

PWR 16x16 사용후핵연료 집합체 다운엔더 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 SF 집합체는 크레인을 통해 수직상태로 핫셀 내부로 이송되어 수직 장입상태를 수평상의 위치로 바꾸어주는 다운엔더(down-ender)가 필요하다. 장치의 개념 설계를 위해서 SF 16x16 PWR 집합체 설계요건, 집합체 안착 시 충격 최소화, 그리고 고방사선 환경상의 유지, 보수를 위하여 모듈화가 고려되어야 한다. 이를 위하여 설계요건을 도출하고, 16x16 PWR SF 집합체를 분석하였다. 또한 다운엔더의 충격량실험과 개념을 설정하고 Solid Works를 사용하여 3D 모델분석을 수행하여 개념 설계를 수행하였다. 또한 50 kg HM/day의 생산량(throughput), 1년당 근무 일 중 250일의 조업일수(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 다운엔더 개념설계 자료들은 SF 건식공정의 전처리공정에 활용할 수 있다.

2. 본론

2.1 16x16 PWR 집합체 다운엔더 설계요건

SF 집합체 다운엔더의 개념설계를 위해서 다음과 같은 주요요건을 반영하였다. drive actuator type은 전기 모터나 유압 모터이어야 하며 단, 위에서 언급된 모터들의 성능 비교가 필요하다. drive system의 속도가 monitor되어야 하며(DC servo를 추천) 근접 S/W 혹은 대체 가능한 센서를 이용해 모든 조작의 이동 종료가 확인되어야 한다. 또한 clamping 장치에 의해 SF 집합체에 가해지는 힘을 조절하여 공간격자, 연료봉 혹은 하부노즐이 휘어지는 것을 방지해야 하며, 각 grid에 가해지는 최대 clamping 힘은 240 kg, 하부노즐에 가해지는 최대 clamping 힘은 900 kg이

내야 한다. clamping 장치의 열림 혹은 닫힘 위치를 설정하기 위해 내부 limit S/W가 이용되어야 한다.

2.2 16x16 PWR SF 집합체

그림 1에서와 같이 16x16 PWR SF 집합체 제원은 다음과 같다. 연료봉수는 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. 공정의 SF 다운엔더의 설계기준은 16x16 PWR SF 집합체 제원을 기준으로 설계되었다.

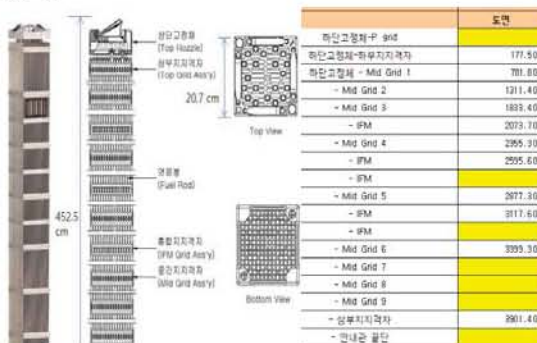


Fig. 1. 16 x 16 PWR SF assembly dimension.

2.3 다운엔더 충격량의 실험적 접근

중량 651 kg을 갖는 콘크리트 구조물의 모의 SF 집합체를 제작하고, 가속도 센서를 부착하여 고정 테이블 안착시 집합체에 전달되는 충격량을 측정하였다. 실험 결과, 수직/수평 회전 부의 회전 모터의 이송속도를 68 mm/초 정도로 설정할 경우 수직 상태에서 수평 상태로의 자세 전환 소요 시간은 약 28 초가 된다. 또한, 고정테이블 안착시 집합체에 전달되는 충격량은 그림 2에서 보는 바와 같이 평균값(mean value)은 약 0.1 g, 최대 약 0.3 g 정도가 되어 거의 충격을 받지 않음을 알 수 있다. 이는 모의 집합체가 수직 상태에서 완전히 수평상태로 전환되기 직전에 회전중인 수직/수평 회전부가 근접스위치에 의해 정지되기 때문이다.

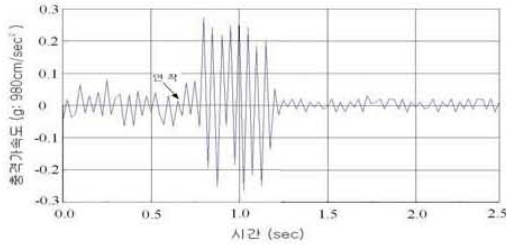


Fig. 2. Impact force of assembly on the table.

2.4 다운엔더 개념 설계

다운엔더의 기구학적 특성은 그림 3, 그림 4에서 보는 바와 같다. 그림 3에서 1축의 L_1 , L_2 의 변화와 θ 각의 변화에 따라 link X_2-X_1 은 X_1 의 힌지 점을 기준으로 R의 접선 방향으로 회전된다.

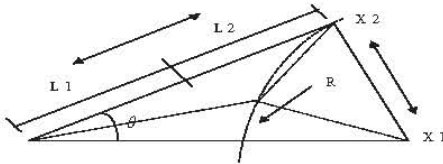


Fig. 3. Kinematics of SF down-ender.

SF 집합체가 수직 스캐너에서 SF 집합체 정상/비정상 상태 여부를 검사한 후, 수직 핸들러에 의해 SF 집합체 다운엔더 옮겨지게 된다. 이때 SF 집합체 다운엔더의 초기 상태는 항상 수직상태를 유지하도록 하였다. 또한 안전성을 고려하여 SF 집합체 지지부, 클램프부의 최적 힘을 고려하였다. SF 집합체 다운엔더가 수직에서 수평으로 전환될 때의 전환 시간은 30초로 설정하였으며, 수평 안착 시 충격을 최소화하기 위하여 접지부근에 감지센서 위치를 계산하였다. SF 집합체 다운엔더가 수직에서 수평으로 회전되는 각속도(30초/90°)를 고려할 때 감지센서 위치는 접지 면에서 30°전이 적당하다.

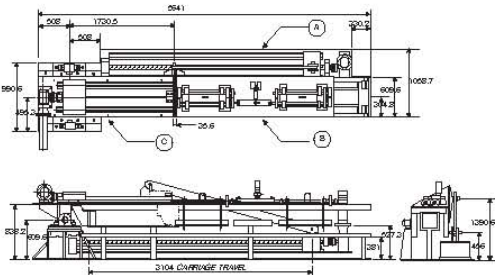


Fig. 4. Concept of assembly down-ender.

2.5 SF 집합체 다운엔더 3D

다운엔더(그림 5)는 4개의 탈착 가능한 주 모듈

로 구성되어 있다

- motor module/slide module/clamp module/Fuel assembly bottom support system

그림 5에 나타낸 support module은 SF 집합체를 수직에서 수평 방향으로 위치를 변경할 때 지지 역할을 한다. motor module은 support module이 수직에서 수평 방향으로 움직이도록 해준다. SF 집합체 clamp module은 수직에서 수평 방향으로 전환하는 작업 시에 SF 집합체에 restraint와 support를 제공한다.

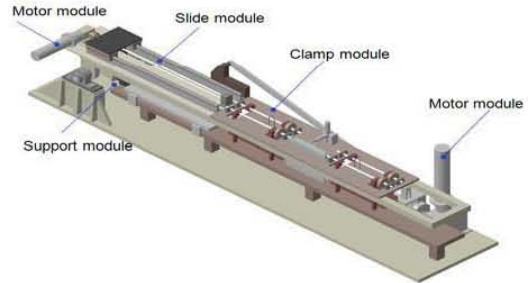


Fig. 5. SF assembly down-ender 3 D.

3. 요약

다운엔더 개념설계요건 설정을 위해서 PWR 16x16 SF집합체 제원을 분석하였다. 또한 수직에서 수평으로 전환될 때 충격량을 최소화하기 위해서 모의집합체 충격실험을 수행하였다. 그 결과 수직에서 수평으로 회전되는 각속도(30초/90°)를 고려할 때 평균값은 약 0.1 g, 최대 약 0.3 g 정도가 되어 거의 충격을 받지 않음을 알 수 있다. 주요 설계요건으로 그리드(grid)에 가해지는 수평클램프(clamp) 힘은 240kg, 하부노즐에 가해지는 수직클램프 힘은 900kg 이내로 하였다. 다운엔더의 개념설계를 위해서 기구학적 특성을 반영하였고, 전환시간을 30초/90°로 하였다. 원격 유지 보수성을 향상하기 위하여 Solid Works 프로그램을 이용하여 5개의 주요 모듈을 구성하였고, SF 집합체 다운엔더 개념을 3D로 설계하였다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부가 시행한 원자력 증장기 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.