

콘크리트의 내산성에 관한 실험적 연구

- 규사 분말 치환 콘크리트를 중심으로 -

An Experimental Study on the Acid-Resistance of Concrete

- Focused on concrete with silica sand particles -



윤보현*

Yoon, Bo Hyun



부척량**

Boo, Cheong Yang

ABSTRACT

This paper is an experimental study of the acid-resistance of concrete which contains silica sand particles. In the concrete sample experiment, the workability and strength as well as the acid-resistance of the hardened concrete is investigated. The results are as follows:

In an acid-resistance experiment on concrete digested in sulfuric acid, SS samples with 10~15% of substituted silica sand particles showed less strength decreases, weight decreases, shape deformation, neutralization depth increase, and pH decreases than those of GS and SF samples.

Acid-resistance according to w/c was higher at w/c 40% than at w/c 60%, that is to say, high acid-resistance was associated with a low w/c. It appears that this result is caused by the micro filler effect, and crystalline SiO_2 containing no erode characteristics in acid.

Keywords : Acid resistance of concrete, Silica sand, Sulfuric acid setting.

* 전남대 대학원 건축공학과 공학박사

** 정회원, 전남대 건축공학과 교수

• 본 논문에 대한 토의를 1997년 12월 30일까지 학회로 보내주시면 1998년 2월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

건설 산업의 기간 재료로서 건축, 토목 구조물 등에 폭넓게 사용되어 도시 기반 시설을 형성하고 있는 콘크리트는 시멘트의 수화 반응에서 생성된 수산화 칼슘으로 인하여 강한 알칼리성을 띠어 주변의 환경으로부터 철근을 방청 보호하는데 충분한 역할을 수행함으로써^{1,2)} 내구성이 우수한 재료로 알려져 콘크리트의 내구성에 관한 국내에서의 연구는 활발하게 진행되지 않았다.³⁾

최근 화석 연료 사용의 증가로 인한 환경오염의 심화는 대기, 토양 및 수중을 급속히 산성화시키고 있으며⁴⁾ 이로 인하여 콘크리트 구조물이 노후화 되고 내구성이 감소되는 경우가 많다는 사실이 미국, 유럽 및 일본 등지에서 보고되어 사회 문제화되고 있는 실정이다.^{5,6)}

자금까지 이 문제에 대한 대책과 관련된 연구는 수지, 코팅이나 함침 등에 의하거나⁷⁾ 포줄관계 혼화재를 이용하여 콘크리트 조직을 치밀하게 하여 화학 불질을 억제하는 방법이 대부분 이였다.⁸⁾ 그러나 전자의 방법들은 일반 구조물에 대하여 현장에서 직접 적용하기에는 시공상 여리 가지 문제점이 있었으며, 후자의 방법은 사용되는 혼화재의 성분 및 양에 따라 상이한 결과가 나타나기도 하였다.^{7,8)}

혼화재의 사용에 의한 내산성 증진에 관한 최근의 연구에 의하면 규사 분말은 결정성 SiO_2 가 주성분으로서, 상온에서 안정된 결정 구조를 유지하고, 반응성이 적어 산 및 알칼리에 침식되지 않는 성질을 지니고 있어, 페이스트 및 모르타시험체에 대한 내산성 실험 결과 모든 측정 항복에서 우수함이 확인되었다.^{9,10)} 또한 규사 분말은 다른 혼화재에 비하여 국내 매장량이 풍부하고 저가이므로 경제적으로 유리한 장점을 지니고 있다.

본 연구는 콘크리트의 내산성에 관한 연구의 일환으로서, 경제적이며, 시공성이 양호하고, 내산성 증진 효과가 뛰어난 규사 분말 치환 콘크리트의 물리적·역학적 성상 및 내산성에 관한 실험을 실시한 것이며, 이의 실용화에 이 연구의 목적이 있다.

이 실험에서는 규사 분말과 비교를 위하여 실리카 흄에 대하여도 동일한 실험을 실시하였으며 이를 보통포틀랜드시멘트 및 슬래그시멘트를 사용한 시험체

와 비교하였다.

2. 실험

2.1 사용 재료

1) 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 KS L 5021 규격품으로서 S사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 슬래그시멘트는 KS L 5210 규격품으로서 G사의 슬래그시멘트를 사용하였다.

2) 혼화재

본 실험에 사용된 혼화재는 규사 분말과 실리카 흄이며, 이의 물리적·화학적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1 Chemical composition and physical properties of silica sand and silica fume

Content Type	Chemical composition (%)					Specific gravity	
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO		
Silica sand	84.32	84.32	2.21	0.39	0.19	2.89	2.68
Silica fume	95.35	95.35	0.30	0.42	1.52	1.69	2.38

규사 분말은 전남 화순산 규사로서 No.230(63 μm) 체 통과분을, 실리카 흄은 GRACE사의 FORCE 10,000D (Densified Microsilica) 제품을 사용하였다. 규사 분말과 실리카 흄의 화학 조성은 Table 1에 표시한 바와 같이 SiO_2 를 주성분으로 하나, X-ray회절 분석 결과 주성분인 SiO_2 가 규사 분말의 경우 결정성 SiO_2 이며, 실리카 흄의 경우는 비정질 SiO_2 임을 알 수 있었다.¹¹⁾

3) 골재

본 실험에 사용된 골재는 전남 화순산 강모래와 쇠석 골재를 사용하였으며 골재의 최대 크기는 각각 5mm, 25mm이며, 골재의 물리적 성질은 Table 2,

Table 2 Physical properties of aggregate

Physical properties	Type	Fine aggregate	Coarse aggregate
Specific gravity		2.60	2.59
Maximum Size (mm)		4.76	25
Unit Weight (kg/m^3)		1672	1475
Absorption	%	1.56	1.23
Solid Volume	%	64.9	54.0
Fineness Modulus		2.65	6.71

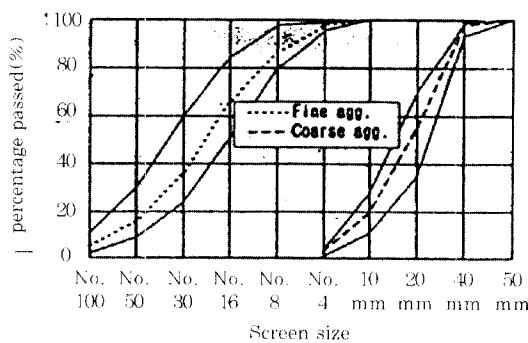


Fig. 1 Gradation curve of aggregate

입도 분포 곡선은 Fig. 1과 같다.

2.2 배합, 제작 및 양생

재료의 배합은 물결합재비($W/C + Ad$) 60%, 40%, 단위결합재량 $325\text{kg}/\text{m}^3$, $530\text{kg}/\text{m}^3$ 으로 시험배합후 결정하였다. 혼화재로 사용된 규사 분말과 실리카흡의 치환량은 시멘트 중량의 5, 10, 15%로 하였으며, 시험체의 배합상세는 Table 3와 같다.

PL시험체는 보통포틀랜드시멘트, GS시험체는 슬래그시멘트를 사용하여 제작하였으며, SS 및 SF시험체는 보통포틀랜드시멘트에 혼화재로서 규사분말 및 실리카흡을 5~15%치환하여 제작하였다.

시험체의 제작은 KS F 2403에 의하여 $\phi 10 \times$

Table 3 Mix proportion of concrete

Type	Admixtur 제	Unit Weight (kg/m^3) $W/C + Ad$ (60%~40%)				
		C	Ad	S	G	W
PL	-	325 530	0 0	837 857	960 889	195 212
		325 530	0 0	837 857	960 889	195 212
GS	-	325 530	0 0	837 857	960 889	195 212
		325 530	0 0	837 857	960 889	195 212
SS 5	Silica sand (SS)	325 504	46 25	837 687	960 889	195 212
		325 477	325 53	837 687	960 889	195 212
SS 10	-	325 477	325 53	837 687	960 889	195 212
		325 477	48.75 79	837 687	960 889	195 212
SS 15	-	325 477	46 25	837 687	960 889	195 212
		325 477	325 53	837 687	960 889	195 212
SF 5	Silica fume (SF)	309 504	36 26	837 687	960 889	195 212
		309 477	325 53	837 687	960 889	195 212
SF 10	-	292.5 477	325 53	837 687	960 889	195 212
		292.5 477	48.75 79	837 687	960 889	195 212
SF 15	-	276.25 501	48.75 79	837 687	960 889	195 212
		276.25 501	325 53	837 687	960 889	195 212

20cm의 몰드를 사용하였으며, 시험체의 수는 총 1344개 {물결합재비(60%, 40%)×시험체 종류(8 Type)×각 침지일수에 따른 Type별 시험체 수(84 개)} : $2 \times 8 \times 84$ 를 제작하였다. 제작된 시험체는 24~36시간이 지난 뒤 탈형하고, 28일 수중 양생후, 5%황산과 수중에 각각 84일 동안 침지시켰다.

2.3 침지 용액

침지 용액은 황산(H_2SO_4) 1급시약을 5%농도 (1.13N)로 물과 혼합하여 제조하였다. 용액의 양은 시험체를 충분히 용액 속에 담글 수 있는 양으로 각 침지조마다 침지용액비(침지 용액(L)/시험체 체적(V))를 2.5로, 용액의 온도는 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 일정하게 유지하였다. 용액의 농도 변화는 24시간마다 측정하여 조절하였으며, 2주마다 용액의 전량을 교체하였다.

2.4 실험 방법

본 연구를 위한 내산성 실험은 ASTM C 267, ASTM C 579, JIS원안의 콘크리트 내약품성 시험 방법^[15]에 준하여 실시하였다. 또한 침지일수의 경과에 따른 각 시험체의 응력-변형도 관계의 변화를 고찰하였다.

3. 실험 결과

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

혼화재의 종류 및 치환량에 따른 슬럼프, 플로우, 공기량, 유동화제량, 단위 중량의 변화는 Table 6과 같다.

혼화재의 종류 및 치환량에 따른 굳지 않은 콘크리트의 시공성은 물결합재비 60%에서, 규사 분말을 사용한 경우 혼화재의 치환량이 많아짐에 따라 유동성의 증가 및 공기량의 감소를, 실리카흡을 사용한 경우 혼화재의 치환량이 많아짐에 따라 유동성의 급격한 감소와 공기량의 증가를 나타냈다. 물결합재비 40%에서, 목표 슬럼프를 $12 \pm 2\text{cm}$ 로 유동화제를 사용하여 조정한 결과 각 시험체의 슬럼프, 플로우, 공기량은 비교적 일정한 값을 나타냈으나 유동화제 사용량은 GS 및 SF시험체에서 증가를 나타냈으며 특히 혼화재로서 실리카흡을 사용한 경우 치환량이 증가함에 따라 유동화제 사용량의 현저한 증가를 나타

Table 4 Properties of fresh concrete

Type	Ad (%)	Slump (cm)	Flow (cm)	Air content (%)	S P content (%)	Unit weight (kg/m ³)	
W/C+Ad(60%~40%)							
PL	-	17.1 12.1	57.4 47.9	2.6 2.2	0 0.03	232 245	
		15.9 13.4	55.1 42.5	2.1 2.3	0 0.06	231.5 236	
GS	-	17.3 12.9	58.5 42.1	2.3 2.1	0 0.02	231.0 236	
		15.5 11.9	50.3 42.4	2.1 2.0	0 0.03	228.5 225	
SS 5	SS	17.3 12.9	58.5 42.1	2.3 2.1	0 0.02	231.0 236	
		15.5 11.9	50.3 42.4	2.1 2.0	0 0.03	228.5 225	
SS 10		17.0 11.9	50.3 42.4	2.1 2.0	0 0.03	228.5 225	
		15.0 12.3	50.9 42.9	2.0 1.8	0 0.06	228.0 231.5	
SS 15	SF	17.0 12.3	50.3 42.9	2.1 1.8	0 0.06	228.5 231.5	
		15.0 12.3	50.9 42.9	2.0 1.8	0 0.06	228.0 231.5	
SF 5		17.0 11.5	58.5 43.2	2.7 2.9	0 0.05	232.0 236	
		15.0 12.3	51.6 43.5	3.0 2.2	0 0.08	228.5 231.7	
SF 10		17.0 12.3	51.6 43.5	3.0 2.2	0 0.08	228.5 231.7	
		15.0 12.3	51.1 42.3	3.9 2.3	0 0.12	226.5 230.0	
SF 15		17.0 12.3	51.6 43.5	3.0 2.2	0 0.08	228.5 231.7	

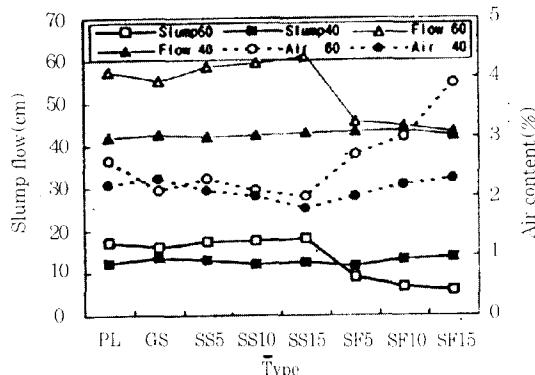


Fig. 2 Slump, flow, air content of fresh concrete

냈다.

단위 중량은 물결합재비에 관계없이 슬래그시멘트 및 규사 분말이나 실리카흡이 치환한 GS, SS, SF시험체의 중량이 PL시험체의 중량보다 적게 나타났으며, 혼화재의 치환률이 많아짐에 따라 중량감소폭이 증가함을 알 수 있었다. 이는 혼화재의 비중이 시멘트에 비하여 작기 때문으로 사료된다.(시멘트:3.15, 슬래그:3.05, 규사 분말:2.68, 실리카흡:2.38)

각 재료의 비중의 차이가 내산성 실험에서 중량 감소에 미치는 영향은 수중 양생 28일 시험체의 경우 비중의 차이가 단위 중량에 반영되어 나타났으나, 황산침지후 시험체의 중량 변화에는 큰 영향을 미치지

않는 것으로 사료된다.

3.2 강도 특성

수중 양생 시험체에서 양생 기간 및 물결합재비에 따른 콘크리트의 강도 발현 양상은 Table 5과 같다.

Table 5 Compressive strength of concrete (kg/cm²)

Type	Ad (%)	Sulfuric acid setting W/C+Ad(60%~40%)				
		2d.s.	7d.s.	28d.s.	84d.s.	
PL	-	191 356	213 303	255 31	288 456	
		172 301	219 348	266 48	225 411	
GS	-	190 358	217 333	257 30	289 522	
		199 361	226 408	285 449	298 409	
SS 5	SS	185 353	211 340	247 416	250 414	
		188 346	212 385	248 427	246 426	
SS 10		194 355	226 388	263 440	315 489	
		192 346	212 385	248 427	249 426	
SS 15	SF	185 353	211 340	247 416	250 414	
		188 346	212 385	248 427	246 426	
SF 5		189 354	222 380	267 411	288 409	
		194 355	226 388	263 440	315 489	
SF 10	SF	194 355	226 388	263 440	315 489	
		192 346	212 385	248 427	249 426	
SF 15		185 353	211 340	247 416	250 414	

84일 수중 양생 동안의 강도 증진은 물결합재비 40%에서 보다 60%에서 증가폭이 컸으며, 시험체 종류별로는 GS>SF>SS>PL 순으로 강도 증진이 크게 나타났다.

혼화재의 종류 및 치환량에 따른 압축강도는 규사 분말의 경우 10% 치환시 까지는 강도가 증가하다가 15% 치환시 저하하는 경향을 나타냈으며, 실리카흡의 경우도 규사 분말과 유사한 경향을 나타냈다. 이는 규사 분말을 치환한 시험체의 강도 증진은 주로 미분말의 공극충전효과(micro filler effect)에 의함이며, 규사 분말의 주성분은 결정성 SiO₂로서 일정 량 이상 시멘트를 치환하여 사용될 경우 결합재의 부족으로 인한 강도 저하가 나타나는 것으로 사료된다.

3.3 콘크리트의 내산성 실험 결과

3.3.1 강도 변화

시험체 종류와 물결합재비에 따른 28일 수중 양생 시험체에 대한 황산침지 시험체의 강도 저하율은

Table 6. Change in compressive strength
(after/before sulfuric acid setting in %)

Type	Ad (%)	Water curing 28d.s.	Sulfuric acid setting W/C + Ad 60% (40%)					
			3d.s.	7d.s.	14d.s.	28d.s.	56d.s.	84d.s.
PL	-	100	91.8 91.6	79.6 86.3	71.4 79.1	65.1 65.5	56.9 61.9	50.6 51.3
GS	-	100	90.6 94.4	88.4 90.1	86.9 85.5	85.5 76.5	75.9 73.2	69.6 70.3
SS 5	5	100	90.0 97.2	87.9 91.8	87.2 90.7	83.3 86.5	78.5 80.1	65.8 74.1
SS 10	SS 10	100	98.1 97.6	97.4 94.9	97.2 93.3	97.2 91.3	90.4 90.6	75.8 89.2
SS 15	15	100	96.8 97.8	94.3 95.7	92.7 94.2	88.8 93.3	77.3 91.9	67.6 90.8
SF 5	5	100	95.8 96.8	76.8 89.9	74.2 81.6	71.2 79.6	61.8 73.8	56.6 69.9
SF 10	SF 10	100	91.3 96.5	82.1 92.0	77.9 86.1	73.0 81.6	71.1 77.9	65.4 74.3
SF 15	15	100	90.5 96.9	81.4 92.9	78.4 91.2	75.2 90.5	70.9 88.8	68.9 86.0

Table 6과 같다.

압축 강도의 저하는 황산침지일수의 경과 및 물결합재비가 커짐에 따라 현저하게 나타났으며, 황산침지 84일 후 각 시험체별 강도 저하는 PL > GS, SF > SS 순으로 크게 나타났다.

혼화재의 종류 및 치환량에 따른 압축 강도는 규사분말의 경우 물결합재비 60%의 경우 10%치환시, 물결합재비 40%의 경우 15%치환시 강도 저하 개선 효과가 가장 컸는데, 이는 안정된 결정성 SiO_2 인 미세한 규사 분말의 공극충전효과(Micro filler

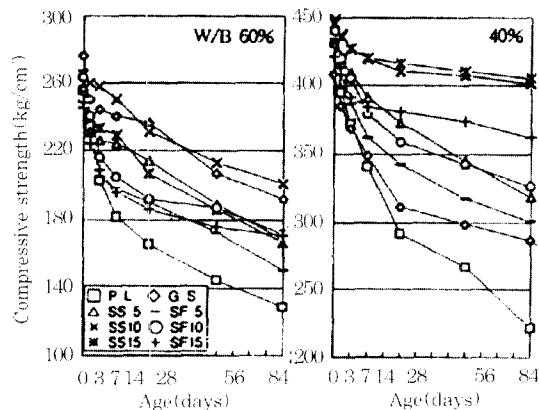


Fig. 3 Relation between age and compressive strength

effect)로 인하여 시험체의 조직을 치밀하게 하여 황산이온의 침투를 방지하는 역할을 하기 때문이라 사료된다. 실리카흡의 경우는 물결합재비에 상관없이 치환량이 많아짐에 따라 강도 저하가 개선되는 경향을 나타냈다. 이는 반응성 SiO_2 인 실리카흡의 치환에 따른 포출란 반응의 활성화로 인하여 시험체 내부의 결정 구조가 치밀하게 되기 때문이라 사료된다.

Fig. 3은 시험체의 침지일수와 압축 강도의 관계를 나타낸 것이다.

84일 황산 침지후 각각의 시험체의 압축 강도는 PL시험체에 비하여 물결합재비 60%의 경우 6.0~25.2%, 물결합재비 40%의 경우 18.6~39.5%의 개선 효과가 있었으며 최대 개선 효과는 물결합재비 60%의 경우 규사 분말 10%치환시, 물결합재비 40%의 경우 규사 분말 15%치환시 나타났다.

3.3.2 중량 변화

각 시험체의 황산 침지 일수의 경과에 따른 중량 변화와 28일 수중 양생 시험체에 대한 황산침지 시험체의 중량 감소율은 Table 7과 같다.

Table 7 Change in weight
(after/before sulfuric acid setting in %)

Type	Ad (%)	Water curing 28d.s.	Sulfuric acid setting W/C + Ad 60% (40%)					
			3d.s.	7d.s.	14d.s.	28d.s.	56d.s.	84d.s.
PL	-	100	98.3 98.2	95.6 97.0	95.7 96.3	94.2 95.3	92.6 93.9	90.9 92.8
GS	-	100	100.2 100.3	100.1 99.8	100 99.7	99.7 99.1	99.1 98.3	98.8 97.2
SS 5	5	100	100.2 100.1	99.8 100.1	99.6 100	98.5 99.7	97.5 99.2	95.8 98.3
SS 10	SS 10	100	100.4 100.5	100.2 100.5	100 100.4	99.6 100.4	99.7 100.2	98.9 99.4
SS 15	15	100	100.2 100.6	99.3 100.7	99.1 100.7	98.6 100.5	98.6 100.3	98.3 99.4
SF 5	5	100	98.3 98.6	96.1 96.7	95.8 96.4	96.9 94.4	95.2 93.5	91.5 93.2
SF 10	SF 10	100	100.2 98.7	98.6 97.7	98.3 98.2	98.6 95.0	94.7 94.0	93.2 93.5
SF 15	15	100	99.1 99.5	98.8 98.6	98.6 98.5	97.6 97.2	95.4 96.8	94.3 96.4

중량 감소는 침지일수의 경과 및 물결합재비의 증가에 따라 감소 폭이 커지는 경향을 나타냈다. 중량 감소 양상은 PL 및 SF 시험체의 경우 침지기간동안

비교적 현저한 중량 감소 경향을 보였으며, GS 및 SS시험체의 경우 침지초기 중량의 증가를 나타내다가 침지일수의 경과에 따라 완만한 중량 감소의 경향을 나타냈다. 이러한 경향은 물결합재비가 클수록 현저하게 나타났다.

혼화재의 종류 및 치환량에 따른 중량 감소는 규사 분말과 실리카흡의 모든 경우에서 치환량이 많아짐에 따라 중량 감소가 적게 나타났는데, 이는 규사 분말의 경우 주성분이 결정성 SiO_2 로서 산 및 알칼리에 침식되지 않는 화학적 특성과 미세한 분말의 공극충전효과(micro filler effect)로 인하여 시험체의 조직을 치밀화시켜 황산 이온의 침투를 방지하는 역할을 하기 때문이며, 실리카흡의 경우는 치환량의 증가에 따라 수화 반응시 포출란 반응의 활성화로 조직이 치밀해져 황산 이온의 침투를 방지하기 때문이라 사료된다.

84일 침지후 PL시험체와 비교한 각각의 시험체의 중량 감소는 PL시험체에 비하여 물결합재비 60%의 경우 0.6~8%, 물결합재비 40%의 경우 0.4~6.6%의 개선 효과가 나타났으며, 최대 개선 효과는 규사 분말을 10% 치환한 SS10시험체에서 나타났다.

Fig. 5는 침지일수와 중량 변화의 관계를 나타낸 것이다.

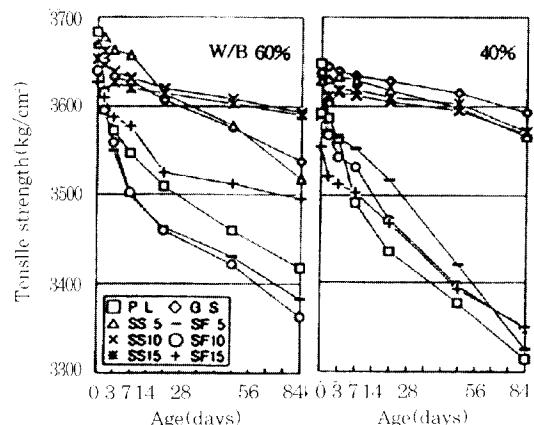


Fig. 5 Relation between age and weight

3.3.3 외관 변화

시험체의 외관의 변화는 황산 침지 시험체의 침지 일수의 경과에 따라 육안 및 사진 촬영의 방법으로

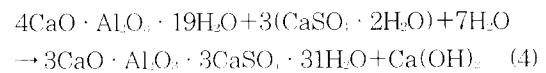
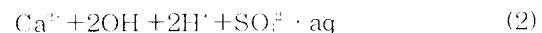
관찰하였다.

시험체에 나타나는 주요한 외관상 변화는 변색, 석고의 생성, 내부팽창압의 증대에 의한 시험체 표층부의 탈락 및 손실로 인한 단면 감소 등이 나타났으며 이러한 변화는 물결합재비가 작을수록 혼화재의 치환량이 많아질수록 적게 나타났다.

변색은 침지 36~48시간 이내에 시험체 표면이 부분적으로 진회색에서 회색으로 변화하였으며 침지일수의 경과에 따라 밝은 회색으로 변화하였다. 변색의 정도 및 범위는 PL>SF5, SF10>SS5>SF15, SS10 > GS, SS15 순으로 나타났다.

석고($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)의 생성은 모든 시험체의 표면에서 나타났으며, 침지일수의 경과에 따라 증대되었다. 이 수석고($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)의 생성 원인은 수화된 콘크리트시험체의 공극중에 용해되어 있는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 C_3S 성분 중의 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 침수 용액의 SO_4^{2-} 이온과 반응하여 주로 생성됨을 알 수 있었고, 생성된 석고의 양은 PL > SF5, SF10 > SS5 > SS10 > GS, SS15 순으로 나타났다.

탈락 및 손실은 주로 시험체 표면 또는 공극을 통하여 시험체 표면과 내부에서 콘크리트 성분($\text{Ca}(\text{OH})_2$)중 Ca^{2+} 이온과 침지 용액(HSO_4^-)중의 SO_4^{2-} 이온이 반응하여 석고($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 및 에트린라이트의 생성으로 인한 체적 팽창으로 내부팽창압이 증대되어 표층부의 탈락 및 손실이 발생함을 알 수 있었다.(1~4식)



이러한 반응은 시험체의 표면에서 안쪽으로 점차 진행되었으며 침해의 주원인은 침지 28일 이전에는 시멘트 성분의 용해에 의한 세그먼트의 탈락이, 침지 28일 이후에는 공극의 증대로 인한 황산 이온의 내부 침투로 인하여 내부 체적 팽창에 의한 표층부의 탈락에 의함을 알 수 있었다.

3.3.4 중성화

중성화는 1%의 페놀프탈레인(P.P) 용액을 지시약으로 사용하여 할열 인장 강도 실험 직후 각 시험체의 단면에서 측정하였다. 중성화 깊이는 변색이 나타나지 않는 부분과 단면 손실 부분과의 합으로써 측정 결과는 Table 8과 같다.

Table 8 Neutralization depth change of concrete(Unit:mm)

Type	Ad pt.	Water curing 28d.	Sulfuric acid setting W/C + Ad 36% (60%)					
			3d.s.	7d.s.	14d.s.	28d.s.	56d.s.	84d.s.
			mm	mm	mm	mm	mm	mm
PL	-	0	72	92	123	194	239	293
			57	88	121	164	218	279
GS	-	0	59	69	82	116	151	206
			45	57	73	99	139	185
SS5	-	0	67	89	126	163	215	255
			52	63	115	148	171	214
SS10	SS10	0	64	83	89	127	169	202
			47	65	81	96	128	157
SS15	SS15	0	61	74	85	111	146	173
			45	59	76	94	118	134
SF5	-	0	75	106	164	202	248	299
			58	89	124	158	195	226
SF10 SF15	-	0	72	104	157	199	239	288
			58	81	123	145	199	261
SF5	-	0	75	94	142	194	213	256
			55	78	109	135	184	259

중성화는 침지일수의 경과 및 물결합재비가 커짐에 따라 증가하였으며, 84일 황산 침지후 중성화 깊이는 물결합재비에 상관없이 PL>SF>GS>SS순으로 나타났다. 물결합재비에 따른 중성화 양상은 60%의 경우 침지 초기에, 40%의 경우는 침지 기간에 비례하여 중성화 깊이가 증가하는 경향을 나타냈다. Fig. 7은 시험체의 침지일수와 중성화 깊이의 관계를 나타낸 것이다.

흔화재의 종류 및 치환량에 따른 중성화 양상은 규사 분말 및 실리카흡의 치환량이 많아질수록 중성화 깊이가 감소되는 경향이 나타났다. 이는 규사 분말의 경우 주성분이 산에 침해되지 않는 결정성 실리카이며, 미세한 규사 분말의 공극충전효과로 인하여 황산 이온의 침투를 막지하기 때문이다. 실리카흡의 경우는 시멘트 수화시 포출란반응의 활성화로 콘크리트 조직이 치밀화되어 황산 이온의 침투가 억제되기 때문이다. 사료된다.

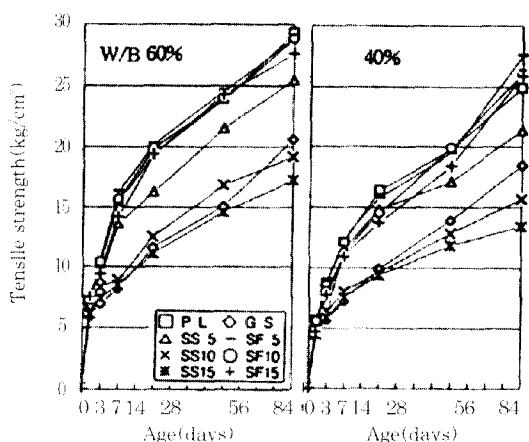


Fig. 6 Relation between age and neutralization depth

84일 침지후 PL시험체와 비교한 각각의 시험체의 중성화 깊이는 물결합재비 60%에서 1.4~41%, 물결합재비 40%에서는 1.1~52%의 개선 효과가 있었으며, 최대 개선 효과는 규사 분말을 15%치환시로 나타났다.

특히 SF 시험체의 중성화 깊이는 물결합재비 60%에서는 침지 56일 까지는 PL시험체보다 크게 나타나다가, 84일 경과시 적게 나타났으며, 물결합재비 40%에서는 침지기간 전반에 걸쳐 PL시험체보다 적게 나타났다. 이는 실리카흡의 치환에 의하여 시험체 내부의 초기 pH값이 낮아져 침지초기 중성화 깊이의 증가를 나타내지만 포출란 반응의 활성화로 인한 조직의 치밀화로 인하여 중성화가 억제되기 때문이라 사료된다.

3.4. 응력-변형도 관계 고찰

각 시험체의 물결합재비와 황산 침지 일수의 경과에 따른 응력-변형도 곡선(stress-strain curve)의 변화는 Fig. 8, 9와 같다.

응력-변형도 곡선은 SS시험체의 경우 물결합재비에 상관없이 규사 분말의 치환량이 많아짐에 따라 PL시험체 보다 탄성역에서 최대 하중 작용시 및 소성역에서 파괴시까지 변형의 증가를 나타내어 변형 능력이 우수하고, 보다 연성적인 성질을 나타낼 수 있었다. 이는 규사 분말의 공극 충전 효과로 인한 조직의 치밀화로 결합력이 증대되기 때문으로 사료된다.

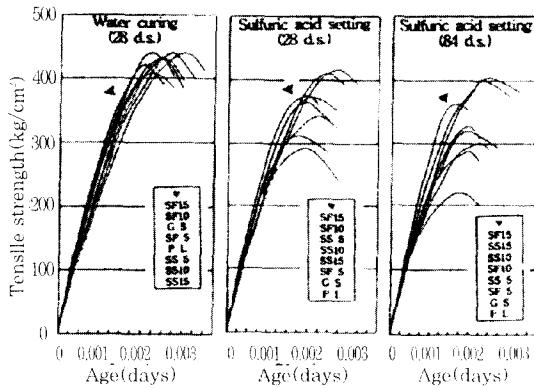


Fig. 7 Stress-strain curve (W/B 40%)

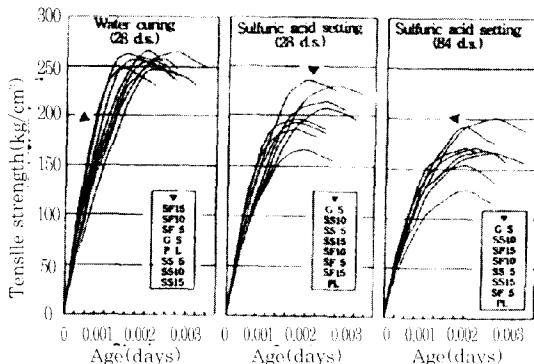


Fig. 8 Stress-strain curve (W/B 60%)

SF시험체의 경우에는 최대하중작용시 및 소성역에서 파괴시까지 변형의 감소를 나타내어 PL시험체보다 취성적인 성질을 나타내며 이러한 경향은 실리카암의 치환량이 많아질수록 험지하게 나타났다. 이는 반응성 SiO_2 에 의한 수화 반응 생성물(C-S-H등)이 증대되어 재료가 보다 취성적인 경향을 나타내는 것으로 사료된다.

황산 침지일수의 경과에 따른 응력-변형 곡선의 변화는 침지일수의 경과에 따라 곡선의 기울기가 점차 완만해져 강도 저하가 나타남을 알 수 있었다.

물결합재비에 따른 변형도(최대 하중 작용시 및 파괴시의 변형)는 물결합재비 60%의 경우, 황산 침지 전·후에 큰 변화가 나타나지 않았는데 이는 황산 이온의 침투로 인하여 표면 및 시험체 내부의 공극이 증가되기 때문에 강도는 저하하지만 여기에 비례하여 변형도의 감소가 나타나지 않은 것으로 사료된다. 물결합재비 40%의 경우에는, 황산침지일수의 경과

에 따라 강도 저하에 비례하여 변형도가 감소하는 경향을 나타냈으며 이는 시험체가 비교적 고강도를 나타내어 급속한 취성파괴가 발생하기 때문으로 사료된다.

5. 결론

본 연구는 규사 분말을 치환한 굳지 않은 콘크리트의 시공성, 강도 발현 및 경화된 콘크리트의 내산성 실험 결과로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 규사 분말을 치환한 굳지 않은 콘크리트의 시공성은 치환량이 많아짐에 따라 물결합재비 60%의 경우 유동성의 증가가, 그리고 40%의 경우 유동성의 저하가 나타났으며, 강도 발현은 10% 치환시 가장 높게 나타났다. 이는 규사 분말이 포풀란 반응성이 적은 결정성 SiO_2 로서 흡수량이 적어 시멘트와 물재 사이에서 볼베어링 작용을 하여 일정량 이상의 수분이 공급될 때 유동성의 증가가 나타나며, 공극 충전 효과(micro filler effect)로 인하여 공기량의 감소와 강도 증진이 나타난 것으로 사료된다.

2. 규사 분말을 적정량 치환한 콘크리트시험체는 PL, GS 및 SF시험체와 비교하여 내산성능(강도 저하, 중량 감소, 외관 변화, 중성화 깊이 증가, 시험체 내부의 pH 저하 등)의 개선 효과가 나타났으며, 이러한 현상은 물결합재비가 낮아질수록 확연히 드러났다. 이는 규사 분말의 공극충전효과 및 산에 침해되지 않는 결정성 SiO_2 로서의 특성 때문으로 사료된다.

3. 규사 분말을 치환한 콘크리트의 응력-변형도 곡선은 PL시험체에 비하여 치환량이 증가함에 따라 최대하중작용시 및 파괴시까지의 변형의 증가를 나타내어 변형 능력이 비교적 크며, 연성적인 성질을 나타낼 수 있었다. 물결합재비의 변화에 따른 파괴시까지의 변형도는 물결합재비 60%의 경우, 황산 침지 전·후에 큰 변화가 나타나지 않았으나, 40%의 경우에는 황산침지일수의 경과에 따라 강도 저하에 비례하여 변형도가 감소하는 경향을 나타냈다.

가장 우수한 내산성을 얻기 위한 규사 분말의 적정 치환율은 10~15%이며, 이때 콘크리트의 시공성 및 강도 발현은 PL시험체에 비하여 동등 이상이며, 내산성은 GS 및 SF시험체보다도 우수함을 알 수 있었

다. 그러므로 규사 분말을 적정량 치환한 콘크리트를 산류의 침해가 예상되는 부위에 시공하였을 때 콘크리트의 내산성 증진 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 부착량, “개정 철근콘크리트 구조설계”, 기문당, 1996, PP 28~44
2. 부착량, “철근콘크리트 구조”, 희성출판사, 1988
3. 김준호, “산성비의 생성”, 公害對策, 1990년 9월
4. P. Kummer Mehta, “Deterioration by Chemical Reaction”, “Concrete Structure, Properties and Materials”, pp133~169
5. 河野俊夫, “化學的環境下におけるコンクリートの性状”, コンクリート工學 Vol. 23 No 10, 1985. 10, pp17~25
6. ACI Committee 515 (William H. Kuennen), “Guide for the Protection of Concrete Against Chemical Attack by Means of Coating and Other Corrosion Resistant Materials”, ACI Journal 1966, 10, pp1305~1392
7. Menashi D.Cohen and Amon Bentur, “Durability of Portland Cement-Silica Fume Pastes in Magnesium Sulfate and Sodium Sulfate Solutions”, ACI Materials Journal 1988 5-6, pp148~157
8. Menashi D. Cohen, Bryant Mather, “Sulfate Attack on Concrete -Research Needs-”, ACI Materials Journal, 1991 7-8, pp62~69
9. 부착량, 윤보현, “콘크리트의 耐化學性에 관한 實驗的 研究 규사 분말을 치환한 페이스트의 경우”, 대한 건축 학회 논문집 제 13권 1호 통권 제 99호, 1997.1, pp193~202
10. 부착량, 윤보현, “콘크리트의 내화학성에 관한 실험적 연구(Ⅱ) -규사 분말을 치환한 모르타의 경우”, 콘크리트학회지 제 9권 1호, 1997.2, pp 153~163
11. 정호철, “규사 분말이 콘크리트의 유통성에 미치는 영향”, 전남대 대학원 석사학위논문, 1996.2
12. 진동재, “규사혼입 콘크리트의 물성에 관한 연구”, 전남 대 산업대학원 석사학위 논문, 1996.2
13. 서동수, “무순 모래 콘크리트에 관한 실험적 연구-규사 혼입 콘크리트의 시공성과 강도 특성”, 전남대 대학원 석사학위논문, 1996.8
14. 小林一輔, 宇野順一, “酸性物によるコンクリート構造物の老化機構に關する考察”, コンクリート工學年次論文報告集 13-1, 1991, pp615~620
15. JIS, “コンクリートの溶液浸せきによる耐薬品性試験方法”, コンクリート工學 Vol. 23 No 3, 1985.3, pp59~62

요 약

본 연구는 규사 분말을 치환한 콘크리트의 내산성에 관한 실험적 연구로서 내산성능 개선을 위한 혼화재로서 규사 분말의 치환시 콘크리트의 시공성 및 내산성 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

황산에 침지된 콘크리트의 내산성 실험 결과 혼화재의 종류 및 치환량에 따른 내산성은 규사분말을 10~15% 치환한 SS시험체가 GS 및 SF시험체와 비교하여 강도 저하, 중량 감소, 외관 변화, 중성화 깊이 증가, 시험체 내부의 pH저하 등에서 우수하게 나타났다. 물결합재비의 변화에 따른 내산성은 물결합재비 60%의 경우보다 40%에서 높게 나타나 물결합재비가 낮을수록 내산 성능이 향상됨을 알 수 있었다. 이는 규사 분말의 공극충전효과 및 산에 침해되지 않는 결정성 SiO_2 로서의 특성 때문으로 사료된다.

규사 분말을 적정량 치환한 콘크리트는 시공성 및 강도 발현 측면에서 보통포틀랜트시멘트를 사용한 PI시험체와 비교하여 동등 이상이며, 내산성은 슬래그시멘트를 사용한 GS 및 실리카흡을 혼화재로 치환한 SF시험체보다 우수함을 알 수 있었다. 그러므로 규사 분말을 적정량 치환한 콘크리트를 산류의 침해가 예상되는 부위에 시공하였을 때 콘크리트의 내산성 증진 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

(접수일자 : 1997. 4. 9)