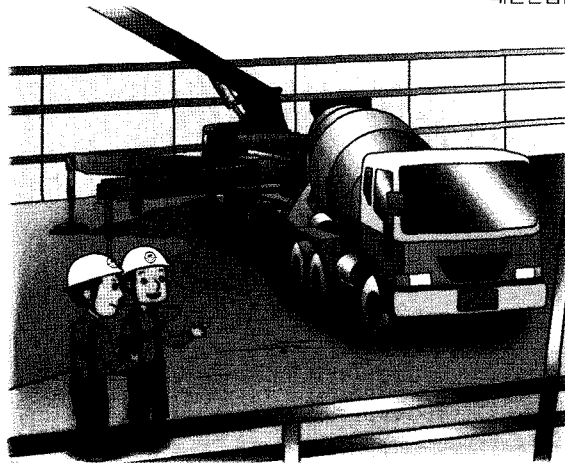


# 콘크리트의 균열 및 방지대책

대한산업안전협회 건설안전본부 손 상 태



## 1. 서론

콘크리트 구조물에 발생한 균열(龜裂)은 구조물의 내력, 내구성, 방수성 및 미관 등에 악영향을 미치기 때문에 균열은 콘크리트 구조물의 시공, 유지관리 뿐만 아니라 건설안전의 측면에서 가장 중요한 문제 중 하나이다.

콘크리트 균열은 콘크리트 타설 후부터 응결이 종료할 때까지 발생하는 초기균열과 경화 후에 발생하는 균열로 분류할 수 있다.

초기균열은 콘크리트 내에서의 불균등한 침하, 콘크리트 표면에서의 급격한 수분손실, 콘크리트 표면의 경화가 진행되는 동안 내부 콘크리트의 침하가 동시에 이루어짐에 의한 균열, 거푸집 변형에 따른 균열 및 진동, 재하에 의한 균열 등으로 나눌 수 있다.

콘크리트가 경화된 후에 발생하는 균열의 종류는 건조수축에 의한 균열, 알칼리골재반응, 이상물질의 혼입, 철근의 녹 등의 화학반응에 의하여 일어나는 균열, 열응력 등 콘크리트 내외의 온도차에 의하여 생기는 균열, 구조물의 형상, 배근상의 응력집중에 기인하는 균열, 하중과다 또는 과격한 기계진동에 의한 균열, 지진 충격 등의 우발사고에 의한 균열 등으로 구분할 수 있다.

콘크리트 구조물에 일단 균열이 발생하면, 그것이 구조물의 안전도와 사용성에 미치는 영향을 분석하여야 한다. 이를 위해서는 우선 그 균열의 정확한 원인을 규명하고, 그에 따라 적절한 대책을 강구하는 것이 바람직하다.

균열의 원인은 복잡하며 단지 하나의 원인에 의한 것이 아닌 때가 많기 때문에 균열을 한눈에 보고서 그 원인을 정확히 아는 것은 곤란한 경우가 많다.

균열폭의 허용치는 내구성 면에서 본 경우와 방수성 면에서 본 경우에 서로 다르며 일반적으로 후자의 경우가 보다 엄격하다. 내구성으로 본 허용균열폭은 주로 철근의 녹 발생조건에 관점에서 본 환경조건에 따라 다르며 보수를 필요로 하지 않는 폭으로서 0.1~0.3mm 정도를 한계값으로 하고 있다. 0.4~1.0mm 이상이 되면 보수가 필요하다.

방수성 면에서의 허용균열폭은 보수를 필요로 하지 않는 한도로서 슬래브에서 0.05mm 이하, 외벽에서 0.15mm 정도이다. 0.2mm 이상에서는 보수를 필요로 한다.

아울러 콘크리트에 발생하는 균열을 굳지 않은 콘크리트와 경화된 콘크리트로 나누어 그 원인 및 대책을 검토해 보기로 한다.

## 2. 초기 균열

### 가. 침하에 의한 균열

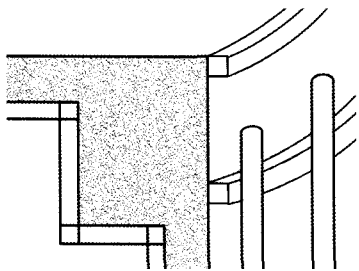
침하균열의 원인으로서는, 콘크리트 타설 직후 비중이 큰 콘크리트 입자가 아래쪽으로 이동하고 물과 갇힌 공기는 부상하게 되는데 이때 콘크리트 중의 철근이나 굵은골재에 의해 자유로운 침하가 방해되어 발생하는 균열 그리고 기초의 침하, 거푸집의 팽창 또는 이동에 의해 균열이 발생하는 경우를 생각할 수 있다.

침하에 의한 균열은 콘크리트 치기 후 1~3시간 정도에서 보의 상단부 또는 슬래브면 등에서 철근의 위치에 따라 발생하고 균열의 깊이는 보통 철근의 위치까지 이른다. 슬래브 전면에 걸쳐서 발생하는 경우도 있는데 이러한 균열은 폭이 크고 길이가 짧으며 발생위치와 발생방향에 규칙성이 없다. 침하균열은 철근 직경이 클수록, 슬럼프가 클수록, 콘크리트 덮개가 작을수록 증가하며, 충분한 다짐을 못한 경우나 튼튼하지 못한 거푸집을 사용했을 경우에 더욱 증가된다. 따라서 침하균열을 방지하기 위한 대책으로서는 지나치게 묽은 반죽의 콘크리트는 피하는 것이 좋으며, 충분한 다짐, 기둥과 슬래브 및 보의 콘크리트 타설 사이의 충분한 시간 간격 등에 의하여 침하균열을 감소시킬 수 있다. 또한 1회의 타설높이를 작게 하고 불균등한 침하를 줄이기 위하여 동일한 반죽질기로 치는 것이 바람직하다. 기층이 기층이 콘크리트의 수분을 흡수하지 않도록 미리 물을 뿌려 습한 상태를 유지하는 등의 주의도 필요하다.

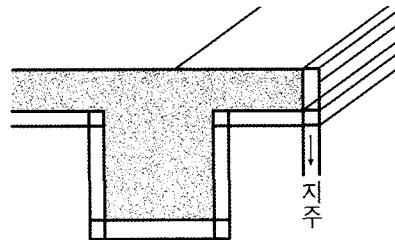
침하균열이 발생하였을 때 침하 종료단계에서 다시 표면마무리를 하여 균열을 제거하는 것도 효과적인 방법이다.

#### 나. 거푸집 변화에 의한 균열

콘크리트가 점차로 유동성을 잃고 굳어져 가는 시점에서 거푸집 긴결 철물의 부족, 동바리의 부적절한 설치에 의한 부등침하 및 콘크리트의 측압에 따른 거푸집의 변형 등에 의해 발생하며, 콘크리트의 소성변형 저항능력 보다 외력에 의한 변형이 크게 되면 균열을 일으킨다.



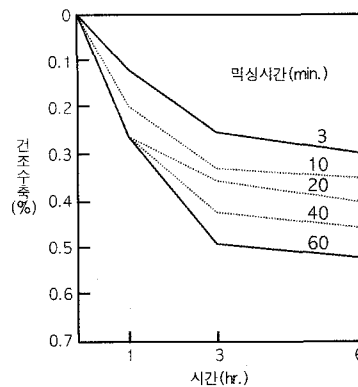
〈거푸집 변형에 따른 균열〉



〈동바리의 침하에 따른 균열〉

#### 다. 기타 원인에 의한 초기 균열

레미콘의 균열발생 빈도가 현장혼합 콘크리트와 비교하여 크다고 하는 이야기가 있다. 콘크리트의 혼합시간과 초기균열과의 관계를 시험한 결과인 아래의 그림에서도 어느 정도 이 사실을 뒷받침해 주고 있다.



〈혼합시간과 초기수축도의 관계〉

이 그림을 보면 혼합시간이 길 경우 초기수축도가 크게 되는 경향이 있어서 레미콘 운반시간의 단축은 초기수축균열의 방지에 도움이 될 것으로 생각된다.

초기에 발생하는 균열은 앞에서 열거한 원인 이외에도 시멘트의 이상응결, 이상팽창에 의한 경우와 콘크리트의 표면마무리를 부적당하게 실시함에 의한 망상균열(craze crack) 등이 있다.

시멘트의 이상응결에 의한 균열은 방향성이 없고 폭이 크며 길이가 짧은 것이 특징이며, 혼합 후 30분~1시간 정도에서 발생되므로 재다짐 등을 실시함으로써 어느 정도 방지할 수 있다. 그리고 성분상으로 불안정한 시멘트는 경화의 초기단계에 이상팽창을 일으켜 짧고 불규칙한 균열이

방사선 방향으로 나타난다.

한편 망상균열의 일차적인 원인은 부적당한 표면마무리에 의해 생긴다. 그래서 콘크리트의 표면마무리 작업이 지나치면 오히려 유해하므로 표면마무리 작업은 적절한 범위에서 빨리 끝내는 것이 바람직하다.

콘크리트 타설을 완료할 즈음에 근처에서 말뚝을 박거나 기계류 등의 진동이 원인이 되어 균열이 발생하는 경우도 있다. 초기재령에서 재하하게 되면 지보공의 변형, 침하 등에 따라서 균열을 일으키는 경우가 있기 때문에 주의해야 한다.

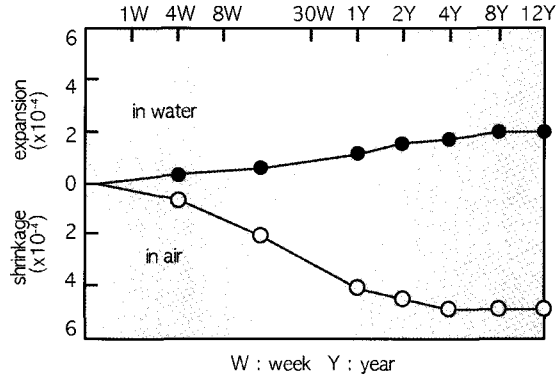
### 3. 경화 후의 균열

#### 가. 건조수축에 의한 균열

건조수축으로 인한 균열은 현장에서 실제 구조물에 발생하는 활률이 가장 많으며, 구조물의 성능을 저하시킨다.

콘크리트의 구조물은 기초나 다른 구조요소 또는 콘크리트내의 보강철근 등에 의해 구속을 받게 된다. 이러한 수축작용의 구속은 인장응력을 유발시키며, 이 인장응력이 콘크리트의 인장강도에 도달할 때 콘크리트에는 균열이 발생한다. 또한 콘크리트 슬래브 등 부재의 단면 내에서도 표면은 건조수축이 크고 내부는 그 수축량이 작으므로 표면의 건조수축을 구속하게 된다. 따라서 표면에 인장응력이 유발되어 표면균열 발생의 요인이 된다. 표면에 생기는 이러한 균열은 초기에는 콘크리트 내부로는 관입되지 않으나, 계속적인 건조현상이 진행됨에 따라 콘크리트부재 내부로 깊숙이 전파될 수 있다.

경화한 콘크리트는 건조하면 그림 5과 같이 0.05% 정도 수축하며 단위수량이 큰 콘크리트는 더 많이 수축한다.



〈장기재령에서의 콘크리트의 길이 변화〉

콘크리트의 건조수축에 의한 균열은 콘크리트 치기 후 2, 3개월 정도에서부터 조건에 따라서는 상당한 기간에 걸쳐 계속 진행된다. 균열의 폭은 0.05~0.5mm 정도가 많지만 경우에 따라서는 1~3mm에 달하는 것도 있다.

콘크리트의 건조수축은 시멘트의 종류, 골재, 배합, 혼화제, 양생 조건 등에 따라 달라지며 시멘트의 영향으로서 일반적으로 시멘트의 분말도가 크게 되면 수축이 증대되는 경향이 있다.

한편 Gonnerman에 의하면 시멘트를 구성하는 제 광물의 양을 알면 시멘트의 수축량은 다음 식에 의해 구할 수 있다고 한다.

$$\text{시멘트의 수축량} = 0.25 \text{ C3S} + 0.16 \text{ C2S} + 1.03 \text{ C3A} + 0.28 \text{ C4AF}$$

콘크리트의 수축에 영향을 미치는 요인 중에서 단위수량과 단위시멘트량은 매우 중요하데 이 두 요인 중에서는 단위수량의 영향이 보다 크며 건조수축률과의 관계는 다음의 실용적인 식으로 표현할 수 있다.

$$S = pC + qW$$

여기서 S : 콘크리트의 건조수축률 ( $\times 10^{-4}$ )

C : 단위시멘트량 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

W : 단위수량 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

혼화제의 영향으로서 AE제를 사용하여 콘크리트중의 공기량을 증가시키면 수축량은 증가하지만 실제로 공기량의 증가에 따라 단위수량을 감소시킬 수 있기 때문에 AE콘크리트의 수축량은 AE제를 사용하지 않은 콘크리트와 거의 차이가 없다.

감수제는 그 분산효과에 의해 단위수량을 감소시킬 수 있기 때문에 수축도 적을 것으로 생각되나 성분에 따라 콘크리트의 수축량이 증가되는 것도 있기 때문에 충분한 검토가 필요하다.

또한 응결축진제에 속하는 염화칼슘을 사용하면 수축량이 증가하며 많은 양을 사용할 경우에는 이를 사용하지 않은 콘크리트보다 몇 배로 수축량이 크게 될 위험성이 있다.

한편 건조수축으로 인한 균열은 수축조인트를 적절히 배치하고 철근을 적절히 배치함으로써 제어할 수 있으며, 건조수축을 보상할 수 있는 시멘트의 사용에 의해 건조수축을 제어할 수도 있다.

#### 나. 열응력에 의한 균열

시멘트의 수화는 발열을 수반하는 화학반응이기 때문에 콘크리트는 경화과정에서 온도상승을 일으킨다. 온도상승은 강도발현을 비롯해서 콘크리트의 제 성질에 영향을 미치며 또한 균열발생의 원인이 된다. 온도상승에 의한 균열을 온도균열이라고 하며 온도 강하시에 발생하는 수축이 구속되어 발생하는 인장응력, 단면내의 온도차에 의한 인장응력 등이 원인이 되어 생기는 것이며 온도상승 외에 구속의 정도에 큰 영향을 받는다.

매스콘크리트로 다루어야 하는 구조물의 부재치수는 일반적인 표준으로서 넓이가 넓은 슬래브에서는 두께 80cm 이상, 하단이 구속된 벽에서는 두께 50cm 이상이다.

#### 4. 하중에 의한 균열

허용응력설계법에 의하여 낮은 철근응력으로 설계된 종래의 구조물에서는 휨균열이 문제되지 않았다. 그러나 근래에 와서 고강도 철근을 사용하는 경향이 늘어나고, 또 설계법이 정밀해짐에 따라 균열이 문제로 등장하고 있다. 3000kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 항복강도를 가지는 철근을 사용할 경우, 휨부재의 인장측 콘크리트에 일어나는 균열에 대하여 과거보다는 신중하게 대처할 필요가 있다. 이러한 균열은 외관상 좋지 않을 뿐 아니라, 폭이 큰 균열은 철근을 부식시켜 구조물의 내구성을 저하시킨다. 그러므로 구조물의 내구성을 위해서는 폭이 큰 몇 개의 균열보다는 많은 수의 미세한

균열이 바람직하다.

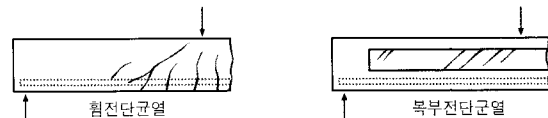
하중에 의해 일어나는 균열에는 휨균열, 휨전단균열, 전단균열, 비틀림 균열, 부착균열 및 집중하중으로 인한 균열 등이 있다.

잘 설계된 보에서 휨균열은 육안으로 볼 수 없는 실균열이며 사용하중 하에서 최대균열폭은 0.25mm 정도이다. 하중이 균열하중을 넘어 점차로 증가하면 균열의 수와 폭이 증가한다. 이렇게 발전된 균열은 중립축 쪽으로 진행된다. 전단으로 인한 균열은 경사진 형태를 나타낸다. 이 전단균열은 중립축의 높이 만큼 위쪽으로 진행되며, 때로는 압축구역으로 발전한다. 비틀림에 의한 균열도 전단의 경우와 비슷하며, 부착균열은 할렬(split)을 유발한다.

집중하중은 때로 할렬균열(splitting crack) 또는 파열균열(bursting crack)을 일으키는 수가 있다. 이러한 균열은 특히 포스트텐션 방식의 PC보의 정착부 근처에서 종종 볼 수 있다.



(a) 휨 균열



(b) 전단 균열

〈휨균열과 전단균열〉

#### 5. 균열의 평가

균열로 손상된 건물에 대하여서는 보수에 앞서 균열의 위치와 크기, 발생원인 등을 조사하여 구조 안전성에 관련된 평가를 하며, 건물에 생긴 균열이 구조체의 강도, 강성 및 내구성을 현저하게 저해하는 경우에는 보수 방안을 강구하여야 한다.

#### 6. 결론

재료와 공법의 대동소이한 차이는 있겠으나 앞으로는 콘크리트가 시공 분야의 주재료로 남을 것임에는 이견의 여지가 없을 것이다. 그만큼 콘크리트는 매력적인 건설재료이다. 이에 비례해 Safety Engineer로서 동 재료와 구조물의 특성을 정확히 파악할 때 현장안전관리의 폭은 훨씬 다양화되고, 깊어질 것이라 믿어 의심치 않는다. ☺