

Concrete耐久性 小考

宋 錫 奎 二次製品研究室長
(雙龍洋灰工業(株) 中央研究所)

..... <目 次>

1. 序 言	5. 黃酸鹽抵抗性
2. 體積變化	6. 化學藥品抵抗性
3. 凍結融解抵抗性	7. 耐久性
4. 中性化	8. 結 言

.....

1. 序 言

Concrete가 建築資材로써 重要な 位置에 있게 됨은 優秀한 耐久性을 지니고 있기 때문이다. 그러나 Concrete는 그 部材가 露出되어 있는 環境에 따라 劣化程度가 다르다. 特히 Concrete 內에 있는 물이 그때의 大氣狀態에 따라 收縮이나 凍結의 被害程度가 다르며, 空氣中の CO₂ gas도 그 大氣狀態에 따라 中性化深度가 달라진다. 그리고 그외의 化學的 侵食作用 등으로도 Concrete에 큰 損傷을 준다. 以上의 外的 原因은 Concrete 自體의 問題点인 Concrete의 微細 構造不良 그리고 低質의 骨材(不純物混入, Alkali 性이 內在되어 있는 骨材) 등으로 Concrete 劣化를 더욱 促進시킨다. 그러므로 Concrete의 耐久性을 強化시키기 위해서는 嚴選된 材料와 使用用途에 適合하게 配合設計된 Concrete만을 使用하여야 할 것이다.

2. 體積變化

Concrete의 體積變化는 未硬化 Concrete 및

硬化 Concrete 狀態로 大別할 수가 있으며 이 중에서도 硬化 Concrete의 乾燥收縮, Creep 變型, 炭酸化... 등이 크게 영향을 주고 있다.

體積變化	{ 未硬化 Concrete { 硬化 Concrete	{ 材料의 沈降 { plastic 收縮 { 乾燥收縮 { Creep 變型 { 炭酸化 { 溫度의 變化
------	---------------------------------	---

(1) 乾燥收縮

乾燥收縮은 食水量變化에 依한 것으로 毛細管中에 있는 물의 蒸發로 水面이 降下하므로써 그의 表面張力으로 因해 收縮이 發生된다. 이와 같은 乾燥收縮은 條件에 따라 크게 다르지만 대개 $(5\sim 10)\times 10^{-4}$ 인데 比해 Concrete의 伸張能力은 $(1\sim 2)\times 10^{-4}$ 程度 뿐이므로 乾燥收縮이 周圍條件에 拘束되어지면 용이하게 Crack이 發生된다.

普通 Concrete에서 一年까지의 收縮量은 全收縮量의 80% 程度로 Crack 如否를 一般的으로 一年 以內에서 알 수 있다.

Concrete의 乾燥收縮의 主原因은 Cement-

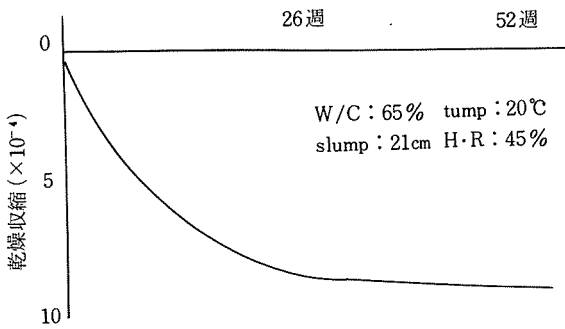


그림-1 Concrete의 材令과 乾燥收縮量

Paste의 乾燥收縮이고, 이것은 Concrete에 비해 5~15倍 程度의 높은 收縮을 보인다. 骨材는 Cement-Paste의 收縮에 對해서 拘束材의 役割을 한다. 따라서 W/C가 一定하고 單位 Cement-Paste量이 작으면 乾燥收縮量은 減少된다. 또 單位水量이 작으면 卽 Low-slump Concrete 일 수록 乾燥收縮量은 減少한다.

單位水量을 增加시키는 要因으로써는 slump가 클수록, 粗骨材 치수가 작을수록, S/A가 클수록, 水量이 增加되어 Concrete의 乾燥收縮이 增大된다. 그리고 Cement 種類差異로 因한 乾燥收縮은 그리 크지 않으나 C₃A의 含有量이 크고 粉末도가 크면(Fine 할수록) 單位水量이 增加되는 경향이 있어 收縮이 커진다. 따라서 一般的으로 II種 Cement類가 比較的 乾燥收縮이 작은 편이다. 또한 乾燥收縮에 影響을 주는 것 들로는 骨材의 不純物 卽 微粉, 粘土, silt, 鹽分 등을 들 수 있다.

乾燥收縮이 크면 Crack 등으로 因해 鐵筋腐食, 漏水, 美觀低害 등의 trouble을 招來하기 쉽다. 때문에 建築用 Concrete에서 目標로 하는 乾燥收縮限界(6個月 材令值)는 6×10^{-4} , 8×10^{-4} , 10×10^{-4} 以下の 等級으로 나누워 管理하는 것이 通例이다.

(2) Creep 變形

Concrete가 外力을 받으면, 그림-3과 같이 그순간에 彈性變形이 생기고 그 載荷狀態가 그

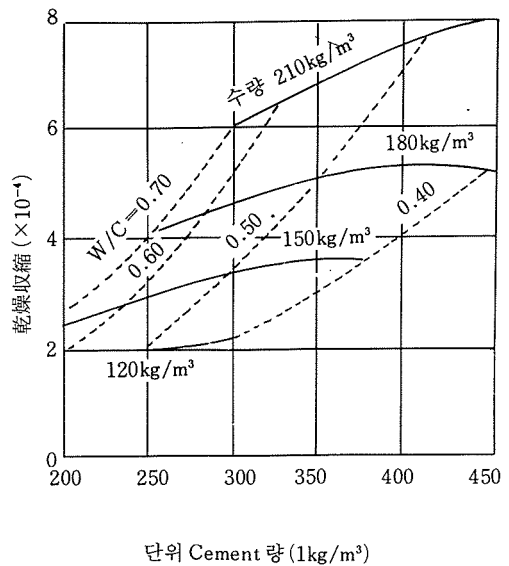


그림-2 단위 Cement 량 W/C, 단위수량과 수축량

대로 있게되면 그後도 時間의 經過와 함께 變形이 增大된다. 이와같이 계속된 外力으로 因해서 생긴 變形이 進行 되어지는 現象을 Creep 現象이라 한다. 上記의 載荷된 荷重을 除去하면, 순간적으로 彈性變形이 解除되고, 그 後 時間이 經過함에 따라 變形이 약간 回復되지만 그 以上の 變形 回復은 되지 않는다. 이와같이 回復이 不可能한 Creep 變形이 發生되는 原因으로써는, “載荷에 依해 壓力을 받고있는 Gel水가 時間이 經過함에 따라 壓力을 받지않는 部分으로 移動하기 때문에, 時間과 함께 變形이 進行된다.”고 說明하고 있다. 그리고 Creep 變形은 早強性 Cement 일수록, 剛性이 큰 骨材일수록, 單位 Cement量이 클수록, W/C가 작을수록, 작아지는 경향이 있다. 또한 極히 初期材令에서 載荷한 때에는 Creep 變形이 크나 28日 材令以後에서는 材令의 影響이 없다. 載荷時 應力水準과 Creep 變形과의 關係는 直線關係이며, 이 範圍는 應力-強度比가 0.3~0.75이다.

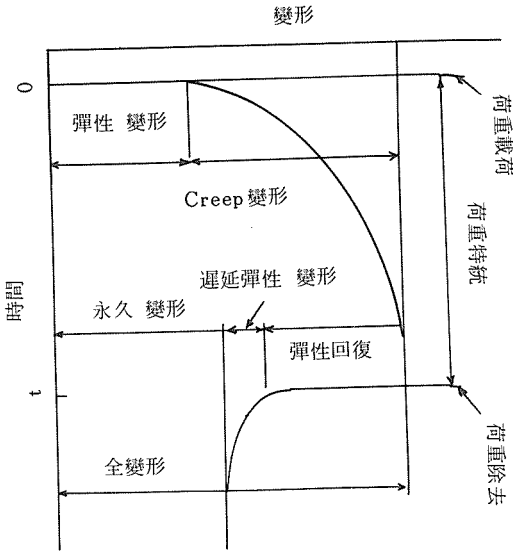


그림-3 Concrete의 Creep

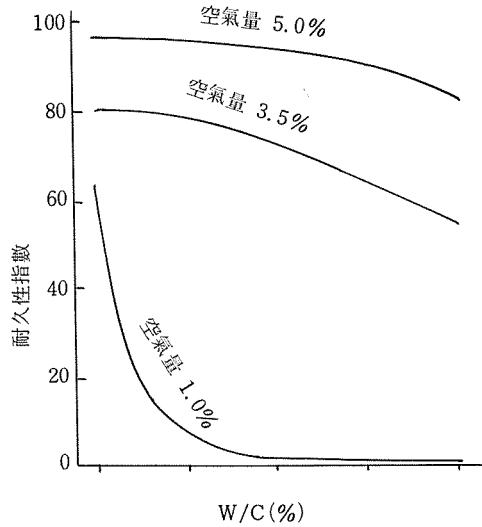


그림-4 W/C와 耐久性指數

3. 凍結融解抵抗性

凍結融解가 反復되어짐에 따라 Concrete는 현저하게 劣化된다. 이 劣化作用의 Mechanism은 여러가지로 說明되고 있으나, Power의 “水壓說”이 一般化되어 있다.

Cement-Paste硬化體의 空隙은 Gel 間隙, 毛細管隙 그리고 空氣泡로 되어있으며, Gel 空隙은 항상 물로 차 있으나 18A° 程度로 極히 작기 때문에 물分子 數個 程度 밖에 들어갈 수가 없어, -78°C 以下에서나 凍結되기 때문에 Gel 間隙에 있는 물은, 凍結의 위험성이 없다. 그러나 毛細管隙은 管徑이 比較的 크기 때문에 물이 存在하면, 管徑이 큰 部分의 것부터 順次的으로 凍結하여 물의 體積이 膨脹(1.09倍)된다.

毛細管容積의 90% 以上이 물로 차여져 있으면, 未結水의 물은 毛細管으로부터 밀려나와 이 물이 Cement-Paste의 硬化體 內部를 移動할 때 水壓이 發生하게 되므로, Paste의 微細組織이 破壞되어 凍害의 被害를 입게된다. 그러므로 凍結融解抵抗性에 가장 큰 影響인자는 W/C比이다. W/C가 클수록 Cement-Paste 硬化體의 毛細管隙의 물의 量이 많아져 體積이 膨脹되기 때문이다.

- 參考) · 連行空氣泡: 50 μ ~500 μ
 · 毛細管隙: 20A°~10 μ
 · Gel 空隙: 18A° 前後

제 2의 影響인자로는 空氣量이며, Concrete가 冷却되면 毛細管隙 內壁에 破壞의인 水壓이 걸리지만 만약 空氣泡가 가까이 있어 Cement 水和物의 組織을 통해 排出되는 물을 充分히 收容하게되면, 水壓의 惡 影響을 效果的으로 處理할 수가 있다. Concrete에는 本來 “Entrapped Air”라는 比較的 粒徑이 큰 空氣泡를 1% 前後 갖고 있으나 耐凍害性이 없으므로, 良質의 AE劑를 使用하여 微小한 球狀의 空氣泡-Entrained

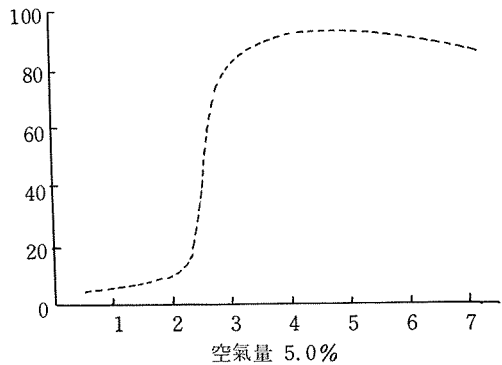


그림-5 Concrete凍結融解抵抗性和 空氣量

를 4~6% 程度 높게 含有케 한다. 連行空氣泡의 凍結融解抵抗性 改善效果는 空氣泡가 짧은 間격으로 均一하게 多量 分布되어 있을수록 水壓이 완화된다. 卽 空氣泡의 平均間隔인 氣泡間隔係數가 250 μ 以下로 하는 것이 效果的이며 實際에 있어서, AE劑나 AE減水劑 使用時 過度한 振動 다짐으로 空氣泡를 破壞하는 것 등을 避하여야한다.

Concrete가 가혹한 氣象條件에서 充分한 凍結融解抵抗性을 갖기 위해서 W/C比의 上限值을 構造物의 露出狀態 氣象條件 그리고 Concrete 種類·品質 等に 따라 學會 등에서 상세하게 規定하고 있다. 그리고 一般의 으로 Concrete의 空氣量은 運搬 振動다짐 等으로 해서 1/4~1/6 程度 削減되기 때문에, mixing 直後의 값을 약간 크게 잡는 것이 必要하다.

4. 中性化

Concrete 內에는 Cement 水和反應의 過程에서 生成되는 Ca(OH)₂가 溶存하고 있기 때문에 pH 12.4 程度의 強한 Alkali性을 나타내며, 이

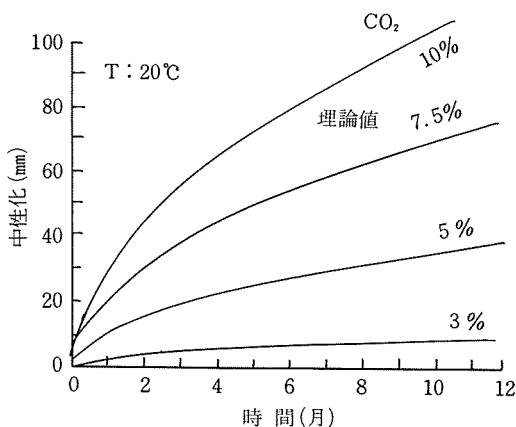


그림-6 Concrete 中性化에 미치는 CO₂ gas 농도의 영향 (促進試驗 結果)

것이 鐵筋의 녹(鏽)을 防止하고 있다. 그러나 長期間 大氣에 暴露되어 있으면 空氣中의 CO₂ gas*¹⁾나 SO₂*²⁾ 그리고 화재 等に 依해 高溫이 됐을 때, Ca(OH)₂가 500°C*³⁾ 附近에서 脫水되기 始作하므로, 強 Alkali性을 傷失하게 되어 中性化한다.

*1) Ca(OH)₂+CO₂→CaCO₃+H₂O : pH 減少

*2) Ca(OH)₂+SO₂+H₂O+O₂→CaSO₄·2H₂O : pH 減少

*3) Ca(OH)₂ $\xrightarrow{500\sim 580^{\circ}\text{C}}$ CaO+H₂O : pH 減少

實際로 中性化가 問題가 되는것은 大氣中의 CO₂ gas로 因한 것이며, Cement硬化體의 炭酸化 過程은

1) 硬化 Concrete에 CO₂ gas가 접촉하여 中性化를 促進시킨다.

Ca(OH)₂+CO₂→CaCO₃+H₂O : pH 8.5 以上 不溶性

2) CO₂ gas가 水中에 吸水된 狀態에서는 pH를 8.5 以下로 더욱 떨어트림으로써 中性化의 深度를 增大시켜, 鐵筋의 腐食을 促進시키고 鐵筋腐食에 따라 體積이 增加하므로 Concrete Crack이 發生되고 壓縮強度가 低

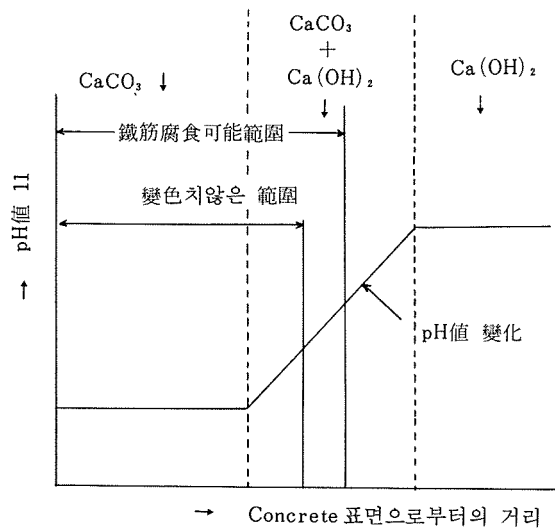


그림-7 Concrete가 中性化로 因해 表面으로부터 形成되는 pH 程度

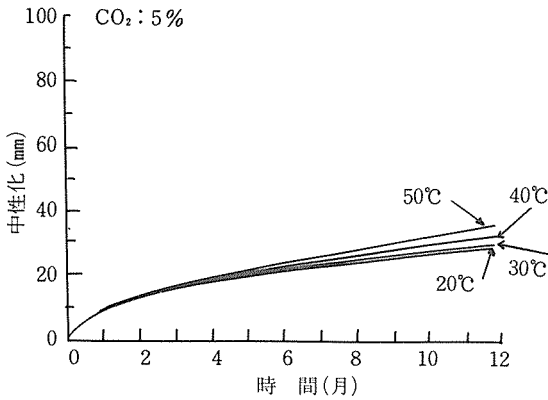
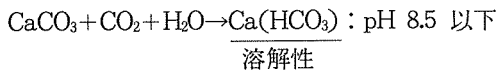


그림-8 Concrete 중성화에 미치는 溫度의 영향

↓되는 등 Concrete의 物性劣化를 가져오게 한다.



以上の 중성화를 促進시키는 環境條件으로 溫度가 上昇하면 中성化 速度는 增大된다. 이것은 溫度上昇과 함께 氣體活動이 活潑하게되는 것이 原因이라 理解된다. 또한 溫度에서도 크게 영향을 받으며, 相對溫度 HR=50% 附近에서 最大의 炭酸化 收縮을 나타낸다.

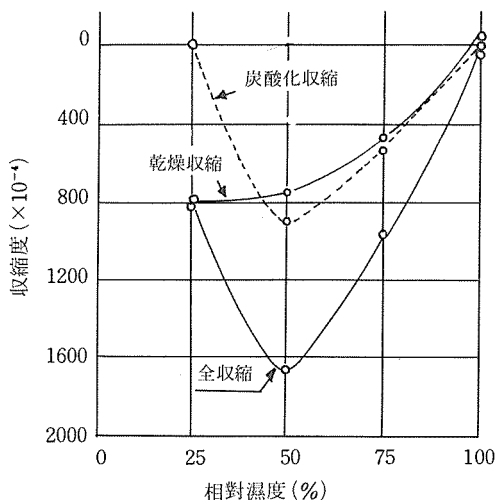


그림-9 相對溫度別 炭酸化 收縮 및 全收縮

建物の 室内과 屋外間의 差異는 室内가 屋外에 비해 1.5~3倍 빠르다. 그 理由로써는 CO₂ 濃度가 屋外가 0.02~0.05% 되는것에 비해 室内는 높아 一般 building에서 0.1%이며, 家庭에서는 무려 0.3%나 된다.

이와같은 Concrete의 中성化를 억제하기 위해서는

1) W/C

W/C를 낮게하여 細孔量을 減少시켜 Concrete를 緻密하게하여 CO₂ gas가 侵透하기 어렵게 하므로써, 中성化를 防止할 수가 있다. W/C가 40% 以下이면 中성化가 거의 發生되지 않는 것으로 報告되고 있다.

2) Cement 種類

W/C를 一定하게하고 보통 Portland Cement의 中성化 比率를 1.0으로 하면 混合材量이 많은 B, C種의 混合 Cement는 中성化가 빨라서 Silica Cement 1.3 slag Cement는 1.4가 된다.

5. 黃酸鹽抵抗性

黃酸鹽을 含有하는 土壤 地下水 그리고 海水에서는 Concrete가 侵食되어지는 問題가 있는데 그 主要原因인 黃酸鹽은 本來 岩石中の 礦物로부

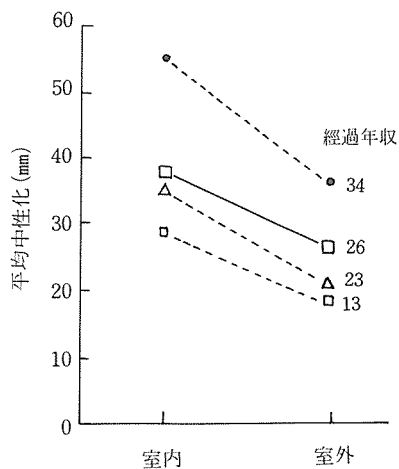
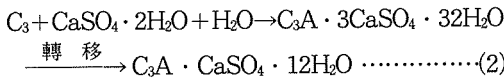
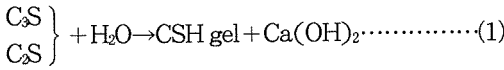
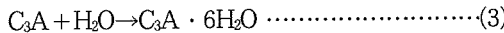


그림-10 Concrete 中성化의 室内·外 差異

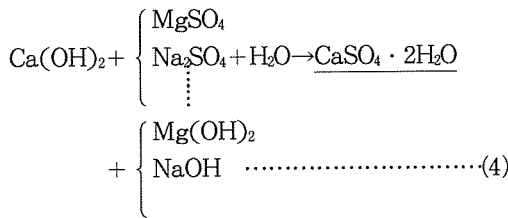
터 由來된 것으로 岩石의 風化에 依한 崩괴, 降雨와 地下水의 溶解作用과 蒸發現象 等に 依해 特定한 土壤이나 湖水, 地下水, 海水中에 널리 分布되어 있다. 이 黃酸鹽들 중 主要한 것들은 $MgSO_4$, $CaSO_4$, K_2SO_4 , Na_2SO_4 等으로 이것들이 Cement 水和時 生成된 $Ca(OH)_2$ 와 反應하여 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ 의 석고를 生成하고 또 이것($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)이 C_3A , C_4AF 의 水和時 生成된 $C_3A \cdot 6H_2O$ 나 $C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$ 와 反應하여 Ettringite($C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$)를 生成한다. 이때 Ettringite의 體積이 膨脹되기 때문에 Crack의 原因이 된다.



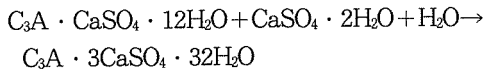
* 석고 不足分에 對한 C_3A



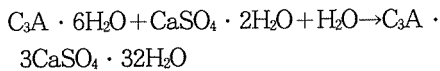
(1)項의 $Ca(OH)_2$ 와 $MgSO_4$, Na_2SO_4와의 反應



여기서 生成된 석고는 (2)項의 $C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$ 와 反應하여 Ettringite를 生成하고



또 (3)項의 $C_3A \cdot 6H_2O$ 와도 反應하여 Ettringite를 生成한다.



이와같은 Ettringite는 多量의 結晶水를 含有

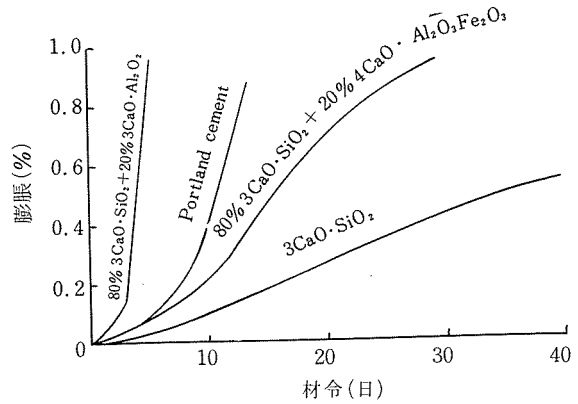


그림-11 C_3A 量과 Cement-Paste 膨脹

하는 針狀結晶이며, 그의 生成으로 因해 硬化體가 膨脹되고 崩壞되는 主要原因이 되기 때문에 Cement Bacillus(Cement의 Bacteria)라는 別名을 얻게되었다.

Cement 硬化體의 黃酸鹽에 依한 侵食을 防止하기 爲해서는 Cement中の C_3A 含有量을 減少시킴으로 黃酸鹽抵抗性を 改善할 수가 있다. 여러 研究結果에 依하면 C_3A 가 5% 以下 C_4AF 는 15% 以下가 바람직하다.

參考) Cement Clinker 製造上 C_3A 와 C_4AF 量의 調整은 相反되어 있음

I 種 cement	V 種 cement (耐黃酸鹽 cement)	
C_3A 10%	} ⇒	5%
C_4AF 10%		15%

따라서 各國의 耐黃酸鹽 Cement의 規格은 C_3A 含有量은 3~5%로 規制하고 있으며, K·S 規格에서는 5% 以下로 規定하고 있다. 特히 海水의 侵食作用에서는 黃酸鹽의 化學作用外에 Cl^- ion의 Concrete 内部侵透에 依해 鐵筋이 發錆하여 腐食되며, 이때 體積膨脹으로 Crack를 發生케한다. 그리고 파도 등으로 物理的인 損傷, 乾溫의 反復과 凍結融解作用 等の 複合作用으로 極甚하게 被害를 입는 海水面 附近의 構造物 Concret는 被覆두께를 크게 하여(一般두께 + 5cm) 鐵筋을 充分히 保講하는 것은 물론이고 W/C를 가능한 限 55% 以下로, 單位 Cement는

370kg/m³ 以上으로 하여 緻密한 Concrete로 使用하여야 한다.

6. 化學藥品抵抗性

鹽酸(HCl), 窒酸(HNO₃), 黃酸(H₂SO₄) 등의 無機酸은 Cement 水和物인 Ca(OH)₂나 CSH gel 그리고 Alkali鹽 등과 反應하여 可溶性 또는 不溶性의 CaCl₂, Ca(NO₃)₂, CaSO₄ 등을 生成함과 同時에 심하게 侵食한다. 그러나 有機酸은 그 侵食 程度가 比較的 작다.

특히 黃酸의 경우는 Ca(OH)₂와 反應하여 生成된 CaSO₄ · 2H₂O가 Cement 硬化體中의 C₃A · 6H₂O나 C₃A · CaSO₄ · 12H₂O와 反應을 하므로써 體積膨脹의 原因이 되는 Ettringite(C₃A · 3CaSO₄ · 32H₂O)를 生成하게 되어 Concrete가 膨脹 · 崩壞하게 된다. 따라서 酸中에서도 黃酸은 상당히 注意를 要한다.

耐酸性의 Concrete로 하기 爲해서는 混合 Cement나 Alumina Cement가 效果가 있다. 그러나 有機酸에는 Alumina Cement가 弱하다. Concrete 製造時 基本的으로 W/C를 작게 하므로써, 水密性을 向上시켜 有害한 酸物質이 侵透되지 못하도록 하는 것이 重要하며, 또한 表面 強化를 爲해서 耐食性이 큰 Water-glass나 有機合成樹脂 등의 保護膜으로 被覆시키는 方法 등이 있다.

7. 耐火性

Concrete는 優秀한 耐火性을 갖고 있는 것으로 알려져 있으나 Concrete 構造物들이 화재시에는 1000°C 以上 高溫에 露出되기 때문에 Cement의 水和物이나 含水狀態에 큰 變化를 주므로써, Concrete의 強度低下, Crack, 爆裂, Slab · 壁 등의 變形으로 極甚한 損傷을 받게 된다.

Concrete의 加熱된 狀態를 順次的으로 살펴보면 100~110°C 付近에서는 毛細管水가 傷失되고 200°C 付近에서는 Cement 水和物인 CSH gel水

가 約 20% 脫水되고 200°C 以上 부터는 Aluminate 水和物의 脫水가 始作된다. 500~600°C에 到達하면 Ca(OH)₂가 分解되고 800°C 以上 부터는 Concrete 內의 石炭岩質의 骨材가 CaCO₃ → CaO + CO₂로 脫炭酸되고 Concrete 內에 存在하는 自由水나 結晶水 등의 急激한 蒸發로 爆裂 Crack 등이 發生케 된다. 그외 人爲的인 高溫에서 長期間 加熱 · 冷却을 反復하는 條件에서 使用할 수 있는 소위 耐熱 Cement로써는 一般 Portland Cement系에서 400°C 以上 長期使用은 어렵다.

이것은 Concrete가 500°C 以上의 高溫에서는 Ca(OH)₂ $\xrightarrow{500^\circ\text{C 以上}}$ CaO + H₂O, CaO가 後에 水 吸水消化할 때 體積膨脹을 일으켜 強度에 損傷을 주기 때문이다. 그러나 500°C 以下일 때는 CSH gel水의 脫水가 水分이 再次供給되면 再水和됨으로 強度가 回復될 수 있다. 그리고 Slag, Crom 鐵鑛 Magnesite 등 混合材를 添加하여 Concrete의 使用溫度 範圍를 擴大할 수 있는 耐熱混合 Cement를 開發하고 있으며, 1000°C 以上의 高溫耐熱 Cement로써는 Alumina Cement가 널리 使用되고 있다.

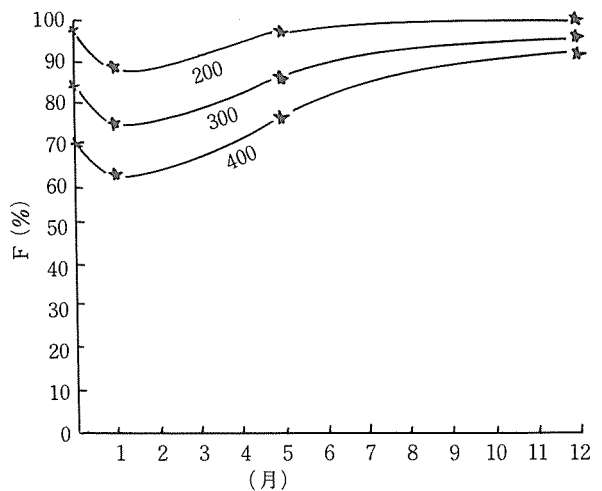


그림 - 12 加熱溫度別 壓縮強度 回復

8. 結 言

近間 우리나라에서도 産業化 促進과 Olympic 을 계기로 하여 高級 그리고 大形の Concrete 構造物工事が 계속 이루어지고 있으며 그 어느 때 보다 Concrete 構造物의 壽命 卽 Concrete 耐久性의 重要性이 強調되고 있다. 따라서 本稿에서는 우리 現場에서 알게 모르게 接하고 있는 Concrete 耐久성과 關聯되는 事項의 背景機構를 理解토록하여, 그 對策을 講究하고자 하는 데에 參考가 되고자 하였다. 上記 事項以外에도 Concrete 耐久성에 크게 영향을 끼치는 것으로는 最近 各國에서 크게 問題示 되는 低質骨材와 Alkali 反應性이 內在되어 있는 骨材 등으로 骨材가 Concrete 構造物 壽命에 끼치는 영향이 크게 漸增되고 있음을 付記하여 이 部門

은 産學協同調査對策이 뒤따라야 할 것으로 思料된다.

〈參考文獻〉

1. Cement 化學 (堀越研究所)
2. The destruction of concrete by frost (A. R Collins)
3. The Chemistry of Cement and Concrete (Lea F. M)
4. 特殊 Concrete (日本建設材料研究會)
5. Attack on Portland cement concrete by alkali soils and waters (W. C. Hansen)
6. Concrete 便覽
7. Properties of Concrete (A.M Neville)

5분상식

물적유통관리 (physical distribution management)

물적유통이란 재화의 소유권의 이전을 중심으로 이루어지는 마케팅채널 (marketing channel)과 비교되는 개념이다. 물적유통의 목적은 장소와 시간의 효용 (place and time utility)을 증대시키는데 있다. 다시 말하면 재화의 실질적 유통경로를 말하는 것으로 물적유통관리란 적절한 제품이 적절한 수량으로 적절한 장소에 적절한 시기에 이동되도록 능률적인 유통시스템을 설정하고 운영하는 일을 책임으로 하는 관리를 말한다. 군대에서 총은 있으나 탄약이 없어서는 전투준비가 되었다고 할 수 없는 것이다. 이와 마찬가지로 기업에서 주문은 쇄도하고 있는데 판매할 상품이 없다면 이 기업은 성공할 수 없으며, 부산에는 재고상품이 얼마든지 있는 반면에 서울에는 급한 고객이 있으나 재고가 없다면 큰 문제가 아닐 수 없다. 적절한 구색을 갖춘 상품이 적시적소에 있어야 수익성을 높일 수 있는 판매의 기회를 극대화할 수 있다.