사용후핵연료 전해정련공정의 물질수지

김정국, 황성찬, 박성빈, 강영호, 장연우, 박기민, 이한수
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
jungkim@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후핵연료에는 우라늄(Uranium; U)이나 플루토늄(Plutonium; Pu) 같은 유용한 성분이 많이 남아 있어 에너지 자원으로서 재활용하기 위한 다양한 처리기술들을 개발하여 왔다. 현재 한국원자력연구원에서 개발 중인 사용후핵연료 파이로프로세싱기술은 피복관 제거 및 분말화하는 전처리공정, 산화물 핵연료를 금속으로 전환하는 전해환원공정, 환원된 금속체에서 U과 초우란(TRansUranic; TRU) 원소 및 희토류(Rare-Earth; RE) 원소를 회수하는 전해정련 및 전해제련 공정, 그리고 전체 파이로프로세싱 공정에서 발생되는 여러 종류의 방사성폐기물을 안정화시키는 폐기물처리공정 등으로 구성되어 있다.

이들 여러 가지 공정중 전해정련은 사용후핵연료의 약 94wt%정도를 차지하는 우라늄을 처리한다는 관점에서 전체 파이로공정의 생산성을 결정짓는 중요한 공정으로, 전해정련반응, 염증류, U-잉곳주조 및 UCl_3 제조 등의 단위 공정으로 구성되어 있다.

2. 본론

현재 한국원자력연구원은 10tU/yr규모의 공학규모 파이로 일관공정 cold 시험시설 (PyRoprocess integrated Inactive DEmonstration facility; PRIDE)을 구축하여 이를 통한 사용후핵연료의 파이로 재활용기술을 개발하고 있다. 아울러 연구개발이 진행됨에 따라 같은 규모의 사용후핵연료를 사용하는 것을 가정한 물질수지를 작성 중에 있다. 물질수지 계산에 기준으로 삼고 있는 사용후핵연료는 영광 원자력발전소 3-6호기와 울진 원자력발전소 3-6호기에서 사용 중인 16x16 한국표준형핵연료다발(Korea standard fuel assembly; KSFA)로 ^{235}U-농축도 4.5 wt%, 연소도 55,000 MWd/tU, 10년 냉각된 것[1,2]으로, ORIGEN Code[3]를 이용하여 얻은 핵종들의 농도를 기초 자료로 사용하였다. 이들 기초 자료를 이용하여 전처리 및 전해환원 공정을 통해 금속으로 전환된 금속전환체가 전해정련 공정에 유입되는 것을 가정하여 물질수지를 산정하였다. 전해정련 공정을 구성하는 단위공정에서의 계산은 현재까지 이루어진 실험을 통해 얻은 결과와 직접 다룰 수 없는 초우란원소 (TRansUranics)의 경우 외국의 문헌 등을 통해 얻은 결과를 적용하였으며, 그 계산 결과를 Fig.1에 보였다.

3. 주요 결과 및 고찰

전해환원을 거친 사용후핵연료 금속전환체 약 9.986 ton이 전해정련 공정으로 유입될 경우, Batch 당 250kg의 LiCl-KCl 용융염을 전해질로 사용하는 전해정련 반응기에서 10 campaign (20 batch/campaign) 운전하여 U을 회수하는 것을 가정하였다. 전해정련 공정을 통해 총 9.231 ton의 U이 회수되며 이중에는 약 140 ppm정도의 TRU가 함유되는 것으로 계산되었다. 또한, 40 kg정도의 U을 포함한 약 350 kg 정도의 TRU 및 희토류(Rare Earth; RE)가 포함된 용융염이 전해제련 공정으로 보내지며, 약 64 kg 정도의 귀금속 (Noble Metal; NM)이 금속폐기물 처리공정으로 보내진다. 회수된 U의 일부가 전해정련 반응에 필요한 UCl_3를 제조하는 데에 쓰이고, 전해정련 반응기에서 생성된 산화우라늄이 다시 전해환원 공정으로 되돌려진다.

참고문헌

[1] 조동건, 윤석균, 최희주, 최종원, 고원일, "파이로공정 시설 개념설계를 위한 기준 사용후핵연료 선정", 한국방사성폐기물 학회지, 6(3), pp. 225-232 (2008).

[2] 고원일, 조동건, "파이로 기준핵연료 분석," 파이로 리딩그룹회의 발표자료, 한국원자력연구원 (2008).

[3] "ORIGEN 2.1-Isotope Generation and Depletion Code Matrix Exponential Method," Radiation Safety Internation Computational Center, Oak Ridge National Laboratory (1999).

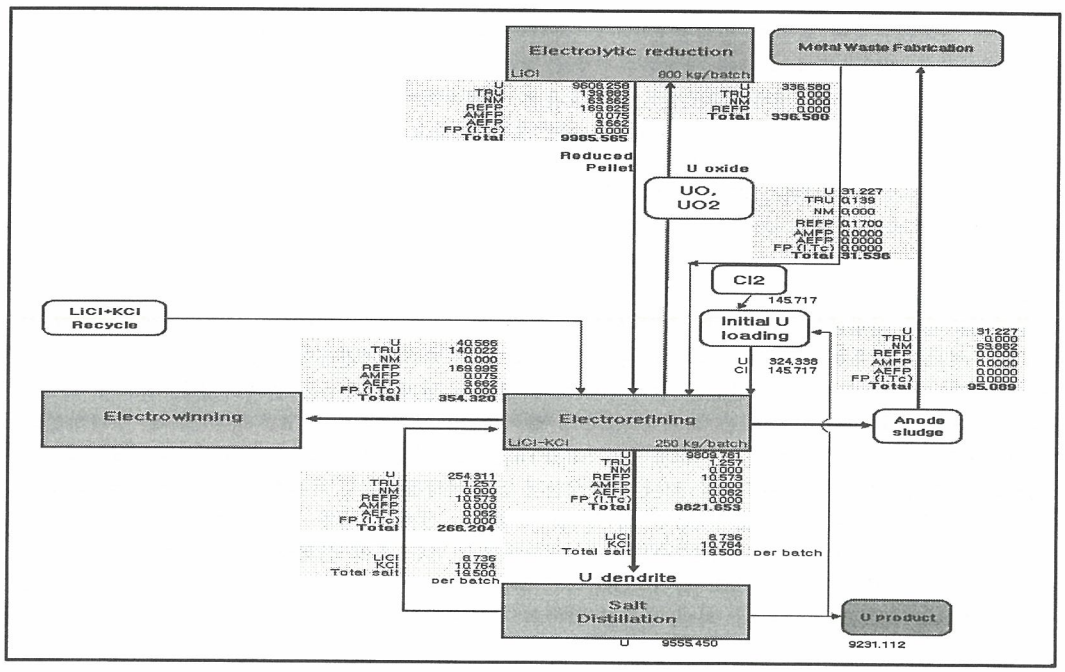

Fig. 1. Material balance for electrorefining process