

APR+ 원전 방사성폐기물 유리화설비 개념설계

박윤규, 김천우, 박종길

한수원(주) 중앙연구원, 대전광역시 유성구 유성대로 1312번길 70

pvka@khnp.co.kr

1. 서론

울진 원자력발전소 방사성폐기물 유리화설비가 2009년 상업운전을 시작하고 있으나, 울진 원전에만 한정이 되어 있다. 따라서 타 원전부지에서 발생하는 방사성폐기물을 유리화 할 필요성이 대두되어, 향후 원자로 모형인 APR+ 원전에 유리화설비 건설이 포함되었다. 울진 유리화설비의 운전경험과 유지보수를 토대로 하여 유리화설비를 개념설계하였다. 본 논문의 개념 설계 자료들은 APR+ 원전 유리화설비의 기본설계 및 상세설계, 기자재 제작에 기본 자료로 활용될 예정이다.

2. 본론

2.1 APR+ 유리화 대상폐기물 발생량 분석

유리화 대상폐기물은 가연성 잡고체폐기물, 농축폐액, 폐수지이며, 폐기물에 대한 감용비는 잡고체폐기물 82, 농축폐액은 1.5, 폐수지는 29이다.

APR+ 원전 고체방사성폐기물 예상발생량인 운전기대치는 유리화설비를 도입함으로써 폐필터, 비가연성폐기물을 제외한 유리화 대상폐기물에서는 연간 484드럼에서 83드럼으로 감소된다.[표 1]

Table 1. Estimated Solid Waste after Vitrification.
(Drum/yr, for one Unit)

유리화 대상폐기물	유리화 처리전	유리화 처리후
	발생량(드럼)	발생량(드럼)
가연성잡고체	342	4
폐수지	35	1
농축폐액	107	71
유리화설비 2차 폐기물	0	7
계	484	83

2.2 유리화설비 개념설계

대상폐기물을 유리화하기 위하여 유리화설비의 개념설계를 수행하였다. APR+ 원전에 유리화설

비가 도입됨으로써 기존의 폴리머고화설비는 제외하였다. 폐기물 전처리 계통은 잡고체 폐기물, 농축폐액 및 지방사성 폐수지 등 유리화 대상폐기물을 각 폐기물별 인수기준 및 저온용융로의 투입조건에 적합하도록 폐기물을 처리하는 전처리 설비와 각 대상폐기물을 투입장치로 이송하는 공급계통으로 구성되어 있다. 폐기물 및 유리조성체 공급계통은 폐기물 전처리 계통으로부터 이송된 처리 대상폐기물과 유리조성체를 저온용융로에 일정량씩 정량적으로 공급하는 기능을 수행한다. 공급설비는 울진 유리화설비의 운전 및 정비 경험을 반영하여 단순화하였다.

저온용융로는 폐기물을 저온용융로 내에서 열분해 및 용융방법에 의하여, 폐기물 내의 유기성분은 제거하고 중금속 및 방사성 핵종들과 같은 무기 성분들은 산화시켜 유리로 만드는 기능을 갖는다.

저온용융계통은 크게 저온용융로와 저온용융로 가열장치 및 저온용융로 냉각장치로 되어 있다. 저온용융로 상부는 폐기물 공급배관과 배기체 처리계통 연결배관이 설치되었으며, 저온용융로는 바닥에는 용융물 배출밸브와 버블러(Bubbler) 등이 설치되었다. 유리용융 후 유리용탕은 배출밸브를 통하여 용기(mold)에 부어져 저장된다.

배기체 처리계통은 입자상 물질을 제거하는 1차 처리계통과 기체상 물질을 제거하는 2차 처리계통으로 구성되었다. 1차 처리계통은 저온용융로로부터 발생된 배기체에 포함되어 있는 입자상 방사성물질을 최대한 제거하기 위하여 2개의 고온필터가 병렬로, 2개의 고온 HEPA필터가 연결되어 있다. 2차 배기체 처리계통은 입자상 방사성 오염이 제거된 배기체내의 탄화수소류와 산성오염물, 질산화물, 방사성 옥소 등을 제거한 후 깨끗한 배기체를 대기로 방출하는 계통이다. 계통 구성은 후단연소기와 배기체 냉각기, 황화물 제거를 위한 습식세정기, 활성탄/HEPA필터, 배기팬 및 최후단에는 질소산화물 제거를 위한 선택적 촉매환원 반응탑의 순으로 배치되었다.

유리화설비 공정의 제어 및 감시는 APR+ 원전

복합건물 내에 위치한 유리화설비 제어실에서 원격으로 이루어진다. 유리화설비 제어계통은 설비의 제어 및 감시를 보다 안전하고 신뢰성 높게 수행할 수 있도록 하기 위해 울진 유리화설비의 운전경험을 토대로 구성되었다.

2.3 유리화설비 기기배치도 작성

작업자의 피폭을 최소화하기 위하여 차폐 셀(cell)을 설치하고 그 내부에 저온용융로와 고온필터를 배치하였으며, 차폐 셀에는 원격조종기를 설치하여 원격운전 및 유지보수가 가능하도록 하였다. 차폐 셀은 유리화구역의 중앙에 배치하여 폐기물 및 유리고화체 용기의 이송경로를 단축하였다. 폐기물 투입계통의 기기를 차폐 셀 상부에 설치하여 작업자의 피폭을 최소화하였다. 또한 울진 유리화설비의 공간부족 현상을 보완하여 APR+ 원전 복합건물의 유리화구역은 기존 울진 유리화설비 구역보다 증가하여 설계하였다.

APR+ 원전 복합건물의 구조영향을 최소화할 수 있도록 증량물인 차폐 셀을 최대한 하부 수직벽체에 일치하여 배치하였다. 공정기기들의 배치는 처리공정의 순서에 따라 배치하였으며, 각 기기의 반출입 통로 및 유지보수공간과 작업자의 접근이 용이하도록 작업자 통로를 최대한 확보하였다.

APR+ 유리화설비의 3차원 배치도를 그림 1에서 나타내었다.

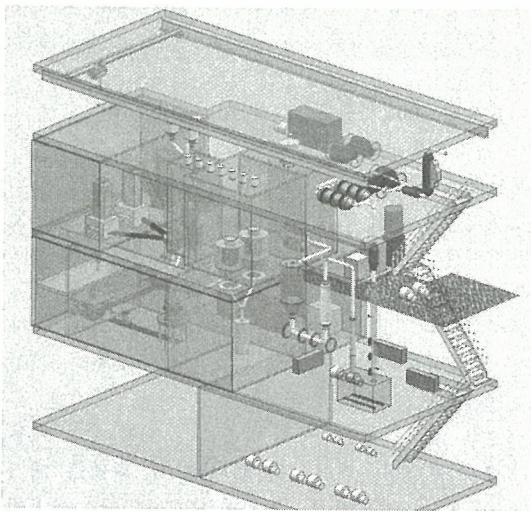


Fig. 1. 3-Dimension View of APR+ Vitrification Facility.

2.4 울진유리화설비 대비 개선사항

APR+ 원전 유리화설비는 울진 유리화설비의 운전 및 유지보수 경험을 토대로 설계되었다. 울진 유리화설비 대비 개선 사항을 표 2에 나타내었다.

Table 2. Improvement of APR+ Vitrification Facility Compare to Ulchin Vitrification Facility.

개선 항목	APR+ 유리화설비	울진 유리화설비
시설 면적	약 392m ² (118평)	약 232m ² (40평)
냉각수	원전에서 공급	자체공급(냉각탑)
스팀	원전에서 공급	자체공급(보일러)
냉동기	옥내 설치	옥외 설치
디젤 비상전원	전량공급(230kW)	일부공급(10kW)
저온용융로	직경 85cm	직경 55cm
고온필터	병렬	직렬

3. 결론

APR+ 원전 유리화 대상폐기물 발생량을 분석한 결과 폐기물별 감용비를 적용하여 연간 484드럼에서 83드럼으로 감소했다. 유리화설비 개념설계를 위하여 기존 울진 유리화설비의 운전 경험을 바탕으로 각 설비별 공정을 분석하고 설비를 개선하였다. 유리화설비 기기배치도에서는 기존 울진 유리화설비의 공간문제를 해소하여 기존 보다 약 3배 넓은 공간에 기기를 배치하고 고온필터를 병렬로 배치하는 등 공정을 개선함으로써 운전 및 유지보수 편의성을 향상하였다.

APR+ 원전 부지에 유리화설비가 설치됨으로써 부지내에서 발생하는 폐기물을 안정적으로 처리 가능해졌다. 또한 최종생성물인 유리고화체의 경우 시멘트 등 다른 물질에 비해 물리·화학적 견고성이 우수하여 APR+ 원전에 안전하고 효율적인 방사성폐기물 관리에 크게 기여할 전망이다.

4. 참고문헌

[1] 한국수력원자력(주), “APR+ 설계기본요건 (TTR 개발)”, 2011.
 [2] 한국수력원자력(주), “APR+ Standard Safety Analysis Report(SSAR)”, pp 11.4.1 - 11.4.17, 2012.