

# 파이로시설의 폐기물에 대한 붕괴열원항 예비 평가

김현민\*, 서중석, 이효직

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

\*khm@kaeri.re.kr

## 1. 서론

파이로 공정은 현재 상용 규모의 시설개발을 목표로 우리나라를 포함한 미국, 러시아, 인도 등에서 개발되고 있다. 대부분의 국가에서 파이로를 개발하는 목적은 고속로의 입력물질로 사용하기 위함이다. 1997년부터 우리나라도 순환핵주기의 완성 및 사용후핵연료 재고량 관리를 목적으로 파이로 공정을 개발하고 있다. 현재 제 255차 국가 원자력위원회에서 의결된 "미래 원자력시스템 개발 장기 추진 계획"에 따라 2025년까지 연간 처리량 30MTHM 규모의 Korea Advanced Pyro Facility (KAPF) 구축을 목표로 하고 있다. 따라서 사용후핵연료 내에 FPs를 함유하는 다양한 형태의 고방사성 폐기물이 배출될 것으로 예상됨에 따라 파이로시설의 폐기물에 대한 체계적인 연구개발이 시급하다.

본 연구는 파이로시설에서 발생할 폐기물에 대한 붕괴열원항 예비 평가를 통해 파이로시설의 폐기물 저장셀 설계를 위한 기초자료로 사용하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 파이로시설의 입력물질 정의

현재 우리나라에서 지금까지 사용된 사용후핵연료 제원을 보면, 14×14, 16×16, 17×17 등의 세 가지 핵연료봉 배열 형태가 있다. 이 중 파이로시설의 구축목표인 2025년 경 사용후핵연료 발생량을 예상해 볼 때, 16×16 Korea Standard Fuel Assembly(KSFA) 타입의 재고량이 가장 높게 예상된다. KSFA 핵연료 집합체는 2000년 중반부터 농축도 4.5wt%, 방출연소도 55GWD/MTU의 PLUS7 타입으로 대체되었다. 하지만, PLUS7은 기존 핵연료와 비교하여 농축도 및 방출연소도를 제외한 물리적 제원 변화가 거의 없기 때문에 계산의 편의성과 보수적 접근을 위해 고연소 집합체인 PLUS7 타입으로 통일하여 계산하였다. 다음 Fig. 1은 핵연료 집합체 타입 별 발생예상량이다.

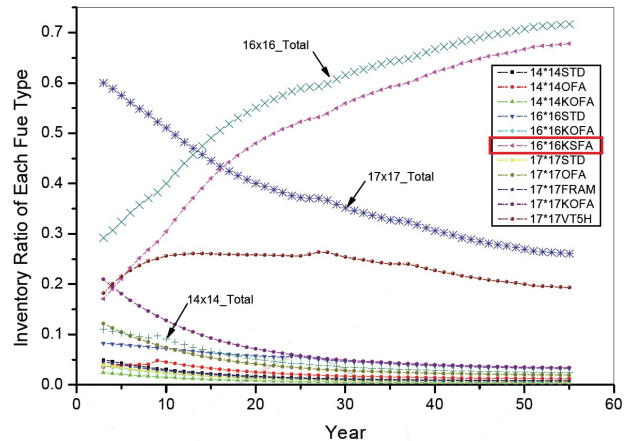


Fig. 1. Projected inventory trend for fuel type[1].

### 2.2 파이로시설 폐기물의 주요 핵종 분석

평가 대상인 KAPF의 연간 처리량인 30MTU의 PWR 사용후핵연료가 Pyroprocess 되었을 경우에 대해 각 공정폐기물을 정의하였다. 현재는 전 공정에 대한 계산이 완료되지 않았기 때문에 연간 처리량 10MTU의 PWR 사용후핵연료가 3개의 라인으로 Pyroprocess 되었을 경우로 가정하여 파이로공정 기준 물질흐름 4.0[2]에서 계산한 폐기물량에 대해 3배 하였다. 초기 농축도 4.5wt%, 방출연소도 55GWD/MTU의 PWR 사용후핵연료에 대하여 열적인 측면에서 선별된 주요 핵종은 Noble Metal, Rare Earth, Off-gas, Actinide를 포함한 총 42개의 총 42종이었으며, 기타 열량 측면에서 미미하다고 판단되는 핵종은 제외하였다[3]. 공정 흐름도는 한국원자력연구원의 핵주기 공정 기술개발부에서 작성된 공정 흐름도를 반영하였다.

### 2.3 파이로시설 폐기물 붕괴열 분석

파이로시설 내의 폐기물 종류별 붕괴열은 초기농축도 4.5wt%, 방출연소도 55GWD/MTU을 가지는 사용후핵연료 30MTU를 기준으로 산출하였으며, 해석 시 3주기 동안 연소된 후 10년 동안 냉각된 것을 기준으로 한다. 비출력은 40.0W/gU, 재장전 기간은 50일을 적용하였다. 이 핵연료에 대한 상세 제원은 Table 1에서 제시하는 바와 같다.

Table 1. Specification of spent nuclear fuel

Parameter	PWR PLUS7
Fuel type	16×16
Number of fuel pins	236
Number of guide thimbles	20
Initial enrichment of U <sup>235</sup> (wt%)	4.5
Fuel rod pitch(mm)	12.85
Fuel rod diameter(mm)	9.7
Zry-4 clad thickness(mm)	0.64
Pellet diameter(cm)	8.26
Active fuel length(mm)	381.0

파이로시설에서 발생하는 폐기물의 종류는 크게 3가지로 구분할 수 있는데, Hull과 구조재로 이루어진 고체폐기물, 기체폐기물로서 Fly-ash filter, LiCl 및 LiCl-KCl 공융염이 액체폐기물이 추가 된다[3,4]. 각각의 폐기물은 압축처리, 세라믹 고화, 유리화 처리 등을 통해 고정화되어 폐기물 저장셀에 저장된다.

### 2.4 파이로시설 폐기물 붕괴열 분석

2.3절에서 구분한 파이로시설의 폐기물 중 고체 폐기물의 Hull은 ZrCl<sub>2</sub>등의 용융염 세척이 이루어지고 구조재 폐기물은 소량이나 U, TRU 및 FP가 함유되어 방사성폐기물로 분류되므로 제외한다. 따라서 고체폐기물을 제외한 기체와 액체폐기물의 종류별 핵종 분포를 가지고 열량의 특성을 분석하였으며, Pyroprocess 후 냉각 시간에 따른 30MTU 사용후핵연료에 대한 열량 분석 결과는 다음 Fig. 2와 같다.

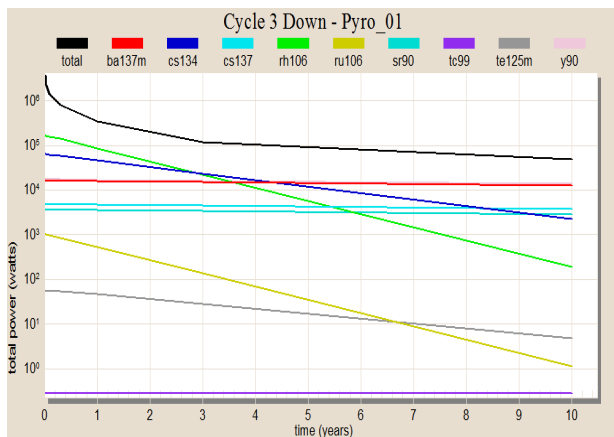


Fig. 2. a Decay Heat of Off-gas Waste.

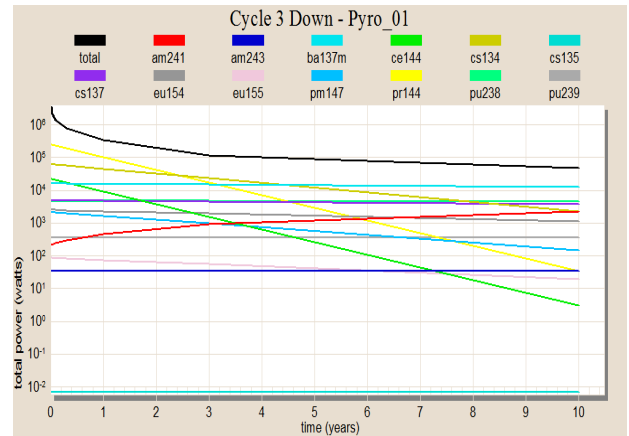


Fig. 2. b Decay Heat of Salt Waste.

### 3. 토의

본 연구에서는 파이로 폐기물 저장시설 설계요건 도출을 위한 기초자료를 확보하기 위하여 파이로 폐기물에 대한 붕괴열원항 예비 평가를 하였다. 현재 파이로시설의 각 공정에 대한 연구는 활발히 진행되고 있으나, 파이로시설 내 발생 폐기물에 대해서는 저장셀의 규모에서부터 금속 저장용기, 콘크리트 저장용기, 모듈형 볼트 저장방식 중 무슨 저장방식을 채택할지조차 정해지지 않았다.

따라서 향후 KAPF에 대한 PYRO Flow Sheet 5.0의 Material balance를 분석하여 파이로 폐기물 물량산출을 하고 KAPF의 폐기물 저장셀의 차폐 및 임계 평가를 통해 저장셀 설계에 유리한 저장방식과 규모를 연구하고자 한다.

### 4. 참고문헌

- [1] 한국원자력연구원, "심지층 처분시스템 설계를 위한 기준 사용후핵연료 선정 및 선원항 평가", KAERI/TR-3084/2005 (2005).
- [2] 한국원자력연구원, "파이로공정 기준 물질흐름 4.0의 개발", 한국방사성폐기물학회 2013 춘계 학술발표회 논문요약집, Vol11. No.1 33 - 34, (2013).
- [3] 한국원자력연구원, "사용후연료 건식재처리 폐기물 붕괴열원항 예비 평가", KAERI/TR-3690/2008 (2008).
- [4] 김현민, 서중석, 이효직, "파이로 공정 폐기물 물질특성 분석", 한국방사성폐기물학회 2015 춘계학술발표회 논문요약집, Vol13. No1. 139 - 140, (2015).