

사용후 핵연료 절단연료봉 로딩장치 개발

Development of Loading device for Spent Nuclear Fuel Rod Cuts

**홍동희, 정재후, 윤지섭, 박병석, 유길성, 이은표, 이원경

*#D. H. Hong(ndhhong@kaeri.re.kr), J. H. Jung, J. S. Yoon, B. S. Park, K. S. Yoo, Y. P. Lee, W. K. Lee
한국원자력연구원

Key words : Capsule, Spent nuclear fuels, hot cell

1. 서론

사용후핵연료에서 유용한 물질을 회수하여 활용하기 위하여 사용후핵연료 집합체로부터 연료봉을 인출한 후에 절단하여 탈피복 공정 등 여러 가지의 후속공정을 수행하여 핵연료 물질을 추출한다. 이와 같은 작업은 사용후핵연료가 고방사성물질을 함유하고 있기 때문에 이를 차폐 할 수 있도록 설계/건조된 핫셀에서 이루어진다.

절단된 사용후핵연료봉을 탈피복하는 방법은 여러 가지가 있으나 본 연구는 Slitting 장치를 이용하여 기계적으로 탈피복하는 방법을 기준으로 절단연료봉을 로딩하는 장치를 개발하였다. 기존의 기계적인 사용후핵연료 탈피복 방식은 절단연료봉을 하나씩 조각기로 이송하여 장치에 장전하거나, 5개를 Capsule에 담아 이송하여 슬리팅장치에 장전하여 슬리팅작업을 한 후에 후속공정을 수행하였다. 이러한 공정의 반복 수행은 시간이 많이 소요되고, 이송 중에 연료봉의 낙하사고 등 사고의 가능성이 높으며 이에 따른 사용후핵연료 펠릿 등 사용후핵연료 분말의 비산의 위험성이 있다.

본 연구에서는 이와 같은 문제들을 해결하기 위하여 30개의 사용후핵연료 절단연료봉을 수납용기에 장전한 후, 이를 운반하여 슬리팅장치 상부에 적재 한 후에 절단연료봉이 중력에 의하여 하나씩 아래로 떨어지며, 떨어지는 절단연료봉은 기계적인 조작으로 슬리팅장치로 이송하여 로딩 할 수 있는 장치를 개발하였다.

본 연구를 통하여 개발한 장치는 핫셀에서 절단 연료봉을 소량으로 운반하지 않고, 한꺼번에 많은 량의 사용후핵연료 절단연료봉을 이송하여 안전하게 장전 할 수 있게 함으로써 작업 효율을 향상시키며, 사용후 핵연료의 분말의 비산 가능성을 줄여서 오염 방지에 기여할 수 있고, 작업의 신뢰도를 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

2. 장치의 구성

사용후핵연료 절단연료봉 로딩장치는 절단된 다수의 사용후핵연료 절단연료봉을 수납하여 장치에 장전하는 수납 유닛과, 절단 연료봉을 기계적인 조작으로 하나씩 배출하는 피딩유닛 및 피딩 유닛에서 배출된 절단 연료봉의 일단을 밀어서 후속 공정으로 안내하는 이송유닛으로 구성한다.

수납유닛은 상부를 개방할 수 있으며, 사용후핵연료 절단연료봉 여러 개를 내부에 수납하는 수납용기와, 수납용기의 상측에 결합되어 수납용기를 개폐할 수 있는 커버 및 수납 용기의 하측에 회전이 가능하게 결합되어 절단연료봉을 외부로 배출할 수 있는 회전판으로 구성한다.

피딩유닛은 수납용기가 삽입되는 피딩바디, 피딩바디의 아래쪽에 위치하여 둘레에 형성된 삽입 홈에 절단 연료봉을 하나씩 삽입한 후 회전하여 피딩바디 외부로 배출하는 회전피딩기 및

회전피딩기에서 배출된 절단 연료봉을 안내하는 가이드 판으로 구성한다.

이송 유닛은 절단 연료봉이 안착되는 홀더와, 홀더에 안착된 절단 연료봉의 일단을 밀어주는 푸셔, 및 푸셔를 이동 가능하게 지지하는 푸셔 지지대로 구성된다. 장치의 개념도는 Fig 1과 같다.

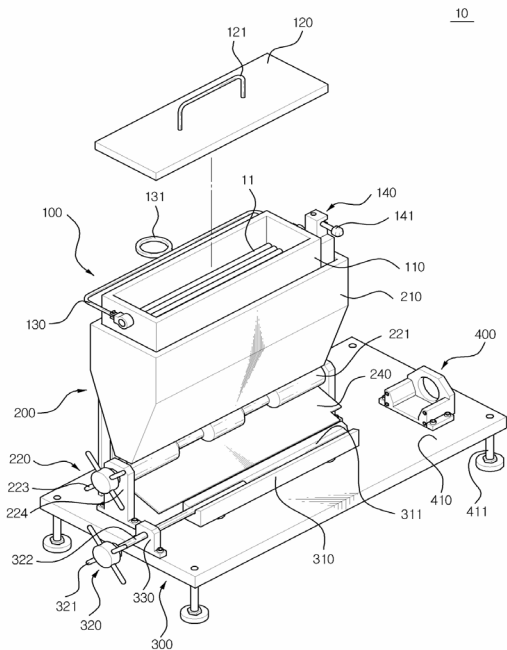


Fig 1. Conceptual design of transportation and handling Capsule

3. 장치의 설계 및 제작

사용후핵연료로부터 유용한 물질의 회수를 위하여 연구원내의 조사후시험시설 수조에 보관중인 사용후핵연료 집합체에서 연료봉을 인출한 후에 25cm 간격으로 절단하여 이송유닛에 담아서 공정장치가 설치될 핫셀의 슬리팅장치로 이송하여야 한다. 슬리팅장치에서는 사용후핵연료 절단연료봉을 Hull과 Pellet로 분리하기 위하여 이송유닛으로부터 절단연료봉을 1개씩을 인출하여 장치에 장전하고 슬리팅 작업을 수행하며, 작업이 완료되면 다시 장전하여 슬리팅하는 작업을 반복하여 수행하여야 한다. 이러한 공정의 반복적인 수행은 시간이 많이 소요될 뿐만 아니라 핫셀에서 사고가 발생할 확률과 사용후핵연료 분말이 비산될 가능성이 높다.

본 과제에서는 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 절단연료봉의 이송절차, 이송용기, 슬리팅장치 취급방안 등을 분석 하였으며, 슬리팅 작업의 효율성, 핫셀 내부에서 분말의 비산방지를 위하여 절단연료봉 30개를 수납유닛에 담아 운반하고 이를 슬리팅장치 상부에 장전하는 장치를 설계하고 제작 하였다. 장치의 설계를 위하여 반영한 주요 요건은 다음과 같다.

① 절단연료봉 캡슐은 절단연료봉 30개를 포함하여 3 kg 이내

로 제작 하고 캡슐은 충격 및 낙화 등에 대비하여 충분한 강도를 유지하여야 한다.

- ② 캡슐은 절단연료봉 30개를 용기에 담아 이송 할 수 있어야 하며, 이송 후에는 이송용기를 이용하여 연료봉 1개씩을 Slitting 장치의 연료봉 가이드로 자동 투입 할 수 있도록 가이드를 설치하여야 한다.
- ③ 용기는 이송 중 절단연료봉이 외부로 이탈되는 것을 방지하기 위하여 뚜껑으로 닫을 수 있어야 하며, 이때 뚜껑의 조작은 매니플레이터를 이용하여 자유롭게 할 수 있어야 한다.
- ④ 용기는 핵물질 계량장치에서 계량을 위하여 길이 300 mm, 최대폭이 300 mm 이내로 하여야 한다.
- ⑤ 용기는 핫셀에서 안착대에 장착이 용이하고, 조작기로 취급 하기가 용이한 구조로 하여야 한다.

4. 장치의 시험

수납 유닛은 사용후핵연료의 절단연료봉이 내부에 수납되는 용기와 수납 용기를 선택적으로 밀봉할 수 있는 커버로 이루어지며, 그 상부는 개방될 수 있다. 수납 용기의 양측에는 결합바가 회전 할 수 있도록 연결되어 있다.

Fig 2는 회전판이 회전하지 않은 상태에서 수납 용기내부에 절단 연료봉을 수납된 상태를 표시한 것이다. 그림에서 보는바와 같이 보조 결합바를 회전시키면, 이에 연결된 회전판이 회전하면서 내부에 보관된 절단 연료봉이 아래로 떨어져 회전 피딩기로 이동하게 된다. 회전 피딩기는 수납용기 내부에 보관되어 있는 절단 연료봉을 하나씩 이송 유닛으로 공급하게 되는데, 자세한 사항은 다음과 같다.

회전 피딩기는 회전 손잡이가 일단에 장착되어 있고, 이에 연결되는 긴 원통 모양의 회전 몸체가 회전이 가능하도록 설치되어 있다. 회전 몸체에는 삽입 홈이 있으며, 삽입 홈은 절단 연료봉이 하나씩 삽입될 수 있도록 절단 연료봉의 크기와 형상이 일치하도록 되어있다.

회전 손잡이를 이용하여 회전 피딩기를 회전하게 되면, 삽입 홈에 삽입된 절단 연료봉은 회전하여 가이드 판으로 떨어져 이송 유닛으로 이동하게 된다. 가이드 판은 기울어져 있어서, 절단 연료봉이 중력에 의하여 자연스럽게 굴러 떨어져 홀더에 일시 저장되게 된다. 홀더는 절단 연료봉이 안착될 수 있는 홀더 홈이 있으며, 홀더의 한 측에는 푸셔가 설치되어 있다. 푸셔가 전진하면, 푸셔 바디가 절단 연료봉을 밀게 되어 후속 공정으로 안내하게 된다.

제작한 장치를 이용하여 절단 연료봉을 이송하여 슬리팅장치 장전 시험을 수행한 결과 절단연료봉 1개씩을 조작기로 이송하거나, Capsule을 이용하여 연료봉 5개씩을 이송하여 장전한 경우와 비교하여 시간은 약 3 배 단축 되었으며, 밀폐된 대용량의 용기를 이용하여 절단 연료봉을 이송하고 취급하므로 사용후핵연료 분말의 비산을 방지 할 수 있었고, 운반용기의 이송 및 취급회수를 줄여 사고의 빈도를 줄이는 효과를 거두었다.

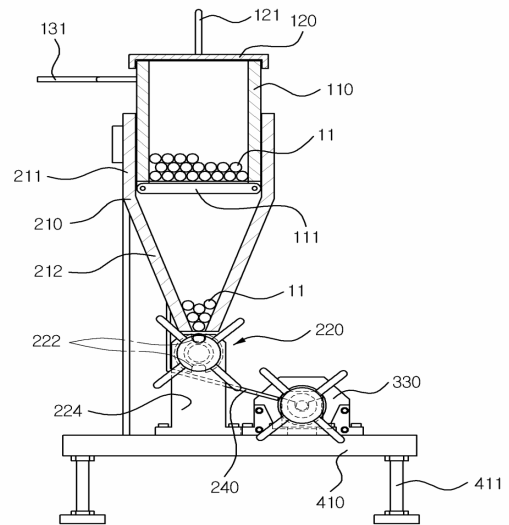


Fig 2. Schematic diagram of Capsule handling

4. 결론

본 연구에서 개발한사용후핵연료 절단연료봉 로딩장치는 절단된 사용후핵연료봉을 1개씩 운반하여 취급하지 않고, 한꺼번에 30 개를 수납 용기에 담아서 이송한 후에 기계적인 조작으로 1개씩을 후속공정장치에 장전 할 수 있게 함으로서 이송작업 효율이 향상되고, 30 개를 한꺼번에 이송하기 때문에 핵연료의 분말이 비산하는 가능성을 줄여서 오염을 방지하고 조작기의 운전 중 실수에 따른 사고를 예방할 수 있으며, 작업의 신뢰도를 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

개발한 장치를 많은 절단연료봉 슬리팅 작업을 수행하여야 하는 대형 핫셀에서 이용 할 경우에는 공정에 소요되는 시간을 크게 단축 할 수 있고, 고방사성 핵물질인 사용후핵연료 절단연료봉의 이송 및 취급에 대한 안전성과 신뢰성을 높일 수 있다.

또한, 추가적인 연구를 수행하여 취급공정을 자동화 할 경우에는 공정의 효율성과 안전성을 더욱 향상 시킬 수 있다.

후기

본 연구는 과학기술부에서 지원하는 원자력연구개발 중.장기 기금으로 수행되었음

참고문헌

1. J.S.Yoon, D.H.Hong, J.H.Jin, J.H.Jung, K.H. Kim, B.S.Park, "Development of Spent Fuel Remote Handling Technology," KAERI/RR - 2425 /2003 Vol. 1, pp. 123-158.
2. Materials Hartrumpf and Roland Munser, "Optical three-dimensional measurements by radially symmetric structured light projection", applied optics, vol. 36, 1997
3. C.S.Seo, S.C.Oh, S.K.Roh, S.W.Park, "Design guidelines for radioactive material handling facilities and equipment" KAERI/TS - 25/97, 1997 Vol. 1
4. Peckner, D. and Bernstein, I, Handbook of Stainless Steels, Mcgraw Hill, P. 18-50, 1997