

부순모래를 사용한 콘크리트의 물성에 관한 연구

A Study on the Material Properties of Concrete Using Crushed Sand

윤 용 호* 정 용 옥* 이 승 한***
Yun, Yong-Ho Jung, Yong-Wook Lee, Seung-Han

ABSTRACT

This paper is to investigate the characteristics of a concrete in which river sand is partially substituted with crushed sand. Since river sand has a relatively small fineness modulus, there is a need to increase the fineness modulus of sand used in the manufacture of concrete.

In an experiment, it was observed that when river sand had a fineness modulus of 2.0~2.4 and crushed sand had a fineness modulus of 2.8~3.5, the substitution rate of the crushed sand was preferably within the range of 25~50%. The experimental results also revealed that as the substitution rate of the crushed sand increased, the flowability of the concrete tended to increase. However, when the substitution rate of the crushed sand reached 75% or more, the workability of the concrete was considerably poor.

Further, as the substitution rate of the crushed sand increased, the air content and the bleeding rate of the concrete were low.

1. 서론

최근 콘크리트용 천연 잔골재 자원의 고갈과 잔골재의 품질악화로 대체 잔골재로서 부순모래의 사용이 증가하는 추세에 있다.

특히 대구 인근지역 천연잔골재의 품질은 낙동강 하류지역에서 채취되고 있어 조립율이 낮고 입도분포가 불량하여 콘크리트의 품질에 악영향을 미치고 있다.

천연 잔골재의 조립율이 낮고 입도 분포가 불량한 잔골재를 콘크리트에 사용할 경우 단위수량 및 단위 시멘트량 증가의 원인이 되고 있다. 이로 인한 건조 수축량 증가로 콘크리트의 균열증가와 내구성 저하를 일으켜 콘크리트 구조물 하자발생의 주요 원인이 되고 있다.

또한 생산되는 부순모래는 산지별 입형, 조립율, 입도 분포 및 미립분의 함량 등이 서로 달라 이들 물성들이 콘크리트의 워커빌리티, 강도, 내구성 등에 미치는 영향에 대한 검토가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 대구, 경북지방에서 생산되는 부순모래를 수집하여 부순모래의 물리적 성질을 시험, 분석하고 부순모래의 입형 변화 및 조립율의 변화에 따른 콘크리트의 배합특성 및 굳지 않은 상태 등 기초적 물성을 조사, 분석한다. 이를 토대로 부순모래를 콘크리트의 잔골재를 활용하기 위한 실무응용의 기초자료로 제시하고자 한다.

* 계명대학교 공과대학 토목공학과 대학원 박사과정

** 계명대학교 공과대학 토목공학과 교수

2. 부순모래의 품질

2.1 부순모래의 물리적 특성

본 연구에서는 대구·경북지역에서 습식으로 생산되는 부순모래중 7개 생산업체에서 부순모래 시료를 채취하여 각각의 시료에 대하여 한국산업규격(KS)의 시험방법에 따라 물성시험을 수행하였으며 그 결과를 표 1에 나타내었다. 또한 부순모래의 품질을 평가하기 위하여 경북 성주지역 낙동강에서 생산되는 천연 잔골재와 물성을 비교하였다.

표 1 부순모래의 품질시험결과

시험항목 시료종류	조립율	밀도 (표건)	흡수율	단위용적 증량	0.08mm체 통과량	실적율	입형판정 실적율	유기 불순물	안정성
KS규정치	2.3~3.1	2.5이상	3%이하	-	7% 이하	-	53%이상	표준색비교	10%이하
강모래	2.21	2.59	1.09	1608	1.7	62.1	59.5	연합	3.7
A 사	3.52	2.64	1.33	1691	4.1	64.0	54.5	연합	3.6
B 사	3.64	2.62	1.43	1659	4.4	63.3	52.3	"	3.7
C 사	3.23	2.64	1.30	1730	3.3	65.5	56.4	"	3.7
D 사	3.62	2.65	1.32	1692	3.7	63.8	55.0	"	3.4
E 사	3.55	2.64	1.35	1688	3.2	63.9	58.0	"	3.6
F 사	3.71	2.59	1.31	1610	3.1	62.2	57.2	"	3.9
G 사	3.26	2.57	1.32	1620	4.5	63.0	57.8	"	3.8
평균	3.50	2.62	1.34	1670	3.76	63.7	55.9	-	3.7

2.2 입도 및 조립율

잔골재 및 부순모래의 입도 분포를 구하기 위하여 KS F 2588에 규정한 시험방법에 의해서 시험한 결과를 그림 1에 나타내었다. 시험결과 그림 1에 나타난 것처럼 천연 잔골재는 조립율이 2.21로서 KS 규정치 보다 낮아 입도 범위를 벗어나고 있고, 부순모래의 경우는 조립율의 평균이 3.50로서 KS 규정치 보다 크게 나타나 규정치 입도 범위를 벗어나고 있다.

그림 2는 부순모래의 치환율을 50%로 한 합성 입도 분포를 나타내고 있다. 이들을 분석해 보면 치환율 25% 및 50%의 경우는 KS F 2588에 규정한 입도 범위를 만족하는 것으로 나타났고 치환율 75%의 경우는 거의 대부분의 시료가 입도 범위를 벗어나는 것으로 나타났다.

대구인근의 낙동강에서 생산되는 천연 잔골재의 품질을 표 2에 나타내었다. 이들을 분석해 보면 산지 초곡은 조립율 3.43로 KS 규정보다 커서 KS F 2588에 규정한 입도 범위를 벗어나고 있으며, 산지 구미 낙산, 월곡, 남울, 용신은 조립율 2.31~2.62로 입도 범위내에 있고, 나머지 대부분의 산지에서 채취되는 대부분은 조립율이 규정보다 낮아 KS 규정 입도 범위를 벗어나는 것으로 나타났다.

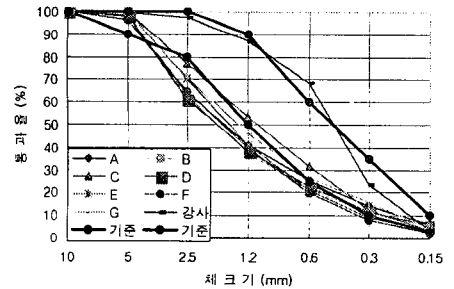


그림 1 천연 잔골재 및 부순모래의 입도분포

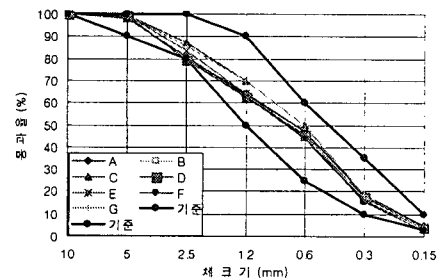


그림 2 부순모래 치환율 50%의 합성입도분포

표 2 낙동강 잔골재 채취 위치별 품질현황

채취위치 항목	기준	1 초곡	2 낙산	3 월곡	4 월리	5 남울	6 포남	7 행정	8 낙산	9 금산	10 금남	11 용신	12 대교
비 중	2.5이상	2.61	2.59	2.59	2.58	2.59	2.58	2.58	2.59	2.58	2.60	2.58	2.58
흡수율(%)	3.0이하	1.07	0.95	1.07	1.40	1.24	0.64	1.05	0.73	1.19	0.44	0.93	0.83
조립율	2.3~3.1	3.43	2.62	2.60	2.47	2.58	2.02	2.24	1.91	2.04	2.15	2.31	2.06

2.3 부순모래의 입형

골재의 입형을 표현하는 방법으로 각 부순 모래에 입자를 채집하여 제일 긴 쪽의 직경 a, 측면의 높이인 제일 짧은 직경 c, c와 a에 직교하는 중간경 b를 측정하였다. 각각 측정된 a, b, c에 대하여 계산식에 의해서 구한 형상계수를 구형율, 세장율, 방형율, 편평율을 구하여 표시하였다.

형상계수 계산식에 의해 구한 값으로 부순 모래의 입형을 살펴보면 A 및 B 에서 생산한 부순모래의 구형율은 각각 0.71, 0.67로서 골재의 형상이 원반 상으로 나타났고, 나머지 C, D, E, F 및 G 에서 생산한 부순모래는 구형율이 0.72 이상으로서 골재의 형상이 구상인 것으로 나타났다.

표 4 골재의 형상계수

항목 산지	구형율 $\Psi = \frac{3}{\sqrt{bc/a^2}}$	세장율 $e = a/c$	방형율 $s = a/b$	편평율 $f = ab/c$	c/b	골재의 형상
A	0.71	2.09	1.32	13.13	0.63	원반상
B	0.67	2.39	1.39	15.54	0.58	원반상
C	0.72	1.92	1.41	11.14	0.73	구상
D	0.81	1.57	1.17	9.17	0.75	구상
E	0.76	1.82	1.24	10.89	0.68	구상
F	0.76	1.72	1.31	10.09	0.76	구상
G	0.78	1.67	1.25	10.02	0.75	구상

3. 부순모래를 사용한 콘크리트의 특성

3.1 실험 계획

부순모래의 조립율 및 입형 변화에 따른 영향을 분석하기 위한 실험계획은 표 5와 같다. 먼저 배합사항으로 물시멘트비는 50%, 잔골재율은 48%로 고정하였고 슬럼프 및 공기량은 천연 잔골재 100%의 배합에 각각 15 cm 및 4.5±15%를 만족하는 배합으로 고정하였고, 각 산지별, 부순모래 치환율은 0%, 25%, 50%, 75% 및 100%로 하여 배합특성의 변화와 품질변화를 분석하도록 하였다. 실험사항으로는 굳지않은 상태의 슬럼프 및 공기량을 측정하고 육안으로 워커빌리티를 판정하였으며, 부순모래 치환율 0%, 50% 및 100%에서 불리딩율을 측정하였다.

표 5 부순모래 치환 콘크리트의 실험계획

배 합 조 건				실험 사항
굵은골재 최대치수	물시멘트비 (W/C)	잔골재율 (S/a)	부순모래 치환율	굳지않은 콘크리트
25 mm	50 %	48 %	0%	슬럼프 공기량 불리딩 (0%,50%,100%)
			25%	
			50%	
			75%	
			100%	

3.2 사용재료

본 실험에서 시멘트는 국내 H사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 굵은골재는 경북 성주에서 생산되는 25mm 부순돌을 사용하였고 혼화제는 국내산 S사의 AE감수제를 사용하였다.

3.3 실험결과 및 분석

부순모래의 조립율, 입형 및 부순모래의 산지별 치환율이 콘크리트에 미치는 특성을 알아보기 위한 배합사항 및 굳지않은 콘크리트의 시험결과를 표 6에 나타내었다.

표 6. 배합 사항 및 콘크리트의 시험결과

구 분	부순모래 치 환 율 (%)	단 위 재 료 량 (kg/m ³)						굳 지 않 은 콘 크 리 트			
		W	C	천 연 잔 골 재	부 순 모 래	G	Ad	슬 럽 프 (cm)	공 기 량 (%)	위 커 빌 리 티	슬 럽 프 형 태
천연 잔골재	0%	181	362	835	0	911	1.81	15.5	4.4	양호	정상
A 사	25%			626	209			17.0	4.0	양호	정상
	50%			418	417			17.5	3.0	양호	정상
	75%			209	626			19.5	2.9	불량	붕괴
	100%			0	835			16.5	2.6	불량	붕괴
	B 사			25%	626			209	17.5	3.6	양호
50%				418	417			18.0	3.1	불량	정상
75%				209	626			19.0	3.0	불량	붕괴
100%				0	835			17.5	2.7	불량	붕괴
C 사	25%			626	209			18.0	4.2	양호	정상
	50%			418	417			18.0	2.9	양호	정상
	75%			209	626			20.0	2.7	불량	붕괴
	100%			0	835			20.0	2.5	불량	붕괴
D 사	25%			626	209			18.0	4.0	양호	정상
	50%			418	417			18.5	2.9	양호	정상
	75%			209	626			21.0	2.2	불량	붕괴
	100%			0	835			20.5	2.0	불량	붕괴
E 사	25%			626	209			18.0	3.9	양호	정상
	50%			418	417			18.5	2.7	양호	정상
	75%			209	626			21.0	2.1	불량	붕괴
	100%			0	835			20.5	1.9	불량	붕괴
F 사	25%			626	209			17.5	4.3	양호	정상
	50%			418	417			18.0	3.9	양호	정상
	75%			209	626			20.0	2.4	불량	붕괴
	100%			0	835			18.5	2.2	불량	붕괴
G 사	25%			626	209			17.0	3.7	양호	정상
	50%			418	417			18.5	3.5	양호	정상
	75%			209	626			19.0	3.3	불량	붕괴
	100%	0	835	17.5	2.6	불량	붕괴				

1) 슬럼프

부순모래의 생산지별 치환율에 따른 슬럼프의 변화를 그림 3에 나타내었다. 표 6과 그림 3을 분석해 보면 부순모래의 치환율이 증가할수록 슬럼프도 증가하는 경향을 보이고 있다. 부순모래의 치환율 25% 및 50%의 경우 위커빌리티도 양호한 상태를 보이고 슬럼프 시험시 콘의 형상도 양호한 것으로 나타났다. 그러나 부순모래 치환율 75% 및 100%의 경우는 위커빌리티도 불량할 뿐만 아니라 콘의 형상도 붕괴되어 슬럼프 시험으로서는 큰 의미가 없는 것으로 판단된다. 이러한 원인은 부순모래의 조립율이 평균 3.50으로 상당히 커서 조립율이 2.21로 작은 천연 잔골재와 혼합하더라도 치환율 75%로

합성한 잔골재의 조립율이 평균 3.2로 상당히 큰 값을 나타내는데 기인한 것으로 보여진다.

따라서 부순모래를 혼합사로 이용할 경우 잔골재 전체의 입도 및 입형이 개선될 수 있는 적합한 입도 분포와 최소한의 입형이 확보되어야 목표로 하는 콘크리트의 유동성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 공기량

부순모래의 생산지별 치환율에 따른 공기량의 변화를 그림 4에 나타내었다. 표 6과 그림 4를 분석해보면 부순모래의 치환율이 증가할수록 공기량은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 부순모래에 포함된 미립분이 마이크로 휠라 작용에 의하여 콘크리트 내부의 공극이 채워져 일어난 것으로 판단된다.

3) 블리딩율

그림 5 및 그림 6은 부순모래의 치환율 50% 및 100%에서 블리딩율이 변화를 나타낸 것이다. 이들을 분석해보면 부순모래의 치환율이 증가할수록 블리딩율은 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 부순모래에 포함된 잔입자량이 많아짐에 따라 수분의 흡착속도가 빨라지고, 입형이 거칠어짐에 따라 골재입자 하부에 수막이 많이 형성됨으로서 콘크리트 표면에 떠오르는 블리딩량은 감소하기 때문인 것으로 판단된다.

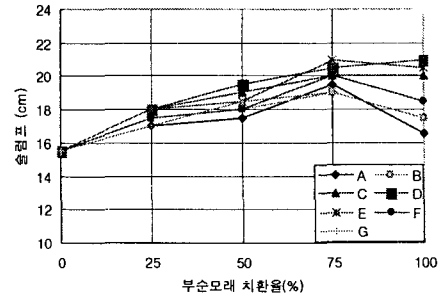


그림 3 부순모래 치환율에 따른 슬럼프의 변화

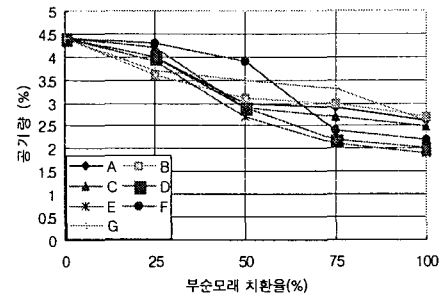


그림 4 부순모래 치환율에 따른 공기량의 변화

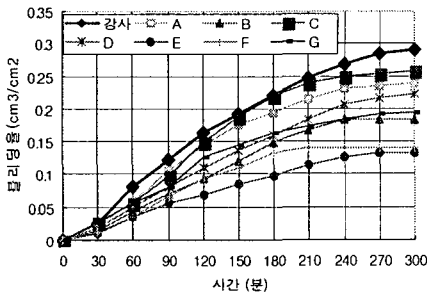


그림 5 부순모래 치환율 50%의 블리딩율

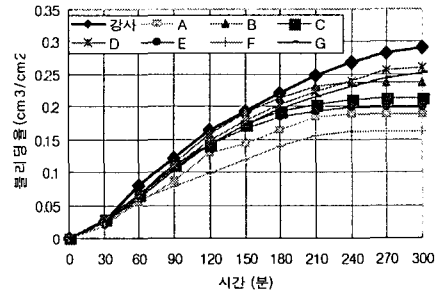


그림 6 부순모래 치환율 100%의 블리딩율

일반적으로 블리딩량이 적을수록 콘크리트의 재료분리나 건조수축 등의 물성에는 좋은 영향을 미치나, 너무 적으면 오히려 응결시간이 빨라짐에 따라 다짐 및 표면 마감 처리 등의 작업에 영향을 미치며, 상대습도가 낮고 바람이 부는 경우는 블리딩량의 부족으로 인하여 소성균열을 일으킬 가능성이 상당히 클 것으로 판단된다. 따라서 유동성 및 작업성을 확보하고 소성균열을 예방하기 위해서는 잔입자의 함유량 변화에 따른 적정 배합설계가 필요하다고 보여진다.

4. 결 론

대구·경북지방에서 생산되는 부순모래의 물리적 성질을 시험, 분석하고 부순모래의 입형변화 및 조립을 변화에 따른 콘크리트의 배합 특성을 고찰, 분석한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 대구권에서 KS 규정치에 적합한 콘크리트 잔골재를 사용하기 위해서는 천연 잔골재에 부순모래 치환율을 25%~50%로 혼합하여 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다.
2. 부순모래를 25% 및 50% 치환한 경우 콘크리트의 슬럼프는 약간 증가하는 것으로 나타났고 75% 및 100%를 치환한 경우 콘크리트의 슬럼프의 형상이 붕괴되어 워커빌리티가 좋지않은 것으로 나타났다.
3. 부순모래의 치환율이 증가할수록 공기량은 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 부순모래에 포함된 미립분의 micro filler 작용에 의하여 콘크리트 내부의 공극이 미립분으로 채워져 일어난 것으로 판단된다.
4. 블리딩율은 부순모래의 치환율이 증가함에 따라 부순모래에 포함된 잔입자량이 증가되어 수분의 흡착이 빨라지고, 골재 하부 수막 형성의 증가로 인하여 감소하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 윤용호, 이승한, 한형섭, 김종인, “부순모래의 표면형상이 모르타의 물성에 미치는 영향”, 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 제9권 2호 (통권 제17집), 1997.11, pp.51~56.
2. 한천규, 윤기원, 이진규 외3인 “부순모래의 미립분 함유량 및 입형이 콘크리트의 특성에 미치는 영향에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 제8권 2호 (통권 제15집), 1996.11, pp.17~23.
3. 김병환, “콘크리트용 부순돌과 부순모래의 생산 및 품질”, 콘크리트 학회지, 제9권 2호, 1997.4, pp 4~12.
4. 대한주택공사 주택연구소, “콘크리트용 부순모래의 실용화 방안 연구”, 1996.12.
5. 村田二郎 外 2人, “土木材料Ⅱ <콘크리트>”, 共立出版株式會社, 1983.
6. 박승범, 오광진, 박병철, 강형선, “부순모래와 석분을 사용한 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제8권 1호(통권 제14집), 1996. 5, pp.7~111.
7. 池田 正志, 大河原 行省, 辻 幸和, 田澤 榮一, “碎砂の表面形狀がフレッシュコンクリートの諸性狀た及ぼす影響”, 콘크리트工學年次報告集, Vol.16, No.1, 1994. pp.325~328.
8. 須藤 榮治, 梶田 佳寛, 五味 信治, “細骨材の組粒率が高流動コンクリートのフレッシュ時の性狀におよぼす影響”, 콘크리트工學年次報告集, Vol.18. No.1, 1996. pp.123~128.
9. 한국콘크리트학회, “현장콘크리트의 품질관리”, 2003.1.
10. A.M. Neville, “Properties of Concrete”, 3rd Edition, 1981.
11. 한국콘크리트학회 편, “부순모래 및 부순모래 콘크리트”, 1998.