

# 신설공사에 발생한 균열에 대한 진단방법의 개발 및 활용 사례

The development and application for the diagnosis method  
on the crack broken out of new constructions

권영진\*      한영철\*\*      장태민\*\*\*      이병훈\*\*\*\*      박득곤\*\*\*\*\*      김무한\*\*\*\*\*  
Kown, Young Jin   Han, Young Chul   Jang, Tae Min   Lee, Byung Hun   Park, Duck Kon   Kim, Moo Han

---

## Abstract

Concrete can be defective for several reasons, including inadequate design, material selection or workmanship. Concrete can also deteriorate or be damaged in use. Consequently existing reinforced concrete may not be functioning as originally intended and designed. So, the evaluate process to investigate initial crack is very important.

It is the aim of this study to development and application for diagnosis method on the crack broken out of new constructions.

---

## 1. 서 론

콘크리트에 발생하는 균열은 그 종류가 다종다양하므로 균열이 발생한 후에 그 균열의 원인을 파악한다는 것은 매우 어려운 일이다. 일반적으로 균열이 발생하는데에는 3가지 이상의 원인이 중복된다고 한다. 따라서 수경성 재료로서의 시멘트의 본질적 문제 이외에도 설계요인 및 환경요인 등 많은 요인이 작용하고 있으므로 현재의 방법으로는 콘크리트의 배합면만으로 균열의 문제를 해결할 수는 없다. 한편 시공성 향상을 고려하여 펌프공법의 도입에 따라 콘크리트의 상태는 묽은 비빔화로 되는 경향이 있고 특히 건축 구조물의 경우 고슬럼프화로 되고 있다.

---

\* 정회원, 쌍용안전기술사업단, 쌍용엔지니어링 진단·보수부문, 기술팀장

\*\* 정회원, 쌍용안전기술사업단, 쌍용엔지니어링 진단·보수부문, 건축팀장

\*\*\* 정회원, 쌍용안전기술사업단, 쌍용엔지니어링 진단·보수부문, 기술팀

\*\*\*\* 정회원, 쌍용안전기술사업단, 쌍용엔지니어링 진단·보수부문, 보수부장

\*\*\*\*\* 정회원, 쌍용안전기술사업단, 쌍용엔지니어링 진단·보수부문, 부문장

\*\*\*\*\* 정회원, 충남대 교수

최근 구조물의 안전진단이 활발히 행해지고 있으나 현 구조물의 안전진단의 프로세스를 고려하면 신설공사에 발생하는 재료·배합적인 균열에 대한 진단방법이 정립이 매우 시급한 실정이다. 따라서 본 보고에서는 신설공사에 발생한 균열을 중심으로 재료·배합적인 측면에서 접근하는 방법을 제안하고 그 활용사례를 통하여 본 시험방법의 적용상의 문제점을 검토하는 것을 목적으로 하였다.

## 2. 재료 및 콘크리트의 배합에서의 균열원인을 파악하기 위한 프로세스개발

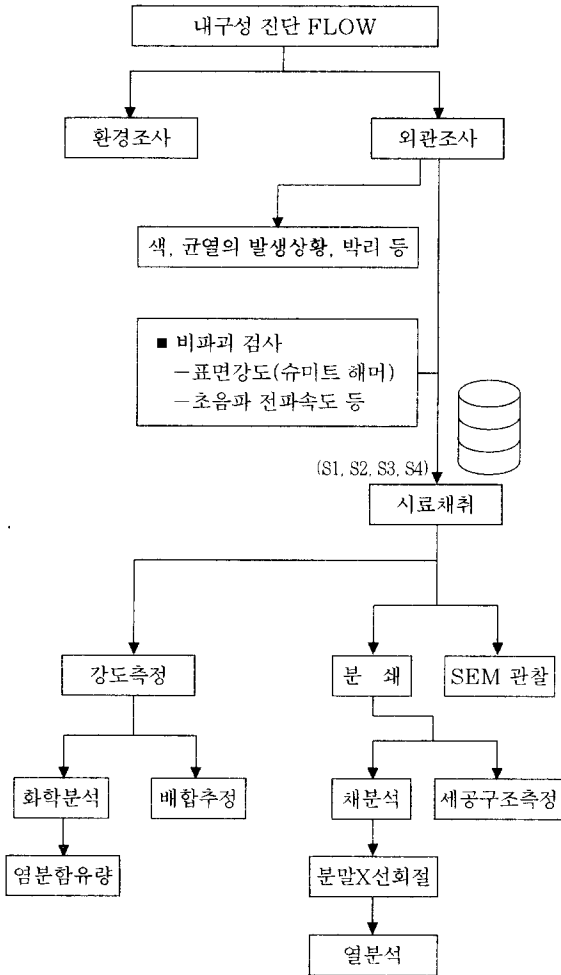


그림 1 진단흐름도

콘크리트는 재령과 더불어 겔상으로부터 콜로이드적인 성상을 지나 결정으로 되는 과정에서 콘크리트 내부에서의 수분이 크게 영향을 미치는 것으로 알려지고 있다. 따라서 콘크리트의 강도는 시멘트페이스트의 농도, 즉 물시멘트비에 의하여 결정되므로 물시멘트비가 크게 되면 경화과정의 건조에 의한 물의 일산이 크게 되어 콘크리트의 수축이 크게 되므로 이 수축이 균열발생의 원인으로 된다. 따라서 콘크리트의 균열은 기본적으로 단위수량과 밀접한 관계가 있고, 단위수량이 많을수록 균열이 발생하기 쉽게 된다. 또 균열에 영향을 미치는 배합 요인으로서 슬럼프, 시멘트량, 골재입도, 세골재율 등은 본질적으로 단위수량에 크게 영향을 미친다. 따라서 단위수량 및 단위 시멘트량을 알 수 있게 되면 배합과의 관련성을 알 수 있는 것으로 판단된다. 그림1은 본 시스템의 개요를 나타내는 것으로 콘크리트의 재료 및 배합을 추정하고 그 조직을 분석하므로써 균열원인을 찾는 점이 기존의 구조해석적인 진단방법과는 차이가 있다고 할 수 있다. 특히 콘크리트의 배합을 역추정하므로써 단위시멘트량 및 단위수량을 산정하고 골재의 불순물 등을 찾아내므로써 재료 및 배합에 기인한 균열과의 연결을 도모하고 있다. 또한 SEM 및 세공구조를 측정하므로써 콘크리트의 내부상태를 판정하여 초음파

속도 및 반발경도와의 관련성을 찾아내어 비파괴시험의 신뢰도를 높이는데 주력하였다.

## 3. 적용사례

경북지역 토목구조물의 슬래브 균열조사 결과 그림 2에 나타난 바와 같이 전반적으로 0.15~0.5mm의 균열이 개구부의 모서리에서 45° 방향과 슬래브의 장변방향으로 발생되어 있었고, 일부에서는 망상

형태의 균열형태를 나타내고 있어 구조적인 균열은 아닌 것으로 판단하였다. 또한 진단 과정중 미세한 변형에도 쉽게 취성파괴가 일어나는 Cover slide를 부착하여 균열의 진행성을 조사한 결과 진단 종료 시점까지 균열의 진행은 없는 것으로 판단하였다. 균열의 발생은 시공후 1개월 이내에 발생한 것과 3개월 후에 발생한 것이 대부분이었고 시공시의 바람속도 등 환경조건은 기상청을 통하여 입수 할 수 있었으며 시공당시의 정확한 타설계획 등은 당시의 현장담당자의 협의를 통하여 얻을 수 있었다.

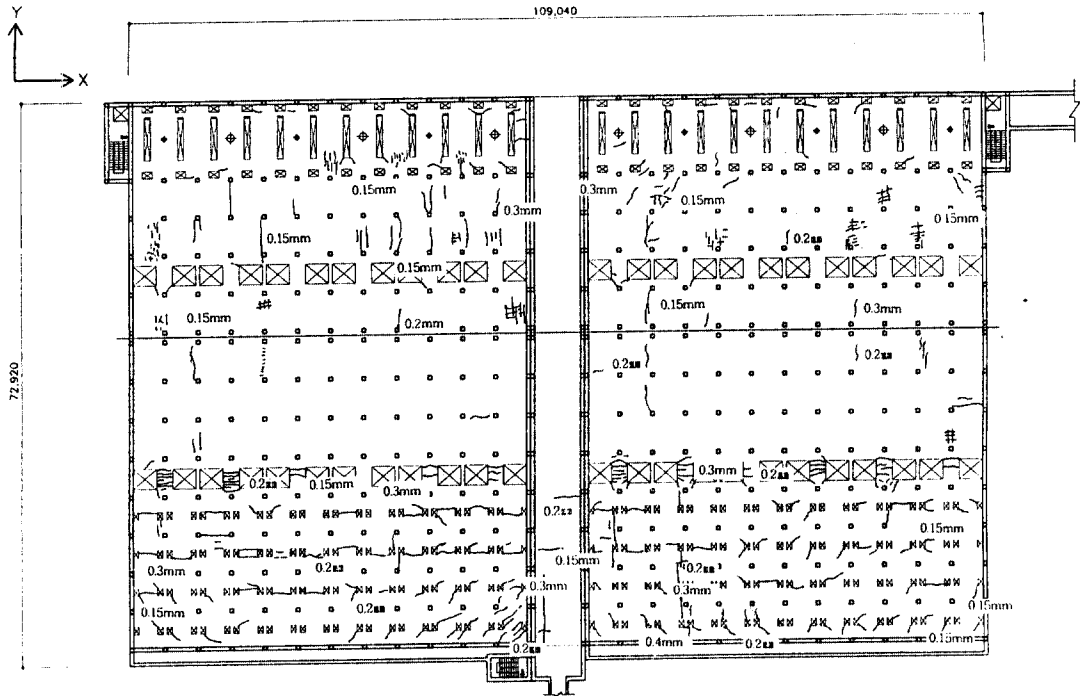


그림 2 균열발생현황의 일례

### 3.1 본 흐름도를 통한 콘크리트의 재료, 배합 및 품질검토

콘크리트의 물성평가는 재료자체의 내구성뿐만 아니라 구조적인 건전성에도 큰 영향을 미치기 때문에 매우 중요하다. 따라서 내구성 특성분석을 위한 각종 화학분석을 실시하여 콘크리트의 배합추정, 수화상태, 조직상태, 염화물량을 분석하여 콘크리트의 재료적 안전성을 판단하였다. 시험분석 항목 및 내용은 그림 1과 같다. 또한 실제적으로 사용된 콘크리트의 배합표를 기초로 하여 배합설계와 화학분석으로 추정된 결과를 비교하여 검토를 행하였다.

#### 3.1.1 화학분석 및 배합추정 결과

해당콘크리트 시편의 배합량을 추정하기 위하여 먼저 화학분석을 실시하였다. 화학분석은 x-ray flouroscope에 의한 방법과 습식완전분석법에 의한 배합추정에 필요한 콘크리트 및 골재의 CaO, Ig-loss, Insol residue 성분을 중심으로 기타 제반 화학성분량을 포함한 분석결과를 수행하였다.

또한 콘크리트의 분석시료는 건조된 충분한 양의 시료를 예비분쇄한 후 이를 다시 유발분쇄하여 No.200표준체로 체가름된 분말시료로서 축분법에 의해 샘플링한 것을 사용하였다.

표 1에 나타난 화학분석결과 골재를 대상으로 살펴보면 불용성잔존분이 일반적 콘크리트 값보다 적게 나타나고 있어 양질의 강자갈은 아닌 것으로 추정할 수 있다.

배합추정법에서 나타내고 있는 방법을 통하여 분석된 콘크리트의 배합은 표 2와 같다. 표 2에 의하면 단위시멘트량이 230~316kg/m<sup>3</sup>, 단위수량 167~192kg/m<sup>3</sup>를 사용한 것으로 나타나고 있어 전반적으로 실제 사용된 콘크리트의 배합보다 단위수량은 약간 많은 것으로 나타나고 있으며 단위시멘트량은 약간 적게 평가되고 있다. 한편 실제로 사용된 레미콘의 배합표를 살펴보면 단위시멘트량이 340~400kg/m<sup>3</sup> 정도로 요구강도에 비하여 단위시멘트량이 많이 사용되고 있어 강도측면에서는 유리하나 건조수축과 수화열에 의한 균열저감에는 상당히 불리한 콘크리트 배합으로 판단된다.

표 1 화학분석결과

시료명	시료구분	Chemical Composition										SUM	Insol Residual
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	lg.loss		
1	콘크리트	61.0	12.0	2.6	9.7	1.3	0.32	0.05	1.84	2.65	8.6	100.1	71.51
	골재	74.9	13.0	2.0	1.1	1.0	0.29	0.11	1.98	3.46	2.1	99.9	94.37
	모르터	55.2	9.4	1.6	15.5	1.0	0.21	0.04	1.33	2.47	13.1	99.9	59.72
2	콘크리트	58.7	12.8	3.1	9.6	2.0	0.43	0.09	1.82	2.59	9.0	100.1	70.36
	골재	61.1	16.8	5.2	3.5	2.4	0.63	0.09	2.88	2.71	4.7	100.0	86.64
	모르터	56.6	9.9	1.7	14.6	1.3	0.28	0.05	1.40	2.20	12.1	100.1	61.23
3	콘크리트	61.1	11.4	2.3	9.3	1.2	0.43	0.06	1.47	2.68	10.1	100.0	72.34
	골재	71.0	11.8	3.1	3.1	1.2	0.38	0.06	1.50	2.68	5.1	99.9	90.07
	모르터	59.6	9.9	1.5	12.8	1.1	0.25	0.04	1.35	2.47	11.0	100.0	65.10
4	콘크리트	63.2	11.3	2.2	8.4	1.5	0.33	0.05	1.80	2.38	8.8	100.0	70.59
	골재	69.8	13.0	3.8	2.4	1.9	0.56	0.06	1.54	2.89	4.1	100.1	86.78
	모르터	57.5	10.1	1.4	13.6	1.0	0.28	0.04	1.42	2.32	12.2	99.9	62.05
사발 그릇 시료	콘크리트	60.2	10.9	2.6	12.1	1.7	0.35	0.06	1.20	2.56	8.2	99.9	68.98
	골재	68.8	12.6	3.8	2.2	1.9	0.52	0.08	1.54	2.44	6.1	100.0	88.96
	모르터	59.4	8.9	1.5	16.3	1.2	0.23	0.04	1.26	2.20	8.9	99.9	64.51

표 2 배합추정결과

구분	골재의 배합률 (%)	시멘트의 배합비율 (%)	단위골재량 (절건) (kg/m <sup>3</sup> )	단위골재량 (kg/m <sup>3</sup> )	단위 시멘트량 (kg/m <sup>3</sup> )	단위 수량 (kg/m <sup>3</sup> )	물시멘트비 (%)	절건비중
1-1	75.78	13.75	1742.85	1760.28	316.17	192.86	61.00	2.30
2-4	82.21	10.48	1875.94	1894.70	242.02	165.48	68.37	2.31
1-3	80.32	10.56	1863.32	1881.95	244.96	169.38	69.15	2.32
2-3	81.34	10.0	1879.04	1897.83	230.92	167.82	72.67	2.31

### 3.1.2 수화생성물 분석

대상구조물에서 콘크리트의 시편을 채취한 후 해당 시료내의 광물조성종류를 파악하기 위하여 XRD 분석에 의한 정성분석을 실시하였다. 그림 3은 그 결과의 일례를 도시한 것으로 대체적으로 quartz의 성분이 상대적으로 많이 나타나고 있으며 이러한 경향은 골재의 특성에 기인한 것으로 판단된다. 또한 일반적으로 muscovite의 광물은 점토질 성분에서 많이 검출되는 것으로 muscovite성분이 검출된 것으로 미루어 보아 골재에 토사가 유입된 것으로 판단된다.

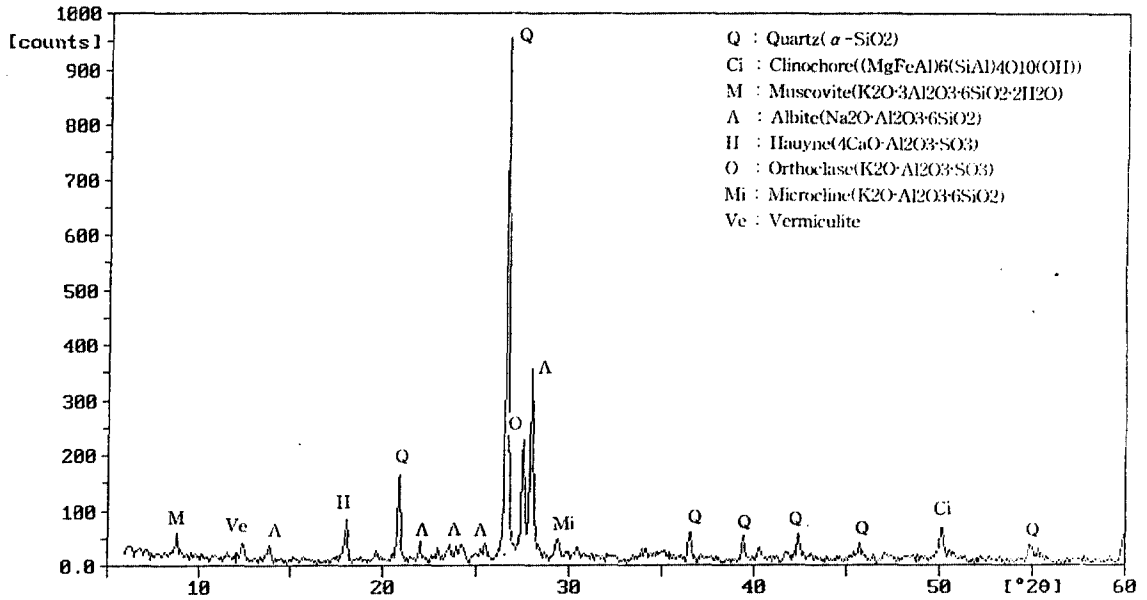


그림 3 XRD 회절분석 결과의 일례

### 3.2 균열발생원인 분석

#### 3.2.1 사용재료

골재의 경우에는 본 공사에 사용된 콘크리트의 분석결과 부위에 따라 토사등이 함유된 저품질 골재를 사용하므로서 단위수량의 증가와 재료분리 등의 발생가능성이 높게 나타나고 있다. 또한 시멘트의 경우에는 대부분의 콘크리트의 배합에서 단위시멘트량이 340~400kg/m<sup>3</sup> 정도의 부배합콘크리트 임에도 불구하고 초기 수화열을 억제하려고 하는 배려가 나타나지 않고 있다.

#### 3.2.2 콘크리트의 배합

요구강도에 비해 단위시멘트량이 많이 사용되고 있기때문에 강도측면에서는 유리하나 건조수축과 수화열에 의한 균열저감에는 상당히 불리한 배합으로 판단된다. 또한 세골재율이 45% 이상으로 상당히 크게 나타나고 있어 펌피빌리티를 고려한 것을 알 수 있으나 콘크리트의 균열저감을 고려할 경우에는 소요의 유동성을 얻는 범위에서 최소한 작게 하는 배합을 찾아야 한다.

#### 3.3.3 설계상의 문제

익스펜션조인트는 공사비가 상승하고 방수성 및 사용성에 약점이 될 수 있기 때문에 간격이 짧아도 문제가 있으나 본 구조물과 같이 두께가 얇고 표면에 대기에 넓게 노출되어 온도에 의한 수축이 클 것으로 예상되는 건물에서는 조인트부 설계에 대한 면밀한 검토가 요구된다. 특히 응력이 집중되기 쉬운 개구부에는 반드시 유발조인트를 설정하여 온도응력을 저감시켜야 하나 이에 대한 적절한 조치가 없었던 것으로 판단된다.

#### 3.3.4 시공상의 문제

콘크리트는 타설된 후 양생에 의해 초기균열이 좌우된다. 균열방지의 방법으로는 건조수축을 저감

시키고 강도발현의 증대에 따라 균열저항성을 증대시키는 것이 유효하다. 타설 후 콘크리트가 그 경화 작용을 충분히 발휘하고 건조등에 의한 균열을 발생시키지 않기 위해서는 타설 후 일정기간은 습윤상태를 유지하는 것이 매우 중요하다. 특히 초기의 콘크리트를 건조시키지 않는 범위에서는 필수적으로 7일 이상은 수분의 보급을 지속시켜야 하나 이에 대한 대책이 미흡했던 것으로 판단된다.

### 3.3 균열발생원인

이상의 검토결과와 환경조건 및 비파괴검사 등을 종합적으로 분석을 통하여 수화열에 따른 온도응력 및 건조수축이 복합적으로 작용하여 발생한 것으로 판단하였다.

## 4. 결론 및 향후계획

시공초기에 발생한 균열을 대상으로 균열원인을 파악하기 위한 접근 방법을 모색하여 실제 진단현장에 적용하여 구조적인 안전성보다는 재료 및 배합에서 그 원인을 찾고 문제가 있다는 것으로 결론을 내렸으나 가장 핵심적으로 중요한 수화열 해석을 통하여 접합시키지 못한점이 가장 큰 문제점 및 과제로 생각된다. 향후 수화열 해석에 대한 정량적인 분석기술을 접합시켜 보다 신뢰성 높은 진단 기법으로 개발하여 시공단계 뿐만 아니라 장기적인 내구성능을 파악하기 위한 시스템으로 개발하고자 한다.