

# 석산에서 발생하는 슬러지 미립분의 혼입률 변화에 따른 시멘트 모르타르의 강도 및 흡수 특성

한천구<sup>1)</sup> · 신병철<sup>2)</sup> · 김기철<sup>3)</sup> · 이상태<sup>3)\*</sup>

<sup>1)</sup>청주대학교 건축공학부 <sup>2)</sup>중부대학교 환경조경학 전공 <sup>3)</sup>(주)선엔지니어링 종합건축사사무소  
(2001년 4월 12일 원고접수, 2001년 11월 6일 심사완료)

## Strength and Absorption Properties of Cement Mortar Produced with Various Content of Sludge Powder at Mines

Cheon-Goo Han<sup>1)</sup>, Byung-Chuel Shin<sup>2)</sup>, Gi-Cheol Kim<sup>3)</sup>, and Sang-Tae Lee<sup>3)\*</sup>

<sup>1)</sup> Div. of Architectural Engineering, Chongju University, Chongju, 360-764, Korea  
<sup>2)</sup> Dept. of Environmental Landscape Architecture, Joongbu University, Kumsan, 312-702, Korea  
<sup>3)</sup> Seon Architects & Engineers Group, Chongju, 360-020, Korea  
(Received on April 12, 2001, Revised on November 6, 2001)

### ABSTRACT

It is reported that a lot of sludge powder is produced during the process of manufacturing crushed fine aggregates in mines. However, there is a limitation on the its use that most of them are disposed and wasted, which cause environmental pollution. Therefore, in this paper, tests are carried out in order to recycle sludge powder as filler for cement mortar products. Kinds of aggregates and mix proportion of mortar are varied under various contents of sludge powder. According to test results, it is found that cement mortar products using sludge powder as substitution of fine aggregate about 10% have better qualities than those without sludge powder.

**Keywords :** *sludge powder, cement mortar products, strength and absorption properties*

## 1. 서 론

국내 채석장 및 석재가공장에서 발생하는 석분 슬러지는 폐석을 포함하여 연간 수백만톤에 달하고 있으며, 이중 일부만이 도로포장용 아스팔트 채움재로 재활용되고 있을 뿐 기타는 방치되어 주변환경을 훼손 및 오염시킴과 동시에 큰 경제적 손실을 유발하고 있다<sup>1)</sup>.

특히, 석분 슬러지는 폐기물로 분류되어 있어 처리시설의 설치 및 매립지 확보에 막대한 비용이 소요되므로 이에 대한 재활용 방안이 절실히 요구되는데, 한국자원연구소에서는 석분 슬러지를 타일이나 인조석판재 등에 활용하는 연구<sup>2~3)</sup>를 진행한 바 있다.

한편, 석분 슬러지의 효율적인 활용방안으로 공장제품용 시멘트 모르타르 제조에 사용하는 것을 검토할 수 있다. 즉, 시멘트 모르타르 제품은 빈배합 된비빔 조건에서 진동 및 가압의 방법으로 제작되기 때문에 배합변화에 따른 골재의 입도분포는 제품의 품질에 대단히 중요한 사항<sup>4~6)</sup>으로서, 슬러지 미립분을 골재에 대체하여 혼입할 경우는 최

밀 충전조건이 변화되어 제품의 품질을 보다 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 골재 종류 및 모르타르 배합비 등의 변수조건에서 슬러지 미립분 혼입률을 변화시켜 시멘트 모르타르의 강도 및 흡수 특성을 검토함으로써, 슬러지 미립분의 효율적인 활용방안 및 시멘트 모르타르 제품의 품질향상에 한 참고자료로 제시하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획 및 배합사항은 Table 1과 같다. 먼저, 골재 종류는 부순모래를 100% 사용한 경우와 부순모래 및 강모래를 50:50으로 혼합한 경우(이하, 혼합골재라 칭함)의 2개 수준으로 하였다. 모르타르 배합비(C:S)는 1:4와 1:6의 2개 수준으로 하였으며, 이때 물시멘트비는 기보고된 연구자료<sup>7)</sup>를 참조하여 각 배합비의 반죽질기에 적당한 45% 및 55%로 계획하였다. 슬러지 미립분의 혼입률은 잔골재의 중량에 대한 치환으로 모르타르 배합비 1:4의 경우는 0, 5, 10, 15, 20 및 30%로 하고, 모르타르

\* Corresponding author

Tel : 043-257-4710 Fax : 043-257-1314

E-mail : lst4765@hanmail.net

배합비 1:6의 경우는 0, 5, 10, 15%로 하여 총 20배치를 실험계획하였다.

## 2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로 시멘트는 국내산 보통포틀랜드

시멘트를 사용하였다. 골재로써 부순모래는 경기도 화성군 산, 강모래는 충북 현도산을 사용하였다. 슬러지는 기건상태의 미립분으로 사용하였는데, 화강암 부순골재를 생산할 때 발생한 것을 사용하였다. 각 재료의 물리·화학적 성질은 Table 2~4와 같다.

Table 1 Experiment plan and mix proportions

Aggregates	C:S	W/C (%)	Air content (%)	Contents of sludge powder (%)	Unit volume( $\ell/m^3$ )					Unit weight( $kg/m^3$ )				
					Water	Cement	Crushed sand	River sand	Sludge powder	Water	Cement	Crushed sand	River sand	Sludge powder
Crushed sand	1:4	45	10	0	174	123	603	0	0	174	387	1,544	0	0
				5	174	123	574	0	29	174	387	1,469	0	76
				10	174	123	544	0	59	174	387	1,393	0	155
				15	174	123	515	0	88	174	387	1,318	0	231
				20	174	123	485	0	118	174	387	1,242	0	310
				30	174	123	425	0	178	174	387	1,088	0	468
	1:6	55		0	204	118	578	0	0	204	372	1,480	0	0
				5	204	118	550	0	28	204	372	1,408	0	74
				10	204	118	522	0	56	204	372	1,336	0	147
				15	204	118	493	0	85	204	372	1,262	0	224
Mixed sand	1:4	45	10	0	174	123	302	301	0	174	387	773	774	0
				5	174	123	287	286	30	174	387	735	735	79
				10	174	123	272	271	60	174	387	699	696	158
				15	174	123	257	256	90	174	387	658	658	237
				20	174	123	243	242	118	174	387	625	622	310
				30	174	123	213	212	178	174	387	545	545	468
	1:6	55		0	204	118	290	288	0	204	372	742	740	0
				5	204	118	275	274	29	204	372	704	704	76
				10	204	118	261	260	57	204	372	668	668	150
				15	204	118	247	246	85	204	372	632	632	224

Table 2 Physical properties of cement

Specific gravity	Blaine ( $cm^2/g$ )	Soundness (%)	Setting time (min.)		Compressive strength ( $kgf/cm^2$ )		
			Ini.	Fin.	3 days	7 days	28 days
3.15	3,564	0.06	241	460	226	303	396

Table 3 Physical properties of aggregates

Aggregates	Specific gravity	Fineness modulus	Voids volume (%)	Absorption (%)	Unit weight ( $kg/m^3$ )	Solid volume of shape variation (%)	Passing of $74\mu$ sieve (%)
Crushed sand	2.56	3.73	33.8	2.5	1,694	56.5	3.1
River sand	2.57	2.67	36.5	1.6	1,630	58.7	1.2

Table 4 Physical properties and chemical compositions of sludge powder

Physical properties			Chemical compositions (%)							
Specific gravity	Blaine ( $cm^2/g$ )	Loss on ignition (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO
2.63	2,200	3.66	65.12	16.61	3.59	2.59	1.30	3.70	3.12	0.10

### 2.3 실험방법

모르타르의 혼합은 KS L 5109의 방법에 의하여 실시하였고, 공시체(210×70×70 mm)는 비빔 완료후 일정량의 모르타르를 Photo 1과 같이 주문 제작한 성형몰드(238×98×98 mm)에 넣고 7초 동안 진동기로 다진 후 100 kgf/cm<sup>2</sup>의 하중으로 가압하여 제작하였다. 또한, 양생은 20±3 °C 인 수중양생 조건으로 하였다.

실험사항으로 단위용적중량은 KS F 2409(굳지 않은 콘크리트의 단위용적중량 및 공기량에 의한 시험방법), 휨강도 및 압축강도 시험은 KS F 2407(콘크리트의 휨강도(단순보의 중앙점 하중법) 시험방법 및 ASTM C 349(standard test method for compressive strength of hydraulic-cement mortars), 흡수율은 KS F 4419(보차도용 콘크리트 인터로킹 블록)의 방법으로 구하였다.

### 3. 실험결과 및 분석

슬러지 미립분 혼입률에 따른 시멘트 모르타르의 강도 및 흡수율 실험결과는 Table 5와 같다.

#### 3.1 단위용적중량 특성

Fig. 1은 슬러지 미립분 혼입률 변화에 따른 단위용적중량을 골재 종류와 모르타르 배합비별로 나타낸 것이다. 전반적으로 슬러지 미립분 혼입률이 증가할수록 단위용적

중량은 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 잔골재의 벌킹(bulking)현상에 기인한 결과로 분석되었다. 특히, 각 배합에서 슬러지 미립분을 10% 혼입한 경우 무혼입에 비하여 약 4~15%(90~270 kg/m<sup>3</sup>) 감소하는 것을 알 수 있었다.

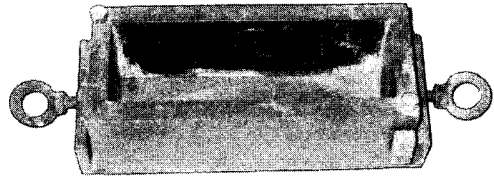


Photo 1 Specimen mould

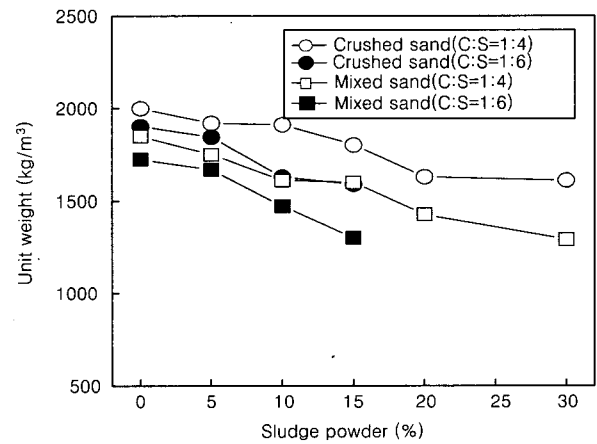


Fig. 1 Unit weights versus content of sludge powder

Table 5 Test results of unit weight, strength and absorption

Aggregates	C:S	Contents of sludge powder (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Flexural strength (kgf/cm <sup>2</sup> )		Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )		Absorption (%; 28days)
				7days	28days	7days	28days	
Crushed sand	1:4	0	2,000	74	80	282	350	3.5
		5	1,921	80	84	318	389	3.7
		10	1,912	79	87	306	380	4.7
		15	1,803	72	81	262	350	5.3
		20	1,630	66	81	250	333	5.6
		30	1,612	60	65	223	321	7.9
	1:6	0	1,903	60	65	203	267	4.6
5	1,846	63	70	227	290	4.9		
10	1,630	60	74	246	300	5.1		
15	1,590	55	71	213	280	5.8		
Mixed sand	1:4	0	1,850	68	74	234	318	4.6
		5	1,751	73	83	253	323	5.3
		10	1,612	71	86	265	340	5.5
		15	1,601	64	76	239	316	5.8
		20	1,428	61	75	236	270	6.3
		30	1,291	52	69	208	250	6.7
	1:6	0	1,725	52	55	199	230	5.9
		5	1,670	57	60	209	244	5.9
		10	1,473	56	61	220	261	5.4
		15	1,300	54	60	191	228	6.8

Fig. 2 및 3은 골재종류 및 모르타르 배합비별 단위용적중량을 산점도로 비교한 것이다. 골재 종류별 단위용적중량은 부순모래를 사용한 경우가 혼합골재를 사용한 경우보다 약 14%(210 kg/m<sup>3</sup>) 크게 나타났고, 모르타르 배합비별로는 1:4의 경우가 1:6의 경우보다 약 12%(160 kg/m<sup>3</sup>) 크게 나타났다.

### 3.2 강도 특성

Fig. 4는 재령, 골재종류 및 배합비별 휨강도와 압축강도를 슬러지 미립분 혼입을 변화에 따라서 나타낸 것이고, Fig. 5는 28일 재령에서 슬러지 미립분 무혼입을 100으로 하였을 때 혼입을 변화에 따른 휨강도비 및 압축강도비를

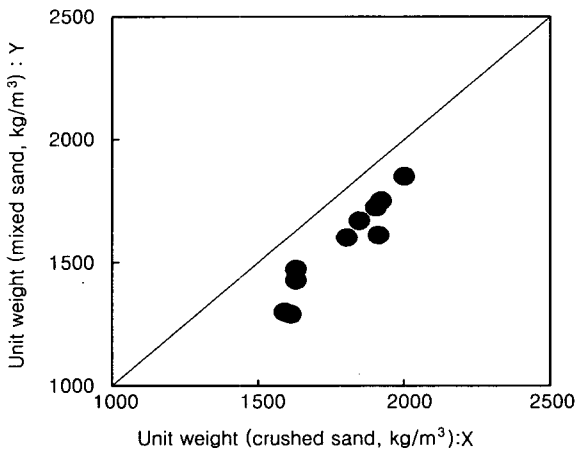


Fig. 2 Comparison of unit weights considering sand kinds

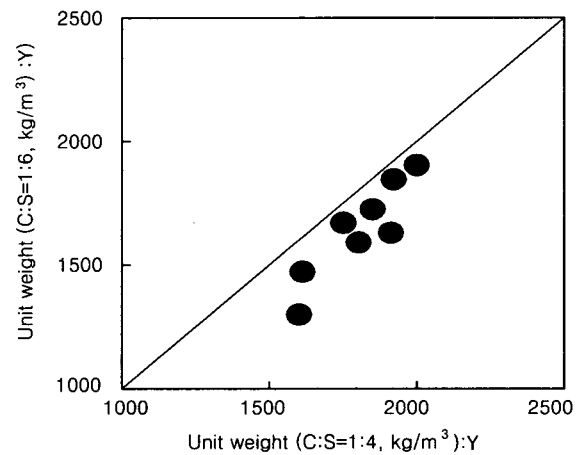


Fig. 3 Comparison of unit weight considering mix proportions

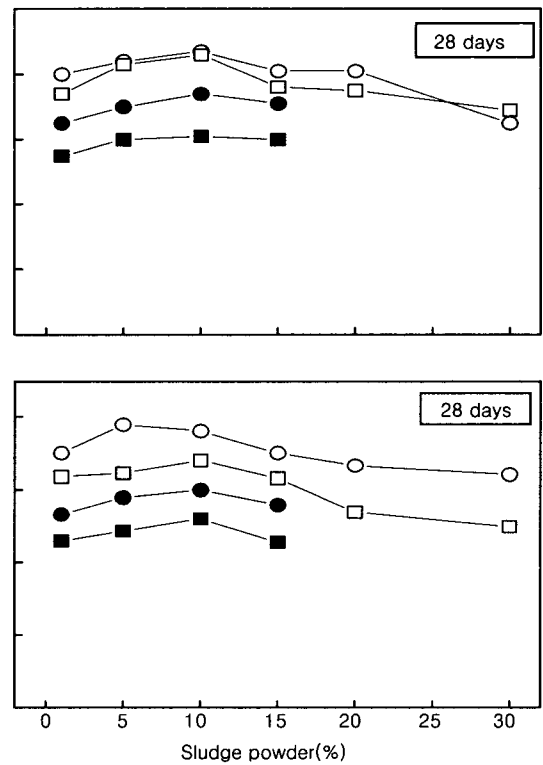
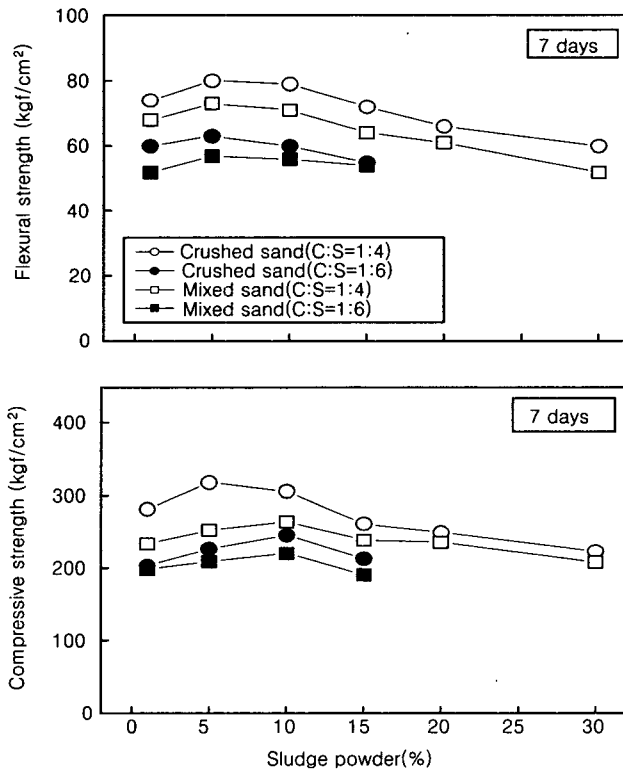


Fig. 4 Flexural and compressive strength versus contents of sludge powder

나타낸 것이다.

전반적인 경향으로 슬러지 미립분 혼입률이 증가할수록 일정범위까지는 강도가 증가하다가 그 이후로는 감소하는 것으로 나타났다. 즉, 슬러지 미립분 혼입률 10%까지는 강도가 증가하여 무혼입에 대한 휨강도 및 압축강도가 각각 13%(9 kgf/cm<sup>2</sup>), 10%(30 kgf/cm<sup>2</sup>) 증가한 결과를 나타내었고, 15%에서는 무혼입과 유사한 강도치를 나타내었다.

Fig. 6~9는 골재종류와 모르타르 배합비별 휨강도와 압축강도를 비교한 것이다. 골재종류별 휨강도와 압축강도는 부순모래를 사용한 경우가 혼합골재에 비하여 각각 9%(6 kgf/cm<sup>2</sup>), 14%(37 kgf/cm<sup>2</sup>) 정도 크게 나타났고, 배합비별로는 1:4의 경우가 1:6에 비하여 27%(16 kgf/cm<sup>2</sup>), 29%(72 kgf/cm<sup>2</sup>) 정도 크게 나타났다.

Fig. 10은 압축강도에 대한 휨강도를 산점도로 비교한 것이다. 휨강도는 압축강도의 약 1/3~1/5 정도로서 일반적으로 알려진 1/5~1/7 보다 크게 나타났는데, 이는 시멘트 모르타르의 배합특성과 제작방법(진동 및 가압)에 기인한 결과로 분석되었다.

### 3.3 흡수 특성

Fig. 11은 슬러지 미립분 혼입률 변화에 따른 흡수율을 나타낸 것이다. 전반적으로 슬러지 미립분 혼입률이 증가할수록 흡수율은 커지는 결과를 나타내었는데, 이는 분말

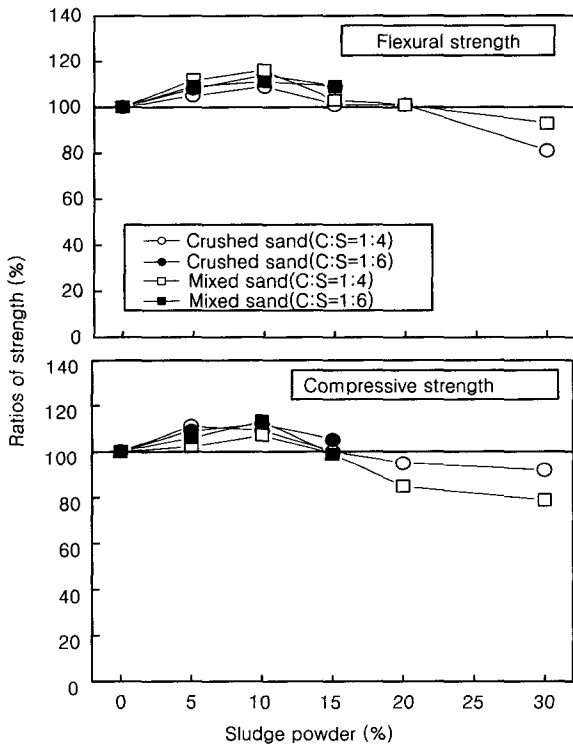


Fig. 5 Ratios of strength versus contents of sludge powder

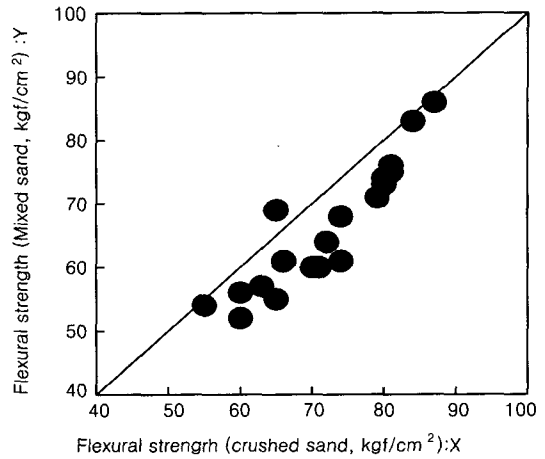


Fig. 6 Relationship of flexural strength between mixed sand mortar and crushed sand mortar

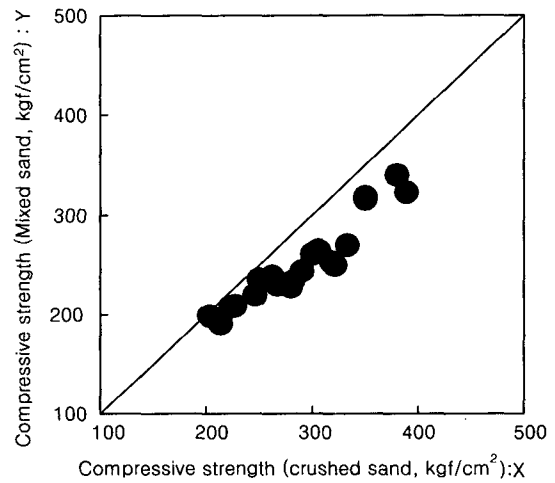


Fig. 7 Comparison of compressive strength considering sand kinds

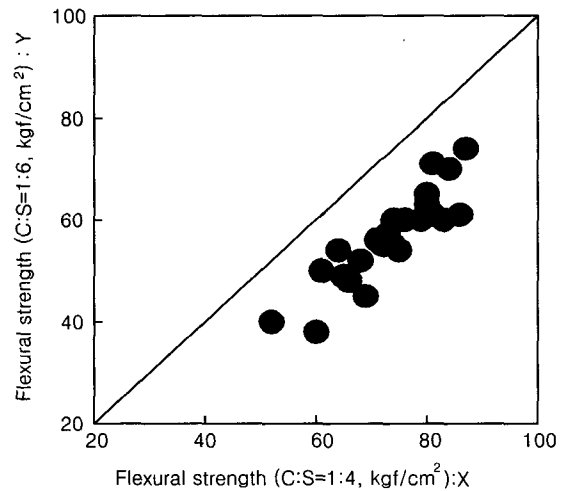


Fig. 8 Relationship of correlations of flexural strength between mix proportion

도 2,200 cm<sup>2</sup>/g 정도의 슬러지 미립분 혼입률이 증가할수록 모세관 공극으로의 수분흡수가 증가하여 나타난 결과로 분석되었다.

한편, 시멘트 모르타르 제품중 보차도용 인터로킹 블록과 콘크리트 벽돌 C종 2급에 대한 KS의 흡수율 규정<sup>8-9)</sup>은 7% 이하로 명시되어 있는데, 슬러지 미립분 혼입률 15%까지는 현행 규정을 만족함을 알 수 있었다.

Fig. 12는 골재 종류별 흡수율을, Fig. 13은 배합비별 흡수율을 비교한 것이다. 골재 종류별 흡수율은 부순모래를 사용한 경우가 혼합골재를 사용한 경우보다 0.8% 작게, 모르타르 배합비별로는 1:4의 경우가 1:6의 경우보다 1% 작게 나타났다.

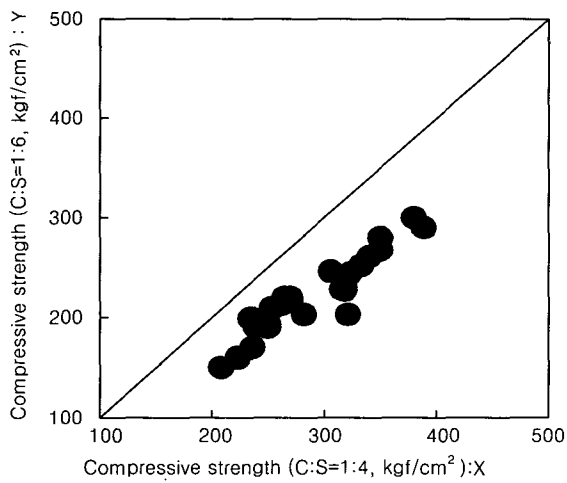


Fig. 9 Comparison of compressive strength considering mix proportions

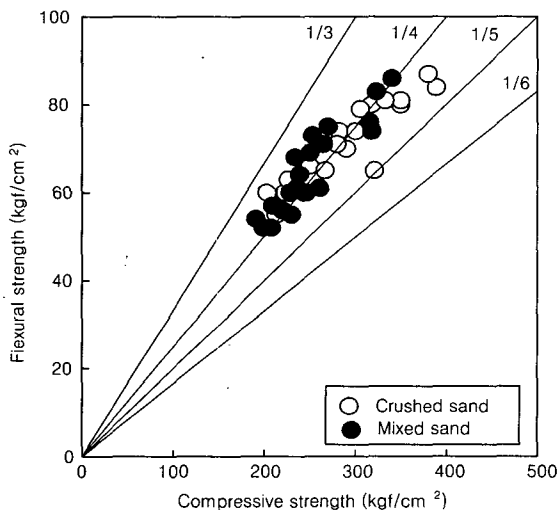


Fig. 10 Flexural strength versus compressive strength

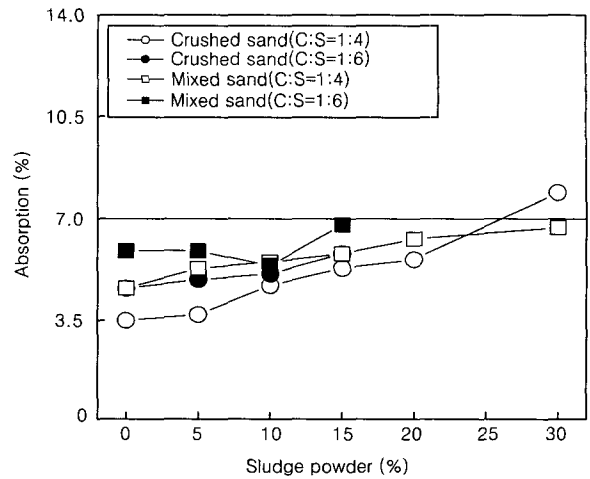


Fig. 11 Absorption versus contents of sludge powder

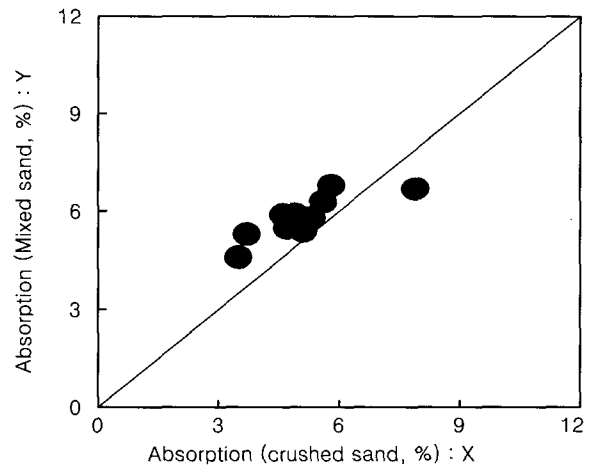


Fig. 12 Comparison of absorption considering sand kinds

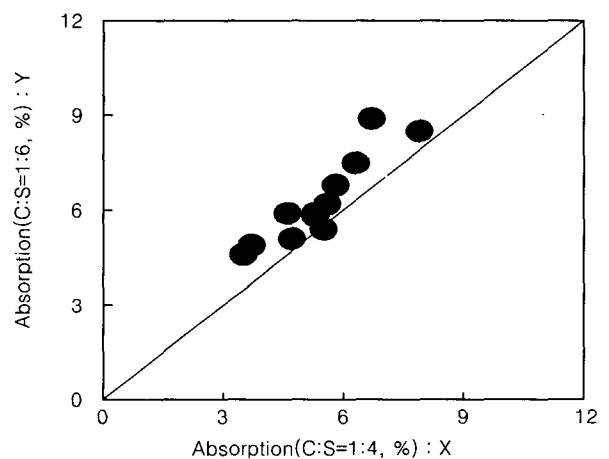


Fig. 13 Comparison of absorption considering mix proportions

#### 4. 결 론

본 연구에서는 부순골재 생산시 발생하는 슬러지 미립분을 시멘트 모르타르 제품에 활용하고자, 슬러지 미립분 혼입률과 골재 종류 및 모르타르 배합비를 변화시켜 강도 및 흡수율 특성을 중심으로 검토하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 단위용적중량은 슬러지 미립분 혼입률이 증가할수록 감소하였고, 부순모래를 사용한 경우가 혼합골재보다 14% 크게, 모르타르 배합비 1:4의 경우가 1:6보다 12% 크게 나타났다.

2) 휨강도와 압축강도는 미립분 혼입률 10%에서 무혼입에 대하여 각각 13% 및 10% 증가한 결과를 나타내었다. 골재종류별 휨강도와 압축강도는 부순모래를 사용한 경우가 혼합골재에 비하여 각각 9%, 14% 크게 나타났고, 배합비별로는 1:4의 경우가 1:6에 비하여 27%, 29% 크게 나타났다.

3) 흡수율은 미립분 혼입률이 증가할수록 커지는 결과를 나타내었는데, 혼입률 15%까지는 시멘트 모르타르 제품의 현행규정(7% 이하)을 만족하는 것이 확인되었다.

종합적으로 콘크리트 벽돌이나 인터로킹 블록 등의 제품용 시멘트 모르타르 제조시 부순골재에서 발생하는 슬러지 미립분을 골재에 대체하여 10% 정도 혼입할 경우는 품질이 향상되었고, 15% 정도 혼입할 경우는 기존제품과

유사한 품질을 확보할 수 있음이 확인되었다.

#### 참고문헌

1. 한국자원연구소, “石粉 슬러지 再活用 方案研究(II),” KR-95(C)-15 研究報告書, 1996.
2. 한국자원연구소, “석분을 이용한 타일제조기술 개발 연구,” 1992.
3. 손정수, 김병규, 김치권, “폐석 및 석분 슬러지를 활용한 인조석판재의 제조,” 한국자원리사이클링학회, 4(1), 1995, pp.4~11.
4. 한천구, 신병철, 김기철, 이상태, “골재의 입도 및 입형이 제품용 시멘트 모르타르의 강도 및 흡수율에 미치는 영향,” 한국콘크리트학회 논문집, 제12권 1호, 2000, pp.45~52.
5. 고성석, 이재용, “콘크리트블록造 強度에 影響을 미치는 因子의 影響度에 관한 研究,” 대한건축학회 논문집, 제15권 8호, 1999, pp.85~92.
6. 한천구, 신병철, 김기철, 이상태, “혼화재료가 공장제품용 시멘트 모르타르의 강도 및 동결융해저항성에 미치는 영향,” 한국콘크리트학회 논문집, 제12권 3호, 2000, pp.11~19.
7. 한천구, 김진선, 신병철, 김기철, 이상태, “인터로킹 블록의 품질에 미치는 물시멘트비와 화학혼화제의 영향,” 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제10권 2호, 1998, pp.157~160.
8. KS F 4419 : 보차도용 콘크리트 인터로킹 블록
9. KS F 4004 : 콘크리트 벽돌

#### 요 약

석산에서 부순잔골재를 생산시에는 다량의 슬러지 미립분이 배출되고 있다. 그러나, 실무현장에서는 슬러지의 일부를 매립용 등에 제한적으로 사용할 뿐, 대부분은 방치되거나 무분별하게 버려지고 있어 막대한 경제적 손실과 환경오염 문제를 유발시키고 있다. 따라서 본 연구에서는 석산폐기물인 슬러지를 공장제품용 시멘트 모르타르 제조에 골재대체용 충전재로 활용하기 위하여, 골재 종류 및 모르타르 배합비 등에 미립분 혼입률을 변화시켜 시멘트 모르타르의 강도 및 흡수 특성을 검토하였다. 연구결과, 시멘트 모르타르 제품을 제조할 때 슬러지를 골재에 10% 정도 대체하여 혼입하게 되면 기존의 시멘트 모르타르 제품보다 향상된 품질의 제품이 생산될 수 있는 것이 확인되었다.

**핵심용어 :** 슬러지 미립분, 시멘트 모르타르 제품, 강도특성, 흡수특성