콘크리트 구조물의 보수(上)

김 영 준
우리 협회 토목전문위원
토목구조기술사 ,공학박사

1. 들어가는 말

오늘날 널리 사용되고 있는 콘크리트는 포틀랜드 시멘트의 제조방법을 1824년 Joseph Aspdin이 제안한 이후 건설재료로 널리 사용되어 왔으며, 특히 다른 건설재료에 비하여 경제성과 내구성 및 시공성이 탁월한 콘크리트는 건설현장에서 사용되는 비율이 70% 이상을 상회하고 있다.

콘크리트가 이와 같이 건설현장에서 각광을 받게 된 이유는,

첫째, 콘크리트의 주재료인 시멘트의 가격이 저렴하고, 천연골재인 모래와 자갈이 풍부하여 다른 건설재료인 목재나 강재에 비하여 가격 경쟁력이 우수하며,

둘째, 주로 현장에서 거푸집을 제작하여 타설하는 콘크리트는 시공방법이 간단하여 누구나 타설할 수 있음에 따라 시공성이 편리하고,

셋째, 다른 건설재료에 비하여 내구성이 뛰어난 콘크리트는 유지, 관리비가 저렴하다는 것이다.

그러나 최근에는 오랫동안 콘크리트 구조물을 만들어 사용함으로써 천연골재의 고갈로 인한 양질의 골재 품귀현상이 발생되었으며, 산업의 발달로 인하여 구조물이 고층화, 대형화, 복잡화됨에 따라 누구나 시공할 수 있는 콘크리트 구조물이 아니라 숙련공이 콘크리트를 취급하여야 하나, 아직까지 숙련공 양성이 정착되지 않고, 또 3D 현상으로 인한 콘크리트 숙련공 지원 기피현상으로 인하여 숙련공이 크게 부족하며, 산업의 발달로 인하여 구조물의 사용환경이 열악해져서 콘크리트의 내구성도 크게 떨어지고 있는 실정이다.

이와 같이 콘크리트의 대부분의 장점이 단점으로 바뀜에 따라 콘크리트 구조물에 균열이 발생되기 쉽고, 이러한 균열이 구조물에 치명적인 결함으로 작용하는 경우도 발생된다.

따라서 설계자의 의도에 맞는 기능과 내력 및 내구성을 지닌 콘크리트 구조물을 사용하기 위해서는 유지, 관리, 보수를 제대로 하여야 하며 특히 시공중이나 사용중에 균열이 발생된 구조물에는 먼저 균열의 폭, 깊이, 길이, 형태 등의 균열의 현황을 조사하고, 콘크리트의 재료인 시멘트나 골재의 상태 조사와 배합표를 검토하며, 콘크리트의 타설방법과 거푸집 상태 및 양생방법 등 시공방법을 검토하고, 나아가 구조검토를 통하여 균열의 발생원인을 규명하고 균열의 진행 여부를 판단하여 적절한 보수, 보강방법으로 균열이 발생된 콘크리트 구조물에 조치를 취해야 할 것이다.

본문은 건설기술자가 콘크리트 구조물에 발생된 균열의 성격을 파악하여 적절한 보수나 보강방법으로 조치를 취할 수 있도록 균열의 발생원인 규명, 구조물의 종류에 따른 허용 균열과 보수 보강방법을 제시함에 따라 미력하나마 건설기술의 발전과 보급에 도움이 되고자 하는 데 목적이 있다.

2. 균열의 발생원인

콘크리트 구조물의 균열발생원인은 크게 재료적인 요인, 시공적인 요인, 환경적인 요인 및 구조적인 요인 등으로 나눌 수 있으나, 일반적으로 균열은 여러가지 요인이 중첩하여 발생되므로 원인을 규명하는 일은 쉽지 않다.

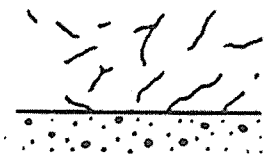
그러므로 균열의 발생원인을 찾기 위해서는 광범위한 조사가 이루어져야 하는데 먼저 균열의 폭, 길이, 깊이 및 형태 등의 균열조사가 우선되어야 하며, 또한 대부분의 콘크리트 구조물은 시공중이나 사용중에 균열이 발생됨에 따라 콘크리트의 배합, 콘크리트에 사용한 재료 등의 재료적

표 2-1. 균 열 발 생 원 인

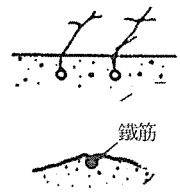
	분 류		원 인	
재료	사용재료	시멘트	• 시멘트 이상응결 • 시멘트 이상팽창	• 시멘트 수화열
		골재	• 골재에 함유되어 있는 여분 • 반응성 골재	• 저품질의 골재
	콘크리트		• 콘크리트안의 염화물 • 콘크리트의 건조수축	• 콘크리트의 침하 · 블리딩
시공	콘크리트	비비기	• 혼화재료의 불균일한 분산	• 장시간 비비기
		운반	• 펌프압송시의 배합의 변경	
		다져넣기	• 부적당한 다져넣기 순서	• 급속한 다져넣기
		다짐	• 불충분한 다짐	
		이어치기	• 경화전 진동과 재하 • 초기동해	• 초기양생중의 급격한 건조 • 부적당한 이어치기의 처리
	철근	배근	• 배근의 흐트러짐	• 덮개두께 부족
	거푸집	거푸집	• 거푸집의 부풀음 • 거푸집의 초기제거	• 누수(거푸집에서, 노반에서)
		지보공	• 지보공의 침하	
사용환경	물리적	온도 · 습도	• 환경 · 온도 · 습도의 변화 • 동결 융해의 반복	• 부재 양면의 온도 · 습도의 차이 • 화재
	화학적	화학작용	• 산 · 염류의 화학작용 • 침입염화물에 의한 내부철근의 녹	• 중성화에 의한 내부 철근의 녹
구조외력	하중		• 설계하중 이내의 영구하중 · 장기하중 • 설계하중을 초과한 영구하중 · 장기하중 • 설계하중 이내의 동적 하중 · 단기하중 • 설계하중을 초과하는 동적 하중 · 단기하중	
	구조설계		• 단면 · 철근량 부족	
	지지조건		• 구조물의 부등 침하	• 동상

인 요소와 시공시의 일기(온도, 습도, 바람의 세기)와 타설방법, 양생방법 등의 시공적인 요소에 관한 자료조사와 구조물 사용시의 기후, 주변의 화학물 존재여부의 환경적인 요소에 관한 자료조사 및 지반침하나 하중에 대한 안전 등의 구조적인 요소에 관한 검토가 병행되어야 한다.

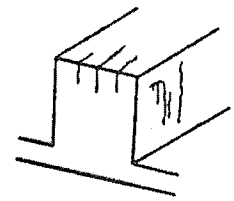
표 2-1은 균열의 발생원인에 관하여 분류한 것이며, 그림으로 각각의 원인에 따른 균열형태를 보여준다.



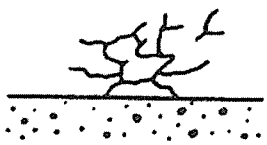
시멘트의 이상응결
짧고 불규칙적인 균열이 비교적 빨리 발생한다.



침하균열
상단 철근 상부에 발생하는 것으로서 콘크리트를 친 다음 1~2시간에 철근을 따라 발생한다.

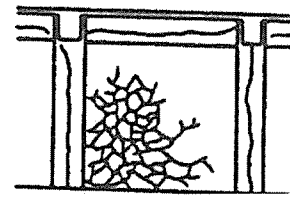


시멘트의 수화열(heat of hydration)
큰 단면(한변이 80cm 이상)의 땅속 토막버팀(shore strut), 두꺼운 지하벽 등에 발생하기 쉽다.

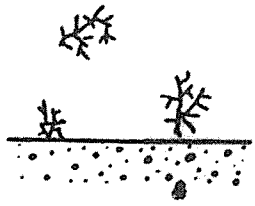


골재 안의 흙
콘크리트의 건조에 동반하여 불규칙한 그물눈 모양의 균열이 발생한다.

풍화암이나 품질이 낮은 골재
팝콘 모양으로 발생한다.

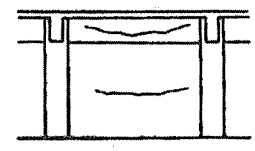


알칼리 골재반응
기둥·보 등에서는 축방향 철근의 위치에 그다지 관계없고, 그 材軸方向에는 거의 평행으로 나타난다. 또 벽·옹벽 등에서는 방향을 가리지 않고 마구 갈라지는 형으로 나타난다.



혼화재의 불균일한 분산
팽창성과 수축성이 있는데, 모두 부분적으로 발생한다.

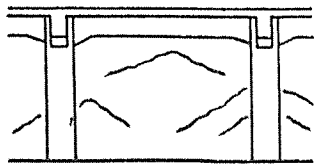
장시간 비비기(mixing)
운반시간이 너무 길어 발생하는 균열로서 전체 면에 그물눈 모양으로 발생한다.



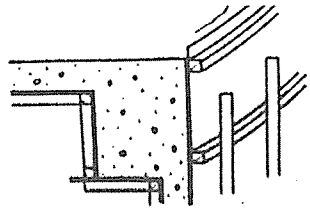
너무 빨리 다져넣을 때
콘크리트의 침강에 따라 발생한다.

그림 2-1. 균열의 유형(예1)

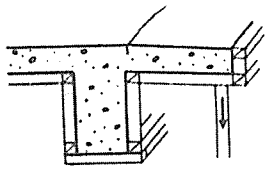
불충분한 다짐
(compation)



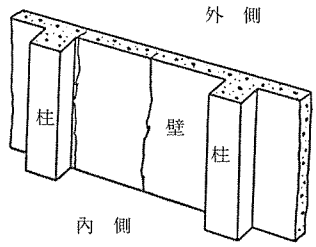
부적당한 이어치기 처리
콜드 조인트(cold joint)가 된다.



거푸집의 팽창(swell)



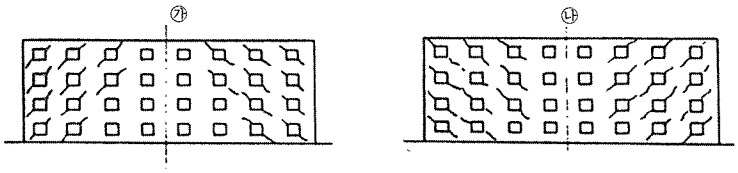
지보공의 침하



부재 양면의 온도 · 습도의 차이

외측이 고온 또는 고습, 내측이 저온 또는 건조할 경우, 균열은 구속 부재간의 거의 중앙 혹은 구속 부재 인접부 부근의 저온 혹은 건조한 쪽에 발생한다.

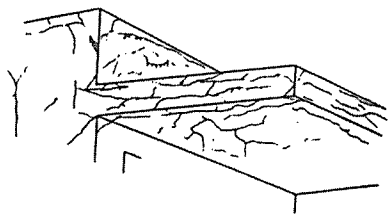
초기단계에서는 균열은 관통하지 않지만, 반복작용으로 시간이 경과하면 관통하는 일이 있다.



환경온도 · 습도의 변화

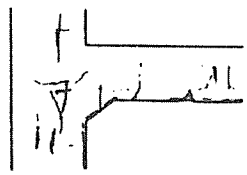
(가) 지붕 윗부분(옥상)이 고온 혹은 고습하게 되어 팽창할 경우 여덟팔자형(八字形)으로 균열이 생긴다.

(나) 지붕 윗부분이 저온 혹은 건조상태가 되어 수축한 경우 역여덟팔자형으로 균열이 생긴다.



동결 융해의 반복

모서리 부분이나 수평 조인트 부분의 사선 균열이나 긴 쪽 방향의 균열, 스켈링 등이 특징이다.

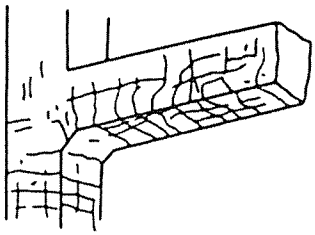


중성화로 인한 내부 철근의 녹
침입 염화물에 인한 내부 철근의 녹

균열은 철근을 따라 발생한다. 균열부분에서는 녹이 유출하여 콘크리트 표면을 더럽히는 일이 많다.

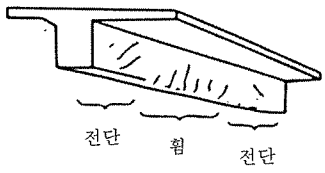
철근의 부식이 현저할 때에는 콘크리트가 떨어지기도 한다.

그림 2-2 균열의 유형(예 2)



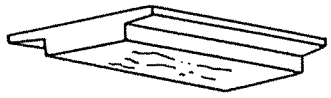
화 재

급격한 온도상승과 건조에 따라 그물눈 모양의 미세한 균열과 함께 보, 기둥에 거의 등간격의 굵직한 균열이 발생한다. 또 부분적으로 폭발하여 떨어지는 일이 있다.



하 중

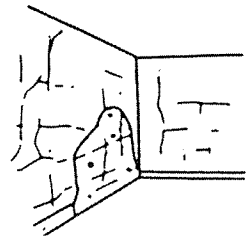
보통 휨모멘트를 받는 부재에는 미세한 균열(폭 0.1~0.2mm)은 발생하지만, 0.2mm를 초과하는 폭의 경우 혹은 전단력으로 인한 균열의 발생은 정상적으로 일어나는 균열과 다르므로 상세하게 검토하여야 한다.



단면·철근량 부족

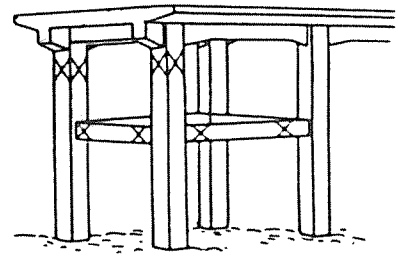
배력 철근량의 부족으로 그림과 같은 균열이 발생하는 일도 있다.

단면, 철근량 부족으로 생기는 균열은 휨모멘트로 인하여 발생되는 균열의 형태와 비슷하며 설계도서 등에서 하중에 의한 것이나 단면·철근량 부족에 의한 것을 검토할 필요가 있다.



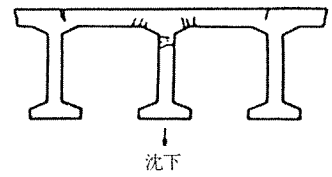
산·염류의 화학작용

콘크리트 표면이 침식되어 대부분은 철근 위치에 균열이 생기고, 일부 균열 표면이 떨어지기도 한다. 노출된 철근의 녹 자국이 격심하다.



하 중

그림과 같은 균열은 지진시 수평력으로 인한 대표적인 것이다.



구조물의 부등 침하

라멘 등의 부정정 구조물에서는 지지점의 부동침하에 따라서 그림과 같은 균열이 발생하는 일도 있다.

그림 2-3 균열의 유형(예 3)

3. 허용균열폭

균열이 발생되어 손상된 콘크리트 구조물에 대한 보수나 보강의 판정은 균열의 조사나 발생원인 추정의 결과에 따라 신중하게 판단되어져야 한다.

보수나 보강의 필요여부는 내력, 내구성, 대인 안전성과 같은 안전성과 방수성, 미관, 기밀성과 같은 기능성을 고려하여 주로 균열의 폭을 기준으로 하여 판단한다.

발생된 균열로 인하여 콘크리트 구조물의 내력저하가 우려되는 경우에는 보강을 실시하고 기타의 안전성과 기능성의 측면에서 기능저하가 우려되는 콘크리트 구조물에는 보수를 시행해야 하는데, 이때 보수에 대한 주된 판단기준은 균열폭이 된다.

그러나 보수는 구조물의 종류, 환경, 피복두께, 철근의 상태, 균열의 깊이, 길이, 형태, 콘크리트의 배합 등 여러가지 요인을 종합적으로 고려하여 판단하여야 하나 우리나라에는 이에 대한 명확한 규정은 아직까지 없으므로 각각의 나라에서 제정된 보수를 필요로 하는 허용균열폭에 대한 예를 아래의 표들은 보여주고 있다.

표 3-1 내구성에서의 허용 균열폭의 예

(a) (ACI 224 위원회)

조 건	허용균열폭(mm)
건조공기중 혹은 보호층이 있을 경우	0.40
습한 공기 안 · 흙 안	0.30
동결방지제에 접하는 경우	0.175
해수 · 조풍으로 견습의 반복이 있는 경우	0.15
수밀 구조 부재	0.10

표 3-2. 보수의 필요 여부에 관한 균열 폭의 한도

구분 \ 환경[2] / 그밖의 요인[1]		내구성에서 본 경우			방수성에서 본 경우
		심 하 다	중 간	완만하다	—
(A) 보수를 필요로 하는 균열 폭(mm)	대	0.4 이상	0.4 이상	0.6 이상	0.2 이상
	중	0.4 이상	0.6 이상	0.8 이상	0.2 이상
	소	0.6 이상	0.8 이상	1.0 이상	0.2 이상
B) 보수를 필요로 하지 않는 균열 폭(mm)	대	0.1 이하	0.2 이하	0.2 이하	0.05 이하
	중	0.1 이하	0.2 이하	0.3 이하	0.05 이하
	소	0.2 이하	0.3 이하	0.3 이하	0.05 이하

주 : 1) 그 밖의 요인(대, 중, 소)란 콘크리트 구조물의 내구성 및 방수성에 이르는 유해성 정도를 나타내며 아래 요인의 영향을 종합하여 결정한다.
균열의 깊이 · 패턴, 덮개두께, 콘크리트 표면 피복의 유무, 재료 · 배(조)합, 접속부분(Placing joint) 등
2) 주로 철근의 녹의 발생조건 관점에서 본 환경조건

표 3-3 허용균열 폭의 규격치의 예

국 명	제 안 자 동	종 류	허용균열폭(mm)
일 본	운 수 성	항만구조물	0.2
	일본공업규격	원심력 철근 콘크리트볼	
		설계하중시 설계휨 moment의 작용시	0.25
		설계하중, 설계휨 moment 개방식	0.05
프 랑 스	Brocard		0.4
미 국	ACI 건축기준	옥내부재	0.38
		옥외부재	0.25
소 련	철근콘크리트 기준		0.2
유 럽	유럽 콘크리트위원회	상당한 침식작용을 받는 구조물의 부재	0.4
		방어보호가 없는 보통 구조물의 부재	0.2
		방어보호가 있는 보통 구조물의 부재	0.3