

파이로 핫셀시설의 안전성분석 현황

유길성, 문성인, 정원명, 구정희

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

yougil@kaeri.re.kr

1. 서 론

사용후핵연료 건식처리를 위한 파이로프로세싱(이하 파이로) 공정용 핫셀시설의 안전성 분석에 대한 현황을 알아보는 것은 앞으로 국내에서 추가 건설될 사용후핵연료 처리시설들의 안전성 분석업무에 많은 도움을 줄 것이다. 현재 전 세계 파이로 처리시설은 한국이 두 개를 보유하고 있으며, 미국이 한 개를 보유하고 있다. 그 외 사용후핵연료 처리시설을 보유한 원자력발전국은 대부분 습식처리 시설(퓨렉스 공정)을 보유하고 있다.

2. 본 론

2.1 ACPF-Advanced Spent Fuel Conditioning Process Facility

한국원자력연구소는 1997년부터 사용후핵연료를 고온 용융염 상에서 금속전환하여 부피, 발열량 및 방사선 세기를 1/4 이하로 감축할 수 있는 사용후핵연료 차세대 관리공정(Advanced Spent Fuel Conditioning Process : ACP)을 개발하였다. 따라서 이 공정을 실증할 수 있는 핫셀시설(ACPF)도 이와 병행하여 개발되었다. ACPF에 대한 정부로부터의 인허가를 위해 시설의 안전성 분석은 다음과 같은 분야로 나누어 수행되었다 [1].

- Process Safety
ACP 각 공정별 발생할 수 있는 오작동 및 사고에 대한 분석
- Radiation Shielding Safety
ACPF 핫셀 벽에 대한 보수적 방사선 차폐 분석
- Criticality Safety
각 공정 및 전체 공정에 대한 보수적 핵임계 분석
- Structural Safety
ACPF 핫셀 뿐만 아니라 ACPF 핫셀이 지하 1

층에 설치된 IMEF 전 구조물에 대한 안전 구조해석.

- Environmental Safety
ACPF의 source term과 보수적 누출량 가정을 통한 시설주위 환경영향 평가.

2.2 PRIDE-Pyroprocess Integrated Demonstration Facility

2007년부터 2012년 초까지 개발된 PRIDE 시설은 비록 천연 및 감손 우라늄을 사용한 파이로 처리시설이긴 하지만, 규모 면에서는 앞서의 ACPF 보다 훨씬 크며, 파이로 일관공정 전부를 다룰 수 있는 시설이다. PRIDE에 대한 안전성 분석은 다음과 같은 분야로 수행되었다 [2].

- Process Safety
파이로 일관공정별 발생할 수 있는 오작동 및 사고에 대한 분석.
- Radiation Shielding Safety
미조사 핵연료 물질을 취급하므로 이 시설에서는 고려되지 않음.
- Criticality Safety
천연 및 감손 우라늄에 대한 취급시설이므로 핵임계 안전성 역시 고려되지 않음. PRIDE 시설 내에서는 다량의 물도 취급되지 않음.
- Structural Safety
PRIDE 알콘셀 구조물에 대한 안전 구조해석.
- Environmental Safety
PRIDE 시설의 source term과 보수적 누출량 가정을 통한 시설주위 환경영향 평가.
- Industrial Safety
PRIDE 알콘셀에 대한 COMSOL Multiphysics CFD Code를 사용한 셀 환기설비의 산업 안전성을 분석.

2.3 FCF-Fuel Cycle Facility

미국 INL에 소재한 FCF 시설은 1964년부터 1969년까지 현재의 파이로 공정의 불완전한 형태의 공정을 사용하여 EBR-II에 약 400개의 핵연료

를 재활용하는 실증시험을 성공적으로 수행한 바 있다 [3].

이 FCF 시설에는 대형의 공기 및 알곤 분위기 핫셀이 설치되어 있으며(그림 1), 오염된 장치들의 세척 및 보수 구역과 지원작업을 위한 구역, 그리고 관련된 장치들로 구성되어 있다.

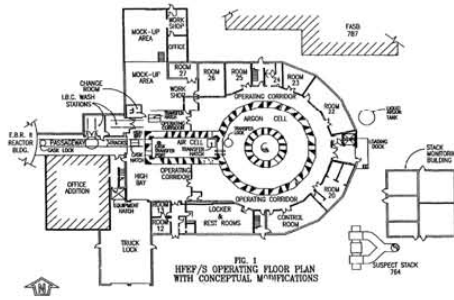


Fig. 1. FCF 핫셀시설.

중요 파이로 공정들은 모두 알곤셀 내에서 수행된다. 즉, 핵연료봉 절단, 고온(500 °C) 전해정련, 전해정련 생산물로부터 염 및 cadmium 분리, 핵연료 injection casting, cast fuel rod들의 최종 핵연료봉으로의 제작, 그리고 새 핵연료봉과 피복관 및 집합체 부품들을 사용한 새 핵연료집합체 조립 등이다. 안전성 확보를 위해 공기셀 내에서의 공정작업들은 건전한 피복관을 가진 핵연료로 제한된다. 즉, 집합체 해체 및 핵연료봉으로 집합체 조립 등이다. 이 FCF의 두 개의 핫셀은 운전 구역으로 둘러싸여 있으며, 이곳의 환기시스템은 핫셀 환기시스템 및 off-gas 환기시스템으로 분리되어 운전된다.

1980년대 말경 FCF는 IFR program에서 사용하기 위해 안전성 분석을 다시 수행하였으며, 주로 정상운전 및 사고시 발생할 수 있는 핵물질 누출량에 대한 환경영향 평가에 치중되었다. 평가 결과 당초 한 개였던 환기설비가 그림 2와 같이 두일 알곤순환 설비로 보완, 설치되었다 [4].

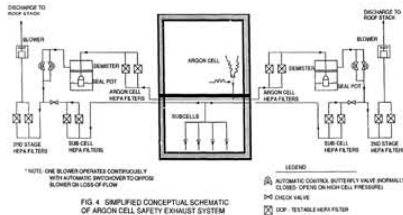


Fig. 2. FCF 듀얼 알곤순환 설비.

3. 결 론

지금까지 개발된 국내의 사용후핵연료 건식처리를 위한 파이로 핫셀시설들의 안전성 분석에 대한 현황을 알아보았다. 이러한 현황은 앞으로 국내에서 건설예정인 공학규모 또는 상용규모의 파이로 처리시설들의 설계초기 단계부터 안전개념을 적용할 수 있는 기초자료로 활용될 것이다.

4. 참고문헌

- [1] Gil-Sung You, etc., "Design and construction of the Advanced spent fuel Conditioning Process Facility (ACPF)," Nucl. Eng. and Tech., 41, pp 859-864, 2009.
- [2] Gil-Sung You, etc. "Concept and Safety Studies of an Integrated Pyroprocess Facility," Nucl. Eng. and Design 241 pp 415 - 424, 2011.
- [3] Chang, Y. I., etc., "A Closer Look at the IFR Metallic Fuel Cycle", Nucl. Eng. International Journal, 1987.
- [4] R. J. Forrester, etc., "Safety Aspects of the IFR Pyroprocess Fuel Cycle," CONF-890841-4, 1990.