

# 국내 쇄석골재의 화학반응성 연구

## A Study on the Chemical Reaction of Crushed Aggregates

이장화\*

김성욱\*\*

Lee, Jang Hwa Kim, Sung Wook

---

### 요 약

근래 양질의 하천골재가 거의 고갈상태에 직면함에 따라 쇄석골재의 사용이 보편화되고 있는 우리나라의 실정에 비추어 볼 때 골재의 화학반응에 대한 연구의 필요성이 점차 증대되고 있다. 본 연구에서는 우리나라에서 실제 쇄석골재를 생산하는 238곳 중 63곳의 시료골재를 채취하여 화학적, 광물학적, 모르타르 바 분석시험을 실시하여 골재의 화학반응성을 규명하였다.

분석시험 결과 대부분의 시료골재가 화학반응성을 나타내지 않았으나 광물학적 분석에서 유해광물로 알려진 성분들이 여러 시료골재에 포함되어 있었다. 따라서 해사의 사용 등 점차 화학반응 환경이 궁존하게 되면 골재의 화학반응이 일어날 가능성이 커지므로 계속적이고 심도있는 연구가 요구되고 있다.

### ABSTRACT

In Korea, due to the short comings of natural aggregate and increasing needs of crushed stones, it is necessary to examine the alkali-aggregate reaction of the crushed stone.

In this research, crushed stones from 63 local sites are collected and tested by Chemical method (ASTM C 289), Petrographic examination (ASTM C 295) and Mortar-Bar method (ASTM C 227).

Test results show that most of samples didn't show any reaction. The careful examinations should be continued because many samples contain common deleterious minerals and possibility of chemical reaction will be increased by the use of seasand.

**Keywords** : alkali-aggregate reaction, reactive minerals, crushed aggregates.

---

\* 정희원, 한국건설기술연구원 수석연구원

\*\* 정희원, 한국건설기술연구원 연구원

• 본 논문에 대한 토의를 1995년 4월 30일까지 보내주시면 1995년 6월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

1940년 T.E Stanton에 의해서 알칼리-골재 반응이 최초로 보고된 이후 미국을 비롯하여 유럽과 일본 등지에서 알칼리-골재 반응에 의한 콘크리트 구조물의 열화손상이 꾸준히 발견되었다. 국내에서도 알칼리-골재 반응과 건조수축, 동결융해 작용의 복합적인 원인으로 추측되는 대전 근교의 콘크리트 구조물의 열화손상이 보고된 바 있다.<sup>1)</sup>

최근 다목적댐 건설로 수리시설이 정비되고, 하천 유지관리, 상수원 및 절대농지 확보, 개발제한 등으로 인하여 하천골재 채취가 곤란해지고 대부분의 부존량을 개발·이용하므로써 양질의 하천골재는 점차 고갈상태에 직면해 가고 있다. 이에 따라서 우리나라에서는 채석골재가 물리적인 소요 품질에 대해서만 고려되고 화학반응성 문제는 검토되지 않은 채로 콘크리트 골재로서 사용이 보편화되어 있는 실정이다.

대부분의 자연산 하천골재는 수많은 세월동안 물과 태양 및 대기에 직접 노출되어 골재내부의 불안정한 광물이나 화학적반응을 일으키는 물질 등이 대부분 용해되어 비교적 안정상태가 된다. 반면에 물과 태양과 대기에 직접 노출되지 않고 깊숙히 매장되어 있는 암석을 분쇄한 채석골재는 상대적으로 화학반응에 영향을 미칠 수 있는 물질들이 함유될 가능성이 높으며 지금까지 발생한 알칼리-골재 반응에 의한 콘크리트 구조물의 피해사례는 주로 불안정한 광물질을 포함한 채석골재를 사용한 경우이다.

본 연구에서는 국내에서 콘크리트용 골재를 실제로 생산하는 238곳 중에서 63곳의 채석골재를 채취하여 화학적, 광물학적, 모르타르 마 분석시험을 수행하여 골재의 유해 가능성을 분석하였다.

## 2. 알칼리 및 반응성 광물

### 2.1 알칼리

알칼리-골재 반응에 직접 관계하는 콘크리트 중의 알칼리는 세공용액 중의 알칼리로 판단되고 있다. 콘크리트 세공용액 중의 알칼리로는 시멘트,

골재, 광물질혼화제, 화학혼화제와 같이 콘크리트용 재료로부터 내부적으로 공급되는 것과 콘크리트 구조물이 완성된 후 해사와 세설염 등과 접촉하여 외부적으로 공급되는 것도 있다. 이 중에서 콘크리트 알칼리 성분의 대부분은 시멘트 원료용 점토에 포함된 알칼리 함유광물인 정장석( $K_2Al_2Si_2O_8$ )과 조장석( $NaAlSi_3O_8$ )으로부터 도입된다.

알칼리 화합물은 물에 쉽게 녹는 황산알칼리( $Na_2SO_4$ ,  $K_2SO_4$ )와 물에 쉽게 녹지 않는 고용의 광물상태로 존재하며 시멘트 내의 전 알칼리량 보다는 활성 알칼리량이 골재와의 반응성에 더욱 밀접한 관계를 가진다. 일반적으로 시멘트 등의 알칼리량은 Na와 K를 합한 “등가  $Na_2O$ 량”으로 표시한다.

### 2.2 반응성 광물 및 암석

콘크리트내에서 유해한 화학반응을 일으키는 암석과 이를 구성하고 있는 광물은 대탄하 다종다양하며 이러한 반응성 암석·광물이 콘크리트내에서 유해한 반응을 일으키는지의 여부는 여러가지 영향요인에 따라 결정된다. 콘크리트내에서 유해한 화학반응을 일으키는 반응성 광물에 대해 미국과 일본에서 분류하고 있는 것을 요약 정리하면 Table 1 및 Table 2와 같다.

Table 1과 Table 2에 나타나 있는 암석들은 반응성 광물을 포함할 가능성이 높은 것을 의미하며 이 반응성 광물의 특징은 모두 미립이거나 미립광물로 구성된 암석이라는 점이다. 알칼리-골재 반응을 일으키는 대표적인 광물은 실리카( $SiO_2$ )로서 대기조건하에서는 극히 안정된 물질이지만 pH가 높은 강알칼리 조건하에서는 어떤 형태의 결정형이나 상(Phase)의 형태를 가지며 알칼리 급속과 반응하여 알칼리-실리케이트 겔을 생성한다. 실제로 상온의 대기압에서 존재하는 실리카상(Phase)은 석영, Tridymite, Cristobalite 및 비정질 실리카의 4종이다. 이중 상온 대기압에서 안정된 상태는 석영 뿐이고 다른 3가지는 모두 불안정한 상태로서 상온 대기압에서 자국이 가해지면 화학반응을 일으키는 잠재력을 가지고 있다. 또한

**Table 1 Reactive mineral and rock<sup>(2)</sup>**  
(ASTM C 295, U. S. A)

Type of Reaction	Reactive mineral and rock
Alkali-Silica Reaction	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opal</li> <li>• Cristobalite</li> <li>• Tridymite</li> <li>• Siliceous and some intermediate Volcanic glass</li> <li>• Chert</li> <li>• Glassy to cryptocrystalline acid Volcanic rocks</li> <li>• Synthetic Siliceous glasses</li> <li>• Some argillites</li> <li>• Metamorphic greywackes</li> <li>• Rocks containing highly metamorphic quartz such as greywackes</li> <li>• Phyllites</li> <li>• Schists</li> <li>• Gneisses</li> <li>• Gneissic granites</li> <li>• Vein quartz</li> <li>• Quartzite</li> <li>• Sandstone</li> </ul>
Alkali-Carbonate Reaction	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcareous dolomites or dolomitic limestones with clayed insoluble residues</li> </ul>

**Table 2 Chemical reactive rock in concrete<sup>(3)</sup>**

Type of Reaction	Reactive constituent	Rock containing reactive mineral	
Reaction of Cement or Cement constituent	Alkali aggregate reaction	Glass	Andesite, Basalt, Rhyolite, Obsidian, Perlite, Obsidian Tuff, etc.
		Cristobalite Tridymite	Andesite, Basalt, Rhyolite, Obsidian Tuff, etc.
		Micro Quartz	Slate, Shale, Rhyolite, Sandstone, etc.
		Micro Mica	Hornfels, Schist, Phyllite, Slate, Shale, Sandstone, etc.
		Undulate Extinction Quartz	Gneiss, Schist, Chert, Granite, Diorite, etc.
Reaction except alkali-aggregate reaction	Laumontite Montmorillonite	Andesite, Rhyolite, Basalt, Obsidian Tuff, Diorite, Sandstone, Slate, Shale, Hornblende, Schist, etc.	
		Basalt, Andesite, Rhyolite, Obsidian Tuff, Sandstone, Slate, Shale	
Deleterious reaction in existence of Ca(OH) <sub>2</sub>	Pyrite	Sandstone, Slate, Shale, Andesite, Basalt, Rhyolite, Schist, Diorite, Hornfels	
Reaction with water	MgO	Serpentin, Dolomitic, Limestone	

안정된 것으로 보이는 석영의 결정도 잠정질, 은미정질, 미정질로 불리는 형태로 있는 경우에는 반응성을 나타내며 또한 결정격자가 높은 응력하에서 변형된 상태에 놓이면 반응을 나타내는 것으로 알려져 있다. 알칼리-실리카 반응을 일으키는 반응성 골재란 이러한 반응성 실리카 광물 1종 이상을 함유한 것을 지칭한다고 할 수 있다.

### 3. 시험 및 결과 분석

#### 3.1 시료채취

우리나라에서는 콘크리트용 골재를 생산하는 570여 곳의 석산 중 실제 생산활동을 하는 석산은 238곳이다. 그 중에서 63곳의 시료채취원을 대한지질도(한국동력자원연구소 1981년 발행)에 근거하여 암석의 종류가 다양하게 분포되도록 선정하여 시료를 직접 현장 채취하였다.

Fig.1은 골재채취원을 대략 도식화한 것이다.



Fig. 1 Sampling sites

#### 3.2 화학적 시험(ASTM C 289)

##### 3.2.1 시험과정

###### (1) 시료가공

시료골재들을 소형 crusher로 분쇄한 후 No.50

(0.3mm)체를 통과하고 No.100(0.15mm)체에 남는 시료의 미분을 없애기 위하여 물세척을 하고 다시 재가름하여 입도 조정이 완료된 시료를 준비하였다.

(2) 반응과정

준비된 시료 25g을 1N NaOH 용액으로 24시간 반응시킨 다음 냉각, 여과과정을 거친 후 NaOH 용액에 용출된 용해 실리카량을 측정할 수 있도록 20배 희석시켜서 용기에 담아 보관하였다.

(3) 검정곡선

화학법에서 용해 실리카량을 측정하는 방법은 비중계법과 광도측정법이 있는데 본 시험에서는 분광광도계(UV-Visible Recording Spectro Photometer)를 이용한 광도측정법을 적용하였다.

광도측정법에서는 먼저 실리카 표준용액을 이용하여 실리카 농도와 빛의 전달도를 나타내는 검정곡선과 적용식을 구하여야 한다. 본 실험에서 구한 실리카 농도(C)식은 다음과 같다.

$$C = 40.287 \times ABS + 0.0181 \text{ (ppm)}$$

$$= 0.0167 \times (40.287 \times ABS + 0.0181) \text{ (mmol / l)}$$

여기서, ABS = 빛의 흡수량

Fig.2는 본 시험에서 구한 실리카 농도와 빛의 전달도를 나타내는 검정곡선이다.

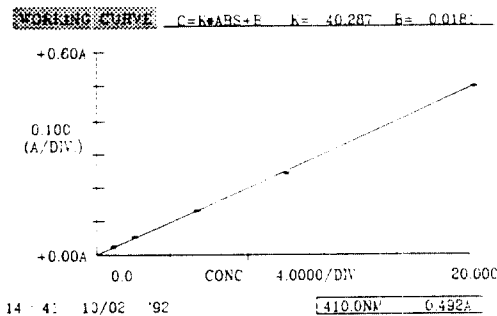


Fig. 2 Calibration curve

(4) 용해 실리카량( $S_c$ ), 알칼리도 감소량( $R_c$ )

Ammonium Molybdate로 발색시킨 시료희석액을 파장 410NM의 상태에서 빛의 전달도를 읽은 다음 검정곡선에 의한 C값을 계산하여 아래의

계산식으로  $S_c$ 와  $R_c$ 를 구하고 페놀프탈레인 지시용액을 희석용액에 투입한 다음 적정시켜서 아래 계산식으로 알칼리도 감소량을 계산한다.

$$S_c = 20 \times (100 / V) \times C$$

$$R_c = (20N / V_1) \times (V_3 - V_2) \times 1000$$

여기서,  $S_c$ = $SiO_2$ 의 농축도 (최초의 여과액 11당 mmol)

$C$ =광도계로 측정된 용액의 실리카 농축도 (mmol / l)

$V$ =사용된 희석용액의 용적 (10ml)

$R_c$ =알칼리도 감소량 (mmol / l)

$N$ =측정에 사용된 염산(HCl)의 농도 (=0.05N)

$V_1$ =사용된 희석용액의 용적 (=20ml)

$V_2$ =시료 희석용액의 페놀프탈레인 종말점을 얻는데 사용된 염산의 용적 (ml)

$V_3$ =NaOH 공시료의 페놀프탈레인 종말점을 얻는데 사용된 염산의 용적 (ml)

3.2.2 시험결과 및 분석

각 시료의  $S_c$ 와  $R_c$ 에 대한 시험결과는 Table 3과 같다.

시험결과의  $S_c$ 와  $R_c$ 의 값을 ASTM C 289의 유해성 판정 기준도표와 비교하여 볼 때(Fig.3 참조) 대부분의 시험골재가 화학적으로 알칼리-골재 반응에 대해 안정한 것으로 나타났으며 1989년에 개정된 JIS A 5308 부속서 7의 '골재의 알칼리-골재 반응 시험방법(화학법)'의 기준 ( $S_c \geq 10$  mmol이고,  $R_c < 700$  mmol 일때  $R_c \leq S_c$ 이면 유해)에 따르면 시험골재 중 충북 중원군 이류면(CN-4), 충북 충주시 목행동(CN-9), 경기도 강화군 불은면(SK-2)의 3곳의 골재가 유해가능성이 있는 것으로 나타났다.

Fig.3은 전체 시료의  $S_c$ 와  $R_c$ 값을 유해성 판정 기준도표에 plotting한 것이다.

### 3.3 광물학적 시험(ASTM C 295)

#### 3.3.1 시험과정

분석대상 골재가 모두 화석골재이며 대부분 1종류 또는 2종류의 암석으로 구성되어 있다. 본 시험에서는 우선 편광현미경을 이용하여 구성광물들 감정 및 정량하였으며 동일 지역의 골재일지라도 구성암석이 여러 종류이면 암석종류 수만큼 현미경 분석용 박편을 제작하였다.

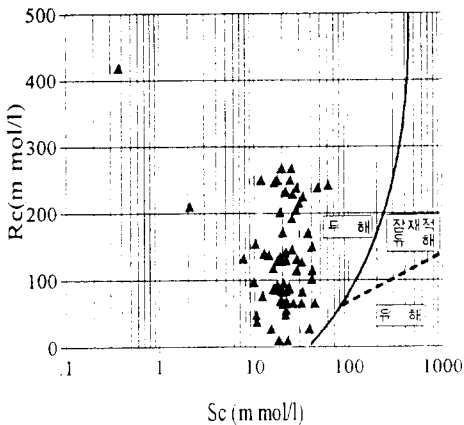


Fig. 3 Illustration of division innocuous and deleterious aggregate on basis of reduction in alkalinity test

Table 3 Results of  $S_c$  and  $R_c$

Sample No.	Dissolved silica( $S_c$ ) (mmol /l)	Reduction in alkalinity( $R_c$ ) (mmol /l)
* Seoul, Kyonggi Do (8)		
SK - 1	16.08	118.1
SK - 2	18.27	10.5
SK - 3	28.82	238.5
SK - 4	12.25	76.5
SK - 5	23.62	90.4
SK - 6	19.87	83.4
SK - 7	18.88	134.4
SK - 8	10.01	97.3
* Kangwon Do (6)		
KW - 1	2.14	210.9
KW - 2	10.62	48.7
KW - 3	16.10	86.9
KW - 4	17.07	85.7
KW - 5	0.38	420.0
KW - 6	12.88	140.0

* Chungcheongbuk Do (9)		
CN - 1	11.98	250.2
CN - 2	32.01	66.0
CN - 3	16.71	246.8
CN - 4	38.37	27.8
CN - 5	26.11	66.0
CN - 6	10.76	38.3
CN - 7	10.53	154.9
CN - 8	20.48	95.5
CN - 9	22.80	10.5

* Chungchengnam Do (14)		
CS - 1	17.70	250.3
CS - 2	20.37	65.0
CS - 3	37.92	170.3
CS - 4	22.06	130.0
CS - 5	17.57	128.6
CS - 6	28.35	114.7
CS - 7	15.29	27.8
CS - 8	22.13	55.6
CS - 9	41.55	150.0
CS - 10	21.99	83.5
CS - 11	14.48	137.5
CS - 12	23.82	86.9
CS - 13	7.78	132.1
CS - 14	19.19	69.5

* Kyongsangbuk Do (10)		
KN - 1	25.51	146.0
KN - 2	21.86	232.9
KN - 3	21.77	141.3
KN - 4	22.03	69.6
KN - 5	26.09	229.4
KN - 6	24.43	250.2
KN - 7	30.38	215.5
KN - 8	23.66	86.9
KN - 9	19.05	201.6
KN - 10	28.29	205.1

* Kyongsangnam Do (10)		
KS - 1	41.25	102.0
KS - 2	25.55	192.3
KS - 3	32.59	83.4
KS - 4	44.28	66.0
KS - 5	47.75	238.3
KS - 6	32.23	127.4
KS - 7	25.28	276.6
KS - 8	19.78	128.5
KS - 9	20.32	171.5
KS - 10	19.78	267.6

* Chunla Do (6)		
JL - 1	21.90	48.7
JL - 2	17.59	92.5
JL - 3	33.36	225.0
JL - 4	28.53	131.7
JL - 5	62.33	242.5
JL - 6	41.83	115.0

Table 4 Types of sampling aggregates

Sample No.	Type	Sample No.	Type
SK-1	Granodiorite	CS 1	Granite
2	Granodiorite	2	Biotite Schist
3	Syenite	3	Acidic Dyke
4	Basic dyke	4	Granodiorite
5	Granodiorite	5	Biotite Schist
6	Quartz Dioride	6	Granodiorite
7	Granodiorite	7	Granodiorite
8	Granodiorite	8	Acidic Dyke
KW 1	Carbonate Rock	9	Shale
2	Carbonate Rock	10 a	Biotite Granite
3	Granodiorite	10 b	Sandstone
4	Quartz Monzonite	11	Granodiorite
5	Carbonate Rock	12	Acidic Dyke
6	Granite	13	Quartz Granite
		14	Granodiorite
CN 1	Acidic Dyke	JL-1	Quartz Granite
2	Granodiorite	2	Granite
3	Greiss	3	Acidic Dyke
4	Syenite	4 a	Diorite
5	Syenite	4 b	Quartz Diorite
6	Granodiorite	5	Quartz Diorite
7	Granodiorite	6	Acidic Dyke
8	Granite		
9	Acidic Dyke		
KN 1	Granite	KS 1	Quartz Diorite
2	Biotite Granite	2	Basic Dyke
3	Granodiorite	3	Granodiorite
4	Granite	4	Quartz Diorite
5	Granodiorite	5	Quartz Diorite
6	Quartz Granodiorite	6	Quartz Granite
7	Syenite	7	Quartz Granodiorite
8	Granite	8 a	Granodiorite
9	Granodiorite	8-b	Granite
10	Diorite	9	Granodiorite
		10	Quartz Diorite

구성광물질의 정량은 point count법을 적용하였고 엄밀한 측정치를 구하기 위해 앞서 단사적인 구성비를 얻고자 하였다.

### 3.3.2 시험결과 및 분석

시료광체의 암석명 분류는 Table 4와 같으며 편광현미경 박편을 이용하여 Modal 분석한 구성광물의 분포는 Table 5와 같다.

광물학적 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 유해광물로서 일본의 경우 흔히 나타나는 광물인 Tridymite와 Cristobalite는 국내에서는 잘 나타나지 않았으며 이 광물이 석기에 포함될 수도 있는데 이는 X-Ray 회절분석, EPMA 분석을 통하여 심층 시험을 해야 할 것으로 판단된다.

(2) 일반적으로 유해하다고 볼 수 있는 광물 성분은 미립운모, 백운모, 흑운모, 파동소광석영, 점토 등을 들 수 있는데, 분석한 골재시료에서 이들을 포함한 것이 상당수 있었다. 그러나 이들 성분을 함유한 골재시료가 모두 콘크리트내에서 유해성이 있는지에 대해서는 국내의 경우 확실하지 않다.

(3) 화학법에서 JIS기준으로 유해가능성이 있다고 여겨지는 3곳의 시료골재는 공통적으로 백운모를 포함한 것으로 나타났으며 지역적으로 반응성 골재를 포함할 가능성이 많은 남부 지방의 골재에서 석기성분이 다량 함유되어 있는 공통점이 있었다.

## 3.4 Mortar-Bar 시험 (ASTM C 227)

### 3.4.1 시험과정

#### (1) 골재가공

골재는 분쇄과정을 통하여 No.4~No.100 사이의 5단계 입도 분포별로 정해진 무게 백분율로 조정하였다.

#### (2) 시멘트

알칼리-실리카 반응에 관련되는 시멘트 중의 성분은 주로  $K_2O$ 와  $Na_2O$ 의 알칼리 성분이며 본 실험에 사용된 시멘트의  $K_2O$ 량은 1.39%,  $Na_2O$ 량은 0.08%로써 등가알칼리량( $0.658 K_2O + Na_2O$ )으로 환산하면 0.99%이다.

국내에서 생산되는 시멘트의 평균 등가알칼리량은 0.77%로서 시험기준인 0.6% 이상에 만족하며 최대등가알칼리량은 1.2% 미만이므로 실제 사용환경에 근접한 1.2%를 시험 등가알칼리량으로 정했다. 1.2% 등가알칼리량을 맞추는 방법으로 0.21%에 해당하는 NaOH를 첨가하여 조정하였다.

#### (3) 시험체 제작 및 보관

시험체의 제작은 ASTM C 227의 기준에 준하여 제작하였으며  $37.8 \pm 1.7^\circ C$ , 상대습도 95% 이상

Table 5 Modal analysis of samples

Sample No.	ground mass	micro mica	muscov-ite	undulate	calcite	quartz	plagio-clase	ortho-clase	horn blende	pyr-oxene	biotite	chlorite	clay mineral	opaque mineral	spine	apatite	epidote	chert	frayment	Total
SK-1		5		16		11	31	34			5									102
SK-2			1			42	32	28				13								116
SK-3	47	20					41								1					109
SK-4					1		1	2	84					24			1			113
SK-5a				16		23	12	22			2									75
SK-5b		6		2		34	13	50			8	1								114
SK-6		3		2		22	52	3			3	7								92
SK-7						37	39	27				1								104
SK-8		2		3		31	49	7				9			1					102
KW-1						100														100
KW-2						100														100
KW-3		45		10	2	49	22	37	1		1	24								191
KW-4		4	2			31	41	11			10	3			1					103
KW-5						100														100
KW-6		13	4			36	15	51			1	1								121
CN-1		50		8		30						2			2					92
CN-2	60				1	13	5	10			3	2								94
CN-3	10	30				51	3	1			4								3	102
CN-4			30			69													1	100
CN-5		1		1		8	11	70			2									93
CN-6						14	15	11			1	8								49
CN-7				1		28	34	23	3		16									105
CN-8						39	18				9									66
CN-9			25			54						20			1					100
CS-1		1		22		40	7	46												116
CS-2		9		81			11					8								109
CS-3	22	17		40		38													14	131
CS-4		3		35			26	45			2	1								112
CS-5		14		40			14	32			5									105
CS-6		3		38			27	31				1								100
CS-7		5		7		13	30	37			10	5								107
CS-8	26	17		12		29									2					101
CS-9		12				61							28						15	101
CS-10a		6		30		13	28	31												108
CS-10b	14	10		28		39	1								3				8	103
CS-11				19		12	30	36			10									107
CS-12		31				70														101
CS-13		11	1	11	6	54	13	19				2			1	2				120
CS-14		3		9		32	25	30				6								105
KN-1		1		24		22	13	53												113
KN-2				1		25	17	53			1				1					98
KN-3				11		12	45	21			8	2								99
KN-4		39	1	6		33	13	40	1			9				1				143
KN-5		6	3	15	28	19	15	24							1				8	119
KN-6a		17	1	20	16	32	8	2				4							3	103
KN-6b	65		1	12		6	3	1							12					107
KN-7	117	6					10				1				1				7	138
KN-8		70				19	11	21	7			15								143
KN-9		39	1			17	23	11				13			1	2				110
KN-10	105		1				1													107
KS-1	79	4				13	13													109
KS-2	100																			100
KS-3				2		31	10	15							7					65
KS-4	180					23	15								2					220
KS-6	39		2	21		18	13	11				3			2					109
KS-7a	40	3		16		8	7	3				8			1				27	113
KS-7b	117	6					10				1				1				3	138
KS-8a		43		15	1		17	19		5	5	22				1				128
KS-8b		1		11		24	24	58				3								121
KS-9		14		14		7	26	40			2	23			3					129
KS-10	94		1			2	7				1									105
JL-1	11		2	27		43	2	12			4	1								102
JL-2			1	10		36	8	96				16								167
JL-3			3	23		85	4	6			7									137
JL-4a		19			4	2	218								9					245
JL-4b	253					28	49								2					382
JL-5	360	55				24	13													452
JL-6	241				14	12														280

을 유지할 수 있는 항온항습기에 보관하였으며 측정온도는  $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$ , 상대습도 50% 이상을 유지하는 항온항습실에서 측정하였다.

### 3.4.2 시험결과 및 분석

화학법에서 JIS 기준으로 잠재적 반응 가능성이 있는 시료와 광물학적 분석에서 일반적으로 유해광물로 알려진 성분들을 1종 이상 포함하는 시료 30개에 대하여 Mortar-Bar 시험을 수행한 결과 1.2%의 등가 알칼리량의 조건에서 3개월에 0.05%, 6개월에 0.1% 이상의 길이 팽창율을 나타내는 시료는 없었다.

Fig.4는 30개의 시료중에서 상대적으로 길이 변화율이 큰 시료골재 5개에 대하여 6개월 간의 측정 결과를 도식화 한 것이다.

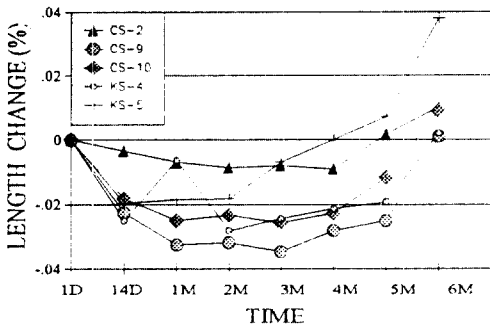


Fig. 4 Results of Mortar-Bar Test

## 4. 결 론

국내 쇄석골재에 대한 알칼리-실리카 반응에 대한 골재의 유해가능성을 연구하기 위하여 제주도를 제외한 전국에서 골고루 분포 채취한 63곳의 쇄석골재에 대하여 화학법, 광물학적 분석, Mortar-Bar법의 3가지 시험을 실시한 결과는 다음과 같다.

(1) ASTM C 289의 화학법을 기준으로 시험한 결과 모든 시험골재가 무해한 것으로 나타났으나 판정기준으로 JIS A 5308 부속서 7을 적용할 경우 경기 강화 불은, 충북 중원 이류, 충북 충주 목행 3곳의 시료골재가 유해가능성이 있는 것으로

나타났다.

(2) 광물학적 시험 분석의 연구결과 일반적으로 지적하고 있는 유해 광물성분이 시료골재에 여러 종 포함되어 있으며 편광현미경으로 분석이 어려운 미립질의 유해광물이 남부지방 골재에 다량 함유된 석기에 포함되어 있을 수 있으므로 광물학적 분석측면에서는 유해성이 상존하고 있다고 할 수 있다.

(3) 화학법과 광물학적 분석에 의해서 다소 유해가능성이 있는 골재를 포함한 30개의 시료골재에 대하여 Mortar-Bar 시험을 수행한 결과 유해기준치 이상의 팽창을 나타내는 시료는 없었다.

이상의 시험결과를 분석하면 본 연구 범위내에서 시험한 쇄석 시료골재에 한해서 반응성 골재는 발견되지 않았지만 화학반응에 대하여 안전지대라고 단언할 수는 없다. 골재의 수급사정이 좋지 않은 시기에 만든 콘크리트내에서 골재의 화학반응으로 인한 피해가 심각했던 일본의 경우를 볼 때, 골재의 수급사정이 악화되고 있는 우리나라의 경우에도 골재의 화학반응으로 인한 피해를 방지하기 위하여 더욱 깊은 연구가 필요한 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. 김무한, 정지곤, "콘크리트 골재용 암석의 알칼리-골재 반응에 관한 연구", 한국광물학회지 제3권 제1호, 1990, pp.18~33.
2. Roberta A. Storer(Eds.), ASTM C 295, Standard Practice for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete, Annual Book of ASTM Standards Section, Vol.04.02 (Concrete and Aggregates), Easton, 1990.
3. 丸章夫, "骨材品質にかかわる 耐久性の診断手法-岩石 礦物學的手法-", 콘크리트工学, Vol. 26, No. 7, July 1988, pp.40~48.
4. 윤재환, "알칼리 골재반응에 의한 콘크리트 이상 팽창", 레미콘 통권 제8호, 1986. 6, pp.9~22.
5. 현석훈, "국내석산골재의 알칼리반응 조사", 제 4 회 시멘트기술세미나논문집, 통권 제4호, 1984, pp.55~62.
6. 김해인, 이상화, 심재황, 임명혁, "알칼리 골재반응성에 관한 광물학적 분석", 한국콘크리트학회



- 1989년도 가을학술 발표회 논문집, 1989. 11, 1~4.
7. “국내 콘크리트 구조물의 내구성 평가를 위한 조사 연구”, 한국건설기술연구원, 1989, pp.145~152.
  8. 노재호, 이양수, 정재동, “국내쇄석골재의 알칼리 실리카반응성 판정에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 1991년도 봄학술 발표회 논문집, 1991, pp.93~98.
  9. 川村滿紀, “알칼리골재反應의機構, 알칼리골재反應에關するシンポジウム”, 日本材料學會, 1985. 7, pp.3~28.
  10. H.E. Vivian, “The Effect of Amount of added Alkalies on Mortar Expansion”, CSIRO Bull. NO.256, 1950, pp.31~47.
  11. 中野錦一, “알칼리골재反應의試驗方法, 세멘트콘크리트”, No.475, Sep. 1986, pp.26~34.
  12. Gratten-Bellew, P.E., “Evaluation of Miniature Rock Prism Test for Determining the Potential Alkali-Expansivity of Aggregates”, Cement and Concrete Research, Vol. 11, No. 5/6, 1981, pp. 669-711.

(접수일자 : 1994. 12. 31)

# 국내 쇄석골재의 화학반응성 연구

## A Study on the Chemical Reaction of Crushed Aggregates

이장화\*

김성욱\*\*

Lee, Jang Hwa Kim, Sung Wook

---

### 요 약

근래 양질의 하천골재가 거의 고갈상태에 직면함에 따라 쇄석골재의 사용이 보편화되고 있는 우리나라의 실정에 비추어 볼 때 골재의 화학반응에 대한 연구의 필요성이 점차 증대되고 있다. 본 연구에서는 우리나라에서 실제 쇄석골재를 생산하는 238곳 중 63곳의 시료골재를 채취하여 화학적, 광물학적, 모르타 바 분석시험을 실시하여 골재의 화학반응성을 규명하였다.

분석시험 결과 대부분의 시료골재가 화학반응성을 나타내지 않았으나 광물학적 분석에서 유해광물로 알려진 성분들이 여러 시료골재에 포함되어 있었다. 따라서 해사의 사용 등 점차 화학반응 환경이 궁존하게 되면 골재의 화학반응이 일어날 가능성이 커지므로 계속적이고 심도있는 연구가 요구되고 있다.

### ABSTRACT

In Korea, due to the short comings of natural aggregate and increasing needs of crushed stones, it is necessary to examine the alkali-aggregate reaction of the crushed stone.

In this research, crushed stones from 63 local sites are collected and tested by Chemical method (ASTM C 289), Petrographic examination (ASTM C 295) and Mortar-Bar method (ASTM C 227).

Test results show that most of samples didn't show any reaction. The careful examinations should be continued because many samples contain common deleterious minerals and possibility of chemical reaction will be increased by the use of seasand.

**Keywords :** alkali-aggregate reaction, reactive minerals, crushed aggregates.

---

\* 정희원, 한국건설기술연구원 수석연구원

\*\* 정희원, 한국건설기술연구원 연구원

• 본 논문에 대한 토의를 1995년 4월 30일까지 보내주시면 1995년 6월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

1940년 T.E Stanton에 의해서 알칼리-골재 반응이 최초로 보고된 이후 미국을 비롯하여 유럽과 일본 등지에서 알칼리-골재 반응에 의한 콘크리트 구조물의 열화손상이 꾸준히 발견되었다. 국내에서도 알칼리-골재 반응과 건조수축, 동결융해 작용의 복합적인 원인으로 추측되는 대전 근교의 콘크리트 구조물의 열화손상이 보고된 바 있다.<sup>1)</sup>

최근 다목적댐 건설로 수리시설이 정비되고, 하천 유지관리, 상수원 및 절대농지 확보, 개발제한 등으로 인하여 하천골재 채취가 곤란해지고 대부분의 부존량을 개발·이용하므로써 양질의 하천골재는 점차 고갈상태에 직면해 가고 있다. 이에 따라서 우리나라에서는 채석골재가 물리적인 소요 품질에 대해서만 고려되고 화학반응성 문제는 검토되지 않은 채로 콘크리트 골재로서 사용이 보편화되어 있는 실정이다.

대부분의 자연산 하천골재는 수많은 세월동안 물과 태양 및 대기에 직접 노출되어 골재내부의 불안정한 광물이나 화학적반응을 일으키는 물질 등이 대부분 용해되어 비교적 안정상태가 된다. 반면에 물과 태양과 대기에 직접 노출되지 않고 깊숙히 매장되어 있는 암석을 분쇄한 채석골재는 상대적으로 화학반응에 영향을 미칠 수 있는 물질들이 함유될 가능성이 높으며 지금까지 발생한 알칼리-골재 반응에 의한 콘크리트 구조물의 피해사례는 주로 불안정한 광물질을 포함한 채석골재를 사용한 경우이다.

본 연구에서는 국내에서 콘크리트용 골재를 실제로 생산하는 238곳 중에서 63곳의 채석골재를 채취하여 화학적, 광물학적, 모르타르 바 분석시험을 수행하여 골재의 유해 가능성을 분석하였다.

## 2. 알칼리 및 반응성 광물

### 2.1 알칼리

알칼리-골재 반응에 직접 관계하는 콘크리트 중의 알칼리는 세공용액 중의 알칼리로 판단되고 있다. 콘크리트 세공용액 중의 알칼리로는 시멘트,

골재, 광물질혼화제, 화학혼화제와 같이 콘크리트용 재료로부터 내부적으로 공급되는 것과 콘크리트 구조물이 완성된 후 해사와 세설염 등과 접촉하여 외부적으로 공급되는 것도 있다. 이 중에서 콘크리트 알칼리 성분의 대부분은 시멘트 원료용 점토에 포함된 알칼리 함유광물인 정장석( $K_2Al_2Si_2O_8$ )과 조장석( $NaAlSi_3O_8$ )으로부터 도입된다.

알칼리 화합물은 물에 쉽게 녹는 황산알칼리( $Na_2SO_4$ ,  $K_2SO_4$ )와 물에 쉽게 녹지 않는 고용의 광물상태로 존재하며 시멘트 내의 전 알칼리량 보다는 활성 알칼리량이 골재와의 반응성에 더욱 밀접한 관계를 가진다. 일반적으로 시멘트 등의 알칼리량은 Na와 K를 합한 “등가  $Na_2O$ 량”으로 표시한다.

### 2.2 반응성 광물 및 암석

콘크리트내에서 유해한 화학반응을 일으키는 암석과 이를 구성하고 있는 광물은 대단히 다종다양하며 이러한 반응성 암석·광물이 콘크리트내에서 유해한 반응을 일으키는지의 여부는 여러가지 영향요인에 따라 결정된다. 콘크리트내에서 유해한 화학반응을 일으키는 반응성 광물에 대해 미국과 일본에서 분류하고 있는 것을 요약 정리하면 Table 1 및 Table 2와 같다.

Table 1과 Table 2에 나타나 있는 암석들은 반응성 광물을 포함할 가능성이 높은 것을 의미하며 이 반응성 광물의 특징은 모두 미립이거나 미립광물로 구성된 암석이라는 점이다. 알칼리-골재 반응을 일으키는 대표적인 광물은 실리카( $SiO_2$ )로서 대기조건하에서는 극히 안정된 물질이지만 pH가 높은 강알칼리 조건하에서는 어떤 형태의 결정형이나 상(Phase)의 형태를 가지며 알칼리 급속과 반응하여 알칼리-실리케이트 겔을 생성한다. 실제로 상온의 대기압에서 존재하는 실리카상(Phase)은 석영, Tridymite, Cristobalite 및 비정질 실리카의 4종이다. 이중 상온 대기압에서 안정된 상태는 석영 뿐이고 다른 3가지는 모두 불안정한 상태로서 상온 대기압에서 자국이 가해지면 화학반응을 일으키는 잠재력을 가지고 있다. 또한

**Table 1 Reactive mineral and rock<sup>(2)</sup>**  
(ASTM C 295, U. S. A)

Type of Reaction	Reactive mineral and rock
Alkali-Silica Reaction	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opal</li> <li>• Cristobalite</li> <li>• Tridymite</li> <li>• Siliceous and some intermediate Volcanic glass</li> <li>• Chert</li> <li>• Glassy to cryptocrystalline acid Volcanic rocks</li> <li>• Synthetic Siliceous glasses</li> <li>• Some argillites</li> <li>• Metamorphic greywackes</li> <li>• Rocks containing highly metamorphic quartz such as greywackes</li> <li>• Phyllites</li> <li>• Schists</li> <li>• Gneisses</li> <li>• Gneissic granites</li> <li>• Vein quartz</li> <li>• Quartzite</li> <li>• Sandstone</li> </ul>
Alkali-Carbonate Reaction	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcareous dolomites or dolomitic limestones with clayed insoluble residues</li> </ul>

**Table 2 Chemical reactive rock in concrete<sup>(3)</sup>**

Type of Reaction	Reactive constituent	Rock containing reactive mineral	
Reaction of Cement or Cement constituent	Alkali aggregate reaction	Glass	Andesite, Basalt, Rhyolite, Obsidian, Perlite, Obsidian Tuff, etc.
		Cristobalite Tridymite	Andesite, Basalt, Rhyolite, Obsidian Tuff, etc.
		Micro Quartz	Slate, Shale, Rhyolite, Sandstone, etc.
		Micro Mica	Hornfelse, Schist, Phyllite, Slate, Shale, Sandstone, etc.
		Undulate Extinction Quartz	Gneiss, Schist, Chert, Granite, Diorite, etc.
Reaction except alkali-aggregate reaction	Laumontite	Andesite, Rhyolite, Basalt, Obsidian Tuff, Diorite, Sandstone, Slate, Shale, Hornblendite, Schist, etc.	
		Montmorillonite	Basalt, Andesite, Rhyolite, Obsidian Tuff, Sandstone, Slate, Shale
Deleterious reaction in existence of Ca(OH) <sub>2</sub>	Pyrite	Sandstone, Slate, Shale, Andesite, Basalt, Rhyolite, Schist, Diorite, Hornfelse	
Reaction with water	MgO	Serpentin, Dolomitic, Limestone	

안정된 것으로 보이는 석영의 결정도 잠정질, 은미정질, 미정질로 불리는 형태로 있는 경우에는 반응성을 나타내며 또한 결정격자가 높은 응력하에서 변형된 상태에 놓이면 반응을 나타내는 것으로 알려져 있다. 알칼리-실리카 반응을 일으키는 반응성 골재란 이러한 반응성 실리카 광물 1종 이상을 함유한 것을 지칭한다고 할 수 있다.

### 3. 시험 및 결과 분석

#### 3.1 시료채취

우리나라에서는 콘크리트용 골재를 생산하는 570여 곳의 석산 중 실제 생산활동을 하는 석산은 238곳이다. 그 중에서 63곳의 시료채취원을 대한지질도(한국동력자원연구소 1981년 발행)에 근거하여 암석의 종류가 다양하게 분포되도록 선정하여 시료를 직접 현장 채취하였다.

Fig.1은 골재채취원을 대략 도식화한 것이다.



Fig. 1 Sampling sites

#### 3.2 화학적 시험(ASTM C 289)

##### 3.2.1 시험과정

###### (1) 시료가공

시료골재들을 소형 crusher로 분쇄한 후 No.50

(0.3mm)체를 통과하고 No.100(0.15mm)체에 남는 시료의 미분을 없애기 위하여 물세척을 하고 다시 재가름하여 입도 조정이 완료된 시료를 준비하였다.

(2) 반응과정

준비된 시료 25g을 1N NaOH 용액으로 24시간 반응시킨 다음 냉각, 여과과정을 거친 후 NaOH 용액에 용출된 용해 실리카량을 측정할 수 있도록 20배 희석시켜서 용기에 담아 보관하였다.

(3) 검정곡선

화학법에서 용해 실리카량을 측정하는 방법은 비중계법과 광도측정법이 있는데 본 시험에서는 분광광도계(UV-Visible Recording Spectro Photometer)를 이용한 광도측정법을 적용하였다.

광도측정법에서는 먼저 실리카 표준용액을 이용하여 실리카 농도와 빛의 전달도를 나타내는 검정곡선과 적용식을 구하여야 한다. 본 실험에서 구한 실리카 농도(C)식은 다음과 같다.

$$C = 40.287 \times ABS + 0.0181 \text{ (ppm)}$$

$$= 0.0167 \times (40.287 \times ABS + 0.0181) \text{ (mmol / l)}$$

여기서, ABS = 빛의 흡수량

Fig.2는 본 시험에서 구한 실리카 농도와 빛의 전달도를 나타내는 검정곡선이다.

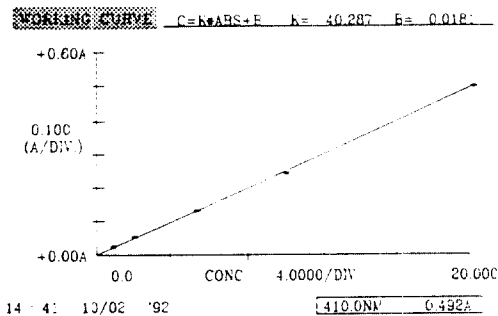


Fig. 2 Calibration curve

(4) 용해 실리카량( $S_c$ ), 알칼리도 감소량( $R_c$ )

Ammonium Molybdate로 발색시킨 시료희석액을 파장 410NM의 상태에서 빛의 전달도를 읽은 다음 검정곡선에 의한 C값을 계산하여 아래의

계산식으로  $S_c$ 와  $R_c$ 를 구하고 페놀프탈레인 지시용액을 희석용액에 투입한 다음 적정시켜서 아래 계산식으로 알칼리도 감소량을 계산한다.

$$S_c = 20 \times (100 / V) \times C$$

$$R_c = (20N / V_1) \times (V_3 - V_2) \times 1000$$

여기서,  $S_c$ = $SiO_2$ 의 농축도 (최초의 여과액 11당 mmol)

$C$ =광도계로 측정된 용액의 실리카 농축도 (mmol / l)

$V$ =사용된 희석용액의 용적 (10ml)

$R_c$ =알칼리도 감소량 (mmol / l)

$N$ =측정에 사용된 염산(HCl)의 농도 (=0.05N)

$V_1$ =사용된 희석용액의 용적 (=20ml)

$V_2$ =시료 희석용액의 페놀프탈레인 종말점을 얻는데 사용된 염산의 용적 (ml)

$V_3$ =NaOH 공시료의 페놀프탈레인 종말점을 얻는데 사용된 염산의 용적 (ml)

3.2.2 시험결과 및 분석

각 시료의  $S_c$ 와  $R_c$ 에 대한 시험결과는 Table 3과 같다.

시험결과의  $S_c$ 와  $R_c$ 의 값을 ASTM C 289의 유해성 판정 기준도표와 비교하여 볼 때(Fig.3 참조) 대부분의 시험골재가 화학적으로 알칼리-골재 반응에 대해 안정한 것으로 나타났으며 1989년에 개정된 JIS A 5308 부속서 7의 '골재의 알칼리-골재 반응 시험방법(화학법)'의 기준 ( $S_c \geq 10$  mmol이고,  $R_c < 700$  mmol 일때  $R_c \leq S_c$ 이면 유해)에 따르면 시험골재 중 충북 중원군 이류면(CN-4), 충북 충주시 목행동(CN-9), 경기도 강화군 불은면(SK-2)의 3곳의 골재가 유해가능성이 있는 것으로 나타났다.

Fig.3은 전체 시료의  $S_c$ 와  $R_c$ 값을 유해성 판정 기준도표에 plotting한 것이다.

### 3.3 광물학적 시험(ASTM C 295)

#### 3.3.1 시험과정

분석대상 골재가 모두 화석골재이며 대부분 1종류 또는 2종류의 암석으로 구성되어 있다. 본 시험에서는 우선 편광현미경을 이용하여 구성광물들 감정 및 정량하였으며 동일 지역의 골재일지라도 구성암석이 여러 종류이면 암석종류 수만큼 현미경 분석용 박편을 제작하였다.

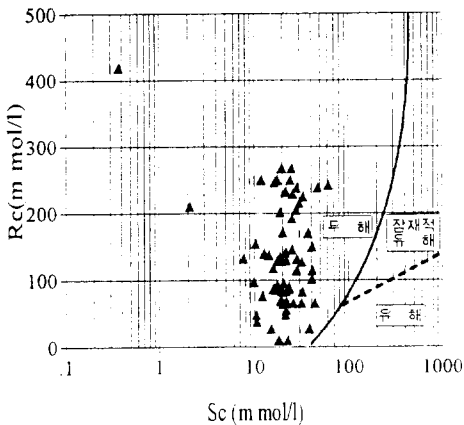


Fig. 3 Illustration of division innocuous and deleterious aggregate on basis of reduction in alkalinity test

Table 3 Results of  $S_c$  and  $R_c$

Sample No.	Dissolved silica( $S_c$ ) (mmol /l)	Reduction in alkalinity( $R_c$ ) (mmol /l)
* Seoul, Kyonggi Do (8)		
SK - 1	16.08	118.1
SK - 2	18.27	10.5
SK - 3	28.82	238.5
SK - 4	12.25	76.5
SK - 5	23.62	90.4
SK - 6	19.87	83.4
SK - 7	18.88	134.4
SK - 8	10.01	97.3
* Kangwon Do (6)		
KW - 1	2.14	210.9
KW - 2	10.62	48.7
KW - 3	16.10	86.9
KW - 4	17.07	85.7
KW - 5	0.38	420.0
KW - 6	12.88	140.0

* Chungcheongbuk Do (9)		
CN - 1	11.98	250.2
CN - 2	32.01	66.0
CN - 3	16.71	246.8
CN - 4	38.37	27.8
CN - 5	26.11	66.0
CN - 6	10.76	38.3
CN - 7	10.53	154.9
CN - 8	20.48	95.5
CN - 9	22.80	10.5

* Chungchengnam Do (14)		
CS - 1	17.70	250.3
CS - 2	20.37	65.0
CS - 3	37.92	170.3
CS - 4	22.06	130.0
CS - 5	17.57	128.6
CS - 6	28.35	114.7
CS - 7	15.29	27.8
CS - 8	22.13	55.6
CS - 9	41.55	150.0
CS - 10	21.99	83.5
CS - 11	14.48	137.5
CS - 12	23.82	86.9
CS - 13	7.78	132.1
CS - 14	19.19	69.5

* Kyongsangbuk Do (10)		
KN - 1	25.51	146.0
KN - 2	21.86	232.9
KN - 3	21.77	141.3
KN - 4	22.03	69.6
KN - 5	26.09	229.4
KN - 6	24.43	250.2
KN - 7	30.38	215.5
KN - 8	23.66	86.9
KN - 9	19.05	201.6
KN - 10	28.29	205.1

* Kyongsangnam Do (10)		
KS - 1	41.25	102.0
KS - 2	25.55	192.3
KS - 3	32.59	83.4
KS - 4	44.28	66.0
KS - 5	47.75	238.3
KS - 6	32.23	127.4
KS - 7	25.28	276.6
KS - 8	19.78	128.5
KS - 9	20.32	171.5
KS - 10	19.78	267.6

* Chunla Do (6)		
JL - 1	21.90	48.7
JL - 2	17.59	92.5
JL - 3	33.36	225.0
JL - 4	28.53	131.7
JL - 5	62.33	242.5
JL - 6	41.83	115.0

Table 4 Types of sampling aggregates

Sample No.	Type	Sample No.	Type
SK-1	Granodiorite	CS 1	Granite
2	Granodiorite	2	Biotite Schist
3	Syenite	3	Acidic Dyke
4	Basic dyke	4	Granodiorite
5	Granodiorite	5	Biotite Schist
6	Quartz Dioride	6	Granodiorite
7	Granodiorite	7	Granodiorite
8	Granodiorite	8	Acidic Dyke
KW 1	Carbonate Rock	9	Shale
2	Carbonate Rock	10 a	Biotite Granite
3	Granodiorite	10 b	Sandstone
4	Quartz Monzonite	11	Granodiorite
5	Carbonate Rock	12	Acidic Dyke
6	Granite	13	Quartz Granite
		14	Granodiorite
CN 1	Acidic Dyke	JL-1	Quartz Granite
2	Granodiorite	2	Granite
3	Greiss	3	Acidic Dyke
4	Syenite	4 a	Diorite
5	Syenite	4 b	Quartz Diorite
6	Granodiorite	5	Quartz Diorite
7	Granodiorite	6	Acidic Dyke
8	Granite		
9	Acidic Dyke		
KN 1	Granite	KS 1	Quartz Diorite
2	Biotite Granite	2	Basic Dyke
3	Granodiorite	3	Granodiorite
4	Granite	4	Quartz Diorite
5	Granodiorite	5	Quartz Diorite
6	Quartz Granodiorite	6	Quartz Granite
7	Syenite	7	Quartz Granodiorite
8	Granite	8 a	Granodiorite
9	Granodiorite	8-b	Granite
10	Diorite	9	Granodiorite
		10	Quartz Diorite

구성광물질의 정량은 point count법을 적용하였고 엄밀한 측정치를 구하기 위해 앞서 단사적인 구성비를 얻고자 하였다.

### 3.3.2 시험결과 및 분석

시료광체의 암석명 분류는 Table 4와 같으며 편광현미경 박편을 이용하여 Modal 분석한 구성광물의 분포는 Table 5와 같다.

광물학적 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 유해광물로서 일본의 경우 흔히 나타나는 광물인 Tridymite와 Cristobalite는 국내에서는 잘 나타나지 않았으며 이 광물이 석기에 포함될 수도 있는데 이는 X-Ray 회절분석, EPMA 분석을 통하여 심층 시험을 해야 할 것으로 판단된다.

(2) 일반적으로 유해하다고 볼 수 있는 광물 성분은 미립운모, 백운모, 흑운모, 파동소광석영, 점토 등을 들 수 있는데, 분석한 골재시료에서 이들을 포함한 것이 상당수 있었다. 그러나 이들 성분을 함유한 골재시료가 모두 콘크리트내에서 유해성이 있는지에 대해서는 국내의 경우 확실하지 않다.

(3) 화학법에서 JIS기준으로 유해가능성이 있다고 여겨지는 3곳의 시료골재는 공통적으로 백운모를 포함한 것으로 나타났으며 지역적으로 반응성 골재를 포함할 가능성이 많은 남부 지방의 골재에서 석기성분이 다량 함유되어 있는 공통점이 있었다.

## 3.4 Mortar-Bar 시험 (ASTM C 227)

### 3.4.1 시험과정

#### (1) 골재가공

골재는 분쇄과정을 통하여 No.4~No.100 사이의 5단계 입도 분포별로 정해진 무게 백분율로 조정하였다.

#### (2) 시멘트

알칼리-실리카 반응에 관련되는 시멘트 중의 성분은 주로  $K_2O$ 와  $Na_2O$ 의 알칼리 성분이며 본 실험에 사용된 시멘트의  $K_2O$ 량은 1.39%,  $Na_2O$ 량은 0.08%로써 등가알칼리량( $0.658 K_2O + Na_2O$ )으로 환산하면 0.99%이다.

국내에서 생산되는 시멘트의 평균 등가알칼리량은 0.77%로서 시험기준인 0.6% 이상에 만족하며 최대등가알칼리량은 1.2% 미만이므로 실제 사용환경에 근접한 1.2%를 시험 등가알칼리량으로 정했다. 1.2% 등가알칼리량을 맞추는 방법으로 0.21%에 해당하는 NaOH를 첨가하여 조정하였다.

#### (3) 시험체 제작 및 보관

시험체의 제작은 ASTM C 227의 기준에 준하여 제작하였으며  $37.8 \pm 1.7^\circ C$ , 상대습도 95% 이상

Table 5 Modal analysis of samples

Sample No.	ground mass	micro mica	muscov-ite	undulate	calcite	quartz	plagio-clase	ortho-clase	horn blende	pyr-oxene	biotite	chlorite	clay mineral	opaque mineral	spine	apatite	epidote	chert	frayment	Total
SK-1		5		16		11	31	34			5									102
SK-2			1			42	32	28			13									116
SK-3	47	20					41								1					109
SK-4					1		1	2	84						24		1			113
SK-5a				16		23	12	22			2									75
SK-5b		6		2		34	13	50			8	1								114
SK-6		3		2		22	52	3			3	7								92
SK-7						37	39	27				1								104
SK-8		2		3		31	49	7				9			1					102
KW-1						100														100
KW-2						100														100
KW-3		45		10	2	49	22	37	1		1	24								191
KW-4		4	2			31	41	11			10	3			1					103
KW-5						100														100
KW-6		13	4			36	15	51			1	1								121
CN-1		50		8		30						2			2					92
CN-2	60				1	13	5	10			3	2								94
CN-3	10	30				51	3	1			4								3	102
CN-4			30			69													1	100
CN-5		1		1		8	11	70			2									93
CN-6						14	15	11			1	8								49
CN-7				1		28	34	23	3		16									105
CN-8						39	18				9									66
CN-9			25			54						20			1					100
CS-1		1		22		40	7	46												116
CS-2		9		81			11				8									109
CS-3	22	17		40		38													14	131
CS-4		3		35			26	45			2	1								112
CS-5		14		40			14	32			5									105
CS-6		3		38			27	31				1								100
CS-7		5		7		13	30	37			10	5								107
CS-8	26	17		12		29									2				15	101
CS-9		12				61							28							101
CS-10a		6		30		13	28	31												108
CS-10b	14	10		28		39	1								3				8	103
CS-11				19		12	30	36			10									107
CS-12		31				70														101
CS-13		11	1	11	6	54	13	19				2			1	2				120
CS-14		3		9		32	25	30				6								105
KN-1		1		24		22	13	53												113
KN-2				1		25	17	53			1				1					98
KN-3				11		12	45	21			8	2								99
KN-4		39	1	6		33	13	40	1			9				1				143
KN-5		6	3	15	28	19	15	24							1				8	119
KN-6a		17	1	20	16	32	8	2				4							3	103
KN-6b	65		1	12		6	3	1							12					107
KN-7	117	6					10				1				1				7	138
KN-8		70				19	11	21	7			15								143
KN-9		39	1			17	23	11				13			1	2				110
KN-10	105		1				1													107
KS-1	79	4				13	13													109
KS-2	100																			100
KS-3				2		31	10	15							7					65
KS-4	180					23	15								2					220
KS-6	39		2	21		18	13	11				3			2					109
KS-7a	40	3		16		8	7	3				8			1				27	113
KS-7b	117	6					10				1				1				3	138
KS-8a		43		15	1		17	19		5	5	22				1				128
KS-8b		1		11		24	24	58				3								121
KS-9		14		14		7	26	40			2	23			3					129
KS-10	94		1			2	7				1									105
JL-1	11		2	27		43	2	12			4	1								102
JL-2			1	10		36	8	96				16								167
JL-3			3	23		85	4	6			7									137
JL-4a		19			4	2	218								9					245
JL-4b	253					28	49								2					382
JL-5	360	55				24	13													452
JL-6	241				14	12														280



을 유지할 수 있는 항온항습기에 보관하였으며 측정온도는  $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$ , 상대습도 50% 이상을 유지하는 항온항습실에서 측정하였다.

### 3.4.2 시험결과 및 분석

화학법에서 JIS 기준으로 잠재적 반응 가능성이 있는 시료와 광물학적 분석에서 일반적으로 유해광물로 알려진 성분들을 1종 이상 포함하는 시료 30개에 대하여 Mortar-Bar 시험을 수행한 결과 1.2%의 등가 알칼리량의 조건에서 3개월에 0.05%, 6개월에 0.1% 이상의 길이 팽창율을 나타내는 시료는 없었다.

Fig.4는 30개의 시료중에서 상대적으로 길이 변화율이 큰 시료골재 5개에 대하여 6개월 간의 측정 결과를 도식화 한 것이다.

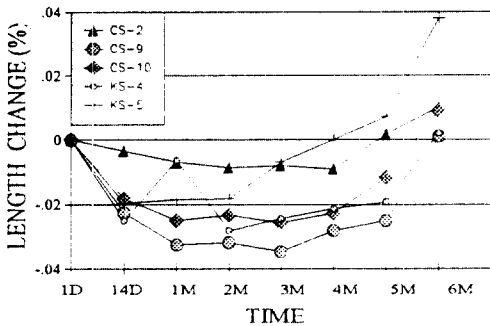


Fig. 4 Results of Mortar-Bar Test

## 4. 결 론

국내 쇄석골재에 대한 알칼리-실리카 반응에 대한 골재의 유해가능성을 연구하기 위하여 제주도를 제외한 전국에서 골고루 분포 채취한 63곳의 쇄석골재에 대하여 화학법, 광물학적 분석, Mortar-Bar법의 3가지 시험을 실시한 결과는 다음과 같다.

(1) ASTM C 289의 화학법을 기준으로 시험한 결과 모든 시험골재가 무해한 것으로 나타났으나 판정기준으로 JIS A 5308 부속서 7을 적용할 경우 경기 강화 불은, 충북 중원 이류, 충북 충주 목행 3곳의 시료골재가 유해가능성이 있는 것으로

나타났다.

(2) 광물학적 시험 분석의 연구결과 일반적으로 지적하고 있는 유해 광물성분이 시료골재에 여러 종 포함되어 있으며 편광현미경으로 분석이 어려운 미립질의 유해광물이 남부지방 골재에 다량 함유된 석기에 포함되어 있을 수 있으므로 광물학적 분석측면에서는 유해성이 상존하고 있다고 할 수 있다.

(3) 화학법과 광물학적 분석에 의해서 다소 유해가능성이 있는 골재를 포함한 30개의 시료골재에 대하여 Mortar-Bar 시험을 수행한 결과 유해기준치 이상의 팽창을 나타내는 시료는 없었다.

이상의 시험결과를 분석하면 본 연구 범위내에서 시험한 쇄석 시료골재에 한해서 반응성 골재는 발견되지 않았지만 화학반응에 대하여 안전지대라고 단언할 수는 없다. 골재의 수급사정이 좋지 않은 시기에 만든 콘크리트내에서 골재의 화학반응으로 인한 피해가 심각했던 일본의 경우를 볼 때, 골재의 수급사정이 악화되고 있는 우리나라의 경우에도 골재의 화학반응으로 인한 피해를 방지하기 위하여 더욱 깊은 연구가 필요한 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. 김무한, 정지곤, "콘크리트 골재용 암석의 알칼리-골재 반응에 관한 연구", 한국광물학회지 제3권 제1호, 1990, pp.18~33.
2. Roberta A. Storer(Eds.), ASTM C 295, Standard Practice for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete, Annual Book of ASTM Standards Section, Vol.04.02 (Concrete and Aggregates), Easton, 1990.
3. 丸章夫, "骨材品質にかかわる 耐久性の診断手法-岩石 礦物學的手法-", 콘크리트工学, Vol. 26, No. 7, July 1988, pp.40~48.
4. 윤재환, "알칼리 골재반응에 의한 콘크리트 이상 팽창", 레미콘 통권 제8호, 1986. 6, pp.9~22.
5. 현석훈, "국내석산골재의 알칼리반응 조사", 제 4 회 시멘트기술세미나논문집, 통권 제4호, 1984, pp.55~62.
6. 김해인, 이상화, 심재황, 임명혁, "알칼리 골재반응성에 관한 광물학적 분석", 한국콘크리트학회

- 1989년도 가을학술 발표회 논문집, 1989. 11, 1~4.
7. "국내 콘크리트 구조물의 내구성 평가를 위한 조사 연구", 한국건설기술연구원, 1989, pp.145~152.
  8. 노재호, 이양수, 정재동, "국내쇄석골재의 알칼리 실리카반응성 판정에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 1991년도 봄학술 발표회 논문집, 1991, pp.93~98.
  9. 川村滿紀, "알칼리골재反應의機構, 알칼리골재反應에關するシンポジウム", 日本材料學會, 1985. 7, pp.3~28.
  10. H.E. Vivian, "The Effect of Amount of added Alkalies on Mortar Expansion", CSIRO Bull. NO.256, 1950, pp.31~47.
  11. 中野錦一, "알칼리골재反應의試驗方法, 세멘트콘크리트", No.475, Sep. 1986, pp.26~34.
  12. Gratten-Bellew, P.E., "Evaluation of Miniature Rock Prism Test for Determining the Potential Alkali-Expansivity of Aggregates", Cement and Concrete Research, Vol. 11, No. 5/6, 1981, pp. 669-711.

(접수일자 : 1994. 12. 31)