

碎砂 및 石粉을 사용한 콘크리트 品質特性에 關한 研究

金 盟 起

〈双龍洋灰工業(株) 富川레미콘工場〉

1. 서 론

국내의 자연석 골재의 고갈로 인하여 레미콘 제조시 사용되는 골재의 원가가 상승될뿐만 아니라 향후 2~3 년후에는 석산개발에 의한 쇄사 및 해사의 사용이 불가피함에 따라서 당사에서 는 현재 자연쇄석 사용시 부수적으로 발생되고 있는 석분 및 향후 사용되어야 할 쇄사에 대한 기술 축적의 일환으로서 본 주제를 연구하게 되었음.

또한 소개하고자 하는 내용을 요약하면 쇄석 골재 생산공정에서 자연 발생하는 것과 제사기 에서 직접 생산되는 석분 및 쇄사는 그 제조 System으로부터 미분량의 혼입, 입형등이 천연 산 골재와 차이가 있기 때문에 자연사+ 쇄사 (혼합사) 쇄사+미분(석분)의 잔골재를 콘크리트 제조용으로 사용시 콘크리트의 성질, 단위수량, 잔골재율에 어떠한 영향을 미치는가에 대히

여 실험을 통하여 분석해 보고자 한다.

2. 석분 및 쇄사에 대한 연구

2-1 시험개요

골재생산시 필수적으로 생산되는 쇄사 및 석분을 레미콘 제조용 모래로 사용시 콘크리트 품질 특성 및 배합에 어떠한 영향을 미치는가를 확인함에 그 목적을 두고 있으며, 본 실험에서는 쇄사 단독 및 자연사+쇄사(혼합사: 10%, 15%, 20%, 25%) 사용시와 가장 사용성이 실용적인 석분의 미분함량 0%, 4%, 6%, 10%, 에서의 콘크리트 품질 특성 및 배합에 관한 실험을 실시하였다.

또한 여기에서 석분이라함은 굵은골재 생산시 8mm체 이하에서 발생하는 미분을 함유한 모래를 말하며, 쇄사란 석분을 습식 분급에 의한 미분을 제거한 모래를 말함.

		산 지	흡수율 (%)	단위용적 (kg/m ³)	실적율 (%)	조립율 (F.M)	비 중	씻기손실 (%)
잔 골 재	자연사	한강(3공구)	1.11	1,593	61.1	2.52	2,607	1.2
	쇄 사	〃	1.21	1,605	60.8	2.67	2,640	0.94
	석 분	〃	1.83	1,583	60.7	2.78	2,610	10.4
굵 은 골 재		〃	0.57	1,640	61.8	6.92	2,652	1.3

2.2 사용 재료

- (1) 시멘트 : 쌍용 영월산 보통 포틀랜드 시멘트, 비중 : 3.15
- (2) 골재

2.3 시험 계획

2-3-1 잔골재 시료별 콘크리트 시험

- (1) 적용 실험 계획법 : 반복있는 1 원배치법
- (2) 인자 및 수준 소개
- (3) 품질특성 : 시료별 단위수량, 압축강도,

Workability 및 S/A 관계

2.3.2 혼합사(자연사+쇄사) 콘크리트 시험

- (1) 적용 실험 계획법 : 반복있는 1 원배치법
- (2) 인자 및 수준 소개
- (3) 품질특성 : 시료별 단위수량, 압축강도,

Workability 및 S/A 관계

2.3.3 석분(쇄사+미분) 콘크리트 시험

- (1) 1 차 시험

- (1-1) 적용 실험 계획법 : 반복있는 2 원배치법
- (1-2) 인자 및 수준 소개
- (1-3) 품질특성 : 단위수량, 압축강도, Workability 및 S/A 관계

- (2) 2 차 시험

○ Bleeding 및 Air Test (미분 혼입량별 비교시험)

○ 배합 : 25~210-8 Air 6.0%

2.4 시험 결과의 검토

2.4.1 잔골재 시료별(자연사, 쇄사, 석분) 콘크리트 시험 결과 분석

- (1) 단위수량 및 잔골재율(S/A)의 관계

그림 1 은 모래의 종류에 따라서 Slump 고정시 단위수량과 W/C 고정시 Slump 변화관계를 나타낸 것이다. 그림에서도 나타난 것과 같이 자연사보다 쇄사와 석분의 단위수량이 증가하며, 그 증대비율은 쇄사에서 3.2%, 석분 4.9

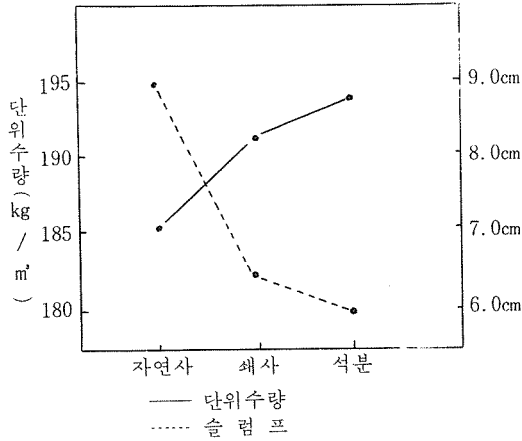
A	A ₁	A ₂	A ₃	비 고
시료 구분별	자연사	쇄사	석분	실험 순서는 Random하게

A	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
혼합사(자연사+쇄사)	0%	10%	15%	20%	25%

인 자	작 수 준
A : 미분혼합비 (%)	A ₁ : 0%, A ₂ : 2%, A ₃ : 4%, A ₄ : 6%, A ₅ : 10%
B : 배합비별	B ₁ : 25-135-8, B ₂ : 25-210-8, B ₃ : 25-240-8

구 분 항목	W / C 고정		Slump 고정 (8회)		비 고
	Slump (cm)	작업성	단위수량 (kg/m ³)	작업성	
자연사	9.0	○	182	○	○ : 양호 △ : 보통 × : 불량 *W / C 고정 시험은 별도 실시
쇄사	6.5	×	191	×	
석분	6.0	×	194	△	

그림 1. 시료별 단위수량 관계



%로 석분이 가장 높은 단위수량을 나타내고 있다.

이와같은 현상은 쇄사와 석분은 인공적으로 파쇄된 입자이므로 자연사와의 입상현상이 틀린 것에 기인된 것으로 판단된다.

또한 쇄사와 석분사용시 콘크리트의 소요 Workability를 얻기 위한 시험으로서 Slump (8, 12cm)를 고정시키고 S/A 및 W/C를 변화시킨 결과 쇄사는 S/A 2.0~2.5% 증가(자연사와의 비교시), 석분은 S/A를 변화시키지 않더라도 소요 Workability를 얻을 수 있는 것으로 판단되었음.

(2) 압축강도

(2-1) 분산분석표

요 인	S. S	d. f	V	F ₀ (0.05)
A	2,432	2	1.216	15.9
E	458	6	76.3	(**)
T	2,890	8		

(2-2) 실험 DATA (28일 강도 kg/cm²)

A ₁ (자연사)	A ₂ (쇄사)	A ₃ (미분)
286	309	323
295	327	340
301	318	339

(2-3) 점 추정

자연사 ($\mu\hat{A}_1 = \bar{x}_1 = 294 \text{ kg/cm}^2$)

쇄사 ($\mu\hat{A}_2 = \bar{x}_2 = 318$ ")

석분 ($\mu\hat{A}_3 = \bar{x}_3 = 334$ ")

(2-4) 평균차에 대한 구간추정

$$(\bar{x}_i - \bar{x}_j) \pm t \left(\phi E, \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$\mu\hat{A}_1 - \mu\hat{A}_2 = 24 \pm 17.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mu\hat{A}_1 - \mu\hat{A}_3 = 40 \pm \text{ " }$$

$$\mu\hat{A}_2 - \mu\hat{A}_3 = 16 \pm \text{ " }$$

위의 통계적 분석에 의하면 각 수준간의 유의 수준 5%에서 압축강도의 차가 있다고 할 수 있는 결론을 얻었으므로 자연사에 비하여 쇄사 및 석분의 압축강도(28일)가 상승한다는 것을 알았으며, 그 증가율은 통계적 추정에 의하여 다음과 같다.

쇄사 : 자연사에 비하여 2~14%의 압축강도 상승하며,

석분 : 자연사에 비하여 7.5~19.5%의 압축강도 상승하며, 쇄사에 비하여 같거나 10%의 압축강도 상승한다.

이와같이 자연사에 비하여 쇄사 및 석분이 압축강도가 높게 나타나는 이유는 엇자의 입상현상이 모가나거나 표면적이 크고 거칠므로 부착력이 자연사에 비하여 높기 때문에 콘크리트의 단위수량은 증가되나, 강도발현은 높게 나타나는 것으로 사료됨(자연석과 쇄석관계와 비슷한 현상).

2.4.2 혼합사(자연사+쇄사) 콘크리트 시험 결과 분석

(1) 단위수량 및 잔골재율(S/A)의 관계

항 목 혼합율(%)	단 위 수 량	작 업 성	비 고
0	185	○	*시험 DATA는 3회 시험의 평균치임 *작업성은 판능검사 ○ : 양호 △ : 보통
10	184	○	
15	187	○	
20	187	△	
25	188	△	

그림 2. 혼합비별 단위수량관계

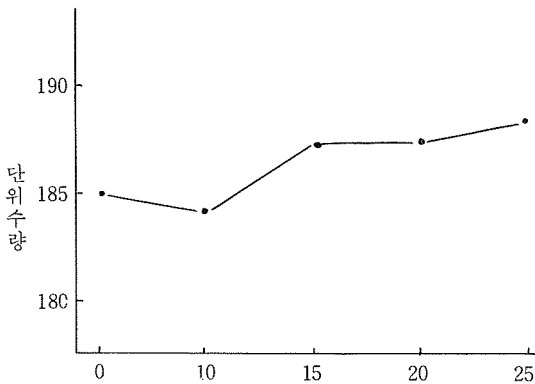


그림 2는 쇄사의 혼합비율에 따라서 단위수량과 작업성시험을 한 것이다. 그림 2에서 나타난 것과 같이 쇄사의 혼합비가 높을수록 다소의 단위수량이 증가하는 추세이며, 작업성은 15%이하에서는 Plain 콘크리트와 차이가 없었으나, 20% 이상에서는 다소 떨어지는 추세를 나타내었음.

따라서 혼합비 20%이상에서는 S/A 를 0.5~1.0%증가시키는 것이 바람직함(분산 분석결과 혼합비별 단위수량간에는 차가 없는 것으로 나타났으나, 시험오차에 기인된 것으로 사료됨).

(2) 압축강도

(2-1) 실험 DATA (28일 강도, kg/cm²)

A ₁ (0%)	A ₂ (10%)	A ₃ (15%)	A ₄ (20%)	A ₅ (25%)
271	281	284	283	303
279	277	281	298	293
282	276	278	282	293

(2-2) 분산 분석표

요 인	S. S	df	V	Fo(0.05)
A	764.9	4	191.2	5.90
E	324.0	10	32.4	(*)
T	1.088.9	14		

(2-3) 점추정

$$\mu\hat{A}_1(0\%) = \bar{X}_1 = 277\text{kg/cm}^2$$

$$\mu\hat{A}_2(10\%) = \bar{X}_2 = 278\text{kg/cm}^2$$

$$\mu\hat{A}_3(15\%) = \bar{X}_3 = 281\text{kg/cm}^2$$

$$\mu\hat{A}_4(20\%) = \bar{X}_4 = 288\text{kg/cm}^2$$

$$\mu\hat{A}_5(25\%) = \bar{X}_5 = 296\text{kg/cm}^2$$

(2-4) 평균치 차에 대한 구간 추정

$$(\bar{x}_i, \bar{x}_j) \pm t\left(\phi E, \frac{\alpha}{2}\right) \sqrt{\frac{ZVE}{m}}$$

$$\mu\hat{A}_1 - \mu\hat{A}_3 = 1 \pm 11.4\text{kg/cm}^2$$

$$\mu\hat{A}_1 - \mu\hat{A}_5 = 4 \pm \quad "$$

$$\begin{aligned} \mu\hat{A}_1 - \mu\hat{A}_4 &= 11 \pm \quad \text{''} \\ \mu\hat{A}_1 - \mu\hat{A}_5 &= 19 \pm \quad \text{''} \end{aligned}$$

위의 통계적 분석 유의 수준 5%에서 쇄사의 혼합비가 증가하면 증가할수록 콘크리트의 강도는 증가한다는 것을 알 수 있었으며, 그 증가율은 혼합비 10%에서 자연사에 비하여 같거나, 5% 정도의 압축강도 상승, 혼합비 20%에서 자연사에 비하여 같거나 8% 정도의 압축강도 상승 추세를 보이고 있음.

2.4.3 석분의 콘크리트 시험결과 분석

(1) 단위수량 및 잔골재율(S/A)의 관계

(1-1) 실험 DATA

(Slump 동일)				
배합별 미분(%)	A ₁ B ₁ (25-135-8)	B ₂ (25-180-8)	B ₃ (25-240-8)	S/A보정
A ₁ (0%)	179	188	189	Plain + 3%
	182	183	187	
A ₂ (2%)	183	186	193	Plain +2.0%
	180	184	186	
A ₃ (4%)	193	189	189	Plain +1.5%
	184	188	192	
A ₄ (6%)	196	201	205	Plain +1.5%
	189	107	199	
A ₅ (10%)	195	201	205	Plain +1.5%
	193	199	206	

(1-2) 분산분석표

요 인	S. S	df	V	F (0.05)
A	1, 197.8	4	299.4	**29.9
B	297.3	2	148.6	14.9**
A×B	57.4	8	7.2	0.72
E	150.5	15	10.0	
T	1,703	29		

(1-3) 점추정

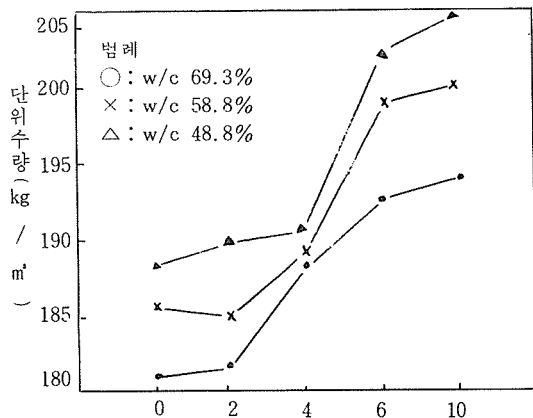
$$\begin{aligned} \mu\hat{A}_1 (0\%) &= \bar{x}_1 \dots = 184.7 \\ \mu\hat{A}_2 (2\%) &= \bar{x}_2 \dots = 185.3 \\ \mu\hat{A}_3 (4\%) &= \bar{x}_3 \dots = 189.2 \\ \mu\hat{A}_4 (6\%) &= \bar{x}_4 \dots = 197.8 \end{aligned}$$

$$\mu A_5 (10\%) = \bar{x}_5 \dots = 199.8$$

미분의 혼입량과 단위수량 관계를 그림 2에 나타내었다. 분산 분석 결과 유의 수준 5%에서 A 인자와 B 인자가 유의하므로 미분이 혼입되면 동일 Slump를 요하는데 쇄사에 비하여 단위수량이 증가하는 추세이며, 미분 혼입량 4% 정도까지는 그렇게 심한 단위수량 증가는 보이지 않으나, 6% 이상에서는 갑자기 단위수량이 증가하는 추세임.

따라서 미분혼입량이 15~20%일 경우의 단위수량은 Plain에 비하여 상당히 증가될 것으로

그림 2. 혼합비별 단위수량변화



판단됨.

또한 미분증가에 따라 S/A 를 1~1.5% 증가 시켜 콘크리트 배합시험시 4% 이하에서는 Workable 한 콘크리트를 얻을 수 있었으나, 10% 수준에서의 콘크리트 작업성은 Plastic 이 과잉상태인 것 같아 다소 불량한 상태의 작업성을 나타내었음.

(2) 압축강도 (28 일)
(2-1) 실험 DATA

배합별 미분(%)	B ₁ (25-135-8)	B ₂ (25-180-8)	B ₃ (25-240-8)
A ₁ (0 %)	189	267	328
	181	273	307
A ₂ (2 %)	193	277	313
	187	288	336
A ₃ (4 %)	201	283	331
	197	294	349
A ₄ (6 %)	211	293	347
	212	291	343
A ₅ (10%)	210	298	330
	215	293	344

(2-2) 분산분석표

요 인	S. S	df	V	F (0.05)
A	2,840.5	4	710.1	10.9 *
B	91,246.2	2	45,623.1	699.7 ***
A×B	230.1	8	28.8	0.44
E	977.5	15	65.2	
T	95,294.3	29		

(2-3) 점추정

$$\begin{aligned} \mu \hat{A}_1 &= \bar{x}_1 \cdots = 257.5 \\ \mu \hat{A}_2 &= \bar{x}_2 \cdots = 265.7 \\ \mu \hat{A}_3 &= \bar{x}_3 \cdots = 275.8 \\ \mu \hat{A}_4 &= \bar{x}_4 \cdots = 282.8 \\ \mu \hat{A}_5 &= \bar{x}_5 \cdots = 281.7 \end{aligned}$$

그림 3. 혼합비별 압축강도 변화

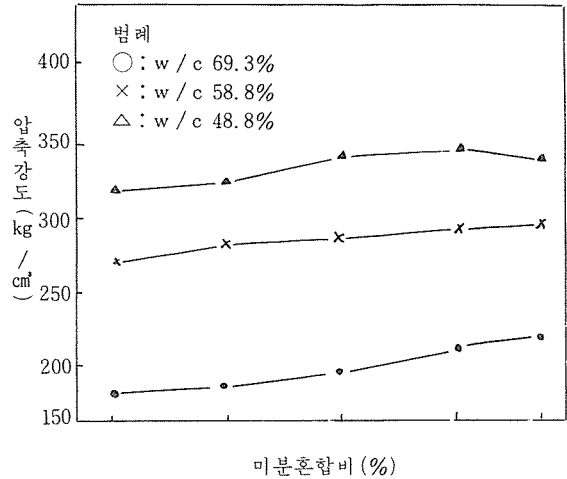


그림 3의 추세와 같이 쇄사에 미분이 함유되면 단위수량은 증가하는 반면 콘크리트 강도역시 상승한다는 것을 알 수 있으며, 통계적인 분산분석 결과 미분의 혼합비가 증가하면 증가할수록 압축강도는 증대하는 경향이 있다는 것이 확인되었다.

그러나 15% 이상의 미분 함유시 단위수량 증가로 인하여 강도 증가율이 10% 이하보다 떨어질 것으로 사료됨.

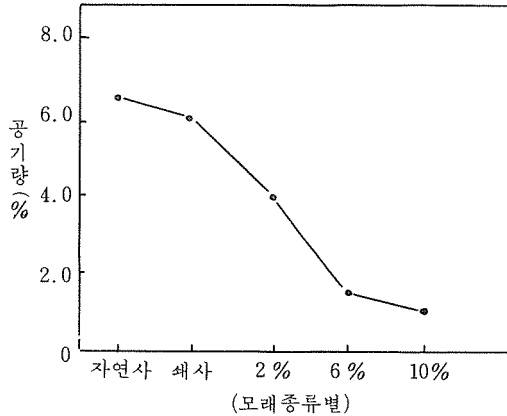
그 증가율은 점추정을 참고로 하면 4% 이하에서는 2~7.0% 압축강도상승, 6~10% 사이에서는 10% 정도의 강도 증진율을 보이고 있음.

(3) 공기량 및 Bleeding 관계

구 분	항 목	Air (%)	Bleeding (%)		
			30분	60분	90분
자 연 사		6.5	1.26	1.69	1.22
	쇄 사	6.0	1.21	1.60	1.23
석 분	2%	4.0	1.11	1.32	1.20
	6%	1.5	0.83	0.87	0.74
	10%	1.0	0.86	0.73	0.47

그림 4에서 알 수 있는 것과 같이 미분량과 공기량과의 관계는 쇄사중의 미분분이 증대하는

그림 4. 모래 종류별 공기량 변화



것에 따라서 공기량은 감소한다. 그 감소율은 자연사 콘크리트에 비하여 미분 2%에서 공기량 2.5%감소, 6%에서 5.0%감소, 10%에서 5.5% 감소하는 추세이고, 또한 쇄사를 사용한 콘크리트는 자연사보다 공기량이 다소 떨어지고 있다.

따라서 석분을 사용한 콘크리트에는 AE 감수제, A. E제 등으로 공기연행을 시키면 Workable 한 콘크리트를 얻을 수 있는 것으로 판단됨. 미

분분이 증가함에 따라서 Bleeding 율은 자연사 콘크리트보다 점차 떨어지고 있다. 이것은 쇄사 및 미분이 가지고 있는 보수성에 기인된 것이다. 따라서 내구적인 콘크리트를 얻기 위해서는 단위수량을 감수 시킬수 있는 혼화제 사용이 바람직함.

2.5 결 론

2.5.1 쇄사 및 석분을 콘크리트에 사용시 자연사 사용 콘크리트 품질특성보다 떨어지지 않는다. 다만 콘크리트의 품질특성의 유지를 위한 관리가 가장 중요하다고 생각된다. 또한 쇄사 및 석분 사용한 콘크리트에 A. E제, A. E감수제등을 사용하여 공기를 연행시키며, 단위수량을 감소시키면 소요의 작업성을 갖는 콘크리트 생산이 가능하다고 사료됨. 석분을 레미콘에 사용시 생산공정의 파쇄기중, 원석의 품질에 따라서 석분의 품질변동이 크므로 입도관리 및 철저한 품질수준 관리가 필요하다고 판단된다. 본 실험의 결과 석분 단독으로 레미콘제조가 가능하다는 결론을 얻었음. *