

## 콘크리트 차폐구조물 내 발생한 spalling이 차폐능력에 미치는 영향에 관한 연구

이창민, 이윤희, 이진재, 조천형\*, 이경호\*, 최병일\*  
 한국과학기술원, 대전광역시 유성구 구성동 373-1번지  
 \*환경기술원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지  
[cmlee@kaist.ac.kr](mailto:cmlee@kaist.ac.kr)

사용후핵연료 건식저장시설을 비롯한 많은 원자력관련 시설에서 콘크리트가 사용되고 있다. 콘크리트는 cement와 물, 골재를 섞어 만드는 재료로써 가격 대비 차폐능력이 매우 뛰어나 특히 차폐구조물의 재료로써 많이 사용된다. 콘크리트를 사용하여 구조물을 건설하는 경우 인장력에 특히 취약한 콘크리트의 특성을 보완하고자 철근이 보강된 철근콘크리트는 사용한다. 철근 콘크리트의 경우 콘크리트 내 철근의 배근을 통해 구조적 안전성을 보장하는 방식으로 이들의 수명은 철근부식의 유무 혹은 정도로 인해 판단되어 질수 있다. 일반적으로 국내의 구조적 안전성 기준에서는 철근의 부식으로 인한 균열 발생 전까지의 단계를 수명으로 권고하고 있다. 그러나 시공시의 부주의나 부분적인 외부의 영향 등으로 인해 수명기간 내 국부적인 철근의 부식이 발생할 수 있다.

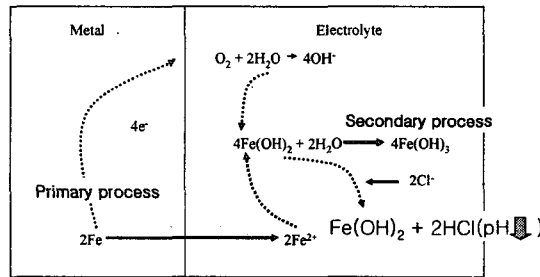


그림 1 철근 내 부식발생 메커니즘

위의 그림1 은 콘크리트 내 철근의 부식이 발생하는 메커니즘을 보여주고 있다. 철근의 부식 생성물인 Fe(OH)<sub>2</sub>와 Fe(OH)<sub>3</sub>는 Fe의 부피보다 2.5배-4배 큰 것으로 알려져 있으며, 이로 인해 콘크리트 내 압력이 발생하게 된다. 철근 부식으로 인해 발생한 압력은 콘크리트 내 인장력을 발생 시키며 이로 인해 균열이 발생하게 된다. 콘크리트 내 발생한 압력은 thick cylinder model로 예상 할 수 있다.

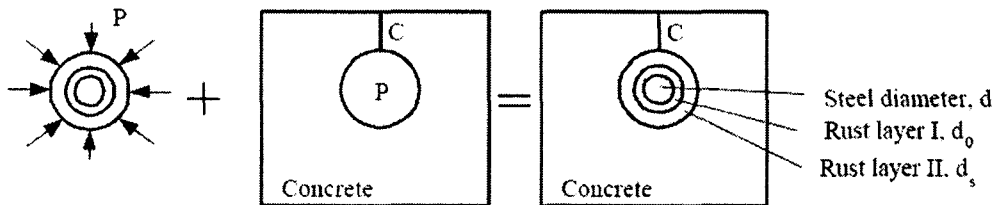


그림 2 부식에 의한 압력 증가 메커니즘

위의 그림2 에서 보여지는 바와 같이 철근의 부피 증가로 인한 압력발생의 경우 콘크리트 내 철근과 콘크리트 사이의 interfacial porous zone의 존재로 인해 철근의 부피가 증가하더라도 압력에 영향을 주지 않는 부분( $d_0$ )과 영향을 주는 부분( $d_s$ )의 두 가지로 분리하여 고려할 수 있다. Keil의 연구결과로부터  $d_0$ 를  $1\mu\text{m}$ 로 가정하고 압력을 계산한 결과 아래와 같은 압력의 증가를 예상할 수 있었다.

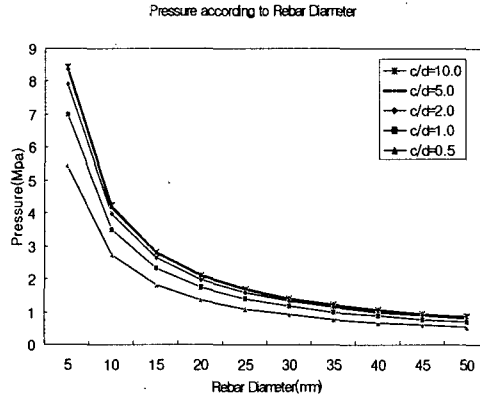


그림 3 c/d 및 철근 지름에 따른 압력

이 예상 압력 증가값을 이용하여 ABAQUS 코드를 이용하여 콘크리트 매질내에서의 균열발생 거동을 모사하여 보았다. 관련 세부 데이터는 현재 차폐시설 중 원자료를 제외하고 가장 높은 준위를 보이는 사용후핵연료 저장시설인 concrete silo를 모델로 이에 대한 spec.을 고려하였다. 철근의 지름은 25mm와 추가적인 고려를 위하여 32mm의 지름도 고려하였으며, 철근으로부터 콘크리트 표면까지의 커버두께는 각각 10cm, 20cm를 고려하였다.

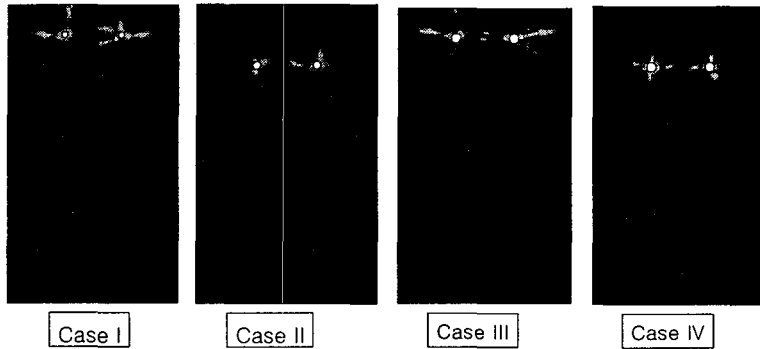


그림 4 커버두께와 철근지름에 따른 모사결과

그림 4를 분석해보면 커버두께가 10cm이하인 경우 철근 간 방향 및 콘크리트 표면으로의 균열의 발생가능성이 있는 것으로 판단된다. 그러나 20cm인 경우 철근 주변에서 균열이 더 이상 발전하지 못함을 확인할 수 있다. 따라서 커버두께가 10cm 이상인 경우 철근부식에 따른 균열의 성장으로 인한 spalling는 발생하지 않을 것으로 판단된다. 따라서 최대 spalling의 두께는 약 10cm인 것으로 예상된다.

기존의 차폐 여유도는 기준값을 만족시키는 차폐두께에서 10%정도를 보편적으로 고려하고 있으나, 커버두께가 10cm 이내인 콘크리트 차폐구조물인 경우 spalling에 대한 것을 고려한 값을 차폐여유도로 고려할 수 있을 것으로 판단된다. 커버두께가 10cm를 초과하는 차폐구조물인 경우 굳이 차폐 여유도를 설정하지 않아도 방사선 방호측면에서 안정적인 차폐안전성을 가질 수 있을 것으로 판단된다.