

부순모래를 사용한 고강도 콘크리트의 배합설계에 관한 연구

Mixture Design of High Strength Concrete with Crushed-sand

이 봉 학*
Lee, Bong-Hak

김 동 호**
Kim, Dong-Ho

홍 창 우***
Hong, Chang-Woo

이 주 형***
Lee, Joo-Hyung

Abstract

The amount used of aggregates for concrete is increasing rapidly since the mid-1980s in Korea. The natural gravels from river are already displaced with crushed stone, and use of crushed sand as a substitute of natural river sands, also, is getting increased day by day.

This paper is presented for mixture of high strength concrete using crushed sands. Mixing design of concretes are various water-cement ratios(w/c) such as 25%, 40%, 55% and different replacement ratio of crushed sands to natural sands such as 0%, 20%, 40%, 60%.

As a results, it has been shown that compressive strength of concretes with w/c lower than 40% and 25% is higher than 400 kgf/cm² and 600 kgf/cm² respectively.

키워드 : 부순모래, 물/시멘트 비, 작업성, 고강도 콘크리트

Keywords : crushed sand, water/cement ratio, workability, high strength concrete

1. 서 론

1980년대 중반 이후 국내의 건설 경기는 급속한 성장과 더불어 주택 200만호 건설, 영종도 신공항 건설, 고속철도 건설, 고속도로 확장 및 신설등 대형 건설프로젝트가 지속적으로 추진되고 있다. 이러한 건설공사규모의 급속한 신장은 관련산업분야에 막대한 영향을 미치고 있으며, 건설공사에 소요되는 골재의 수요량도 급격히 증가되어 콘크리트용 골재로서 주종을 이루던 하천자갈과 하천모래는 점차 고갈상태에 이르게 되었고 골재의 품질도 극히 악화되어 있는 실정이다.⁽⁹⁾

이러한 현실적인 문제가 대두됨으로서 국내의 골재 생산업체에서는 1992년도부터 쇄사의 생산 및 활용가능성에 대한 검토를 시작하여 현재는 많은 부순모래 생산업체가 생겨나게 되었다. 현재 채취되고 있는 굵은골재에 대해서는 강자갈을 사용하는 대신에 부순돌(쇄석)을

생산하여 공급함으로써 수급에 큰 어려움이 없는 실정이지만, 잔골재에 대해서는 해사의 사용 이외에도 중국이나 북한 등으로부터 수입하는 방안도 검토되고 있다. 이러한 국내 잔골재 수급의 어려움을 극복하기 위해서는 보다 근본적이고 장기적인 대책수립이 필요하며, 그 대안으로써 부순모래의 적극적인 생산 및 활용이 요구되고 있다.⁽⁵⁾

암석을 채취하여 잔골재로 사용되는 부순모래는 국내의 레미콘업체에서도 사용량이 점차 증가하는 추세이며, 하천모래의 대체자원으로서 개발과 연구가 지속적으로 이루어져야 한다. 또한, 부순모래를 사용한 고강도 콘크리트에 대한 연구는 미흡한 실정으로 고강도 부순모래 콘크리트를 제조하면 골재수급의 해결 및 향후 이용가치가 클 것으로 판단된다.⁽⁸⁾

따라서, 본 연구에서는 부순모래의 치환율 0, 20, 40, 60%와 물/시멘트비 0.25, 0.40, 0.55로 하여 부순모래의 치환율과 물/시멘트비의 변화에 따른 콘크리트의 역학적 특성을 분석하여 이에 대한 배합설계에 미치는 영향을 고찰하고 관련산업 분야에 적용하여 활용방안을 모색하고자 하였다.

* 강원대학교 토목공학과 교수

** 강원대학교 토목공학과 박사과정

*** 강원대학교 산업기술연구소 연구원

2. 국내의 잔골재 현황

표 1은 현재 국내에서 생산되고 있는 콘크리트용 잔골재의 현황에 대하여 나타낸 것이다. 콘크리트의 품질은 강사가 가장 좋다는 것이 일반적인 시각이지만, 현재 국내에서 생산되는 강사는 골재채취원이 고갈상태에 이르렀고 입도분포가 시방규격에 맞지 않은 등 품질이 극히 악화되어 다른 잔골재보다 상태가 좋지 않은 경우가 많은 것으로 여겨진다. 부순모래 활용상의 가장 큰 장점은 국내에 풍부한 매장량이 있다는 것이고, 따라서 골재수급의 안정화를 이룰 수 있다는 것이다. 물론 골재채취에 따른 환경파괴 문제는 있지만 쇄석을 생산할 때에 부산물로서 얻어지는 8mm 이하의 석분(쇄석 생산량의 약 30%정도가 산출됨)을 이용하여 부순모래를 제조에 사용하는 것으로도 자원의 재활용 및 경제성 측면에서도 일조의 효과가 있을 것으로 분석된다.

표 1. 국내 잔골재의 현황

구분	문 제 점
강사	<ul style="list-style-type: none"> · 부존량이 고갈되어 가고 있음 · 세립화 또는 조립화되어 조립율, 입도분포 등의 품질 저하 · 환경파괴에 대한 규제강화
해사	<ul style="list-style-type: none"> · 염분의 세척불량에 의한 구조물의 하자 발생 및 내구성 저하 · 해사채취에 의한 조류변화 및 해안선 변경 등의 영향 초래 · 해사세척으로 인한 환경오염 발생 · 단일입도인 경우가 많음
육사	<ul style="list-style-type: none"> · 점토, 실트, 유기물순 등의 유해물질을 포함하여 콘크리트의 응결, 지연, 경화 불량, 구조물의 하자발생 초래 · 유해물질을 제거하기 위한 수처리 시설이 필요
부순모래	<ul style="list-style-type: none"> · 생산 및 품질관리체계 미확립 · 실적율 및 미분량에 따라 콘크리트의 균열발생 등의 문제점 초래

한편, 건설교통부의 1999~2003년 골재수급기본계획에 의하면 '2001년도 골재수요량은 모래가 110,136천m³으로 전망되며, 2002년과 2003년까지 지속적으로 증가될 것으로 전망하고 있다. 연도별 잔골재의 수요 전망은 표 2와 같다.⁽¹⁾

1993~1997년까지 한국자원연구소가 조사한 골재채취가능지역을 중심으로 한 전국 골재 부존량은 총량적으로 약 102억1,750만m³이고 이중 개발가능량은 약 55

억3,798만m³으로 조사되었다. 골재의 개발가능량을 골재의 종류별로 보면, 산립골재가 60.6%, 하천골재 18.2%, 바다골재 21.2%로 나타났다. 표 3은 골재자원 부존조사에 의한 지역별 부존량과 개발가능량을 나타낸 것이다.

표 2. 연도별 골재수요 전망

[단위 : 천m³]

구 분	1999	2000	2001	2002	2003	
모래	총건설	91,112	100,571	110,136	113,983	116,623
	주거용	35,802	37,760	41,087	43,565	46,707
	비주거	18,503	21,145	27,589	31,715	32,715
	토 목	36,807	38,666	41,460	38,704	37,202

표 3. 지역별 부존량과 개발가능량

구 분	단위:천m ³	
총괄	부 존 량	10,217,497
	개발가능량	5,537,976
	비 중	100.0
하천골재	부 존 량	2,014,660
	개발가능량	1,006,260
	비 중	18.2
바다골재	부 존 량	3,245,440
	개발가능량	1,173,346
	비 중	21.2
산립골재	부 존 량	4,957,397
	개발가능량	3,358,370
	비 중	60.0

3. 실험

3.1 개요

부순모래를 사용한 콘크리트의 특성을 파악하기 위하여 부순모래의 치환율 0, 20, 40, 60%와 물/시멘트 비 0.25, 0.40, 0.55에 대하여 7일, 14일, 28일에서의 압축강도 및 28일에서의 인장강도, 휨강도에 대한 실험을 실시하였다.

3.2 사용재료

3.2.1 시멘트

시멘트는 국내 S사 1종보통포틀랜드 제품으로 분말도가 3,200 cm^2/g 이었고, 비중은 3.12로 나타났다. 시멘트의 화학적 성분은 표 4와 같다.

표 4. 시멘트의 물리적 성질 및 화학적 성분

Cement Type	Chemical Composition (%)					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
OPC	20.8	6.3	3.2	61.2	3.3	2.3

3.2.2 골재

굵은골재는 춘천에서 생산되는 최대치수 19mm인 레미콘용 쇠석을 사용하였으며, 잔골재는 천연강모래와 레미콘제조용 부순모래를 사용하였다. 골재의 물리적 특성은 KS 규정에 의한 실험을 통하여 표 5에 그 결과를 나타내었다. 그림 1은 입도분포곡선으로서 시험결과를 실선으로 나타내고, 점선은 잔골재와 굵은골재의 시방서 규정 범위를 나타낸 것이다.

표 5. 골재의 물리적 성질

Type		Max. Size(mm)	Specific Gravity	Absorption(%)	F.M
Fine Agg.	River Sand	<5	2.60	1.74	2.8
	Crushed Sand	<5	2.59	0.73	3.1
Coarse Agg.		19	2.62	1.1	6.9

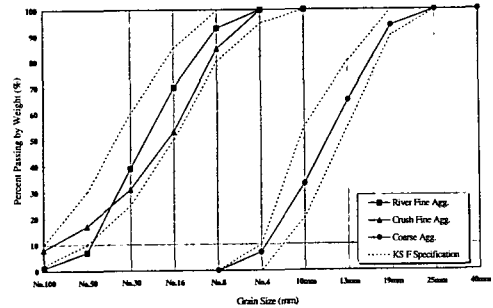


그림 1. 골재의 입도분포 곡선

3.2.3 혼화제

고강도 콘크리트는 낮은 물/시멘트 비와 최소의 단위수량으로 콘크리트의 배합이 결정되므로 고성능감수제 및 유동화제의 사용이 필수 요건중의 하나이다.

따라서, 본 연구에서는 국내D사에서 생산되는 Might-150을 콘크리트용 혼화제로서 사용하였다.

3.3 배합계획

부순모래의 치환율(0, 20, 40, 60%)과 물/시멘트 비(0.25, 0.40, 0.55)를 실험변수로 하여 부순모래 콘크리트의 배합에 미치는 인자 및 역학적 특성을 파악하고자 하였다. 표 6은 배합표를 나타낸 것이다.

3.4 시험체 제작

경화후 콘크리트의 역학적 특성을 파악하기 위하여 각 배합변수에 따라 다음과 같이 시험체를 제작하였다.

압축강도 시험편은 10×20cm의 원주형 공시체를 사용하여 각 재령별 3개의 시험체를 제작하여 시험을 수행하였으며, 인장강도 시험편과 휨강도 시험편은 재령 28일에서 10×20cm의 원주형 공시체 3개를 사용하여 함몰인장강도 시험과 10×10×46cm 빔틀드 3개를 제작하여 휨강도 시험을 수행하였다.

3.5 실험방법

압축강도 실험은 재령 7, 14, 28일에서 KS F 2405의 규정에 따라 시험을 수행하였으며, 인장강도 실험은 재령 28일에서 KS F 2423의 규정에 따라 시험을 수행하였다.

또한, 휨강도 시험은 KS F 2408의 규정에 따라 재령 28일에서 시험을 실시 하였다. 시험에 사용된 기기는 200톤 용량의 만능재료시험기로서 시험체가 파괴점에 도달할 때까지 하중제어방식으로 실시하였다. 이때

표 6. 부순모래 콘크리트의 배합설계

Specimen	Max. Agg. (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight(kgf/m ³)					
						W	C	S	C.S	G	S.P
SO-25	19	20±1	2±1	25	35	160	640	543	-	1,020	12.96
SO-40	19	18±1	3±1	40	40	170	425	681	-	1,036	2.76
SO-55	19	15±1	4±1	55	45	180	327	790	-	978	0.39
S2-25	19	20±1	2±1	25	35	160	640	434	109	1,020	12.96
S2-40	19	18±1	3±1	40	40	170	425	545	136	1,036	2.76
S2-55	19	15±1	4±1	55	45	180	327	632	158	978	0.39
S4-25	19	20±1	2±1	25	35	160	640	326	217	1,020	12.96
S4-40	19	18±1	3±1	40	40	170	425	409	272	1,036	2.76
S4-55	19	15±1	4±1	55	45	180	327	474	316	978	0.39
S6-25	19	20±1	2±1	25	35	160	640	217	326	1,020	12.96
S6-40	19	18±1	3±1	40	40	170	425	272	409	1,036	2.76
S6-55	19	15±1	4±1	55	45	180	327	316	474	978	0.39

※ SO,S2,S4,S6 : 부순모래 치환율(0, 20, 40, 60%)
25,40,55 : 물/시멘트 비(0.25, 0.40, 0.55)

각각의 시험은 3개의 공기체를 시험하여 그 평균값을 사용하였다.

그림 2는 콘크리트의 역학적특성 실험장치를 나타낸 사진이다.

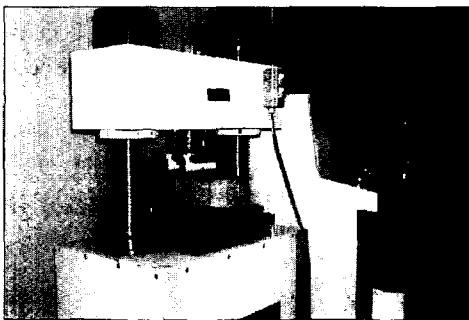


그림 2. 힘강도 실험장치

4. 실험결과 및 고찰

4.1 슬럼프 및 공기량

부순모래 콘크리트의 역학적 특성실험은 부순모래 치환율 0, 20, 40, 60%와 물/시멘트 비를 0.25, 0.40, 0.55에 대하여 실험을 수행하였다. 경화전 콘크리트의

특성은 슬럼프 및 공기함유량 시험을 실시하여 그 결과를 그림 3과 4에 나타내었다.

슬럼프 시험결과 물/시멘트 비가 0.25의 배합에서는 고성능감수제의 사용이 필수요건이며 작업성 및 유동성을 확보하기 위하여 20±1의 목표슬럼프를 유도하였다. 측정결과 슬럼프는 20~21cm 정도의 범위를 나타냈으며, 목표슬럼프에 근접하게 나타났으며, 유동성 및 작업성이 양호하였다.

물/시멘트 비가 0.40의 경우에서도 18~19cm 범위로서 목표 슬럼프에 근접한 것으로 나타났다. 물/시멘트 비가 0.55의 경우에서도 목표슬럼프에 근접한 15~17cm 범위로서 소요 슬럼프를 확보하였다.

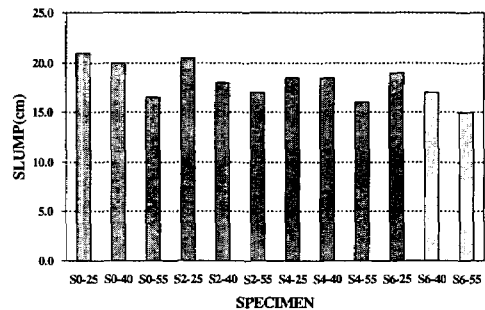


그림 3. 슬럼프 시험결과

공기함유량 측정결과는 그림 4에 나타내었으며, 물/시멘트 비가 낮을수록 공기함유량이 작게 나타났으며, 대체로 3.0이하의 범위로서 콘크리트 내부의 수밀성이 확보된 것으로 판단되며, 공기함유량은 콘크리트의 강도에 직접 영향을 미치므로 공기량이 작을수록 콘크리트의 강도가 높게 나타난 것으로 판단된다.

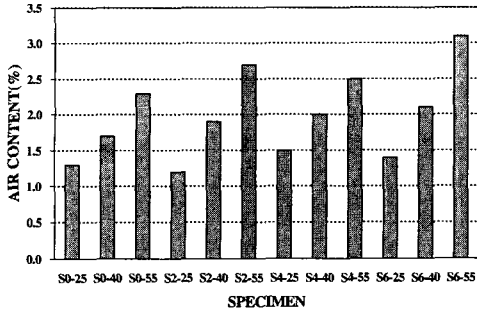


그림 4. 공기함유량 시험결과

4.2 물/시멘트 비에 따른 강도 특성

부순모래를 사용한 콘크리트의 역학적 특성을 알아보기 위하여 물/시멘트 비를 25%, 40%, 55%와 부순모래 치환율을 각각 0, 20, 40, 60%로 하여 기본배합을 수행하여 재령 7일, 14일, 28일에서의 압축강도와 28일에서의 인장강도 및 휨강도를 측정하였다.

실험결과는 표 7에 나타내었으며 재령28일에서의 부순모래 치환율 0%에 대한 압축강도발현 비율을 나타내었다. 그림 5~8은 재령별 압축강도 특성을 나타낸 것이다.

물/시멘트 비가 0.25의 경우 압축강도는 부순모래 치환율 0%에 비하여 유사한 강도발현을 나타내었다. 60.2~629kgf/cm² 범위를 나타내어 고강도 콘크리트의 강도조건을 충족하였으며, 물/시멘트 비가 0.40의 경우에서도 평균 440kgf/cm² 정도의 압축강도를 발현하여 고강도 콘크리트로서의 강도조건이 만족되는 것으로 나타났다. 그러나, 물/시멘트 비가 0.55의 배합에서는 부순모래를 사용하지 않은 배합에 비하여 작게 나타나고 있다.

이것은 일반적인 부순모래를 사용한 콘크리트의 성질은 표면이 거칠기 때문에 페이스트와 부차강도가 향상되어 압축강도의 증가를 가져오는 좋은 효과가 있는 것으로 알려져 있으나, 부순모래를 강모래의 대체재료인 혼합사로 사용하고 부순모래의 혼합비율이 60% 이내에서는 이러한 효과가 어느정도 상쇄되는 것으로 판단되며, 물/시멘트 비가 낮을수록 동등한 강도를 발현되나 물/시멘트 비가 높아질수록 강도증진 효과는 나타나지 않는 것으로 생각된다.

표 7. 재령별 강도 특성

Specimen	Compressive Strength(kgf/cm ²)				Tensile Strength (kgf/cm ²)	Flexible Strength (kgf/cm ²)
	7 day	14 day	28 day	Comp. Strength Ratio(%)		
C0-25	475	541	629	100	46	140
C0-40	299	357	441	100	33	100
C0-55	220	281	321	100	33	81
C2-25	449	510	602	95.7	47	152
C2-40	277	302	388	88.0	37	124
C2-55	141	191	241	74.9	29	91
C4-25	479	523	613	97.5	48	164
C4-40	299	347	462	104.6	39	115
C4-55	131	187	238	74.1	32	98
C6-25	503	561	612	97.3	45	141
C6-40	333	377	469	106.3	40	98
C6-55	169	201	263	81.8	32	76

※ C0,C2,C4,C6 : 부순모래 치환율 0%, 20%, 40%, 60%
25, 40, 55 : 물/시멘트 비

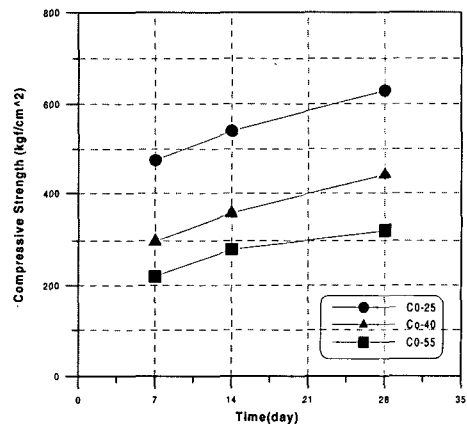


그림 5. 물/시멘트 비에 따른 재령별 압축강도 특성(C0)

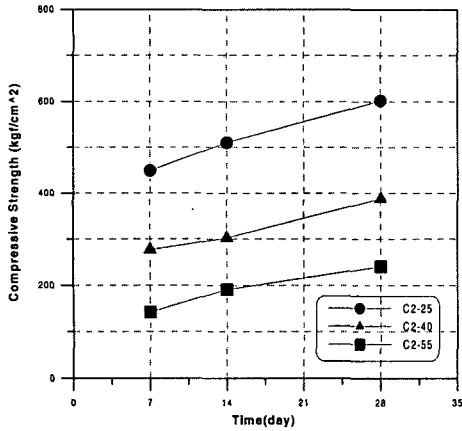


그림 6. 물/시멘트 비에 따른 재령별 압축강도 특성(C2)

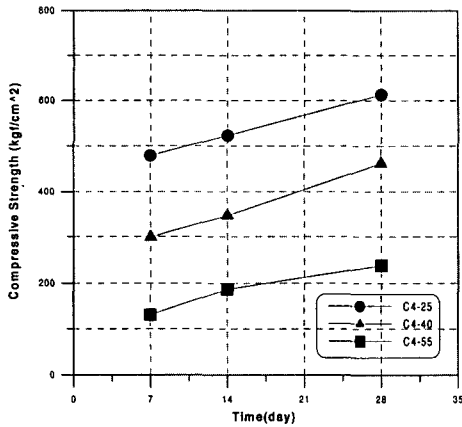


그림 7. 물/시멘트 비에 따른 재령별 압축강도 특성(C4)

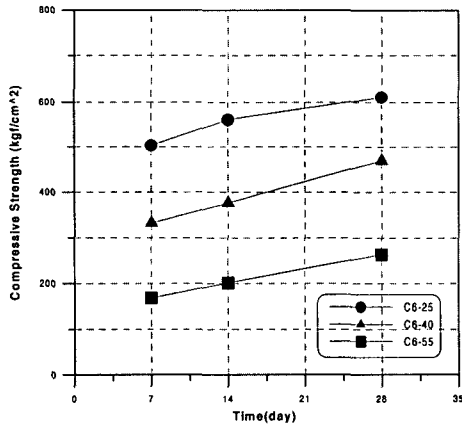


그림 8. 물/시멘트 비에 따른 재령별 압축강도 특성(C6)

4.3 부순모래 치환율에 따른 강도 특성

동일한 물/시멘트 비의 경우 부순모래 치환율에 따른 강도 특성을 알아보기 위하여 부순모래의 치환율을 0, 20, 40, 60%로 하여 각각의 물/시멘트 비의 경우에 대하여 그림 9~11에 나타내었다.

그림 9에서 물/시멘트 비가 낮은 0.25의 경우 재령 7일 및 14일에서의 압축강도발현은 부순모래 치환율이 60%인 경우가 가장 크게 나타났으나 재령 28일에서는 모두 600kgf/cm² 이상의 강도 발현을 나타내었다. 그림 4.8의 물/시멘트 비가 0.40의 경우에서도 부순모래 치환율이 60%인 경우가 재령별 압축강도 발현이 가장 크게 나타났으며, 20%인 경우가 가장 낮은 강도발현을 보였다.

그림 11의 물/시멘트 비가 0.55인 경우는 부순모래 치환율이 0인 경우가 부순모래를 혼합한 배합에 비하여 현저히 높게 나타났으며, 부순모래 치환율에 따라서는 그 차이가 미소한 것으로 나타났다. 부순모래를 혼합사로 사용한 경우 보통강도의 콘크리트는 단위수량 및 잔골재율의 영향에 따라 강도발현의 차이를 나타낸 것으로 판단된다.

따라서, 물/시멘트 비가 낮을수록 부순모래 치환율에 대한 강도발현 차이가 미소한 것으로 나타나 고강도콘크리트의 배합은 부순모래를 하천잔골재의 대체로서 60%를 사용하여도 양호한 것으로 나타났다. 또한, 물/시멘트 비가 높을수록 부순모래를 사용한 콘크리트의 강도는 하천잔골재를 사용한 콘크리트에 비하여 현저하게 나타났으며, 부순모래 콘크리트의 사용은 보통강도 콘크리트에서 입형 및 입도를 적절히 고려하여 하천잔골재와 혼용하여 사용하여야 할 것으로 판단된다.

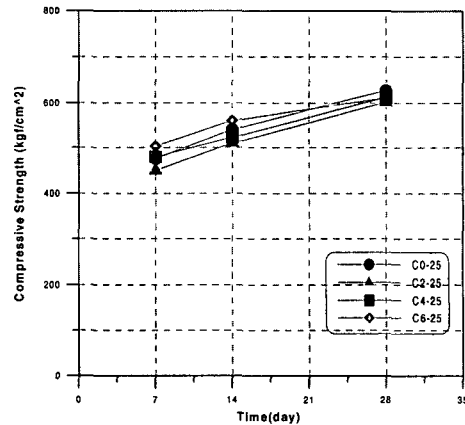


그림 9. 부순모래 치환율에 따른 재령별 압축강도 특성(W/C=0.25)

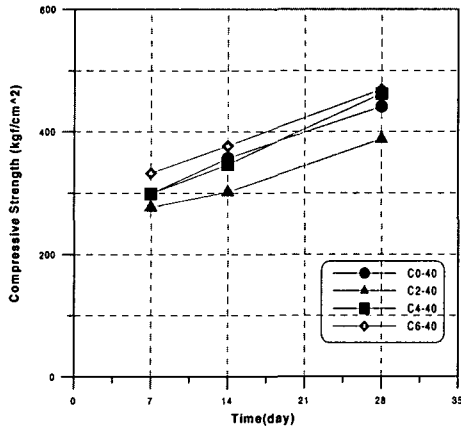


그림 10. 부순모래 치환율에 따른 재령별 압축강도 특성(W/C=0.40)

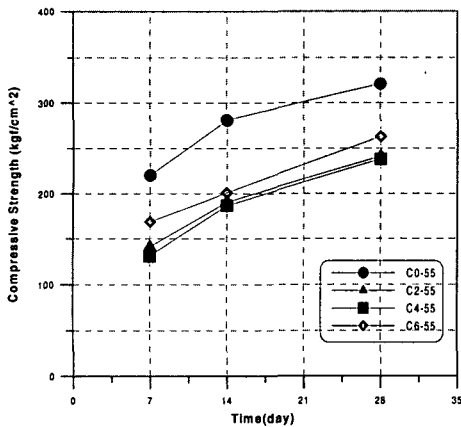


그림 11. 부순모래 치환율에 따른 재령별 압축강도 특성(W/C=0.55)

4.4 인장강도 및 휨강도

인장강도와 휨강도는 재령 28일에서 측정하였으며, 이에 대한 결과를 그림 12와 13에 나타내었다.

인장강도는 물/시멘트 비가 0.25의 경우 45~48kgf/cm² 범위를 나타내었으며, 이는 압축강도의 약 7~8% 정도 수준인 것으로 나타났다. 물/시멘트 비에 따라서는 약 10kgf/cm² 전후의 차이를 나타냈으며, 부순모래 치환율에 따라서는 대체로 유사한 결과를 나타냈다. 인장강도는 압축강도의 9% 및 12% 정도를 나타내었으며,

휨강도 시험결과는 압축강도의 25% 정도의 발현을 나타내어 비교적 휨강도가 큰 것으로 나타났다. 부순모래를 치환율이 40%의 경우 최고 164kgf/cm²까지 나타났으며, 물/시멘트 비가 0.40 및 0.55의 경우에서도 일반

적으로 압축강도의 1/4 전후의 수준으로 비교적 높게 나타났다.

그림 14는 인장강도와 휨강도와의 관계를 회귀분석하여 나타낸 것이다. 회귀분석결과는 $y = 3.9108x - 35.241$ 로 나타났으며, 상관성은 0.832로 나타났다.

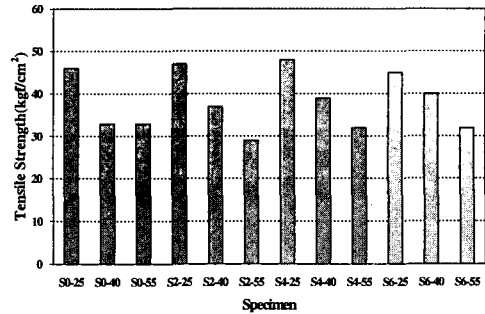


그림 12. 인장강도 시험결과

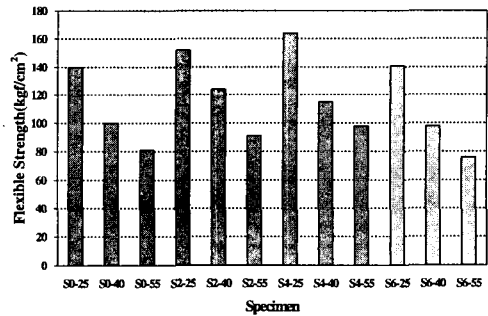


그림 13. 휨강도 시험결과

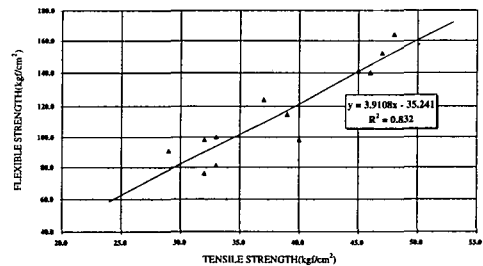


그림 14. 인장강도와 휨강도와의 관계

5. 결 론

본 논문에서는 최근 골재수급의 어려움을 해결하기 위하여 잔골재의 대체재료로서 부순모래 사용한 콘크리트의 역학적 특성과 배합설계에 영향을 미치는 인자에 대하여 고찰하고 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 부순모래는 입형의 영향으로 인하여 슬럼프가 낮고 유동성이 저하되기 때문에 혼화재료를 사용하여 유동성을 개선하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

2) 부순모래 콘크리트의 슬럼프는 15~20cm의 범위를 나타내고, 공기량은 1.5 ± 0.3 으로 나타나 현장적용시 작업성이 우수할 것으로 판단되며, 낮은 공기량으로 인하여 콘크리트의 수밀성이 증대되어 내구성 증진에 기여할 것으로 판단된다.

3) 물/시멘트 비가 0.25 및 0.40에서 각각 400kgf/cm³과 600kgf/cm³이상 부순모래의 치환율에 따라 유사한 압축강도를 나타내어, 현재 20% 전후 혼합하여 사용하는 범위를 60%까지 증가하여 고강도 콘크리트의 제조시 사용량을 확대하여 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4) 저강도 배합의 경우 부순모래를 사용한 콘크리트의 강도는 강모래를 사용한 경우에 비하여 불리하게 나타나 콘크리트의 강도가 중요시 되지 않는 부분에 강모래의 대체재료로 사용하는 것이 좋을것으로 판단된다.

5) 부순모래의 생산능력 및 품질관리 수준을 확보하여 향후 고갈상태에 있는 강모래의 대체재료로서 혼합비율 증가하여 사용해야 될 것으로 사료된다.

감사의 글

“본 연구는 강원대학교 부설 석재복합신소재제품연구센터의 연구비 지원에 의하여 수행 되었음”

참 고 문 헌

- [1] 건설교통부, ‘골재수급기본계획’, 1998
- [2] 김진근, 이철성, ‘강모래 및 부순모래 콘크리트의 파괴특성에 관한 연구’ 콘크리트학회 논문집, 1995
- [3] 대한주택공사, ‘콘크리트용 부순모래의 실용화방안에 관한 연구(I)’, 1993
- [4] 대한주택공사, ‘콘크리트용 부순모래의 실용화방안에 관한 연구’, 1995
- [5] 대한주택공사, 삼표산업(주), ‘콘크리트용 부순모래의 실용화 방안 연구’, 1996
- [6] 유연갑, ‘골재산업의 현황과 전망’, 콘크리트학회지, 1997
- [7] 서동수, 부척량, ‘부순모래 콘크리트에 관한 실험적 연구’, 대한건축학회 논문집 16권 1호, 1996년
- [8] 오병환, 조윤구, 차수원, ‘콘크리트용 부순모래의 특성 및 실용화 방안 연구’, 에너지자원 신기술연구소, 1996
- [9] 이도현, 이성복, ‘부순모래의 생산, 활용 및 향후의 전망’, 대한주택공사, 1995
- [10] 한천구, 윤기원, ‘부순모래 콘크리트의 특성 및 배합설계에 관한 실험적 연구’, 대한건축학회 논문집 12권 9호, 1996년
- [11] Ahmed, A.E., and El-Kour, A.A., ‘Properties of concrete incorporating natural and crushed stone very fine sand’, ACI Material Journal, Proceedings Vol. 86, No. 4, July~August 1989, pp. 417~424
- [12] B.P. Hughes and J.E. Guest, ‘Limestone and Siliceous aggregate concrete subjected to sulfuric acid attack’, March 1978, pp. 11~18
- [13] Nicholas, F.P.Jr., ‘Manufactured Sand and Crushed Stone in Portland Cement Concrete’, Concrete International, August 1982, pp. 56~63