

콘크리트의 균열 및 방지대책

최 재 진

〈천안공업대학 토목공학과 부교수〉

- | | |
|-------------|--------------|
| 1. 균열의 개요 | 4. 하중에 의한 균열 |
| 2. 초기균열 | 5. 균열의 평가 |
| 3. 경화 후의 균열 | 6. 균열의 보수방법 |

1. 균열의 개요

콘크리트 구조물에 발생한 균열(龜裂)은 구조물의 내력, 내구성, 방수성 및 미관 등에 악 영향을 미치기 때문에 균열은 콘크리트 구조물을 건설할 때 가장 중요한 문제이다. 콘크리트의 역학적 성질의 결점은 파괴시 변형이 압축에서 $2\sim 4\times 10^{-3}$, 인장에서 $1\sim 2\times 10^{-4}$ 정도로 작으며, 인장강도가 작고 체적변화(건조수축, 온도신축, 습도신축 등)가 큰 점 등이다. 이러한 결점은 바로 균열에 영향을 미친다.

콘크리트 균열은 콘크리트 타설 후부터 응결이 종료할 때까지 발생하는 초기균열과 경화 후에 발생하는 균열로 대별할 수 있다.

초기균열은 콘크리트 내에서의 불균등한 침

하, 콘크리트 표면에서의 급격한 수분손실, 콘크리트 표면의 경화가 진행되는 동안 내부 콘크리트의 침하가 동시에 이루어짐에 의한 균열, 거푸집 변형에 따른 균열 및 진동, 재하에 의한 균열 등으로 나눌 수 있다.

콘크리트가 경화한 후에 발생하는 균열의 종류는 건조수축에 의한 균열, 알칼리골재반응, 이상물질의 혼입, 철근의 녹 등의 화학반응에 의하여 일어나는 균열, 열응력 등 콘크리트 내외의 온도차에 의하여 생기는 균열, 구조물의 형상, 배근상의 응력집중에 기인하는 균열, 하중과다 또는 과격한 기계진동에 의한 균열, 지진 충격 등의 우발사고에 의한 균열 등으로 구분할 수 있다.

콘크리트 구조물에 일단 균열이 발생하면,

[표 1] 콘크리트 균열의 원인과 특징

균열의 원인		균열의 특징	
콘크리트의 재료적 성질에 관계된 것	시멘트의 이상응결	폭이 크며 길이가 짧은 균열이 비교적 초기에 불규칙하게 발생	
	시멘트의 이상팽창	방사형의 망상균열	
	콘크리트의 침하 및 블리딩	치기 후 1~2시간 지나 철근의 윗 부분이나 벽과 바닥의 경계선 등에 불연속적으로 발생	
	골재에 포함된 토분	콘크리트 표면의 건조에 따라 불규칙적으로 망상균열이 발생	
	시멘트의 수화열	단면이 큰 콘크리트에서 1~2주간 지나서부터 직선의 균열이 거의 같은 간격으로 규칙적으로 발생	
	콘크리트의 경화 · 건조수축	2~3개월 지나서부터 발생하며 차차 성장. 개구부와 기둥, 보에 둘러 쌓인 구석부분에는 경사지게 그리고 세장한 슬래브, 벽, 보 등에는 거의 등간격으로 수직으로 발생	
	반응성 골재와 풍화암 사용	콘크리트 내부로부터 불룩불룩하게 폭열된 모양으로 발생. 다습한 곳에 많음.	
시공에 관계된 것	장시간의 혼합	전체 면에 망상의 균열과 길이가 짧은 불규칙한 균열발생	
	펌프압송시의 시멘트량과 수량의 증량	앞의 콘크리트의 침하 및 블리딩에 의한 균열, 또는 콘크리트의 경화 · 건조수축에 의한 균열과 같은 균열이 발생	
	철근의 혼란, 철근 피복두께의 감소	바닥슬래브에서는 주변을 따라서 circle 모양으로 발생. 철근 배관의 표면에 연하여 발생	
	급속한 치기 속도	앞의 콘크리트의 침하 및 블리딩에 의한 균열, 또는 뒤의 거푸집의 배부름에 의한 균열과 같은 균열이 발생	
	불균등한 치기, 폼보	각종 균열의 기점으로 되기 쉽다.	
	거푸집의 배부름	거푸집이 이동한 방향에 평행하게 국부적으로 발생	
	시공이음처리의 불량	콘크리트 시공이음 장소나 쿨드조인트가 균열로 된다.	
	경화전의 진동과 재하	뒤의 외력에 의한 균열과 같음	
	초기양생의 불량	급격한 건조	치기직후 표면의 각 부분에 짧은 균열이 불규칙적으로 발생
		초기동결	작은 균열발생. 탈형하면 콘크리트 면이 흰빛을 띠며 떨어져 나온다.
동바리 침하	바닥과 보의 단부 윗쪽 및 중앙부 하단 등에 발생		
사용 · 환경 조건에 관계된 것	환경온도 · 습도의 변화	앞의 콘크리트의 경화 · 건조수축에 의한 균열과 유사. 발생한 균열은 온도 · 습도의 변화에 따라 변동한다.	
	콘크리트부재 양면의 온도 · 습도의 차이	저온인 쪽 또는 습도가 낮은 쪽의 표면에 경사진 방향과 직각으로 발생	
	동결융해의 반복	표면이 스케일링을 일으키며 부서부서하게 된다.	
	화재 · 표면 가열	표면전체에 거북 등 모양의 균열이 발생	
	내부철근의 녹 발생으로 인한 팽창	철근에 연하여 큰 균열이 발생. 덮개 콘크리트가 떨어져 나가거나 녹이 흘러나온다.	
	산 · 염류의 화학작용	콘크리트 표면이 침해되거나 팽창성 물질이 형성되어 전체 면에 발생	
구조 · 외력 등에 관계된 것	과하중(지진, 휨 적재하중)	휨	보와 슬래브의 인장 측에 수직으로 균열발생
		전단	기둥, 보, 벽 등에 45° 방향으로 균열이 발생
	단면 · 철근량 부족	앞의 과하중에 의한 균열과 같다. 바닥과 차양 등에서는 아래 방향으로 평행하게 발생	
	구조물의 부등침하	45° 방향으로 큰 균열이 발생	

그것이 구조물의 안전도와 사용성에 미치는 영향을 분석하여야 한다. 이를 위해서는 우선 그 균열의 정확한 원인을 규명하고, 그에 따라 적절한 대책을 강구하는 것이 바람직하다.

[표 1]은 콘크리트 균열의 원인과 그 특징을 나타낸 것이다. 그러나 균열의 원인은 복잡하며 단지 하나의 원인에 의한 것이 아닌 때가 많기 때문에 균열을 한눈에 보고서 그 원인을 정확히 아는 것은 곤란한 경우가 많다.

균열폭의 허용치는 내구성 면에서 본 경우와 방수성 면에서 본 경우에 서로 다르며 일반적으로 후자의 경우가 보다 엄격하다. 내구성으로 본 허용균열폭은 주로 철근의 녹 발생조건을 관점에서 본 환경조건에 따라 다르며 보수를 필요로 하지 않는 폭으로서 0.1~0.3mm 정도를 한계값으로 하고 있다. 0.4~1.0mm 이상이 되면 보수가 필요하다.

방수성 면에서의 허용균열폭은 보수를 필요로 하지 않는 한도로서 슬래브에서 0.05mm 이하, 외벽에서 0.15mm 정도이다. 0.2mm 이상에서는 보수를 필요로 한다.

본 고에서는 콘크리트에 발생하는 균열을 균지 않은 콘크리트와 경화한 콘크리트로 나누어 그 원인 및 대책을 검토하고, 균열의 평가

방법과 보수방법을 논하기로 한다.

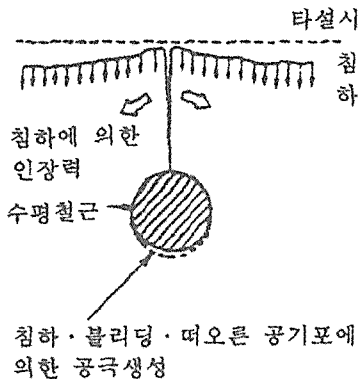
2. 초기 균열

2.1 침하에 의한 균열

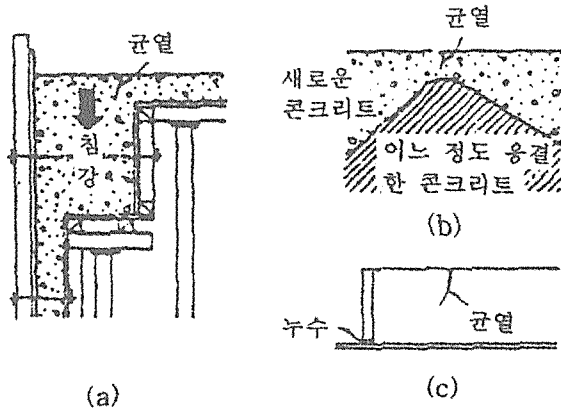
침하균열의 원인으로서, 콘크리트 타설 직후 비중이 큰 콘크리트 입자가 아래쪽으로 이동하고 물과 갇힌 공기는 부상하게 되는데 이때 콘크리트 중의 철근이나 굵은골재에 의해 자유로운 침하가 방해되어 발생하는 균열 그리고 기초의 침하, 거푸집의 팽창 또는 이동에 의해 균열이 발생하는 경우를 생각할 수 있다.

[그림 1]은 수평철근에 연하여 침하균열이 발생한 상태를 나타낸 것이며, [그림 2]는 단면의 크기가 다른 부재의 경우 또는 누수에 의해 콘크리트 침하량의 차이가 생겨 발생하는 균열을 보인 것이다.

침하에 의한 균열은 콘크리트 치기 후 1~3 시간 정도에서 보의 상단부 또는 슬래브면 등에서 철근의 위치에 따라 발생하고 균열의 깊이는 보통 철근의 위치까지 이른다. 슬래브 전면에 걸쳐서 발생하는 경우도 있는데 이러한 균열은 폭이 크고 길이가 짧으며 발생위치와



(그림 1) 침하균열 (1)



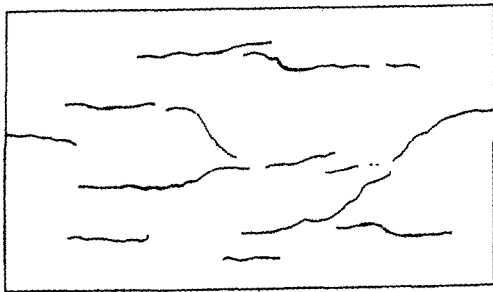
(그림 2) 침하균열 (2)

발생방향에 규칙성이 없다. 침하균열은 철근 직경이 클수록, 슬럼프가 클수록, 콘크리트 덮개가 작을수록 증가하며, 충분한 다짐을 못한 경우나 튼튼하지 못한 거푸집을 사용했을 경우에 더욱 증가된다. 따라서 침하균열을 방지하기 위한 대책으로서는 지나치게 묽은 반죽의 콘크리트는 피하는 것이 좋으며, 충분한 다짐, 기둥과 슬래브 및 보의 콘크리트 타설 사이의 충분한 시간 간격 등에 의하여 침하균열을 감소시킬 수 있다. 또한 1회의 타설높이를 작게 하고 불균등한 침하를 줄이기 위하여 동일한 반죽질기로 치는 것이 바람직하다. 기초나 기층이 콘크리트의 수분을 흡수하지 않도록 미리 물을 뿌려 습한 상태를 유지하는 등의 주의도 필요하다.

침하균열이 발생하였을 때 침하 종료단계에서 다시 표면마무리를 하여 균열을 제거하는 것도 효과적인 방법이다.

2.2 플라스틱수축균열

콘크리트 치기 시 또는 치기 직후 표면에서의 급속한 수분의 증발로 인하여 수분이 증발되는 속도가 콘크리트 표면의 블리딩 속도보다 빨라질 때, 콘크리트 표면에 미세한 균열이 생기며, 이를 플라스틱수축(plastic shrinkage)에 의한 균열이라 한다. [그림 3]은 전형적인 플라스틱수축균열의 모양을 나타



(그림 3) 플라스틱수축에 의한 균열의 예

낸 것이다.

굳지 않은 콘크리트의 건조수축은, 일반적으로 노출 면적이 넓은 슬래브와 같은 구조부재에서 타설 직후에 일어난다. 이러한 균열은 건조한 바람이나 고온 저습한 외기에 노출될 경우 일어나는 급격한 수분의 손실에 기인하며, 양생이 시작되기 전이나, 마감 직전에 주로 일어난다.

콘크리트 표면에서 수분의 증발속도는 기온, 습도, 풍속, 콘크리트의 온도 등에 의하여 영향을 받는다. 증발속도의 추정에는 [그림 4]가 좋은 참고가 되며 증발속도가 시간당 약 1 kg/m^2 에 달하면 균열발생의 위험성이 있다.

콘크리트 표면에서의 급속한 수분 손실로 인한 균열을 방지하기 위한 방법으로서는 다음과 같은 조치가 효과적이다.

① 기온이 높을 경우 콘크리트의 온도를 낮출 것 ... 혼합수의 온도를 낮추고 골재를 시트 등으로 덮어 직사광선을 막으며 물을 뿌린다. 거푸집과 콘크리트를 치는 기층 부분을 그늘지게 하며 신선한 시간을 선택하여 치기를 한다.

② 콘크리트 표면에서 풍속을 줄일 것 ... 바람막이 벽을 설치하고 가능하다면 벽이 축조된 후 바닥 콘크리트를 친다.

③ 콘크리트 표면의 습도를 높일 것 ... 콘크리트 표면에 분무 또는 덮개를 씌우며 콘크리트 표면에 양생제를 살포한다.

2.3 거푸집 변화에 의한 균열

콘크리트가 점차로 유동성을 잃고 굳어져 가는 시점에서 거푸집 간결 철물의 부족, 동바리의 부적절한 설치에 의한 부등침하 및 콘크리트의 측압에 따른 거푸집의 변형 등에 의해 발생하며, 콘크리트의 소성변형 저항능력 보다 외력에 의한 변형이 크게 되면 균열을 일으킨다.

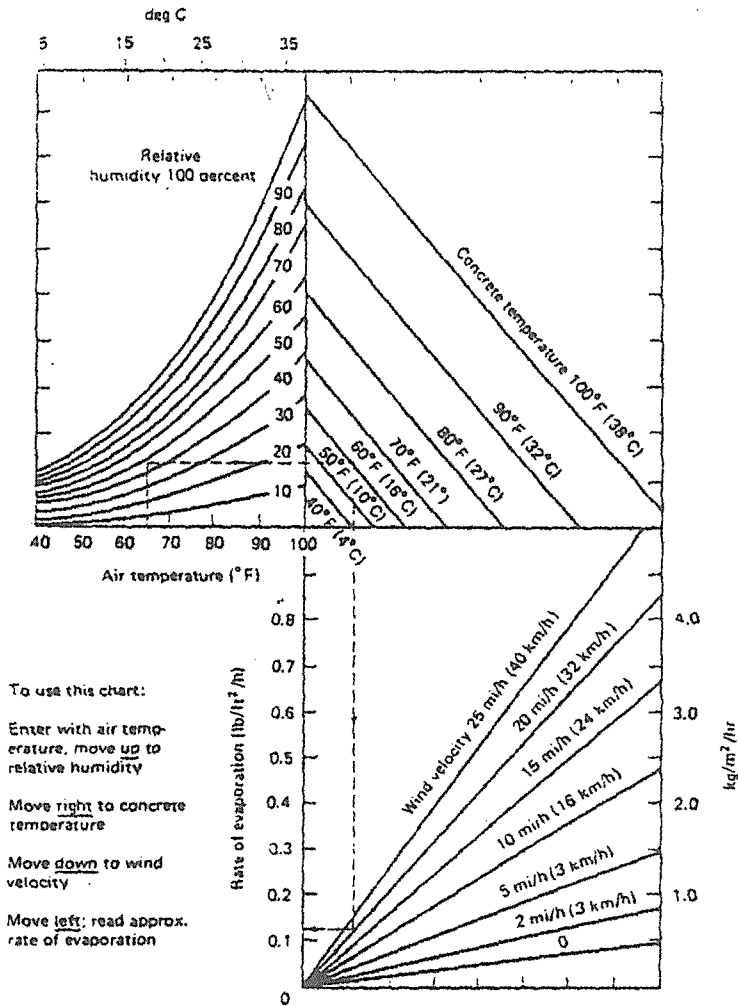
2.4 기타 원인에 의한 초기 균열

레미콘의 균열발생 빈도가 현장혼합 콘크리트와 비교하여 크다고 하는 이야기가 있다. 콘크리트의 혼합시간과 초기균열과의 관계를 시험한 결과인 (그림 7)에서도 어느 정도 이 사실을 뒷받침해 주고 있다.

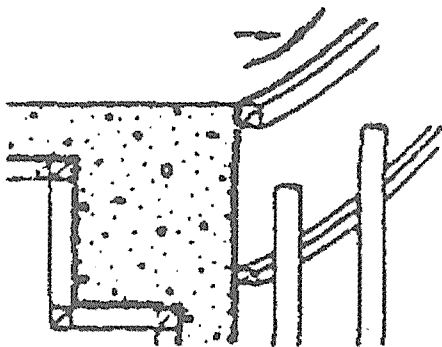
이 그림을 보면 혼합시간이 길 경우 초기수축도가 크게 되는 경향이 있어서 레미콘 운반시간의 단축은 초기수축균열의 방지에 도움이 될 것으로 생각된다.

초기에 발생하는 균열은 앞에서 열거한 원인 이외에도 시멘트의 이상응결, 이상팽창에 의한 경우와 콘크리트의 표면마무리를 부적당하게 실시함에 의한 망상균열(craze crack) 등이 있다.

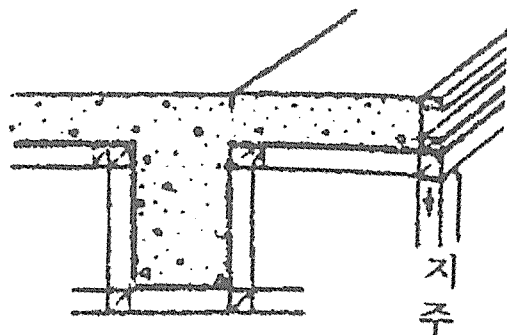
시멘트의 이상응결에 의



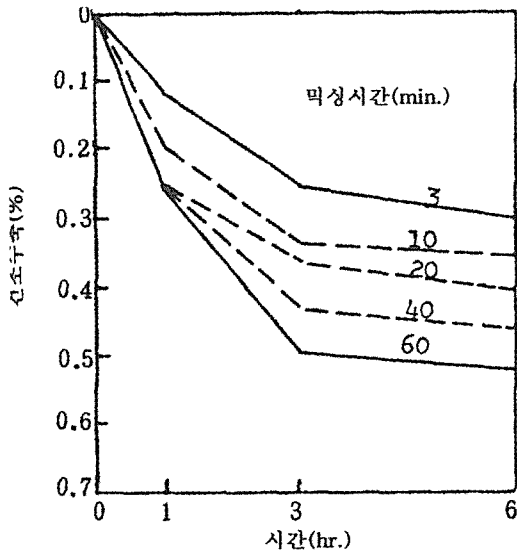
(그림 4) 콘크리트 표면에서의 수분증발 속도의 추정을 위한 참고도



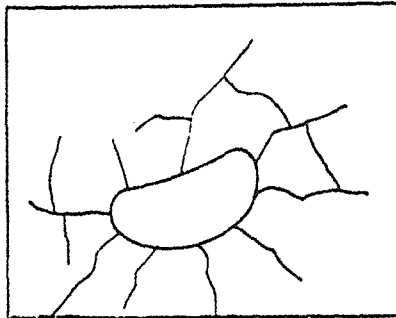
(그림 5) 거푸집 변형에 따른 균열



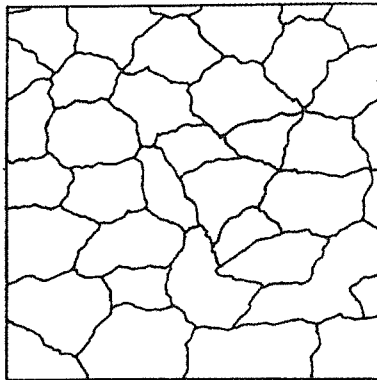
(그림 6) 동바리의 침하에 따른 균열



(그림 7) 혼합시간과 초기수축도의 관계



(그림 8) 팽창성의 균열



(그림 9) 망상균열의 예

한 균열은 방향성이 없고 폭이 크며 길이가 짧은 것이 특징이며, 혼합 후 30분~1시간 정도에서 발생되므로 재다짐 등을 실시함으로써 어느 정도 방지할 수 있다. 그리고 성분상으로 불안정한 시멘트는 경화의 초기단계에 이상팽창을 일으켜 [그림 8]과 같은 짧고 불규칙한 균열이 방사선 방향으로 나타난다.

한편 대표적인 망상균열은 초기재령에서 [그림 9]와 같은 모양으로 발생하며 그 일차적인 원인은 부적당한 표면마무리에 의해 생긴다. 그래서 콘크리트의 표면마무리 작업이 지나치면 오히려 유해하므로 표면마무리 작업은 적절한 범위에서 빨리 끝내는 것이 바람직하다.

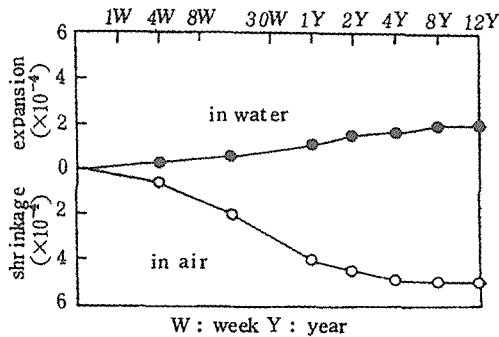
콘크리트 타설을 완료할 즈음에 근처에서 말뚝을 박거나 기계류 등의 진동이 원인이 되어 균열이 발생하는 경우도 있다. 초기재령에서 재하하게 되면 지보공의 변형, 침하 등에 따라서 균열을 일으키는 경우가 있기 때문에 주의해야 한다.

3. 경화 후의 균열

3.1 건조수축에 의한 균열

건조수축으로 인한 균열은 현장에서 실제 구조물에 발생하는 활률이 가장 많으며, 구조물의 성능을 저하시킨다.

콘크리트의 구조물은 기초나 다른 구조요소 또는 콘크리트내의 보강철근 등에 의해 구속을 받게 된다. 이러한 수축작용의 구속은 인장응력을 유발시키며, 이 인장응력이 콘크리트의 인장강도에 도달할 때 콘크리트에는 균열이 발생한다. 또한 콘크리트 슬래브 등 부재의 단면 내에서도 표면은 건조수축이 크고 내부는 그 수축량이 작으므로 표면의 건조수축을 구속하게 된다. 따라서 표면에 인장응력이 유발되어 표면균열 발생의 요인이 된다. 표면에



(그림 10) 장기재령에서의 콘크리트의 길이변화

생기는 이러한 균열은 초기에는 콘크리트 내부로는 관입되지 않으나, 계속적인 건조현상이 진행됨에 따라 콘크리트부재 내부로 깊숙이 전파될 수 있다.

경화한 콘크리트는 건조하면 [그림 10]과 같이 0.05% 정도 수축하며 단위수량이 큰 콘크리트는 더 많이 수축한다.

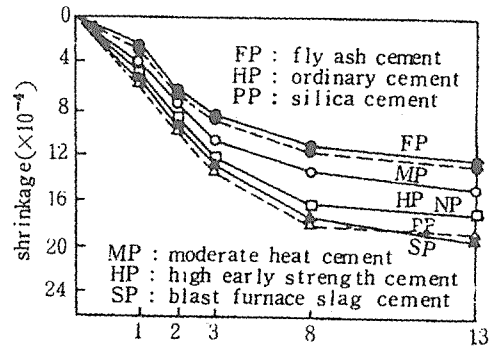
콘크리트의 건조수축에 의한 균열은 콘크리트 치기 후 2, 3개월 정도에서부터 조건에 따라서는 상당한 기간에 걸쳐 계속 진행된다. 균열의 폭은 0.05~0.5mm 정도가 많지만 경우에 따라서는 1~3mm에 달하는 것도 있다.

콘크리트의 건조수축은 시멘트의 종류, 골재, 배합, 혼화제, 양생 조건 등에 따라 달라지며 시멘트의 영향으로서 일반적으로 시멘트의 분말도가 크게 되면 수축이 증대되는 경향이 있다. 시멘트의 종류에 따라 배합비 1 : 2의 모르타르로 길이변화를 실험한 예가 [그림 11]이며 이 그림에서 시멘트의 종류와 수축률과의 관계로부터 균열에 미치는 영향을 짐작할 수 있다.

한편 Gonnerman에 의하면 시멘트를 구성하는 제 광물의 양을 알면 시멘트의 수축량은 다음 식에 의해 구할 수 있다고 한다.

$$\text{시멘트의 수축량} = 0.25 C_3S + 0.16 C_2S + 1.03 C_3A + 0.28 C_4AF$$

콘크리트의 수축에 영향을 미치는 요인 중에서 단위수량과 단위시멘트량은 매우 중요한



(그림 11) 각종 시멘트를 사용한 모르타르의 길이변화

데 이 두 요인 중에서는 단위수량의 영향이 보다 크며 건조수축률과의 관계는 다음의 실용적인 식으로 표현할 수 있다.

$$S = pC + qW$$

여기서 S : 콘크리트의 건조수축률($\times 10^{-6}$)

C : 단위시멘트량(kg/m^3)

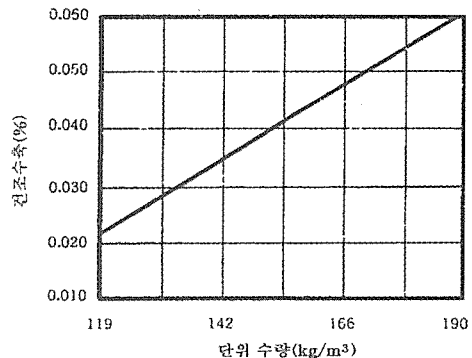
W : 단위수량 (kg/m^3)

이 식에서 p 및 q의 값을 [표 2]와 같이 제안되고 있다.

(표 2) 계수 p와 q의 값

건조기간*	시멘트			
	계수	보통	조 강	중용열
31주간	p	0.1	-0.3	0.0
	q	4.6	4.9	4.3
최종	p	0.1	-0.5	0.0
	q	5.3	5.9	4.9

주) *표 : 건조조건은 온도 20℃, 습도 55%



(그림 12) 단위수량이 건조수축에 미치는 영향

혼화제의 영향으로서 AE제를 사용하여 콘크리트중의 공기량을 증가시키면 수축량은 증가하지만 실제로 공기량의 증가에 따라 단위수량을 감소시킬 수 있기 때문에 AE콘크리트의 수축량은 AE제를 사용하지 않은 콘크리트와 거의 차이가 없다.

감수제는 그 분산효과에 의해 단위수량을 감소시킬 수 있기 때문에 수축도 적을 것으로 생각되나 성분에 따라 콘크리트의 수축량이 증가되는 것도 있기 때문에 충분한 검토가 필요하다.

또한 응결축진제에 속하는 염화칼슘을 사용하면 수축량이 증가하며 많은 양을 사용할 경우에는 이를 사용하지 않은 콘크리트보다 몇 배로 수축량이 크게 될 위험성이 있다.

한편 건조수축으로 인한 균열은 수축조인트를 적절히 배치하고 철근을 적절히 배치함으로써 제어할 수 있으며, 건조수축을 보상할 수 있는 시멘트의 사용에 의해 건조수축을 제어할 수도 있다.

3.2 열응력에 의한 균열

시멘트의 수화는 발열을 수반하는 화학반응이기 때문에 콘크리트는 경화과정에서 온도상승을 일으킨다. 온도상승은 강도발현을 비롯

해서 콘크리트의 제 성질에 영향을 미치며 또한 균열발생의 원인이 된다. 온도상승에 의한 균열을 온도균열이라고 하며 온도 강하시에 발생하는 수축이 구속되어 발생하는 인장응력, 단면내의 온도차에 의한 인장응력 등이 원인이 되어 생기는 것이며 온도상승 외에 구속의 정도에 큰 영향을 받는다.

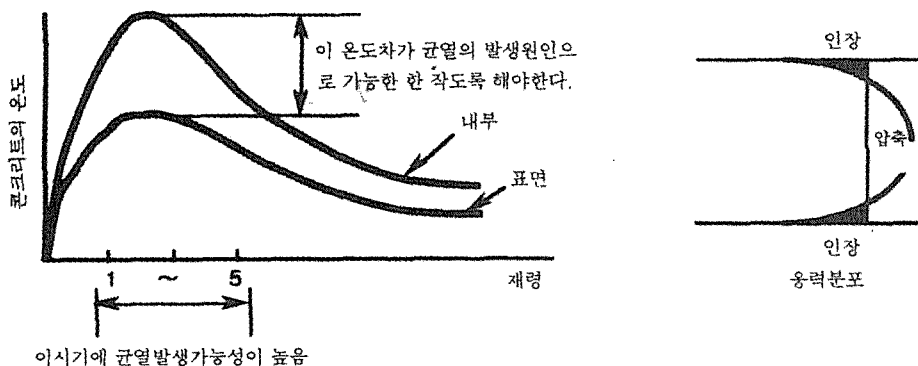
마스콘크리트로 다루어야 하는 구조물의 부재치수는 일반적인 표준으로서 넓이가 넓은 슬래브에서는 두께 80cm 이상, 하단이 구속된 벽에서는 두께 50cm 이상이다.

3.2.1 온도균열의 구분

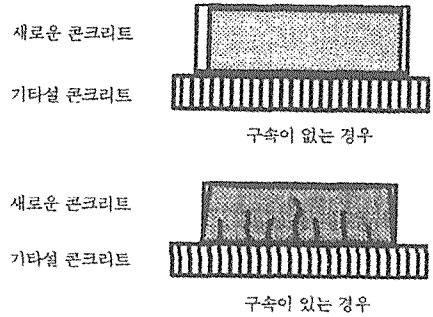
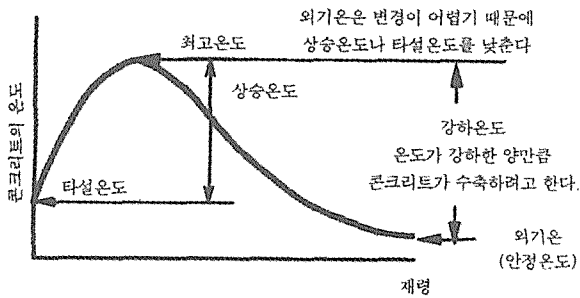
마스콘크리트의 온도균열 발생 원인은 내부구속에 의한 것과 외부구속에 의한 것의 두 가지로 나눌 수 있다.

(1) 내부구속응력에 의한 균열

내부구속균열은 콘크리트의 내부와 표면과의 온도가 다른 것에 의해 생기는 것이다. [그림 13]에서 보는 바와 같이 상대적으로 온도가 낮은 표면부분의 콘크리트가 수축하려고 하는 것을 온도가 높은 내부의 콘크리트가 구속하여 표면부에 인장응력이 작용하고, 균열이 발생하게 되는 것이다. 표면과 내부의 온도차는 콘크리트 내부온도가 피크에 달하였을 때 최



(그림 13) 내부구속응력의 발생기구



(그림 14) 외부구속응력의 발생기구

대가 되는 경우가 많으며, 균열은 콘크리트 온도가 최대가 되는 재령 1일~5일 또는 거푸집의 해체 직후에 생기기 쉽다.

균열폭은 0.1~0.3mm 정도로서 규칙성은 없고, 또 단면을 관통하지 않는다. 그러나 내부구속에 의해 표면에 발생한 균열이 건조수축이나 외부구속에 의해 커다란 관통 균열로 진전되기도 하기 때문에 주의가 필요하다.

(2) 외부구속응력에 의한 균열

외부구속에 의한 균열은 지반 또는 기타설한 콘크리트에 의해 구속되어 발생한다. 그림 14에 나타낸 바와 같이 타설된 콘크리트는 온도가 최고치에 도달한 후에 최종적으로 외기온과 같을 때까지 온도가 내려간다. 이 온도강하에 의해, 콘크리트의 체적은 수축하지만, 이것이 하층의 콘크리트 혹은 지반에 구속되어, 외부구속균열이 발생하게 되는 것이다.

외부구속균열은 균열의 폭이 0.2~0.5mm, 혹은 그 이상이 되고 많은 경우에는 세로로 크게 뻗은 관통균열이 되기도 한다.

3.2.2 온도균열의 제어

(1) 온도균열의 제어

매스콘크리트에서는 구조물에 필요한 기능 및 품질을 손상시키지 않도록 온도균열을 제어하기 위해 적절한 콘크리트의 품질 및 시공

방법의 선정이 필요하다.

시멘트, 혼화재료, 골재 등을 포함한 재료 및 배합의 적절한 선정, 블럭분할과 이음위치, 콘크리트 타설속도의 조절, 치기의 시간간격의 선정, 거푸집의 재료와 구조, 콘크리트의 냉각, 양생 방법의 선정 등 시공 전반에 걸친 검토가 필요하다.

온도상승에 의한 균열을 방지하기 위해서는 중용열포틀랜드시멘트 또는 저발열시멘트를 사용하거나, 플라이 애시 등의 혼화재를 사용하고, 굵은골재 최대치수를 가능한 크게 하여 단위시멘트량을 감소시킨다. 또 구조물의 종류에 따라서는 균열유발줄눈)으로 균열발생위치를 제어하는 것이 효과적인 경우도 있다. 그 밖의 균열방지 및 제어방법으로는 콘크리트의 프리쿨링(pre-cooling), 파이프쿨링(pipe-cooling) 등에 의한 온도저하 또는 제어방법, 팽창콘크리트의 사용에 의한 균열방지방법 또는 균열제어철근의 배치에 의한 방법 등이 있는데, 그 효과와 경제성을 종합적으로 판단해야 한다.

(2) 균열유발줄눈

온도균열을 제어하기 위하여 균열유발줄눈을 둘 경우에는 구조물의 길이 방향에 일정 간격으로 단면감소부분을 만들어 그 부분에 균열을 유발시켜 기타 부분에서의 균열발생을

방지함과 동시에 균열 개소에서의 사후 조치를 쉽게 하는 방법이 있다. 예정 개소에 균열을 확실하게 유도하기 위해서는 균열유발줄눈의 단면 감소율을 20%이상으로 해야 한다.

균열유발줄눈의 간격은 4~5m정도를 기준으로 하지만, 필요한 간격은 구조물의 치수, 철근량, 치기온도, 치기방법 등에 의해 큰 영향을 받으므로 이들을 고려하여 정할 필요가 있다. 균열유발부의 누수, 철근의 부식 등을 방지하기 위해서는 적당한 보수를 해야 한다. 균열유발줄눈의 설치는 비교적 쉽게 균열을 제어할 수 있는 방법이나, 구조상의 취약부가 되지 않도록 구조형식 및 위치 등을 선정하는 것이 중요하다.

4. 하중에 의한 균열

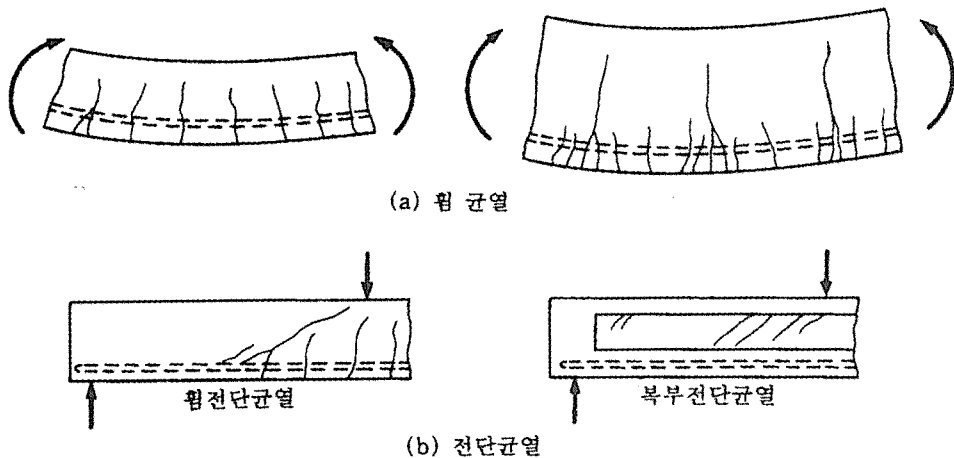
허용응력설계법에 의하여 낮은 철근응력으로 설계된 종래의 구조물에서는 휨균열이 문제시되지 않았다. 그러나 근래에 와서 고강도 철근을 사용하는 경향이 늘어나고, 또 설계법이 정밀해짐에 따라 균열이 문제로 등장하고 있다. 3000kgf/cm² 이상의 항복강도를 가지

는 철근을 사용할 경우, 휨부재의 인장측 콘크리트에 일어나는 균열에 대하여 과거보다는 신중하게 대처할 필요가 있다. 이러한 균열은 외관상 좋지 않을 뿐 아니라, 폭이 큰 균열은 철근을 부식시켜 구조물의 내구성을 저하시킨다. 그러므로 구조물의 내구성을 위해서는 폭이 큰 몇 개의 균열보다는 많은 수의 미세한 균열이 바람직하다.

하중에 의해 일어나는 균열에는 휨균열, 휨전단균열, 전단균열, 비틀림균열, 부착균열 및 집중하중으로 인한 균열 등이 있다.

잘 설계된 보에서 휨균열은 육안으로 볼 수 없는 실균열이며 사용하중 하에서 최대균열폭은 0.25mm 정도이다. 하중이 균열하중을 넘어 점차로 증가하면 균열의 수와 폭이 증가한다. 이렇게 발전된 균열은 중립축 쪽으로 진행된다. 전단으로 인한 균열은 경사진 형태를 나타낸다. 이 전단균열은 중립축의 높이 만큼 위쪽으로 진행되며, 때로는 압축구역으로 발전한다. 비틀림에 의한 균열도 전단의 경우와 비슷하며, 부착균열은 활렬(split)을 유발한다.

집중하중은 때로 활렬균열(splitting crack) 또는 파열균열(bursting crack)을



[그림 15] 휨균열과 전단균열

일으키는 수가 있다. 이러한 균열은 특히 포스트텐션 방식의 PC보의 정착부 근처에서 종종 볼 수 있다.

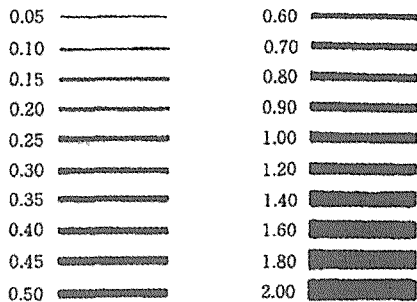
5. 균열의 평가

균열로 손상된 건물에 대하여서는 보수에 앞서 균열의 위치와 크기, 발생원인 등을 조사하여 구조 안전성에 관련된 평가를 하며, 건물에 생긴 균열이 구조체의 강도, 강성 및 내구성을 현저하게 저해하는 경우에는 보수 방안을 강구하여야 한다. 이외에도 건물의 외관이나 기능 면에서 결함으로 인하여 보수하게 되는 경우도 있다.

5.1 균열의 검사

(1) 육안 검사

균열이 생긴 부위를 육안으로 검사하여 균열 폭과 길이, 방향, 발전 경로 등을 조사하여 구조체에 표시하고 그 부위를 스케치와 함께 사진을 찍어 둔다. 균열 폭의 측정에는 [그림 16]과 같은 균열 측정용 스케일이나 휴대용 균열폭 측정기를 사용하면 0.0025~0.05mm의 균열 폭까지 측정할 수 있다.



(a) 균열 스케일

(2) 비파괴 검사

콘크리트의 균열 조사에는 초음파 탐사법이 많이 사용되고 있다. 이러한 방법으로 많이 사용되는 것은 공진법(resonance method)과 펄스 반사법(pulse reflection method) 및 음향 방사법(acoustic emission method) 등이 있다. 이러한 방법에 사용되는 기기들은 비교적 설치가 간단하여 사용하기가 편리하나, 정확한 판단을 위해서는 경험을 필요로 한다. 이밖에 방사선이 물체를 통과하는 성질을 이용한 방사선 탐사법이 있다.

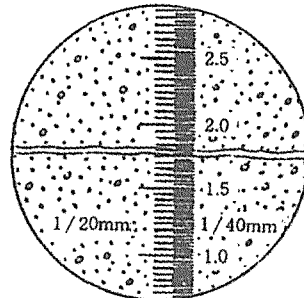
(3) 코아 검사

의심이 가는 부분의 코아를 채취하여 결함을 알아내거나 균열의 크기 및 균열의 깊이 등을 비교적 정확하게 조사할 수 있다.

콘크리트의 코아시험은 균열조사 뿐 아니라 콘크리트 강도, 피복두께, 철근 배근 상태, 콘크리트의 중성화 두께 등을 조사하는데 가장 신뢰도가 높은 조사 방법이다.

5.2 균열의 평가

균열은 경화된 콘크리트가 과중한 힘을 받아 고유의 저항력 부족으로 발생하는 경우도 있으나, 외력이 작용하기 이전에 가소상태의



(b) 현미경에 의한 균열조사

[그림 16] 균열조사 기구

경화중인 콘크리트에서 외부에 대응하여 생기는 콘크리트 구성재료의 내부응력에 의해서도 발생한다.

구조물에 생긴 균열에 대해서는 그 균열이 구조내력, 기능, 외관 등에 미치는 영향에 대하여 합리적인 평가가 선행된 뒤에 보수 대책이 강구되어야 한다.

(1) 하중에 의한 균열

구조체가 가지고 있는 고유 저항력의 부족으로 생기는 균열은 구조체의 안전에 심각한 우려를 주는 것이므로, 이에 대한 적절한 평가와 함께 시급한 보수대책이 세워져야 한다.

휨인장균열은 휨재인 보나 슬래브에 발생하며, 균열 폭은 인장철근의 응력, 피복두께 및 철근량의 영향을 받는다. 균열 폭의 계산에 실용적으로 많이 사용되는 식은 Gergely - Lutz가 제안하여 ACI 224와 우리나라의 콘크리트구조설계기준에 채택된 식으로, 휨균열 폭은 다음과 같이 계산된다.

$$w=1.08 \beta_c f_s \sqrt{dc} A \times 10^{-5} \text{ (mm)}$$

이 식에서 β_c 는 중립축에서 인장철근 도심까지의 거리에 대한 중립축에서 인장축 최외단까지의 거리의 비로, 보통 보에 대하여 1.2, 슬래브에 대하여 1.35의 값이며, f_s 는 사용하중에 의해 계산된 철근의 인장응력(kgf/cm²) 이고, dc 는 인장축 최외단에 가장 가까운 인장철근의 도심으로부터 인장축 최외단까지의 거

리(cm), A는 중심을 인장철근의 도심으로 한 콘크리트의 인장축 단면적을 철근 개수로 나눈 값(cm²)이다.

구조물 수명 동안에 발생된 균열에 의해 내구성이 저하되어서는 안 된다. 콘크리트 내에 묻혀있는 철근의 부식은 주로 균열에 의한다. 폭이 큰 균열 사이로 물, 유해물질, 산소 등이 침투하여 철근을 부식시킨다. 지금까지의 연구에 의하면 균열이 있는 부재는 없는 부재에 비해 훨씬 부식이 심하다고 보고되었으며, 특히 균열폭의 크기에 부식의 정도가 민감하다고 알려져 있다. 이 때문에 구조물의 내구성을 증대시키기 위해서는 폭이 크고 적은 수의 균열보다는 폭이 작은 많은 수의 균열이 발생되는 것이 바람직하다. 더욱이 철근 부식은 주변환경여건에 따라 크게 다르기 때문에 각 나라 시방서는 주변환경조건에 따라 허용 균열폭을 다르게 제한하고 있다.

콘크리트구조설계기준에서는 콘크리트 구조물 설계시 균열제어에 적용될 수 있는 기준으로 철근부식환경을 건조 환경, 습윤 환경, 부식성 환경 및 고부식성 환경 등 4종류로 구분하여 각각의 허용균열폭을 [표 3]과 같이 정하고 있다.

(2) 열응력에 의한 균열

매스콘크리트의 온도균열 발생에 대한 검토는 실적에 의한 평가와 온도균열지수에 의한 평가 중 어느 한 방법을 선택하여 실시한다.

균열발생에 대한 안정성의 척도를 온도균열

[표 3] 허용균열폭 (mm)

강재의 종류		강재의 부식에 대한 환경조건			
		건조 환경	습윤 환경	부식성 환경	고부식성 환경
철근	건 물	0.4mm	0.3mm	0.004t	0.0035t
	긴타 구조물	0.006t _c	0.005t _c		
프리스트레싱 긴장재		0.005t _c	0.004t _c	-	-

여기서 t_c는 최외단 철근의 표면과 콘크리트 표면 사이의 콘크리트 최소 피복두께(mm)

지수라고 하며, 정밀한 해석방법으로는 원칙적으로 콘크리트의 인장강도와 온도응력의 비율로서 온도균열지수를 구한다.

$$\text{온도균열지수 } I_{cr}(t) = f_t(t) / f_k(t)$$

$f_k(t)$: 재령 t 일에서의 수화열에 의하여 생긴 부재 내부의 온도응력 최대값

$f_t(t)$: 재령 t 일에서의 콘크리트의 인장강도로서, 재령 및 양생온도를 고려하여 구함.

온도균열지수는 구조물의 중요도, 기능, 환경조건 등에 대응할 수 있도록 선정되어야 하며, 일반적인 철근이 배치된 구조물에서의 표준적인 온도균열지수의 값은 다음과 같다.

- 균열을 방지할 경우 : 1.5이상
- 균열 발생을 제한할 경우 : 1.2이상 1.5미만
- 유해한 균열 발생을 제한할 경우 : 0.7이상 1.2미만

(3) 수밀성에 영향을 주는 균열

물, 가스와 기름 등을 차폐시켜야 할 콘크리트구조물에서 균열을 통한 유출 가능성을 검토해야 한다. 콘크리트구조설계기준에서는 물을 저장하는 수조 등과 같은 구조의 허용균열 폭은 0.1mm로 하여야 한다고 규정하고 있다.

연구결과에 의하면 재령이 많지 않은 콘크리트 구조체로서 압축력을 받는 경우 0.2mm 이하의 균열은 자생적으로 봉합되기 때문에 물이 새더라도 수일 내에 멈추는 것으로 되어 있다. 그러나 봉합기간 중 이동이 생기거나 물이 너무 많이 새면 자생봉합은 생기지 않는다.

(4) 건물의 외관에 영향을 주는 균열

강도나 기능상의 문제 이외에도 균열은 건물의 외관에 흠을 내어 사용자에게 심리적인 부담을 준다. 건물에 생긴 균열은 건물의 안전에 이상이 있다는 경고이기 때문에 사용자에게 불안감과 함께, 조잡한 시공의 인상을 준

다. 그러나 외관과 관련하여 어느 정도의 균열 폭이 수용가능한 하는 것은 객관적인 기준이 없고, 건물의 품격과 보는 사람의 위치에 따라 다르기 때문에 합리적인 기준을 정하기 어렵다. 최근에 조사된 결과에 의하면 0.25~0.3mm보다 큰 폭을 갖는 균열은 사람들을 불안하게 한다고 한다. 그러나 심미적 관점에서의 한계균열폭은 콘크리트 표면상태 또는 위치 등 여러 요인에 의해 달라질 것이다.

6. 균열의 보수방법

6.1 개요

균열 보수의 목적은 균열에 의한 콘크리트 구조물의 기능저하나 내구성 저하를 회복시키는 일이다. 그러기 위해서는 균열조사의 결과를 토대로 균열의 상황을 충분히 파악하고 보수의 목적에 가장 적합한 보수방법을 선정하는 일이 중요하다.

균열 보수는 주로 방수성, 내구성의 회복을 목적으로 행하는 경우 외에, 대인 안정성, 미관 면에서 행하는 일도 있다. 보수의 범위·보수규모 등은 보수 목적을 만족하는 범위에서 경제성을 고려하여 결정할 필요가 있다. 또한 균열보수를 한 뒤에도 다시 균열이 발생하는 경우가 있는데, 이러한 경우에는 보수재료, 보수공법의 선정 잘못 외에 구조적인 결함이 포함되는 일이 많다. 구조적인 결함에 대해서는 간단하게 균열을 보수만 해서는 불충분하므로 보강을 병용하여야 한다. 보수공법 선정에 있어서는 균열의 현상 및 발생원인에 따라서 [표 4]를 참고하면 좋다. 또 염분환경하 등의 가혹한 조건인 경우에는 일반환경 하에서 이용하는 재료·공법보다 더 상위 레벨의 것을 선정하는 것이 바람직하다.

6.2 보수공법

균열의 보수공법에는 표면처리공법, 주입공법, 충전공법 및 그 밖의 공법이 있으며, 보수재료에는 수지계 재료와 시멘트계 재료가 있다. 수지계 재료는 접착성과 내구성이 좋으며, 시멘트계 재료는 체적변화가 적고 시공성과 내구성이 좋다.

(1) 표면처리공법

미세한 균열(일반적으로 폭 0.2mm이하) 위에 도막을 구성하여 방수성, 내구성을 향상시킬 목적으로 행하는 공법으로, 균열부분만을 피복하는 방법이 있다.

이 공법은 균열 내부의 처치를 할 수 없다는 점이나 균열이 활성화 될 시에는 균열이 진행

되는 점 등의 결점이 있다.

표면처리공법에 쓰이는 재료는 보수목적이 나 그 구조물의 환경에 따라 다른데, 일반적으로는 도막탄성 방수재, 폴리머 시멘트풀, 시멘트 필러 등이 이용된다.

시공에 있어서는 우선 콘크리트 표면을 wire brush 등으로 문질러 거칠게 함과 동시에 표면의 부착물을 제거하고 물 세척 등으로 청소한 후 충분히 건조시킨다. 이어서 콘크리트 표면의 기공 등을 수지로 충전하고 그 뒤 적절한 보수재료로 균열부분을 씌운다. 이 공법은 균열표면의 보수, 피복재의 두께가 작으므로 특별히 시간경과에 따른 열화에 대한 주의가 필요하다. 또 보수재료에 따라서는 마무리재와의 접착력이 적은 것, 색상 차이·열룩 등이 생기기 쉬운 것도 있으므로 주의해야 한다.

(표 4) 균열에 따른 보수공법의 분류

보수 목적	균열현상 · 원인		균열폭* (mm)	보수 공법**				
				표면 처리 공법	주입 공법	충전 공법	그 밖의 공법	
							침투성 방수제 도포공법	기 타
방수성	철근이 부식되지 않은 경우	균열폭의 변동이 작음	0.2이하	○	△		○	
			0.2~1	△	○	○		
		균열폭의 변동이 큼	0.2이하	△	△		○	
내구성	철근이 부식되지 않은 경우	균열폭의 변동이 작음	0.2이하	○	△	△		
			0.2~1	△	○	○		
			1이상		△	○		
		균열폭의 변동이 큼	0.2이하	△	△	△		
		0.2~1	△	○	○			
		1이상		△	○			
	철근 부식		-			○		
염해		-					●	
반응성골재		-					●	

* 균열폭 3.0mm이상의 균열은 구조적인 결함을 수반하는 일이 많으므로 여기에 표시하는 보수공법 뿐만 아니라, 구조내력의 보강을 포함하여 실시하는 것이 보통이다.

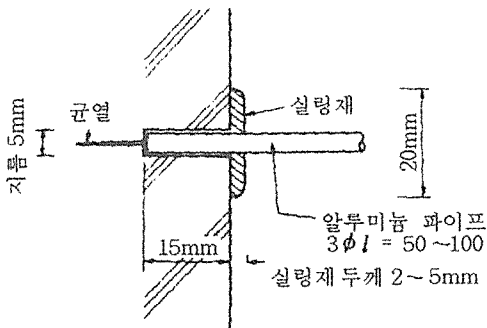
** ○표는 적당하다고 생각되는 공법, △는 조건에 따라서 적당하다고 생각되는 공법. ●표는 연구단계에 있는 공법

(2) 주입공법

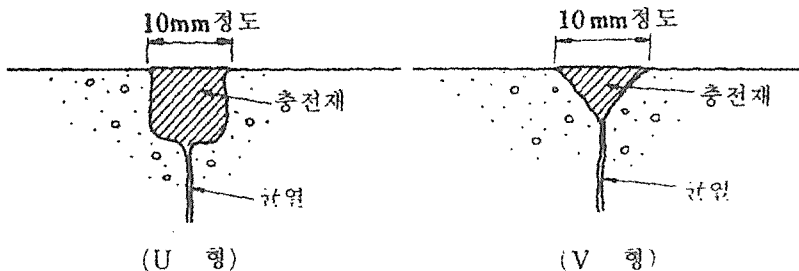
이 공법은 균열에 수지계 혹은 시멘트계의 재료를 주입하여 방수성, 내구성을 향상시키는 것이다.

주입공법의 주류는 에폭시수지 주입공법으로, 종래에는 수동이나 발로 밟는 식의 기계주입방식으로 행하였다. 그러나 이러한 방법으로는 주입량의 확인이 안 된다는 점, 관통하지 않은 균열에서는 재료를 속 깊이까지 주입하기가 곤란한 점 및 주입압력이 너무 높으면 균열을 확대시키는 것 등의 문제가 있었으나, 최근에는 저압 저속의 주입공법이 여러 가지 고안되고 있다. 주입공법에 따른 보수방법의 한 예를 [그림 17]에 제시하였다.

저압저속의 주입공법은 주입량 점점이 용이하고 또 균열속 깊이까지 주입할 수 있는 특징을 지니고 있다.



[그림 17] 주입공법의 일례



[그림 18] 철근이 부식되지 않은 경우의 충전공법

에폭시수지 주입공법의 채택에 있어서는 시공기에 따른 사용가능시간 및 균열폭에 따라 알맞은 점도를 갖는 재료를 선정하는 일이 중요하다. 에폭시수지의 점성에 따라서는 대상으로 하는 균열에 충분히 주입할 수 없는 경우가 있으므로 주의를 요한다.

에폭시수지에 대해 용제량을 많게 하는 것은 점성을 작게 하고, 시공을 용이하게 하나 접착력의 저하를 가져와 소기의 목적을 달성할 수 없는 경우가 있어 주의해야 한다.

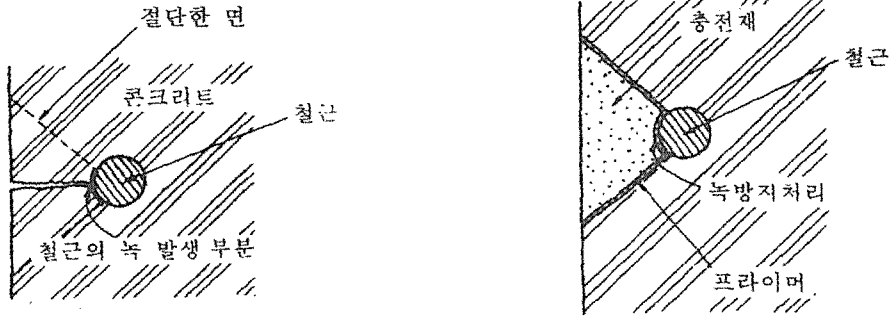
진행성 균열에 대해서는 에폭시수지의 변형이 문제가 된다. 일반적으로 사용되는 에폭시수지의 변형량은 2%정도로, 이 같은 재료를 사용하면 보수한 균열부근에 새로운 균열이 발생하는 수가 많다. 따라서 이러한 균열에 대해서는 가소성의 에폭시수지를 사용하던가 충전공법의 채택을 검토할 필요가 있다.

(3) 충전공법

0.5mm이상의 비교적 큰 폭의 균열보수에 적당한 공법으로, 균열을 따라 콘크리트를 절단하고, 그 부분에 보수재를 충전하는 방법이다. 이 공법은 철근이 부식되지 않은 경우와 철근이 부식된 경우의 보수방법이 다르다.

① 철근이 부식되지 않은 경우

[그림 18]과 같이 균열을 따라서 약 10mm 폭으로 콘크리트를 U 또는 V 형으로 절단한 부분에 실링재·가소성 에폭시수지 및 폴리머 시멘트모르타 등을 충전해 균열을 보수한다. U 형으로 절단할 경우에는 균열을 사이에 두고 양쪽에 절단기로 판 후, 그 사이의 콘크리트를 떼어내는 방법으로 실시된다. 이



(그림 19) 철근이 부식된 경우의 충전공법

에 반해 V 형으로 절단하는 방법으로, 최근에는 원추형의 다이아몬드 비트를 전동드릴의 앞에 부착하여 균열을 따라서 깎는 방법이 고안되어 있다. V형으로 절단하는 방법은 간단하나 폴리머 시멘트모르터를 충전할 경우에는 충진한 모르터의 박리·박락이 생기기 쉬우므로 U형 절단을 채택하는 것이 바람직하다.

② 철근이 부식된 경우

이 방법에 의한 보수는 [그림 19]에 나타난 바와 같으며 그 보수작업은, 철근이 부식된 부분을 충분히 처리할 수 있을 정도로 콘크리트를 떼어내어 철근 녹을 제거한 다음 철근의 녹 방지처리와, 콘크리트에 프라이머의 도포를 행한 후 폴리머 시멘트모르터나 에폭시수지 모르터 등의 재료를 충전하는 순서로 진행한다.

(4) 침투성 도포방수제에 의한 누수방지

침투성 도포방수제에 의한 누수방지를 목적으로 한 보수공법은 균열폭이 0.2mm정도 이하의 균열일 경우에 적용되며, 균열폭이 클 경우에는 부적당하다. 침투성 도포방수제에 의한 균열의 누수방지에 관한 실험결과의 일례에 따르면 0.2mm정도의 균열폭인 경우, 태풍 같은 바람과 비가 작용하여도 누수되지 않았으나 이 공법은 아직 실험이 적고 내구성에 대한 검토가 완료된 상태가 아니다.

참 고 문 헌

1. 한국콘크리트학회, 최신콘크리트공학, 기문당, 1992.
2. 한국콘크리트학회, 콘크리트구조물의 비파괴검사 및 안전진단, 기문당, 1995.
3. 건설교통부, 콘크리트표준시방서, 기문당, 1999.
4. 건설교통부, 콘크리트구조설계기준, 기문당, 1999.
5. 변동균, 신현목, 문제길, 철근콘크리트, 동명사, 2000.
6. 추영수 역, 콘크리트의 균열조사, 보수·보강지침, 건설도서, 1996.
7. 최재진, 콘크리트 품질문제의 유형과 대책, 한국레미콘공업협회, 1988.
8. 石川雅美, 강석화, "매스콘크리트 온도균열의 평가방법과 해석방법", 콘크리트학회지, 제9권 3호, 1997. 6, pp.38-47.
9. 김우, "세계 여러나라 콘크리트시방서의 균열제한에 대한 규정", 콘크리트학회지, 제6권 4호, 1994. 8, pp.30-36.
10. ACI Committee 224, "Control of Cracking in Concrete Structures", ACI Manual, 1988.
11. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete", ACI Manual, 1989.
12. PCA, Note on ACI 318-95, 1996.
13. 日本建築學會, 鐵筋コンクリート造のひび割れ對策指針, 1990.