

부순모래 콘크리트의 現場 適用性

Application of Concrete with Crushed Sand on Site

이 심 복' 이 도 현** 최 진 만*** 김 병 환**** 박 창 수**** 지 남 용*****
Lee, Sung Bok Lee, Do Heon Choi, Gin Man Kim, Byong Hwan Park, Chang Soo Jee Nam Yong

ABSTRACT

This study is to investigate the application of concrete with crushed sand on site. As a result, it is showed that the combined sand mixed with sea sand is very desirable for obtaining workability and strength of concrete, and the optimal replacement percentage of crushed sand is 50% with sea sand. After all, the crushed sand could be sufficiently used as a fine aggregate for concrete in the aspect of economical efficiency and quality, but the particle shape and microsand passing No.200 sieve should be firstly improved for increasing workability of concrete on site

1. 서론

천연 잔골재의 고갈에 따른 대체골재로서 바다모래와 더불어 최근 부순모래의 사용량이 점차 증가되고 있다. 국내 여건상 전국적으로 채취 가능한 암석이 풍부하고, 품질을 일정하게 확보할 수 있는 점을 고려하면 부순모래의 대체방안이 가장 현실적이고 장기적이며 우선적인 대책이라고 여겨진다. 그러나 부순모래의 경우 그 활용에 대한 연구가 대부분 실내 실험을 통하여 이루어져 현장에 적용할 경우 실험실에서 얻은 결과와 상당한 차이를 보일수 있으며, 또한 실제 현장에서의 적용 사례가 많지 않기 때문에 아직도 현장에서는 이들 부순모래를 사용한 콘크리트의 사용을 기피하는 경향이 있다. 따라서 본 연구에서는 부순모래 콘크리트의 제반물성 및 배합실험 결과를 바탕으로 부순모래 콘크리트를 실제 현장 구조체에 적용하여, 이들 콘크리트의 시공성 및 압축강도 등의 품질변화를 천연모래 콘크리트와 비교·검토하여 현장에서의 활용성을 높이고자 한다.

2. 실험

2.1 실험개요

부순모래 콘크리트의 현장 실험은 우선 적용 현장의 실정에 적합하도록 실내에서의 최적배합비를 도출하고, 레미콘 배척플랜트에서의 검증과정을 거쳐 현장 구조체에 타설하는 등 3단계 방법으로 진행하였으며, 이에 따른 실험방법 및 측정항목은 표 1과 같다.

*정회원, 대한주택공사 주택연구소 선임연구원, 공학박사

**정회원, 대한주택공사 주택연구소 책임연구원, 공학박사

***정회원, 대한주택공사 주택연구소 연구원

****정회원, (주)삼표산업 품질관리부 이사

*****정회원, (주)삼표산업 품질관리부 차장

*****정회원, 한양대학교 건축공학부 교수, 공학박사

2.2. 사용재료 및 배합

2.2.1. 사용재료

(1) 골재

잔골재중 바다모래는 인천산, 부순모래는 경기 남양산을 이용하였으며, 혼합모래는 바다모래와 부순모래를 각각 50% 혼합하여 입도 조정후 사용하였다. 또한 굵은골재는 남양산 부순돌을 사용하여 그 물리적 성질을 검토하였으며, 이에 따른 각 골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 1 실험방법 및 측정항목

項目 實驗種類	實驗目的	適用 콘크리트種類	測定場所 /位置	測定項目	
				굳지않은 콘크리트	硬化 콘크리트
室內 配合實驗	最適配合 決定	3種 바다모래 혼합모래 부순모래	實驗室 內部	슬럼프 공기량 블리딩	壓縮強度 (3,7,28일)
레미콘 배치實驗	現場配合 決定	3種 바다모래 혼합모래 부순모래	工場出荷 現場到着	슬럼프 공기량	壓縮強度 (3,7,28일)
現場 打設實驗	現場適用	3種 바다모래 혼합모래 부순모래	工場出荷 現場到着 現場打設	슬럼프 공기량 블리딩	공시체 및 코어(壁體) 壓縮強度 乾燥收縮

표 2 사용골재의 물성시험 결과

試驗項目	잔골재			굵은 골재
	바다 모래	혼합 모래	부순 모래	
組 粒 率	2.74	2.83	2.93	6.75
比 重	表 乾	2.61	2.62	2.62
	絶 乾	2.59	2.60	2.60
吸 水 率 (%)	0.63	0.81	0.93	0.70
粒形判定實積率 (%)	58.9	56.0	54.6	57.1
No.200체 通過量(%)	0.75	2.36	3.65	1.3

(2) 혼화제

본 실험에 이용된 감수제는 리그닌계의 표준형 AE감수제를 사용하였으며, 또한 단위수량이 185kg/m³를 초과한 배합의 경우에는 멜라민계 고성능AE감수제를 사용하여 배합을 조정하였다.

2.2.2. 배합

본 실험에서 목표로 하는 배합조건은 실 구조체에 적용되고 있는 콘크리트의 품질기준을 대상으로 하였으며, 이에 따른 목표슬럼프 및 공기량은 각각 15±2.5cm, 4.5±1.5%이며 압축강도는 240kg/cm²로 하였다. 또한 단위시멘트량은 콘크리트의 종류에 관계없이 370kg/m³으로 동일하게 적용하였으며, 혼합모래비는 바다모래와 부순모래의 비율을 각각 50% : 50%로 조정하여 모래종류에 따른 콘크리트의 특성을 각각 검토하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 실내 배합실험

목표슬럼프 및 공기량 15±2.5cm, 4.5±1.5%의 조건에서 최적의 배합비를 구하고자 수행한 실내실험 결과는 표 3과 같다.

3.1.1. 단위수량 및 혼화제량

그림 1은 콘크리트 종류별 단위수량의 변화를 나타낸 것으로 목표슬럼프15±2.5cm를 만족하기 위해 소요되는 단위수량은 혼합모래 및 부순모래 콘크리트가 바다모래 콘크리트보다 각각 8kg/m³, 18kg/m³ 정도 증가된 것으로 나타났다. 이는 잔골재의 물성시험 결과에서와 같이 혼합모래 및 부순모

표 3 콘크리트의 실내배합 및 측정결과

콘크리트 종류	W/C (%)	S/A (%)	單位重量(kg/m ³)					混和劑(C×%)			測定結果				
			C	W	G	SS	CS	AE제	減水劑	高性能 AE 減水劑	슬럼프 (cm)	空氣量 (%)	壓縮強度(kg/cm ²)		
				3日	7日	28日									
SSC	47.8	48	370	177	901	827	-	0.007	0.3	-	17	5.6	192	262	339
BSC	50	47	370	185	909	402	402	0.008	0.3	-	16.5	4.9	194	276	360
CSC	50	48	370	195	875	-	839	0.008	0.3	-	15.5	6.0	162	229	329
	50	48	370	185	891	-	821	-	-	0.8	17	5.7	199	277	358
BSC-1	50.4	47	367	185	909	402	402	0.008	0.3	-	16.5	4.8	182	245	346

* SSC(바다모래 콘크리트), BSC(혼합모래 콘크리트), CSC(부순모래 콘크리트), BSC-1(혼합모래 콘크리트)
 ** SS(바다모래), CS(부순모래)

래가 바다모래에 비하여 No.200체를 통과한 잔입자함유량이 많고, 입형판정실적률이 낮게 나타나, 결국 모래의 입형 및 잔입자가 단위수량에 많은 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한 그림 2에서와 같이 바다모래 및 혼합모래 콘크리트의 경우 기존 AE감수제의 첨가량 0.3%정도에서 단위수량을 185kg/m³ 이내로 확보할 수 있었으나, 부순모래의 경우 기존의 감수제로는 건축공사표준시방서에서 규정하고 있는 185kg/m³이하를 만족시키지 못하여 고성능감수제를 사용하였으며, 단위수량 10kg/m³감수에 약 0.8%정도 첨가된 것으로 나타났다.

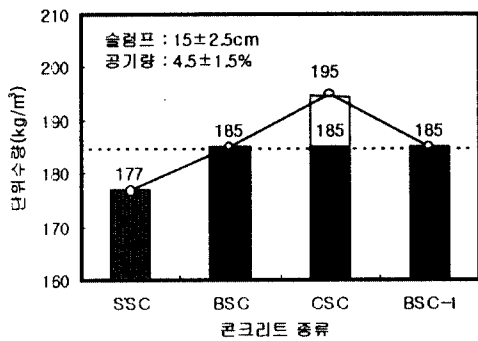


그림 1 콘크리트 종류별 단위수량의 변화

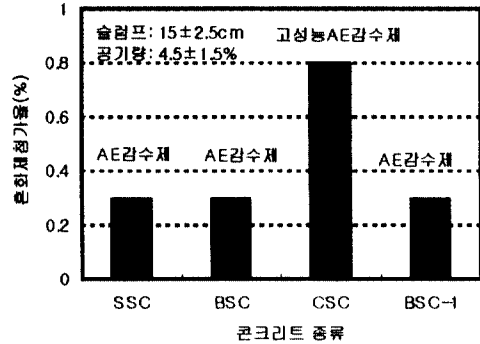


그림 2 콘크리트 종류별 혼화제 첨가율

3.1.2. 압축강도

그림 3은 동일한 유동성의 조건하에서 콘크리트 종류별 압축강도의 변화를 재령별로 나타낸 것으로, 부순모래 및 혼합모래 콘크리트의 압축강도가 바다모래콘크리트에 비하여 약 3~6%(약 10~20kg/cm²) 정도의 증가율을 보여 강도적 측면에서는 부순모래를 잔골재로 사용하는 것이 효과적인 것을 알 수 있다.

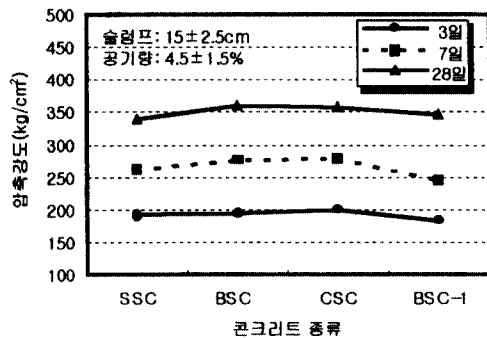


그림 3 콘크리트 종류별 압축강도의 변화

3.2. 레이콘 배합실험

레미콘 배합실험은 실내 실험에서 설정된 최적배합비를 검증하기 위한 것으로 배척플랜트에서 혼합, 배출된 콘크리트를 대상으로 측정한 결과, 투입되는 골재의 표면수율만 정확히 보정된다면 레미콘 현장배합은 실내 배합실험에서 도출된 결과와 거의 일치됨을 알 수 있었다. 실제 실내에서 수행한 배합과 레미콘 현장배합이 상이하게 나타난 경우, 투입되는 골재, 특히 잔골재의 습윤상태를 정확하게 측정하지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 더욱이 부순모래의 사용은 향후 급격히 증가될 것으로 예상되며, 이들 부순모래의 잔입자 및 입형으로 인하여 표건상태판정에 따른 흡수율의 정확한 측정이 어렵기 때문에 이에 대한 보다 정량적인 판정방법이 요구된다.

3.3 현장 타설실험

실내실험 및 레미콘 배척 실험결과를 바탕으로 현장 구조체 콘크리트의 물성을 측정한 결과는 표 4 및 표 5와 같다.

표 4 현장실험결과

測定結果 콘크리트의 種類			슬럼프 (cm)	空氣量 (%)	블리딩율 (%)	壓縮強度(kg/cm ²)			
						3日	7日	28日	
1차 지구	SSC	M103	공장	17.3	4.9	0.90	217	249	339
			지상	15.5	4.9	1.50	201	226	307
			타설	15.5	3.7	1.10	205	237	325
	BSC	M133	공장	17.3	5.3	1.90	187	248	326
			지상	16.0	5.3	1.40	172	230	294
			타설	16.0	4.2	0.90	190	240	304
	CSC	M136	공장	17.5	4.2	1.20	185	256	332
			지상	16.5	5.3	1.50	173	237	297
			타설	16.0	4.5	1.40	183	244	310
2차 지구	BSC -1	M313	공장	16	6.0	2.70	165	229	340
			지상	14	4.7	2.49	152	204	285
			타설	13	4.7	1.15	169	221	322

표 5 코어압축강도 측정결과

現場 名	콘크 리트 種類	採取지점 (벽체)	코어壓縮強度 (kg/cm ²)		공시체 壓縮強度 (kg/cm ²)
			28日	平均	
1차 지구	SSC	A(상 부)	300	299	325
		B(중앙부)	300		
		C(하 부)	298		
	BSC	A(상 부)	285	301	304
		B(중앙부)	312		
		C(하 부)	307		
	CSC	A(상 부)	304	307	310
		B(중앙부)	309		
		C(하 부)	308		

3.3.1. 슬럼프

그림 4는 측정위치에 따른 슬럼프의 변화를 콘크리트 종류별로 나타낸 것으로서, 처음 레미콘 공장에서 측정한 슬럼프에 비하여 지상 및 타설지점에서 슬럼프가 약 1~3cm정도 감소된 것으로 나타나 레미콘 운반시간이 콘크리트의 워커빌리티에 다소 영향을 미침을 알 수 있었다. 특히, 2차 지구 혼합모래 콘크리트(BSC-1)의 경우, 1차 지구에 타설한 콘크리트에 비하여 공장에서 현장도착지점인 지상에 이르기까지의 슬럼프 감소율은 크게 나타난 반면, 현장도착지점인 지상과 타설지점간 슬럼프의 변화는 타설높이에 관계없이 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

3.3.2. 공기량

그림 5는 측정위치에 따른 공기량의 변화를 콘크리트 종류별로 나타낸 것으로 바다모래 및 혼합모래 콘크리트의 경우, 레미콘 공장과 현장도착지점인 지상에서 측정한 공기량은 거의 비슷한 경향을 보이나, 타설시의 공기량은 지상에 비하여 약 1%정도 감소된 것으로 나타났다. 이는 펌프타설시 관내 발생된 펌프압으로 인하여 콘크리트내 공기량의 일부가 소실된 것으로 판단되지만, 전반적으로 콘크리트 종류에 관계없이 대부분 4~5%범위의 공기량 분포를 보여 측정위치에 따른 공기량의 큰 변화가 없음을 알 수 있었다.

3.3.3 압축강도

그림 6은 측정위치에 따른 압축강도의 변화를 콘크리트 종류별로 나타낸 것으로, 재령 28일에서의 전체 콘크리트의 압축강도는 $299\sim 337\text{kg/cm}^2$ 의 분포를 보여 공장, 지상 및 타설지점 등의 측정위치에 따른 강도 변화가 없음을 알 수 있었다. 또한 그림 7은 현장 구조체에 타설된 콘크리트를 대상으로 적용 콘크리트종류별 벽체의 상, 중, 하부에서 코어를 채취하여 각각의 압축강도를 측정하여 콘크리트의 종류 및 채취위치에 따른 압축강도의 차이는 없는 것으로 나타나, 부순모래의 경우도 기존의 강모래 및 바다모래에서와 같이 콘크리트용 잔골재로서 충분히 활용 가능할 것으로 판단된다. 반면, 부순모래를 100% 사용한 경우, 고성능AE감수제를 사용하여 목표로 하는 유동성을 확보하였기 때문에, 이들 감수제를 사용하지 않고 기존 강모래나 바다모래에서와 같이 활용할 수 있도록 우선 모래 자체의 입형을 적극 개선할 필요가 있다고 판단된다. 또한, 부순모래에 함유된 No.200체를 통과한 잔입자의 함유량을 3% 전후로 확보하는 것이 유동성 및 강도증진 측면에서 보다 중요하다.

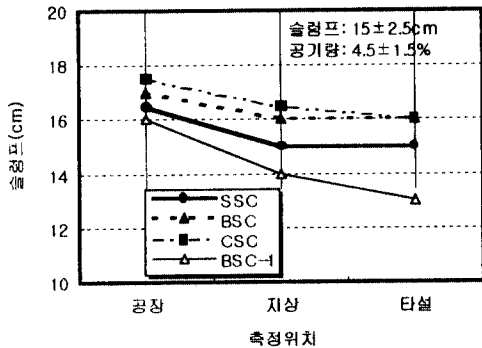


그림 4 측정위치에 따른 콘크리트의 슬럼프

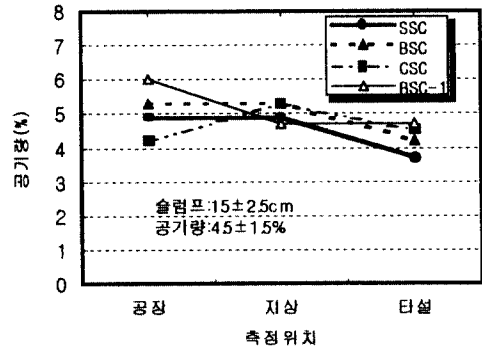


그림 5 측정위치에 따른 콘크리트의 공기량

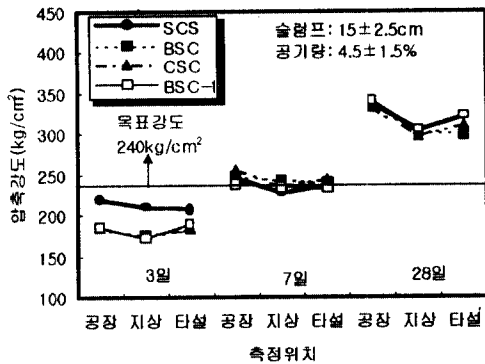


그림 6 측정위치에 따른 압축강도의 변화

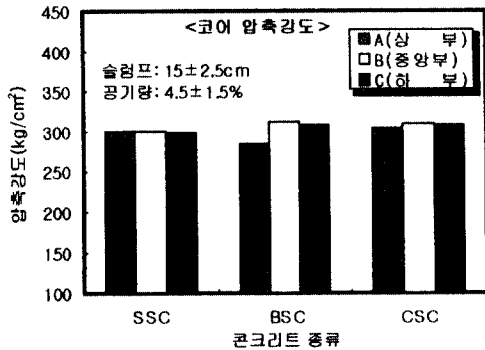


그림 7 현장 벽체의 코어 압축강도

3.3.4 건조수축

그림 8은 동일한 유동성의 조건에서 현장타설 콘크리트를 대상으로 각주 시험체를 제작하여 재령에 따른 건조수축율을 검토한 것이다. 그림에서와 같이 현장타설지점에서 제작한 콘크리트의 경우, 바

다모래 및 혼합모래 콘크리트에 비하여 부순모래 콘크리트의 건조수축율이 다소 높게 나타났는데, 이는 초기 배합설계시 동일한 유동성을 확보하기 위해 소요된 단위수량과 잔입자함유량이 바다모래에 비하여 부순모래가 많기 때문인 것으로 판단된다. 반면 부순모래와 바다모래를 각각 50%씩 혼합한 콘크리트의 경우, 재령 28일까지는 바다모래 콘크리트와 비슷한 건조수축율의 변화를 보여 혼합모래로 사용함에 따라 콘크리트의 건조수축을 다소 개선시킬 수 있었으며, 현재 상태로는 부순모래를 100% 사용하는 것보다 적절한 혼합비율을 설정하여 혼합모래로 사용하는 편이 보다 합리적인 것으로 판단된다.

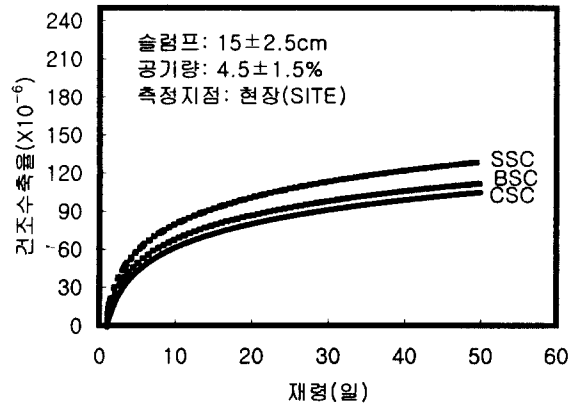


그림 8 콘크리트 종류별 재령과 건조수축율(현장)

4. 결 언

부순모래 콘크리트의 현장 적용성 검토 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 목표슬럼프를 만족하기 위해 소요되는 단위수량은 혼합모래 및 부순모래 콘크리트가 바다모래 콘크리트보다 각각 8kg/m^3 , 18kg/m^3 정도 증가된 것으로 나타나, 부순모래 콘크리트의 경우 단위수량을 185kg/m^3 이내로 확보하기 위해선 고성능감수제를 사용하는 것이 바람직하다.
- 2) 콘크리트 종류별 시공성은 혼합모래 콘크리트가 충전 및 유동성 측면에서 가장 양호한 것으로 나타났으나, 부순모래 콘크리트의 경우에는 작업성 측면에서 다소 저하된다.
- 3) 레미콘 공장, 현장도착 및 타설지점에서 각각 측정된 콘크리트의 압축강도는 $299\sim 337\text{kg/cm}^2$ 으로 측정위치간의 큰 차이가 없으며, 또한 벽체의 상, 중, 하부를 대상으로 한 코어 압축강도도 콘크리트의 종류 및 채취위치에 관계없이 동일하다.
- 4) 레미콘 출하지점 및 현장타설 지점에서의 건조수축율을 검토한 결과, 바다모래 콘크리트에 비하여 부순모래 콘크리트의 건조수축율이 다소 높게 나타났으나, 혼합모래 콘크리트는 바다모래 콘크리트와 비슷한 건조수축율의 변화를 보여 혼합모래로 사용하는 것이 콘크리트의 건조수축 개선 측면에서도 효과적이다.
- 5) 이상의 현장적용 실험결과에서와 같이, 부순모래는 혼합모래로 활용하는 것이 바람직하며, 혼합비율 50%까지는 전혀 문제없이 바다모래와 동일하게 사용할 수 있다. 단, 혼합비율을 70~100%로 사용하기 위해서는 현재의 국내 부순모래의 입형 및 잔입자함유량 등에 관한 품질향상이 요구된다.

● 참고문헌 ●

1. 대한주택공사, “콘크리트용 부순모래(碎砂)의 실용화방안에 관한 연구”, 1996. 12.
2. Nichols, F.P.Jr ; “Manufactured Sand and Crushed Stone in Portland Cement Concrete”, Concrete International, August 1982., pp.56-63.
3. 田村博 外 2人 ; “碎砂粉コンクリートへの有効利用に関する研究”, 콘크리트 工學年次論文報告集, 13卷 1號, 1991., pp.57-62.