

수도권 부순모래의 품질현황 및 부순모래 대체율에 따른 콘크리트의 특성에 관한 연구

An Experimental Study on the Properties of Crushed Sand in Capital Region and Concrete according to the Replacement Ratio of Crushed Sand

최 세 진*
Choi, Se-Jin

이 성 연**
Lee, Seong-Yeon

여 병 철***
Yeo, Byung-Chul

김 무 한****
Kim, Moo-Han

Abstract

Generally, aggregate may limit the workability, strength and durability of concrete, and good concrete cannot be made with aggregate of bad property including low strength, bad shape and grading. But recently, it has been insufficient in quantity to collect good natural aggregate because of exhaustion of aggregate resources.

In case of Korea, the using ratio of crushed stone occupies about 97 percent of total coarse aggregate, and ratio of crushed sand occupies about 18.3 percent of total fine aggregate.

This is an experimental study to compare and analyze the properties of crushed sand for concrete in capital region and concrete according to the replacement ratio of crushed sand to improve quality and mix design of concrete using crushed sand.

According to test results, it was found that nearly all the properties of crushed sand satisfied with the value recommended by KS. And it is recommended that FM of crushed sand should be lowered by improvement of manufacture system or grading adjustment should be used because FM of crushed sand was a bit higher.

키워드 : 부순모래, 강도, 대체율, 천연골재, 배합설계, 조립율

Keywords : crushed sand, strength, replacement ratio, natural aggregate, mix design, FM

1. 서 론

최근 골재자원의 고갈화에 따라 양질의 천연골재 채취가 부족해지고 이에 따라 골재의 저품질화에 의한 굳지않은 콘크리트에서의 성능저하, 단위수량의 증대, 경화콘크리트의 강도저하 등이 지적되고 있다.¹⁾

골재는 말그대로 콘크리트의 뼈대를 이루는 것으로 콘크리트용적의 70~80%를 차지하고 있으나, 현재와 같이 자원의 고갈화, 환경보전에 의한 바다모래 채취제한 구역의 확대 등 골재업계를 둘러싼 환경의 변화에 의해 양적관점에서의 안정공급이 어려워지고 있다.

또한 골재의 품질면을 보아도 하천골재로 대표되는 양질의 골재가 총체적으로 감소하고 전체적인 품질저하, 골재입도의 불량 등이 발생하고 있다.

표 1은 지역별 골재품종에 따른 소비구조를 나타낸 것으로 현재, 국내의 골재 소비구조를 살펴보면 2002년을 기준으로 굵은골재의 경우 쇄석이 97%로서 거의 대부분을 차지하고 있으며, 잔골재의 경우에도 쇄사(부순모래)가 18.3%로서 강모래 및 바다모래의 고갈로 인해 가장 주요한 대체골재로 주목받고 있으며, 이에 따라 그 사용량도 점차 증가하고 있는 추세이다.²⁾

사진 1은 수도권에 위치한 부순모래 생산업체의 부순모래 생산전경을 나타낸 것이다.

본 연구는 수도권에서 생산·공급되고 있는 콘크리트용 부순모래의 각종 품질현황을 검토하고, 부순모래 대체율에 따른 콘크리트의 특성을 비교분석함으로써 부순모래를 사용한 콘크리트의 배합설계 및 품질향상을 위한 참고자료를 제시하고자 한다.

* (주)삼표 기술연구소 선임연구원·공박, 정희원

** (주)삼표 기술연구소 소장·공박, 정희원

*** (주)삼표 R/C부문 대표·공박, 정희원

**** 충남대학교 건축공학과 교수·공박, 정희원,

표 1. 지역별 골재 품종별 소비비율²⁾
(단위 : %)

권역별	잔골재				굵은골재		
	강모래	쇄사	바다모래	육모래	강자갈	쇄석	육자갈
전국	32.2	18.3	30.6	18.8	1.3	97.0	1.6
서울·경기	10.2	24.7	62.2	2.9	-	99.3	0.7
강원	51.7	17.1	1.3	29.8	4.6	91.2	4.3
충북	17.7	11.5	11.9	59.0	1.1	98.5	0.4
대전·충남	45.4	3.8	47.8	3.0	6.9	93.1	-
전북	6.1	8.5	12.6	72.8	-	100.0	-
광주·전남	-	7.5	48.3	44.2	1.5	98.5	-
대구·경북	67.0	12.4	6.8	13.9	2.4	92.2	5.4
부산·경남	52.8	30.7	11.1	5.5	-	100.0	-
제주	-	-	100.0	-	-	100.0	-



사진 1. 부순모래 생산전경

표 3. 실험계획 및 배합

Series	측정 횟수 (업체수)	W/C (%)	부순 모래 대체율 (%)	단위시 멘트량 (kg/m ³)	s/a (%)	측정항목
I	124 (15)	-	-	-	-	밀도(겉건), 흡수율 조립율 단위용적중량 실적율 입형판정실적율 0.08mm 통과량
II	-	54.5	0 25 50 75 100	330	47.0	슬럼프(cm) 공기량(%) 블리딩량(cm ³ /cm ²) 압축강도(MPa) - 3,7,28일

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 배합

표 2는 국내·외 콘크리트용 잔골재 규격을 나타낸 것으로 각국마다 골재규격이 상이하나 대체로 우리나라의 경우 일본과 유사한 규격을 나타내고 있음을 알 수 있다.

본 연구에서는 표 3에서 보는 바와 같이 2개의 시리즈로 구분하여, I 시리즈에서는 수도권 15개 골재생산업체에서 생산되는 부순모래에 대하여 124회에 걸쳐 각종 품질특성 시험을 실시하였다.

또한, II 시리즈에서는 W/C 54.5인 배합에서 단위시멘트량을 330kg/m³으로 고정하고 세척사 기준으로 부순모래의 대체율을 0, 25, 50, 75, 100%의 5수준으로 설정하여, 슬럼프, 공기량, 블리딩량 및 압축강도 시험을 실시하였다.

표 2. 국내·외 콘크리트용 잔골재 규격

항 목	규 격	KSF 2526 콘크리트용 골 재	KSF 2527 콘크리트용 부순 골재	JISA 5308 레미콘용 골 재	JISA 5005 콘크리트용 쇄석·쇄사	ASTM C 33 콘크리트용 골 재 ¹⁾	BSEN 12620 콘크리트용 골 재
규격 개정년도 (년)		66-93-97-02	83-93-97-02	53-98	61-93	21-93	97-02
절대건조밀도(g/cm ³)		2.5이상	2.5이상	2.5이상	2.5이상	-	-
흡수율 (%)		3.0이하	3.0이하	3.5이하	3.0이하	-	1.0이하
조립율		2.3~3.1	-	-	-	2.3~3.1	-
안정성 (%)		10이하	10이하	-	10이하	10이하	-
점토덩어리 (%)		1.0이하	-	1.0이하	-	-	-
0.08mm 체통과량 (%)		-	7.0이하	3.0이하	7.0이하	-	3.0이하
-con'c표면이 마모받는 경우		3.0이하	-	-	-	3.0이하	-
-기타의 경우		5.0이하	-	-	-	5.0이하	-
석탄 및 갈탄 (%)		-	-	0.5이하	-	-	-
-con'c외관이 중요한 부분		0.5이하	-	-	-	0.5이하	0.25이하
-기타의 경우		1.0이하	-	-	-	1.0이하	0.5이하
염화물(NaCl, %)		0.04이하	-	0.04이하	-	-	0.01이하
입형(입자모양)판정실적율 (%)		-	53이상	53이상	53이상	-	-
점토덩어리와 연한석편(%)		-	-	-	-	3.0이하	-

1) Moderate weathering regions, exposed architectural concrete 경우

표 4. 사용재료의 물리적 특성

재 료	물리적 특성
시멘트	1종 보통 포틀랜드시멘트 비 중: 3.15 분말도 : 3,372(cm^2/g)
세척사	비중 : 2.58, FM: 2.80 최대크기: 5mm
부순모래	비중 : 2.60, FM : 3.10 최대크기 : 5mm
굵은골재	부순 굵은골재, 비중: 2.60 최대치수: 25mm
혼화제	AE감수제

2.2 사용재료 및 시험방법

I 시리즈의 경우 수도권에서 생산되는 부순모래에 대하여 품질특성 시험을 각종 KS방법에 준하여 실시하였다.

또한 II시리즈의 경우 사용재료의 물리적 특성을 나타낸 표 4에서 보는 바와 같이 시멘트는 1종 보통 포틀랜드시멘트, 잔골재는 최대치수 5mm의 세척사 및 부순모래, 굵은골재는 25mm 부순자갈을 사용하였으며, 혼화제는 AE감수제를 사용하였다.

콘크리트 시험은 각각 KS 규준에 준하여 실시하였다.

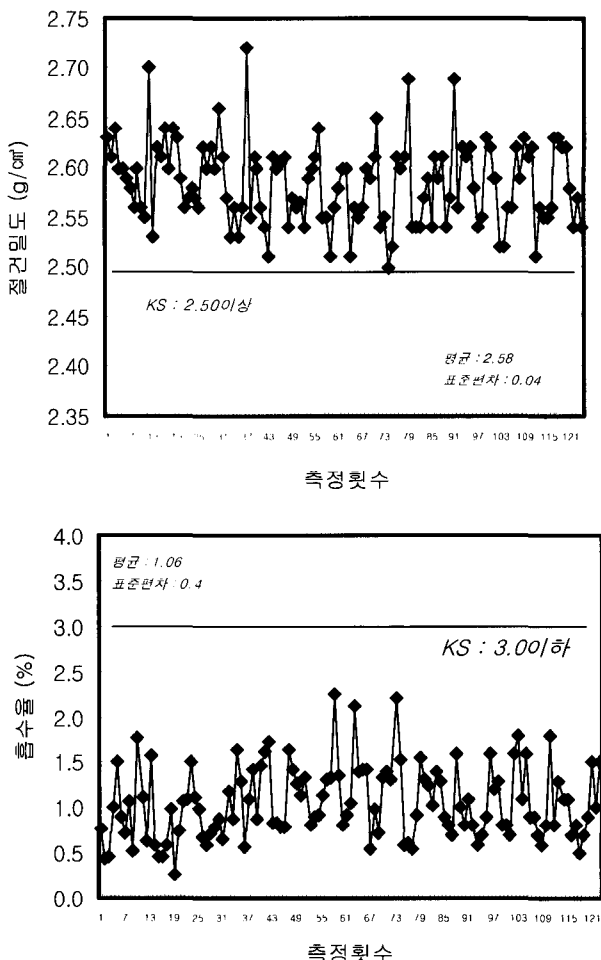


그림 1. 부순모래 절건밀도 및 흡수율의 변화

표 5. 부순모래의 각종 시험결과

측정항목	KS	평균	최대	최소	σ
(절건)밀도(g/cm^3)	2.50이상	2.58	2.72	2.50	0.04
흡수율 (%)	3.0 이하	1.06	2.30	0.30	0.40
조립율	-	3.09	3.50	2.60	0.19
단위용적중량 (kg/m^3)	-	1,681	1,803	1,423	61.2
실적율 (%)	-	65.3	69.9	56.5	2.3
입형판정실적율 (%)	53 이상	54.9	57.2	52.5	1.22
0.08mm체 통과량 (%)	7.0 이하	3.07	5.60	0.70	0.9

3. 시험결과 및 고찰

3.1 부순모래의 각종 품질특성 검토

1) 절건밀도 및 흡수율의 변화

표 5 및 그림 1은 본 연구대상으로 채취한 수도권 부순모래의 밀도(절건) 및 흡수율을 나타낸 것으로 밀도의 경우 평균 2.58로서 KS F 2527에서 규정하고 있는 부순골재의 밀도 값인 2.50이상을 모두 만족하고 있다.

또한, 흡수율의 경우에도 골재마다 다소 품질편차는 있으나 평균 1.06으로서 KS 규정값(3.0이하)을 만족하며 양호한 품질을 나타내고 있다.

그림 2는 부순모래의 절건밀도와 흡수율의 상관관계를 나타낸 것으로 상관계수 R값이 0.811로 일정한 상관도가 있는 것을 알 수 있다. 이는 비중이 클수록 흡수율이 작다는 기존 문헌자료에서 보고되는 결과¹⁴⁾와 동일한 경향으로서 부순모래의 경우도 비중으로서 흡수율을 추정할 수 있는 상관성이 성립하고 있음을 알 수 있다.

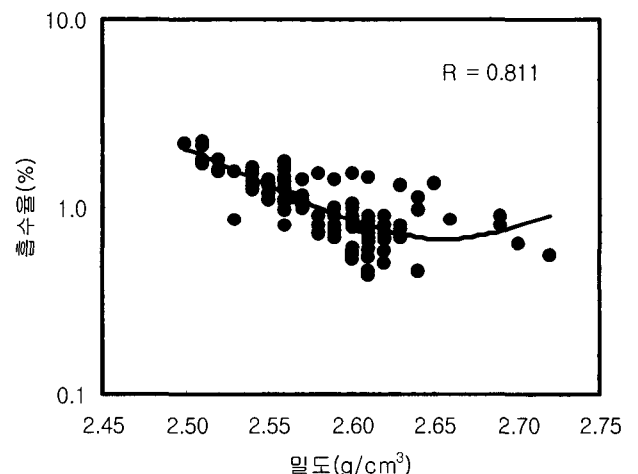


그림 2. 부순모래 절건밀도와 흡수율의 상관관계

2) 조립율 및 단위용적중량의 변화

그림 3은 부순모래 조립율의 변화를 나타낸 것으로, 관련 시방서에는 콘크리트의 유동성에 미치는 영향 및 경제성 등을 고려하여 2.3~3.1의 잔골재를 권장하고 있으나, 본 조사결과 부순모래의 조립율은 평균 3.09로 나타났는데 이는 비교적

큰 입자가 강모래 및 세척사에 비해 많이 포함되어 있기 때문으로 판단된다.

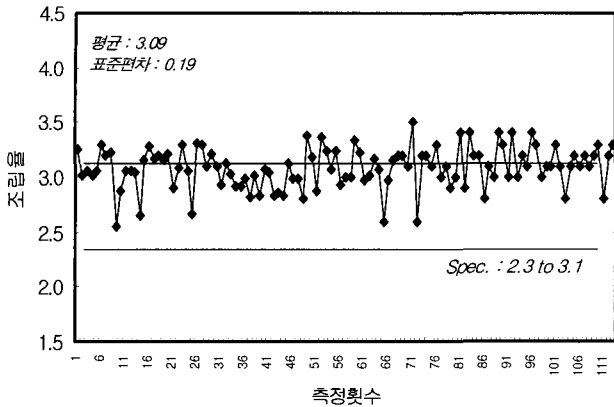


그림 3. 부순모래 조립율의 변화

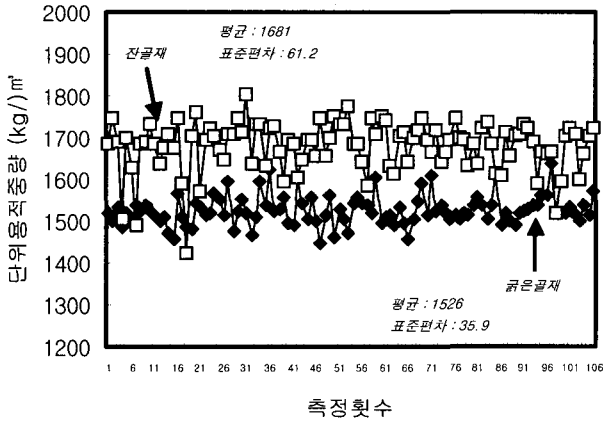


그림 4. 부순골재 단위용적중량의 변화

따라서, 조립율이 3.1을 넘는 부순모래를 콘크리트에 사용할 경우 골재입형의 개선 또는 조립율이 낮은 잔골재와 혼합하여 입도조정을 하여 사용하거나 혼화재치환에 의한 배합조정⁵⁾ 등을 통해 콘크리트의 성능을 만족시킨 후 사용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

또한, 본 연구소에서 부순골재의 품질특성을 비교·검토하기 위하여 약 2년간에 걸쳐 시험한 부순자갈과 부순모래의 단위용적중량의 변화를 나타낸 그림 4에서 알 수 있는 바와 같이, 부순자갈의 경우 1,526kg/m³, 잔골재의 경우 1,681kg/m³로 부순모래의 경우가 부순자갈에 비하여 상대적으로 단위용적중량이 높게 나타나고 있는데, 이는 부순골재의 입도분포 및 부순모래에 함유된 미립분이 골재입자사이를 밀실하게 채웠기 때문으로 판단된다.

3) 실적율 및 입형판정실적율의 변화

표 5 및 그림 5는 부순모래의 실적율 및 입형판정실적율을 나타낸 것으로, 본 실험결과 실적율 및 입형판정실적율이 각각 65.3 및 54.9로 부순모래의 입형판정실적율 제안치인 53.0 이상을 만족하고 있다.

특히, 부순모래의 실적율과 입형판정실적율의 관계를 나타낸 그림 6에서 알 수 있는 바와 같이, 실적율과 입형판정실적율의 상관성이 낮게 나타나고 있는데, 이는 부순모래에 미립

분이 상대적으로 많이 함유되어 있어 미립분을 제거한 입형판정실적율값이 실적율값과 다르게 나타난 것으로 사료된다.

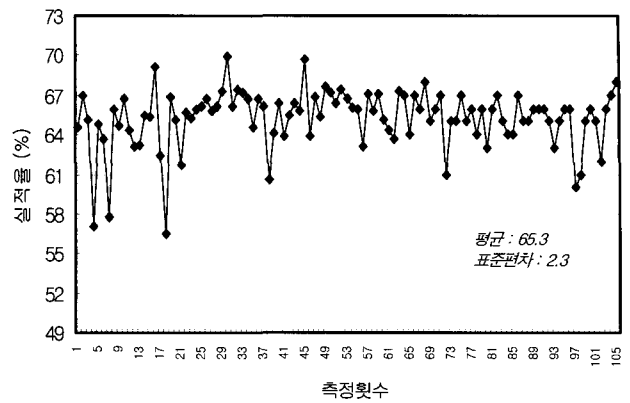


그림 5. 부순모래 실적율의 변화

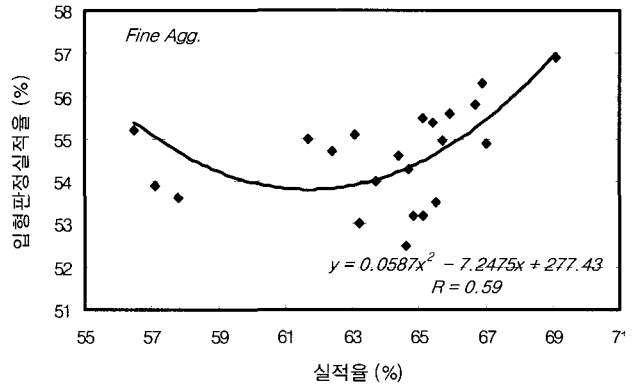


그림 6. 부순모래 실적율과 입형판정실적율의 관계

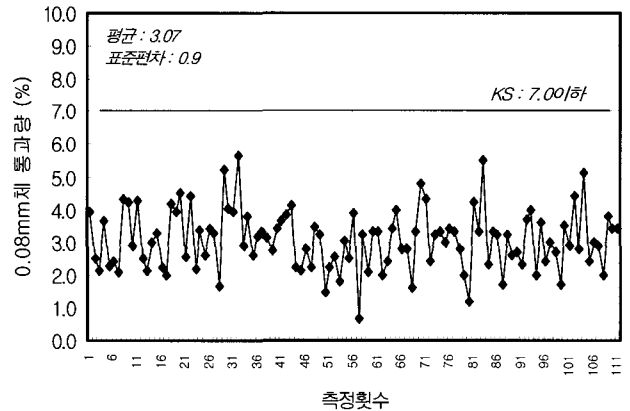


그림 7. 부순모래 0.08mm체 통과량의 변화

4) 0.08mm체 통과량

그림 7은 본 실험대상 부순모래에서의 0.08mm체 통과량값을 나타낸 것으로 골재별로 다소 상이하게 나타나고 있으나 대체적으로 2~4%에 많이 분포되어 있으며 평균 3.07%로서 KS 제안값인 7.0 이하를 만족하고 있다.

3.2 부순모래 대체율에 따른 콘크리트 특성 검토

표 6은 부순모래 대체율에 따른 콘크리트 실험결과를 나타낸 것이다.

표 6. 콘크리트 실험 결과

부순모래 대체율 (%)	공기량 (%)	슬럼프 (cm)	총블리딩량 (cm ³ /cm ²)	압축강도 (MPa)		
				3일	7일	28일
0	5.5	15.9	0.40	13.6	19.6	30.1
25	4.7	14.5	0.27	9.8	20.9	32.3
50	4.8	13.0	0.24	10.0	21.8	34.1
75	4.3	12.5	0.24	11.2	23.8	34.1
100	3.9	11.1	0.17	19.2	27.8	36.2

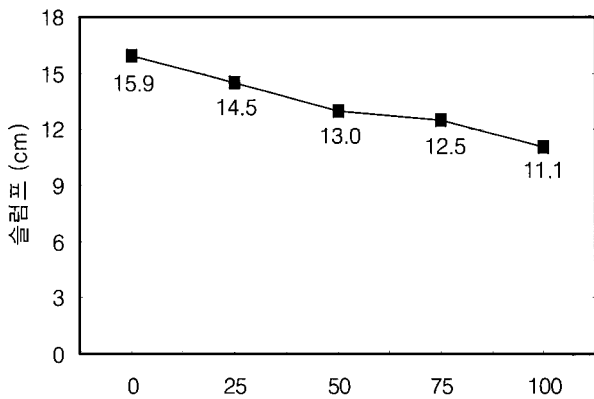


그림 8. 부순모래 대체율에 따른 슬럼프의 변화

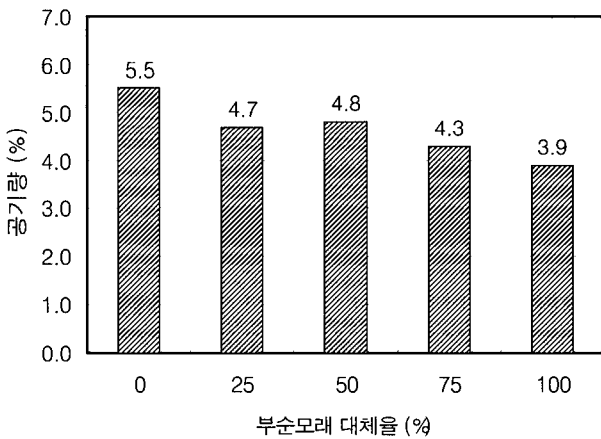


그림 9. 부순모래 대체율에 따른 공기량의 변화

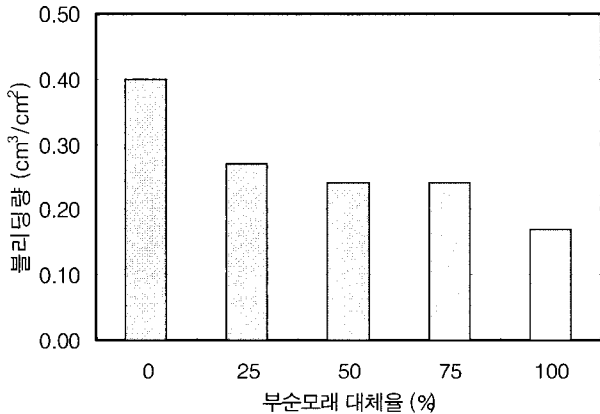


그림 10. 부순모래 대체율에 따른 블리딩량의 변화

1) 굳지않은 콘크리트 특성 검토

표 6 및 그림 8은 부순모래 대체율에 따른 콘크리트 슬럼프 및 공기량의 변화를 나타낸 것으로, 그림에서 알 수 있는 바와 같이 부순모래 대체율이 증가할수록 슬럼프가 감소하는 것을 알 수 있는데, 이는 부순모래의 입형이 불규칙하고 부순모래에 포함된 미립분이 제염사에 비해 상대적으로 많기 때문으로 사료된다.

따라서, 부순모래를 콘크리트에 단독으로 사용하는 것보다 제염사 등과 일부 혼합하여 사용하는 경우가 슬럼프개선에 보다 효과적일 것으로 판단된다.

또한 부순모래 대체율에 따른 공기량의 변화를 나타낸 그림 9를 살펴보면, 부순모래를 대체한 경우가 제염사를 사용한 경우에 비해 상대적으로 공기량이 적게 나타났는데, 이는 부순모래의 미립분 영향으로 판단되며, 부순모래 대체율 25~50%의 경우 유사한 값을 보이고 있음을 알 수 있다.

부순모래 대체율에 따른 블리딩량의 변화를 나타낸 그림 10에서 알 수 있는 바와 같이, 부순모래 대체율이 증가함에 따라 대체적으로 블리딩량이 감소하고 있는데, 이는 미립분이 증가함에 따라 수분 흡착량이 많아지고 거친 입형에 의해 부순모래 입자하부에 수막이 상대적으로 많이 형성되어 떠오르는 블리딩이 감소한 것으로 사료된다.

2) 압축강도 검토

그림 11은 부순모래 대체율에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것으로, 부순모래 대체율이 증가함에 따라 콘크리트의 압축강도가 상대적으로 크게 나타났는데, 이는 기존 연구문헌¹⁴⁾과 동일한 경향으로서 부순모래의 거친 입형으로 인해 시멘트페이스트와의 부착력이 증진되었기 때문으로 사료된다.

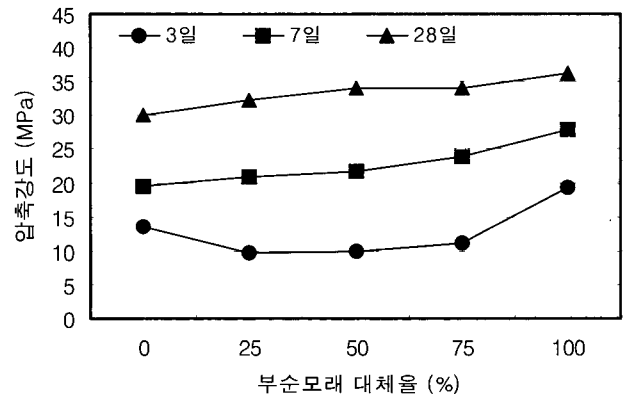


그림 11. 부순모래 대체율에 따른 압축강도의 변화

4. 결론

수도권 부순모래의 품질현황 및 부순모래 대체율에 따른 콘크리트의 특성을 비교검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 본 연구대상 부순모래의 대부분의 품질항목에서 KS F 「콘

크리트용 부순골재」에서 제안하고 있는 값을 대체적으로 만족시키며 양호한 품질을 나타내었다.

- 2) 부순모래의 절전밀도와 흡수율 사이에 일정한 상관도가 있는 것으로 나타나 부순모래의 경우도 비중으로서 흡수율을 추정할 수 있는 상관성이 성립하고 있음을 알 수 있다
- 3) 조립율의 경우 평균 3.09로 다소 높게 나타나 조립율이 3.1을 넘는 부순모래를 콘크리트에 사용할 경우 골재입형의 개선 또는 조립율이 낮은 잔골재와 혼합하여 입도조정을 하여 사용하거나 혼화재치환에 의한 배합조정 등을 통해 콘크리트의 성능을 만족시킨 후 사용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.
- 4) 부순모래의 실적율과 입형판정실적율의 상관성이 낮게 나타났는데, 이는 부순모래에 미립분이 상대적으로 많이 함유되어 있어 미립분을 제거한 입형판정실적율값이 실적율값과 다르게 나타난 것으로 사료된다.
- 5) 부순모래 대체율이 증가함에 따라 대체적으로 블리딩량이 감소하였는데, 이는 미립분이 증가함에 따라 수분 흡착량이 많아지고 거친 입형에 의해 부순모래 입자하부에 수막이 상대적으로 많이 형성되어 떠오르는 블리딩이 감소한 것으로 사료된다. 또한 부순모래 대체율이 증가할수록 대체적으로 콘크리트의 슬럼프 및 공기량은 다소 감소하였으며, 압축강도는 증가하는 경향을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. 長擁重義, 友擇史紀, 生コン工場品質管理ガイドブック, 全国生コンクリート工業組合連合會
2. 최민수, 지역별 골재 소비구조 분석 및 수급 안정방안, 한국건설산업연구원, 2003.4
3. 최세진, 정용, 오복진, 김무한, 국내 콘크리트용 부순골재의 품질특성에 관한 연구, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제15권2호, pp.112~115, 2003.11
4. 대한주택공사 주택연구소, 삼표산업주식회사, 콘크리트용 부순모래의 실용화 방안 연구, 1996.12
5. 石川壽崇, 大島一男, 低品位細骨材を用いたコンクリートのフライアッシュによる性能改善効果に関する實驗研究, JCI 콘크리트工學年次論文集, Vol.25, No.1, pp.107~112, 2003
6. 한천구, 윤기원, 이진규, 국내산 부순모래의 품질에 관한 실태조사 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 제17권1호, pp.635~638, 1997.4
7. 김병환, 이도현, 이성복, 최진만, 국내 생산 부순모래의 물성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 제18권1호, pp.947~954, 1998.4
8. 한천구 외, 부순모래 치환 잔골재를 이용한 콘크리트의 배합설계에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집, 제11권10호, pp.389~396, 1995.10
9. 이도현 외, 잔입자량 함유량에 따른 부순모래의 표전상태 판정에 관한 연구, 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 제8권2호, pp.10~16, 1996.11
10. 지남용 외, 부순모래의 잔입자량에 따른 시멘트모르터의 유동성에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 제15권2호, pp.705~708, 1995.10
11. Ahmed, A.E., and El-Kor/urd, 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
12. 重倉彦光 外 2人, 細骨材の粒刑および石粉がコンクリートの諸特性におよぼす影響, セ技年報, 42巻, pp.84~87, 1988