

## KS F 2545와 ASTM C 1260 시험법에 따른 알칼리골재 잠재가능성에 관한 연구

백철승\* · 서준형\* · 김영진\* · 조계홍\* · 김건기\*\* · §이진영\*\*\*

\*한국석회석신소재연구소, \*\*거창화강석연구센터, \*\*\*한국지질자원연구원

### A Fundamental Study on the Potential of Alkali-Aggregate Reaction according to KS F 2545 and ASTM C 1260 Test Methods

Chul-Seoung Baek\*, Jun-Hyung Seo\*, Young-Jin Kim\*, Kye-Hong Cho\*,  
Kun-Ki Kim\*\* and §Jin-Young Lee\*\*\*

\*Korea Institute of Limestone and Advanced Materials

\*\*Geochang Granite Research Center

\*\*\*Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

#### 요 약

강원도 삼척시와 평창군, 전라북도 김제시와 고창군 및 경상남도 고령군에서 채취한 62종의 산림골재와 순환골재를 대상으로 알칼리골재 잠재가능성을 평가하기 위해 화학적 실험법인 KS F 2545와 물리적 실험법인 ASTM C 1260을 수행하였다. 화학법 실험결과 규산염계 암석과 탄산염계 암석이 혼재된 경우 알칼리농도감소량이 높게 나타나 알칼리골재 잠재가능성 결과에 교란을 발생시키는 것으로 확인되었다. 62종의 골재 중 용해실리카량이 100 mmol/l를 초과하는 골재는 9종이며, 이들의 물리적 실험결과 모르타르바의 길이증가율이 0.1~0.2%인 골재는 5종, 0.2% 이상인 골재는 2종으로 확인되었다. 화학법과 모르타르바법을 이용한 알칼리골재반응 시험결과, 알칼리골재 잠재반응을 보인 골재는 사암과 응회암이다. 따라서 쇄설성 퇴적암류와 화산 쇄설성 암석 골재를 사용하기 위해서는 알칼리골재 반응 시험들이 필요하다.

**주제어 :** 알칼리-골재 반응, 골재, 용해실리카량, KS F 2545, ASTM C 1260

#### Abstract

Chemical experiment KS F 2545 and Physical experiment ASTM C 1260 has been accomplished to estimate the potential of alkali aggregate. Used for testing aggregate samples are forest aggregate and recycled aggregate which collected in Gangwon province Samcheok and Pyeongchang, Jeollabuk province Gimje and Kochang, and Gyeongsangnam province Goryeong. As the results of chemical experiment confirmed that if silicate rock and carbonate rock are mixed, reduction in alkalinity is increase. So it has been identified that case makes a disturb at the result of alkali aggregate reaction. In 9 out of the 62 aggregate samples check dissolved silica exceeding 100 mmol/l. and mortar bar length increase rate confirmed that 5 of 9 chemical method aggregates were 0.1~0.2% and 2 aggregates were 0.2%. As a result of the alkaline aggregate reaction test using the chemical method and the mortar bar method, the aggregates showing alkali aggregate reaction are sandstone and tuff aggregates. Therefore, Alkali aggregate reaction tests are required to use clastic sedimentary rocks and volcanic pyroclastic rocks aggregates.

**Key words :** alkali-aggregate reactivity, aggregate, dissolved silica, KS F 2545, ASTM C 1260

· Received : February 7, 2020 · Revised : March 17, 2020 · Accepted : April 1, 2020

§ Corresponding Author : Jin-Young Lee (E-mail : jylee@kigam.re.kr)

Geological Research Center, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 124, Gwahak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34132, Korea

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서 론

2019년 골재수급계획에 따르면 2019년 전국 골재수요는 253,045천 $m^3$ 으로 이 중 석산에서 채석한 암석을 파쇄하여 생산하는 산림골재는 연 70,000천 $m^3$  규모로 국내 최대의 비금속 광물자원인 석회석의 연간 채광량인 연 30,000천 $m^3$ 보다 많이 생산되고 있다<sup>1)</sup>. 그러나 산림골재의 사용량이 증가함에 따라 알칼리골재 반응(Alkali Aggregate Reaction, AAR)의 발생 가능성과 이에 따른 위험성이 경고되고 있다. 국내의 경우 1990년대에 건설된 서해안고속도로의 일부 시멘트-콘크리트 포장구간에서 AAR에 의한 포장의 균열 및 솟음현상이 발견됨에 따라 AAR 골재가 사용된 것으로 보고되었다. 그리고 터널 및 보강공사에 사용되는 솟크리트용으로 반입된 골재를 조사한 결과 AAR 잠재가능성이 있는 골재가 40%에 달하며 유해성이 있는 것으로 판단되는 골재도 4%에 달하는 것으로 보고되었다<sup>2,4)</sup>.

콘크리트 구조물에 치명적인 파손과 내구력 저하를 발생시키는 알칼리골재 반응은 골재에 포함된 반응성 실리카와 포틀랜드 시멘트의 알칼리 성분인  $Na^+$ ,  $K^+$ 와 탄산염인  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  등이 pH가 높은 조건의 경화된 콘크리트 내부에서 상호반응하여 ‘팽창성 반응겔(gel)’ 등이 형성되어 팽창하는 반응이다. 그리고 반응겔에 수분이 공급되면서 팽창이 확대되면서 콘크리트의 분화(粉化), 취약(脆弱), 균열(龜裂), 붕괴(崩壞)하는 현상이 발생하게 된다<sup>5,6)</sup>. 현재 국내외적으로 알칼리골재 잠재가능성을 평가하는 데 사용하는 시험법은 크게 화학법(Cheical Method)과 물리적 시험방법인 모르타르바법(Mortar-Bar Method)으로 구분된다. 화학법은 용해실리카량( $S_c$ , Dissolved Silica) 및 알칼리농도감소량( $R_c$ , Reduction in Alkalinity)을 동시에 고려하는 방법으로 결정화도가 낮거나 불안정한 형태의 활성 실리카 성분의 용해량과 실리카 성분과 반응으로 인해 발생한 알칼리 성분의 감소량을 비교하여 잠재가능성을 평가한다. 국가별 시험방법에 차이는 있으나 ASTM C 289 : Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method) 기준에 따르면 용해실리카량이 80~100 mmol/l 이상이며, 용해실리카량과 비교하여 상대적으로 알칼리농도 감소량이 낮은 경우 알칼리골재 잠재가능성이 있거나 해로운 골재로 분류한다. 하지만 국내 연구에 따르면 화학법의 경우 미국의 규산계 암석을 기준으로 한 것으로 국내산 골재를 비

교하는데 한계가 있으며 모르타르바법을 함께 사용하는 것을 권장하고 있다<sup>6-10)</sup>.

이에 따라 본 연구는 알칼리골재 잠재반응성 시험 중 하나인 화학법을 통해 잠재반응성이 나타난 골재에 대한 물리적 길이변화 특성을 조사하여 상호 관련성을 검토하였다. 그리고 국내외 선행연구 자료와의 비교를 통해 용해실리카량의 농도에 따라 모르타르바 시험 대상군의 선정 가능 여부 및 골재의 광물학적 특성 분석결과를 비교 검토하였다.

## 2. 시료 및 실험 방법

본 연구는 국내외적으로 알칼리골재 잠재가능성 또는 유해성을 확인하기 위해 국내 5개 지역에서 채취한 62종의 골재를 대상으로 하였다. 각각의 골재는 아래 Fig. 1과 같이 전처리를 거친 후 국내 시험법인 KS F 2545 골재의 알칼리 잠재 반응 시험방법(화학법)과 미국의 ASTM C 1260 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)에서 규정한 시험방법에 준하여 수행하였다.

### 2.1. 시료

화학법 시험에 사용된 골재는 아래 Table 1과 같이 강원도 삼척시 및 평창군, 경상남도 고령군, 전라북도 김제시 및 고창군에서 채취한 골재로 골재채취법의 구분방법에 따라 산림골재 53종, 선별파쇄골재 7종 및 순환골재 2종으로 구분된다. 모르타르바 시험에 사용된 골재는 62종의 골재 중 화학법 시험과정에서 용해실리카량이 100 mmol/l 이상으로 나타난 골재를 대상으로 수행하였다. 이때 모르타르바 시험에 사용된 포틀랜드 시멘트는 KS 기준에 따라 전알칼리량 0.6% 이상의 시멘트(Hanil cement, KOREA)를 사용하였다.

### 2.2. 실험방법

(1) 화학법 : 각 시료는 KS F 2545에서 규정하는 0.15~0.3 mm 크기로 분쇄된 골재를 1N NaOH 표준용액(Daejung, KOREA)과 혼합한 후 80 °C의 항온수조에 넣어 24시간 동안 반응시켰다. 그리고 추출과정 및 희석과정을 거친 반응용액을 분광광도계(Shimadzu UV-1700, JAPAN)로 용해실리카량을 측정하였다. 알칼리농도감소량은 0.05 N HCl

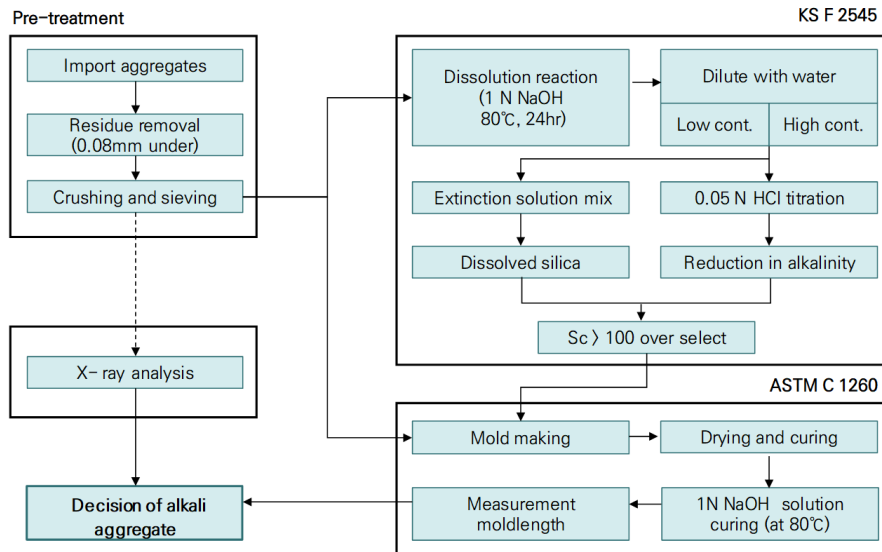


Fig. 1. Test the experimental procedures.

Table 1. Classification of aggregate samples

	Forest aggregate	Crushed aggregate	Recycled aggregate
Samcheok	12	2	
Pyeongchang	10		
Goryeong	11	1	
Gimje	9		1
Kochang	11	4	1
Total	53	7	2

표준용액(Daejung, KOREA)을 이용한 페놀프탈레인 적정방법으로 측정하였다. 시험결과는 KS F 2545에서 제시한 판정 그래프를 이용하는 방법과 차태환(1994)의 연구 사례 및 일본 표준규정인 JIS A 5308에서 규정한 용해실리카량과 알칼리농도감소량의 비율에 따른 판정방법에 따라 알칼리골재 잠재가능성을 판단하였다. 이때 용해실리카량이 높아 모르타르바법 시험이 필요한 것으로 확인된 골재는 X선 분석을 통해 화학적 조성 및 광물학적 분석을 수행하였다.

(2) 모르타르바법 : 각 시료는 Table 2와 같이 ASTM C 1260에서 규정하는 골재의 크기에 따라 분리한 후 비율에 맞게 혼합하여 사용하였다. 그리고 아래 Table 3과 같이 골재, 시멘트 및 물을 혼합한 모르타르를 몰드에 넣은 후 습윤조건(25 ± 3 °C, RH > 95%)에서 24 ± 2시간 동안 1

Table 2. Requirement of aggregate for ASTM C 1260

	Size (mm)	Mass (%)
Particle size	0.15 ~ 0.30	10
	0.30 ~ 0.60	25
	0.60 ~ 1.18	25
	1.18 ~ 2.36	25
	2.36 ~ 4.75	15

Table 3. Requirement of raw materials for ASTM C 1260

Aggregate weight	990 g
Cement weight	440 g
W/C (Water/Cement ratio)	0.47
Mortar-bar size	1 × 1 × 10 inch

차 양생을 하였다. 그리고 몰드에서 분리한 모르타르바를 80 °C의 물에 넣어 24 ± 2시간 동안 유지한 후 80 °C 1 N NaOH 수용액에 넣어 5, 10, 14일이 경과한 시점의 길이 변화량을 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 화학법

5개 지역 62종의 골재에 대한 알칼리 잠재반응 화학법 실험결과는 아래 Table 4와 같다. 총 60종의 산립골재 및

**Table 4.** Result of KS F 2545 test

	Test samples	Distribution of dissolved silica (Sc)*		
		Sc ≥ 80	Sc ≥ 100	Sc ≥ Rc (at Sc ≥ 80)
Samcheok	14	5	3	3
Pyeongchang	10	0	0	0
Goryeong	12	5	3	3
Gimje	10	0	0	0
Kochang	16	5	3	5
Total	62	15	9	11

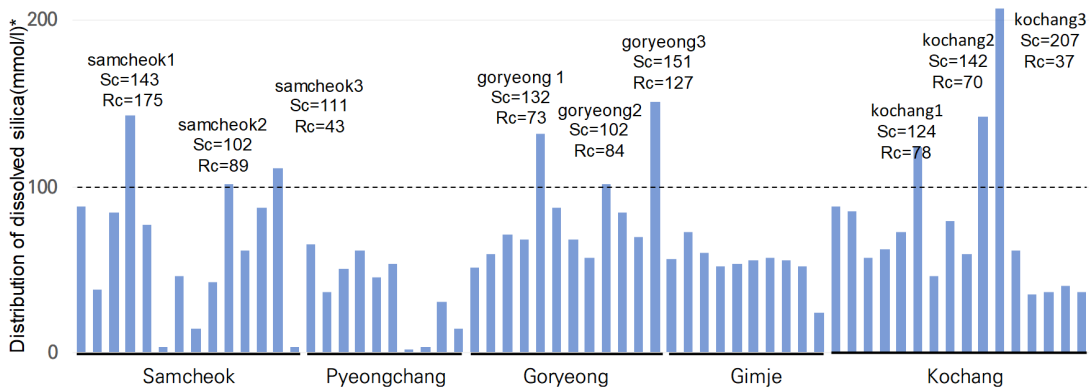
선별파쇄골재 중 용해실리카량이 80 mmol/l 이상인 골재는 삼척, 고령, 고창지역의 골재 15종으로 이중 알칼리농도감소량이 용해실리카량보다 낮은 골재는 11종, 용해실리카량이 100 mmol/l 이상인 골재는 9종으로 확인되었다. 김제와 평창 지역의 경우 모든 골재 시료가 용해실리카량이 80 mmol/l 미만으로 대부분 결정도가 높은 규산염계 광물인 화강암 또는 화강편마암과 탄산염 광물인 석회암 계열의 암석이 분포한 지역적 특성으로 인해 용해실리카량이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 나머지 2종의 순환골재는 용해실리카량이 낮고 알칼리농도감소량이 큰 것으로 나타났다.

삼척 지역의 경우 14종의 골재 중 3종이 알칼리골재 잠재가능성이 있는 것으로 확인되었다. Fig. 2와 Table 5에서 용해실리카량이 100 mmol/l 이상인 골재 중 알칼리농도감소량이 175로 Rc가 Sc보다 1.5배 이상 높은 samcheok1 (Sc=143)의 경우 아래 Fig. 3과 Table 6의 X선 분석결과

**Table 5.** Result data of Sc ≥ 100 mmol/l aggregate samples

	Sc	Rc
samcheok1	143	175
samcheok2	102	89
samcheok3	111	43
goryeong 1	132	73
goryeong2	102	84
goryeong3	151	127
kochang1	124	78
kochang2	142	70
kochang3	207	37

를 통해 방해석과 백운석 성분이 주를 이루는 저품위 석회석 또는 저품위 백운석이 포함된 것으로 확인되었다. 규산염계 광물과 탄산염계 광물이 혼재된 경우 반응과정에서 용해된 Ca와 Mg 이온에 의해 알칼리농도감소량이 높게 측정될 가능성이 있어 화학법 시험만으로 용해성을 판단하기는 어려운 것으로 알려져 있다<sup>8)</sup>. 광물학적 분류에 따라 알칼리골재 잠재가능성을 평가하는 방법인 RIREM AAR-1에 따르면 백운석은 알칼리-실리카 반응(Alkali-Silica Reactivity, ASR) 이외에도 광물학적 결정구조가 미세한 경우 ‘알칼리-탄산염 반응(Alkali-Carbonation Reaction, ACR)’ 을 유발할 수 있다. 그리고 미세한 석영질 결정, 퇴적암인 규질암 및 석영이 풍화된 형태인 수석 성분이 방해석의 결정구조에 포함된 경우 알칼리골재 잠재가능성이 있는 것으로 분류하고 있다. samcheok2(Sc=102)와 samcheok3(Sc=111)는 석영과 사장석 성분이 주를 이



\* Coefficient of extinction ( $\alpha$ ) = 24.13 (Shimadzu UV-1700, JAPAN)

**Fig. 2.** Results of the dissolved silica of KS F 2545 test.

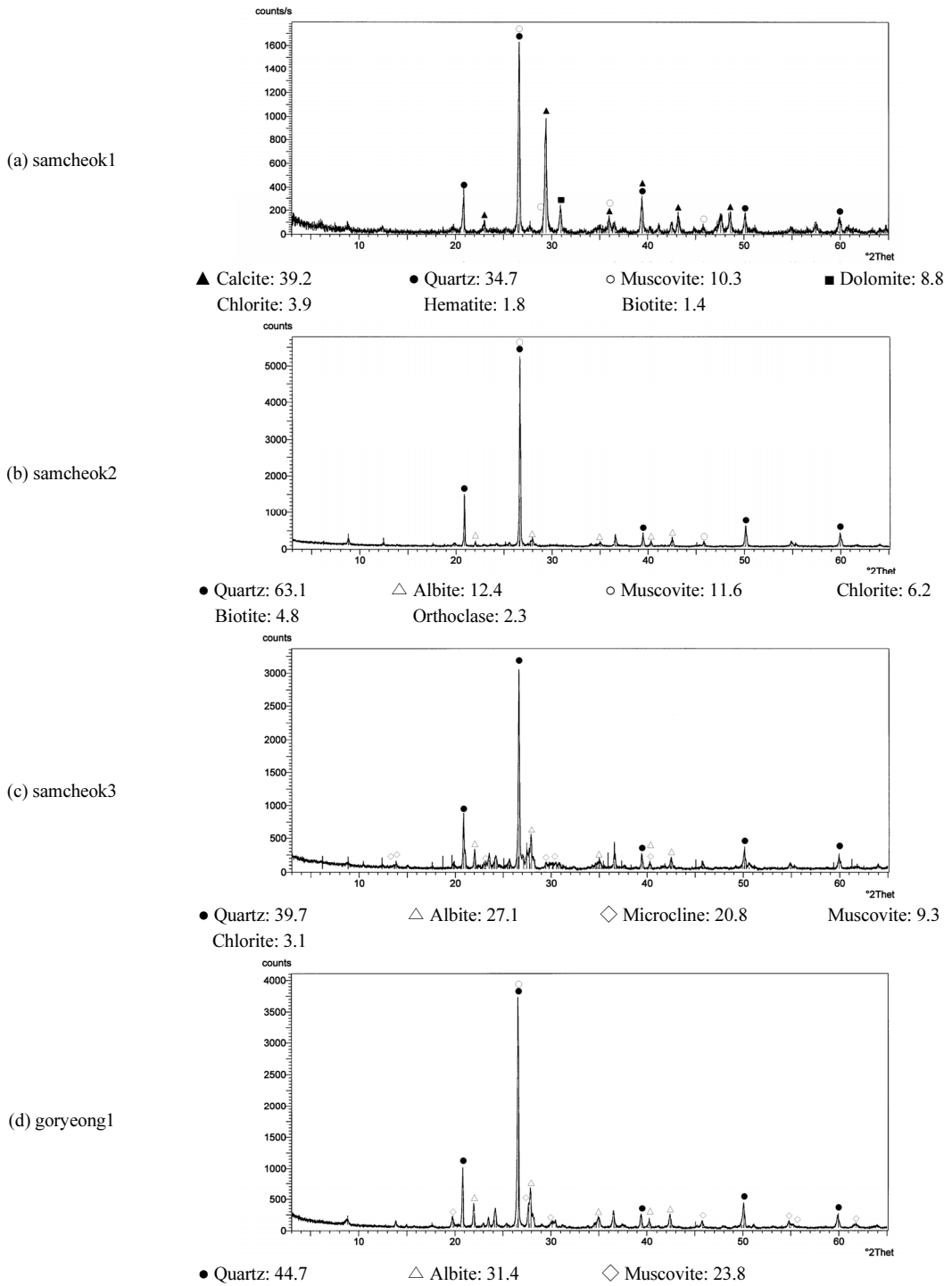
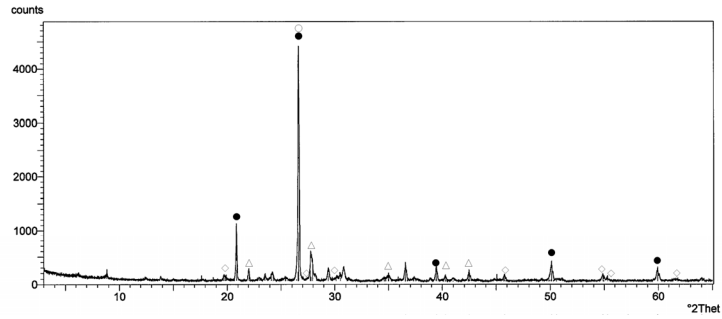


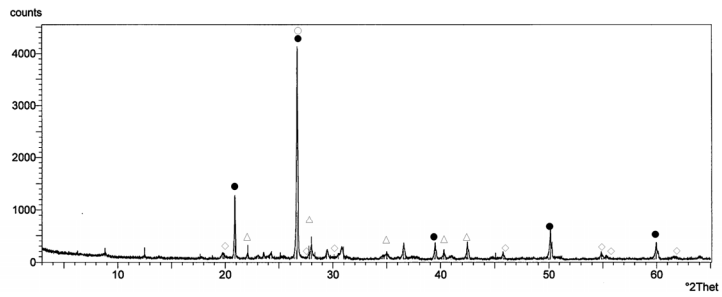
Fig. 3. XRD result of  $S_c \geq 100$  mmol/l aggregate group samples.

(e) goryeong2



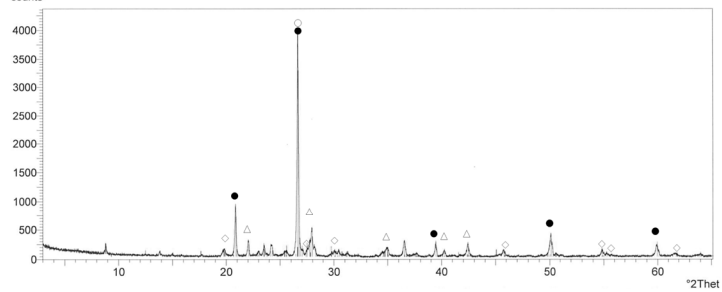
● Quartz: 51.4      △ Albite: 26.3      ◇ Muscovite: 13.5      Calcite: 5.3  
 Chlorite: 3.6

(f) goryeong3



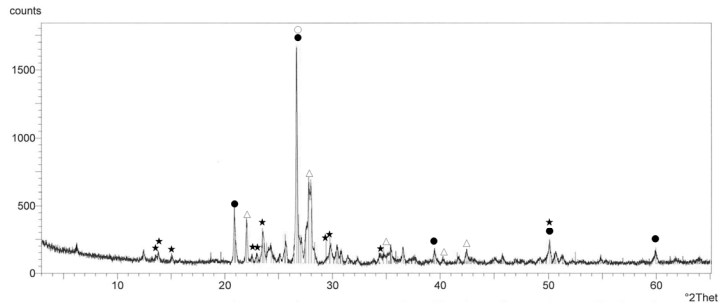
● Quartz: 53.8      △ Albite: 15.5      ◇ Muscovite: 12.7      Dolomite: 8.1  
 Chlorite: 5.2      Calcite: 4.7

(g) kochang1



● Quartz: 46.9      △ Albite: 24.2      ◇ Muscovite: 20.2      Orthoclase: 6.8  
 Chlorite: 1.9

(h) kochang2



△ Albite: 45.7      ● Quartz: 23.2      ★ Orthoclase: 22.5      Chlorite: 5.0  
 Magnesite: 2.4      Calcite: 1.2

Fig. 3. XRD result of  $S_c \geq 100$  mmol/l aggregate group samples (Continued).

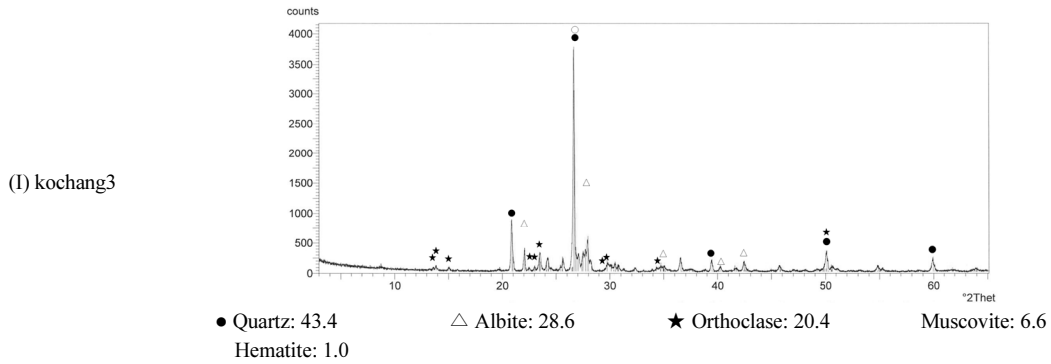


Fig. 3. XRD result of  $S_c \geq 100$  mmol/l aggregate group samples (Continued).

Table 6. XRF result of  $S_c \geq 100$  mmol/l aggregate samples

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ig.Loss
samcheok1	40.19	5.42	2.93	23.81	3.57	1.37	0.27	0.55	0.14	0.10	21.80
samcheok2	77.64	9.94	4.29	0.33	1.48	2.40	0.88	0.45	0.05	0.07	2.03
samcheok3	73.04	13.02	2.05	1.23	0.49	4.67	2.57	0.19	0.07	0.09	2.28
goryeong1	74.01	9.82	1.83	3.76	0.83	2.51	1.88	0.26	0.06	0.07	4.65
goryeong2	68.39	10.50	3.37	4.63	1.84	1.99	2.25	0.39	0.08	0.09	6.52
goryeong3	68.58	9.82	2.97	5.32	2.04	2.07	1.29	0.39	0.06	0.09	7.60
kochang1	75.74	13.14	1.92	0.16	0.49	3.40	2.60	0.20	0.09	0.03	1.90
kochang2	66.18	14.84	4.55	2.58	1.14	4.10	3.90	0.53	0.11	0.13	1.51
kochang3	77.51	11.77	1.11	0.23	0.10	4.72	3.08	0.15	0.05	0.02	0.94

루고 있으며 알칼리농도감소량이 낮아 알칼리골재 잠재 가능성이 있는 것으로 확인되었다.

고령과 고창 지역의 경우 28종의 골재 중 6종이 알칼리 골재 잠재가능성이 있는 것으로 나타났다. X선 분석결과 용해실리카량이 높은 6개의 골재 모두 석영, 사장석, 알칼리장석, 백운모, 녹니석, 방해석, 백운석 등이 포함된 것으로 확인되었다. goryeong1( $S_c=132$ ) 골재의 경우 X선 분석결과 석영, 사장석, 백운모가 주성분을 이루는 이암으로 확인되었는데 RILEM AAR-1에서는 알칼리골재 잠재가능성이 있는 것으로 구분하고 있다. goryeong2( $S_c=102$ )와 goryeong3( $S_c=151$ )는 두 종류 이상의 암석이 혼재된 골재로 주로 퇴적암 중 사암이 포함되어 있으며 이들 골재에는 일부 방해석의 맥이 포함되어 있어 탄산염 광물의 함량이 상대적으로 많은 것으로 나타났다. 고창 지역에서 알칼리골재 잠재가능성이 있는 것으로 확인된 골재 3종의 경우 X선 분석결과 알칼리장석이 상대적으로 많은 것으로 확인되었는데 kochang1( $S_c=124$ )과 kochang3( $S_c=207$ )은 석영과 사장석의 함량은 비슷하나 백운모와 알칼리장석의 함량차이가 대비를 이루고 있다. kochang2( $S_c=142$ )는 응회암으로 X선 분석결과 다른 비교대상 골재와 달리 사장석 성분이 45%로 많다. RILEM AAR-1에 따르면 화산 쇄설성 암석 또는 응회암은 일반적으로 알칼리골재 잠재가능성이 있는 것으로 분류하고 있다.

평창과 김제지역의 20종의 골재는 모두 용해실리카량이 낮아 알칼리골재 잠재가능성이 낮은 것으로 확인되었다. 평창지역의 경우 대부분 용해실리카량이 60 mmol/l 이하이며 알칼리농도 감소율이 비교적 높은 것으로 나타났다. 이와 비교하여 김제지역의 경우 용해실리카량과 알칼리농도 감소량 모두 60 mmol/l 이하로 낮은 경향성을 나타냈다.

김제 및 고창지역에서 확보한 순환골재 2종의 용해실리카량은 20~30 mmol/l 수준이며  $R_c=200$  mmol/l 내외로 나타나 알칼리골재 잠재가능성은 낮은 것으로 확인되었다. 과거 일부 연구사례에서 ASTM C1260 시험결과

순환골재 중 일부에서 알칼리골재가 포함된 사례가 있었으나 현재는 순환골재의 알칼리골재 잠재가능성을 관리하는 품질제도가 운영되고 있어 유해한 골재가 포함될 가능성은 적을 것으로 판단된다.

KS F 2545 시험법의 기초가 되는 ASTM C 289 시험법의 경우 북미지역의 규산계 골재를 대상으로 한 경험적 연구를 통해 만들어진 통계적 그래프에 대입하여 알칼리골재 잠재가능성을 평가하는 방법으로 국내산 골재의 알칼리골재 잠재가능성 평가에 한계가 있는 것으로 알려져 있다<sup>8,9)</sup>. 미국의 경우 1990년대부터 화학적 시험법이 한계가 있다는 연구결과가 다수 발표되었는데 이러한 문제가 발생한 원인으로 분쇄의 체가름 과정 중 반응성의 손실 문제와 극한조건(고온, 고알칼리, 높은 비표면적)의 시험조건에 따른 오차 발생으로 보고되고 있으며 ASTM에서도 화학적 방법만을 통한 알칼리골재 잠재가능성을 평가하는 것을 추천하지 않고 있다. 이와는 반대로 일본의 경우 우리나라와 같이 화학법 시험을 현재도 활용하고 있으며 레미콘의 품질을 규정한 JIS A 5308의 부속서 7의 경우  $S_c \geq 10 \text{ mmol/l}$ 이며  $R_c < 700 \text{ mmol/l}$  및  $S_c \geq R_c$ 일 때 알칼리골재 잠재가능성이 있는 것으로 규정하고 있으며 그래프상 위치로 판단해야 하는 미국과 국내의 판정법과 달리 정량적인 한계값을 명확히 제공하고 있다<sup>11)</sup>.

### 3.2. 모르타르바법

5개 지역 62종의 골재 중 용해실리카량이  $100 \text{ mmol/l}$  이상으로 나타난 9종의 골재 시료에 대해 ASTM C 1260 시험법에 따른 모르타르바의 길이변화를 측정된 결과 아래 Table 7과 같이 길이변화율이 0.1% 이상으로 ‘잠재적 반응성이 있는 것’으로 판단할 수 있는 골재는 7종이며, 0.2% 이상으로 ‘반응성이 있는 것’으로 판단할 수 있는 골재는 2종으로 확인되었다.

삼척 지역의 경우 3개 골재 모두 잠재적 반응성이 있다고 판단할 수 있는 +0.1~0.2% 수준의 길이변화량을 나타냈다. 반응시간에 따른 길이변화량 차이의 경우 samcheok1과 samcheok3은 반응 초, 중반부에 길이변화가 높게 나타났으며 samcheok2의 경우 앞서 두 시료와 비교하여 일정한 폭으로 길이가 변화하였다. 고령 지역의 goryeong1의 경우 반응 초반 및 후반의 길이변화가 상대적으로 높게 나타났는데 반응 후반부의 길이변화가 +0.06% 수준으로 높게 나타났으며 추가적으로 반응을 지속시킬 경우 지속적인

**Table 7.** Mortar-bar test result of  $S_c \geq 100 \text{ mmol/l}$  aggregate samples

sample	Length change ratio (%)			
	5 day	10 day	14 day	Total
samcheok1	0.0519	0.0830	0.041	0.176
	0.0433	0.0901	0.0554	0.189
samcheok2	0.0488	0.0279	0.0349	0.112
	0.0367	0.0488	0.0279	0.113
samcheok3	0.0839	0.0210	0.0489	0.154
	0.0910	0.0175	0.0525	0.161
goryeong1	0.0661	0.0070	0.0695	0.143
	0.0729	0.0069	0.0729	0.153
goryeong2	0.0519	0.1419	0.0138	0.208
	0.0559	0.1152	0.0349	0.206
goryeong3	0.1537	0.0698	0.0662	0.290
	0.1504	0.0733	0.0663	0.290
kochang1	0.0156	0.0173	0.0208	0.054
	0.0174	0.0521	-0.0104	0.059
kochang2	0.0593	0.0523	0.0209	0.133
	0.0576	0.0489	0.0140	0.121
kochang3	0.0104	0.0209	0.0070	0.038
	0.0139	0.0139	0.0	0.028

길이증가 가능성이 있을 것으로 예상할 수 있다. ASTM C 1260에서는 길이변화율이 +0.1% 이상이거나 추가적인 검토가 필요한 경우 추가적으로 14일을 더한 기간의 길이변화를 측정하여 활용하도록 권고하고 있다<sup>12)</sup>. 길이변화율이 +0.2% 수준인 goryeong2는 반응시간에 따른 길이변화 특성에서 반응 초중반까지 대부분의 길이변화가 발생한 후 급격히 증가폭이 감소하는 특성이 관찰되었으나 goryeong3의 경우 반응 후반부까지 길이변화율이 높게 유지되었다. 고창 지역의 경우 kochang1과 kochang3은 모르타르바 시험결과 길이변화량이 +0.1% 이하로 알칼리골재 반응이 없는 것으로 확인되었다. 화학법 시험결과 전체 골재 시료 중 용해실리카량이 가장 높았던 kochang2의 경우 평균 +0.12%의 길이변화율이 나타나 알칼리골재 잠재가능성이 있는 것으로 확인되었다. kochang2는 X선 분석 결과  $\text{SiO}_2$  성분은 66.2 wt.%이며 사장석, 석영, 정장석, 녹니석, 자철석, 방해석 등으로 구성되어 있으며 모르타르바 시험에 사용된 9종의 골재 중  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 가 8.0 wt.%로 가장 높다. 길이변화율이 높은 goryeong2, goryeong3 및



kochang2의 암종은 사암과 응회암으로 확인되었는데 RILEM AAR-1에 따르면 퇴적암과 응회암의 경우 알칼리골재 잠재가능성이 있는 것으로 보고하고 있다.

### 3.3. 시험결과와 개선방안

두 실험 결과를 정리하여 보면 화학법 시험결과  $Sc \geq 100 \text{ mmol/l}$  이상인 골재를 대상으로 모르타르바 시험을 실시한 결과 9종의 골재 중 7종의 골재에서 ASTM C 1260의 기준인 0.1%보다 많은 길이변화가 발생한 것으로 확인되어 약 78%가 일치하였다. 이러한 결과는 여러 연구사례에서 신뢰도가 낮다고 알려진 화학법도 국내 환경에 맞는 경험적 기준만 확보한다면 비교적 높은 수준의 신뢰성 확보가 가능할 것으로 판단된다. 이를 위해 Berue and Fournier(1992)의 연구결과와 같이 골재의 분쇄 및 체가름 과정에서 반응물질이 손실되는 문제점을 해결하기 위해 전처리 방법을 단순화, 최소화할 수 있는 개선방안 마련이 필요하다<sup>13)</sup>. KS F 2545의 경우 0.15 mm 이하의 입자와 실트, 점토를 제거하기 위해 세척과 건조과정을 되풀이하도록 하고 규정하고 있으나 일본의 JIS A 1145의 경우 1회만 세척하도록 규정하고 있으며 반응 후 반응용기에서 용액을 추출하는 방법도 국내 규정보다 명확하게 제시하고 있어 기존의 국내 표준시험법의 내용 중 전처리과정 및 실험절차를 단계별로 명확히 규정하는 것이 필요하다<sup>14)</sup>. 특히 X선 분석법을 통한 광물학적 특성을 함께 검토할 경우 탄산염 광물에 의한 알칼리농도감소량 증가 등과 같은 오류 문제를 비교적 쉽게 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

국내 5개 시군지역에서 채취한 산림골재, 선별파쇄골재 및 순환골재 62종을 대상으로 알칼리골재 잠재가능성을 시험하기 위한 KS F 2545 화학법 및 ASTM C 1260 모르타르바법을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 화학법 시험결과 용해실리카량과 알칼리농도감소량을 이용하여 알칼리골재 잠재가능성의 평가가 가능하나 규산염 광물에 탄산염 광물이 포함되거나 복수의 광물이 혼재된 경우 알칼리농도감소량의 교란이 발생할 수 있으므로 X선 분석을 통한 골재의 화학적 조성 및 광물상

분석을 병행하는 것이 필요하다.

- 알칼리골재 잠재가능성이 높은 9종의 골재에 대한 모르타르바 길이변화 시험결과 5종은 알칼리골재 잠재가능성이 있는 +0.1~0.2%의 길이증가를 나타냈으며 2종은 해로운 골재로 구분할 수 있는 +0.2% 이상의 길이증가를 확인하였다.
- 화학법과 모르타르바법에 의한 알칼리골재 반응 시험결과 사암과 응회암 골재에서 알칼리골재 반응성이 확인되었다. 따라서 쇄설성 퇴적암류와 화산 쇄설성 암석 골재를 사용하기 위해서는 알칼리골재 반응 시험들이 필요하다.

## 감사의 글

본 논문은 국토교통부 및 한국지질자원연구원에서 수행하고 있는 2020년 골재자원조사사업의 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

## References

1. Oh, J. H., 2016 : The current status of aggregate industry in Korea, J. of Korean Inst. of Resources Recycling, 25(4), pp.80-86.
2. Hong, S. H., Han, S. H., Yun, K. K., 2006 : A case study for deterioration due to alkali-silica reaction in the cement concrete pavement, Journal of the Korea Concrete Institute, 18(3), pp.355-360.
3. Ryu, J. H., Lee, S. D., Lee, S. P., et al., 2009 : A study on alkali-reactivity of aggregates for shotcrete in Korea, Proceedings of the Korea Concrete Institute, 12(1), pp. 333-334.
4. Hong, S. H., 2014 : Ratio of alkali-aggregate reactivity for aggregates by ASTM C1260 method, Proceedings of the Korea Concrete Institute, 22(1), pp.443-444.
5. Lee, J. H., Kim, S. W., 1995 : A study on the chemical reaction of crushed aggregates, Proceedings of the Korea Concrete Institute, 7(1), pp.136-144.
6. Lee, J. D., 2013 : Concrete alkali aggregate reaction diagnosis, Il-kwang, Seoul, pp.3-18.
7. Yoon, J. H., Jaung, J. D., Lee, Y. S., et al., 1993 : An experimental study on the alkali-silica reactivity of several domestic crushed stones, Architectural Institute of Korea, 13(1), pp.413-416.
8. Cha, T. H., Cho, W. K., Cho, I. H., et al., 1994 : Experimental study on the application of the rapid test method with

using the several domestic crushed stones, Architectural Institute of Korea, 14(2), pp.687-690.

9. Son, Y. J., Ha, J. D., Um, T. S., et al., 2007 : The Study on the Alkali-Aggregate Reaction Test of KS and the Other Standards, Proceedings of the Korea Concrete Institute, 8(1), pp.605-608.
10. Yun, K. K., Kim, S. K., Seo, J. H., 2009 : Evaluation for alkali-silica reactivity using chemical method and mortar-bar methods, Proceedings of the Korean Society of Civil Engineers, pp.420-423.
11. JIS A 5308, 2019 : Ready-mixed Concrete, Japanese

Standards Association.

12. ASTM C 1293 – 18a, 2018 : Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction, ASTM International.
13. Bérubé, M. A., Fournier, B., 1993 : Canadian experience with testing for alkali-aggregate reactivity in concrete, Cement and Concrete Composites, 15(1), pp.27-47.
14. JIS A 1145, 2017 : Method of test for alkali-silica reactivity of aggregates by chemical method, Japanese Standards Association.



**백철승**

- 광운대학교 화학공학과 공학박사
- 현재 한국석회석신소재연구소 연구개발부 스마트전력산업팀장



**서준형**

- 한양대학교 에너지자원공학과 석사
- 광운대학교 화학공학과 박사수료
- 현재 한국석회석신소재연구소 연구개발부 연구원



**김영진**

- 강원대학교 에너지·자원공학과 공학박사
- 현재 한국석회석신소재연구소 연구개발부 연구원

**조계홍**

- 현재 한국석회석신소재연구소 연구소장
- 당 학회지 제19권 3호 참조



**김건기**

- 경상대학교 지질학과 이학박사
- 현재 재단법인 거창화강석연구센터 센터장



**이진영**

- 충남대학교 지질학과 이학박사
- 현재 한국지질자원연구원 국토지질 연구본부 책임연구원