



건식공정으로 생산한 부순 모래의 품질 및 콘크리트 특성에 미치는 영향

박조범^{1)*} · 백철우¹⁾ · 김호수¹⁾ · 류득현¹⁾

¹⁾유진기업(주) 기술연구소

The Quality of Crushed Sand by Dry Production Process and Its Influence on Properties of Concrete

Cho-Bum Park^{1)*}, Chul-Woo Baek¹⁾, Ho-Su Kim¹⁾, and Deuk-Hyun Ryu¹⁾

¹⁾Research & Development Division, Eugene Corporation Co. Ltd., Koyang 412-480, Korea

ABSTRACT As the shortage of natural & good quality aggregate for concrete, it is needed development of alternative aggregate. At the present time, the crushed sand is widely used among the alternation aggregate, and the usage of crushed sand will be increased more and more. Generally, crushed sand is produced with wet process in domestic, but some manufacturing companies which are handicapped with local restrict are produced by dry process. In this study, analyzing the facilities of dry crushed sand, the quality properties of dry crushed sand was done by Korean Industrial Standards. Based on the quality results of dry crushed sand, the experiment of concrete with the dry crushed sand which is substitute for sea sand was done. As the results of basic qualities, the amount of 0.08 mm sieve passing ratio was over KS criteria, and the fineness modulus was higher than sea sand, and the other physical properties of dry crushed sand was similar to sea sand. The results of concrete experiment, according to the substitutive ratio of dry crushed sand is increased, the slump and air content of concrete was decreased by increase of fine particles of dry crushed sand, and the unit weight content, compressive & tensile strength of concrete were increased on the contrary. The physical properties of concrete used dry crushed sand were showed same tendency without relation to W/B. Consequently, if the fine particle contents of dry crushed sand was lower, it is judged that dry crushed sand is no problem to use for concrete aggregate and the amount of usage will be increased.

Keywords dry production process, crushed sand, fine particles, 0.08 mm sieve passing ratio

1. 서 론

건설재료로서 널리 사용되고 있는 콘크리트는 과거 성장기부터 현재까지 건설재료의 근간을 이루고 있으며, 그 수요는 지속적으로 증가할 것으로 전망되고 있으나, 콘크리트용 골재로서 양질의 천연골재가 부족해짐에 따라 대체골재의 개발이 여러 분야에서 진행되고 있다. 그 결과 암석을 파쇄한 부순골재, 인공 경량골재, 산업부산물을 이용한 골재, 폐콘크리트를 재활용한 순환골재 등 다양한 종류의 대체 골재가 적용되고 있다.

콘크리트용 굵은 골재로서 부순 자갈의 사용은 이미 일반화 되어 있으며, 부순모래 역시 강모래나 바다모래의 공급이 원활하지 않은 지역에서는 대체 골재로서 사용되고 있고, 그 사용량은 천연모래의 감소와 원가절감의 방안으로 점차 늘어날 전망이다¹⁾. 그러나 부순모래의 경우에는 원석의 상태와 제조 설비의 상태에 따라서 품

질이 크게 다르게 나타나, 콘크리트용 골재로 적용할 경우 품질관리에 어려움을 겪고 있어 이에 대한 해결책이 요구되고 있다. 특히, 지역적인 조건과 부지의 제약으로 건식 공정으로 생산되는 부순모래의 경우에는 습식으로 생산한 부순모래와는 다른 품질 특성을 나타내고 있는 것으로 보고 되고 있어, 더욱 세심한 주의가 필요하다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 건식 부순모래 제조설비의 특성을 분석하고, 부순모래의 품질 특성을 평가한 후, 이를 사용하여 콘크리트를 제조하였다. 그 결과, 건식공정으로 생산한 부순모래의 품질 특성 및 콘크리트에 미치는 영향을 분석하여 콘크리트용 골재로 적용하는 데에 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

2. 건식공정 부순모래의 특성

2.1 생산 공정

부순모래 제조설비는 크게 파쇄기와 분급기로 분류할 수 있으며, 파쇄 및 분급 방법도 습식과 건식으로 나누

*Corresponding author E-mail : etranger@dreamwiz.com
Received December 7, 2005, Accepted April 28, 2006
©2006 by Korea Concrete Institute

어진다. 일본에서는 과거에 대부분 습식방식이 채용되었으나, 최근에는 일부 지역에서 건식시스템을 채택하는 경우가 많이 증가하고 있다. 여기에는 환경규제의 강화에 의하여 폐수처리에 어려움이 많아졌고, 파쇄기, 분급기의 성능 향상에 의하여 건식 방식으로도 부순모래의 품질 확보 및 대량 생산이 가능하게 되었기 때문이라고 판단된다. 국내에서는 현재 기술적인 측면과 생산량 등을 고려하여 대부분 습식 시스템을 채용하고 있다²⁾.

건식공정 부순모래의 대표적인 제조 설비의 형상은 Fig. 1과 같이 파쇄기, 분급기, 미립분 집진기 등으로 구성되어 있다. 습식공정에서는 수처리 시설과 슬러지 처리 설비가 있으나, 건식공정에서는 집진기에 의해서만 미립분을 처리한다는 것이 가장 큰 특징이다.

향후에는 폐수처리 문제로 막대한 비용이 소요되고, 파쇄, 분급기술이 발달하여 건식 공정으로도 어느 정도 부순모래의 품질 향상 및 대량생산도 가능해져 폐수와 슬러지 처리 문제 해결과 협소한 부지에서 생산이 가능한 건식 공정을 채택하는 회사가 늘어날 것으로 전망된다.

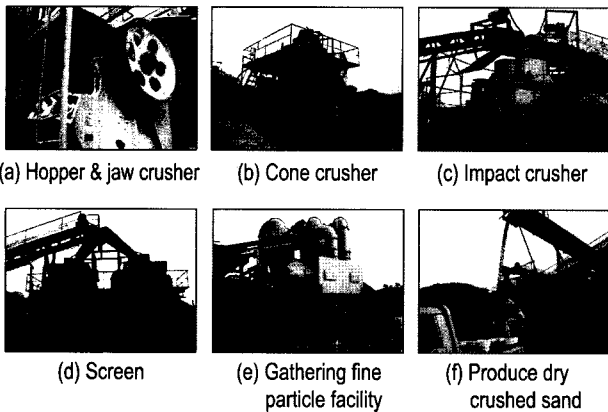


Fig. 1 Typical process & facilities of dry crushed sand

Table 1 Test method of crushed sand

Item	Method	Explanation
Density & Absorption	KS F 2504	Testing method for density & absorption of fine aggregates
Particle Distribution	KS F 2502	Methods of test for sieve analysis of aggregates
Amount of 0.08 mm Sieve Passing	KS F 2511	Testing method for amount of material finer than 0.08 mm sieve in aggregate
Bulk Density & Solid Content	KS F 2505	Methods of test for bulk density of aggregates and solid content in aggregates

Table 2 Comparative physical properties of sand

Item	Crushed sand		Natural (Sea)	KS F 2527
	Dry	Wet		
Density (g/cm ³)	2.52	2.58	2.60	over 2.50
Absorption Ratio (%)	1.40	1.51	0.70	under 3.0
Unit Weight Content (kg/m ³)	1528	1622	1598	-
Solid Volume Ratio (%)	61.4	63.9	61.9	-
0.08 mm Sieve Passing Ratio (%)	12.64	2.82	(0.97)	under 7.0(3.0)
Fineness Modulus	3.19	3.11	2.72	

2.2 품질 특성

건식 공정으로 생산한 부순모래를 콘크리트용 골재로서의 적용성을 평가하기 위하여 한국산업규격 KS F 2527 (콘크리트용 부순 골재)에 의거하여 기초 물성 시험을 실시하였으며, 시험 항목은 Table 1과 같다.

건식공정 부순모래의 품질 특성을 인근 지역에서 동일한 조건의 설비를 가지고, 습식공정으로 생산하고 있는 부순모래의 품질과 비교하였으며, 천연모래와도 함께 비교, 평가하였다. 그 결과 Table 2와 같은 부순모래의 시험 결과를 얻었으며, 세부적인 내용은 다음과 같다.

2.2.1 밀도

일반적으로 콘크리트용 골재로 사용하는 모래의 밀도는 2.40g/cm³ 이상이면 콘크리트 강도에는 문제가 없는 것으로 알려져 있으며²⁾, KS F 2527에서는 부순모래의 절건 밀도를 2.50g/cm³ 이상으로 규정하고 있다. 본 실험에서는 부순모래의 밀도는 건식공정이 2.52, 습식공정이 2.58, 그리고 바다모래는 2.60g/cm³으로 나타나, KS 규정을 모두 만족하고 있는 것으로 나타났다.

여기서 부순모래의 밀도가 건식공정과 습식공정에서 차이를 보이는 것은 부순모래 제조 시에 원석과 함께 혼합되는 점토와 파쇄시 발생하는 석분 등이 함께 혼합되어 부순모래의 밀도 값이 습식과 천연 모래에 비하여 낮은 값을 보인 것으로 판단된다.

2.2.2 흡수율

골재의 흡수율은 콘크리트의 유동성, 강도, 건조수축, 내구성 등의 콘크리트 품질에 영향을 미치는 중요한 항목으로 KS F 2527에서는 부순모래의 흡수율을 3.0% 이하로 규정하고 있다. 본 실험에서는 건식, 습식 부순모

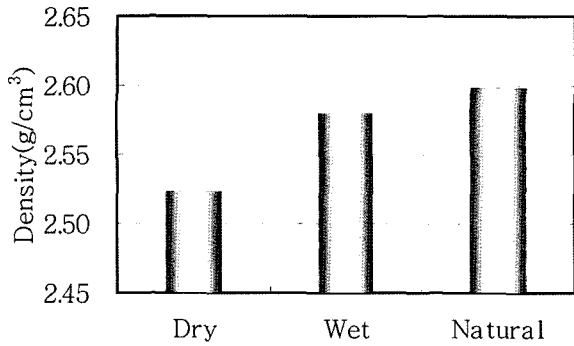


Fig. 2 Density of sand.

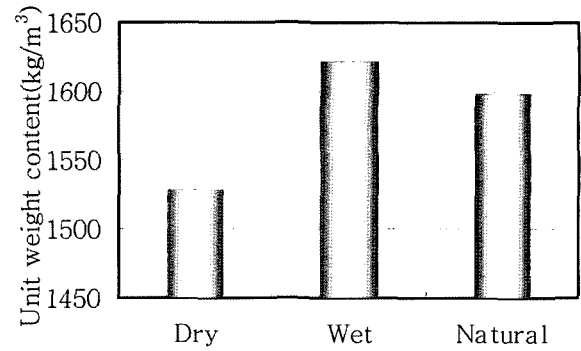


Fig. 4 Unit weight content of sand.

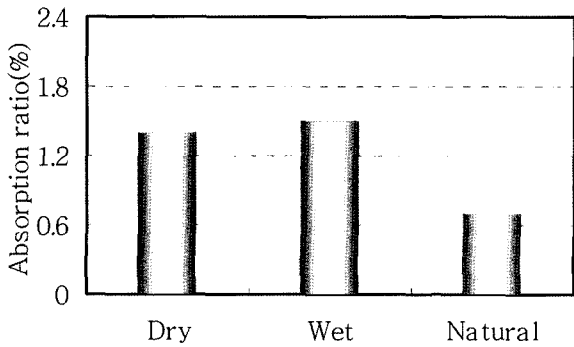


Fig. 3 Absorption ratio of sand

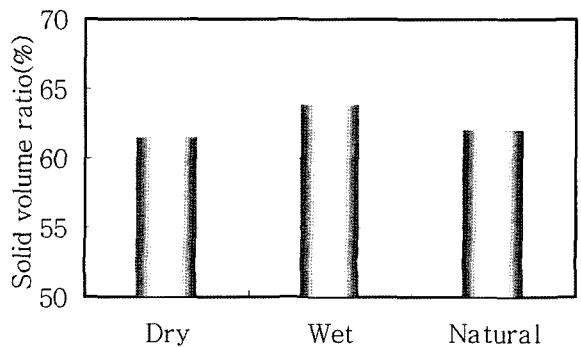


Fig. 5 Solid volume ratio of sand

래, 천연 모래 모두 3.0% 이하의 값을 나타내어 KS 규정을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

2.2.3 단위용적질량

부순 모래 품질시험에서 사용한 건식 및 습식, 그리고 바다모래의 단위용적질량은 Fig. 4와 같이 나타났다. 습식 부순모래가 1622kg/m³으로 가장 높은 값을 나타냈고, 바다 모래, 그리고 건식 부순모래가 1528kg/m³으로 가장 낮은 값을 나타냈다.

건식 부순모래의 단위용적질량이 가장 낮은 값을 나타낸 것은 습식 부순모래에 비하여 밀도가 낮고, 미립분을 다량 함유한 것에 원인이 있는 것으로 판단된다.

2.2.4 실적률

잔골재의 실적률은 습식으로 생산한 부순모래가 63.9%로 가장 높은 값을 나타냈으며, 건식으로 생산한 부순모래와 바다 모래는 각각 61.4, 61.9%의 값을 나타내어 실적률 역시 건식 부순모래가 가장 낮은 값을 보였다.

부순모래의 실적률 역시 단위용적질량과 밀도에 밀접한 관련이 있어, 건식으로 생산한 부순모래가 습식보다 낮은 값을 나타냈다. 이는 건식 부순모래의 단위용적질량이 낮게 나타났고, 입형이 습식 부순모래와 바다 모래에 비하여 다소 불량한 것으로 판단된다.

2.2.5 0.08mm 체 통과량

건식공정으로 생산한 부순모래의 가장 큰 특징은 Fig. 6의 0.08mm 체 통과량이라고 할 수 있다. 습식 부순모

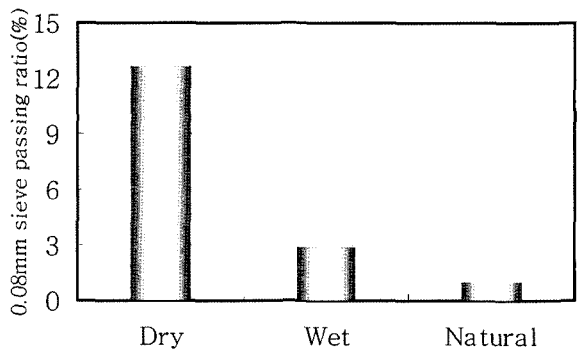


Fig. 6 0.08 mm sieve passing ratio of sand

래는 미립분을 제거하기 위하여 세척을 하는데, 이러한 공정은 살수스크린, 침전조, 필터 프레스 등의 설비와 넓은 부지가 필요하지만, 건식공정에서는 지역적인 여건과 부지의 제약으로 인하여 이러한 설비를 보유하지 않고, 미립분 집진기에 의해서만 제거하고 있다.

습식 부순모래와 바다 모래는 2.82, 0.97%로 나타났으나, 건식공정 부순모래는 12.64%의 높은 값을 나타내어 KS 규정 7%를 상회하는 결과를 보였다.

따라서 0.08mm 체 통과량이 KS 규정을 초과하는 부순모래를 콘크리트용 골재로 사용하기 위해서는 상대적으로 미립분 함유량이 낮은 골재와 혼합하여 사용함으로써 전체적으로 잔골재의 미립분량을 저감할 수 있게 된다.

2.2.6 입도분포

다음 Fig. 7은 실험에서 사용한 모래의 입도 분포를 나

3. 실험

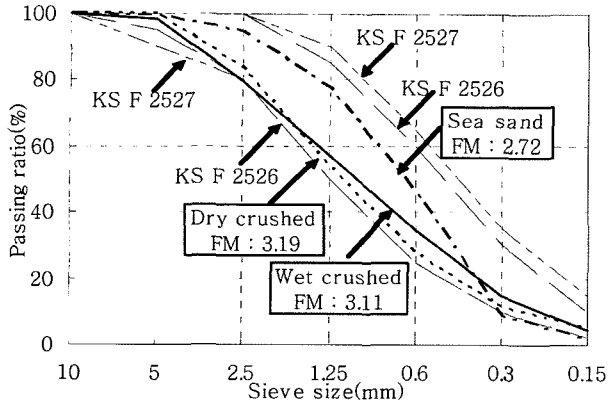


Fig. 7 Particle size distribution curve of sand

타낸 것이다. KS의 콘크리트용 골재와 부순모래 품질 규정과 건식, 습식 부순모래, 바다 모래를 비교한 결과로서, 조립률은 각각 건식 3.19, 습식 3.11, 바다 모래 2.72로 나타나, 인공으로 제조하는 부순모래의 경우에는 대체적으로 천연 모래에 비하여 높은 값을 보이는 것으로 나타났다.

또한 부순모래의 경우에는 생산 효율을 높이기 위해서 생산라인의 최종 스크린 치수를 5.5~6.5mm까지 사용하고 있어, 일반적으로 부순모래의 조립률이 천연 모래에 비하여 높게 나타나는 것으로 판단된다.

기존의 연구결과³⁾에 따르면 부순모래는 미립분을 다량 포함하고 있고, 입형이 거칠어 함수율이 동일하더라도 플로 콘으로 시험할 경우 천연 모래에 비하여 잘 무너지지 않는 경향이 있다. 따라서 부순모래의 품질시험을 천연 모래와 동일한 시험방법으로 하면 표준 상태, 입형, 내구성 등의 판정은 다른 결과가 나타날 수 있다고 한다.

이상과 같이, 부순모래의 품질은 입형 또는 미립분 등의 영향으로 인하여 천연 모래와는 물리적 특성이 다르게 나타나고 있어 부순모래의 품질을 보다 정량적으로 판정하기 위한 시험 방법이 필요한 것으로 판단된다.

Table 3 Physical properties of cement

Item	Fineness (cm ² /g)	Soundness (%)	Setting time		Compressive strength (kgf/cm ²)			Specific gravity
			Initial (min.)	Final (h:m)	3d.	7d.	28d.	
KS Criteria	over 2,800	under 0.8	over 60	under 10:00	over 130	over 200	over 290	-
Result	3,390	0.06	278	7:18	210	303	385	3.14

Table 4 Properties of fly ash (class 2)

Item	SiO ₂ (%)	Moisture (%)	Ig. Loss (%)	Density (g/cm ³)	Flow (%)
KS	over 45.0	under 1.0	under 5.0	over 1.95	over 95
Result	51.1	0.1	1.9	2.17	110
Item	Fineness		Activity Index(%)		
	45 μm sieve residues (%)	Blaine (cm ² /g)	age 28d.	age 91d.	
KS	under 40	over 3,000	over 80	over 90	
Result	15.3	3,653	89.0	95.2	

3.1 사용 재료

3.1.1 결합재

결합재로 본 실험에서는 시멘트와 플라이애시를 사용하였으며, 그 특성은 다음과 같다.

1) 시멘트

시멘트는 KS L 5201(포틀랜드 시멘트)에 규정된 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였다. 시멘트의 물리적 특성은 다음 Table 3과 같다.

2) 플라이애쉬

플라이애쉬는 KS L 5405(플라이애쉬)에 적합한 국내산 플라이애시 2종을 사용하였으며, 그 화학적 성분 및 물리적 특성은 다음 Table 4와 같다.

3.1.2 골재

잔골재는 바다 모래와 건식공정으로 생산한 부순모래를 사용하였으며, 물리적 특성은 앞 절의 Table 2와 같다. 굵은골재는 KS F 2527을 만족하고 있는 부순 자갈을 사용하였다. 굵은골재의 물리적 성질은 Table 5와 같다.

3.2 실험 방법

3.2.1 부순모래 특성 실험

부순모래의 특성 실험 방법은 Table 1의 항목과 같다.

3.2.2 부순모래 콘크리트 실험

건식 공정 부순모래의 기초물성 실험 결과를 바탕으로 콘크리트 실험을 실시하였다. 콘크리트 제조 후 슬럼프와 공기량 시험을 하였으며, 재령 3, 7, 28, 56일에 압축강도 시험을, 인장강도와 단위용적질량 시험은 재령 28

Table 5 Physical properties of coarse aggregate

Item	Density (g/cm ³)	Absorption ratio (%)	Unit weight volume (kg/m ³)	Abrasive ratio (%)
KS	over 2.50	under 3.0	-	under 40
Result	2.62	0.78	1 527	23.8
Item	Fineness modulus	Solid content (%)	0.08 mm sieve passing (%)	
KS	-	-	under 1.0	
Result	6.93	58.7	0.64	

Table 6 Test method of crushed sand concrete

Item	Method	Explanation
Slump	KS F 2402	Method of test for slump of concrete
Air content	KS F 2421	Method of test for air content of fresh concrete by pressure method
Making specimens	KS F 2403	Method of making and curing concrete specimens
Compressive strength	KS F 2405	Method of test for compressive strength of concrete
Tensile strength	KS F 2423	Method of test for splitting tensile strength of concrete

일에 실시하였다. 세부 시험 항목은 Table 6과 같다.

3.3 실험 배합

건식 공정으로 생산한 부순모래의 콘크리트 적용성을 평가하기 위한 콘크리트 배합은 W/B 0.4, 0.5, 0.6의 3수준으로 하였으며, 기준 배합의 목표 슬럼프는 18 ± 2.5 cm로 하였으며, 각각의 W/B에 바다 모래에 대하여 건식 부순모래를 0, 25, 50, 75 (vol.%)로 대체하여 실시하였다.

또한 유동성 확보를 위해서 플라이애시를 전체 결합재의 15 (vol.%) 대체하여 사용하였다. 예비 실험 결과, 부순모래를 100% 대체한 배합에서는 유동성 부족으로 콘크리트 제조가 불가능하여 75%까지만 대체하여 콘크리트를 제조하였으며, 각 W/B의 기준배합은 Table 7과 같다.

4. 실험 결과

건식 공정으로 생산한 부순모래를 사용하여 콘크리트 실험을 실시한 결과, Table 8과 같은 결과를 얻었다.

4.1 슬럼프

다음 Fig. 8은 부순모래 대체율에 따른 콘크리트의 슬

럼프로서, W/B에 관계없이 모든 배합에서 건식 부순모래 대체율에 따라서 슬럼프가 무혼입한 콘크리트의 슬럼프에 비하여 크게 감소하는 것으로 나타났다.

부순모래를 대체하지 않은 배합에서는 평균 18.2mm의 슬럼프를 나타냈는데, 부순모래의 대체율이 25%씩 증가함에 따라서 평균 13.8mm, 9.2mm, 4.7mm로 나타났다. 따라서 건식 부순모래를 25%씩 대체함에 따라서 슬럼프가 무혼입 배합에 대하여 평균 76%, 50%, 25%로 저하하는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 건식 부순모래를 사용한 콘크리트에서는 다량의 미립분으로 인하여 콘크리트의 단위수량을 흡착하는 결과를 나타내어 콘크리트의 슬럼프가 크게 감소하는 것으로 판단된다.

4.2 공기량

부순모래 콘크리트의 공기량 시험 결과는 다음 Fig. 9와 같다. 슬럼프와 마찬가지로 공기량 시험 결과에서도 부순모래 대체율에 따라서 크게 저하하는 것으로 나타나, 미립분량이 높은 부순모래를 혼입한 콘크리트의 유동성에는 매우 불리한 것으로 판단된다.

기준 배합에서는 평균 4.5%의 공기량을 나타냈는데, 부순모래가 25%씩 증가함에 따라 평균 3.8%, 2.6%, 1.6%로

Table 7 Table of basis mix proportion

Mix	W/B	S/A	Water	Cement	Fly ash	Sand	Gravel
Volume (L/m ³)	0.4	0.46	175	124	22	294	345
	0.5	0.48	175	99	17	321	348
	0.6	0.51	175	82	15	351	337
Weight (kg/m ³)	0.4	0.46	175	390	48	762	905
	0.5	0.48	175	312	38	831	911
	0.6	0.51	175	260	32	909	883

Table 8 Experiment results

No.	W/B	Replacement ratio of dry crushed sand (vol.%)	Slump (cm)	Air content (%)	Compressive strength (MPa)				Tensile strength (MPa)	Strength increase ratio (%) ¹⁾			Unit weight content (kg/m ³)
					3d.	7d.	28d.	56d.		3d.	7d.	56d.	
A-1	0.4	0	17.5	4.7	23.9	33.5	41.5	49.9	2.6	57.6	80.9	120.4	2382
A-2		25	13.5	3.9	26.0	36.7	44.8	52.4	3.3	57.9	81.9	117.0	2391
A-3		50	9.5	2.8	28.0	38.7	48.1	54.7	3.2	58.2	80.6	113.7	2396
A-4		75	5.0	1.7	28.7	38.1	49.9	54.7	3.4	57.5	76.4	109.6	2413
B-1	0.5	0	19.0	4.2	18.1	25.2	36.4	38.3	2.8	49.8	69.3	105.5	2384
B-2		25	15.0	3.4	19.9	26.3	33.7	41.9	2.6	59.2	78.0	124.6	2378
B-3		5	9.5	2.4	21.4	28.2	39.1	43.0	2.7	54.7	72.1	110.0	2395
B-4		75	4.5	1.6	22.2	30.1	40.2	43.4	3.2	55.3	75.0	107.9	2409
C-1	0.6	0	18.0	4.7	14.1	17.5	23.9	29.0	1.8	58.7	73.3	121.1	2326
C-2		25	13.0	4.0	16.6	19.8	29.0	32.2	2.3	57.4	68.3	111.0	2371
C-3		50	8.5	2.7	17.4	21.2	30.5	35.2	2.1	56.9	69.4	115.5	2375
C-4		75	4.5	1.6	18.1	21.7	31.3	35.2	2.3	57.8	69.2	112.4	2387

¹⁾Strength increase ratio of the each age to 28 days strength

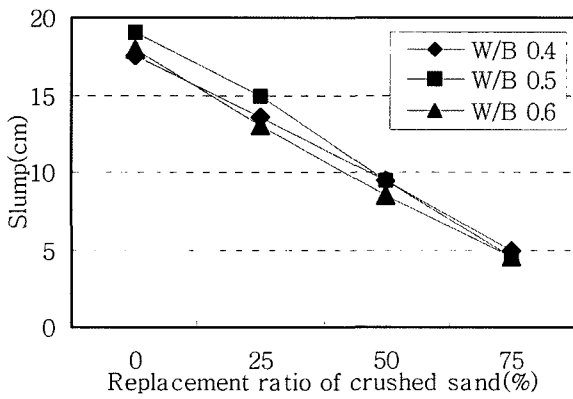


Fig. 8 Slump according to the replacement ratio of crushed sand

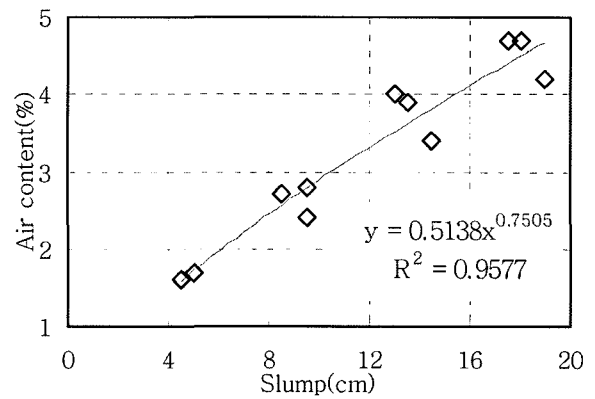


Fig. 10 Air content and slump

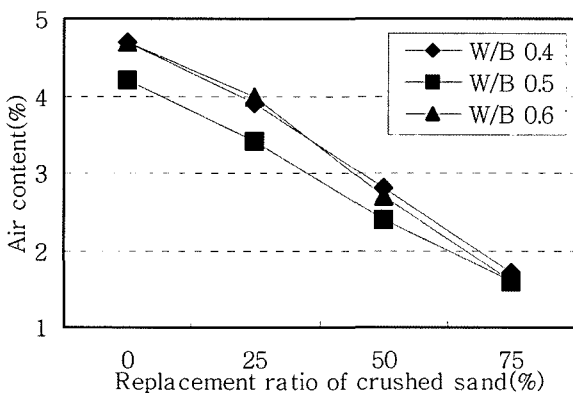


Fig. 9 Air content according to the replacement ratio of crushed sand

저하하는 것으로 나타났다. 또한 공기량의 감소율은 부순모래 무혼입 배합에 대하여 건식 부순모래를 25%씩 늘려서 사용한 배합은 평균 83%, 58%, 36%로 감소하는 것으로 나타났다.

그리고 Fig. 10은 부순모래 콘크리트의 공기량과 슬럼프의 관계를 나타낸 것으로 상관계수 약 96%의 비례관계에 있는 것으로 나타나, 높은 유의수준을 나타냈다.

프의 관계를 나타낸 것으로 상관계수 약 96%의 비례관계에 있는 것으로 나타나, 높은 유의수준을 나타냈다.

4.3 단위용적질량

콘크리트의 단위용적질량은 건식 부순모래의 혼입률이 증가할수록 W/B에 관계없이 모든 배합에서 콘크리트의 단위용적질량도 증가하는 것으로 나타났다.

이는 부순모래 혼입을 증가에 따라 미립분이 콘크리트 내부 공극을 충전하는 효과와 상반되는 결과⁴⁾로서, 부순모래 대체율이 25%씩 증가함에 따라서 공기량이 약 1%씩 감소하여, 그에 해당하는 콘크리트의 단위용적질량이 증가된 것으로 판단된다.

4.4 압축강도

4.4.1 부순모래 대체율에 따른 압축강도

건식 부순모래 대체율에 따른 콘크리트의 압축강도는

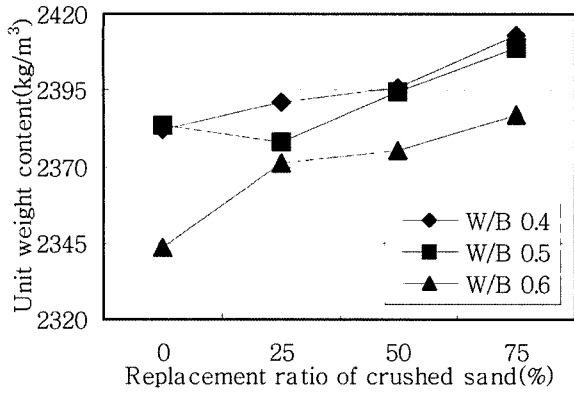


Fig. 11 Unit weight content according to replacement ratio of crushed sand

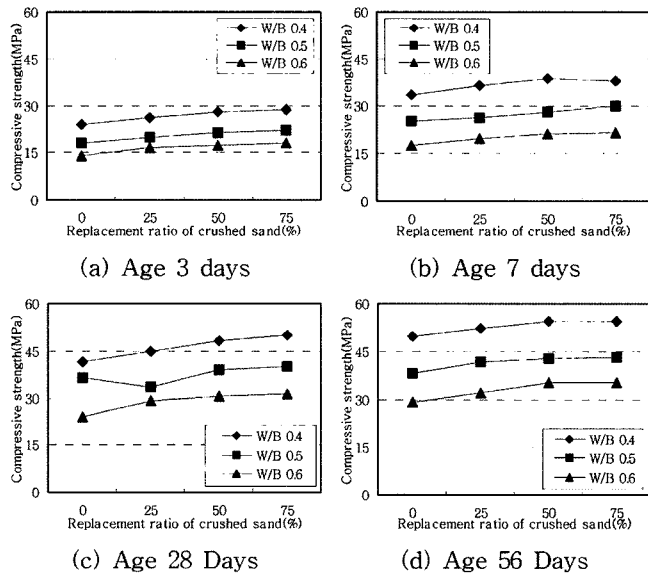


Fig. 12 Compressive strength according to the replacement ratio of crushed sand

Fig. 12와 같이 나타났다.

재령 3일의 압축강도는 14.1~28.7MPa의 범위로 나타났다. 부순모래를 혼입하지 않은 콘크리트에서 부순모래를 각각 25%씩 증가함에 따라서 W/B에 상관없이 무혼입 배합에 대해서 강도가 평균 6%정도씩 증가하는 것으로 나타났으며, 부순모래를 75%까지 대체하였을 경우에는 평균 23%의 강도 증진을 보였다.

재령 7일은 17.1~38.1MPa의 범위로 그 범위 폭이 재령 3일보다 넓었으며, 부순모래의 대체율이 증가하면서 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 재령 7일에서는 부순모래 대체율이 25%씩 증가함에 따라서 평균 4.5%의 강도 증진을 보였으며, 부순모래를 75% 대체한 콘크리트에서는 무혼입 배합보다 약 18%의 강도가 증가하였다.

재령 28일에서는 23.9~49.9MPa의 범위를 나타냈으며, 대체율이 증가하면서 건식 부순모래를 무혼입한 배합에 비하여 평균 5%씩 증가율을 나타내어 75% 대체한 배합에서는 무혼입 배합에 비하여 약 19%의 강도가 증가하는 것으로 나타났다.

따라서 건식 공정으로 생산한 부순모래를 사용한 콘크리트에서는 W/B에 관계없이 모든 배합에서 부순모래의 대체율이 증가하면서 콘크리트의 강도도 증가하는 경향을 보이고 있어, 부순모래의 대체율 증가에 따라 슬럼프와 공기량이 낮아진 결과인 것으로 판단된다.

그리고 Fig. 13은 재령에 따른 압축강도를 나타낸 것으로 W/B 0.6 배합에서는 강도 증가율이 완만하였는데 비하여, W/B 0.4 배합에서는 단위 시멘트량이 높아 강도 증가율이 급격하게 상승하는 것으로 나타났다.

4.4.2 강도발현율

다음 Fig. 14는 재령 28일에 대한 각 재령의 강도 발현율을 나타낸 것으로, 재령 3일에서 49.8~59.2%의 발현율을 나타냈으며, 평균 56.7%를 나타냈다. 특히, W/B 0.4에서 57.8%의 강도 발현율을 나타냈으며, W/B 0.5는 54.7%, W/B 0.6은 57.7%의 강도 발현율을 나타냈는데, W/B 0.5가 다른 배합에 비하여 낮은 발현율을 나타냈지만, 전체적으로 모든 배합에서 유사한 강도 발현율을 나타냈다.

재령 7일에서는 강도 발현율이 3일보다 더욱 증가하여 68.3~81.9%의 발현율을 나타냈다. 재령 7일의 평균 발현율은 74.5%로 28일 강도의 약 3/4 정도가 발현이 되는

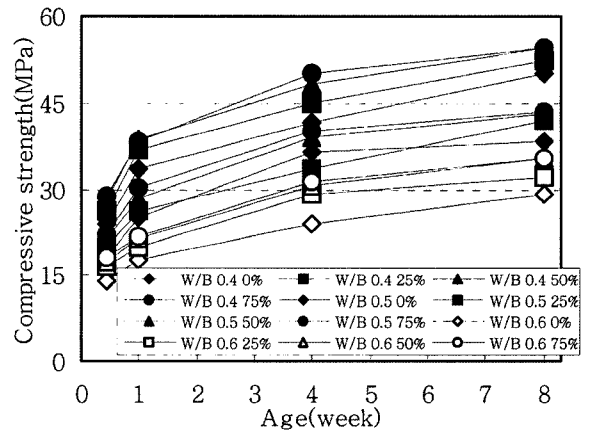


Fig. 13 Compressive strength according to age

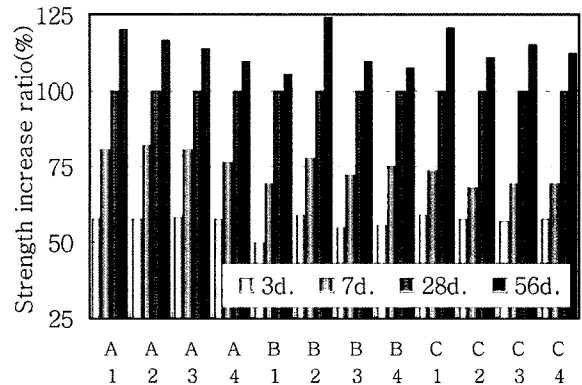


Fig. 14 Strength increase ratio compare with age 28 days compressive strength

것으로 나타났다. 재령 7일의 강도 발현율은 뚜렷한 차이를 보여, W/B 0.4에서 80%, W/B 0.5에서 74%, W/B 0.6에서는 70% 정도의 강도 발현율을 보였다. 재령 3일의 초기 재령에서는 대부분 유사하게 나타났으나, 7일에서는 차이가 뚜렷하게 드러나, W/B가 낮은 배합에서 제일 높은 강도 발현율을 나타냈으며, W/B가 높은 빈배합에서는 낮은 강도 발현율을 보여 단위 시멘트량의 차이에 따라 수화반응 속도가 다른 것에서 기인한 것으로 판단된다.

재령 56일은 W/B 0.4에서 부순모래의 혼입율의 증가에 따라 일정하게 감소하였으나, W/B 0.5와 W/B 0.6에서는 부순모래 혼입율 증가에 따라 감소는 하였으나, 그 경향은 뚜렷하지 않았다. 따라서 부순모래의 혼입율 증가에 따라 콘크리트의 강도는 증가하나, 부순모래 혼입율이 높은 배합에서는 초기에 높은 강도를 보여 그 발현율이 무혼입 배합에 비하여 높지 않은 것으로 나타났다.

4.5 인장강도

다음 Fig. 15는 콘크리트의 인장강도로서 압축강도와 유사한 경향을 나타냈으며, 건식 부순모래의 대체율에 따라 1.8~3.4MPa의 범위로 나타났다. 부순모래의 대체율에 따른 강도의 차이는 뚜렷하지는 않으나, 전체적으로 혼입률의 증가에 따라 미약하지만, 증가하는 것으로 나타났다.

본 실험에서 나타난 콘크리트의 인장강도는 건식 부순모래의 혼입률이 25%씩 증가함에 따라 각각의 W/B에서 평균 2.4, 2.7, 2.6, 3.0MPa의 값으로 압축강도와 유사한 경향으로 나타났다.

그리고 Fig. 16은 콘크리트의 인장강도와 압축강도의 상관관계를 나타낸 것으로, 전체적으로 비례관계에 있는 것으로 나타났으며, 인장강도와 압축강도의 상관계수는 약 88%의 신뢰수준을 나타냈다. 또한, 인장강도와 압축강도의 비율을 나타내는 취도계수는 1/16~1/12의 값을 나타내어, 콘크리트의 인장강도와 압축강도에 관한 기존의 연구결과^{5,6)}와 유사한 것으로 나타났다.

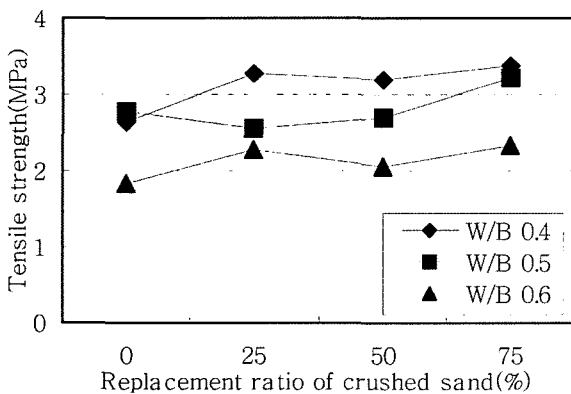


Fig. 15 Tensile strength according to the replacement of crushed sand

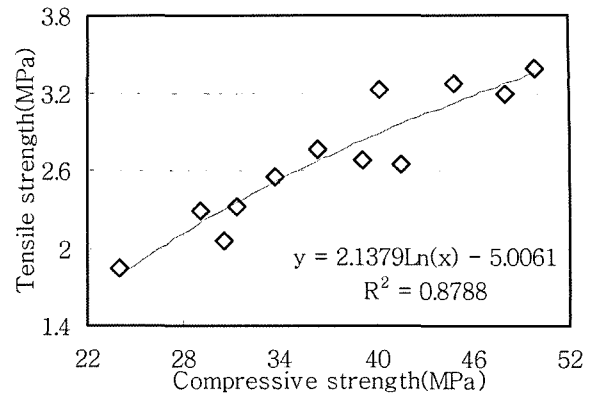


Fig. 16 Tensile & compressive strength

5. 결 론

건식 공정으로 생산한 부순모래의 품질 특성을 바다모래와 비교분석하고, 콘크리트 특성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 건식 부순모래를 바다 모래에 대체하여 실험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 건식 부순모래의 품질 실험 결과, 조립률은 바다모래보다 높았으며, 0.08mm 체 통과량이 KS 규정을 초과하였고, 부순 모래의 다른 물리적 특성은 유사하게 나타났다. 0.08mm 체 통과율이 천연모래나 습식 부순모래보다 높은 것은 습식공정의 살수스크린보다 건식공정에서 사용하는 미립분 집진기의 미립분 제거 효율이 낮은 데서 기인한 것으로 판단된다.
- 2) 건식 부순모래 대체율이 25%씩 증가함에 따라서 무혼입한 배합에 대하여 콘크리트의 슬럼프는 평균 25%, 공기량은 20% 정도씩 감소하여, 콘크리트의 유동성을 저하시키는 것으로 나타났다. 이는 건식 공정으로 생산한 부순모래의 미립분이 콘크리트의 단위수량을 흡착하고, 공극을 밀실하게 채운 결과를 보인 것으로 판단된다.
- 3) 건식 부순모래 대체율이 25%씩 증가하면서 단위용적질량은 무혼입한 배합에 비하여 평균 약 10kg/m³씩 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 W/B에 관계없이 부순모래 대체율 증가에 따라 공기량이 감소하면서 콘크리트가 차지하는 부분이 상대적으로 증가되고, 콘크리트의 용적 또한 증가된 결과로 판단된다.
- 4) 건식 부순모래를 사용한 콘크리트의 압축강도는 대체율이 증가할수록 모든 배합에서 증가하는 것으로 나타났다. 이는 건식 부순모래가 혼입되면서 부순모래의 미립분이 콘크리트의 단위수량을 흡착하여 W/B를 저감시키는 효과를 가져 온 것으로 판단되며, 특히 부순모래 미립분이 콘크리트 내부의 공극을 밀실하게 충전시킨 결과로 판단된다. 또한 인장강도 역시 부순모래의 대체율에 따라 적은 폭으로

증가하는 것으로 나타나, 건식 부순모래를 사용한 콘크리트의 강도는 증가하는 것으로 나타났다.

이상과 같이, 건식공정으로 생산한 부순모래는 천연모래보다 높은 미립분량으로 인하여, 이를 사용한 콘크리트 특성은 바다모래를 사용한 콘크리트보다 유동성은 저하하지만, 상대적으로 강도 측면에서는 유리한 것으로 나타났다. 건식 부순모래는 다량의 미립분을 포함하고 있어, 향후 미립분 제거 기술을 보완하여 품질을 높인다면 콘크리트용 골재로서 사용량이 늘어날 것으로 전망된다.

참고문헌

1. 건설교통부, 연도별 골재원별 골재 채취허가 및 채취실적 통계자료, <http://www.moct.go.kr>, 2005.
2. 건설교통부, 한국건설교통기술평가원, 대체골재를 사용한 콘크리트의 고품질화 기술 개발, 2003 건설기술기반 구축사업 제1차년도 연차보고서, 03기반기술 A03, 한국건설기술연구원, 2004, pp.42~45, 67.
3. 이성복, “잔입자 함유량 및 잔골재 입형 변화에 따른 부순모래 콘크리트의 특성에 관한 연구”, 한양대학교 대학원 박사학위논문, 1997, pp.15~16.
4. 유승엽 외, “부순 잔골재의 미립분량이 콘크리트의 품질에 미치는 영향”, 대한건축학회 창립 60주년기념 학술발표대회논문집, 제25권, 제1호, 2005. 10, pp.313~316.
5. 전성태, “미립분 함유량에 따른 부순모래 콘크리트의 물성에 관한 실험적 연구”, 대구대학교 대학원 석사학위논문, 1999, pp.58~59.
6. A. M. Neville, Properties of Concrete, Fourth and Final Edition, Longman, London, 1996, pp.308~311.

요 약 콘크리트용 골재로 양질의 골재가 부족함에 따라 대체 골재의 개발이 요구되어, 현재에는 대체 골재로서 부순모래가 가장 많이 사용되고 있으며, 그 사용량은 더욱 늘어날 전망이다. 국내에서는 대부분의 회사가 습식공정으로 부순모래를 생산하지만, 지역적인 조건과 부지의 제약에 의해서 건식 공정으로 부순모래를 생산하는 회사도 있다. 본 연구에서는 건식 공정 부순모래의 콘크리트의 적용성을 평가하기 위한 기초적인 연구로서, 건식공정으로 부순모래를 생산하고 있는 회사의 제조 설비를 분석하고, 부순모래를 대상으로 한국산업규격에 의거하여 품질특성 시험을 실시하였으며, 그 결과를 바탕으로 부순모래를 바다모래에 대체하여 콘크리트 실험을 실시하였다. 실험 결과, 건식 부순모래 품질 특성 중에서 0.08 mm 체 통과량이 KS 규정을 초과하였으며, 조립률도 천연모래에 비하여 다소 높게 나타났고, 다른 물리적 특성은 바다 모래와 유사하였다. 콘크리트 실험에서는 부순모래의 대체율이 증가함에 따라 슬럼프와 공기량이 미립분량 증가에 의해서 감소하였으며, 단위용적질량, 압축강도, 인장강도는 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 건식 부순모래의 미립분 함유량을 감소시키면 콘크리트용 골재로서 사용하는 데에는 큰 문제가 없을 것으로 판단되며, 향후 건식공정으로 생산한 부순모래의 사용량도 증대될 것으로 전망된다.

핵심용어 건식공정, 부순모래, 미립분, 0.08mm 체 통과량