

中東地方의 地質特性으로 인한 콘크리트 工事의 問題點

李 善 敬

<韓國科學技術情報센터>

最近 中東地方에서는 콘크리트 建築物 및 各種 土木構造物을 建設하기 위한 計劃이 大規模로 擴張되고 있으며 우리나라도 이 計劃에 이미 積極的으로 參與하고 있는 實情이다. 그러나 現地의 여러 施工業體들은 各種 콘크리트 工事に 미치는 地質特性의 심각한 問題에 逢著하고 있다.

中東地域 가운데서도 이러한 問題들이 가장 두드러지게 나타나고 있는 곳은 乾燥性 및 亞乾燥性氣候를 갖고 있는 沙漠地帶라든가 地盤이 주로 生石灰로 構成된 地帶라고 볼 수 있다. 이러한 地域의 特殊性은 中東諸國에 共通性을 나타내고 있으며 濠洲와 美大陸의 一部 또는 北아프리카와 같은 熱帶性乾燥帶에서도 類似한 特性을 볼 수 있는 것으로 여러 가지 콘크리트 施工에 많은 問題點들을 던져 주고 있다. 따라서 本說文에서는 우리나라 建設業體들이 中東에 進出하였을 때 콘크리트 施工에 蹉跌이 생기지 않도록 할 뿐 아니라 더욱 優秀한 工法開發에 도움이 될 수 있는 現地의 問題點들을 分析·檢討하기로 한다. 우선 中東地域과 같은 地域의 特性下에서의 콘크리트 工事に 適用할 수 있는 文獻으로서의 美國콘크리트學會의 標準示方書(302~72號)에 記述된 「高溫下에서의 콘크리트 施工法」이 現在로서는 가장 適合한 資料라고 볼 수 있으나 걸프(Gulf)灣地域과 紅海地域에 適用할 만한 資料는 아직 充分치 못한 實情이다. 따라서 中東地方의 特殊地質 및 氣候에 관한 實態를 먼저 把握하고 이들이 콘크리트 施工과 콘크리트 構造物 自體에 미치는 영향을 살펴보면 다음과 같다.

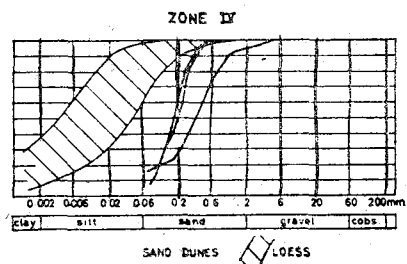
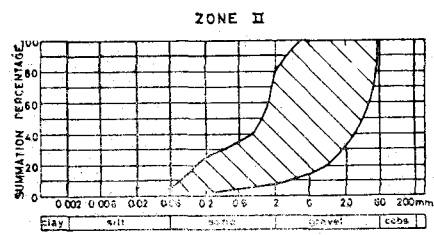
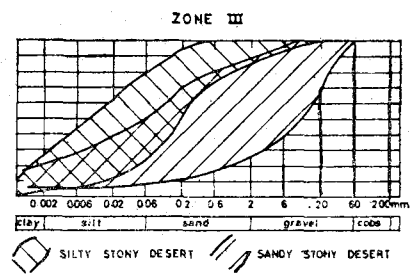
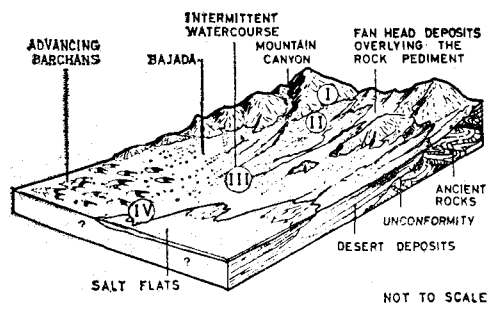
I. 氣 候

乾燥性氣候를 갖고 있는 地帶란 地表面의 水分蒸發量이 降雨量(주로 비와 이슬)을 凌駕하는 곳을 말하는데 熱帶性乾燥地帶인 中東地域 특히 아라비아灣이라든가 紅海 및 大部分의 사우디 아라비아와 같은 地方이 이에 屬한다. 이 地域의 年平均 降雨量은 겨우 數 10mm 에 지나지 않고 (어떤 地域에서는 數 mm 밖에 되지 않는 곳도 있음) 夏節期의 溫度는 40°C 를 넘는 경우가 許多하며 濕度 역시 100%를 유지하는 경우가 많다. 그리고 밤과 낮의 寒暑의 差가 심하다. 이러한 條件下에서 乾燥性 強風까지 곁들일 때 콘크리트의 配合設計 및 打設에는 高溫에 대한 特殊設計 및 工法이 마련되지 않으면 안된다.

II. 地 質

中東地方의 岩盤들은 大部分 上部 中生帶(Upper Mesozoic) 및 第三系(Tertiary)에 屬하는 軟岩으로서 주로 石灰石(limestone), 泥灰岩(marls), 白雲岩(dolomites), 白亞(chalks), 砂岩(sandstone), 石灰砂岩(calcareous sandstone) 및 蒸發殘留岩(evaporites)으로 되어 있다. 따라서 이러한 形態의 岩石은 物理的 特性으로만 보더라도 良質의 骨材는 될 수 없다. 즉 이러한 岩石으로 된 骨材는 堅固성과 耐磨耗성이 없을 뿐 아니라 부서지기 쉬우며 多孔質骨材가 되기 마련이다. 그러나 한편 이들 岩石의 化學的 特性

ZONE	I	II	III	IV
PRINCIPAL ENGINEERING SOIL TYPES		Rock fans	Silty stony desert and sandy stony desert Some evaporites	Sand-dunes, loess and evaporites
SLOPE ANGLE OF DESERT SURFACE		2 - 12°	1/2 - 2°	0 - 1/2°
PRINCIPAL TRANSPORTING AGENT OF THE ENVIRONMENT		Gravity, and as III	Intermittent stream flow and sheet floods	Wind and evaporation
GEOTECHNICAL FEATURES		Good for foundation and fill	Generally very good foundation and fill material. Saline. May be pervious in foundations	Erratic behaviour to load bearing Migrating dunes. Metastable loess Saline. Absence of coarse material



<그림-1> 4 개의 地質學的인 地帶와 一般의인 特性을 나타내는 沙漠盆地의 區劃圖

은 다분히 重要性을 지니고 있으며 學者들의 意見을 綜合해 볼 때 이러한 岩石은 모두가 알카리 反應에 敏感한 岩質로서 많은 鹽分을 含有하고 있는 것이 常例이다. 또한 이 地方의 沙漠地帶 특히 熱帶性沙漠地帶의 地表面은 周圍의 山野地로부터 수시로 흐르는 河川에 의해 流送된 굵은 자갈과 洪수로 밀려 와서 굵은 자갈 위에 덮인 砂質土, 그 砂質土 위에 덮인 실트(silt) 및 蒸發殘留岩 등으로 構成되어 있어서 바람에 날려 이리저리 砂丘를 이루며 옮겨 다닌다. <그림-1>은 이 地方 土質의 一般의인 工學的 特性

과 土層의 簡單한 斷面圖를 보여 주고 있다. 즉 콘크리트 施工業者들에게 무엇보다도 중요한 것은 潛在的인 骨材供給 可能地帶의 모색이라고 볼 때 第I地帶는 모래 採取場, 第II, III地帶는 자갈 採石場으로서의 地質學的 特性을 나타내고 있으며 특히 第III, IV地帶는 蒸發殘鹽分이 濃縮되어 있는 地帶라고 볼 수 있다. 이러한 鹽分은 地下水에 溶解되어 있는 경우도 있으며 降雨로 인해 생겼다가 없어지는 湖水(salt playas)가 蒸發한다든지 혹은 毛細現象에 의해 地下水가 地表面에 流出(effluent)되어 한곳에 모였다가 蒸發

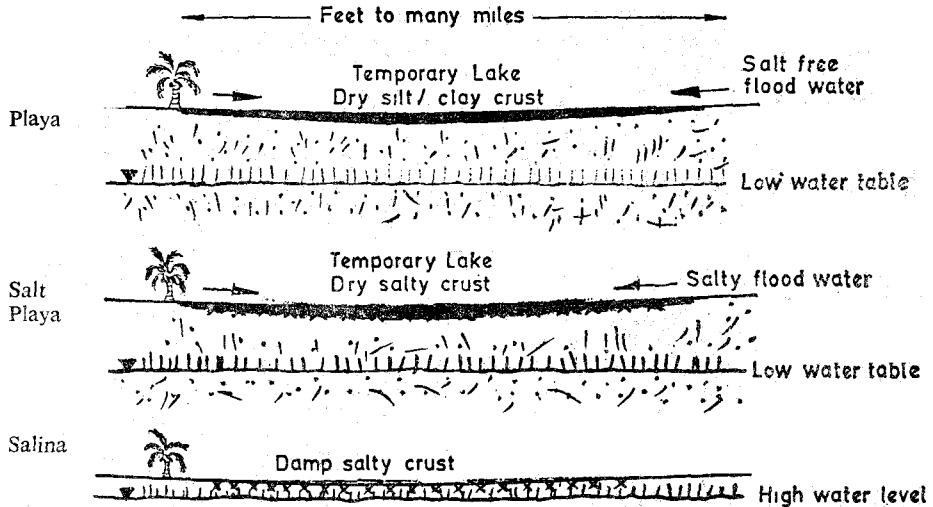


Figure 2. Idealized cross-sections of some salty desert terrains from Zone IV (see also Table 1).

<그림-2> 第 IV 地帶의 鹽分含有 沙漠地帶의 斷面圖

하여 소금 地殼의 형태로 存在하기도 한다. <그림-2>는 이러한 형태를 알기 쉽게 圖解하여 놓았다. <表-1>에는 이들의 地質學의 特性을 各試料採取場別로 要約하여 놓았다. 때로는

<表-1>

鹽分을 含有하고 있는 沙漠地帶의 地質特性

名稱	地帶	地下水位	鹽分	地質特性	施工法
사브카 (sabkha)	海水의 潮流 및 洪水가 밀려드는 海岸地帶	地表面에 가까움	海水의 蒸發로 두꺼운 層의 소금이 沈殿됨. 이러한 소금은 炭化鹽, 黃化物, 鹽化物 등을 含有함	콘크리트와 岩石의 風化作用으로 基礎에 심한 피해를 줌. 黃化物은 시멘트 結束劑를 파괴함	基礎工에는 SR 시멘트 使用할 것. 不活性骨材를 使用할 것. 毛細現象의 침투를 막을 板을 깔거나 완전한 격리시설을 할 것
플라야 (playa)	여러 가지 크기의 第 4 沙漠地帶, 內陸地帶 및 낮고 침수되기 쉬운 盆地	地下水位의 上昇은 되지 않지만 洪水期에는 湖水가 됨	잠정적인 湖水가 淡水인 경우에는 鹽分은 없다.	地表面은 바람에 불려온 모래나 실트 및 점토로 덮여 있기 때문에 特記事項 없음	特記事項 없음
소플라야 (salt playa)	위와 同一하지만 플라야 보다는 작은 地帶	위와 同一하나 鹽水된 湖水	地表面에는 잠정적인 湖水의 증발로 소금이 침전된다. 이러한 염분은 보통 炭酸鹽, 硫化物, 鹽化物, 矽酸鹽 등을 含有한다.	鹽水의 風化作用 및 黃化物에 의한 침식이 地下水位 가까운 곳에서 극심	사브카 (sabkha)와 同一
서리나 (salina)	위와 同一	地表面에 가까워 鹽分이 있는 地下水位의 모세 현상으로 침수가 능	鹽含有 地下水의 蒸發로 地表面에 鹽分 침전. 含有物 同一	鹽分의 風化作用 및 黃化物에 의한 침식 다소 심함	사브카 (sabkha)와 同一

<表-2>

固有한 氣候, 地質 및 材料에 의한 콘크리트 舉動

舉動 形態	1 次 現象	舉動效果의 減少方法
塑性收縮(乾燥) " (沈降)	갑작스러운 蒸發 불지이딩	混合設計, 蒸發減少 效果의인 양생 등 실시 材料選定, 混合設計, 空氣混入
乾燥收縮	느린 蒸發	效果의인 양생
初期熱膨張	水和熱(加熱)	콘크리트 溫度의 減少, 低熱 시멘트
初期熱收縮	水和熱(冷却)	콘크리트 溫度의 減少, 低熱시멘트, 放熱모호
長期乾燥收縮	濕氣의 損失	水分含量 減少, 收容設計
熱膨張과 收縮	晝間 및 季節에 따른 溫度變化	收容設計
部分的인 熱收縮	冷却(空調에 의한)	收容設計
濕潤膨脹	乾燥後의 飽和狀態	不透性 增強, 보호
炭化收縮	大氣의 炭酸	不透性 增強, 보호
鹽分結晶의 外部膨脹	인근 地下에서 흡수한 鹽水의 蒸發	콘크리트 表面의 效果의인 放濕防止 골재 선정, 혼합 설계
外部的인 黃化物膨脹	인근 地下에 용해된 硫化物	콘크리트 表面의 效果의인 放濕防止
內部的인 黃化物膨脹	골재의 과도한 黃化物	骨材選定, 效果의인 骨材處理
규 산 질 골재 膨脹	여러가지 骨材	재료시험과 골재 및 시멘트의 엄선
炭酸質 골재 膨脹	여러가지 骨材	재료시험과 골재 및 시멘트의 엄선

岩鹽이 岩盤帶와 沙丘(dune)에 마치 바람에 깎인 結晶體 형태로 存在하는 경우도 있으며 地表面과 地下水面 사이에 포켓(pocket) 및 鹽屬(salt layers)의 형태로 存在하는 경우도 있다. 그리고 <그림-2>에 圖解되어 있는 바와 같은 特殊한 鹽類가 존재할 경우 콘크리트 基礎에 심각한 피해를 주는 것은 疑心할 여지가 없다.

III. 콘크리트 問題

以上에서 言及한 바와 같이 中東地方의 地域的 環境으로 인한 建設工事に 영향을 주는 要素를 大別하여 볼 때 氣候와 地質의 두가지로 볼 수 있으나 여기에 한 가지 더 添加한다면 工法(workmanship)을 第3의 要素로 들 수 있다.

本來 본고장 建設技士들은 대부분이 建設業에 經驗이 빈약하고 監督機關도 充分하지 못하여 지금까지는 주로 英國示方書에 따른 英國施工業體들에게 모든 建設工事を 依存하여 왔지만 이들 示方書 역시 現地의 地域的 特殊條件에 適合하지 않아 各種 基礎構造物에 심한 破損과 龜裂을

일으키는 事例가 許多히 발생하였다. <表-2>는 이 地域의 氣候와 地質의 特殊性에 의한 콘크리트의 變質狀態를 段階別로 要約해 놓은 것인데 이들 項目들은 世界 어느 곳에서도 多少는 발생하는 현상이지만 中東地方에서는 특히 심각한 문제로 나타나고 있다. 물론 콘크리트에 발생하는 品質低下過程에는 여러 要因들이 많지만 그중 가장 중요한 項目만을 몇가지 들어 說明하면 다음과 같다.

III-1 콘크리트의 初期收縮作用

塑性收縮에 의한 龜裂은 주로 콘크리트 內部에서의 水分이 表面으로 移送되는 量보다 表面에서의 水分蒸發量이 더 많을 때에 발생한다. 이러한 龜裂은 콘크리트 打設後 數時間內에 발생되며 일단 이러한 龜裂이 발생하면 다시 補修하기가 극히 困難할 뿐 아니라 鐵筋에 鹽分과 空氣가 스며들어 腐蝕시킴으로써 強度를 低下시키는 要因이 되기 때문에 補修할 필요조차 없게 된다. 특히 이러한 收縮作用은 콘크리트에서 發散하는 高熱과 大氣의 높은 熱이라든가 強風 및 低

濕度 등이 複合될 때에는 加速的인 蒸發로 塑性收縮이 더욱 促進된다. 이에 대한 대책으로는 콘크리트 表面과 거푸집에 물을 뿌려 적신다든가 주위 溫度를 最少限度로 낮추며 적절한 바람막이를 세워 그늘을 지게 하든지 또는 效果的인 早期養生을 시키는 등 여러 가지 채택식 방법이 있지만 원래 塑性收縮과 初期乾燥收縮은 뜨거운 날씨에 多孔質이며 不潔한 天然骨材의 採用으로 인한 多量의 水分要求量이 增加되기 때문에 발생하는 것이므로 콘크리트 濕度調節 등에 細心한 注意가 必要하다.

III-2 地域特性에 따른 事前準備

中東地域의 沙漠地帶 특히 <그림-1>에 表示된 第IV 平原地帶에는 여러 가지 종류의 鹽分이 蒸發殘留岩의 형태로 存在하고 있어서 이들은 두 가지 根本的인 問題를 惹起시키고 있다. 그중 한 가지는 毛細現象에 의하여 1m 內外에 있는 콘크리트 構造物에 浸透해 오는 外部的인 浸蝕問題와 또 다른 하나는 骨材나 混合水, 鐵筋에 附着된 他物質이 原因이 되는 콘크리트 構造物의 內部的인 影響을 주는 化學元素는 각종 化合物을 包含하는 硫酸鹽, 鹽化物 및 炭化物의 칼슘염, 마그네슘염 및 나트륨염 등이다.

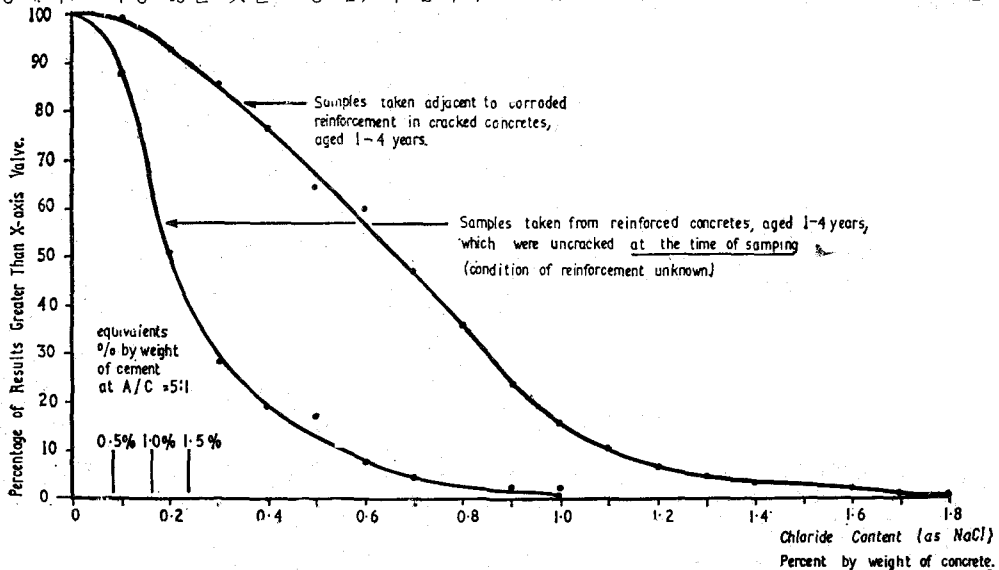
이중에서도 가장 많은 것은 보통 염, 즉 염화나

트륨 또는 石膏(calcium sulphate dihydrate)와 無水石膏(antydrite) 및 瀉利鹽(epsom salts) 등 이라고 볼 수 있다. 그리고 外部浸蝕은 두 가지 構狀으로 나타나는데 그중 하나는 水分이 含有되어 있는 地中에서의 有機물에 의한 浸蝕이다. 이 경우에는 시멘트의 칼슘·알루미늄 化合物이 腐蝕되어 부피가 膨脹된다. 이때에 마그네슘이 存在할 경우에는 시멘트 페이스트(paste)의 水酸化 칼슘도 역시 浸蝕당하게 되는데 이러한 염에 의한 피해는 現地에서의 예기치 못한 大量의 鹽分이 나오는 경우도 있기 때문에 各별한 注意가 要望된다.

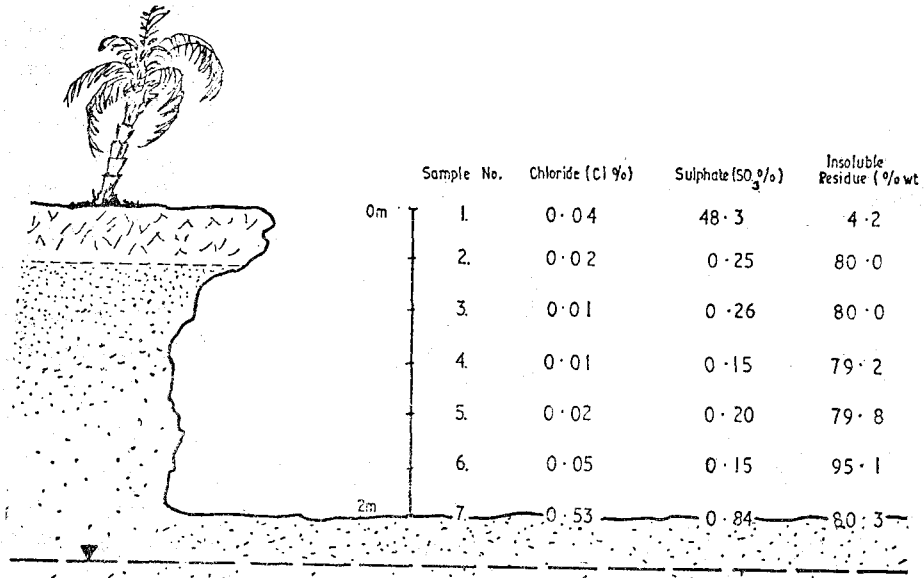
따라서 이 地方에서는 어떤 工事場을 막론하고 各 地層別로 從深의으로 可能한 限 깊게 土質의 試料採取를 實施하여 各種 化學藥品으로 土質反應試驗과 工事場周圍의 水質檢査도 철저히 실시하지 않으면 안된다.

III-3 鹽分の 風化作用과 結晶作用

이러한 作用은 이 地域 도처에서 발생하는 현상으로 콘크리트와 骨材粒子間의 間隙에서 발생하는 鹽의 結晶化의 結果로 발생하는 것이다. 따라서 이러한 結晶들은 주야의 溫度差 및 濕度差에 따른 水和 및 脫水作用으로 생기는 結晶體의 增加에 따라 부분적인 體積變化와 더불어 급작



<그림-3>龜裂된 또는 龜裂되지 않은 中東地方 鐵筋 콘크리트의 鹽化物 含有量曲線



<그림-4> 地殼中에서 또는 地下水位 바로 위에서의 鹽分含量的 增加를 나타내주는 전형적인 中東地域 細骨材採掘場의 鹽化物과 黃化物 含有 側面圖

스러운 膨脹力이 생기게 되는 것이다. 이러한 경우에 대비해서 構造物 주위의 地下水 低水位와 같은 깊이의 排水溝를 마련해 주는 것도 바람직하다. 그 외에도 可能한 限 高密度가 콘크리트와 多孔性이 아닌 견고한 骨材를 사용함으로써 多少 피해를 막을 수 있으며 設計에 들어가기 전에 반드시 試料採取와 試驗이 실시되어야 한다. 內部浸蝕도 역시 두가지 형태로 발생하는 데 鹽分은 細骨材나 粗骨材 또는 混合水에 섞여 들어 가게 된다. 이들 鹽分은 콘크리트의 凝固期間中 또는 後에도 시멘트와 鹽料 相互間에는 作用이 계속된다. 이 作用은 대단히 복잡하지만 간단히 例를 들어 說明하면 內部浸蝕에는 제일 먼저 水化合物과 鹽素反應을 일으키게 되는데 이것은 反應前의 水化合物보다 黃酸鹽浸蝕에 더욱 敏感하여 骨材內에서는 硬石膏結晶의 水化作用 및 水酸化칼슘 成分을 갖고 있는 포틀랜드이트(portlandite)를 形成하는 시멘트와 石膏의 結晶體間의 反應 등이 발생한다.

또한 염화염(chloride salts)은 비교적 짧은 時間內에 亞鉛鍍金되지 않은 鐵筋의 腐蝕 및 膨脹을 觸媒하는 化學的 및 電氣化學的 反應을 촉진시켜 준다. <그림-3>에 표시된 曲線中 右側의

완만한 曲線은 試料를 채취할 당시부터 腐蝕된 鐵筋을 함유하고 있을 경우 打設하여 凝固된지 얼마 안되는 데도 벌써 약간의 龜裂이 생긴 콘크리트 試供體에서 발견된 염화물 濃縮分布를 나타내 주고 있으며 최대 鹽化物은 鹽을 함유하고 있는 骨材와 물을 사용하였을 때에 생기는 것을 이 曲線으로부터 알 수 있다. 그리고 또 하나의 曲線은 同一한 콘크리트의 試料가 나타난 鹽化物 分布를 表示해 주고 있다.

III-4 알카리 沈着反應의 中長期效果

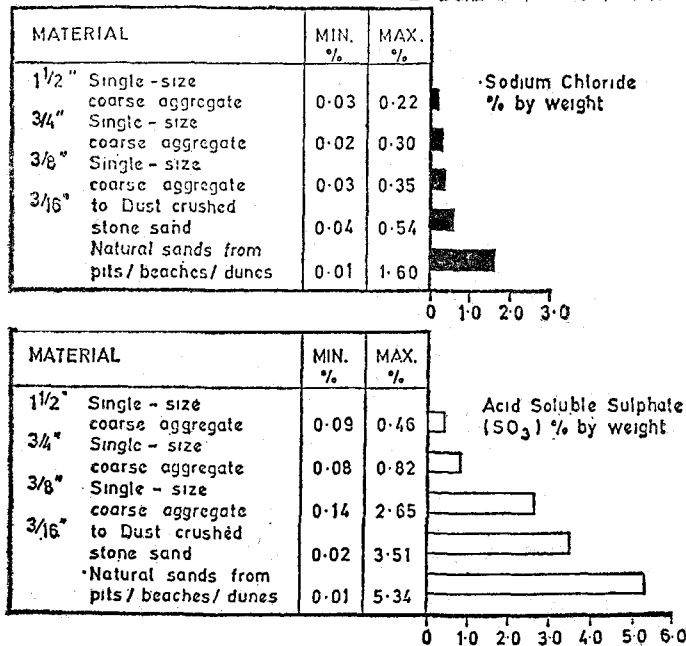
알카리 反應을 나타내는 岩石은 크게 나누어 두가지로 大分할 수 있는데 그중 하나는 규산(silica)에 反應하는 角岩(cherts) 및 규산질석회석(siliceous limestone) 등이며 다른 하나는 점토질白雲岩(argillaceous dolomites) 등이라고 볼 수 있다. 규산 反應을 나타내는 岩石은 시멘트의 알카리와 反應, 膨脹하여 膠質(gel)을 形成한다. 이 膠質은 시멘트와 알카리의 反應에 의한 副產物로서 콘크리트를 龜裂시키는 被反應骨材 주위에 테두리膜을 形成하게 된다. 이러한 方法으로 龜裂이 발생하는 데는 數年이 걸리는데 완

전한龜裂이 생기기 前에는 콘크리트 表面에 突起들이 솟아 나오고 이러한 突起들이 增加됨에 따라 鐵筋 콘크리트內의 鐵筋腐蝕이 擴大되어 結局 콘크리트의 破壞를 促進시킨다. 歐美地域 및 濠洲 등지에서는 이와 같은 腐蝕作用이 발생하면 Gel Pat Test, Rapid Chemical Test (ASTM C289) 및 Mortar Bar Expansion (ASTM C227) 등을 적절히 適用함으로써 腐蝕이 발생하기 前에 미리 豫測할 수 있도록 되어 있다. 그러나 이러한 腐蝕을 豫防하는 데는 무엇보다도 潛在的 腐蝕要素를 함유하고 있는 骨材使用을 排除하는 것이 最善의 方法이며 加급적 低알칼리性 시멘트 (즉 Na_2O 와 같이 0.6%를 넘지 않은 것)를 사용하는 것이 바람직하다. 그리고 岩石分類學의 研究와 각 地方의 事例研究 등을 실시함이 역시 큰 도움이 될 것이다. 다음에 炭酸鹽 反應에 관하여는 각 地方의 骨材, 시멘트 및 環境에 따라 그 作用樣相이 相異하여 복잡하기 때문에 위에서 言及한 각종 試驗法은 물론 그 외에도 Rock Cylinder Method (ASTM C586)를 채용하고 岩石分類學的 研究 및 地方別 事例觀察 등도 실시하여야 한다.

IV. 骨材의 採掘 및 試驗

第IV地帶 즉 平滑한 海岸內陸地帶에는 天然骨材가 극히 稀少하지만 산마루에 있는 개울가에서는 간혹 良質의 骨材를 採取할 수 있는데 이러한 骨材는 약간씩 風化되고 岩石들과 섞여 있는 경우가 대부분이며 鹽分이 汚染되어 있기 때문에 物理的인 試驗外에도 岩石分類學的 檢査와 硬度試驗 및 化學的 試驗까지도 실시하여야 한다. 또한 골재를 채굴하는 도중에도 간단한 化學的 實驗을 수시로 실시하여 礬化物 내지는 황화물의 유무를 계속 확인하여야 한다. 심한 경우에는 이러한 實驗을 하루에도 여러 차례 해야 하는 경우도 있다.

대부분의 모래는 鹽分 및 기타 汚染物을 最限度로 제거하기 위하여 淡水로 세척해야 할 경우도 생긴다. 石灰石이나 白雲岩 등으로 된 岩盤은 가끔 長時間에 걸친 統合連續變質作用 (diagenetic process)에 의해 盤層 (hardpan)으로 表面이 변화한다. 이러한 과정은 콘크리트 表面이 변화한다. 이러한 과정은 콘크리트 表面에 鹽類를 濃縮시키는 경우가 있으며 部分的으로 양금이



<그림-5> 各種 中東產骨材의 試料에 있어서의 鹽化物과 黃化物의 濃度

생겨 얼룩지게 한다든가 그렇지 않으면 表面에서 약 1 m 까지 浸蝕시키기도 한다. 그 외에도 粘土 포켓 (clay pocket)이나 鹽層 (salt layer) 및 白亞 (chalk) 등 부서지기 쉬우며 不必要한 物質들이 이러한 岩盤에 생기는 경우도 있기 때문에 soundness 試驗과 化學的 試驗을 철저히 실시하

여야 한다.

한마디로 말해서 中東地方에서 永久的으로 腐蝕되지 않는 콘크리트를 製造하려면 骨材의 엄선과 處理 및 이 지방 骨材의 特性을 分析하여 熱帶性氣候를 고려한 設計法 및 工法의 開發에 의해서만이 可能하다.

[參 考 文 獻]

- 1) Fookes P. G. & Collins L. *Problems in the Middle East, Concrete* (England), 9, 7 (1975) pp. 12~17.
- 2) Hersey A. T. *Problems and Practices*, J. Am. Conc. Inst. (U. S. A) 72, 10 (1975) pp. 526~529.

알 림

76 시멘트 심포지움 開催

76年度 시멘트 심포지움을 아래와 같이 開催하오니 관계자 여러분의 많은 참석을 바랍니다.

日時 : 1976. 4. 23~24 (예정)

場所 : 漢陽大學校

主催 大韓窯業學會
韓國洋灰工業協會