

2.1 실험재료

本研究에서 사용된 骨材는 제1보에서 사용한 國內 産 火成岩系 骨材 2種으로 하였으며, 시멘트는 自體 알칼리량 0.724%를 含有한 T사 製品을 사용하였다 (표 1참조). 모르터바를 製作하는데 있어서 등가알칼리량의 조절은 NaOH, KOH 및 NaCl로 하였다.

표 1. 시멘트의 化學成分

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	In Sol.	Loss
21.43	3.04	6.07	63.67	2.47	2.3	0.076	0.985	0.13	0.75

2.2 실험방법

ASTM C 227(모르터바法)에 따라 다음 표 2의 配合으로 各各의 조건마다 3개씩 모르터바를 제작하여 40℃, RH>95%의 밀폐저장용기에 보관하였으며, 모르터바의 길이팽창율은 2주에 한번씩 길이를 측정하여 계산하였다.

표 2. 配合條件

骨 材	A종		B종	
骨材混入率(%)	100			
A/C	2.25			
W/C	0.5			
添加알칼리 및 Na ₂ O eq.(%)	NaOH	0.8, 1.2, 1.6, 2.0	NaOH	1.2, 1.6, 2.0
	KOH	0.8, 1.2, 1.6		
	NaCl	0.8, 1.2, 1.6		

3. 實驗結果 및 考察

3.1 Na₂O eq.의 影響

모르터바의 膨脹에 등가알칼리량이 미치는 영향에 대한 실험결과를 그림 1에 나타내었다. A골재로 제작된 NaOH이 添加된 모르터바(이하 NaOH로 表記), KOH이 添加된 모르터바(이하 KOH로 表記) 및 NaCl이 添加된 모르터바(이하 NaCl로 表記)는 6개월에 0.1%以上の 膨脹을 有害로 하는 ASTM C 227의 規定에 따르면 Na₂O eq.=0.8~2.0% 모두 有害로 判定을 할 수 있다. 그러나 B골재로 제작된 모르터바의 경우 Na₂O eq.가 增加할 수록 팽창이 증가하나 그 量이 미비하고 6개월에 0.1%未滿의 팽창을 보임으로 無害로 判定된다.

그림 1에서 NaOH, KOH 및 NaCl의 경우 critical Na₂O eq.를 구하려 했으나 Na₂O eq.=0.8%에서도 6

개월에 0.1%以上の 길이팽창을 했으므로 그 精確한 값은 알 수가 없다. 그러나 自體의 Na₂O eq.가 높은 시멘트의 使用으로도 알칼리-실리카 反應으로 인한 異常膨脹이 發生할 가능성이 높을 것으로 사료된다.

또한 그림 2에서 A골재로 제작된 모르터바의 팽창량은 낮은 알칼리량에서는 서서히 팽창하여 反應速度가 느리게 나타나나 3개월 以後 6개월까지도 계속 팽창량이 증가함을 알 수 있다. 그러나 알칼리량이 많아지면 反應速度가 빨라 초기에 높은 팽창량을 보이거나 5개월 이후는 팽창이 거의 멈춘 상태를 나타낸다.

A골재를 함유한 모르터바의 팽창에 비해 B골재를 함유한 모르터바의 팽창이 적은 이유는, 표 3의 ASTM C 289(화학법)에 따른 시험결과, 실리카의 量을 A골재에 비해 B골재가 적게 함유하고 있으므로 나타난 결과라고 推定된다.

표 3. 化學法 實驗結果

骨材種類	溶解실리카量 (Sc) (mmol/ℓ)	알칼리농도 減少量(Rc) (mmol/ℓ)	判 定
A	121.99	87.50	有 害
B	72.15	42.50	有 害

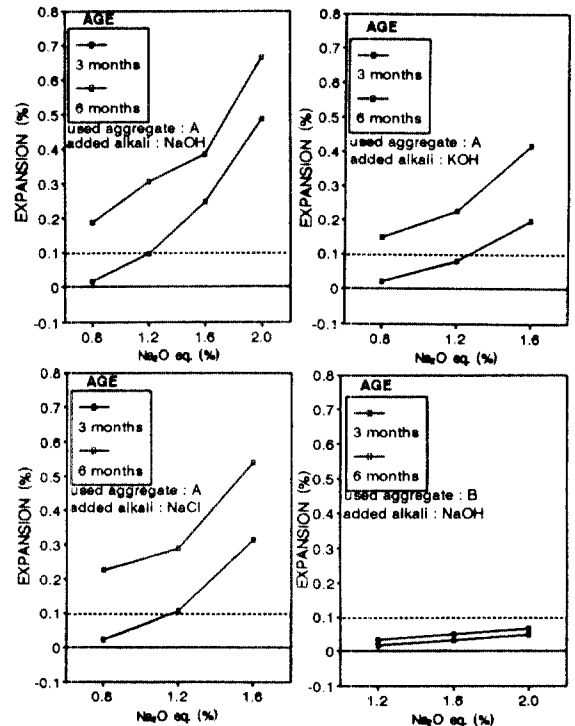


그림 1. 알칼리의 種類 및 알칼리량이 모르터바의 膨脹에 미치는 影響

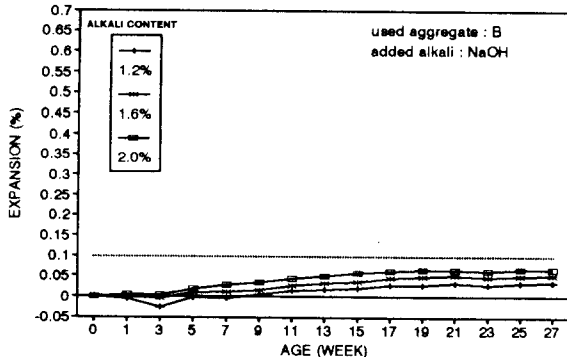
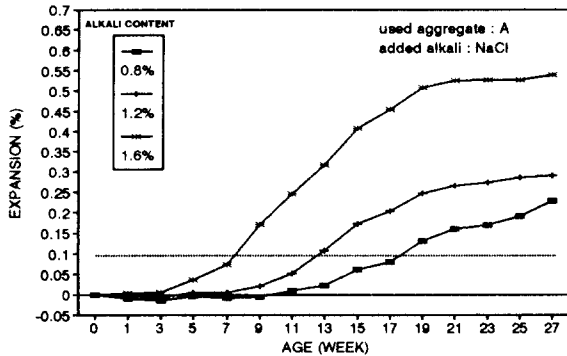
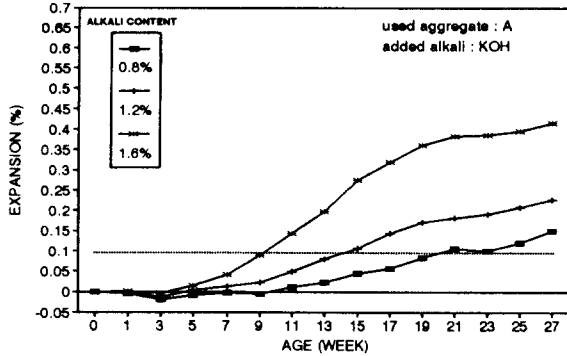
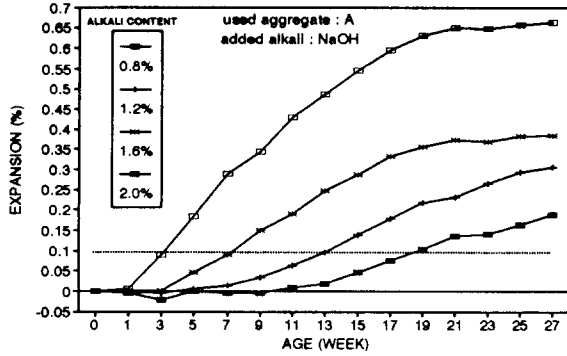


그림 2. 각 재령에 따른 알칼리량과 모르터바 길이 팽창률과의 관계

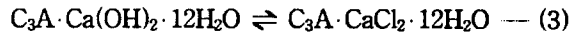
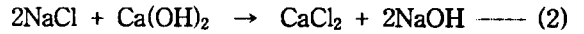
3.2 添加 알칼리種類的 影響

등가알칼리량을 調整하기 위해 添加되는 알칼리의 種類가 모르터바의 膨脹에 미치는 影響에 대한 實驗結果를 그림 3에 나타내었다.

같은 Na_2O eq.일 경우 대체적으로 NaCl 이 NaOH 나 KOH 보다 팽창량이 많음을 볼 수 있다. 여기에 대한 理論으로서 가장 有力한 것은 CaSO_4 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 및 C_3A 를 含有한 시멘트페이즈트의 水和過程에 있어서 다음 식(1)에 따라 mono sulphate와 $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 가 반응하여 固溶體를 生成한다는 것이다.



따라서 NaCl 이 添加되면 Cl^- 이온이 固定化되고 OH^- 이온이 增加하는 다음과 같은 이온置換反應에 의한 것으로 推論된다. 다시 말하면 Cl^- 이온은 固定化되고 Na^+ 이온은 固定化되지 않아 다음 식(2)에 따라 CaCl_2 이 生成되어 다음 식(3)에 따른 이온置換에 의한 것으로 考慮된다.³⁾⁴⁾⁵⁾



Na_2O eq.=1.6%에서 NaCl 이 NaOH 와 KOH 보다 높은 膨脹을 보이고 있으며, NaOH 와 KOH 를 비교하여 보면 재령 3개월에서 KOH 보다 NaOH 가 더 많은 膨脹을 보이고 있으나 그 以後 KOH 가 急速한 膨脹을 하여 재령 6개월에서 NaOH 보다 KOH 가 높은 膨脹을 보이고 있다. 재령 3개월의 Na_2O eq.=1.2%에서는 NaOH 가 NaCl 에 비해 적은 膨脹을 보이거나 재령 6개월에서는 NaOH 가 NaCl 보다 조금 높게 膨脹했음을 알 수 있다.

3.3 모르터바의 SEM觀察

사진 1~9는 A種 골재를 含有한 모르터바 中에서 各 添加 알칼리별로 가장 높은 팽창을 보인 모르터바의 表面龜裂 및 表面과 內部の 反應生成物을 SEM攝影한 것으로서 알칼리-실리카 反應에 의한 반응生成물 즉, 알칼리-실리케이트겔을 나타낸다. 表面으로 浸出되거나 內部的 細孔으로 스며든 알칼리-실리케이트겔의 形狀은 전형적인 알칼리-실리카 反應의 1次 反應生成物인 massive gel을 나타내고 있으며, 2次 反應生成物인 spongy gel도 觀察되었다.

그 反應生成物을 分析한 結果, NaOH 와 NaCl 에서 觀察된 反應生成物에서는 Na^+ , Si^{4+} , K^+ 및

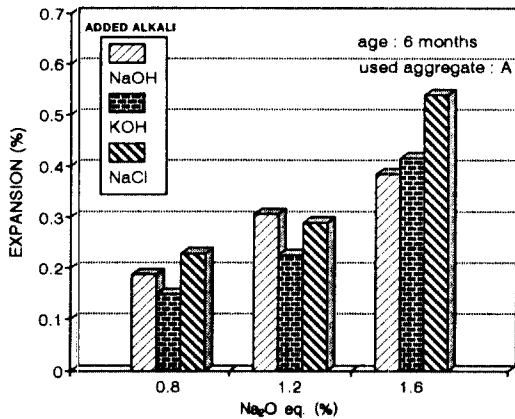
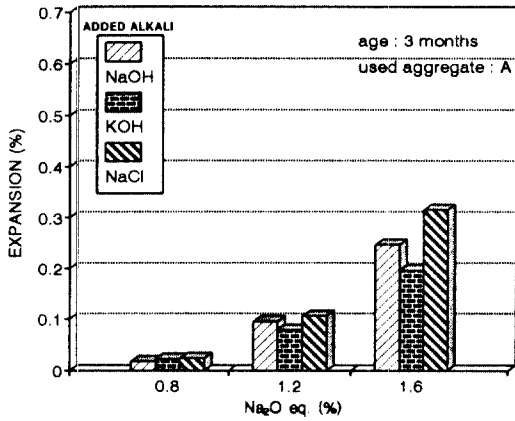


그림 3. 添加알칼리에 따른 모르터바의 膨脹

Ca²⁺이온이 檢出되었으나, KOH에서 관찰된 反應生成物에서는 Na⁺성분은 檢출되지 않고 Si⁴⁺, K⁺ 및 Ca²⁺이온이 檢출되어 添加 알칼리에 따라 그 成分이 달리 檢出되었다. 그러나 反應生成物의 모양은 사진 4~9에서와 같이 서로 類似한 1次 및 2次 反應生成物의 形狀을 하고 있을 뿐만 아니라 알칼리 금속이온과 실리카가 檢출됨으로써 알칼리-실리카 反應에 의한 反應生成物임을 알 수 있다.



사진 1. 모르터바(NaOH) 表面의 龜裂

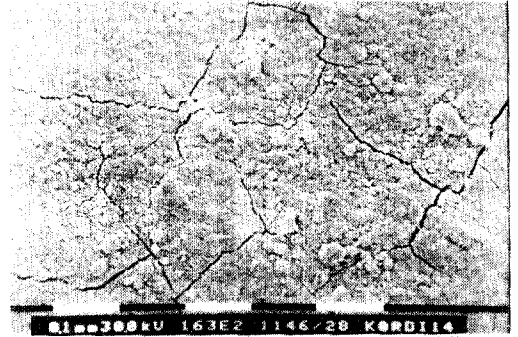


사진 2. 모르터바(KOH) 表面의 龜裂

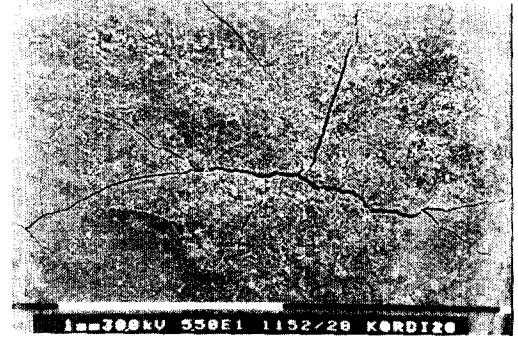


사진 3. 모르터바(NaCl) 表面의 龜裂

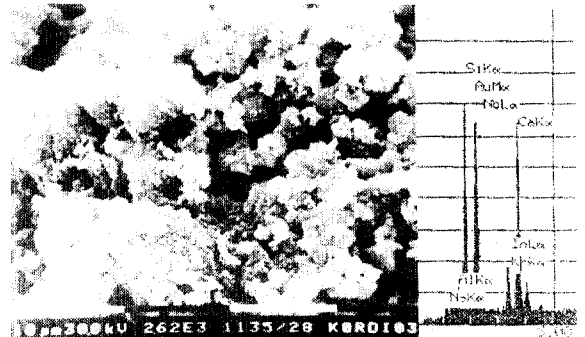


사진 4. 모르터바(NaOH)의 表面으로 浸出한 反應生成物 및 成分分析

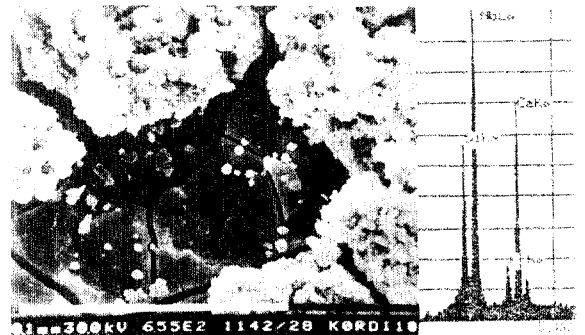


사진 5. 모르터바(KOH)의 表面으로 浸出한 反應生成物 및 成分分析

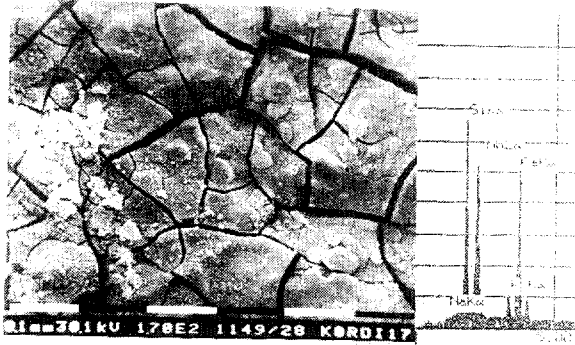


사진 6. 모르터바(NaCl)의 表面으로 浸出한 反應生成物 및 成分分析

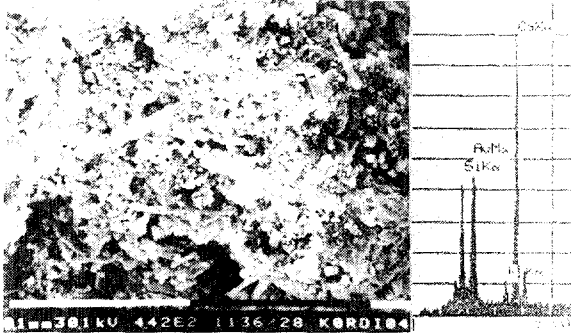


사진 7. 모르터바(NaOH) 内部의 反應生成物 및 成分分析

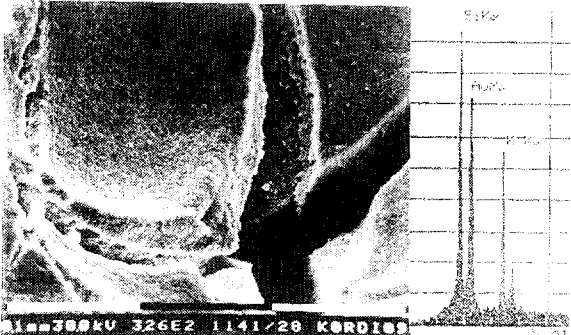


사진 8. 모르터바(KOH) 内部의 反應生成物 및 成分分析

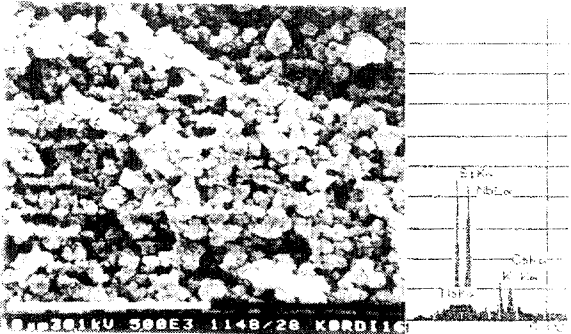


사진 9. 모르터바(NaCl) 内部의 反應生成物 및 成分分析

4. 結 論

國內産 火成岩系 骨材 2種으로 알칼리량과 添加 알칼리의 種類가 모르터바의 膨脹에 미치는 影響에 關한 實驗結果, 다음과 같은 結論을 얻었다.

- 1) 알칼리량이 增加할 수록 모르터바의 膨脹量 또한 增加 했으며, A骨材를 사용했을 경우 알칼리-骨材 反應으로 인한 異常膨脹을 보일 수 있는 알칼리량은, $\text{Na}_2\text{O eq.}=0.8\%$ 에서도 6개월에 0.1%以上 膨脹을 했으므로 상당히 낮은 등가알칼리량에서도 異常膨脹을 할 수 있다고 思料된다.
- 2) 添加알칼리의 種類를 NaOH, KOH 및 NaCl의 3 種類로 하여 實施한 모르터바法에 의한 實驗結果, NaCl이 添加된 모르터바의 膨脹이 가장 높은 膨脹을 보여 굵은골재로 A骨材를 사용하고 잔골재로 鹽分을 含有하고 있는 海砂를 사용할 경우 알칼리-실리카 反應에 의한 異常膨脹이 發生할 可能性이 높을 것으로 思料된다.
- 3) 가장 높은 膨脹率을 보인 모르터바를 SEM觀察한 結果, 알칼리-실리카 反應에 의한 反應生成物이 觀察되어, 그 反應生成物을 成分分析한 結果 NaOH 및 NaCl을 添加한 모르터바에서 生成된 反應生成物에서는 Na^+ , Si^{4+} , K^+ 및 Ca^{2+} 이 檢出되었으며, KOH를 添加한 모르터바에서의 反應生成物에서는 Na^+ 을 除外한 Si^{4+} , K^+ 및 Ca^{2+} 이 檢出되어 添加알칼리의 種類에 따라 生成된 反應生成物의 成分이 달리 나타났으나, Na^+ , K^+ 의 알칼리금속이온과 Si^{4+} 가 檢出됨으로써 알칼리-실리카 反應에 의한 膨脹임이 밝혀졌다.
- 4) 國內에서도 알칼리-실리카 反應性 骨材가 存在 함으로, 이에 대한 研究가 활발히 進行되어 알칼리-骨材 反應에 대한 對策이 시급히 마련되어야 할 것으로 思料된다.

참 고 문 헌

- 1) M. Abe, F. Tomosawa, T. Mano and K. Togasaki, "A Study on the Simple Rapid Test Method Used to Judge the Alkali Reactivity of Aggregate", 8th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, Kyoto, Japan, 1989, pp369~374.
- 2) 田村 博, "콘크리트用材料と알칼리骨材反應", 콘크리트工學, Vol. 24, No. 11, Nov. 1986, pp23~28.
- 3) 米澤敏男 外2, "セメント水和物によるモルタル細孔溶液中の Cl^- 固定のメカニズム", 콘크리트工學年次論文報告集 10-2, 1988, pp475~480.
- 4) T. Yonezawa, V. Ashworth, R.P.M. Procter, "The Mechanism of Fixing Cl^- by Cement Hydrates Resulting in the Transformation of NaCl to NaOH", 8th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, Kyoto, Japan, 1989, pp153~160.
- 5) 二村誠二 外1, "鹽素イオンガ알칼리反應に及ぼす影響", 콘크리트工學年次論文報告集 12-1, 1990, pp789~794.

○ 本 論文은 大韓建築學會 '93 秋季學術發表大會論文集에 發表된 論文을 補完한 것임.