

DUF₆ 실린더 장기저장 관리를 위한 예비조사

최윤동, 최휘경, 이규일, 황두성, 문제린
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 989길 111
 vdchoil@kaeri.re.kr

1. 서론

DUF₆ 약185톤이 DUF₆ 전용 실린더(48Y형) 15개에 담겨져 장기 저장 중에 있다. 실린더는 1986년 미국으로부터 도입되어 2009년 10월까지 옥외에 저장되어 왔으며, 현재에는 옥내 전용 저장고에 보관 관리되고 있다. DUF₆는 화학적 독성 물질인 동시에 방사성을 지닌 물질로 실린더 손상으로 인한 DUF₆의 대기 누출을 방지하여야 한다. 또한 실린더 내에 있는 DUF₆를 궁극적으로 처분을 위한 안정한 화합물 형태로 변환시킬 때까지는[1], 실린더 안전성이 보장되어야 한다. 따라서 장기 저장 중인 실린더에 대한 부식 정도를 주기적으로 감시하고 예측하여 안전 저장 기간을 도출함으로써, 처분 전에 저장 중인 실린더에 담긴 DUF₆를 안전하게 처리할 수 있다. 먼저 DUF₆ 실린더에 대한 국외 장기 저장 및 관리에 대한 자료를 수집하고, 이로부터 실린더 부식으로 인한 파손 사례를 조사하여 국내 저장 중인 실린더 상태와 비교하여 실린더를 보다 안전하게 장기 저장할 수 있도록 하고, 실린더 건전성이 보장되도록 유지 관리하고자 한다.

2. 국외 DUF₆ 실린더 장기저장 사례 및 부식성

2.1 DUF₆ 위해성

DUF₆ 위해성은 실린더 내에 저장 중인 DUF₆가 대기 중으로 누출될 경우이며, 방사능에 의한 위해성 보다는 화학적 독성물질에 대한 위해성이 크다. DUF₆는 대기 중에 있는 수분과 반응하여 부식성이 큰 HF와 중금속 물질인 우라늄 화합물(UO₂F₂)을 생성한다. 일반적인 실린더 표면 방사선 준위는 2-3 mrem/h 이며, 약 30cm 떨어진 거리에서는 약 0.3 mrem/h로 감소한다. 미국의 경우 통계적으로 작업자의 연간 피폭량은 200mrem/h 이하로 보고되고 있다. 이는 규제한계 5,000mrem/h에 훨씬 못 미치는 값이며 규제값 2,000mrem/h 보다 적은 값이다.

2.2 실린더 파손 사례

미국의 경우 현재 장기저장 중인 DUF₆는 약70

만톤이며, 저장 중인 실린더 수는 57,122개에 달한다. 장기 저장 중인 DUF₆ 실린더에 대한 1995년도 조사에서 8개의 실린더가 부식되었음을 보고하였다[2]. 부식은 땅과 접촉된 부위에서 발생하였고, 실린더는 1940년대 후반부터 저장해 오던 것으로서, 1990년 이후부터 저장 중인 실린더에 대한 감시와 향후 처리에 관한 연구가 시작되었다. DUF₆ 실린더의 안전한 장기 저장으로 잠재적 환경 영향을 최소화하는 것은 실린더 표면에 대한 도장 및 유지 관리를 이행하여 실린더 부식을 최대한 방지하는 것이다. 부식 반응 기구는 실린더 내부 및 외부 그리고 땅과 접촉면에서 수분과의 반응으로 일어나며, 실린더 받침대 근처에 실린더 표면이 꺼진 부위 및 틈이 잘 고이는 실린더 치마 부위 실린더 표면의 갈라진 틈이나 작은 결함 부위 등에서 부식이 시작되기도 하고, 청동 마개나 스텐 부착판과의 접촉 면에서 수분과의 작용으로 전위차에 의한 부식이 일어날 수 있으며, 밸브 누출에 의한 HF와의 반응에 의한 부식이 진행될 수 있다. 상기 8개 부식된 실린더 중에 6개는 지면과 접촉에 의한 부식이었으며, 나머지 두 개는 실린더 적재를 위한 취급 손상에 의한 것이었다. 밸브나 마개 부분 손상에 의한 DUF₆ 누출에 대한 자료는 없었으나 밸브 주변에서 우라늄물질이 검출된 적은 몇몇 있는 것으로 보고되고 있다.

2.3 국내 DUF₆ 실린더 저장 현황

DUF₆ 실린더는 그림 1에서와 같이 2009년 10월까지 옥외에 보관(오른쪽)하였으나, 그 이후부터는 옥내 DUF₆ 실린더 저장소(왼쪽)에 보관 관리하고 있다.

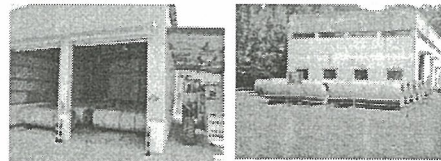


Fig. 1. DUF₆ Storage Place.

현재 각 실린더는 콘크리트 바닥에 실린더 전용 받침목을 놓고 그 위에 놓여서 저장되고 있다.

2.4 국내 DUF₆ 실린더 감시 및 두께 측정

실린더 총 17개는 시각적 외형 검사에서 현재 까지 이상이 발견되지 않았으며, 실린더 외부는 양호한 도장상태를 유지하고 있다. 또한 외부 손상이나 부식 흔적은 관측되지 않고 있다. 1/4 분기 마다 육안 검사를 실시하고 있으며, 초음파 두께 측정기(PosiTector UTG-ME, DeFelsko Corp. USA)를 이용하여 시간이 지남에 따른 실린더 두께 변화량 측정 자료를 수집 중에 있다. 도장상태가 양호한 실린더에 대한 부식은 매우 느리게 진행되는 것으로 알려져 있다. 따라서 부식으로 기인한 실린더 벽두께는 매우 미세하게 감소할 것이며 이를 감지하기 위해서는 세밀하고 정교한 측정이 요구된다. 지난 1년간의 초음파를 이용한 실린더 두께에 대한 예비 측정결과, 48Y 형 실린더 평균 두께가 15.88mm 인 것과 비교해서, 최저 15.23mm로부터 최고 17.04mm에 이르기 까지 측정 부위에 따라서 매우 큰 편차를 나타내었다. 이와 같은 이유로 1년간의 시간이 지난 후의 두께 측정값은 정량적 비교가 어려웠으며, 매 측정 부위가 완전히 부합되지 않는 곳에서 측정 한 것에 기인해서 측정 자료에 대한 직접적 해석은 할 수 없었다. 앞으로 두께 측정에 대한 보다 세밀한 자료가 축적된 후에 두께 감소로 인한 해석이 가능할 것으로 사료된다.

2.5 국내 DUF₆ 실린더 장기저장성에 대한 고찰

도장이 되어 있지 않는 상태의 DUF₆ 실린더에 대한 수명은 일반적 대기 환경조건에서 약 60-70 년으로 평가되고 있으며, 예상되는 부식속도는 0.001 inch/y 이하이다[2]. 실린더 표면에 대한 도장은 부식속도를 감소시켜서 실린더 수명을 연장시킬 수 있으며, 장기저장을 위해서는 표면보호가 필수적인 요소로 작용한다. 초기 실린더 생산 시에는 1956-1958년 것(T-형)으로 표면을 zinc chromate로 처리한 비취빛 초록색 페인트(Pittsburg #54-130)로 도장된 것이었으며, 그 후 몇 차례 수정된 생산 사양을 거쳐서 지금은 실린더 외부 표면은 모래로 Blast 처리된 것에 Carboline 858(삼 성분 zinc-filled epoxy primer)로 한번 도장 후 2차로 Carboline 834(acrylic aliohatic polyurethane)로 도장된 것이다. 실린더에 대한 정확한 저장 수명을 예측하기 위하여 1990년대 초기 이후부터 현장 시험 및 모사 시험에 대한 연구가 진행 중에 있으나, 지금까지 확인

된 실린더 수명과 관련된 자료는 나와 있지 않다. 다만 철 재질의 대기에 대한 부식 시험 절차와 시편에 대한 기하구조에 대하여 ASTM-G50에 명시되어 있다. 장기저장은 대기 상태에 의한 실린더 표면부식에 의한 손상 못지않게 물리적 손상에 의한 표면 부식이 중요하다. 실린더 표면에 적은 흙이나 굵힘 또는 움푹 꺼져서 stress를 받은 곳은 부식이 개시되는 지점으로 작용한다. 따라서 저장 중인 실린더를 재배치하는 등의 이유로 장소를 옮기거나 이동시에는 특히 세심한 주의가 필요하다.

3. 결론

국내 장기저장 중인 DUF₆ 실린더에 대한 시각적 외형 검사는 DUF₆의 완전한 봉쇄와 안전한 저장 관리를 하기 위한 요소이다. 시각적 감시는 실린더 외형 전반에 걸친 것으로 밸브와 마개 상태를 포함해야 한다. 실린더에 대한 장기 저장을 위한 안전성은 외부 표면부식방지에 있으며, 페인트 등에 의한 도장으로 대기 중에 존재하는 수분과 철 실린더와의 반응을 차단하여 부식을 방지할 수 있다. 이것은 실린더 수명을 연장하는 수단이며, 이를 확인하는 기초자료를 얻기 위한 연구가 필요하다.

실린더 저장 수명은 실린더를 저장하고 있는 상태에 영향을 받으며, 실린더 저장소의 바닥은 콘크리트와 같은 곳에 비교적 습기가 머물지 않도록 해 주어야한다. 수분 차단은 실린더 수명연장과 직결된다. 따라서 옥외 저장보다는 옥내 저장이 유리하다.

현재 보관 관리 중인 국내 DUF₆는 국내로 도입 된지가 약 25년이 경과된 것으로, 안전한 DUF₆ 처분을 위해서는 보다 확신을 가질 수 있는 향후 수명에 관한 예측이 필요하다.

결론적으로, DUF₆ 실린더 관리는 DUF₆ 처분 전까지 안전하게 보관하는 것으로, 실린더 저장 장소에 대한 관리와 실린더 상태 저하에 대한 감시 그리고 부식 방지를 위한 실린더 표면 도장상태 유지가 지속적으로 이루어져야 한다.

4. 참고문헌

- [1] 한국방사성폐기물학회, 2007년 추계학술발표회 논문요약집, pp 53-54, 2007.
- [2] DNFSB/TECH-4, May 5, 1995.