韓國精密工學會 2000年度 秋季學術大會論文集 pp.393~396 KSPE 00F089

Cutter blade 방식에 의한 사용후핵연료봉 절단 장치 개발
Development of the Spent Fuel Rod Cutting Device by Cutter Blade Method

정재후, 윤지섭, 홍동희, 김영환, 김도우*
한국원자력연구소*, 한양대학교*

Jae Hoo Jung, Ji Sup Yoon, Dong Hee Hong, Young Hwan Kim, (KAERI)
Do Woo Kim* (HanYang Univ.)

Abstract

Spent fuel rod cutting device should cut a spent fuel rod to an optimal size in order to fast decladding operation. In this paper, for developing spent fuel rod cutting device with cutter blade, rod properties such as dimension and material of zircaloy tube and fuel pellet are investigated at first and then, various methods of existing cutting devices used commercially are investigated and their performance are analyzed and compared. This device is designed to be operated automatically via remote control system considering later use in Hot-Cell (radioactive area) and the mdularization in the structure of this device makes maintenance easy. SUS and Zircaloy-4 are selected as cut material used in the test of spent fuel rod cutting device by cutter blade. In order for constructing the high durable cutter blade, various materials are analyzed in terms of quality, shape, characteristic, and heat treatment, etc. and from these results, spent fuel rod cutting device is designed and manufactured based on the considerations of durability, round shape sustainability of rod cross-section, debris generation, and fire risk, etc.

Key words : Spent fuel rod(사용후핵연료봉), Cutting process(절단공정), Decladding(소결체), Cutter blade(절단날), SUS and Zircaloy-4 tube(스테인레스 및 지르칼로이-4 튜브), Cutting method(절단방법), Cutting device(절단장치)

1. 서 론

사용후핵연료봉 절단 공정은 소결체 인출 공정의 전단계로서 소결체 인출에 적당한 길이로 절단하여야 한다. 국내·외의 연료봉 절단 방식을 살펴보면 크게 줄톱/연마식, 레이저, Wire EDM (Wire electron discharge machining cutting) 및 전단 절단 방식 등이 있다. 이상의 4가지 방식을 연료봉 절단부의 압착 정도, 절단 공정의 효율성 및 신속성 면에서 조사 분석한 결과 Cutter blade 절단 방식이 적합한 것으로 분석되었다. Cutter blade 절단 방식은 절단시 불꽃과 분진 발생량, 절단면의 찌그러지는 정도가 적은 것이 입증되었다. 본 연구에서는 절단면의 원형 유지가 높고, 폐기물 발생량이 적은 Cutter blade 방식을 선정하여 절단 공구의 내구성 및 절단면의 원형 유지 정도를 만족시키도록 제작하였다. 절단하기 위한 재료는 SUS와 Zircaloy-4 튜브이므로 재료의 재질, 형태, 특성, 열처리 방법 등의 내구성이 좋은 재료를 선정하였다. 이를 토대로 재료의

내구성, 원형 유지, Debris 발생 및 화재 발생 위험 등의 측면에서 유리한 Cutter blade의 재료를 선정하여 설계 및 제작하였다. 본 장치는 핫셀 내의 사용에 대비하여 원격조작방식으로 작업이 수행될 수 있는 구조로 구동 특성에 따라 구동부를 모듈화 하여 상부에 배치함으로써 원격조작에 의한 유지 및 보수가 용이하도록 하였다.

2. 절단 장치 개발

2.1. 절단 장치 개요

절단 장치는 핫셀 내에서 사용을 전제로 설계하여 자동화하거나, 또는 원격 조작 방식으로 쉽게 작업이 이루어질 수 있는 구조로 제작하였다. 본 연구에서는 장치의 주요 구동부를 모듈화 함으로써 유지 및 보수가 가능하도록 하였다. Cutter blade 방식에 의한 절단 장치를 개발하기 위해 국내·외의 사용후핵연료봉의 절단 방식을 살펴보면 크게 줄톱/연마식, 레이저, Wire EDM (Electron discharge machining cutting) 및 전단 절단 방식 등 4가지 방법이 있다. 본 연구에서는 사용후핵연료봉 절단부의 압착 정도, 절단 공정의 효율성, 신속성 면에서 Cutter blade 절단 방식을 선정하여 실험과 자료 분석을 하였다. 분석 결과 Cutter blade 절단 방식은 절단시 불꽃과 분진 발생량, 절단면이 찌그러지는 정도는 작으나 작업의 소요시간이 다소 긴 것으로 입증되었다. 본 연구에서 개발하고자 하는 절단 장치는 소결체 인출 공정의 전 단계이므로, 소결체 인출 공정을 고려하여 절단면의 찌그러짐이 없어야 하기 때문에 설계 요건중 절단면의 원형 유지 정도가 매우 중요하기 때문에 Cutter blade 절단 방식을 선정하였다.

2.2. 절단 장치 설계

장치의 설계도는 그림 1에서 보는 바와 같다. 절단 장치는 Kicking 장치부, 이송 장치부, Feeding 장치부, 이송 Clamping 장치부, 고정 Clamping 장치부, Blade 잠김 장치부, Blade 열림 장치부, 분류 장치부, 정렬 Feeding 장치부, 투입 장치부, 집진 장치부 등으로 구성된다. 이송 부는 전기 모터로 구동되는 Roller를 사용하여 길이 2m의 사용후핵연료봉을 수평 방향으로 이송시킨다. 파지부는 일정한 길이만큼 이송된 사용후핵연료봉을 절단하기 위하여 사용후핵연료봉을 파지하며, 전기 모터에 의하여 구동된다. 이때 사용후핵연료봉이 찌그러지지 않도록 전기 모터로 구동토크를 조절하여 파지력을 제어한다. 절단부는 전후 및 회전 방향으로 구동되면서 절단한다. 수집통은 절단된 사용후핵연료봉을 수집하는 곳이며, 절단 작업 종료 후 소결체 인출장치 쪽으로 사용후핵연료봉을 쉽게 이송시킬 수 있도록 설계하였다. 각 구성부의 장치 고장시 유지 및 보수가 가능하도록 모듈식으로 설계하였으며, 장치의 상단부에 구동 모터를 배치하였다. 또한 Cutter blade의 회전 속도와 절삭 깊이 (Feed)를 적절하게 제어하여 최적의 조건으로 절단할 수 있도록 설계하였다.

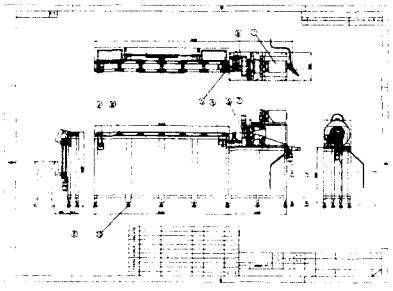

그림 1. 절단 장치 설계도

2.3. 절단 공정 시뮬레이션

그림 2~5는 절단 장치의 사용후핵연료봉 인출장치로부터 사용후핵연료봉을 인수 공정으로 절단, 배출의 공정을 3-D 그래픽으로 모델링한 장치를 이용하여 가상 작업환경에서 시뮬레이션한 것을 나타낸 것이다.

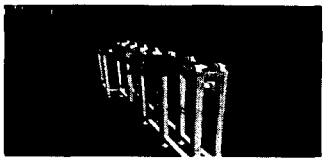

그림 2. Kicking 장치에 의한 사용후핵연료봉 이송

그림 3. 절단 부로 사용후핵연료봉 이송

그림 4. 사용후핵연료봉 절단

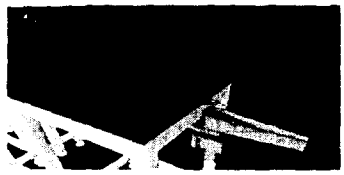

그림 5. 절단된 사용후핵연료봉 배출

2.4. Device/Part 모듈 및 기능

절단 장치의 Kick, Roller, Feeder, Cutter, Distributer에 대한 Device/Part 모듈 및 기능은 표 1에서 보는 바와 같다.

표 1. 절단장치 Device/Part 모듈 및 기능

Device	Part	기 능
Kick	핵연료봉 이송 대, Screw, Motor, 지지 대	핵연료봉 인출 장치에서 인출된 핵연료봉을 절단장치로 이송
Roller	Roller, Table, Motor	이송된 핵연료봉을 로울러의 구동에 의해 절단부 방향으로 이송
Feeder	Clamp-1,Clamp-2, Motor, Screw, Support	핵연료봉을 절단 길이만큼 커터부 위로 삽입
Cutter	Cutter, Slipring, Gear, Bearing, Motor, Support 등	절단부의 회전과 Cutter의 상하 진입에 의하여 핵연료봉 절단
Distributer	분배장치, Motor, 수집통, 연결장치 지지구조	절단된 핵연료봉의 소결체 부분은 소결체 인출장치로 이송하고, 기타는 수집통에 수집

2.5. 절단 장치 제작

Cutter blade 방식에 의한 사용후핵연료봉 절단 장치의 제작품은 그림 6에서 보는 바와 같다.

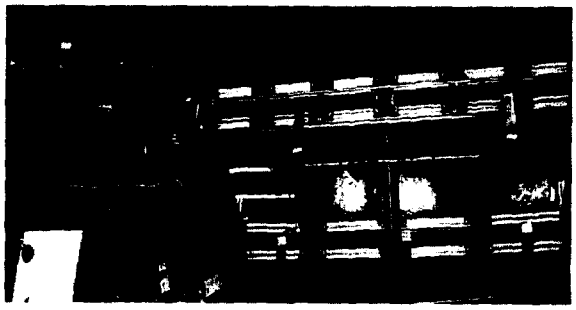

그림 6. 절단장치 제작품

3. Cutter blade 제작

3.1. Cutter blade 제작

사용후핵연료봉을 절단하기 위해서 Cutter blade의 모양, 크기, 각도 등을 고려하여 설계하였으며, 사용후핵연료봉의 효율적인 절단과 내구성이 좋은 Cutter blade를 제작하기 위하여 A, B, C type의 3종류로 제작하였다. Cutter blade의 제작품은 그림 7에서 보는 바와 같다. A type은 날 끝이 다른 Cutter blade 보다 예리하여 절단시 날에 마모가 심하다. 또한 절삭 면이 매끈하며, 절단도 잘된다. B type은 날 끝이 다른 Cutter blade 보다 예리하지는 않지만 절단시 회전수를 저속과 고속에서 원활하게 절단이 잘되며, 절단면이 약간 거칠게 된다. C type은 날 끝이 다른 Cutter blade 보다 예리하게 되어 있어 절단 날이 손상될 우려가 있다.

그림 7. Cutter blade의 A, B, C type 제작품

3.2. Cutter blade 열처리

Cutter blade의 열처리에 따라 내구성, 절단면의 거칠기 정도, 연료 봉의 원형 유지, Debris 발생 및 화재 발생이 결정된다. 따라서 제작된 Blade의 수명을 향상시키기 위해서는 열처리가 가장 중요하기 때문에 사용목적에 따라 강도와 표면의 높은 경도를 동시에 필요로 하는 것이 있다. 이와 같은 경우에 재료의 표면만을 경하게 하여 내마멸성을 증대시키고 내부는 적당한 끈기 있는 상태로 하여 충격에 대한 저항을 크게 할 수 있는 가스 침탄법으로 메탄올을 사용하여 열처리하였다. 열처리 공정은 그림 8에서 보는 바와 같다.

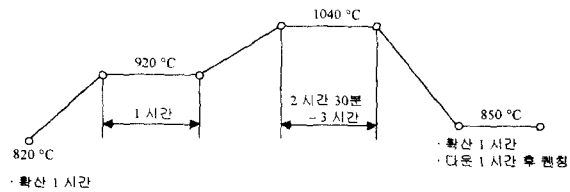

그림 8. Cutter blade의 열처리 공정

4. 절단 Flow chart

사용후핵연료봉을 절단하려면 그림 9에서 보는 바와 같이 절단 Flow chart에 의하여 절단하여야 한다.

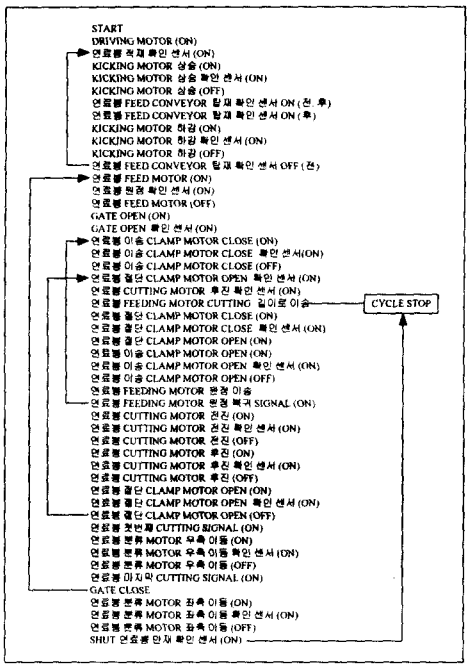

그림 9. 절단 Flow chart 순서도

5. 절단 실험

절단 실험은 실험의 변수로서 회전 모터의 회전은 0~1750 RPM으로 회전을 할 수 있으며, 최적의 조건을 얻고자 회전수를 가변화 하면서 실험을 하였다. Cutting motor의 Controller 등분은 0~10까지 되어 있으며, 최적의 조건을 얻고자 회전수를 가변화 하면서 실험을 하였다. 절단 시간 결정은 절단 회전 모터의 회전수와 Feeding 모터의 회전수에 따라 절단 소요 시간을 알 수 있다.

표 2. SUS와 Zircaloy tube의 실험 값

Blade type 및 Feed 량 \ RPM 수		1000		1200		1400	
		SUS	Zir.	SUS	Zir.	SUS	Zir.
A type	10	2.3	2.2	2.4	2.5	2.3	2.3
	8	3.4	3.5	3.5	3.2	3.4	3.4
	6	6.2	4.2	6.2	5.3	6.4	5.2
B type	10	2.9	2.4	2.9	2.7	3.1	2.9
	8	3.5	3.2	3.4	3.3	3.5	4.3
	6	5.6	4.4	5.7	4.3	6.7	5.2
C type	10	2.3	2.9	3.2	2.8	3.1	3.1
	8	3.4	3.1	3.5	3.1	3.7	3.8
	6	5.1	3.8	5.2	4.4	5.8	5.3

절단 실험은 회전수, Feed 량, 절단 소요 시간 (초)을 가변화 하여 실험을 함으로서 SUS와 Zircaloy-4브에 대한 각각의 값을 얻을 수 있으며, 실험 값은 2에서 보는 바와 같다.

6. 결 론

Cutter blade 방식에 의한 사용후핵연료봉 절단 장를 개발하기 위하여 절단 방식을 비교 및 분석하여 단에 적합한 Cutter blade 절단 방식을 채택하여 기 실험을 수행하였다. 실험 결과 절단 속도는 약간 느지만 절단면의 원형유지 측면에서 만족할 수 있고, 단시 불꽃, 분진 및 가스 발생과 Debris 발생 등의 기물 발생이 거의 없으며, 내구성 측면에서 우수하다 것을 알 수 있었다. 또한 구동 특성에 따라 장치를 듈화하고 구동부를 상부에 배치함으로써 유지 및 보가 가능하도록 설계 제작하였다. 본 장치는 향후 실용 절단 장치 제작 및 실증 시험에 활용될 것이며, 를 토대로 국내 경수로형 사용후핵연료의 재활용 공에 적합하고 효율적인 최적의 절단 공정 확립에 기여 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. "Fuel Rod Consolidation Project" Final Desi Report Contract No. DE-AC07-86ID 126 DOE/ID/12651-2-Vol. 1 DE88 004219.
2. 양명승 외, "핵연료제조 및 품질관리 기술개발 KAERI/RR-1744/96, 한국원자력연구소, 과학기술 1986.
3. W. D. Bond and J. C. Mailen and G. E. Michael "Evaluation of Methods for Decladding LWR Fue for a Pyroprocessing Based Reprocessing Plant October, 1992.
4. Westinghouse Proprietary Class 2, Chapter 2 Zircaloy-4, Rev. 6, Oct., 1993.
5. 이은표 외, "사용후핵연료봉 절단장치 제작", KAE /TR-1084/98, 한국원자력연구소, 1998.
6. 김성현 외, "사용후핵연료 수직/수평 회전기구 및 료봉 절단장치 개발", KAERI/TR-1604/00, 한국원 력연구소, 2000.