

사용후핵연료봉 인출 핵심장치 디지털 목업 검증

김영환*, 조용준, 이영순, 이도연, 안도희

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*yhkim3@kaeri.re.kr

1. 서론

핵연료를 재활용하는 공정의 선행단계인 전처리 공정 개발되고 있다. 공정 유지보수/운전은 사용후핵연료 특성상 유해성 때문에 작업자가 직접 접근할 수 없으며 이러한 환경에서의 장비 유지 보수 및 교체는 원격으로 수행되어야 하거나 혹은 작업자를 보호하기 위한 추가 설비가 구비되어야 한다. 또한 고장 난 장비부품의 원격 유지보수 및 교체는 수동 혹은 접촉 유지보수에 비해 상당히 많은 시간이 소요된다. 이러한 시간 소비는 원격유지보수가 필요한 장비를 유지보수 계통과의 접속이 최적화 되도록 설계하여야 한다. 이를 위하여 전처리 공정 중 사용후핵연료봉 인출 핵심장치의 유지보수를 쉽게 하고, 원격 제어 효율을 높이기 위한 모듈화와 그에 대한 모듈화 방안을 분석 하고자 한다. 또한 모듈화 설계 및 목업 시스템 구축을 위하여 사용후 핵연료봉 인출핵심장치에 대한 디지털 목업 검증을 수행한다.

2. 본론

2.1 전처리 디지털 목업 시스템 검증 대상

전처리 디지털 목업 시스템 검증 대상은 집합체 해체핵심장치, 연료봉 핵심인출장치, 연료봉 절단핵심장치, 경사형 절개장치, 산화장치, 성형장치, 열처리로의 7가지 주요 핵심장치로서 본 연구는 사용후핵연료봉 인출핵심장치에 대한 디지털 목업 검증을 수행하였다. Fig. 1을 통해 주요 핵심장치의 흐름을 알 수 있다. 공정과정의 주요 흐름을 보면 먼저 집합체 해체 장치로부터 집합체의 상·하단 고정체를 제거한다. 연료봉 인출 핵심장치를 통해 구조체와 지지격자만 남겨놓고 연료봉만 인출한다. 인출 연료봉을 연료봉 절단장치에 삽입해 일정한 간격으로 절단한다. 경사형 절개장치에서는 절단 핵연료봉을 좌우로 절개하여, 연료와 피복관으로 분리 한다. 펠릿과 잔여 펠릿이 묻어 있는 피복관을 산화장치에서 분말화하고 성형 장치로 보낸다. 성형장치에서는 열처리로에 들어갈 일정한 크기의 핵연료 펠릿을 성형한다. 성형된 핵연료를 열처리로로 굳혀 다음공정으로 이송한다.

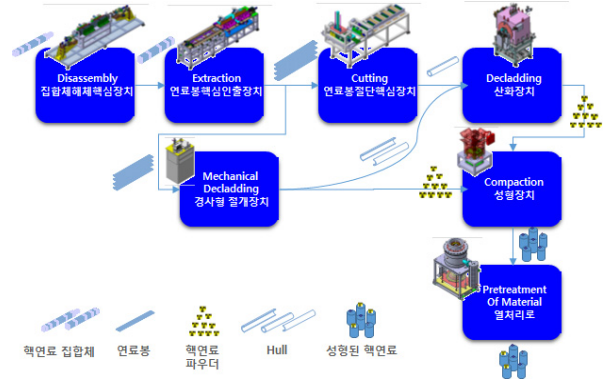


Fig. 1. Flow diagram of main devices.

2.2 사용후핵연료봉 인출 핵심장치 주요모듈

주요모듈은 5개로 구성되어 있으며 각각의 기능은 다음과 같다. 클램핑 모듈은 상·하부 노즐이 제거된 핵연료 집합체가 안착 후 움직이지 않게 고정할 수 있도록 하는 실린더에 의한 고정모듈이다. 인출 모듈은 핵연료 집합체의 연료봉을 인출하여 푸셔 (pusher)모듈로 이동시켜주는 장치이다. 푸셔모듈은 핵연료집합체에서 인출된 연료봉을 인출 모듈로부터 분리시키는 장치이다. 밀집모듈은 분리된 연료봉을 모아서 밀집 시키는 장치이다. 끝으로 지지모듈은 집합체 인출 핵심장치의 모듈들을 안착할 수 있는 구조대이다. 각각의 모듈의 부착 위치 및 형상은 Fig. 2를 통해 확인 할 수 있다. 또한 핵연료봉 인출핵심장치 주요모듈 탈부착 순서를 확인하였다. LEVEL 2의 클램핑모듈, 인출 모듈, 푸셔모듈, 밀집모듈은 서로의 간섭 없이 자유로이 탈부착이 가능하였다.

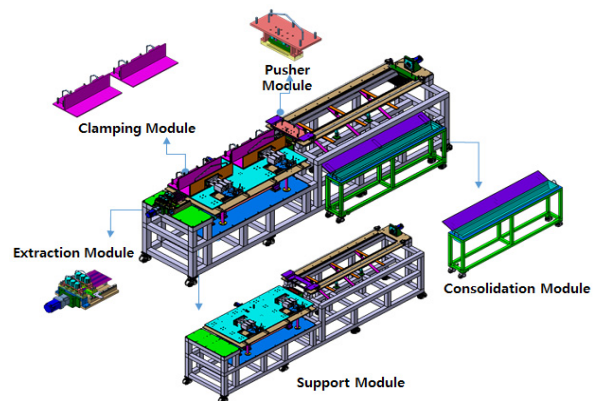


Fig. 2. Main modules of extraction device.

2.3 주요 모듈의 모듈화 방안

쉽게 탈 부착을 위해 클램프 모듈은 라쳇 렌치를 활용한 8개의 볼팅 포인트와 2개의 인양고리를 사용 하였다. 인출 모듈은 라쳇 렌치를 활용한 6개의 볼팅 포인트와 1개의 인양고리를 사용하였다. 또한 Fig. 3과 같이 푸셔 모듈은 라쳇렌치를 활용한 4개의 볼팅 포인트와 2개의 인양고리를 사용하였다.

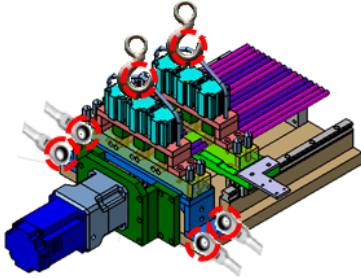


Fig. 3. Maintenance of pusher module.

각각 모듈의 인양고리의 적합성을 판단하기 위해 무게중심(center of gravity)의 분석하였다. 클램프 모듈 부피는 0.011 m³이고 질량(mass)은 84.044 kg 이다. 인출 모듈 부피는 0.003 m³이고 질량(mass)은 27.41 kg이다. 또한 연료봉 밀집 모듈 부피는 0.027 m³이고 질량(mass)은 210.297 kg이다. 아래 Fig. 4와 같이 인출 모듈의 무게중심 위치를 보여준다.

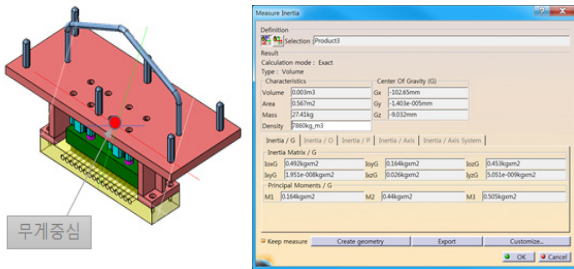


Fig. 4. Center of gravity of extraction module.

2.4 주요 모듈 탈착 시간 검증

각각의 모듈 별 탈착을 위해 4가지의 주요 작업이 수행되어야 하며, 매니플레이터 (MSM)을 통한 언볼팅(unbolting) 6곳(point)과 천정 이동서보 조작기(BSM)을 통한 인양 고리 2곳에 후크(hook)를 고정하고 탈착하는 과정을 거친다. 부착하는 방법은 역방향으로 수행하면 된다.

아래 Fig. 5를 통해 알 수 있듯이 작업시간은 클램프 모듈이 약 190 초, 푸셔 모듈이 140 초, 인출 모듈이 160 초, 연료봉 밀집 모듈이 80 초 소요될 것 분석되었다.

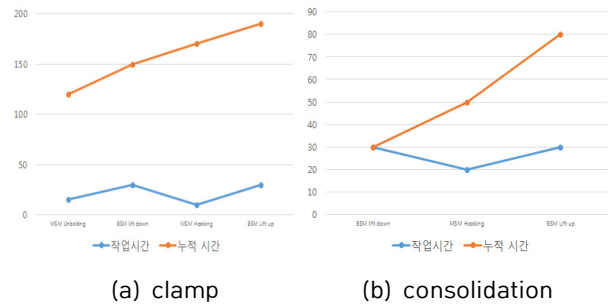


Fig. 5. Assembly and disassembly time of modules.

3. 요약

전처리 공정장치 구축에 앞서 정확한 설계와 검증이 선행되어야 한다. 우선 디지털 목업 기술을 통해 설계검증을 철저히 함으로써 공정의 품질을 높이고 공정하자를 최소화 할 수 있다. 전처리 공정 중 사용후핵연료봉 인출 핵심장치의 유지보수를 쉽게 하고, 원격제어 효율을 높이기 위한 모듈화과 그에 대한 모듈화 방안분석을 수행하였다. 이를 위해 전처리 디지털 목업 시스템 검증 대상과 사용후핵연료봉 인출 핵심장치 주요모듈을 선정하였으며, 주요 모듈의 모듈화 방안 과 모듈 탈착 시간 검증하였다. 그 결과, 사용후핵연료봉 인출 핵심장치에서는 5개의 주요 모듈로 구성하였으며, 모듈 탈착 시간 검증에서 작업시간은 클램프모듈이 약 190초, 언볼팅, 푸셔 모듈이 140초, 인출 모듈이 160초, 연료봉 밀집 모듈이 80초 소요될 것 분석되었다. 향후 전처리장치별 모듈 분석과 LAYOUT 운영을 포함해서 MSM 시뮬레이터의 디바이스 및 시뮬레이터 시스템 구축을 수행할 것이다.

4. 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부의 원자력기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] C.T. Kring and S.L. Schrock, "Remote maintenance lessons learned on prototypical reprocessing equipment," Proceedings of 38th Conference on Remote Systems Technology, pp.23-27, 1990.