

특 집

콘크리트의 균열

철근 콘크리트 구조체의 균열평가

Evaluation of Cracks in R / C Structures



김 상 식*

1. 머리말

모든 철근콘크리트 구조체는 균열을 가지고 있다. 실제로 콘크리트의 철근보강은 균열의 발생을 전제로 하는 경우가 대부분이다. 예를 들어, 철근 콘크리트 보의 스테럽은 전단력에 의한 사인장(斜引張) 균열이 발생해야만 전단보강 기능을 하게 된다.

균열은 이 특집의 앞에서 이미 소개된 바와 같이 여러가지 원인에 의하여 발생한다. 경화된 콘크리트가 과중한 힘을 받아 고유의 저항력 부족으로 발생하는 경우도 있으나, 외력이 작용하기 이전에 가소상태의 경화 중인 콘크리트에서 외부 환경에 대응하여 생기는 콘크리트 구성재료의 내부 응력에 의해서도 발생한다. 어떤 균열은 눈으로 식별할 수 있을 정도로 크고 구조물의 기능이나 미관에 해를 주는 것도 있고, 어떤 균열은 특별한 장치가 아니면 탐지할 수 없을 정도로 미세하고 무해한 것도 있다.

철근콘크리트 구조체에서 균열은 매우 주의 깊

게 다루어야 할 대상임에는 이론의 여지가 없으나, 모든 균열이 구조체에 유해한 것만은 아니다. 어떤 경우에는 균열의 발생으로 인하여 모멘트의 재분배가 생기고 응력집중이 완화되어 철근 보강이 제 구실을 하는 긍정적인 면도 있다.

철근콘크리트 구조체에 생긴 균열에 대하여서는 그 균열이 구조내력, 기능, 외관 등에 끼치는 영향에 대하여 합리적인 평가가 선행된 뒤에 보수 대책이 강구되어야 한다. 균열이 철근콘크리트 구조물의 강도, 기능 또는 외관 등에 끼치는 영향을 고려하여 크게

- (1) 구조 내력(耐力)의 부족에 의한 균열
- (2) 철근의 부식에 관련된 균열
- (3) 구조체의 기능에 영향을 주는 균열
- (4) 구조체의 외관에 영향을 주는 균열

등의 네가지로 나눠 생각할 수 있으며, 이에 대하여 구조물의 표면에 나타나는 균열의 형태와 크기를 중심으로 고찰하여 보기로 한다.

2. 구조 내력의 부족으로 인한 균열

구조체가 가지고 있는 고유 저항력의 부족으로

* 정회원, 인하대학교 건축공학과 교수, 공학박사

생기는 균열은 구조체의 안전에 심각한 우려를 주는 것이므로, 이에 대한 적절한 평가와 함께 시급한 보수 대책이 세워져야 한다. 구조내력의 부족으로 발생하는 균열의 형태는 크게 압축균열, 휨인장균열 및 전단균열로 나뉜다.

압축균열의 형태는 원주 공시체의 압축시험(그림 1)에서 보는 바와 같이 균열의 방향이 하중의 작용방향과 일치한다. 보통 콘크리트의 1축 압축시험에서 압축응력이 압축강도 f'_c 의 50 퍼센트에 이르기까지 균열은 굵은 골재와 시멘트 매트릭스의 면 사이에 전단-부착 균열(shear-bond crack)이라는 안정된 형태로 존재하며 부재표면으로 파급되지 않는다. 그러나 $0.5f'_c$ 이상의 응력에서는 균열 끝부분의 응력 집중으로 부착균열이 매트릭스 내부로 진전되면서 다른 균열들과 연결하게 된다. 부재의 압축응력이 $0.8f'_c$ 이상 되면 내부 에너지가 균열로 방출되는 에너지보다 커지므로 균열 파급율이 커지고 부재는 비탄성 팽창(inelastic dilatancy)을 일으키며, 부재 표면에 압축균열이 압축력 작용방향인 재축(材軸)방향으로 생기게 된다. 따라서 압축재의 표면에 균열이 발생하였다는 것은 부재가 지지하기 어려운 압축응력으로 인하여 매우 불안정한 상태에 있는 것을 나타내는 것으로서, 띠철근 기둥에서는 매우 위험한 상태에 있다고 암시한다.

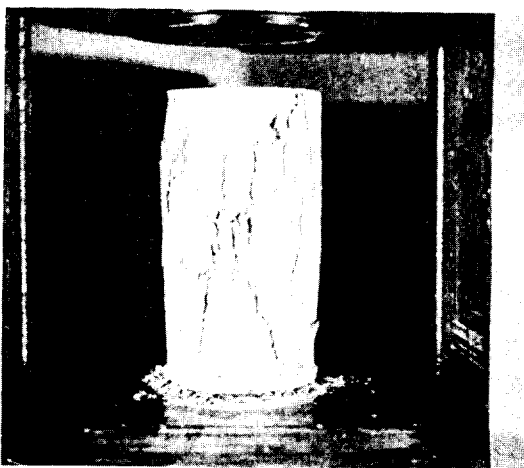


그림 1 압축 균열을 일으킨 시험체

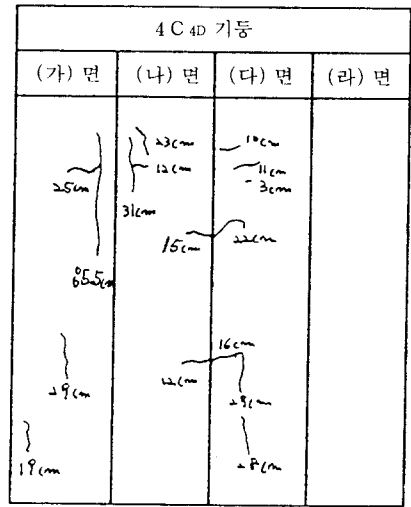


그림 2 과도한 하중으로 압축균열이 생긴 기둥의 4면 전개도

그림 2는 1991년 학회에서 구조안전도 조사를 한 어느 건물의 기둥에 생긴 압축균열을 실측하여 나타낸 것이다. 이러한 균열은 건물의 무리한 증축으로 기둥에 과도한 압축력이 작용하여 생긴 것들이며, 이 정도의 균열이 발생하였을 때에는 기둥의 압축응력이 $0.8f'_c$ 가까이 돼 있어 기둥은 구조적으로 매우 위험한 상태에 있다.

압축균열의 방향이 압축응력의 작용과 일치하고 있는데 반하여, 인장균열은 인장응력에 직각되는 방향으로 발생한다. 인장응력이 작용하면 이미 부재내에는 있는 빈 틈이나 미세한 균열에 응력집중을 일으키는데 인장력 작용 방향의 직각 방향으로 응력의 크기가 가장 크기 때문에 균열은 인장력 또는 인장응력에 직각 방향으로 진전하게 된다. 예를 들어 그림 3과 같은 단순보에서 보 중앙부분의 휨인장균열은 보의 축(軸)방향에 수직하게 발생하고 보 단부 부근의 전단균열은 경사방향으로 발생하는 것은 그림 3(b)의 실선으로 표시된 인장응력 궤적(軌跡)에 직각방향으로 균열이 발생하는 것으로 생각하면 쉽게 이해할 수 있다.

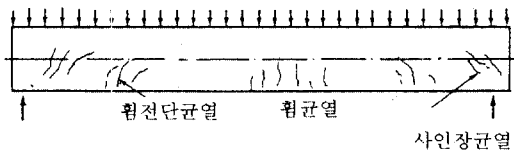
휨인장균열은 휨재인 보나 슬래브에 발생하며, 균열 폭은 인장철근의 응력, 피복두께 및 철근 간격에 영향을 받는다. 균열 폭의 계산에 실용적으로 많이 쓰이는 식은 거글리-루쯔(Gergely-Lutz)가 제안하여 ACI 224에 채택된 식으로, 최대 휨균

열 폭은 다음과 같이 계산된다.

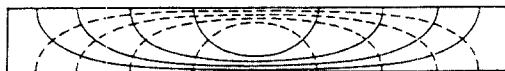
$$w = 10.8\beta f_c^3 \sqrt{d_c A} \times 10^{-6} \text{ (mm)} \quad (1)$$

이 식에서 β 는 중립축에서 인장철근 중심(重心)까지의 거리에 대한 중립축에서 인장축 외단까지의 거리의 비로, 보통 1.2의 값을 가지며, f_c 는 인장철근의 응력도(kg/cm^2), d_c 는 철근 중심에서 인장축 외단까지의 거리(cm), A 는 중심을 인장철근으로 한 콘크리트의 인장축 단면적을 철근 개수로 나눈 값이다.

휨인장균열이나 전단균열은 압축균열에 비하여 위험도가 작으나, 균열의 진행에 대하여서는 주의 깊은 관찰이 필요하다. 일반적으로 휨균열 폭이 0.2mm 이상 되는 경우에는 휨 보강을 하는 것이 바람직하며, 균열 폭이 0.2mm 미만이고 진행성이 아닌 경우에는 보강을 하지 않아도 된다. 전단균열이 발생시에는 부재의 전단강성이 저하되어 취성과 파괴되기 쉬우므로, 장기 설계하중이 작용하는 상태에서 전단균열은 생기지 않도록 하여야 한다. 지진 등 단기하중에 의하여 전단균열이 생겼을 때에는 균열 폭이 커지지 않도록 전단 보강되어야 한다. 전단균열에 대한 계산식이나 허용 폭에 대한 규정은 제시되어 있지 않다.



(a) 단순보의 균열



(b) 주응력 제적

그림 3 단순보의 균열과 주응력

3. 철근의 부식에 관련된 균열

부식으로 인한 균열의 발생과 진전에 대하여서

는 많은 연구가 진행되어 왔으나, 균열에 의한 철근 부식에 대하여서는 거의 연구되어 있지 않으며, 균열 폭과 철근 부식 간의 관계식도 설정되어 있지 않다. 균열의 폭이 크면 철근에 부식성 물질의 접근이 쉬워지기 때문에 구조물을 둘러싸고 있는 물질의 부식성에 따라 허용 균열폭이 정하여져야 된다고 가정되어 왔으나, 휨균열을 가진 다수의 철근콘크리트 보의 부식 실험에서 철근의 부식과 균열 폭 사이에 뚜렷한 관계가 있다는 증거를 찾아내지 못하였다. 또한 콘크리트 표면의 균열 폭과 철근 표면의 균열 폭이 크게 다르고, 철근과 균열의 방향은 휨재의 경우 서로 교차하므로, 철근의 부식에 관련하여 허용 최대 균열 폭을 정하는 것은 어려운 일이다. 그러나 현실적으로 콘크리트 표면의 균열폭을 제한하는 것 외에는 더 합리적인 방법이 없기 때문에 외국에서는 허용 최대 균열 폭을 표 1과 같이 규정하고 있다.

휨균열이 철근의 부식에 크게 영향을 끼치지 않는 것과는 달리, 철근의 부식에 의하여 생기는 균열은 구조 성능하의 한 징후이기 때문에 그 폭이 아무리 작더라도 주의 깊게 조사하여 보완 대책을 준비하여야 한다. 철근의 부식에 의한 균열은 부식된 철물의 체적 팽창에 의하여 생기기 때문에 피복두께가 얇은 면으로 철근 따라 발생하며, 일단 이러한 균열이 생기면 철근에 대한 외부 부식성 물질의 접촉 면적을 넓혀 주고 이에 따라 철근

표 1 외국규준에 규정된 허용 최대 균열 폭

나라	규준	조건	균열 폭(mm)
미국	ACI 318	옥외	0.33
		옥내	0.41
영국	CP-110	일반 환경 침식성 환경	0.30 피복두께의 4%이하
프랑스	Brocard		0.4
유럽	CEB	상당한 침식 작용을 받는 구조물	0.1
		방호시설이 없는 보통 구조물	0.2
		방호시설이 있는 보통 구조물	0.3
일본	일본건축학회		0.3

의 부식이 더 촉진되어 더 많은 체적 팽창을 일으키면서, 철근의 부식으로 균열이 생겼다고 판단되는 경우에는 균열 폭에 관계없이 근본적인 보수 보강이 이뤄져야 한다.

4. 구조체의 기능에 영향을 주는 균열

철근콘크리트 구조체에 균열의 발생으로 인하여 생기는 기능상의 문제점들은 물이 새는 일과 차음성능의 저하, 마감의 손상 등을 들 수 있다. 콘크리트는 방수의 목적으로 사용하는 데에는 적합한 재료이기는 하나, 완전한 수밀성(水密性)을 가지고 있지는 않다. 콘크리트의 내부에는 수많은 모세관의 빈 틈들이 존재하고 있어 물을 흡수하거나 또는 물이 침투하게 된다. 이러한 물들이 부재에 생긴 균열에 접촉되면 균열을 통하여 표면으로 새게 된다. 콘크리트를 통하여 물이 새면 콘크리트 성분 중 수산화 칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)이 녹아 나오기 때문에 강도저하, 강재의 부식, 동해 등의 원인이 되며, 건물에서는 건물 내부를 습기차게 하므로 균열로부터 물이 새는가를 검사하는 것은 매우 중요한 일이다. 방향이 일정하고 평탄한 균열에 있어서는 균열을 통한 유체의 흐름을 유압(油壓), 균열 폭, 균열의 길이 및 유체의 점성(粘性) 등으로 계산할 수 있으나, 대부분의 균열들의 방향이 일정하지 않고 균열면에 거칠기 때문에 유체공식의 적용은 어려운 일이나, 제한된 범위에서 유효 폭의 개념을 적용하여 유체공식의 적용은 어려운 일이나, 제한된 범위에서 유효 폭의 개념을 적용하여 유체공식들을 사용하고 있다. 연구결과에 의하면 재령이 많지 않은 콘크리트 구조체로서 압축력을 받는 경우 0.2mm 이하의 균열은 자생적으로 봉합되기 때문에 초기에 물이 새더라도 수일내에 멈추는 것으로 되어있다. 자생적인 봉합(autogenous healing)은 콘크리트에 발생한 미세한 균열들에 전단변형이 생기지 않고 습윤상태인 경우 아직 수화되지 않은 시멘트가 수화하면서 균열들이 완전히 봉합되는 현상으로서, 이 때 균열에 침투한 물들은 습윤조건을 만들어 주므로 자생적인 봉합에 도움을 준다. 실제로, 콘크리트 탱크의 설계에서 철근의 응력을 높이면서 탱크에 압력을 가하

여 초기에는 물이 새더라도 자생 봉합에 의하여 수밀성의 탱크로 만드는 예도 있다. 그러나 봉합 기간 중 균열에 이동이 생기거나 물이 너무 많이 새면 자생봉합은 생기지 않는다.

강구조 교량의 상판에 0.4mm 이상의 균열이 생기면 물이 새며, 겨울철에 해빙제(解冰劑)를 사용하는 경우에는 눈이나 얼음과 함께 녹은 염(鹽)이 강재를 부식시킬 우려가 있다. 교량이 상판에서는 균열이 일단 생기면 차량 등에 의한 진동으로 폭과 길이가 커져 유해한 영향을 끼치므로 0.2mm 이하의 균열에 대하여서도 특별히 주의하지 않으면 안된다.

5. 구조체의 외관에 영향을 주는 균열

강도나 기능상의 문제 이외에도 균열은 구조체의 외관에 흠을 내어 사용자에게 심리적인 부담을 준다. 구조체에 생긴 균열은 구조체의 안전에 이상이 있다는 경고이기 때문에 사용자에게 불안감과 함께, 조잡한 시공에 싸구려의 인상을 준다.

그러나 외관에 관련하여 어느 정도의 균열 폭이

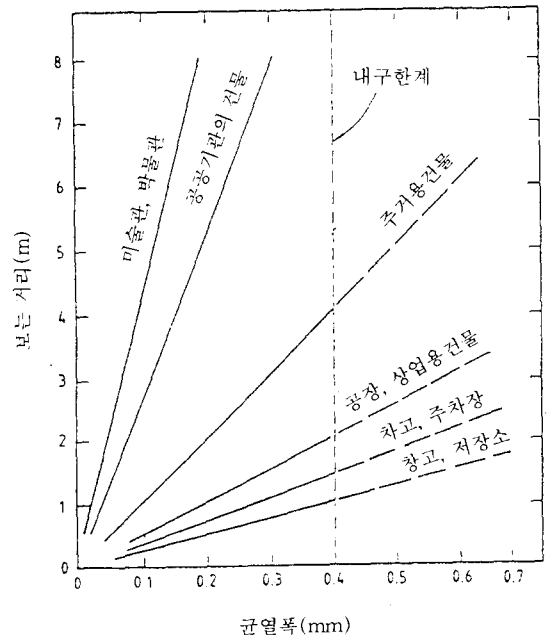


그림 4 건물의 외관에 영향을 주는 최소균열폭

수용 가능한가 하는 것은 객관적인 기준이 없고, 구조물의 품격과 보는 사람의 위치에 따라 다르기 때문에 합리적인 기준을 정하기 어렵다. 그림 4는 구조물의 품격과 보는 위치에 관련하여 심미적으로 수용가능한 최소 균열 폭을 나타낸 것으로, 어떤 규준에 규정된 것은 아니나 구조체의 외관에 관련하여 균열 폭을 평가하는 데 일조가 될 것으로 기대된다.

6. 맺음말

철근콘크리트 구조체는 어느 경우에도 균열을 가지고 있다. 그러나 균열에 대한 평가는 균열의 발생원인과 진행과정 및 균열이 끼치는 영향 등에 총체적인 인식이 있어야 가능하다. 앞에서 균열의 평가 방법을 구조 내력과 철근 부식, 기능 및 외관 등의 관점에서 개략적으로 기술하였으나, 철근콘크리트 구조체가 가지는 구성상의 많은 변수들과 이질성 및 주위의 가변적인 많은 조건들로 인하여 일관성있게 허용한계를 규정하기 어렵다.

최근 우리나라에서도 활발한 건설활동에 비례하여 콘크리트의 성능향상과 품질관리에 대한 요

구가 높아지고 있고, 균열의 허용한계에 대하여서도 가능한 적용범위를 설정하여 규정하여야 할 것이다. 콘크리트의 균열은 바람직한 현상은 아니나, 평가 방법만 올바르게 터득하면 그에 대한 대처도 그리 어려운 일만은 아니다.

참 고 문 헌

1. ACI 224, Control of Cracking in Concrete Structures, ACI Manual, 1988.
2. Allen, R.T.L., Edward, S.C., and Shaw, J.D.N., The Repair of Concrete Structures, 2nd ed., Blackie A&p, 1993.
3. Campbell-Aller, D., and Roper, H., Concrete Structures: Materials, Maintenance and Repair, Longman Scientific & Technical, 1991.
4. Mays, G., Durability of Concrete Structures, E&FN Spon, 1992.
5. Neville, A. M., Properties of Concrete, Pitman Publishing, 1975.
6. 鐵筋コンクリート造のひび割れ對策指針, 日本建築學會, 1990. □

알 림

콘크리트학회지 제6권 3호(1994. 6)에 기술기사로 게재된 김영준 박사의 "강합성 교량의 미공식 강재 동바리" 기사는 필자가 (주)동부건설에 지적 중에 투고된 내용으로 한재 (주)동부건설이 복허 신청 중임을 밝힙니다.

- 편집위원장 -