

---

# 골재의 암석학적 특징이 부착성과 작업성에 미치는 영향

- 화강암, 풍화화강암, 안산암, 석회암 -

## The Effect of the Mineralogical Features of Aggregates in the Bonding Force and Workability of the Concrete

- granite, weathered granite, andesite, lime stone -



엄태선\*

Um, Tai Sun



최상훈\*\*

Choi, Sang Heul

---

### ABSTRACT

The aggregates with the different mineralogical features are studied how they affect the basic physical properties of concretes when the chemical composition, mineralogical composition, crystal size, the standard qualities in the aggregates are used in examining chemical analysis, X.R.D. D.T.-T.G.A,S.E.M, polarized light microscope, stereoscopic microscope, standard test method of aggregates & concretes.

In the results, it was detected that aggregates without the mineral such as muscovite and kaolin mineral etc, was superior to the others (weathered granite, andesite, lime stone) even if its standard qualities were inferior to the others, because of strengthening the bonding force of aggregates and cement pastes in improving the shape and roughness of aggregates. Here, The workability and strength of concrete to used granites with big crystal size and without weathered minerals are improved about 10-20% than the other's.

**Keywords :** Mineralogical Features, Bonding Force, Workability, Aggregate, Concrete

---

\* 정회원, 쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 책임연구원  
\*\* 정회원, 한양대 무기재료공학과 교수

• 본 논문에 대한 토의를 1997년 12월 30일까지 학회로 보내주  
시면 1998년 2월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

콘크리트 구성재료에서 전체용적의 약 70-80%에 달하고 있는 골재는 양질의 콘크리트제조를 위해 엄격한 특성관리가 요구되고 있지만, 통상 콘크리트배합설계 또는 골재선정에서 주로 활용되는 골재의 특성은 비중, 흡수율, 조립율( 입도 ), 실적율( 단위용적중량 ), 내마모성 등 정도이고, 실용적인 배합설계에서도 골재의 입도에 따른 W/C ( C/W ), S/A, 또는 단위수량의 조정만이 검토되고 있다.

그러나, 콘크리트의 특성은 골재의 입형과 표면거칠기 등에 의해 야기되는 물성변화가 약 50-80%에 이르며, 이런 특성은 주로 골재의 광물학적 특성으로 표현되는 암질로 결정된다.<sup>1,2,3,4)</sup>

이런 골재의 입형과 표면거칠기는 페이스트와 골재의 부착력과 관계이며, 이런 부착기구는 화학적인 부착과 물리적, 정전기적 부착 등으로 구분되고 있다.<sup>1)</sup>

예를들면, 석회석, 석영질골재들은 물리적 부착기구의, 화학적인 부착기구가 작용하고 있으며, 윤이 나는 골재는 표면장력에 의한 물리적 부착력이 작용하고 있다. 그러나, 골재의 부착력을 예측하거나, 측정하는 것은 규정된 실험방법도 없어, 상대적인 강도 비교만으로 평가하므로 양질의 골재선정에 어려움이 있다.

이와 같은 골재의 부착력은 콘크리트의 배합설계에서는 설계인자로 고려하지 않으나 근자에 고강도 콘크리트의 개발과 적용이 활발히 추진되고, 이런 과정에서 석산개발로 생산된 특정골재는 고강도콘크리트의 물성과 내구성에 심각한 영향을 주고 있는 실정이다.

본 연구는 골재의 암석학적 특징이 다른 골재를 선정하여 이들 골재의 광물조성, 결정, 표면거칠기와 골재의 규격품질을 화학분석, X-Ray Diffractometer, Differential Thermal-Thermal Gravimetric Analysis, Scanning Electronic Microscope, 편광현미경, 실체현미경 등의 관찰과, 골재의 규격시험을 실시하여, 골재의 암질특성을 평가하여 이런 골재가 콘크리트에 적용하였을 때의 물성변화를 암질의 특성인자로 해석하였다.

## 2. 실 험

### 2.1 원료

#### 2.1.1 골재

골재는 Table 1, 2와 같이 굵은골재의 암질은 화강암, 풍화 화강암, 안산암 및 석회석 골재로 분류되며 최대 골재치수는 19mm이었고, 잔골재는 세척사와 강모래를 사용하였다.

#### 2.1.2 시멘트

시멘트는 Table 3와 같이 포틀랜드 1종시멘트와 고황산염계 시멘트(일명, 증기양생전용 고강도시멘트)를 사용하였다.

Table 1 Chemical Composition of Aggregates by Source

aggregates	chemical composition (%)								maximum size of aggregates	
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	lg-Loss		
course aggregate	granite 1	72.0	15.5	1.8	2.3	0.1	4.42	3.10	0.5	19mm
	granite 2	72.4	15.3	1.5	2.1	0.1	4.04	3.81	0.4	
	weathered granite	70.2	14.7	2.8	1.9	1.1	3.33	2.62	2.8	
	granite 3	70.9	15.7	2.5	2.2	0.1	4.19	3.25	0.7	
	andesite	67.2	15.1	4.8	0.2	1.7	3.71	3.85	2.6	
	lime stone	17.3	5.3	4.1	37.7	3.8	0.08	2.02	29.6	
fine aggregate	natural 1	81.3	10.4	1.0	0.7	0.1	1.66	3.98	0.7	5mm
	natural 2	82.0	10.3	1.0	0.9	0.1	1.89	2.86	0.8	
	artificial 1	79.0	12.6	1.4	0.9	0.1	1.03	3.87	1.0	
	artificial 2	93.7	3.4	0.8	0.1	0.1	0.08	0.96	0.7	
	natural 3	82.9	9.4	1.1	0.5	0.1	1.54	3.38	0.9	

Table 2 Physical Properties of Aggregates by Source

aggregates	chemical composition (%)								symbol	
	specific gravity	absorption	crushing value	abrasion	unit weight	solid ratio	passing No.200	F.M		
course aggregate	granite 1	2.58	0.8%	28.5%	26.8%	1530kg/m <sup>3</sup>	60%	-	6.8	I
	granite 2	2.71	0.5%	-	17.0%	1619kg/m <sup>3</sup>	68%	-	6.5	II
	weathered granite	2.66	1.0%	21.5%	10.4%	1553kg/m <sup>3</sup>	58%	-	7.1	III
	granite 3	2.59	0.8%	23.3%	16.5%	1491kg/m <sup>3</sup>	58%	-	7.1	IV
	andesite	2.72	0.5%	18.6%	16.2%	1501kg/m <sup>3</sup>	55%	-	7.3	V
	lime stone	2.72	-	25.9%	17.1%	1553kg/m <sup>3</sup>	56%	-	6.4	VI
fine aggregate	natural 1	2.57	1.7%	-	-	1656kg/m <sup>3</sup>	63%	1.3%	3.2	VII
	natural 2	2.57	1.5%	-	-	1569kg/m <sup>3</sup>	64%	1.6%	2.8	VIII
	artificial 1	2.58	1.6%	-	-	1663kg/m <sup>3</sup>	65%	3.0%	3.3	IX
	artificial 2	5.62	0.4%	-	-	1724kg/m <sup>3</sup>	66%	6.9%	3.1	X
	natural 3	2.57	1.5%	-	-	1532kg/m <sup>3</sup>	60%	0.4%	2.5	XI

Table 3 Chemical Composition and Physical Properties of Cements

cements	chemical		fineness			setting time			soundness (%)	compressive			
	ignition	free	blaine	88	44	W/C	initial	final		1d.	3d.	7d.	28d.
type I cement	1.3	2.0	3220	1.9	12.4	25.2	300	8:45	0.10	83	192	299	373
high sulphate	1.0	0.7	4200	0.1	1.7	25.4	190	6:15	0.02	405	442	554	646

참조) \* compressive strength : steam curing, flow : 110.5%, superplasticizer : 1.0%

Table 4 Properties of Plasticizers

sort	type	specific gravity	color	remark
superplasticizer	naphthalene	1.2	dark brown liq.	M-maker
A.E. water reducer	lignin	1.128-1.130	dark brown liq.	T-maker

2.1.3 혼화제

고강도와 연행공기를 확보하기 위해 사용한 혼화제의 특성은 Table 4와 같다.

2.2 실험방법

2.2.1 암질분석

사용골재의 암질특성을 분석하기 위해 화학분석과 X-Ray Diffractometer (이하 X.R.D표기), Differential Thermal-Thermal Gravimetric Analysis(이하 D.T.-T.G.A표기), 편광현미경 등을 이용하여 골재의 광물조성, 결정을 관찰하고 이런 특성이 골재의 표면거칠기와 입형에 미치는 영향을 실체현미경을 사용하여 조사하였다.

2.2.2 골재의 규격시험

암질특성이 다른 골재의 품질은 KS F 2502-2511,

ASTM C289의 시험방법을 이용하여 측정하였다.

2.2.3 콘크리트의 물성

암질특성이 다른 골재를 사용한 콘크리트의 기본 특성은 KS F 2801, KS F 2405, KS F 2402 등의 시험방법으로 측정하였다.

2.2.4 배합설계 및 양생조건

골재에 따른 콘크리트물성을 조사하기 위한 배합은 800kg/cm<sup>3</sup>의 고강도 PC 파일과 240kg/cm<sup>3</sup>-10cm-25mm의 레미콘에서 사용하는 일반배합으로 하였으며, 이때 골재종류별로 배합과 양생조건은 Table 5와 Table 6와 같다. 또한, Table 5의 배합과는 별도로 화강암골재에 석회암골재를 각각 25%, 50% 치환하여, 암질특성에 의한 특성변화를 추가로 실험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 골재특성

암질특성이 콘크리트 물성에 미치는 영향을 평가하기 위해 사용한 화강암, 풍화화강암, 안산암 및 석

Table 5 The Condition of Mix Design and Manufacture of P.H.C. Pile

sort		condition of mix design				
mix design		cement	w/c	s/a	superplasticizer	slump
		560kg/m	25%	35%	1.8%	0-4cm
aggregate		unit weight(kg/m <sup>3</sup> )				
coarse	fine	cement	water	fine agg.	coarse agg.	superplasticizer
I	VI	560	140	588	1096	10.08
II	VIII			588	1151	
III	IX			590	1130	
IV	X			599	1100	
V	XI			588	1155	
VI	VII			588	1155	
steam curing		time before steam curing : 3hr. rising rate of temperature : 20°C/hr. temperature of steam curing : 80°C. upkeeping time : 5hr				
centrifugal casting		condition of centrifugal force casting				
		sort	low speed	middle speed	mid. high speed	high speed
		force	2G	8G	15G	40G
		time	3min	1min	1min	5min

Table 6 The Mix Design of Normal Concrete (Ready Mixed Concrete)

aggregate		mix design				unit weight(kg/m <sup>3</sup> )					
coarse	fine	cement (kg/m <sup>3</sup> )	w/c (%)	s/a (%)	admixture (%)	cement	water	fine agg.	coarse agg.	AE water reducer	slump (cm)
I	VI	320	60.3	40	0.1	320	193	694	1030	1.02	10.5
VI	VI	320	60.3	40	0.1	320	193	684	1086	1.02	10.5

회석 골재는 암질특성은 다르지만 Table 1, 2에서와 같이 골재의 요구특성은 모두가 만족하는 양호한 골재이며, 특히 잔골재의 단위용적중량과 실적율도 각각 1500kg/m<sup>3</sup>과 55% 이상이였다. 단, 세척쇄사의 이토량은 6.9%로 많은 편이나 이 역시도 요구품질 7.0%이하 조건을 만족하였다.(Table 2 참조)

### 3.2 암질특성

골재의 암질특성을 분석하기 위해 화학분석, X.R.D 관찰, D.T-T.G.A, 편광현미경관찰 등을 실시하였고, 그 결과는 Fig. 1-4와 같다.

X.R.D로 골재의 구성광물을 관찰한 결과(Fig. 1, 2 참조), 굵은 골재는 석회암 골재를 제외한 화강암, 풍화화강암, 안산암골재의 구성광물은 양의 차만 있을 뿐, 관찰된 주 광물은 quartz(SiO<sub>2</sub>, 2θ: 26.5°), feldspar(K<sub>2</sub>O · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 6SiO<sub>2</sub> · CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 2SiO<sub>2</sub>, 2θ: 27.7°, 20.8°), albite(Na<sub>2</sub>O · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 6SiO<sub>2</sub>, 2θ: 28.1°), muscovite(흑운모: K<sub>2</sub>O · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 6SiO<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O, 2θ: 8.9°, 17.8°), kaolinite(점토광물: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 2SiO<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O, 2θ: 12.3°, 24.9°)이며, 석회암 골재는 calcite(CaCO<sub>3</sub>, 2θ: 29.4°), muscovite, quartz가 주 광물이었다. 여기서, 골재별로 관찰된 점토광물의 X.R.D peak의 크기를 보면 안산암과 풍화화강암 골재는 화강암 골재(granite 1)에 비해 다량의 운모와 점토광물이 존재하고 있으며, 석회암 골재도 예상하지 못한 다량의 운모질광물이 관찰되고 있다. 한편, 잔골재는 굵은 골재와 비교할 때 운모 또는 점토광물이 극히 작은데 이는 잔골재가 침식 또는 분쇄과정에서 생성될 때 풍화광물이 대부분 물로 씻겨졌기 때문으로 판단된다.

D.T.-T.G.A를 이용한 열분석은 열적변화에 의한 상변화를 조사하는 목적에서 이용되는 시험방법으로 그림 3, 4의 결과를 보면 풍화 화강암 또는 안산암 골재는 500-950℃에서 흡열반응과 발열반응이 일어나

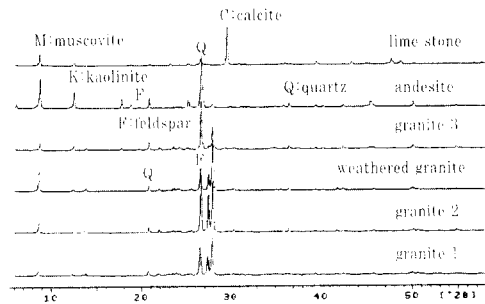


Fig. 1 X.R.D of Coarse Aggregates by Source

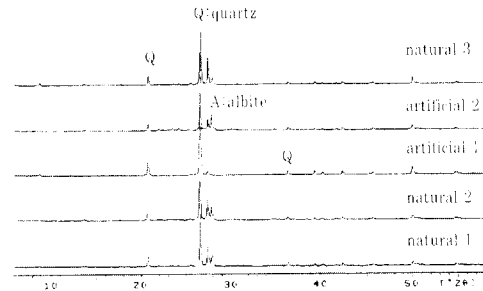


Fig. 2 X.R.D. of Fine Aggregates by Source

면서 중량감소가 발생하고 있다. 여기서, 흡열반응은 주로 상의 분해로 인해 결합수 또는 휘발물질(CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 등)이 분해되는 원인이며, 발열반응은 주로 연소물질의 연소 또는 결정전이가 원인으로 일어나게 된다. 따라서, 골재의 열분석결과에서 관찰되는 500-950℃온도에서 풍화 화강암 또는 안산암 골재의 흡열반응은 주로 muscovite(운모)와 kaolinite(점토광물)의 결합수가 분해되어 무수운모 또는 meta-kaolin으로 되는 결과이다.

발열반응은 573℃에서 α-quartz에서 β-quartz로의 결정전이와 900-1000℃부근에서 점토광물의 spinel구조로 결정전이에 의해 일어난다. 석회암 골재는 700-890℃에서 급격한 흡열반응과 중량감소가 있는데 이는 calcite와 소량 혼재된 운모의 탈탄산과 탈수현상에 결과이다.

한편, 가열과정에서 중량변화를 조사한 T.G.A.의

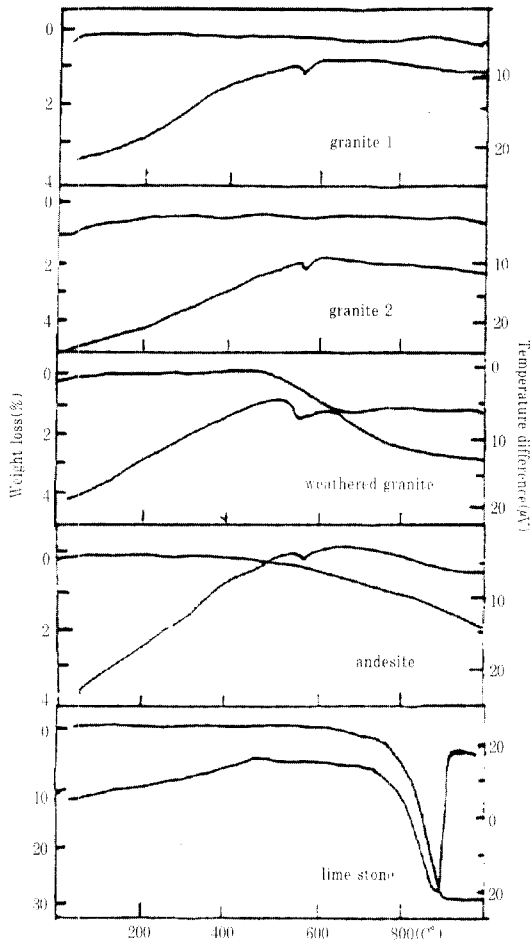


Fig. 3 D.T.-T.G.A. of Coarse Aggregates by Source

결과에서 중량감소가 큰 골재(weathered granite, andesite)는 열적 내구성이 작은 성분 즉 운모계 광물, 점토광물,  $\alpha$ -quartz(단, 석영경우 중량변화는 없

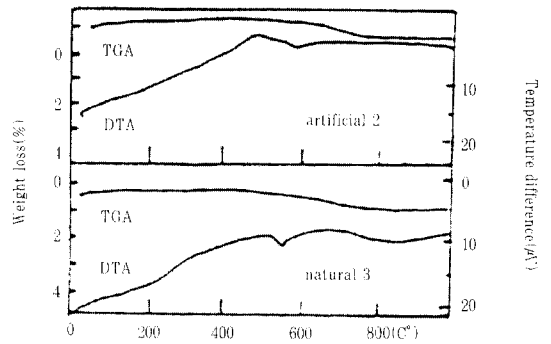


Fig. 4 D.T.-T.G.A. of Fine Aggregates by Source

음)가 많음을 나타내며 풍화 또는 퇴적 변성과정에서 생성된 골재로 판단된다. 따라서, 화강암 골재(granite 1, granite 2, granite 3)는 가열감량이 작고 또한 D.T.A.의 중량감소도 작아 풍화광물이 적게 혼재함을 알 수 있으나, 풍화 화강암(weathered granite)과 안산암(andesite)은 가열감량도 각각 2.7, 2.8%(Table 1 참조)로서 풍화 광물(운모, 점토계 광물)이 다량 혼재해 있다.

한편 잔골재는 D.T.-T.G.A.의 열분석에 의한 중량감소가 작고, 단지 세척쇄사(artificial 1)와 강사(natural 3)경우에서만 0.3-0.4%의 중량감소가 발생하였다.(Table 1, Fig. 4 참조) 골재별로 광물조성을 추정한 결과는 Table 7과 같다.

편광현미경을 사용하여 골재의 결정크기와 점토광물의 혼재를 관찰한 결과(Fig. 5, Table 8 참조)에서, granite 1, granite 2의 화강암 골재는 비교적 큰 결정(평균 300-1000 $\mu$ m)의 석영과 장석(정장석, 조장석, 회장석)으로 구성되어 있으며 점토광물이 거

Table 7 The Mineral Composition in Aggregates assumed by X.R.D. and D.T.-T.G.A.

aggregate		mineral composition(%)			
		quartz + feldspar + alunite	muscovite	kaolinite	calcite
coarse aggregate	granite 1	above 96%	below 4%	-	-
	granite 2				
	granite 3				
	Wethered granite	about 58%	about 36%	about 6%	-
	andesite	about 63%	about 30%	about 7%	-
	lime stone	about 23%	-	-	about 67%
fine aggregate	natural 1, 2	about 97%	below 3%	-	-
	natural 3	about 94%	about 6%	-	-
	artificial 1	about 93%	about 7%	-	-
	artificial 2	about 97%	below 3%	-	-

Table 8 Observation of Polarized Light Microscope of Aggregates by Source

aggregate		crystal size	observation of results
coarse	granite 1	max.1500 $\mu$ m, min.80 $\mu$ m, ave.300-1000 $\mu$ m	big grain, mainly quartz,albite,feldspar
	granite 2	max.1500 $\mu$ m, min.80 $\mu$ m, ave.450-1000 $\mu$ m	big grain, mainly quartz,albite,feldspar
	w-granite	max. 400 $\mu$ m, min.50 $\mu$ m, ave. 80-320 $\mu$ m	midium grain, much weathered mineral
	granite 3	max. 200 $\mu$ m, min.20 $\mu$ m, ave. 50-150 $\mu$ m	midium grain, little kaolinite, muscovite
	andesite	max. 100 $\mu$ m, min.20 $\mu$ m, ave. 20- 80 $\mu$ m	poor crystalline, weathered mineral
	lime stone	max. 480 $\mu$ m, min.10 $\mu$ m, ave. 20-400 $\mu$ m	calcite 30-480 $\mu$ m, quartz,albite 10-320 $\mu$ m

Table 9 The Compressive Strength of Coarse Aggregates by Source

coarse aggregate	compressive strength	coarse aggregate	compressive strength
granite 1	1520kg/cm <sup>2</sup>	weathered granite	1680kg/cm <sup>2</sup>
granite 2	1650kg/cm <sup>2</sup>	andesite	1650kg/cm <sup>2</sup>
granite 3	1570kg/cm <sup>2</sup>	lime stone	1420kg/cm <sup>2</sup>

의 없었다. granite 3의 화강암 골재는 작은 결정(평균 50-150 $\mu$ m)의 석영과 장석광물이 관찰되며 또한, 소량의 점토광물이 혼재하고 있다.

한편 풍화 화강암골재에서는 다량의 점토광물과 운모의 혼재가 관찰되었으며, 안산암 골재는 결정(평균 20-80 $\mu$ m)이 명확하지 않고 점토광물과 운모가 광범위하게 혼재되어 있다. 이와 같이 운모와 점토광물이 혼재하는 것은 외적 기후변화 등에 의해 풍화가 진행되었음을 확인시켜주는 것이며 또한 Table 1과 같이 풍화작용에서 물이나 산성조건에서 용해도가 큰 SiO<sub>2</sub>가 다른 골재(granite 1, 2)에 비해 작은 것으로도 비교 판단할 수 있다. 한편, 석회암 골재는 다소 큰 결정의 calcite(평균 50-400 $\mu$ m)가 다량 생성되어 있고 작은 결정의 석영과 장석(평균 20-200 $\mu$ m)이 소량 혼재되어 있었다.

### 3.3 골재의 표면거칠기

광물조성, 결정크기와 풍화도 등 압질특성이 다른 골재를 사용하여 콘크리트를 제조하였을 때의 특성을 해석하기 위해 압질특성이 다른 골재의 표면거칠기와 입형을 실제현미경(stereoscopic microscope)를 이용하여 관찰하였다. (Fig. 6-8 참조) 결정이 잘 발달하고 풍화되지 않은 압질의 골재는 Fig. 6의 c), d)와 같이 표면이 거칠고 골재의 구형도도 그림. 7의 c) 과 같이 양호하였나, 결정이 작고 풍화광물(운모 또는 점토광물)이 혼재된 화강암 골재(weathered granite, granite 3)와 안산암 골재 (andesite)는 Fig. 6의 a), b)와 같이 골재의 표면이 매끄럽고 비

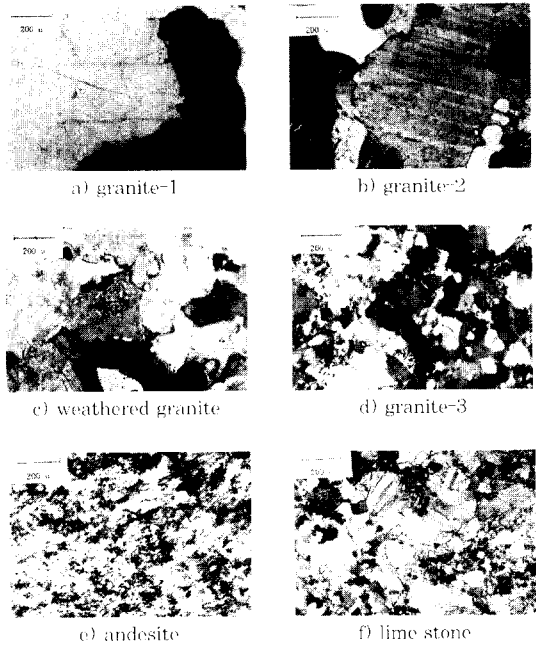


Fig. 5 Photographs of Polarized Light Microscope of Aggregates

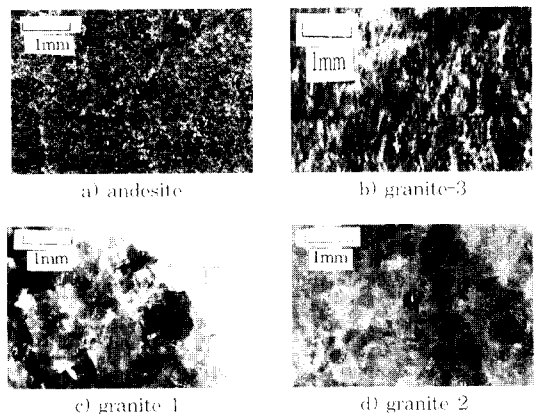


Fig. 6 Photographs of Stereoscopic Microscope of Aggregates by Source

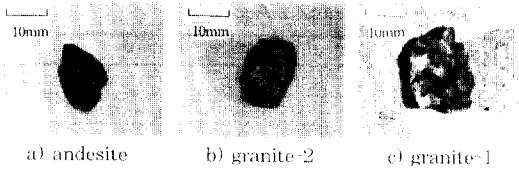


Fig. 7 Photographs of Shapes of Aggregates by Source

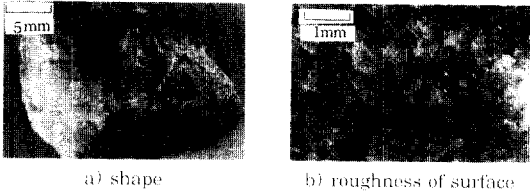


Fig. 8 Photographs of Stereoscopic Microscope of Lime Stones

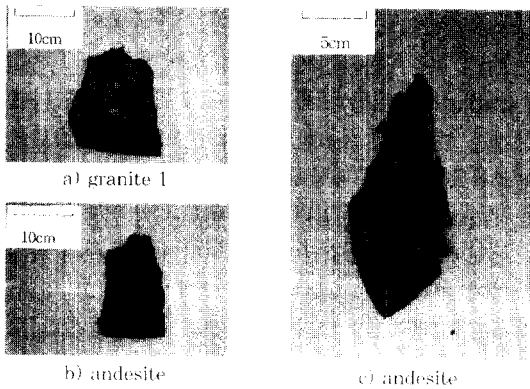


Fig. 9 Comparison of Destruction Section of Aggregates by Source

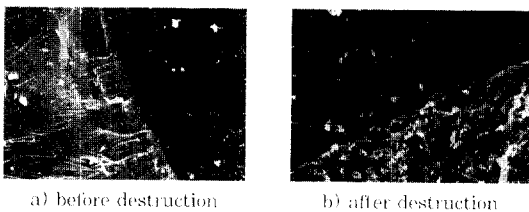


Fig. 10 Status of Fracture in Granite 1 Aggregate

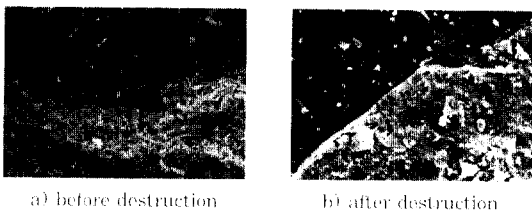


Fig. 11 Status of Fracture in Andesite Aggregate

려하며 Fig. 7의 a)와 같이 골재의 구형도도 저하되고 있다. 이런 골재들을 사용하여  $800\text{kg}/\text{cm}^2$  이상의 고강도 콘크리트를 제조하여 압축강도를 측정 한 후 파괴단면을 관찰하였다.

여기서 골재와 페이스트의 부착력을 강도측정으로 평가한 것은 직접평가는 아니나, 하중에 대한 콘크리트의 파괴는 내부구조의 결합 또는 결합력이 취약한 페이스트와 골재계면을 따라 시작되므로 간접적인 상대평가로 이용이 가능하다.

또한, 암질특성이 다른 암석을  $10 \times 10 \times 10\text{cm}$ 로 절단하여 압축강도를 측정 한 결과를 보면(Table 9 참조) 모든 골재의 압축강도가  $1400\text{kg}/\text{cm}^2$  이상으로써  $800\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 고강도 콘크리트를 제조하는 데는 충분한 것으로 판단하였으며 또한, Table 1의 파쇄율과 마모율을 측정결과, 화강암 골재에 비해 풍화된 화강암과 안산암계의 골재가 더 양호한데 이는 암질특성으로 인한 차이로 생각된다.

그러나, 재시험후에 암질특성이 다른 콘크리트의 파괴된 단면을 관찰한 결과, 결정이 크고 잘 발달하여 표면이 거친 골재(granite 1, Fig. 5의 a, Fig. 6의 c, Fig. 7의 c 참조)를 사용한 콘크리트의 파괴면은 골재와 페이스트의 강한 부착력으로 인해 골재와 페이스트의 계면을 따라 파괴가 진행되지 않고 파괴면은 압축응력집중에 의해 유발된 췌기형 파괴단면을 따라 칼로 절단한 것과 같이 매끈한 파괴단면과 그 단면을 따라 존재하는 골재가 대부분 파괴되었다.(Fig. 9 참조), 그러나 결정이 작아 골재표면이 미려하고 풍화가 진행된 골재를 사용한 콘크리트는 유도된 췌기형으로 파괴는 되지만 파괴단면은 주로 골재와 페이스트의 계면을 따라 수정된 파괴경로(골재와 페이스트의 탈락현상)가 형성되고 있다.

이런 파괴단면의 차이는 주로 암질특성에 의한 골재의 표면거칠기와 입형의 차이로 발생한 골재의 부착력이 주 원인으로 판단된다. 한편, 석회암 골재는 입형의 구형도는 안산암 골재에 비해 구형도가 다소 양호하나 표면거칠기는 안산암 골재와 같이 매끄러운 상태이고 또한, 콘크리트의 파괴단면을 관찰해 골재와 페이스트의 부착상태를 보면 거대결정의 화강암 골재(granite 1.2)와 안산암 골재(andesite)와의 중간 정도의 부착력을 갖는 것으로 판단된다.(Table 10, 11 참조)

Table 10 Mechanical Properties of High Strength Concrete by the Source of Aggregates

aggregate		workability of concrete		centrifugal strength (kg/cm <sup>2</sup> )		
gravel	sand	workable time	slump(cm)	1d.	3d.	7d.
granite 1	natural 1	above 25 min	3.7	778	839	905
granite 2	natural 2	above 20 min	3.1	760	825	866
w-granite	artificial 1	above 15 min	1.2	698	749	806
granite 3	artificial 2	above 15 min	no slump	687	760	812
andesite	natural 3	above 10 min	no slump	589	667	730

Table 11 Mechanical Properties of High Strength Concrete used Granite 1 and Lime Stone's Aggregates

aggregate (%)		workability of concrete		centrifugal strength (kg/cm <sup>2</sup> )			elastic modulus( $\times 10^4$ )
gravel	lime stone	workable time	slump(cm)	1d.	3d.	7d.	
granite 1	0	25 min	3.7	809	849	942	39.1
granite 2	25	20 min	2.6	775	856	901	42.0
w-granite	50	20 min	1.5	806	841	886	41.6
granite 3	100	15 min	0.9	710	756	803	44.4

### 3.4 페이스트와 골재계면의 관찰

콘크리트에 가해진 하중의 전달과 파괴의 시작은 취약한 결합력을 갖는 페이스트와 골재의 계면에서 부터 시작되고 진행된다.

골재의 압질특성(granite 1, andesite)에 따른 하중에 의한 파괴 전과 후의 과정을 관찰하기 위해 페이스트와 골재의 계면부를 채취하여 scanning electronic microscope(이하 S.E.M.)를 이용하여 관찰하였고 그 관찰사진은 Fig. 10, 11과 같다. 여기서 고강도콘크리트는 일반콘크리트에 비해 재료적으로 취성적이므로 파괴과정이 매우 급속하며 폭발적으로 일어났다.

또한, 압질특성에 따라 관찰된 골재계면을 보면 granite 1의 화강암 골재(Fig. 10의 a 참조)는 안산암 골재(Fig. 11의 a 참조)에 비해 계면이 매우 밀착되어 있고 계면의 부착력이 큰 것으로 판단된다. 또한 재하실험후에 골재계면을 관찰한 결과 대부분의 균열이 골재계면에서 발생하는 것을 확인 할 수 있었으며(Fig. 10의 b, Fig. 11의 b 참조) 특히 화강암 골재는 골재계면의 부착력이 커 페이스트와 골재계면의 파괴와 함께 파괴단면에 걸쳐 있는 골재는 골재의 결정계면(Fig. 10의 b)도 파괴가 일어나고 있다. 풍화광물과 미세결정으로 되어 있는 화강암 골재와 안산암 골재는 주로 페이스트와 골재의 계면을 따라 파괴되며 이것은 골재의 결정계면이 파괴되기 전에 골재와 페이스트의 계면에서 균열(Fig. 11의 b)이 먼저 발생되어 이 경계면을 따라 파괴가 급속히 진행되는 것으로 판단된다.

### 3.5 골재의 압질과 콘크리트특성

#### 3.5.1 고강도콘크리트(800kg/cm<sup>2</sup>이상)

Table 5의 배합과 제조조건으로 압질특성이 다른 골재를 사용하여 800kg/cm<sup>2</sup>이상의 고강도콘크리트를 제조할 경우 그의 특성에 미치는 영향을 검토한 결과는 Table 10, 11과 같다.

동일배합과 제조조건이 적용되더라도 골재의 압질특성에 따라 콘크리트특성이 크게 달라지고 있다. Table 10과 11의 결과에서 강도, 작업가능시간 및 slump 등의 특성치의 차이는 생산공장의 제품에 품질과 생산성에 결정적인 영향을 주고 있다. 특히, 거대결정을 갖는 화강암 골재(granite 1, granite 2)는 강도, 요구작업성과 작업시간확보에 양호하고 또한 직접 생산공장에 적용한 결과, 제품의 품질과 생산성(38톤/시간)이 향상되었다.

그러나 풍화광물이 혼재하고 또는 결정이 작고 미세한 안산암 골재(andesite)는 강도는 물론이고 작업성이 저조하여 생산공장의 배합설계에서 시멘트가 약 2.5-5.0%이상 상승되고 파일제품의 생산성(29.5톤/시간)도 약 30%정도 저하되었다. 석회석 골재는 어느 정도 큰 결정이 혼재해 있으나, 압질특성으로 인하여 표면이 매끄럽기 때문에 Table 11에서와 같이 강도와 작업성이 저조하였다. 그러나, 석회석 골재의 사용은 콘크리트의 탄성율이 증가하는 경향이며, 여기서 충격강도의 내성은 탄성계수와 비례관계가 있으므로 항타시공을 하는 콘크리트파일의 충격력에 대한 내성향상은 석회석 골재의 사용으로 어느 정도 유효할 것으로 판단된다.



이와 같은 결과에서 고강도콘크리트제조에 골재의 압질은 골재의 구형도와 표면거칠기의 결정인자로서 강도는 물론이고 작업성에 주요인자로 함께 고려하는 것이 바람직하다. 한편, 잔골재의 영향이 상존하기는 하나 동일 W/C배합조건에서의 평가이고 또 압질특성이 다른 굵은골재의 입형과 표면거칠기의 영향이 800kg/cm<sup>2</sup>이상의 된반죽 고강도콘크리트에서 부착력과 작업성(Table 11 참조)에 영향이 크므로 잔골재의 영향은 해석에서 제외하였다.

### 3.5.2 일반 콘크리트

레미콘의 일반배합에서 압질특성이 다른 굵은 골재(화강암, 안산암)를 사용하였을 때 콘크리트의 특성변화를 검토한 결과는 표 12와 같다. 표 12의 결과에서 압축강도의 차는 약20-30kg/cm<sup>2</sup>에 불과하지만, 요구강도의 약 10-20%정도에 달해 관리항목에서 제외하기는 어렵다고 판단되며 또한, 동일배합의 동일 잔골재를 사용에서 굵은골재의 입형 차이로만 slump 가 약 1cm 정도 증가되었다.

### 3.6 알카리 잠재 반응성

압질특성에 의해 알카리 골재반응에 대한 영향이 큰 것으로 보고되고 있으며<sup>12,100</sup> 특히 안산암, 유문암, 점판암, 사암 등은 알카리 골재반응이 일어나기 쉬운 골재이고 그의 성분, 조직 또는 발생요인 등에 따라 반응여부가 좌우되는 것으로 알려져 있다. 다행히 알카리 골재반응에 대한 국내 구조물의 피해보고는 없으며 전국적으로 조사한 골재의 잠재반응성조사<sup>10</sup>에서도 국산골재의 반응성에 우려는 없었다. (단, 제주도지역은 제외) 본 연구의 목적은 아니나, ASTM C289의

Table 12 Mechanical Properties of Normal Concrete by the Source of Aggregates

gravel	slump (cm)	compressive strength(kg/cm <sup>2</sup> )			remark
		3ds	7ds	28ds	
granite 1	11.7	154	197	323	sand: natural 3
andesite	10.4	127	175	277	
granite/andesite	-	about 21%	about 11%	about 16%	

Table 13 Results of Chemical Test of ASTM C 289

aggregate	SiO <sub>2</sub> mole (%)	SiO <sub>2</sub> mole (%)	aggregate	SiO <sub>2</sub> mole (%)	SiO <sub>2</sub> mole (%)
granite 1	50.1	15.3	volcanic granite	46.5	36.7
granite 2	69.1	23.5	andesite	180.7	45.6
granite 3	78.3	14.8	lime stone	78.2	27.5

잠재반응성시험방법에 의한 반응성을 조사한 결과 (Table 13 참조)에서도 무해한 것으로 판정되었다.

## 4. 고 찰

골재와 페이스트의 부착강도는 골재 또는 페이스트의 인장강도보다 작아 하중에 의한 파괴는 주로 골재와 페이스트의 계면에서 주로 시작된다. 따라서 골재와 페이스트의 부착력은 콘크리트의 강도와 어느 정도 직접적인 관계가 있으며, 이런 부착력은 화학적 부착과 물리·정전기적 부착기구에 의해 형성된다. 이런 부착기구는 골재의 입형, 표면상태(거칠기) 및 성분 등으로 결정되는데, 이런 특성은 골재의 압질, 구성결정의 크기 및 풍화도에 의해 좌우되는 것을 확인하였다. 화학적으로 부착력을 좌우하는 압질의 성분은 석영, 장석광물, 운모, 점토광물, 석회석 광물 등을 들 수 있으나 특히, 운모, 점토광물이 작은 골재가 화학적 부착에는 유리하며 또한, 물리적·정전기적 부착은 표면이 거칠어 골재의 비표면적이 큰 골재가 유리하다. 거대결정으로 구성되어 있는 화강암 골재일수록 구형도와 표면거칠기(비표면적)가 커져서 부착력이 커지고 있다. 또한, 골재의 입형에 의해 좌우되는 콘크리트의 작업성도 골재에 구성광물의 결정이 크고 점토광물이 작은 압질의 골재일수록 구형입형이어서 유리하다.

종합적으로, 콘크리트의 고강도와 내구성은 총 재료의 70-80%를 차지하는 골재의 부착력에 영향을 주는 압질특성을 고려하는 것이 중요하다고 판단된다. 이것은 골재의 품질특성( 파쇄율, 내마모성, 비중, 흡수율 등)이 저조하지만, 입형과 표면거칠기가 양호해 더 큰 강도와 작업성이 확보되고 있는 granite 1의 화강암 골재와, 품질( 비중, 흡수율, 파쇄율, 마모율 등 )이 양호하지만 콘크리트의 특성이 저조한 석회석, 안산암 골재를 비교하므로써 이해할 수 있다. 그러나 통상적으로 골재 선정에는 주로 품질특성에 국한하는 경향인데, 이는 양질의 콘크리트제조를 위해 지속적으로 개선되어야 할 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

압질특성이 다른 골재를 사용하여 콘크리트의 기

## 참고 문헌

본특성에 미치는 영향과 그의 영향을 골재의 암석학적 특성인자로 해석한 결과는 다음과 같다.

1) 사용골재는 화강암, 풍화화강암, 안산암, 석회암 골재이며, 구성광물은 구성량의 차이는 있으나, Quartz(석영), Feldspar(조장석, 회장석), Albite(장석), Muscovite(운모), Kaolinite(점토 광물) 등이고, 암석의 강도는 1400kg/cm<sup>2</sup>이상이나, 암질특성에 의해 광물의 결정크기와 구성성분의 차이로 입형과 표면거칠기(비표면적)가 달라지고 있다.

2) 골재의 품질이 양호하더라도, 결정이 작고 점토 광물이 많이 함유된 골재는 입형과 표면거칠기의 특성이 저조하여 부착력이 저하되며, 거대결정으로 구성된 화강암 골재는 부착력이 양호하며, 부착력의 크기는 거대결정의 화강암 > 풍화화강암 = 미세결정의 화강암 = 석회암 > 안산암 골재 순이었고 이들 골재는 알카리 잠재반응성이 없는 것으로 판정되었다.

3) 암질특성이 다른 골재(화강암, 안산암, 석회석)를 사용한 고강도콘크리트는 약 150-200kg/cm<sup>2</sup> 까지 강도의 차가 나고 있고, 레미콘배합에서는 그의 차이가 약 40kg/cm<sup>2</sup>에 불과하지만, 증진율은 약 10-20%이고, slump의 차이도 약 1cm 정도가 된다.

4) 이상의 결과에서, 양질의 콘크리트제조를 위해 골재의 품질특성도 중요하지만, 골재의 부착력 과 입형을 좌우하는 골재의 암석학적 고려도 함께 검토해야 할 것으로 판단된다.

- 1) Neville, Properties of Concrete, Second Edition, Pitman publishing, 1977. pp 118-202.
- 2) M.F. Kaplan, Flexural and compressive strength of concrete as affected by the properties of coarse aggregate, J. Amer. Concre. Inst. 55, May, 1959. pp 1193-1208.
- 3) R. Jones and M.F.Kaplan, The effects of coarse aggregate on the mode of failure of concrete in compression and flexure, Mag. Cocr. Res. 9, No26, August, 1957 pp 89-94
- 4) (日) 콘크리트工学協會, 콘크리트技術者のための偏光顯微鏡による骨材の品質判定の手引, 1987
- 5) L.G.Berry, Brian Mason, Mineralogy, W.H. Freeman and Company, 1961 pp 210-275.
- 6) (日) 窯業協會, セラミック工学 handbook 地質·岩石·鑛物·鑛床, 1989 pp 783-816.
- 7) P.F.Kerr, Optical Mineralogy, Fourth Edition, Mc Graw-Hill Book Company, 1977
- 8) Taylor, The Chemical of Cement, Part V. Experimental Methods, Academic Press Inc. 1979 pp.191-288.
- 9) D. W. Hobbs, Alkali-silica reaction in concrete, Thomas telford, London, 1988.
- 10) 송석규, 현석훈, 석산골재 알카리반응 연구, SSRC-S40009-FN(쌍용연구보고서), 1984.

## 요 약

암석학적 특징이 다른 골재를 사용할 때 콘크리트의 기본특성에 영향을 골재품질 시험과 함께, 화학분석, X.R.D, D.T-T.G.A, S.E.M, 편광현미경, 실체현미경관찰 등을 하여 조사하므로써 암질특성과 콘크리트의 기본특성과의 관계를 해석하였다.

연구결과, 운모 또는 점토계 광물과 같은 풍화광물이 혼재하지 않고 거대 결정을 갖는 화강암계 골재는 풍화 화강암, 안산암, 석회암 골재에 비해 골재품질이 저조해도 작업성이나 강도특성이 우수하였다. 이는 골재의 표면거칠기와 구형도가 양호해 골재와 시멘트페이스트의 부착력이 강화되기 때문이며 고강도콘크리트제조를 위한 골재의 암질로는 거대 결정으로 구성되고 풍화광물이 없는 암질을 선정하는 것이 중요하다. 결정이 크고 풍화광물(운모, 점토계 광물)이 혼재되지 않은 화강암 골재를 사용한 고강도콘크리트는 석회암, 안산암 골재를 사용한 콘크리트에 비해 150-200kg/cm<sup>2</sup>이상의 강도증진과 작업성이 향상되었다.

(접수일자 : 1997. 7. 1)