

# 콘크리트의 龜裂과 그 防止對策

林 采 中

〈東義工業專門大學副教授·工博〉

## I. 序 論

建設材料의 역사에서 흙, 나무, 돌, 金屬 以外 시멘트 제품인 콘크리트는 古代 이집트, 로마시대부터 점점 改良되어 現代에 이르기까지 가장 널리 사용되는 材料이다. 現代人들은 늘 콘크리트속과 그 위에서 생활하면서 그 역할 및 성질을 잘 모르고 살아가고 있다. 물론 현대사회의 복잡성과 多邊化된 환경속에서 모든 것을 이해한다는 것은 어려운 일이긴하나 콘크리트는 어느 정도 상식적으로 알아 둘 필요가 있다고 생각된다.

또한 實務의 技術者들도 균열의 원인과 보편적인 콘크리트의 균열대책 및 보수방법 등을 理解함으로써 設計 및 施工시 도움이 될 수 있을 것으로 생각한다.

콘크리트는 壓縮強度에 비해 引張強度가 적고 乾燥作用(自然收縮) 또는 自身의 水和作用에 의한 수화열에 따라 體積變化가 생기고 이들이 拘束되면 引張應力이 발생하여 콘크리트 그 자체가 균열을 誘發하는 요인을 가지고 있기 때문에 콘크리트 構造物의 龜裂이 발생하는 것은 역사적으로도 宿命的인 것으로 看做되고 이 문제는 현재에도 改善되어가고 있지만 기본적인 변화는 없다. 콘크리트에 발생하는 龜裂은 構造物의 耐力, 耐久性, 防水性, 美觀 등의 觀點에서 상당한 악영향을 미치며 使用者에게 불안감을 주기

때문에 龜裂發生의 原因과 防止對策을 밝히기 위한 調查, 實驗, 研究가 지금까지 수없이 행해지고 있다. 현재까지의 노력에도 불구하고 발생된 龜裂의 원인을 추정하고 그것을 補修·補強하는 것은 비교적 용이하지만 사전에 龜裂發生의 가능성을 예측하고 判定하여 적절한 處理나 對策을 세우는 것은 아주 곤란하다.

그것은 龜裂의 발생이나 그후의 龜裂狀態를 지배하는 요인인 施工條件, 環境條件, 地盤條件 및 外力의 作用條件, 재료 등이 개개의 構造物에 따라 모두 달라 그것을 사전에 예측하는 것은 힘든 일이다.

이와 같이 龜裂은 設計의 段階에서 施工時 및 施工후의 龜裂을 완전히 억제하는 것은 經濟的인 면에서도 無理이다.

從來의 設計法보다 정밀해짐에 따라 部材斷面이 적어지는 경향이 있으므로 龜裂에 대한 검토가 더욱 필요하며 또 近來 高強度 철근을 사용하는 경향이 늘어 強度가 낮은 철근을 사용하는 경우보다 龜裂發生이 더 용이하다.

## II. 龜裂의 發生原因

콘크리트는 壓縮強度에 비해 引張強度가 거의 1/10 정도로 대단히 적고 伸張能力도 200~500  $\mu$ 로 적기 때문에 콘크리트 構造物에 이들의 강도나 變形能力을 초과하는 應力이나 強制變形이 생길 때 龜裂이 발생하게 된다. 龜裂의

원인이 한가지로 발생하는 것보다 일반적으로 한 개의龜裂에 대해 여러가지 원인이 관계되기 때문에 정확하게 分析하는 것은 어렵지만 大別하면 다음과 같이 分類할 수 있다.

- ① 콘크리트의 材料的 性質에 關係하는 것
- ② 施工상의 결함에 關係하는 것
- ③ 使用條件이나 環境條件에 關係하는 것
- ④ 構造·荷重條件 등에 關係하는 것
- ⑤ 其他

이들을 자세히 살펴보면 다음과 같다.

### 1) 콘크리트의 材料的 性質이 原因이 되는 龜裂

콘크리트의 材料는 잔골재(모래), 굵은 골재(자갈), 시멘트, 물, 혼화재료 등의 複合材料로 되어 있어 材料의 質, 配合方法 등의 適切한 選擇에 따라 균열은 어느 程度 防止할 수 있으나 근본적으로 改善할 수 없으며 이들 材料에 의한 요인을 略述하면 다음과 같다.

- ① 시멘트의 異常凝結, 異常膨脹
- ② 콘크리트의 沈下, 브리딩(Bleeding)현상
- ③ 骨材에 含有된 不純物(泥土分 등)
- ④ 시멘트의 수화열(시멘트와 물의 化學反應時)
- ⑤ 콘크리트의 硬化, 乾燥收縮
- ⑥ 反應性 骨材의 팽창(알칼리-골재반응 등)
- ⑦ 시멘트의 알칼리 濃度(0.6% 未滿)
- ⑧ 材料의 分離

### 2) 施工上の 缺陷이 原因이 되는 龜裂

앞에서 材料, 配合의 適正化에 의해 어느 정도 龜裂發生을 방지할 수 있다고 했지만 그 效果를 발휘하는 것은 세밀하고 적절한 施工이 중요하다. 이들의 잘못으로 인해 발생하는 원인은 다음과 같다.

- ① 長時間의 반죽 또는 混合(레미콘의 長距離 운반시)
- ② 펌프 壓送 때의 시멘트량, 水量의 증분(配合設計된 콘크리트의 不適合한 變更)
- ③ 철근의 배근불량, 철근의 콘크리트 덮개의 감소
- ④ 急速한 打設 速度(거푸집의 측압증대로 인

한 變形)

- ⑤ 不均一한 打設
- ⑥ 거푸집의 불거짐과 거푸집의 早期 除去
- ⑦ 콘크리트치기시 連續치기 不良(施工이음부의 不良 및 不潔)
- ⑧ 硬化前 振動이나 載荷
- ⑨ 初期養生의 不良(濕潤狀態 維持 不良)
- ⑩ 동바리(Support, 支柱)工의 沈下
- ⑪ 初期 凍結
- ⑫ 伸縮이음부의 모서리 破損(橋梁 床板 및 鋪裝콘크리트의 伸縮이음부)

### 3) 環境條件이 原因이 되는 龜裂

콘크리트 構造物의 다양화에 따라 최근에는 콘크리트가 環境溫度, 化學作用, 海水作用, 機械的인 작용 등의 條件에 따라서도 문제가 되고 있다. 물론 이들 조건에 대해 미리 設計上 고려되어 있지만 과대한 균열은 耐力, 耐久性을 급격히 손상시킬 수 있으므로 設計段階에서의 신중한 검토가 중요하다고 하겠다. 構造物의 주위 環境條件에 따른 각 원인을 열거하면 다음과 같다.

- ① 環境溫度, 濕度の 변화
- ② 콘크리트部材의 兩面의 溫度, 습도의 差
- ③ 凍結, 融解의 反復
- ④ 内部 鐵筋의 腐蝕
- ⑤ 火災나 表面 加熱(500℃ 이상 콘크리트 強度 低下)
- ⑥ 酸, 鹽類의 化學反應
- ⑦ 海水와 接하는 構造物
- ⑧ 氣象變化

### 4) 構造, 外力 등이 原因이 되는 龜裂

構造, 外力 등에 의한 龜裂發生의 原因으로는 超過荷重, 設計誤差, 施工誤差 外에도 최근 構造物의 다원화 및 大型化로 設計에서 고려하지 못한 荷重 등을 들 수 있다.

그러나 構造, 外力 등이 原因이 되는 균열은 構造物의 種類, 形狀, 荷重의 種類 및 地盤의 支持條件의 차이 등에 따라 상당히 다른 모양이나 分布를 하지만 일반적으로 ① 集中的인 주목을 받기 쉽고 ② 비교적 규칙적·類型的인

라는 점 등의 특징을 가지고 있다. 특히 이 종류의 균열에 관해서는 橋梁, 터널, 포장콘크리트, 매시브한 콘크리트구조물 등에 따라 상당히 차이를 나타낸다. 그 發生의 原因으로는 概略 다음과 같이 列舉할 수 있다.

- ① 過多荷重(設計荷重 超過)
- ② 不規則荷重(大地震 등)
- ③ 反復荷重(設計荷重 以內 疲勞現狀)
- ④ 構造物의 不等沈下
- ⑤ 設計斷面의 誤差
- ⑥ 철근량의 不足

### Ⅲ. 龜裂調査

앞에 열거한 각종 균열의 원인에 의해 발생한 균열을 조사하여 보수 및 補強對策을 적절히 세울 필요가 있다. 콘크리트 構造物에 발생하는 균열은 그 構造物의 表面部에 나타난 것만이 肉眼으로 알 수 있다. 그러나 그 表面部의 龜裂만으로 有害 判定을 하는 것은 아주 非合理的이다.

肉眼調査 以外에도 非破壞檢査 즉 반발경도시험, 浸透法, Pull out test, 超音波測定法 등이 있으나 주로 強度를 測定하는 것이 主目的이다. 龜裂이 가진 意味를 正確히 판단하기 위해 標準調査와 詳細調査가 권장되고 있다.

#### 1) 標準調査

콘크리트 構造物에 균열이 발생한 경우 그 균열의 許容與否를 判定하기 위해서는 우선 발생한 龜裂에 관한 調査, 觀測을 해야 한다. 이 調査는 原因推定, 보수의 與否 判定 및 보수, 補強方法의 選定 資料를 얻기 위한 것이다. 調査結果 발생한 龜裂이 許容할 수 있는 범위내라면 問題가 없지만 허용폭을 초과하고 또 進展性인 것은 보수, 補強公법 및 時期에 關係되는 것이기 때문에 精密한 調査를 行할 필요가 있다. 標準調査는 다음과 같은 內容을 調査한다.

- ① 龜裂의 現狀 調査 : 龜裂分布圖 作成(龜裂의 形象, 폭, 깊이, 길이 등)
- ② 龜裂의 變狀 調査 : 龜裂의 進展性 調査
- ③ 設計圖面의 調査 : 설계계산서, 設計圖面, 施工圖面 調査

④ 施工記錄의 調査 : 使用材料, 配合, 타설기록, 工程, 環境條件, 거푸집, 地質條件, 管理試驗 DATA 등

⑤ 障害有無 調査 : 누수, 철근의 녹, 부재의 처짐, 美觀의 損傷 등

#### 2) 詳細調査

일반적으로 콘크리트 構造物에 발생하는 龜裂의 대부분은 앞에서 記述한 標準調査에 의해 有害의 정도에 따라 보수, 補強의 여부가 判定되지만 標準調査에서 判定이 불가능한 경우에 詳細調査가 필요하게 된다. 詳細調査는 다음과 같은 內容을 包含한다.

- ① 콘크리트 構造物의 코아채취에 의한 강도 시험
- ② 荷重條件의 調査
- ③ 斷面值數의 설계도와의 比較
- ④ 地盤變形의 調査(地盤의 沈下, 壓密, 側方變位 등)
- ⑤ 철근의 調査(덜개, 位置, 철근량, 알칼리 반응 등)
- ⑥ 龜裂의 詳細調査(龜裂幅의 변동상황 등)

### Ⅳ. 龜裂의 許容幅

龜裂은 어느 程度 발생하여도 콘크리트 構造物에는 障害를 주지 않도록 龜裂의 폭을 微細하게 分散하는 것이 필요하다. 龜裂폭은 주로 内部 철근의 부식과 누수의 防止를 고려하여 정하는 것이 보통이다. 龜裂의 폭이 적으면 적을 수록 녹과 누수가 급격히 低下된다는 것은 仕入\*에 의해 調査되었다.

<表-1>과 <表-2>는 녹 發生으로 인한 耐久性 低下 防止의 觀點에서 정해진 許容폭의 한 例이다.

우리나라에서도 ACI 318-83에 따라 龜裂幅(w)을 抑制하고 있다.

$$w = 1.3 \times 10^{-6} Z = 1.3 \times 10^{-6} \cdot \sigma_s \sqrt{d_c A}$$

윗식에서 A는 주인장철근 周圍의 콘크리트 斷面積을 철근의 개수로 나눈 有效引張斷面積으로 그 중심축은 철근의 중심축과 같다.  $\sigma_s$ 는 使用

耐久性으로 본 許容 最大 龜裂幅의 例

<表-1>

(A) ACI 224 委員會

(B) CEB, FIP 國際 指針

環 境 條 件	許容最大 龜裂幅 (mm)
乾燥空氣 또는 보호층이 있는 경우	0.40
습한 공기 중, 고속	0.30
凍結 防止劑에 接하는 경우	0.175
海水, 潮風에 의한 乾濕의 反復을 받는 경우	0.15
水密構造 部材	0.10

條 件	許容 最大 龜裂幅(mm)	
	永久荷重이 變動的荷重 作用하는 期間	永久荷重과 變動的荷重의 不利한 組合
有害한 露出條件 狀態의 부재	0.1	0.2
保護되지 않은 부재	0.2	0.3
保護되어 있는 부재	0.3	美觀상 點檢 要

許容 最大 龜裂幅의 規定값의 例

<表-2>

國 名	提 案 機 關	許容 最大 龜裂幅 (mm)		
美 國	ACI 建築規定	屋內 부재	0.38	
		屋外 부재	0.25	
日 本	JIS	運 輸 省 港灣 構造物	0.2	
		設計荷重時 設計 휨모멘트 作用時	}	0.25
유 럽	유럽 콘크리트 委員會	상당한 침식작용을 받는 構造物部材	0.1	
		保護가 안된 普通의 構造物 부재	0.2	
		保護가 된 普通의 構造物 부재	0.3	
프 랑 스	Brocard		0.4	
소 련	철근 콘크리트 규정		0.2	
한 국	콘크리트 시방서 (建設部)	屋 內	0.4	
		屋 外	0.3	

\* 한국은 건설부 발행 콘크리트 시방서의 휨부재에 대한 규정.

荷重에서 철근의 應力으로 휨모멘트를 철근의 斷面積과 저항모멘트의 팔길이를 곱한 값으로 나누어 計算한다.  $d_c$ 는 콘크리트의 最大引張線端에서 가장 가까이 位置한 철근의 中心까지의 콘크리트 덮개의 두께이고, Z의 최대값은 屋內(內露出) : 31,250 kg/cm<sup>2</sup>, 屋外(外露出) : 25,850 kg/cm<sup>2</sup>이다.

또 防水의 觀點에서 본 許容幅에 관한 研究報告를 정리해 보면 <表-3>과 같다.美觀上的 觀點에서 許容幅은 主觀的인 要素가 많아 일정한 값을 나타내기는 곤란하다.

V. 龜裂의 補修 및 補強工法

防水上的 許容 最大 龜裂幅에 관한 研究 例

<表-3>

研 究 者	許容幅(mm)	備 考
狩野春一	0.04~0.06	屋外 슬래브의 現場 調査
浜田稔	0.03	屋外 슬래브의 現場 調査
仕入豊和	0.05	水頭 10 cm, 두께 10 cm
向井毅	0.07	水頭 10 cm, 두께 10 cm
神山石川	0.06~0.08	벽 체
重倉祐光	0.12	水頭 30 cm, 두께 4 cm
石川廣山	0.15	水頭 20 cm, 두께 8 cm
坂本, 石橋, 嵩	0.1~0.2	水頭 7.5 cm~0.5 cm, 두께 10 cm~26 cm

補修 및 補強의 與否에 관한 龜裂幅의 限度

<表-4>

區分	그의 要因	環 境	耐久性으로 본 경우			防水性으로 본 경우
			심 하 다	中間이다	심하지 않다	
(A) 보수를 필요로 하는 龜裂幅(mm)		대	0.4 이상	0.4 이상	0.6 이상	0.2 이상
		중	0.4 "	0.6 "	0.8 "	0.2 "
		소	0.6 "	0.8 "	1.0 "	0.2 "
(B) 보수를 필요로 하지 않는 龜裂幅(mm)		대	0.1 이하	0.2 이하	0.2 이하	0.05 이하
		중	0.1 "	0.2 "	0.2 "	0.05 "
		소	0.2 "	0.3 "	0.3 "	0.05 "

콘크리트 構造物에 생기는 有害한 龜裂을 防止하는 方法으로는 設計, 施工의 段階에서 가능한 한 세밀한 檢討를 하여 龜裂發生을 防止하는 方法과 龜裂의 發生을 인정해서 有害하지 않은 범위에서 억제하는 方法으로 나누어 생각할 수 있다.

龜裂을 완전히 방지하는 것은 불가능하기 때문에 龜裂이 發生하여도 設計段階에서 龜裂幅을 抑制하거나 補修, 補強을 해서 龜裂을 無害한 것으로 하는 方法 등이 있다.

1) 補修 및 補強의 與否 決定 方法

龜裂로 인해 障害가 나타나는 경우 당연히 보수가 필요하지만 그렇지 않은 경우는 주로 龜裂 폭의 大小에 따라 보수의 여부를 결정하게

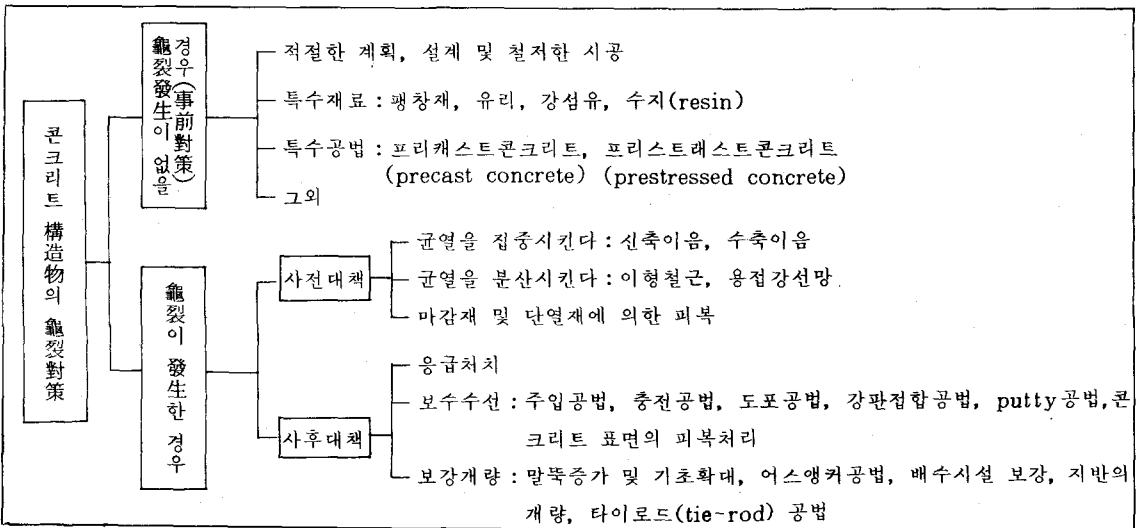
된다.

<表-4>는 補修 및 補強의 여부에 관한 龜裂幅의 限度를 나타내고 있다. 표에서 (A)와 (B) 사이에 어느쪽의 龜裂 境遇나 補修 및 補強의 여부를 判定하는 조건으로는 龜裂의 길이, 龜裂의 수, 部材의 두께, 장애의 상황 등이며 이의 判斷을 위해서는 어느 정도 龜裂에 관한 기초 지식이 요구된다. 그외 요인의 大·中·小는 龜裂의 깊이, 形狀, 덮개, 表面被服有無, 材料, 配合, 타설이음 등을 고려해서 콘크리트 構造物의 耐久性 및 防水性에 미치는 有害性 程度를 나타내었다. 環境은 주로 철근의 녹 發生條件으로 본 環境條件이다.

2) 補修 및 補強의 方法

콘크리트 構造物의 龜裂對策의 分類

<表-5>



龜裂의 狀況과 補修工法

〈表-6〉

條 件		工 法	表面處理工法	充 填 工 法	注 入 工 法			강재보강공법
					電 動	手 動	流 入	
補 修 目 的			美 觀 耐 久 性	耐 久 性 防 水 性	耐 久 性 防 水 性			構 造 耐 力 等
施 工 位 置	水 平 面(上)	○	○	○	○	○	○	
	水 平 面(下)	○	○	○	○	○	○	
	垂 直 面	○	○	○	○	○	○	
龜裂幅 (mm)	0.2 以下	○	○	○			特別한 對應이 없다	
	0.2 ~ 0.3		○	○	○			
	0.3 以上		○		○	○		
龜裂의 狀 態	變動있다		○					
	變動없다	○			○	○	○	

有害한 龜裂이 발견된 콘크리트構造物에 있어서는 龜裂의 상태를 충분히 파악한 후 적당한 補修 및 補強의 방법을 比較 檢討해서 목적에 맞는 방법을 선정해야 한다. 〈表-5〉는 콘크리트構造物의 균열에 관한 대책을 나타낸 것이다. 이중 어떤 방법을 採擇하는가는 構造物의 目的, 균열의 原因, 有害程度에 따라 耐久性, 防水性 및 美觀을 고려하여 정하는 것이 좋다.

〈表-6〉은 보수공법과 균열조건인 組合을 參考로 나타낸 것이다. 균열이 0.3 mm 이상인 경우는 構造的인 결함을 수반하고 있으므로 보수공법과 함께 構造的인 補強工法을 併用하는 것이 普通이다.

V. 結 論

콘크리트構造物은 骨材, 시멘트, 혼화재료 등의 複合體로서 非均質性이고 力學的 舉動이 다양하고 복잡하다. 특히 철근 콘크리트構造物인 경우 더욱더 難解한 특성을 띠게 된다. 또 材料의 性質과 配合에 따라서도 달라지므로 材料의 특성에 관한 기준을 定하는 것은 아주 어렵다. 이와 같은 관제로 콘크리트構造物의 龜裂에 대한 原因, 推定, 補修, 補強 등이 간단하지 않다.

본 內容에서는 콘크리트構造物에 發生하는 龜裂의 原因과 그 評價 및 補修方法에 대하여 간략하게 기술하고 또 龜裂 발생후의 對策을 소

개하였다. 龜裂에 대한 豫備知識을 가짐으로써 設計 및 施工段階에서 留意해야 할 점을 미리 考慮하는데 도움이 될 것이다.

最近 龜裂에 抵抗性이 큰 纖維콘크리트의 開發과 같은 새로운 材料를 이용하는 콘크리트가 활발히 研究됨으로써 龜裂을 좀 더 效果的으로 줄이기 위한 노력이 강구되어야 할 것으로 생각된다.

앞으로 우리나라에서도 콘크리트構造物의 龜裂과 그 補修 및 補強에 관한 規定이 만들어져야 할 것이다.

〈參 考 文 獻〉

- 1) 長湧重義, 콘크리트의ひびわれ, セメント・コンクリート, No. 376(1978).
- 2) 長湧重義外 1人, 콘크리트의ひびわれと對策 その1, セメント・コンクリート, No. 428(1982).
- 3) 長湧重義外 1人, 콘크리트의ひびわれと對策 その2, セメント・コンクリート, No. 429(1982).
- 4) 仕入豊和, 콘크리트의ひびわれと對策その1, セメント・コンクリート, No. 425(1982).
- 5) 仕入豊和, 콘크리트의ひびわれと對策その2, セメント・コンクリート, No. 426(1982).
- 6) ACI Committee, ACI 318-83(1983).
- 7) 吳炳煥, 콘크리트構造物에 發生하는 龜裂의 原因과 그 對策에 關한 考察, 大韓土木學會誌, 제 37 권 제 2호(1989).
- 8) 建設部, 콘크리트標準 시방서(1989). ▲