

10~50년이 경과한 콘크리트구조물의 사용 용도별 탄산화 현상에 의한 열화도 판정

Investigation on Carbonation Phenomenon of Type of Use for Concrete Structures aged a decade to fifty years

박 현* 김 광 기** 한 다 희** 김 성 진** 임 남 기*** 정 상 진****
Park, Hyun Kim, Kwang-Ki Han, Da-Hee Kim, Sung-Jin Lim, Nam-Gi Jung, Sang-Jin

Abstract

Carburization at concrete structures is being processed independently or compositively and each unique Carburization will appear depending on the condition of circumstance. Therefore, the depletion rate was being estimated at this research for buildings and civil construction structures of different environments and of more than 10 - 60 years old by calculating the depth of carburization and the density of Alkali. As the results of the test, buildings (interior) had a deeper and a faster carburization than civil construction structures being exposed to open air as closer to the shore. And also, concrete structures being used as an underdrain of sewage were proven to have a deeper carburization than utility-pipe conduits or underground tunnels.

요 약

콘크리트구조물에서의 탄산화 현상은 단독 또는 복합적으로 작용하고 사용환경의 조건에 따라 각각 상이한 탄산화 현상을 나타나게 된다. 이에 본 연구에서는 사용연수가 10~60여년이 경과되고 사용환경이 상이한 건축물과 토목구조물에 대하여 탄산화 깊이와 알칼리 농도를 측정하여 열화 정도를 판단하였다.

그 결과 건축물(옥내)은 외기에 노출된 토목구조물 보다 빠르고 해안가에 근접 할수록 열화현상이 심화된 것으로 나타났다. 또한, 공동구 또는 지하터널 보다는 하수암거의 용도로 사용하는 콘크리트구조물에서의 열화현상이 큰 것으로 조사되었다.

*정회원, 단국대학교 건축공학과 석사과정
**정회원, 단국대학교 건축공학과 박사과정
***정회원, 동명대학교 건축대학 교수
****정회원, 단국대학교 건축공학과 교수

1. 서론

철근콘크리트구조물에서의 탄산화 현상은 일반 환경하에서 계속적으로 유입되는 이산화탄소에 의하여 발생되며, 콘크리트의 내구성 측면에서 가장 기본적인 열화인자로 취급되어 향후 보수 또는 보강 시공 시 필수적인 점검요인으로 작용하고 있다. 이러한 탄산화는 콘크리트 제조를 위하여 사용한 재료적 특성과 마감재의 유·무와 종류, 그리고 구조물이 위치한 환경조건에서 발생하는 유해물질의 유입으로 탄산화 현상이 가속화 되거나 저감될 수 있다. 즉, 동일한 콘크리트와 마감재를 사용하더라도 사용환경에 따라 탄산화 현상이 내구성상에 미치는 영향은 큰 차이를 나타낼 수 있다.

그러나, 국내에서는 내구성 측면에서 구조물이 위치하는 환경조건에 의한 특성은 고려하지 않고 콘크리트 설계기준강도를 통한 역학적 특성을 중심으로 구축되고 있어 콘크리트의 잔존수명에 관한 내구성능을 잘못 인지하고 있는 경향이 있다. 이에 본 연구에서는 사용 중인 건축 또는 토목구조물을 대상으로 경과연수에 따른 탄산화 깊이와 진행속도를 확인하여 콘크리트의 내구성 설계에 필요한 자료를 제시하고자 하였다.

2. 탄산화 깊이 조사계획 및 내용

표 1 구조물의 일반사항

본 연구에서 대상으로 한 구조물은 현재, 사용중인 구조물로서 건축물은 공동주택으로 사용되어진 것으로 내륙지역으로 서울, 해안거리 0.5km 이내인 고흥과 1km 이상 지역의 부산에 위치한 건축물로 하였다. 또한, 토목구조물은 지하터널과 공동구, 그리고 생활하수의 배출을 위한 하수암거로 하였다. 탄산화 깊이의 측정 위치로서 건축물은 Slab, 토목구조물은 내부 옹벽을 대상으로 코어 채취 하고 페놀프탈레인 용액을 분무 하여 적색으로 변색되지 않는 깊이를 측정하였다. 그리고 채취된 시료를 미분쇄하여 증류수에 24시간 동안 침지시킨 후 증류수와 시료를 분리시켜 pH meter를 사용하여 용액의 알칼리농도를 측정하였다.

| 부재 | 구분 | 위 치 | 경과연수 | 마 감 | 용 도 | |
|---------|----|---------|------|---------|------|-------|
| 철근 콘크리트 | 건축 | ①서울 중구 | 60년 | 회반죽 | 판매시설 | |
| | | ②서울 마포 | 35년 | 목조반자틀 | 공동주택 | |
| | | ③부산시 | 60년 | 수성페인트 | 교육시설 | |
| | | ④서울 동대문 | 27년 | 몰탈 | 공동주택 | |
| | | ⑤전남 고흥 | 26년 | 목조반자틀 | 공공시설 | |
| | 토목 | ①경기 과천 | 17년 | 노출 콘크리트 | | 공동구 |
| | | ②부산시 | 20년 | | | 하수암거 |
| | | ③경기 산본 | 10년 | | | 공동구 |
| | | ④부산시 | 18년 | | | 지하 터널 |
| | | ⑤서울 강북 | 17년 | | | |

표 2 실험 계획

| 구분 | 적용부위 | 시험방법 | 시료 채취 | 평가 항목 |
|----|-------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| 인자 | 토목: 내부옹벽 건축: 옥내 Slab | 변색법 알칼리 용출법 | 코어시험체 (Ø50~100) | 탄산화 깊이, 알칼리 농도 |
| 수준 | 2 | 2 | 3 | 2 |

3. 실험결과 및 고찰

3.1 구조물의 열화상태

본 연구에서 대상으로 하는 콘크리트구조물은 사진 1과 같이 건축물의 Slab는 철근발청을 통한 단면결손 부위가 국부적으로 발생하고 있으며, 토목구조물의 하수암거는 철근발청을 통한 콘크리트의 단면결손, 그리고 백화 등으로 인하여 표면이 오염된 것을 확인하였다. 반면 지하터널은 하수암거 보다는 외관상 오염 상태가 크지 않고 전체적인 열화 정도가 작은 것으로 나타났다.

3.2 탄산화 깊이와 알칼리 농도

콘크리트의 탄산화 깊이는 경과연수에 따라 비례하고 유해인자가 존재할 수 있는 환경에 위치할 경우 탄산화 진행속도가 가속화 되는 것으로 나타났다. 건축물에서는 해안까지의 근접거리 1km 이내인 5번 구조물이 55mm 정도의 깊이를 나타내어 비교적 낮은 경과연수에도 불구하고 부산의 내륙에 위치한 3번 구조물보다 탄산화 깊이가 2배 이상 깊은 것을 확인 하였다. 또한, 토목구조물은 사용환경에 따라 경과연수에 비례하는 유사한 깊이를 나타내고 유해물질이 복합적으로 작용할 수 있는 2번 구조물은 유사한 재령을 갖는 1번, 4번 보다 약 7mm 정도 증가된 깊이로 나타났다.

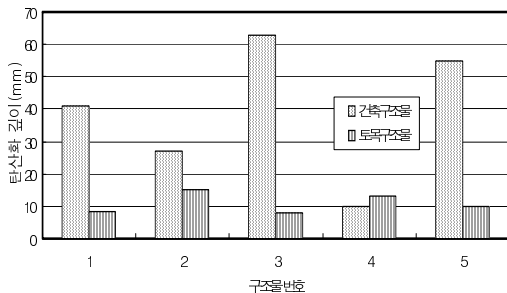
그리고 각각의 구조물에서 채취한 시험체에서 탄산화된 부위를 대상으로 증류수에 침지시킨 후 측정된 알칼리 농도는 탄산화 깊이와 반비례 관계하에서 그림 1-(b)와 같이 상대적으로 탄산화 깊이가 작은 토목구조물이 상대적으로 높은 알칼리 농도를 나타내었다. 그러나, 대부분 콘크리트의 pH가 10 이하의 중성상태임을 확인하였으며, 탄산화 깊이와 마찬가지로 해안에 근접하여 위치한 구조물(건축:3번, 5번)과 하수암거의 용도(토목:2번)로 사용된 콘크리트 pH가 8.9~9.08의 가장 낮은 농도로 나타났다.



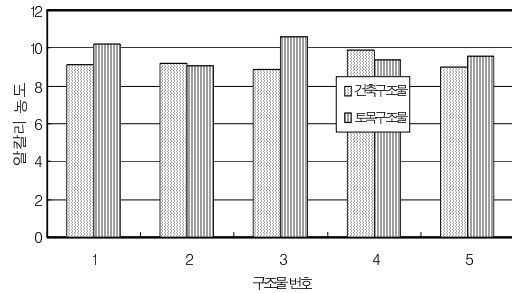
사진 1 콘크리트의 외관 상태

표 3 콘크리트구조물의 탄산화 속도

| 구분 | 구조물 번호 | 피복 (mm) | 탄산화 깊이 | 탄산화 속도계수 | 구분 | 구조물 번호 | 피복 (mm) | 탄산화 깊이 | 탄산화 속도계수 |
|----|--------|---------|--------|----------|----|--------|---------|--------|----------|
| 건축 | ① | 10 | 41 | 5.3 | 토목 | ① | 20 | 8.5 | 2.1 |
| | ② | 15 | 27 | 4.6 | | ② | 10 | 15 | 3.4 |
| | ③ | 15 | 63 | 8.1 | | ③ | 15 | 7.9 | 2.5 |
| | ④ | 20 | 10.1 | 1.9 | | ④ | 30 | 13 | 3.1 |
| | ⑤ | 20 | 55 | 11 | | ⑤ | 40 | 10 | 2.4 |



(a) 탄산화 깊이



(b) 알칼리 농도

그림 1 콘크리트 구조물별 탄산화 깊이와 알칼리 농도

3.3 탄산화 현상에 의한 열화 강도분류

콘크리트구조물의 육안판단 시 또는 시험체를 채취하는 과정에서 확인된 철근의 발청상태와 피복두께를 근거로 탄산화 현상에 기인하는 열화정도를 정리한 결과 표 4와 같이 탄산화 깊이는 토목구조물이 낮은 등급을 나타내고 철근의 발청 상태는 매우 열악한 상태인 III~V 등급을 나타내었다. CO₂의 농도는 옥외 0.03% 옥내 0.1% 정도로서 상대적으로 높은 농도를 갖는 건축물이 탄산화에 있어 취약한 상태이며, 외기에 노출된 토목구조물은 습도 조건이 일정하게 유지되어 기체 확산의 통로가 되는 공극의 충전 효과로 CO₂의 침입으로부터 저항하게 되나, 피복두께 이상으로 진행될 경우 외기의 노출 조건으로 인한 수분과 유해가스 등의 침투로 인하여 철근의 발청이 가속화 된 것으로 판단되었다.

표 4 열화 현상에 의한 강도 분류

| 구조물 | 열화구분 | 피복두께 (mm) | 열화원인에 따른 강도 분류 | | 강도 분류 |
|-----|------|-----------|----------------|-------|--|
| | | | 탄산화 진행 | 철근 발청 | |
| 건축 | ① | 10 | 대 | IV | 탄산화 : 소(피복두께의 0.7배 이상(옥내), 0.5배 이하(옥외)), 중(피복두께의 0.7배 이상, 20mm를 더한 값 미만(옥내), 0.5배 이상, 피복두께 평균값 미만(옥외), 대(피복두께에 20mm를 더한 값 이상(옥내), 피복두께 평균값 이상(옥외)) |
| | ② | 15 | 중 | III | |
| | ③ | 15 | 대 | III | |
| | ④ | 20 | 소 | III | |
| | ⑤ | 20 | 대 | V | |
| 토목 | ① | 20 | 소 | IV | 철근발청 : I(부식이 거의 없음), II(반점 모양의 녹발생), III(표면의 넓은 녹발생), IV(녹발생으로 콘크리트 단면결손), V(철근의 단면 결손 발생) |
| | ② | 10 | 대 | V | |
| | ③ | 15 | 중 | II | |
| | ④ | 30 | 중 | III | |
| | ⑤ | 30 | 중 | III | |

4. 결론

탄산화 현상은 철근부식을 촉진시키는 매개체 역할을 하는 요인으로 작용하며, 생활공간으로서 사용되는 건축물은 반복적인 CO₂의 발생으로 진행속도가 빠르고 외래염화물에 노출되는 조건에서는 경과연수와 상관없이 큰 폭의 탄산화 속도를 갖게 되는 나타났다. 그리고 환경적인 측면에서 공동구와 지하터널은 일정한 공기흐름을 갖고 CO₂의 생산량이 작을 것으로 유추되는바 건축물과 비교하여 탄산화에 의한 피해는 비교적 작을 것으로 나타났으나 유해인자가 복합적으로 작용할 수 있는 하수암거는 피해가 가장 클 것으로 판단되었다. 따라서, 콘크리트구조물의 안정적인 유지관리를 위하여 환경조건을 고려한 콘크리트의 내구성 설계가 반드시 필요할 것으로 판단되었다.

감사의 글

이 연구에 참여한 연구자의 일부는 「2단계 BK21 사업」의 지원비를 받았음.

참고문헌

1. 정상진 외, 장기재령 콘크리트구조물의 탄산화 현상 조사, 한국콘크리트학회 추계학술발표대회, 2003. 10
2. 日本建築學會, 鐵筋コンクリート造 建築物의 耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説, 1997