

콘크리트 제조에 있어서 석분활용에 대한 기초적 연구

연 규 석
(강원대학교 농공학과 교수)

김 기 성
(강원지방공업기술원 연구사)

전 근 표
(주)호반레미콘 과장)

1. 서 론

근래에 이르러 건설사업이 활발해짐에 따라 콘크리트의 수량도 급격히 증가하고 있으며 이에 수반하여 콘크리트의 원자재 또한 심각한 부족난에 직면하고 있다.

특히 자연골재의 부족은 몇 년전부터 제기되어 왔던 문제이며, 현재는 자연석을 채취하여 선별 사용후 남는 막자갈을 파쇄하여 사용하고 있는 실정이다.

지역에 따라 다소의 차이는 있으나 콘크리트용 자연산 골재는 거의 고갈된 상태이며, 이에 대처하기 위한 방안의 하나가 부순골재를 제조하여 자연산 골재와 함께 콘크리트용 골재를 사용하고 있다.

이같은 부순골재를 생산할 때는 부산물로 석분이 상당량 생산되고 있어 이것의 용도는 시멘트 벽돌이나 블록을 생산할 경우 소량이 사용될 뿐, 방치되고 있어 그 처리문제 또한 심각한 실

정이다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트의 원자재부족의 해결과 동시에 석분의 효과적 이용방안을 강구할 목적으로 자연석 파쇄후 부수적으로 생산되는 석분을 사용하여 콘크리트를 제조, 그것의 이용 가능성 및 한계치에 대해 구명해 보았던 바 그 결과를 보고한다.

2. 재료 및 방법

(1) 시험재료

가. 시멘트

국내 H사 제품인 보통 포틀랜드 시멘트로서 그것의 화학적 성분 및 물리적 성질은 각각 <표-1> 및 <표-2>와 같다.

<표 - 1> 시멘트의 화학적 성분 (단위 : %)

성 분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	M ₂ O	SO ₃	기타
구성율	22.2	5.4	3.3	64.2	2.2	2.1	0.6

〈표 -2〉 시멘트의 물리적 성질

성능	비중	분말도 (블레인) (cm ² /g)	응결시간		압축강도(kg/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
시험치	3.15	3.230	3 : 50	5 : 45	206	268	344

나. 골재

시험에 사용된 잔골재는 강모래로서 물리적 성질 및 입도곡선은 각각 〈표-3〉 및 〈그림-1〉과 같고, 굵은 골재는 부순자갈로 골재의 최대

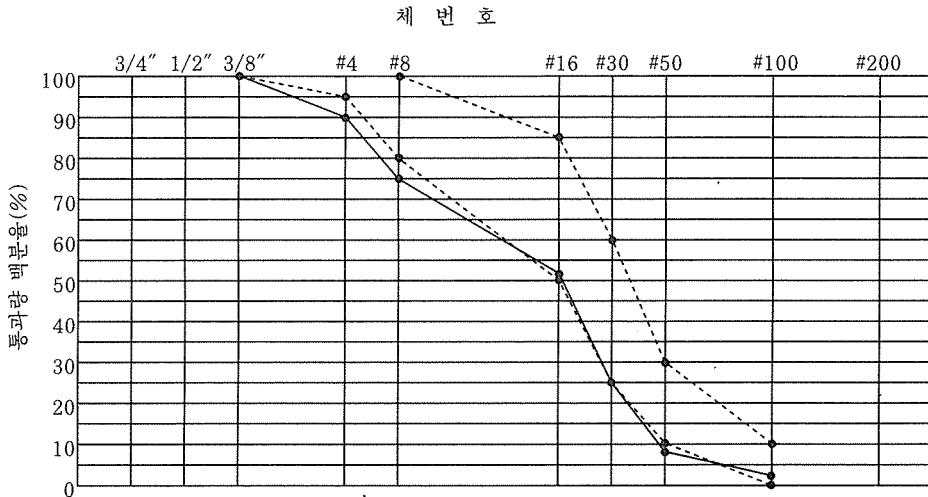
치수는 25mm였으며, 물리적 성질 및 입도곡선은 각각 〈표-4〉 및 〈그림-2〉와 같다.

〈표 -3〉 잔골재의 물리적 성질

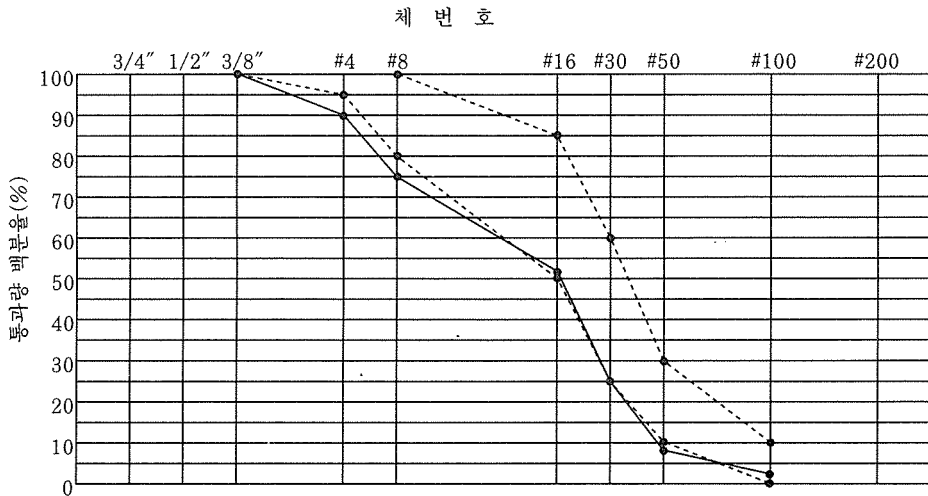
구분	비중	흡수율	조립율	단위중량	#200 통과량	비고
시험치	2.58	1.03%	3.46	1,688kg/m ³	1.28%	

〈표 -4〉 굵은 골재의 물리적 성질

구분	비중	흡수율	조립율	단위중량	마모율	비고
시험치	2.64	1.31%	7.3	1,540kg/m ³	21%	



〈그림-1〉 잔골재의 입도곡선



〈그림-2〉 굵은 골재의 입도곡선

다. 석분

잔골재 치환용으로 사용된 석분의 화학적 성분 및 물리적 성질은 각각 <표-5> 및 <표-6>과 같으며, 입도 곡선은 <그림-3>과 같다.

<표-5> 석분의 화학적 성분 (단위 : %)

시료 성분	1	2	3	4	5	평균치
Ig ₁ -Loss	1.36	1.57	1.27	1.12	1.69	1.40
SiO ₂	68.78	68.86	71.50	72.90	69.52	70.31
Al ₂ O ₃	15.49	15.48	14.56	13.63	15.14	14.86
Fe ₂ O ₃	4.41	4.37	3.44	3.62	4.41	4.05
CaO	2.81	1.97	1.68	1.57	1.99	2.00
MgO	0.33	0.91	0.85	0.78	1.22	0.82
Na ₂ O	2.53	2.38	2.53	2.59	2.33	2.47
K ₂ O	4.11	3.90	4.17	4.00	3.68	3.97

<표-6> 석분의 물리적 성질

구 분	비 중	흡수율	조립율	단위중량	#200 통과량	비고
시험치	2.66	1.32%	3.17	1,122kg/m ³	8.20%	

라. 혼화제

국내 Y사 제품인 AE 감수제를 사용하였으

며, 그것의 성질은 <표-7>과 같다.

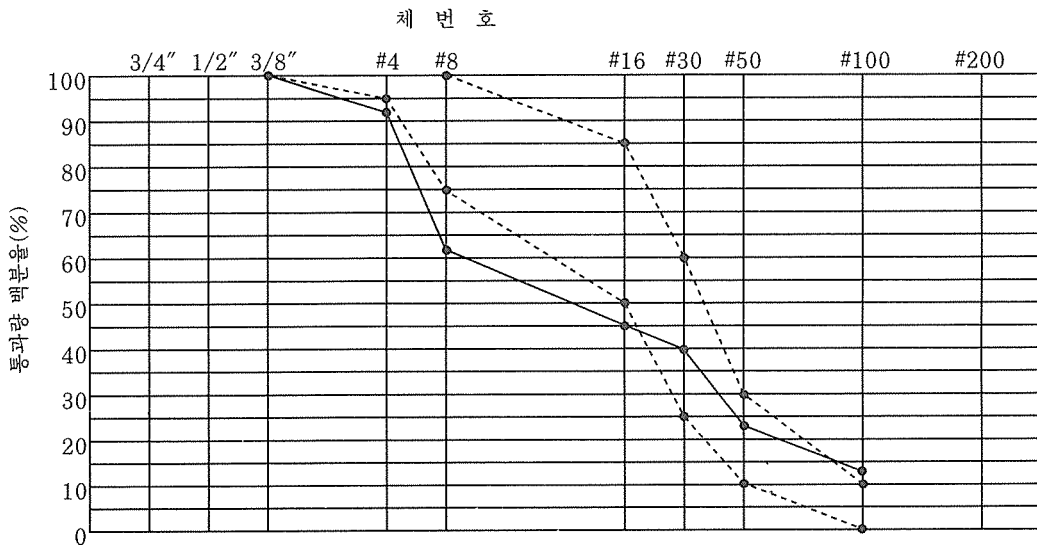
<표-7> 감수제의 성질

구 분	감수율	pH	비 중	비 고
시험치	11.2%	7.3	1.186	

(2) 시험용 콘크리트의 배합

기본배합비는 W/C=48.2%, S/a=47.2%로 하여 배합설계를 하였던 바, 물 158kg, 시멘트 328kg, 잔골재 840kg, 굵은골재 938kg, AE혼화제 0.492kg로 결정되었다.

여기에 잔골재를 석분으로 10%, 20%, 30%씩 치환하였으며, 이를 기본으로 배합의 영향을 다양하게 하기 위해 다음의 3가지 경우로 변형시켜 보았다. 즉 ① W/C와 감수제 사용량을 고정시켜 슬럼프를 조절하지 않은 경우, ② 감수제를 고정시키고 W/C를 변화시켜 슬럼프를 일정하게 조절한 경우, ③ W/C를 고정시키고 감수제를 변화시켜 슬럼프를 일정하게 조절한 경우로 구분하여 콘크리트를 배합하였던 바 그 내용은 <표-8>과 같다.



<그림-3> 석분의 입도곡선

〈표-8〉 시험용 콘크리트 배합표

(단위 : kg/m³)

구	분	시멘트	잔골재	석 분	굵은골재	사용수량	감수제	비 고
기 본 배 합		328	840	—	938	158	0.492	
W/C고정 감수제고정	잔골재 10% 치환	328	756	84	938	158	0.492	
	잔골재 20% 치환	328	672	168	938	158	0.492	
	잔골재 30% 치환	328	588	252	938	158	0.492	
W/C변화 감수제고정	잔골재 10% 치환	328	756	84	938	170	0.492	
	잔골재 20% 치환	328	672	168	938	178	0.492	
	잔골재 30% 치환	328	588	252	938	189	0.492	
W/C변화 감수제변화	잔골재 10% 치환	328	756	84	938	158	0.492	
	잔골재 20% 치환	328	672	168	938	158	0.738	
	잔골재 30% 치환	328	588	252	938	158	0.984	

(3) 공시체 제작 및 양생

- 가. 압축강도 및 정탄성계수 시험용으로는 $\phi 10 \times 20$ cm인 원주형 공시체를 사용하였다.
- 나. 공시체 제작방법은 KS F 2403에 준하였다.
- 다. 양생은 소정의 재령까지 $21 \pm 3^\circ\text{C}$ 로 유지되는 수조에서 수중양생 시켰다.

넣어 72시간과 168시간 경과한 때의 pH를 측정하였다.

- 바. 균열양상은 $50 \times 50 \times 15$ cm 공시체를 제작하여 즉시 건조 오븐에 넣은 후, 4시간 경과하였을 때 온도를 40°C 로 상승 조절하여 48시간 경과한 후 조사하였다.

(4) 시험방법

- 가. 공기량 및 슬럼프 시험은 각각 KS F 2409 및 KS F 2402에 준하여 실시하였다.
- 나. 콘크리트의 블리딩 시험은 KS F 2411에 준하여 실시하였다.
- 다. 압축강도 시험용 기기는 암슬러형 만능시험기(전동 유압식 100t)이며, 시험은 KS F 2405에 준하였다.
- 라. 정탄성계수는 KS F 2408에 규정된 방법에 따라 시험하였으며, 변형량은 파괴강도의 40%까지 재하하여 측정하였다.
- 마. pH변화 시험은 기본 배합에서의 모래와 시멘트의 비를 유지키 위해 잔골재 84g, 시멘트 32.8g을 표준치로 하였으며, 석분 치환의 영향을 파악키 위해 잔골재 대신 석분으로 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%씩 치환 한 후 용출용 증류수를 2l

3. 결과 및 고찰

(1) 공기량 및 슬럼프

시험용 콘크리트에 대한 공기량 및 슬럼프 시험결과는 〈표-9〉와 같으며 이를 도시한 것이 〈그림-4〉 및 〈그림-5〉이다.

우선 잔골재의 치환율에 따른 공기량의 변화를 살펴보면, W/C를 변화시키고 감수제를 고정시켜 슬럼프를 조절했을 경우 치환율의 증가에 따라 감소했으나, W/C를 고정시키고 감수제를 고정시켜 슬럼프를 조절치 않은 경우와 W/C를 고정시키고 감수제를 변화시켜 슬럼프를 조절한 경우는 공기량이 증가하는 경향을 보였다.

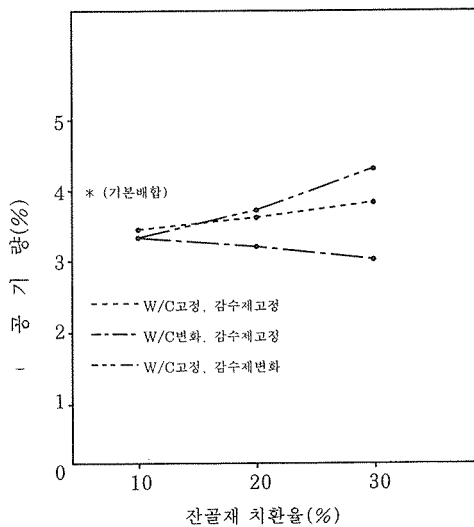
이러한 결과로 부터 W/C가 공기량에 큰 영향을 미친다고 할 수 있으며, 이는 기본배합의 경우 발생하는 공기량보다 대체적으로 작게 나타남을 알 수 있다.

다음에 잔골재의 치환율에 따른 슬럼프 변화

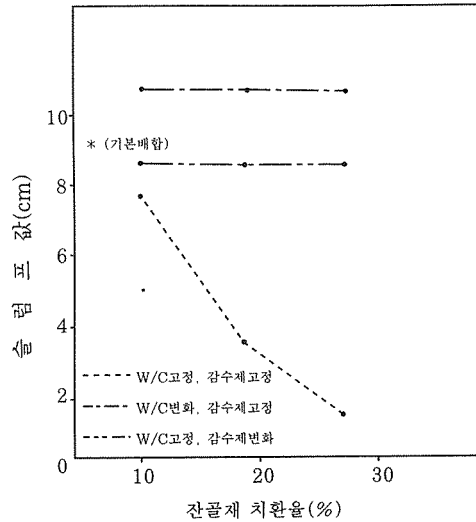
를 살펴보면 W/C를 변화시켜 슬럼프를 조절한 경우와 감수제를 변화시켜 슬럼프를 조절한 경우는 당연히 일정한 슬럼프를 보이고 있으나 W/C를 고정시키고 감수제를 고정시켜 슬럼프를 조절치 않은 경우는 치환율의 증가에 따라 현저한 슬럼프의 저하를 보여주고 있어 일단 석분은 워커빌리티에 마이너스 요인으로 작용함을 알 수 있다.

〈표-9〉 공기량 및 슬럼프 시험결과

구	분	공기량(%)	슬럼프(cm)	작업성	비고
기 본 배 합		3.9	9.5	양 호	
W/C고정 감수제고정	잔골재 10% 치환	3.4	7.5	양 호	
	잔골재 20% 치환	3.6	3.5	불 량	
	잔골재 30% 치환	3.8	1.5	극히불량	
W/C변화 감수제고정	잔골재 10% 치환	3.3	10.5	양 호	
	잔골재 20% 치환	3.2	10.5	양 호	
	잔골재 30% 치환	3.0	10.5	양 호	
W/C변화 감수제변화	잔골재 10% 치환	3.3	8.5	양 호	
	잔골재 20% 치환	3.7	8.5	양 호	
	잔골재 30% 치환	4.3	8.5	양 호	



〈그림-4〉 잔골재의 일부를 석분으로 치환한 콘크리트의 공기량 변화



〈그림-5〉 잔골재의 일부를 석분으로 치환한 콘크리트의 슬럼프 변화

(2) 블리딩

시험용 콘크리트에 대한 블리딩(bleeding) 시험을 한 결과는 〈표-10〉과 같으며, 이를 도시한 것이 〈그림-6〉이다.

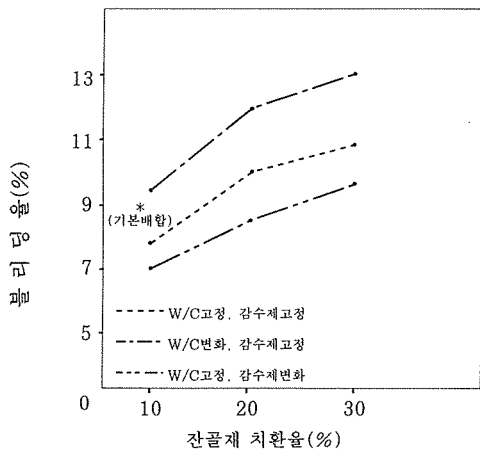
이 결과에서 볼 때 블리딩율은 잔골재 치환율의 증가에 따라 현저한 증가경향을 알 수 있는데, W/C를 고정하고 감수제를 변화시킨 경우가 가장 낮았고, W/C를 변화시키고 감수제를 고정시킨 경우가 가장 높게 나타났다.

〈표-10〉 블리딩 시험 결과

구	분	블리딩양(cm^3/cm^2)	블리딩율(%)	비고
기 본 배 합		0.196	8.34	
W/C고정 감수제고정	잔골재 10% 치환	0.194	7.76	
	잔골재 20% 치환	0.304	9.85	
	잔골재 30% 치환	0.370	10.90	
W/C변화 감수제고정	잔골재 10% 치환	0.270	9.50	
	잔골재 20% 치환	0.448	11.97	
	잔골재 30% 치환	0.474	12.98	
W/C변화 감수제변화	잔골재 10% 치환	0.175	7.05	
	잔골재 20% 치환	0.211	8.47	
	잔골재 30% 치환	0.239	9.71	

따라서 석분은 블리딩을 증가시키며, W/C에 큰 영향을 미친다고 할 수 있는바, 이러한 블리딩을 감소시키기 위해서는 단위수량을 줄이고 감수제를 사용하여 슬럼프를 조절하는 것이 바람직함을 알 수가 있다.

이는 <그림-6>에서 기본 배합시의 블리딩을 을 기준으로 할 때 W/C를 변화시켜 슬럼프를 조절한 경우는 높게, 감수제로 슬럼프를 조절한 경우는 훨씬 낮게 나타난 것만으로도 입증 가능성이 있다고 하겠다.



<그림-6> 잔골재의 일부를 석분으로 치환한 콘크리트의 블리딩율

(3) 압축강도

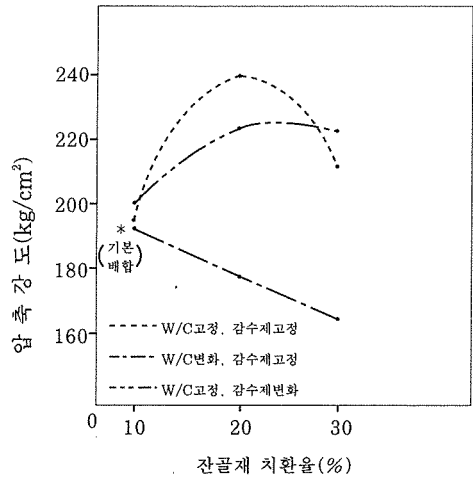
시험용 콘크리트에 대한 압축강도 시험을 재령 7일과 28일에서 실시하였던 바 <표-11>과 같은 결과를 얻었으며, 이를 도시한 것이 <그림-7> 및 <그림-8>과 같다.

우선 잔골재 치환율에 따른 7일 압축강도와 28일 압축강도 변화를 살펴보면 거의 비슷한 양상을 나타내고 있다.

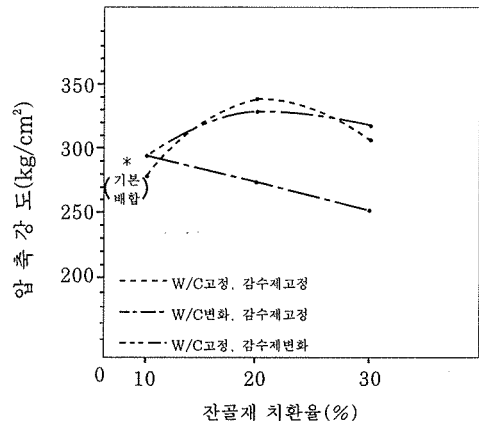
즉 W/C를 고정시킨 경우는 감수제를 고정시키거나 변화시키더라도 기본배합보다 압축강도가 높게 나타났으나 W/C를 변화시켜 슬럼프를 조절한 경우는 감수제를 고정시킨다 하더라도

현저한 압축강도저하 양상을 보였다.

따라서 역시 W/C비가 콘크리트의 강도에 일정한 관계가 있다는 범용화된 이론이 여기서도 입증됨을 알 수 있는 바 W/C비로서 슬럼프를 조절하는 것은 매우 바람직하지 못하며, 만약 조절이 필요한 경우는 감수제를 사용해야만 할 것이다.



<그림-7> 잔골재의 일부를 석분으로 치환한 콘크리트의 7일 압축강도



<그림-8> 잔골재의 일부를 석분으로 치환한 콘크리트의 28일 압축강도

〈표-11〉 압축강도 시험결과

(단위 : kg/cm²)

구	분	7 일 강 도				2 8 일 강 도			
		1	2	3	평균	1	2	3	평균
기 본 배 합		183	204	206	198	262	306	298	289
W/C고정 감수제고정	잔골재 10% 치환	196	183	206	195	283	331	219	278
	잔골재 20% 치환	255	216	250	240	335	332	350	339
	잔골재 30% 치환	201	224	211	212	299	309	311	306
W/C변화 감수제고정	잔골재 10% 치환	204	214	188	202	298	262	321	294
	잔골재 20% 치환	163	171	211	182	250	303	272	275
	잔골재 30% 치환	169	158	171	166	257	267	234	253
W/C변화 감수제변화	잔골재 10% 치환	206	178	191	192	278	308	295	294
	잔골재 20% 치환	235	225	219	226	346	323	316	328
	잔골재 30% 치환	217	216	244	225	339	300	321	320

한편 W/C를 고정했을 경우 잔골재 치환율에 따라 증가하는 경향을 보이고 있으나 20%를 정점으로 다시 감소하는 경향을 보여 결국 압축강도만을 고려할 때는 20% 정도가 적절한 치환율이라고 할 수 있겠다.

(4) 정탄성계수

시험용 콘크리트에 대한 정탄성계수 시험 결과는 〈표-12〉와 같으며, 이를 도시한 것이 〈그림-9〉이다.

이 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 압축강도

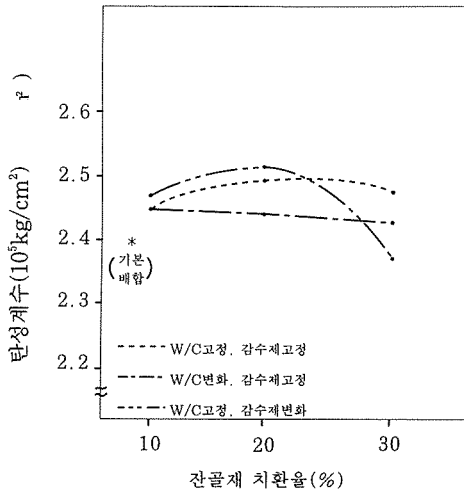
시험 결과와 비슷한 경향으로서 W/C를 고정시켰을 경우는 치환율 20%를 정점으로 감소했으나 W/C를 변화시켜 슬럼프를 조절했을 경우는 지속적인 저하 경향을 보였다. 그러나 기본배합의 경우와 비교할 때 비교적 높은 정탄성계수를 나타냈다.

따라서 W/C를 고정시키고 감수제로 슬럼프를 조절할 경우 최대 20% 까지 잔골재를 치환한다 하더라도 정탄성계수에 큰 문제점은 없을 것으로 사료된다.

〈표-12〉 정탄성계수 시험결과

(단위 : kg/cm²)

구	분	1	2	3	평 균
기 본 배 합		246,055	245,594	239,578	243,742
W/C고정 감수제고정	잔골재 10% 치환	244,351	248,182	243,100	245,211
	잔골재 20% 치환	240,888	246,760	244,909	244,185
	잔골재 30% 치환	239,401	246,875	244,378	243,551
W/C변화 감수제고정	잔골재 10% 치환	246,617	243,609	244,795	245,007
	잔골재 20% 치환	246,707	248,855	250,159	248,573
	잔골재 30% 치환	244,925	246,741	251,303	247,656
W/C변화 감수제변화	잔골재 10% 치환	245,027	245,916	250,193	247,045
	잔골재 20% 치환	252,364	250,147	252,926	251,812
	잔골재 30% 치환	232,425	239,566	239,639	237,210



〈그림-9〉 잔골재의 일부를 석분으로 치환한 콘크리트의 정탄성계수

(5) pH값

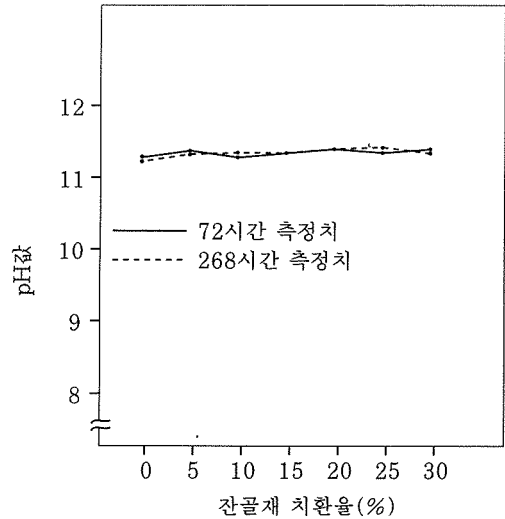
골재의 pH값은 알칼리 골재반응에 영향을 미치는 기본 요소가 된다. 즉 알칼리 성분이 많은 골재는 알칼리 골재 반응을 일으킬 수 있는 가능성이 높기 때문이다. 따라서 이 시험에서는 석분으로 잔골재를 치환하였을 때 치환율에 따른 pH값 변화를 측정해 보았던 바 〈표-13〉과 같으며, 이를 도시한 것이 〈그림-10〉이다.

〈표-13〉 잔골재 치환율에 따른 pH값 변화

잔골재치환율(%)	72시간	168시간	비 고
0	11.24	11.23	
5	11.36	11.35	
10	11.25	11.26	
15	11.26	11.26	
20	11.28	11.28	
25	11.25	11.26	
30	11.34	11.32	

이러한 결과들을 통해 볼 때 pH값은 11정도로써 강한 알칼리를 보이고 있으나 잔골재의 치환율에 따라 큰 차이를 나타내지 않는 것으로 보아 석분의 첨가가 알칼리 양의 증가에 큰 영

향을 미치지 않는 것으로 판단할 수 있으며, 따라서 알칼리 골재 반응의 촉진 요인으로는 작용하지 않을 것으로 사료된다.



〈그림-10〉 잔골재의 일부를 석분으로 치환한 경우의 pH값

(6) 균 열

시험용 콘크리트의 균열특성을 각 배합비별로 조사하였으나 10개의 배합비 모두에서 균열을 전혀 발견할 수 없었다.

따라서 잔골재의 일부를 석분으로 치환하더라도 균열발생의 용인이 될 수 없다고 할 수 있겠다.

4. 종합논의

(1) 시험결과에 대한 논의

앞에서 제시한 공기량 및 슬럼프, 블리딩, 압축강도, 정탄성계수, pH값 그리고 균열에 대한 시험결과들을 종합해 볼 때 잔골재의 일부를 석분으로 치환하여 사용한다면 그 치환율은 약 15% 정도가 적합한 것으로 사료된다.

위커빌리티를 고려치 않고 강도나 기타 물리적 성질만 보면 20% 선에서도 별 문제가 없다고 하겠으나 W/C와 감수제를 고정했을 경우는

위커빌리티가 문제로 대두된다. 물론 이의 해결을 위해서는 감수제를 더 첨가할 수 있으나 경제성이 문제시 된다.

따라서 치환율을 15% 정도로 하면 물리적 성질이나 경제성 양면을 모두 만족시킬 수 있을 것으로 사료된다.

특히 본 연구에서 사용한 석분중 유해물질인 #200체 통과량이 8.2% 밖에 되지 않으며, 나머지 91.8%는 잔골재로서 유용한 것이라 할 수 있다.

(2) 각종 자료와의 비교논의

이 시험연구에서 제시한 석분사용의 한계치가 각종 규정이나 선행연구와 합치하는지를 알아보기 위한 KS 및 참고문헌에서 발췌한 내용을 제시하면 <표-14> <표-15> 및 <그림-11>과 같다.

우선 <표-14>의 규정만 비교해 보더라도 마모작용을 받는 경우 최대 #200체 통과량을 5%까지 함유할 수 있는 것으로 되어 있다.

<표-14> 잔골재의 유해물 함유량의 허용치(KS F 2526)

종 류	전시료에 대한 최대중량 백분율(%)
점토 덩어리	3.0
No.200체 통과량 콘크리트 표면이 마모 작용을 받는 경우	3.0*
기타의 경우	5.0*
석탄 및 갈탄 콘크리트의 표면이 중요한 부분	0.5
기타의 경우	1.0

* 부순 모래의 경우 No.200체를 통과하는 재료가 점토나 조개껍질이 아닌 돌가루인 경우 각각의 허용치를 5%와 7%로 높여도 좋다.

그러나 본 연구에 사용된 석분의 #200체 통과율은 8.2%로서 30%를 치환했을 경우라도 유해물질은 2.4% 밖에 안되고, 잔골재 자체가 지닌 #200체 통과율 1.28%를 포함시켜도 2.4% 밖에 안되며 잔골재 자체가 지닌 #200체

통과율 1.28%를 포함시켜도 3.68% 밖에 되지 않으므로 KS F 2526의 규정에 어긋나지 않음을 알 수 있다.

한편 참고문헌으로부터 인용된 <그림-11>의 경과와 비교해 볼때 순수한 경·사암 분말도 15%까지 잔골재 대신 치환할 수 있는 것으로 보아 이 연구에서 제시하고 있는 석분의 치환 한계치는 무리가 없는 값이라 할 수 있겠다.

<표-15> 굵은 골재의 유해물 함유량의 허용치(KS F 2526)

종 류	전시료에 대한 최대중량 백분율(%)
점토 덩어리	5.0
연한 석편*	5.0
5회의 안정성시험, 50회의 동결(-18℃) 융해(4℃)시험**, 표면 건조 포화상태의 비중이 2.35 이하인 불량한 규질암*** 노출이 심할 때	1.0
노출이 심하지 않을 때	5.0
골재 씻기 시험에 없어지는 것(No.200체 통과량)	1.0***
석탄 및 갈탄 콘크리트의 표면이 중요한 부분	0.5
기타	1.0

* 이 허용치는 굵은 골재의 연한 석편이 콘크리트 구조물에 중대한 영향을 미치는 부분, 보기를 들면 육중한 마루 표면의 경도가 특별히 요구되는 노출면에 적용된다.

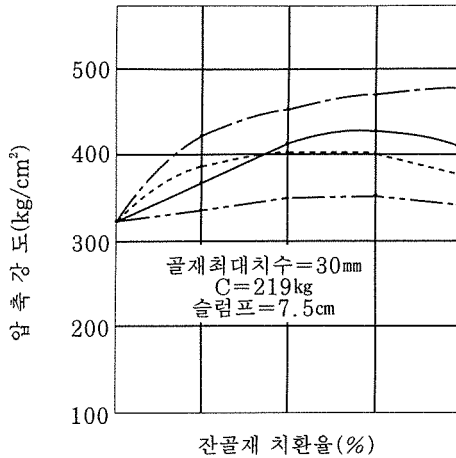
** 붕괴는 눈으로 보아 실제 할열(割裂)된 것을 말한다.

*** 규질암이 불량한 골재에만 적용하며, 자갈은 규질암으로서 우수하므로 적용하지 않는다. 이러한 골재의 안정성을 사용 기록에 따라 제한한다.

**** 부순 모래의 경우에 씻기 시험에서 없어지는 것은 돌가루이고, 점토, 조개껍질 등을 함유하지 않을 경우에는 그 최대치를 각각 5%, 7%로 해도 좋다.

5. 결 론

잔골재의 일부를 석분으로 치환하여 사용할 때 그것의 적정치를 결정기 위해 본 연구를 수행하였던 바, 각종 시험을 통해 나타난 결과를 요약하면 다음과 같다.



〈그림-11〉 잔골재의 일부를 미분말로 치환한 콘크리트의 압축강도(KS F2511)

- ① 사용된 석분의 주성분은 SiO_2 이며, 유해물이라 할 수 있는 #200체 통과율은 8.2%로서 나머지 91.8%는 잔골재로서 유용한 것이라 할 수 있겠다.
- ② 공기량은 W/C를 고정시킨 경우 치환량의 증가에 따라 많아졌으며, 슬럼프치는 W/C와 감수제의 양을 고정시켰을 경우 현저히 감소해 석분이 워커빌리티에는 마이너스 요인으로 작용하였다.
- ③ 석분은 블리딩을 증가시키는 바 이를 낮추기 위해서는 단위수량을 줄이고 감수제를 사용하는 것이 바람직하다고 할 수 있겠다.
- ④ 압축강도는 치환율의 증가에 따라 높아져 20%에서 가장 크게 나타났다. 그러나 W/C를 크게하여 슬럼프를 조절한 경우는 연속적

으로 낮아졌으므로 실용배합시 주의를 요한다.

- ⑤ 정탄성계수, pH값, 균열에 대한 시험 결과들은 석분의 치환율 증가에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.
- ⑥ 결론적으로 볼 때 잔골재의 일부를 석분으로 치환할 수 있는 적정치는 15%라고 사료되며, 이는 KS F 2526에 규정된 유해물 함량 한계치 보다도 훨씬 작은 양이라고 할 수 있겠다.

참 고 문 헌

1. 李會晚, 粘土의 含量이 콘크리트의 強度에 미치는 影響, 江原大 研究論文集, 第9輯, 1975, pp.179~187.
2. 박승범, 최신 토목재료 시험, 문운당, 1983, pp.65~67.
3. 문한영, 건설재료학 문운당, 1986, pp.77~94.
4. 岡田清, 콘크리트의 耐久性, 朝倉書店, 1988, pp.78~104.
5. Javed I. Bhatti and Kenneth J. Reid, Compressive Strength of Municipal Sludge Ash Mortars, ACI Materials Journal, July-August, 1989, pp.394~400.
6. V. M. Malhotra and G. G. Carrette, Performance of Concrete Incorporating Limestone Dust as Partial Replacement for Sand, ACI Journal, May-June, 1985, pp.363~371.