

알카리 骨材反應에 의한 콘크리트 構造物의 劣化現象

李 利 衡

〈漢陽大學校 建築工學科教授 工博〉

尹 在 煥

〈水原大 建築工學科教授, 工博〉

1. 序 論

알카리 骨材反應은 문자그대로 콘크리트 중의 알카리와 어떤 종류의 골재가 화학적인 반응을 함으로써 콘크리트에 큰 被害를 가져오는 것을 말한다. 알카리 骨材反應은 약 50년전에 미국 캘리포니아주의 콘크리트 道路가 崩壞한 사고에서 발견된 이후, 미국 各地에서 콘크리트 構造物에 被害가 발생하여 콘크리트의 중대한 劣化現象으로 알려지게되었다. 이런 현상은 完工이후 약 10년~20년 경과한 一連의 콘크리트 構造物에 龜甲狀 혹은 地圖狀의 많은 균열이 발생하여 더구나 이 피해는 계속 擴大해간다고 한다.

미국 이외에도 영국, 덴마크등 북유럽의 여러 나라에서 많은 건축물에 被害를 입히고 있어, 이에 대한 原因의 糾明 및 對策 마련을 위한 努力이 기울여 지고 있다. 일본에서는 良質의 河川자갈이 豊富하여, 거의 드문 현상으로 인식되어 왔으나 近來에는 콘크리트용 골재로 碎石, 碎砂의 사용이 增大하고 있는 狀況이므로 알카리 골재반응의 危險性이 指摘되고 있으며 또한 실제 콘크리트 건축물의 損傷事例가 報告되어, 언론기관과 學會의 注目을 끌게되어 관련된 學會, 協會, 研究機關에서 이에 대한 研究가 進行되고 있으나 아직은 不明確한 點이 많이 있다. 여기서는 國內外적으로 發表된 研究를 根據로 알카리 骨材反應에 대하여 說明을 하도록한다.

2. 反應의 分類와 定義

알카리 骨材反應이라는 것은 골재에 함유된 어떤 種類의 鑛物과 시멘트에 함유된 알카리가 水分의 존재하에 反應하여 규산소다 등의 알카리珪酸鹽을 생성하고 이것이 膨脹作用을 일으켜 콘크리트의 龜裂, Pop out, 組織崩壞 등을 일으키는 현상이라 일반적으로 정의된다. 시멘트의 알카리라함은 Na_2O (酸化나트륨)과 K_2O (酸化칼륨)의 형태로 함유된 나트륨 및 칼륨을 나타내는 것이고 주로 시멘트의 水和生成物인 水酸化 칼슘에 依存하는 콘크리트의 알카리성과는 意味가 다르다.

알카리骨材反應은 骨材內의 反應性 실리카와 콘크리트 내의 알카리가 反應하는 “알카리 실리카 反應” 또는 “알카리 실리케이트 反應”과 骨材內의 돌로마이트質 石灰岩과 콘크리트 內의 알카리가 反應하는 “알카리 炭酸鹽岩反應”의 3種類로 分類되고 있다. 이 중 알카리실리카 反應이 세계적으로 報告된 例가 가장 많고 一般의이며, 가까운 日本에서 現在 問題가 되고 있는 알카리 骨材 反應의 被害例및 岩石에 관한 試驗報告의 대부분이 이 反應에 속하는 것이다.

2.1 알카리 실리카 反應

現在 日本에서 알카리 骨材反應이 問題가 되고 있으며, 1930년대에 미국에서 發生한 事例

도 알카리 실리카 反應이었다. 알카리 실리카 反應은 알카리와 骨材內的 실리카 鑛物과의 反應에 의해 생긴 알카리 실리카겔이 周邊의 물을 吸水하고 콘크리트를 膨脹시킨다. 反應性 실리카 鑛物로서는 ㉗ 蛋白石(Opal) ㉘ 크리스토포라이트(Cristobalite) ㉙ 鱗珪石(Tridymite) ㉚ 火山유리와 脫유리화한 火山유리(Volcanic Glass and Devitrified Volcanic Glass) ㉛ 玉髓(Chalcedony) ㉜ 微晶質 혹은 破碎, 變形을 받아 結晶格子가 變形한 石英이 알려져 있다.

2.2 알카리 炭酸鹽岩 反應

알카리 실리카반응과는 膨脹에 關與하는 鑛物이 다르고 反應生成物도 다르다. 콘크리트의 損傷狀態는 알카리 실리카 반응과 類似하고 반응이 생기는 기본적인 조건도 알카리 실리카반응과 같다. 그러나 有害한 膨脹을 抑制할 수 있는 알카리의 最大 許容值는 알카리 실리카반응의 경우 보다도 적다. 化學적 反應機構가 다르기 때문에 判定을 위한 試驗法도 알카리 실리카 반응과는 다르다. 알카리 炭酸鹽岩 反應에서는 岩石試料를 水酸化나트륨溶液에 넣어 膨脹을 測定하는 岩石실린다법(ASTM C586)이 判定試驗法으로 利用되고 있다. 알카리 炭酸鹽岩反應을 일으키는 典型的인 岩石은 잘 발달된 苦灰岩결정이 암석내에 분포된 粘土鑛物을 함유한 진흙질의 苦灰石質 石灰岩, 石灰(方解石)質 苦灰岩중, 方解石과 苦灰石의 비가 0.67~1.50인 炭酸鹽岩인 것으로 알려져 있다. 일본에서는 反應性 炭酸鹽岩의 존재는 아직 보고되지 않았고 세계적으로 보아도 알카리 실리카 반응보다는 發生頻度가 작은 것으로 나타나 있다.

2.3 알카리 실리케이트 反應

실리케이트(珪酸岩)鑛物이 장석, 감람석, 휘석, 각섬석, 운모, 점토광물등 천연 암석을 구성하는 주요한 構成鑛物이기 때문에 알카리 骨材反應에 대해서 가장 일반적인 것으로 생각되

지만 실제 問題가 되고 있는 岩石은 캐나다의 노베스코티아州의 堆積岩(千板岩, 실트岩)으로 보이는 버미큐라이트를 含有하고 있는 岩石에 한정된다. 이 膨脹의 主要原因이 알카리 실리카 反應일지 모른다는 解析도 있지만, 반드시 그러한 解析이 확실한 것은 아니다.

3. 알카리 骨材反應의 特徵 및 膨脹機構

알카리 骨材反應에서 현저하게 나타나는 特徵은 아래와 같다.

-반응성 골재와 高알카리 시멘트사이에서의 반응은 어떠한 條件하에서도 발생하지만 반응에 의한 膨脹은 제한된 조건하에서만 생긴다.
-다량의 알카리가 존재하면 반응은 급속하게 進展되지만 膨脹은 알카리량이 적은 경우에 비하여 減少하거나 또는 發生하지 않는 境遇가 있다.

-반응성 骨材의 含有量과 粒度로부터 膨脹量이 최대가 되는 Pessimum 조건이 존재한다.

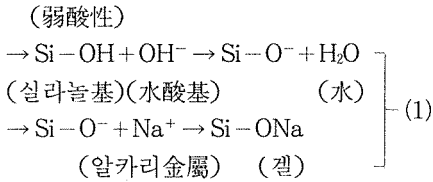
알카리 실리카반응은 反應性실리카와 시멘트 페이스트내의 微小 공극내에 함유된 액체와의 반응이다. 시멘트 페이스트내의 미소 공극내에 함유된 액체는 시멘트와 물이 混合된 이후에 시멘트의 水和反應이 시작되어 시간이 經過함에 따라 그 조성이 변화한다는 것이 확실시되고 있다.

미소空隙에 함유된 액체조성의 변화를 따르는 대표적인 예를 그림-1에 나타내었다. 그림과 같이 시멘트 페이스트내의 미소 공극내에 함유된 액체내에서는 혼합이 시작됨과 동시에 高濃度の $\text{OH}^- \cdot \text{Na}^+ \cdot \text{K}^+$ 이온이 용출된다. 시멘트의 水和反應에 의해 생성되는 Ca^{2+} 은 微小空隙내에 함유된 액체내에서 混合初期에 약간 增加하지만 Na^+, K^+ 의 농도가 증가함에 따라 그후 급속히 감소하는 것이 觀察되었다.

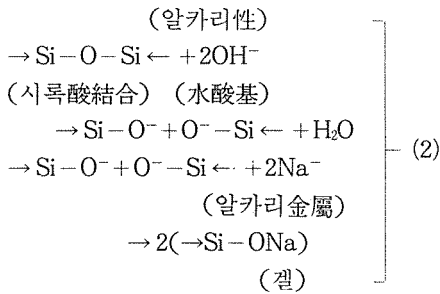
이 微小空隙내에 함유된 액체와 반응성 실리카와의 반응에는 2種類가 존재한다. 즉, 식(1)에 나타난 弱酸性의 실라놀(Silanol)基의 中和反應

과 식(2)에 나타난 시록산(Siloxane)결합의 切斷에 의해 알카리 실리케이트겔(以下 겔이라 함)이 생성되는 반응이다.

실라놀기의 中和反應



실록산 結合의 切斷



이 反應의 進行은 反應性실리카 광물조성의 차이, 입경, 반응성 실리카 광물을 함유한 骨材

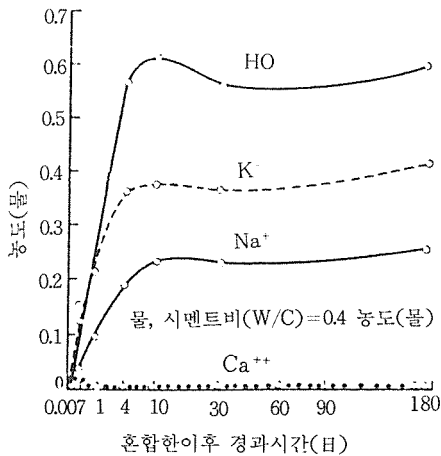
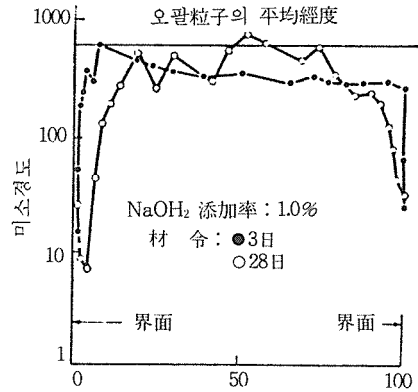


그림-1 細孔溶液助成의 輕時變化



界面으로부터의 상대거리(입자지름에 대한 %)

그림-2 反應性 실리카를 含有한 骨材의 反應의 模式圖

岩石의 종류, 골재입경, 주변온도, 수분의 공급 등의 조건에 따라 변화한다.

이 反應을 圖式化하면 그림-2와 같다. 반응성 실리카를 함유한 골재 표면은 微小 空隙내에 함유된 액체로부터 공급된 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , OH^- 및 H_2O 에 의해 겔층이 생성되고 시간이 경과함에 따라 生成層은 골재의 中心에 접근하게 된다. 생성된 겔층은 당연히 원래 골재보다도 硬度가 저하되기 때문에 그 경도를 측정함

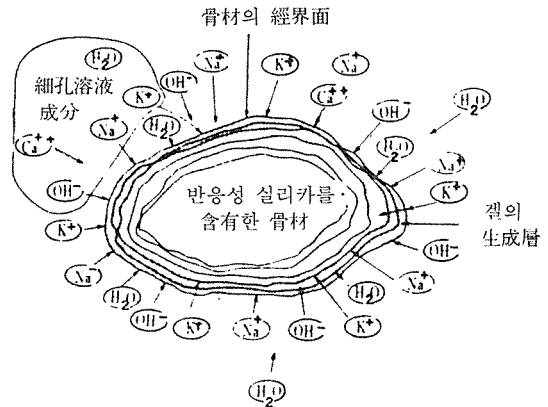


그림-3 오팔粒子内部의 硬度分布

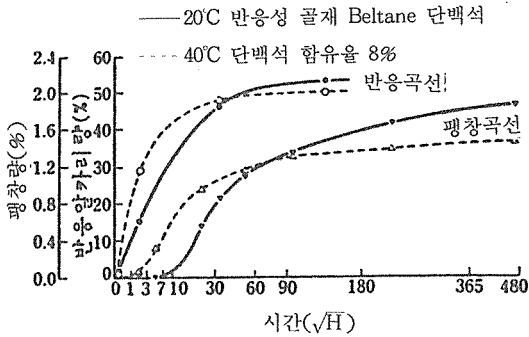


그림-4 20°C와 40°C에 의한 반응곡선과 팽창곡선의 비교

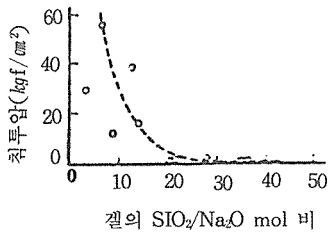


그림-5 겔의 $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ mol 비와 용액의 침투압(계산치)의 관계

으로써 반응층의 진행상황을 알 수 있다. 오팔(Opal)입자를 이용하여 얻어낸 硬度變化로 反應層의 진행상태를 조사한 결과 그림-3에 나타낸바와 같이 재령과 함께 오팔입자의 表面硬度의 저하부분이 粒子中心部로 진행하고 있음을 알 수 있다. 알카리 실리카 반응에 의해 생긴 膨脹은 반응에 의해 생성된 겔의 量과 그 組成에 따라 변화한다고 생각된다.

겔의 生成과 膨脹의 關係는 그림-4에 나타난 바와 같다. 겔의 生成量은 식(1), (2)에 나타난 반응에 사용된 반응 알카리量(Na^+ 量)을 측정함으로써, 구할 수 있다. 그림-4의 反應曲線(반응 알카리양과 시간과의 관계)과 같이 알카리 실리카 반응은 초기에 급속히 일어나고 시간이 經過함에 따라 반응은 점차 鈍化된다. 반응에 미치는 온도의 影響은 화학적 반응이므로 초기의 反應速度는 온도가 40°C인경우가 20°C인 경우보다 크게 나타나게 된다. 그러나, 모르

터바의 膨脹은 알카리 실리카 반응의 시작과 동시에 일어나는 것이 아니라 어느 정도 시간이 흐른 후에 膨脹이 시작된다. 이 현상으로부터 분명한 것은 알카리 실리카 반응에 의한 膨脹은 반응에 의해 충분히 겔이 生成된 후에 미소공극에 함유된 액체내의 수분을 겔이 吸收한다고 하는 物理化學的 過程을 거친후에 발생하는 것이다.

알카리 실리카 팽창에 미치는 겔조성의 영향은 상당히 큰 것이라 생각된다. 알카리 실리카 반응에 의해 생성된 겔은 겔내의 실리카의 重合度에 의해 分子量, $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ 比가 큰 범위에서 변화된다.

$\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ 比가 큰 겔은 강하고, 견고하며 흡수한 물의 양이 적어지게되고 膨脹을 거의 일으키지 않는다. 또한, $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ 의 比가 극히 적은 경우에는 겔은 吸收한 물에 溶解되기 쉽게 되어 膨脹壓을 거의 발생하지 않는 것으로 생각된다. 既往의 연구에 의하면 그림-5와 같이 최대침투압(겔과 平衡상태에 달한 용액의 침투압으로부터 간접적으로 팽창압을 추정할 수 있다.)을 발생하는 겔의 조성은 $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ (몰비)가 약 10정도로 나타남을 알 수 있다.

4. 反應性 骨材

전술한 바와 같이 알카리 反應性 骨材에는 알카리 실리카 반응에 관한 것과 알카리 炭酸鹽岩 반응에 관한 것, 알카리 실리케이트 反應에 관한 것들이 있다. 아래에서는 실리카 반응에 局限된 反應性 骨材를 기술하도록 한다.

4.1 알카리 反應性 실리카 鑛物

알카리 반응성 광물을 기술할 때, 암석과 암석을 構成하는 鑛物을 구별하여 생각할 필요가 있다. 전술한 알카리 반응성 광물중 오팔(蛋白石), 크리스토파라이트, 트리디마이트(磷珪石), 화산유리는 알카리와의 反應성이 맨 처음 立證

된 鑛物으로써 이들에 의한 반응을 古典의 알카리 실리카 反應이라고 한다.

반면, 石英質의 岩石에 함유된 玉髓와 微晶質 혹은 結晶格子가 변형된 石英 등의 반응성 실리카 鑛物은 전술한 그룹과 어느 정도 반응 傾向이 다르기 때문에 石英質岩에 의한 반응을 알카리 石英質岩 反應이라고 한다(표-1). 이 표에서 II에 함유된 鑛物은 일반적으로 반응성

이 I의 광물보다도 적고, 矽의 生成量도 적다. 즉, I의 그룹과 比較하여 II의 그룹에 함유된 玉髓의 반응성은 적고 石英의 반응성은 더욱 적다고 생각되며, 玉髓의 膨脹은 늦으며, 石英의 膨脹은 더욱 늦다고 생각된다.

(1) 蛋白石(Opal)

SiO₂ · nH₂O의 조성을 갖는 비결정질 혹은 그와 유사한 含水실리카鑛物로서 3~10%의 물을 含有하고 比重은 2.01~2.16인 鑛物이다. 蛋白石은 가장 반응성이 높은 실리카 鑛物로 알려져 있고, 非反應性 골재에 數%의 蛋白石이 含有됨으로써 콘크리트의 有害한 膨脹이 生길 수 있다.

蛋白石은 熱水 作用에 의해 넓은 範圍의 火山岩, 凝灰岩, 堆積岩 공극과 脈을 충진하여 생기고 砂岩과 礫岩 등에서는 蛋白石 혹은 玉髓가 입자간을 결합하고 있다. 덴마크, 독일 등에서 蛋白石質의 砂岩은 프린트(Flint)와 함께 반응성 골재로서 문제시 되고 있다.

표-1 알카리 반응성 실리카 광물

Group	실리카 광물	비 고
I	오팔, 트리디마이트, 크리스토팔라이트, 화산유리	고전적 반응
II	옥수, 미결정석영, 변형된 결정격자를 갖거나 2차 함유물이 풍부한 석영	석영질암 반응

표-2 알카리 反應性 실리카鑛物과 岩石

種 別	反 應 物 質	岩 石
準安定 실리카 鑛物과 火山유리	오팔, 트리디마이트, 크리스토팔라이트, 火山유리(酸性, 中性, 鹽基性)	오팔을 함유하는 頁岩, 砂岩, 珪化炭酸鹽岩, 차트(Chert). 유리질 火山岩(酸性, 中性, 鹽基性); 流紋岩 Dacites, latites, 安山岩 및 이들의 凝灰岩, 기타 유리 石基를 갖는 모든 岩石, 玄武岩
알칼리 反應性 石英質 岩石	玉髓, 潛晶質 및 微晶質石英, 마이크로 粒으로된 石英(變形된 結晶格子 또는 2차 包有物이 풍부한 것), 마이크로 石英(0.01~0.05mm)	(a) 실리카岩石 보통 약 95%의 실리카를 함유하는 岩石; 차트(오팔을 함유하지 않으나 玉髓 또는 마이크로 石英, 또는 兩者를 함유한다), 脈石英, 珪岩, 石英質砂岩 (b) 石英이 풍부한 실리카트 岩石 火山岩(結晶化한 것, 潛晶質에서 微晶質까지의 石基를 갖는다), 메타火山岩, 마이크로에서 마이크로까지의 粒狀岩石, 粘土質岩, 실트岩, Greywacke, Subgreywacke, 砂質岩, Arkoses砂岩, 板岩, 千枚岩, 石英-雲母), 片岩, 花崗岩, 花崗片麻岩, 花崗閃綠片麻岩, Charnockites.

(2) 크리스토프라이트(Cristobalite)

크리스토프라이트는 SiO_2 의 조성을 갖는比重 2.33의 실리카 광물로서 常溫에서는 不安定 상태로 존재하는 것으로서 고압에서 형성하는 深成岩과 變成岩에는 암석의 形成時에 크리스토프라이트를 生成하지 않는다. 크리스토프라이트는 地表 혹은 지표 근처의 低壓條件下에서 형성되는 실리카가 풍부한 火山岩, 특히 流紋岩, 石英安山岩, 安山岩 등의 石基와 氣孔部에 생기고 溶結凝灰岩에도 나타난다. 크리스토프라이트는 일반적으로 미세하고 충전정도가 낮은 SiO_2 사면체 결정구조를 가지고 있다.

(3) 鱗珪石(Tridymite)

SiO_2 의 조성을 가지며 比重은 2.27이다. 크리스토프라이트와 同一하게 지표 혹은 지표 근처의 조건에서 실리카가 풍부한 火山岩의 石基와 氣孔部, 同質의 溶結凝灰岩內에서 생기며, 상온에서는 安定상태로 존재한다.

(4) 火山유리와 脫유리화한 火山유리(Volcanic Glass and Devitrified Volcanic Glass)

용융 상태에 있는 고온의 마그마가 地表, 水中에서 급속 냉각되어 결정화되지 않고 굳어진 것이다. 黑曜岩, 松脂岩, 眞珠岩 등은 대부분 火山유리로서 이루어지고 마그마가 폭발적으로 분출하여 생긴 輕石, 火山灰, 스크리아, 이들이 응고한 凝灰岩도 火山유리가 풍부하다. 또 安山岩등 보통의 火山岩의 石基 부분에 火山유리가 含有된 경우도 많다. 火山유리는 실리카 結晶의 結합이 약하고 熱力學的으로 불안정하기 때문에 극히 미세한 結晶을 형성하는 脫유리化過程을 거친다. 脫유리化 進行으로 부터 그 반응성은 점차 표-1의 그룹II로 移動된다.

(5) 玉髓(Chalcedony)

조성은 SiO_2 로 石英의 微小結晶의 集합체로부터 생성된 것이고 比重은 2.5~2.63이며, 소량의 물을 含有하고 있다. 玉髓는 보통 차트,

프린트에 含有되고 이 岩石은 蛋白石, 玉髓, 隱微晶質, 微小結晶質과 粗粒結晶質 石英, 또는 이들이 조합되어 구성된 것이 많다.

(6) 石英(Quartz)

SiO_2 의 조성을 갖고 실리카 鑛物 중에서 가장 많이 생산된다. 石英은 鱗珪石과 크리스토프라이트와 비교해 結晶構造가 치밀하고 常溫에서 安定狀態로 존재한다. 이 때문에 가장 안정된 광물중 하나로서 알려져 있고, 보통 알칼리 骨材反應을 일으키지 않으나, 극히 미세한 石英, 破쇄變형된 석영, 包有物을 다량 함유한 것 등, 결점이 있는 結晶格子를 가진 石英은 반응성을 갖는다.

4.2 알칼리 反應性 岩石

알칼리 실리카 반응의 반응성 암석에는 4-1에 기술된 반응성 실리카 광물이 包含되어 있다. 표-2는 알칼리 骨材反應의 분류로 부터 拔萃한 것이지만 알칼리 실리카 반응을 일으킬 가능성이 있는 岩石은 상당히 많은 種類가 있다. 그러나 이 표에 포함된 岩石의 種類 모두가 有害한 膨脹反應을 나타내는 것은 아니다. 花崗岩과 片麻岩은 반응성을 나타내지 않는 것이 일반적이고 대표적인 반응성 암석이라 할수 있는 火山유리나 유리질 斑石狀의 암석도 모두가 膨脹反應性인 것은 아니다. 대표적인 火山유리질인 流紋岩質의 珩치스톤이 膨脹反應性인 것에 대해서 유사한 조성의 黑曜岩이 비반응성을 나타낸 예도 있다. 그러나, 동시에 火山유리와 유리질 斑岩狀의 岩石은 반응할 가능성이 있는 것으로 思料되고, 따라서 폭넓은 시험을 행하도록 권장되고 있다. 이와 같이 세계적으로 알칼리 反應性 岩石에 대한 지식은 깊은 듯 하지만, 실상 불명확한 점이 많이 있다. 일본에서 보여진 피해예에서는 鱗珪石을 함유한 安山岩質자갈의 반응성이 지적되었고 1980년대에 피해가 나타난 콘크리트 건축물에는 특정산지의 古銅輝石安山岩이 사용되었고 이것이 반응

표3 JCI알카리 골재 반응 조사연구위원회 판정 시험방법분과회에서 입수한 8종의 반응성 골재

골재	암 종	반 응 성 광 물
1	양회석 안산암	트리디마이트
2	양회석 안산암	(크리스토파라이트), 트리디마이트
3	양회석 안산암	크리스토파라이트
4	사방회석안산암	(크리스토파라이트), (트리디마이트)
5	양회석 안산암	(크리스토파라이트), 화산유리
6	양회석 안산암	크리스토파라이트, 트리디마이트, 화산유리
7	양회석 안산암	크리스토파라이트, 트리디마이트
8	사방회석안산암	크리스토파라이트, 화산유리

리 骨材反應 調査研究員會 判定試驗方法 分科 會에서 공동실험을 실시하기 위해 반응성이 높은 골재로써 1985년에 입수한 8종의 試料를 나타낸 것이다. 이 단계에서 反應性 骨材로써 알려진 것은 火山岩, 특히 安山岩系의 쇄석이 대부분이었다.

安山岩의 石基중 실리카 鑛物의 생성은 암석 형성시의 冷却速度와 관계되어 다음과 같이 說明되고 있다.

安山岩은 일반적으로 실리카에 過飽和된 中性의 火山岩이다. 이러한 암석이 熔融狀態로부터 냉각되는 과정에서 結晶分化 作用이 진행됨에 따라 실리카 함유량이 많은 石基가 남게 되고 이것이 急速冷却된 경우에 化산유리를 조금 천천히 냉각시킨 경우에는 크리스토파라이트와 鱗珪石이 생성된다. 또한 매우 서서히 냉각되는 경우에는 저온조건에서 石英이 생성된다.

安山岩의 반응성은 표-1의 反應性鑛物의 分類에서 I 그룹에 속하는 것이다. 그러나 安山岩에 함유된 실리카의 形態는 동일하지 않으며 安山岩이 반응성인 것은 아니다.

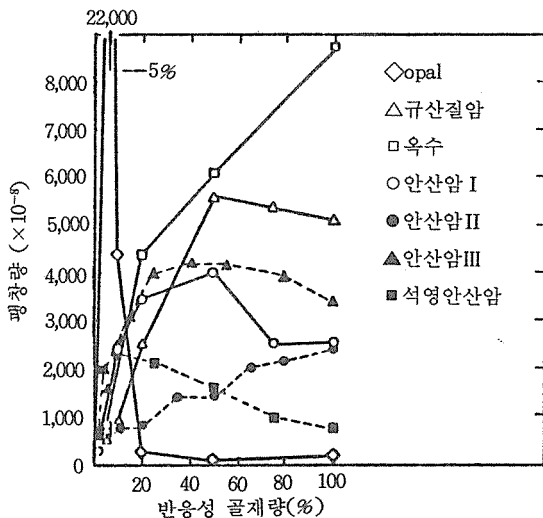


그림-6 각종 반응성 골재의 모르터 시험체 팽창량과 반응성 골재량의 관계

성 골재라고 지적되었다.

표-3에 나타난 반응성을 가진 安山岩에 대해 나타난 표는 일본 콘크리트 공학협회 알카

5. 알카리 骨材反應에 미치는 各種 要因의 影響

(1) 알카리 反應骨材의 種類 및 粒度의 影響

골재의 종류에 의해 반응성이 다르고 反應性 骨材量의 폐시범조건(膨脹이 최대가 되는 조건)이 다르다. 그림-6에 나타나 있듯이 蛋白石의 경우에는 반응성 骨材量이 5%일 때 膨脹량이 최대가 되고 2%以下에서는 거의 膨脹을 나타내지 않는 것에 대하여 珪質砂岩의 경우에는 50%의 경우에 최대가 되는 경향이 있다.

골재의 量만이 아니라 알카리 量에 의해서도 膨脹量은 변화 하지만 알카리 실리카比(알카리 量의 반응성 骨材量에 대한 比)로 정리한다면, 골재의 종류에 따라 膨脹이 최대가 되는 限界 알카리실리카비가 존재한다는 것이 報告되어 있

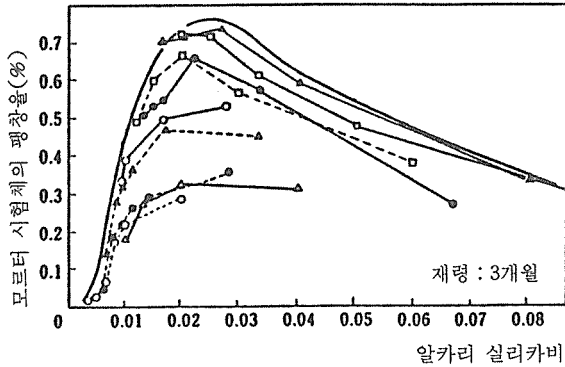


그림-7 알카리 실리카비와 팽창율과의 관계

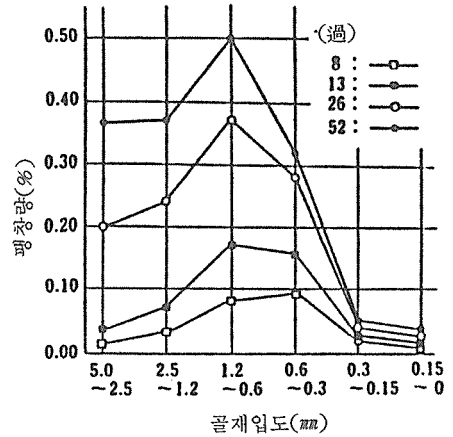


그림-8 골재도입과 팽창율과의 관계

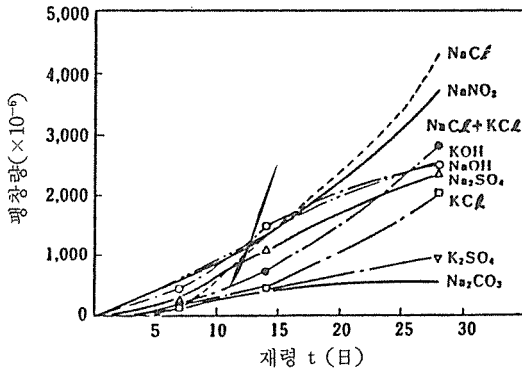


그림-9 각종 알카리 화합물이 모르터시험체의 팽창량에 의해나타난 영향

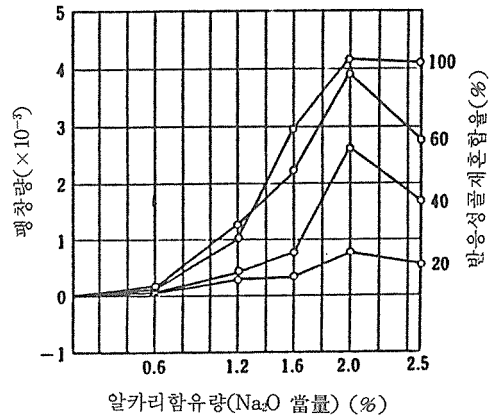


그림-10 알카리량과 팽창량의 관계

다. 그림-7에서 2~3%의 범위가 限界알카리 실리카比가 되는 사누키토이도(Sanukitoid)의 예를 나타낸다. 또는, 골재의 입도에 따라서도 폐시범조건이 있는 것으로 보고되고 있다. 그림-8에서 골재입도의 폐시범조건을 나타내고 있다.

(2) 알카리의 種類 및 量의 影響

알카리 화합물의 종류로 부터 反應性 骨材를 이용한 모르터바의 膨脹量은 각기 다르다. 일반적으로 그림-9에서 나타난 것과 같이 NaCl의 效果가 특히 큰 것으로 나타나고 있지만

NaOH效果도 크다고 報告되고 있다. 알카리 量과 膨脹의 關係는 그림-10에 나타난 바와 같이 폐시범 알카리 量이 존재한다.

(3) 콘크리트 配合의 影響

콘크리트 配合의 影響에 대한 보고는 적지만 콘크리트의 물시멘트比와 공기량의 影響에 대한 海外에서의 研究例를 그림-11및 그림-12에 나타내었다. 이 그림에 나타난 바와 같이 물시멘트比에도 폐시범조건이 있다는 것과 空氣運行콘크리트가 非空氣運行 콘크리트 보다 膨脹이 적은 것이 報告되어 있다.

(4) 溫度 및 濕度の 影響

알카리 骨材反應은 溫度에 관해서도 폐시범 조건이 있고 그림-13에 나타난 바와 같이 濕度 100% RH에서는 온도 40°C일 때 膨脹量이 최대가 된다. 습도의 影響도 크고 그림-14에 나타난 바와 같이 동일한 온도에 있어서도 濕도가 83% RH의 경우와 100% RH인 경우에는 현저히 膨脹量이 다르다.

또한 콘크리트내의 水分移動에 의해 알카리의 移動이 생기고 알카리 濃度の 증대를 고려할 필요가 있다는 것은, 영국의 시멘트 콘크리트 협회의 指針 및 일본 田村의 연구에서도 지적되었고, 이 研究에 의하면 表層部에서는 내부보다 알카리 濃도가 높은 것으로 확인되었다.

지금까지 명확하게 드러난 것은 알카리 骨材反應에 의한 콘크리트의 被害事例는 損傷이 재령 수년에서 발생하는 것이 많고 濕潤과 乾燥의 반복을 받는 상황에서 많은 것으로 알려졌다. 또한 被害가 비교적 표층에서 中止하고 있는 것은 이 현상과도 관련된 것이라 思料된다.

6. 알카리 骨材反應에 관한 試驗方法

골재가 알카리 骨材反應을 일으키는지 일으키지 않는지를 判定하는 試驗方法으로서는 크게 나누어 다음과 같은 3種類의 方法이 있다.

- ① 岩石學的 試驗方法 : 골재내에 반응성의 광물이 함유되어 있는지 없는 지를 현미경 혹은 X線回析 등에 의해서 岩石學的으로 判定하는 試驗方法
- ② 化學的 試驗方法 : 어떠한 鑛物이 함유되어 있는지는 별도로하고, 알카리와 反應하기 쉬운 물질이 어느 정도 함유되어 있는가를 골재의 化學反應性에 의해 判定하는 試驗方法
- ③ 모르터, 콘크리트 供試體에 의한 試驗方法 : 모르터 혹은 콘크리트로 했을 때 비정상적인 膨脹 혹은 變形이 발생하는지의 여부를 供試體에 나타난 非正常的인 性狀

에 의해 判定하는 試驗方法

이러한 試驗方法의 概要를 다음에 소개하겠지만 모두 一長一短이 있으며 이들중 반드시 決定的인 方法이라고 할 수 있는 것은 없다. ③은 상당히 直接的인 것으로 가장 신뢰성이 높은 방법이지만 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 그러나 原石山을 선정할 때와 같이 비교적 시간의 여유가 있는 경우에는 적합하나, 현재 유통되고 있는 골재를 신속하게 判定해야할 필요가 있는 경우에는 적당치 않다. ①은 시간적으로 빨리 判定를 할 때에 적당하지만 地質 및 岩石鑛物學的으로 다양한 骨材가 존재하는 경우에 이 方法만으로 골재의 유해성을 判定하는 것은 곤란하다. ②는 시간적으로 빠른 判定를 할 수 있지만 시험조건이 가혹함으로 無害한 골재도 有害한 반응성이 있는 골재로 誤判할 가능성이 있다.

따라서, 시험의 목적 및 조건에 따라 이들중 가장 적당한 試驗方法을 選定할 필요가 있고 보다 嚴密하게 시험을 행한다면 이러한 시험방법을 몇 개 조합시킨 시험을 행하여 종합적으로 判定하여야 한다.

6.1 岩石學的 試驗方法

(1) 規格試驗

골재의 알카리 반응성을 岩石學的으로 조사하는 방법은 미국, 캐나다, 독일 등에서 규정되어 있고 이들 중 대표적인 것의 概要를 기술하면 아래와 같다.

(가) ASTM C295

미국의 시험방법으로 骨材의 物理的, 化學的 性質을 아는 것, 골재의 구성물을 분류기재하는 것 또한 구성물의 相對量比를 구하는 것을 목적으로 규정된 試驗項目의 하나로서 알카리 실리카 반응, 알카리 炭酸鹽岩反應의 반응성이 있는 골재의 判定, 定量方法이 기술되어 있다. 여기서 얻어진 알카리 실리카반응성 물질에는 蛋白石, 크리스토팔리나이트, 磷珪石, 珪酸質~中性화산유리 등의 광물, 차트, 유리질~隱微結

晶質酸性化成岩, 합성 珪質 유리, 粘土質岩, 千枚岩, 고온에서 변화한 石英을 함유한 암석(千枚岩, 片岩, 片麻岩, 片麻狀花崗岩, 脈狀石英, 珪岩, 砂岩)등 이다. 골재 중에서 이러한 반응성 광물 및 암석이 존재하는가를 판정하는 방법으로 薄片試料의 편광현미경 관찰 및 X線回折을 행하는 것이 기재되어 있다.

(나) CSA A23, 2-15A

캐나다의 規格試驗方法으로 내용은 상술한 ASTM과 동일하다.

(다) DIN 4226

독일에서는 알카리 반응성이 있는 골재가 프린트 및 오팔사암류에 限定되어 있기 때문에 본 규준은 그러한 골재의 反應性を 시험하기 위해 규정되었다. 骨材를 粒度별로 나누어 1~4mm의 것은 NaOH實驗(90°C, 4%액체에 60분간 담금)을, 4~32mm의 것은 먼저 골재를 오팔사암과 프린트로 구분하고 오팔사암에는 NaOH試驗(90°C, 10%용액에 60분간 담금)을, 프린트에는 密度測定을 행하여, 반응성이 있는 岩石量을 구해 有害性を 判定하는 것이다.

(라) ASTM C586

이 미국의 규격시험은 ROCK CYLINDER법이라 부르는 것으로 炭酸鹽岩의 알카리 반응성을 시험하기 위해 規程된 것이다. 이 방법은, 炭酸鹽岩을 分別하여 圓柱狀(9×35mm)으로 整形하고, 24시간 吸水시킨 후에 1N-NaOH용액에 담그고, 이 시간부터의 膨脹量으로 부터 반응성을 판정하는 것이다. 또 이시험을 보다 촉진시키는 방법으로 小型岩石 角柱試驗이라 불리는 방법(3×6×30mm의 각주시험체를, 眞空중에 방치한 후 물속에 담그고, 그 후 2N-NaOH용액에 담가장기변형을 측정한다)도 있다.

(2) 其他 試驗方法

상술한 규격시험이외의 방법으로서 X線의 Back Ground가 높아지는것에 의한 山유리의 검출, 藥品처리와 X線回折에 의한 Cristobalite의 定量法, 결정격자가 변형된 石英에 대한 波動消角法에 의한 方法, Opal이나 Chalcedony와 같은 反應성이 있는 非晶質, 微晶質~隱微晶質

의 실리카 광물에 대한 赤外吸水스펙트럼에 의한 방법 등이 있다.

6.2 化學的 試驗方法

(1) 規格試驗

골재의 알카리 반응성을 화학적으로 조사하는 試驗方法으로서는 이제까지 미국의 ASTM C289가 알려져 있고 세계적으로 많이 이용되고 있다.

(가) ASTM C289

이 방법은 0.15~0.30mm로 입도조정한 骨材를 密閉容器내에 알카리용액(1N水酸化 나트륨 용액)과 함께 넣어 80°C에서 24시간 반응시켜 여과시킨 용액을 0.05규정 鹽酸으로 滴定하여 감소한 알카리 量을 측정함과 동시에 용액중에 녹아 나온 실리카양을 重量法 혹은 吸光光度法으로 측정하여, 이 값을 判定圖에 플롯트하여 골재의 반응성을 판정하는 것이다.

(2) 其他 試驗方法

이상의 규격시험에서는 NaOH 용액을 이용하였으나 콘크리트에 근사한 환경조건에서 더욱이 反應을 촉진시키는 方法으로서 Gel Pat法이라는 試驗方法이 있다. 이 방법은 골재를 물 시멘트비 0.4의 시멘트 페이스트내에 집어넣어, 그 후 Ca(OH)₂ 飽和溶液중에 0.5N정도의 NaOH와 KOH을 첨가한 混合溶液에 담그고 반응생성물의 발생 有無로 암석의 反應性を 判定하는 것이다.

6.3 모르터, 콘크리트 供試體에 의한 試驗方法

시험용 골재가 실제 콘크리트용 골재로 이용될 때 有害한 작용을 하는가를 판정하는 試驗方法으로써 모르터 혹은 콘크리트 공시체에 의한 시험이 미국, 캐나다 등에서 구성하고 있다. 近來 일본에서도 알카리반응성을 나타내는 골재가 존재하는 것이 분명해져 일본 建築學會 및 建設省에서 暫定試驗法을 규정하였다.

(1) 規格試驗

(가) ASTM C227

미국의 이 시험 방법은, 우선 시험대상의 골재로 규정 입도의 모래를 만들어 현장에서 사용하는 시멘트 혹은 될수있는 알칼리량이 많은 시멘트를 사용하여 규정된 플로값을 갖는 모르터를 2배치(Batch) 비빈다. 이것을 이용하여 1×1×11.1/4인치의 길이변형측정용 모르터試驗體를 4개 제작한다. 이공시체를 약 38°C에서 3개월 혹은 6개월 促進 濕潤 養生을 행하는 것이다. 이 試驗方法의 長點은 화학적 방법보다도 실제의 반응성을 嚴密하게 판정할 수 있는 것이지만, 短點으로는 化學的方法보다 많은 샘플(Sample)을 필요로 하고 판정에 대단히 긴 시간이 필요하다는 것이다.

(나) CSA A 23.2-14A

본래 이 방법은 캐나다에서 문제가 되었던 알칼리 炭酸鹽岩反應을 일으키는 組骨材를 ASTM C227의 모르터법으로 정확하게 판정할 수 없었기 때문에 개발된 것이다. NaOH를 添加하여 총 알칼리량을 1.0%로 조정된 시멘트를 사용하여 시멘트량과 슬럼프를 일정하게 한 콘크리트를 비벼 콘크리트 角柱試驗體를 製作하여 약 23°C에서 養生하여 길이변형을 측정한다. 이 시험방법이 장점으로는 實際환경과 유사한 養生條件에 있지만, 역으로 이 때문에 判定에 대단히 장기간을 필요로 하는 것이 단점이 된다. 이와 동일한 시험이 남아프리카와 뉴질랜드에서도 행해지고 있다.

(다) JASS 5 NT-201

이 시험방법은 본래 原子爐등의 콘크리트에 대한 알칼리실리카 反應性 判定試驗으로써 일본 건축학회가 暫定案으로 정한 것이고 기본적으로 ASTM의 모르터 방법과 동일한 방법이다. 사용한 규격은 JIS에서 정한 4×4×16cm이고 시멘트는 그 工事に 사용하는 시멘트를 사용하는 것으로 한다.

(2) 其他 試驗方法

모르터와 콘크리트를 이용한 規格化되지 않

은 많은 試驗方法案이 제안되었다. 이들은 모르터방법과 콘크리트방법의 最大短點인 장시간을 필요로 하는 것과 測定등이 번잡한 점을 개선한 것이다.

촉진 방법으로는 중국의 Tang이 제안한 오토클레이브(Autoclave)에 의한 高溫高壓 養生에 의한 것, 일본의 田村가 제안한 加壓加熱에 의한 것, 덴마크의 Chatterji가 제안한 50°C의 포화 NaCl용액에 담그는 것 등이 있다. Chatterji의 방법은 본래 外部 鹽分의 영향을 알아내기 위한 것이지만 수 주간내에 판정이 가능하다. Tang의 방법과 田村의 방법은 모두 判定에 수일 밖에 걸리지 않고 化學法만큼 빠르지만 보통 콘크리트가 놓여지는 조건과 다르기 때문에 判定에 충분한 배려가 필요하다고 생각된다. 그러나 促進判定도 비교적 좋은 결과가 얻어진다는 報告도 있으며 今後 충분히 研究할 필요가 있는 것으로 思料된다.

또 하나의 개선방향인 측정의 單純化에 대한 것은 특히 콘크리트에서는 측정자체가 매우 번잡한 일이 되기 때문에 지금까지 주류를 이루었던 길이변화 측정을 행하지 않고 龜裂에 대한 觀察만을 행하는 것이었다. 독일에서 개발된 방법에는 30cm 입방체를 40°C에서 濕氣養生하든가, 暴露試驗을 행하든가 혹은 110cm 입방체의 하단 약 1cm를 20°C의 물에 담그고 그 물위의 균열발생을 검사 한다. 영국 시멘트 콘크리트협회의 방법은 10cm 입방체를 23°C의 물에 담그고 龜裂을 검사 한다. 이외에도 남아프리카에서도 동일한 방법이 행하여지고 있는 것 같다. 이 方法에는 측정이 용이하게 함과 동시에 供試體製作이 상당히 수월하지만 時間적으로는 상당히 장기를 요하는 경우가 많다. 이러한 시험은 특별한 施設이 없는 곳에서의 시험에는 적당할지 모른다.

7. 알칼리 骨材反應에 의한 劣化의 特徵

(1) 損傷 發生 傾向

알칼리 骨材反應을 일으킨 콘크리트 구조물

의 損傷은 콘크리트의 龜裂, 표면의 Pop out, 部材의 變形, 실리카 겔의 유출에 의한 표면의 汚染등으로 나타나지만 그 발생상황은 조건에 따라 다른경우가 많다. 또한 동일한 반응성 골재를 사용하여 동일한 콘크리트에 의해 건설된 구조물에도 그 부재가 위치해 있는 환경조건 특히 乾濕條件에 의한 差異가 크게 나타난다.

알카리 골재 반응에 의한 균열은 膨脹現象에 특유한 그물눈 형태 또는 세방향으로 分岐한 Map Crack이라 부르는 균열(그림-14 참조)을 일으키는 경우와 부재의 拘束이 큰 방향으로 균열이 생기는 경우가 있다. 水平方向으로 긴벽과 보에서는 수평방향의 균열을, 파라펫트 등의 윗부분에는 종방향의 龜裂을, 또한 기둥 등 鉛直方向의 拘束을 받는 部材에는 연직방향의 龜裂을 발생시킨다. 건축물에서는 표면마감이 행해진 경우가 대부분이므로 구조, 콘크리트에 생긴 균열이 건축물의 표면부분에 그대로 나타난다고 할 수 없지만, 마감재가 龜裂에 따를 수 없는 경우에 건축물의 表面에 생기는 龜裂의 패턴은 상술한 것과 유사한 傾向을 나타내는 경우가 많다. Pop out은 콘크리트 표면에 원추형으로 콘크리트가 떨어져나간 것과 같은 것을 가리키지만 알카리실리카 반응에 있어서도 때에 따라 발생한다.

部材의 變形은 옹벽과 발코니의 난간벽과 같이 拘束이 적고 얇은 벽모양의 부재에서 表面과 내부의 濕潤 狀態와 온도조건이 다른 경우에 많이 발생된다. 이 경우 알카리 骨材反應에 의한 콘크리트의 膨脹量의 差 및 拘束 條件의 차에 따라 부재에 현저한 뒤틀림, 變形등을 일으킨다.

또한 반응에 의해 생긴 白色의 겔상태의 물질이 콘크리트의 龜裂部分으로 부터 유출되어 表面을 汚染시키는 경우도 많다.

이상과 같은 알카리 骨材反應에 의한 劣化의 진전속도 및 損傷의 발생시기는 기상조건, 환경조건, 부재의 크기, 콘크리트의 품질, 시공 및 양생 정도에 의해 差異가 생긴다. 그림-15는 실험실에서 모르타바의 膨脹과 실제 도로교

량의 균열 진전 및 콘크리트 구조물의 劣化 進展 모델을 나타낸 것이다. 즉 알카리 骨材反應에 의한 劣化 損傷은 콘크리트구조물의 완성 후 바로 생기는 것이 아니라 통상 2~3년 경과 후 나타나기 시작하고 5~10년간은 상당한 劣化가 진행되지만 반응이 어느정도 진행하면 劣化의 進行은 상당히 완만하게 되는 것이 過去의 被害事例 및 實驗結果로 부터 알 수 있다.

(2) 構造耐力

알카리 骨材反應에 의한 被害를 입은 건축물의 내력에 대해서는 實驗例가 없기 때문에 명확한 것은 말할수 없지만 토목 구조물에서는 실제로 반응을 일으킨 橋脚에 垂直荷重(設計荷重의 약 80%)을 작용시켜, 보의 鉛直方向의 처짐을 측정한 예가 보고되어 있다. 이에 의하면 알카리骨材作用을 발생한 橋脚의 보의 처짐은 건전한 橋脚과 거의 同等하였다. 또한 철근 콘크리트보 시험체의 휨시험결과에 따르면 반응성 골재를 이용하여 龜裂을 발생시킨 철근 콘크리트는 非反應性 骨材를 이용한 것 혹은 反應性 骨材를 이용한 경우에 균열 발생전의 것에 비해 내력의 저하는 확인되지 않고 초기 剛性도 同等하거나 오히려 약간 크게되는 傾向을 나타내고 있다. 알카리 骨材反應을 일으킨 콘크리트 供試體의 역학적 성질은 건전한 콘크리트의 경우에 비해 낮고 특히 靜彈性 係數는 그 저하가 壓縮強度보다 크지만 철근 콘크리트 부재에 있어서 내력상의 저하가 나타나지 않는 것은 알카리 골재반응에 의한 콘크리트의 膨脹에 따라 부재에 Chemical Prestress가 생기기 때문이라고 思料되고 있다. 전단 내력에 있어서는 아직 시험예가 없지만 균열이 특히 크지 않다면 큰 내력 低下는 없다고 思料된다.

(3) 建築物에 생긴 損傷의 判定

(가) 建築物 表面

(a) 龜裂

알카리 骨材反應이 발생하면 콘크리트에는 균열이 발생하지만 龜裂의 원인에는 알카리 골

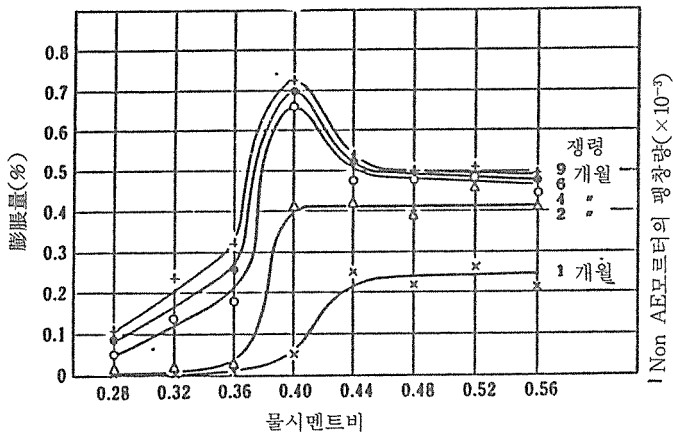


그림-11 물시멘트비와 팽창률의 관계 팽창률(%)

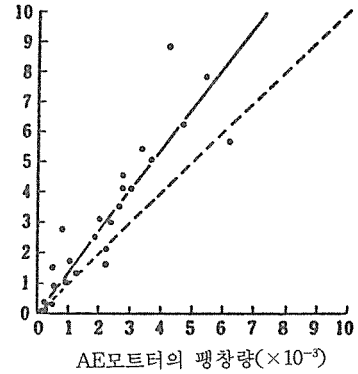


그림-12 공기량과 팽창과의 관계

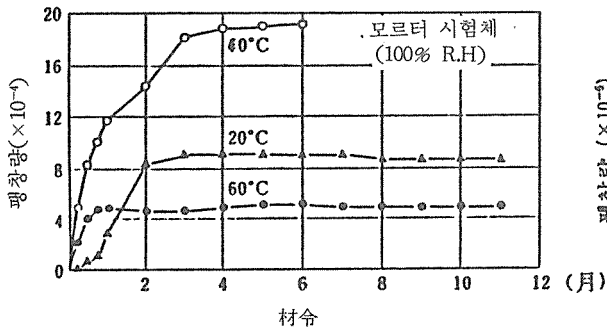


그림-13 온도와 팽창률의 관계

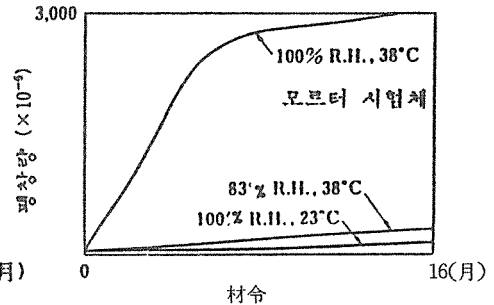


그림-14 온도, 습도와 팽창률의 관계

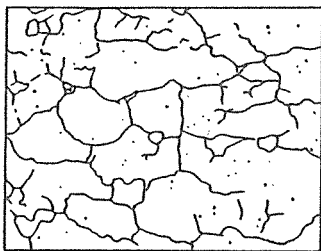


그림-15 알카리 골재반응에 의한 콘크리트 표면의 균열(전형적인것)

재반응 외에 많은 것이 있다. 표-4는 알카리 골재반응에 의한 균열과 다른 原因에 의한 균열의 類似点과 差異点을 나타낸 것이다.

(b) Pop Out

Pop Out에 대해 일본에서는 土木 構造物에 알카리 골재반응에 의한 미심쩍은 예가 報告되어 있지만 건축물에서는 아직 보고된 예가 없다. 반응성 골재 이외로 Pop Out을 일으키는 것으로는 輕石, 蛇紋岩, 濁沸岩 등이 있다.

(c) 部材의 變形

부재의 변형에는 콘크리트 體積 變化에 따른 變形과 體積 變化를 수반하지 않는 荷重, 外力에 의한 변형이 있다. 모든 부재에는 변형의 種類에 대응하는 龜裂이 생긴다. 부재의 변형이 알카리 골재반응에 의한 것인가 어떤 것인가는 변형이 體積 膨脹에 의한 것이고, 또한

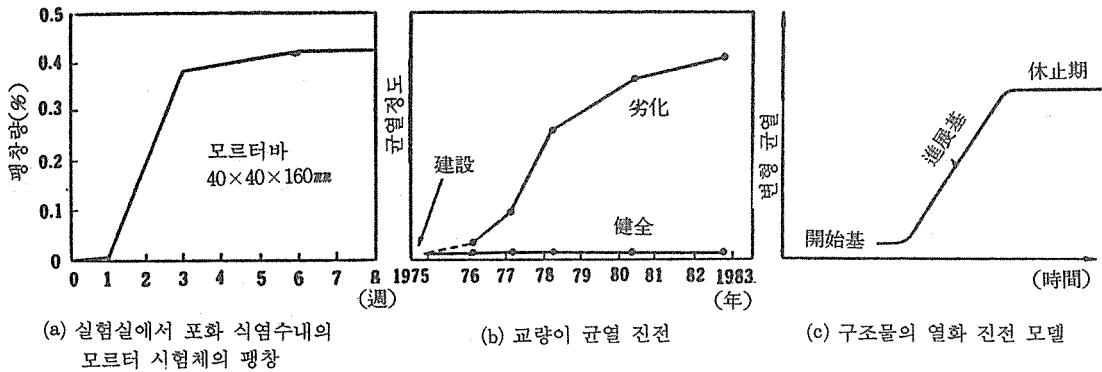


그림-16 알카리 骨材反應에 의한 콘크리트의 劣化 進展

그에 대응한 龜裂을 확인할 필요가 있다. 예를 들면 익스펜션조인트의 코킹재가 튀어나와있는 경우 부재는 분명히 膨脹하고 있는 것이지만 龜裂이 확인되지 않는 경우에는 그 膨脹은 熱膨脹에 의한 것으로 알카리 骨材反應에 의한 것이라 생각할 수 없다.

(d) 白色 겉 狀態의 物質

반응 生成物인 실리카겉의 유출에 의한 콘크리트 표면의 汚染은 알카리 骨材反應을 판정하는 한 개의 유력한 判斷材料가 되고있다. 이와 유사한 것으로 炭酸칼슘이 있지만 모두 空氣中에서는 白色을 나타내기 때문에 시각적으로 兩

쪽의 구별은 곤란하다.

(나) 콘크리트 内部

균열을 발생하고 있는 部分의 콘크리트를 때에 내거나 콘크리트 코어를 채취한 경우에 콘크리트 파단면에 나타난 손상의 특징은 다음과 같다.

(a) 骨材의 變色 및 龜裂

콘크리트 파단면의 골재 주변이 검게 變色되어 있는 경우에는 反應에 의한 變色の 가능성이 있다. 골재의 변색은 風化에 의해서 생기기 때문에 변색 모두가 알카리 골재반응을 意味한

표 4 알카리 골재반응에 의한 균열과 기타 균열과의 비교

균열의 원인	알카리 골재반응과의 유사점	알카리골재반응과의 상위점
하중 외력	—	기 등 : 경사방향 보 : 중앙부 하단 스라브 : 주변부
건조 수축	지도상으로 생기는 것이 많다. 마감재만의 경우의 건조수축은 지도상이 많다.	부재축에 직교방향
철근 부식	팽창성의 균열로써 피복이 두꺼운 경우 축방향의 균열(단지, 부재외측의 주근에 연해)	피복이 얇은 경우 녹의 발생 쉽다. 또한 철근에 따라 긴 타원형으로 된다.
凍 害	팽창성균열로써 패턴이 유사	겨울~봄에 열화가 진행

다고 할 수 없다. 반응성 골재 주변의 변색부분은 반응림(rim)이라 한다. 骨材의 種類에 따라서 반응림이 보이지 않는 것도 있다. 반응림을 갖는 骨材는 내부에 龜裂을 일으키는 경우가 있고 그 龜裂은 골재주변의 모르타르매트릭스에 연속으로 分布한다. 龜裂이 발생된 骨材는 무르고, 모르타르매트릭스로부터 抽出하면 얇은 조각 상태로 떨어지는 것도 있다. 반응림이 확인되어도 모르타르매트릭스의 龜裂이 골재에 연속되지 않는 경우에는 콘크리트의 龜裂을 알카리 骨材反應에 기인한 것이라고 판단할 수 없다.

(b) 透明하고 白色인 겔 狀態의 物質

콘크리트 파단면의 골재 내부와 모르타르매트릭스의 空隙과 龜裂에는 백색 겔 상태의 물질이 발견된다. 코아를 採取해 습한 공기중에 방치하면 반응성 골재의 표면에는 투명한 겔이 생성되고 이 겔을 乾燥시키면 백색으로 변한다. 이 겔이 알카리 실리카겔인지 어떤지의 확인에는 赤外分光分析을 행하여야 한다.

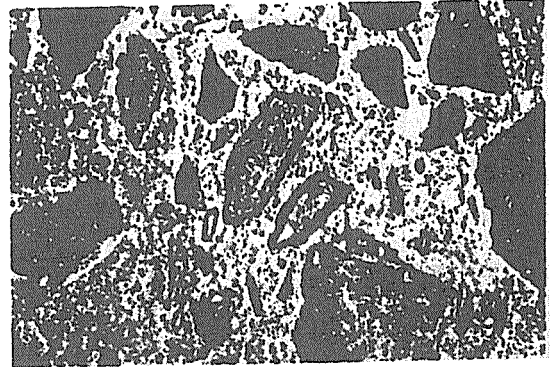


사진1 반응한 림(rim)

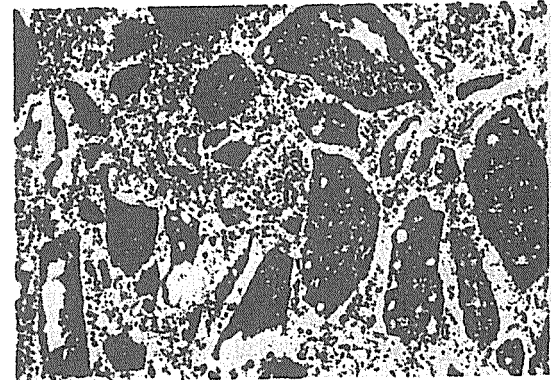


사진2 용출된 겔

8. 알카리 骨材反應의 抑制對策

알카리 실리카반응에 의해 유해한 膨脹이 생기기 위해서는 세 개의 條件이 동시에 成立하는 것이 필요하다.

- (1) 어느 정도의 反應性 骨材가 존재할 것
- (2) 시멘트 페이스트의 微小 空隙 내에 충분한 水酸化알카리용액이 존재할 것
- (3) 콘크리트가 多濕혹은 濕潤의 환경하에 있을 것

온도의 영향도 크지만 여기서는 실제 환경하의 상온 범위에서 (3)에 부수하여 생각하였다. 이 조건을 도식적으로 나타낸다면 그림-16이 된다. 알카리 실리카反應抑制對策은 이 조건 내에서 적어도 한 개의 조건을 除去하는 것이 기본이 된다. 알카리 骨材反應의 抑制策으로는 아래의 4항목이 있다.

- (1) 알카리 골재 반응에 대해 無害라 판정된

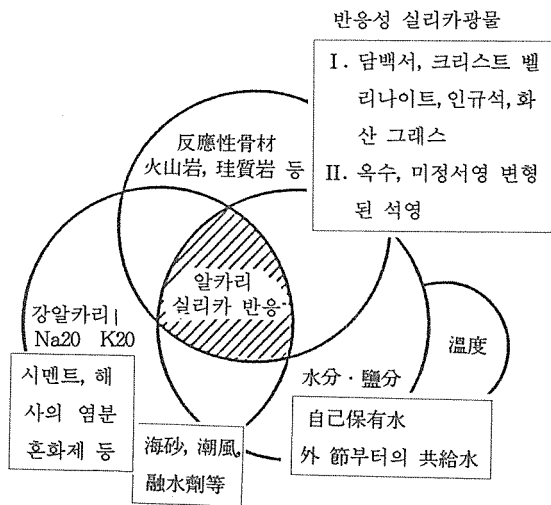


그림-17 알카리 실리카 반응의 발생조건

골재를 사용한다.

- (2) 低알카리형의 포틀란트 시멘트(Na_2O 當量 0.6%이하)를 사용한다.
- (3) 보통의 포틀란트 시멘트를 사용한 경우 콘크리트 1m^3 당 알카리 총량을 Na_2O 當量으로 3kg 이하로 한다.
- (4) 高爐시멘트 B, C種, 플라이 애쉬 시멘트 B, C種으로 알카리 骨材反應의 抑制效果가 확실한 것을 사용한다.

이 抑制策은 전술한 알카리 실리카 반응이 발생하는 이유의 3가지 조건중 (3)을 除外한 두 조건을 指針化한 것이다. (3)의 수분 조건은 콘크리트가 놓여지는 조건에 의해 현저하게 다르므로 다양한 用途를 갖는 콘크리트를 一律적으로 규제하는 것이 곤란하여 指針化되어져 있지 않다. 그러나 이 조건은 실제 구조물이 놓여진 조건에서 損傷을 최소화 하기위한 對策, 損傷이 생긴 경우의 補修對策을 고려함에 있어 重要하다.

알카리 骨材反應에 대해 무해한 골재를 사용한다는 (1)의 대책은 근본적인 알카리 골재반응 방지대책이다. 化學法, 모르타바법 어느시험으로도 무해하다고 판정된 골재를 사용한다. 골재의 試驗結果로부터 실제 구조물의 被害정도를 명확하게 판정하는 것은 곤란하다. 동시에 품질이 좋지 못한 골재라고하는 지금까지의 概念과 골재의 反應性과는 반드시 對應하는 것은 아니며 반응성이 있다고 판단된 골재에 대해서도 그 유효 이용을 꾀할 필요가 있다. 이 경우에는 주로 高알카리 條件의 억제에 관련된 (2), (3), (4)의 對策이 필요하게 된다. 콘크리트의 총 알카리량의 規制는 미국, 영국을 비롯하여 많은 나라에서 適用되고 있고, 알카리 骨材反應의 抑制에 유효한 手段이 된다. 이 경우 시멘트의 알카리量만은 아니고 海砂에 부착된 鹽分에 기인한 알카리, 혼화제에 포함된 알카리도 계산되지 않으면 안된다.

Na_2O 當量 0.6%이하의 시멘트를 사용한 경우 알카리 실리카 반응에 의한 유해한 膨脹을 일으킬 우려는 극히 적은 것으로 思料된다. 이

때문에 포틀란트 시멘트의 ASTM, JIS규격에서는 알카리量 0.6%(Na_2O 當量)以下를 보증한 低알카리형 시멘트를 規定하고 있다. 이러한 低알카리시멘트를 사용한다는 것은 총 알카리의 規制가 관련된다. 단위 시멘트량을 $350\text{kg}/\text{m}^3$ 로 하면, 0.6%의 알카리에서는 시멘트로 부터 알카리는 $2.1\text{kg}/\text{m}^3$ 가 되며 $3\text{kg}/\text{m}^3$ 의 總量規制 값에 대해 여유가 있게 된다.

플라이 애쉬등의 포졸란, 고로 슬래그의 사용에 의한 抑制 對策은 효과적인 방법이지만 그 효과는 재료의 종류, 성질 및 혼입률에 의해 변화하는 것으로 알려져 있다. 混入率이 낮은 경우는 그 效果가 충분히 나타나지 않을 뿐더러 역으로 膨脹을 증대시키는 경우가 있어 신중한 對應이 필요하다. 일본에서 1986年 10월에 改定된 JIS A 5308(레드믹스트콘크리트)에서는 附屬書 6에 전술한 低알카리 시멘트의 사용, 알카리 총량의 규제에 의한 抑制對策외에 고로시멘트 B종 및 C종을 사용하는 것으로 대책을 제시하고 B종 고로시멘트에서는 슬래그의 量이 50%정도 以上이 되는것이 요망된다고 하고 있다.

근본적인 알카리 골재반응의 防止對策인 (1)의 경우를 除外하고 이들 對策은 鹽分에 의한 外部로부터 침입한 알카리의 존재를 전제로하지 않는다. 외부로부터 알카리가 침입할 念慮가 있는 조건하에서는 대응에 注意가 필요하다.

9. 알카리 骨材反應에 의한 被害補修 方法

알카리 골재반응에 의해 피해를 받은 건물의 補修 目的은 2가지로 크게 분류된다.

- (1) 알카리 骨材反應의 進行을 防止한다.
- (2) 알카리 骨材反應에 의해 생긴 被害가 다른 콘크리트의 劣化를 促進하는 것을 防止한다.

(1)에 대해서는 알카리 골재반응을 진행시키는 요인의 하나를 제거한다면 좋지만 가장 現

實의인 方法으로서는 콘크리트에 水分을 供給하지 않거나 또는 콘크리트내의 水分을 減少시키는 것이다.

(2)에서는 알카리 골재반응에 의해 생긴 龜裂이 물과 空隙의 浸透에 의한 다른 劣化, 예를 들면 철근부식, 中性化, 凍害, 漏水등의 2차적인 劣化를 불러 일으켜 이것이 콘크리트 구조물의 耐久性 저하와 구조내력 저하를 일으키지 않도록 균열을 보수하는 것이다. 따라서 알카리 골재반응이 발생한 건물의 보수는 이 兩者를 만족시키지 못한다면 충분하다고 할 수 없다. 그러나, 예를 들면 알카리 골재반응이 어느 정도 完了된 콘크리트의 경우에는 (2)만의 보수로 충분하다. 단, 현 단계에서는 알카리 골재반응이 완료되었는지의 判斷이 곤란하고 또한 건축물의 환경조건에 의해서는 飛來鹽分의 浸透에 의한 콘크리트내의 알카리량의 증대도 憂慮되므로 當面한 양자에 대한 대책을 강구하는 것이 필요하다.

알카리 골재반응에 의해 생긴 龜裂의 補修方法은 일반 보통 균열의 경우와 동일하게 생각하여도 좋으며 일반적으로는 樹脂注入이 행해지고 있다. 건축물에 있어 알카리 골재 반응에 의한 龜裂의 발생상황에 대해서는 아직 충분한 자료가 없지만 보수하여야 하는 龜裂은 콘크리트의 龜裂補修에 관한 각종 指針을 參考함으로써 그 폭의 크기로 부터 판단하여 보수를 실시하는 것이 타당하다.

알카리 골재 반응에 의한 膨脹을 抑制하기 위한 補修方法으로서는 각종 防水材에 의한 補修가 시험되고 있다. 이것은 알카리 골재반응을 일으키는 原因의 하나가 되는 수분을 콘크리트에 공급하지 않기 위하여 행하여지는 것이지만 보수의 효과에 대해서는 반드시 명확한 것은 아니다. 이것은 방수제의 遮水効果와 더불어 보수시의 콘크리트의 含水狀態가 영향을 미치고 있기 때문이라고 사료된다. 실제 부재에서 콘크리트 함유상태는 보수시에 콘크리트에 함유된 물 외에 보수후 부재의 환경조건에 따라 방수제를 透過하여 들어온 물과 방수제를 施工

하지 않은 부재로 부터 浸透해온 물에 의해 복잡하게 변화한다. 따라서 방수제에 의한 補修를 행하는 경우에는 이러한 콘크리트의 含水狀態變化를 고려하여 적절한 材料를 選定하는 것이 중요하다. 일반적으로 防水材는 외부로 부터의 水分浸透를 방지함과 동시에 콘크리트 내부의 수분이 蒸發되지 않지만 실란계의 재료는 콘크리트 내부의 수분을 蒸發시키기 때문에 알카리 骨材反應에 의한 膨脹抑制이 가능성이 주목되고 있다.

10. 國內外 現況

日本에서는 1983년경부터 알카리骨材反應에 의한 콘크리트 構造物의 피해가 海砂問題와 더불어 콘크리트 구조물의 耐久性을 沮害하는 것으로 T.V에 보도됨에 따라 社會問題化되어 일반市民에게도 콘크리트에 대한 不信을 주게 되었고 건설업계에 커다란 충격을 주었다.

이무렵 부터 일본에서는 알카리골재반응에 대한 관심이 高潮되어 많은연구와 調査가 이루어지게 되었다. 종래 알카리골재반응의 시험으로서 ASTM의 방법에 준하여 행해지고 있었으나 일본에서 최초로 규정되기 시작한 것은 日本 建築學會「建築工事 標準 仕様書 JASS 5N (原子力 發電所 施設에 있어서 철근 콘크리트 工事)」14節「試驗」에 JASS 5NT-201골재의 반응성 시험방법이다. 이 시험방법은 기본적으로 ASTM C227과 동일 시험방법이며 일본에서 사용되고 있는 試驗裝置와 方法을 고려하여 試驗體의 형상, 치수 및 온도등을 약간 변화시키고 있다. 또한 그 후 일본 건설성에서는 시험방법으로서 화학적 방법 및 모르터 시험체법에 대한 暫定案이 通達되었고 이에따라 JIS A5308(레디믹스트 콘크리트)에서는 1986年 10月부터 알카리 골재반응 억제대책 및 염화물 총량규제를 포함한 개정이 이루어져 JIS本文 및 附錄書에 알카리 骨材反應 抑制對策과 골재의 알카리 반응성 시험방법이 규정되었다. 또

한 알카리 골재반응에 관한 第 8回 國際會議가 1989年 7月 京都에서 開催되어 전 세계로부터 많은 참가와 발표가 행해졌다. 국내에서의 알카리 반응성 골재에 관한 연구는 全無하다시피 하고 있으며 國內産 골재에 대한 알카리 반응성 興否에 대한 情報은 극히 제한되어 있다.

이러한 연구의 基礎資料를 만들기 위하여 1986年 全國의 레미콘 공장을 대상으로 행해진 骨材調査結果에 의하면 攪拌槽의 사용이 점차 增加하고 있으며 海砂도 일부 地域에서 사용되고 있음이 밝혀졌다. 또한 雙龍洋灰 中央研究所에서 행해진 國內石山骨材의 알카리 반응조사 결과에 의하면 국내 碎石 골재원 50개소에서 採取한 골재에 대한 XRD, ASTM C289(화학적 방법), ASTM C227(모르타바법)에 의한 실험 결과 화학적 방법으로서의 신탄진 향산 석산 골재 한 개만이 有害한 結果를 나타냈으나 모르타 시험체법에 의한 結果 無害한 것으로 판명되었다고 보고하고 있으나 이러한 결론은 이 문제에 관하여 잘못된 인식을 심어줄 가능성이 있으므로 전국 碎石 骨材에 대하여 좀더 包括的이고 세밀한 조사가 필요하다고 하겠다. 또한 KS規格에는 ASTM의 시험방법을 그대로 引用하여 規定하고 있으나 이것은 국내의 반응성 골재 有無에 따라 이에 적합한 방법으로 개정되어야 할 것이다. 알카리 골재 반응은 콘크리트 암(cancer)이라고도 일컬어지며 아직도 損傷에 대한 補修方法조차 確立되어 있지 않는 것이 현상이나 우리나라에서도 이러한 害를 미연에 방지하기 위한 努力을 게을리해서는 안 될 것이다. 이를 위하여 전국에서 생산되고 있는 碎石골재에 대한 反應性 有無調査를 실시하고 이에 대한 對策을 講究하여야 할 것이다.

參 考 文 獻

- 1) 「콘크리트 技士研修 テキスト」日本「콘크리트工學協會」
- 2) 日本建築 センター「콘크리트의 鹽化物 總量規制と アルカリ 骨材反應對策」
- 3) 日本 콘크리트 工學協會「콘크리트 工學」特集 알카리 骨材反應 1986, 6, 11, vol. 24, No.11
- 4) 尹在煥「알카리 骨材 反應에 의한 콘크리트의 異常膨脹」레미콘 1986, 6, pp. 9~22
- 5) 尹在煥「알카리 실리카 反應에 의한 膨脹이 콘크리트의 強度에 미치는 影響」大韓建築 學會, 學術發表論文集, 第 6 卷, 第 1 號, 1986 年, 4 月, pp.458~488
- 6) 岸谷孝一, 尹在煥「유리質 斜方輝石安山岩의 알카리 실리카 反應性」大學建築學會, 學術發表論文集, 1985年, 9月, pp. 437~440
- 7) T. E. Stanton, Influence of Cement and Aggregate Reaction on Concrete Expansion, Engineering News Record, Feb. 1940, pp. 171-173
- 8) H. E. Vivian, Alkali-Aggregate Reaction, Symposium on Alkali-Aggregate Reaction, Preventive Measures, Reykjavik, Aug. 1975, pp. 21-34
- 9) W. J. French, Reaction Between Aggregates and Cement Paste-An Interpretation of the Pessimism, Q. J. Eng. Geol. London, 1980, Vol. 13, pp. 213-247