

지중 콘크리트 구조물의 열화인자에 대한 내구연한 평가

권기정, 정해룡, *김도겸, **김건영

한국방사성폐기물관리공단, 대전시 유성구 대덕대로 1045

*한국건설기술연구원, 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283

**한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 989번길 111

kjkwon@krmc.or.kr

1. 서 론

콘크리트는 우수한 내구성과 조형성으로 인하여 각종 구조물의 기본 재료로 이용되고 있으나, 각종 성능저하요인에 의한 내구성능 저하 때문에 구조물의 공용연한이 크게 단축되어 비용손실을 일으키는 사례가 점차 증가하고 있다. 해양환경의 콘크리트 구조물의 내구성능 저하요인 중에서 황산이온, 마그네슘이온 및 염소이온과 같은 유해이온의 침투와 이에 따른 반응생성물 및 철근부식에 의해 콘크리트 구조물의 성능이 저하되어 내구수명이 크게 단축된다. 중·저준위 방사성폐기물 처분시설인 사일로 콘크리트 구조물은 동굴 처분 방식이며 지리적으로 해안가에 인접한 지하에 위치하므로, 콘크리트 내구수명은 처분시설 설치지역의 지하환경에 영향을 받는다. 이러한 잠재적 주변 환경요인들을 최대한 보수적인 관점을 통하여 구조물 설계 및 시공 그리고 장기적인 안전성과 내구성을 고려하는 것이 매우 중요하다. 따라서 사일로 콘크리트의 내구성능을 평가하여 설계수명을 확보할 수 있는지를 판단하였다.

2. 본 론

2.1 콘크리트 배합 및 설계 조건

경주 처분시설의 실제 배합비와 설계 조건을 기반으로 하여 열화인자를 평가하였다.

Table 1. 처분동굴 콘크리트 배합설계표.

W/C (%)	S/a (%)	Proportion(kg/m ³)								비고 (Binder)
		W	C	F/A	G 3/4"	S1	S2	WR A	AE A	
40.0	38.4	206	412	103	961	357	241	2.32	0.13	515

Table 2. 처분동굴 설계 조건.

방벽두께 (mm)	주철근 피복두께 (mm)	주철근 직경 (mm)	주철근 간격 (mm)
1,000	100	42	300

2.2 열화인자별 내구연한 예측

2.2.1 황산염해

황산염에 의한 콘크리트 열화는 매우 복잡한 단계를 거쳐서 발생하기 때문에 정확한 열화 예측은 아직 밝혀져 있지 않다. 그러나 공학적인 측면에서는 이전의 실험결과 및 현장 데이터를 바탕으로 역학적 모델을 이용하여 황산염 침입에 의한 콘크리트 구조물의 열화기간을 예측하고 있다. 본 연구에서는 Atkinson & Hearne(1990)⁽¹⁾의 역학적 모델식을 이용하여 열화속도를 예측하였다.

2.2.2 수산화칼슘 침출

지하수에 의한 콘크리트 침출은 콘크리트로부터 Ca(OH)₂와 같은 용해성 물질의 침출로 정의된다. 이러한 용해성 물질이 침출되면서 압축강도는 감소하고, 투수율은 증가한다. 이를 평가하기 위해 수축코어모델(Shrinking core model)은 Walton et. al., 1990⁽²⁾ 등이 적용하였다. 이 모델에서는 콘크리트를 관통하거나 콘크리트 주변의 이류가 칼슘 이온의 이동에 미치는 영향은 무시하였다.

2.2.3 염해

콘크리트와 접촉하는 지하수 내에 포함된 염화물이 콘크리트 내부로 이동하면서 콘크리트 내부를 중성화시키고 이로 인해 콘크리트 철근 표면에 생성된 보호피막이 파괴된다. 이때, 철근표면에서 보호피막을 파괴하는 염화물의 이온농도를 임계염화물농도(Critical chloride concentration)라

고 한다. 이후 철근표면에 부식이 발생하며, 이후 부식이 진전되어 결국 구조적 한계수명에 도달하는 철근부식 50%에 도달하여 구조물은 완전 열화하게 된다. 본 연구에서는 국내·외적으로 폭넓게 활용되고 있는 Fick의 제2법칙에 의한 열화물 확산모델을 적용하여 부식개시 시기를 예측하였으며, 철근부식 50%에 도달하는 시간은 US DOE의 천층조건 처분시설 철근부식속도에 적용한 10^{-5} m/yr를 적용⁽³⁾하여 보수적으로 평가하였다.

3. 결 론

사일로 콘크리트 구조물은 지형학적으로 해안가 지하 암반에 위치하고 있다. 일반적으로 고려되는 콘크리트 구조물의 열화인자로는 황산염, 수산화칼슘 침출, 알칼리-혼합재반응, 탄산화, 산의 침입, 그리고 철근 부식 등을 들 수 있다. 이들 인자 중에서 사일로 부지 조건에서 보다 중요할 것으로 판단되는 황산염 침입, 수산화칼슘 및 철근부식의 영향에 대해 중점적으로 평가하였다.

실측된 지하수 조건에서 황산염 및 마그네슘에 의한 콘크리트 열화속도는 1.313×10^{-3} cm/yr 이하의 값을 나타내었기 때문에, 처분시설 사일로 콘크리트 구조물의 두께를 고려하였을 경우에 황산염과 마그네슘 침입에 의한 콘크리트 열화는 38,000년 이상으로 무시할 만한 것으로 예측되었다. 또한, 황산염 농도의 영향을 알아보기 위해, 황산염 농도를 지하수에서 관측되는 최고 값보다 10배 높은 농도에서 열화평가를 실시한 결과, 황산염 1,190 mg/L에서 열화속도는 1.313×10^{-2} cm/yr로서 3,800년 이상이 소요되는 것으로 예측되었다.

- 수산화칼슘 침출은 동일한 지하수 자료 및 수축 코어모델을 이용하여 수산화칼슘 침출에 의한 콘크리트 구조물의 열화특성을 평가한 결과, 1,000년의 기간 경과에서 수산화칼슘 유출 깊이는 약 1.5 cm 이하로서, 이로 인한 콘크리트 손상은 40,000년으로 그 영향은 상당히 미미한 것으로 평가되었다.
- 사일로 설계에 반영된 직경 4.2cm의 주철근이 50% 부식되는데 약 615년이 소요⁽⁴⁾되므로, 처분시설 사일로는 완공된 직후, 열화가 발생한다는 가정 하에서 열화물확산 모델을 적용하였을

경우에 처분시설 폐쇄 후 1,725년 이후에 콘크리트 구조물이 완전열화 되는 것으로 평가되었다.

사일로 콘크리트의 열화인자별 내구연한 평가에서는 다양한 수학적 모델을 적용하여 콘크리트 사일로는 열화되는 시간을 계산하였다. 하지만, 충분한 안전율을 고려한 보수적인 관점에서 접근하였으며, 이를 기반으로 산출된 값이기 때문에 실제 사일로 콘크리트의 열화시간은 더욱 길어질 것으로 예상할 수 있다.

4. 감사의 글

본 연구는 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(2009T100100523)

5. 참고문헌

- [1] Atkinson A. and J.A. Hearne, 1990, "Mechanistic models for the durability of concrete barriers exposed to sulfate-bearing groundwaters," in Scientific Basis for Nuclear Waste Management XIII, V.M. Oversby and P.W. Brown eds., MRS Symposium Proceedings, Vol. 176, p. 149-156.
- [2] Walton, J. C., L. E. Plansky, and R. W. Smith, 1990, Models for Estimation of Service Life of Concrete Barriers in Low-level Radioactive Waste Disposal, NUREG/CR-5542, September.
- [3] CNWRA, 2011, REVIEW OF KRMC ENGINEERED BARRIER DEGRADATION ANALYSIS.
- [4] (사)한국콘크리트학회, 2011, 사일로 콘크리트 열화평가 자문용역 보고서.