

콘크리트 구조물의 균열발생원인과 조사평가

서 치 호

(건국대학교 건축공학과 교수 · 공학박사)

1. 머리말

콘크리트 구조물에 발생하는 균열에 대하여는 오래전 부터 많은 연구자, 기술자들에 의해 연구되어 많은 성과를 거두었으나 본질적으로 해결이 되지 않고 있는 부분 또한 적지 않다.

콘크리트는 일반적으로 압축강도가 크나, 인장강도가 낮기 때문에 시공 도중과 시공 후에 일어나는 체적변화와 구속조건 및 외력의 작용 등에 기인하여 균열이 발생되기 쉽다.

콘크리트의 균열은 여러가지 원인에 의하여 콘크리트의 경화를 전후로 나타나는데 균열이 표면에서 관측되어질 때면 이미 콘크리트 내부조직에는 미세 균열로 인하여 조직이 상당히 손상되어 있다고 볼 수 있다. 이러한 균열을 그대로 방치할 경우 균열을 통하여 이물질이 침투하여 균열이 점차 커지게 되어 콘크리트의 내구성에 큰 문제를 일으키게 된다. 또한 미세한 균열은 즉시 구조물의 내력을 손상시키지 않으나, 과대한 균열은 내력이나 내구성에 영향을 미치게 되므로 이에 대한 조치가 필요하며, 콘크리트 구조물이 어떤 원인에 의해 변형되었을 경우 이는 거의 균열발생을 수

반하게 되므로, 일반적으로 균열발견에 의해 구조물의 변형을 알게되는 경우가 많다.

그러므로, 콘크리트 구조물에 대해서는 균열의 발견에 유의하고 균열이 발생한 경우에는 효율적인 균열보수를 위하여 균열의 원인을 규명하기 위한 균열조사가 선행되어야 한다.

따라서 본 고에서는 균열의 발생원인과 균열형상의 특징에 대하여 알아보고 이들의 조사와 평가, 그리고 균열에 대한 조치방법에 대하여 기술하고자 한다.

2. 균열의 원인과 형상

균열의 조사결과에서 균열의 발생원인을 추정하고, 필요에 따라서는 그 원인을 밝혀 구조물의 종류나 상황에 따라서 보수 등의 조치를 강구해야 한다.

콘크리트의 균열은 경화 전에 발생한 것과 경화 후에 발생한 것으로 구별되나, 일반적으로 여러가지 원인이 중복되어 발생하는 것으로 추정되며, 발생기구가 복잡하여 원인의 규명이 곤란한 경우가 많다. 따라서 균열상태나 특징상 가능성이 있는 몇가지 원인을 고찰하여 측정결과나 자료를 바탕으로 검토하고, 고

려되는 원인의 범위를 좁히면서 추정하는 방법을 취하는 것이 좋다.

2-1. 균열의 원인

1) 경화전의 균열

콘크리트 타설에서 응결이 시작하기까지 약 2~3시간 정도 사이에 발생하는 것이며, 배합, 시공방법, 장소 및 기상조건 등에 관련되는 것이다.

① 초기 건조 균열

콘크리트의 응결이 시작한 상태에서, 콘크리트 표면에서 급격한 건조가 발생했을 경우 표면이 수축하여 발생한 균열의 방향성은 불규칙하며, 균열의 폭도 작은 형태로 나타난다.

② 침하 균열

콘크리트 타설직후, 재료 비중의 차이에 따라서 블리딩이 생기고, 비중이 큰 재료는 블리딩에 상당하는 침하를 일으킨다.

철근, 골재, 거푸집 등에 따라 부분적으로 침하가 되면 콘크리트의 윗면에 균열이 생긴다.

③ 경화열에 의한 균열

시멘트가 수화하고 경화할 때에 수화열이 발생하기 때문에 콘크리트의 내부 온도가 상승 팽창하지만, 경화의 진행에 따라 차츰 냉각되어 수축균열이 생긴다. 미리 타설한 콘크리트에 접하여 새로운 콘크리트를 타설할 경우 등에서는 새로운 콘크리트가 경화열에 따라 팽창한 것이 수축할 때, 그 수축이 미리 타설한 콘크리트에 의해서 구속되어 타설이음 부분에 균열이 생긴다.

④ 서포오트, 거푸집의 침하, 진동 및 충격 등에 의한 균열

콘크리트의 경화 과정에서 서포오트나 거푸집이 침하하거나 진동이나 충격을 받은 경우에 발생한다. 일반적으로 이 균열은 폭이 커서 구조물의 내력이나 내구성에 문제를 남기는 수가 많다.

⑤ 사용재료에 의한 균열

콘크리트 재료 중 체적변화를 일으키는 것이 있을 경우 예컨대 알카리 골재 반응을 일으키는 골재를 사용한 경우나 팽창제를 과도하게 사용한 경우 등에 균열이 생긴다.

2) 경화 후의 균열

① 건조수축, 온도 변화, 건조 습윤의 반복 등에 의한 균열

구조물 등 부재의 자유신축이 구속되어 있는 경우는 건조수축이나 온도 강하에 따라 균열을 일으킨다. 또 부재내부의 철근에 따라 건조시의 자유신축이 구속을 받아 철근에는 압축력, 콘크리트에는 인장력이 생겨 균열을 일으킨다. 콘크리트는 습윤, 건조에 따라서도 팽창 수축되지만 반복작용에 의해 균열이 발생한다.

② 동결, 용해에 의한 균열

동결 작용에 의해서 얇은 모상의 균열이 발생하지만 동결 용해의 반복에 따라 균열이 진행하고 표면이 박리된다. W/C가 큰 콘크리트, 다짐이 불충분한 부분, 응력이 큰 부분, 물에 닿는 부분 등에는 작용이 크다.

③ 구조적 균열

철근 콘크리트에서는 인장력의 콘크리트는 인장한계 변형을 초월하면 균열이 생긴다. 과대한 재하하중·기초의 침하·근접 구조물의 시공에 의한 외력 등 설계하중 이외의 외력작용을 받으면 비교적 큰 균열이 생긴다. PC 구조물에서도 시공불량, 정착불량 등에 따라 균열이 생긴다.

④ 콘크리트의 중성화, 철근의 부식에 의한 균열

콘크리트는 공기중의 탄산가스의 작용에 의해 중성화된다. 균열부분에서는 내부에 대한 진행이 크다. 콘크리트가 중성화된 부위의 철근은 발청하고, 환경조건이 나쁜 경우에는 부식이 신속히 진행된다. 철근은 부식에 따라 체적이 팽창되고, 콘크리트는 철근에 따라 균열이 발생하게 되며, 또한 구조물이 전식을 받은 경우는 더욱 심하다.

2-2. 균열 형상의 특징

구조물의 균열의 원인은 많으나, 균열발생 위치 및 그 형상 등의 특징을 조사하므로써 그 원인을 추정할 수 있다.

1) 침하 균열

슬래브 윗면에 규칙적인 간격으로 발생하고 있는 다수의 균열은 침하균열의 형태이며, 그 간격은 슬래브 윗면의 철근 간격에 일치한다.

2) 건조 수축 균열

구조물의 보에 비교적 규칙적인 간격으로 생기며, 그 형상은 균열의 중앙부에서 폭이 넓고, 상하 끝부에서는 좁아진다. 하단부는 보 밑면까지 이르지 않는 경우도 있다. 균열의 간격은 스티럽의 간격에 일치하는 수가 많다. 균열폭은 보통 0.1~0.3mm 정도이다. 또한 단면이 얇은 부분에서 발생되기 쉽다.

3) 경화열에 의한 균열

미리 타설하여 경화된 콘크리트에 새로운 콘크리트를 타설한 경우와 슬래브를 먼저 타설하고 경화 후 보의 콘크리트를 타설했을 경우, 그 타설이 다음에 균열이 발생할 경우가 있다.

4) 응력에 의한 균열

① 휨모멘트에 의한 균열

보 중앙부 등 휨모멘트가 큰 부분의 인장부위에 발생한다. 처음은 비교적 규칙적인 간격으로 생기지만, 응력이 증대하면 그 사이에 2차적인 균열이 발생한다. 일반적으로 최초의 균열은 스티럽의 위치에 발생하는 수가 많다.

② 전단력에 의한 균열

전단력에 수반하여 생기는 경우 지점부근 긴방향에 대하여 45°방향의 경사형 균열이 생긴다.

③ 비틀림에 의한 균열

지점의 경사 등에서 보에 비틀림이 작용하는 경우는 같은 방향에 비스듬한 균열이 발생

한다.

5) 철근의 부식

보 등의 길이 방향의 철근에 따라 생기는 균열은 철근의 부식에 의한 것으로, 철근이 부식되면 체적이 팽창되기 때문에 균열이 발생한다.

피복 두께가 작고 콘크리트의 중성화나 전식에 따라서 철근이 부식된 경우 등에 생긴다.

3. 균열조사

균열의 조사를 하는 목적은 구조물의 안전성을 검토하기 위한 것이 보통이므로 균열조사는 균열의 상황과약 뿐아니라 원인규명, 보수의 필요성을 검토하는데 필수적으로 수행되어야 한다.

3-1. 균열의 조사 사항

콘크리트의 균열은 여러가지 원인이 복합되어 발생하는 경우가 많다. 따라서 구조물의 전반적인 균열발생 상태를 조사하여 종합적인 판정을 할 필요가 있다.

1) 균열의 발생상태

- ① 균열의 발생위치, 구역
- ② 균열의 형상
- ③ 균열의 폭, 길이, 깊이
- ④ 균열의 진행도
- ⑤ 균열의 상태 및 누수의 유무 등
- ⑥ 균열의 발생시기, 기록이나 발견자로 부터 청취

2) 구조물의 상태

- ① 구조물의 형상치수, 단면치수, 배근상태
- ② 하중의 조건 및 그 이력, 지반 및 기초 상태, 환경조건과 그 변화
- ③ 구조물의 변위, 변형상태, 침하, 기울어짐 등의 상태

- ④ 콘크리트의 박리, 침식상태 등
- ⑤ 철근 및 PC강재의 노출, 방청부식상태 등

3) 시공상태

- ① 사용 콘크리트 및 강재의 품질
- ② 콘크리트의 시공방법, 시공순서, 배근상태, 철근이음, 긴장방법, 시공시기, 양생방법 등
- ③ 거푸집 및 서포오트의 종류, 탈형시기, 탈형방법 등

3-2. 균열의 측정방법

1) 균열 분포도 작성

구조물에 발생하는 균열에 대해서 그 위치, 방향, 폭, 길이, 깊이 등을 도면화 한다. 도면은 구조물에 따라서 평면도, 입면도, 단면도, 전개도 등 기입에 편리한 도면을 쓴다. 복잡한 균열, 수많은 미세한 균열이나 특징적인 균열의 경우에는 사진촬영을 행하는 것이 좋다.

① 구조물에 방안눈금을 기입

균열발생 위치, 방향, 길이 등을 정확히 하기 위해서 구조물의 표면에 균열상태에 따라 적당한 치수로 방안의 눈금을 기입한다.

② 균열의 표시

미세한 균열의 경우에는 균열에서 약간 떨어져서 균열에 따라 매직잉크나 분필 등으로 선을 긋고, 이것을 명시하면 측정에 편리하다. 균열 끝부분에는 마크를 붙여서 측정일일을 기입해 둔다. 이것은 그후의 균열진행을 알기 위해서 편리하다.

③ 균열 분포도의 작성

균열 기입도면에 균열을 정확히 기입하며 필요에 따라서는 사진을 첨부해두는 것이 좋다.

2) 균열폭의 측정

균열폭의 1개의 균열전장에 대해서 균열폭의 변화를 육안으로 관찰하고 측정위치를 선정한다. 측정위치는 최대균열 부분의 바깥과 균열길이 및 균열폭의 변화에 따라서 적당히

선정하지만, 일반적으로는 2, 3점 정도로 한다. 측정위치에 반드시 표시를 해둔다. 이것은 그 후의 균열폭 변화를 동일한 부분에서 숫자는 균열폭을 표시 측정하기 위함이다.

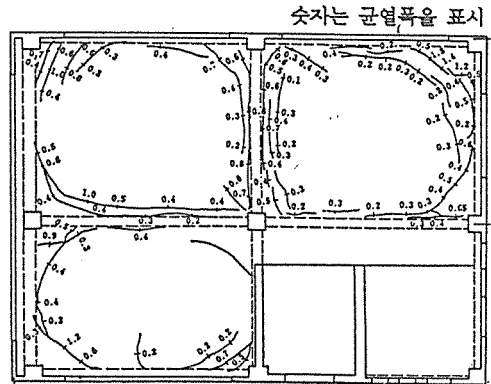


그림 3-1. 균열 분포도

균열폭의 측정은 눈금이 부착된 균열 측정기나 크랙스케일을 사용한다. 보통 측정에는 7~10배, 1/10mm눈금의 것으로 충분하다. 크랙스케일은 투명셀룰로이드에 여러가지 굵은선이 기입되어 있어 균열에 대고 균열폭을 균열 방향에 대해서 직각 방향으로 측정한다. 응력의 작용방향에 대한 균열폭을 필요로 하는 경우는 균열 분포도에서 균열방향과 응력방향이 이루는 각도를 구해서 그 너비를 보정한다.

새로운 균열은 테두리가 직각에 가까우나 낡은 균열은 테두리가 없고, 나비가 크게 보이는 수가 있으므로 측정시에 주의하여야 한다. 측정된 균열은 균열 분포도에 기입한다. 이 경우 측정부분도 그림에 기입해 둔다.

3) 균열길이 및 방향측정

균열의 길이 및 방향은 직접 균열상에서 측정해도 좋으나, 작성된 균열 분포도상에서 스케일 분도기를 사용해서 구하는 편이 용이하다.

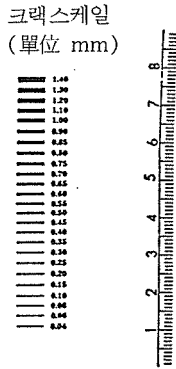


그림 3-2. 크랙스케일

4) 균열의 깊이의 측정

균열깊이를 알 수 있는 방법으로는 균열부분에 붉은 잉크 등의 색소를 다소 압력을 가해 주입하여 두고 이것이 건조한 때에 콘크리트를 파서 깊이를 확인하는 방법이 있고, 균열부분의 콘크리트 코어를 채취하여 확인하는 방법으로써 정확한 폭을 구하기 위하여는 미리 착색한 예폭시 수지를 주입, 경화한 후에 행하는 방법이 있는데, 이 두가지 방법은 콘크리트 구조물을 손상시켜서 확인하는데 비하여 초음파에 의한 방법은 비파괴적이라는 것이 특징이다. 초음파에 의한 균열깊이 측정방법은 균열을 사이에 두고 그 양쪽에 초음파 발진자와 수신자를 두고 초음파를 전달하는데 소요하는 시간 ΔT 를 측정한다. 이때 발, 수신자 사이의 거리를 L, 콘크리트의 초음파 전달속도를 V, 균열깊이를 D라 하면 아래와 같이 표시된다.

$$D = \frac{1}{2} \sqrt{(V \cdot \Delta T)^2 - L^2}$$

이 측정에서의 L은 여러가지로 변화시켜서 이에 대응하는 D를 구하고 평균치를 취하여 균열의 깊이를 측정하게 된다. 다만 이 방법의 결점은 초음파장치가 고가이고, 균열속에 물이 있을 때나 균열폭이 0.2mm이하일 때 또

는 초음파 진행방향에 철근이 배치되어 있을 때에는 균열의 측정이 정확하지 않다.

5) 균열진행의 측정

균열은 발견된 시점에서 그것이 진행성의 것인가, 아닌가를 확인해야 한다. 이것은 균열 발생이나 구조물 변형의 원인 규명, 균열의 상황판정이나 처리방법의 검토에 중요한 요소가 되는 것이다.

그 측정방법은 균열폭의 증대를 콘택트 게이지 또는 스트레인 게이지에 의해 연속적으로 측정하는 방법이 있으나, 다음과 같은 간편법에 따라서 측정된다.

① 균열중점을 기록하는 방법

균열의 중점에 표시를 하고, 그것을 지나서 균열이 성장되는가 여부를 본다.

② 테이퍼가 달린 핀을 균열에 끼우는 방법

테이퍼가 달린 핀을 균열의 적당한 부분에 튼튼하게 끼워두고 유동되는가의 여부를 본다.

③ 시멘트 페이스트를 칠하는 방법

균열상에 반죽한 시멘트 페이스트를 직경 5cm정도의 원형으로 바르고, 그 위에 균열이 생기는가의 여부를 본다. 균열의 진행상태의 측정간격은 균열의 진행도나 구조물의 중요도에 따라서 다르나, 초기에는 밀실하고 1~2주간 정도의 간격으로 측정을 하여 진행도가 느린 경우에는 차츰 간격을 연장해가지만, 측정기간은 반년 이상으로 한다. 균열이 진행되지 않는 경우에도 계절에 따라서 건조, 온도변화 등에 따라 균열폭이나 길이가 변화되므로 측정은 가급적 장기간 실시하는 것이 좋다.

균열의 진행이 급속한 경우에는 이미 발생된 균열과 균열사이에 새로운 균열발생의 유무도 조사한다.

6) 균열의 개폐측정

정하중의 증가 등에 대한 균열의 개폐는 측정기에 의하여 측정한다. 동하중의 경우 개폐의 주기가 큰 경우는 측정기에 의한 측정도 가능하지만, 주기가 작은 경우는 균열을 넓혀

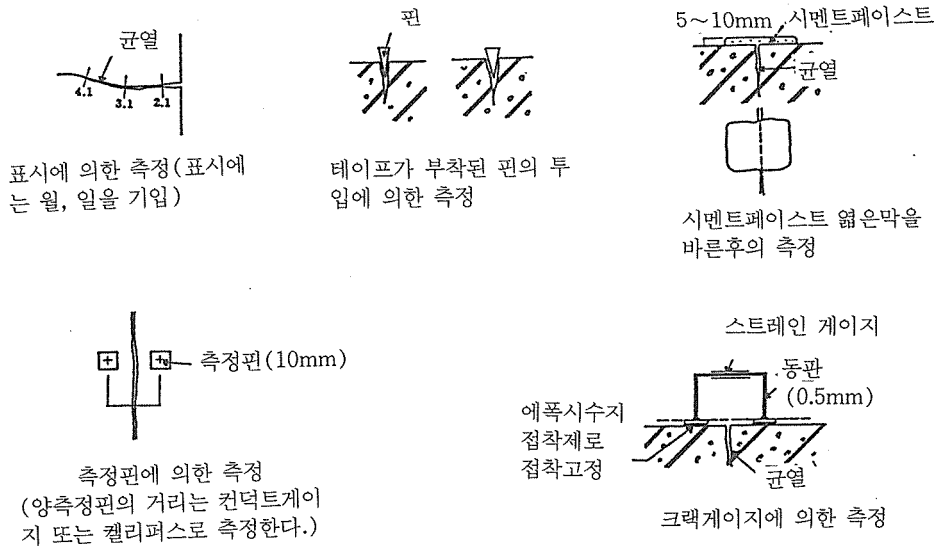


그림 3-3. 균열진행상태의 조사

서 직접 스트레인 게이지에 의해 전기적 측정을 한다.

7) 균열에서의 누수조사

콘크리트의 내부에는 모세관 공극이 존재하여, 여기에 물이 침투된다. 이것이 부재에 생기는 균열에 접촉되어, 균열에서의 누수가 생긴다. 또 콘크리트의 시공불량 부분에서 누수가 생기는 경우도 있다. 콘크리트에 투수되면 콘크리트 성분의 수산화칼슘의 용출로 인한 강도저하나 강재의 부식, 동해 등이 일어나서 구조물의 내력에 영향을 미치므로 균열에서의 누수의 유무검사는 중요하다.

검사시기는 강우 후 등 누수가 많은 시기가 좋다. 동절기는 온도저하에 따라서 콘크리트가 수축되어 균열폭이 벌어지기 때문에 하절기보다도 누수량이 많은 경우가 있다. 균열부분이 건조되어 있을 때에도 탄산석회가 용출된 것이 침착되어 회색 착색되던가 용출분이 고드름 모양으로 늘어서 있는 부분은 누수가 되는 곳이다.

4. 균열에 대한 조치

4-1. 과대한 균열의 경우

강한 지진이나 설계시 고려되지 않은 과대한 외력의 작용, 시공상의 원인 등에 따라 과대한 균열이 생기는 경우에는 부재의 내력에 대해서 충분히 조사하지 않으면 안된다. 이와 같은 경우는 구조물의 변위, 변형이 수반하는 것이 통상이므로 이에 대해서도 조사하고, 구조물의 성능이 유지되는가 여부를 검토해서 조치를 강구한다.

4-2. 균열이 진행되는 경우

균열이 진행되는 경우는 조급히 그 원인을 제거하는 것이 중요하다. 균열의 진행은 사용재료의 성질에 기인되는 수도 있으나, 구조상의 원인에 의한 경우가 많다. 균열의 진행이 크고, 변위변형이 생기는 경우는 그 내력이 가장 문제가 된다. 또한 휨균열이 중립축을 넘어서 진행되는 경우나 전단균열의 진행이



인정되는 경우는 주의가 필요하다.

4-3. 균열이 진행되지 않는 경우

일반적으로 시공시에 기인되는 균열은 불진행성이다. 그러나 온도변화나 건습 등에 따라 균열이 다소 유동을 나타내는 경우도 있다.

콘크리트의 균열은 투기, 투수에 의한 콘크리트 성분의 유출에 의한 열화, 동해 등 내구성에 영향을 준다. 이 경우 균열폭이 가장 문제가 되지만, 철근 콘크리트 구조물의 내구성은 일반적으로 철근의 부식 조건에 따라서 허용 균열폭을 정하게 된다. 그러나 균열폭과 철근부식의 관계는 환경조건에 따라서 다르므로 상황에 따라서 판단되어야 할 것이다.

5. 맺음말

이상 본고에서는 콘크리트 구조물에 있어 내구수명이나 구조적 안정성에 영향을 미치는 요인 중 구조물 유지관리 및 보수를 하는데 항상 조사분석해야 할 가장 중요한 결함요인인 콘크리트의 균열에 대하여 살펴 보았다.

사실 콘크리트는 골재와 시멘트로 이루어진 복합의 비균질성 재료이기 때문에 그 역학적 거동이나 특성이 매우 다양하고 복잡하게 나타나므로 콘크리트의 균열을 정확히 추정하는 것은 간단하지 않다.

따라서 균열에 대한 대책은 무엇보다도 사전예방대책이 가장 중요하며, 이것은 콘크리트의 재료, 시공 및 설계시 충분히 고려되어야 한다.

콘크리트 구조물에 발생한 균열은 그 원인을 종합적으로 조사·분석하여 상태를 평가하

고 그에 따른 적절한 보수대책을 수립해야 하며, 균열에 대한 근본적인 해결을 위하여 균열에 저항성이 강한 새로운 재료를 연구개발함과 동시에 균열에 대한 지속적인 연구로써 콘크리트의 균열을 좀더 효과적으로 제어할 수 있는 방안이 강구될 수 있을 것으로 사료된다.

□ 참고문헌

1. 김영환, 이세경, 김호철, “초음파도달시간에 의한 콘크리트의 수직균열의 깊이 측정에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제2권 1호, 1990. 5, pp. 35~38.
2. 오병환, “콘크리트 구조물에 발생하는 균열의 원인과 평가 및 보수”, 한국레미콘공업협회, 레미콘, 통권 제19호, 1989. 3, pp. 37~44.
3. 정일영, “균열발생으로 인한 구조물의 내력저하에 관한 검토(Ⅱ)”, 한국레미콘공업협회, 레미콘, 통권 제16호, 1988. 6, pp. 4~5.
4. 日本建築學會, “鐵筋コンクリート造のひびわれ對策(設計・施工)指針案・同解説, 社團法人 日本建築學會, 昭和53年.
5. 日本建築業協會, “コンクリートのひびわれ防止對策”, 社團法人 日本建築業協會, 昭和57年 5月.
6. 森光作, “建物のひび割れ補修”, 理工圖書, 昭和58年 6月.