

## 콘크리트 장기 안정성을 위한 골재의 선택

양동윤\* · 이동영\*

### Selection of Suitable Aggregates for Long-term Stability of Concrete

Dong-Yoon Yang\* and Dong-Young Lee\*

**ABSTRACT:** Recently, there have been several cases of serious accidents on concrete structure resulting from rapid deterioration of concrete strength. On the view point of long term stability of concrete, deterioration of concrete strength is mostly due to chemical reaction between alkali and reactive aggregates (alkali-aggregate reaction; AAR) in concrete rather than a problem of execution. For long-term stability of concrete, concrete aggregates must be carefully selected. Some of rocks used for concrete aggregates contain deleterious minerals reactive to alkali components in concrete. Most of AAR result from chemical reaction between alkali components and reactive silica minerals in aggregates (so called alkali-silica reaction; ASR). The silica minerals are as follows; quartz with seriously distorted lattice structure, volcanic glass, chalcedony, opal, cristobalite, tridymite, etc. ASR may cause expansion and cracks, further collapse in concrete structure, in a few years. In case of crushed aggregates, only a part of rock mass without reactive minerals must be produced in aggregates mine after thorough examination of the distribution of rocks with reactive minerals. In case of natural aggregates, the total content of reactive minerals must be calculated, if, the content is more than 20%, the rate should be lower by mixing other non-reactive crushed- or natural aggregates. If it is obliged to use concrete aggregates all containing deleterious minerals in a discrete area, they must be used with low alkali cement. Even if it is low quality in the chemical properties, aggregates with suitable range in the physical properties can be utilized as the aggregate of other purposes.

### 서 언

세계 각처에서, 과거 십 수년 전부터, 콘크리트 구조물의劣化현상으로 인한 피해 보고가 쇄도하고 문제화됨에 따라, 그에 대한 연구 및 조사가 활발하게 진행되어 왔다. 우리 나라에서도, 최근에 대형 콘크리트 구조물의 사고가 잇따라 발생하여 커다란 사회문제로 급부상되고 있다. 시간의 경과에 따른 콘크리트 열화는, 시공상의 문제도 큰 원인 중의 하나이겠지만, 콘크리트 중의 골재가 유해광물을 포함한 암석으로 구성되어 있을 때, 그러한 유해광물의 화학 반응에 기인되는 것이 더 크다고 봐야 한다. 설령, 시공을 완벽하게 한다고 해도 건설 후 수년 혹은 십 수 년내에 그러한 구조물이 다량의 균열발생으로 인해 급격한 콘크리트 열화현상을 보이는 경우가 많다. 왜냐하면, 콘크리트 중 골재가 차지하는 비는 절반 이상인데, 만약, 시멘트의 알칼리 성분과 반응하는 광물이 골재 중에 존재한다면, 이러한 광물과 알칼리 이온이 화학반응을 일으키고, 그 반응산물의 흡·脫水작용에 의한 콘크리트의

팽창과 수축이 일어나며, 이는 곧바로 콘크리트劣化로 연결되기 때문이다.

우리 나라의 경우, 알칼리-골재 반응에 대한 연구는 거의 없고(하성호 등; 1990), 골재업자는 물론 시공업자조차도 관심을 보이지 않고 있는 실정이다. 아직까지 우리 나라에서는 알칼리-골재 반응으로 인한 피해가 지면으로 보고된 것은 많지 않지만(예, 중도일보, 1995, 7, 6일자), 앞으로 그러한 피해 사고가 발생할 가능성이 많으므로 시급한 대책이 필요하다고 본다. 왜냐하면, 1980년대 말부터 1990년대 초에 걸친 대단위 신도시 건설로 인한 골재파동이 일어나면서, 세척을 제대로 안한 바다모래와 함께 유해광물을 포함한 조골재가 다량으로 사용되었을 수도 있기 때문이다. 지금까지 흔히 행해져 왔던 콘크리트 골재시험은, 비중, 흡수율, 마모율, 안정성 등의 물리적 특성조사에 국한되었고, 골재의 화학적 특성은 무시되어 왔다. 이는, 施工단계에서 단기적 안정성만을 중시하고 장기적 안정성을 경시했다는 것을 의미한다.

그래서, 기존의 구조물에 그러한 유해광물에 의한 피해가 발생했을 때는 보수대책을 강구해야 할 것이며, 장래에는 그러한 피해가 방지되도록, 유해광물을 포함하는

\* 한국자원연구소 (Korea Institute of Geology, Mining and Mineral, Taejon 305-350, Korea)

Table 1. List of minerals and rocks showing alkali-aggregate reaction.

Classification	Minerals and rocks related with alkali-aggregate reaction	Remarks	
Minerals reactive to alkali ions	Quartz showing undulatory extinction angle, cryptocrystalline quartz, acidic~medium volcanic glass, cristobalite, tridymite, opal, chalcedony	Alkali-silica reaction	
	Dolomite	Alkali-carbonate reaction	
Rocks containing a harmful amount of minerals reactive to alkali ions	Igneous rocks containing reactive quartz(mostly, granite), rhyolite, andesite, obsidian, pitchstone, pumice	Igneous rocks	
	Sandstone(siliceous sandstone, graywacke), shale, siliceous shale, siliceous slate, siliceous mudstone, rhyolitic~andesitic tuff, siliceous limestone	Sedimentary rocks	Alkali-silica reaction
	Gneiss, schist, phyllite, hornfels, quartzite	Metamorphic rocks	
	Dolomitic limestone	Sedimentary rocks	Alkali-carbonate reaction

암중에 대해 연구하고, 그 자료를 축적시켜서 앞으로의 대책을 강구하는 것이, 현재 대두된 중요한 문제로 생각된다. 여기서는 콘크리트 골재를 암석·광물학적 입장에서 볼 때, 콘크리트에 유해한 광물의 산상 및 화학적 특징에 대해 기술하고, 그 대책을 약간 설명하였다.

**골재자원으로 이용되는 암석**

콘크리트 골재를 자원의 입장에서 분류하면, 천연골재(하천 및 바다골재), 쇠석골재(준 인공골재; 산림골재) 및 인공골재로 나눌 수 있다. 천연골재에는 하천자갈과 모래, 육자갈(모래), 산자갈(모래), 바다모래(자갈)가 있고, 인공골재에는 슬래그, 인공경량골재, 그 외 특수한 골재 등을 들 수 있다. 그 중에서 주로 많이 쓰이는 조골재는 하천골재와 쇠석골재인데, 쇠석골재는 단일 또는 많아야 수종의 암석으로 구성되는 반면, 하천골재는 비교적 풍화에 강한 다양한 여러 종류의 암석으로 구성된다. 골재로 사용되는 암석의 종류는 화성암에서 퇴적암에 이르기까지 다양하다. 콘크리트 골재로 쓰이는 암석 중에서, 콘크리트에 유해하다고 예상되는 암석을 Table 1에 표시하였다. 물론 이들 암석 외에도 유해한 암석이 더 있을 수도 있고, 기재된 암석이 유해하지 않을 수도 있으므로, 실제로는 대상이 되는 골재에 대해 유해성 여부를 반드시 조사하는 것이 바람직하다.

한국자원연구소의 '94년도와 '95년도 골재자원 부존조사 보고서에 의하면, 콘크리트용 쇠석골재로 많이 사용되고 있는 것은, 충청권에서는 화강암과 편마암이고, 경상권에서는 사암, 안산암, 화강암의 순으로 되어 있다(Fig. 1). 또한, 하천골재의 경우, 비록 풍화에 강한 다종의 암석으로

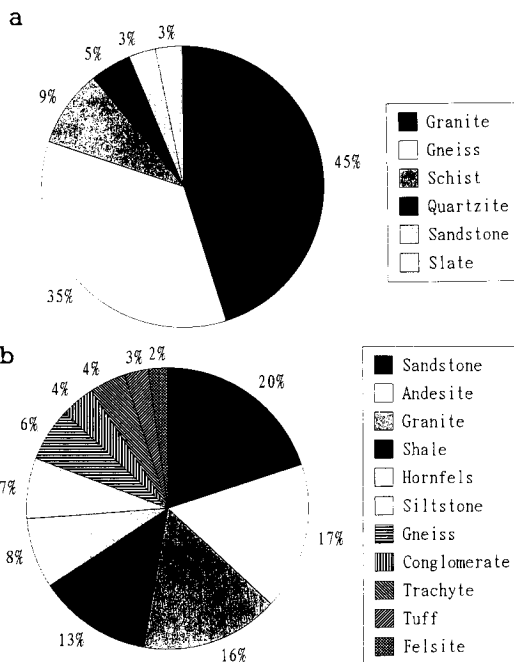
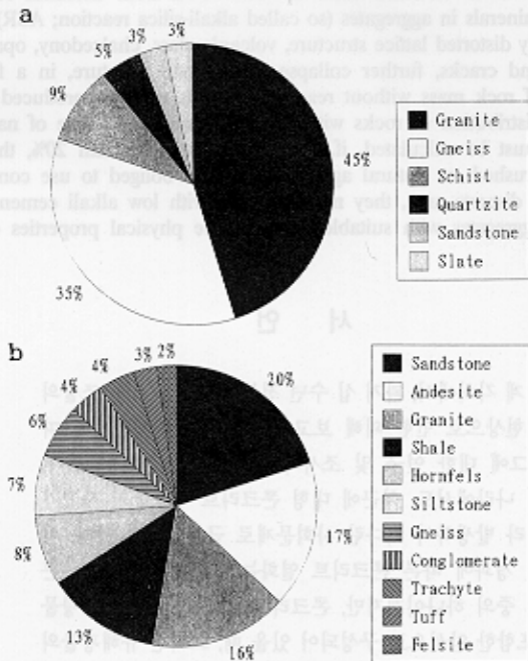


Fig. 1. The percentages of rocks used as crushed aggregates (a) Chungcheong area (66 aggregate mines), (b) Kyeongsang area (171 aggregate mines).

구성되어 있지만, 양쪽 다 주종을 이루는 암석은 위에 열거한 암석과 거의 동일하다. Table 2는 낙동강 유역 하천골재의 마모율 측정결과를 나타내는 것으로, 편마암과 화강암이 주종을 이루는 일부 지역을 제외하고는 마모율이 낮은 값을 나타내므로, 물성은 거의 문제가 없다고 본다. 산림골재의 경우도, Table 3의 결과를 보면, 유일하게 편마암만이 압축강도가 약간 떨어질 뿐이고, 나머지 물성에



**Fig. 1.** The percentages of rocks used as crushed aggregates (a) Chungcheong area (66 aggregate mines), (b) Kyeongsang area (171 aggregate mines).

Table 2. The results of abrasion test of natural aggregates from Nakdonggang river basin.

Sampling site (Kyeongsangbuk-do)	Name of river	Main rocks of each area	Abrasion rate(%)
Keumreung-gun, Guisung-myeon, Hawon-ri	Kamcheon	Jurassic granite	31.7
Sangju-gun, Konggeom-myeon, Kwondong-ri	Byeongseongcheon	Precambrian gneiss	36.8
Sangju-gun, Hamyeol-eup, Jungchon-ri	Iancheon	Precambrian gneiss	41.7
Pongwha-gun, Pongwha-eup, Heajeo-ri	Neaseongcheon	Jurassic granite	46.1
Pongwha-gun, Peopjeon-myeon, Socheon-ri	Nakdonggang	Granite, gneiss, schist	34.7
Pongwha-gun, Myeongho-myeon, Kogye-ri	Nakdonggang	Gneiss, granite, quartzite	31.6
Yeongyang-gun, Ilwol-myeon, Togye-ri	Banbyeoncheon	Tuffaceous sedi. rocks	26.8
Yeongyang-gun, Iban-myeon, Samsan-ri	Banbyeoncheon	Tuffaceous sedi. rocks	21.1
Andong-city Jeongha-dong	Confluence of the Nakdonggang and Banbyeoncheon	Sedi. rocks, granite, gneiss	25.9
Kunwi-gun, Sobo-myeon, Pongwhang-ri	Wicheon	Sedi. rocks, volcanic rocks	26.1
Teagu-city, Dong-gu, Keumho-dong	Keumhogang	Sedi. rocks, granite, volcanic rocks	20.3
Kyeongju-city, Naktong-3ri	Hyeongsangang	Sedi. rocks, volcanic rocks	18.9

Table 3. Mean values of physical properties for crushed aggregates sampled in Kyeongsang Area.

Physical properties		Specific gravity	Absorption rate (%)	Opening rate (%)	Point load strength $I_{s(50)}$ Mpa	Uniaxial stress strength (kg/cm <sup>3</sup> )	Abrasion rate (%)
Rock species	Number of samples						
Granite	25	2.64	0.79	2.17	11.3	2542.37	21.50
Sedi. rocks	49	2.70	0.88	2.35	13.32	2960.54	20.63
Hornfels	21	2.81	0.84	2.25	20.45	4588.71	20.65
Gneiss	18	2.64	0.63	1.64	7.84	1758.00	27.95
Volc. rocks	18	2.65	1.20	3.17	18.36	4102.08	22.15
Limestone	1	2.75	0.41	1.14			29.10

관해서는 거의 문제가 없다. 일반적으로, 화강암 및 섬록암은 풍화작용에 의해 마사토화하기 쉽고, 조립의 것은 열에 약하며, 변성작용을 받은 것이라면 격자구조가 변형된 석영이 포함되므로 알칼리에 대해 반응성을 갖는다. 편마암, 편암, 천매암, 슬레이트, 셰일 등은 편평하게 깨어지므로 골재의 형상문제가 발생하고, 반응성 광물이 포함되는 일이 많다. 또한, 유문암, 안산암 및 응회암은 화산유리를 포함하는 일이 많으므로, 시멘트 중의 알칼리와 반응에 의해 콘크리트에 결함을 발생시키는 것이 많다. 이처럼 비록 물리적, 기계적으로는 적당한 골재라 하더라도, 화학적 특성과는 별개의 문제이므로, 세심한 주의가 필요하다.

### 콘크리트에 유해한 광물

콘크리트에 유해한 광물에 대하여는 여러 보고들이 있지만(Swenson, 1957; ASTM-294, 1969; 有泉, 1979; 勝井, 1986 등), 각 나라마다 지질조건이 다르고, 암석의 광물 조성, 광물의 화학조성 등도 차이가 있으므로, 우리나라의

지질, 암석 및 광물의 특성으로 볼 때 콘크리트 골재가 콘크리트의 장기적 안정성에 어떤 영향을 미칠 것인가에 대하여 면밀하게 연구, 조사 및 검토가 이뤄져야 한다. 또한, 같은 암종이라고 할지라도 산출되는 지역에 따라 차이가 나므로, 결국은 각 지역별로 콘크리트 골재로 쓰이는 각각의 암종에 대하여 다음에 열거하는 유해광물의 존재와 양, 산상 및 반응형태 등에 관한 연구 및 조사가 이뤄져야 한다. 이들 콘크리트에 해를 끼치는 광물 중에서, 자주 나타나는 광물을 중심으로 암석·광물학적인 특징과 콘크리트에 끼치는 해에 대해 기술한다.

### 알칼리-골재반응을 일으키는 광물

#### 알칼리-실리카 반응을 일으키는 광물

실리카광물은 몇 종의 암석을 제외하고는 거의 모든 암석의 주요 조암광물 중의 하나이므로, 대부분의 천연골재 중에 포함되어 있다. 결정질 실리카광물은 열역학적으로 안정되어 있기 때문에, 일반적으로 알칼리에 대해 큰 반응성을 보이지는 않는다. 그러나 실리카 광물 중에는

콘크리트에 해를 끼치는 반응성 광물이 있는데, 예로서 변형된 석영결정, 단백질, 옥수, 크리스토팔라이트, 트리다이마이트 등을 들 수 있다(Table 1). 변형된 석영결정은 변성암 또는 변성작용을 받은 화강암 등에 흔히 나타나는데, 이는 원래의 석영 격자구조가 변형작용으로 인해 뒤틀려 있어서 열역학적으로 불안정한 상태이므로 콘크리트 속의 알칼리와 쉽게 반응한다. 단백질은  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 의 조성식을 갖는 비정질, 또는 그에 가까운 실리카광물로 화산암 및 퇴적암 중의 교결물로서 존재한다. 옥수는, 초현미경적인 크기의 미세한 석영( $\text{SiO}_2$ ) 결정이 망눈상으로 모인 것으로, 응회암 중에 존재한다. 크리스토팔라이트와 트리다이마이트는 석영의 다형으로  $1\mu\text{m}$  이하~수  $\mu\text{m}$ 의 미세결정이다. 대부분이 화산암 및 화산성 퇴적암 중에 보인다. 크리스토팔라이트는 트리다이마이트보다 자주 나타난다. 이러한 반응성 실리카광물이 콘크리트 골재 중에 존재하면, 시멘트 paste 중의 Na 및 K와 반응해서 알칼리-실리카겔이 생성되고, 이에 따른 압력에 의해 콘크리트가 팽창하고, 균열이 발생하게 된다.

화산유리는 불규칙적인 격자구조를 가지고 있고 열역학적으로 불안정한 광물로서 규칙적인 격자구조를 보이는 광물들에 비해 알칼리와 반응할 수 있는 면적이 상대적으로 매우 크다고 할 수 있다. 화산유리는, 일반적으로, 흑요암, 진주암 또는 경석 등의 화산암 및 화산성 퇴적암 중에 잘 보인다. 화산유리가 콘크리트 골재 중에 존재하면, 실리카광물과 마찬가지로 시멘트 중의 알칼리와 반응해서 팽창하게 되어, 콘크리트의 팽창과 균열발생의 원인이 된다. 실제로, 시간의 경과에 따른 콘크리트 열화의 대부분은 이러한 알칼리-실리카 반응으로 인한 것이기 때문에, 알칼리-실리카 반응은 콘크리트 관련 연구종사자 또는 업체종사자가 가장 주목해야 할 항목으로 생각된다.

#### 알칼리-규산염 광물 반응

규산염 광물은 실리카 광물과 더불어 일부를 제외한 거의 모든 천연암석의 조암광물이다. 일반적으로 이러한 규산염 광물도 알칼리와 반응성인 것으로 인정되지만, 극히 반응속도가 늦고, 반응생성물의 양도 매우 적으므로 거의 문제시되지 않는다. 이 중 장석류는 알칼리와 반응보다는 오히려 수산화칼슘( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )과 쉽게 반응하여 Hydro-grossular를 생성시키는데, 이는 팽창을 거의 일으키지 않는다. 몬모릴로나이트 및 일라이트, 카올린, 알로판(allophane) 등의 점토광물이 수산화칼슘과 반응한다는 것도 잘 알려져 있지만, 반응 후 안정한 물질을 생성하기 때문에 콘크리트에 큰 팽창력을 주지는 않는다. 그렇지만, 이들 점토광물 중 일부는 수분의 흡·탈수로 인한 팽창

반응과 관계되므로 주의를 요한다.

#### 알칼리-탄산염 반응을 일으키는 광물

돌로스톤 및 돌로마이트질 석회암에 존재하는 돌로마이트가 알칼리와 반응하여  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 가 생성될 때 팽창반응이 일어나지만, 실제로 팽창량은 크지 않다. 미국, 캐나다 등에서 돌로마이트질 석회암 골재에 의한 콘크리트 팽창·열화가 보고되어 있지만, Hansen(1968)에 의하면, 돌로마이트와 시멘트 중의 알칼리와 반응에 의한 수산화마그네슘 생성과, 돌로마이트질 석회암 중의 점토광물의 흡·탈수작용 및 반응성 실리카광물의 화학 반응에 의한 팽창이 원인이 된다고 되어 있다.

국내에서 산출되는 돌로마이트질 석회암의 일부에도 점토광물 및 반응성 실리카광물의 존재가 확인되므로 콘크리트용 골재로 사용할 때는 충분히 검토해야 한다.

#### 팽윤 현상을 일으키는 점토광물

습기를 흡수하여 팽윤현상을 일으키는 대표적인 광물이 몬모릴로나이트와 가수운모 등인데, 이 중에서도 특히 알칼리 몬모릴로나이트의 팽윤현상이 현저한 것으로 보고되어 있다. 이는  $1\mu\text{m}$  이하에서 수  $\mu\text{m}$  크기의 미소한 결정이다. 몬모릴로나이트는 열수변질작용, 속성작용, 해저 또는 육상 풍화작용을 받은 화산암 및 퇴적암 중의 일부 조암광물이 교대되어 형성된다. 열수작용을 받은 암석에서는, 암석의 종류에 관계없이, 암석의 균열을 충전해서 細網으로 나타난다. 콘크리트 골재 중에 몬모릴로나이트가 존재하면, 몬모릴로나이트는 건습의 반복에 의해 다량의 물을 흡·탈수해서, 현저한 체적변화를 일으키기 때문에 콘크리트에 균열이 생기게 된다. 골재 중에 다량의 몬모릴로나이트가 존재하는 경우, 골재 그 자체가 부서지기 때문에, 단기간에 콘크리트는 붕괴한다. 또한, 몬모릴로나이트가 흡수한 물을 한꺼번에 방출하여 콘크리트가 붕괴하기도 하며, 한랭지에서는 흡수한 물의 동결, 용해에 의해 콘크리트의 표면박리 및 붕괴현상이 일어난다. 이들 점토광물을 많이 포함하는 골재는 강도가 매우 낮기 때문에 물성 시험에서도 쉽게 판별이 가능하다.

#### 알칼리 불석의 이온치환

알칼리 불석 중에서 휴란다이트 및 나트륨나이트 등은 화산암의 공동에, 또는 화산쇄설성 퇴적암에서 변질광물로서 흔히 정출된다. 이러한 광물이 콘크리트 골재 중에 존재하면, 이들 중의 Na 이온이 시멘트 중의 Ca 이온과

치환하게 되므로 콘크리트 paste 중의 Na 이온의 함량이 증가하여, 알칼리-골재 반응을 촉진시키게 된다. 그렇지만, 콘크리트에 해를 끼칠 정도의 다량의 알칼리 불석이 골재 중에 포함되는 경우는 드물고, 또한 다른 알칼리 반응성 광물이 포함되지 않으면 크게 문제될 것이 없다.

**산화물, 황화광물 등에 의한 팽창 반응**

**산화물(산화광물)**

천연으로 산출되는 MgO는, 화성암과 돌로스톤 또는 돌로마이트질 석회암의 접촉부에서 돌로마이트의 접촉변성광물인 페리클레이스로서 나타난다. CaO는 천연으로 산출되지 않는다. MgO와 CaO는, 슬래그 특히 전로 슬래그와 전기로 슬래그 및 소성 돌로마이트, 또는 소성 경량골재 및 벽돌에 존재한다. 골재 중에 MgO 및 CaO가 많이 포함되면, 이것들이 물과 접촉해서 반응할 때 팽창이 크기 때문에, 콘크리트의 팽창과 균열 발생의 원인이 된다. 드물게는 콘크리트가 붕괴하는 경우도 있다. FeO도 슬래그 중에 약간 나타나지만, 비교적 양이 적기 때문에 큰 문제는 없다. 우리 나라에서도 슬래그를 골재로서 활용하고자 하는 연구가 활발하게 진행되고 있는데, 콘크리트 골재로서는 적절하지 못하다는 점에 유의하여야 한다.

**황화광물**

골재에 흔히 포함되는 황화광물은 황철석인 경우가 많은데, 황철석은 열수변성 및 접촉변성작용으로 생성된다. 이를 함유한 골재를 콘크리트용으로 썼을 때, 콘크리트 중의 Ca(OH)<sub>2</sub>, 물 그리고 산소와 반응하여 수산화철과 석고가 생성되고, 석고는 다시 알루미늄산칼슘과 반응하여 팽창한다. 또한 수산화철은 콘크리트를 적갈색으로 오염시키는 원인이 된다. 그렇지만 결정도가 좋은 황철석은 쉽게 반응하지 않으므로, 결정도가 나쁜 황철석이 10% 이상 들어있지 않으면 크게 문제될 것은 없다.

**토 의**

골재는 채산성, 수송거리 등을 감안할 때, 수요가 있는 지역의 주변에서 채취되어야 하는 현실성이 있기 때문에, 당연히 그 지역의 지질·암석 특성을 갖는 골재를 쓸 수밖에 없는 실정이다. 본문에서 충청권과 경상권에서 채석 골재로 가장 많이 쓰이고 있는 암종에 대해 예로 들었다. 이들 중 화강암의 경우, 형성시기에 따라 크게 대보화강암과 불국사화강암으로 나뉘는데, 이들은 광물조성, 입도, 광물의 화학조성면에서도 약간의 차이를 보인다. 같은 대

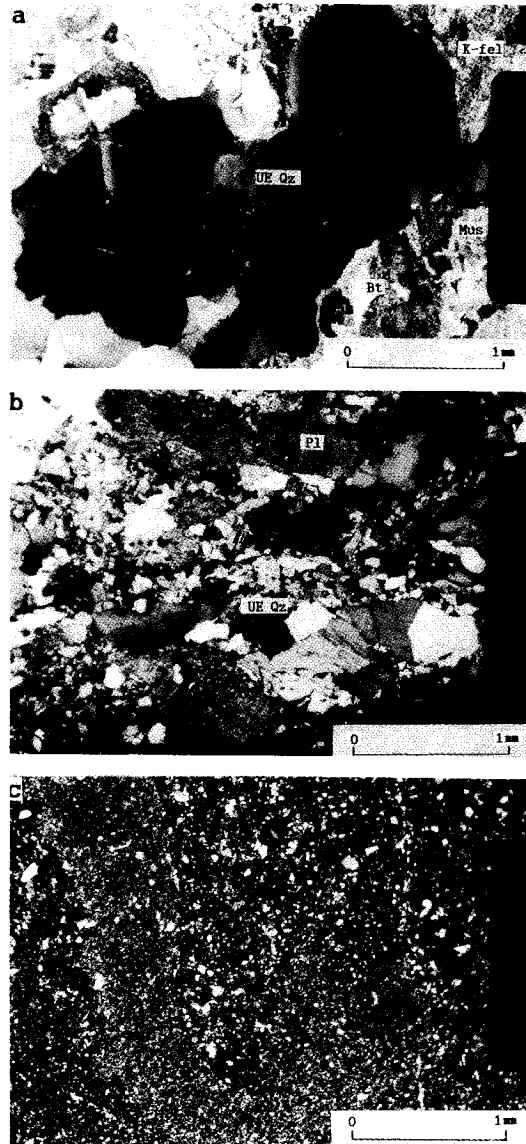


Fig. 2. Photomicrographs showing (a) strong undulatory extinction of quartz grains in granite, (b) undulatory extinction of quartz grains and finely crushed quartz in gneiss and (c) cryptocrystalline quartz and volcanic glass in siliceous mudstone. (UE Qz; quartz with undulatory extinction, Mus; muscovite, Bt; biotite, PI; plagioclase, K-fel; K-feldspar).

보화강암이라도 산출지역에 따라서는 산상이 약간 다르며, 유해광물의 생성정도도 다르므로, 골재원으로서의 적합성 여부를 검토할 때는 이러한 점들을 고려해야 한다. 각 지역에서 골재로 쓰이는 각각의 암종에 대하여 본문에서 열거한 유해광물에 관한 정밀조사가 절실하게 요구된다.

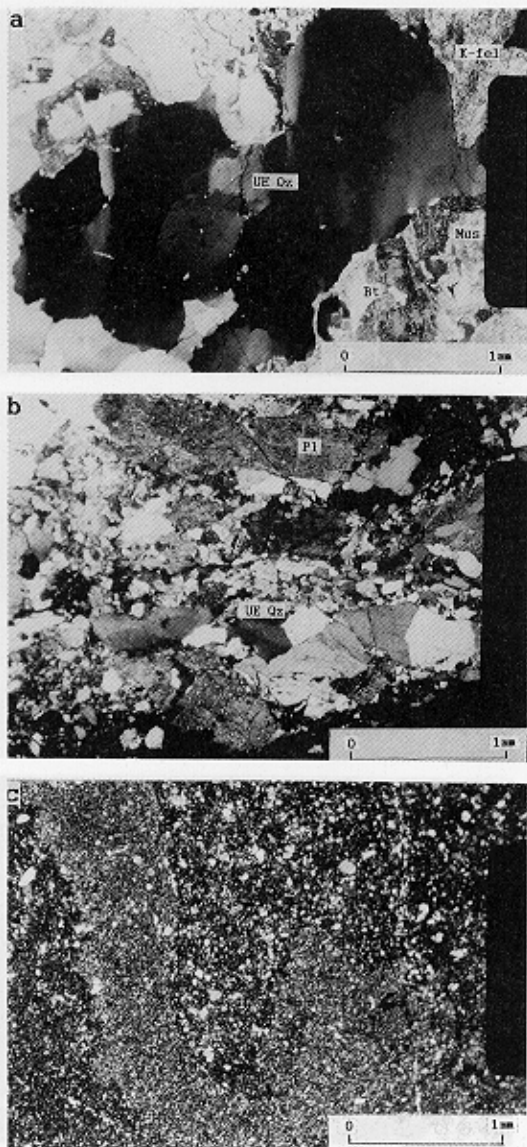


Fig. 2. Photomicrographs showing (a) strong undulatory extinction of quartz grains in granite, (b) undulatory extinction of quartz grains and finely crushed quartz in gneiss and (c) cryptocrystalline quartz and volcanic glass in siliceous mudstone. (UE Qz; quartz with undulatory extinction, Mus; muscovite, Bt; biotite, Pl; plagioclase, K-fel; K-feldspar).

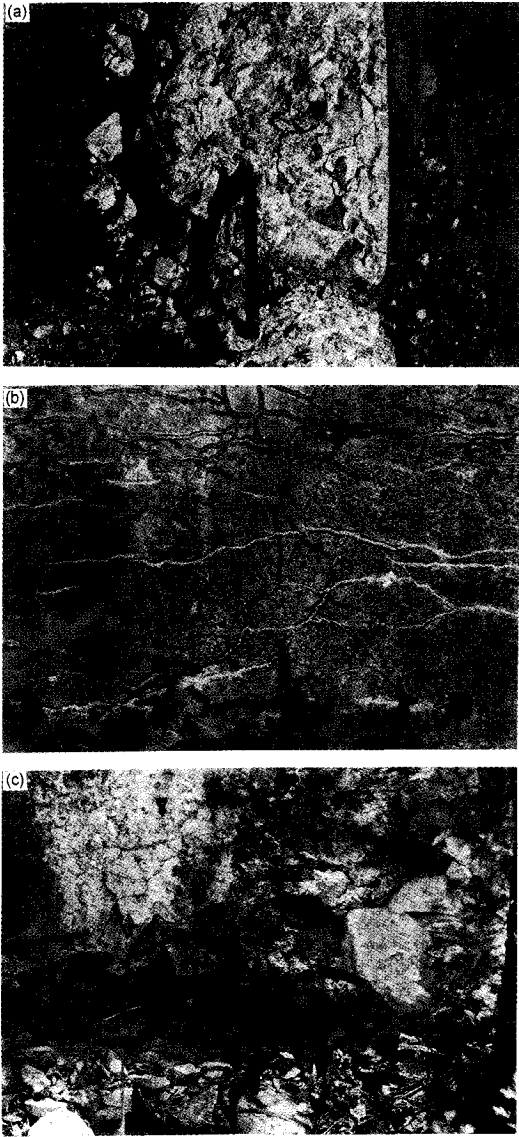


Fig. 3. (a) Sidewalk concrete block being made of reactive crushed aggregates of granite and gneiss containing distorted quartz about 5 years ago. (b) and (c): Concrete embankment being made of natural aggregate composed of mainly granite and gneiss about 10 years ago. White material is Na-silica gel as a reaction product.

쇄석골재의 경우, 콘크리트에 해를 끼치는 광물에 대한 대책으로서 최우선적으로 골재 중에 유해광물의 존재 여부를 조사분석해야 한다. 골재 중에 유해광물이 어떤 상태로, 어느 정도 존재하는지, 더 나아가 골재석산을 지질학적으로 조사해서 유해광물을 함유한 암석의 분포상태를 조사하는 것이 중요하다. 골재석산에서 유해광물을 함유한

암석의 분포 상태가 파악되면, 계획적인 선별채석을 할 수 있을 것이다. 몬모릴로나이트 또는 이들을 포함한 암석은 연질이고, 수분 흡수시 부스러지기 쉽기 때문에, 스크러버(scrubber) 등에 의한 선택 파쇄 등의 수단에 의해, 쇄석의 품질 향상을 꾀할 수 있다. Fig. 2(a), (b)는 각각 화강암과 편마암의 현미경사진인데, 화강암 중의 석영이 심한 변형을 받아 파동소광을 보인다. 편마암의 경우도 약간 변형된 석영과 잘게 부서러진 미세 석영이 보인다. Fig. 2(c)는 이암의 현미경사진으로 반응성 은미정질 석영과 유리질 실리카가 포함되어 있다. Fig. 3(a)는 변형받은 석영 등의 유해광물이 포함된 쇄석골재를 사용한 경우로, 材齡 5년 미만의 보도블록이 심하게 부서져 있다.

일반적으로, 콘크리트용 골재로서, 하천골재는 쇄석골재에 비해 무조건 품질이 좋다는 인식이 흔히 통용되고 있는데, 반드시 그렇지만은 않다. 쇄석골재와 하천골재는 양자가 동일 지역의 암석으로 되어 있고, 이 중 하천골재는 상대적으로 풍화에 강한 것으로 구성되지만 풍화에 강하다고 해서 반드시 콘크리트에 유해하지 않다고는 볼 수 없기 때문이다. 하천골재의 경우, 다종의 암석이 함께 존재하고, 유해광물을 포함한 암석과 그렇지 않은 암석이 섞여 있는 경우가 많으므로, 골재 전체 중에서 유해광물이 차지하는 비를 계산하여 그 비가 20%를 넘을 때는 타종의 무해한 골재와 섞어서 그 비를 낮추는 것이 좋다. Fig. 3(b), (c)는 화강암과 편마암이 주종을 이루는 하천골재를 사용한 축대로 채령 약 10년의 것이다. 수분 공급이 적은 부분 (b)의 것은 심한 균열이 발달한 정도이지만, 수분 공급이 많은 부분 (c)에서는 붕괴와 함께 토양화가 진행되고 있다.

알칼리-실리카 반응이 일어나는 조건은 반응성광물-알칼리-물의 3대 요소가 있어서, 어느 한 조건만 빠져도 반응은 일어나지 않는다. 또한 3대 조건이 갖춰진 상태에서도 온도에 상당한 영향을 받는다. 그래서, 콘크리트가 사용되는 장소, 기후, 구조물의 종류에 따라라도 여러 가지 대책이 있을 수 있기 때문에, 여기에 대해서도 유의할 필요가 있다.

부득이한 경우, 어느 정도 유해 광물이 포함된 골재를 콘크리트용으로 사용할 때에는 저알칼리성 시멘트를 사용하는 것도 대책 중의 하나이다. 또한, 혼화제를 첨가하는 방법도 있지만, 그 효과에 대해서는 부정적으로 보는 연구 결과(川村 등, 1985)도 있다. 배합비율에서 시멘트량을 가능한 한 늘려서 콘크리트 내부조직을 치밀하게 하면, 내부의 수분과 알칼리가 이동하기 어렵게 되므로 반응을 억제할 수 있다는説과, 콘크리트 내부에 어느 정도의 공기를 주입시켜 반응생성물이 침출할 수 있는 공간을 만들어 줘서 팽창을 방지하자는 설이 있지만, 어느 것이



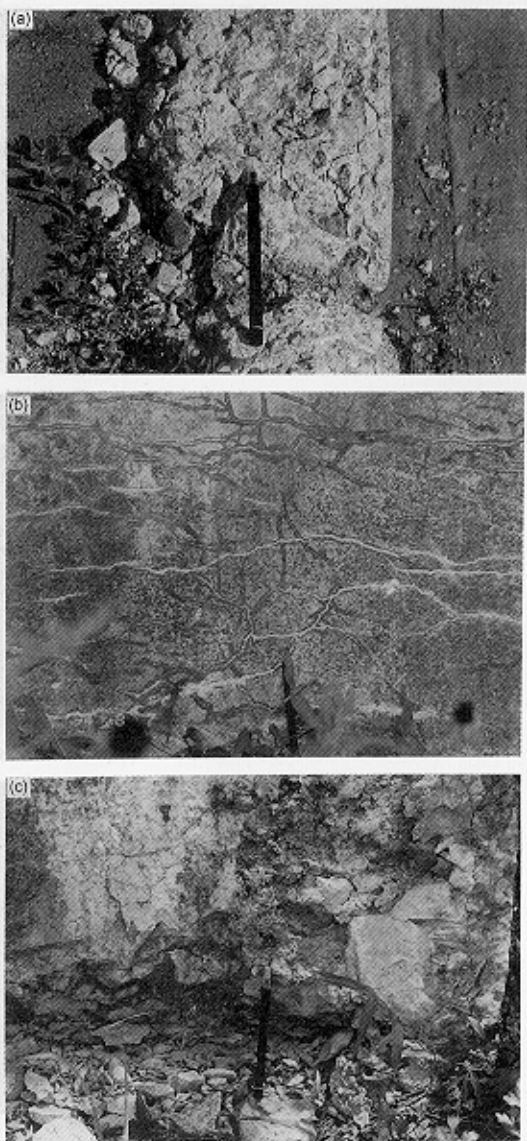


Fig. 3. (a) Sidewalk concrete block being made of reactive crushed aggregates of granite and gneiss containing distorted quartz about 5 years ago. (b) and (c): Concrete embankment being made of natural aggregate composed of mainly granite and gneiss about 10 years ago. White material is Na-silica gel as a reaction product.

효과적일지는 더 많은 연구가 필요하다.

그렇지만, 역시 가장 좋은 방법은, 콘크리트 골재의 선택과정에서, 유해성 골재를 제외시키는 것이다. 만약, 골재의 물리적 특성은 양호하나 알칼리에 대해 반응성인 것이라면, 콘크리트용 골재로는 부적합하지만 도로용 또는 철도용 등 다른 용도로 활용하는 것이 골재자원의 낭비 및 자원의 死藏을 방지하는 길이 될 것이다.

## 결 언

우리 나라에서 콘크리트 골재로서 화강암, 편마암, 안산암 및 여러 종류의 퇴적암 등 다양한 암석이 사용되고 있는데, 이러한 암석 중 일부에는 콘크리트의 장기적 안정성에 심각한 해를 끼치는 유해광물이 존재하므로, 이에 대해 면밀하게 연구, 조사 및 검토하여 콘크리트 골재를 선택하여야 한다. 특히, 콘크리트의 열화 및 밀접하게 관계되는 것으로 알칼리-실리카 반응을 일으키는 광물을 들 수 있는데, 이러한 광물에는 변형된 석영결정, 단백질, 옥수, 크리스토팔라이트, 트리다이마이트 및 화산유리 등이 있다. 이러한 반응성 실리카와 시멘트 중의 알칼리와의 반응에 의해 콘크리트에 팽창과 균열이 발생하고 심하면 붕괴에까지 이른다.

쇄석골재의 경우, 골재석산에서 유해광물을 함유한 암석의 분포상태를 파악, 계획적인 선별 채석이 되도록 고려해야 하고, 몬모릴로나이트 등의 연질 광물이 포함된 부분을 선택 파쇄 등의 수단으로 제거하여 쇄석의 품질 향상을 꾀하여야 한다.

하천골재의 경우, 골재 전체 중에서 유해광물이 차지

하는 비를 계산하고 그 비가 20%를 넘을 때는 다른 무해한 골재와 섞어서 그 비를 낮추는 것이 좋다.

콘크리트 골재의 선택시, 가능한 한 유해성 골재를 사용하지 않는 것이 좋고, 유해광물이 포함된 골재를 부득이하게 콘크리트용으로 사용할 때에는 저알칼리성 시멘트를 사용하여야 한다. 골재의 물리적 특성은 양호하지만 콘크리트용 골재로는 부적합할 때는, 쇄석골재는 도로포장용 또는 철도용 골재로, 하천골재는 도로포장용으로 사용하는 등의 다른 용도로 활용하는 것이 좋다.

## 참고문헌

- 하성호, 김경수, 김무한, 정지곤 (1990) 콘크리트 골재용 각종 암석의 알칼리-골재 반응에 대한 연구. 광물학회지, 3권, p. 18-33.
- 한국자원연구소 골재자원연구팀 (1994) 골재자원부존조사 (충청권). 상공자원부, 1권, 673p.
- 한국자원연구소 골재자원연구팀 (1995) 골재자원부존조사 (경상권). 통상산업부, 1권, 736p.
- ASTM Designation C 294 (1969) Standard Description Nomenclature of Constituents of Natural Mineral Aggregates.
- Hansen, W. C. (1968) ASTM Special Technical Publication. No. 169-A, p. 486-496.
- Swenson, E. G. (1957) A Reactive Aggregate Undetected by ASTM Tests. ASTM Bulletin, No. 226, p. 48-51.
- 勝井義雄 (1986) 알칼리골재反應性を有する鑛物の特性と岩石中における形態. 콘크리트工學, v. 24, No. 11, p. 12-16.
- 有泉 晶 (1979) 콘크리트用骨材の問題點. 粘土科學, v. 19, No. 2, p. 41-55.
- 川村滿紀, 竹本邦夫, 柳場重正 (1985) シリカフェームのボゾラン反應性と알칼리·シリ카膨脹 抑制效果. 第40回 土木學會年次學術講演會講演論文集, p. 183-184.

1995년 8월 8일 원고접수