

사용후핵연료 집합체 해체연계장치 개념설계 Concept Design of Disassembling Connection System for Spent Fuel Assembly

*#김영환¹, 이재원², 이한수³, 박근일⁴, 이정원⁵, 조광훈⁶

*#Y. H. Kim(yhkim3@kaeri.re.kr)¹, J. W. Lee², H. S. Lee³, G. I. Park⁴, J. W. Lee⁵, K.H. Cho⁶
¹⁻⁶한국원자력 연구원

Key words : Spent Fuel, Rods, Assembly, Disassembling, Design, Connection

1. 서론

경수로 사용후핵연료(Spent Fuel : SF)를 재활용할 수 있는 파이로 프로세스(Pyro-process) 공정의 전처리를 위해서는 SF의 집합체 해체, 연료봉 인출, 그리고 인출연료봉을 절단하는 전처리가 선행되어야 한다. 파이로 전처리공정의 운영을 위해서는 사용후핵연료 집합체의 해체공정과 인출공정 사이에 연계시스템들의 설계가 요구된다. 이를 위해서 사용후핵연료 전처리 단위공정 간의 배치를 고려한 장치 구성과 연계 시스템의 예비개념을 설정하였다. 사용후핵연료 집합체의 해체공정과 인출공정 사이의 연계시스템은 수직/수평 핸들러, 집합체 턴테이블 등으로 구성하였다. 또한 기계적 전처리 공정의 SF 집합체대해 해체연계시스템 설계요건을 도출하였다. 각 연계시스템에 대한 요건을 반영하여 특성을 분석하고 모듈화 하였으며, Solid Workd 툴을 이용하여 3D 모델링을 수행하였다. 사용후핵연료 집합체 해체 연계시스템 개념설계를 통하여 상기 분석결과들은 SF 건식공정의 전처리 공정 설계에 활용할 수 있다.

2. 장치연계 전처리공정 예비개념

그림 1 과같이 전처리의 주요 단위공정 즉, 사용후핵연료 집합체 다운엔더, 해체장치, 연료봉 인출장치, 인출 연료봉 절단장치, 절단연료봉 산화 탈피복장치, 사용후핵연료 분말혼합장치 그리고 고온휘발성 산화장치로 구성된다. 또한 해체장치, 연료봉 인출장치를 연계시키기 위해서 사용후핵연료 집합체 수직/수평 핸들러, 사용후핵연료 집합체 턴테이블 등으로 구성하였다.

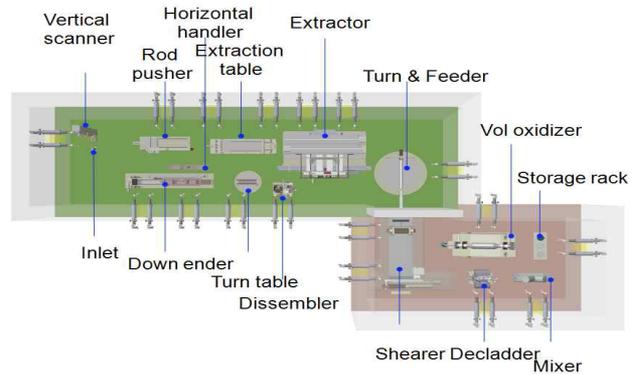


Fig. 1 Connection system in head-end process

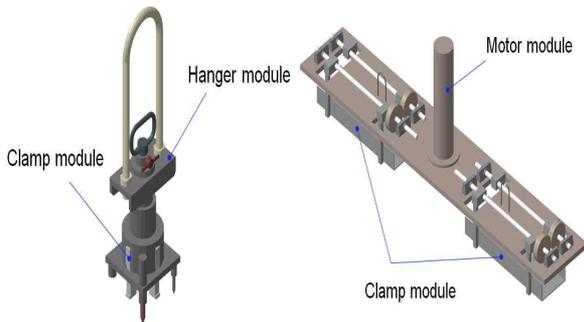
3. 집합체 수직 수평 핸들러

그림 2는 사용후핵연료 집합체 수직 수평 핸들러(handler)의 개념설계도이다. 장치연계 예비개념평가를 위해서 다음과 같은 주요요건을 반영하였다.

- 안전한 클램핑(clamping) 장치가 제공되어야 하고, 힘 조건은 턴테이블의 경우와 동일하다.
- 안전계수(safety factor)를 고려하여 인양능력(lifting capacity)은 최소 3톤이 되어야 한다.
- 모든 클램핑 조작의 이동 종료는 적합한센서(sensor)에 의해 확인되어야 한다.

그림 2-a 에서 사용후핵연료 집합체 수직 핸들러는 PWR 16x16 사용후핵연료 집합체를 취급할 수 있는 구조로 설계되었다. 사용후핵연료 집합체가 취급될 수 있는 구역은 사용후핵연료 집합체 풀(pool)에서 들어 올릴 때, 수직 스캐너와 사용후핵연료 집합체 다운엔더에 안착 시킬 때만 사용된다. 또한 스토리지 랙에 저장할 경우에도 사용될 수 있다. 사용후핵연료 집합체 수직 핸들러의 특징은 PWR 16x16 사용후핵연료 집합체의 상부노즐위에 올려놓고 크레인으로 올리면 즉각 체결되는 원리이고,

수직 스캐너와 사용후핵연료 집합체 다운엔더에 적재하고 나서 체결장치만 풀어 주면 풀어지는 기구학적 구조이다. 그림 2-b에서 사용후핵연료 집합체 대상으로 수평수직 핸들러가 취급될 수 있는 구역은 턴테이블, 인출테이블, 로드 회전/공급 장치에 사용된다. 집합체 수평 핸들러의 특징은 구동모터와 베벨기어의 구동에 의해 수평상태의 PWR 16x16 사용후핵연료 집합체에 체결되는 원리이다. 또한 PWR 사용후핵연료 집합체의 형태가 변경되면 리미트센서 위치만 변경시켜주면 된다. 사용후핵연료 집합체 수직/수평 핸들러는 welding된 구조 steel과 기구학적으로 구성된 탈착부로 구성되고, 베벨기어에 의해 구동되는 클램프 부로 구성되어 있다. 본 system은 2개의 탈착 가능한 주 모듈로 구성되어 있다.



(a) vertical type (b) horizontal type
Fig. 2 Vertical/horizontal assembly handler

4. 사용후핵연료 집합체 턴테이블

그림 3은 사용후핵연료 집합체 턴테이블의 개념 설계도이다. 장치연계 예비개념평가를 위해서 다음과 같은 주요요건을 반영하였다.

- 사용후핵연료 집합체의 고정대 역할을 함.
최대 clamping 힘은
 - 각 grid의 경우: 240 kg
 - 하부노즐의 경우: 900 kg
- Waste 물질과 crud를 수거하는 hopper의 지지대 역할을 함.
- 길이 및 수직 방향으로 정확한 위치 선정 기능을 제공해야 함.
- 적합한 센서에 의해 모든 clamping 작업의 종료가 확인되어야 함

사용후핵연료 집합체의 상부노즐과 하부노즐을 제거하기 위해서는 사용후핵연료 집합체를 고정하고 회전하는 장치가 필요하다. 사용후핵연료 집합체 해체장치의 드릴링 모듈로 위치하기 위해서는사

용후핵연료 집합체 턴테이블의 회전각도는 180도 회전각에 대한 정밀제어가 필요하고 지지격자부를 안전하게 클램핑할 수 있는 힘 조절이 필수적이다. 사용후핵연료 집합체 턴테이블장치는 회전 각도와 클램핑 힘을 제어할 수 있는 구조로 개념화되었다.

사용후핵연료 집합체 턴테이블은 welding된 구조 steel에 회전판 컨트롤러와 클램프 센서가 장착되어 있다. 또한 일정한 각도를 제어할 수 있는 서보 DC 모터를 갖는다. 본 system은 4개의 탈착 가능한 주 모듈로 구성되어 있다.

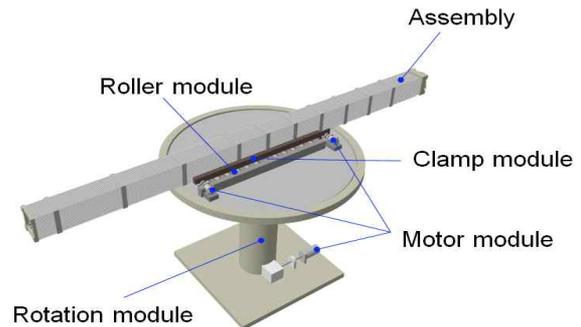


Fig. 3 Spent fuel assembly turn table

5. 요약

PWR SF 집합체 해체 연계시스템에 대한 예비개념을 도출하기 위해서 대상을 선정하고 특성분석을 수행하였다. 이를 위해서 사용후핵연료 집합체의 해체공정과 인출공정 사이의 연계시스템은 수직/수평 핸들러, 집합체 턴테이블 등으로 구성하였고, 기계적 전처리 공정의 SF집합체대한 해체연계시스템 설계요건을 도출하였다. 수직핸들러에 있어서 주요요건은 안전계수를 고려하여 인양능력은 최소 3톤이 되어야 한다. 또한 사용후핵연료 집합체 턴테이블에서 사용후핵연료 집합체의 고정대 역할을 하는 최대 클램핑 힘은 각 격자(grid)의 경우: 240 kg, 하부노즐의 경우 900 kg을 넘지 말아야 한다. 연계시스템들의 원격 유지보수를 위하여 모듈화 분석이 Solid Works 툴을 이용하여 수행 되었다. 상기 분석 결과들은 SF 핵연료주기 건식공정의 고효율 전처리공정의 설계에 활용할 수 있다.

참고문헌

1. B. D. Cul, R. H. Hunt, "Advanced head-end processing of spent fuel," 2004 ANS Winter Meeting, Washington DC, Nov., 16, (2004).