

국내 碎石 骨材의 알카리-실리카 反應性 判定에 關한 實驗的 研究 (1)

An Experimental Study on the Identification of Alkali-Silica Reactivity of Crushed Stones (1)

이 양 수* 노 재 호* 정 재 동**
 Lee, Yang Soo Noh, Jae Ho Jaung, Jae Dong

Abstract

The damages due to alkali-aggregate reaction between the reactive silica constituents of the aggregate and the alkalis 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. This research was performed to identify the alkali-silica reactivity of 18 sets of crushed stones being used currently in domestic ready-mixed concrete plant as coarse aggregates by petrological, chemical and mortar bar method. It is found that all the aggregates used in this study are innocuous at alkali-silica reaction. Further study will be carried out with some aggregates in more severe conditions.

1. 序論

近年에 들어 世界的으로 콘크리트의 早期劣化 要因의 하나인 알카리-骨材反應, 특히 알카리-실리카反應에 의한 콘크리트 構造物의 被害 및 危險性이 큰 社會問題로 浮起되고 있으나, 아직 國內에서는 이에 의한 被害例가 報告된 바 없다. 그러나 國內에서도 最近 良質 天然骨材의 枯渴로 因하여 各種의 碎石使用이 急激히 增加하고 있으며, 이에 따라 使用實績 혹은 安定性 側面에서 充分히 檢討되지 않은 骨材의 使用에 依한 알카리-骨材反應의 危險性이 增大하고 있다.

本 研究에서는 現在 全國 레미콘 工場에서 콘크리트用 骨材로 使用中인 碎石 骨材 中에서 部分的으로 選別된 骨材試料에 對하여 實施된 알카리-실리카 反應性 判定試驗 結果를 一次 報告한다.

2. 實驗計劃

2-1. 實驗概要 및 實驗方法

全國 12개 地域의 레미콘 工場으로부터 18 種類의 骨材試料를 選別 收集하여, 各各 化學分析 實施後, X線回折分析 및 片光顯微鏡 등을 利用한 鑛物學的方法과 ASTM C 289의 化學법 및 ASTM C 227의 몰달바法 實驗을 實施한 後, 이들 結果를 綜合하여 反應性 與否를 判斷하였다.

實驗의 進行內容 및 方法을 Fig.1에 나타낸다.

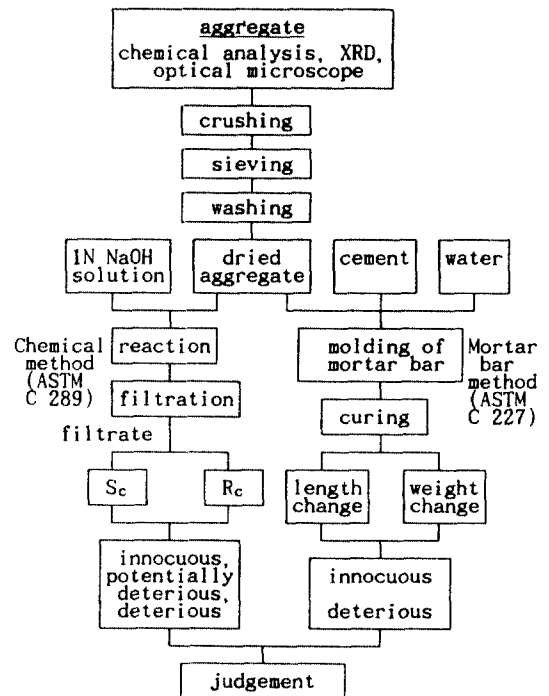


Fig. 1 Flow chart of experimental procedure.

* 團體會員 東洋시멘트 技術研究所 主任研究員

** 正會員 同, 二次製品研究室長, 工博

2-1.1. 化學分析

原子吸光分析機에 의해 定量된 알카리(Na₂O 및 K₂O)를 除外한 나머지 成分에 對하여는 濕式全分析으로 化學分析을 實施하였다.

2-1.2. X線回折分析 (X-Ray Diffractometer Analysis)

微粉碎한 各 地域의 骨材試料를 2θ : 5~60° , Cu Kα (Ni filter), 40 kV, 30 mA, 走査速度 3° /min, full scale : 500cps의 條件으로 X線回折分析하여 定性分析하였다.

2-1.3. 片光顯微鏡 觀察

各 岩石 試料를 切斷한 후, #320, #600, #1200, #2000의 SIC 粉末로 段階的으로 鍊磨하여 slide glass에 epoxy로 接着시키고, 다시 切斷 및 鍊磨의 過程을 거쳐 두께 0.03mm 以下の 薄片 製作 後, 약 60배 정도 확대하여 片光顯微鏡 觀察을 實施하였다.

2-1.4. 化學法 (chemical method)

ASTM C 289에 따라 粉碎 및 체가름, 물세척, 乾燥의 過程을 거쳐 粒度調整한 骨材와 1N NaOH 溶液을 80°C에서 24時間 동안 反應시킨 후, 鹽酸乾固法에 의해 反應실리카량을 測定했으며, 重量法을 利用하여 溶解실리카량을 判定하였다.

2-1.5. 몰탈바法 (mortar bar method)

ASTM C 227에 따라 몰탈바를 製作하여 온도 37.8°C, 상대습도 95% 에서 6個月 동안 貯藏하며 길이 變化를 測定하였다.

實驗에 使用된 시멘트의 化學 및 物理的 特性을 Table 1, 2 에 나타냈다.

시멘트 中の 鈉알카리량은 0.80% (等價알카리量) 였으며, 몰탈바 製作時의 配合水로는 一般 上水道水를 使用하였다.

Table 1 Chemical composition of cement used in mortar bar method.

(unit : wt%)						
SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig. loss
22.30	2.94	6.11	63.34	1.45	0.22	3.03

* Na₂O : 0.18%, K₂O : 1.14%

Table 2 Physical properties of cement used in mortar bar method.

안정도 (%)	Blaine (cm ² /g)	응결 (hr:min)		σ (Kgf/cm ²)			비중
		초결	종결	3일	7일	28일	
0.5	3,370	2:43	4:49	197	273	356	3.15

2-2. 骨材試料

本 研究에 使用된 18種類 骨材試料의 產地를 Fig. 2 에, 그 物理的 性質을 Table 3 에 나타냈다.

吸水率은 약간씩 차이가 있으나 比重에서는 18개 骨材 모두가 거의 비슷한 값을 나타내고 있다.

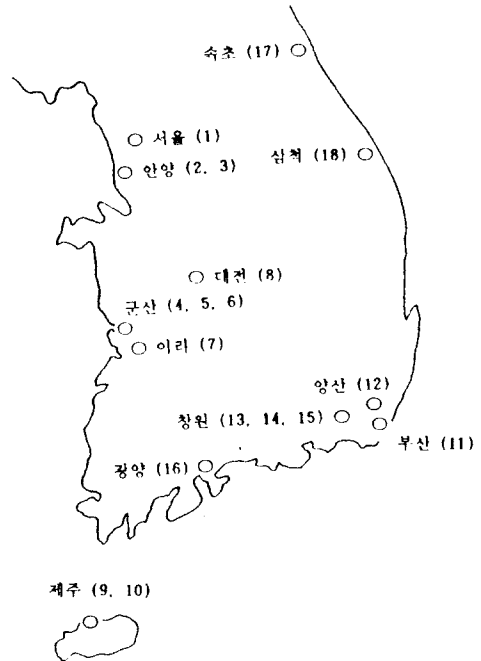


Fig.2 Location of sampling aggregates used in the experiment.

3. 實驗結果 및 考察

3-1. 化學分析

試料骨材들의 化學分析 結果를 다음 Table 4 에 나타냈다.

삼척 18번, 제주의 9번 및 10번과 부산 11번 骨材를 除外한 나머지는 SiO₂를 60% 이상 含有하고 있고, 그 밖에 Al₂O₃와 Fe₂O₃로 構成되어 있다.

부산 11번과 삼척 18번 骨材는 CaO의 含量과 強熱減量(ignition loss)이 많은 것으로 보아 주로 石灰石(calcite)으로 構成되어 있다고 判定된다. 창원의 13번 및 14번 骨材도 SiO₂ 成分이 적고 CaO와 強熱減量이 큰 것으로 보아 일부 石灰石을 含有한 것으로 보인다.

또한 제주의 9번 및 10번 骨材는 다른 骨材에 비하여 SiO₂ 含量이 적고 MgO와 Fe₂O₃ 含量이 많은 것으로 나타났다.

알카리-실리카反應에 참여하는 알카리는 시멘트 中の 알카리가 大部分이지만 骨材 自體에 包含된

알카리의 反應 參與 可能性도 論意되고 있다. (1)

本 研究에 使用된 骨材 大部分의 알카리量은 一部 骨材를 除外하고는 거의 비슷한 값을 보이고 있으며, 그 差異에 依한 影響도 그리 크지 않을 것으로 思料된다.

Table 3 Physical properties of aggregates.

No.	비 중	흡수율(%)
1	2.66	0.93
2	2.60	1.12
3	2.62	0.47
4	2.68	0.67
5	2.55	2.48
6	2.59	1.34
7	2.59	0.90
8	2.59	0.70
9	2.64	2.04
10	2.65	2.09
11	2.72	1.76
12	2.60	0.75
13	2.70	0.63
14	2.75	0.71
15	2.73	1.42
16	2.67	1.88
17	2.78	0.40
18	2.73	0.37

Table 4 Chemical composition of aggregates.

(unit : wt%)

No.	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Ig. loss
1	72.94	4.03	12.21	4.74	1.01	0.20	1.52	2.34	0.81
2	61.20	6.35	17.15	5.84	2.25	2.03	1.61	2.03	0.46
3	72.40	3.83	13.72	2.03	0.61	0.22	1.78	4.21	0.14
4	68.96	5.49	12.31	1.02	2.82	0.10	1.32	4.26	0.13
5	73.48	15.85	2.12	0.75	0.81	0.14	1.72	3.81	1.27
6	71.24	16.51	2.54	0.51	1.15	0.10	2.12	4.10	1.23
7	68.94	18.00	3.05	1.27	2.05	0.07	2.17	3.89	0.30
8	73.26	14.76	2.32	0.50	1.22	0.18	2.54	4.06	0.76
9	51.82	11.02	17.69	8.00	8.27	0.00	1.82	0.79	0.20
10	49.30	11.06	19.45	7.98	8.05	0.10	0.20	1.16	0.78
11	40.45	7.34	16.22	13.51	2.33	0.00	1.67	1.77	15.74
12	73.71	2.43	15.18	0.25	0.82	0.07	2.48	3.36	0.65
13	57.75	5.49	18.55	5.96	3.20	0.74	1.79	2.15	4.42
14	59.30	4.45	18.36	5.53	2.44	0.05	1.84	2.09	4.55
15	63.15	5.08	17.96	5.08	2.55	0.09	1.57	1.67	1.96
16	67.99	2.62	17.52	1.50	1.42	0.47	2.02	4.15	2.07
17	55.10	6.65	17.55	7.64	5.48	0.00	1.54	3.25	2.16
18	2.69	0.57	2.90	46.55	4.04	0.00	0.18	0.60	41.96

Table 5 X-ray diffraction results of each aggregate.

Mineral No.	Quartz	Cristobalite	Feldspar	Muscovite	Chlorite	Calcite	etc.
1	●	-	○	○	△	-	Amphibole(△)
2	⊙	-	○	△	○	-	
3	⊙	-	●	○	△	-	
4	⊙	-	●	○	○	-	
5	●	-	⊙	○	△	-	
6	●	-	●	△	△	-	
7	●	-	●	⊙	△	-	
8	●	-	⊙	△	△	-	
9	-	△	○	-	-	-	Olivin(△)
10	-	△	○	-	-	-	Pyroxene(△)
11	○	-	○	-	△	⊙	
12	⊙	-	○	-	△	-	
13	⊙	-	○	△	△	△	
14	⊙	-	○	△	△	△	
15	⊙	-	○	-	△	-	
16	⊙	-	⊙	△	△	-	
17	⊙	-	⊙	○	△	-	Amphibole(○)
18	△	-	-	△	-	●	Dolomite(○)

Remarks, ● : Very strong (1000 cps upper)
 ⊙ : Strong (100~500 cps)
 — : Not detectable

○ : Medium (100~500 cps)
 △ : Weak (100 cps down)

3-2. X線回折分析

각 骨材의 X선 回折角度 및 回折強度 結果로 부터 實施된 定性分析 結果를 Table 5 에 要約하여 나타내었다.

X線回折分析의 結果, 岩石 中에 包含된 鑛物의 量이라든지 變性程度는 알 수 없으나, 全體적으로 石英(quartz)과 長石(feldspar)이 主成分으로, 白雲母(muscovite), 綠泥石(chlorite) 등이 微量成分으로 存在하고 있음을 알 수 있다.

그러나, 濟州의 9번 및 10번 骨材의 경우, 石英 結晶은 거의 찾아 볼 수 없고 대신 微量의 크리스토팔라이트(cristobalite)가 檢出되고 그 밖에 Ca, Mg, Fe 등을 含有하고 있는 橄欖石류(olivine)와 輝石류(pyroxene)가 나타났다. 全體적으로 回折強度가 낮은 것으로 보아 鎔融 狀態의 鎔岩이 噴出되면서 急冷됨으로 因하여 非晶質 혹은 微粒의 실리카가 主成分으로 되어 있을 것으로 判斷된다. 크리스토팔라이트의 X線回折 피크는 장석의 피크와 겹치므로 그 存在 有無의 確認이 不確實하다.

또한 삼척 18번과 부산 11번 骨材는 석회석(calcite)을 多量 含有하고 있고, 창원 13번 및 14번 骨材도 역시 少量의 석회석을 含有하고 있는 것으로 나타나, CaO 成分과 強熱減量이 많은 것으로 나타난 化學分析 結果와 잘 일치하고 있음을 알

수 있다. 따라서 이들 骨材의 경우 알카리-실리카 反應의 危險性은 거의 없다고 判斷된다.

3-3. 片光顯微鏡 觀察

片光顯微鏡 觀察에서 確認된 각 骨材의 岩石名 및 構成鑛物을 Table 6 에 要約하여 나타내었다.

濟州의 9번 및 10번 骨材는 火山岩 組織으로 volcanic glass를 含有하고 있으며, 부산 11번 骨材도 火山岩 組織으로 微細한 石英 粒子를 含有하고 있어 岩石學적으로 알카리-실리카反應의 危險性이 크다고 볼 수 있다. X線回折分析에서 나타났던 cristobalite는 火山岩의 경우 脫 glass化 作用에 의해 生成되어 그 結晶 粒子가 微細하므로 片光顯微鏡 觀察로는 그 確認이 어렵다.

많은 骨材에서 微小 雲母 (黑雲母, 絹雲母, 白雲母 등)의 存在가 確認되었으나 그 量이 少量이므로 微小 雲母에 의한 알카리-실리카反應의 危險性은 크지 않을 것으로 判斷된다.

3-3. 化學法 (chemical method)

Fig. 3의 化學法 實驗結果에 나타난대로 濟州 9번 骨材가 潛在的 有害로 나타나 化學적으로 알카리-실리카反應의 可能性이 있다고 判斷되나, 나머지 骨材는 無害인 것으로 判明되었다.

Table 6 The result of optical microscope analysis.

No.	암 석 명		구 성 광 물		
1	화	반심성암	화강반암	석영, 사장석, 운모	
		심성암	천매암	장석, 흑운모, 백운모, 녹니석, 변질된 운모	
		심성암	화강암	석영, 사장석, 변질된 장석, 백운모, 변질된 운모	
			화강암	석영, 정장석, 사장석, 견운모	
2	화	심성암	화강암	석영, 정장석, 사장석, 변질된 흑운모	
		반심성암	화강반암	석영, 사장석, 백운모	
			심성암	화강암	석영, 사장석, 운모 및 변질된 운모
			심성암	화강암	석영, 사장석, 정장석, 백운모
3	화	심성암	화강암	석영, 사장석, 알카리 장석, 흑운모	
		심성암	화강암	석영, 정장석, 사장석, 흑운모	
		화산암	현무암	사장석, 감람석, 휘석	
			현무암	사장석, 감람석, 휘석	
4	화	심성암	화강암	석영, 정장석, 사장석, 흑운모	
		심성암	화강암	석영, 사장석, 사장석, 흑운모	
		심성암	화강암	석영, 사장석, 알카리 장석, 흑운모	
		심성암	화강암	석영, 정장석, 사장석, 흑운모	
5	화	반심성암	화강반암	석영, 사장석, 백운모	
		심성암	천매암	장석, 흑운모, 백운모, 녹니석, 변질된 운모	
		심성암	화강암	석영, 사장석, 변질된 장석, 백운모, 변질된 운모	
			화강암	석영, 정장석, 사장석, 견운모	
6	화	심성암	화강암	석영, 정장석, 사장석, 변질된 흑운모	
		반심성암	화강반암	석영, 사장석, 백운모	
			심성암	화강암	석영, 사장석, 운모 및 변질된 운모
			심성암	화강암	석영, 사장석, 정장석, 백운모
7	화	심성암	화강암	석영, 사장석, 알카리 장석, 흑운모	
		심성암	화강암	석영, 정장석, 사장석, 흑운모	
		화산암	현무암	사장석, 감람석, 휘석	
			현무암	사장석, 감람석, 휘석	
8	화	심성암	화강암	석영, 사장석, 사장석, 흑운모	
		심성암	화강암	석영, 정장석, 사장석, 흑운모	
		심성암	화강암	석영, 사장석, 알카리 장석, 흑운모	
		심성암	화강암	석영, 정장석, 사장석, 흑운모	
9	화	반심성암	유문암	석영, 사장석	
		퇴적암	혈암	석영, 사장석, 변질된 석회석	
			혈암	석영, 사장석, 변질된 사장석	
			혈암	석영, 사장석	
10	화	심성암	화강암	석영, 사장석, 운모	
		심성암	화강암	석영, 사장석, 사장석, 변질된 운모	
		심성암	화강암	석영, 사장석, 알카리 장석, 흑운모	
		심성암	화강암	석영, 정장석, 사장석, 흑운모	
11	화	반심성암	유문암	석영, 사장석	
		퇴적암	혈암	석영, 사장석, 변질된 석회석	
			혈암	석영, 사장석, 변질된 사장석	
			혈암	석영, 사장석	
12	화	심성암	화강암	석영, 사장석, 운모	
		심성암	화강암	석영, 사장석, 사장석, 변질된 운모	
		심성암	화강암	석영, 사장석, 알카리 장석, 흑운모	
		심성암	화강암	석영, 정장석, 사장석, 흑운모	
13	화	반심성암	유문암	석영, 사장석	
		퇴적암	혈암	석영, 사장석, 변질된 석회석	
			혈암	석영, 사장석, 변질된 사장석	
			혈암	석영, 사장석	
14	화	심성암	화강암	석영, 사장석, 운모	
		심성암	화강암	석영, 사장석, 사장석, 변질된 운모	
		심성암	화강암	석영, 사장석, 알카리 장석, 흑운모	
		심성암	화강암	석영, 정장석, 사장석, 흑운모	
15	화	반심성암	유문암	석영, 사장석	
		퇴적암	혈암	석영, 사장석, 변질된 석회석	
			혈암	석영, 사장석, 변질된 사장석	
			혈암	석영, 사장석	
16	화	심성암	화강암	석영, 사장석, 운모	
		심성암	화강암	석영, 사장석, 사장석, 변질된 운모	
		심성암	화강암	석영, 사장석, 알카리 장석, 흑운모	
		심성암	화강암	석영, 정장석, 사장석, 흑운모	
17	화	반심성암	유문암	석영, 사장석	
		퇴적암	혈암	석영, 사장석, 변질된 석회석	
			혈암	석영, 사장석, 변질된 사장석	
			혈암	석영, 사장석	
18	화	심성암	화강암	석영, 사장석, 운모	
		심성암	화강암	석영, 사장석, 사장석, 변질된 운모	
		심성암	화강암	석영, 사장석, 알카리 장석, 흑운모	
		심성암	화강암	석영, 정장석, 사장석, 흑운모	

* 구성광물의 나열순서는 성분함량이 원편에서부터 성분의 함량이 많은 순으로 열거.

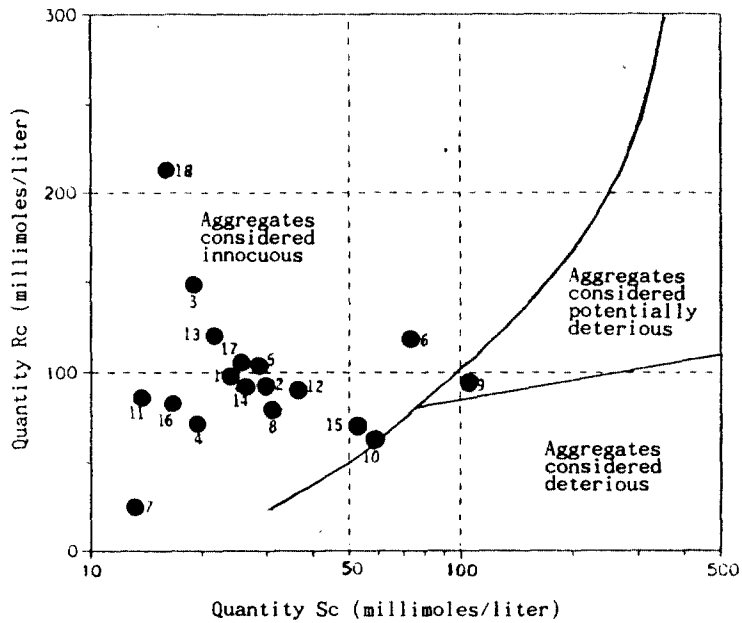
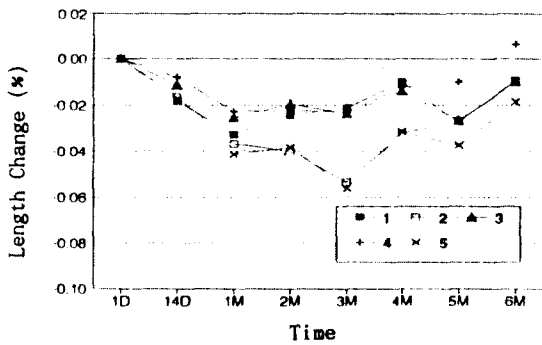
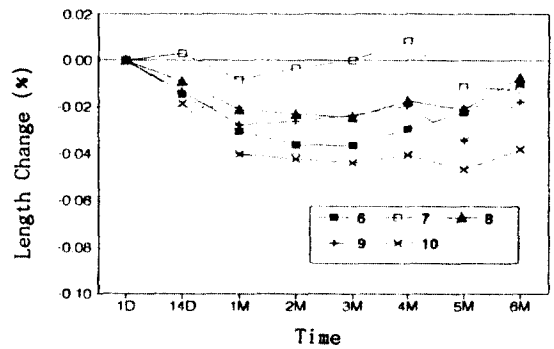


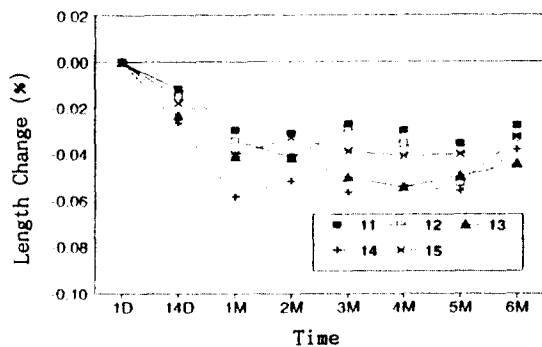
Fig. 3 Chemical reactivity of aggregates in chemical method.



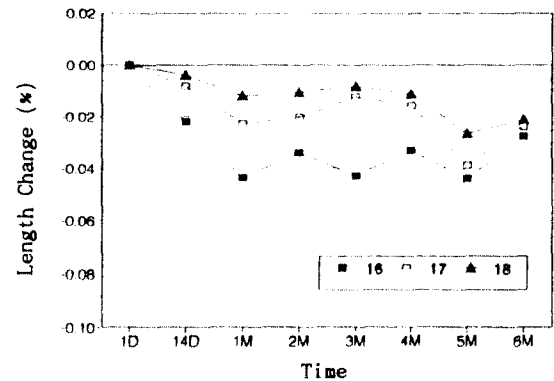
(a) specimen no. 1-5



(b) specimen no. 6-10



(c) specimen no. 11-15



(d) specimen no. 16-18

Fig. 4 Length change of specimens in mortar bar method.

3-4. 몰탈바法 (mortar bar method)

각 材寸에서 공시체들의 길이 變化 測定結果를 다음 Fig. 4 에 나타냈다. 初期에는 乾燥收縮에 의해 收縮하다가 다시 標點길이를 回復되는 傾向을 보이고 있으나, 6 個月 測定에서도 거의 모든 試片이 標點길이 이하인 狀態이므로 6 個月 經過後 0.1 % 以上の 膨脹에서 有害임을 勘案한다면 모든 骨材가 알카리-실리카反應에 대해 無害라고 判斷되며 이는 化學法의 結果와 잘 一致하고 있다.

化學法에서 潛在的 有害로 나타났던 제주 9번 骨材에서도 거의 膨脹이 일어나지 않은 것은 本 實驗에서 使用된 시멘트의 알카리량이 낮고, 물/시멘트비도 일반적인 pessimum 條件에 비하여 比較的 높았기 때문일 수도 있으므로, (2, 3) 이에 對하여는 알칼리량을 높이는 등의 條件으로 補充 實驗을 實施 中에 있다.

3. 結論

1) 現在 使用中인 全國의 레미콘용 骨材에 對하여 化學分析, X線回折分析 및 片光顯微鏡 觀察을 實施한 結果, 一部 알카리-실리카反應의 可能性을 가지는 成分의 存在가 確認되었다.

2) 化學法의 實驗 結果, 大部分의 骨材가 無害로 判定되었으나, 제주 9번 骨材는 潛在的 有害로 判定되었다.

3) 몰탈바法의 實驗 結果, 化學法에서 無害로 判定되었던 모든 骨材들은 豫想된대로 길이 膨脹이

없었다.

化學法에서 潛在的 有害로 判定되었던 제주 9번 骨材에서도 역시 길이 膨脹은 觀察되지 않았으나, 이에 對하여는 시멘트 中の 알카리量 등의 實驗 條件을 變化시켜 다시 確認할 必要가 있을 것으로 생각된다.

4) 以上の 結果로부터 本 研究에서 試驗된 骨材의 大部分은 알카리-실리카反應에 對하여 無害한 것으로 判定되었으나, 一部 骨材에 對하여는 追加 補充實驗을 實施 中에 있다.

(本 研究을 위해 조언해 주신 水原大學校의 윤재환 敎授님과 建設技術研究院의 이장화 先任研究員, 그리고 延世大學校 地質學科의 송운구氏에게 깊은 感謝를 드립니다.)

4. 參考文獻

(1) 小野紘一, 川村滿紀, 田村 博, 中野錦一 : 콘크리트構造物の耐久性シリーズ (알카리骨材反應), 岸谷孝一, 西澤紀昭 (Eds.), 技報堂出版社, 東京 (1997).

(2) セメント協會 : セメント化學專門委員會報告 C-2 (알카리骨材反應에關する文獻調査), セメント協會, 東京 (1984).

(3) 尹在煥 : "콘크리트における알카리실리카反應에關する基礎的研究", 東京大學 博士學位論文, JAPAN (1985).