

연구용원자로에서 조사된 캡슐 및 핵연료다발 해체용 캡슐절단기 개발

박대규, 주용선, 안상복, 이기순, 강영환

한국원자력연구소

대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

연구용원자로인 하나로(HANARO)에서 중성자 조사된 캡슐 및 핵연료다발을 절단 및 해체하기 위한 장비인 캡슐절단기를 개발하여 조사재시험시설(IMEF)의 M2 핫셀(hot cell)에 설치하였다. 재료 및 핵연료의 개발을 위해 하나로에서 조사되는 캡슐 및 핵연료다발의 절단 및 해체는 핵연료 봉 및 캡슐내부에 내장되어 있는 시편에 손상 및 결함이 발생하지 않도록 하는 것이 매우 중요하며, 이러한 장비는 핫셀의 작업구역에서 원격조작기를 사용하여 원격으로 조작이 용이하도록 설계 및 제작되어야 한다. 이에 조사재시험시설에서 개발한 캡슐절단기는 가공물이 회전 및 좌우이송, 절단용 휠이 회전 및 전후이송이 각각 되도록 하였고, 핫셀내에 설치하기 전에 가공에 필요한 최적의 조건을 설정하였다. 그리고 핫셀내 설치후 중성자에 조사되지 않은 하나로용 핵연료다발과 조사된 무게장캡슐을 건식상태로 절단 및 해체하여 장비 성능을 확인하였다.

1. 서 론

연구용원자로인 하나로(HANARO)에서 중성자에 조사된 캡슐 및 핵연료다발의 조사후 시험을 하기 위해서는 우선적으로 이를 고방사능 물질을 취급하는 핫셀내에서 절단, 해체할 수 있는 장비가 필요하다. 이러한 목적에 맞는 장비중에는 범용으로 사용되고 있는 선반(lathe), 밀링(milling machine) 등의 공작기계를 개조하여 사용할 수도 있으나 상용장비는 핫셀에서의 작업이 원격조작기를 사용하여 가공물 및 공구 등을 원격으로 조작 및 운전해야 하는 특수성 때문에 별도의 구조 변경 등의 개조가 요구되고, 이에 따라 개조된 기계의 기능이 매우 복잡하게 되므로 작업성이 현저하게 둔화된다^[1-3]. 특히 중공축 형상의 캡슐 가공물의 경우에는 몸체 내부에 열매체, 온도감시

기, 중성자감시기 및 각종 시험시편 등이 내장되어 있어 캡슐 전체를 회전시키지 않고 캡슐의 직경만큼을 직선적으로 절단하게 되면 시험에 필요한 내용물이 절단용 휠에 의해 치명적인 손상 및 결함을 입게 된다.

따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 가공물을 회전시키면서 파이프의 두께만을 절단하는 핫셀전용장비인 캡슐절단기를 개발하게 되었으며, 개발 방향은 다목적 사용을 배제하고 단지 소기의 목적에 적합하면서도 기능을 단순화하는 것에 중점을 두었다.

2. 본 론

가. 설계개념 및 특수요건

핫셀내에서 운영되는 장비는 우선적으로 운전특성을 고려해야 하므로 장비운전이 원격조작기로 쉽게 되고, 구조는 유지보수가 용이하며, 작업은 운전자가 단시간에 가능하도록 한다. 아울러 방사성 물질로 인한 오염의 제염과 절삭된 핵물질의 수집도 쉽게 할 수 있어야 한다.

하나로에서 중성자에 조사되는 연료다발 및 캡슐의 외부형상은 각각 육각형 및 원형이며, 재질은 알루미늄 및 스테인레스강이다.^[45] 특히 캡슐과 같은 가공물의 경우에는 몸체 내부에 열매체, 온도감시기, 중성자감시기 및 각종 시험시편 등이 있어 캡슐 전체를 회전시키지 않고 절단하면 시험에 필요한 시편이 휠에 의해 치명적인 손상 및 결함을 입게되므로 이러한 조건을 만족시키기 위해서는 가공물의 분당 회전수 변경이 가능해야 하고, 절단용 휠(wheel)은 가공물의 종류에 따라 다이아몬드 또는 산화알루미늄 휠을 사용할 수 있도록 원격조작기로 쉽게 교체가 되어야 한다. 그리고 휠의 이송속도도 가공물의 재질에 따라 변경이 가능해야 한다. 장비의 핫셀내 이동이 용이하도록 장비의 총중량은 핫셀내 인셀크레인의 취급용량이 1톤 이하임^[6]을 고려하여 500kg을 초과하지 않도록 하고, 장비의 받침대 구석마다 아이볼트 등을 설치한다. 장비의 설계개념도를 그림 1에 나타내었으며, 각각의 구성품에 대한 세부사항은 다음과 같다.

(1) 장비 받침대(base plate)

가공물과 휠의 직각 상태를 정확하게 유지할 수 있도록 하기 위해서 기기 받침대 중 가공물 물림부와 절단부가 결합되는 지점의 표면만을 수치제어용 밀링으로 면처리 가공하며, 또한 드릴링 머신을 이용하여 볼트구멍 및 탭을 가공한다.

(2) 가공물 물림부

가공물 물림부는 가공물 물림척, 중공축, 베어링, 체인기어, 체인, 볼스크류, 볼스크류 부쉬, 가공물 물림부 좌우이송 전동구동모터 및 가공물 회전 전동구동모터 등으로 구성된다. 가공물 물림척은 선반용 척을 개조하여 제작하며, 핫셀의 작업구역에서 가공물을 척에 장전시킬 때 작업성을 고려하여 척을 조이기 위한 육각 구멍불이 형태를 척의 원주면에 설치한 후 3개의 물림척이

동시에 움직이도록 한다. 가공물의 회전은 전기구동모터의 축과 가공물 물림장치의 축이 체인기어 및 체인으로 연결되어 이루어지고, 좌우이송은 전기구동모터의 축이 회전하면 장비 받침대에 고정 설치된 볼스크류가 볼스크류 부쉬(ball screw bush)내에서 회전하면서 맞물고 있는 가공물 물림부를 장비받침대에 볼트로 고정되어 있는 선형금속베아링 위에서 이동을 하도록 함으로써 이루어진다.

(3) 가공물 절단부

가공물 절단부는 휠, 휠축, 베아링, 체인기어, 체인, 볼스크류, 볼스크류 부쉬, 가공물 절단부 좌우이송 전동구동모터 및 휠 회전 전동구동모터 등으로 구성된다. 가공물 절단부에 장착한 휠은 다이아몬드 또는 산화알루미늄 계통의 휠로서 외경 및 내경은 각각 $\phi 250\text{mm}$ 및 $\phi 32\text{mm}$ 이며, 휠을 핫셀의 작업구역에서 원격조작기를 사용하여 가공물 절단부의 휠축에 쉽게 장착 및 탈착할 수 있는 구조로 제작한다. 가공물 절단부의 휠 회전은 전기구동모터의 축과 가공물 절단장치의 축이 체인으로 연결되어 이루어지며, 전후이송은 전기구동모터와 볼 스크류 부쉬 및 선형금속베아링에 의해 이루어진다.

나. 공장시운전

장비의 전체 조립도 및 조립상태를 그림 2 및 사진 1에 나타내었다. 캡슐절단기를 가동할 때 가장 중요하게 점검해야 할 사항은 가공물과 휠이 직각을 정확하게 유지하면서 가공물을 직각으로 절단하는 것으로서 다음과 같은 사항을 점검하였다.

(1) 가공물과 휠(wheel)의 회전방향

가공물과 휠의 회전방향이 같도록 하였다.

(2) 가공물과 휠(wheel)의 원주방향 회전속도

가공물의 속도는 낮을수록 반면에 휠의 속도는 높을수록 가공물의 절삭능력이 커진다.

(3) 가공물과 휠(wheel)의 동력전달용 체인(chain)의 회전 방향

가공시 발생하는 칩이 작업대쪽을 향해 떨어지도록 체인상단부가 긴장축이 되도록 하였다.

(4) 가공물 가공

핫셀내에서 절단할 가공물의 제원을 고려하여 재질이 알루미늄이며 치수가 $\phi 100 \times 5\text{t}$ 인 파이프, 재질이 스테인레스강이며 치수가 $\phi 90 \times 3\text{t}$ 인 파이프, 재질이 알루미늄이며 치수가 $\phi 12$ 인 환봉 중앙부 및 끝단부를 절단하여 표 1과 같은 결과를 얻었다.

다. 핫셀내 설치 및 성능시험

M2 핫셀의 천정문(roof door)를 인터벤션구역에 설치되어 있는 30/5톤 크레인을 사용하여 열고, 30/5톤의 5톤 크레인으로 캡슐절단기를 들어 M2 핫셀내로 반입하였다. 핫셀내 반입 후 장비의 바닥에 즉 작업대(working table) 위에 고무판을 깔고 그 위에 장비받침대를 놓은 후 수준기

(level)를 이용하여 장비의 수평상태를 확인 및 점검하였다.

작업구역(operating area)에 위치한 콘트롤패널에서 핫셀내의 캡슐절단기를 조작하기 위한 전원 케이블 및 조작용케이블은 핫셀벽에 매설되어 있는 매설관(penetration plug)을 통해 연결하였다. 그리고 장비의 유지보수를 원활하게 할 수 있도록 전선의 연결부에는 코넥터(connector)를 사용하여 연결시켰다. 그리고 다음과 같은 가공물을 대상으로 핫셀시운전을 수행하였다.

(1) 하나로용 모의핵연료 다발 절단

원격조작기를 사용하여 하나로용 모의 핵연료다발을 척물립장치에 사진 2와 같이 장전한 후 절단하였으며, 절단조건은 표 1과 같이 하였으며, 절단결과는 매우 양호하였다.

(2) 하나로에서 조사된 무게장캡슐(FL-350-Z-P001) 절단

하나로에서 조사된 재질이 알루미늄이고, 외경이 $\phi 50.8\text{mm}$, 두께가 3.8mm 인 무게장캡슐을 사진 3과 같이 장전한 후 절단하였다. 가공조건은 척 회전수 약 3rpm , 휠 회전수 약 150rpm , 가공물 절단부의 이송속도 약 0.15 mm/min 이었으며, 건식상태로 절단하였다. 절단에 소요된 시간은 약 30분 정도이었으며, 절단된 표면에는 칩(burr)이 전혀 발생하지 않았다.

3. 결 론

전송된 기본설계조건을 만족하는 캡슐절단기를 설계 및 제작한 후 실제의 모의핵연료다발 및 캡슐에 상응하는 가공물을 대상으로 시운전을 수행하여 최적의 가공조건을 확립하였다.

본 장비를 M2 핫셀내에 설치후 조사되지 않은 하나로용 핵연료다발과 조사된 무게장캡슐(FL-350-Z-P001)을 핫셀내에서 건식상태로 절단하였으며, 절단에 소요된 시간은 각각 120분 및 30분이었다. 가공물과 휠 구동용 전동모터에 미열이 발생함을 확인하였고 절단된 가공물의 표면상태는 매우 양호하였으며, 장비의 진동도 거의 없음을 확인하였다.

4. 참 고 문 헌

- 1) 박대규 외, “핫셀설계기술”, KAERI/AR-468/97, 한국원자력연구소, 1997.
- 2) 주용선 외, “감시시험(충격) 핫셀시험 기술개발”, KAERI/TR-945/98, KAERI, 1998.
- 3) 주용선 외, “조사재시험시설 금속조직시험”, KAERI/TR-944/98, 한국원자력연구소, 1998.
- 4) “무계장 캡슐의 설계 및 제작”, KAERI/RR-1510/94, 과학기술처, 1994.
- 5) 류정수 외, “HANARO 핵연료 집합체의 내진 안전성 분석”, KAERI/TR-594/95, KAERI, 1995.
- 6) 노성기 외, “조사재시험시설건설”, KAERI/RR-880/89, 과학기술처, 1989.

표 1. 캡슐절단기 공장 시운전 가공물 종류별 점검항목 결과(1/2)

번호	가공물 종류	1) 재질 : 알루미늄 2) 치수 : $\phi 100 \times 5t$	1) 재질 : 스테인레스 강 2) 치수 : $\phi 90 \times 3t$
1	휠 회전수 (조절기번호, rpm)	7 번	7 번
2	공작물 회전수 (조절기번호, rpm)	1.5 번 (약 3 rpm)	1.5 번 (약 3 rpm)
3	휠 이송속도 (조절기번호, mm/min.)	0.1 번	0.1 번
4	휠 종류	HSS	SiC
5	바닥 진동	거의 없음.	거의 없음.
6	열 발생	가공물 없음.	가공물 없음.
7	소음	약간 큰 편임.	약간 큰 편임.
8	절삭시간(분)	약 15분	약 30 분
9	절삭상태	1) 매우 양호 2) 절삭후 chip이 붙어 있는 상태.	1) 매우 양호 2) 절삭후 chip이 붙어 있는 상태.
10	비 고	하나로 핵연료다발 절단을 고려한 것.	계장 캡슐의 절단을 고려한 것.

표 1. 캡슐절단기 공장 시운전 가공물 종류별 점검항목 결과(2/2)

번호	가공물 종류	1) 재질 : 알루미늄 2) 치수 : $\phi 12$ 환봉	1) 재질 : 알루미늄 2) 치수 : $\phi 12$ 환봉
1	휠 회전수 (조절기번호, rpm)	7 번	7 번
2	공작물 회전수 (조절기번호, rpm)	1.5 번 (약 3 rpm)	1.5 번 (약 3 rpm)
3	휠 이송속도 (조절기번호, mm/min.)	0.1 번	0.1 번
4	휠 종류	SiC	SiC
5	바닥 진동	거의 없음.	거의 없음.
6	열 발생	가공물 없음.	가공물 없음.
7	소음	약간 큰 편임.	약간 큰 편임.
8	절삭시간(분)	약 15분	약 15 분
9	절삭상태	1) 매우 양호 2) 절삭후 chip이 붙어 있는 상태	1) 매우 양호 2) 절삭후 chip이 붙어 있는 상태.
10	비 고	1) 하나로 연료봉 2) 연료봉 끝단 절단	1) 하나로 연료봉 2) 연료봉 중앙부 절단

