골재의 암석학적 특징이 콘크리트 기본특성에 미치는 영향

The Study of The Basic physical properties in The Concrete used Aggregates with The Different mineralogical features

엄태선* 최상흘**
Um, Tai Sun Choi, Sang Heul

Abstract

The aggregates with the different mineralogical features are studied how to affect the basic physical properties of concretes according to the changes of the chemical composition, mineralogical composition, crystal size, the standard qualities in the aggregates in using chemical analysis, X.R.D. DT-TGA, polarized light microscope, streoscopic microscope, standard test method of aggregates & concretes.

At this studies, We found that Aggregates without the weathered mineral such as muscovite & kaolin mineral etc, is superior to the others with the weathered mineral, even if it's standard qualities are inferiored to the other's. For examples, In manufacturing High strengt concretes, The strength of concretes used aggregates without weathered mineral are improved about 15% than the other's, and also, For general mixture to manufacture remicon, more about 10-20% than the other's strength and workability.

1. 서 론

콘크리트 구성재료에서 전체용적의 약 70-80%에 달하고 있는 골재는 양질의 콘크리트제조를 위해 엄격한 특성관리가 요구되고 있지만, 통상 콘크리트배합설계 또는 골재선정작업에서 주로 활용되는 골재의 특성은 비중, 흡수율, 조립율(입도), 실적율(단위용적중량), 내마모성 등의 정도이고, 실용적인 콘크리트의 강도와 작업성의 관리방법에서도 W/C (C/W), S/A, 또는 단위수량의 조정으로써만 이루어지고 있는 것이 현실이다.

* 정회원, 쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 책임연구원.(박사과정)
** 정회원, 한양대 무기재료공학과 교수, 공학박사

그러나, 골재의 상기 특성외 콘크리트의 특성은 골재의 입형과 표면거칠기 등에 의해 야기되는 물성변화가 골재에 의해 생기는 물성의 영향의 약 50-80%에 이르며, 이런 특성은 주로 골재의 광물학적 특성으로 표현되는 암질에 의해 결정되는 것으로 보고되고 있다.

이런 골재의 입형과 표면거칠기는 시멘트페이스트와의 부착력에 밀접한 관계가 있는데, 이런 부착기구는 골재와의 화학적인 부착과 골재표면의 물리적,정전기적 부착 등으로 구분된다. 예를들면, 석회석, 석영질골재들은 화학적인 부착력이 작용되고 있으며, 윤이 나는 골재는 표면장력에 의한 부착력이 생긴다. 그러나 골재의 부착성을 예측하거나, 측정하는 것은 매우 곤란한 것이며 규정된 실험방법도 없어,단지, 상대적인 비교실험이 이루어지는 실정이다.

따라서, 골재의 부착력은 콘크리트의 강도등 설계에서는 주 영향인자로 고려되고 있지 않지만 근자에 고강도 콘크리트의 개발과 적용이 활발히 추진되고 있고, 이런 과정에서 무계획적인 석산골재의개발로써 생산된 저질골재의 부착강도가 시멘트페이스트의 인장강도보다 극히 작아, 콘크리트의 물성저하등 열화현상이 심각하게 발생되고 있다.

본 연구는 경제적이고 양질의 콘크리트를 제조하는데 있어 소홀히 취급되고 있는 골재의 부착력을 골재의 암질특성을 분석해 규명하고자 광물학적 특징이 서로 다른 골재를 산지별로 채취해, 골재의 화학성분, 광물조성, 광물의 결정발달, 표면거칠기 등의 특성과, 골재의 규격품질특성을 화학분석, X.R.D. 편광현미경, 실체현미경 등의 기기분석과, 골재의 규격시험을 적용해 검토하고, 이들 골재를 직접 800kg/cm2이상의 고강도콘크리트와, 일반레미콘에 적용하였을 때의 기본물성변화를 평가함으로서, 석산골재개발에서 양질의 암질선정과, 콘크리트제조용 적정골재의 선택기준을 제시하고자 하였다.

2. 실험내용

2.1. 사용 원료

(1) 골 재

암석학적 특징이 서로 다른 골재를 표 1과 같이 선정하였으며, 이때 굵은골재는 19mm의 쇄석골재

표 1 입수골재의 종류와 특성

골재종류 및 산지		비중	흡수율 (%)	화학성분 (%)								파쇄율 (%)	마모율 (%)
				SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	Ig-Loss		
굵은 골재	상주	2.58	0.8	72.0	15.5	1.8	2.3	0.1	4.42	3.10	0.5	28.5	26.8
	옥산	2.71	0.5	72.4	15.3	1.5	2.1	0.1	4.04	3.81	0.4	-	17.0
	장기	2.66	1.0	70.2	14.7	2.8	1.9	1.1	3.33	2.62	2.8	21.5	10.4
	면천	2.59	0.8	70.9	15.7	2.5	2.2	0.1	4.19	3.25	0.7	23.3	16.5
	부강	2.72	0.5	67.2	15.1	4.8	0.2	1.7	3.71	3.85	2.6	18.6	16.2
잔 골재	문경	2.57	1.7	81.3	10.4	1.0	0.7	0.1	1.66	3.98	0.7	-	-
	금강	2.57	1.5	82.0	10.3	1.0	0.9	0.1	1.89	2.86	0.8	-	-
	복수	2.58	1.6	79.0	12.6	1.4	0.9	0.1	1.03	3.87	1.0	-	-
	면천	2.62	0.4	93.7	3.4	0.8	0.1	0.1	0.08	0.96	0.7	-	-
	부강	2.57	1.5	82.9	9.4	1.1	0.5	0.1	1.54	3.38	0.9	-	-

이였고, 잔골재는 세척사와 강사 등을 적용하였다.

(2) 시멘트

선정된 골재를 적용한 콘크리트의 기본특성을 검토하기 위해, 사용한 시멘트의 특성은 표 2와 같다

표 2 사용시멘트의 특성

종류	화학성분		분 말 도			응결시간			안정도	압축강도 (kg/cm2)			
	Ig.Loss (%)	f-CaO (%)	blaine (cm2/g)	88 (μ)	44 (μ)	w/c (%)	초결 (분)	종결 (시간)	(%)	1일	3일	7일	28일
1종시멘트	1.3	2.0	3220	1.9	12.4	25.2	300	8:45	0.10	83	192	299	373
*고강도 시멘트	1.0	0.7	4200	0.1	1.7	25.4	190	6:15	0.02	405	442	554	646

주) * 압축강도 : 증기양생, flow 110±5%, 고유동화제 1.0% 첨가

2.2. 실험방법

1) 암석학적 분석

입수골재의 암석학적 특성을 분석을 위해 화학분석, X.R.D, D.T-T.G.A, 편광현미경 등을 활용해 성분, 광물조성, 결정발달상태를 분석하고, 이런 특성의 차가 생산골재의 표면형상과 입형에 미치는 영향을 육안과 실체현미경을 활용해 검토하였다.

2) 골재특성

암석학적 특성이 다른 골재의 품질특성은 KSF2502-2511에 의한 시험방법으로 평가하였다.

3) 콘크리트 기본특성

암석학적 특성이 다른 골재를 사용한 콘크리트의 기본특성은 KSF2801, KSF2405, KSF2402 등의 시험방법으로 평가하였고, 이때의 시험조건은 표 3과 표 4와 같다.

3. 실험결과

3.1. 골재 품질

입수된 골재의 품질특성을 분석한 결과는 표 5와 같고, 입수된 모든 골재는 표 1의 결과와 종합판단할 때, 양호한 골재의 품질특성을 갖고 있다.

3.2. 암석학적 특성

입수골재를 X.R.D, D.T-T.G.A, 편광현미경, 화학분석 등을 이용해, 암석학적 특성을 분석한 결과는 그림2와 그림3과 같다. 골재내부에 존재하는 주 광물성분은 그의 존재량의 차가 있을 뿐, Quartz(SiO_2), Feldspar(K_2O Al_2O_3 $6SiO_2$, CaO Al_2O_3 $2SiO_2$), Albite($Na_20Al_2O_2$ $6SiO_2$),

표 3 고강도콘크리트(800kg/㎠이상)의 적용조건

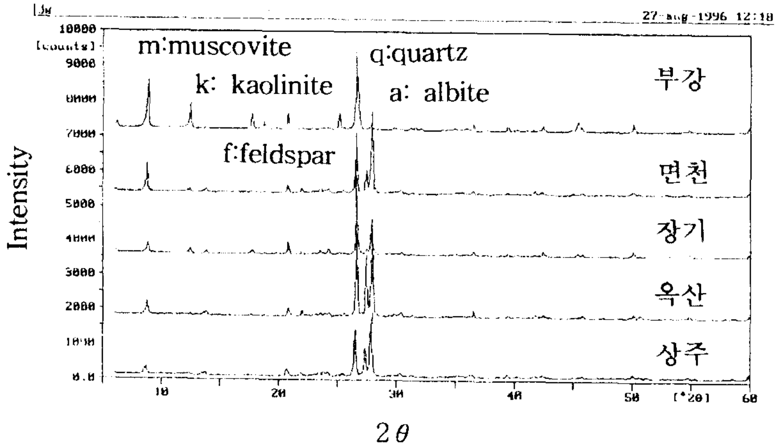
항 목	세 부 실 험 조 건				
배 합 조 건	시멘트	w/c	s/a	admixture	slump
	$560kg/m^3$	25(%)	35(%)	1.8(%)	2-4cm
양 생 조 건	전양생시간;3hr, 승온속도;20℃/hr, 최대양생온도;80℃, 유지시간;5hr				
성 형 조 건	원 심 성 형 조 건				
	구 분	초 속	중 속	중 고 속	고 속
	원 심 력	2G	8G	15G	40G
	원 심 시 간	3분	1분	1분	5분

표 4 일반레이콘의 적용 조건

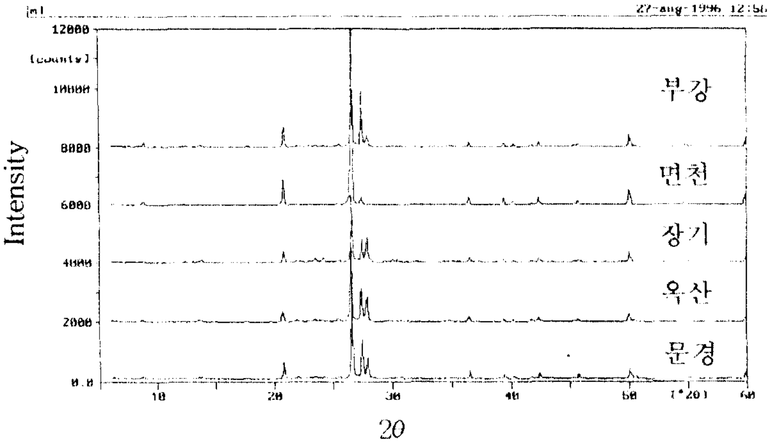
조건 / 항목	배 합 조 건				사 용 재 료 량 (kg/m3)					
	cement (kg/m3)	w/c (%)	s/a (%)	admixture (%)	cement	water	sand	gravel	admixture	slump (cm)
사용량	320	60.3	40	0.1	320	193	701	1068	0.32	10.5

표 5 입수골재의 품질특성

종 류	굵 은 골 재			종 류	잔 골 재			
	단위용적중량 (kg/m3)	실적율 (%)	조립율		단위용적중량 (kg/m3)	씻기시험 (%)	실적율 (%)	조립율
규격치	-	55이상	-	규격치	1450이상	7.0	53이상	-
상주	1539	60	6.8	문경	1616	1.3	63	3.2
옥산	1619	68	6.5	옥산	1569	1.6	64	2.8
장기	1555	58	7.1	장기	1669	3.0	65	3.3
면천	1491	58	7.1	면천	1724	6.9	66	3.1
부강	1501	55	7.3	부강	1532	0.4	60	2.5



a) 굵은 골재



b) 잔골재

그림 2 입수골재의 X.R.D. 분석결과

Muscovite(흑운모 : $K_2O\ 3Al_2O_3\ 6SiO_2\ 2H_2O$), Kaolinite(점토계광물 : $Al_2O_3\ 2SiO_2\ 2H_2O$)이다.

한편, 열분석과 편광현미경관찰을 한 결과는 그림 3과 4와 같다. 부강산 굵은골재와 장기산 굵은 골재에는 500℃이상에서 급격한 중량감소가 확인되고 있다. 이는 다량의 Muscovite와 Kaoliniter가 함유된 데 기인한다. 한편 잔골재는 굵은 골재에 비해 점토계광물이 적어 중량감소가 작은 편이나 부강산 강사와 면천산 세척사에서는 약 0.33-0.78%의 중량감소가 확인되고 있다. 입수골재별로 편광현미경에 의한 결정크기와 풍화광물(점토계 광물)의 존재를 검토한 결과, 상주산과 옥산산 굵은골재에는 매우 큰 결정(평균300-1000㎛)을 갖고, 점토계 광물이 거의 없으며, 500℃이상에서 중량감소가 큰 부강골재에서는 100㎛이하의 결정과 다량의 점토계 광물로 구성되어 있다.

3.3 골재의 입형과 표면상태

큰 결정으로 구성되어 있거나,점토계 광물이 적은 골재일수록 실체현미경에 의한 표면관찰 결과 표면이 매우 거칠고 구형에 가까운 입형을 갖고 있다. (그림 5, 6참조)

3.4. 콘크리트의 기본특성

(1) 고강도콘크리트배합(800kg/㎠이상)

큰 결정으로 잘 발달되고, 점토계 광물이 거의 없는 골재일수록 고강도특성을 갖으며, 이런 특성은 최고 약200kg/㎠까지의 차가 나고 있고, 성형성도 매우 양호하였다(표 6 참조). 이와 같이 강도특성의 차가 생기는 것은 그림 7과 같이 파단면관찰결과, 사용골재의 부착성이 서로 다른데 기인한다.

(2) 일반레미콘배합

일반적으로 사용되고 있는 콘크리트배합에서의 강도차는 약20-30kg/㎠에 불가하지만, 요구강도의 약10-20%정도에 달하므로 전혀 무시할 수 없다. 한편, 동일배합조건임에도 작업성은 약10%정도

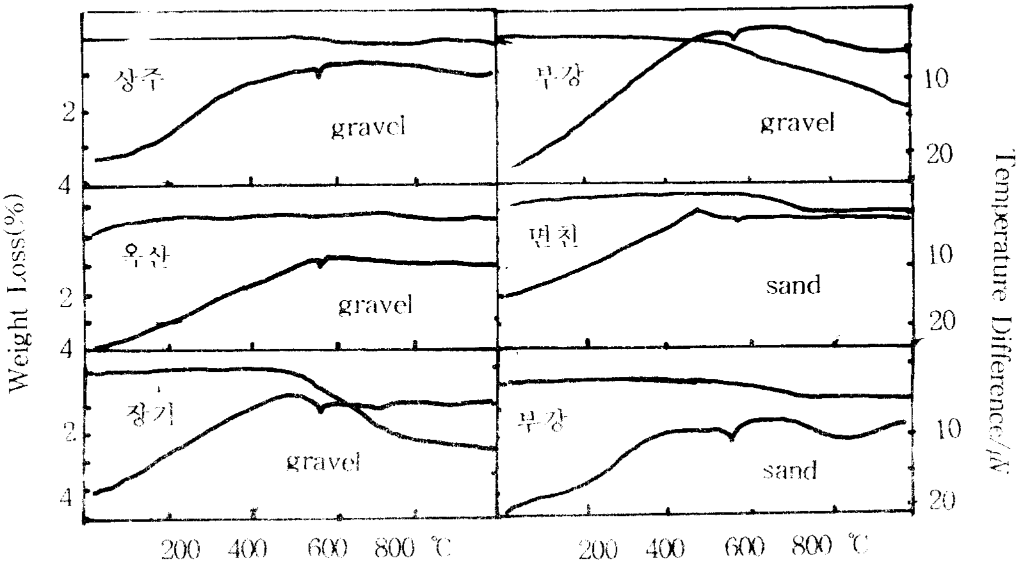
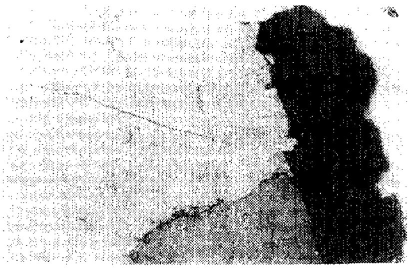
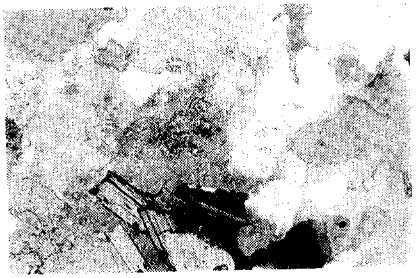


그림 3 입수 골재의 D.T-T.G.A 분석 결과



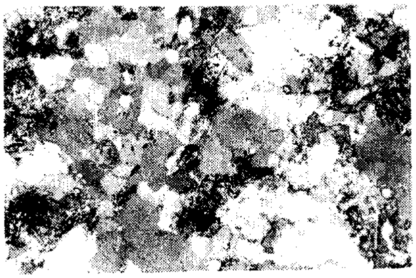
<상주 굵은 골재>

<옥산 굵은 골재>

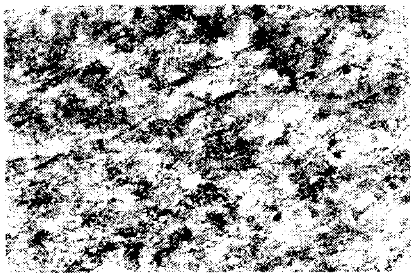


<장기 굵은 골재>

<면천 굵은 골재>



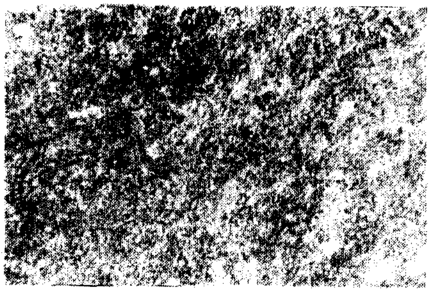
<이천 굵은 골재>



<부강 굵은 골재>

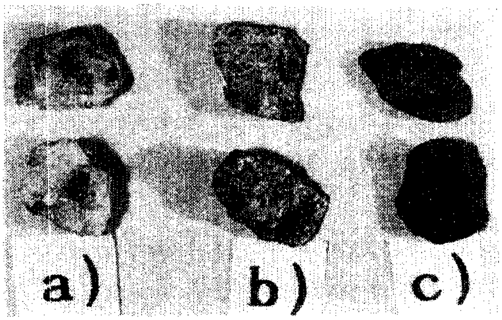
그림 4 입수골재의 편광 현미경 관찰결과

a)큰 결정을 갖는 골재표면(상주)



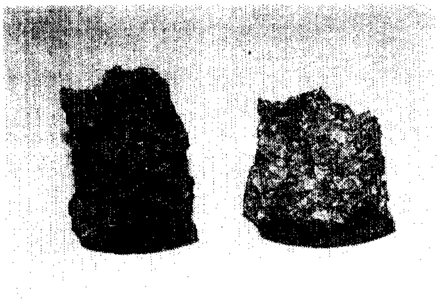
b)작은 결정을 갖는 골재(부강)

그림 5 결정크기에 따른 골재표면상태(실체현미경)



a)큰결정 b)중간결정 c)작은결정

그림 6 결정크기에 따른 골재입형



a)부강골재 b) 상주골재

그림 7 골재별 콘크리트와의 부착상태

표 6 골재종류별 고강도 콘크리트 제조결과

사용골재		작업성	원심성형강도 (kg/㎠)			*비고
굵은골재	잔골재		1일	3일	7일	(평가의견)
상주	문경	○	778	839	905	◎
옥산	옥산	○	760	825	866	○
장기	장기	△	698	749	806	△
변천	변천	△	687	760	812	△
부강	부강	△	589	667	730	×

* 평가의견 : ◎ 매우양호, ○ 양호, △ 저조, × 적용불가

표 7 골재종류별 일반콘크리트 제조결과

굵은골재	Slump (㎝)	3일강도 (kg/㎠)		7일강도(kg/㎠)		28일강도(kg/㎠)	
		측정결과	평균	측정결과	평균	측정결과	평균
상주	11.7	159, 150, 153	154	223, 162, 207	197	311, 331, 326	323
부강	10.4	127, 127, 127	127	166, 182, 177	175	268, 284, 280	277
상주/부강	12.5% ↑	약 21%증가		약 11%증가		약 16%증가	

(Slump10cm기준, 약 1cm증가) 증가되고 있다.

4. 고 찰

골재와 시멘트페이스트(몰탈)의 부착강도는 골재 또는 페이스트(몰탈)의 인장강도보다 매우 작아 재하에 의한 파괴는 주로 골재계면에서 시작된다. 따라서 골재와의 부착력는 바로 콘크리트의 강도와 직접적인 관계가 있는데, 양호한 부착성은 주로 골재의 입형, 표면상태(거칠기) 및 성분 등에 영향을 받으며, 이것은 주로 골재의 암질, 골재내의 결정크기 및 풍화정도에 의해 결정되고 있다. 화학적 부착력을 좌우하는 암질의 성분(석영질 성분, 점토계 광물, 석회석질 광물 등)에서 가급적이면 점토계 광물이 작은 골재가 유리하다. 또한, 물리적 · 정전기적 부착력 측면에서는 표면이 거칠고, 골재의 비표면적이 큰 골재가 유리한데, 이를 위해서는 점토광물의 함량이 작고 광물결정이 큰 암질이 골재의 구형도와 표면거칠기(비표면적)가 커져서 바람직하다. 한편, 골재의 입형에 의해 좌우되는 특성으로 콘크리트의 작업성은 골재의 광물결정이 크고 점토광물이 작은 암질의 골재가 입형의 구형도가 좋아 유리하다.

종합적으로, 콘크리트의 고강도화와 양질의 콘크리트제조에는 골재의 암질에서 부터 고려되어야 한다. 이것은 골재의 품질특성(실적율, 단위용적중량, 비중, 흡수율,내마모성 등)이 저조하지만, 입형과 표면거칠기가 양호해 더 큰 강도와 작업성이 확보되는 것을 보아, 확연한 사실로 인정된다. 그러나 통상적으로 골재 선정에는 주로 품질특성에 국한하는 경향인데, 이는 경제적이고 양질의 콘크리트제조를 위해 시정되어야 할 사항이다.

5. 결 론

암석학적 특성이 서로 다른 골재를 입수하여 콘크리트의 기본 특성에 미치는 영향과 양질의 골재선정을 위한 방안을 검토한 결과는 다음과 같다.

1) 국내 유통되는 골재의 주 광물성분은 Quartz, Feldspar, Albite, Muscovite, Kaolinite 등이며, 그의 함량과 광물의 결정크기는 산지에 따라 크게 다르고, 이런 골재의 광물성분과 결정크기는 생산 골재의 입형과 표면거칠기(비표면적)의 결정인자로써 작용한다.

2) 골재의 기본 특성이 양호하더라도, 골재의 결정이 작고 점토계 광물(풍화광물)이 다량 함유된 골재는 골재의 입형과 표면 거칠기의 특성이 떨어져 부착력이 급격히 저하된다.

3) 골재의 암석학적 특성의 차이는 고강도콘크리트제조 경우, 강도의 차이가 크게는 약 200kg/㎠까지 나고 있고, 일반 레미콘배합에서는 그의 차가 약40kg/㎠ 불가하지만, 강도증진율로는 약 10-20%, Slump는 약10%정도에 이르고 있다.

4)이상의 결과에서, 경제적이고 양질의 콘크리트 제조를 위한 골재의 선정은 골재의 기본 특성도 중요하지만, 암석학적 고려가 더욱 강조되어야 한다.

● 참고 문헌 ●

1. Neville, Properties of Concrete, Second Edition, Pitman publishing, 1977.

2. M.F. Kaplan, Flexural and compressive strength of concrete as affected by the properties of coarse aggregate, J. Amer. Concre. Inst, 55, pp.1193-1208, May, 1959.

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, No.26, pp.89-94, August, 1957

4. 쌍용중앙연구소, 고강도 파일용 적정골재 검토보고서 및 기술표준 (7월,1996년)