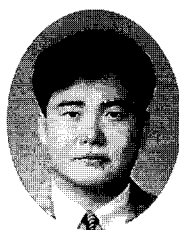


콘크리트 구조물의 균열 평가 기법과 보수·보강

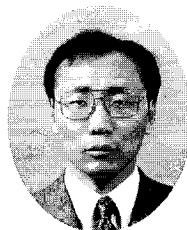
- Crack Evaluation Technique and Crack Repair of Concrete Structures -



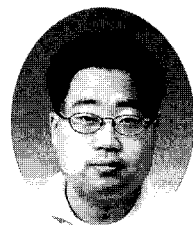
변근주*



송하원**



최욱***



우승민****

1. 서론

콘크리트는 압축 강도에 비하여 인장 강도가 낮은 재료이기 때문에 콘크리트 구조물에 균열이 발생하는 것은 불가피한 일이고, 허용 균열 폭 이하의 균열은 구조적, 내구성 면에서 문제가 되지 않는다. 콘크리트의 인장 강도는 설계시 무시되는 것이 일반적이나, 대부분의 철근 콘크리트 부재에서는 균열이 없는 경우가 많다. 이는 콘크리트 부재에 설계 사용 하중까지 작용되지도 않고, 콘크리트도 일정량의 인장 강도를 가지고 있기 때문일 것이다. 그러나 고강도 철근을 사용하게 되면 사용 하중에 의한 철근 응력이 높아지기 때문에 사용 하중 하에서도 균열이 무시할 수 없을 정도로 크게 발생하는 경우가 있다. 균열은 콘크리트 부재에 내구성, 철근 부식에 의한 내하력 저하, 수밀성 및 기밀성의 기능 저하, 미관 등에 영향을 미치기 때문에

균열이 발생되면 그 영향을 분석할 필요가 있다.

국내에서는 콘크리트 균열에 대한 기술적인 평가 기준과 정보의 부족으로 시공 중 및 유지 관리 중의 콘크리트 구조의 균열에 관하여 많은 논란과 혼란이 일고 있는 실정이다.

본고에서는 콘크리트 균열의 기술적 실체를 정립하고, 기술자들에게 정확한 평가와 판단 기준을 제공하기 위하여 시설안전기술공단과 본 연구진의 공동 연구로 제안된 「콘크리트 구조물의 균열평가기법 및 보수·보강 전문시방서의 개발」을 중심으로 콘크리트의 균열 발생 메커니즘, 균열의 발생 원인별 발생 시기 및 형태, 균열의 조사 및 평가, 그리고 그에 따른 보수·보강 공법, 보수·보강 후 평가에 대하여 기술하고자 한다.

2. 균열 발생 메커니즘

콘크리트는 균열 잠재성이 있는 재료이기 때문에 대부분의 콘크리트는 균열을 가지는 것이 일반적이며 때로는 줄눈과 같은 인위적인 균열을 두기도 하고 대부분 균열이 있어도 구조적인 문제가 없지만, 균열의

* 정회원, 연세대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 연세대학교 토목공학과 부교수

*** 정회원, 시설안전기술공단 기술개발지원실 차장

**** 정회원, 연세대학교 건설공학연구소 연구원

점진적인 진전에 의해 파괴가 일어날 수도 있다. 보통 콘크리트의 균열 발생은 micro level, meso level, macro level 등으로 나누어 설명될 수 있으며, 경화된 콘크리트에서 하중에 의한 균열이 언제 진전되는가에 대한 기준도 다양하다. 즉 우리가 흔히 알고 있는 강재의 항복 기준과 같이 응력, 변형률 또는 에너지에 근거하여 기준을 삼을 수도 있다. 가장 간편하게 이해될 수 있는 것은 주 응력이 인장 강도를 초과하는 순간이거나, 인장 변형률이 한계치를 초과하는 순간에 균열이 발생된다고 보는 것인데, 이는 구조물 크기를 크게 보았을 때 평균적 의미에서 어느 정도 받아들여질 수 있는 것이다. 미세 균열 선단의 균열 진전은 더 큰 응력에 이를 때까지도 저항될 수 있기 때문에 이 기준은 옳지 못할 수도 있다. 변위에 관계되는 COD (Crack Opening Displacement) 또는 에너지에 관계되는 파괴 에너지를 기준으로 하는 것도 최근에 제시되고 있다. 그러나, 본고에서는 평균적 개념에서 콘크리트의 균열이 어떻게 진전되는가에 대하여 살펴보고자 한다. <그림 1>에서 보는 바와 같이 초기 균열이 있는 경우 콘크리트의 거동은 유리나 금속의 파괴 거동과는 상당한 차이를 보인다. 초기에 응력이 가해지

면 <그림 1(c)>와 같이 균열단에서 응력 집중 현상이 일어나며, 응력이 일정한 한계를 벗어나지 않으면 탄성적으로 거동하나 그 한계를 벗어나면 균열단에서 미세 균열이 발생하여 비선형성의 변화를 보이다가 곧 <그림 1(e)>와 같이 콘크리트의 최대 인장 응력에 도달하게 된다. 이 미세 균열이 더욱 커지고 변형도 늘어나게 되면 균열단에서는 유리나 금속 재료와는 달리 변형률 연화 현상이 일어나 변형률은 증가하나 응력은 감소하게 된다. 여기서 더욱 변형률이 증가하게 되면 균열단에서는 주 균열이 발생하여 콘크리트는 더 이상 연속체가 될 수 없으며, 이 때의 응력 분포 및 변형률은 각각 <그림 1(g), (h)>와 같이 나타날 수 있다. 그러나 <그림 1(h)>의 $k_1 \sim k_2$ 구간의 실제 변형률은 나타낼 수 없으며 단지 이 구간에서의 전체 변위만을 나타낼 수 있다. 이러한 과정을 거쳐 콘크리트의 균열이 진행되는데, 이 때 위에서 언급한 변형률 연화 현상과 미세 균열의 발생 등이 콘크리트 재료의 큰 특징이며 콘크리트의 비선형적 특성과 크기 효과에 큰 영향을 미친다.

이와 같이 콘크리트 구조물에 어떠한 형태의 하중이 작용하더라도, 콘크리트에서의 균열은 콘크리트 부재의 인장 변형률에 의해서 일어난다. 인장력을 받으면 그 힘 방향으로의 인장 변형률이 발생되어 균열은 작용 하중과 나란한 방향으로 발생된다. 또한 하중의 재하 속도에 따라 콘크리트 강도, 균열의 생성과 분포, 균열 방향이 크게 바뀌게 된다. 그러나 미세하게 관찰하면 균열의 발생은 앞에서 언급한 과정에 의하여 이루어진다고 볼 수 있다.

3. 균열 발생 원인 및 형태

콘크리트 구조물에 발생하는 균열의 원인은 재료 조건, 시공 조건, 사용·환경 조건, 구조·외력 조건에 의해 분류될 수 있다. 실제로 균열은 단일 원인에 의한 것도 있지만 여러 가지 복합적인 원인에 의한 것이 많기 때문에 정확한 원인을 규명하기는 매우 어렵다. 그러나 정확한 원인을 규명해야 합리적인 균열 안

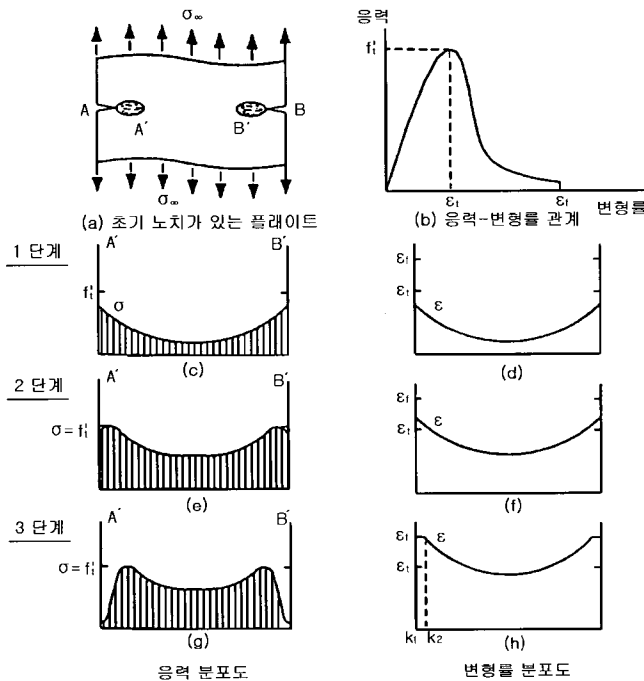


그림 1. 콘크리트의 균열 진행 과정

전성 검토, 균열 보수·보강 대책을 강구할 수 있다. 최근 균열 해석 및 평가 기법에 관한 연구가 세계 도처에서 진행되고 있지만, 아직 객관적으로 검증된 실

용적인 기법이 개발되어 있지 않았고, JCI의 균열 조사·보수·보강 지침 외에는 종합적인 균열 전문시방서가 없는 실정이다. <표 1>은 각 원인별로 분류하여

표 1. 균열의 원인별, 발생 시기별, 형태별 특징

대분류	중분류	소분류	번호	원인	발생 시기	형태	특징	
재	사용재	시멘트	A1	이상 응결	수시간~1일	표면	폭이 크고 짧은 균열이 비교적 빨리 불규칙하게 발생	
			A2	수화열	수일	표면	콘크리트 단면에서 1~2주 지난 후부터 직선상의 균열이 거의 등간격으로 규칙적으로 발생. 표면에 발생하는 것과 부재를 관통하는 것이 있다.	
			A3	이상 팽창	수10일 이상	표면 그물 모양	방사형의 그물 모양 균열	
	골재		A4	점토 성분	수시간~1일	표면 그물 모양	콘크리트 표면의 건조에 따라서 불규칙하게 그물모양의 균열이 발생	
			A5	저품질	수시간~1일	표면	불규칙한 짧은 균열 발생	
			A6	반응성	수10일 이상	표면 그물 모양	콘크리트 내부에서부터 거북등 모양으로 발생. 다습한 곳에 많다.	
	콘크리트		A7	염분	수10일 이상	표면 그물 모양	표면이 침식되고, 팽창성 물질이 형성되어 전면에 균열이 발생	
				침하·블리딩	수시간~1일	표면	타설 후 1~2시간에서, 철근의 상부와 벽, 상판의 경계 등에서 단축적으로 발생	
			A9	소성 수축	수시간	표면 그물 모양 관통	개구부나 기둥, 보로 둘러싸인 코너 부위에는 경사 균열이, 상판·보 등에서 가는 균열이 등간격으로 수직하게 발생	
				경화 수축	수시간~1일			
건조 수축				수일~수10일				
	장기 건조 수축	수10일 이상						
시공	배합		B1	혼화 재료의 불균일한 분산	수시간~1일	그물 모양	팽창성인 것과 수축성인 것이 있으며, 부분적으로 발생	
			B2	장시간 비비기	수시간~1일 수10일 이상	그물 모양 표면 관통	전면에 그물 모양 또는 길이가 짧은 불규칙한 균열이 발생	
	콘크리트	운반		B3	펌프 압송시 배합 변경	수시간~1일 수10일 이상	그물 모양 표면 관통	침하, 블리딩, 건조 수축 등의 균열이 발생하기 쉬움.
				B4	타설 순서가 바뀜.	수시간~1일 수10일 이상	관통	배근의 이동과 피복 두께 부족의 원인이 됨.
		다짐		B5	급속한 타설	수시간~1일	표면	거푸집의 변형과 침하, 블리딩에 의한 균열이 발생하기 쉬움.
				B6	불충분한 다짐	수시간 이상	표면	슬래브에서는 주변에 따라 원형으로 발생. 배근 및 배근의 표면에 발생
		양생		B7	경화전 진동·제하	수시간~1일 수일이상	표면	구조 및 외력에 의한 균열과 동일
				B8	초기 양생 중의 급격한 건조	수시간~1일	표면 그물 모양	타설 직후, 표면의 각 부분에 짧은 균열이 불규칙하게 발생
				B9	초기 동해	수일~수10일 이상	표면 그물 모양	가는 균열. 탈형하면 콘크리트 면이 하얗게 됨.
		이어치기		B10	이어치기 면의 부적합	수시간~1일 수10일 이상	관통	이어치기 면에서 균열이 발생

표 1. 균열의 원인별, 발생 시기별, 형태별 특징(계속)

대분류	중분류	소분류	번호	원인	발생 시기	형태	특징	
시공	철근	배근	B11	배근의 이동	수10일 이상	표면	슬래브에서는 주변에 따라 원형으로 발생. 배근 및 배관의 표면에 발생	
			B12	피복 두께 부족	수10일 이상			
	거푸집	거푸집	B13	거푸집의 변형	수시간~1일	표면	거푸집이 움직이는 방향으로 평행하게 부분적으로 발생	
			B14	누수(거푸집이나 지반으로부터)	수시간~1일	표면	누수의 흐름에 따라서 균열이 표면에 발생	
			B15	거푸집 조기 제거	수일	표면	콘크리트 강도 부족에 의한 균열. 건조 수축의 영향도 크게 됨.	
			B16	거푸집, 동바리의 침하	수시간~1일·수일	표면	상관과 보의 단부 상단 및 중앙부 하단 등에 발생	
사용 및 환경	물리적	온도·습도	C1	외부 온도·습도의 변화	수10일 이상	표면관통	건조 수축의 균열과 유사. 발생한 균열은 습도 변화에 따라 변동	
			C2	부재 양면의 온도·습도 차	수10일 이상	표면	저온측 또는 저습측의 표면에 휩 방향과 직각으로 발생	
			C3	동결·융해의 반복	수10일 이상	표면그물모양	표면이 부풀어 올라서 부슬부슬 떨어지게 됨.	
			C4	화재	수10일 이상	표면그물모양	표면 전체에 가는 거북등 모양의 균열이 발생	
			C5	표면 가열				
	화학적	화학작용	C6	산·염분에 의한 화학 작용	수10일 이상	표면그물모양	표면이 침식되고, 팽창성 물질이 형성되어 전면에 균열이 발생 철근을 따라 큰 균열이 발생. 콘크리트의 피복이 떨어져 나가고 녹이 유출됨.	
			C7	중성화에 의한 내부 철근의 녹				
			C8	염화물에 의한 내부 철근의 녹				
	구조 및 외력	하중	장기·단기·동적하중	D1	설계 하중 이내의 장기 하중	수10일 이상	표면관통	주로 휩 하중에 의해 보나 슬래브의 인장측에 수직으로 균열이 발생
				D2	설계 하중을 초과하는 장기 하중			
D3				설계 하중 이내의 단기·동적 하중	수10일 이상	표면관통	전단 하중에 의해서 기둥, 보, 벽 등에 45° 방향으로 균열이 발생	
D4				설계 하중을 초과하는 단기·동적 하중				
구조설계		지지조건	D5	단면·철근량 부족	수10일 이상	표면그물모양	휩 하중과 전단 하중에 의한 균열 발생과 같은 형태. 상관과 차양 등에서 처진 방향으로 평행한 균열이 발생	
			D6	구조물의 부동 침하	수10일 이상	표면관통	45° 방향으로 큰 균열이 발생	
			D7	지반의 동결	시공 중 및 사용 중	표면관통	동결 조건에 따라 다양	
배근	E	부적절한 배근				우각부, 개구부, 부재연결부 등에서 균열 발생		
기타	F					기타		

그 발생 시기 및 형태, 특징도 함께 나타낸 것이고, <그림 2>는 대분류별로 대표적인 균열의 형태이다.

전술한 균열의 원인 중 구조·외력 조건에 의한 균열은 어느 정도 해석적인 원인 규명이 가능하지만, 재료, 시공, 사용·환경 조건 등에 의한 균열의 해석적인 원인 규명은 현재로서는 국부적인 경우에만 가능하기 때문에 <그림 2>와 같은 경험적인 자료와의 비교

분석에 의하여 균열 발생 원인을 도출하는 것이 현실적일 것이다.

본고에서는 지면의 제약 때문에 <그림 2>와 같은 대표적인 것만 소개되었지만, 참고문헌 9의 「콘크리트 구조물의 균열평가기법 및 보수·보강 전문시방서의 개발」 연구보고서(시설안전기술공단)의 균열 형태 자료를 이용할 수 있다.

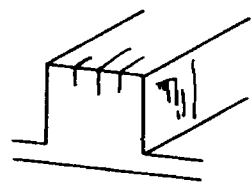
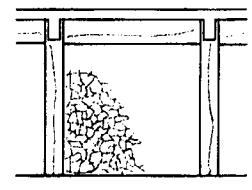
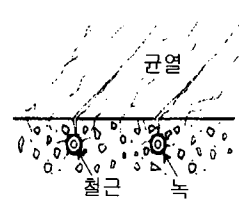
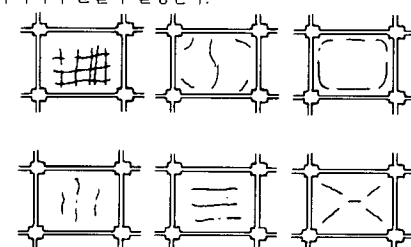
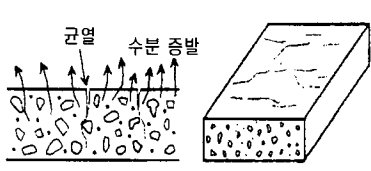
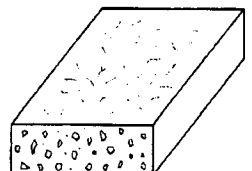
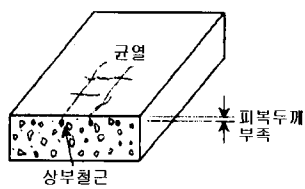
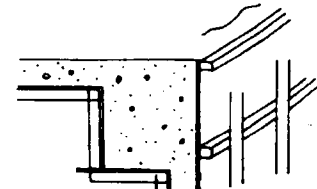
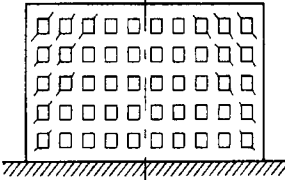
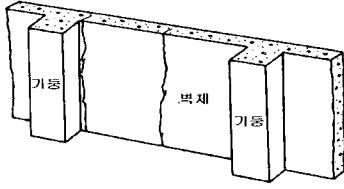
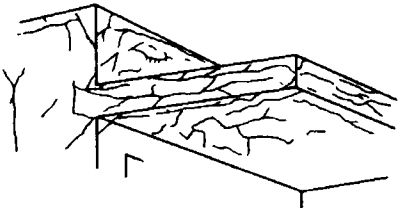
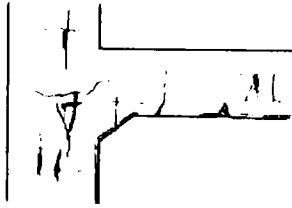
<p style="text-align: center;">시멘트의 수화열 (A2)</p> <p>큰 단면(한 변이 80cm 이상)인 벽체, 두꺼운 지하 외벽 등에 내부 구속이 따른 중 방향 표면 균열이나 외부 구속이 따른 벽체에 수직인 관통 균열이 일정 간격으로 발생한다.</p> 	<p style="text-align: center;">알칼리-골재 반응 (A6)</p> <p>기둥·보에서는 재축 방향에 평행하게, 벽/옹벽에서는 방향없이 마구 갈라지는 형으로 나타난다.</p> 
<p style="text-align: center;">콘크리트 중의 염화물 (A7)</p> <p>콘크리트 내에 염화물이 함유되었을 경우 철근의 부식으로 균열이 발생한다.</p> 	<p style="text-align: center;">콘크리트의 건조 수축 (A9)</p> <p>건조 수축이 내부 철근 및 외부 구조 부재(보·벽체·바닥판)에 의해 구속되어 균열이 발생한다.</p> 
<p style="text-align: center;">초기 양생 중의 급속한 건조 (B8)</p> <p>콘크리트 타설 직후 건조한 바람이나 고온저습한 외기에 노출될 경우 급격한 수분의 손실로 소성 수축 균열이 발생한다.</p> 	<p style="text-align: center;">양생의 불량 (B8)</p> <p>조기 건조나 습윤 양생이 부족하면 짧고 불규칙한 균열이 나타난다.</p> 
<p style="text-align: center;">슬래브 상부 철근의 피복 두께 부족 (B12)</p> <p>슬래브 윗면 등에서는 피복 두께가 부족하면 경화 초기에 철근을 따라 균열이 발생한다.</p> 	<p style="text-align: center;">거푸집의 변형 (B13)</p> <p>거푸집이 부풀어 오르면 거푸집 면에 연한 균열이 발생한다.</p> 

그림 2. 대표적인 균열의 형태

<p style="text-align: center;">환경 온도·습도의 변화 (C1)</p> <p>기상 작용으로 건물이 신축하여 옥상 슬래브 및 외벽 면에 균열이 생긴다.</p> 	<p style="text-align: center;">부재 양면의 온도·습도의 차이 (C2)</p> <p>외측이 고온 또는 고습, 내측이 저온 또는 건조한 경우, 균열은 구속 부재간의 거의 중앙 혹은 구속 부재의 인접부 부근의 저온 혹은 건조한 쪽에 발생한다.</p> 
<p style="text-align: center;">동결 융해의 반복 (C3)</p> <p>습기에 노출이 심한 부재의 모서리 부분에서 망상 균열이나, 박리·박락 등의 현상이 나타난다.</p> 	<p style="text-align: center;">내부 철근의 녹 (C7, C8)</p> <p>균열은 철근을 따라 발생한다. 균열부분에서는 녹이 유출하여 콘크리트 표면을 더럽히는 일이 많다. 철근의 부식이 현저할 때에는 콘크리트가 떨어지기도 한다.</p> 

하중 (D1, D3)

우측의 그림은 차량의 윤 하중과 충격 하중에 의한 바닥판에서의 균열의 발생을 나타낸 것이며, 아래의 그림은 거더(콘크리트 연속 보)에서의 균열 형상을 나타낸 것이다.

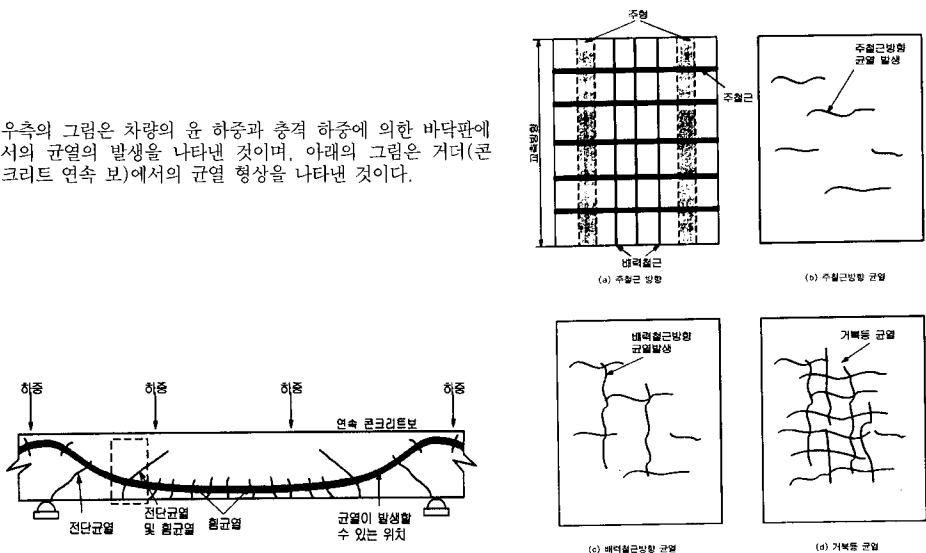
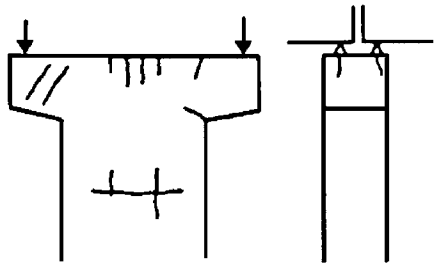
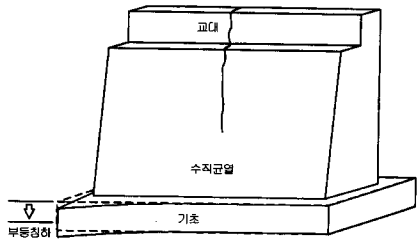


그림 2. 대표적인 균열의 형태(계속)

하중 (D1, D3)	구조물의 부등 침하 (D6)
<p>교각 머리부에 돌출부가 있어 그 앞쪽 끝부분에 큰 거더 반력이 작용하는 경우에 균열이 발생한다.</p> 	<p>부등 침하로 인한 교대에 수직 균열이 발생한다.</p> 

설계 하중을 초과하는 하중 (D2, D4)

수문 배수 암거의 경우, 토압 및 도로 하중의 증가에 의한 손상으로 상부 슬래브에 종 방향 균열이 발생하며, 과대 상재 하중과 침하에 의해 내하력 이상의 외부 하중이 작용하여 횡 방향 균열이 발생한다.

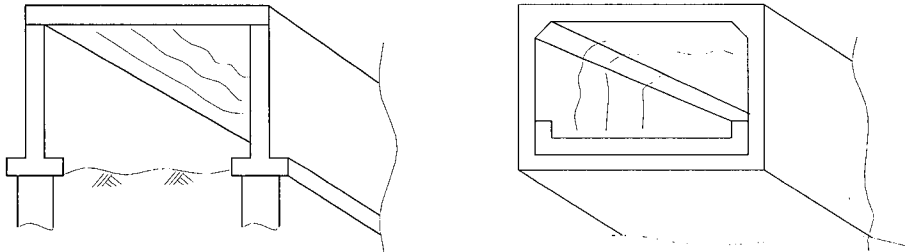


그림 2 대표적인 균열의 형태(계속)

4. 균열 조사 및 평가

4.1 균열 조사

균열 조사는 구조물에 발생하는 균열의 발생 원인 추정, 균열 평가에 따른 보수·보강 여부의 판정, 그리고 보수·보강 공법의 선정에 관한 자료를 얻는 것을 목적으로 하는 것으로, 균열 조사는 크게 조사의 1 단계로서 반드시 실시하는 표준 조사와 이 표준 조사에서 균열 원인의 추정, 보수·보강 공법의 선정을 행할 수 없는 경우에 2단계로 실시하는 상세 조사로 구분된다.

표준 조사는 균열의 원인 추정을 행하여 보수·보강의 방침을 결정하는 데 먼저 행해지는 일차적인 조사이다. 이 조사는 균열의 조사에 없어서는 안될 기본 사항으로 한정하여, 특별하게 시험이나 장기간의 검토를 요하지 않는 범위 내의 조사이다. 균열의 종류에

따라 표준 조사만으로 원인 추정, 보수·보강 공법의 검토가 가능한 것도 적지 않다. 따라서 균열의 원인 추정, 또는 보수·보강의 필요 여부를 적절히 판정하기 위해서는 이러한 표준 조사의 항목을 단순하게 실시하는데 그치지 않고, 가능한 정밀하게 행할 필요가 있다.

균열의 상황과 경과, 설계도서, 시공 기록, 장해의 유무에 대하여 실시한 표준 조사 자료로부터 원인 추정, 보수·보강의 필요 여부를 판정과 보수·보강 공법의 선정을 할 수 없는 경우가 있다. 또는, 원인 항목이 몇 가지 열거되어 있어도 그 중 어느 것이 주원인인지, 그 판단이 전혀 서지 않는 경우도 발생한다. 이러한 경우에는 상세 조사를 하여 판단 자료로 한다.

상세 조사는 일반적인 조사와 일반 조사에 의해서도 조사 목적을 이룰 수 없는 경우에 행하는 기술자의 고도의 판단을 위한 자료로 사용하기 위해 행하는 조사로 나눌 수 있고, 조사 세목은 필요에 따라 정한다.

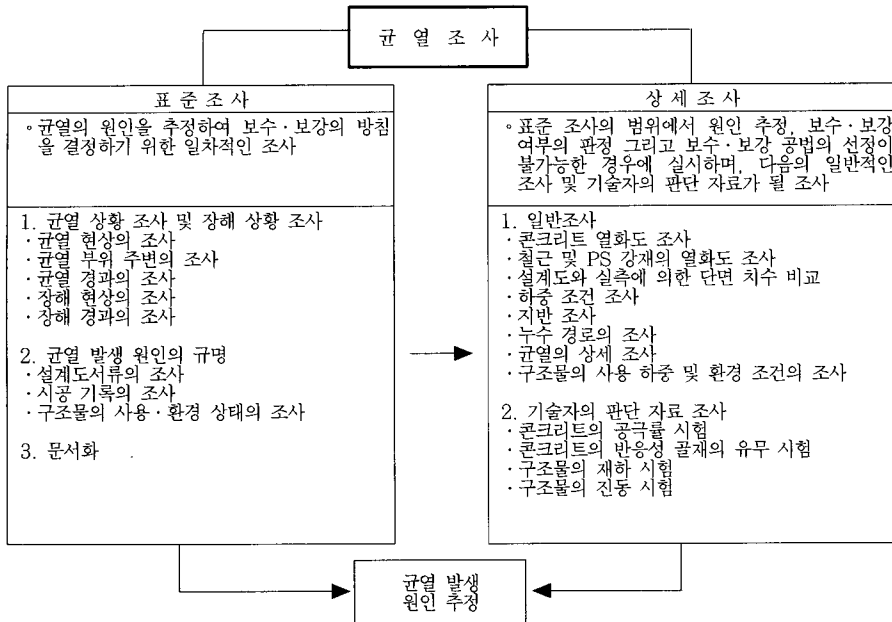


그림 3. 균열 조사의 흐름도

다만 <표 3>에 적용될 수 있는 피복 두께는 10 cm 이하를 표준으로 하여야 한다. 내하력 문제 때 문에 보강 여부를 판정하는 경우에도 <표 2>의 기준에 따른다. 또한, 대상 부재가 구조 부재 여부에 관계없이 내구성을 확보하기 위한 보수 기준으로서 허용 균열 폭은 <표

4.2 균열 평가 기준

4)에 따른다.

표준 조사 결과와 상세 조사 결과를 근거로 균열의 원인을 판정한 후 균열 폭과 균열 깊이, 균열 길이, 균열 관통 유무 등을 종합하여 균열의 진행성 유무, 구조적 균열 여부, 보수·보강의 필요성 유무를 평가한다. 평가의 기준 항목은 균열 조사 항목을 기준으로 한다.

균열의 평가는 평가 기준 항목을 허용 기준 혹은 보수 기준과 비교하여 평가한다.

대상 부재가 구조 부재인 경우에는 측정 균열 폭이 <표 2>의 허용 균열 폭보다 적은 경우에는 보수할 필요가 없고, 허용 균열 폭보다 큰 경우에는 보수가 필요하다. 강재 부식에 대한 환경 조건은 <표 3>을 따른다.

표 3. 강재의 부식에 대한 환경 조건의 구분

건조 환경	일반 옥내 부재, 부식의 우려가 없을 정도로 보호한 경우의 보통 주거 및 사무실 건물 내부
습윤 환경	일반 옥외의 경우, 흙 속의 경우
부식성 환경	1) 습윤 환경과 비교하여 건습의 반복 작용이 많은 경우, 특히 유해한 물질을 함유한 지하수위 이하의 흙 속에 있어서 강재의 부식에 해로운 영향을 주는 경우, 동상 방지제를 사용하는 경우 2) 해양 콘크리트 구조물 중 해수 중에 있거나 극심하지 않은 해양 환경에 있는 경우(가스, 액체, 고체)
고부식성 환경	1) 강재의 부식에 현저하게 해로운 영향을 주는 경우 2) 해양 콘크리트 구조물 중 간만 조위의 영향을 받거나 비말대에 있는 경우, 극심한 해풍의 영향을 받는 경우

표 2. 허용 균열 폭 w_a (mm)

강재의 종류	강재의 부식에 대한 환경 조건			
	건조 환경	습윤 환경	부식성 환경	고부식성 환경
이형 철근	건물	0.4 mm	0.3 mm	0.004 t_c , 0.0035 t_c
	기타 구조물	0.006 t_c	0.005 t_c	
프리스트레싱 긴장재		0.005 t_c	0.004 t_c	-

* 여기서 t_c 는 최외단 철근의 표면과 콘크리트 표면 사이의 콘크리트 최소 피복 두께(mm)

표 4. 내구성에서의 허용 균열 폭

조 건	허용 균열 폭 w_a (mm)
건조 환경	0.40
습윤 환경	0.30
부식성 환경	0.20
고부식성 환경	0.15
수밀성 구조	0.10

표 5. 구조적 안전성, 내구성, 방수성 측면에서의 보수 기준

분 류	평 가	균열 폭(mm)		
		구조적 안전성 기준	내구성 기준	방수성 기준
미세 균열 (Fine)	구조적 문제는 없음 보수 불필요 균열 관찰 관리	구조적 허용 균열 폭 w_a 이하	환경 조건별 허용 균열 폭 w_a 이하	0.1 이하
중간 균열 (Medium)	구조적 문제의 검토 균열 보수 균열 부위 관찰 관리	$w_a \sim 0.5$	$w_a \sim 0.5$	0.1 ~ 0.2
대균열 (Wide)	구조 내하력 저하 구조적 검토 필요 즉각적인 균열 보수	0.5 이상	0.5 이상	0.2 이상

구조적 안전성, 내구성, 방수성을 고려한 보수 기준은 <표 5>와 같다. 대인 안전성의 문제가 있거나 기타의 경우에는 조사 자료, 원인 추정, 구조 계산에 의해 얻어진 결과를 기초로 한 전문 기술자의 판단에 따르지만, 균열로 인한 박리, 박락, 탈락의 가능성이 분명한 경우에는 보수가 필요한 것으로 판정한다.

5. 보수·보강 공법

보수·보강 공법은 균열 평가 기준 항목을 허용 기준 혹은 보수 기준과 비교하여 평가한 후 보수·보강 여부를 판정하여 시행한다. <그림 4>는 균열 평가에 의한 보수·보강 여부의 판정 흐름도를 나타낸 것이다.

5.1 보수·보강 시기의 선정

보수·보강 시기는 사용 기간에 따른 균열 및 열화의 정도에 따라 다르며, <그림 5>와 같이 보수·보강 공법의 적용 가능한 시기는 주 공법이 잠복기에 적용되며 진전기에는 주 공법의 성능을 유지하기 위해 추가적인 보조 공법의 적용이 필요하다.

5.2 보수 재료

보수 재료는 수

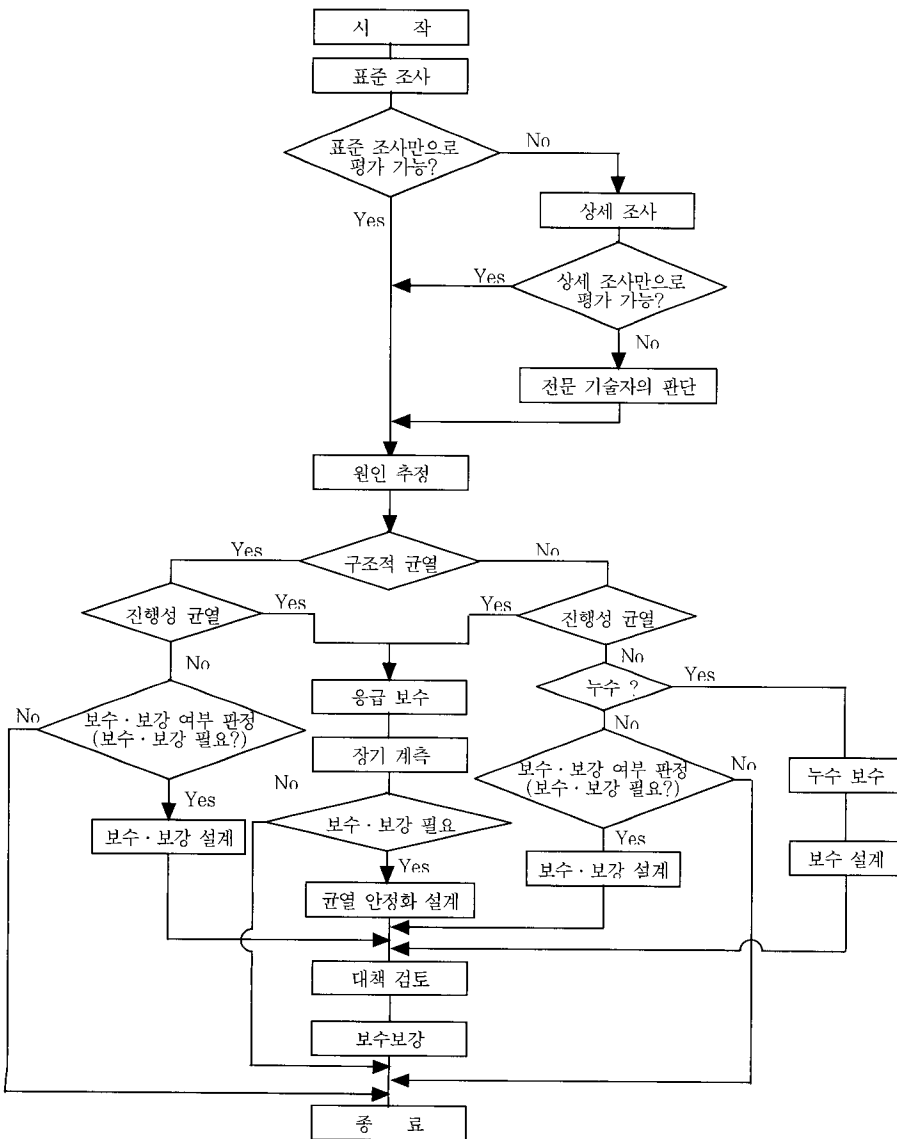
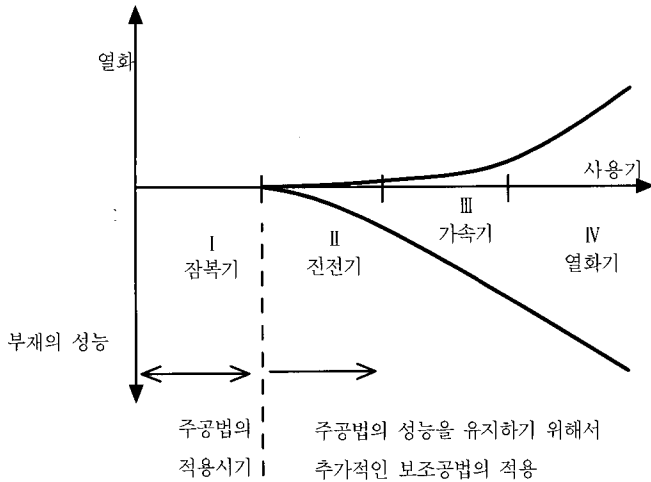


그림 4. 균열 평가에 의한 보수·보강 여부 판정 흐름도



- I(잠복기) : 콘크리트 속으로 외부염화물이온의 침입 및 철근 근방에서 부식발생 한계량까지 염화물이온이 축적되는 단계
- II(진전기) : 물과 산소의 공급하에서 계속적으로 부식이 진행되는 단계
- III(가속기) : 축방향균열발생 이후의 급속한 부식단계
- IV(열화기) : 부식량이 증가하고, 부재로서의 내하력에 영향을 미치는 단계

그림 5. 보수 공법의 적용 시기

지게 재료(폴리머 모르터, 에폭시 수지, 가요성 에폭시 수지, 탄성 실링재, 도막 탄성 방수재 등), 시멘트계 재료(폴리머 시멘트 슬러리, 폴리머 시멘트 페이스트, 폴리머 시멘트 모르터, 시멘트 충전재, 팽창 시멘트 주입재 등)가 있다.

보수 공법에는 일반적으로 표면 처리 공법, 주입 공법, 충전 공법, 기타의 공법이 있고, 공법에 따라 사용 재료가 상이하게 된다. 균열 보수에 사용되는 재료의 종류와 보수 공법 사이의 관계는 <표 6>과 같다.

표 6. 보수 재료의 종류와 보수 공법

구분	보수 재료의 종류	표면 처리 공법	주입 공법	충전 공법
수지계 재료	폴리머 모르터			○
	에폭시 수지		○	○
	가요성 에폭시 수지		○	○
	탄성 실링재	○		○
	도막 탄성 방수재	○		
시멘트계 재료	폴리머 시멘트 슬러리		○	
	폴리머 시멘트 페이스트	○		
	폴리머 시멘트 모르터			○
	시멘트 충전재	○		
	팽창 시멘트 주입재		○	

균열 충전용 에폭시 수지의 품질 기준은 <표 7>과 같다.

표 7. 균열 충전용 에폭시 수지의 품질 기준

항 목	기 준
비 중	표준치 ± 0.1
슬럼프(slump)	3 mm 이내
가열 감량	5 % 이하
인장 강도	20 kgf/cm ²
신장률	20 % 이상
인장 부착 강도	10 kgf/cm ²
파단 변형률	10 % 이상
방수성	소요값 이상

균열 폭에 알맞은 에폭시 수지 주입 재료의 품질은 <표 8>과 같고, 주입시 주입 압력은 4 kg/cm² 이하로 규정되어 있으나 실제로는 1 kg/cm² 전후가 사용된다. 최근에는 확실한 주입을 위하여 압력(21 kg/cm²의 압력까지) 주입을 하는 경우가 많다. 수지의 소요 점성도는 <표

9>와 같으며, 시공 전에 검정 시험(mock-up test)에 의해 품질과 시공 성능이 확인되어야 한다.

표 8. 에폭시 수지 주입 재료의 품질

항 목	기 준 (20℃)
비 중	1.0 ~ 1.4
점성도	10,000 cp 이하
인장 강도	100 kgf/cm ² 이상
휨 강도	150 kgf/cm ² 이상
압축 강도	400 kgf/cm ² 이상

표 9. 균열 폭에 알맞은 수지의 점성도

형 상	점성도(20℃, cp)	주입 가능한 균열 폭	
액 상	저점성도	500 ± 200	0.1 mm 전후
	고점성도	1,500 ± 500	0.2 mm 전후
겔 상태	6,000 ± 1,000	0.5 ~ 5 mm 전후	

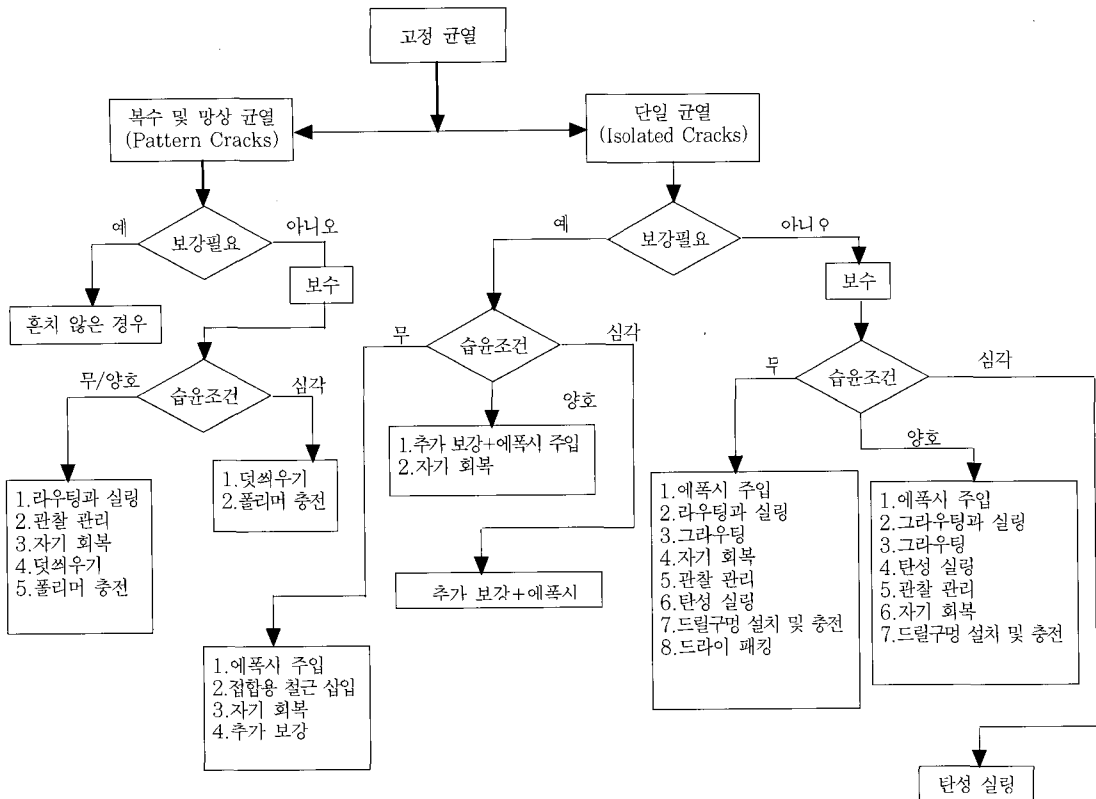


그림 6. 고정 균열의 보수·보강 공법 선정 과정

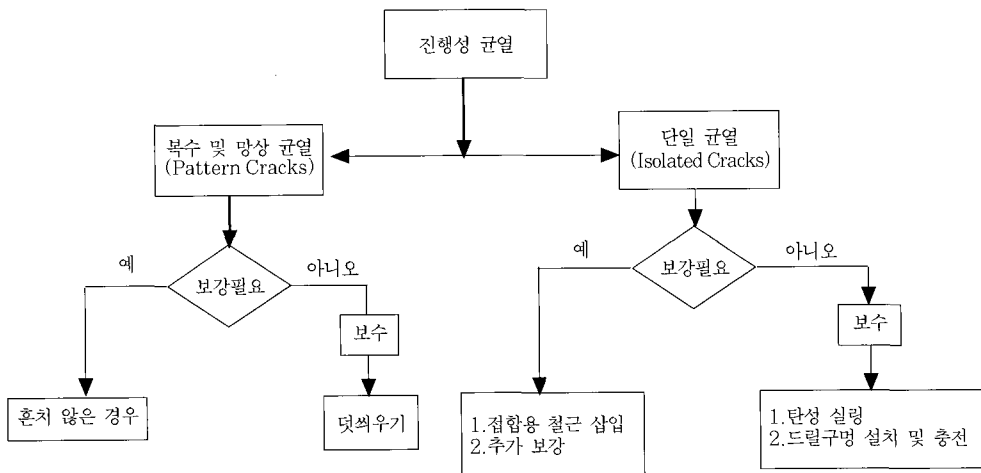


그림 7. 진행성 균열의 보수·보강 공법 선정 과정

5.3 보수·보강 공법

보수·보강 공법은 균열의 현상 및 발생 원인을

고려하여 선정하여야 하며, <그림 6, 7>은 발생한 균열을 고정 균열과 진행성 균열로 구분하였을 때 각각의 보수·보강 공법의 선정 과정을 나타낸 것이다.

5.4 보수·보강 후 평가

보수·보강 후에는 반드시 그에 대한 평가가 필요하다.

보수·보강 후 평가 기준으로는 강도와 강성, 투수성, 미관에 관한 기준이 있으며, 그에 대한 내용은 다음 <표 10>과 같다. 보수·보강 후 평가 방법은 코어 채취와 초음파 시험, 충격음법과 같은 비파괴 기법, 현장 부착 강도 시험, 하중 시험 등이 있다.

표 10. 보수·보강 후 평가 기준

평 가 기 준		
강도와 강성	투수성	미관
- 최소한 균열 깊이의 80% 이상의 주입 권장	- 완전한 방수를 위해서는 100%의 주입 요구 - 물과 기타 액체의 삼투압이 적은 경우 95% 이상의 충전이 적당 - 0.1mm 이하의 균열은 보수 불필요	- 보수는 기존 콘크리트와 어울리게 - 철근 노출, 녹물 오염 등 처리

6. 결 론

콘크리트 구조물에서 균열은 구조물에 대한 신뢰를 떨어뜨리고, 안전과 사용상의 문제를 야기할 수 있다. 또한 구조물의 성능 저하 현상으로 균열은 더욱 진전됨으로 내구성의 문제를 일으킨다, 따라서 이에 대한 총체적인 균열 체계에 대한 이해와 대책이 마련되어야 할 것이다.

본고에서는 콘크리트에 발생하는 균열의 발생 메커니즘, 발생 원인별 발생 시기 및 특징, 균열 조사 및 평가, 보수·보강 공법 및 보수·보강 후 평가에 대하여 알아보았다.

본고를 통하여 콘크리트 구조물의 균열에 대한 전반적인 이해를 돕고자 하였으며, 균열 체계에 대한 보다 포괄적인 이해와 연구가 이루어지고, 균열 발생에 따른 보수·보강 및 균열 제어를 위한 세부적인 시방이 작성되어 콘크리트 구조물의 신뢰도와 안전성을 높여야 할 것으로 생각된다. □

참고문헌

1. ACI, 1984, Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures, (ACI 224R-85), ACI Committee 224.
2. ACI, 1984, Control of Cracking in Concrete Structures, (ACI 224R-80), ACI Committee 224.
3. ACI, 1998, Concrete Repair Guide, (ACI 546R-96), ACI Committee 546.
4. Emmons, P. H., 1994, Concrete Repair and Maintenance Illustrated, R.S. MEANS COMPANY.
5. 日本コンクリート工學協會, 1987, 콘크리트의 龜裂調査, 補修·補強指針, 日本コンクリート工學協會.
6. 건설교통부, 1999, 콘크리트표준시방서.
7. 건설교통부, 1999, 콘크리트구조설계기준.
8. 김진근 외 12인, 1999, "콘크리트 구조물의 균열", 한국 콘크리트학회, 제 18회 기술강좌.
9. 시설안전기술공단, 1999, "콘크리트 구조물의 균열평가기법 및 보수·보강 전문시방서의 개발".
10. Mallick, S. K., 1995, Reinforced Concrete After Cracking, 2nd Ed., Paris, France.