

부순모래를 사용한 콘크리트의 현장 품질 특성에 관한 실험 연구

Investigation on Properties of Concrete with Crushed Sand on Site

이 성 복* 이 도 현** 지 남 용***
Lee, Sung Bok Lee, Do Heon Jee, Nam Yong

Abstract

This study is to investigate the properties of concrete with crushed sand on site and to propose a quality guideline for its use as artificial sand and concrete. From our experimental result in laboratory and site, we found that demand water of concrete with crushed sand for target slump increased by 8kg/m³ compared to mixed sand and 18kg/m³ compared to sea sand respectively. The compressive strength increased by around 3 ~ 6% when compared to concrete with sea sand. Accordingly, our study showed that the combined sand mixed with sea sand would be desirable to obtain workability and strength of concrete including dry shrinkage and bleeding test. Furthermore, the optimal replacement percentage of crushed sand was 50% with sea sand. As such, crushed sand would be sufficient as fine aggregate for concrete in terms of economic efficiency and quality. Crushed sand, on the other hand can only be used as fine aggregate when VFS(Very Fine Sand) is below 3.5 percentage of weight of sand and particle shape is above 55 percentage. Also, the particle shape and microsand passing No.200 sieve should continually be improved to increase workability of concrete on site

키워드 : 부순모래, 입형판정실적율, 잔입자함유량, 건조수축, 유동성
Crushed sand, Particle shape, Very Fine Sand, Dry shrinkage, Workability

1. 서 론

천연 잔골재의 고갈에 따른 대체골재로서 부순모래는 바다 모래와 더불어 최근 그 사용량이 현저히 증가되고 있다. 부순모래는 부순돌 생산시 발생하는 8mm이하의 석분인 산업부산물을 효율적으로 활용한 인공모래로서 자원의 재활용성이 높다. 또한 국내 여건상 전국적으로 채취 가능한 암석이 풍부하여 품질을 일정하게만 할 수 있다면 잔골재의 대체재료로서 부순모래의 활용방안이 가장 현실적이고 장기적이며 우선적인 대책이라고 여겨진다.

그러나 부순모래의 경우 그 활용에 대한 연구가 90년대 중반부터 이루어져 현재는 전국적인 현장에서 사용하고 있지만, 입자형상이나 잔입자함유량 등의 주요 품질에 대한 문제점과 샌드플랜트(Sand Plant)의 각종 설비에 대한 지속적인 관리가 이루어지고 있지 않아 초기 개발 당시보다 품질이 상당히 저하된 상태이다. 이에 따라 부순모래를 사용한 콘크리트의 현장에서는 지나친 단위수량의 증가로 구조체 표면에서의 과다 기포 및 건조수축 등이 발생하여 사용상 많은 문제점이 제기되고 있고 있으나 지역간 골재수급의 불균형 및 운반에 따른 경계성 문제 등으로 특별한 해결책을 제시 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 최근 사용되고 있는 부순모래의 품질과 콘크리트의 배합 및 제반물성 등을 실내실험과 레미콘 및 현장에서 정량적으로 비교 검토하여 부순모래 콘크리트 사용에 따른 문제점을 사전에 방지하고 부순모래의 품질 평가 및 콘크리트의 품질 관리지침으로 활용하고자 한다.

2. 실 험

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.

2.2. 사용재료 및 배합

1) 사용재료

(1) 골재

잔골재중 바다모래는 인천산, 부순모래는 경기 남양산을 이용하였으며, 혼합모래는 바다모래와 부순모래를 각각 50% 혼합하여 입도 조정 후 사용하였다. 또한 굵은골재는 남양산 부순돌을 사용하였으며, 굵은골재의 최대크기는

* 정희원, 대한주택공사 주택도시연구원 책임연구원, 공학박사
** 정희원, 대한주택공사 주택도시연구원 수석연구원, 공학박사
*** 정희원, 한양대학교 건축공학부 교수, 공학박사

25mm이하로 조정하여 KS F 2462 및 KS F 2531-2534에 따라 그 물리적 성질을 검토하였으며, 이에 따른 각 골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 1. 실험방법 및 측정항목

실험종류	항목	실험목적	적용 콘크리트종류	측정장소 /위치	측정항목	
					굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트
실내 배합실험	최적배합 결정	3종 바다모래 혼합모래 부순모래	실험실 내부	슬럼프 공기량 블리딩	압축강도 (3,7,28일)	
레미콘 배치실험	현장배합 결정	3종 바다모래 혼합모래 부순모래	공장출하 현장도착	슬럼프 공기량	압축강도 (3,7,28일)	
현장 타설실험	현장적용	3종 바다모래 혼합모래 부순모래	공장출하 현장도착 현장타설	슬럼프 공기량 블리딩	공시체 및 코어(벽체) 압축강도 건조수축	

표 2. 사용골재의 물리적 성질

시험항목	잔골재			굵은골재
	바다모래	혼합모래	부순모래	
조립율	2.74	2.83	2.93	6.75
비중	표건	2.61	2.62	2.62
	절건	2.59	2.60	2.60
흡수율(%)	0.63	0.81	0.93	0.70
입형판정실적율(%)	58.9	56.0	54.6	57.1
No.200체 통과량(%)	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) 배합

본 실험에서 목표로 하는 배합조건은 실제 구조체에 적용되고 있는 콘크리트의 품질기준을 대상으로 하였으며, 이에 따른 목표슬럼프 및 공기량은 각각 15±2.5cm, 4.5±1.5%이며 압축강도는 240kg/cm²으로 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.

2.3. 시험체 제작 및 측정방법

1) 실내실험

목표슬럼프와 공기량을 만족할 수 있는 최적의 배합조건을 산출하기 위하여 단위수량 및 잔골재율을 단계별로 보정하면서 실험을 수행하였다. 또한 압축강도는 공시체의 지름과 높이가 10∅×20cm인 원주공시체를 사용하여 1수준

당 9개의 시험체를 제작하였으며, 각 소요재령별(3일, 7일, 28일)로 압축강도를 측정, 비교 분석하여 가장 높은 강도범위의 배합조건을 최적배합비로 설정하였다.

2) 레미콘 배치 실험

레미콘 배치 실험은 실내배합 실험에서 도출된 결과를 바탕으로 레미콘 공장의 믹서플랜트에 투입되는 골재의 표면수율을 측정하고, 이에 따른 단위수량을 보정하여 혼합하였으며, 레미콘 에지테이터 트럭에서 교반한 후, 출하지점에서 콘크리트를 대상으로 슬럼프, 공기량 및 압축강도를 측정하여 실내 배합 실험 결과와 비교 검토하였다.

3) 현장타설 실험

현장타설 실험은 실내배합 실험과 레미콘 배치 실험을 통하여 설정된 배합을 기준으로 측정위치별 콘크리트의 유동성, 압축강도 및 건조수축 등의 품질변화를 정량적으로 검토하였으며, 코어 압축강도는 벽체의 상, 중, 하부를 대상으로 재령 28일 경과후 각각의 위치를 설정하고 코어를 채취하여 압축강도를 측정하였다.

표 3. 콘크리트의 실내배합 및 측정결과

콘크리트 종류	W/C (%)	S/A (%)	단위중량(kg/m ³)					혼화제(C×%)			측정결과				
			C	W	G	SS	CS	AE제	감수제	고성능 AE 감수제	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	압축강도(kg/cm ²)		
													3일	7일	28일
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)

또한 콘크리트의 건조수축은 Pfender(獨)가 고안한 Contact Strain Gauge를 이용하여 공장 및 타설 지점에서 10×10×40cm의 각주모드를 사용하여 제작하였으며, 성형후 24시간 경과후에 탈형하여 이때를 기준점으로 설정하여 각 소요 재령별(1, 3, 7, 14, 28, 50일)로 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실내 배합실험

목표슬럼프 15±2.5cm 및 공기량 4.5±1.5%의 조건에서 최적의 배합비를 구하고자 수행한 실내 배합 실험결과는 표 3 과 같다.

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 품질시험 결과에서와 같이 혼합모래 및 부순모래가 바다모래에 비하여 No.200체를 통과한 잔입자함유량이 많고, 입형판정실적률이 낮게 나타나, 모래의 입자형상 및 잔입자가 콘크리트의 단위수량 증가에 많은 영향을 미친 것으로 판단된다.(사진 1 참조)

또한 그림 2에서와 같이 바다모래 및 혼합모래 콘크리트의 경우 기존 AE감수제의 첨가량 0.3%정도에서 단위수량을 185kg/m³이내로 확보할 수 있었으나, 부순모래를 사용한 콘크리트의 경우 기존의 감수제로는 건축공사표준시방서에서 규정하고 있는 185kg/m³이하를 만족시키지 못하여 고성능감수제를 사용하였으며, 단위수량 10kg/m³감수에 약 0.8%정도 첨가된 것으로 나타났다.

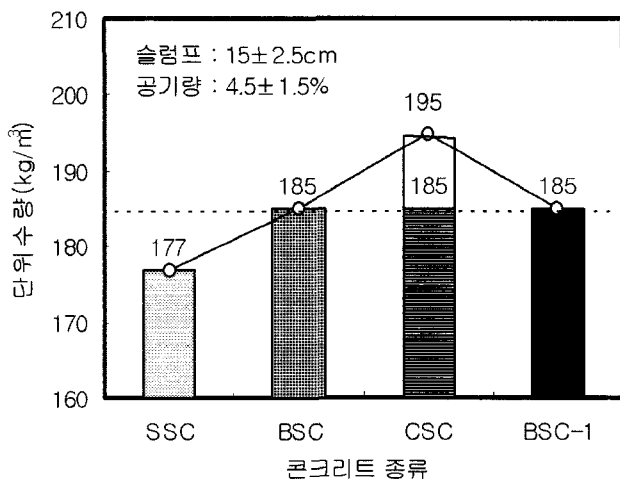


그림 1. 콘크리트 종류별 단위수량의 변화

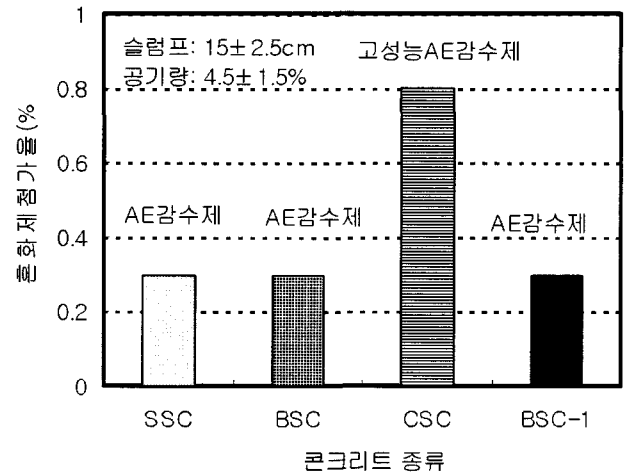


그림 2. 콘크리트 종류별 혼화제 첨가율

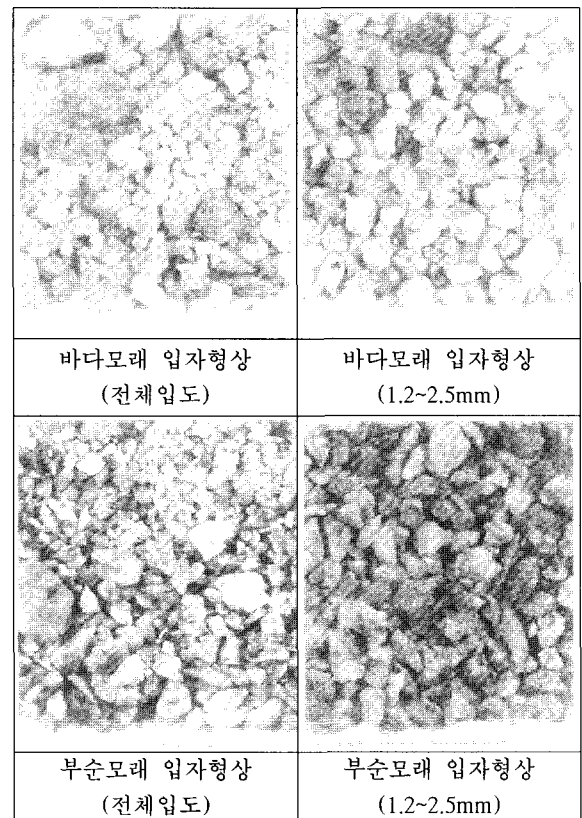


사진 1. 골재종류별 입자형상

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.

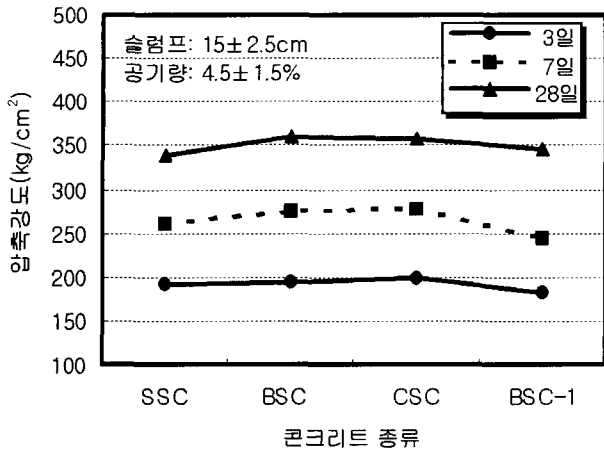


그림 3. 콘크리트 종류별 압축강도의 변화

3.2 레미콘 배합실험

레미콘 배합실험은 실내 실험에서 설정된 최적배합비를 검증하기 위한 것으로 배척플랜트에서 혼합, 배출된 콘크리트를 대상으로 측정된 결과, 투입되는 골재의 표면수율을 정확히 보정한다면 레미콘 현장배합은 실내 배합실험에서 도출된 결과와 거의 일치함을 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 앞으로도 지속적으로 증가될 것으로 예상되며, 이들 부순모래의 잔입자 및 입형으로 인하여 표면상태판정에 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 측정된 결과는 표 4 및 표 5와 같다.

1) 슬럼프

그림 4는 측정위치에 따른 슬럼프의 변화를 콘크리트 종류별로 나타낸 것으로서, 처음 레미콘 공장에서 측정된 슬럼프에 비하여 지상 및 타설지점에서의 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.

2) 공기량

그림 5는 측정위치에 따른 공기량의 변화를 콘크리트 종류별로 나타낸 것으로 바다모래 및 혼합모래 콘크리트의 경우, 레미콘 공장과 현장도착지점인 지상에서 측정된 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.

표 4. 현장실험결과

콘크리트의 종류	측정결과			압축강도(kg/cm ²)				
	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	블리딩율 (%)	3일	7일	28일		
	1차 지구	SSC M103	공장 17.3, 지상 15.5, 타설 15.5	4.9	0.90	217, 201, 205	249, 226, 237	339, 307, 325
1차 지구	BSC M133	공장 17.3, 지상 16.0, 타설 16.0	5.3	1.90	187, 172, 190	248, 230, 240	326, 294, 304	
		CSC M136	공장 17.5, 지상 16.5, 타설 16.0	4.2	1.20	185, 173, 183	256, 237, 244	332, 297, 310
			2차 지구	BSC-1 M313	공장 16, 지상 14, 타설 13	6.0	2.70	165, 152, 169

표 5. 코어압축강도 측정결과

현장명	콘크리트 종류	채취지점 (벽체)	코어압축강도 (kg/cm ²)		공시체 압축강도 (kg/cm ²)
			28일	평균	
1차 지구	SSC	A(상부)	300	299	325
		B(중앙부)	300		
		C(하부)	298		
	BSC	A(상부)	285	301	304
		B(중앙부)	312		
		C(하부)	307		
CSC	A(상부)	304	307	310	
	B(중앙부)	309			
	C(하부)	308			

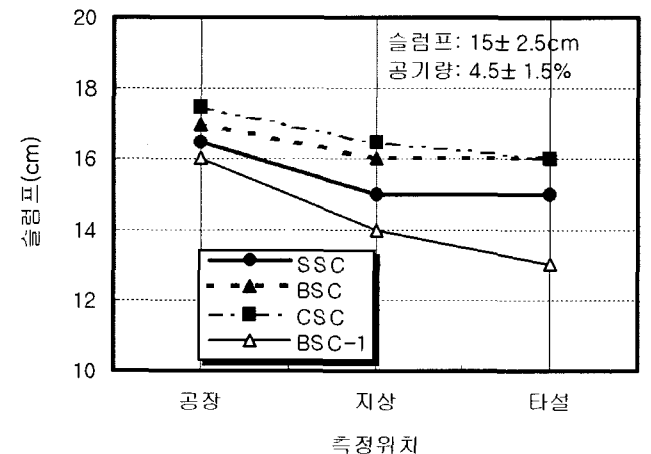


그림 4. 측정위치에 따른 콘크리트의 슬럼프

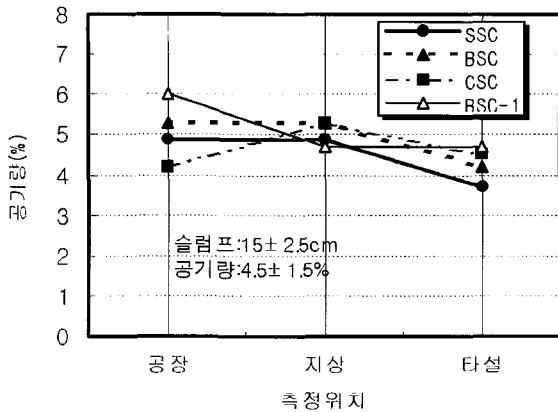


그림 5. 측정위치에 따른 콘크리트의 공기량

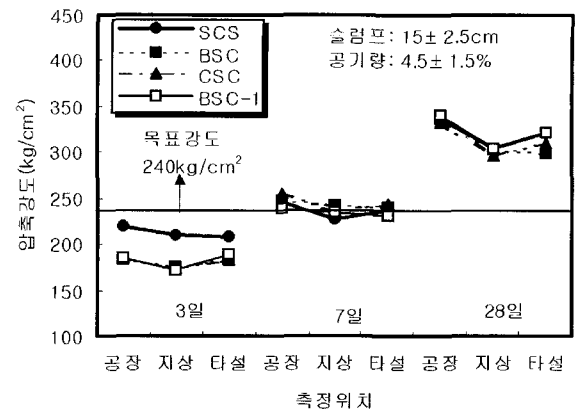


그림 6. 측정위치에 따른 압축강도의 변화

3) 압축강도

그림 6은 측정위치에 따른 압축강도의 변화를 콘크리트 종류별로 나타낸 것으로, 재령 28일에서의 전체 콘크리트 압축강도는 299~337kg/cm²의 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 거의 없는 것으로 나타났다.

반면, 부순모래를 100% 사용한 경우, 고성능AB감수제를 사용하여 목표로 하는 유동성을 확보하였기 때문에, 이러한 고성능감수제를 사용하지 않고 기존 강모래나 바다모래와 같이 활용하기 위해선 우선 모래 자체의 입형을 적극 개선할 필요가 있다고 판단된다. 또한, 부순모래에 함유된 No.200체를 통과한 잔입자의 함유량을 3.5% 전후로 확보하는 것이 유동성 및 강도증진 측면에서 보다 중요하다.

4) 건조수축

그림 8은 동일한 유동성의 조건에서 현장타설 콘크리트를 대상으로 각주 시험체를 제작하여 재령에 따른 건조수축율을 검토한 것이다. 그림에서와 같이 현장타설지점에서 제작한 콘크리트의 경우, 바다모래 및 혼합모래 콘크리트에 비하여 부순모래 콘크리트의 건조수축율이 다소 높게 나타났다. 이는 초기 배합설계시 동일한 유동성을 확보하기 위해 단위수량이 많이 소요되었으며, 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 개선시킬 수 있었다. 현재의 품질 상태로는 부순모래를 100% 사용하는 것보다 적절한 혼합비율을 설정하여 사용하는 편이 보다 합리적인 것으로 판단된다. 또한 부순모래만을 사용할 경우는 입형판정실적율이 최소 55% 정도의 범위에서 고성능감수제를 사용한 배합이 이루어져야 보다 안정적인 품질을 확보할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

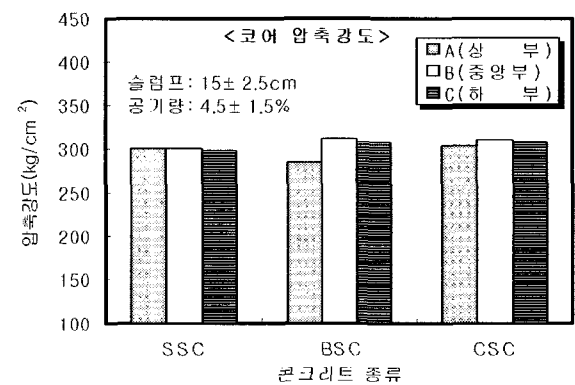


그림 7. 현장 벽체의 코어 압축강도

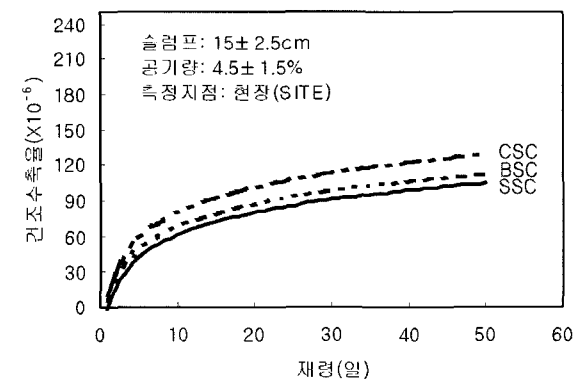


그림 8. 콘크리트 종류별 재령과 건조수축율(현장)

4. 결 언

부순모래를 사용한 콘크리트의 현장 품질 특성을 바다모래 및 혼합모래를 사용한 콘크리트와 비교 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 목표슬럼프를 만족하기 위해 소요되는 단위수량은 혼합모래 및 부순모래 콘크리트가 바다모래 콘크리트보다 각각

8kg/m³, 18kg/m³ 정도 증가된 것으로 나타나, 부순모래의 혼합비율 10%증가시 단위수량은 약 2 kg/m³ 정도 증가된 것으로 나타났다.

- 2) 부순모래의 혼합비율이 높은 경우, 콘크리트의 단위수량 185kg/m³이내에서 목표로 하는 유동성을 확보하기 위해선 일 반감수제보다는 고성능감수제를 사용하는 것이 바람직하다.
- 3) 동일한 유동성의 조건하에서 콘크리트 종류별 압축강도의 변화를 검토한 결과, 부순모래 및 혼합모래를 사용한 콘크리트의 압축강도가 바다모래를 사용한 콘크리트에 비하여 약 3~6% 정도 향상되어, 강도적인 측면에서는 부순모래가 효과적이다
- 4) 레미콘 공장, 현장도착 및 타설지점에서 각각 측정된 콘크리트의 압축강도는 299~337kg/cm²으로 측정위치간의 큰 차이가 없으며, 또한 벽체의 상, 중, 하부를 대상으로 한 코어 압축강도도 콘크리트의 종류 및 채취위치에 관계없이 동일하다.
- 5) 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.
- 6) 이상의 현장 실험 결과에서와 같이, 본 실험에서 사용한 부순모래는 콘크리트용 잔골재로서 혼합모래로 사용하는 것이 바람직하며, 혼합비율 50%까지는 바다모래와 동일하게 사용할 수 있다. 단, 부순모래만을 잔골재로서 사용할 경우, 입형판정실적율은 최소 55% 이상이 되어야 하며, 잔입자함 유량도 3.5%이내에서 관리가 되도록 한다.

참 고 문 헌

1. 李成靚, “잔입자함유량 및 잔골재 粒形 變化에 따른 부순모래 콘크리트의 特性에 관한 研究”, 漢陽大學校 博士學位 論文, 1997. 6.
2. 이성복 외, “부순모래의 잔입자량에 따른 시멘트모르타의 유동성에 관한 연구”, 대한건축학회 학술발표논문집, 제15권, 제2호, 1995년 10월, pp.705~708
3. 이성복 외, “부순모래를 사용한 시멘트모르타의 유동성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집 제12권 6호 통권 92호 1996년 6월, pp.211~218
4. 이성복 외, “잔입자함유량에 따른 부순모래의 표전상태 판정에 관한 연구”, 한국콘크리트학회, 가을학술발표회논문집, 제8권 2호, 통권 제15집 1996년 11월, pp.10~16
5. 이성복 외, “잔입자함유량에 따른 부순모래 콘크리트의 물성 및 배합에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 제13권 2호 통권 100호, 1997년 2월 pp.219~228
6. 이성복 외, 잔입자함유량 및 입형변화에 따른 부순모래 콘크리트의 배합설계 방법에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 제13권 5호 통권 103호, 1997년 5월 pp.289~298

7. 대한주택공사, “콘크리트용 부순모래(碎砂)의 실용화방안에 관한 연구”, 1996. 12.
8. Ahmed, A.E., and El-Korlurd, A.A. ; “Properties of Concrete Incorporating Natural and Crushed Stone Very Fine Sand”, ACI Materials Journal, Proceedings Vol. 86, No. 4, July-August 1989, pp. 417-424.
9. Nichols, F.P.Jr ; “Manufactured Sand and Crushed Stone in Portland Cement Concrete”, Concrete International, August 1982., pp.56-63.
10. NSA ; “Quality Concrete with Crushed Stone Aggregate”, 1988. 1.
11. 中井 裕 ; “コンクリート用碎砂の品質基準および使用基準作成のための調査研究報告書(案), 日本建築學會 材料施工委員會, 骨材小委員會 碎砂研究WORKING-GROUP, 西日本地下資源シンポジウム(熊本), 講演要旨集, pp 56~80.
12. 天野一彦 ; “碎砂と海砂からなる混合細骨材の利用に関する實驗的研究”, 七技年報, 1973, pp.88-91
13. 秋本 勳 ; “JIS A 5005 「コンクリート用碎石および碎砂」改正の經過と概要, 月刊 生コンクリート, Vol. 12, No. 3, 1993. 3., pp.26~32.
14. 川瀬清孝 ; 新しい骨材 -碎砂-, 콘크리트工学, Vol. 16. No., Sept., 1978.
15. 內藤壯介 ; “碎砂について(1)”, 骨材資源, 通卷 No.81, 1989, pp.18-22.
16. 內藤壯介 ; “碎砂について(2) -碎砂製造に當つて-”, 骨材資源, 通卷 No. 82, 1989., pp.101-103.
17. 콘크리트용骨材をめぐる諸問題, 1992年度大會材料施工部門研究協議會資料, 日本建築學會, 材料施工委員會, 1992. 8.