분말수축저감제를 이용한 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르터의 건조수축 저감효과

Drying Shrinkage Reduction of Redispersible Polymer Powder-Modified Mortars Using Powdered Shrinkage-Reducing Agent

김 완 기* 大濱嘉彦** 소 양 섭***
Kim, Wan Ki Ohama, Yoshihiko Soh, Yang Seob

Abstract

In general, the drying shrinkage of polymer-modified mortars using redispersible polymer powders is much higher than that of unmodified mortar. The purpose of this study is to reduce the drying shrinkage of polymer-modified mortars using a redispersible poly(ethylene-vinyl acetate)(EVA) powder, which is widely used for the manufacture of prepackaged-type polymer-modified mortar products at present. Polymer-modified mortars using the redispersible EVA powder with powdered shrinkage-reducing agent were prepared with various polymer-cement ratios and shrinkage-reducing agent contents, and tested for drying shrinkage and strength. From the test results, the drying shrinkage of the redispersible EVA powder-modified mortars with a powdered shrinkage agent is remarkably reduced with increasing shrinkage-reducing agent content, and becomes approximately a half of that of the redispersible EVA powder-modified mortars with the same polymer-cement ratios and without the shrinkage-reducing agent at a shrinkage-reducing agent content of 6%.

1. 서론

재유화형 분말수지를 이용한 폴리머 시멘트 모르터의 일반적 성질은 보통 시멘트 모르터와 비교하여 우수하며 현재 시판되어 광범위하게 사용되고 있는 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼젼을 이용한 폴리머 시멘트 모르터와 손색이 없는 성능을 가지고 있다. 그러나 그 건조수축은 보통 시멘트 모르터 및 폴리머 시멘트 모르터와 비교하여 상당히 크다[1]. 또, 보통 시멘트 모르터 및 폴리머 시멘트 모르터의 성질은 사용하는 골재의 종류에 따라 다른 것으로 사료된다. 한편, R.H.Smith와 R.H,Mills[2]는 계면활성제를 비빔수에 첨가하였을 경우, 시멘트 페이스트 내의 모세관 장력의 저하에 의해 시멘트 모르터의 건조수축이 저감하는 것을 보이고 있다.

본 연구에서는 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르터의 건조수축저감을 목적으로써 개발한 폴리 에테르계 분말수축저감제[3]의 첨가가 그 건조수축 및 강도에 미치는 영향을 검토함과 동시에 수축저감제 첨가율, 물시멘트비, 폴리머 시멘트비 등의 조합 요인을 고려한 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르터의 건조수축 및 강도 산정식을 제안한다.

*전북대학교 강사
**일본대학 공학부 건축학과 교수
***정회원, 전북대학교 건축공학과 교수

2. 실험개요

2.1 사용재료

(1) 시멘트

본 실험에 사용한 시멘트는 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

(2) 골재

골재로는 표준사(TSS), 강모래(RS) 및 규사(SS)를 사용하였다. 잔 골재의 성질을 표 1에 나타낸다.

(3) 시멘트 혼화용 폴리머

시멘트 혼화용 재유화형 분말수지는 에틸렌 · 초산비닐(EVA)을 사용하였다. 재유화형 분말수지 및 폴리머 디스퍼젼의 성질을 표 1과 표 2에 나타낸다.

(4) 소포제

시멘트에 폴리머를 혼입할 시 연행되는 기포를 제어하기 위하여 폴리에스테르계 분말 소포제를 사용하였으며, 그 첨가량은 재유화형 분말수지에 대하여 1.0% 첨가하였다.

(5) 수축저감제

수축저감제(SRA)로서는 폴리에틸렌 글리콜을 사용하였다. 수축저감제의 성질을 표 3에 나타낸다.

표 1 잔 골재의 성질

Type of Sand	Size (mm)	Fineness Modulus	Unit Weight (kg/l)	Specific Gravity (20℃)	Water Content (%)
Toyoura Standard Sand	<0.297	-	1.52	2.63	0.11
River Sand	<1.2	2.17	1.58	2.57	2.70
Silica Sand	<1.2	2.18	1.75	2.60	<0.10

표 2 재유화형 분말수지의 성질

Type of Polymer	Appearance	Average Particle	Glass Transition Point, Tg (℃)	pH [10%Water Dispersion] (℃)
EVA	White Powder	60	0	5.0

표 3 수축저감제의 성질

Appearance	Chemical Formula	Molecular Weight	pH [10% Water Dispersion] (℃)
White Flake	$HO(OCH_2CH_2)nH$ n=68	3000	5.4

2.2 실험방법

(1) 공시체의 제작

시멘트 : 모래 = 1 : 3(중량비), 폴리머 시멘트비(P/C) 0, 5, 10, 15 및 20%, 소포제 첨가율 1.0%(재유화형 분말수지에 대하여)로 하고 수축저감제 첨가율을 0, 2, 4 및 6%(시멘트에 대한 중량 백분율)로 한 배합의 공시 모르타르를 그 플로우치가 170±5로 일정한 값이 되도록 물시멘트비를 결정하였고, KS F 2476(시험실에서 폴리머 시멘트 모르타르를 만드는 방법)에 준하여 배합하였다. 공시체 치수는 40mm×40mm×160mm로 성형하여 2일 습윤양생[20℃, 80%(R.H.)], 5일 수중양생(20℃), 21일 기중양생[(20℃, 50%(R.H.)]을 실시하였다. 3종류의 잔 골재를 이용하여 수축저감제를 첨가한 공시 모르타르 배합을 표 4에 나타낸다.

(2) 페이스트 추출액의 표면장력 측정

표 4와 같은 배합의 폴리머 시멘트 모르타르와 같은 폴리머 시멘트비 및 물시멘트비로 한 공시 페이스트를 3분간 비빔을 하여 20℃, 80%(R.H.)의 조건하에 2시간 방치한 후, JIS A 6904(석고 플라스터)에 규정된 보수성 시험장치를 이용하여 흡인여과를 실시하고, 페이스트 추출액을 얻었다. 즉, 비빕

표 4 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르터의 성질

Type of Mortar	Cement: Sand (by Mass)	Polymer-Cement Ratio (%)	Shrinkage-Reducing Agent Content (%)	Water-Cement Ratio (%)			Air Content (%)			Flow (mm)		
				TSS	RS	SS	TSS	RS	SS	TSS	RS	SS
Unmodified	1 : 3	0	0	82.0	65.0	56.0	8.0	5.6	5.1	170	168	167
			2	78.5	63.0	54.0	11.0	10.5	10.0	174	173	170
			4	77.0	61.0	52.0	11.0	10.0	9.6	167	173	173
			6	76.0	59.0	51.0	10.5	9.6	9.4	166	170	174
EVA Powder-Modified		5	0	74.0	59.0	49.0	12.0	8.2	11.5	167	170	175
			2	73.5	59.0	50.0	11.0	7.6	7.4	174	169	168
			4	73.0	59.5	51.0	11.0	7.4	8.0	167	174	167
			6	73.0	59.5	52.0	10.5	8.4	9.6	170	175	174
		10	0	72.0	57.0	49.0	12.0	8.4	7.2	170	170	170
			2	71.5	58.0	49.0	11.5	6.0	5.0	170	167	167
			4	71.5	58.5	51.0	10.5	5.5	6.8	169	168	168
			6	71.5	59.0	52.0	10.0	6.6	8.6	171	167	165
		15	0	69.5	55.5	47.5	11.0	6.8	7.2	172	172	171
			2	69.5	56.0	47.0	11.0	4.7	4.7	170	169	170
			4	69.5	56.5	50.0	10.5	4.8	6.0	170	167	166
			6	69.0	57.0	54.0	10.0	7.0	7.4	167	166	170
		20	0	67.0	54.0	47.0	10.0	5.5	5.9	169	167	172
			2	67.0	55.0	46.5	10.5	4.6	4.4	169	167	173
			4	67.5	56.0	50.0	10.0	4.4	5.0	166	174	166
			6	68.0	56.5	54.0	9.5	5.5	5.8	166	168	165

수로서는 이온교환수를 사용하였다. 20℃, 50%(R.H.)의 조건하에서 윌헤르미식 표면장력계를 이용하여 페이스트 추출액의 표면장력을 측정하였다.

(3) 건조수축시험

수중(20℃)양생한 직후 공시체의 기장을 측정하고 기중양생[(20℃, 50%(R.H.)]을 하였다. JIS A 1129(모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험방법)의 콤파레타법에 준하여 건조기간 1, 3, 7, 14, 21, 28, 56 및 91일의 건조수축을 측정하였다.

(4) 휨 및 압축강도시험

5일 수중(20℃)양생 후, 21일 기중양생[(20℃, 50%(R.H.)]한 공시체에 대하여 휨 및 압축강도 시험을 KS F 2477(폴리머 시멘트 모르타르의 강도시험방법)에 준하여 실시하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

그림 1은 3종류의 잔 골재를 사용하여, 수축저감제를 첨가한 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘

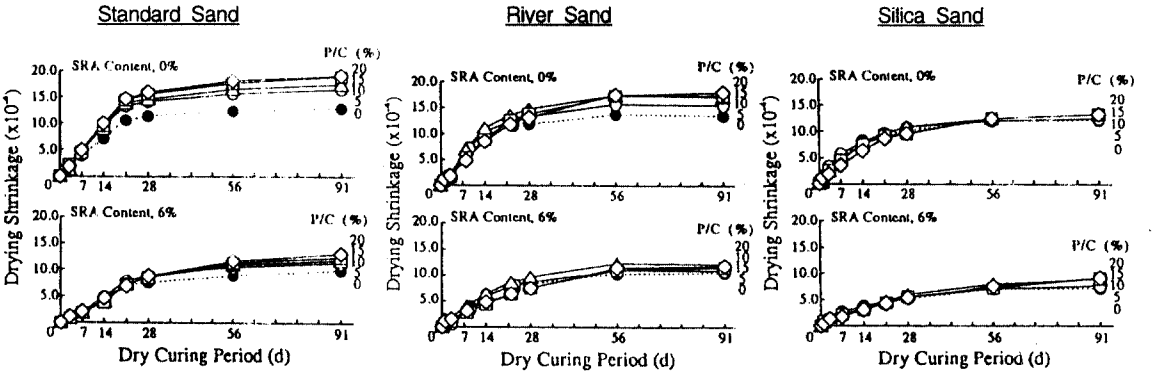

그림 1 사용골재별 건조수축과 건조양생기간과의 관계

트 모르터의 건조수축과 건조기간의 일 예를 보인다. 일반적으로 보통 시멘트 모르터와 같은 양상으로 건조기간이 경과함에 따라 수축저감제를 첨가한 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르터의 건조수축은 증가하는 경향이 있다. 그러나, 어느 잔 골재를 이용한 경우에도 수축저감제를 첨가한 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르터의 건조수축은 건조기간 28일 또는 56일 이후 거의 일정해진다. 본 연구에 한해서는 폴리머 시멘트비 5% 및 수축저감제 첨가율 6%로서 규사를 사용한 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르터의 건조기간 91일의 건조수축값은 7.6×10^{-4}이고 3종류의 잔 골재를 이용한 것 중에서 가장 작은 값을 나타내고 있다.

그림 2와 그림 3은 3종류의 잔 골재를 사용하여 수축저감제를 첨가한 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르터의 건조기간 56일의 건조수축과 수축저감제 첨가율 및 폴리머 시멘트비의 관계를 나타낸다. 잔 골재의 종류 및 폴리머 시멘트비에 관계없이 수축저감제 첨가율의 증가와 함께 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르터의 건조수축은 현저히 감소한다. 또 어느 종류의 잔 골재를 사용한 경우에도 수축저감제를 첨가한 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르터의 건조수축은 폴리머 시멘트비가 증가함에 따라 증대하는 경향이다. 특히, 이 경향은 수축저감제 무첨가에 있어서 현저하다. 한편, 수축저감제 첨가율에 관계없이 규사를 사용한 것의 건조수축은 폴리머 시멘트비가 증가해도 거의 일정하다.

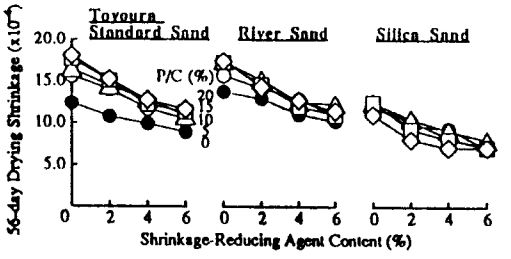

그림 2 사용골재별 건조수축과 수축저감제 첨가율과의 관계

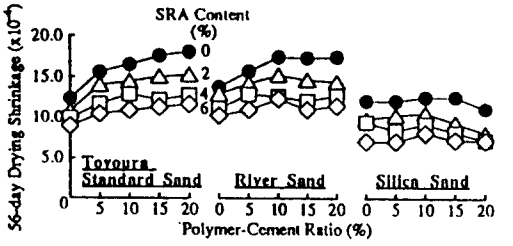

그림 3 사용골재별 건조수축과 폴리머 시멘트비의 관계

그림 4는 수축저감제를 첨가한 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 페이스트 추출액의 표면장력과 수축저감제 첨가율의 관계를 보인다. 수축저감제를 첨가한 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 페이스트 추출액의 표면장력은 수축저감제 첨가율의 증가와 함께 감소하는 경향이다. 또, 어느 종류의 수축저감제 첨가에 있어서도 폴리머 시멘트비 0%의 보통 시멘트 페이스트에 비하여 폴리머 시멘트 페이스트의 표면장력은 상당히 작고 폴리머 시멘트비의 증가와 함께 더욱 감소한다. 즉, 수축저감제 첨가율 2%이상에서는 수축저감제 첨가율의 증가에 따른 폴리머 시멘트 페이스트의 표면장력 감소 비율은 보통 시멘트 페이스트 추출액과 거의 같은 양상이다. 이상으로부터 3종류의 잔 골재를 사용하여 수축저감제를 첨가한 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르터의 건조수축은 수축저감제 첨가율, 폴리머 시멘트비 및 시멘트 매트릭스중의 물의 표면장력에 좌우되는 것으로 사료된다. 여기에서 이들의 영향 인자와 물시멘트비 및 공기량을 고려하여 수축저감제를 첨가한 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르터의 건조기간 56일의 건조수축을 산정해 보면 사용하는 골재별로 그림 5와 같은 실험식이 얻어진다. 이들 실험식은 다음과 같은 일반식으로 나타낼 수 있다.

$$\varepsilon s = (ax + b)(P/C)^{1/3} \quad (1)$$

$$x = (1-SRA/C)(ST)^2(W/C)(1-A)$$

여기서, εs : 건조수축($\times10^{-4}$), P/C : 폴리머 시멘트비, SRA/C : 수축저감제 첨가율, ST : 시멘트 메트릭스중의 물의 표면장력(mN/m), W/C : 물시멘트비, A : 공기량, a 및 b : 골재별로 정해지는 실험정수

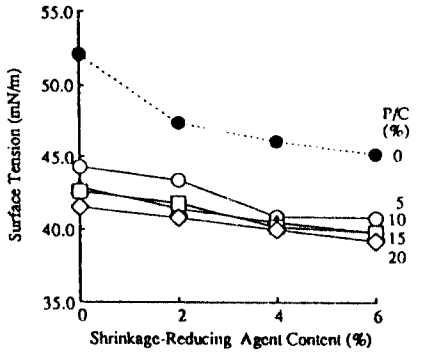

그림 4 표면장력과 수축저감제 첨가율과의 관계

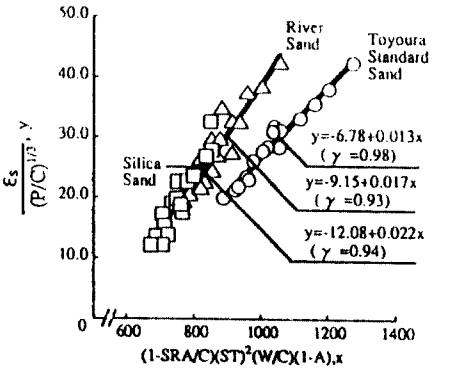

그림 5 건조기간 56일의 건조수축 산정식

그림 6과 그림 7은 3종류의 잔 골재를 사용하여 수축저감제를 첨가한 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르터의 휨 및 압축강도와 수축저감제 첨가율 및 폴리머 시멘트비의 관계를 나타낸다. 어느 종류의 잔 골재를 사용한 경우에도 보통 시멘트 모르터와 같은 양상으로 수축저감제 첨가율의 증가에 따라 수축저감제를 첨가한 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르터의 휨 및 압축강도는 감소한다. 그러나, 폴리머 시멘트비의 증가에 따라 그 휨강도는 증가하고 압축강도는 감소하는 경향이 있다. 또, 건조수축과 같은 방법으로 수축저감제 첨가율, 폴리머 시멘트비, 물시멘트비, 공기량 및 시멘트 매트릭스중의 물의 표면장력을 고려하는 것에 의해 수축저감제를 첨가한 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르터의 휨 및 압축강도에 대하여도 골재별로 그림 8 과 그림 9에 나타내는 것과 같은 실험식이 얻어진다. 이들 실험식은 다음과 같은 일반식으로 표현할 수 있다.

$$\sigma_f \text{ 및 } \sigma_c = (cx + d)(P/C)^{1/3} \qquad (2)$$

$$x = (1-SRA/C)(ST)^2(W/C)(1-A)$$

여기서, σ_f 및 σ_c : 휨 및 압축강도(MPa), P/C : 폴리머 시멘트비, SRA/C : 수축저감제 첨가율, ST : 시멘트 메트릭스중의 물의 표면장력(mN/m), W/C : 물시멘트비, A : 공기량, c 및 d : 골재별로 정해지는 실험정수

즉, 보통 시멘트 콘크리트에 적용되는 물시멘트비설에 의하면 일반적으로 물시멘트비가 증가함에 따라 시멘트 콘크리트의 강도는 감소한다. 그러나, 상술한 일반식에 있어서는 물시멘트비의 증가에 의해 폴리머 시멘트 모르터의 강도는 증가하는 것으로 된다. 이것은 건조수축에 관한 일반식을 그대로 이용

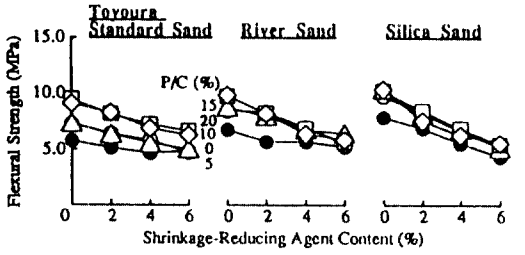

그림 6 휨강도와 수축저감제 첨가율과의 관계

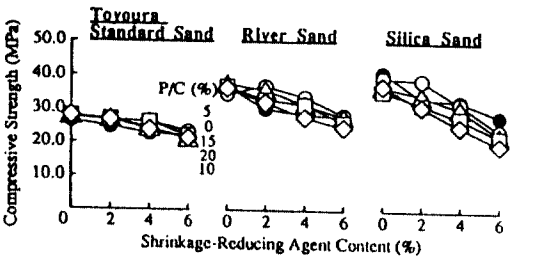

그림 7 압축강도와 수축저감제 첨가율과의 관계

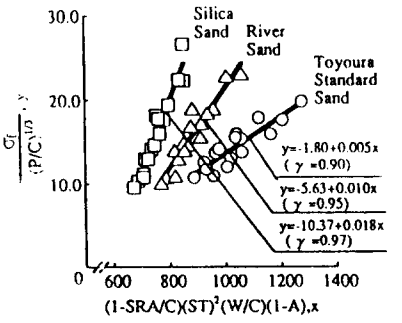

그림 8 재령 28일의 휨강도 산정식

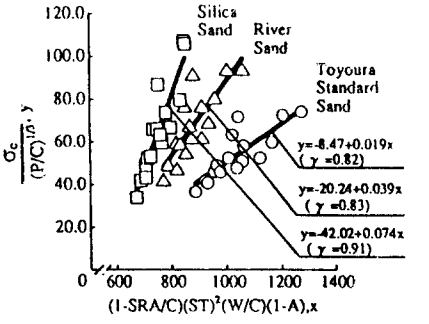

그림 9 재령 28일의 압축강도 산정식

했기 때문이나 본 연구에 있어서는 플로우치 일정으로서 폴리머 시멘트 모르터를 제조하기 때문에 물시멘트비는 그 밖의 인자와 관련하여 변화하는 것이고, 이와 같은 복합체에 있어서 물시멘트비의 역할은 보통 시멘트 콘크리트와는 다른 것으로 시사된다.

4. 결 론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 수축저감제를 첨가한 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르터의 건조수축은 건조기간이 경과함에 따라 증대되나, 건조기간 26일, 또는 56일 이후에 있어서 거의 일정해진다. 또, 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르터의 건조수축은 수축저감제 첨가율의 증가에 따라 감소하나 폴리머 시멘트비의 증가와 함께 증대 또는 거의 일정해진다.

(2) 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르터의 휨 및 압축강도는 수축저감제 첨가율의 증가에 따라 감소한다. 또, 폴리머 시멘트비의 증가와 함께 휨강도는 증가하고 압축강도는 감소하는 경향이다.

(3) 수축저감제를 첨가한 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르터의 건조기간 56일의 건조수축, 재령 28일의 휨 및 압축강도의 산정식으로서 다음 식을 제안할 수 있다.

$$\varepsilon s,\ \sigma f \text{ 및 } \sigma c = (\alpha x + \beta)(P/C)^{1/3}$$
$$x = (1-SRA/C)(ST)^2(W/C)(1-A)$$

여기서, εs : 건조수축($\times 10^{-4}$), σf 및 σc : 휨 및 압축강도(MPa), P/C : 폴리머 시멘트비, SRA/C : 수축저감제 첨가율, ST : 시멘트 페트릭스중의 물의 표면장력(mN/m), W/C : 물시멘트비, A : 공기량, α 및 β : 골재별로 정해지는 실험정수

참고문헌

1) Ohama, Y, Demura, K. and Kim, W.: Properties of Polymer-Modified Mortars Using Redispersible Polymer Powders, Proceedings of the First East Asia Symposium on Polymers in Concrete, Vol. 1, May 1994, pp.81~90.

2) Smith, R.H. and Mills, R.H. : Variations in the Shrinkage of Concrete Resulting from the Use of Additives, Proceedings of the RILEM/CEMBUREAU International Colloquium on the Shrinkage If Hydraulic Concretes, Vol. 1, Instituto Eduardo Trroja, Madrid, Mar. 1968, pp.II-G.0~II-G.15.

3) 金完基, 大濱嘉彦, 出村克宣:再乳化形粉末樹脂混入ポリマーセメントモルタルの乾燥收縮低減, 材料, Vol.46, No.1, 1997.1, pp.84~88.