

규사 혼입 콘크리트의 역학적 특성에 관한 연구

A Study on the Mechanical Properties of Concrete with Silica Sand

김 경 옥* 정 호 철** 김 제 원*** 실 광 옥**** 부 척 량*****
 Kim, Keong Hok Jeong, Ho Chul Kim, Jae Won Seol, Gwang Wook Boo, Cheong Yang

<ABSTRACT>

The aims of this study is to test silica sand abundantly buried over the country as a concrete admixture material, and investigate its utility as a replacement for the favored nature resource to prevent the economic loss.

1. 서론

현대 문명의 급속한 발전과 더불어 건축구조물의 고층화, 대형화 그리고 특수화에 부응하여 지구상에서 단일 건설재료로서 상당한 양을 점유하고 있는 콘크리트는 막대한 양을 이용하게 되므로써 종전에 손쉽게 구할 수 있던, 양질의 자원은 고갈의 위기에 놓여 있고, 또한 자원환경의 보존 차원에서도 더 이상 채취할 수 없는 고갈현상은 날로 심화되고 있는 실정이다. 이에 따라 구조재료로서의 콘크리트의 제성질 개선과 고품질화 및 배합의 조정, 특수재료의 사용 등 다양한 기술적 제조수법을 통하여 소기의 목적에 도달할 수 있으며, 그 한 방안으로서 혼화재를 사용하는 방법이 유력시 된다. 종래 콘크리트의 품질개선을 위한 혼화재료 중에서 실리카 흙, 고로 슬래그 미분말, 플라이 애쉬 등의 사용에 대한 연구와 실용화가 이루어지고 있으며, 특히 실리카 흙은 콘크리트에 고분말도의 미분말을 첨가함에 따라 결합재간의 미립충진 재효과(micro filler effect)에 의해 시멘트 입자간에 조직이 치밀해져 콘크리트의 강도와 품질을 획기적으로 개선하는 혼화재료로 주목되고 있다.

그러나 이러한 장점을 갖고 있는 반면에 페로 실리콘 또는 실리콘메탈의 제조과정에서 부산물로 생산되는 실리카흙의 생산은 많은 전력이 소요되는 진리카다소비산업으로 알려져 있다.

이에 본 연구는 부존자원의 고갈화 문제에 따른 경제적 손실을 막기위하여 전국적으로 매장량이 풍부한 규사를 콘크리트용 혼화재료로서의 이용 가능성과 실용화 및 경제적인 측면을 고려하여 규사로 대체하였을 경우 압축강도 및 인장강도의 증진에 대해 검토해 보고자 한다.

2. 실험

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트 및 골재

시멘트는 국내 D사 보통 포틀랜드 시멘트 1종을 사용하였으며, 잔골재는 강모래를 사용하였고 굵은 골재는 최대크기를 25mm로 조정된 쇠석골재로서 각각의 물리적 성질은 [표 2·1], [표 2·2]와 같다.

[표 2·1] 시멘트의 물리적 성질

비 중	안정성	분말도 (cm ³ /g)	응결시간 (h-m)		압축강도 (kg/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	양 호	3434	3-15	6-25	222	284	398

- * 전남대학교 공학석사
- ** 전남대학교 대학원 석사과정
- *** 전남대학교 박사과정
- **** 전남대학교 박사과정
- ***** 경희원, 전남대학교 교수, 공학박사

[표 2·2] 골재의 물리적 성질

종류	표준비중	최대크기 (mm)	단위용적중량 (kg/m ³)	흡수율				
				흡수율	공기량	실적율	더모율	
잔골재	2.66	4.75	1672	1.56	35.1	64.9	-	2.65
굵은골재	2.72	25	1475	1.23	46.0	54	23.5	6.71

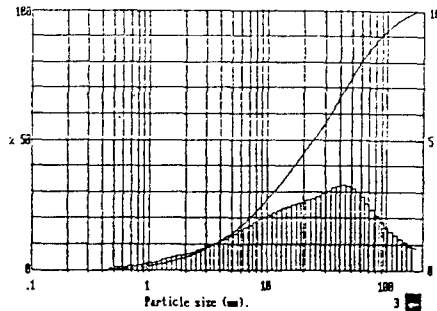
2.1.2 혼화재 및 유동화제

본 실험에 사용된 인조규사는 전남 화순산의 규사중 8호사(60~110mesh)를 선택한 것으로 규사의 화학적 성분은 [표 2·3]과 같고, 인조규사 미분말의 입도분포를 조사하기 위한 레이저 빔 회절분석 결과는 [그림 2·1]과 같으며 규사 미분말은 30~50 μ m에서 입경의 피이크(Peak)가 나타났다.

[표 2·3] 규사의 화학적 성분

성분	화 학 적 성 분 (%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	기타	비중
규사	83.22	10.00	2.21	0.39	0.19	3.99	2.68

(1) 규사의 입도분포



[그림 2·1] 규사의 입도분포

(2) 유동화제

낮은 물시멘트비, 고분말도의 혼화재 사용 등으로 인한 슬럼프 저하를 감안하여 고성능 감수제인 나프탈렌 설폰산계와 고감수 분산제의 복합체인 대주 셀프로를 사용하였다.

2.2 배 합

본 실험에서 사용된 실험인자 및 수준은 단위 시멘트량을 279.3kg/m³, 387.5kg/m³의 2가지, 각각의 단위시멘트량에 대하여 규사의 치환율을 0%, 5%, 10%, 15%, 20%의 5가지로 하였으며

갯수는 재령 3, 7, 28일의 압축강도와 28일 인장강도 측정을 위해 각각 3개씩 총 120개를 제작하였다.

실험에 사용된 배합상세는 다음 [표 2·4]와 같다.

2.3 공시체 제작 및 양생

콘크리트의 압축강도를 측정하기 위한 공시체는 KS F 2105(콘크리트의 압축강도 시험 방법)에 따라 $\phi 15\text{cm} \times h30\text{cm}$ 의 몰드를 사용하여 재령 3, 7, 28일에 대한 압축강도 및 인장강도에 대하여 각각 3개씩 제작 하였다. 콘크리트는 다짐막대를 사용하여 3층으로 나누어 채웠다. 시멘트풀이 캔핑관에 붙지 않도록 광물성 기름을 얇게 칠했으며 타설한 공시체는 24~48시간 경과한 뒤 탈형하여, 20±3°C의 항온수조에서 소요재령 까지 양생하였다.

2.4 측정방법

양생한 공시체는 시험재령별로 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법)에 준하여 U.T.M(만능시험기, Universal Testing Machine)을 사용하여 압축강도 및 인장강도를 측정하였다. 응력-변형을 곡선은 100t 용량의 U.T.M을 사용하여 가해진 하중을 변형측정기로 받아서 측정하였다. 시험체의 단면적은 지름을 2회 측정한 후, 평균값을 취하여 산출하였다.

공시체는 가압판의 중심에 오도록 조절한 후, 재하속도를 매초 1.5~3.0kg/cm²/sec로 하여 공시체가 파괴될 때까지 가압하였다. 콘크리트의 가압강도는 공시체가 받은 최대하중을 단면적으로 나누어 구하였다.

3. 실험결과

3.1 반응생성물의 결정상

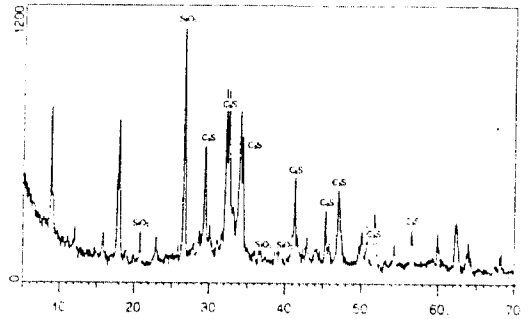
[그림 3·1~3·4]은 전남대학교 공과대학 보유 X-Ray Diffractometer(X선 회절계)를 이용하여 28일간 기증양생한 시멘트 페이스트와 혼화재 치환 페이스트를 X선 회절분석(X-Ray Diffractometer)한 결과를 나타낸 것이다.

X선 회절분석 결과 규사 분말은 화학적으로

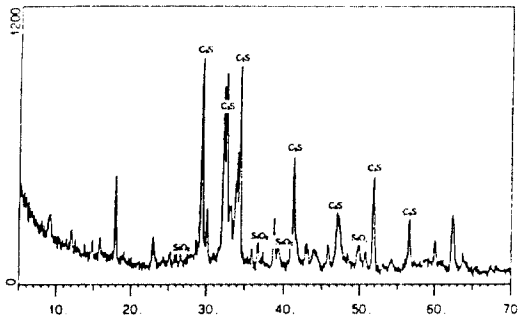
[표 2·4] 배합상세

혼화재	혼화재 치환율 (%)	배치당 재료량(kg/m ³)					혼화제 (%)
		시멘트	혼화재	잔골재	굵은골재	물	
규사 (A TYPE)	0	279.3	-	786	1107	162	-
	5	265.3	14	786	1107	162	-
	10	251.3	28	786	1107	162	-
	15	237.4	41.9	786	1107	162	-
	20	223.4	55.9	786	1107	162	-
규사 (B TYPE)	0	387.5	-	697	1174.5	155	0.5
	5	368.1	19.4	697	1174.5	155	0.6
	10	348.8	38.8	697	1174.5	155	0.7
	15	329.4	58.1	697	1174.5	155	1
	20	310	77.5	697	1174.5	155	1.1

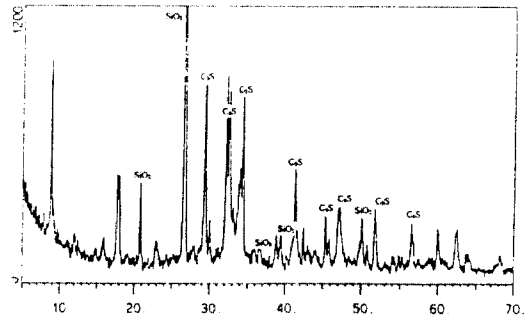
대단히 안정한 결정성 Silica로서 비결정질에서 발생할 수 있는 포졸란 반응같은 화학반응은 일어나지 않았다. 규사 분말을 치환하지 않은 콘크리트(이하 플레인 콘크리트라 함) 보다 치환율 5%에서 SiO₂의 피이크가 크게 나타났으며, 치환율이 높을수록 SiO₂의 피이크는 크게 나타났다. 보통포틀랜드 시멘트의 수화반응후 화합물은 Alite(C₃S), Belite(C₂S), Celite(C₃A), Felite(C₄AF) 등이 있는데 시멘트 화합물 조성의 많은 부분을 차지하고 있는 Alite(C₃S), Belite(C₂S)의 피이크가 나타났다.



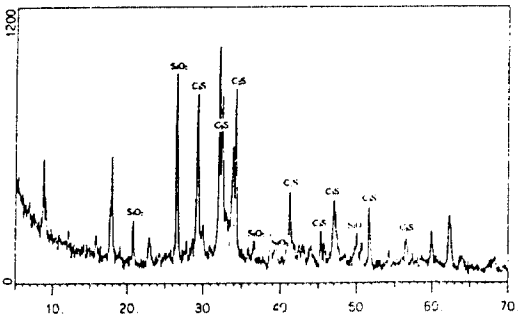
[그림 3·3] 규사치환(10%) 페이스트의 X선 회절분석



[그림 3·1] 시멘트 페이스트의 X선 회절분석



[그림 3·4] 규사치환(15%) 페이스트의 X선 회절분석

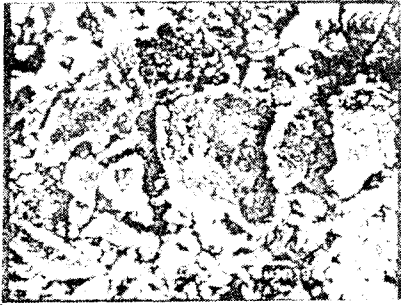


[그림 3·2] 규사치환(5%) 페이스트의 X선 회절분석

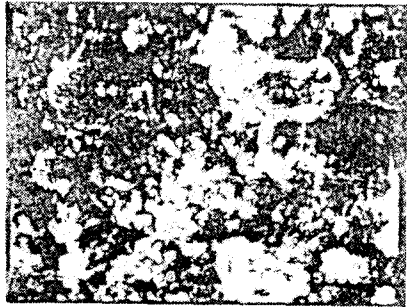
3.2 반응생성물의 형상

[사진 3·1~3·4]은 전남대학교 공과대학 보유 Scanning Electron Microscope(SEM, 주사전자 현미경)을 사용하여 28일간 기중양생한 시멘트 페이스트와 혼화재 치환 페이스트를 전자현미경으로 1,500배 확대 촬영한 것이다. 전자현미경 사진 분석결과, 시멘트 페이스트의 경우 결정사이의 공극이 상당히 큰 반면에 혼

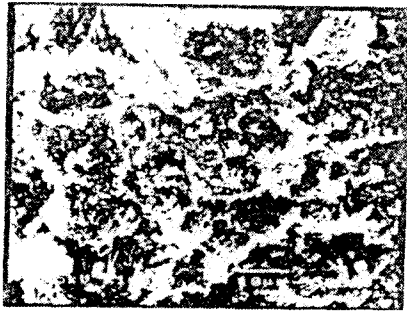
회재 치환 페이스트를 보면 시멘트 페이스트 결정 사이의 공간이 유사 미분말로 상당히 충진되어 있음을 알 수 있다.



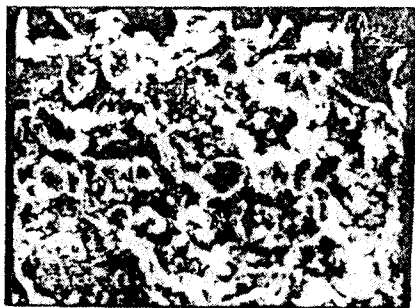
[사진 3·1] 시멘트 페이스트의 SEM 사진



[사진 3·2] 규사치환(5%) 페이스트의 SEM 사진



[사진 3·3] 규사치환(10%) 페이스트의 SEM 사진



[사진 3·4] 규사치환(15%) 페이스트의 SEM 사진

3.3 혼화재의 치환율에 따른 압축·인장강도

혼화재의 치환율에 따른 콘크리트 압축·인장강도의 변화는 다음 [표 3·1], [표 3·2]와 같다.

[표 3·1] 압축·인장강도 실험결과

치환율	A타입 강도(kg cm ²)			
	3일	7일	28일	인장강도
0	58	101.3	189	19.34
5	66.5	101.9	204	20.24
10	58	110.9	205.1	20.31
15	48.1	94.8	180.9	18.85
20	58.6	100.4	188.6	19.3

[표 3·2] 압축·인장강도 실험결과

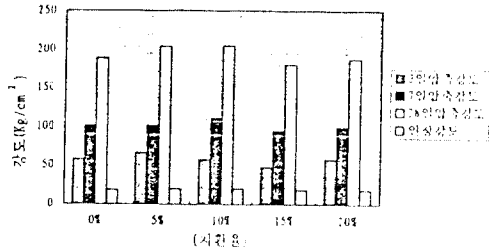
치환율	B타입 강도(kg cm ²)			
	3일	7일	28일	인장강도
0	128.5	189.3	317	27.02
5	147.2	206.8	340	28.4
10	150.8	209.4	352.8	29.65
15	121.4	176	299.7	26
20	113.7	140.4	252.8	22.56

[그림 3·5~3·6]은 플레인 콘크리트에 대한 혼화재 치환 콘크리트의 압축·인장강도 관계를 나타낸 것이다.

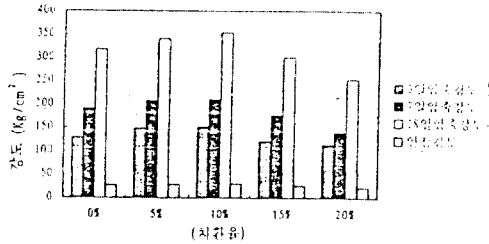
단위시멘트량이 A 타입인 경우 규사의 치환율이 5%일때 재령 28일 압축강도는 치환율이 0%인 콘크리트의 압축강도 보다 7.94%정도 증가하고 있으며, 치환율이 10%인 경우에는 약 8.52%증가하는 반면 치환율이 15%, 20%인 경우는 오히려 감소하는 경향을 나타내었다.

단위시멘트량이 B 타입인 경우 규사의 치환율이 5%일때 재령 28일 압축강도는 치환율이 0%인 플레인 콘크리트의 압축강도 보다 7.26%정도 증가하고 있으며, 치환율이 10%인 경우에는 약 11.29% 증가하는 반면 치환율 15%, 20%인 경우는 단위시멘트량이 A 타입인 경우와 마찬가지로 오히려 강도가 감소하는 것으로 나타났다.

인장강도의 경우도 단위시멘트량이 변하고 있음에도 불구하고, 치환율 10%에서 가장 높은 강도증가를 보이고 있다.



[그림 3·5] 규사의 치환율에 따른 강도 변화(A 타입)

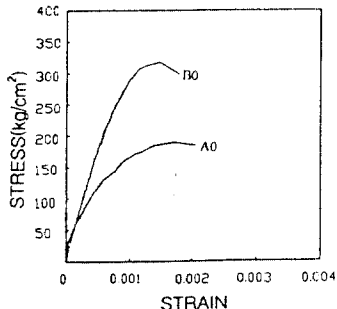


[그림 3·6] 규사의 치환율에 따른 강도 변화(B 타입)

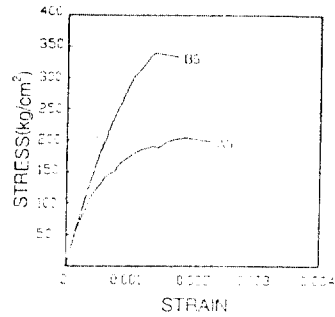
3.4 응력-변형률

[그림 3·7~3·11]은 혼화재의 치환율에 따른 콘크리트의 응력-변형률 곡선을 나타내고 있다. 규사 혼입 콘크리트의 응력-변형률 곡선의 양상을 살펴보면 단위시멘트량이 A타입인 규사혼입 콘크리트는 비선형적인 거동을 보인 반면 단위시멘트량이 B타입인 규사혼입 콘크리트는 재하초기에 거의 선형거동을 보이다가 최대응력도 가까이에서 부터 비선형거동을 나타내었다. 단위시멘트량 A타입인 경우 최대응력에서의 변형률은 0.0015~0.0019이고 B타입인 경우 최대응력에서의 변형률은 0.0014~0.0017로 나타났다.

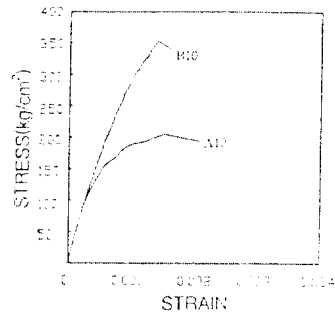
이와같은 사실을 고려해 볼 때 규사의 적정 치환율(5~10%)일때 플레인 콘크리트 보다 취성적임을 알 수있다.



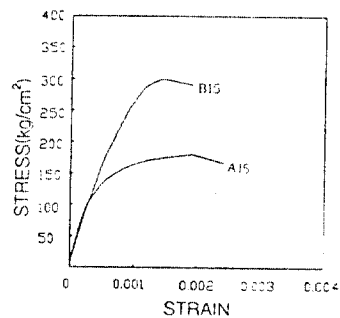
[그림 3·7] 규사 혼입 콘크리트의 응력-변형률 곡선 (단위시멘트량 A, B타입, 치환율 0%)



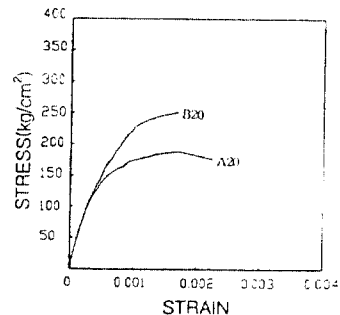
[그림 3·8] 규사 혼입 콘크리트의 응력-변형률 곡선 (단위시멘트량 A, B타입, 치환율 5%)



[그림 3·9] 규사 혼입 콘크리트의 응력-변형률 곡선 (단위시멘트량 A, B타입, 치환율 10%)



[그림 3·10] 규사 혼입 콘크리트의 응력-변형률 곡선 (단위시멘트량 A, B타입, 치환율 15%)



[그림 3·11] 규사 혼입 콘크리트의 응력-변형률 곡선 (단위시멘트량 A, B타입, 치환율 20%)

4. 결 론

본 연구는 현대 문명의 발전과 더불어 건축구조물의 대형화 및 고층화 등의 추세에 종전에 손쉽게 구할 수 있던 부존자원이 고갈화 되므로써 이에 따른 경제적 손실을 막기위하여 전국적으로 매장량이 풍부한 규사를 콘크리트용 혼화재로서의 이용 가능성과 실용화 및 경제적인 측면을 고려하여 규사로 대체하였을 경우 압축강도 및 인장강도의 증진에 대해 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 치환율에 따른 압축강도는 설계 기준강도 종류별에 관계없이 규사 치환 콘크리트의 경우 대체적으로 플레인 콘크리트보다 높은 강도 발현을 나타냈으며, 치환율 10% 일때 가장 높은 강도발현을 보였고 그 강도증진율은 플레인 콘크리트보다 단위시멘트량이 A 타입인 경우 약 8.52%증가하고, 단위시멘트량이 B 타입인 경우 약 11.29% 증가하였다.

(2) 치환율에 따른 인장강도는 설계 기준강도 종류별에 관계없이 규사 치환 콘크리트의 경우 대체적으로 플레인 콘크리트보다 높은 강도 발현을 나타냈으며, 치환율 10% 일때 가장 높은 강도발현을 보였고 그 강도증진율은 플레인 콘크리트보다 단위시멘트량이 A 타입인 경우 약 5.02%증가하고, 단위시멘트량이 B 타입인 경우 약 9.77% 증가하였다.

이상과 같은 결과를 토대로 고찰해 볼 때 적정량의 규사(5~10%)를 사용할 경우 플레인 콘크리트보다 높은 압축강도를 기대할 수 있으며 시멘트 절감 효과와 콘크리트 제조 가격을 절감할 수 있을 것으로 사료됩니다.

참고문헌

- 1) 부척량, "철근콘크리트구조", 회성출판사, 1991
- 2) 부척량, "철근콘크리트구조설계", 기문당, 1995
- 3) 부척량 외1인, "강섬유 보강 모르타르및 콘크리트의 변형성상에 관한 연구", 대한건축학회 추계학술발표논문집, 7권 2호, 1987, pp.579~582
- 4) 부척량 외2인, "탄소섬유보강콘크리트의 일축 압축재하시의 역학적 특성에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회, 2권 3호, 1990. 9, pp.55~64
- 5) V.M.Malhotra, and G.G. Carrette, "Silica Fume Concrete-Properties", Applications and Limitations. Concrete International, Vol.5, No.5. 1983. pp.40~46
- 6) Jahren. P., "Use of Silica Fume in Concrete. Fly Ash, Silica Fume. Slag & Other Mineral By-Products in Concrete", ACI Publication. SP-79, 1983. pp.625~642
- 7) Swamy. R.N., "Early Strength Fly Ash Concrete for Structural Applications", ACI Journal. Sep-Oct. 1983
- 8) 김화중, "천연제올라이트를 이용한 콘크리트의 성질개선에 관한 연구", 경북대, 1992
- 9) 이상재, "섬유보강콘크리트 부재의 역학적 거동에 관한 연구", 전남대 학위논문, 1992
- 10) 김옥준교수 정년퇴임기념지 편집위원회, "한국의 지질과 광물자원", 연세대학교 지질학과 동문회, 1982
- 11) '93년도 광산물수급현황, 상공자원부 자원정책국, 1994. 4
- 12) 오병환, 고재근, "플라이애쉬 콘크리트의 강도 및 역학적 특성에 대한 연구", 콘크리트 학회지, 제3권 2호, 1991. 6, pp.87~95