

콘크리트構造物의 龜裂發生原因과 対策에 關한 研究〔II〕

吳 璇 教—오선교건축설계사무소 / 건축사

A STUDY ON THE CAUSE AND PREVENTION OF CRACKS IN CONCRETE STRUCTURES

Oh, Sun Kyo—Oh Sun Kyo Architects & Engineers / Architect

III. 龜裂發生의 原因

콘크리트, 모래, 자갈에 물 및 混合劑를 加하여 適當히 混合, 製造하여 一定한 形狀을 이룬 것으로 外部環境에 適應하도록 한 것이다.

그런데 이와 같은 콘크리트 構造物에서 發生할 수 있는 龜裂은 恒시 한가지 要因만에 의하여 發生할 수도 있으나, 大部分은 여러 가지 複合된 原因에 의하여 發生하기 때문에 複雜한 면을 갖는다.

이와 같이 複雑한 여러 要因을 分析하면, 다음과 같이 環境要因, 計劃要因, 材料要因, 施工要因 등으로 나누어 진다.

1. 環境原因

콘크리트 構造物에 龜裂이 發生하는 原因은 포괄적으로 全술한 바와 같이 分類된다.

그런데 그 中에서도 餘타의 計劃, 材料, 施工要因은 人위적으로 調整할 수 있다.

그러나 環境要因만큼은 이와 같은 調整이 거의 不可能하다. 그러므로 龜裂의 피해 中 가장 크며 가장 重要視되고, 또한 이와 같은 龜裂피해 防止대책도 環境要因의 改良보다도 施工, 材料 等 다른 要因으로 改良하게 된다.

이와 같은 環境要因에 對하여 크게 分類하면, 다음의 物理的 要因과 化學的 要因의 二 가지로 된다.

(1) 物理的인 原因에 의한 龜裂

① 溫度變化에 依한 龜裂

外氣溫度는 하루의 晝夜間에 高低하는 一日變化(日較差)와 季節적으로 變化하는 年間變化(年較差)가 있다.

即, 四季節에 의한 大週期를 가지고 變化하면서 다시 24時 週期의 變化를 되풀이 하고 있다.

이와 같은 外氣溫度變化에 따라 콘크리트 構造物은 單位構造物材에서 1℃에 對하여 $1\sim 1.2\times 10^{-5}$ 의 값으로 膨脹, 수축이 發生하여 龜裂의 原因이 된다.

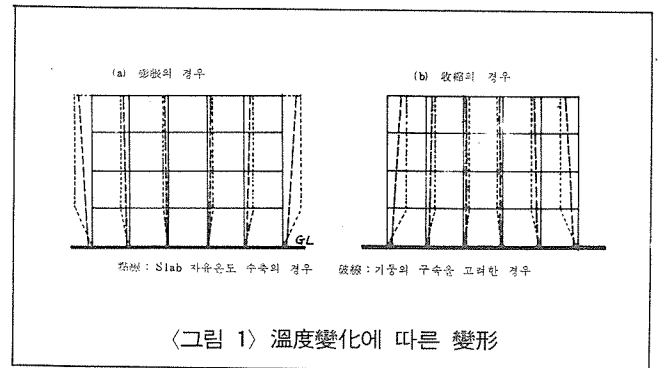
이와 같은 各 콘크리트 材料의 熱膨脹 係수는 다음 <表 1>과 같다. (註 1)

<表 1> 콘크리트의 熱膨脹 係수

區 分	普通콘크리트	Mortar	경량콘크리트	기포콘크리트
熱膨脹係수	$(10\sim 12)\times 10^{-6}$	$(10\sim 12)\times 10^{-6}$	$(7\sim 10)\times 10^{-6}$	4×10^{-6}

또한 建物 全體로는 地上部分과 地下部分(거의 溫度變化가 없음), 日射를 받는 부분과 日射를 받지 않는 部分, 또한 하층部分과 상층部分(특히 지붕면일수록)間에 溫度差가 發生하므로 龜裂發生의 原因이 된다.

<그림 1>은 溫度變化에 따른 라멘조 建築物의 變形을 나타낸 것이며, <그림 2>는 日射量 變化에 의한 建築物의 變形을 나타낸 것이다. (註 2)



<그림 1> 溫度變化에 따른 變形

② 乾燥收縮에 依한 龜裂

콘크리트는 시멘트의 응결이 끝난 후 이것을 水中에 浸漬하면, 硬化되면서 다소 膨脹하여 1週間 内外에 膨脹量이 最大가 된다. 그 後 乾燥하면 收縮하고 吸收하면 다시 膨脹한다.

一般的인 建築物은 乾燥된 狀態로 存在하는데 이와 같이 하여 收縮한 全收縮率은 0.0004~0.0007로 Mortar의 0.0002~0.00038경우의 2배 정도가 된다.

또한 콘크리트의 伸長率은 0.0001~0.00012이고 Creep는 그의 約 2배가 된다고 가정하여 이를 가하면 약 0.0003~0.00036이 되는데, 결국 이는 全收縮率에 모자라므로 콘크리트 構造物은 0.0001~0.0004의 差에 依하여 收縮龜裂이 發生한다.

<그림 3>은 콘크리트의 재령에 따른 膨脹 및 收縮을 나타낸다. (註 3)

註 1) 李熙郁: 建築材料學, 螢雪出版社, 1979. 3. p. 82.

註 2) 李特求 譯(松下清夫, 鐵田光雄著): 建物の Expansion Joint工法, 泰昌出版社, 1978. 8. p. 9~10.

註 3) 西忠雄 外 9人: 建築學大系, Vol. 13, 建築材料學, 彰國社, 1968. 2. p. 126.

③ 동결 응해 작용에 의한亀裂

경화된 콘크리트는 Bleeding 및 갇힌 공기 등 여러 요인에 의하여 발생된 공극을 따라 毛細管 現象으로 水分을 吸收하고 大氣中 습도의 확산 現象으로 콘크리트의 평형 狀態를 유지하기 위해 습기를 함유한다.

이와 같이 콘크리트 속에 함유된 수분은 冬節期에 전술한 바와 같은 溫度變化에 따라 膨脹 수축을 함과 동시에 동결과 응해작용이 반복되어 복합적인 膨脹 및 수축을 한다.

이는 곧 亀裂이 原因이 되고 특히 일단 亀裂이 發生한 곳의 水分浸透은 이를 더욱 進전시켜 박리 및 脫落으로 進전되어 耐久性을 해친다. 특히 이와 같은 現象은 콘크리트의 品質이 나쁠수록 더욱 크게 영향을 받는다.

④ 火災에 의한 亀裂

콘크리트에 火災가 發生하면 다음과 같은 膨脹收縮을 갖는다.

즉, 200℃까지는 1℃에 대하여 10⁻⁵ 정도의 比率로 膨脹한다. 200℃ 以上부터는 收縮하고 750℃ 以上에서는 다시 점차로 膨脹하여 1,000℃에서는 破壞된다. (그림 4 參照) (註4)

그러나, 實驗에 依하면 500℃ 以上이면 亀裂發生이 容易하고, 피해는 냉각과 더불어 상당히 회복되어 재 使用한 것으로 研究報告되어져 있다. 그러나 콘크리트는 不燃性, 熱의 不良導體이고 또한 시멘트의 硬化 때의 化合物은 熱분해에 依한 탈수작용(260℃에서 化合物의 탈수가 시작되고 480℃에서는 完全히 탈수 된다)으로 콘크리트는 좀처럼 500℃에 이르지 않는다.

그러므로, 묽은 비빔이 된비빔보다 탈수시간이 빠르므로 火災에 對한 亀裂이 더 많이 發生하게 된다. (註5)

그러나, 亀裂上 問題는 이와 같은 溫度에 依한 膨脹收縮보다 콘크리트용 骨材中 溫度에 약한 火傷(主로 콘크리트 骨材에 많이 利用함), 석영질을 使用하였을 경우는 석영분의 膨脹崩壞 때문에 亀裂의 主된 問題가 된다. (575℃ 정도에서 膨脹崩壞)

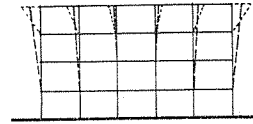
(그림 5)에서 보는 바는 石材의 耐火性을 나타내고 있다. (註6)

(2) 化學的인 原因에 依한 亀裂

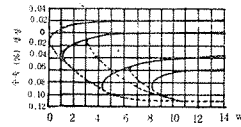
① 化學性분에 의한 亀裂

콘크리트 構造物의 亀裂에 影響을 미칠 수 있는 化學性分으로는 산, 알칼리, 염류 및 金屬원소, 非金屬원소, 기타 유기물 등이 있다. 그 中 콘크리트는 알카리에는 特別히 농도가 진한 경우 이외에는 一般的으로 影響을 받지 않으나 산 및 산성염류에는 치명적이다.

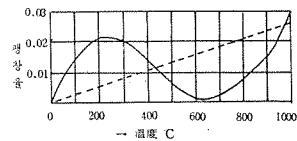
산에도 가장 유해한 것은 황산(H₂SO₄), 질산(HNO₃), 아황산(H₂SO₃), 염산(HCL), 불화수소(HF) 등이고, 이



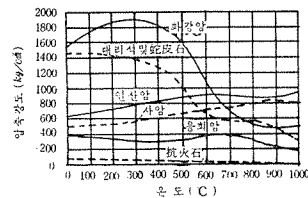
〈그림 2〉 日射量 變化에 따른 變化



〈그림 3〉 콘크리트의 膨脹과 收縮



〈그림 4〉 火災에 依한 콘크리트의 容積變化



〈그림 5〉 石材의 耐火性

는 콘크리트의 알카리성을 중성화 및 溶失하게 할뿐 아니라, 조직을 軟化하여 亀裂崩壞에 이르게 한다. 또한 염에 대한 亀裂原因은 Ca, Na, K, Mg, Cu, Fe 등의 황산염 황산암모늄 등의 염류에 침식이 심하여 亀裂崩壞에 이르게 한다. (註7)

이는 염기성 물질의 용액이 콘크리트의 生成物인 수산화 석회[Ca(OH)₂]와 作用하여 可溶性 物質을 만들어 亀裂의 影響을 주고, 또한 Cement 硬化生成物의 일부와 이와 같은 염기성 물질이 作用하여 복염을 形成함으로써, 多量의 結晶水를 취하게 되어 膨脹 亀裂, 崩壞한다. (註8)

그러나 海水中에 함유되어 있는 NaCl에 對하여는 侵害되지 않고 시멘트(Cement)에는 약간 侵害 亀裂된다. (註7) 金屬元素로서는 Cement 成分中에 함유한 유리석회, 마그네시아가 影響을 미치고 非金屬元素로는 시멘트 成分中 아황산(註9) 또는 굴푼의 연기에 함유된 Co, 및 CO 作用

註 4) 洪鵬義, 李敬衡: 建設材料學, 文運堂, 1982. 1. p. 79.

註 5) 西忠雄 外 9人: 建築學大系, Vol. 13, 建築材料學, 彰國社, 1968. 2. p. 131.

註 6) 李熙郁: 建築材料學, 螢雪出版社, 1979. 3. p. 103.

註 7) 西忠雄 外 9人: 建築學大系, Vol. 13, 建築材料學, 彰國社, 1968. 2. p. 134.

註 8) 洪鵬義, 吳昌熙, 金龍八: 建築材料工學, 普成文化社, 1979. 3. p. 129.

註 9) 鄭日榮, 韓千求, 鄭尚鎭: 建築材料實驗, 螢雪出版社, 1981. 4. p. 107.

으로 龜裂 發生의 原因이다.

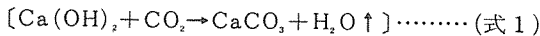
有機質로는 먼저 礦物性油와 動植物性油가 있는데 礦物性油는 그의 浸透에 있어 水化를 害치기는 하나 龜裂破壞에 作用하지는 않는다. 그러나 動植物質油는 大部分 산에 의하여 腐敗하는 性質의 物質로 龜裂을 일으키는 수가 많다.

糖分에 있어서는 粗糖은 害가 없다. 그러나 어떤 目的에 있어서는 混和할 때가 있는데 精糖分은 硬化를 減弱만 아니라, 硬化한 콘크리트를 軟化시켜 龜裂시킬 경우도 있다. (註10) 또한 기타 유기물질은 大部分 부식에 의해 龜裂을 유발한다.

② 鐵筋의 腐蝕作用에 依한 龜裂

신선한 콘크리트의 PH는 12 또는 그 이상의 알칼리성이다.

그러나 콘크리트 중의 石灰分(주로 유리석회)이 공기 중의 水分과 CO_2 에 依하여 탄산석회 $CaCO_3$ 로 되어 점차 中性化 된다.



이는 콘크리트 自体의 強度에는 큰 影響이 없으나 鐵筋 콘크리트의 경우는 鐵筋의 腐蝕으로 피해가 된다.

一般的으로 말하는 좋은 콘크리트 일수록 中性化 過程이 늦다.

이와 같은 中性化는 물 시멘트 비 $(W/C) = x$ 의 관계가 크며, 피복 두께와 관계하여 다음(式 2)와 같다. (註11)

$$t = \frac{0.3(1 + 3x)d^2}{(x - 0.3)^2} \dots \dots (式 2)$$

- 여기서 t : 風化年數
- x : W/C
- d : 風化深度

한 例로 콘크리트 表面에서 4 cm까지 中性化 되기에는 110年, 5 cm까지는 180年이 걸린다고 계산된다.

即, 鐵筋콘크리트의 中性化는 風化라고 하여도 무방하다.

一般的으로 中性化 速度는 混合 시멘트가 가장 빠르고 다음은 포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트의 順으로 늦다. (註11)

이와 같이 中性化에 따른 鐵筋의 腐蝕은 鐵筋 콘크리트 構造物의 強度低下 뿐만 아니라, 부피 膨脹 및 콘크리트와의 附着力 약화로 附着되어 있는 콘크리트를 龜裂시키는 原因이 된다.

③ 電流作用에 依한 龜裂

콘크리트 構造物의 電流作用은 배전에서의 地中流電等의 原因으로 電流가 作用할 경우로, 一般的으로 無鐵筋 콘크리트에는 交流, 直流 어느 것이나 電流로 因한 피해는 거의 없고 金屬이 埋設되어 습윤 상태를 이룬 콘크리트의 경우는 적지 않게 影響을 끼친다. 특히 교류보다 직류에 依한 龜裂 피해가 더욱 크다.

이와 같은 樣相은 電流가 鐵筋에서 콘크리트로 흐르면 鐵筋이 녹이 슬어 콘크리트에 龜裂이 發生하고, 電流가 콘크리트에서 鐵筋으로 흐르면 콘크리트가 軟化되어 附着力

이 감소되므로 龜裂이 發生한다.

특히 납(鉛)이 單獨으로 埋設되어 있을 때는 그의 腐蝕은 鐵 以上으로 빠르고, 더우기 鐵과 함께 있을 때는 콘크리트가 전해체의 역할을 하여 한층 鐵筋腐蝕에 따른 龜裂을 촉진시킨다.

이와 같은 電蝕作用은 염화칼슘 등의 電解物質을 함유한 콘크리트에서는 더욱더 빠른 作用이 일어난다. (註11)

2. 設計要因

콘크리트 構造物에서 發生할 수 있는 設計要因에 依한 龜裂은 다음과 같다. 構造物 全體의 인 平面, 立面的인 크기, 形狀 等의 Design的인 要素와 構造部材의 斷面 치수 및 模樣, 配置形式, 構造物을 지탱하는 地盤의 狀態에 따른 基礎構造 等의 構造計劃的인 要素와 許容應力度 算出 및 補強鐵筋의 算定 等의 構造計劃的인 要素와, 其他 固定荷重, 積載荷重 等 正常的으로 作用하는 長期荷重과 地震, 폭풍 等 非正常的으로 作用하는 短期荷重 等의 荷重的인 要素 等에 따라 콘크리트 構造物에 發生할 수 있는 龜裂要因은 경우에 따라 대단히 相違한 面을 갖는다.

이와 같은 設計要因에 依한 龜裂要因을 細部的으로 分析하면 다음과 같다.

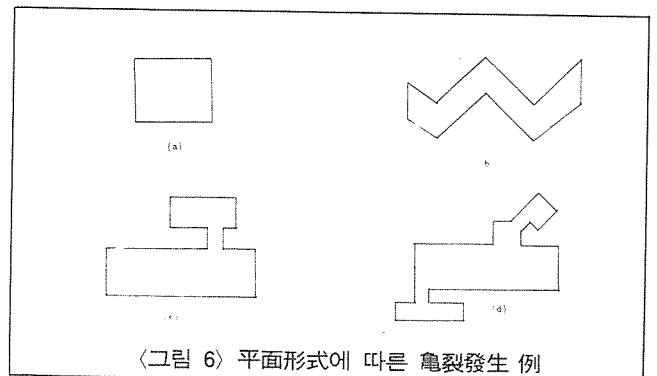
(1) Design的인 原因에 依한 龜裂

① 平面形式에 依한 龜裂

建築物의 平面形態의 決定은 構造的인 面 以外에 機能, 美觀 및 대지 형상 等을 고려하게 된다.

그러므로 龜裂防止를 위한 形態決定은 항시 主가 되지 못하고, 機能 및 美觀에 依하여 決定되는 것이 통례이다. 그러나 可能的한 한 機能 및 美觀을 해치지 않는 範圍 內에서 다음 <그림 6>의 경우와 같이 龜裂이 發生하기 쉬운 形態는 배제하는 方向으로 고려함이 必要하다. 이 內容은 地盤의 不同沈下와 밀접한 關係를 갖는다.

- (a) 가장 안정성이 있으며 장려할 수 있는 형
- (b) 지나치게 세장한 形으로 材料의 팽창 수축 및 不同沈下에 依하여 龜裂이 發生하기 쉽다.
- (c) 두개의 큰 mass를 작은 部材로 연결한 경우로 연결 부위에 龜裂이 發生하기 쉽다.
- (d) 대단히 복잡한 平面形態로 荷重分布에 不均衡이 있을 시. mass와 mass의 接合부분에서 龜裂이 發生하기 쉽다.



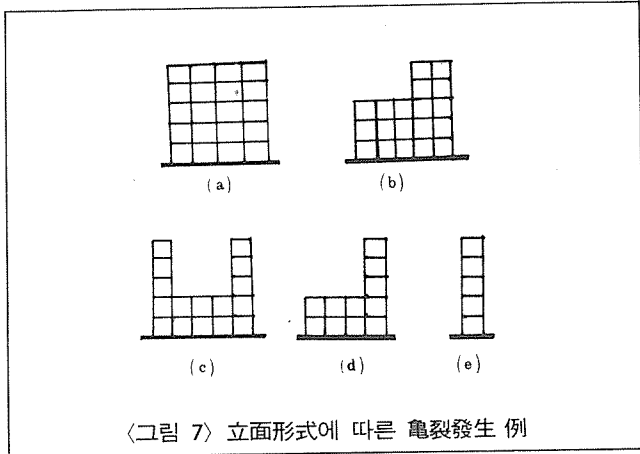
<그림 6> 平面形式에 따른 龜裂發生 例

註10) 西忠雄 外 9人: 建築學大系, Vol. 13, 建築材料學, 彰國社, 1968. 2. p. 65.

註11) 李熙郁: 建築材料學, 螢雪出版社, 1979. 3. p. 83.

② 立面形式에 따른 龜裂

建築物 立面形態의 決定은 平面配置 形式에 依한 龜裂의 경우와 거의 같다. <그림 7>의 경우는 立面形式에 依한 龜裂發生의 難易를 說明한다. (註12)



- (a) 가장 安全性이 있는 장려할 수 있는 形
- (b) 좋은 形이라 할 수는 없으나 이 程度의 것은 普通使用하고 있다.
- (c), (d) 아주 不利한 것으로 不同沈下에 依한 龜裂을 일으킨다.
- (e) 전도의 念慮가 있고 龜裂發生도 容易하다. 이런 경우는 특히 建築物의 安全性을 높이기 위해 建物의 幅(B)와 높이(H)의 比는 $B > 0.4H$ 정도가 알맞다고 할 수 있다.

(2) 構造計劃의인 原因에 依한 龜裂

① 構造部材 形態에 依한 龜裂

建築物의 構造部材는 벽체, Slab, 보, 기둥 등 여러 種類가 있으며 그 種類에서도 많은 形狀과 寸수의 差異를 보이며 配置形式도 각 경우마다 달라 龜裂發生도 相實한 面을 갖는다.

各 경우의 龜裂現象은 다음과 같다. 但, 龜裂發生 原因 및 樣相은 前述한 外形의인 龜裂樣相과 같으므로 本項에서는 생략하고, 一般의인 事項에 대하여만 서술한다.

벽면의 龜裂은 壁面 콘크리트의 두께에 影響을 받는다. 即 두께가 얇을수록 龜裂은 容易하고 특히 壁面 두께가 平面 또는 立面的으로 變化하는 部分 혹은 보와 같은 큰 荷重이 集中하는 部分에서 應力差異에 依해 龜裂이 發生한다.

壁面의 幅 및 높이와의 關係는 一般의으로 그 面積이 25 m² 以上인 경우나 또한 長近과 短近의 比가 1.5以上인 경우는 龜裂發生이 容易하다. (註13)

또한 콘크리트 壁面에 設置되는 개구부에도 影響이 크다.

개구부 上下間의 간격, 左右間의 간격이 밀접하면 밀접할수록 龜裂은 크게 發生한다. 또한 建物 立面的인 개구부 配置가 不均衡 할 때에는 龜裂의 原因이 된다. 이와 같

은 명확한 한계의 設定에 關하여는 복잡한 力學關係로 說明될 수 있으나 本 研究에서는 생략한다.

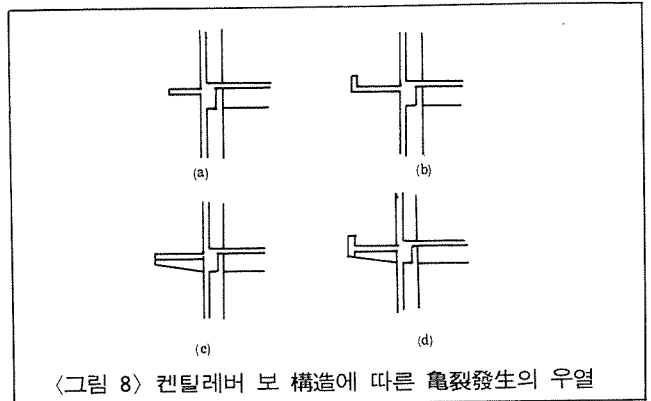
Slab의 龜裂에 關하여는 部材가 水平으로 存在한다는 것이 벽면과 다른 別 비슷한 龜裂 原因을 갖는다. 即 두께 斷面形態, 크기 등에 依한 龜裂은 大同小異하다. (註14)

그러나 特別한 例로는 넓은 바닥판을 설계할 때 큰 보 몇개로 바닥판이 지지될 경우가 작은 보가 많은 격자형을 이룬 격자보로 지지된 바닥판보다 龜裂이 크다. 力學的인 關係에 對하여는 역시 생략한다.

보의 龜裂에 對하여는 우선 보의 種類에 따른 龜裂發生의 差異가 있다.

勿論 力學的으로 많은 근거가 뒷받침 되어야 하지만 一般의인 事項으로는 可能한 應力集中이 많이 되는 구조일 수록(即 켄틸레버나 단순보가 양단고정의 부정정보 보다 龜裂이 크다) 斷面形態는 斷面效率이 적을수록(斷面係數에 關係) 龜裂이 크게 發生하는 原因이 된다.

代表的인 한 例로 켄틸레버 보의 경우를 들면 <그림 8>과 같다. (註14)



(a)의 경우가 가장 龜裂이 잘 發生하고 (b)(c)(d)의 순위로 점차 龜裂이 적게 發生하는 구조를 說明하고 있다.

기둥의 龜裂에 對하여도 역시 벽, Slab, 보에서 언급한 바와 같이 龜裂發生 要因은 大同小異한 面을 보이고 있다. 即 斷面積, 形狀, 荷重作用 狀態가 主가 되며 力學的인 關係에 對하여는 생략한다.

② 地盤 要因에 依한 龜裂

地盤要因의 龜裂은 不同沈下를 意味한다. 그러나 이와 같은 不同沈下 中 平面 및 立面計劃에 關한 原因은 前述한 바와 같고 지내력에 關하여만 論한다.

지내력에 依한 不同沈下 龜裂은 軟弱 地盤이 原因이다.

특히 粘土層의 壓密 및 성토부위가 沈下하는데 이와 같은 沈下는 自然收縮과 地下水의 水位變化에 기인되며 또한 인접건물 기초공사나 지하실 공사시 충격 또는 지하수의 수위 이동, 흙의 이동, 하중전달의 이상작용 등에 龜裂發生의 要因이 된다.

<表 2>는 研究者에 따라 구조형식 別로 規定한 허용침하량 및 허용부재각을 提示한 것이다. (註15)

註12) 金德洙: 鐵筋콘크리트 構造學, 螢雪出版社, 1978. 3. p. 16.

註13) 安甲善, 韓千求: 鐵筋콘크리트 構造物에 있어서 龜裂發生의 典型的인 原因과 事前防出 對策에 關한 研究, 仁川大學論文集, Vol. 2, 1980. 12. p. 6.

註14) 李特求 譯(松下清夫, 鐵田光雄著): 建物의 엑스펜션조인트工法, 泰昌文化社, 1978. 8. p. 15.

註15) 李特求 譯(松下清夫, 鐵田光雄著): 建物의 엑스펜션조인트工法, 泰昌出版社, 1978. 8. p. 19.

〈表 2〉 構造形式에 따른 許容沈下量 및 許容部材角

著 者	構 造 形 式	許容沈下量 (cm)	許容部材角 (Rod)
Baumamn(1873)	鐵筋콘크리트造	4.0	
Jenny (1891)	鐵筋콘크리트造	5.0~7.5	
Purdy (1891)		7.5~12.5	
Simpson(1934)	鐵筋콘크리트造	10.0~12.5	
Terzaghi (1935)	鐵筋콘크리트造	5.0	
	벽 들 造		1 / 280
Terzaghi & Peck(1948)	鐵筋콘크리트造	5.0	1 / 320
Tschebotarioff (1951)	벽 들 造	5.0~7.5	
Ward & Green (1952)	벽 들 造		1 / 480
Meyerhof (1953)	鐵筋콘크리트 라아멘		1 / 300
	鐵筋콘크리트 壁 式		1 / 1000
	벽 들 造		1 / 600
大 崎 (1956)	鐵筋콘크리트造 · 블록造		1 / 500~1 / 1000

(3) 構造計算的인 要因에 依한 龜裂

龜裂要因 中 構造計算的인 要因은 어떤 物質的인 要因보다도 許容應力度 算定이라든가, 補強鉄筋 算出時에 發生하는 과실에 主로 기인한다.

그러므로 構造計算時의 주의력 集中이 問題가 된다.

(4) 荷重要因에 依한 龜裂

① 長期 荷重에 依한 龜裂

長期 荷重에는 建築物 構造體의 自重에 依한 固定荷重 (Dead load) 과 荷重 積載에 따른 積載荷重 (Live load) 및 多雪區域에서는 雪荷重 (Snow load) 이 포함된다. (註16)

그러나 建築物에서 發生하는 龜裂要因은 構造設計時 許容龜裂幅 이내로 構造設計에 고려하였다면 問題視 되지 않는 事項이 된다.

② 短期 荷重에는 積雪, 地震, 폭풍, (註16) 진동, 폭발음, 비행기의 초음속 돌파음 등이 포함된다.

構造設計時 勿論 고려가 되어야 되겠지만 만약 그렇게 되었다 하여도 荷重에 依한 龜裂要因의 主要因이 된다.

短期 荷重作用에 따른 복잡한 力學的 關係에 關한 原因이 규명될 수도 있으나 本 研究에서는 생략한다.

3. 材料要因

콘크리트 製造에 使用되는 材料로는 시멘트, 骨材 (잔骨材, 굵은 骨材), 물 및 混和材料이다.

콘크리트란 이와 같은 여러 材料를 混和하여 이루어진 것으로 各 材料에 依한 龜裂發生 要因은 다음과 같다.

(1) 시멘트 要因에 依한 龜裂

시멘트는 물과 結合하여 시멘트풀 (Cement paste) 狀態로 骨材粘子 相互間을 結合시켜, 점차 시멘트의 응결 및 硬化作用으로 콘크리트에 強度를 주는 要因이 된다. 이와 같은 시멘트 要因에 依한 龜裂發生 原因은 化學的인 要因

과 物理的인 要因으로 分類될 수 있는데 그 內容은 다음과 같다.

① 化學的인 要因에 依한 龜裂

시멘트는 복잡한 化合物로 構成되어 있다. 이와 같은 化合物이 물의 作用에 따라 水和作用을 하게 되는데, 이 때는 一定量의 發熱量을 갖는다. 化合物의 水和發熱量은 콘크리트 内部에서 콘크리트 溫度를 상승시킴으로써 팽창을 유발한다.

이와 같은 龜裂을 팽창 龜裂이라 하는데, 이는 發熱量의 影響이 크다. 卽 發熱量이 클수록 龜裂이 크게 發生한다.

〈表 3〉은 시멘트 構成性분에 따른 水和發熱을 나타낸다. (註17)

그러나 그 中에서 생석회, 산화마그네슘, Celit (알루미나 산삼석회)의 順으로 發熱量이 많다.

卽 생석회 및 산화마그네슘은 포틀랜드 시멘트 클링커 조성 4 大性分 이외의 不純物에 해당하므로 시멘트 種類에 影響이 없이 龜裂原因이 되나, Celit 成分은 알루미나 시멘트, 초조강 포틀랜드 시멘트, 조강포틀랜드 시멘트에 多量 含有하게 된다. 즉 이와 같은 조기강도를 낼 수 있는 시멘트는 곧 龜裂發生의 原因이다.

또한 發熱量은 시멘트 使用量과도 關係가 있다. 시멘트 使用量이 많을수록 發熱이 커져서 龜裂發生 原因이 된다.

그러나 이와 같은 시멘트 使用量은 콘크리트 強度와 關係가 있는데, 콘크리트 強度 問題는 高強度化 할수록 龜裂은 적게 發生한다.

그러므로 시멘트 사용량에 따라 龜裂을 論하는 데는 서로 相反關係가 되므로 龜裂原因 分析에는 엄밀한 검토가 必要하다.

이와 같은 팽창성 龜裂은 主로 工事初期에 發生한다.

〈表 3〉 시멘트 成分과 水和 發熱量

化學成分	C ₃ A	C ₂ S	C ₃ AF	C ₄ S	CaO	MgO
發 熱 量	207±3	120±3	100±3	62±3	278.9	203

註16) 建築法施行令 第 8 節(構造計算), 1981.

註17) 西忠雄 外 9 人: 建築學大系, Vol. 13, 建築材料學, 彰國社, 1968. 2. p. 62.

또한 시멘트 성분중에 前述한 化學成分 外에도 여러 種類가 있다. 그 중에서도 유리석회, 마그네시아, 아황산 및 과다 알칼리분은 許容含有量을 초과하였을시 시멘트의 安全性을 해침으로 또한 龜裂要因이다. 이와 같은 安全性 試驗方法은 KSL 5107에 規定되어 있다.^(註18) 시멘트 응결 경화 과정에서도 龜裂發生 要因이 있다. 그러나 경화과정은 施工 要因에서 說明하고 응결과정에서는 2중응결성 시멘트를 使用하였을 경우 龜裂發生 原因이 된다.^(註19)

風化된 시멘트의 사용도 또한 強度低下에 따른 龜裂 要因이다.^(註20)

② 物理的 要因에 依한 龜裂

物理的 要因에 依한 龜裂은 주로 콘크리트 強度와 연관되어 龜裂에 影響을 미친다. 即, 強度가 낮은 要因은 龜裂의 原因이다.

시멘트의 比重은 소성이 불충분하거나, 異物質이 混入되었거나, 風化되었을 경우 比重이 低下하는데, 이와 같은 시멘트를 使用하였을 때는 龜裂原因이 된다.

시멘트의 粉末度는 어느 정도까지 (3,000cm²/g) 미세할수록 강도 증진되어 龜裂이 적어진다. 또한 너무 미세하여지면 發熱量 증가에 따라 팽창 龜裂의 原因이 되므로 상반관계를 갖는다.

시멘트의 乾燥收縮은 시멘트 種類에 따라 各各 다른 값을 나타내는데, 이와 같은 乾燥收縮이 龜裂要因이 된다.^(註20)

〈表 4〉는 시멘트 種類에 따른 乾燥收縮率을 表示하고 있다.

即 고로 시멘트, 시리카 시멘트, 보통 포틀랜드 시멘트의 順으로 收縮率이 커서 龜裂 原因이 된다.^(註21)

(2) 骨材 要因에 依한 龜裂

骨材는 콘크리트 속에 存在하여 충전제, 내구성 개량제, 강도보강제의 역할을 하는 것으로 잔骨材와 굵은骨材로 分類된다.

이와 같은 骨材에 關한 龜裂要因은 다음과 같다.

충진까지는 骨材가 콘크리트 強度에 影響이 거의 없는 충전제로만 알려져 왔다. 그러나 最近의 研究結果는 強度補強劑도 겸하는 것으로 알려졌다. 그러므로 이와 같은 骨材 要因은 콘크리트 強度와 연관되어 龜裂發生 要因이 된다.

즉, 骨材 自体強度는 弱할수록 龜裂이 많이 發生하고, 骨材의 粘徑은 잔骨材의 경우는 미소할수록, 굵은 骨材의 경우는 클수록, 龜裂이 크게 발생하며 잔骨材率(S/A)은

작을수록 굵은 骨材의 Fractional Volume은 클수록 龜裂이 크게 發生한다.

骨材와 Cement의 接着力은 接着力이 작은 것일수록, 굵은骨材 상호간의 Inter-locking은 적을수록 龜裂이 많이 일어나고 또한 骨材에 含有된 점토덩어리, 유기물 등 불순물이 많이 함유 될수록 龜裂이 크게 發生한다.^(註20)

(3) 물의 要因에 依한 龜裂

콘크리트에 사용되는 물은 Cement의 水和作用을 發生시키기 위하여 使用하는 것으로, 엄격한 의미로 龜裂發生을 억제시킬 수 있는 물은 종류수가 타당하다. 그러나 깨끗한 상수도 물을 이용한 결과와는 별다른 差뿔가 없다. 그러므로 물은 環境要因에 依한 龜裂 中, 化學的 原因에 依한 龜裂에서 언급한 바와 같은 강알칼리, 산, 염, 隴탕물, 당분 및 유기물 등을 含有한 물은 龜裂發生의 原因이 된다.

(4) 混合劑 要因에 依한 龜裂

混合劑란 콘크리트의 어떤 特別한 性質을 改良할 目的으로 使用하는 것으로 대단히 많은 種類가 있다.

그 중 龜裂에 影響을 주는 混合劑는 응결경화 촉진제로 염화칼슘(CaCl₂), 카아르(CaO CaCl₂ nH₂O), 염화마그네슘(MgCl₂), 염화나트륨(NaCl) 등을 使用하면 鐵筋腐蝕의 原因이 되어 철근부피가 팽창됨에 따라 콘크리트에 龜裂이 發生한다.^(註22)

그러므로 混合劑 中 응결경화 촉진제는 콘크리트 龜裂의 原因이 된다.

4. 施工 要因에 依한 龜裂

콘크리트의 施工이란 대단히 광역한 意味를 내포하지만 여기서는 콘크리트의 製造過程과 養生으로 分類하여 論하고자 한다.

(1) 製造過程 要因에 依한 龜裂

① 물 시멘트 비(W/C)에 依한 龜裂

물 시멘트 비(W/C)는 클수록 콘크리트가 低強度化하여 強度와 關聯하여 龜裂의 要因이 된다. 即, 물 시멘트 비(W/C)가 클수록 龜裂은 많이 發生한다.

② 슬럼프(Slump)值에 依한 龜裂

슬럼프(Slump)值는 시공연도(Workability)와 연관되는 것으로 슬럼프(Slump)值가 낮으면 공극 發生에 따른 水分 浸透로 동결 응해에 依하여 龜裂이 되고, 슬럼프(Sl-

〈表 4〉 시멘트 種類에 따른 乾燥收縮率(×10⁻⁴)

시멘트	시멘트의 種類						備考
	보통(P)	조강(P)	중용열(P)	고로A種	고로B種	Silica Fryash	
收縮率	16.3	15.2	12.2	18.4	22.5	17.5	12.9

註18) 鄭日榮, 韓千求, 鄭尚鎭: 建築材料實驗, 螢雪出版社, 1981. 4. p. 129~131.

註19) 西忠雄 外 9人: 建築學大系, Vol. 13, 建築材料學, 彰國社, 1968. 2. p. 59~60.

註20) 韓千求: 콘크리트의 高強度化에 關한 提案, 대한건축학회지, Vol. 25, No. 101. 1981. 8. p. 65~72.

註21) 西忠雄 外 9人: 建築學大系, Vol. 13, 建築材料學, 彰國社, 1968. 2. p. 64.

註22) 西忠雄 外 9人: 建築學大系, Vol. 13, 建築材料學, 彰國社, 1968. 2. p. 179~180.

ump)值가 너무 크면 材料分離 및 Bleeding에 의한 공극에 水分浸透로 인한 동결응해 龜裂 및 強度低下에 기인하여 龜裂의 原因이 된다. 그러므로 슬럼프(Slump)値는 시방서에 規定된 적정値의 유지가 要望된다.

③ 콘크리트 運搬 및 타설에 의한 龜裂

콘크리트의 運搬時間이 길어지면 一般的으로 保水性이 좋아지고, Bleeding이 減少되고 沈降도 적어지게 된다. 그러나 運搬時間이 짧으면 沈降이 커지기는 하나 콘크리트는 充分히 流動性을 지니고 있으므로 龜裂은 적게 된다.

이와 같은 現象은 氣溫에도 關係되어 더울 때에는 콘크리트 表面에서 水分의 증발이 극심하여 응결이 빨리 진행되고, 運搬時間이 짧은 쪽에 沈降 龜裂이 현저하게 옮겨지고, 추울 때에는 이와 反對되는 것을 <그림 9>에서 알 수 있다. (註23)

運搬時間은 콘크리트에 여러가지 영향을 주게 되는데, 龜裂 發生의 機構로서 沈降 龜裂을 들 수 있고, 打設後 水分의 上昇 固形物의 沈降이라는 分離現象으로서 <그림 10>과 같다. (註23)

이와 같은 現象은 콘크리트 打設後 1~2 시간 內에 나타난다.

또한 打設 스케줄로 인하여 龜裂의 영향이 되는 수도 있다.

<그림 11>은 지하실 흙막이 計劃으로 建物 中央部의 기초 콘크리트를 먼저 施工하고 나중에 周邊을 파서 그 周邊의 기초 콘크리트를 施工한 경우로 收縮 速度의 差에 의하여 龜裂이 생기는 例이다. (註23)

또한 콘크리트의 이어붙기는 신·구 콘크리트의 이음 위치가 龜裂原因이 된다.

특히 剪斷力이 最大가 되는 위치에서 이어붙기가 되었거나, 或은 施工面의 表面처리(레이턴스 제거 등)가 불량한 경우 龜裂은 더욱더 현저하다.

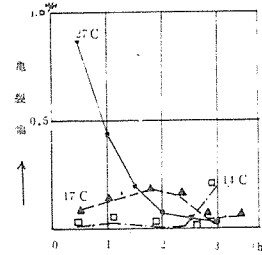
(2) 養生要因에 의한 龜裂

① 養生方法 要因에 의한 龜裂

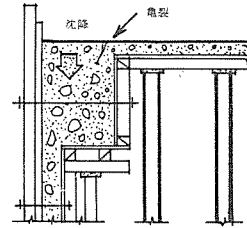
콘크리트를 부어 넣은 다음 養生하여 그 水和作用을 充分히 발휘시키고 同時に 乾燥 및 外力에 의한 龜裂發生을 防止하고 오손, 변형, 파괴 등을 예방하는 것을 콘크리트의 保養 또는 養生이라 한다. 이와 같은 養生方法에는 水中養生, 氣乾養生, 보습양생 및 특수양생, 증기양생, 전기양생, 고온 고압양생 등이 있다.

이중 乾燥狀態로 養生하는 氣乾養生은 乾燥收縮으로 제일 큰 龜裂 要因이다. 일단 乾燥시킨 다음 다시 침수하면 다시 팽창하여 龜裂이 縮少되긴 하나, 한번 發生된 龜裂은 完全 제거되지는 않는다.

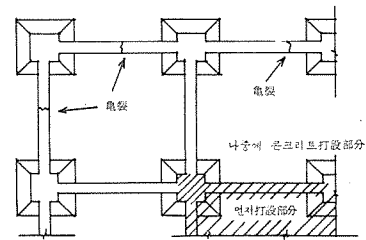
이와 같은 龜裂은 또한 乾燥된 狀態에서 콘크리트를 방지하는 養生方法보다 오히려 乾燥와 吸收가 반복되게 養生하는 경우가 더욱 龜裂發生을 촉진한다. (註24)



<그림 9> 콘크리트를 비비기 始作하여 타설할 때까지의 시간과 均열폭



<그림 10> 沈降 龜裂



<그림 11> 콘크리트의 打設시기의 차이에 의하여 發生한 龜裂

② 養生溫度 要因에 의한 龜裂

콘크리트 養生溫度는 溫度가 낮을수록 龜裂發生의 原因이 된다.

특히 氷점 以下の 溫度에서는 치명적이다. 또한 溫度가 常溫(20~25°C)보다 많이 높을 때에는 冷却에 따른 收縮 龜裂이 發生한다. 이 때는 65°C 程度를 限界로 한다. 다만, 特殊한 設備로 高溫 高壓으로 養生할 경우에는 예외로 한다. (註25)

③ 初期荷重 積載要因에 의한 龜裂

콘크리트가 一定한 強度를 發揮하기 以前에 荷重이 作用하면 龜裂이 發生한다. 또한 一定強度에 달하였다 하더라도 養生 初期에 過大荷重이 積載되면 Creep現象이 증진되어 결국 龜裂을 유발한다.

④ 거푸집 要因에 의한 龜裂

콘크리트 打設時 뿐만 아니라 養生中에도 거푸집에 變形이 생기면 콘크리트는 龜裂을 發生한다. 거푸집 材料가 吸收性 材料인 경우는 水分吸收에 따른 콘크리트 자체에 強度를 低下시켜 또한 龜裂을 유발하는 경우도 있다.

註23) 鄭日榮 : 建築構造에 關한 小考(3), 建築士, 1978. 1. p. 34~35.

註24) 具奉權 : 建築材料學, 1981. 2. p. 169~171.

註25) Kenneth L. saucier : High-Strength Concrete, Past, Present, Future, Concrete International Vol. 2, No. 6, 1980. 6. p. 46~50.