

# 콘크리트의 내화학성에 관한 실험적 연구(Ⅱ)

- 규사 분말을 치환한 모르터의 경우 -

An Experimental Study on the Chemical Resistance of Concrete (Ⅱ)

-The case of mortar with silica sand particle-



윤보현\*

Yoon, Bo Hyun



김제원\*

Kim, Jae Won



설광욱\*

Seol, Gwang Wook



김명재\*\*

Kim, Myoung Jae



부척량\*\*\*

Boo, Cheong Yang

## 요 약

본 논문은 규사 분말을 치환한 모르터의 내화학성에 관한 실험적 연구이다. 모르터 시험체에 대하여 모르터의 내화학성능 개선용 혼화재로서 규사 분말의 활용성 및 콘크리트 시험체의 내화학적 특성에 관한 예측 모델로서의 모르터 모델의 사용 가능성 등을 검토하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 모르터 모델의 콘크리트 내화학성 예측 모델로서 사용 가능성 검토 결과, 혼화재의 종류 및 치환량에 따른 내화학성 실험 결과가 콘크리트의 실험 결과와 유사하게 나타나므로 콘크리트 시험체의 내화학성 예측 모델로서 활용이 가능하리라 사료된다.

## Abstract

This paper is an experimental study of the chemical resistance of mortar which contains silica sand particles. The possible use of silica sand particles in the future as an admixture for improving chemical resistance of mortar is examined in mortar model experiments. The

\* 전남대 대학원 박사 과정

\*\* 전남대 대학원 석사 과정

\*\*\* 정회원, 전남대 교수, 공학 박사

• 본 논문에 대한 토의를 1997년 4월 30일까지 학회로 보내주  
시면 1997년 6월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

possibility of using mortar model as prediction models for the chemical resistance of concrete is examined.

The results obtained are as follows. Since the experimental results from the chemical resistance tests based on the kinds and the amount of replaced admixture are similar to those from the concrete, mortar model could be used as a prediction model of chemical resistance of concrete.

Keywords : Chemical resistance of mortar, Silica sand particles, Prediction models

## 1. 서 론

최근의 연구에 의하면 규사 분말은 치환량 및 입도의 적절한 조절에 의하여 강도 증진이 가능하며 이는 규사 분말의 공극충진효과에 의함이 밝혀졌다<sup>1,2)</sup>. 여기에 착안하여 진행된 제 1보의 규사 분말의 특성 및 규사 분말을 치환한 페이스트시험체의 내화학적 실험결과 규사 분말의 특성은 X-ray 회절분석 결과 SiO<sub>2</sub>를 주성분으로 하는 결정성 실리카이며, 상온에서 안정된 결정 구조를 유지하며, 반응성이 적어 산 및 알칼리에 침식되지 않는 성질을 지니고 있으며, 페이스트시험체에 대한 실험결과 모든 측정 항목에서 내화학적 우수함이 확인되었다.

본 연구에서는 규사 분말을 콘크리트의 내화학적 혼화재로서 사용하기 위한 예비 실험으로서 규사 분말을 치환한 모르타시험체의 시공성 및 내화학적 실험을 실시하였다. 실험 항목으로는 플로우, 강도 발

현 및 강도, 중량, 성분, 외관, 중성화, 시험체 내부의 pH변화를 측정하였다.

또한 본 실험결과를 콘크리트의 실험결과와 비교하여 콘크리트의 내화학적 예측 모델로서 모르타 모델의 이용 가능성에 관하여도 검토하였다.

규사 분말과 비교를 위하여 실리카흙에 대하여도 동일한 실험을 실시하였으며 이를 보통포틀랜드시멘트 및 특급슬래그시멘트를 사용한 시험체와 비교하였다.

## 2. 실험

### 2.1 사용 재료

#### 1) 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 KS L 5021규격품으로서 S사의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 고로슬래그 시멘트는 KS L 5210 규격품으로서 G사의 고로슬래그시멘트를 사용하였다.

시멘트의 화학 조성 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

#### 2) 혼화재

본 실험에 사용된 혼화재는 규사 분말과 실리카흙이며, 물리적 화학적 성질은 Table 2와 같다.

규사 분말은 진남 화순산 규사로서 No.230체(63 μm)를 통과하고 No.270체에 잔류한 것이며, 실리카흙은 GRACE사의 FORCE 10,000D (Densified Microsilica)제품을 사용하였다. 혼화재의 입도 분포는 Rigaku(P-Max 1200)을 사용하여 레이저 빔 회절 분석결과 규사 분말과 실리카흙의 입도 분포 피

Table 1 Chemical composition and physical properties of materials

#### a) Ordinary portland cement (wt.%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Igloss
21.4	7.0	2.9	3.1	1.7	60.8	0.72	0.12	1.2

Specific Gravity	Blaine's (cm <sup>3</sup> /g)	Setting Time		Comp.Strength(kg/cm <sup>2</sup> )		
		Initial	Final	3d.s.	7d.s.	28d.s.
3.15	3450	3-45	7-20	210	280	376

#### b) Blast furace slag cement (wt.%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Igloss	Glass(%)
35.2	16.2	43.2	0.79	5.6	1.2	90

Specific Gravity	Blaine's (cm <sup>3</sup> /g)	Setting Time		Comp.Strength(kg/cm <sup>2</sup> )		
		Initial	Final	3d.s.	7d.s.	28d.s.
3.05	3820	4-50	8-20	160	250	375

Table 2 Chemical composition and physical properties of silica sand and silica fume

Content Type	Chemical composition (%)						Specific gravity
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	기타	
Silica sand	84.32	10.00	2.21	0.39	0.19	2.89	2.68
Silica fume	95.95	0.72	0.30	0.42	1.52	1.69	2.38

크는 각각 30 $\mu$ m, 6 $\mu$ m에서 나타났으며, 비표면적은 기공도 측정기를 이용하여 측정된 결과 규사 분말은 14,900cm<sup>2</sup>/g, 실리카흙은 127,600 cm<sup>2</sup>/g로 시멘트의 비표면적 3,000~4,000cm<sup>2</sup>/g 보다 큰 것으로 나타났다.

규사 분말 및 실리카흙의 물리·화학적 분석결과를 살펴보면 SiO<sub>2</sub>를 주성분으로 하는 상당히 유사한 성분의 물질로 판단되나 X-ray회절 분석결과 규사 분말은 결정 상태가 우수한 결정성 SiO<sub>2</sub>이며, 실리카흙은 결정의 형태를 띄지 않는 비정질 SiO<sub>2</sub>임이 확인되었다.

### 3) 잔 골재

본 연구에 사용된 잔 골재는 모래 입자의 차이에 따른 영향을 없애고 시험 조건을 일정하게 하기 위하여 KS L 5100에 규정된 시멘트 강도 시험용 표준 모래인 주문진산 표준사를 사용하였다.

## 2.2 시험체의 배합, 제작 및 양생

재료의 배합은 시멘트와 모래의 중량배합비를 1 : 2.45, 물시멘트비는 48.5%로 하였으며, 시험체의 배합상세는 Table 3과 같다.

시험체의 제작은 각변의 길이가 2×2×2in인 모르타 압축강도 시험용 강제 3연형 몰드를 사용하여 PL

Table 3 Mix proportion of mortar

Type	Admixture (%)	Unit Weight (kg/m <sup>3</sup> )				
		Cement	Ad	Sand	Water	
P L	-	643	0	1575	312	
G S	-	643	0	1575	312	
SS 5	Silica sand (SS)	5	611	32	1575	312
SS10		10	579	64	1575	312
SS15		15	547	96	1575	312
SF 5	Silica fume (SF)	5	611	32	1575	312
SF10		10	579	64	1575	312
SF15		15	547	96	1575	312

시험체는 보통포틀랜드시멘트, GS시험체는 고로슬래그시멘트를 사용하여 제작하였으며 SS 및 SF시험체는 보통포틀랜드시멘트에 혼화제로써 규사분말 및 실리카흙을 0~15% 치환하여 제작하였다.

시험체의 수는 각 단계별로 10개(수중 양생 5개, 황산침지 5개)씩, 각 시험체 종류별로 60개씩 총 480개(시험체 종류×시험체수 : 8×60)를 제작하였다.

제작된 시험체는 24~36시간이 지난 뒤 탈형하여 수중 양생(28일)을 실시하였으며, 28일 수중양생후 시험체를 5% 황산용액과 수중에 각각 84일 동안 침지시켰다.

## 2.3 침수 용액

침수 용액은 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 1급시약을 5% 농도로 물과 혼합하여 제조하였다. 침수 용액의 양은 시험체를 충분히 용액 속에 담글 수 있는 양으로 각 침지조마다 침수 용액(L)/시험체의 체적(V)의 비를 2.5로, 침수 용액의 온도는 20±2℃로 일정하게 유지하였다. 침수 용액의 농도 변화는 24시간마다 측정하여 조절하였으며, 2주마다 침수 용액의 전량을 교체하였다.

## 2.4 실험 방법

본 연구를 위한 각 시험체들의 내화학적 실험은 ASTM C 267, JIS의 시멘트페이스트의 내약품성 시험 방법에 준하여 실시하였으며, 실험 항목은 플로우, 강도 발현 성장 및 황산 침지후 강도, 중량, 성분, 외관, 중성화, 시험체 내부의 pH의 변화를 측정하였다.

## 3. 실험 결과

### 3.1 시공성 및 강도 발현

#### 1) 플로우

모르타시험체의 플로우 실험 결과는 표 4와 같다. 혼화제의 종류 및 치환량에 따른 모르타의 플로우값은 규사 분말의 경우 치환량의 증가함에 따라 플로우값은 4~11%의 증가가 나타났으며, 이는 규사 분말

이 포졸란 반응성이 비교적 적은 결정성 실리카로서 흡수량이 적어 일정량 이상의 수분이 공급될 경우 시멘트와 모래 입자 사이에서 불베어링 작용을 하여 유동성이 증가하기 때문이라 사료된다. 실리카흡의 경우 치환량의 증가에 따라 플로우 값은 9~28%의 현저한 감소를 나타냈다.

## 2) 강도 발현

각각의 시험체의 28일 압축 강도에 대한 3일, 7일 및 84일 강도 백분율은 Table 4와 같다. 혼화재 종류 및 치환량에 따른 시험체의 압축강도는 28일 수중 양생 시험체는 규사 분말의 경우 10%까지는 치환량의 증가에 따라 강도 증가를 나타냈으며, 15% 치환시는 강도저하가 나타났다. 실리카흡의 경우도 위와 동일한 경향을 나타냈다.

규사분말을 치환한 시험체의 강도 증진은 주로 공극 충전 효과(micro filler effect)에 의함이며 규사 분말의 성분은 결정성 SiO<sub>2</sub>로서 일정량 이상 시멘트를 치환하여 사용할 경우 결합재의 부족으로 인한 강도저하가 나타나는 것으로 사료된다.

84일 수중 양생 시험체 장기 강도는 규사 분말의 경우 치환량 많아짐에 따라 강도 증진이 적게 나타났으며, 실리카흡의 경우는 치환량이 많아짐에 따라 강도 증진이 크게 나타났다. 실리카흡을 치환한 시험체

Table 4 Flow and compressive strength of mortar

Type	Admixture (%)	Comp. strength (kg/cm <sup>2</sup> )				Flow (mm) (%)	
		3 d.s.	7 d.s.	28d.s.	84d.s.		
P L	-	254 (70.6)	313 (86.9)	360 (100)	382 (106)	156 (100)	
G S	-	178 (58.9)	252 (83.4)	302 (100)	343 (114)	164 (105)	
S S 5	SS	5	248 (69.2)	297 (83.0)	358 (100)	385 (108)	162 (104)
SS10		10	254 (70.4)	306 (84.8)	361 (100)	390 (108)	169 (108)
SS15		15	240 (69.2)	295 (85.0)	247 (100)	371 (107)	173 (111)
S F 5	SF	5	229 (67.2)	272 (79.8)	341 (100)	372 (109)	142 (91)
SF10		10	241 (66.2)	296 (81.3)	364 (100)	396 (109)	132 (85)
SF15		15	238 (70.0)	281 (81.4)	345 (100)	385 (112)	113 (72)

의 강도증진은 주로 시멘트 수화반응시 반응성 SiO<sub>2</sub>가 C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S 등의 수화생성물을 증대시켜 조직을 치밀하게 하기 때문으로 사료된다. 84일 수중 양생 기간 재령에 따른 압축강도의 증진은 GS>SF>SS>PL 순으로 증진 효과가 커짐을 알 수 있었다.

## 3.2 모르터 시험체의 내화학적 특성

### 1) 압축강도 변화

시험체의 침지 일수에 따른 수중 및 황산 침지후의 강도변화와 28일 수중 양생 시험체의 압축강도(이하 초기 강도라고 칭한다)를 기준으로 한 강도조하율은 Table 5와 같다.

Table 5 Compressive strength of mortar (kg/cm<sup>2</sup>)

Type	Ad (%)	Water curing 28d.s.	Water curing					
			Sulfuric acid setting			Sulfuric acid setting		
			3 d.s.	7 d.s.	14d.s.	28d.s.	56d.s.	84d.s.
P L		300 (100)	300 (93.3)	333 (96.7)	365 (98.3)	370 (95.9)	382 (96.1)	382 (95.4)
		302 (100)	272 (90.0)	257 (85.1)	232 (76.9)	207 (68.7)	198 (65.5)	194 (61.2)
SS 5	5	358 (100)	359 (95.5)	360 (98.8)	366 (98.1)	373 (98.6)	385 (98.1)	386 (98.9)
		361 (100)	346 (95.8)	322 (88.2)	308 (85.3)	288 (82.5)	286 (79.2)	288 (77.3)
SS 10	10	361 (100)	352 (92.9)	356 (95.2)	363 (98.1)	367 (97.2)	371 (93.5)	374 (98.1)
		361 (100)	341 (92.9)	322 (85.2)	308 (80.1)	288 (77.2)	255 (67.5)	289 (69.1)
SS 15	15	341 (100)	325 (92.9)	281 (80.1)	254 (71.4)	237 (66.4)	213 (60.5)	201 (56.8)
		364 (100)	343 (91.3)	318 (84.3)	278 (76.3)	258 (69.9)	237 (61.4)	224 (61.5)
SF 5	5	341 (100)	325 (92.9)	281 (80.1)	254 (71.4)	237 (66.4)	213 (60.5)	201 (56.8)
		364 (100)	343 (91.3)	318 (84.3)	278 (76.3)	258 (69.9)	237 (61.4)	224 (61.5)
SF 10	10	341 (100)	325 (92.9)	281 (80.1)	254 (71.4)	237 (66.4)	213 (60.5)	201 (56.8)
		364 (100)	343 (91.3)	318 (84.3)	278 (76.3)	258 (69.9)	237 (61.4)	224 (61.5)
SF 15	15	341 (100)	325 (92.9)	281 (80.1)	254 (71.4)	237 (66.4)	213 (60.5)	201 (56.8)
		364 (100)	343 (91.3)	318 (84.3)	278 (76.3)	258 (69.9)	237 (61.4)	224 (61.5)

혼화재의 종류 및 치환량에 따른 강도저하 양상은 규사 분말의 경우는 10% 치환시 강도저하 개선 효과가 가장 컸으며, 이는 안정된 결정성 실리카인 미세한 규사 분말의 공극충진효과(Micro filler effect)로 인하여 시험체의 조직을 치밀하게 하여 황산 이온

의 침투를 방지하는 역할을 하기 때문이라 사료되며, 실리카흙의 경우는 침지 14일까지는 치환량에 관계 없이 강도 저하가 나타나다가, 침지 28일 이후는 치환량이 많아짐에 따라 강도 저하가 개선되는 경향을 나타냈다. 이는 반응성을 갖는 실리카흙의 치환에 따른 포졸란 반응의 활성화로 인하여 시험체 내부의 결정 구조가 치밀하게 되기 때문이라 사료된다.

내화학적 실험에서 25% 이상의 강도저하를 과파로 규정하고 있는데 본 실험 결과 PL은 3일, GS는 14일, SS5는 28일, SS10은 56일, SS15는 28일, SF5는 7일, SF10은 14일, SF15는 14일 침지 후에 나타났다. 5% 황산 용액에 84일 침지후 각각의 시험체의 강도를 PL시험체와 비교하여 GS는 21.4%, SS5는 26.1%, SS10은 31.5%, SS15는 26.3%, SF5는 16.0%, SF10은 18.7%, SF15는 24.1%의 강도저하 개선 효과가 있었다. Fig. 1은 모르타 시험체의 침지 일수와 압축 강도의 관계를 나타낸 것이다.

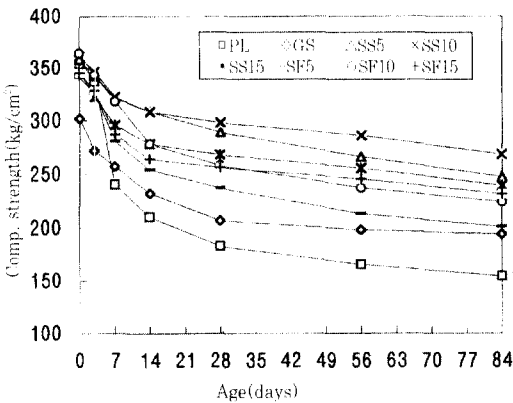


Fig. 1 Relation between age and compressive strength

## 2) 중량 변화

각 시험체의 침지 일수에 따른 수중 및 황산 침지 후의 중량 변화와 28일 수중 양생 시험체의 중량(이하 초기 중량이라 칭한다)을 기준으로 한 중량 감소율은 Table 6과 같다. 혼화재의 종류 및 치환량에 따른 중량 감소 양상은 규사 분말과 실리카흙의 모든 경우에서 10% 치환시 중량 감소율이 가장 적게 나타났으며, 이는 규사 분말의 성분은 산에 침식되지 않는 결정성 SiO<sub>2</sub> 이며 또한 공극충전효과(Micro

filler effect)로 인하여 시험체의 조직을 치밀하게 하여 황산 이온의 침투를 방지하는 역할을 하기 때문이라 사료된다.

내화학적 실험에서 2.5% 이상의 중량 감소를 과파로 규정하고 있는데 본 실험 결과 PL은 3일 미만, GS는 3일, SS5는 3일, SS10은 28일, SS15는 7일, SF5는 3일 미만, SF10은 3일, SF15는 3일 침지 후에 나타났다.

84일 황산 침지후 중량을 PL시험체와 비교해 볼 때 GS,SS5는 8.3%, SS10은 12.5%, SS15는 11.0%, SF5는 6.0%, SF10은 6.7%, SF15 6.3%

Table 6 Weight change of mortar(g)

Type	Ad (%)	Water curing 28d.s.	Comp. strength (kg/cm <sup>2</sup> ) (%)					
			3d.s.	7d.s.	14d.s.	28d.s.	56d.s.	84d.s.
P L		286	271	264	258	250	244	236
		(100)	(94.8)	(92.3)	(90.2)	(87.4)	(85.3)	(82.5)
G S		283	278	274	270	266	261	257
		(100)	(98.9)	(96.8)	(95.4)	(93.9)	(92.2)	(90.8)
S S 5	5	284	279	276	272	269	263	258
		(100)	(98.2)	(97.2)	(95.8)	(94.7)	(92.6)	(90.8)
		282	281	280	279	277	274	268
S S 10	10	(100)	(99.6)	(99.3)	(98.9)	(98.2)	(97.2)	(95.0)
		278	275	272	269	268	266	260
		(100)	(98.9)	(97.8)	(96.7)	(96.4)	(95.7)	(93.5)
S S 15	15	278	275	272	269	268	266	260
		(100)	(98.9)	(97.8)	(96.7)	(96.4)	(95.7)	(93.5)
		278	267	265	261	256	251	246
S F 5	5	(100)	(96.0)	(95.3)	(93.9)	(92.1)	(90.3)	(88.5)
		278	273	267	263	260	254	249
		(100)	(97.8)	(95.7)	(94.3)	(93.2)	(91.0)	(89.2)
S F 10	10	275	270	264	260	257	250	247
		(100)	(98.2)	(96.0)	(94.5)	(93.5)	(90.9)	(88.8)
		275	270	264	260	257	250	247
S F 15	15	(100)	(98.2)	(96.0)	(94.5)	(93.5)	(90.9)	(88.8)

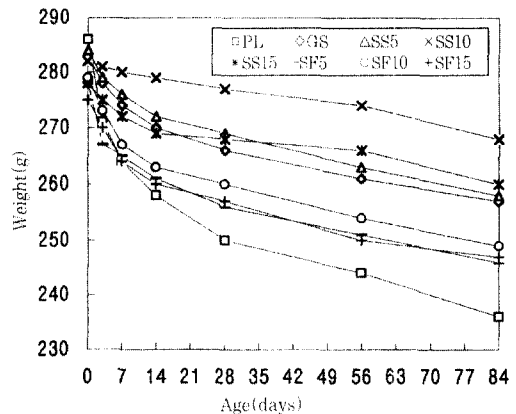


Fig. 2 Relation between age and weight

의 개선 효과가 있었다. Fig. 2는 모르터 시험체의 침지 일수와 중량 변화의 관계를 나타낸 것이다.

### 3) 성분 변화

모르터 시험체의 성분 변화를 고찰하기 위하여, 각각의 시험체를 28일 황산에 침지시킨 시험체와 동일 기간 수중 양생시킨 시험체에서 시료를 채취하여 X-ray 회절 분석 결과 시험체 내부의 성분 변화는 Table 7과 같다.

모르터 시험체의 경우는 모래의 주성분인 SiO<sub>2</sub>의 피크가 다른 성분들의 피크에 비하여 너무 높아 성분 분석이 다소 곤란하여 채취된 시료를 약 2mm 이하의 크기로 분쇄한 후 No. 230체를 통과한 분말 시료를 이용하여 X-ray 회절분석을 실시하였다.

실험 결과 시험체의 성분 변화는 페이스트 시험체와 비슷한 경향을 나타냈으며, SiO<sub>2</sub> 피크의 상대적인 증가로 인하여 다른 성분들의 피크가 너무 낮게 나타났으나 황산 침지 시험체에서 석고 및 에트린자이트의 생성을 확인할 수 있었다.

내화학적 실험중 발생하는 주요한 반응은 침지 용

Table 7 Chemical composition change of mortar

Type \ Content	PL	GS	SS	SF
Ca(OH) <sub>2</sub>	△ △	-	△	△ △
C.S	▽ ▽	▽	▽	▽ ▽
CaSO <sub>4</sub>	○ ○	○ ○	○	○ ○
Ettringite	○ ○	○ ○	○	○ ○
C.S	△ △	▽	▽	△ △
SiO <sub>2</sub>	△	△	△	△

\* ○ small amount of production  
 \* ○○ large amount of production  
 \* ▽ ▽ ▽ ▽ ▽ ▽ ▽ ▽ ▽ ▽ (decrease (-) constancy (-) increase (+))

액 중의 황산 이온과 시멘트 성분 중의 수산화칼슘과의 반응으로서 이 반응은 산과 염기의 중화 반응으로서(식(1)), 이들은 각각 이온화 되어(식(2)), 염(CaSO<sub>4</sub>)과 물을 생성한다(식(3)).

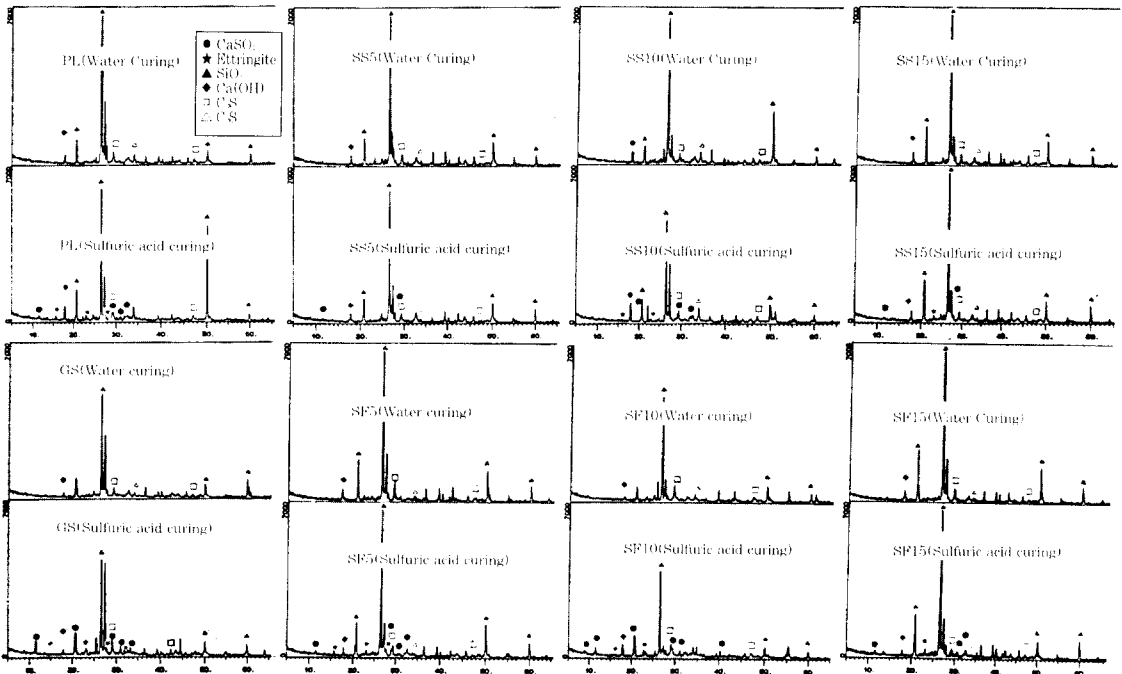
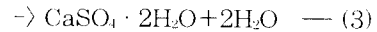
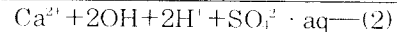
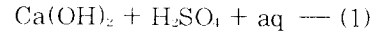
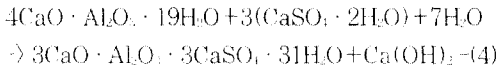


Fig. 3 X-ray diffraction analysis of mortar

여기서 생성된  $\text{CaSO}_4$ 는 알루미늄칼슘수화물(C.A)과 반응하여 불용성의 칼슘설퍼알루미네이트(Ettringite)를 생성한다.(식(4))



석고 및 에트링자이트는 생성과정에서 시험체 내부의  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 소모시켜 시험체의 알칼리성을 약화시킨다. 또한 시험체 내부에서 생성된 이들은 체적 증가를 수반하는데 이로 인하여 시험체 내부의 팽창압이 증가하고 시험체의 단면손실 및 탈락이 나타난다.

각 시험체의 황산 침지후 성분변화는 다음과 같다. PL시험체는 C.S 겔과  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 현저한 감소가 나타나는데 이는 공극중에 유리된  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 과 C.S 겔상에 결합된  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 이  $\text{SO}_4^{2-}$ 이온과 반응하여 석고( $\text{CaSO}_4$ )를 생성시키는데 소모된 결과로 사료된다(식(7), (8)).

GS 시험체는 비교적 성분 변화가 적게 나타났으며, 이는 슬래그 성분 중의 가용성 알루미늄 및 규산염과 황산 이온이 반응하여 반응하여 불용성의 안정된 수화물을 생성하기 때문으로 사료된다(식(5), (6)).

SS 시험체는 규사분말의 치환량이 많을수록 시험체 내부의 성분변화가 적게 나타났으며, 이는 화학적으로 안정된 분자구조를 갖는 결정성 실리카인 규사분말은 산에 침식되지 않고, 미세한 분말이 시험체의 공극을 치밀하게 하여 황산이온의 침투를 억제하기 때문으로 사료된다.

SF 시험체는 실리카흙의 치환량이 많을수록 내화학성의 향상이 나타나며, 이는 반응성  $\text{SiO}_2$ 에 의한 포졸란 반응이 활발히 진행되어 시험체 내부의 조직이 치밀하게 되어 황산이온의 침투를 억제하기 때문이라 사료된다.

#### 4) 외관의 변화

외관의 변화는 페이스트 시험체와 마찬가지로 변색, 석고 생성, 탈락 및 손실 등이 나타났으나, 내부 팽창압에 의한 시험체의 파괴 현상은 발생하지 않았다.

시험체의 변색은 침지 48시간 이내에 시험체 표면

이 부분적으로 진회색에서 회색으로 변화하기 시작하였으며(변색의 정도는 시멘트페이스트시험체 보다 덜 하였음), 변색의 정도 및 범위는  $\text{PL} > \text{SS5}, \text{SF5}, \text{SF10} > \text{SF15}, \text{SS10}, \text{SS15}, \text{GS}$ 순으로 크게 나타났다.

$\text{CaSO}_4$ 의 생성은 모든 시험체의 표면에서 침지후 48시간 이내에 육안으로 확인할 수 있었으며 실험종료시까지 계속 진행되었다. 석고의 생성 속도 및 양은  $\text{PL} > \text{SS5}, \text{SF5}, \text{SF10} > \text{SF15}, \text{SS10}, \text{SS15}, \text{GS}$  순으로 나타났다.

시험체의 탈락 및 손실은 주로 시험체 표면과 모서리 부분에서 이루어졌으며 시멘트 성분의 용해 및 간결재의 탈락이 나타났다. 시험체의 탈락 및 손실의 정도는  $\text{PL} > \text{SF5}, \text{SF10}, \text{SS5} > \text{SF15}, 10, 15, \text{GS}$  순으로 나타났다.

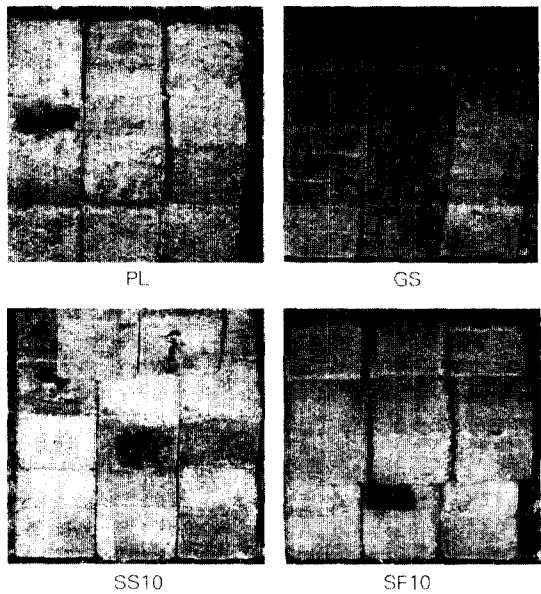


Fig. 4 Appearance change of mortar (3 days)

#### 5) 중성화

시험체의 중성화 실험은 지시약으로 1%의 페놀프탈레인(P.P) 용액을 시험체의 단면에 분부하여 측정하였으며, 측정 부위는 질단된 시험체의 4면을 각각 6등분하여 각 면에 대하여 5곳에서 측정하였다. 각각의 시험체의 중성화 깊이는 변색이 나타나지 않는 부분과 단면 손실 부분과의 합으로써 측정 결과는

Table 8 Neutralization depth change of mortar (mm)

TYPE	Ad	Water curing	Sulfuric acid setting						
			28d.s	3d.s	7d.s	14d.s	28d.s	56d.s	84d.s
P L	-	0	3.8	5.1	6.1	7.2	8.9	10.2	
G S	-	0	2.8	3.7	4.6	6.0	7.1	7.9	
SS 5	SS	5	0	3.7	4.1	4.5	5.2	6.3	7.5
SS 10		10	0	3.0	3.9	5.0	5.3	6.2	7.1
SS 15		15	0	2.6	3.5	4.2	5.0	5.6	6.2
SF 5	SF	5	0	3.3	4.4	5.4	6.3	7.4	8.9
SF 10		10	0	3.1	4.0	4.9	5.9	7.1	8.4
SF 15		15	0	3.1	3.9	4.8	6.1	6.7	8.3

Table 8와 같다.

각각의 시험체의 중성화 깊이는 PL, SS5, SF5 시험체에서 침지 7일 이내에, 나머지 시험체는 침지 14일 이내에 전체 중성화 깊이의 약 50%가 진행되어 중성화가 침지 초기에 주로 진행됨을 알 수 있었다. 특히 규사 분말 및 실리카흙의 혼화재를 사용할 때 치환율이 높아질 수록 중성화 깊이가 감소되는 경향을 보였다. 이는 각각 공극 충전 효과 및 수화생성물 증대로 인한 조직의 치밀화로 인하여 황산이온의 침투를 억제하기 때문으로 사료된다.

Fig. 5 모르타르시험체의 침지 일수와 중성화 깊이의 관계를 나타낸 것이다.

혼화재의 사용에 의한 시험체의 중성화는 PL시험체와 비교하여 GS는 22.5%, SS5는 26.5%, SS10은 30.4%, SS15는 39.2%, SF5는 12.7%, SF10은 17.6%, SF15는 18.6%의 개선 효과를 가져왔다.

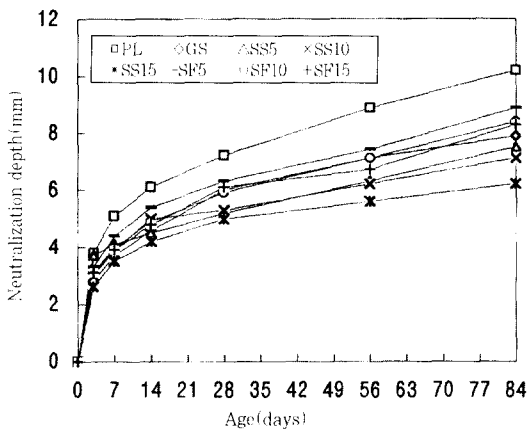


Fig. 5 Relation between age and neutralization depth

### 6) 시험체 내부의 pH 변화

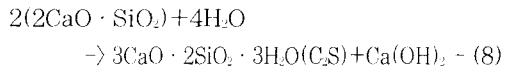
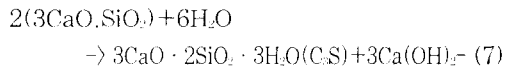
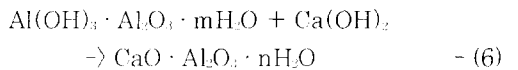
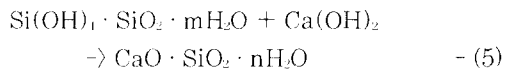
시험체 내부의 pH 변화는 중성화되지 않은 부분의 pH의 변화를 측정하였으며, 중성화 시험 시약인 페놀프탈레인의 변색 범위가 pH 8.5~11이므로 이 범위 내에서 시험체 내부의 변색 정도를 표준변색표와 비교하여 측정한 결과는 Table 9와 같다.

시험체 내부의 pH 변화는 페이스트시험체와 유사한 경향을 나타냈으며 시험체 내부의 공극의 증대로 인하여 전체적인 시험체 내부의 pH 저하 폭은 다소 크게 나타났다.

Table 9 pH change of mortar (pH)

TYPE	Ad	Water curing	Sulfuric acid setting						
			28d.s	3d.s	7d.s	14d.s	28d.s	56d.s	84d.s
P L	-	0	11.0	10.5	10.0	10.0	9.5	9.5	9.0
G S	-	0	11.0	10.5	10.5	10.0	10.0	9.5	9.5
SS 5	SS	5	11.0	11.0	10.5	10.5	10.0	10.0	9.5
SS 10		10	11.0	11.0	11.0	10.5	10.5	10.0	10.0
SS 15		15	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	10.5	10.0
SF 5	SF	5	11.0	10.5	10.5	10.0	10.0	9.5	9.5
SF 10		10	11.0	10.5	10.5	10.0	9.5	9.5	9.0
SF 15		15	11.0	10.5	10.5	9.5	9.5	9.0	9.0

28일 수중양생시험체에서 GS 및 SF10,15시험체가 PL시험체보다 pH가 낮은 GS시험체의 경우는 슬래그 시멘트 성분 중의 CaO의 함량이 작아 Ca(OH)<sub>2</sub>의 생성량이 적고 불용성의 경화체를 형성하기 때문이며(식(5), (6)), SF시험체의 경우는 실리카흙에 의한 포졸란 반응의 활성화로 C<sub>3</sub>S 및 C<sub>2</sub>S 생성량의 증대로 인하여 시험체 내부의 Ca(OH)<sub>2</sub>를 소모시키기 때문이다(식(7), (8)).



혼화재의 종류 및 치환량이 시험체 내부의 pH의 변화에 미치는 영향을 살펴보면, 규사 분말의 경우는 치환량이 많아짐에 따라 시험체 내부 pH의 변화가



적게 나타났으며 이는 미세한 규사분말의 공극 충전 효과 및 황산이온의 침해를 받지 않는 결정성 실리카로서의 특성 때문으로 사료된다.

#### 4. 실험 결과 분석 및 고찰

##### 4.1 내화학적 특성 사이의 관계

내화학적 특성을 결정하는 압축강도, 중량, 중성화 깊이 등의 요소들에 대한 상호 관련성을 고찰하였으며, 이들 요소들 사이의 상관관계 및 관계식은 다음과 같다.

###### 1) 압축 강도-중량 변화

압축강도 저하와 중량감소의 회귀분석 결과 시험체의 상관계수 및 관계식은 Table 10과 같다.

각각의 시험체의 상관 계수는 SS10을 제외한 모든 시험체에서 0.914~0.994로 높았으며 이는 각각의 침지 일수에서 나타나는 압축강도의 저하와 중량 감소 사이에 밀접한 관계가 있음을 의미하며, SS10

Table 10 Interrelation between weight and compressive strength

	Coefficient of correlation	Relation equation
Compress strength	0.904	$F_c = 4.97W_d + 1049.6$
Weight		

$F_c$  = Compressive strength,  $W_d$  = Weight

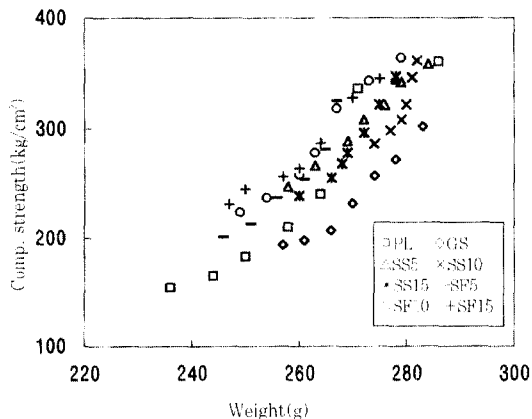


Fig. 6 Relation between compressive strength and weightneutralization depth

시험체는 비교적 상관계수가 낮는데 이는 중량 감소는 침지 56일까지는 완만하게 발생하다가 56일 이후 비교적 큰 감소가 나타나는데 비하여 강도저하는 침지 14일 이내에 전체 강도 저하의 50% 이상이 나타나기 때문이다.

Fig. 6은 5% 황산 침지 일수의 경과에 따른 압축 강도와 중량과의 관계를 나타낸 것이다.

###### 2) 압축 강도-중성화

압축 강도와 중성화 깊이의 회귀 분석 결과 상관 계수 및 관계식은 Table 11과 같다.

Fig. 7은 5% 황산 침지 일수의 경과에 따른 시험체의 압축강도와 중성화 깊이와의 관계를 나타낸 것이다.

각각의 시험체의 상관 계수는 PL시험체를 제외한 모든 시험체에서 0.918~0.992로 높게 나타났으며 이는 각각의 침지 일수에서 나타나는 압축 강도의 저하가 중성화 깊이의 증가로 인하여 발생함을 의미하

Table 11 Interrelation between compressive strength and neutralization depth

Type	Coefficient of correlation	Relation equation
Compress strength	0.912	$F_c = -20.78D_d + 352.5$
Neutrization depth		

$F_c$  = Compressive strength,  $D_d$  = Neutralization depth

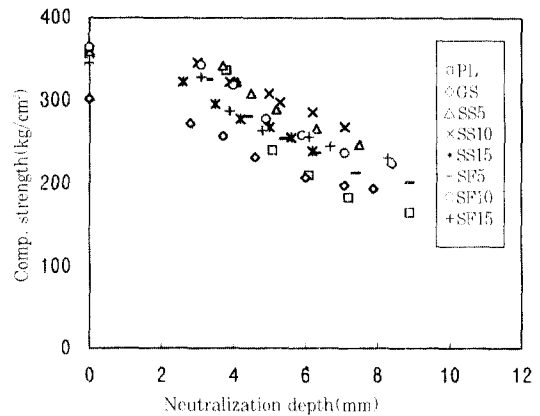


Fig. 7 Relation between neutralization depth and compressive strength

며, PL시험체는 비교적 상관 계수가 낮은데 이는 강도 저하가 침지 초기에 주로 발생하는데 비하여 중성화는 침지 기간에 비례하여 나타나기 때문으로 사료된다.

### 3) 중량-중성화

중량과 중성화 깊이의 회귀 분석 결과 상관계수 및 관계식은 Table 12와 같다.

Table 12 Interrelation between weight and neutralization dept

Type	Coefficient of correlation	Relation equation
Weight - Neutralization depth	0.894	$W_i = -4.231D_i + 281.8$

$W_i$  = Weight,  $D_i$  = Neutralization depth

Fig. 8은 모르터 시험체의 중량과 중성화 깊이의 관계를 나타낸 것이다.

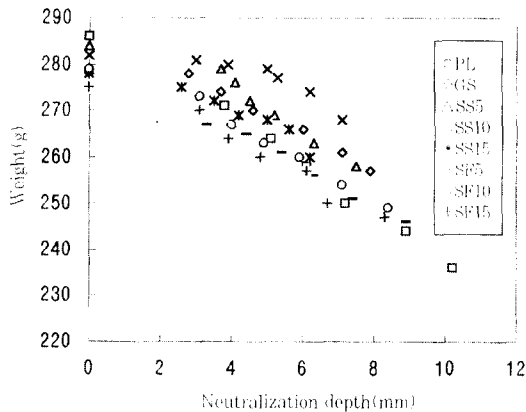


Fig. 8 Relation between weight and neutralization depth

각각의 시험체의 상관 계수는 SS10 시험체를 제외한 모든 시험체에서 0.937~0.989로 높게 나타났으며 이는 중량 감소와 중성화 깊이의 증가 사이에 밀접한 관계가 있음을 의미하며, SS10시험체는 비교적 상관 계수가 낮은데 이는 침지후 완만한 중량 감소가 나타나다가 침지 56일 이후 비교적 큰 감소가 나타나는데 비하여 중성화 깊이는 침지 7일 이내에 전체 중성화 깊이의 50% 이상이 나타나기 때문으로

사료된다.

## 4.2 예측 모델로서 사용 가능성

콘크리트의 내화학적 예측 모델로서 모르터시험체의 사용 가능성 검토 결과, 84일 황산 침지후 각 시험체의 내화학적 특성은 28일 수중 양생 시험체에 비하여, 압축 강도는 모르터의 경우 42.8~74.3%, 콘크리트의 경우 50.6~75.8%를 나타냈으며, 중량은 모르터의 경우 82.5~95%, 콘크리트의 경우 90.9~99.4%를 나타냈다.

중성화는 84일 황산 침지후 전체 시험체 단면중 모르터의 경우 24.8~40.8%, 콘크리트의 경우 38.4~58.6%가 진행되었으며, 시험체 내부 pH변화는 84일 황산 침지후 모르터 및 콘크리트의 모든 경우에서 pH 9.0~10.5를 나타냈다.

특히 혼화재의 종류 및 치환량에 따른 내화학적 실험 결과가 콘크리트 시험체의 경우와 유사하게 측정되어 콘크리트의 내화학적 예측 모델로서 모르터 모델의 사용이 가능하리라 사료된다.

Table 13 Test result of concrete (W/C 60%)

Type (Ad)	Experimental item	Water curing 28d.s.	5% Sulfuric acid setting					
			3d.s.	7d.s.	14d.s.	28d.s.	56d.s.	84d.s.
PL	Comp. strength	100	91.8	79.6	71.4	65.1	56.9	50.6
	item	100	98.3	97.6	95.7	94.2	92.6	90.9
	Neutralization	0	14.4	20.4	31.0	38.8	47.8	58.6
	pH	11.0	11.0	10.5	10.5	10.0	9.5	9.0
GS	Comp. strength	100	90.6	88.4	86.9	85.5	75	69.6
	weight	100	100.2	100.1	100	99.7	99.4	98.8
	Neutralization	0	11.8	13.8	16.4	23.2	30.2	41.2
	pH	10.5	10.5	10.0	10.0	9.5	9.5	9.0
SS 10 (Silica sand)	Comp. strength	100	98.1	97.4	94.3	87.2	80.4	75.8
	weight	100	100.5	100.5	100.4	100.4	100.2	99.4
	Neutralization	0	12.8	16.5	17.8	25.0	33.8	38.4
	pH	11.0	11	11.0	11.0	10.5	10.5	10.0
SF 10 (Silica fume)	Comp. strength	100	91.3	82.1	77.9	73.0	71.1	65.4
	weight	100	100.2	98.6	96.3	96.6	94.5	93.2
	Neutralization	0	14.4	20.8	31.4	39.8	47.8	57.6
	pH	10.5	10.5	10.5	10.0	9.5	9.5	9.0

\* (Comp. strength : 초기 강도에 대한 백분율 (단위:%)  
Weight : 초기 중량에 대한 백분율 (단위:%)  
Neutralization : 시험체의 중성화 비율 (단위:%)  
pH : 시험체 내부의 pH 변화 (단위:pH)

## 5. 결 론

본 연구는 콘크리트의 내화학성에 관한 연구의 일환으로 규사 분말을 치환한 모르터의 시공성, 내화학성 및 예측 모델로서의 사용 가능성 검토 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 규사 분말을 치환한 모르터의 시공성은, 플로우 실험결과 치환량이 많아질 수록 플로우 값의 증가가 나타났으며, 이는 규사 분말이 결정성  $\text{SiO}_2$ 로서 시멘트와 모래입자 사이에서 불베어링 작용을 하기 때문이라 사료된다. 강도 발현은 SS5, SS10의 경우 PL 시험체와 유사한 경향을 나타냈으며 SS15의 경우 강도저하가 나타났다. 이는 규사분말은 결정성 실리카가 주성분으로서 일정량 이상 시멘트를 치환하여 사용될 경우 결합재의 부족으로 인한 강도저하가 나타나는 것으로 사료된다.

2) 규사 분말을 치환한 모르터시험체는 PL시험체와 비교하여 압축강도는 26.1~31.5%, 중량은 8.3~12.5%, 그리고 중성화는 26.5%~39.2%의 개선 효과가 있었다. 규사 분말의 적정치환율은 강도, 중량측면에서는 10%, 중성화, 시험체 내부 pH변화 측면에서는 15% 치환시 가장 우수한 내화학성을 나타냈다.

3) 황산 침지 일수의 경과에 따른 성분 및 외관의 변화는 규사 분말의 치환량이 많아짐에 따라 변화가 적게 나타났으며, 이는 산에 침식되지 않는 규사 분말의 결정성  $\text{SiO}_2$ 로서의 특성과 미세한 규사 분말의 공극 충전 효과에 의함으로 사료된다.

4) 콘크리트의 내화학성 예측 모델로서 모르터 모델의 사용 가능성 검토 결과, 혼화재의 종류 및 치환량에 따른 내화학성 실험 결과가 콘크리트의 실험 결과와 유사하게 측정되므로 콘크리트의 내화학성 예측 모델로서 모르터 모델의 사용이 가능하리라 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. 부척량, 정호철, "규사 분말이 콘크리트의 유동성에 미치는 영향", 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 1995.10, pp.769-773
2. 부척량, 진동재, "규사혼입 콘크리트의 물성에 관한 연구", 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 1995.10
3. 부척량, 서동수, "부순 모래 콘크리트에 관한 실험적 연구-규사혼입 콘크리트의 시공성과 강도 특성-" 대한건축학회 추계학술발표 대회 논문집, 1996.4
4. Hendrik L. Kong, James Orbison, "Concrete Deterioration Due to Acid Precipitation" ACI Materials Journal, 1987 3-4, pp.110-116
5. Menashi D. Cohen, Bryant Mather, "Sulfate Attack on Concrete -Research Needs-", ACIMaterials Journal, 1991 7-8, pp.62-69
6. 小林一輔, 宇野碩一, "酸性雨によるコンクリート構造物の老化機構に関する考察", 콘크리트工学年次論文報告集 13-1, 1991, pp.615-620

(접수일자 : 1996. 10. 24)