

DUF₆ 실린더 건전성 조사 및 국내 DUF₆ 처리방안

최윤동, 조운형, 이규일, 박진호, 박승국, 문제권
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989길 111
 vdchoil@kaeri.re.kr

1. 서론

UF₆는 화학반응성이 크고 승화성이 큰 물질로서 일반적으로 밀폐된 용기 내에 보관한다. 특히 DUF₆는 핵연료제조를 위한 농축과정에서 부산물로 다량 생성되는 물질로, 전 세계적으로 약100만 톤 이상의 DUF₆가 누적되어 있는 것으로 추정되며 이들은 규정된 용기(48Y, ANSI N14.1/ ISO7195) 내에 보관 중에 있다. 미국의 경우, 저장 중인 DUF₆ 실린더 중에 오래된 것은 50년 이상이 된 것도 있으며, 이로 인한 실린더 안전성에 대한 관심이 고조된 바, 지금은 DUF₆를 안정한 물질인 우라늄 산화물로 변환시키는 국책사업을 시작하여 운영 중에 있다[1]. DUF₆를 변환시키기 위한 첫 번째 작업은 DUF₆가 담긴 실린더를 가열시켜서 DUF₆를 기화시키는 일이며, 이를 위해서는 실린더 건전성이 확보되어야 안전한 작업을 수행할 수 있다. 실린더에 대한 건전성은 실린더 부식에 의한 두께 감소 정도 또는 실린더 외관에 대한 응력 장애로 인한 표면에 대한 부분적 일그러짐 유무 등 다양한 인자에 따라 정성적으로 판단될 수 있으나 정확한 판단 기준은 정해져 있지 않다. 다만 실린더 두께가 부식에 의해서 한계 값(ANSI N14.1) 이하로 낮아지면 가열시켜서 기화시킬 수 없는 것으로 규정하고 있다. 국내 도입된 DUF₆가 담긴 실린더는 약25년이 경과 되고 있으며, 인젠가는 실린더에 담긴 DUF₆는 변환 되어야 한다. 본 논문에서는 DUF₆가 담긴 48Y 형 실린더에 대한 건전성 유지 기간에 대한 고찰과 국내 도입되어 저장 중인 약185톤의 DUF₆에 대한 향후 처리 방안을 도출하고자 한다.

2. DUF₆ 실린더 및 건전성

2.1 DUF₆ 실린더 형태

48Y 형 실린더는 그림1에 나타낸 바와 같이 직경이 48"(인치)인 철제 용기로서 최대 12.5톤의 DUF₆를 담을 수 있으며 사용 압력은 200psi 그리고 400psi의 수압시험에 만족하도록 설계된 용기이다. 48Y 형 실린더는 내부 부피가 인가된 용기로서 국

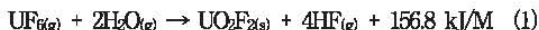
내 보관 중인 실린더에는 평균적으로 약 12톤의 DUF₆가 실린더 수평방향으로 하부 쪽에 담겨져 있으며, 실린더 내부 부피의 절반가량을 차지하고 있다.



Fig. 1. 48Y type cylinder.

2.2 DUF₆ 실린더 내부 부식

UF₆는 산화성이 매우 큰 물질이나 철과는 매우 느리게 반응한다. 70℃에서 UF₆ 저장 실린더의 5/16 인치인 벽 두께를 침투하는데 약 백만 년이 소요된다고 보고된바[2] 있다. 따라서 DUF₆를 철 실린더에 보관한다. 실린더 내부 부식은 실린더 밸브 누설로 인한 공기 유입에 의한 수분의 존재인데, 이 경우 수분과 반응하는 것은 실린더 구성 재료인 철과 반응하기 보다는 아래 반응식에서와 같이 UF₆와 우선적으로 반응하며 이 경우 HF가 생성된다. 이때 생성된 HF는 철과 반응하지 않기 때문에 실린더 내부 부식은 일어나지 않는다. 실린더 밸브 누설은 매우 적은 공기누출만이 일어나는 경우를 가정한 경우이며, 외형적 파손이나 육안 식별이 가능한 경우는 배제한 경우이다.



2.3 DUF₆ 실린더 외부 부식

48Y 형 철 실린더의 외부 부식은 주변 환경과 매우 밀접한 관계에 있으며, 특히 실린더 외부표면 상태 및 응력 하중 부위에 따라 부식이 발생된다. 48Y 실린더 표면 부식은 주로 실린더 받침대 근처 응력 하중으로 인한 꺼진 부분이나 빗물이 잘 고이는 치마부위 또는 표면의 미세하게 갈

라진 틈이나 작은 표면 결함이 있는 곳으로부터 부식이 시작된다. 이 외에도, 청동 마개나 스텐 부속판과의 접촉 면에서 수분 존재 하에서 전위차에 의한 부식이 발생된다. 따라서 실린더 표면을 보호하는 것은 실린더 외부 부식을 방지하는 것과 직접적으로 연관된다.

2.4 DUF₆ 실린더 건전성

실린더 건전성은 실린더 제작 초기상태에 해당 하는 설계인자를 만족하는 성능을 가지면 건전성을 유지하고 있는 것으로 말 할 수 있다. 실린더 건전성을 판단 할 수 있는 것은 실린더 외형상태 및 부식상태를 파악하는 것이다. 즉 실린더가 외형적으로 초기상태로부터 어떠한 변화나 스트레스를 받은 적이 없이 온전한 형태를 유지하는 지 그리고 실린더 표면 부식에 의한 실린더 두께 감소가 설계 압력에 만족하는지에 따라서 결정될 수 있다. 실린더 외형 상태에 대한 스트레스 여부는 실린더 초기형태를 유지하고 있는 가를 육안으로 확인하는 정성적 수단으로 밖에는 파악할 수 없으며, 실린더 부식 진행정도는 실린더 두께를 직접 측정함으로써 알 수 있다. 따라서 실린더 건전성은 앞에서 언급한 실린더의 제작 초기 외형 유지 및 부식 진행 상태에 대한 평가로부터 판단할 수 있다.

2.5 DUF₆ 실린더 수명

48Y 형 실린더 수명은 실린더 건전성을 유지하는 기간이라고 말할 수 있다. 미국의 경우 지금까지 약 7만개의 실린더가 저장되어 오고 있으며, 이 중에 약 0.01%의 실린더가 스트레스 또는 부식에 의해서 파손된 것으로 보고되었다[3,4]. 미국 DOE에서 관리하는 DUF₆ 실린더에 대한 부식 실태 조사로부터 48Y 형 실린더 부식은 실린더 표면으로부터 발생되며, 특히 포인트 등에 의한 표면 보호를 위한 도장상태유지가 실린더 수명에 매우 핵심적인 역할을 한다고 보고하고 있다. 실린더 부식평가를 위한 실린더 두께에 대한 모델링 접근 연구 결과 적용은 의미 없으며, 이는 48Y 형 실린더에 실제 적용하기에는 너무 많은 변수를 포함하기 때문이다. 즉, 실린더 도장 유지 기간, 나이, 저장 지역, 그리고 실린더 적재 조건 등에 부식 결과는 크게 다르게 적용되기 때문이다.

2.6 국내 DUF₆ 실린더 현황

현재 국내 저장 중인 약185톤의 DUF₆는 48Y

형 실린더 15개에 보관 중이며 약 23년 동안은 옥외에 그리고 2009년 10월 이후부터 옥내에 보관 해 오고 있다. 그 동안 실린더는 3~5년 주기로 표면페인팅을 행하였으며, 최근에는 매 4분기 마다 실린더 벽 두께를 측정하여 실린더 부식상태를 감시하고 있다.

2.7 국내 DUF₆ 처리방안

현재 저장 중인 DUF₆는 비교적 같은 시기에 도입 된 것으로 실린더 도입 나이 역시 같다. 또한 저장 환경 및 도장 상태 등 유지관리 조건이 동일하기 때문에 실린더 외형적 스트레스나 저장을 위한 수명은 대체로 동일하다고 할 수 있다. DUF₆는 실린더 건전성이 보장 되는 기간 내에서 변환 시켜서 안정한 우라늄 산화물로 저장되어야 하기 때문에, 가까운 장래에 처리 계획이 수립되어 실행되도록 하여야한다. 한편 근자에 들면서 DUF₆는 국가 간 이동에 많은 장애를 가지고 있다. 따라서 국외에서 변환 시키는 것은 어려움이 예상되며, 국내에서 변환 시에는 원전 연료(주)에 의뢰 하여 변환이 가능하다. 이 경우에는 48 Y 형 실린더 기화 공정이 추가로 필요하다.

3. 결론

국내 DUF₆는 변환시켜서 안정한 우라늄화합물로 저장 보관 되어야 한다. 48Y 형 실린더에 담긴 DUF₆는 실린더 건전성이 유지되는 기간 내에 변환되어야 하며, 이에 따른 실행 계획이 조속한 시일 안에 수립되어야 한다.

4. 참고문헌

[1] <http://www.ppco.energy.gov/duf.html>, Feb. 2012.
 [2] Uranium Hexafluoride Handling Second International Conference Proceedings, Oct. 1991.
 [3] DNFSB/TECH-4, May 5, 1995.
 [4] ORNS/TM-2007/227, Prediction of External Corrosion for Steel Cylinders, Nov. 2007.