

차세대관리 종합공정 핫셀 시험

정원명, 구정희, 조일제, 국동학, 권기찬, 이원경, 유길성, 서중석, 윤지섭

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

차세대관리 종합공정(ACP: Advanced spent fuel Conditioning Process)은 사용후핵연료의 안전하고 효율적인 관리를 위하여 개발되고 있는 건식공정으로서 용융염 매질에서 전기화학적 방법으로 산화물 형태의 사용후핵연료를 금속으로 전환하고, Cs, Sr과 같은 고발열성 및 고방사성 핵종을 효율적으로 제거하여 사용후핵연료의 부피, 발열량 및 방사선의 세기를 1/4까지 감소시켜 처분용기와 처분장의 소요를 축소함으로써 처분 안전성과 경제성을 높일 수 있다.

현재 개발되고 있는 차세대관리 종합공정의 실증시험을 위하여 한국원자력연구소 내 조사제시형시설(IMEF) 지하에 α - γ type의 핫셀 및 부대시설 건설과 핫셀 operation을 위한 Lab. scale의 공정시험장치를 설치함으로써 차세대관리 종합공정 실증시설(ACPF)의 구축을 2005년 7월까지 완료하였다. 그리고 핫셀 구조물 안전성 검사 및 운전장비 성능시험, KINS의 ACPF 시설사용전검사, 공정시험장치의 Blanket Test를 완료하고, 2005년 11월부터 Natural Uranium을 사용하여 차세대관리 종합공정의 핫셀 내 Inactive Test에 착수하여 2 Campaign을 수행하였다.

차세대관리 종합공정의 핫셀 내 Inactive Test는 Natural Uranium으로 제조된 Sintered UO_2 Pellets을 사용하여 먼저 분말화시험장치(Vol-oxidizer)에서 반응온도 $500^\circ C$ 에서 U_3O_8 분말을 제조하였다. 제조된 U_3O_8 분말은 금속전환시험장치(Electrolytic Reduction Reactor)에서 음극(Cathode)으로 사용되는 다공성 Magnesia Membrane 내에 장입하고, 양극(Anode)으로 백금 rod를 사용하여 $650^\circ C$ 의 $LiCl-Li_2O$ 용융염 매질에서 전류(40~80A)를 흐르게 하여 우라늄산화물을 분말 형태의 우라늄금속으로 환원시켰다. 환원된 우라늄금속 분말이 담겨진 마그네시아 Membrane은 금속전환시험장치에서 분리하여 금속잉곳제조장치(Smelter-Cathode Process)로 옮겨져 첫 단계인 $850^\circ C$, 진공조건에서 금속분말의 표면 또는 pore 내에 잔류하는 LiCl를 기화시켜 Cold Trap에 포집하며, 다음 단계에서 $1250^\circ C$, Inert 분위기의 고진공 조건에서 분말 형태의 금속을 용융시켜 우라늄금속잉곳을 제조하였다. 그리고 금속전환시험장치에서 사용한 $LiCl-Li_2O$ 용융염은 $650^\circ C$ 로 유지되는 직접 연결된 배관을 통하여 진공시스템에 의해 일정량씩 제어하여 염잉곳 제조장치(Salt Conditioner)로 이송되며, 상온의 Ar 분위기에서 냉각되어 임시저장이 용이한 원주 형태의 염잉곳으로 제조하였다.

차세대관리 종합공정의 핫셀 내 Inactive Test를 수행한 공정규모는 처음으로 핫셀 내 공정시험을 수행하는 점과 설치된 공정시험장치의 설계용량(최대 20 kg-HM/batch)을 고려하여 10 kg- U_3O_8 /batch를 기준하였고, 주공정인 금속전환시험장치에서 사용하는 용융염은 batch당 LiCl 90 kg, Li_2O 3 kg를 사용하였다.

차세대관리 종합공정의 핫셀 내 Inactive Test 결과 분말화공정에서의 전환율과 회수율 모두 99% 이상으로 확인되었으며, 제조된 U_3O_8 분말의 입도분포는 5~30 μm , 평균입도는 20 μm 로 측정되었다. 금속전환공정에서의 전환율과 회수율도 모두 99% 이상으로 확인되었으며, 전류밀도는 100 mA/cm² 이상으로 측정되었다. 금속잉곳제조공정에서 제조된 우라늄잉곳의 회수율도 99% 이상으로 확인되었으며, 제조된 우라늄금속의 density는 15.5 g/cm³으로 측정되었다. 그리고 염잉곳제

조공정에서 염잉곳 회수율이 반응기 내에 잔류량을 포함하여 95% 이상인 것으로 확인되었으며, 제조된 염잉곳의 density는 1.82 g/cm^3 로 측정되었다. 이상의 Inactive Test 결과 공정장치의 일부 보완이 필요한 문제점들이 도출되었으나 공정의 전환율이나 회수율은 설계성능을 만족하는 것으로 확인되었다.

Inactive Test 과정에서 도출된 공정장치의 안전하면서도 효율적인 원격운전 및 유지, 보수를 위하여 해결하여야 하는 문제점들에 대한 보완작업을 완료하여 2006년 6월부터 Natural Uranium 과 일부 금속산화물을 혼합한 Sim-Fuel을 사용하여 핫셀 내에서 차세대관리 종합공정 실증시험을 계속할 예정이다.