

콘크리트의 龜裂現象에 대한 一般的 考察

韓 基 成
〈仁荷大學校教授·工博〉

1. 緒 論

콘크리트는 예로부터 土木, 建築 기타 여러 가지 建造物의 構築에 많이 이용되어 왔고 앞으로 더욱 活用되어 갈 것은 틀림없는 사실이다. 이렇게 중요한 콘크리트 構築物에서 우리는 여러가지 결함에 당면하게 되고 그중에서도 콘크리트의 龜裂缺陷現象은 우리 주변에서 종종 보게 된다. 콘크리트에서 龜裂現象이 나타나는 이유는 상당히 많으며 材料面에서의 原因, 施工面에서의 原因, 構造 및 外力 등으로부터의 原因 등 너무나도 다양하다.

粉體인 시멘트를 主材料로 하고 骨材와 물을 같이 混合하여 硬化시킨 콘크리트 硬化體는 壓縮強度에 비하여 引張強度가 아주 적고 硬化過程 중에 일어나는 乾燥에 의한 收縮作用, 水和過程 중에 발생하는 水和熱에 의한 體積變化, 環境 및 外力 등에 의하여 引張應力이 발생하는 등 때문에 콘크리트의 構築物에 균열이 생기는 것은 오히려 宿命적이라고까지 한다. 그러나 우리는 이들의 결함을 最少限度로 줄이고 콘크리트가 갖는 특성을 最大限度로 나타나게 함으로써 構築物의 耐久性, 防水性 및 美觀性 등을 向上시킬 수 있도록 이들의 原因을 究明하고 防止策을 강구해 나가야 함은 물론이다.

시멘트의 生産規模는 年間 3,000 만톤에 육박하고 있는 우리나라에서 이 시멘트를 必須材料

로 사용하는 콘크리트에 관한 연구가 너무나 미미한 것을 볼 때 우리의 시멘트 콘크리트계의 앞날을 우려하지 않을 수가 없다.

시멘트의 生産者와 需要者가 相互關心과 理解를 바탕으로 産業體, 學校, 研究所의 共同步調下에 이 문제를 꾸준히 해결해 나갈 것을 促求하고자 한다. 여기서는 콘크리트의 龜裂現象에 대하여 그 原因과 對處方案¹⁾을 개략적으로 다루고 우리나라의 시멘트 콘크리트계가 앞으로 指向할 바를 모색해 보고자 한다.

2. 콘크리트의 龜裂發生 原因과 防止策

콘크리트의 龜裂發生 原因을 다음과 같이 정리하여 보았다.

〈콘크리트 龜裂發生의 主要原因〉²⁾

A 材料的 성질에 관계되는 것

- ㄱ) 시멘트의 異常凝結
- ㄴ) 시멘트의 異常膨脹
- ㄷ) 시멘트의 水和熱
- ㄹ) 骨材에 포함되어 있는 泥土分
- ㅁ) 反應性 骨材나 風化岩의 사용
- ㅂ) 콘크리트의 沈下·bleeding 現象
- ㅅ) 콘크리트의 乾燥收縮

B. 施工에 관계되는 것

- ㄱ) 混和材料의 不均一한 分散
- ㄴ) 長時間의 混練
- ㄷ) 펌프 壓送時의 시멘트의 量·水量의 增量
- ㄹ) 配筋의 亂調·被覆 콘크리트의 不足
- ㅁ) 急速한 打設速度
- ㅂ) 不均一한 打設
- ㅅ) 不適當한 連繼處理
- ㅇ) 거푸집의 불거짐
- ㅈ) 漏水(거푸집으로부터)
- ㅊ) 支持臺의 沈下
- ㅋ) 거푸집의 早期除去
- ㅌ) 硬化前의 振動이나 積荷
- ㅍ) 初期養生中의 급격한 乾燥
- ㅎ) 初期凍結

C. 環境條件에 관계되는 것

- ㄱ) 環境溫度·濕度の 변화
- ㄴ) 部材兩面の 溫·濕度の 差異
- ㄷ) 凍結·融解의 反復
- ㄹ) 内部鐵筋의 녹(鏽)
- ㅁ) 火災·表面加熱
- ㅂ) 酸·塩類의 化學作用

D. 構造·外力 등에 관계되는 것

- ㄱ) 荷重(設計荷重 이내의 것)
- ㄴ) 荷重(設計荷重을 초과하는 것)
- ㄷ) 荷重(주로 地震에 의한 것)
- ㄹ) 斷面·鐵筋量 不足
- ㅁ) 構造物의 不均一한 沈下

E. 其他

- ㄱ) 其他의 原因

콘크리트의 龜裂發生 原因을 위에서 정리해 보았지만 실제 콘크리트 構築物에서의 균열은 두 가지 이상의 原因이 複合的으로 나타나는 경우가 대부분이므로 그 原因은 無數하다고 하겠다. 그중 주요 龜裂發生 原因에 대하여 간단한 考察과 防止策을 들어보기로 한다.

1) 시멘트의 異常凝結, 異常膨脹

打設한 콘크리트가 凝結이 異常的으로 늦어 지든가 硬化作用이 아주 不良하며 때로는 膨脹性 龜裂이 不規則하게 발생하는 경우로서 成分的으로 不安定한 시멘트를 사용하였거나 骨材나 用水에 不純異物質이 混入되었을 경우, 混和材나 混和劑를 過剩으로 사용되었을 경우들을 들 수 있다. 이러한 경우의 安全한 對策으로는 가능한 한 빨리 異常部分의 콘크리트를 除去하고 엄격한 管理下에 再打設을 해야 한다. 그리고 各種試驗을 거쳐 原因을 確實히 究明해 놓아야 한다.

2) 시멘트의 水和熱

콘크리트가 硬化하는 過程에서 발생하는 水和熱이 massive 한 콘크리트일수록 内部的으로 蓄積되어 溫度가 올라가고 表層部分은 放冷되어 상당한 溫度差가 생김으로써 表層部에 龜裂이 발생한다.

이러한 龜裂發生을 방지하기 위해서는 中庸熱 시멘트나 低熱시멘트 등 水和熱이 적은 시멘트를 사용하고 또한 單位시멘트량을 적게하는 것이 原則이다. 適當한 混和材料³⁾를 사용하는 것도 바람직하다.

3) 骨材의 品質

泥土分이 多量 含有된 骨材를 사용하게 되면 콘크리트 表面에 不規則한 網狀龜裂이 발생하기 쉽다. 또 微細한 泥土分 때문에 單位水量이 증가하여 乾燥收縮이 커지든가 콘크리트의 硬化가 阻害되기 때문이기도 하다.

알칼리 骨材反應性 骨材⁴⁾는 콘크리트 硬化反應時 시멘트 중의 알칼리와 骨材 중의 알칼리反應性 실리카가 反應하여 膨脹 또는 局部的인 爆裂現象을 나타내어 龜裂이 발생하게 된다. 따라서 시멘트 중의 알칼리 含有量을 적게해야 할 것이며 사용하는 骨材에 대해서도 충분한 品質 管理를 해두어야 할 것으로 본다.

4) 콘크리트의 沈下, bleeding

콘크리트는 打設后에 剩餘水가 分離되는 bl-

eeding 現象 때문에 콘크리트面이 沈下하게 된다. 이러한 경우에 固定된 水平鐵筋을 따라서 또는 粗骨材 周圍에 龜裂이 발생하는 수가 있다.

이러한 龜裂現象을 방지하기 위해서는 적당한 表面活性劑(특히 AE 劑)를 사용하여 가능한 한 單位水량을 적게 하든가, 되도록 細粒性의 骨材를 사용하는 것이 좋다. 또한 沈下가 繼續되는 1~1.5 時間 사이에는 급격한 乾燥를 방지하여 콘크리트의 流動性을 유지해 주는 것이 중요하다.

5) 콘크리트의 乾燥收縮

시멘트 硬化體의 乾燥收縮⁶⁾은 결과적으로 몰탈, 콘크리트 構造物에 龜裂缺陷現象을 발생시키는 큰 原因의 하나이다. 시멘트 硬化體의 乾燥收縮機構는 매우 복잡하고 毛細管張力說, 表面吸着說, 層間水說 등을 여러 사람들이 提案하고 있다. 콘크리트의 乾燥收縮은 상당히 長時間에 걸쳐 일어나고 龜裂發生은 콘크리트 打設后 2~3 個月에서 6 個月間에 걸쳐 일어나고 條件에 따라서는 상당히 오랜 期間 成長해 간다. 乾燥收縮에 영향을 주는 要因으로서 는 시멘트의 종류에 의한 것으로서 化學成分이나 粉末度에

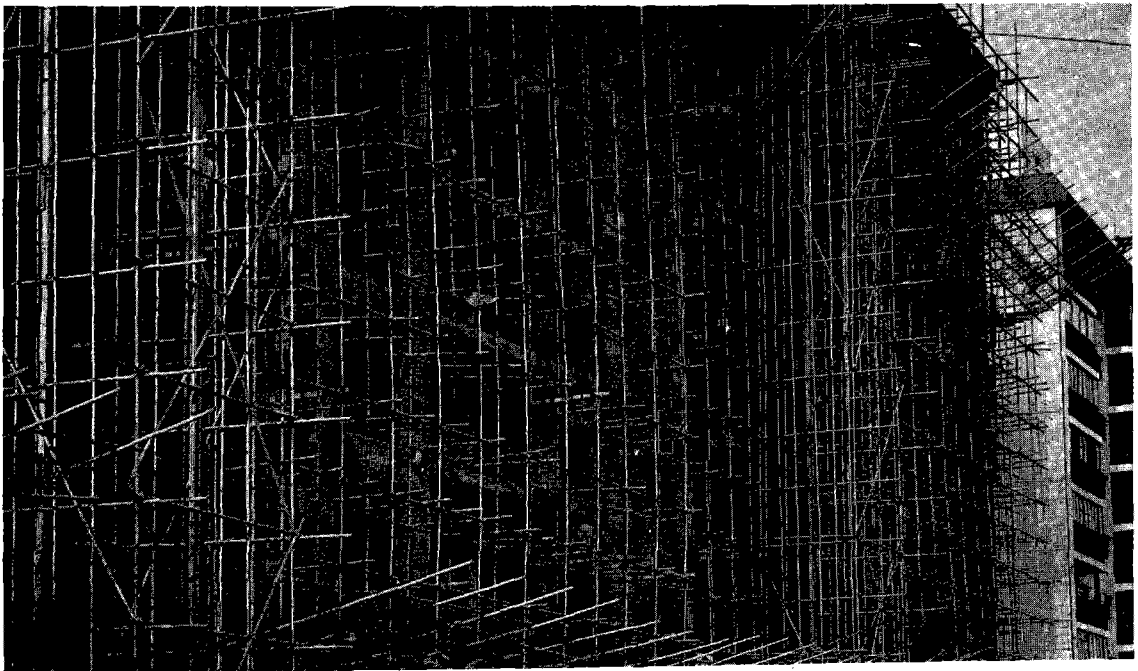
따르는 것이 있고 骨材의 岩種에 따라 다른 것도 있다. 碎石骨材는 河川骨材에 비하여 單位水량은 많으나 收縮은 적다는 報告도 있다. 骨材 중에 含有되는 粘土分, 碎石이나 碎砂 中の 岩石微粉, 海砂 中の 鹽分도 乾燥收縮을 증가시킨다.

AE 劑, 減水劑 또 流動化劑 등의 混和劑 등은 일반적으로 單位水량을 감소시키므로 乾燥收縮을 줄이는데 효과적이다.

콘크리트의 收縮을 방지할 목적으로 硬化 중에 적당히 膨脹하는 성질을 갖는 材料인 膨脹材⁶⁾를 콘크리트 作業時 加하기도 한다. 膨脹材로서는 遊離石灰나 마그네시아를 주로 한 것과 黃酸알민酸石灰를 주로 한 것이 있다.

6) 長時間에 걸친 混練

混練時間이 너무 길어지면 콘크리트의 流動性을 빨리 상실하게 되므로 沈下에 의한 龜裂이 발생되기 쉽다. 또 콘크리트의 온도가 상승하므로 수분의 증발이 빠르게 되고 初期龜裂이 발생하게 된다. 따라서 混練 間도 적절히 관리해야 할 것이며 특히 레미콘의 遠距離 輸送時 등에 주의를 요한다.



7) 펌프 壓送時의 시멘트의 量·水量의 增量

壓送性を 좋게 하기 위하여 配合設計된 콘크리트 調合에 不適合한 變更을 하게 되면 龜裂이 발생하기 쉽다. 즉 펌프 壓送時 現場에서 시멘트나 물을 增加시키는 경우를 말한다. 또 콘크리트 打設現場에서 施工性(workability)을 좋게 하기 위하여 물을 적당히 混合하는 경우를 보는데 이런 것도 龜裂을 발생하기 쉽게 하므로 좋지 않다.

8) 配筋의 亂調·被覆콘크리트의 不足

平面슬라브 工事時 鐵筋의 位置는 콘크리트 打設作業 때문에 位置의 變更, 휨 등으로 亂調를 보이게 되고 콘크리트의 被覆量도 位置에 따라 고르지 않게 된다. 이런 것이 또한 龜裂發生의 原因이 되므로 作業員은 특히 주의를 해야 할 것이다.

9) 急速한 打設速度

打設速度가 빠르게 되면 거푸집에 더해지는 側壓이 增大하고 거푸집의 불거짐이 일어나 龜裂이 발생하게 된다. 또한 콘크리트의 沈下가 증가하므로 沈下龜裂도 일어나기 쉬워진다. 밑부분의 콘크리트가 충분히 安定되는 것을 기다린 후에 윗부분의 콘크리트를 打設하도록 하여야 한다.

10) 不均一한 콘크리트 打設

콘크리트의 打設作業을 골고루 均一하게 하지 않으면 充填이 불충분하거나 부분적인 劣化를 초래하고 이런 부분에는 乾燥나 溫度變化에 의한 收縮 또는 外力 등에 의한 應力이 모이게 되므로 龜裂이 발생하기 쉽다. 콘크리트 打設時에는 vibrator 등을 사용하여 콘크리트의 充填이 均一하게 이루어져 内部에 氣孔이 생기지 않도록 하여야 한다.

11) 打設連繼 處理의 不良

콘크리트의 打設連繼部分의 強度는 약하여 적은 힘을 加하여도 連繼部分이 破斷되어 龜裂이

생기게 된다. 전에 打設한 콘크리트 連繼面이 乾燥되어 있으면 새로운 콘크리트를 打設하였을 때 脫水가 되어 流動性을 빨리 상실하게 되며 상당한 乾燥收縮이 일어나 局部的인 龜裂을 발생시키게 된다.

즉 打設順序나 打設方法이 不適當하면 cold-joint 現象이 일어나게 된다. 이런 現象을 防止하기 위해서는 打設連繼作業 間隔을 길게 하지 않는 것이 필요하다. 그 限度는 外氣溫度가 25℃ 이상일 때는 2.5시간, 25~15℃일 때는 3.5시간, 15℃ 미만일 때는 4.5시간 정도이다.

12) 支持臺(받침대)의 沈下

콘크리트의 硬化가 충분히 進行되지 않아 強度가 弱할 때에 무거운 荷重을 加하든가 거푸집을 너무 빨리 除去하든가 하면 받침대가 部分的으로 沈下하기도 하고 슬라브의 모서리 등에 龜裂이 발생한다. 示方書에 規定된 養成期間이 지난 뒤에 荷重을 加하든가 거푸집을 제거해야 한다.

13) 打設直後의 급격한 乾燥

콘크리트 打設后 表面으로부터 水分이 급속히 증발하면 콘크리트 表面에 전반적으로 비교적 짧은 龜裂이 不規則하게 발생한다.

이러한 龜裂을 방지하기 위해서는 적당한 養生方法을 통하여 콘크리트 표면으로부터 水分의 증발을 방지하는 것이 중요하다. 특히 氣溫이 높을 때, 바람이 세게 불 때 注意를 요한다. 일반적으로는 打設后 즉시 通氣性이 없는 film으로 콘크리트의 露出面을 덮는 것이 좋다. 또는 吸濕性的 藥劑를 表面에 얹게 살포하는 방법도 있다.

14) 初期凍結

콘크리트가 硬化하기 전에 凍結하면 龜裂發生의 原因이 된다. 이 龜裂은 콘크리트의 表面에 局限되는 경우가 많고 거푸집을 제거해 보면 表面이 허영고 거칠어 보인다. 寒冷時의 콘크리트 工事에는 水和熱이 많은 시멘트를 사용하는 것이 오히려 효과적이다.



15) 環境溫度·濕度の 변화

콘크리트는 溫度 및 濕度の 변화에 따라서 伸縮을 하게 되고 이것이 拘束이 되면 龜裂이 발생한다. 콘크리트는 乾濕의 변화보다 溫度의 변화에 대하여 더욱 민감하고 따라서 長期間에 걸친 龜裂의 成長은 주로 乾燥에 의하여, 短時間의 龜裂의 변화는 온도에 의하여 발생한다고 본다.

특히 環境溫度의 급격한 변화는 龜裂을 발생시키기 쉬우므로 斷熱性 材料로 被覆하는 등 사전 관리를 철저히 하는 것이 중요하다.

16) 凍結·融解의 反復

凍結·融解가 반복되면 콘크리트에 龜裂이 발생하게 되고 그 사이에 물이 침투하여 凍結됨으로써 龜裂幅이 더욱 확대되어 간다. 콘크리트의 凍結·融解에 대한 抵抗性을 증가시키기 위해서는 AE劑 등 적당한 混和劑를 사용하여 물 시멘트비를 적게 할 필요가 있다.

17) 火災나 表面의 加熱

火災나 기타 原因으로 콘크리트 表面이 加熱되면 表面 전반에 걸쳐 網目狀의 龜裂이 발생한다. 더구나 火災의 경우는 構造物의 각 부분

에 變形이 생기게 되고 콘크리트 部材에 局部의 龜裂이 생기게 된다. 특히 힘을 많이 받는 外周의 柱頭나 柱脚에는 큰 bending moment가 생겨 큰 龜裂을 발생한다.

18) 内部 鐵筋의 녹

콘크리트 内部의 鐵筋에 녹이 슬게 되면 體積이 膨脹하여 被覆된 콘크리트를 밀어 올려 鐵筋에 따라서 龜裂이 생기게 된다. 일단 균열이 발생하면 그 틈사이로 물이 浸入하거나 鐵筋 부근의 콘크리트가 中性化되는 등 변화하여 鐵筋의 녹은 더욱 촉진된다.

19) 構造 및 外力에 의한 原因

鐵筋 콘크리트 構造物은 항상 荷重에 의하여 어느 정도 龜裂이 발생하게 되며 그외에 積載 荷重의 過負荷에 의한 것, 部材斷面이나 鐵筋量의 부족에 의한 것 또는 構造物의 不均一한 沈下에 의한 것 등이 있다.

따라서 이와 같은 構造物에 발생하는 龜裂을 방지하기 위해서는 設計와 施工段階에서 면밀한 檢討를 하는 것이 중요하다.

3. 콘크리트 研究에 대한 對策

1984년 시멘트 심포지움에서 우리나라 콘크리트의 問題點과 對策⁷⁾에 대하여 論한 바 있거니와 土木, 建築 등 모든 중요한 構築物의 建造를 담당하고 있는 우리 시멘트 콘크리트계가 견고 있는 오늘의 現實은 問題點을 克服하고 해결하기 위한 연구가 너무나 미흡하다.

가까운 日本의 例⁸⁾를 들어 보기로 하자. 日本 시멘트協會가 수행하고 있는 研究分野를 보면

- 計劃審議專門委員會
- 規格專門委員會
- 標準砂專門委員會
- 化學分析專門委員會
- 水和熱專門委員會
- 粉碎專門委員會
- 粉末度專門委員會
- 燃料專門委員會

- 시멘트化學專門委員會
- 시멘트製造技術專門委員會
- 收縮專門委員會
- 龜裂專門委員會
- 콘크리트專門委員會
- 海洋開發專門委員會
- 道路對策專門委員會
- 高強度콘크리트研究專門委員會
- 纖維補強콘크리트研究專門委員會

등 필요에 따라 專門委員會를 構成, 研究를 수행하고 結果를 各專門委員會報告로 發刊하여 配布하고 있다. 또 시멘트協會 主權로 매년 시멘트製造技術심포지움과 시멘트技術大會 및 콘크리트講習會 등을 開催하고 각각의 論文集을 發刊하며 月刊「시멘트·콘크리트」誌를 刊行하고 이들 內容의 대부분은 시멘트 製造보다는 콘크리트 문제에 割愛하고 있다.

그 이외의 日本의 콘크리트界 雜誌⁹⁾를 보면

- 月刊生콘크리트
- 콘크리트工學
- 콘크리트저널
- 콘크리트블럭
- 시멘트工業
- 大담
- 프레스트레스콘크리트
- 터널과 地下
- 土木試驗所報告
- 港灣技術研究所報告

기타 道路, 水利, 土木建設, 河川, 港灣, 海洋開發, 建築材料關係의 것들이 상당히 있다. 거의가 콘크리트 문제를 파고 들어 연구함으로써 1년에 數百篇의 研究論文 및 報告書를 발표하는 바, 産·學·研이 合心하여 꾸준히 해나가고 있는 것을 볼 때 우리의 현실이 너무나 난감하기만 하다.

우리 시멘트 콘크리트界의 研究活性化를 위하여는 우선 洋灰工業協會의 기능을 시멘트 需要者 즉 콘크리트界를 위한 서어비스機關으로 體質改善해가는 것이 急先務이다. 우리 나라에는 많은 數의 工科大學에서 상당수의 土木, 建築系 學生들을 教育하고 社會에 進出시키고 있다. 그러나 土木, 建築에서의 主材料가 되는 콘크

리트에 대한 研究는 극히 드물고 발표되는 研究論文數도 보기 드물다.

역시 材料쪽을 담당하고 있는 洋灰協會와 窯業學會가 施工쪽을 담당하고 있는 土木協會, 土木學會 및 建築協會, 建築學會를 콘크리트研究의 廣場으로 引導하여 이의 活性化를 위하여 우리들 自身이 努力해야 될 것으로 본다.

4. 結 論

콘크리트의 기능에 미치는 여러가지 결함의 要因은 材料, 施工 및 環境 등의 面으로부터 原因을 찾을 수 있다. 여기서는 龜裂缺陷現象에 局限시켜 일반적인 高찰을 해보았거니와 결국은 여러가지 要因이 서로 연계되어 있음은 물론이다. 그리고 이러한 缺陷要因들은 각 나라마다 서로의 여건이 다르기 때문에 자가들이 처해진 立場에서 문제를 提起, 究明, 解決해 나가는 方法이 바람직 할 것이다.

先進國 隊列에 발맞추어 나가는 시멘트 生産國으로서의 우리나라가 콘크리트 開發에 대한 관심이 너무나 소홀한 점을 우리들 각자가 크게 反省해야 되겠고 窯業·土木·建築의 三分野 産·學·研 關係者들이 意識轉換을 통해 諸問題를 共同 打開해 나감으로써 現在의 停滯狀態에서 脫皮, 큰 發展을 이뤄 나갈 수 있을 것으로 생각한다.

〈參考文獻〉

- 1) 仕入豐和, 日本시멘트·콘크리트誌, No 425, July (1982).
- 2) 日本 콘크리트工學協會, 콘크리트의 龜裂調査, 補修指針, May (1980).
- 3) 韓基成, 시멘트심포지움, No 1 (1973).
- 4) 崔相乾, 시멘트, No 98, March (1985).
- 5) 韓基成, 시멘트심포지움, No 4 (1976).
- 6) 山田順次, 有泉昌, 시멘트·콘크리트의 知識, 鹿島出版會(1977).
- 7) 韓基成, 시멘트심포지움, No 12 (1984).
- 8) 日本시멘트技術年報(1980-1984).
- 9) 外國科學技術雜誌綜合目錄, 韓國産業經濟技術研究院(1983). ♣