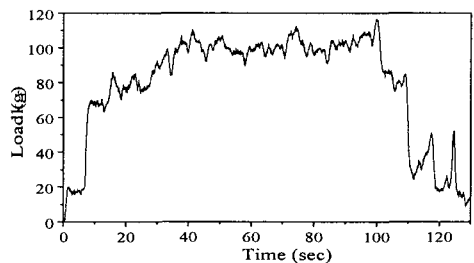
3.1 저속성능 평가시험(속도 0.3 cm/sec 이하)



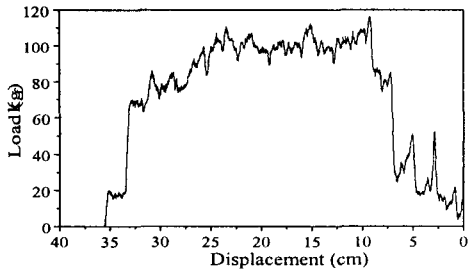
시간(sec) 대 거리(mm) 변화



힘(kgf) 대 속도(cm/sec) 변화

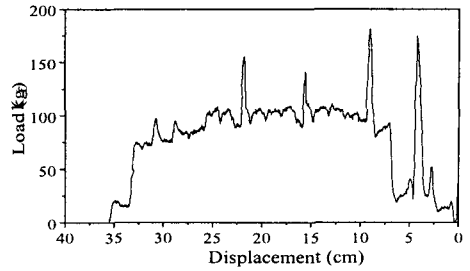


시간(sec) 대 힘(kgf) 변화



거리(mm) 대 힘(kgf) 변화

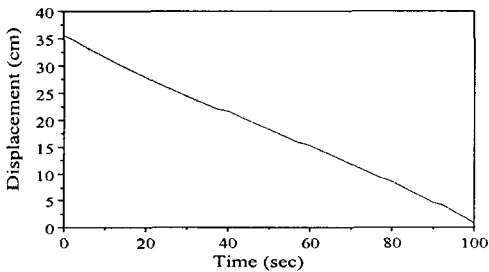
그림 2. 저속성능 평가시험(속도 0.27 cm/sec).



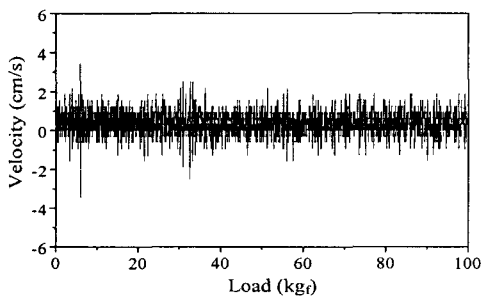
거리(mm) 대 힘(kgf) 변화

그림 3. 고속성능 평가시험(속도 0.34 cm/sec).

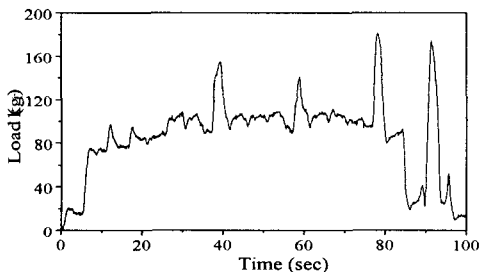
3.2 고속성능 평가시험(속도 0.3 cm/sec 이상)



시간(sec) 대 거리(mm) 변화



힘(kgf) 대 속도(cm/sec) 변화



시간(sec) 대 힘(kgf) 변화

3.3 성능 평가시험 문제점 및 해결 방안

성능평가 시험결과와 평균 속도에 의한 로드변화는 크지 않으나, 작업시간 중 속도 변화가 발생하면서 로드 변화가 크게 나타났다. 이러한 변화량은 blade에 불규칙한 로드가 작용됨에 따라 blade의 수명을 단축시키는 원인이 되며, 따라서 효율적인 slitting을 위해서는 정속을 유지하는 자동화 작업이 요구된다. 몇 차례의 시험 결과, 소요되는 힘은 200 kgf을 초과하지 않았다. 실증용 장치 제작시 모터의 최대 힘은 200 kgf 이내, 소요 시간 130 초 이내, slitting 시 110 kgf 이상 초과시에는 안전 측면에서 자동으로 정지하도록 정지 스위치 부착 및 blade의 수명 등을 고려해야 한다.

4. 실증용 slitting 장치 설계

실증용 slitting 장치를 설계하기 위하여 기존 slitting 장치에 대한 저속성능 평가시험(평균 속도 0.3 cm/sec 이하)과 고속성능 평가시험(평균 속도 0.3 cm/sec 이상)을 수행하였다. 또한, 시험 후 배출된 pellet과 hull의 상태를 분석하였다. 따라서, 이러한 일련의 시험을 통하여 성능 평가시험의 문제점 및 해결 방안을 도출하여 실증용 장치를 설계해야 한다. 이러한 장치를 제작하기 위해서는 장치 부품에 적합한 설계 사양 도출과 설계도를 생산해야 한다. 실증용 장치는 사람이 접근할 수 없는 지역인 hot-cell(방사선 구역) 내에 설치하여 작업을 하게 됨으로 원격으로 취급이 가능해야 한다. 장치에 사용되는 부품들은 내방사선 및 내열화 재료를 사용하고, 부품들은 유지·보수가 가능하도록 module type으로 설계하였다.

4.1 실증용 장치의 설계 조건 및 규격

Slitting 장치의 설계 조건으로 처리 용량은 20 kgHM/batch, 연료봉 길이는 250 mm, slitting 시간은 180 초(1 rod/1 cycle), 분리 방법은 펠릿과 hull이 자동 분리된 후 각각의 용기에 수집한다. Slitting 장치의 규격은 높이 1,013 mm, 길이 580 mm, 폭 580 mm 이다.

4.2 실증용 장치의 주요부 설계 사양

Geared motor는 SM9N180GT-E의 type 이며, 동력은 180 W x ϕ 3 x 220 V x 60 HZ, RPM은 120 rpm, torque는 140 kg-cm, 크기는 19(t) x 440 x 96 mm, 무게는 5.63 kg 이다. motor의 탈부착이 용이하도록 모터 고정판과 motor를 서로 고정하는 것이다.

Fuel rod guide는 manipulator를 사용하여 연료봉을 정확한 위치에 놓기 위한 것이다. 재질은 AL-6061, 크기는 23 x 53 x 116 mm 이다. Slitting guide는 연료봉을 slitting 한 후 펠릿과 hull을 분리시켜 각각의 용기에 담을 수 있도록 하는 것이다. 펠릿과 hull을 자동 분리시키는 cone type의 분리대는 120°의 3방향으로 되어있다. 재질은 SKD 11종 (HRC55), 규격은 ϕ 52 x 56 mm 이다.

Guide rail에 사용된 LM block은 연료봉 압입시 아래로 압출하는 압입 판의 양쪽 끝 아래에 부착하여 운동의 안전성이나 정확도를 유지하는데 사용한다. Model은 SR20W+620L(2조)-THK 이다.

동력 전달 축 및 gear는 토오크 리미터가 부착된 스피어 기어와 연결하여 동력을 전달받도록 연결하였다. 규격은 ϕ 17, SM 45 shaft, 회전수 120 rpm을 사용하였다. Bevel gear의 규격은 ϕ 17, 모듈 2, 잇수 20 개를 사용하였다

4.3 실증용 slitting 장치 설계도

실증용 slitting 장치를 설계 및 제작하기 위하여 그림 4와 같이 컴퓨터를 이용하여 장치에 대한 그래픽 모델링을 하였다. 이를 토대로 그림 5와 같이 실증용 slitting 장치를 설계하였다.

5. 결론

Slitting 장치의 기술 검토와 수직형 및 수평형 장치에 대한 장단점도 비교 분석하였고, 분석 결과, 수직형 장치가 좋은 것으로 판단되어 시험용

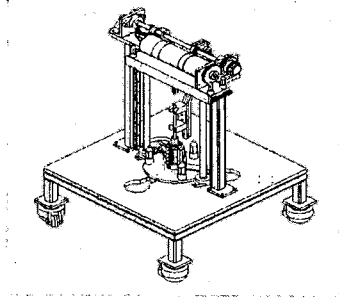


그림 4. 컴퓨터 그래픽 모델링.

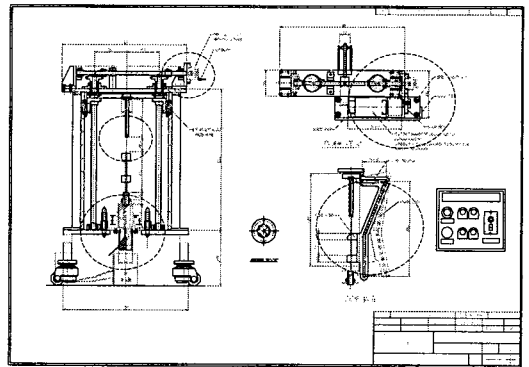


그림 5. 실증용 slitting 장치 설계도.

장치를 제작하여 성능 시험을 수행하였다. 시험 결과, 일정속도 이하에서는 안정적인 slitting 작업이 이루어졌으며, 또한, 최대 압축힘은 저속보다는 고속에서 평균적으로 높았다. 이러한 결과를 통하여 slitting 시 작업 속도가 펠릿의 원활한 배출에 영향을 미치는 것과, slitting 된 연료봉 hull의 면을 관찰해 보면 속도가 일정할 경우 면이 다소 매끈하다. 이러한 두 결과는 수동 작업에서의 결과이다. 따라서, 이러한 결과는 실증용 slitting 장치의 기본 설계에 활용하였다.

참 고 문 헌

- (1) O.Levenspiel, "Chemical Reaction Engineering", 2nd Ed., p.361, McGraw-Hill, New York, 1972.
- (2) Matheret and M. Bourgeois, "Mechanical Decladding of Stainless- steel-clad Oxide

Fuels", CEA-R-4469, 1973.

- (3) 양명승외, "핵연료제조 및 품질관리 기술개발," KAERI/RR-1744/96, 한국원자력연구소, 과학기술처, 1996.

- (4) K.Fukudome, "Mechanical Decladding by Rolling Straightener", Technical Report, Kobe Steel Ltd., July, 1997.