

技術論叢

알카리 가 콘크리트에 미치는 影響

東洋세멘트工業株式會社

試驗課長 高 龍

오늘날 우리가 흔히들 콘크리트의 膨脹原因을 그 骨材에 含有되어있는 "알카리"에 두고 있었는데 近者에 繼續된 研究에 依해서 밝혀진 바에 依하면 콘크리트 内部에서 일어나는 複雜한 化學反應에 基因된다고 보게 되었다.

특히 콘크리트에 使用된 세멘트中에 含有되어 있는 알카리 含量에 對해서 그反應機構가 研究의 焦點이 되어왔고 새로운 事實들이 많이 發見되었다.

이와 같이 論議의 對象이 되어온 "알카리"에 對해서 알려진 知識을 紹介코져 한다.

過去 主張되어온 事實과 달리 大部分의 境遇에 있어서 反應性이 큰 骨材를 쓴 콘크리트에서 그 骨材가 反應해서 過度한 膨脹을 일으키는 알카리가 세멘트中에서도 確認되었다는 事實을 밝히지 않을 수 없다.

一定한 狀態下에 있는 天然岩石은 콘크리트骨材로 使用했을 때 膨脹을 하는 現象은 일찍이 發見된 事實이며 이와 같은 岩石은 歐美各國에서 發見되었을 뿐아니라 實驗的으로 確認되었

다.

콘크리트工事中 "파이렉스" 나 코카코라瓶의 破片이 콘크리트中에 들어가 質이 나빠져 잔 금이간 콘크리트 피레스타 (Concrete pilaster) 로부터 이들 殘在物을 보아 前記 事實을 推定하게 되었다. 實質적으로 全 反應物 또는 反應性骨材의 反應成分은 眞實로 "시리카" (無水珪酸) 의 높은 含量에 依해서 明確히 識別된다. 그러나 그 性質에 있어서 "시리카" 는 여러가지 形態를 가지고 있다. 이들 形態를 分類하는 有用한 하나의 方法은 그들 原子配列順序에 關해서이며 그렇지 않으면 이를 좀 더 精通한 말로 表現한다면 그들 結晶狀의 程度에 따라 區分된다. 石英 (Quartz) 과같이 相當히 發達된 結晶構造를 가지고 있는 이들 "시리카" 는 普通 大端히 非反應性이다.

우리가 알고있는 "天然蛋白石" (Natural Mineral apal) 은 結晶狀이 작고 反應性이 크다.

이들을 組成으로 살펴본다면 거의 少量의 물 (H_2O) 과 純粹한 "시리카" 로 構成되어 있다. 이 蛋白石은 두 成分사이에 있어서 여러가지 "시리카" 含量을 가진 天然鉍石이며 또 여러가지 結晶度와 天應性을 가지고있다. 實際적인 境遇에 있어서는 보다더 複雜性을 띄우고있다. 實例를 든다면 石英中에도 相異한 反應性을 가진 여러가지 石英이 있으며 다른 蛋白石과 마찬가지로 非反應性을 가지고 있지않은 蛋白石이 存在한다는 事實이다. "크립도 크리스탈린" (Crypto Crystalline) 은 微細한 結晶을 形成하고 있는 蛋白石이며 이는 顯著한 反應性

을 가지고 있다. 그래서 이들이 매우 微細하게 粉碎된다면 가장 完全한 結晶狀의 蛋白石이 反應될수 있다. 따라서 우리는 다음과 같은 結論을 얻을 수 있다. 少量의 또는 全然 結晶狀을 가지지않는 "시리카"의 形態와 比表面積이 큰 "시리카"가 顯著하게 "알카리"와 反應한다는 것이다. 이것은 化學的 反應性間的 差異와 또 한편으로는 膨脹에 있어서의 差異를 誘導하기에 가장 適當한것이다. 알카리-骨材(Alkali-Aggregate) 反應으로부터 오는 膨脹에 있어서 거기에는 明白히 化學反應이 일어나야하는데 實際에 있어서 化學反應이라면 膨脹에 일어날 것이라는 말과같지않다. 참으로 여기에는 膨脹에 關해서 輕微한 確認도없이 相當한 反應의 實例가 "콩크리트"에서 發見되었다. 이것이 그렇게 될수있는 完全한 膨脹은 筆者의 注意範圍를 벗어나고 있으나 그것은 簡單히 말한다면 "칼슘"(Calcium)이 非膨脹性生成物을 生成하는데 充分히 作用할수 있기 때문이다.

여기에 關聯해서 膨脹을 減少시키는데 있어서 "프조란"(Pozzolan 火山灰)이나 또는 明白한 反應物質의 有效한 影響에 關해서 때때로 想起시키고 싶다. 實際적으로 이러한 物質의 關與는 그 어떠한것보다도 "시리카"(Silica)와 反應을하여 膨脹을 減少시키며 抑制시키는 作用을한다. 어떤 地點에서 膨脹이 일어났다면 그것은 그곳에 反應性 珪酸物質의 增大에 理由가 있는 것이다. 그리고 여기에는 基本的인 化學作用因子가 關與되고 있다. 勿論 첫째는 反應性 "시리카"이며 그다음은 칼슘 이온(Ca^{++})과 "아르카리온(Alkali-

ions) 물(H₂O)이다. 이들中 물(H₂O)은 두가지 作用을 한다. 그 하나는 "칼슘이온"(Ca⁺⁺)을 運搬하는 受動的인 媒體의 役割이며 또한나는 反應生成物에 吸收됨으로서 反應生成物의 增大 또는 膨脹을 일으키는 能動的인 媒體役割을 한다. 反應과 膨脹過程에 있어서 認定할만한 中間過程을 簡單히 考察해보자 "알카리 이온"과 "칼슘 이온"은 反應粒子의 表面을 向해 移動해가서 칼슘-알카리-시리카(Calcium - Alkali - Silica)의 複鹽을 形成하기 爲해서 "알카리"와 反應하게 된다.

反應性 "시리카"의 表面層에 形成된 이들 初期產物은 不溶性이며 安定하고 非膨脹性이다. 그렇지만 이와같은 狀態는 "칼슘 이온"(Calcium ions)보다도 "알카리 이온"(Alkali ions)의 移動을 容易하게 바릴 해준다. 이같은 現象은 強한 "알카리溶液"內에서 水酸化칼슘(Calcium Hydroxide, Ca(OH)₂)의 低溶解度로부터 일어난다. 따라서 初期生成物과 反應되지않은 "시리카"(Silica)와의 境界에서 이들 칼슘-알카리-시리카(Calcium - Alkali - Silica) 複鹽으로부터 膨脹性 알카리-시리카(Alkali - Silica) 複鹽으로 變할수있다. 이들은 또한 물(H₂O)을 吸收하여 부풀어 오를 것이며 膨脹을 일으키게 된다. 萬一 이 反應이 오래 繼續될것 같으면 부풀어 오른 固相生成物은 軟해질 것이며 結局 流動性物質로 變해서 특이나 구멍 속으로 흘러 들어가거나 "콩크리트"로부터 스며나오기도 할것이다. 이것이 바로 明白한 異例的인 膨脹現象이며 平衡概念이 存在하지 않으며 低石灰質이고 "콩크리트"

에 膨脹된 反應物이 永存하는 現象이다. 이것은 지나치게 簡略히 "알카리-骨材 (Alkali - aggregate) 와 膨脹의 簡單한 機構에對한 見解를 모아 본 것이다. 여기에 덧붙여 말한다면 上述한 以外에도 칼슘 이온 (Calcium ion) 이 받는 障害의 明確한 特性에 關해서 또 다른 意見이 있다. 實例를 들면 反應地點에 到達하기 위한 "칼슘" 이온 (Ca^{++}) 의 可動性은 서서히 反應生成物을 通하여 移動될뿐 아니라 反應粒자를 둘러싸고 있는 세멘트 페이스트 (Cement paste)를 通해서 擴散된다고 본다. 어느 一定한 機構에 있어서 부딪치게 되는 重要한點은 反應地點으로 移動해가는 "칼슘 이온 (Calcium ions) 의 自由로운 運動에 障害가 있다는 事實이다. 또 結果적으로 生成된 產物은 化學的 平衡狀態下에서 形成되는 것이 普通이나 반드시 그렇지는 않다. 이는 難題의 하나 임이 틀림없는 事實이며 上記 事實에 對해서 現在研究 調査된 結果는 다음과같이 그 理由를 說明하고 있다. 이것은 콘크리트의 内部狀態下에서 여러가지 이온 (ions) 의 可動性이나 또는 "이온" (ions) 의 擴散速度에 關係된다고 說明하고 있으며 後에 簡單히 說明 하려는 課題인 것이다.

概念화된 機構는 아래와 같은 事實과 一致한다. 卽 세멘트 成分中에 알카리 含有量이 낮으면 一般的으로 膨脹이 일어나지 않는다는 事實이다. 콘크리트 內의 液相에 "알카리" 의 濃度가 充分히 낮아서 그 溶液中에는 칼슘 (Calcium) 이 더 많아지며 "알카리" 에 比해서 有用한 칼슘 (Calcium) 의 比가 增加 됨으로 非膨脹性生成物이 圧倒적으로 많아진다. 이는

잘 알려진 "포조란" (Pozzolan)의 효과와 一致하여 "포조란" (Pozzolan 火山灰)은 事實上 작은 粒子的 反應物質인 것이다. 이러한 物質이 充分히 多量 存在해서 反應하므로써 "알카리" (Alkali)濃度の 減少가 相當하다. 또한 칼슘 이온濃度の 相當한 增加를 가져오며 주어진 反應量에 對해서 反應生成物의 層(두터이)이 적어진다. 따라서 이와같은 要因으로 反應地點으로 칼슘 이온의 移動을 容易하게 하는 傾向이 있다. 이는 칼슘 含量이 높은 非膨脹性 反應生産物이 越等하게 많아진 結果이다. 조금 앞서 이온可動性 (Ionic mobility)에 關한 現在 하고 있는 일에 對해서 이야기했다. 이들 現象을 詳細히 羅列할 紙面이 없으며 이 研究에 關한 報告가 지금 準備되고 있다.

反應生成物의 特性은 그 "시스템"에 存在하고 있는 "이온"의 濃도와 可動性에 依存한다는 確證이 나타나 있으며 여기에는 加해진 여러 無機鹽이 含有하고 있는데 이들에 依해서도 反應生成物의 特性이 달라진다고 指摘하고 있다. 특히 Mc Coy氏와 Caldwell氏에 依해서 確認된 바와 같이 生成되는 有害한 反應生産物의 增減에 對한 附加的인 影響은 "陰이온"의 可動性에 隨伴되는 "陽이온"의 可動性의 比에 따라 달라지게 된다. 이들 比가 높으면 膨脹이 增加되고 낮으면 膨脹이 減少되거나 抑制된다.

이와같은 研究가 完全에 가깝다고 할수는 없으나 制禦材에 對한 化學的인 理解를 가져오게 했으며 오늘날 우리가 "세멘트"로부터 오는 "알카리" (Alkali)의 除去에 關해서는 念

慮하지 않고 알카리骨材 反應으로부터 基因되는 膨脹을 排除할 수 있다는 現時代를 아마 促進시켰으리라 본다.

“콩크리트”의 骨材作用은 하나 아니면 둘 膨脹等級으로 나타내며 이 膨脹等級은 “알카리”에 基因된다고 보나 一部分 그렇지 않을지라도 모른다.

우리는 “알카리-骨材” 反應이라는 範疇을 좀더 넓혀 “세멘트 骨材” 反應이라는 範疇로 이들을 取扱해야 되리라고 본다. 炭酸鹽 岩石에 關해서 調査한結果 “콩크리트”에 膨脹을 이끄는 岩石 即 白雲石을 含有하고있는 石灰石類가 依存하고 있음 을 알려주었으며 이들中 低質의 石灰石은 凍結及解氷 (Freezing and Thawing)의 原因이 되고있는 그러한 氣孔性 (porosity)을 가진것도 存在한다. 또 한편으로 “킹그스톤 라임스톤 (Kingstone Limestone)과 같은 化學적으로 純粹한 것도 있다.

全 反應性 石灰石種類는 不規則한 白雲石의 原子構造의 存在와 相當量의 粘土含有에 依해서 그 性質이 달라진다. 粘土는 “알카리”와 反應하고 白雲石自體는 칼사이트 (Calcite, CaCO_3) 부루사이트 (Brucite $\text{Mg}(\text{OH})_2$) 그리고 “알카리” 炭酸化合物을 生成하기 爲해서 “알카리”와 反應된다는 事實이 알려졌다.

이들 炭酸化合物들은 石灰와 反應하여 보다 많은 “칼사이트” (Calcite)를 生成하여 그 以上の 反應은 “알카리”化合物을 再生한다.

이들 反應의 全部가 實際적인 膨脹의 原因이 되며 粘土와 白雲石의 두 組成에 關한 反應性의 研究가 進行中에 있다. 其他 反應의 種類로써 所謂 모래-자갈-骨材 (Sand-gravel-

Aggregate)에 依해서 일어나는 膨脹인 것이다.

어느 程度의 "알카리" 含量이 膨脹을 일으키게 되는가에 關해서는 알려져 있지 않다. 그러나 그들은 아마 小量일것이다.

이처럼 骨材의 境遇에선 確認된 膨脹은 全然 세멘트의 "알카리" 含量과 關聯性을 두지 않고있다. 眞實로 膨脹이 일어나는것은 適當히 "알카리" 含量이 낮은 세멘트라고 認定되었다.

W. C. Hansen 氏에 依해서 요지음 다음과 같은 內容이 發表되었다. 모래-자갈骨材에依한 "알카리" 骨材(alkali aggregate) 反應은 지나친 膨脹을 일으키게 하는 MgO의 水和作用을 可能케 해주는 機構의 始發에 關係된다고 指摘했으며 또 다음과 같이 指摘하고 있다.

輕微한 膨脹은 乾燥過程 途中 "콘크리트" 안에 形成되는 微細한 龜裂(잔금)을 抑制하는 것 反應에 基因된다고 했다. 그리고 이들은 페리클라스(Periclase)를 水和(加水)하는데 要하는 水分을 增加케 할것이다.

W. C. Hansen 氏에 依해서 指摘된것과 같이 몇가지 境遇에 있어서는 反應과 膨脹의 原因이 되었던 "알카리"는 세멘트가 含有하고 있는 "알카리"보다도 弗石骨材로부터 나왔다는 事實이다.