

# 부순모래와 석분을 사용한 콘크리트의 力學的 特性에 關한 實驗的 研究

An Experimental Study on the Mechanical Properties  
of Concrete Utilizing Crushed Sand and very fine sand

朴 承 範\* · 吳 光 鎭\*\* · 朴 炳 哲\*\*\* · 姜 亨 善\*\*\*  
Park, Seung Bum Oh, Kwang Chin Park, Byung Cheol Kang, Hyung Seon

## ABSTRACT

The results of an experimental study on the mechanical properties of concrete utilizing crushed sand for construction materials are presented in this paper.

As the results show, the workability, compressive strength and drying shrinkage were improved by proper contents of replaced crushed sand. And the workability, compressive strength and drying shrinkage were decreased by increasing very fine sand.

Also, the suitable weight contents of replacing ratio of crushed sand in concrete using crushed sand were in range of about 30%. And the use of crushed sand containing very fine sand under the permitted limit by regulated KS F 2558 has not very much problems in concrete.

## 1. 서 론

최근 국내 건설산업의 급속한 발전에 따라 그 중요한 기초자재로서 콘크리트의 수요가 급격히 증대되어 전국의 하천골재는 거의 고갈상태에 이르러 되었으며, 또한 골재의 품질도 극히 악화되고 있는 실정이다. 잔골재에 대해서 해사, 산사를 강모래의 대체자원으로 사용하고 있으나, 해사는 다량의 염분을 포함하고 있어 콘크리트 구조물의 내구성에 큰 영향을 미치게 되며,

또한 염분세척에 소요되는 과도한 시설투자 및 공업용수의 부족으로 사용상 많은 어려움이 있다. 이러한 국내 잔골재 수급의 어려움을 극복하기 위한 대안으로 부순모래의 적극적인 생산 및 활용이 크게 기대되고 있다. 미국·서독·일본 등 선진국에서는 부순모래를 이용한 연구개발 및 실용화연구가 활발히 진행되고 있으나, 국내에서는 극히 미진한 실정으로서 부순모래의 사용에 따른 역학적 특성 구명이 명확히 이루어지지 않은 상황이다.

따라서 본 연구에서는 부순모래를 사용한 콘크리트의 역학적 특성의 구명과 부순모래 사용시문제가 되고 있는 미분말의 역학적 특성을 구

\* 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수

\*\* 정회원, 충남대학교 토목공학과 대학원 박사과정

\*\*\* 정회원, 충남대학교 토목공학과 대학원 석사과정

명하기 위해 부순모래와 석분을 사용한 콘크리트를 제조하여 그 물리적, 역학적 특성에 관한 기초적 연구를 수행하였다.

## 2. 시험개요

### 2.1 시험개요

#### (1) 미분말율

본 연구에 사용된 부순모래는 입경  $74\mu\text{m}$  이하의 미분말을 4.0% 함유하고 있으며, 부순모래는 그대로 사용하는 것을 전제로하여 미분말 함유량을 시험요인으로 하였다. 미분말 함유량은 절대용적비로써 계산하고, 이것을 미분말율이라고 한다. 미분말율은 미분말이 전혀 없는 0%, 본시험 연구용 부순모래가 함유하고 있는 4%, KS F 2558의 허용값 7% 및 미분말을 분급하지 않은 경우의 일반적인 값 15%, 그리고 최대값을 20%로 설정하였다.

#### (2) 부순모래율

혼합잔골재중의 부순모래의 절대용적비를 부순모래율이라 하고, 부순모래율은 30%, 강모래와 같은 비율로 혼합하는 경우의 50%, 부순모래만을 사용하였을 경우의 100%로 3가지를 설정하였다.

### 2.2 사용재료

#### (1) 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트(비중:3.14)를 사용하였다.

#### (2) 골재

굵은 골재는 충남 금산 H사 제품의 최대치수 25mm의 부순돌을 사용하였고, 잔골재로서 부순모래는 충남 금산 H사 제품의 Rod Mill 파쇄방

식에 의한 습식생산방식에 의해 생산된 것을 사용하였으며, 입형판정실적율은 55.4%로 KS F 2558을 만족하였다. 강모래는 금강 상류에서 채취한 것을 사용하였다. 이들 골재의 입도분포는 <그림 1>에 나타낸 바와 같고, 미분말의 비중은 2.72 이다.

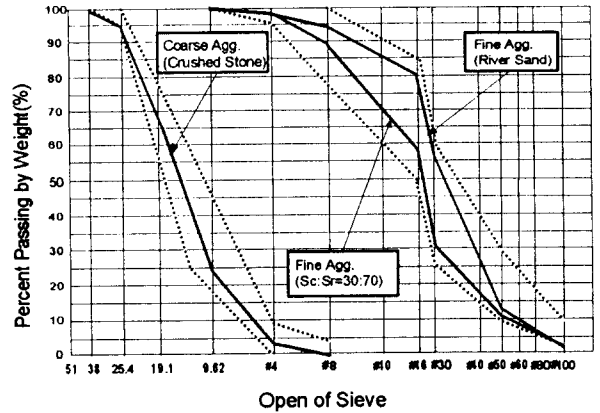


그림 1. 골재의 입도분포곡선

표 1. 골재의 물리적 성질

골재 종류	최대 치수 (mm)	F.M	비중	흡수율 (%)	단위 중량 ( $\text{t}/\text{m}^3$ )
부순돌	25	7.01	2.65	1.32	1.67
강모래	-	2.60	2.64	1.23	1.65
부순모래	-	3.28	2.62	0.76	1.75

#### (3) 혼화제

본 실험에서는 혼화제로 고유동화제인 나프탈렌 설폰산염 고축합물계 Mighty-150을 사용하였다.

### 2.2 시험방법

#### (1) 배합 및 믹싱

콘크리트의 배합은 단위시멘트량 350kg, 물-시멘트비 50%, 잔골재율을 46%로 고정시킨 경

우에 대하여 부순모래율을 30, 50, 100%로 하고, 미분말율을 0, 4, 7, 15, 20%로 변화시켜 배합하였으며, 이들 콘크리트의 배합에는 <표 2>와 같다.

표 2. 콘크리트 배합표

Mix No.	미분말율 (%)	부순모래율 (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> )						SP (%)	
					C	W	G	미분말				
								Sc	Sr	S		
S1-1		30							-	258.0	597.4	1.0
S1-2	0	50							-	430.0	426.7	
S1-3		100							-	860.0	-	
S2-1		30							10.7	247.7	597.4	
S2-2	4	50							17.9	412.8	426.7	
S2-3		100							35.7	825.6	-	
S3-1		30							13.7	239.9	597.4	
S3-2	7	50	50	46	350	175	1021.7		31.2	399.9	426.7	
S3-3		100							62.5	799.8	-	
S4-1		30							40.2	219.3	597.4	
S4-2	15	50							67.0	365.5	426.7	
S4-3		100							133.9	731.0	-	
S5-1		30							53.6	206.4	597.4	
S5-2	20	50							89.3	344.0	426.7	
S5-3		100							178.6	688.0	-	

한편, 믹싱은 용량 54ℓ의 강제식 믹서를 이용해 전재료를 투입한 후 1분 30초간 믹싱하여 배이스 콘크리트를 만든 다음, 유동화제를 첨가한 후 1분간 재비밀하여 제조하였다.

(2) 시험방법

콘크리트의 슬럼프 시험은 KS F 2402에 준하여 슬럼프값을 측정하였으며, 압축강도는 KS F 2405에 준하여 Ø15×30cm의 원주형 공시체를 제조하여 일본 M사 제품의 UTM(용량 100ton)을 사용하여 각각 재령 7, 28일의 압축강도를 측정하였다. 또한 내동해성을 파악하기 위하여 배합조건별로 KS F 2456에 준하여 7.6×7.6×35.6cm 각주공시체를 제작해 -18~+10℃에서 1일 6~8 cycle로 210cycle까지

공시체의 공명주파수를 측정함과 아울러 표면 상태를 관찰하였다. 한편, 건조수축시험은 10×10×40cm의 공시체를 제조하여 공시체 탈형 직후를 기준길이로 하여 KS F 2424의 콤퍼레터 방법에 준하여 재령 180일까지의 길이변화량을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 슬럼프

강모래에 대한 부순모래의 혼입율 증가에 따른 슬럼프 시험결과와 압축강도결과는 <표 3>과 같다.

표 3. 슬럼프와 압축강도 시험 결과

Mix No.	미분말율 (%)	부순모래율 (%)	슬럼프 (cm)	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	
				7일	28일
S1-1		30	6.9	246	287
S1-2	0	50	9.5	242	280
S1-3		100	5.9	217	251
S2-1		30	6.5	257	295
S2-2	4	50	9.2	249	286
S2-3		100	5.5	223	256
S3-1		30	5.8	271	307
S3-2	7	50	8.5	267	292
S3-3		100	4.7	232	265
S4-1		30	5.2	273	315
S4-2	15	50	7.8	269	304
S4-3		100	4.2	241	275
S5-1		30	4.5	273	311
S5-2	20	50	7.3	260	297
S5-3		100	3.5	241	269

이를 고찰해 보면, 콘크리트의 슬럼프값은 전반적으로 강모래에 대한 부순모래 혼합비율이 증가할수록 약 50% 정도까지는 증가하는 경향을 나타내어 비교적 양호한 작업성을 나타내었으며, 미분말율의 증가에 따라 부순모래 혼입율과 관계없이 모두 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 미분말 혼입에 따른 비표면적의 증가와 부순모래와 강모래의 혼합사용에 따른 입도의 변화에 기인하는 것으로 판단되며, 동일한 슬

럼프를 얻기 위해서는 미분말 함유량의 증가에 따라 수량의 증가 또는 유동화제의 첨가가 필요할 것으로 판단된다.

### 3.2 압축강도

혼합잔골재에 대한 부순모래의 혼합비율이 30%인 경우가 재령 7일 및 28일강도 모두 가장 우수한 압축강도를 나타내었으며, 그 이상의 부순모래율에서는 오히려 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 적당량의 부순모래를 혼합 사용함으로써 잔골재의 입도분포가 양호해짐에 따라 콘크리트를 구성하는 골재 상호간의 맞물림(Interlocking)현상을 증대시키기 때문인 것으로 판단된다. 또한 미분말율이 증가함에 따라 압축강도는 조금씩 증가되는 것으로 나타났으며, 이는 적정량의 미분말 혼입은 콘크리트의 공극을 충전시켜 조적을 치밀하게 만들기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 미분말량의 과다혼입시에는 콘크리트의 다른 역학적 성질에 악영향을 미치는 것으로 나타났으므로 사용상에 주의가 요망된다.

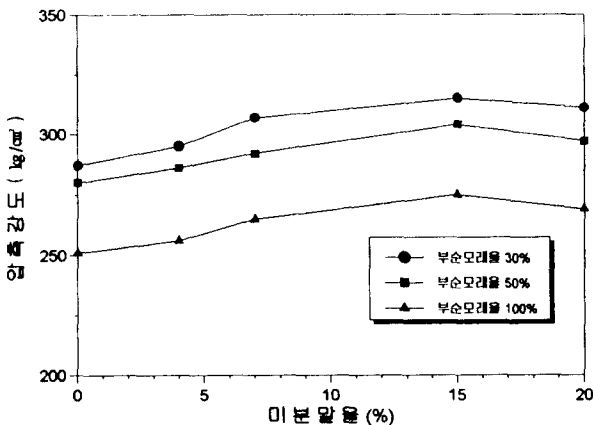


그림 2. 미분말율과 압축강도와의 관계

### 3.3 동결융해저항성

부순모래 혼입율이 30%일때 미분말율이 4, 7, 15, 20%로 증가한 경우에 대한 210cycle까지의 동결융해시험결과는 <그림 3>에 나타낸 바와 같다. 이를 고찰하여 보면, 미분말율의 증가에 따라 전반적으로 상대동탄성계수의 저하현상이 크게 나타났으며, 미분말율이 증대됨에 따라 표면의 Scaling현상이 심하게 나타나는 것으로 관찰되었다. 따라서 동결융해저항성 측면에서 과도한 미분말의 혼입은 바람직하지 못한 것으로 판단된다.

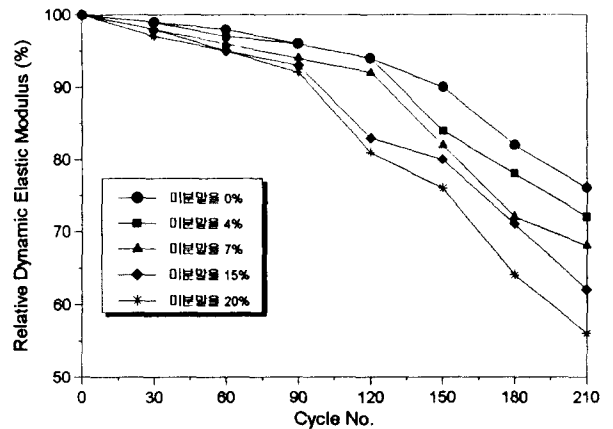


그림 3. 미분말율과 동결융해저항성과의 관계

### 3.4 건조수축

재령 180일까지의 건조수축 시험결과는 <그림 4>에 나타낸 바와 같이 잔골재에 대한 부순모래율이 30%인 경우가 부순모래율이 50, 100%인 경우에 비하여 건조수축량이 적었으며, 이러한 양상은 입도분포가 개선되어 밀실한 콘크리트가 얻어지기 때문인 것으로 판단되며, 건조수축저감을 위해서는 부순모래와 강모래를 적정혼입하여 사용하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 또한 과도한 미분말의 함유는 건조수축을 증가시키는 것

으로 나타나 과도한 미분말의 함유는 콘크리트에 악영향을 미칠 것으로 판단된다.

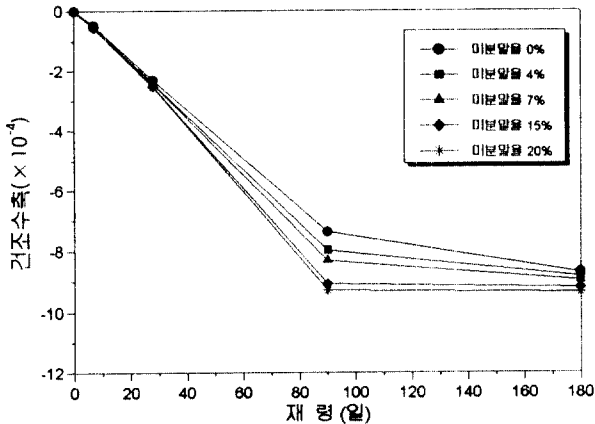


그림 4. 미분말율과 건조수축과의 관계

#### 4. 결 론

부순모래율과 미분말율이 부순모래를 사용한 콘크리트에 미치는 역학적 특성에 관한 시험결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 슬럼프값은 잔골재에 대한 부순모래 혼입율이 증가할수록 약 50%까지는 증가하였으며, 미분말의 혼입을 증가에 따라 부순모래 혼입율에 관계없이 모두 감소하였다.

(2) 잔골재에 대한 부순모래의 혼입율이 압축강도에 미치는 영향은 혼입율이 30%에서 재령 7일 및 28일에서 가장 우수한 압축강도를 나타내었으며, 그 이상의 부순모래 혼입율에서는 저하하는 경향을 나타내었다. 또한 미분말율의 증가에 따라 압축강도는 약간 증가하는 것으로 나타났다.

(3) 동결융해저항성은 미분말율의 증가에 따라 상대동탄성계수의 저하현상이 나타났으며, 동일 W/C에서 동결융해저항성을 크게 하기 위해서는 AE콘크리트로 하는 것이 좋은 것으로 판단된다.

(4) 건조수축은 미분말 혼입율이 증가할수록 커

지는 것으로 나타났으며, 부순모래율이 30%인 경우가 부순모래율이 50%, 100%인 경우에 비해 건조수축 저감효과를 나타내었다.

(5) 본 시험결과와 워커빌리티, 강도, 동결융해저항성 및 건조수축저감을 위해 적정량의 부순모래를 혼합하여 사용하는 것이 좋은 것으로 나타났으며, 그 적정 혼입율은 30%정도로 나타났다. 또한 적정량의 미분말 혼입은 콘크리트의 강도 증진에 약간의 효과가 있는 것으로 나타났다.

#### 參 考 文 獻

1. Nichols, F. Jr., "Manufactured Sand and Crushed Stone in Portland Cement Concrete," Concrete International, August 1982, pp. 55-63
2. RILEM Technical Committee TC70-OMD, "Optimized Mix Design of Concrete," Materials and Structures, January 1987, pp. 51-53
3. Balogun, L. A., and Adepegba, D., "Effect of Varying Sand Content in Laterized Concrete," International Journal of Cement and Lightweight Concrete, Vol.4, November 1982, pp. 235-240
4. Kuennen, T., "Excess Fines, Premium Product," Rock Products, September 1984, pp. 42-44
5. Ahmed, A. E., and El-Kour, 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.