

제주도 골재를 사용한 콘크리트의 실험적 연구

An Experimental Study on Concrete with Che-Ju Aggregates

최 광 일*, 김 진 춘**, 성 용 환***, 김 상 용****

Choi, Kwang-il Kim, Jin-chun Sung, Yong-hwan Kim, Sang-yong

ABSTRACT

In this report, the physical and chemical properties of Che-ju aggregates were studied, and the properties of concrete using 5 types combinations of Che-ju aggregates were compared with those of concrete using Dae-jeon area aggregates.

As a result of the properties of Che-ju aggregates are very different with Dae-jeon area aggregates in many aspects. Especially, entrained air content of aggregate is over 1.5% so that the freezing & thawing resistance of concrete was caused in decrease.

And the texture properties of Che-ju aggregates and a little content of the entrained air in mortar increase bonding stress between mortar and aggregate, as a result in improving the compressive strength of concrete.

Meanwhile, the relationship between cement water ratio(C/W) and 28days compressive strength of concrete(F₂₈) is derived from the stastical regression using experimental data as $F_{28} = -99+276*(C/W)$, so this eqation is useful for mix-design of concrete in Che-ju area.

1. 서론

제주지역에서 사용되는 굵은골재는 주로 현무암계 골재로써 지역에 따라서 사용하는 골재의 특성이 조금씩 다르지만 일반적으로 공극이 많고 색깔이 검은 골재가 사용되고 있으며, 잔골재의 경우 육지로부터 반입된 해사나 중국으로부터 수입된 천연 모래가 사용되는 경우가 많지만, 이와 같이 색다른 조건의 골재가 사용되고 있으면서도 그동안 제주지역의 골재를 콘크리트에 사용한 콘크리트 특성변화에 대한 연구보고는 거의 없었다. 따라서 본고에서는 제주

지역에서 사용되고 있는 골재를 조합별로 콘크리트의 물성변화를 검토하고 시멘트물비와 콘크리트 28일압축강도 관계식을 제안 함으로써 제주지역과 유사한 골재를 사용하는 경우 콘크리트 품질관리 및 배합설계에 활용할 수 있는 기초자료를 제공코자 하였으며, 또한 논란이 되어 왔던 제주골재의 알칼리실리카 반응성에 대한 검토도 하였다.

2. 골재의 특성평가

제주지역에서 사용되고 있는 굵은골재 3종류와 잔골재 1종류를 입수하였으며 육지산 골재와 비교를 위해서 대전지역에서 사용되고 있는 굵은골재와 잔골재도 같이 분석하였다. 그 각각의 특성은 다음과 같다.

2.1 화학적 특성

- * 쌍용양회 중앙연구소 콘크리트연구실 실 장
- ** 쌍용양회 중앙연구소 콘크리트연구실 선 임
- *** 쌍용양회 영업본부 품질관리팀 팀 장
- **** 쌍용양회 영업본부 품질관리팀 과 장

표-1. 골재 화학성분

골재종류	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	Sum
J ₁	53.1	16.3	12.1	7.4	3.2	2.4	0.53	3.32	1.57	99.9
J _{g1}	55.6	15.3	11.6	7.9	3.7	1.96	0.26	2.76	0.90	100.0
J _{g2}	54.9	16.8	11.5	7.0	2.7	2.4	0.5	2.40	1.68	99.9
J _{g3}	54.2	17.2	11.0	6.3	2.5	2.1	0.68	3.92	2.02	99.9
D ₁	78.3	10.7	1.6	0.8	0.1	0.3	0.03	3.70	3.70	99.2
D _g	72.4	13.9	4.6	1.1	0.2	0.6	0.09	3.66	3.40	99.9

여기서, J_s:제주산잔골재, D_s:대전산잔골재
 J_{g1}:제주 남부지역 사용 굵은골재
 J_{g2}:제주 중부지역 사용 굵은골재
 J_{g3}:제주 서부지역 사용 굵은골재
 D_g: 대전산 굵은골재

제주골재는 Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO 및 TiO₂를 많이 함유하고 있는 반면 SiO₂ 함유량은 적다. 즉, 화강암 계통의 육지골재와는 화학적 특성이 상당히 다르며 이와 같은 특성이 알칼리 골재반응과 화학적 안정성에 미칠 영향을 충분히 검토하여 사용해야 할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

2.2 물리적 특성

표-2. 잔골재의 물리특성

구분	비중	흡수율 (%)	단위중량 (kg·m ³)	실적율 (%)	조립율
규격	2.50이상	2.0이하	1450이상	-	2.3~3.1
J _s	2.82	1.72	1805	65.1	3.17
D _s	2.60	1.20	1626	63.3	2.81
구분	염화물	씻기손실량 (%)	안정성	유기 불순물	
규격	0.4%이하	3.0이하	10%이하	1배이하	
J _s	0	3.72	1.54	0.08	
D _s	0.07	1.52	0.80	0	

표-3. 굵은골재의 물리특성

구분	비중	흡수율 (%)	단위중량 (kg·m ³)	실적율 (%)	조립율
규격#57 (25mm)	2.55 이상	2.55 이하	1500 이상	-	6.30~6.80
J _{g1}	2.61	1.91	1505	58.8	7.09
J _{g2}	2.73	2.04	1532	57.3	6.75
J _{g3}	2.72	2.08	1556	58.4	7.08
D _g	2.75	0.94	1612	58.0	6.60
구분	점토량 (%)	씻기손실량 (%)	마모율 (%)	안정성 (%) MgSO ₄ 사용	
규격#57 (25mm)	5.0 이하	1.0 이하	40 이하	18 이하	
J _{g1}	0	0.30	28	0	
J _{g2}	0	1.10	30.8	0	
J _{g3}	0	0.64	20.8	0	
D _g	0	0	10.0	0	

골재의 물리특성을 검토한 결과 제주골재는 다공성이어서 흡수율과 마모율이 크고 미분이 많은 편이었지만 대부분의 물리적 특성은 육지골재와 큰 차이가 없었다.

2.3 기공 분포

골재 표면의 기공상태를 파악하기 위해서 실제 현미경으로 관찰하였으며 사진에 의한 기공크기 및 분포상태를 조사하였다..

표-4. 골재별 기공크기 및 분포량

구분	기공크기	기공분포
J _{g1}	0.5~2.0mm	다량분포(약 0.25개/cm ²)
J _{g2}	0.5~1.0mm	약간 있음(약 0.09개/cm ²)
J _{g3}	0.1~0.5mm	거의 없음

2.4 골재수정계수

골재중의 공극속에 포집된 공기량의 크기를 골재수정계수라고하며 연행공기 목표량은 골재수정계수를 제외하고 4.0±1%를 연행해야 하며, 제주도 골재의 조합 및 육지 골재의 조합에서 골재수정계수를 검토한 결과는 다음과 같다.

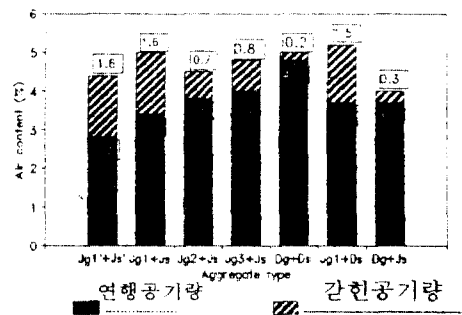


그림-1. 골재 조합별 골재수정계수(골재 내부의 공극)와 총공기량의 관계

<그림-1>에서 제주도 굵은골재 조합에서는 골재수정계수가 0.7~1.6%로 상당히 큰 반면 육지 굵은골재 조합에서는 0.2~0.3%로 골재수정계수를 무시할 수 있을 정도로 작았다. 제주도 굵은골재 중에서도 표

면에 기공이 많은 J_{g1}이 조합된 경우 골재 수정계수가 1.5~1.6%로 상당히 컷으며 이 골재를 사용하는 경우 측정공기량에서 골재수정계수를 보정해야 연행공기량이 요구수준을 만족할 수 있었다.

2.5 알카리 골재반응

우리나라 골재는 알칼리 골재반응에 대해서 거의 안정하다고 보고되고 있지만 그 중에서 제주산골재에 대해서는 유해의견과 무해의견이 엇갈리고 있다. 따라서, 본장에서는 제주도 현장에서 사용되고 있는 레미콘용 골재가 알칼리 골재반응에 대한 잠재반응성을 조사하기 위해서 화학적인 시험방법과 모르타봉 시험 방법에 의해서 검토하였다.

2.5.1 화학적 시험 방법에 의한 골재의 알칼리 잠재반응성 검토

KS F 2545 규격에 의해서 시험하였으며 결과는 다음과 같다.

표-5. 화학적인 시험 결과

시료명	알칼리 농도 감소량(RC)	유해 실리카량(SC)	판정
J _{g1}	41	130	유해
J _{g2}	53	181	유해
J _{g3}	82	191	유해
J _s	53	185	유해

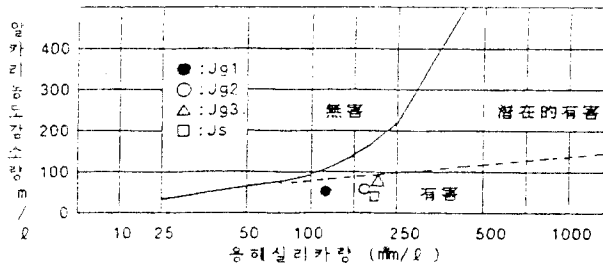


그림-2. 제주골재의 알칼리실리카반응 경향

화학적 시험방법에서는 굵은골재 3종류와 잔골재 1종류 모두 유해판정으로 나타났다.

2.5.2 모르타봉 시험 방법에 의한 알칼리 잠재반응성 검토

KS F 2546 규격에 의해서 시험하였으며 결과는 다음과 같다.

표-6. 모르타봉법에 의한 시험 결과

시료	재령별 길이팽창율 (%)				규격
	2주	4주	2개월	3개월	
J _{g1}	0.002	0.002	0.008	0.012	3개월 기준
J _{g2}	0.003	0.004	0.008	0.013	0.05% 이하
J _{g3}	0.002	0.004	0.009	0.021	6개월 기준
J _s	0.005	0.005	0.008	0.016	0.10% 이하
J _g	0.009	0.001	0.010	0.013	

6개월 이상의 장기 재령을 측정하여 판정해야 할 것으로 판단되며 3개월 이내의 단기 재령에서는 뚜렷한 경향을 알 수 없었다.

3. 시험계획

3.1 사용재료

3.1.1 시멘트

제주지역에서 공급되고 있는 국내 S社 제품으로 그 화학적, 물리적 특성은 다음과 같다.

표-7. 시멘트 화학성분

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₂	Sum
사용시멘트	204	63	3.0	61.5	3.5	0.12	0.83	2.2	100
KS L 520					≤5.0			<3.0	

표-8. 시멘트 물리성능

	분말도 (cm ² /g)	Flow (%)	응결			압축강도(kg/cm ²)			
			초결 (분)	종결 (시)	안정도	1d	3ds	7ds	28ds
사용시멘트	3320	110	280	9:30	0.06	76	193	273	377
KS 규격			<60	<10:0	<0.06	-	>130	>200	>290

<표-7,8>로부터 일반적으로 사용되는 보통시멘트와 큰 차이가 없었다.

3.1.2 골재

제주지역에서 사용되는 골재와 대전지역에서 사용되는 골재로 그 화학적·물리적 특성은 <표-1~6>과 같다.

3.1.3 혼화제

국내 레미콘 공장에서 많이 사용되고 있는 T社의 AE감수제 표준형인 N를 사용하였다.

3.2 적용배합

콘크리트 적용배합은 골재 조합별 콘크리트 기초물성 비교평가를 위한 실험과 제주도에서 가장 많이 사용되는 골재조합을 이용한 콘크리트 W/C비를 산출하기 위한 실험으로 구분하였다.

3.2.1 골재조합별 콘크리트 물성평가 실험계획

제주도의 콘크리트 특성을 파악하기 위해서 가장 일반적으로 사용되고 있는 레미콘 품질수준인 굵은골재 최대크기 25mm, 설계기준강도 210kg/cm², 슬럼프 12cm, 연행공기량 4.0±1%에 준해서 실험계획을 하였으며, 또한 비교를 위해서 대전지역에서 사용되는 육지골재 조합을 추가해서 다음과 같이 실험하였다.

표-9. 골재조합별 특성평가를 위한 실험

골재 조합	W/C (%)	S/A (%)	단위재료량(kg/m ³)			
			C	W	S	G
J _{g1} +J _s	60	45	323	194	841	951
J _{g2} +J _s	60	45	342	205	820	971
J _{g3} +J _s	60	45	325	195	840	990
D _g +D _s	60	45	328	197	773	999
J _{g1} +D _s	60	45	325	195	774	950
D _g +J _s	60	45	310	197	778	1005

<표-9>에서 연행공기량은 골재수정계수를 고려해서 4.0±1%를 목표로 하였으며 단위수량은 Slump 12±1cm를 기준으로 중

감시켜서 작업성을 맞췄다.

3.2.2 W/C비식 도출을 위한 실험계획

제주도에서 가장 일반적으로 사용되는 골재 조합조건인 다공성 굵은골재인 J_{g1}과 제주도산 잔골재인 J_s를 사용하였으며, 또한 비교를 위해서 육지에서 사용되는 골재 조합을 추가해서 W/C비를 변화시키면서 다음과 같이 실험하였다.

표-10. W/C비식 산출을 위한 실험

골재 조합	W/C (%)	S/A (%)	단위재료량(kg/m ³)			
			C	W	S	G
J _{g1} +J _s	54	45	370	200	825	922
	57	45	346	197	829	938
	60	45	323	194	842	952
	63	45	303	191	854	966
	67	45	285	188	865	978
D _g +D _s	54	45	370	200	752	972
	57	45	346	197	764	988
	60	45	323	194	776	1003
	63	45	303	191	787	1018
	67	45	285	188	794	1031

*. 공기연행세량 : C×0.15~0.2^{wt%}

4. 실험결과 및 고찰

4.1 굳지않은 콘크리트의 성질

<표-9>에 의해서 실험을 실시하고 굳지않은 콘크리트의 특성치를 측정된 결과는 다음과 같다.

표-11. 굳지않은 콘크리트의 특성치

골재 조합	Slump (cm)	Air 량 (%)	Bleeding (g/cm ²)	초기수축(10 ⁻⁴)				
				3hr	6hr	9hr	12hr	24hr
J _{g1} +J _s	11.2	4.4	0.71	0	0.10	0.41	0.42	0.45
J _{g2} +J _s	11.7	5.0	0.77	0	0.10	0.42	0.45	0.47
J _{g3} +J _s	13.0	4.5	0.79	0	0.10	0.47	0.49	0.51
J _{g1} +D _s	13.5	4.8	0.66	0	0.11	0.46	0.52	0.54
D _g +D _s	12.8	5.0	0.40	0	0.09	0.41	0.43	0.44
J _{g1} +D _s	12.5	5.2	0.69	0	0.09	0.39	0.41	0.45
D _g +J _s	11.0	4.0	0.61	0	0.11	0.45	0.47	0.50

<표-11>로부터 제주골재 조합인 경우 육지골재 조합에 비해서 Bleeding량은 약

간 큰 편이었으며 이것은 제주골재가 다공성이어서 흡수된 포화수가 많을 뿐만 아니라 조립올이키기 때문에 보수성이 떨어져서 Bleeding량이 많았다고 판단된다. 한편, 초기 수축시험은 온도, 습도, 바람이 각각 20℃, 40~50%RH, 3.5m/sec의 조건에서 실험하였으며 제주골재가 육지산 골재의 차이는 거의 없었다.

4.2 경화 콘크리트의 성질

표-12. 압축강도 측정치

골재 조합	압축강도(kg/cm ²)		
	3일	7일	28일
J _{g1} +J _s	153	292	399
J _{g1} +J _s	143	282	374
J _{g2} +J _s	138	279	395
J _{g3} +J _s	145	284	366
D _g +D _s	133	259	325
J _{g1} +D _s	141	264	354
D _g +J _s	137	272	351

<표-12>로부터 제주도 골재로만 사용하였을 경우의 압축강도는 모두 높게 나타났으며 이러한 경향은 제주도 골재의 표면이 거칠어서 표면부착 특성이 좋기 때문에 강도향상 효과가 있는 것으로 추정된다.

표-13. 수축변화 경향

골재 조합	건조수축 (×10 ⁻⁴)					구속균열 발생재령
	1주	2주	3주	4주	8주	
J _{g1} +J _s	-1.59	-2.70	-4.10	-4.12	-4.42	15일
J _{g1} +J _s	-1.62	-2.73	-4.14	-4.14	-4.60	14일
J _{g2} +J _s	-2.22	-3.86	-5.33	-5.50	-5.90	12일
J _{g3} +J _s	-2.01	-3.40	-4.28	-5.18	-5.40	15일
D _g +D _s	-2.18	-3.16	-4.24	-4.60	-4.90	13일
J _{g1} +D _s	-1.30	-3.10	-4.45	-4.65	-5.20	14일
D _g +J _s	-2.02	-3.20	-4.30	-4.61	-5.00	13일

골재 조합별로 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

표-14. 동결융해 저항성(상대동탄성계수)

골재 조합	동결융해수(cycles)									
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
J _{g1} +J _s	95.3	93.2	91.1	88.3	72.5	56.2	42.7	파괴		
J _{g1} +J _s	95.5	94.0	93.1	90.1	86.1	79.0	70.1	61.0	39.7	파괴
J _{g2} +J _s	92.9	94.3	92.0	92.1	90.5	89.5	90.0	90.2	90.1	89.4
J _{g3} +J _s	96.8	97.0	96.4	93.3	92.9	92.0	92.0	91.8	91.5	91.0
D _g +D _s	98.5	98.0	97.0	95.9	95.2	95.1	94.7	94.5	94.0	93.5
J _{g1} +D _s	96.1	95.7	95.0	94.0	91.2	89.5	89.3	87.2	86.7	86.0
D _g +J _s	95.4	95.0	94.7	93.9	93.4	93.6	93.0	92.1	91.0	91.0

<표-14>로부터 (J_{g1}+J_s)조합에서 연행공기량이 충분하지 않은 (J_{g1}+J_s)인 경우 동결융해 저항성이 상대적으로 떨어짐을 알 수 있다. 따라서 골재수정계수가 큰 골재를 사용하는 경우 골재수정계수를 반영하여 공기연행량이 충분하도록 주의를 해야 하지만 제주도과 같이 온난한 지역에서는 동해문제가 생각보다 크지않을 것으로 판단된다.

4.3 W/C比 산출식

W/C比를 변화시키면서 슬럼프 12±1.5cm, 공기량 4.5±1% 조건이 되도록 <표-10>의 실험을 실시한 결과는 다음과 같다.

표-15. W/C비식 산출을 위한 실험결과

골재 조합	C/W (X)	단위재료량 (kg/m ³)				28일강도 F ₂₈ (Y)
		C	W	S	G	
J _{g1} +J _s	1.852	370	200	825	922	418
	1.754	346	197	829	938	372
	1.667	323	194	842	952	367
	1.587	303	191	854	966	348
	1.493	285	188	865	978	306
D _g +D _s	1.852	370	200	752	972	376
	1.754	346	197	764	988	360
	1.667	323	194	776	1003	338
	1.587	303	191	787	1018	328
	1.483	285	188	794	1031	298

<표-15>의 C/W(X)와 콘크리트28일압축강도 F₂₈(Y)의 관계를 2변수 상관회귀분석한 결과는 다음과 같다.

표-16. C/W比와 F₂₈간의 회귀분석 결과

골재조합	a	b	r
제주골재 J _{g1} +J _s	-99	276	0.974
육지골재 D _g +D _s	-106	263	0.987

즉, 제주골재 : $F_{28} = -99 + 276 \times (C/W)$
 육지골재 : $F_{28} = -106 + 263 \times (C/W)$

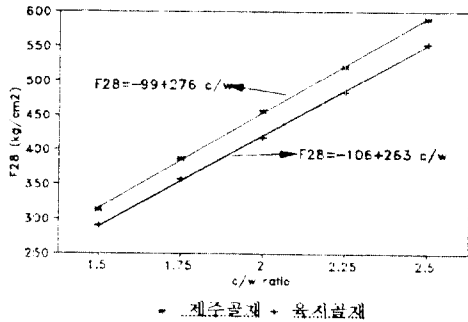


그림-3. 골재별 C/W比와 F₂₈ 관계

<그림-3>을 이용해서 제주골재를 사용한 콘크리트의 W/C比를 선정할 수 있다.

5. 종합결과

5-1 본연구의 결과

1) 골재의 물리·화학적 특성

제주산 굵은골재 및 잔골재는 다공질로 인하여 골재수정계수와 마모율이 컸지만 콘크리트 특성면에서 큰 문제는 없었다. 다만 알칼리골재반응 시험의 화학적 방법에서 유해로 나타났고 모르타르방법에서는 비교적 안정된 것으로 나타났으나 주의를 요하며 고알칼리성 시멘트(Na₂O Base>0.6%)를 사용할 경우 반드시 알칼리반응에 대한 안정성을 확인한 후 사용하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

2) 굵지않은 콘크리트 특성

제주산 굵은골재 및 잔골재를 사용한 굵지않은 콘크리트는 육지골재를 사용한 경우와 큰 차이가 없었지만 골재수정계수가 1.5%이상으로 크기 때문에 충분한 내구성을 유지하기 위해서는 측정공기량이 표준치보다 1.5%이상 커야할 것으로 판단된다.

3) 경화콘크리트의 특성

제주골재는 표면에 기공이 많아서 거칠기 때문에 모르타르부분과 부착특성이 좋아져서 강도측면에서는 20~30kg/cm² 유리한 경향을 보였다. 그러나, 기공이 많은 골재를 사용하는 경우 콘크리트 내부에 open pore가 많기 때문에 내구성 측면에서는 불리한 경향을 나타낼 수 있다. 따라서 골재 내부에 갇힌 공기량을 감안해서 표준량 이상으로 많은 공기를 연행시켜서 내구성은 향상시켜야 할 것으로 판단된다.

4) W/C比 산출식

제주골재를 사용하는 경우 $F_{28} = -99 + 276 \times (C/W)$, 대전지역 육지골재 사용시 $F_{28} = -106 + 263 \times (C/W)$ 로 제주골재 쪽이 강도발현성이 우수했으며 본 연구에서도 출된 제주골재의 W/C比 산출식을 현장 배합설계의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

5-2 향후 연구과제

제주도 골재를 사용하는 경우 골재수정계수를 감안해서 공기를 연행시켜야 하며 표준치보다 골재수정계수 만큼 공기량이 많아져야한다. 따라서, 이에대한 충분한 연구검토를 한후 콘크리트 최적배합설계가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 제주골재에 대한 알칼리골재반응의 선행연구 결과가 일치하지 않고 본 연구에서도 단정적인 결과를 얻을 수 없었으므로 이에 대한 종합적인 연구가 필요하다고 판단된다.

6. 참고문헌

- 1) 김진춘 : 쌍용배합설계(SMPD), 1994
- 2) 건설부 : 콘크리트표준시방서, 1994
- 3) 건설부 : 건축표준시방서, 1994