

균열... 결함인가 정상인가?

Cracking... Defect or Normal?



김재요^{1)*}

Kim, Jae Yo

이번 호에 실린 해외번역기사는 ACI(American Concrete Institute) Concrete International지의 금년 11월호에 게재되었던 기사(Cracking... Defect or Normal? - When is concrete cracking a construction defect?)를 재구성하여 정리하였다. 이 기사는 기술적인 내용을 다루기보다는 콘크리트에서 불가피하게 발생할 수 있는 균열에 대하여 시공자나 콘크리트 공급자의 면책 사항을 제시하고 있다. 저자인 Jeffrey W. Coleman은 토목구조를 전공한 엔지니어 출신의 변호사로서 건설 관련 엔지니어링 분야를 전문으로 하는 법률사무소를 운영하고 있다. 콘크리트 시공의 법률적 문제가 전문 분야이며, 이와 관련된 ACI의 여러 위원회에 참여하고 있다.

서문

설계 및 시공 과정의 참여자들, 특히 시공자들은 발생한 콘크리트 균열을 결함으로 판단해야 하는지, 콘크리트의 일반적인 거동 범위 안에 있는 것으로 판단해야 하는지의 문제에 자주 접하게 된다. 이는 다음과 같은 이유들로 인해 판단하기 매우 어려운 문제이다: 첫째, 매우 다양한 콘크리트의 작용들이 균열을 발생시키는 원인이 된다. 둘째, 사용 용도에 따라 균열 발생 정도의 적합성이 결정될 수 있다. 셋째, 계약 및 품질보증 조건 등이 콘크리트 균열에 대한 판정에 영향을 미친다. 마지막으로, 계약자 또는 사용자의 기대도에 따라 분쟁 발생 가능성이 달라진다.

콘크리트 균열에 대한 판정 문제를 한 번에 해결할 수 있는 묘책은 없으나, 이 기사는 이 문제에 대한 영향 변수들을 살펴 보고, 콘크리트 균열로 인한 분쟁을 피할 수 있는 몇 가지 제안을 제시하고자 한다.

1) 광운대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

* E-mail : kimjyo@kw.ac.kr

콘크리트 균열 발생 이유

콘크리트 균열은 수축, 외부 효과, 내부 팽창 등에 의해 발생한다. 수축 균열은 소성수축 또는 건조수축에 의해 발생할 수 있으며, 외부 효과는 온도응력, 부등침하, 부등변위, 동결이나 융해 등의 형태로 작용할 수 있다. 내부 팽창은 철근의 부식이나 알칼리 실리카 반응과 같이 콘크리트 구성 성분들간의 화학반응에 의해 발생할 수 있다. 균열 발생의 근본적인 원인은 1) 설계 및 상세 오류, 2) 시공 중 과하중, 배합 또는 마감에서의 배합수 과다, 부적절한 양생 등의 시공 오류, 3) 사용 중 과하중의 작용이라 할 수 있다. 이렇게 다양하게 발생하는 균열을 규명하기 위해서는 균열 발생의 근본 원인을 찾는 작업부터 시작하여야 할 것이다.

콘크리트 구조물의 용도에 따라 균열의 적합성 여부가 결정된다. 예를 들면, 수족관 벽에 물이 썰 수 있는 틈을 만들어 내는 균열이라면 부적합으로 판정되어야 한다. 반면, 같은 균열이 보나 슬래브, SOG에 발생하였으나 구조성능이나 내구성에 영향을 미치지 않는다면 허용 가능한 것으로 판정된다.

프로젝트 참여자들간의 계약에 의해 균열의 허용가능한 수준이 정의될 수 있다. 그러나, 발생 균열이 계약 범위 내의 수준인지에 대한 의견 대립이 발생할 수 있으며, 대부분의 경우 기준을 참고할 수 있다.

이러한 복잡한 문제에 대하여, 건축가, 엔지니어, 발주자, 도급자, 하도급자, 재료공급자, 건축주들은 모두 다른 정도의 성능을 기대하고 있을 것이며, 결함으로 판정되어야 하는 균열의 정도에 대한 이해도 모두 다를 것이다.

콘크리트 균열에 대한 견해

ACI의 전 회장인 Bryant Mather가 종종 “콘크리트는 인조 퇴적암”이라고 말했듯이, 암석이 자연상태에서 균열하는 것과 같이 콘크리트도 균열이 발생한다.

Ed Abdun-Nur는 1983년 Concrete International 기사에서 이렇게 언급하였다: “10년 혹은 그 이상된 어떠한 콘크리트가 균열 혹은 미세균열로부터 자유로울 수 있는가? 콘크리트와 관련된 일을 해 온 65년간 균열로부터 자유로운 콘크리트를 본적이 없다. 균열은 콘크리트의 일반적인 성질이다.” 그는 콘크리트 균열을 주제로 하여 많은 책들과 논문들을 출간하였다. “많은 금액을 균열을 바로 잡는데 쏟아 부었지만, 콘크리트의 균열은 계속 발생한다. 연구자들은 균열을 해결하기 위해 노력을 멈추지 않을 것이다.”

균열에 대한 학회의 관점

콘크리트 균열을 이해하고 제어하기 위한 많은 노력들이 있어 왔다. ACI에서 발행된 도서들에서 “cracking”을 검색하면 135개의 도서가 검색되며, 일부 도서에는 균열 제어를 위한 제언도 제시되어 있다.

ACI 224.1R-07의 서문에는 다음과 같이 기술되어 있다: “콘크리트의 균열에는 많은 발생 원인이 있다. 균열이 단순히 외형적인 영향만 줄 수도 있고, 혹은 심각한 구조적 손상이나 내구성 결함을 의미할 수도 있다. 균열은 그 자체로 손상의 정도를 나타내는 것일 수도 있고, 보다 큰 문제의 발생 징후를 나타내는 것일 수도 있다. 균열의 중요성은 그 자체의 특성 뿐만 아니라 구조체의 유형에 따라 달라진다. 예를 들면 일반적인 건축물에 허용 가능한 정도의 균열이 방수 구조체에서는 허용되지 않을 수 있다.” 2장 “Evaluation

of Cracking”에는 다음과 같은 내용이 제시되어 있다: “균열로 인해 구조물의 강도, 강성, 혹은 내구성이 허용 불가 수준으로 저하되거나 구조물의 기능에 심각한 손상이 발생한다면 균열에 대한 보수가 필요하다.”

ACI 302.1R-04의 11장 “Causes of Floor and Slab Surface Imperfections”에는 다음과 같은 문구가 있다: “어느 정도의 변형과 균열은 모든 프로젝트에서 발생할 수 있다.” 또한, 11.2 절에는 “시공자들이 반드시 모든 균열에 책임을 질 필요는 없다. 슬래브 설계적 요소와 콘크리트 혼합 비율에 의해 시공 중 콘크리트 균열이 발생할 수 있다.”라고 기술되어 있다.

매스콘크리트의 경우에는 특별한 고려가 필요하다. ACI 116R에서 매스콘크리트는 “시멘트 수화열의 발생과 이에 따른 부피의 변화에 의한 균열의 검토가 요구될 정도의 크기를 가진 콘크리트 부재”라고 정의된다. 따라서, 매스콘크리트는 수화열에 의한 큰 온도 증가와 그에 따른 부피의 변화 때문에 엄격한 주의가 요구된다.

ACI 207.2R-07의 1.3절에는 다음과 같이 기술되어 있다: “균열 제어에 대한 판단은 균열이 제어되지 않았을 때의 경제적 영향과 심각성에 크게 좌우된다. 균열의 크기와 간격이 강도나 안정성, 사용성, 기능, 형상에 위해가 될 경우 부적절하다. 모든 구조체에서 최소한의 폭으로 제어되어야 하는데, 이에 대한 경제성도 고려되어야 한다.”

ACI 360R-10에서도 초록에서 균열과 균열 최소화에 관하여 기술하고 있다: “균열 및 변형 최소화 등에 대한 슬래브 설계법들의 장단점이 제시된다. 최상의 슬래브 설계법과 적절한 시공이 적용되었더라도 균열과 변형이 발생하지 않을 수는 없다. 설계자와 시공자는 발주자에게 모든 프로젝트에서 어느 정도의 균열과 변형이 발생하는 것이 정상임을 알려야 한다. 균열 발생

만으로 슬래브 설계의 적절성이나 시공 품질을 반드시 부정적으로 평가할 수는 없다.”

균열의 발생

콘크리트의 균열이 언제 발생하는지 이해하기 위해서는 먼저 콘크리트 구조 설계의 원칙을 이해하여야 한다. 일반적으로 콘크리트는 인장보다 압축에 10배 더 강하다. 중력 하중을 받는 단 순보에서, 상단면과 하단면은 각각 압축과 인장을 받는다. 상단면의 압괴가 발생하기 전에 하단면에 균열이 발생하므로, 인장력을 지지하기 위해 콘크리트에 철근을 배근한다. 철근이 전체 힘을 지지하기 전에 콘크리트의 균열이 발생한다. 따라서 힘을 받는 콘크리트 보, 기둥, 또는 벽체에서 균열이 발생할 수 밖에 없고, 이는 지극히 정상이다.

균열의 발생을 당연한 현상으로 취급하더라도, 허용가능한 균열 폭을 정확히 정의하기는 어렵다. 예를 들면, ACI 224R-01의 표 4.2의 제목은 사용하중 상태에서의 철근콘크리트의 “합리적인” 균열 폭을 제시하는 것으로 표현하고 있다. 그러나, 표의 주석에는 다음과 같이 기술되어 있다: “구조체에 발생하는 일부 균열은 이 값들을 초과할 것이며, 이 값들을 초과하는 많은 균열들이 발생할 수도 있다. 이 값들은 엔지니어의 적절한 판단과 함께 사용되어야 하는 설계에 대한 일반적인 가이드라인이다.”

균열에 대한 협회의 의견

ASCC(American Society of Concrete Contractors)는 균열을 주제로 하는 의견서들을 출간했었다. Position Statement No.29 “Cracks in Slabs on Ground”에서는 ACI 302.1R의 일부를 인용했는데, 앞서 기술된 ACI 360R-10의 내용과

매우 유사한 내용이다,

“최상의 슬래브 설계법과 적절한 시공이 적용되었더라도 균열과 변형이 발생하지 않을 수는 없다. 따라서, 설계자와 시공자는 발주자에게 모든 프로젝트에서 어느 정도의 균열과 변형이 발생하는 것이 정상임을 알려야 한다. 그러한 균열의 발생으로 인해 슬래브 설계의 적절성이나 시공 품질을 반드시 부정적으로 평가할 수는 없다.”

ASCC Position Statement No.29은 균열 보수를 권장하며, 균열 보수가 균열을 감추는 것이 아니라 실제로는 더욱 두드러지게 할 것이라는 사실과 균열이 발생한 바닥 패널을 제거하거나 교체하는 것은 경제적 낭비를 유발하며 지속가능성의 정신에도 반하는 것이라고 강조한다.

ASCC Position Statement No.5 “Specifications for Crack Repair”는 균열 보수에 대한 지침을 제시하며, 시공자가 균열 보수 비용을 산정하면서 직면하는 실제적인 어려움을 강조하고 있다. 균열 보수에 대한 단위 비용을 고려하는 것이 보다 공정한 해결책이다. 물론 이는 균열이 주어진 설계나 콘크리트 배합, 타설, 마감, 양생 조건을 근거로 한 “정상적이고 예측되었던” 범위 안에 있다는 가정을 기반으로 한다.

ASCC Position Statement No.33 “Cracks in Structural Concrete”은 발생 가능한 균열의 인지에 대한 지침을 제공한다 : “ASCC 콘크리트 시공자들은 진행 프로젝트에서의 균열 발생 예측을 논의하기 위해 설계팀, 시공 관리자, 주 시공자와 만날 것이다. 콘크리트 시공자들은 계약 문서에 따라 구조체가 시공되었다도 균열이 발생할 것이라는 것을 모든 참여자들이 인지하기를 원한다.”

균열에 대한 건축주와의 관계

콘크리트의 균열은 잘 알려져 있으며 반드시

발생하므로, 설계와 시공 과정에서 건축주와 사용자를 이해시키는 것이 강조되어야 하는 분야의 좋은 예가 된다. 콘크리트 시공에 대한 계약에 면책조항을 포함시키는 것이 이를 위한 하나의 방법이 될 수 있다.

“모든 콘크리트 작업에서 어느 정도의 경미한 균열은 발생하며, 사실 철근의 효과적인 작용을 위해 콘크리트 구조물의 균열이 필요하다. 시공자, 재료공급자, 설계자, 하도급자들은 콘크리트가 구성하고 있는 구조체의 강도와 사용성에 영향을 미치지 않는 경미한 균열에 책임이 없다.”

SOG의 예를 들면, 고지사항에 다음과 같이 기술할 수 있다: “모든 SOG 작업에서 경미한 균열이 발생할 수 있다. 시공자, 재료공급자, 설계자, 하도급자들은 콘크리트 슬래브에서 발생하는 경미한 균열 또는 지반 정지나 침하로 발생하는 균열에 책임이 없다.” 시공자가 지방 정지 작업에 대한 책임이 있는 경우에는 다음과 같은 면책 조항을 둘 수 있다: “모든 SOG에는 경미한 콘크리트 균열이 발생할 것이다. 시공자/하도급자는 경미한 균열에 책임을 지지 않는다. 인치를 초과하는 균열폭이나 인치를 초과하는 균열 단차가 발생하는 경우, 시공자는 콘크리트 작업 혹은 균열 발생 부분의 보수나 교체를 선택할 수 있다.”

콘크리트 공급자 보증서에는 적절한 면책조항을 포함함으로써, 부적합한 줄눈 설치, 부적합한 타설, 부적합한 마감, 부적합한 양생, 구조적인 과하중, 부적합한 지반 정지 작업 등에 의해 발생하는 균열 등에 대한 책임을 면할 수 있다.

참고문헌

1. Abdun-Nur, E. A., “Cracking of Concrete - Who Cares?”, Concrete International, Vol. 5, No. 7, 1983, pp.27-30.
2. ACI Committee 116, “Cement and Concrete Terminology (ACI 116R-00) (Reapproved 2005)”, American Concrete Institute, Farmington Hills,

- MI, 2000, p.73.
3. ACI Committee 207, "Report on Thermal and Volume Change Effects on Cracking of Mass Concrete (ACI 207.2R-07)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2007, p.28.
 4. ACI Committee 224, "Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures (ACI 224.1R-07)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2007, p.22.
 5. ACI Committee 224, "Control of Cracking of Concrete Structures (ACI 224R-01) (Reapproved 2008)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2001, p.46.
 6. ACI Committee 302, "Guide for Concrete Floor and Slab Construction (ACI 302.1R-04)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2004, p.76.
 7. ACI Committee 360, "Guide to Design of Slabs-on-Ground (ACI 360R-10)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, p.72.

담당 편집위원: 김재요
(광운대 건축공학과 부교수)
kimjyo@kw.ac.kr