

4가지 전처리공정에 있어 핵분열생성물 거동 특성 분석

박장진, 신진명, 이재원, 나상호, 박근일
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
 jipark@kaeri.re.kr

1. 서론

한국원자력연구원은 미국 INL연구소와 2007년부터 3년간 INERI과제로 사용후핵연료 고도 휘발성산화 공정 기술개발에 관하여 공동연구를 수행하였다[1, 2]. 이 연구의 일환으로, 전처리 공정별 핵분열생성물 거동특성을 분석하였다.

경수로 사용후핵연료 파이프공정은 크게 전처리 공정, 전해환원공정, 전해정련공정, 전해제련공정, 폐기물처리공정 등으로 이루어져 있다. 이 중 전처리 공정은 핵분열생성물을 제거하고, 제거된 핵분열생성물을 포집하며, 전해환원공정에 적합한 원료물질로 제조하는 중요한 공정이다.

본 연구에서는 각 전처리공정 중 제거되는 핵분열생성물 제거특성 분석을 위해 4가지 전처리 공정 경우를 고려하였다. rod-cut을 전해환원 원료물질로 이용하는 경우, 사용후핵연료 fragment를 전해환원 원료물질로 이용하는 경우, 고도 휘발성산화공정을 이용하는 경우, 저온 휘발성산화공정을 이용하는 경우 등이다.

각 경우에 대하여, 휘발성 핵분열생성물(Kr/Xe, H-3, C-14, I), 준휘발성 핵분열생성물(Cs, Tc, Rb, Ru 등)의 제거 특성과 제거 특성이 갖는 의미에 대하여 분석하였다.

2. 본론

2.1 본 연구에서 고려한 전처리공정

본 연구에서 생각하는 핵분열생성물에는 Kr, Xe, C-14, H-3 와 같은 휘발성핵종, Cs, Tc, I과 같은 준휘발성 핵종(I은 경우에 따라 휘발성핵종으로 분리되기도 함)이 포함된다. 본 공정에서 고려한 전처리 경우는 rod-cut 이용공정 경우, 사용후핵연료 fragment 이용 공정 경우, 고도 휘발성산화공정 경우, 저온 휘발성산화공정 경우 등 4가지 경우에 대하여 평가 하였다.

2.2 각 공정경우별 핵종 제거 특성분석

앞에서 설명한 4가지 경우에 있어 H-3, Kr,

Xe, C-14 등 각 핵종별 제거 특성을 분석하여 표 1에 나타내었다.

2.3 각 핵종별 거동 특성 분석

2.3.1 세슘

세슘을 처리하는 기준 공정으로 INL세라믹 폐기물공정으로 하였다. INL 공정에서는 Cs, Sr, TRU, I 가 함유된 LiCl-KCl 염을 제올라이트와 섞어 sodalite 세라믹 형태로 제조한다. 이 폐기물은 고방열핵종(Cs, Sr), TRU를 함유하고 있어 고준위 폐기물로 분류된다. 고도 휘발성산화공정에서 제거할 경우 일정기간 저장후 class C 저준위폐기물이 된다. 뿐만 아니라, 고방열 Cs을 고도 휘발성산화공정에서 제거할 경우 전해환원공정의 LiCl 염의 사용횟수를 늘릴 수 있는 장점이 있다.

2.3.2 테크네튬

테크네튬을 처리하는 기준 공정으로 INL 금속 폐기물공정으로 하였다. INL 공정에서는 Tc가 함유된 noble metal을 SUS 피복판, 지르코늄과 섞어 금속폐기물 형태로 제조한다. 이 폐기물은 고방열핵종(Co-60), TRU를 함유하고 있어 고준위 폐기물로 분류된다. 고도 휘발성산화공정에서 Tc를 제거하여 선택적으로 Tc를 포집할 경우 이는 GTCC 폐기물이되나, 향후 소멸처리 기술이 도입된다면 GTCC폐기물은 저준위폐기물이 될 것이다.

2.3.3 요오드

요오드를 처리하는 기준 공정으로 INL세라믹 폐기물공정으로 하였다. INL 공정에서는 Cs, Sr, TRU, I 가 함유된 LiCl-KCl 염을 제올라이트와 섞어 sodalite 세라믹 형태로 제조한다. 이 폐기물은 고방열핵종(Cs, Sr), TRU를 함유하고 있어 고준위 폐기물로 분류된다. 고도 휘발성산화공정에서 I를 제거하여 선택적으로 I을 포집할 경우 이는 GTCC 폐기물이되나, 향후 소멸처리 기술이 도입된다면 GTCC폐기물은 저준위폐기물이 될 것이다.

고도 휘발성산화공정에서 요오드를 제거하지 않는다면 요오드는 대부분 CsI 형태로 전해환원 염에 포함되어 현재 개발 중인 결정화법에 의한 LiCl 회수에 막대한 지장을 줄 수 있다. 즉, CsI의 용융점 621℃이고 LiCl의 용융점은 610℃으로 매우 근접하여 결정화법으로 분리가 어려우리라 예상된다. 따라서 고도 휘발성산화공정에서 CsI의 제거는 반드시 필요하리라 생각된다.

2.3.4 Se, Te, I, Br

Se, Te, I, Br 4가지 핵종은 전해환원공정의 전극을 부식하는 핵종으로 고도 휘발성산화공정에서 이들 핵종을 제거해주면 전해환원공정 전극을 보호하는데 많은 도움을 줄 것이다. 고도 휘발성산화공정에서 I, Br은 99%이상, Se, Te은 50% 이상 제거가능하리라 본다.

3. 결론

본 논문에서는 rod-cut 이용공정 경우, 사용후 핵연료 fragment 이용공정 경우, 고도 휘발성산화공정 경우, 저온 휘발성산화공정 경우 등 4가지 전처리 경우에 대하여 핵종 제거 특성, 이 핵종 제거 특성이 전공정에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 4가지 경우의 경우 고도 휘발성산화공정이 전해환원 염 사용횟수 증가, 염 폐기물 발생절감, 요오드 핵종 제거 효율성, 전해환원 전극 부식 방지 등에서 장점이 있어 4가지 경우 가장 우수한 것으로 분석 되었다.

4. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.

5. 참고문헌

- [1] J. J. Park, J. M. Shin, G. I. Park, J. W. Lee1, J. W. Lee2 and K. C. Song, "An Advanced Voloxidation Process at KAERI", Global 2009, Paris, 2009.
- [2] 박장진 등, "사용후핵연료 고도 휘발성 산화공정 기술개발", KAERI/RR-3212/2009, 한국원자력연구원, 2010.

Table 1. Fission product behaviour for each case

	rod-cut 이용공정	fragment 이용공정 경우	고도 휘발성산화공정 경우	저온 휘발성산화공정
H-3	대부분 전해환원공정에서 휘발	대부분 전해환원공정에서 휘발	100% 휘발	100% 휘발
K r , X e , C-14	대부분 전해환원공정에서 휘발	대부분 전해환원공정에서 휘발	100% 휘발	30% 정도 휘발, 나머지는 전해환원공정에서 휘발
Cs	대부분 전해환원공정에서 염으로 이동	대부분 전해환원공정에서 염으로 이동	95%이상 휘발	10% 미만, 나머지는 전해환원공정에서 염으로 이동
Tc	전해정련에서 제거해야함	전해정련에서 제거해야함	90%이상 휘발	1% 미만, 전해정련에서 제거해야함
I, Br	대부분 전해환원공정에서 염으로 이동, 전극 부식	대부분 전해환원공정에서 염으로 이동, 전극 부식	99%이상 휘발	1%미만, 전극 부식
Se, Te	대부분 전해환원공정에서 염으로 이동,	대부분 전해환원공정에서 염으로 이동	50% 정도 휘발	1% 미만, 전극 부식