

사용후핵연료 절단연료봉 운반/취급장치 개발

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

The Development of transportation and handling device for spent nuclear fuel rod cuts

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

ABSTRACT

During demonstrations of a process conditioning spent nuclear fuels, it may be necessary to transport and handle Spent fuel rod cuts from Post Irradiation Examination facility to Slitting device in The hot cell. It may be not easy to transport spent fuel rod cuts because rod cuts are high radioactive materials. For this purpose, we have developed a capsule for transporting and handling high radioactive materials. We have analyzed conditions of a hot cell and requirements of the device, designed and manufactured The prototype of the device, and done some performance tests. From the tests, it has been shown that transportation and handling without scattering nuclear material was smooth but the weight of capsule was heavy. These result will be reflected to a design of the improved transportation and handling device which will be used during demonstrations.

Key Words : Slitting, spent nuclear fuels, rod cuts, capsule

1. 서론

본 연구는 원자력발전에 이용한 핵연료(사용후핵연료)로부터 유용한 물질을 회수하여 활용(사용후핵연료 차세대관리공정)하기 위하여 사용후핵연료 집합체로부터 연료봉을 인출한 후에 25cm 간격으로 절단하여 고방사성물질을 차폐 할 수 있도록 설계된 핫셀의 Slitting장치로 이송한다. Slitting 장치에서는 절단된 연료봉을 탈피복하기 위하여 절단연료봉 이송용 Capsule로부터 연료봉을 인출하여 장치에 장전하여야 하나, 이 공정은 연료봉을 1개씩 이송하고 취급하여야 하므로 시간이 많이 소요될 뿐만 아니라 핫셀에 사용후핵연료 분말이 비산될 가능성이 높다. 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 연료봉을 1개씩 취급하지 않고 5개를 Capsule에 담아 운반하고 Slitting 장치에 장전하는 방안을 고안하였다. 즉, 절단연료봉 5개를 Capsule의

5개의 분리된 셀에 각각 1개씩 꽂아 Capsule이 60도 회전할 때마다 연료봉이 1개씩 Slitting 장치의 연료봉 가이드 따라 연료봉 주입구로 자동 투입되는 방식의 장치를 고안하여 실험을 수행하였다. 실험결과 연료봉 5개의 이송 및 장전 시간은 절단연료봉 하나씩 취급할 경우에 비하여 대폭 단축되었고, capsule에 밀폐된 상태에서 절단 연료봉을 취급하므로 핫셀에서 작업자의 부주의로 인한 낙하사고와 사용후핵연료 펠릿 및 분말의 비산 문제가 없어 공정의 신뢰도를 높였다.

2. 설계를 위한 현황 분석

2.1 핫셀의 개요

사용후핵연료 차세대관리공정은 조사재시험 시설의 핫셀에서 수행되며, 취급하는 물질은 방사능이 매우 높으므로 모든 공정은 원격으로 이루어지게 된다. 실증시험을 수행할 핫셀

은 공정 셀 및 유지보수 셀로 구성되고, 공정 셀에는 사용후핵연료 탈피복 장치, 사용후핵연료 분말화 장치, 금속전환 장치, 금속용융 장치, 폐용융염 처리 장치 등의 공정장치가 설치되고 유지보수 셀에는 크레인, 공정기기 유지 보수, 반출기기 제염 작업을 수행 한다. 또한 핫셀은 알파 감마 Type의 콘크리트 셀로서 공정에 필요한 장치 및 장비들을 설치하기에는 매우 협소(공정 셀은 길이 8.1 m 폭 2.0 m 높이 4.3 m)하다. Fig. 1은 공정수행에 필요한 공정 장치의 배치도이다.

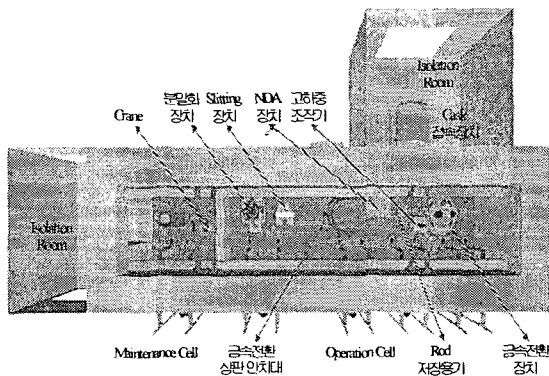


Fig. 1. Virtual workcell of the ACP.

2.2 공정 장치

사용후핵연료 차세대관리공정은 탈피복, 분말화, 금속전환 및 금속 용융공정 등 몇 개의 단위공정으로 구성된다. 탈피복장치는 절단된 사용후핵연료봉으로 부터 사용후핵연료 펠릿과 Hull을 분리하는 장치이고, 분말화장치는 고온의 반응로에서 공기의 산화작용을 이용하여 UO_2 pellet을 U_3O_8 분말로 변환시키는 장치이다. 이 장치는 반응로, 진동장치 및 분말용기 장착을 위한 에어 실린더 등으로 구성된다. 금속전환장치는 변환된 분말을 우라늄 금속으로 전환하는 장치로 분말과 용융염 가열을 위한 반응로, 혼합을 위한 교반기 및 전환된 우라늄 금속을 배출하기 위한 밸브로 구성된다.

Fig. 2는 사용후핵연료 차세대관리공정의 주요 공정장치를 나타내고 있다.

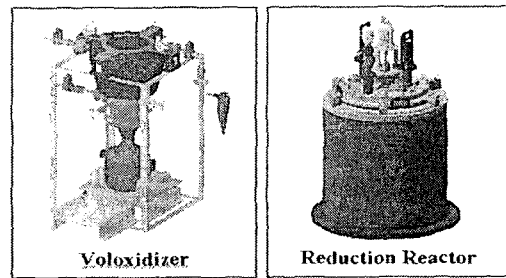


Fig 2. Main equipment of the ACP.

2.3 핵물질의 이송

조사후시험시설에서 사용후핵연료 집합체로 부터 핵연료봉을 인출하여 25 Cm 크기로 절단한 후에 연료봉을 절단연료봉 이송 및 취급 Capsule 넣은 후에 Padirac 캐스크에 담아 조사재시험시설로 운반한다. Padirac 캐스크가 조사재시험시설 예비셀의 리어도어를 통하여 절단 연료봉들이 포함된 캡슐을 하역한다. 하역한 캡슐은 핵물질 보장조치를 위한 계량을 완료한 후 탈피복을 위하여 Slitting 장치로 이송한다. Slitting장치에서는 사용후핵연료를 탈피복(펠릿과 Clad로 분리)한다. 사용후핵연료 펠릿은 분말화 장치에서 U_3O_8 으로 전환되며, U_3O_8 으로 전환된 사용후핵연료 산화분말은 분말용기로 수집하여 금속전환 장치로 이송한다. 금속전환 장치에서는 U_3O_8 이 금속으로 전환된다. 전환된 U분말은 금속용융장치로 이송되고, 금속용융장치에서 U-분말이 U-금속으로 완전히 전환되면 용융된 Ingot을 회수하여 냉각한 후에 마그네시아필터와 Ingot를 분리하여 보관한다.

3. 시험장치의 설계 및 제작

3.1 절단연료봉/펠릿 운반방안 도출

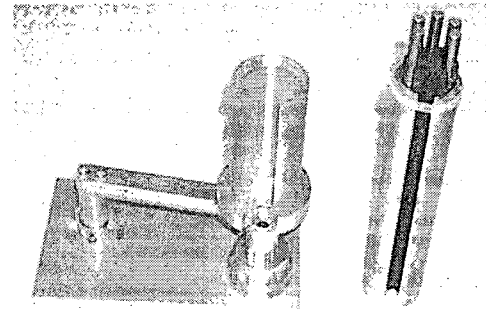
공정장치, 핵물질 이송과정 등의 분석결과를 바탕으로 검토한 결과 절단 연료봉을 탈피복하기 위하여 capsule로부터 연료봉을 1개씩 인출하여 Slitting 장치에 장착하여야 하나 이 공정은 연료봉을 1개씩 취급하므로 긴 시간이 소요될 뿐만 아니라 핫셀에 사용후핵연료 분말이 비산될 가능성이 높다. 따라서 본 연구에서

는 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 연료봉을 1개씩 취급하지 않고 Capsule을 Slitting 장치에 안착하고 반자동방식으로 연료봉을 장전하는 방안을 도출 하였다. 즉, 절단연료봉 5개를 Capsule의 5개의 분리된 셀에 각각 1개씩 꽂아 Capsule이 60도 회전할 때마다 연료봉이 1개씩 Slitting 장치의 연료봉 가이드로 자동 투입되는 방식으로 Fig 3과 같다.

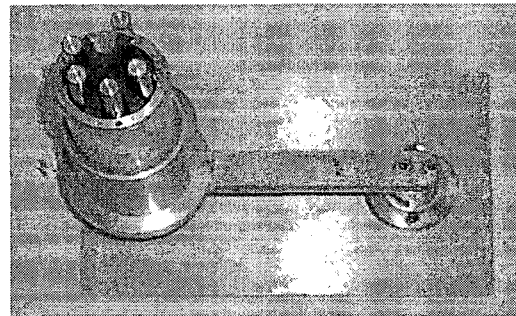
Capsule을 이용한 사용후핵연료 절단연료봉의 운반 및 슬리팅 장치의 장점은 많은 장점이 있으나 고려하여야 할 점은 이송용 캡슐속에 절단 연료봉을 분리하는 셀을 넣어야하고 사용후핵연료봉을 25 cm로 절단 한 후에 연료봉을 1개씩 캡슐의 분리된 셀에 넣어야 한다.

3.2 시험 장치의 설계 및 제작

시험 장치는 절단연료봉을 수집하여 운반하는 Capsule 및 Capsule을 슬리팅 장치에 안착시키는 안착대의 2개 Part로 구성하여 설계 및 제작하였다. Capsule의 내부는 5개의 분리된 셀로 구성되어 Capsule이 60도 회전하면 1개의 절단연료봉이 하부의 연료봉 주입구로 장전 될 수 있도록 설계 하였다. 또한 핫셀이 협소하기 때문에 매니플레이트를 이용하여 capsule 및 안착대를 조작 할 경우 조작성이 좋아야 하며, 슬리팅장치 자체의 높이를 고려하여야 하기 때문에 사용후핵연료 절단연료봉의 장전은 그림에서 보는바와 같이 Capsule의 측면을 절개 하여 장전하여야 한다. 이때 절단연료봉의 절단부위를 통하여 펠릿이나 분말이 핫셀로 비산되지 않고 슬리팅 장치의 주입구로 들어 갈 수 있도록 Capsule의 연료봉 출구와 장치의 연료봉 입구가 일치 하도록 설계 하였다. 연료봉의 장전 원리는 절단연료봉 5개가 장전된 Capsule을 캡슐 안착대에 장전한 후에 매니플레이트로 안착대를 밀어주면 절단 연료봉 1개가 슬리팅 장치에 장전된다. 이때 매니플레이트로 안착대를 밀어서 원위치 시키고 장전된 절단연료봉은 슬리팅 장치에서 사용후핵연료 펠릿과 Hull로 분리된다.



(a) Capsule 안착대



(b) Capsule 장전

Fig 3. Capsule for test

3.3 모의시험

사용후핵연료 절단연료봉 장전 Capsule, 안착대 등을 제작하여 절단연료봉의 이송/장전 시험을 수행하였다. 시험 결과 연료봉 5개 (1 Capsule)의 이송/장전 시간은 연료봉 하나씩 취급할 경우에 비하여 대폭 단축되었으나, Capsule에 절단연료봉 5개를 담았을 때의 무게가 약 4 kg으로 매니플레이트로 이송 및 취급하기가 무거웠고, 잡을 수 있는 손잡이가 없어 취급이 용이하지 않았으며, Capsule이 완전히 밀폐되지 않아 이송 중에 절단연료봉이 외부로 이탈 할 가능성이 있었다. 그러나 capsule로 절단 연료봉을 이송하고 취급하므로 작업자의 부주의로 인한 연료봉의 낙하사고와 사용후핵연료 펠릿 조각의 비산은 없었다.

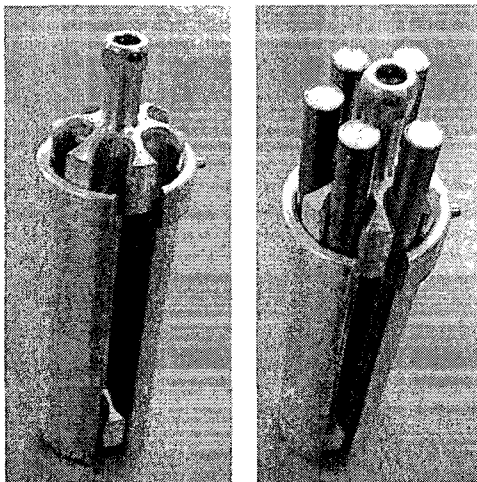
3. 실증용장치의 설계 및 제작

모의 시험장치를 제작하여 수행한 시험 결과 발견된 문제점 및 모의 장치 설계 자료를 이

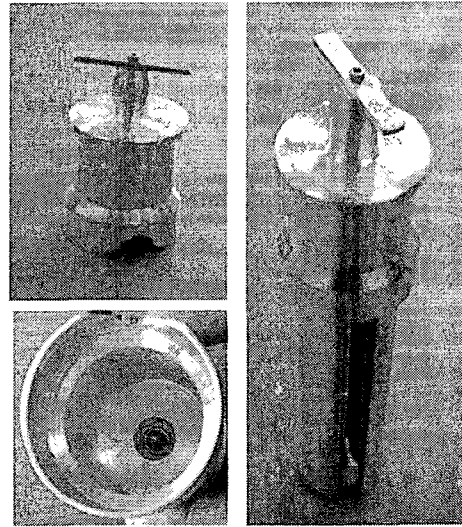
용하여 다음과 같이 capsule 설계사양을 확정하고 실증용 운반 및 취급 장치를 설계하여 Fig 4 와 같이 제작하였다.

< capsule 설계 사양 >

- ① 절단연료봉 캡슐은 절단연료봉 5개를 포함하여 2 kg 이내로 제작 하고 캡슐의 재질은 충격 및 낙화 등에 대비하여 충분한 강도를 유지하여야 한다.
- ② 캡슐은 절단연료봉 5개를 분리된 셀에 각 1개씩 꽂아 Capsule이 60도 회전할 때마다 연료봉이 1개씩 Slitting 장치의 연료봉 가이드로 자동 투입 될 수 있도록 한다.
- ③ 캡슐은 이송 중 절단연료봉이 외부로 이탈되는 것을 방지하기 위하여 Cap으로 닫을 수 있어야 하며, 이때 캡의 조작은 매니플레이트를 이용하여 자유롭게 할 수 있어야 한다.
- ④ Capsule은 핵물질 계량을 위하여 길이가 300 mm, Diameter 50 mm 이내로 한다.
- ⑤ Capsule은 Slitting 장치에 장착이 용이하고, 이송 중 조작기로 취급이 용이한 구조로 한다.



(a) Capsule의 분리셀



(b) Capsule 의 cap

Fig 4. transportation and handling Capsule

4. 결 론

본 연구에서는 핫셀에 고방사성물질인 사용후핵연료 분말을 비산하지 않고 절단연료봉을 이송/취급하여 핫셀에서 작업시간을 단축할 수 있는 방안을 도출하였으며, 반자동 연료봉 장전장치를 제작하고 성능 시험을 수행하여 타당성 검증하였다. 시험결과 1 Capsule(절단연료봉 5개)의 장전 소요시간은 절단연료봉을 1개씩 취급하는 경우에 비하여 대폭 단축되었으며 capsule에 밀폐된 상태에서 절단 연료봉을 취급하므로 작업자의 부주의로 인한 연료봉의 낙하사고, 사용후핵연료 펠릿 조각의 비산 문제를 원천적으로 해결하여 공정에 대한 신뢰도를 높였다.

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