

DUPIC 핵연료 제조시험중 발생하는 방사성폐기물 관리
Radioactive Waste Management of Experimental DUPIC Fuel Fabrication Process

이호희, 박장진, 신진명, 양명승, 홍권표

한국원자력연구소
대전시 유성구 덕진동 150

요 약

경·중수로 연계(DUPIC : Direct Use of Spent PWR Fuel in CANDU Reactors) 핵연료는 경수로 사용후핵연료를 직접적인 재가공 방법에 의해 중수로 핵연료로 재 사용하는 개념으로, DUPIC 핵연료 개발은 고방사능 차폐시설인 PIEF의 일부 핫셀과 IMEF M6 핫셀에서 수행하며, 취급하는 핵물질의 형태는 절단 연료봉, 분말, 압분체, 소결체, 가공 부스러기, 연료봉, 연료다발, 시료 및 기타 시험에 의해 발생하는 공정폐기물 등이 있다. 시험이 완료된 후 이러한 핵물질 모두와 폐시험장비 및 해체폐기물 등도 궁극적으로 방사성폐기물로 분류하여 최종관리정책이 결정될 때까지 제반 법규 및 규정에 따라 연구소 내의 저장시설로 운반하여 엄격하게 관리할 예정이다. 본 논문은 DUPIC 방사성폐기물관리 기본계획, 발생원 및 추정발생량, 시설 내에서의 폐기물 분류 및 포장방안, 수송용기, 관련시설로의 운반 및 저장절차 등을 포함한다.

Abstract

The concept of DUPIC(Direct Use of Spent PWR Fuel in CANDU Reactors) is a dry processing technology to manufacture CANDU compatible DUPIC fuel from spent PWR fuel material. Real spent PWR fuel was used in IMEF M6 hot cell to carry out DUPIC experiment. Afterwards, about 200 kg-U of spent PWR fuel is supposed to be used till 2006. This study has been conducted in some hot cells of PIEF and M6 cell of IMEF. There are various forms of nuclear material such as rod cut, powder, green pellet, sintered pellet, fabrication debris, fuel rod, fuel bundle, sample, and process waste produced from various manufacturing experiment of DUPIC fuel. After completing test, the above nuclear wastes and test equipment etc. will be classified as radioactive waste, transferred to storage facility and managed rigorously according to domestic and international laws until the final management policy is determined. It is desirable to review management options in advance for radioactive waste generated from manufacturing experiment of DUPIC nuclear fuel as well as residual nuclear material and dismantled equipment. This paper includes basic plan for DUPIC radwaste, arising source and estimated amount of radioactive waste, waste classification and packing, transport cask, transport procedures.

1. 서 론

DUPIC 핵연료 개발은 1993년에 완료된 타당성연구를 기반으로 현재 한국, 캐나다, 미국 및 IAEA와 공동으로 제 2단계 연구인 실험적 검증 연구를 수행하고 있다. 2000. 1월부터는 실제 경수로 사용후핵연료를 사용한 본격적인 시험에 착수하여 2006년까지 약 200 kgU의 사용후핵연료를 사용하여 DUPIC 핵연료 제조시험을 수행할 예정이다. 이 연구는 고방사능 차폐시설인 PIEF의 일부 핫셀과 IMEF M6 핫셀에서 사용후핵연료를 초기물질로 사용하여 수행하며, 건식 산화·환

원공정에 의해 분말을 제조하고, 이 분말을 사용하여 압분체, 소결체, 연료봉 및 연료다발을 개발하는 시험으로 이루어진다.

DUPIC 핵연료 제조시험은 장기간에 걸쳐 수행될 뿐만 아니라 핵물질 사용에 민감한 미국 DOS 및 IAEA가 본 연구에 참여함으로써 방사성폐기물을 포함한 핵물질 관리는 국내·외적으로 더욱 투명하게 유지할 필요가 있다. DUPIC 핵연료 제조시험 중 발생하는 방사성폐기물 뿐 아니라 시험이 완료된 후 발생하는 잔여 핵연료물질, 시험 생산품과 시험장비 해체시 발생하는 폐장비, 폐설비 등의 관리방안도 사전에 수립하는 것이 바람직하다. 본 논문에는 DUPIC 핵연료 제조시험 특성, DUPIC 방사성폐기물관리 기본계획, 발생원 및 추정발생량, 시설 내에서의 폐기물 분류 및 포장방안, 수송용기, 관련시설로의 운반 및 저장절차 등을 포함한다.

2. DUPIC 핵연료 제조시험 특성

DUPIC 핵연료 제조공정은 PIEF에서의 경수로 사용후핵연료 집합체의 해체, 연료봉 인출 및 절단 공정과 IMEF에서의 slitting, 산화에 의한 탈피복 공정, 산화/환원(OREOX)에 의한 분말 제조공정, 소결체 제조공정, 연료봉 및 연료집합체 제조공정 등으로 크게 분류할 수 있다. PIEF 9405 핫셀과 IMEF M6 핫셀에 설치된 DUPIC 핵연료 제조시험장치는 그림 1과 2에 나타낸 바와 같으며, 제조시험공정의 개략적인 흐름도는 그림 3과 같다. DUPIC 핵연료 제조시험은 사용후핵연료를 초기물질로 사용함으로써 고방사능 차폐시설인 핫셀내에서 원격으로 조작되어야 하는 기술적 특성 때문에 적절한 공학적 요건을 갖춰야 한다. 한국원자력연구소에는 근래 완공된 다목적 연구구로인 하나로와 부속시설인 조사재시험시설(IMEF : Irradiated Materials Examination Facility)을 비롯하여 이미 운영되고 있는 조사후시험시설(PIEF : Post Irradiation Examination Facility), 화학분석실 및 방사성폐기물관리시설(RWTF : Radioactive Waste Treatment Facility) 등이 있으므로 DUPIC 핵연료 제조시험을 수행하기 위하여 필요한 기본적인 가용시설이 갖춰져 있다. DUPIC 핵연료 제조시험을 위한 각 시설의 주요 기능 및 시설간 핵물질 이송방법은 그림 4에 나타낸 바와 같다[1, 2].

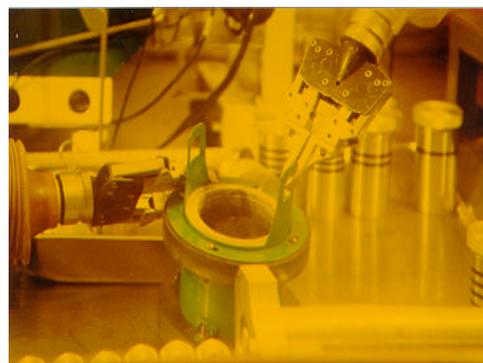
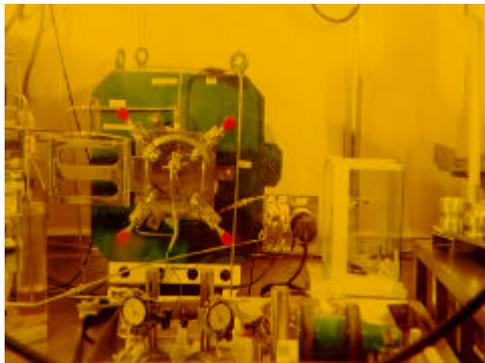


그림 1. PIEF 9405 핫셀에 설치된 DUPIC 시험장비.



그림 2. IMEF M6 핫셀에 설치된 DUPIC 시험장비.

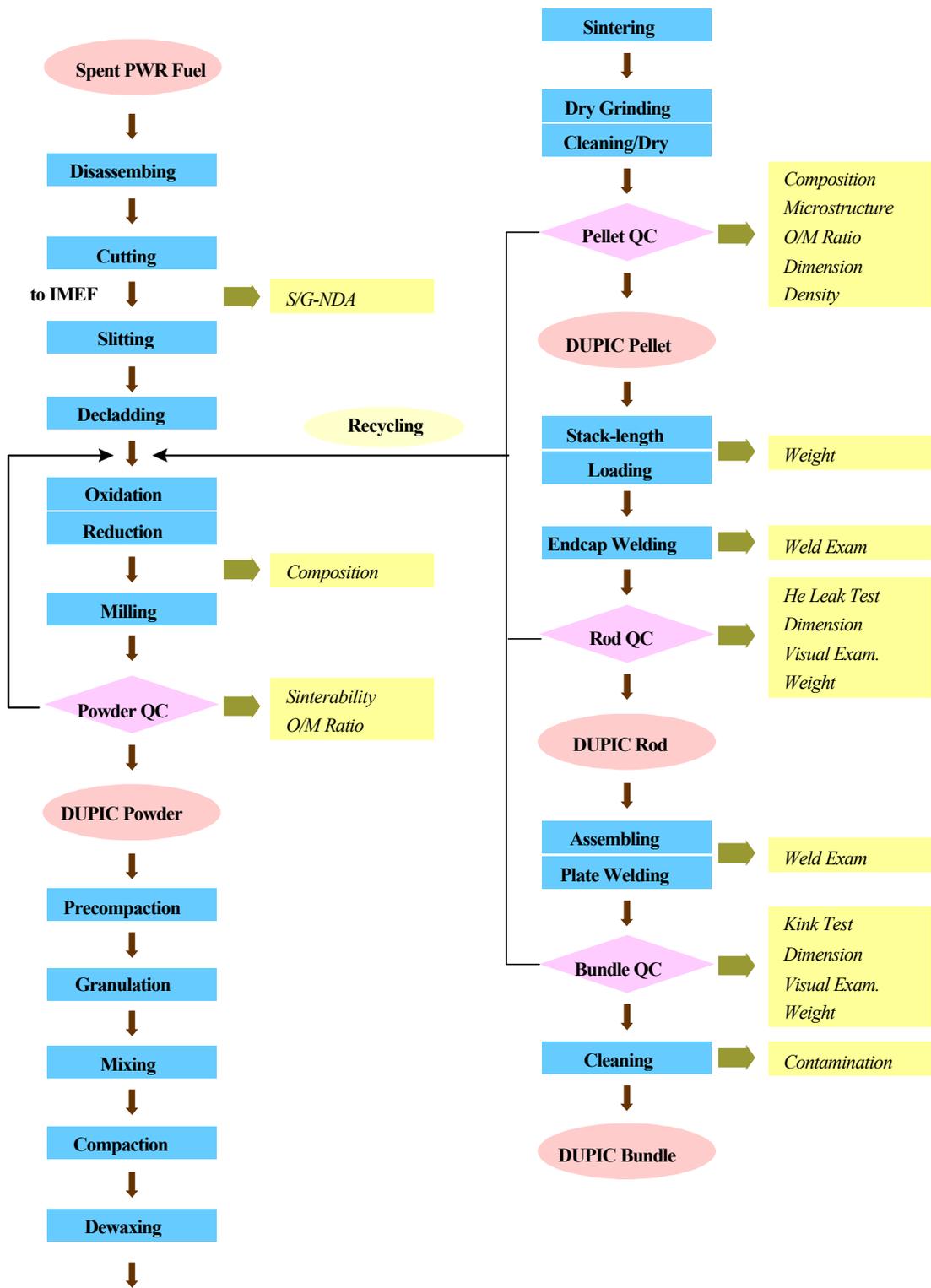


그림 3. DUPIC 핵연료 제조시험공정 흐름도.

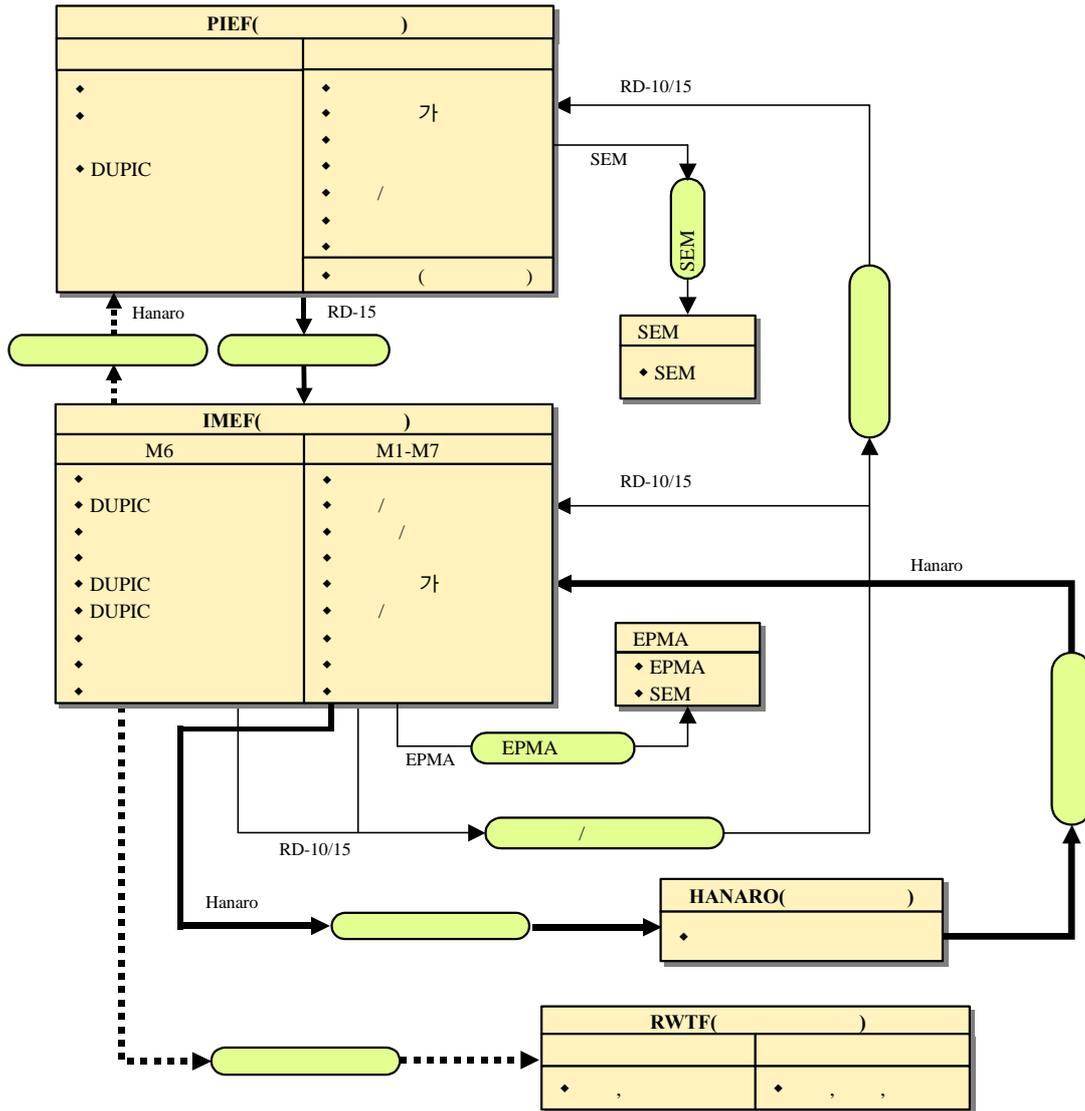


그림 4. DUPIC 핵연료 제조시설관련 시설별 기능 및 핵물질 이송방안.

3. DUPIC 방사성폐기물 발생원/발생량 및 관리방안

DUPIC 핵연료 제조 및 검사과정 중 핫셀 내에서 발생하는 폐기물의 종류는 고체, 액체 및 기체 폐기물로 분류할 수 있다. 기체 폐기물은 배기체 정화계통 및 시설 배기계통을 통해 정화 후 배출한다. 액체폐기물은 거의 발생되지 않거나 발생되더라도 극히 적다. 핫셀 내에서 발생하는 액체폐기물은 핫셀 내에서 증발 후 고체폐기물로 처리하거나 혹은 기존 핫셀의 액체폐기물 처리라인을 활용한다.

DUPIC 핵연료 제조과정에서 발생하는 고체폐기물은 제조 시험과정중 발생하는 폐기물, 시험종료 후 발생하는 잔여 핵연료 물질 및 시험 생산품, 시험장비 해체시 발생하는 폐장비, 폐공구 등의 해체 폐기물로 크게 구분할 수 있다. 제조과정중 발생하는 폐기물은 크게 핫셀 내에서 발생하는 폐기물과 핫셀 외부에서 발생하는 폐기물로 구분할 수 있다. 핫셀 내에서 발생하는 폐기물은 cladding hulls, dirty scrap, 폐필터, 폐장비 및 폐공구, papers 및 patches 등이며, 핫셀 외부에서 발생하는 폐기물은 방호복, 장갑, 덧신, papers 및 patches 등이다. 시험종료 후 발생하는 잔여 핵연료물질로는 DUPIC 핵연료분말 및 펠렛과 시험 생산품인 mini-element, DUPIC 핵연료봉 및 핵연료 다발 등이 예상된다. 시험종료 후 시험장비 해체시 발생하는 폐기물로는 재사용을 위한 장비

및 설비를 제외한 모든 폐장비, 폐설비, 폐공구 등과 이들의 제염시 발생하는 papers, patches 등이 예상된다. 고체폐기물의 분류 및 발생량은 표 1에 나타낸 바와 같이 추정된다. DUPIC 핵연료 제조시험과 관련하여 핫셀 내에서 발생하는 DUPIC 폐기물의 관리 기본개념은 그림 5에 나타낸 바와 같다[3, 4].

표 1. 고체 폐기물 분류 및 추정 발생량

(200 kg-U 사용, 7년 운영 기준)

구 분	폐기물 종류	폐기물 세부 내용	총 추정발생량
IMEF M6 Hot Cell	가연/압축성	사용한 폐필터(in-cell filter, off-gas filter), 흡수체, 오염된 종이 등	약 60~80 drum (50 liter드럼 기준)
	Dirty scrap	Powder scrap, pellet scrap, cutting dust, grinding dust, floor dust 등	약 5~10 kg-U
	Cladding hulls	Cladding hulls(25 cm 절단 피복관)	약 50 kg
	장비 폐기물	폐장비, 폐설비, 폐공구 등	약 15~25 m ³
	핵연료 물질	Powder, pellets, DUPIC 연료봉 및 다발	약 10 DUPIC 핵연료 다발
IMEF Other Hot Cell	Cladding hulls/ 캡슐	Mini-element Mini-element capsule	약 1~2 kg
	핵연료 물질	DUPIC pellet Pellet 혹은 powder sample	약 1 kg-U
	장비 폐기물	Capsule 조립용 폐장비 등	약 1~2 m ³
PIEF 9405 Hot Cell	Cladding hulls	Cladding hulls(15 cm 절단 피복관)	약 0.3 kg
	핵연료 물질	DUPIC powder DUPIC pellet	약 1 kg-U
	장비 폐기물	폐장비, 폐설비, 폐공구 등	약 2~3 m ³

6. DUPIC 해체폐기물의 핫셀 반출, 소내 운반 및 저장

DUPIC 폐기물은 원자력법 및 과기부 고시, 방사선안전관리규정, 핵물질계량관리 및 방호규정, 방사성폐기물관리규정 등에 따라 안전하게 관리하여야 한다. DUPIC 폐기물을 적재한 수송용기를 시설 밖으로 운반할 때에는 육안검사 및 H/P survey를 수행한다. DUPIC 폐기물을 운반할 때 수송용기 표면의 방사선 선량율은 표면이 2 mSv/h, 표면으로부터 1 m 거리에서 0.1 mSv/h 이하, 표면오염도는 고착성에 대해 α : 0.37 kBq/m², β : 3.7 kBq/m² 이하가 되어야 한다.

DUPIC 핵연료 제조과정 중 핫셀 내에서 발생한 중·고준위 고체폐기물(cladding hull, 폐필터 및 흡수체, papers, patches 등)을 핫셀로부터 RWTF의 monolith로 운반할 때에는 50리터의 전용 용기에 넣어 핫셀 내에서 압축한 후 그림 6에 나타낸 바와 같은 solid waste cask를 사용하여 monolith로 운반하여 저장한다.

핫셀에서 발생하는 dirty scrap 혹은 DUPIC 분말 혹은 펠렛 등의 잔여 핵연료물질(이러한 물질은 저장안전성을 보장하기 위해 소결체로 가공한 후 운반)을 운반할 때에는 그림 7에 나타낸 바와 같은 RD-15 padirac cask를 사용한다. RD-15 cask(운반가능 최대크기: 직경 250 mm 이하, 길이 350 mm 이하)로 운반할 수 없는 DUPIC 핵연료봉 혹은 다발을 운반할 때에는 그림 8에 나타낸 바와 같은 하나로 캐스크를 사용한다. 부피가 큰 해체폐기물은 50리터의 전용용기에 적재가 불가능하므로 그림 9에 나타낸 바와 같은 특수 수송/저장용기(직경 1 m, 높이 1 m, 차폐두께 납 50 mm 상당)에 넣어 RWTF 중·저준위폐기물 저장고로 운반하여 저장한다[4].

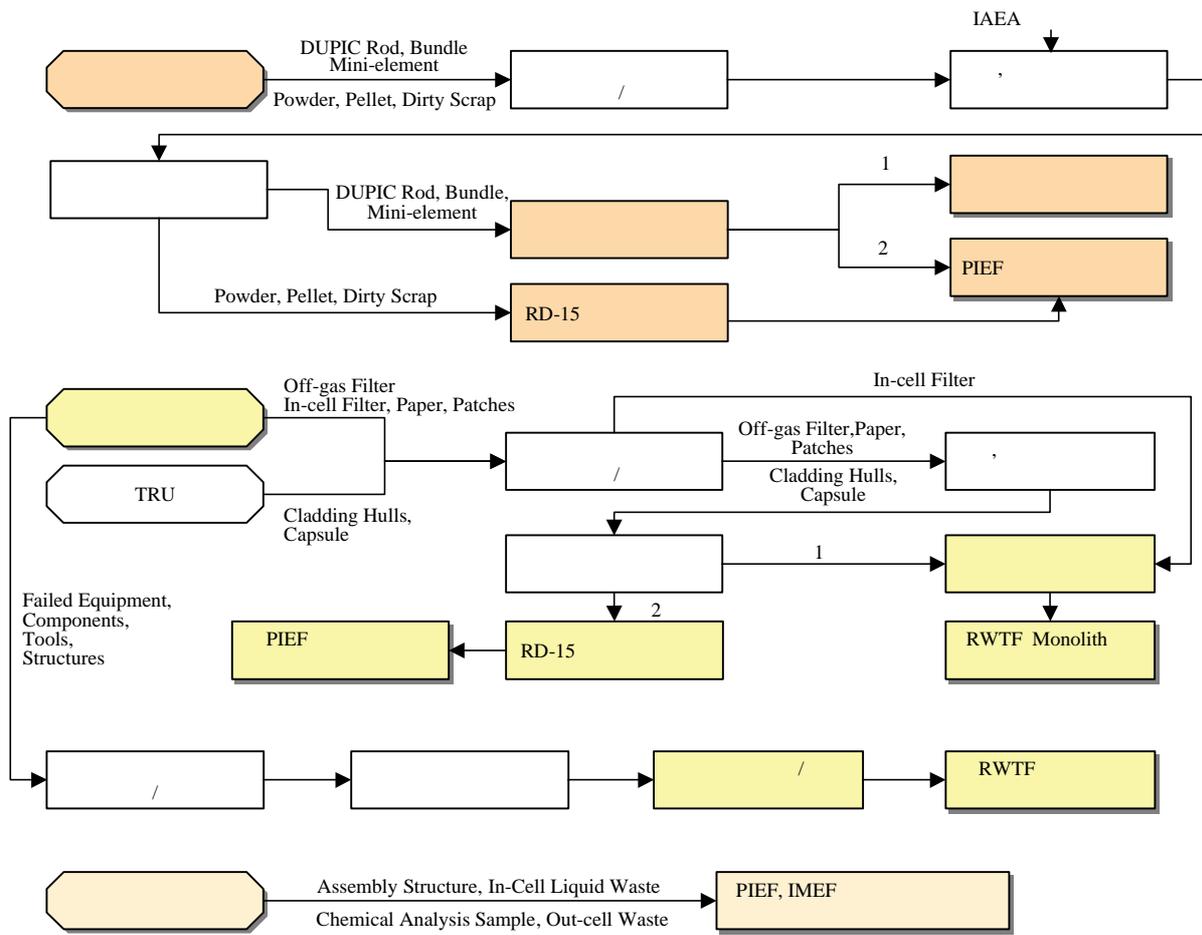


그림 5. DUPIC 폐기물 관리 기본개념.



그림 6. Solid Waste Cask.



그림 7. RD-15 Padirac Cask.



그림 8. 하나로 캐스크.



그림 9. 해체폐기물 수송/저장 전용용기.

6. 결 론

DUPIC 핵연료 제조시험은 고방사능 차폐시설인 PIEF의 일부 핫셀과 IMEF M6 핫셀에서 경수로 사용후핵연료를 초기물질로 사용하여 건식 산화·환원공정에 의해 분말을 제조하고, 이 분말을 사용하여 압분체, 소결체, 연료봉 및 연료다발을 개발하는 시험으로서 취급하는 핵물질의 형태는 절단 연료봉, 분말, 압분체, 소결체, 가공 부스러기, 연료봉, 연료다발, 시료 및 기타 시험에 의해 발생하는 공정폐기물 등이 있다. DUPIC 핵연료 제조시험 중 발생하는 방사성폐기물 뿐 아니라 시험이 완료된 후 발생하는 잔여 핵연료물질, 시험 생산품, 시험장비 해체시 발생하는 오염된 폐장비, 폐설비 등의 관리방안도 함께 검토하였다.

DUPIC 방사성폐기물의 관리를 성공적으로 수행하기 위해서는 다음과 같은 조치를 지속적으로 수행하여야 한다. 1) DUPIC 핵연료 제조시험은 연구소 내에 있는 여러 시설을 이용하여 장기간에 걸쳐 수행되어야 하므로 DUPIC 폐기물관리와 관련된 시설간 역할을 명확히 설정하는 것이 바람직하다. 즉, 물질흐름과 관련된 PIEF, IMEF, 하나로, 화학분석실, RWTF의 역할을 사전에 충분히 협의하여 결정한다. 2) DUPIC 폐기물의 발생량을 정확히 예측하고 폐기물의 분류, 전처리, 포장 및 수송방법 등을 구체적으로 결정한다. 3) DUPIC 폐기물의 이송빈도를 최소화하도록 시험 및 물질이송계획을 구체적으로 수립한다. 4) 핫셀 내에서의 2차 폐기물의 발생량이 최소화되도록 운영하고, 폐기물에 의한 2차 오염을 방지하기 위하여 폐기물은 일단 종류별로 분리·수집하여 핫셀내의 지정장소에 보관한 후 운반절차에 따라 핫셀외부의 지정장소로 운반하여 저장한다. 5) 시험이 종료되었을 때에 대비한 시설과 장비의 제염, 재활용 및 해체계획을 수립한다. 6) 시험중 핵물질의 재활용 및 시험 종료시의 핵물질의 처리계획을 수립한다. 7) 장비/장치의 제염 및 유지보수 계획을 수립하여 장비/장치의 사용을 극대화하도록 한다.

참고 문헌

- [1] 양명승, 이정원 외 “경·중수로연계핵연료기술개발-핵연료 제조 및 공정 기술 개발” KAERI/RR-2020/99(1999)
- [2] 박장진 외, DUPIC 핵연료시설 기술개발, KAERI/RR-2009/99, 1999
- [3] 이호희, 박장진 외 “DUPIC 방사성폐기물 관리방안분석” KAERI/TR-1495/2000
- [4] 신진명 외, DUPIC 핵연료 제조공정에서의 배기체 처리계통 예비안전성분석, KAERI/TR-1643/2000