

國內 碎石 骨材의 알카리-실리카 反應性 岩石 判定에 關한 實驗的 研究 (2)
An Experimental Study on the Identification of Alkali-Silica Reactivity of Crushed Stones (2)

정재동* 노재호** 조일호*** 이선우***
Jaung, Jae Dong Noh, Jae Ho Cho, Il Ho Lee, Sun Woo

Abstract

The damages due to alkali-aggregate reaction between the reactive silica constituents of the aggregate and the alkalies in cement have been frequently reported since 1923 in America. Recently, alkali-aggregate reaction, especially alkali-silica reaction, can be found all over the area using crushed stones. The first research, in 1990, was performed to identify the alkali-silica reactivity of 18 sets of crushed stones used in domestic ready-mixed concrete plant as coarse aggregates by petrological, chemical and mortar bar method. And the study was continued with 10 sets of crushed stones in this research. It was found that all the aggregates used in this study are innocuous at alkali-silica reaction.

1. 序論

近年에 들어 世界的으로 알카리-骨材反應에 의한 콘크리트 構造物의 被害가 큰 問題로 浮起되고 있으며, 國內에서도 最近 天然骨材의 枯渴로 인한 各種 碎石 使用의 急激한 增加에 따라 그 危險性이 增大하고 있다.

1991年度에 發表된 1次 研究에서는 國內 各 地域에서 選別 收集된 18개 碎石 骨材의 알카리-실리카 反應性 判定 試驗을 통하여 試驗方法을 確立하였으며, 今番 2次 研究에서는 全國 各 地域 骨材들 및 1차 研究에서 化學的으로 有害로 判定된 骨材 產地에서 再收集된 骨材들을 包含한 총 10개 骨材들에 對해 鑛物學의 方法 및 化學法을 實施하고, 有害의 可能性이 있는 骨材들에 對해 알카리量 등의 環境 조건을 變化시켜 알카리 含量이 실리카 反應性에 미치는 影響을 檢討하였다.

2. 實驗計劃

2.1. 實驗概要 및 實驗方法

全國에서 收集된 10種類의 碎石 粗骨材에 對하여 各各 化學分析 및 X線回折分析 등의 鑛物學의 方法과 化學法

(ASTM C 289)을 實施하고 이 中에서 有害 可能性이 있는 骨材에 對해 몰탈바法(ASTM C 227)을 實施한 後, 이들 結果를 綜合하여 反應性 有無를 判定하였다. (實驗의 進行內容 및 方法은 1991年度 春季學術大會의 發表資料⁽¹⁾을 參照)

2.1.1. 化學分析

原子吸光分析機에 의해 定量된 알카리(Na_2O 및 K_2O)를 除外한 나머지 成分에 對하여는 濕式全分析을 實施하여 化學分析을 行하였다.

2.1.2. X線回折分析

微粉碎 骨材를 20 : 5~60°, Cu K α (Ni filter), 40Kv, 30mA, 走査速度 3°/min, full scale : 500cps 로 X線回折分析하여 定性分析 하였다.

2.1.3. 化學法 (Chemical method)

ASTM C 289에 따라 粉碎 및 세가름, 물洗滌, 乾燥의 過程을 거쳐 粒度 調整한 骨材를 1N NaOH 溶液과 80°C 에서 24時間 反應시킨 後, 鹽酸乾固法에 의해 反應알카리量(Rc)을, 重量法에 의해 溶解실리카量(Sc)을 測定하였다.

2.1.4. 몰탈바法 (Mortar Bar Method)

ASTM C 227에 따라 粒度 調整한 骨材로 몰탈바를 製作, 溫度 37.8°C, 相對濕度 95%에서 6個月 동안 貯藏, 길이變化를 測定하였다. 몰탈바의 물/시멘트比는 50%, 細骨材/시멘트比는 2.25로 하였다.

使用된 骨材試料는 化學法에서 有害의 危險이 높은 6번 및 7번, 8번과 非晶質의 結晶으로 이루어져 알카리-실

* 正會員, 東洋中央研究所, 2次製品研究室長, 工博

** 團體會員, 同, 主任研究員

*** 團體會員, 同, 研究員

리카 反應性이 큰 파이렉스 유리를 石灰石 骨材에 30% 添加한 4가지이다.

알카리-실리카反應 進行 및 膨脹 程度는 시멘트 알카리량의 影響이 크므로 시멘트에 NaOH 및 KOH를 添加하여 等價알카리量($Na_2O + 0.658K_2O$)을 0.8, 1.2 및 1.5 %로 調節하여 各各 L, M 및 H series 로 하여 實驗하였다.(表 1 參照) 시멘트는 Na_2O 0.09 %, K_2O 0.97 %인 T社의 보롱 포틀랜드 시멘트를 使用하였다.

表 1. 물탈바法 공시체 알카리量 및 記號

骨材	시멘트 알카리量	0.8x	1.2x	1.5x
6번		AL	AM	AH
7번		BL	BM	BH
8번		CL	CM	CH
파이렉스 30x 첨가		DL	DM	DH

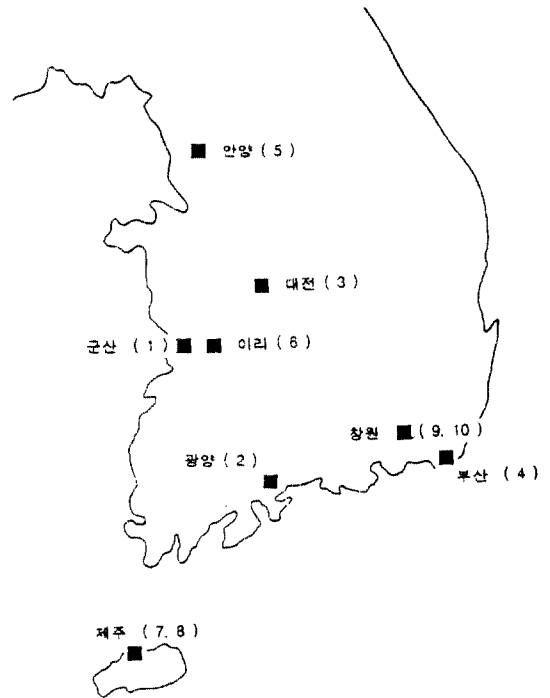


그림 1. 骨材試料 產地 位置

2.2. 骨材 產地

총 10개의 骨材試料 產地를 그림 1 에 나타내었다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1. 化學分析

骨材試料들의 化學分析 結果를 다음 Table 2 에 나타내었다.

4번 및 7번, 8번 骨材를 除外한 나머지 骨材의 大部分은 SiO_2 를 55% 以上 含有하고 있으며, 그 밖에 Al_2O_3 와 Fe_2O_3 가 主成分이었다.

4번 骨材는 CaO의 含量과 強熱減量(ig. loss)이 크므로 石灰石(calcite)이 包含되어 있다고 判斷된다.

7번 및 8번 骨材는 다른 骨材에 比하여 SiO_2 含量이 적고 MgO와 Fe_2O_3 含量이 많으며 이것은 다음의 X線回折分析 結果에서 이 骨材가 火山岩으로 이루어져 있기 때문인 것으로 確認 되었다.

시멘트 中の 알카리 외에 骨材 中の 알카리도 알카리-실리카反應에 參與하는 것으로 알려져 있으나, 本 研究의 試料 骨材들의 알카리量은 거의 비슷한 값을 보이고 있어 그 差異에 의한 影響은 작을 것으로 생각된다.

表 2. 各 骨材의 化學分析 結果.

(單位 : 重量百分率)

번호	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	NaO	K ₂ O	Ig. loss
1	69.42	2.20	16.05	1.00	1.10	4.00	3.85	1.82
2	55.12	8.40	15.40	6.55	3.68	4.05	3.05	3.60
3	75.08	1.50	14.50	0.75	0.38	3.95	2.60	1.16
4	45.16	8.15	17.55	11.48	2.58	2.35	3.30	9.31
5	58.52	5.80	17.45	4.55	2.75	2.55	3.55	4.70
6	69.68	2.40	17.05	2.05	0.55	3.75	4.00	0.44
7	49.30	11.06	19.45	7.98	8.05	0.20	1.16	0.78
8	51.82	11.02	17.69	8.00	8.27	1.82	0.79	0.20
9	59.54	5.40	16.00	5.60	2.95	2.80	3.45	4.06
10	65.24	5.30	15.90	4.15	2.40	2.00	2.85	2.02

表 3. 各 骨材의 X線回折分析 結果.

번호	광물명	Quartz	Cristo-balite	Feldspar	Muscovite	Chlorite	Calcite	etc.
1		●	-	○	△	○	-	
2		●	-	○	○	△	-	
3		●	-	△	○	○	-	
4		○	-	○	-	△	△	
5		●	-	●	○	-	-	
6		●	-	●	○	-	-	
7		-	△	○	-	-	-	Pyroxene(△)
8		-	△	○	-	-	-	Olivin(△)
9		●	-	○	-	△	-	
10		○	-	○	-	△	-	

註 : ● 1000 cps 以上
 △ 100 cps 以下
 ○ 500~1000 cps
 — 檢出되지 않음
 ○ 100~500 cps

3.2. X線回折分析

各 試料 骨材의 X線회절도로 부터 定性分析을 實施하여 그 結果를 Table 3에 要約하였다.

全體적으로 石英(quartz)과 長石(feldspar)이 主成分이며, 白雲母(muscovite), 綠泥石(chlorite) 등이 少量 存在하고 있는 것으로 判斷된다.

7번 및 8번 骨材의 경우, 石英 結晶은 거의 없고 少量의 크리스토팔라이트(cristobalite)와 Ca, Mg, Fe 등을 含有하는 橄欖石류(olivin) 및 輝石類(pyroxene)가 存在하여 앞의 化學分析 結果와 잘 一致하고 있으나, 크리스토팔라이트의 X線回折 피크는 長石의 피크와 겹치는 경우가 많고, 그 量도 적어 確實한 存在의 確認은 어렵다.

크리스토팔라이트의 檢出 및 全體 回折強度가 낮은 것으로 보아 火山岩의 特徵인 非晶質 실리카가 主成分으로 되어 이에 의한 알카리-실리카反應의 發生이 可能하다.

또한 4번 骨材는 石灰岩(calcite)이 一部 檢出되어 CaO 成分과 強熱減量이 많은 것으로 나타난 化學分析 結果와 잘 一致하고 있다.

X線回折分析 結果만으로는 岩石 中の 非晶質 실리카 量 및 變性 程度를 알 수 없어 X線回折分析만의 反應性 與否 判定은 어렵고, 判定의 補助資料로서 利用 可能하다.

3.3. 化學法 (chemical method)

化學法 實驗 結果를 表 4 및 그림 2 에 나타내었다.

ASTM C 289에서는 化學法 實驗에서 구해진 Sc와 Rc 量 그림에 나타내어 無害, 潛在의有害 혹은 有害로 判定하는 方法을 使用하고 있으나, 1989년에 改訂된 JIS에서는 이전의 判定法 대신에 Sc>Rc 이면 有害, Rc>Sc 이면 無害로 判定하는 方法을 使用하고 있다. 이는 潛在의 有害로 判定이 난 骨材는 물탈바法에서 膨脹이 나타나지

않더라도 다른 骨材와 混合하여 使用하면 危險할 수 있다는 報告 등에 基因한 것이다.⁽²⁾

ASTM 判定法에 따르면 潛在的 有害인 8번 骨材를 제외한 나머지 骨材의 大部分이 化學적으로 알카리-실리카 反應에 對하여 安定한 것으로 나타났으나, JIS 判定法에 따르면 6번 및 7번, 8번 骨材가 化學적으로 알카리-실리카 反應에 對하여 危險한 것으로 判定된다.

表 4. 化學法 實驗結果

(단위 : mmol/l)

번호	Sc	Rc	번호	Sc	Rc
1	35.97	50.00	6	25.64	25.00
2	43.40	160.00	7	64.71	65.00
3	42.18	70.00	8	54.40	70.00
4	44.85	110.00	9	37.74	55.00
5	25.73	40.00	10	27.63	85.00

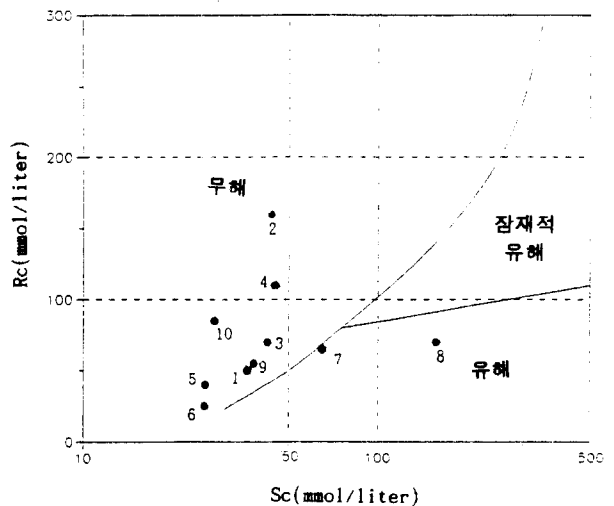


그림 5. 化學法 實驗結果 (by ASTM C 289).

3.4. 몰탈바법 (mortar bar method)

各 材種에서의 공시체 길이變化 測定結果를 Fig. 3 에 나타내었다. 初期는 乾燥收縮에 의해 收縮하다가 원래 길이로 回復, 혹은 膨脹하는 傾向을 보이고 있으나, 파이렉스 유리물 置換 混合한 試片을 除外한 모든 몰탈바들은 等價알카리량을 1.5% 까지 높인 경우에도 6個月에서 0.04% 未滿의 膨脹량을 나타내어 알카리-실리카反應에 對해 安定하다고 判斷된다.

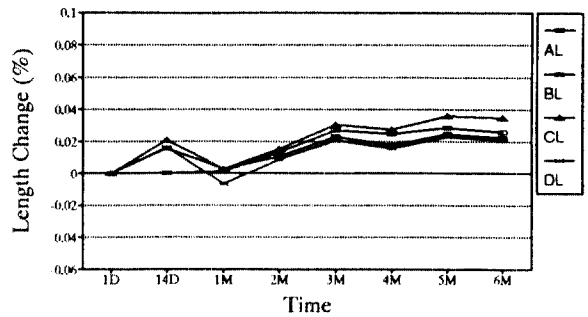
反應성이 높은 破碎 파이렉스 유리물 석회석 骨材에 30% 置換 混合한 骨材도 危險性 判定 基準인 0.1% 以上の 膨脹은 없었으나, 他 骨材에 比해 높은 膨脹率을 나타내었으며 그 程度는 等價알카리량이 높을 수록 顯著하였다. 파이렉스 骨材 添加의 경우는 파이렉스 置換添加率을 50% 以上으로 하면 0.1% 以上 膨脹할 것으로 豫想된다.

4. 結論

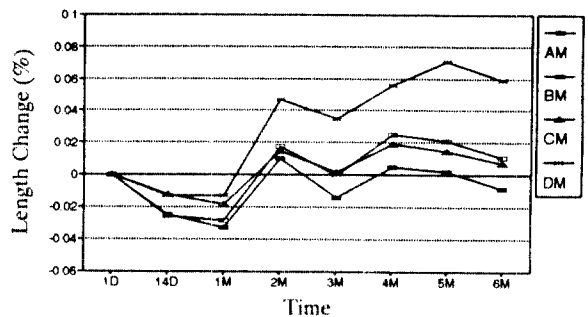
國內에서 選別 收集된 10개 碎石 粗骨材들에 對해 鑛物學的方法, 化學法을 實施하여 化學적으로 有害 可能性이 있는 骨材에 對하여 몰탈바법 實驗을 實施한 結果,

- (1) 化學分析 및 X線回折分析 結果, 一部 알카리-실리카反應이 可能하다고 判斷되는 成分의 存在가 確認되었다.
- (2) 化學法의 實驗結果, ASTM 判定法에 따르면 No. 7 이 有害로 判定되나, 1989년에 改訂된 JIS 方法에 따르면 No. 6 및 No. 7, No. 8 骨材가 有害로 判定된다. 따라서, 이들 骨材는 일단 化學적으로 알카리-실리카反應에 對하여 危險한 것으로 判斷된다.
- (3) 몰탈바법 實驗 結果, 본 實驗에 使用된 모든 骨材가 6 個月에서도 0.1% 以上の 길이 膨脹은 觀察되지 않아 무해로 判定되었으나, 시멘트의 알카리량을 變化시킨 實驗에서 시멘트 中の 알카리량이 높을 수록 膨脹량이 크게 나타나 콘크리트 中の 알카리 濃度가 높아지면 알카리-실리카反應의 危險성이 增加함이 確認되었다.

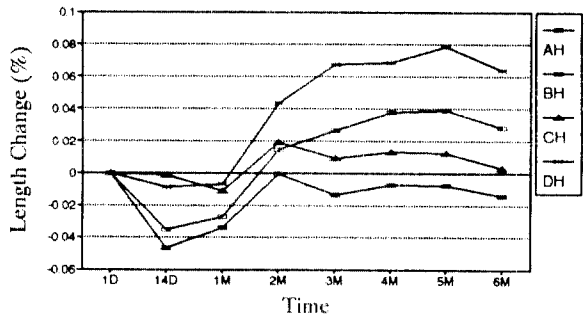
1次 및 2次 研究의 結果, 본 研究에서 實驗한 총 28個 骨材 모두 最終적으로 알카리-실리카反應에 對해 無害로 判定되었으나, 化學法 實驗에서 危險성이 있다고 判斷되는 骨材가 存在하였으므로 國內에도 化學적으로 有害한 骨材들이 存在하고 있음을 알 수 있다. 따라서 向後 계속적으로 國內 碎石 骨材에 對하여 알카리-실리카反應性 判定 試驗을 實施할 必要가 있다고 判斷된다.



(1) 等價알카리量 0.8



(2) 等價알카리量 1.2



(3) 等價알카리量 1.5

그림 3. 몰탈바법 공시체 길이 變化率

5. 參考文獻

- (1) 정재동, 노재호, 이양수 : "國內 碎石 骨材의 알카리-실리카反應性 岩石 判定에 關한 實驗的 研究", '91 硏學術發表會 論文集, 第 3卷 1號(通卷 第 4集), pp93-98, 韓國콘크리트學會, (1991)
- (2) 重野純一 : "アルカリ骨材反應反應の種類, 메カニスム および特性", 콘크리트工學, Vol.24, No.11, pp17-22, JAPAN (1986).