

UF6 실린더 내부표면 제염공정 분석

전관식, 유성현, 조영준, 설증근*, 한옥진*, 강필상*

(주)유이엔지, *한전원자력연료(주)료

kschun44@hotmail.com

1. 서론

UF6 핵연료순반용 실린더를 재사용하기 위해서는 국내 원자력법 및 국제 운반관련 규정에 따라 매 5년마다 사용검사를 받아야 하며, 사용검사를 수행하기 전에 실린더 내부를 세척하여야 한다. 한전원자력연료에서는 사용검사 역무를 외국에 위탁하여 수행하였으나 이를 자체적으로 수행하고자 UF6 실린더 세척 및 사용검사 시설을 설치하여 2007년 후반기부터 운영하고 있다. 이 중 UF6 실린더 세척공장의 각 세척단계별 세척시간에 따라 배출되는 세척폐액 중 우라늄농도를 분석하여 본 공장의 제염공정을 해석하고자 하였으며, UV 스펙트럼과 XRD 커브를 이용하여 폐액 내에 용해된 우라늄의 화학종도 규명하고자 하였다.

2. 실험 및 결과

UF6 실린더 내부 세척은 일련의 5단계를 거쳐 시행되었으며, 각 단계별 세척시간은 45분이었다. Step-1, Step-4 와 Step-5에서는 20L의 물로만 각각 세척하였고, Step-2 와 Step-3 에서는 7wt.% Na_2CO_3 용액 18.5L 에 35wt.% H_2O_2 용액 1.5L를 가한 총 20L 용액으로 세척하였다. 각 단계별 세척시간에 따라 채취된 세척폐액은 ICP-AES로 우라늄 농도를 분석하였고, Step-2의 세척종료 후 취한 폐액 중 침전물의 일부는 XRD 분석에 그리고 침전물을 제외한 상등 액의 일부는 UV-VIS spectrometer 로 분석하는데 사용하였다.

Step-1의 경우는 세척액 중 우라늄농도가 지수 함수적으로 증가하고 있지만, 그 다음단계부터는 세척시간에 따라 우라늄농도가 세척시간 경과와 더불어 선형적으로 증가하는 경향을 나타내고 있다(그림 1의 a). Step-1에서 초기의 완만한 상승 후 급격한 증가 현상은 내벽에 부착되어 있는 우라늄화합물의 용해 또는 탈착에 필요한 시간 때문으로 생각된다. 또한 그림 1의 b 에서 보는 바와 같이, 세척단계가 거듭됨에 따라 우라늄 농도가 급격히 감소하고 있으며, Step-5에서의 우라늄농도는 Step-1에서의 우라늄농도에 비하여 약 1/760 정도를 나타내고 있다. 특히, Step-4에서의 우라늄 농도는 Step-5에서의 우라늄 농도의 2배 정도에 불과함을 보이고 있음은 한 단계를 제하여도 용기 내벽의 우라늄 제거에 별 영향은 없을 것이라 판단된다.

세척액에 의해 제거된 총 우라늄 양(약 0.931kg, 그림 2참조)을 근간으로 추정된 용기 내의 우라늄화합물(UF6, UF4, UO_2F_2 등)은 1.205kg 내지 1.377kg의 범주에 있을 것으로 예상되는데, 이 값은 용기의 세척전과 후의 무게감량(약 1.4kg)과 거의 일치하고 있다. XRD로 분석한 결과, $\text{Na}_4\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3$, UO_2F_2 , NaF 등이 공존하고 있어 세척 전 실린더 내에 존재하는 우라늄이 불화물이었음을 뒷받침 해 주고 있다. 이상의 결과는 용기 내에 부착된 우라늄 화합물의 거의 대부분이 본 제염공정에 의해 제거되었음을 암시해 주고 있다. 그리고 그림 1의 b 에서 보는 바와 같이, Step-1은 Step-2 내지 Step-5 의 지수함수적인 감소경향에서 조금 벗어나고 있음을 보여주고 있다. 이는 첫 단계의 세척액이 물이기 때문으로 판단된다. 반듯이 첫 단계에서 물로 세척해야 하는 경우가 아니라면, 물보다 $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ 용액을 곧바로 투입하여 세척함이 더 효율적일 것이라 생각된다.

한편, 용액의 UV-VIS 스펙트럼과 XRD 커브 상에 나타난 결과는 우라늄의 화학종이 $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$ 으로 식별되어 일차 실험 결과[1]와 일치함을 나타내고 있다. 그리고 실제 제거된 총 우라늄의 양에 비하여 화학 양론적으로 $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ 의 양이 과다하게 사용되었다. 따라서 각

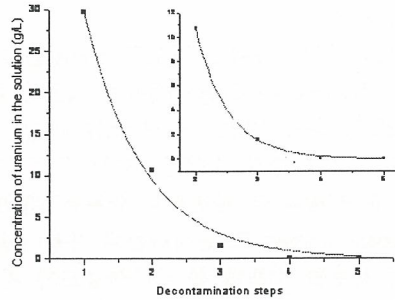
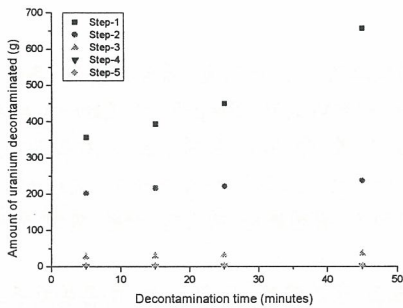
실린더의 오염도에 맞게 조절할 수단 있다면, 이의 첨가량도 줄일 수 있을 것이고, 이로 인한 세척폐액의 양도 줄일 수 있을 것이다.

3. 결론

$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ 세척액으로 실린더 내부에 부착된 우라늄을 5단계 공정으로 충분히 제거시킬 수 있음을 확인하였다. 그리고 현 5단계의 제염공정 중 첫 단계인 물로 세척하는 공정을 생략하고 바로 $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ 용액을 투입하여도 문제가 없다면, 세척액뿐만 아니라 생성되는 폐액의 양도 감축시킬 수 있는 4단계 제염공정의 기술적 타당성 및 이의 최적 운전조건을 도출하기 위한 연구가 요구된다.

참고문헌

1. 전관식 등, "UF6 실린더 내부표면 세척공정 폐액 분석", 방사성폐기물학회 2008년 춘계학술발표회 (2008).



(a) 시간에 따른 우라늄양의 변화

(b) 각 단계별 우라늄농도 변화

그림 1. 세척폐액 중 우라늄 양과 농도 변화

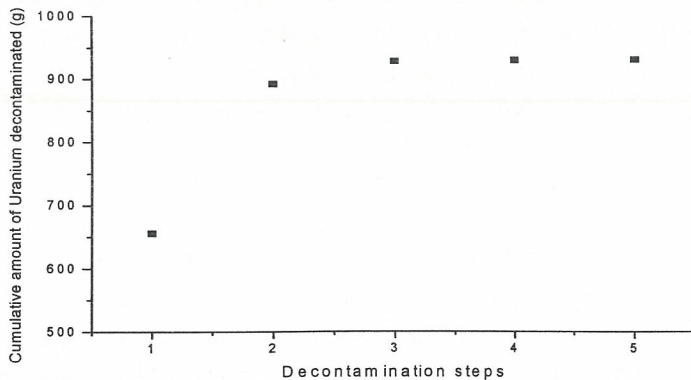


그림 2. 제염공정의 단계가 거듭됨에 따라 제거된 우라늄의 누적 량