

## 부순모래의 입형 및 미립분 함유량 개선을 위한 기술 검토

An Investigation for Improvement of Grain Shape and  
Very Fine Sand of Crushed Sand

김기훈\*      윤섭\*      이용성\*\*      윤기원\*\*\*      한천구\*\*\*\*  
Kim, Ki-Hoon      Yoon, Seob      Lee, Yong-Sung      Yoon, Gi-Won      Han, Cheon-Goo

## Abstract

Recently, with the wide shortage of natural sand resources, it has been increasingly used the crushed sand. crushed sand is made by the process of crushing the rocks artificially, which has different particle properties compared with that of natural sand. Because such different particle properties of crushed sand results in an undesirable effects of concrete, improvement technology for crushed sand particle properties like grain shape and fine particle is needed during the manufacturing process. In this paper, improvement technology of grain shape and fine particle is reported. According to test results, adequate investment for manufacturing facilities like impact crusher and abrasion test machine is required to meet the advanced grain shape and grading of crushed sand. Based on the investigation of test result, mixing of natural sand and crushed sand with given proportion can achieve the improvement of grain shape. For improving excessive fine particle contents, current manufacturing system also can enhance the existing technology for fine particle without additional investment. It can be concluded that adequate investment and research can improve the quality of crushed sand.

키워드 : 부순모래, 입형, 입형판정실적률, 미립분함유량

Keywords : Crushed Sand, Grain Shape, Grain Shape Judgment Percentage of Absolute Volume, Fine Particle Contents

## 1. 서론

최근 콘크리트용 천연잔골재의 수급문제는 매우 심각한 상황에 직면해 있다. 국은골재의 경우는 이미 1980년대부터 양질의 세석골재 생산으로 인하여 수급에 문제가 없으나, 잔골재의 경우는 만족할만한 품질의 대체골재를 확보하지 못하고 있는 실정이다. 즉, 양질의 강모래는 거의 대부분 고갈되었고, 남아있는 부존량도 보존 등의 이유로 채취가 제한되고 있으며, 공급되고 있는 일부 강모래는 품질 또한 열악한 실정이다. 해사의 경우도 환경보호의식의 강화와 어업권 보장 등 민원의 증대에 따라 채취에 어려움을 겪고 있는 실정이다.

따라서 콘크리트용 천연잔골재의 대체재로써 부순모래의 사용량은 표 1과 같이 점차 증가하고 있는 추세이다. 이러한 부순모래는 파쇄기에 의하여 인공적으로 만들어지기 때문에 천연골재와는 다른 입형과 미립분함유량 등의 입자특성을 갖게 되는데, 이는 굳지않은 콘크리트의 성질 및 경화콘크리트의 성질에 중요한 영향을 미치게 된다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트의 성질에 중요한 영향을 미치는 부순모래의 입형과 미립분함유량의 개선기술을 검토

하므로써 부순모래를 사용한 콘크리트의 고품질화 기술 개발의 한 참고자료로 제시하고자 한다.

표 1. 지역별 잔골재 소비 비율

권역별	2002년				1992년			
	강모래	세사	해사	육모래	강모래	세사	해사	육모래
전국	32.2	18.3	30.6	18.8	70.7	0.5	18.0	10.8
서울경기	10.2	24.7	62.2	2.9	62.8	1.1	24.6	11.6
강원	51.7	17.1	1.3	29.8	96.4	-	0.5	3.1
충북	17.7	11.5	11.9	59.0	95.4	-	-	4.6
대전충남	45.4	3.8	47.8	3.0	87.4	-	2.7	9.9
전북	6.1	8.5	12.6	72.8	66.6	-	-	33.4
광주전남	-	7.5	48.5	44.2	49.6	-	17.4	33.0
대구경북	67.0	12.4	6.8	13.9	98.3	-	-	1.7
부산경남	52.8	30.7	11.1	5.5	64.2	-	27.8	8.0
제주	-	-	100	-	-	-	100	-

## 2. 실험계획 및 방법

## 2.1 입형개선을 위한 기술 검토

부순모래의 입형개선을 위한 기술 검토 실험은 시리즈 1, II로 나누어 진행하였다. 시리즈 I에서는 실무에서 부순모래

\* 청주대 대학원 석사과정, 정회원

\*\* 청주대 대학원 박사과정, 정회원

\*\*\* 주성대 건축과 부교수, 정회원

\*\*\*\* 정회원, 청주대 건축공학부 교수, 정회원

제조시 사용되는 크러셔의 종류별 입형 특성을 검토하는 것으로, 부순모래 제조공정에서 조크러셔(Jaw Crusher), 콘크러셔(Cone Crusher), 임팩트크러셔(Impact Crusher)를 통해 생산되는 부순모래 크기의 입자를 채취하여 입형판정실적률을 비교 검토하고, 또한 부순굵은골재를 LA마모시험기의 회전수 변화에 따른 입자특성의 변화를 검토하는 것으로 실험 계획 하였다.

시리즈II에서는 실무에서 입형이 불량한 부순모래를 대부분 입형이 양호한 골재와 혼합 사용함에 따라 입형이 불량한 부순모래를 유리구(Glass Beads), 해사, 입형이 양호한 부순모래 등과 혼합하는 것으로 혼합비율 10%씩 증가시켜 혼합한 후 입형판정실적률의 변화를 검토하는 것으로 실험계획하였다.

표 2. 파쇄방식별 입형 개선 기술검토 실험계획

시리즈	대상시료	파쇄방식	실험사항
I	부순모래	Jaw Crusher Cone Crusher Impact Crusher	· 입형판정실적률
	부순굵은골재	LA마모시험기	· 입형판정실적률 · 형상계수 · 조립률 · 입도분포

표 3. 구상골재 혼합을 통한 입형개량 실험계획

시리즈	입형개량 대상골재	구상골재	혼합비율	실험사항
II	부순모래 (50.6)	유리구슬 (62.0) 해사 (57.9) 부순모래 (54.0)	0~100% (10수준)	· 입형판정실적률

표 4. 부순모래의 미립분 최소화 실험계획

시리즈	제조방식	실험요인	실험사항
III	습식	수량 (3수준)	0.08mm 체 통과량

표 5. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	흡수율 (%)	단위 용적중량 (kg/m <sup>3</sup> )	조립률	입형판정 실적률 (%)	0.08mm체 통과량 (%)
부순모래A	2.62	1.03	1666	3.45	52.6	2.48
부순모래B	2.54	1.30	1689	2.69	54.0	4.32
부순모래C	2.74	1.87	1625	3.05	50.6	2.62
해사	2.59	1.12	1614	2.89	57.9	1.15
굵은골재	2.67	0.77	1540	7.0	56.0	-

## 2.2 미립분함유량 개선을 위한 기술 검토

부순모래의 미립분함유량 개선을 위한 기술 검토는 부순모래 제조방식 중 습식에 있어 수량을 3수준으로 변화시킨 후 0.08mm체 통과량을 측정하는 것으로 실험계획 하였다.

## 2.3 사용재료

시리즈 I, II에서 사용된 골재는 충북 청원산 화강암 원석을 사용하였다. 시리즈II에서 사용된 해사는 인천 중구 향동산 세척사를 사용하였으며, 부순모래 B, C는 경기 양주산과 남양주산을 사용하였는데 그 물리적 성질은 표 5와 같다.

## 2.4 실험방법

본 연구의 실험방법으로 입형판정실적률은 KS F 2527의 규정에 의거 실시하였고, 단위용적중량 및 공극률은 KS F 2505에 의거 실시하였으며, 0.08mm체 통과량은 KS F 2511의 규정에 의거 실시하였다. 형상계수는 골재크기 16mm, 13mm, 10mm, 5mm의 골재를 각각 3개씩 입으로 선택하여 최대직경, 중간직경, 최소직경을 버니어 캘리퍼스(정밀도 0.05mm)로 측정하여 평균값을 구한 후 최대직경과 중간직경의 합을 최소 직경의 2배로 나누어 구하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 입형개선을 위한 기술 검토

그림 1은 분쇄기별 입형판정실적률의 변화를 나타낸 것이다. 분쇄기별 입형판정실적률은 조크러셔, 임팩트크러셔, 콘크러셔의 순으로 높게 나타났다. 조크러셔의 경우 원석의 1차 파쇄이후에 채취된 모래입도범위의 시료는 원석 투입시에 포함된 풍화도를 다량 함유하고 있고, 이를 물씻기하여 부순모래로 사용하기에는 양이 적어 실용성이 없는 것으로 판단된다. 콘크러셔에 의해 2차 파쇄되어진 후 채취된 시료의 경우 KS규격의 입형판정실적률53% 이상 규정을 만족하고는 있지만 역시 부순모래로는 양이 적고 품질관리에도 어려움이 있을 것으로 사료된다. 따라서 콘크리트용 부순모래를 생산하기 위해서는 임팩트크러셔와 생산설비를 도입해야만 양질의 부순모래 생산이 가능해짐을 알 수 있었다.

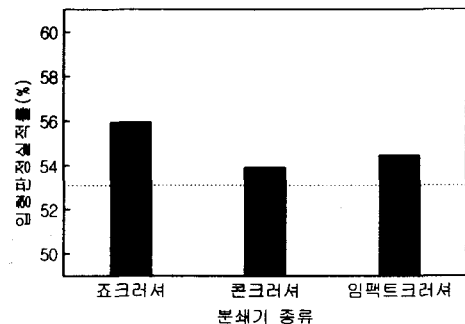


그림 1. 분쇄기 종류별 부순모래의 입형판정실적률의 변화

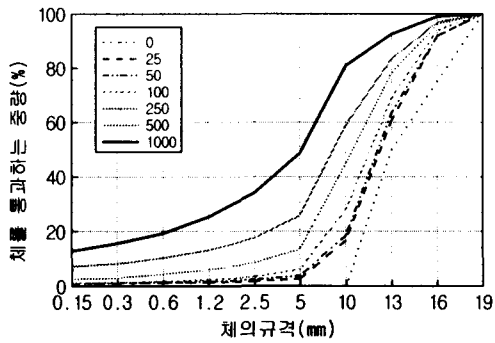


그림 2. 마모회전수에 따른 골재의 입도곡선

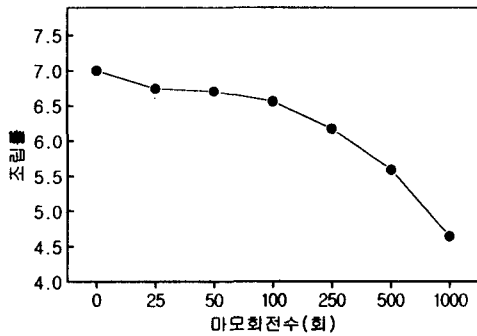


그림 3. 마모회전수에 따른 조립률

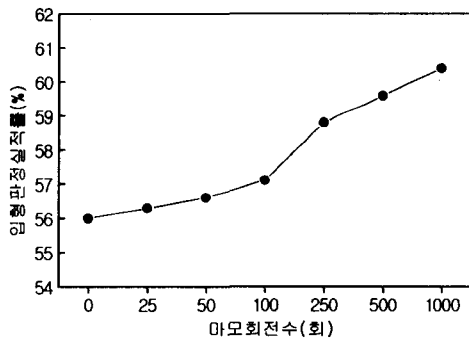


그림 4. 마모회전수에 따른 입형판정실적률 변화

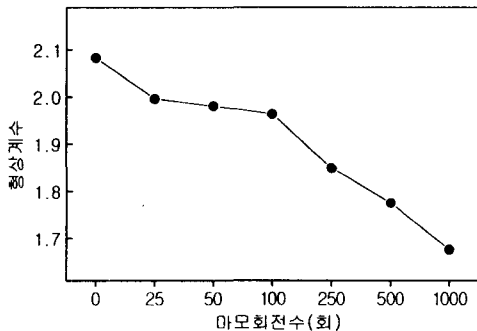


그림 5. 마모회전수에 따른 형상계수 변화

그림 2 및 3은 마모회전수에 따른 골재의 입도곡선 및 조립률을 나타낸 것이다. 입도 변화의 전반적인 경향은 마모 시험기의 회전수 증가에 따라 마모로 파쇄된 잔입자량이 증가하였다. 조립률 변화는 0~250회에서 현저히 저하하여 잔입자량이 많이 형성되고 있음을 알 수 있었다.

그림 4 및 5는 마모회전수에 따른 골재의 입형판정실적률 및 형상계수의 변화를 나타낸 것이다. 입형판정실적률은 전반적으로 마모회전수 증가에 따라 증가하여 구형화하는데, 마모 시험기의 회전수 0~250회 사이에서 급격한 증가를 나타내었으며, 그 이후는 큰 차이가 없이 점진적으로 증가하는 경향으로 나타났다.

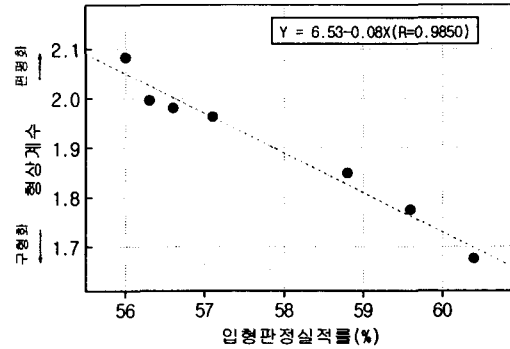


그림 6. 입형판정실적률과 형상계수와의 관계

형상계수는 시험기의 회전수 증가에 따라 감소하여 구형화하는 경향으로 나타났다. 특히 입형판정실적률의 경향과 같이 0~250회 사이에서 급격한 변화가 나타나 회전수의 증가에 따라 골재는 각이진 모양에서 구형의 골재로 변화되어 짐을 알 수 있었다.

그림 6은 입형판정실적률과 형상계수 간의 관계를 나타낸 것으로 상호 반비례하는 관계로 나타났는데 이때의 상관관계식은 다음과 같다.

$$Y = 6.53 - 0.08 X (R=0.9850)$$

그림 7 및 8은 구상골재 혼합에 따른 단위용적중량과 입형판정실적률을 나타낸 것이다. 단위용적중량의 경우는 유리구슬, 해사혼합의 경우는 혼합율이 증가할수록 비례적으로 증가하는 경향이, 부순모래 혼합의 경우는 일정한 수준을 유지하는 것으로 나타났다. 입형이 불량한 부순모래에 대하여 입형이 양호한 유리구슬을 혼합한 경우 입형판정실적률은 산술적으로 계산된 비율값보다 높게 나타났지만, 해사 및 입형이 양호한 부순모래와 혼합한 경우는 산술적으로 계산된 비율값과 비슷한 경향으로 나타나, 실무에서 입형이 불량한 부순모래와 입형이 양호한 천연모래를 혼합사용시 입형판정실적률을 산술적인 계산에 따라 판단할 수 있을 것으로 사료된다.

### 3.2 미립분 함유량 개선을 위한 기술검토

그림 9는 부순모래 생산시 미립분량 조절을 위하여 수량변화에 따른 0.08mm체 통과량을 나타낸 것이다. 당연한 결과이지만 수량이 증가할수록 부순모래의 미립분함유량이 감소하는 것으로 나타나 별도의 설비투자 등이 없이 부순모래의 미립분함유량을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한 부순모래 생산시 사용되는 물은 부순모래 세척과정에서 발생하는 슬러지를 제거한 후 반복적으로 재사용하고 있기 때문에 특별한 생산비의 증액 없이 미립분함유량을 손쉽게 개선시킬 수 있는 것으로 판단된다.

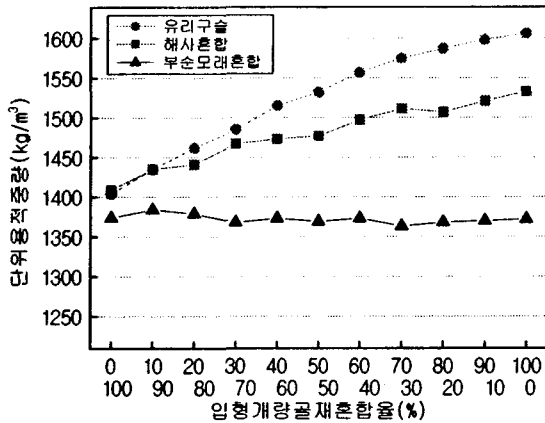


그림 7. 구상골재 혼합에 따른 단위용적중량

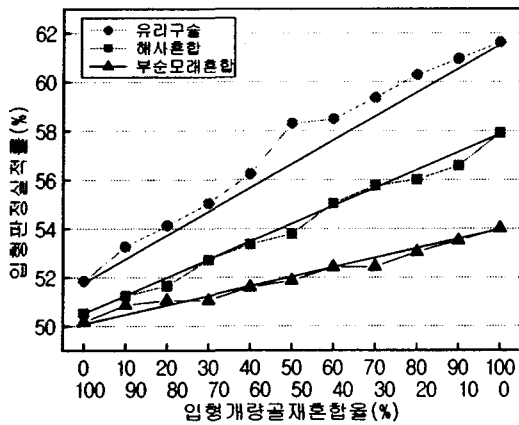


그림 8. 구상골재혼합에 따른 입형판정실적률

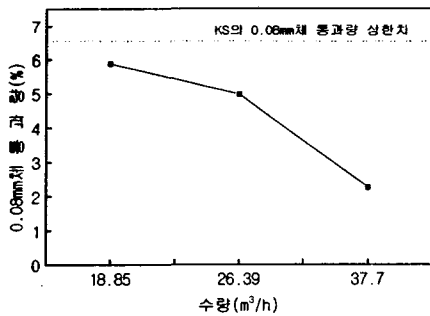


그림 9. 수량에 따른 0.08mm체 통과량

#### 4. 결 론

부순모래의 입형개량 및 미립분 함유량 개선을 위한 기술 개발을 검토하기 위한 실험 연구결과를 종합하면 다음과 같다.

- 1) 분쇄기의 종류에 따른 부순모래의 입형판정실적률의 변화를 검토한 결과 임팩트 크러셔를 통한 3차 분쇄와 분급과정에서 입형이 양호하게 개량됨을 확인할 수 있었다.
- 2) 부순 굵은골재의 입형 개선을 위한 마모 시험 결과 마모 회전수의 증가에 따라 골재는 구형화되어 입형판정실적률은 증가하였고, 형상계수는 감소하는 것으로 나타났는데, 입형판정실적률과 형상계수는 반비례하는 것으로 나타났다.
- 3) 부순모래의 입형개량으로, 입형불량 골재와 입형이 양호한 골재를 혼합할 경우의 입형판정실적률은 유리구슬과 같은 극단적인 경우를 제외하고는 산술적인 계산치와 유사한 경향으로 나타나 실무에서는 산술적인 계산으로 입형변화를 평가하여도 문제가 없을 것으로 사료된다.
- 4) 미립분함유량의 개선을 위한 수량변화 시험 결과 수량을 증가시킬수록 미립분함유량이 감소되는 것으로 나타나, 별도의 설비투자 없이 부순모래의 미립분함유량을 손쉽게 개선할 수 있음을 알 수 있었다.

이상을 종합하면 부순모래의 입형 개선은 임팩트 크러셔나 로스앤젤레스 마모시험기 등과 같은 장비의 설비투자 및 구상골재와의 혼합 등에 의해 가능한 것으로 나타났고, 미립분 함유량 개선은 별도의 설비 투자없이 현재의 제조 시스템의 유속변화만으로도 가능할 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. 한천구, 윤기원 ; 부순모래 콘크리트의 특성 및 배합설계에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집, 제12권 제9호 1996, pp.263-269
2. 한천구, 윤기원 외 2인 ; 부순모래의 미립분 함유량 및 입형이 콘크리트의 특성에 미치는 영향에 관한 연구, 한국콘크리트학회 가을학술발표회논문집 제8권 제2호 1996, pp. 17-23