

PWR 16x16 사용후핵연료 집합체 해체장치 개념설계

김영환, 이재원, 이한수, 박근일, 이정원, 조광훈
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 989번길 111
 yhkim3@kaeri.re.kr

1. 서론

파이로 전해환원 공정의 전처리를 위해서는 사용후핵연료(SF: Spent Fuel) 집합체 해체, 연료봉 인출, 인출연료봉 절단을 하는 기계적 전처리가 선행되어야 한다. 집합체 해체를 위해서는 집합체 상하부에 고정되어 있는 노즐들을 제거해야 한다. 이를 위하여 설계요건을 설정하고, 16x16 PWR SF 집합체를 분석하였다. 또한 SF 집합체 해체장치의 요건을 반영하여 해체 핵심 메커니즘을 도출하고, Solid Works를 사용하여 3D 모델분석을 수행하여 개념설계를 수행하였다. 또한 50 kg HM/day의 생산량(throughput), 1년당 근무 일 중 250일의 작업일수(full capacity)를 가정하였으며, KSFA형(16x16)을 기준으로 85%의 이용률(availability)로 10 Ton HM/year의 연료를 처리할 수 있는 조건으로 하였다. PWR SF 집합체 해체장치 개념설계 자료들은 SF 건식공정의 전처리공정에 활용할 수 있다.

2. 본론

2.1 사용후핵연료 집합체 해체 설계요건

그림 1은 SF 집합체 해체장치의 2D개념설계도이다. 개념평가를 위해서 다음과 같은 주요요건을 반영하였다. 연료 집합체의 고정대 역할을 하는 최대 clamping 힘은 각 그리드(grid)의 경우: 240 kg, 하부노즐의 경우: 900 kg이다. 안내관(guide tube)의 상하부노즐의 절단 및 제거 기능을 제공하여야 하며, 3 축 방향에서 절단을 위한 정확한 위치 컨트롤을 제공해야한다(위치 선정 정확도: $\pm 0.25\text{mm}$). 또한 절단 tool 교체가 용이해야 하며, 가능한 경우 절단 tool에 냉각 및 윤활 기능을 제공함과 동시에 향후 처분을 위해 cuttings, fines 및 다양한 hardware를 수거하는 기능을 제공해야 한다. 공정 중 생성된 Zr fine의 자연발화를 차단할 수 있도록 설계되어야 하며, fines 필터의 교체가 용이 해야 한다.

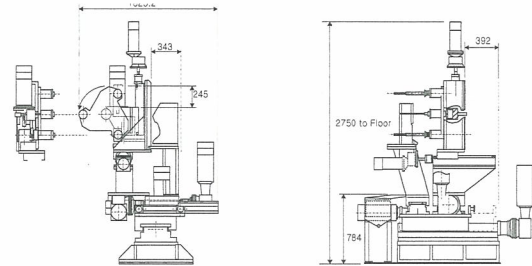


Fig. 1. Spent fuel disassembler 2D concept.

2.2 16x16 PWR SF 집합체 분석

SF 집합체 해체장치의 설계기준은 16x16 PWR SF 집합체 제원을 기준으로 설계되었다. 그림 2에서와 같이 집합체 제원은 다음과 같다. 연료봉 수는 236개이고, 총길이는 452.5 cm이다. 연료봉 길이는 409.4 cm이고, 폭은 20.7 cm이다. 연료봉의 외경은 0.952cm, 봉두께는 0.057cm, 전체무게는 651.0kg, 우라늄 무게는 486 kg, 그리고 지르칼로이(zircaloy) 무게는 138 kg이다.



Fig. 2. 16 x 16 PWR SF assembly dimension.

2.3 SF 집합체 해체 핵심 메커니즘 고안

SF 해체장치 핵심 메커니즘은 다음의 작업을 수행할 수 있도록 설계되었다. 집합체의 위치 인식, 집합체의 상하부노즐의 지지격자 이음쇠의 자동 위치이동, 이음쇠 위치를 인식하며 드릴링 작업, 분리된 상하부노즐의 수거기능 등이다.

SF 집합체 해체장치 핵심메커니즘 구성은 다음과 같다. drilling head/upper X-Y-Z turn table/low X-Y turn table/clamping driver / discharge container /servo DC motor 이다.

개념분석을 통해서 그림 3과 같이 PWR SF 집합체 해체에는 드릴링 방식이 구조상으로 적합함을 알 수 있었다. PWR 방식인 드릴링 방식은 상하부 노즐과 가이드 튜브의 체결부위만 드릴링하기 때문에 미세 분말 보다는 크기가 큰 칩(chip)이 발생되어 화재 위험성이 줄어든다. 또한 향후 상세설계 시에 드릴링부와 가이드 튜브의 인입각도를 15° 이상으로 해주면 발생하는 칩(chip)이 가이드 튜브 안으로 들어가 발생 폐기물의 확산을 방지할 수 있다.

그림 3은 드릴링 부를 확대한 부분도이다. 드릴링 부는 3개의 드릴 날을 가지고 있다. 그림의 좌측에 있는 x, y, z 의 위치좌표를 인식하기 위해서 먼저 내방산선 카메라의 비전(vision) 인식이 필요하고, 모든 PWR 사용 후핵연료 집합체의 제원이 데이터 서버(data servo)에 저장되어 있어야 한다. SF 집합체 해체장치는 3개의 드릴 날이 번갈아가며 작업을 하기 때문에 과열을 방지할 수 있지만 화재 방지 안전도를 높이기 위하여 드릴 홀더에 에어 냉각(cooling)시스템을 설치하였다.

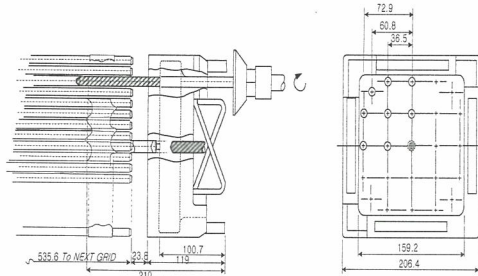


Fig. 3. Drilling module of spent fuel disassembler.

2.4 사용후핵연료 집합체 해체장치 3D

SF 집합체 해체장치는 (그림 4) rotary drilling module이 장착되어 있다. 상·하부 노즐제거를 위한 SF 집합체 해체장치는 rotary drilling module과 X-Y slide module을 이용해 PWR 해체 공정에 사용된다. 상·하부 노즐 제거는 방법상으로 동일하다. SF 집합체 해체장치는 drilling module을 positioning하는데 필요한 drive와 sensor가 포함되어 있다. 또한 장치에 추가적으로 crud, fines 및 pellet을 수거 및 제어 할 수 있는 기능을 제공하였고, 진공 장치를 설계하였다. SF 집합체 해체장치는 용접된 구조와 plate assembly로, 위치제어(position control) 기능 수행에 필요한 servo drive system, sensor, support가 장착되어 있다. 본 system

은 8개의 탈착 가능한 주 모듈로 구성되어 있다:

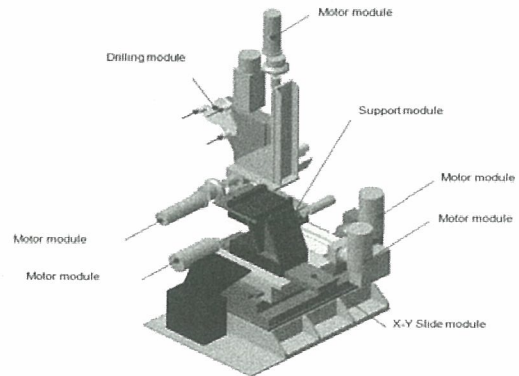


Fig. 4. Spent fuel disassembler 3D.

3. 요약

SF 집합체 해체장치 개념설계요건 설정을 위해서 PWR 16x16 SF집합체 제원을 분석하였다. 또한 집합체 해체장치 주요요건을 도출하여 핵심 메커니즘을 도출하였다. 주요요건은 다음과 같다. 집합체의 최대 clamping 힘은 각 grid의 경우: 240 kg, 하부노즐의 경우: 900 kg이다. 3 축 방향에서 절단을 위한 정확한 위치공차는 ± 0.25mm이다. 또한 처분을 위해 cuttings, fines 및 다양한 hardware를 수거하는 기능을 제공해야 한다. SF 집합체 해체를 위하여 드릴링 방식을 채택하였다. PWR SF의 종류에 따라 드릴링 위치가 다르기 때문에 위치제어와 해체장치 하단과 중간에 있는 X, Y, Z 제어를 할 수 있는 구조로 고안 하였다. SF 집합체 해체장치는 국내에서 가동되는 모든 PWR SF 집합체를 해체할 수 있는 구조로서 범용성을 가지고 있다. 원격 유지보수성을 향상하기 위하여 Solid Works 프로그램 툴(tool)을 이용하여 8개의 주요 모듈을 구성하였고, SF 집합체 해체장치 개념을 3D로 설계하였다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부가 시행한 원자력 중장기 연구사업의 일환으로 수행하였습니다.

5. 참고문헌

[1] B. D. Cul, "Advanced head-end processing of spent fuel," 2004 American Nuclear Society Winter Meeting, Washington DC, Nov., 16,