

살아있는 시멘트·콘크리트

최 상 홀(한양대학교 명예교수·공학박사)

시멘트에 모래·자갈과 물을 가하고 굳힌 것이 콘크리트이다. 이 인공돌인 시멘트·콘크리트가 살아 있다니 얼토당토 않는 말로 들릴 것이다. 텔레비전에서 “그린(Green) 음악”을 듣고 자라는 오이, 호박 등 채소 이야기가 방영된 적이 있는데, 이들 채소가 음악에 따라 그 모양, 크기가 달라지고 더 신선하게 자랐다고 한다. 감정이 없는 것으로 알고 있는 식물이 음악을 감상한다는 이야기다. 가축이 음악을 듣는다는 이야기는 들었지만 식물도 음악을 듣는다는 이야기는 흥미로웠다. 그런데 여기서는 시멘트·콘크리트가 살아 있다니!

그러나 시멘트, 모래, 자갈을 혼합하고 물로 반죽한 이 시멘트·콘크리트가 점차 굳어지고 돌처럼 단단해지는 것을 보면, 또 잘 가꾸지(양생) 않으면 제구실을 못하고 부서져 버리는 것을 보면 시멘트·콘크리트는 생(生)이 있다고 말할 수 있고, 또 낳고 기르는 정성(시공, 양생, 관리)에 따라 건강히 체력을 유지하며 그가 갖는 진가(성능)를 우리에게 제공해 줄을 우리는 경험하였다. 콘크리트는 진정 살아서 자라고 있으며 그 수명을 다할 때까지 우리 인류 문명을 지탱해주고 있다. 이렇듯 살아있는 시멘트·콘크리트를 탄생시키고 또 정성껏 가꾸어(양생) 우량아(우량콘크리트)로 후손에게 물려 주어야 할 것이다.

1. 양 생

막 태어난 시멘트·콘크리트(이하 콘크리트로 호칭한다)가 우량콘크리트로 자라는데는(양생) 아직 굳지 않은 콘크리트 상태일 때의 환경이 중요하다. 콘크리트는 이 시기에 급속히 반응한다. 즉 시멘트가 물과 반응(수화반응)하여 응결·경화하고 강도를 발현하게 되는데(본 연재 3회 참조) 이 과정에서 아직 완전히 굳지 않은 콘크리트는 급격한 온도변화, 과도한 하중이나 외력의 영향을 받지 않도록 보호받아야 한다. 시멘트가 수화할 때 필요한 물은 물/시멘트 비로 약 25~32% 정도이나 콘크리트의 작업성을 고려하여 좀더 가하고 있는데, 좋은 콘크리트를 얻기 위하여는 콘크리트를 비벼서 타설할 때 물의 양을 될수록 적게 사용하는 것이 좋다(콘크리트를 비빌 때 물을 많이 넣을수록 콘크리트의 품질은 떨어진다. 따라서 물량을 줄이기 위하여 각종 감수제가 쓰이고 있다). 이때 타설된 콘크리트에서는 시멘트가 수화하면서 발열(수화열)한다. 또 타설된 콘크리트가 직사광선을 받거나 대기중에 방치되었을 때 외기의 온도가 올라가든가 습도가 낮으면 콘크리트중의 수분이 증발하여 건조되며 콘크리트중의 수분이 줄어들어 수화반응이 저해된다. 따라서 양생시 콘크리트의 건조를 막기 위해서는 충분한 수분을 유

지게 하여 습윤상태에서 양생하여야 한다. 또 양생 초기의 콘크리트 경화체의 급격한 건조는 내부와 외부표면의 함수량 차이로 표면에 균열이 생길수도 있으므로 이 또한 습윤양생이 필요하다. 즉 “반죽하여 타설할 때는 물을 적게 하고 타설후 양생시킬 때는 물을 충분히 먹고 자란 시멘트 · 콘크리트가 잘 자란 (양생된) 콘크리트이다.”

2. 중 성 화

포틀랜드 시멘트를 대기중에 방치하면 공기중의 탄산가스나 수분과 반응하여 풍화(風化) 하며, 경화한 몰탈이나 콘크리트도 대기중에서 서서히 그 표면에서부터 탄산화(炭酸化) 한다. 시멘트는 물과 반응하면 수산화칼슘을 생성하는데, 콘크리트중에서는 이 수산화칼슘이 결정상태로 또 일부는 포화수용액 상태로 존재하며 이렇게 굳은 콘크리트는 강한 알칼리성이다. 콘크리트 구조물이 대기중에 있으면 대기 중의 탄산가스가 서서히 콘크리트 중에 스며들어 콘크리트중의 수산화칼슘과 반응하여 탄산칼슘으로 되며 콘크리트 구조물은 표면으로부터 서서히 탄산화되어 알칼리성을 잃게 되는데 이런 현상을 중성화(中性化)라 한다. 즉 콘크리트는 바람을 쐬면 중성화한다.

철근 콘크리트에서 알칼리성 분위기에 있는 철근은 얇은 산화피막(부동태)이 생겨 녹슬지 않고 안정한 상태에 있었으나, 콘크리트가 중성화되면서 철근이 있는데 까지 이르러 철근주위가 중성화하면 철근 표면의 산화피막이 파괴되고 철근은 녹슬기 시작한다. 즉 콘크리트의 중성화는 철근을 부식시키며 철근 부식에 의한 체적팽창은 주위의 콘크리트에 팽창력으로 작용하여 콘크리트의 균열이나 부분적인 박리현상을 일으키고 콘크리트는 열화한다. 콘크리트의 중성화 속도는 환경조건(탄산가스농도, 온도, 습

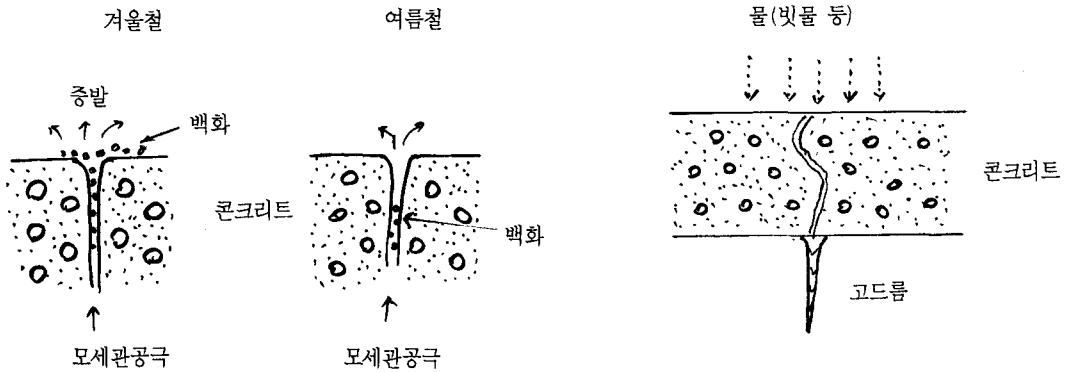
도 등)과 콘크리트 자체의 투기성, 함수율, 물/시멘트 비, 양생상태, 및 시멘트의 종류 등에 따라 다르다. 예를 들면 대기중에 있는 보통 콘크리트의 경우는 60년에 약 2.9cm가 중성화되었다는 보고가 있으며, 실내에서는 건조하기 쉽고 탄산가스의 농도가 높아 실외의 경우보다 중성화속도가 빠르다. 철근 콘크리트 구조물의 중성화를 가능한 한 늦추는 방안으로서는 치밀한 콘크리트로 탄산가스의 침투를 억제하며 콘크리트표면으로부터 철근까지의 거리를 충분히 확보하는 등 시공상의 배려가 요망된다. 최근 들어 대기중의 탄산가스 농도의 증가경향, 산성비 등도 콘크리트의 중성화를 촉진시키는데 한 요인이 될 것으로 보인다.

3. 백화현상 · 콘크리트 고드름

콘크리트 표면에 하얀 가루가 생기는 현상이 있는데 이것을 백화(efflorescence) 현상이라 한다. 이것은 경화한 콘크리트 내부에 물이 스며들어 시멘트 중의 가용성분이 수분과 함께 콘크리트의 표면으로 이동하여 석출한 것으로 흰 가루꽃이 핀듯하게 보인다. 백화의 성분은 발생장소와 시기와 시멘트재료 등에 따라 다르나 보통 탄산칼슘, 탄산알칼리 및 황산알칼리 등인데 이들 성분이 물에 녹아 모세관을 타고 수분의 증발과 함께 표면으로 나와 건조한 것이 백화로, 용해도가 낮은 탄산칼슘은 한번 석출하면 좀처럼 제거하기 힘들다.

일반적으로 백화현상은 겨울철에 생기기 쉬우며 여름철에는 증발이 빨라 가용성분이 표면까지 나오기 전에 모세관공간에서 석출한다(<그림-1>).

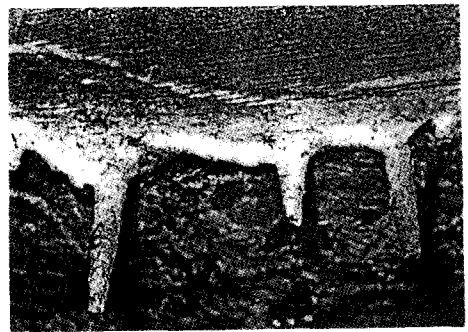
백화현상과 같이 콘크리트중에 탄산칼륨이 용출하여 고드름이 생기는 수도 있다. 콘크리트의 균열에 빗물(특히 산성비)이 스며들어가면 빗물이 시멘트중의 칼륨화물을 용해하여 아래쪽으로 흘러내리고 공



〈그림-1〉 백화현상

기중에서 탄산가스와 반응하여 탄산칼슘의 고드름을 만드는데, 이것은 마치 중유동굴의 중유고드름과 같은 현상으로 오랜 시일에 걸쳐서 생성된다(〈그림-2〉).

백화현상이나 고드름 모두 물이 시멘트 수화물을 용출해서 생긴 것으로 그 물리·화학적반응이 콘크리트를 서서히 열화시키는데 그 방지책으로는 실리카분이 많은 미분말의 혼합재를 혼합한다든가 균열이 없는 치밀한 콘크리트를 만들면 예방이 가능하다.



〈그림-2〉 콘크리트 고드름의 생성

4. 염 해

콘크리트 구조물에 들어 있는 철근이 염화물 이온의 영향으로 녹슬고 그 녹의 팽창력으로 콘크리트에 균열이나 콘크리트 조각이 떨어져 나가는 현상이 염해(鹽害)이다. 콘크리트의 염해를 일으키게 하는 염화물 이온은 주로 바다모래를 그대로 사용할 때와 바닷가의 콘크리트 구조물에 바닷물이나 소금기 있는 바다바람이 불어 구조물 표면에 달라붙는 염분에서 오는 것으로(바다바람의 영향은 해안으로부터 약 1.5km까지 나타난다) 이것이 내부에 스며 들어가서 철근에까지 이르면 염해현상이 일어난다.

이때 염소이온은 콘크리트 속에서 철근의 보호 피막을 파괴하여 전기화학적 반응으로 철근을 녹슬게 하며 이때의 체적팽창으로 콘크리트에 균열을 생기게 하고 이 균열을 통하여 수분, 염분, 산소 등의 공급은 더욱 쉬워져 부식은 가속되며 콘크리트의 균열 크기·양은 더 많아져 콘크리트의 열화를 가속시킨다. 따라서 바다모래를 그대로 쓴 콘크리트나 해변가의 콘크리트 구조물은 염해에 의하여 서서히 열화한다. 〈그림-3〉은 염해로 철근 주위의 콘크리트가 떨어져 나가 철근이 노출된 모습이다.

염해 대책으로는 먼저 재료중의 염분을 없애는 것으로 바다모래를 쓸 때는 물로 씻어서 염분을 없애고 사용하여야 하며, 바닷가 구조물의 경우 콘크리트 표면을 도장한다든가 치밀한 콘크리트로 만들어 염분이 콘크리트 내부로 스며들지 못하도록 하고 또



〈그림-3〉 염해로 콘크리트 일부가 떨어져나가 철근이 노출돼 있다.

철근표면을 방청처리 하는 것이 좋다.

짠 것을 많이 섭취하는 사람은 성인병에 걸리기 쉽다고 하나 어느 정도의 염분은 사람에게서 필요한 것이다. 그러나 철근 콘크리트에서의 염분은 백해무익이다.

5. 콘크리트의 수명

콘크리트는 살아 있다. 어떻게 시공하고 기르는가

에 따라 좋은 콘크리트도 되며 병에도 걸려 수명이 짧아지기도 한다.

그러면 그 수명은 얼마나 될까? 콘크리트 구조물의 수명은 외력에 의한 피로, 기상조건이나 대기에 의한 중성화, 염해 외에도 동결·융해작용, 알칼리 골재 작용 등의 요인으로 그 내구성이 저해받기도 한다. 콘크리트의 수명은 내구성 이외의 측면에서도 생각할 수 있다. 즉,

- 1) 더 이상 경제적이 아니므로 해체하는 경우
- 2) 기능면에서 새로운 시대적 욕구에 적용하지 못해 해체하는 경우
- 3) 도시계획 및 재개발 등 사회적 요구로 해체하는 경우
- 4) 천재나 화재 등으로 해체되는 경우

등도 콘크리트 수명을 단축시킬 수 있다. 이 지구상에는 100년이 넘는 콘크리트 구조물도 많이 존재하고 있다(포틀랜드 시멘트의 탄생이 1824년이고 그 발달과정을 고려할 때 100년이 지난 지금도 존재하고 있다는 것은 반영구적이다). 콘크리트 구조물은 규정재료를 사용하고 시공·양생을 규정대로 하면, 즉 우량아로 탄생시키고 기르면 반영구적이라 할 수 있으며 인간의 노력 여하에 따라 그 수명은 결정된다. 좋은 그리고 환경과 어울려서 살아가는 콘크리트 구조물을 가꾸어 오래오래 노화하지 않고 그 생을 보람있게 마칠 수 있도록 도와 주자. 