

콘크리트의 酸侵蝕

農工學博士 劉 漢 烈

I. Portland Cement의 主要 化學成分

Portland Cement는 콘크리트管 其他 構造物을 建造하는 때 있어서 排他的으로 使用되고 있다. Miller와 Manson이 122種의 Cement를 化學分析한 結果로 얻은 平均値는 다음과 같다.

Si O ₂	21.3 %
Al ₂ O ₃	5.0 %
Fe ₂ O ₃	3.0 %
Fe O.....	0.04 %
Ca O.....	63.8 %
Mg O.....	2.4 %
S O ₃	1.8 %
Loss on ignition.....	1.5 %
Na ₂ O.....	0.27 %
K ₂ O.....	0.46 %
P ₂ O ₅	0.12 %
Mn ₂ O ₃	0.09 %
Ti O ₂	0.27 %
Insoluble residue.....	0.18 %
Free lime.....	1.0 %

Cement로 부터 形成되는 主化合物에는

Tricalcium silicate (3 Ca O.Si O₂)

Dicalcium silicate (2 Ca O.Si O₂)

Tricalcium aluminate (3 Ca O. Al₂ O₃)

及 Tetra calcium aluminoferrite (4 Ca O.Al₂-O₃.Fe₂ O₃) 가 있다. 이 化合物들은 다음과 같

은 記號로 表示하는 것이 一般이다.

3 Ca O. Si O ₂	C ₃ S
2 Ca O. Si O ₂	C ₂ S
3 Ca O. Al ₂ O ₃	C ₃ A
3 Ca O. Al ₂ O ₃ ' Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

122種의 Cement에 對한 Miller와 Manson의 報告에 依하면 C₃A의 含有範圍는 0.0~14.2 % 이며 이 化合物은 Cement의 硫酸侵蝕에 對한 抵抗性和 關聯이 깊다고 한다. C₃A의 %를 計算하는 때 使用한 式은

$$C_3A = (2.65 \times Al_2O_3\%) - (1.68 \times Fe_2O_3\%)$$

ASTM Specifications는 Cement를 다음의 5 型으로 分類한다. 卽 Type I—普通의 Cement. Type II—中庸의 硫酸抵抗性 Cement 이며 C₃A의 最大含量을 8%로 制限한다. Type III—早期 强度가 높은 Cement. Type III—相當한 硫酸抵抗性을 갖이고 있으며 水化作用에 依한 發熱이 낮은 Cement. Type V—높은 硫酸抵抗性을 갖이고 있는 Cement로서 C₃A의 含量은 5%로 制限된다.

다음表는 上記 5型의 Cement에 對한 化學成分의 平均値를 表示한다.

Portland Cement 化學成分의 平均値

Cement 의 Type	化 學 成 分, %						
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	Free C ₂ O	MgO
I	43	51	12	8	2.8	0.8	2.4
II	43	30	6	13	2.9	0.6	3.0
III	56	15	12	8	3.9	1.3	2.6
IV	21	51	6	14	3.2	0.3	2.7
V	43	40	5	7	2.9	0.4	1.6

II. 土壤의 酸性에 關한 簡單한 論究

氣候가 濕한 地域에서는 土壤의 表層으로부터

交換性인 水酸基가 濾過해버리기 때문에 土壤은 酸性이 되기 쉽다. 土壤의 酸性은 土壤의 Colloidal complex를 또는 土壤中の 溶解性인 酸들과 密接한 關係가 있다.

土壤이 酸性으로 되는데 있어서 일어나는 物理化學的 過程이 어떻게든 酸性土壤은 土壤中の 溶液內에 OH⁻ ion보다도 H⁺ ion이 더 많이 있게 된다. 土壤溶液속의 H⁺ ion은 여러 化合物에 依하여 供給된다. H⁺ ion의 出處는 水自體일수도 있고 또는 無機酸이나 有機酸일수도 있다. 이 酸들은 水의 濾過作用, 土壤腐植物, 어느 種類의 肥料의 使用, 또는 土壤微生物의 作用等に 依하여 主로 生진다.

土壤의 酸性을 表示하는데에 여러가지 方法이 있다. 그러나 土壤溶液內의 H⁺ ion의 集中度를 表示하는데에 가장 널리 使用되는것은 pH이다. pH가 6 또는 그以下일때는 콩크리-트는 侵蝕을 當할 念慮가 크다고 한다.

Terjaghi는 많은 地域에 있어서 地下水 또는 地表水는 多量의 遊離狀態의 Carbon dioxide를 含有하며 그 一部는 어느條件下에서 反應的인 Carbon dioxide로 變함으로서 酸을 生産하고 이 酸이 콩크리-트를 侵蝕하게 된다는것을 陳述하였다. 이런 現象은 火山活動이 最近에 있었던 地域에서 地下水가 多量의 Carbon dioxide를 一般으로 含有하기 때문에 特히 顯著하다. 이와같이 물에 內包된 Carbon dioxide는 Carbonic acid Calcium carbonate 또는 Calcium bicarbonate 를 形成한다고 한다.

有機質이 많은 土壤中에 存在하는 有機酸도 土壤의 酸性을 強하게하며 有機質土壤中の 水은 酸性을 表示하는 同時에 H⁺ ion을 生産한다. 有機質土壤이 溫濕할때는 特히 有機酸의 生成이 促進되며 때로는 그 pH의값이 4.1 까지 내려갈 때도 있다.

III. 콩크리-트의 酸侵蝕

Roe 와 Ayres 는 酸溶液이 콩크리-트內의 固結性物質을 溶解함으로서 콩크리-트가 分解되는것을 指摘하였다.

1915년에 Winter와 Musselman은 美國 Wisconsin州에 있는 有機質土壤中の 콩크리-트 排水管이 分解 破壞된 事實을 報告하였다. Tacke 는 1910년에 獨逸에 있는 有機質土壤속에 築造한

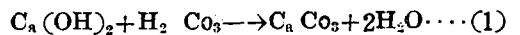
콩크리-트 構造物이 分解 破壞되었다고 報告하였다.

Stewart는 이미 1909년에 酸性인 有機質土壤內의 콩크리-트 排水管이 分解된 事實이 있다고 指摘하였다. Miller와 Manson은 그들이 調査한 有機質土壤內의 모든 콩크리-트 標本이 酸侵蝕을 當한 痕跡이 있었다고 하였으며 酸侵蝕의 程度는 一般으로 土壤의 pH의 값에 따라 變한다고 結論을 하였다.

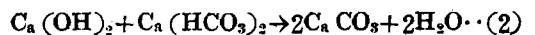
美國 Washington大學校에서 行해진 研究에 依하면 콩크리-트가 Carbonic acid에 露出되었을때 侵蝕을 當하였다고 한다. Blount는 下水道內에 있는 硫酸은 콩크리-트管을 破壞하였으며 美國 California州에 있는 葡萄酒貯藏 탱크의 콩크리-트表面이 酸侵蝕 當한것을 觀察하였다. Howard는 桶조립工場에서 食物에서 生成되는 各種의酸이 工場內의 콩크리-트를 破壞하고있는것을 目擊하였다. Wenger는 pH의값이 5.5보다 낮은 酸性 汚物を 公共下水道에 流入해서는 안된다고 主張하고있다.

III. 콩크리-트의 酸侵蝕에 對한 物理的 及 化學的 過程

Portland Cement를 構成하는 化合物中에서 가장 量이 많은것은 Calcium dioxide이다. 콩크리트를 製造할때 發生하는 水化作用에 依하여 Calcium oxide는 물과反應하여 Calcium hydroxide를 形成한다. 水化作用後에 오는 硬化過程에서 Carbon dioxide가 存在한다면 Calcium hydroxide는 그 Carbon dioxide와 反應하여 Calcium Carbonate를 形成한다. 그리고 弱한 Carbonic acid가 Calcium Hydroxide와 接觸하면 다음과같은 反應이 일어날것이다.

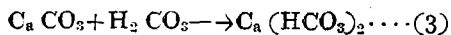


萬一 Calcium bicarbonate가 存在한다면 다음과 같은 反應에 依하여 Calcium carbonate가 生成되기도 한다.



콩크리-트를 둘러싸고있는 溶液中에 Carbon dioxide가 適當量 存在하면 콩크리-트속의 Calcium carbonate는 콩크리-트가 더욱 完全한 硬化를 이르키도록 할것이며 따라서 良質콩크리-트가 生成될것이다. 그러나 萬一 콩크리-트와 接觸하고있는 溶液中에 過多한 酸이 存在하

면 그酸은 Calcium carbonate와 反應을하여 물에 쉽게 溶解하는 化合物을 生成하고 結局은 콘크리트의 分解를 招來한다. 例를들면 Carbonic acid가 上記한 (1)式의 反應에 必要한 以上으로 溶液中에 存在한다면 다음과같은 反應이 일어난다.



여기서 Calcium bicarbonate는 比較的 쉽게 溶解한다. 이들 反應은 콘크리트의 表面이나 콘크리트表面 가까이 位置하고 있는 孔隙壁에서 發生한다. 酸과 Calcium carbonate사이의 反應過程이 繼續되면 콘크리트中の Calcium carbonate의 量은 漸次 減少되고 反對로 Silica, alumina 또는 Iron dioxide의 量이 增加할것이다. 그러면 濾過作用에 依하여 콘크리트는 空腔이 많아지고 따라 그強度가 減少한다. Balyis는 콘크리트中에 內包된 Calcium carbonate의 溶解度는 콘크리트를 둘러싸고있는 溶液內의 H⁺ ion의 集中度에 依存한다고 指摘하고있다. 卽H⁺ ion의 集中度가 크면 클수록 Calcium carbonate의 溶解度도 크질것이다.

콘크리트를 混合 製造할때 加한 全水量이 Cement의 水化作用에 依하여 全部 使用되는것은 아니다 콘크리트의 顯微鏡檢査에 依하면 콘크리트가 많은 纖維의 集合으로 이루어졌음을 알수있다. 이들 纖維사이의 空腔은 콘크리트의 酸侵蝕上 重要한 役割을 하게된다. 이들 孔隙는 溶液 또는 氣體로 充滿되어 있을 것이다 酸性溶液과 直接 接觸하고있는 콘크리트의 外面은 酸에 依하여 侵蝕 當한다. 萬一 孔隙이 毛管의 運動을 許容하는 크기라면 酸溶液이 空腔으로 早速히 浸透하여 甚한 酸作用을 招來할것이다. 萬一 毛管이 어느 液體로 차있고 그液體가 外部의 溶液과 平衡을 이루고있지 않다면 酸이 孔隙內의 液體를 통해서 滲透하고 孔隙壁에 到達하여 酸侵蝕을 發生시킨다. 孔隙의 크기가 매우 적어서 毛管의 運動을 許容치 않는다 할지라도 蒸發等에 依하여 若干의 酸이 콘크리트壁에 到達할것이다. 毛管現象에 依한 浸透率은 滲透에 依한 그것보다도 팔를것이며 따라서 侵蝕率에 差가 生길 것이다. 콘크리트의 空腔率은 콘크리트가 Calcium Carbonate를 侵蝕할수 있는 물에 露出되었을때 그 酸侵蝕率을 決定하는 좋은 尺度이다.

酸의 侵蝕作用이 콘크리트의 外面에서 또는 外面에 가까운 孔隙壁面에서 進行함에 따라 콘크리트의 Calcium aluminum 化合物들은 溶解한다. 그러면 Aluminum hydroxide가 主成分인 軟하고 不滲透性인 膠質物質이 콘크리트의 外面을 復覆하고 또 孔隙의 一部를 閉塞한다 膠質인 Silica도 또한 이被覆作用을 若干 도움는다. 이 膠質被覆이 콘크리트 表面에 남아있는限 酸의 浸透率 따라서 酸侵蝕率은 妨害를 받는다. 이 不滲透性인 膠質被覆이 流水에 依한 摩擦이나 乾燥에 依한 剝離等의 外力에 依하여 除去되면 新鮮한 콘크리트 表面이 露出하게되니 다시 新侵蝕이 始作된다. 侵蝕性인 물이 콘크리트의 龜裂이나 벌집같은 構造를 通하여 自由로 浸透할수있으면 侵蝕率은 더욱 빠른것이다. Hughes의 研究에 依하면 낮은 壓縮強度와 水密性을 갖인 콘크리트는 많은 空腔量을 갖고있으며 空腔들은 相互 連結되어있어서 液體가 쉽게 浸透할수있는 通路를 提供한다고 한다. 또한 콘크리트 標本의 酸侵蝕은 主로 標本表面에 局限되어 있었다 한다. Terjaghi는 콘크리트가 靜水中에 露出된다면 侵蝕은 어느 條件下에서는 매우 느리게 進行되며 侵蝕性인 물의 水壓이 높으면 물이 콘크리트 內部에 깊이 浸透하여 高率의 侵蝕을 招來할것이라고 主張하고 있다.

V. 물을 맺는 말

以上 콘크리트의 酸侵蝕에 關하여 文獻 調査의 結果와 筆者의 意見을 綜合하여 陳述하였다. 그러면 이와같이 콘크리트가 酸에 依하여 侵蝕 當하는것을 어떻게 防止할것인가? 過去 數十年間 外國의 學者들이 이에 關하여 行한 實驗結果와 筆者가 最近에 行한 이에 關한 研究結果等を 次次 機會있는데로 紹介할까한다.

콘크리트의 耐酸性을 增進시키는데는 여러 가지 方法이 있으나 아직 絕對的인것은 없다고 할수있다. 特히 經濟的으로 容納할수있는 方法을 찾으려면 앞으로 많은 研究가 必要하다. 現在까지 이方面의 研究는 別로 이루어지지 않았기 때문이다. (筆者: 서울大學校 農科大學 助教授)