

사용후연료 건식저장시설 금속구조물 건전성 확보 방안

이상진, 김정목, 이승호

한수원(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 장동 25-1

sgirhee@khnp.co.kr

월성 원자력발전소 1호기에서 4호기까지 발생하는 사용후연료 다발을 건식 저장하기 위하여 조밀건식저장시설인 MACSTOR/KN-400 모듈을 개발하였다. 본 모듈은 철근 콘크리트 구조물로 중형크기 공기 냉각형식의 Vault이다. 한 모듈은 하나의 바스켓에 60개의 CANDU 연료 다발과 400 개의 연료 바스켓을 저장할 수 있어서 총 24,000 CANDU 다발의 저장 용량을 갖는다. 연료 바스켓은 하나의 저장 실린더에 10개가 적재되며, 각 모듈은 40개의 저장 실린더를 포함하며 저장 실린더는 10개의 저장 실린더가 4열로 배치된다.

월성 원전은 시골 환경, 해안가 및 인근 공업지역인 울산 부근에 위치하고 있으며, 본 시설도 원전 소내에 위치하게 된다. 본 시설은 50 년 이상의 운전 수명으로 설계되었는데 사용후연료를 저장하는 저장실린더와 관련 금속 구성품은 본 시설의 운전 수명기간 동안 건전성이 유지되어야 한다.

따라서 본 연구는 본 시설 중 사용후연료를 직접 저장하는 역할을 담당하는 저장실린더와 관련 금속 구성품이 설계 수명 50년의 운전 수명 동안 건전성을 확보하기 위한 방안으로 수립하는데 있다.

- 평가를 위한 환경 조건

본 시설은 월성 원전 부지내 위치하기 때문에 도시 조건이 아닌 시골 조건과 해양 조건을 적용하여야 하며, 이러한 조건들을 표 1에 나타내었다. 또한 공업지역인 울산 부근에 인접하고 있어서 대기 중에 있는 공기 불순물도 철재 구조물의 부식에 영향을 크게 미치게 된다. 월성 지역에 대한 대기중 공기 오염물질의 분포를 표 2에 나타내었다.

표 1. 월성 원전 대기 조건

Parameter	Value
General ambient atmospheric air conditions	Marine conditions
Storage site distance from the sea	~ 200 m
Ambient air temperature	
Record highest temperature	+ 34C
Record lowest temperature	13.1C
Highest temperature used in safety analysis	+ 40 C
Humidity range	20 % to 100% relative humidity
Mean annual relative humidity	Up to 85% relative humidity
Wind speed (1/100 probability of exceedance)	40 per second (144per hour)
Rainfall	
15 minute rainfall	36
One day rainfall	150 mm
Maximum Snow Load	40.3 kg/m ²
Note 1 : Except for the estimated distance of storage site to the sea, all data listed in this table is from Design Requirement MACSTOR/KN Module.	

표 2. 월성 부지 대기중 공기 오염물질

Air Impurity	Quantity(Gyeongju - Historic) [Trend]	Projected Maximum to 2060(Gyeongju 2060) (See Notes)	Reference Quantity(Gentilly 2)
SO ₂ (ppb - weight)	8.6 [Decrease of 0.5 ppb per year]	< 12	11 to 26
NO ₂ (ppb - weight)	19 to 24 [Increase of 0.53 ppb per year]	< 60	~30
CO (ppm - weight)	0.7 to 1 [Stable historical trend]	< 1.2	1
Total suspended particles (g/m ³)	62 to 78 g/m ³ [Decrease of 1.9 g/m ³ per year]	< 100	16 to 22

Note 1 : The projected data to 2060 from decreasing trends (SO₂ and total particles) are assumed as the maximum value obtained during recent years.
 Note 2 : Projected values are rounded up by 20%.

- 저장 실린더 및 관련 금속 구성품 재질 및 부식 방지 방안

저장실린더 등 탄소 강이 재료가 되는 금속 구성품은 부식 방지를 위하여 표면 내외부에 아연 코팅을, 그 외 금속 구성품은 부식 방지를 위하여 스테인리스 철강을 사용하였으며, 이와 관련된 저장실린더, 차폐 플러그, 보호덮개 및 배기 및 배수 배관 등에 적용된 부식 방지 특성을 그림 1에 나타내었다.

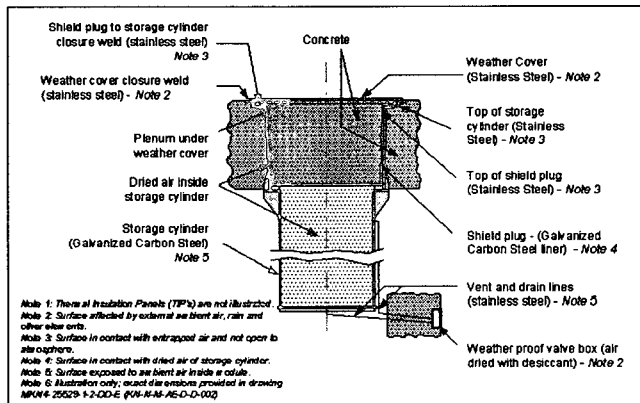


그림 1. 저장 실린더 및 관련 금속 구성품 재질 및 부식 방지 특성

ASM(American Society for Metals) Handbook에 따르면, 월성 부지와 유사한 해양 조건에서 스테인리스 철강의 부식율을 년당 2.5×10^{-5} mm로 보고한 바, 본 시설에 사용되는 스테인리스 철강은 설계 수명기간인 50년 동안 1.2 μm 정도의 두께 손실이 발생되어 각각의 스테인리스 철강을 재료로 하는 금속 구성품의 건전성에는 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

사용후연료 바스켓이 장전되는 저장실린더는 그 재질이 카본 철강이어서 이의 부식을 방지하기 위하여 아연 코팅을 도포한다. 아연은 탄소 강에 대해 산화 막을 형성하여 탄소 강보다 빨리 부식이 진행되어서 부식으로부터 탄소 강을 보호하는 역할을 한다. 아연이 공기 중에 노출되면, 산소와 반응을 하여 ZnO를 형성한 후, 습기와 이산화탄소와 결합을 하여 ZnCO₃ 필름을 형성하며, 이 필름이 아연을 대기 조건에서 부식에 강하게 해주는 역할을 한다.

저장실린더 외부 표면에 사용된 아연 부식 방지 코팅 두께는 해양 및 공업지역 조건에 직접적인 영향을 받아서 50년 이상 보호를 할 수 있도록 350 마이크로미터에서 400 마이크로미터(14에서 16 mils.)까지 아연 코팅 두께를 증가시켰다.