

# 전기전도 접지모르타르의 팽창성 도입에 의한 도전을 향상에 관한 연구

Ready Mixed Concrete Journal

윤 기 원 아주산업 기술연구소 소장, 공학박사

## 1 서론

최근 건축물의 경우 각종 전기설비 및 통신 설비 등의 비중이 점차 높아지고 있는 추세로써 이러한 각종 전기 통신 설비는 제 성능을 발휘하기 위하여 안전하고 효율적인 접지시공이 요구되고 있다.

그러나 기존의 접지극 시공은 구리(銅)나 기타 몇 안 되는 재료로 제작되고 시공되어져 왔는데, 이러한 금속재료의 경우 지층에 위치할 경우 부식에 의하여 접촉면적 감소 등으로 접지극으로써의 성능이 저하하여 시공 당시의 품질을 확보하기 어려운 것으로 알려지고 있다.

이러한 상황에서 비금속 재료인 시멘트 모르타르를 이용하여 접지극으로 사용하는 기술을 개발하여 실무에 적용하여 왔는데, 그 품질이 기존의 재료보다 우수한 것으로 알려지고 있다.

단, 시멘트 모르타르를 이용한 접지극의 경우 시멘트의 재료특성상 경화과정에서 발생하는 각종 수축 즉, 자기수축 화학적 수축, 건조수축 등으로 최종 수축량은 약  $8 \times 10^{-4}$  정도가 된다. 이러한 현상은 완제품 상태로 출하하는 경우에는 문제시되지 않으나 현장에서 혼합하여 시공하는 경우에는 경화과정에서의 수축으로 토양과의 밀접한 접촉을 기대할 수 없으므로 접지극으로써의 제 성능을 확보할 수 없는 경우가 발생할 수도 있으며, 그 이외에도 강도 특성이나 내구성 등도 면밀히 검토하여야 할 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 모르타르의 수축 특성에 대한 이론적 고찰을 수행하고, 시멘트 종류, 시멘트 : 잔골재 배합비의 변화, W/C의 변화, 팽창재 혼입을 변화에 따른 모르타르의 길이변화 특성을 분석하여 현재 시공중인 도전성 접지 모르타르에 팽창특성을 도입하여 접지저항의 최소화 방안에 한 참고자료를 제시하고자 한다.

## II 실험계획 및 방법

### 2-1 실험계획

본 연구의 실험계획은 [표 1]과 같고, 배합표는 [표 2]와 같다. 먼저, 저감제:규사비는 1:0.5로 고정한 후 분탄치환율 0%, 15%, 동슬래그 치환율 0%, 70%의 두 수준으로 실험 계획하였다. 저감재물비는 각 골재별로 팽창재혼입율 0에서 플로우가  $150 \pm 10$ 이 되도록 결정한 후 전배합에 동일하게 적용하는 것으로

로 계획하였다.

한편, 팽창재의 경우는 A사와 B사제품의 2종류를 사용하고, 혼입율은 무첨가, 적정량의 1/2, 적정량, 적정량의 2배로 하여 적용하는 것으로 계획하였다.

실험항목으로 굳지않은 모르타르의 경우 [표 1]에서 나타낸 것처럼 플로우 및 온도를 측정하였고, 경화모르타르에서는 재령별 압축강도, 인장강도 및 휨강도 그리고 건조수축에 의한 길이변화율과 도전을 측정하는 것으로 하였다.

[표 1] 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	저감제:규사	1	1:0.5
	저감제	1	엠어스
	분탄치환율	1	0, 15
	동슬래그 치환율	2	0, 70
	저감재물비	1	각골재별 팽창재혼입율 0에서 플로우가 $150 \pm 10$ 이 되도록 결정한 후 전배합에 동일하게 적용
	팽창재종류 및 혼입율	4	CSA계 팽창재 A사, B사 - 무첨가 - 1/2적정첨가량 - 적정첨가량 - 2적정첨가량
실험사항	굳지 않은 모르타르	2	- 플로우 - 온도
	경화 모르타르	5	- 압축강도, 인장강도, 휨강도 (3일, 7일, 28일, 91일, 180일) - 건조수축(6개월) - 도전을

[표 2] 배합사항

구분	기호	중량배합(kg/m <sup>3</sup> )					
		저감재	물	규사	분탄	동슬래그	팽창재
1	S-0-A0	545	203	217	40	0	0
	S-0-A0.5	545	203	217	40	0	27
	S-0-A1	545	203	217	40	0	54
	S-0-A2	545	203	217	40	0	108
	S-0-B1	545	203	217	40	0	54
	S-70-A0	545	203	77	40	190	0
	S-70-A1	545	203	77	40	190	54
	S-70-A2	545	203	77	40	190	108
	S-70-B1	545	203	77	40	190	54
2	N-0-A0	545	202	218	40	0	0
	N-0-A0.5	545	202	218	40	0	27
	N-0-A1	545	202	218	40	0	54
	N-0-A2	545	202	218	40	0	108
	N-0-B1	545	202	218	40	0	54
	N-70-A0	545	202	76	40	190	0
	N-70-A0.5	545	202	76	40	190	27
	N-70-A1	545	202	76	40	190	54
	N-0-B1	545	202	76	40	190	54

기호 : A-B-C0

A : 잔골재 종류, S : 규사, N : 천연사 B : 동슬래그치환율(%) C0 : 팽창재종류 및 첨가배수

## 2-2 사용재료

본 실험의 사용재료로서, 저감재는 동양산전에서 제공하는 엠어스 제품을 사용하였고, 골재는 강모래와 규사를 사용하였는데, 비중은 강모래가 2.55 규사가 2.60으로 측정되었다.

또한, 혼화제로 사용한 분탄 및 동슬래그는 동양산전에서 제공하는 것을 사용하였으며, 팽창재는 국내산 A사와 일본산 B사 제품을 사용하였다.

## 2-3 실험방법

먼저, 본 연구의 대상으로 선정한 사용재료의 물리적 시험으로 저감재의 비중은 KS L 5110, 규사의 비중은 KS F 2504에 의거하여 실시하였다.

실험방법으로 모르터의 혼합은 간이용 회전믹서를 사용하여, 저감재, 규사, 분탄, 동슬래그 및 팽창재를 투입하여 건비빔을 실시한 후, 물을 투입하여 혼합하는 것으로 한다.

굳지 않은 콘크리트의 유동성 평가로서 플

로우 시험은 KS L 5105 규정에 의거 실시하였고, 공시체 제작으로 압축강도 시험용 공시체는 4×4×16cm의 힘 몰드를 이용하여 제작한 다음 힘강도 측정 후 잔여의 공시체를 이용하여 압축강도를 측정하였다. 한편, 인장강도시험은 KS L 5104의 방법에 의거하여 인장몰드를 제작한 후 표준양생하여 소요의 재령에서 측정하는 것으로 하였다.

건조수축에 의한 길이변화는 KS F 2424 규정(모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험 방법)중 다이얼 게이지(최소눈금 0.01mm) 방식으로 측정하였는데, 공시체는 4×4×16cm 크기의 입방형으로 제작·성형한 후 1주일간은 수중양생, 그 이후 소정의 계획된 재령까지는 온도 20±3℃, 상대습도 60±10%인 기중양생을 실시하였고, 다음 식 (1)에 의하여 구하는 것으로 하였으며, 도전율은 도전율 측정계를 이용하여 재령 3, 7, 28일에서 측정하였다.

$$\text{길이변화율(\%)} = \frac{X_1 - X_i}{L_0} \times 100 \quad \text{식 (1)}$$

여기서,  $L_0$  : 기준길이

$X_1$  : 기준으로 한 시점에서의 측정치

$X_i$  : 계획재령 시점  $i$ 에서의 측정치

### III 실험결과 및 분석

#### 3-1 굳지 않은 모르타르의 특성

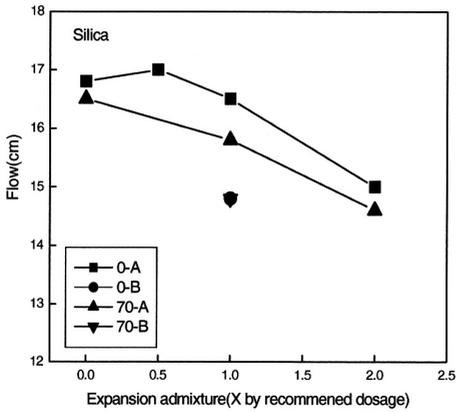
[표 3] [그림 1 및 2]는 잔골재 종류별 팽창재 치환율에 따른 모르타르의 플로우치를 나타낸 것이다. 전반적으로 팽창재 혼입률이 증가

할수록 플로우치는 저하되는 것으로 나타났으며 규사를 사용한 경우 동슬래그를 치환할 경우 유동성이 저하하는 것으로 나타났으나, 강모래를 사용한 경우 오히려 유동성이 증가하는 것으로 나타났다.

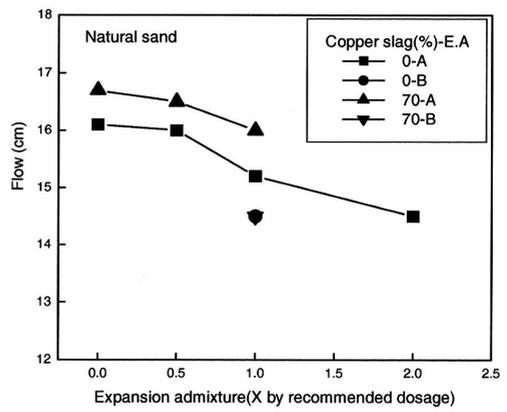
한편, 팽창재 종류별로는 적정혼입율에서 A사 제품을 사용한 경우가 B사 제품을 사용한 경우보다 높은 유동성을 발휘하는 것으로 나타났다.

[표 3] 모르타르의 프로우값

구분	기호	플로우 (cm)
1	S-0-A0	16.8
	S-0-A0.5	17.0
	S-0-A1	16.5
	S-0-A2	15.0
	S-0-B1	14.8
	S-70-A0	16.5
	S-70-A1	15.8
	S-70-A2	14.6
	S-70-B1	14.8
2	N-0-A0	16.1
	N-0-A0.5	16.0
	N-0-A1	15.2
	N-0-A2	14.5
	N-0-B1	14.5
	N-70-A0	16.7
	N-70-A0.5	16.5
	N-70-A1	16.0
	N-0-B1	14.5



[그림 1] 팽창재 혼입률에 따른 플로우치 (규사 사용)



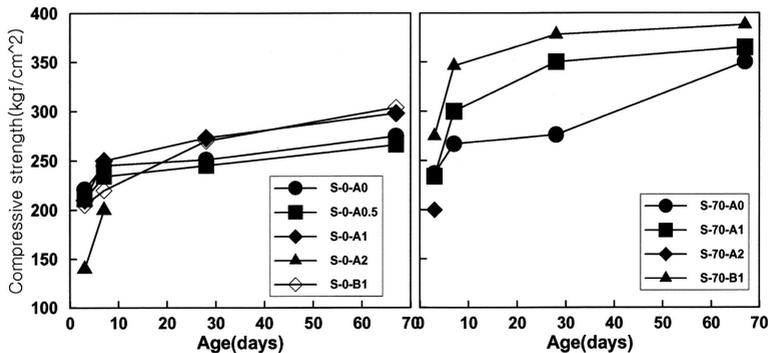
[그림 2] 팽창재 혼입률에 따른 플로우치 (강모래 사용)

### 3-2 경화모르터의 강도 특성

#### 3-2-1 압축강도 특성

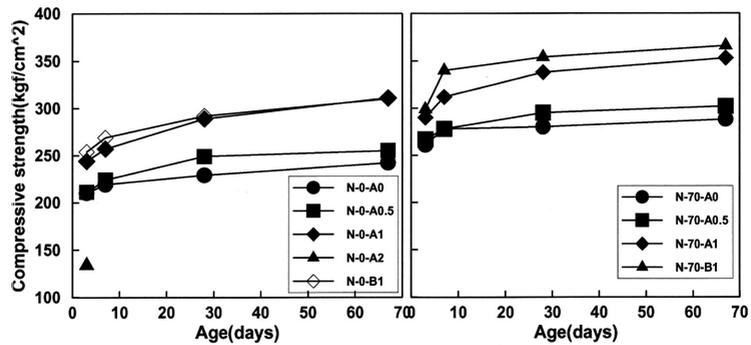
[표 4] [그림 3 및 4]는 잔골재 종류별 팽창재 혼입률에 따른 재령별 압축강도를 나타낸 것이다. 전반적으로 팽창재 혼입률이 증가할수록 적정혼입율 범위까지는 압축강도는 증진되는 것으로 나타났는데, 이는 팽창재중 수

화반응에 도움을 주는 물질의 혼입으로 초래된 결과로 사료된다. 단, 팽창재 치환율이 적정량보다 많이 치환되는 경우 과도한 팽창으로 인하여 시험체가 파괴되는 경향이 발생하여 재령 7일 이후부터는 강도측정이 불가능하였다. 따라서 팽창재를 과도하게 혼입할 경우에는 과대팽창에 대한 문제가 발생할 수 있을 것으로 사료된다.



[그림 3] 규사사용 모르터의 재령경과에 따른 압축강도

## 전기전도 접지모르타르의 팽창성 도입에 의한 도전을 향상에 관한 연구



[그림 4] 강모래사용 모르타르의 재령경과에 따른 압축강도

[표 4] 재령경과에 따른 압축강도 시험결과치

기 호	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )			
	3일	7일	28일	67일
S-0-A0	221	245	251	275
S-0-A0.5	195	210	234	268
S-0-A1	198	242	273	355
S-0-A2	140	200	측정불가	측정불가
S-0-B1	205	220	270	360
S-70-A0	237	267	276	350
S-70-A1	234	300	350	365
S-70-A2	200	측정불가	측정불가	측정불가
S-70-B1	275	346	378	388
N-0-A0	210	219	229	242
N-0-A0.5	211	224	249	250
N-0-A1	244	257	289	311
N-0-A2	134	측정불가	측정불가	측정불가
N-0-B1	254	269	292	310
N-70-A0	261	278	280	288
N-70-A0.5	267	278	295	300
N-70-A1	290	312	338	353
N-70-B1	299	340	354	356

또한, 잔골재 종류별로는 전반적으로 규사를 사용한 경우가 강모래를 사용한 경우보다 약간 높은 압축강도를 나타내고 있었다. 동슬래그를 치환한 경우는 동슬래그를 치환하지 않은 경우보다 높은 압축강도를 발휘함을 알 수 있었다. 팽창재를 적정량 치환한 경우 플레인 배합보다 높은 압축강도를 발휘하는 것으로 나타났다.

종합적으로 잔골재는 규사를 사용하고 동슬래그를 70%치환하며 팽창재를 적정량 치환한 배합(S-70-A1)이 가장 높은 강도발현 특성을 보이는 것으로 나타났다.

### 3-2-2 인장강도 특성

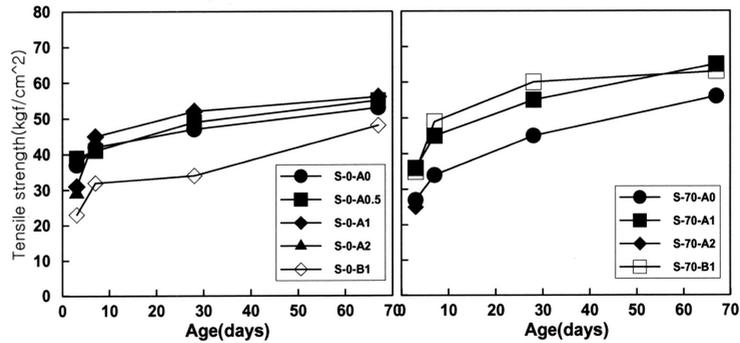
[표 5] [그림 5 및 6]은 잔골재 종류별 팽창재 혼입율에 따른 재령별 인장강도를 나타낸 것이다.

전반적으로 압축강도와 유사한 경향을 보이고 있는데, 적정 혼입율 이전에서는 혼입율이 증가할수록 인장강도가 약간 증가하거나 거의 변화가 없으나, 적정 혼입율 이후에서는 플레인보다 저하하고 과대한 팽창으로 측정이 불가능하였다. 대략적으로 인장강도는 압축강도의 1/7~1/10정도의 범위를 보이고 있었다.

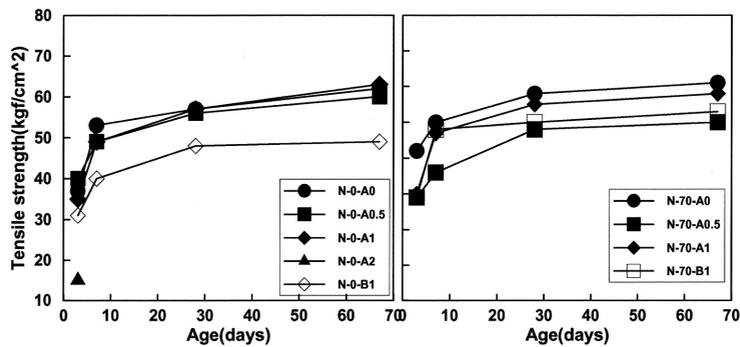
[표 5] 인장강도 시험결과치

기 호	인장강도(kgf/cm <sup>2</sup> )			
	3일	7일	28일	67일
S-0-A0	37	42	53	54
S-0-A0.5	39	41	56	60
S-0-A1	31	45	52	59
S-0-A2	29	측정불가	측정불가	측정불가
S-0-B1	23	32	34	48
S-70-A0	27	34	45	56
S-70-A1	36	55	62	65
S-70-A2	25	측정불가	측정불가	측정불가
S-70-B1	35	49	60	63
N-0-A0	37	53	57	62
N-0-A0.5	40	49	55	60
N-0-A1	35	49	57	63
N-0-A2	15	측정불가	측정불가	측정불가
N-0-B1	31	40	48	49
N-70-A0	42	50	58	61
N-70-A0.5	29	36	48	50
N-70-A1	30	50	55	58
N-70-B1	29	48	50	54

## 전기전도 접지모르타르의 팽창성 도입에 의한 도전을 향상에 관한 연구



[그림 5] 규사 사용 모르타르의 재령에 따른 인장강도



[그림 6] 강모래 사용 모르타르의 재령에 따른 인장강도

## 3-3 길이변화 특성

[표 6]과 [그림 7] 및 [그림 8]은 재령경과에 따른 모르타르의 길이변화율을 나타낸 것이다.

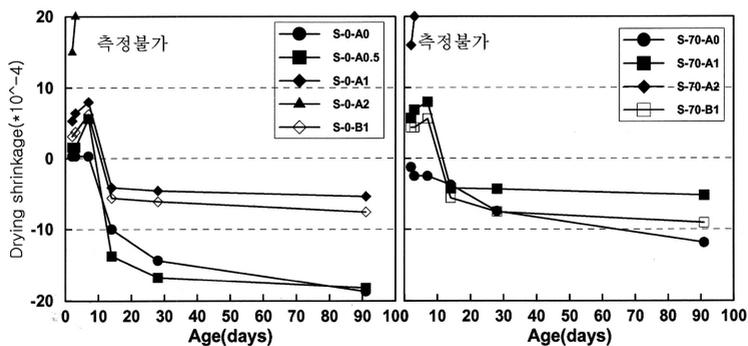
전반적으로 팽창재 혼입률이 증가할수록 초기 7일 정도까지는 팽창을 진행하다가 그 이후는 수축하는 것으로 나타났는데, 전체적으로는 팽창재 혼입률이 증가할수록 건조수축에 의한 길이변화율이 감소하는 것으로 나타났고, 재령 91일에서의 길이변화율은  $5.0 \times 10^{-4} \sim 18.7 \times 10^{-4}$  정도로 나타났다. 한편,

적정 혼입율의 2배 이상이 될 경우 과도한 팽창에 의하여 길이변화율의 측정이 불가능하였다.

잔골재 종류별로는 규사를 사용한 경우가 강모래를 사용한 경우보다 약간 길이변화율이 큰 것으로 나타났으며, 동슬래그를 사용한 경우는 동슬래그를 사용하지 않은 경우보다 길이변화율이 감소하는 것으로 나타나 동슬래그가 건조수축에 효과가 있음을 알 수 있었다.

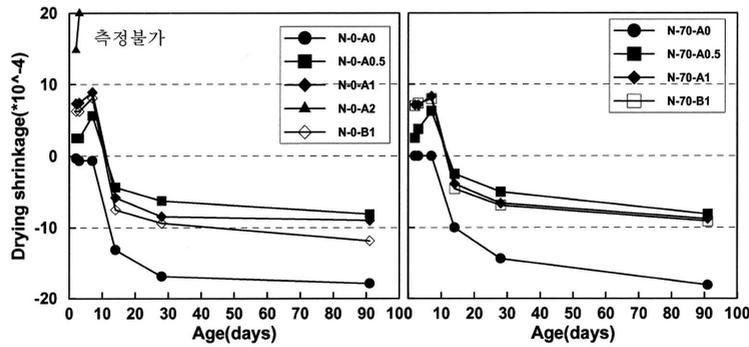
[표 6] 길이변화율 시험 결과치

기호	길이변화율( $\times 10^{-4}$ )						
	1일	2일	3일	7일	14일	28일	91일
S-0-A0	0	0.31	0.31	0.31	-10.00	-14.37	-18.70
S-0-A0.5	0	1.56	1.56	5.63	-13.75	-16.75	-18.22
S-0-A1	0	5.30	6.40	7.99	-4.12	-4.59	-5.39
S-0-A2	0	15.0	170.0	측정불가	-	-	-
S-0-B1	0	3.12	3.75	6.25	-5.62	-6.12	-7.59
S-70-A0	0	-1.25	-2.50	-2.50	-3.75	-7.50	-11.88
S-70-A1	0	5.68	6.89	8.00	-4.22	-4.34	-5.24
S-70-A2	0	16.00	157	측정불가	-	-	-
S-70-B1	0	4.37	4.37	5.62	-5.55	-7.56	-9.10
N-0-A0	0	-0.31	-0.63	-0.63	-13.12	-16.86	-17.90
N-0-A0.5	0	2.50	2.50	5.62	-4.37	-6.25	-8.12
N-0-A1	0	7.34	7.45	8.90	-5.78	-8.45	-9.00
N-0-A2	0	14.80	155	측정불가	-	-	-
N-0-B1	0	6.25	6.25	8.12	-7.50	-9.37	-11.87
N-70-A0	0	0	-1.34	-2.45	-10.00	-14.37	-18.12
N-70-A0.5	0	2.5	3.75	6.25	-2.50	-5.00	-8.12
N-70-A1	0	7.12	7.56	8.34	-3.89	-6.59	-8.79
N-70-B1	0	7.00	7.34	8.00	-4.57	-6.88	-9.10

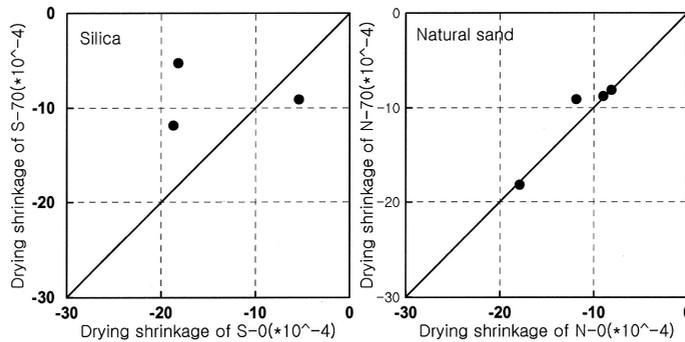


[그림 7] 규사사용 모르타르의 길이변화율

전기전도 접지모르타르의 팽창성 도입에 의한 도전율 향상에 관한 연구



[그림 8] 강모래사용 모르타르의 길이변화율



[그림 9] 잔골재 종류 및 동슬래그 치환율에 따른 길이변화율

한편, 팽창재 혼입율별로는 적정사용량에서는 무혼입한 경우에 비하여 약 2.5배 정도의 건조수축 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 팽창재 종류별로는 A사 제품의 경우가 B사 제품에 비하여 약간 건조수축을 감소시키는 것으로 나타나, 본 연구범위에서는 규사를 사용하고 동슬래그를 70%치환하며 A사 팽창재를 사용한 S-70-A1 배합이 건조수축의 저감에 보다 효과적일 것으로 사료된다.

[그림 9]는 잔골재 종류 및 치환율에 따른

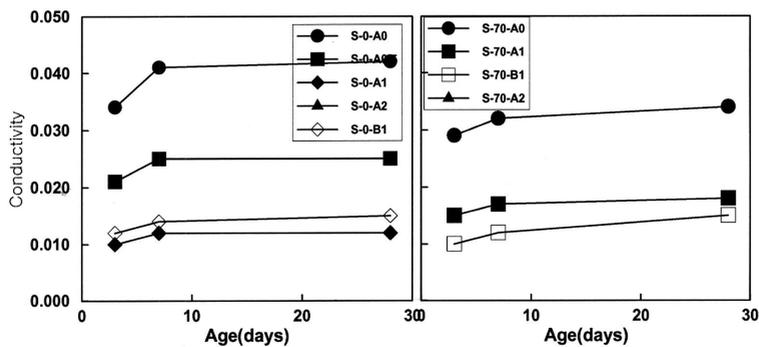
길이변화율을 산점도로 나타낸 것이다. 전반적으로 규사를 사용한 경우가, 동슬래그를 70%치환한 경우가 건조수축에 의한 길이변화율이 작게 나타남을 알 수 있었다.

### 3-4 도전율

[표 7]과 [그림 10 및 11]은 잔골재 종류별 재령경과에 따른 도전율을 나타낸 것이다. 전반적으로 재령이 경과할수록 도전율은 증가

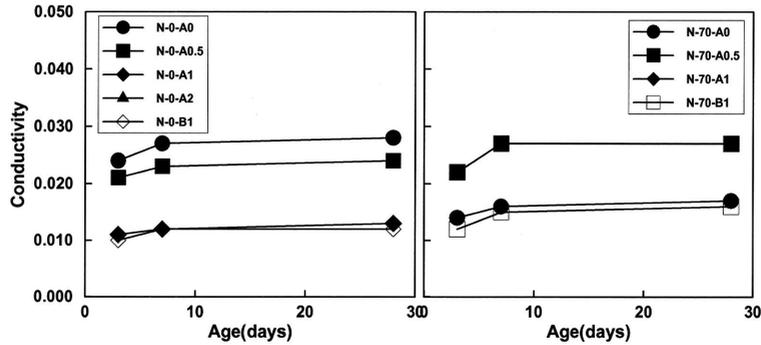
[표 7] 도전을 시험결과치

기 호	도전율( $\Omega/m$ )		
	3일	7일	28일
S-0-A0	0.034	0.041	0.042
S-0-A0.5	0.021	0.025	0.025
S-0-A1	0.010	0.012	0.012
S-0-A2	-	-	-
S-0-B1	0.012	0.014	0.015
S-70-A0	0.029	0.032	0.034
S-70-A1	0.015	0.017	0.018
S-70-A2	-	-	-
S-70-B1	0.010	0.012	0.015
N-0-A0	0.024	0.027	0.028
N-0-A0.5	0.021	0.023	0.024
N-0-A1	0.011	0.012	0.013
N-0-A2	-	-	-
N-0-B1	0.010	0.012	0.012
N-70-A0	0.014	0.016	0.017
N-70-A0.5	0.022	0.027	0.027
N-70-A1	0.014	0.016	0.017
N-70-B1	0.012	0.015	0.016

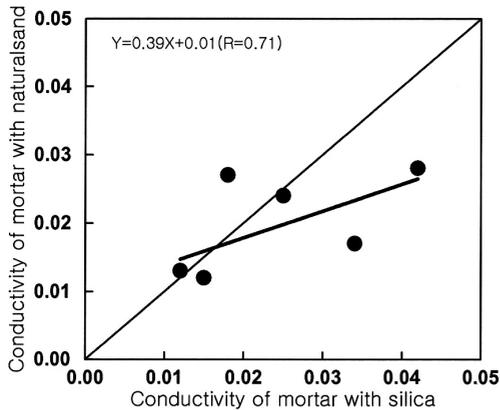


[그림 10] 규사 사용 모르터의 도전율

## 전기전도 접지모르타르의 팽창성 도입에 의한 도전을 향상에 관한 연구



[그림 11] 강모래 사용 모르타르의 도전을



[그림 12] 잔골재종류별 도전을 비교

하는 것으로 나타났는데, 이는 재령이 경과할수록 조직이 치밀해지기 때문에 나타난 결과로 사료되며, 팽창재 혼입율이 증가할수록 도전을 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 팽창재 종류별로는 A사 제품을 사용한 경우가 B사 제품을 사용한 경우보다 높은 전도율을 나타내고 있었다. 동슬래그를 치환한 경우가 치환하지 않은 경우보다 도전을 감소하는 것

으로 나타났다.

[그림 12]는 잔골재 종류별 28일에서의 도전을 결과치를 나타낸 것이다. 전반적으로 규사를 사용한 경우가 강모래를 사용한 경우보다 높은 도전을 갖는 것으로 분석되었다.

#### IV 결론

본 연구에서는 팽창성 도전 접지모르타르의 최적배합비 결정을 위하여 잔골재 종류, 팽창재 혼입율 및 종류등을 변화시켜가면서 일련의 실험을 진행하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 굳지 않은 모르타르의 유동특성으로 팽창재 혼입율이 증가할수록 잔골재 종류에 관계없이 굳지 않은 모르타르의 유동성이 저하하는 현상을 보였고, 규사를 사용한 경우가 강모래를 사용한 경우보다 약간 높은 유동성을 발휘하는 것으로 나타났으며, 동슬래그를 사용할 경우 유동성이 약간 저하하는 현상을 보였다.

(2) 경화 모르터의 강도 특성으로 팽창재 혼입율이 증가할수록 압축강도 및 인장강도는 증가하나, 적정첨가량 이상의 과량 혼입한 경우에는 과다팽창으로 시험체의 파괴가 일어나 강도측정이 불가능하여 이에 대한 주의가 필요할 것으로 사료된다. 또한, 잔골재 종류별로는 규사를 사용한 경우가 강모래를 사용한 경우보다 높은 압축강도를 나타냈고, 동슬래그를 사용한 경우 사용하지 않은 경우에 비하여 높은 강도발현 특성을 보였다. 인장강도의 경우는 압축강도의 경향과 유사하였으며 압축강도의 1/7~1/10정도로 나타났다.

(3) 길이변화율 특성으로서 전반적으로 팽창재 혼입율이 증가할수록 길이변화율은 작아지는 것으로 나타났으나 과도한 혼입은 과팽창을 일으켜 주의가 요망되었다. 전체적으로 규사를 사용하고 동슬래그를 사용한 배합에서 비교적 적은 수축량을 보이는 것으로 나타났으며 본 연구범위에서 건조수축에 의한 길이변화율이 적게 나타난 배합은 S-0-A1배합으로 나타났다.

(4) 도전율 특성으로서 재령이 경과할수록

도전율은 증가하는 것으로 나타났으며, 팽창재 혼입율이 증가할수록 도전율은 감소하는 경향이었고 동슬래그를 사용할 경우 역시 도전율이 감소하는 결과를 보였다.

이상을 종합할 때 유동특성, 강도발현특성, 길이변화율 및 도전율 등을 종합적으로 고려할 경우 본 연구의 범위에서는 S-70-A1배합이 높은 강도특성, 적은 건조수축 등 가장 양호한 성능을 발휘할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. 김무한의 2인, 건축재료학, 문운당, 2002.
2. 한천구의 5인, 건축재료실험, 기문당, 2003.
3. 건설교통부, 건축공사표준시방서, 대한건축학회, 1999.
4. 건설교통부, 콘크리트표준시방서, 한국콘크리트학회, 2003
5. 한만엽 ; 건조수축의 메카니즘과 물의 역할, 한국콘크리트학회지, 제3권, 2호, pp. 46~52, 1991.