

사용후핵연료봉 이송 Capsule의 개발

홍동희*, 진재현*, 정재후*, 김영환*, 윤지섭* (*한국원자력연구소)

Development of Transportation Capsule for Spent Nuclear Fuel Rod Cuts

D. H. Hong*, J. H. Jin*, J. H. Jung*, K. H. Kim*, J. S. Yoon*, (* KAERI)

ABSTRACT

In the ACPF(Advanced spent nuclear fuel Conditioning Process Facility), the spent fuel pellets which are highly radioactive materials are separated with its clad and are fed into the next conditioning process. For this, at the other facility called PIEF(Post Irradiation Examination Facility) a spent fuel rod, 3.5 m long, is cut by 25 cm long which is suitable length for the decladding process. These rod-cuts are packed into the capsule and are moved to the ACPF. Once the capsule is unloaded in the ACPF, the rod-cut is taken out one-by-one from the capsule and installed on the decladding device. In these processes, the crushed spent fuel pellet can be scattered inside the facilities and thus it contaminate the hot cell. In this paper, we developed the specially designed capsule which prevents the pellets scattering and remarkably reduces the loading and unloading time of the rod-cuts.

Key Words : Capsule, Spent nuclear fuels, hot cell

1. 서 론

사용후핵연료로부터 유용한 물질을 회수하여 활용하기 위하여 사용후핵연료 집합체로부터 연료봉을 인출하고 절단하여 핵연료 물질을 추출한다. 이와 같은 일련의 작업은 고방사성물질을 차폐 할 수 있도록 설계된 핫셀에서 이루어지며 절단된 사용후핵연료봉의 탈피복 작업은 Slitting 장치를 사용한다. 탈피복 공정을 수행하기 위해서는 절단연료봉을 하나씩 원격작업으로 이송하여야 하므로 막대한 시간이 소요되고 연료봉의 낙하, 사용후핵연료 펠렛의 비산과 사고의 위험성이 상존한다.

본 연구에서는 이와 같은 문제들을 해결하기 위하여 절단연료봉을 Capsule에 담아 핫셀로 운반하고, 핫셀에서는 이송기구를 이용하여 Slitting 장치 주변까지 운반한 후에 용기

(Capsule)를 슬리팅 장치에 직접 장전(그림 1) 함으로서 사용후핵연료 분말의 비산 문제 등을 원천적으로 해결 하고자 한다. 또한, 연속적인 슬리팅 작업을 위하여 핫셀로 이송한 Capsule을 일시적으로 보관하거나 슬리팅 작업이 끝난 Capsule을 핫셀 외부로 이송하는 이송기구도 개발하여야 한다.

절단연료봉을 운반하여 슬리팅 장치에 장전하는 이러한 장치의 개발을 위하여 핫셀에서 요구되는 기본적인 사항을 분석하여야 하며, 이를 바탕으로 장치의 설계요건을 도출하고, 장치를 설계/제작하여 핫셀 외부의 시험시설에서 충분히 시험을 수행하여 문제점을 사전에 도출하고, 검토/분석하여 개선함으로서 핫셀에 설치하는 실증용 장치에서는 운영 중에 문제가 발생하지 않도록 하였다.

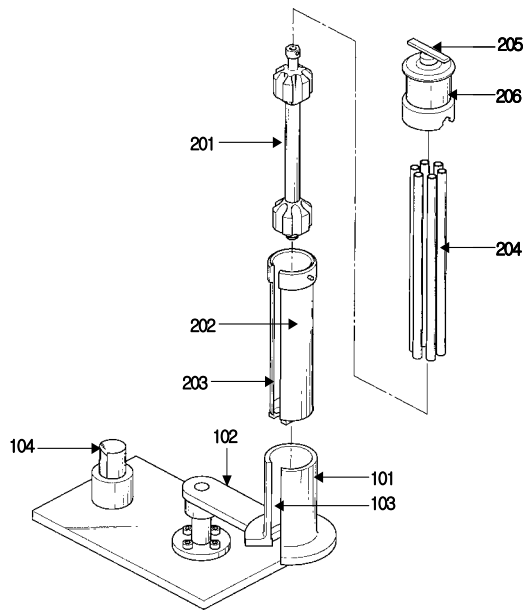


Fig 1. Conceptual design of transportation and handling Capsule

2. 절단 사용후핵연료봉의 이송 및 취급방안 도출

본 연구는 사용후핵연료 핵연료 차세대관리 공정의 시험을 위하여 한국원자력연구소 조사 후시험시설의 저장 Pool에 보관중인 사용후핵연료 집합체에서 연료봉을 인출한 후에 25cm 간격으로 절단하여 사용후핵연료봉 이송용 캡슐에 담아서 공정장치가 설치된 조사재시험시설의 지하 핫셀의 슬리핑 장치로 이송하여야 한다. 슬리핑 장치에서는 사용후핵연료 절단연료봉을 Pellet과 Hull로 분리하기 위하여 이송용 Capsule로부터 절단연료봉을 인출하여 장치에 장전하고 슬리핑 작업(Pellet과 Hull로 분리)을 한다. 1개의 절단연료봉 슬리핑 작업이 완료되면 다른 절단 연료봉을 인출하여 장전한 후에 슬리핑 하는 작업을 반복하여 수행한다. 이러한 반복 공정은 시간이 많이 소요될 뿐만 아니라 핫셀에 사용후핵연료 분말이 비산될 가능성이 높다. 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 절단연료봉의 이송 절차, 이송용기, 슬리핑 장치 등 공정장치, 핫

셀 내부에서의 취급하는 방안 등을 분석하여 다음과 같은 절단연료봉의 이송 및 취급방안을 도출하였다.

- ①슬리핑 작업의 효율성, 핫셀 내부에서 분말의 비산방지를 위하여 연료봉을 1개씩을 운반하여 취급하지 않고 여러 개를 Capsule에 담아 운반하고 Capsule을 슬리핑 장치에 직접 장전 한다.
- ②절단연료봉 이송용 캡슐은 핫셀에 설치된 조작기의 용량을 감안 할 때 절단연료봉을 포함하여 2 kg 이내로 하고 캡슐의 재질은 낙하시의 충격에 대비하여 충분한 강도를 유지하여야 한다.
- ③Capsule은 핫셀에 반입 할 때 핵물질 계량관리를 위한 장치의 장전을 위하여 길이 300 mm, 지름 50 mm 이내로 한다.
- ④캡슐은 이송 중 절단 연료봉이 외부로 이탈되는 것을 방지하기 위하여 Cap으로 닫아야 하며, Cap은 조작기로 조작이 용이하여야 한다.
- ⑤절단연료봉의 슬리핑 장치 장전은 핫셀의 활용 할 수 있는 공간 높이의 분석 결과 캡슐의 측면 절개부분을 통하여 장전되어야 한다.
- ⑥절단연료봉은 캡슐 내부의 분리된 셀에 각각 1개씩 꽂아 Capsule이 회전할 때마다 연료봉이 1개씩 슬리핑 장치의 연료봉 가이드로 자동 투입되어야 한다.
- ⑦절단 연료봉을 슬리핑 장치에 장전한 후에는 슬리핑 작업을 위하여 캡슐을 장치에서 분리 하여야 하므로 캡슐장전 안착대를 제작하여 슬리핑 장치에 부착 하여야 한다
- ⑧캡슐이송기구는 Capsule(지름 50 mm, 길이 300 mm) 13개를 1회에 운반 할 수 있도록 하여야 한다.
- ⑨캡슐이송기구의 무게는 약 5 kg으로, 조작기를 이용하여 간단히 이송 할 수 있어야 하고, 외부충격에 견딜 수 있어야 한다.
- ⑩캡슐이송기구는 핫셀 내부에서 크레인을 이용하여 이송이 용이한 구조이어야만 하고,

이송 및 저장 시에는 뚜껑으로 밀폐 할 수 있어야 한다.

3. 시험장치의 설계 및 제작

3-1. 절단연료봉 이송 및 장전 Capsule

절단 연료봉 이송 및 취급방안 분석에서 도출한 여러 요건을 반영하여 장치는 절단 연료봉을 수집하여 운반하는 Capsule 및 Capsule을 Slitting 장치에 안착시키는 안착대의 2개 부분으로 구성하여 그림 1과 같이 설계하였으며, Capsule의 내부는 5개의 분리된 셀로 구성하여 절단연료봉 5개를 장전 할 수 있도록 하였으나, 실증용 장치에서는 Capsule 안착대를 슬리팅 장치에 부착하여야 한다. 또한, 핫셀이 협소하기 때문에 매니플레이터를 이용하여 Capsule 및 안착대의 조작이 편리하도록 하였으며, Slitting 장치 자체의 높이를 고려하여 사용후핵연료 절단연료봉의 장전은 Fig 2에서 보는 바와 같이 Capsule의 측면을 절개 하여 절단연료봉을 장전 할 수 있도록 하였다. 이때 절단연료봉의 펠릿이나 분말이 핫셀로 비산되지 않고 Slitting 장치의 주입구로 들어 갈 수 있도록 Capsule의 연료봉 출구와 장치의 연료봉 입구가 일치 하도록 하였다.

3-2. Capsule 이송기구

조사후시험시설에서 Padirac Cask로 운반한 Capsule은 하역하여 핫셀에서 핵물질의 계량을 완료한 후에 슬리팅 장치까지 안전하게 이송하여야 한다. 또한, 슬리팅 장치에서는 슬리팅 작업이 완료한 빈 Capsule을 수집하여 핫셀 외부의 Padirac Cask로 운반하여 다음 작업을 수행 할 조사후시험시설로 이송하여야 한다. 이와 같은 목적의 Capsule 이송기구는 공정의 효율성 및 Padirac Cask의 운반 용량을 고려하여 Capsule 13개를 1회에 운반 할 수 있도록 하였다. 또한, Capsule 적재 전에는 조작기를 이용하여 이송 할 수 있도록 장치의 무게를 가볍게 하였으며, 핫셀 내부에서 크레인을 이용하

여 이송이 용이하도록 하였고, 이송 및 저장 중에는 뚜껑으로 밀폐 할 수 있도록 하였다.

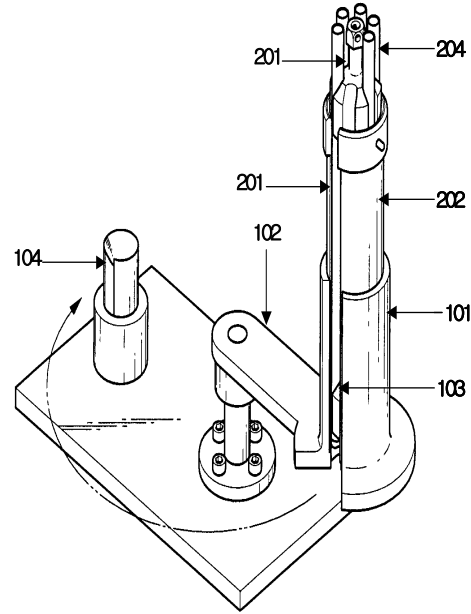


Fig 2. Design drawing of transportation and handling Capsule

4. 장치의 시험

4-1. 절단연료봉 이송 및 장전 Capsule

실증용장치의 제작을 위하여 시험 장치를 제작하여 시험을 수행한 결과 절단연료봉의 장전은 Capsule을 안착대에 안전하게 놓고 조작기로 안착대를 밀면 Capsule의 투입구가 슬리팅 장치의 절단연료봉 주입구에 일치되고, 조작기로 Capsule 내부에 설치된 셀을 회전하면 절단연료봉 1개가 Slitting 장치에 장전 되었다. 이러한 슬리팅 장치의 장전 작업은 육안으로 확인이 가능한 시험시설에서는 수십 번의 장전시험을 통하여 안전하게 장전됨을 검증 하였으나 육안으로 확인이 불가능한 핫셀에서는 추가적인 보완이 필요하다. 또한, 슬리팅 장치의 절단 연료봉 이송/장전 시험결과 연료봉 1 Capsule의 이송/장전 시간은 연료봉 하나씩 취급할 경우에 비하여 단축 되었으며, 밀폐된 Capsule로 절단 연료봉을 이송하고 취급하므로 작업자의 부주의로 인한 연료봉의 낙하사고 등의 문제점도 사전에 예방

할 수 있었다.



Fig 3. Transportation and handling Capsule

3-2. Capsule 이송기구

하셀의 설계요건을 반영하여 제작한 캡슐이송기구는 시험결과 절단연료봉 이송 캡슐은 설치된 가이드를 따라서 장전이 대단히 양호 하였다. 그러나 핫셀에서 조작기를 사용하여 장치의 뚜껑을 열고 닫을 때는 시야가 확보되지 않을 경우 불편이 예상되므로 가이드바를 부착하는 방법 등으로 개선하여야 하고, Capsule 13개를 적재 한 후의 이송기구는 크레인으로 운반하여야 하므로 기구 상부의 손잡이는 크레인 후크로 잡을 때 불편하지 않도록 개선하여야 한다. 이러한 결과는 향후 핫셀에 반입하기 전에 개선하여 핫셀에서 충분한 시험으로 검증 할 예정이다.



Fig 4. Transportation Device for Capsule

4. 결 론

본 연구에서 개발한 절단연료봉 이송 및 장전 Capsule은 고방사성물질인 사용후핵연료 분말을 비산하지 않고 안전하게 이송한 후에 슬리핑 장치에 직접 장전함으로써 절단연료봉의 장전에 소요되는 시간을 단축하였고, Capsule이 밀폐된 상태에서 절단 연료봉을 취급하므로 작업자의 부주의로 인한 연료봉의 낙하사고 및 사용후핵연료 펠릿 조각 등 분말의 비산 문제를 원천적으로 해결하였다.

이러한 연구 결과는 많은 절단연료봉 슬리핑 작업을 하여야 하는 대형 핫셀에서 이용 할 경우에는 공정에 소요되는 시간을대폭 단축 할 수 있고, 고방사성 핵물질인 사용후핵연료 절단 연료봉의 이송 및 취급에 대한 안전성과 신뢰성을 높일 수 있다. 또한, 추가적인 연구를 수행하여 보완하여 활용 할 경우 사용후핵연료 절단연료봉을 이송, 장전 및 취급공정을 자동화하여 공정의 효율성을 높이고 안전성을 향상 시킬 수 있다.

후 기

본 연구는 과학기술부에서 지원하는 원자력연구개발 중.장기 기금으로 수행되었음

참고 문헌

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. 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
3. Peckner, D. and Bernstein, I, Handbook of Stainless Steels, McGraw Hill, P. 18-50, 1997