재유화형 폴리머 분말수지 혼입 폴리머-시멘트 모르타르의 건조수축 및 강도특성

Drying Shrinkage and Strength Properties of Polymer-Modified Mortars Using Redispersible Polymer Powder

연 규 석* 주 명 기** 정 중 호*** 김 성 기*** 이 지 원***
Yeon, Kyu Seok Joo, Myung Ki Jeong, Jung Ho Jin, Xing Qi Lee, Chi Won

ABSTRACT

Drying shrinkage and strength of the redispersible SBR and PAE powder-modified mortars were experimentally investigated. Results of the study that the drying shrinkage rapidly increased until 7 days of age and it was then saturated to the value of about $1\sim2\times10^{-4}$ after 14 days. It turned out that the polymer-cement ratio exerted more influence on the drying shrinkage than the content of powder shrinkage-reducing agent did. Flexural (compressive) strength of the mortar increased (decreased) as the polymer-cement ratio increased and it was 7~11 (23~39) MPa at 7 days of age. The average (maximum) increasing (decreasing) rate turned out to be about 10 (30) %. As in the drying shrinkage case, the polymer-cement ratio exerted more influence on both flexural and compressive strengths than the content of powder shrinkage agent did.

1. 서 론

시멘트 모르타르나 콘크리트는 건설 분야에서 가장 널리 쓰이는 재료로서, 이에 대한 연구개발 및 시공기술 수준은 괄목 할 만한 발전을 이룩하였다. 이들 시멘트 복합체는 취성 재료로서 건조수축이 크고, 인장강도가 낮으며, 내약품성이 약한 결점을 지니고 있다. 더욱이 고도 산업화 과정에서 날이 갈수록 우려되고있는 구조물의 내구성 문제점을 해결하기 위해 구조적 보완으로 콘크리트의 피복두께를 늘리거나, 또는 재료적으로 시멘트 모르타르나 콘크리트의 성질을 개선하기 위한 연구가 계속되고 있다. 이들 재료의 재료적 성질을 개선하기 위한 개질에는 폴리머가 주로 사용되며, 이는 재유화형 폴리머 분말, 수용성 폴리머, 액상수지, 모노머 등의 형태로 이용되고 있다.

본 연구는 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르타르를 제조하여 이에 대한 건조수축 및 강도 특성에 미치는 폴리머-시멘트비 및 수축저감제의 영향을 실험적으로 구명한 것이며, 결합재로 포틀랜드 시멘트와 알루미나 시멘트를 혼합하여 사용함으로써 높은 초기강도를 확보하는 것을 특징으로 하고 있다.

2. 사용재료

2.1 시멘트

주결합재로 포틀랜드 시멘트와 알루미나 시멘트를 8 : 2로 혼합 사용하였으며, 각각의 물리적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1. Physical properties of portland and alumina cement

Type of cement	Blaine specfic surface (㎠/g)	Setting time (hr-min)		Compressive strength (MPa)			
		Initial set	Final set	3 h	6 h	1 d	28 d
Portland	3300	2-18	3-12	-	-	14.0	42.3
Alumina	4115	3-00	3-30	22	27	40	46

* : 정회원, 강원대학교 지역기반공학과 교수
** : 정회원, 주성대학 콘크리트 보수·보강 재료연구소
*** : 정회원, 강원대학교 지역기반공학과 대학원 석사과정

2.2 잔골재

잔골재는 가급적 단단하고 이물질이 없어야 된다. 본 연구에서는 규사(6호)를 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2. Physical properties of silica sand

Size (mm)	Density	Absorption (%)	Organic impurities
≤0.6	2.62	≤0.3	Nil

2.3 재유화형 분말수지

시멘트 혼화용 재유화형 분말수지는 SBR(Styrene-butadiene rubber) 및 PAE(Polyacrylic ester)로 각각 달리 사용되었으며, 그 성질은 Table 3과 같다.

Table 3. Properties of redispersible SBR and PAE powder

Type of polymer	Appearance	Average particle size (㎛)	Glass transition point (℃)	pH [10% water dispersion] (20 ℃)
SBR	White powder	1.5	-5	5.6
PAE	White powder	2	2	5.4

2.4 분말 소포제 및 수축저감제

모르타르 내부의 기포를 줄이기 위해 폴리 에테르계 분말 소포제를 사용하였고, 수축량을 줄이기 위해 폴리 에테르계(폴리 에칠렌 그린콜) 분말수축저감제를 사용하였다.

3. 시험 방법

3.1 공시체 제작

KS F 2476 (폴리머 시멘트 모르타르의 시험 방법)에 준하여 시멘트 : 잔골재 = 1 : 2 (질량비), 폴리머-시멘트비를 0, 5, 10 및 15 %, 분말소포제 첨가율을 2 %(폴리머분말에 대한 질량비), 분말수축저감제 첨가율을 0, 2 및 4 %(시멘트량에 대한 질량비)로 하여 배합하였다. 그리고 슬럼프-플로우치가 170±5 cm가 되도록 물-시멘트비(약 45 %)를 조정해서 공시체를 제작하였다. 결합재인 시멘트는 포틀랜드 시멘트와 알루미나 시멘트를 8 : 2의 비율로 혼합하여 사용하였으며, 사용된 폴리머-시멘트 모르타르의 배합비는 Table 4와 같다.

Table 4. Mix proportions of redispersible polymer powder-modified mortars

Cement : Sand (by mass)	Polymer-cement ratio (%)	Antifoamer content (%)	Shrinkage-reducing agent content (%)
1 : 2	0	2	0, 2, 4
	5		
	10		
	15		

3.2 건조수축시험

건조수축시험은 온도 20 ℃, 상대습도 50 %인 조건에서 실시되었으며, 공시체의 크기는 40×40×160 mm이다. 시험은 KS F 2424(모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험방법)에 규정된 다이얼게이지 방법에 따라 응결이 종료된 시점을 기준으로 재령 1, 3, 5, 7, 14, 28, 56 및 91일에서의 수축량을 측정하였다.

3.3 휨 및 압축강도 시험

KS F 2476 (폴리머 시멘트 모르타르의 시험 방법) 에 의하여 재령 7일에서의 휨 및 압축강도시험을 각각 실시하였다. 휨강도 시험에는 40×40×160 mm의 각주형 공시체를 사용하였고, 압축강도 시험에는 휨강도 시험시 얻어진 절편 공시체를 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 건조수축

Fig. 1과 Fig. 2는 SBR 및 PAE 재유화형 분말수지를 각각 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 재령별 건조수축을 폴리머-시멘트비와 분말 수축저감제 첨가율에 따라 나타낸 것이다.

건조수축은 재령 7일까지는 현저히 증가하다가 14일 이후는 변화가 거의 일어나지 않았으며, 이 때의 건조수축율은 약 $1\sim2\times10^{-4}$정도 였다.

그리고, 분말 수축저감제 첨가율이 증가함에 따라 건조수축이 감소함을 알 수 있다. 이것은 분말소포제와 분말 수축저감제를 첨가하면 모세관 중에 존재하는 물의 표면장력 저하와 함께 물의 주곡률반경이 커져 모세관에 발생하는 압력이 저하되어 수축이 감소되기 때문이라고 생각된다.

또한 건조수축은 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 감소하였다. 이것은 폴리머-시멘트비가 증가함에 따라 폴리머 시멘트 모르타르의 내부에 폴리머 필름 형성에 의한 보수성 향상으로 증발수량이 감소하기 때문이라고 판단된다. 건조수축에 대한 영향은 폴리머-시멘트비가 수축저감제의 첨가율보다 더 크며, SBR 분말과 PAE 분말간에는 건조수축율의 차이가 매우 작은 것으로 나타났다.

4.2 휨 및 압축 강도

폴리머 시멘트 모르타르의 강도발현은 폴리머의 종류, 골재의 성질, 물-시멘트비, 폴리머-시멘트비, 배합방법, 양생방법, 시험방법 등 여러 가지 조건의 영향을 받으며, 이런 조건들을 일정하게 맞추었을 때 적정한 강도가 발현된다.

Fig. 3 및 Fig. 4는 재령 7일에서 폴리머-시멘트비와 분말소포제 첨가 유무에 따른 SBR 및 PAE 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르타르의 휨 및 압축 강도를 각각 나타낸 것이다. 이와같이 초기 재령에서 압축 및 휨강도를 측정한 것은 보수재료로서의 현장 적용성을 고려하였기 때문이다.

이 결과에서 휨 강도는 7~11 MPa로서 폴리머-시멘트비가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 이는 폴리머 시멘트 모르타르 중에 연속성 폴리머 필름이 형성되기 때문인 것으로 사료된다. 또한 재령 7일에서의 압축강도는 약 23~39 MPa로서, 폴리머-시멘트비가 증가함에 따라 현저한 감소 경향을 보였으며 최대 감소율은 약 30 %에 달했다. 이와 같은 원인은 폴리머-시멘트비가 커질수록 압축응력을 부담하는 시멘트 수화물의 강도가 작아짐과 동시에, 형성된 폴리머 필름이 겔에 가까운 상태로 수분을 다량 함유하고 있어 시멘트 수화물과 골재간의 접착력이 떨어지기 때문이라고 판단된다.

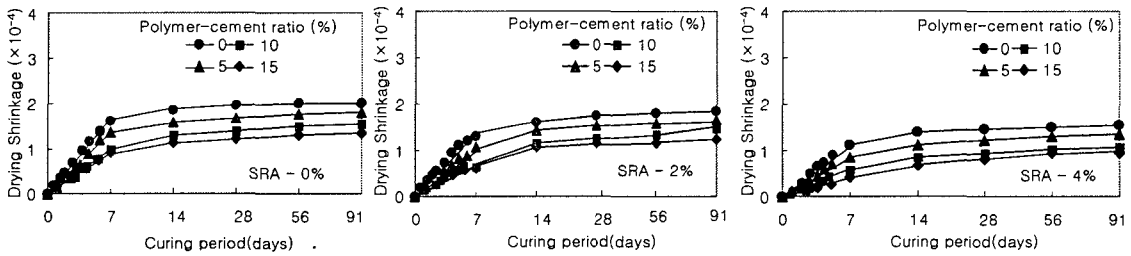

Fig. 1 Curing period versus drying shrinkage of SBR powder-modified mortars

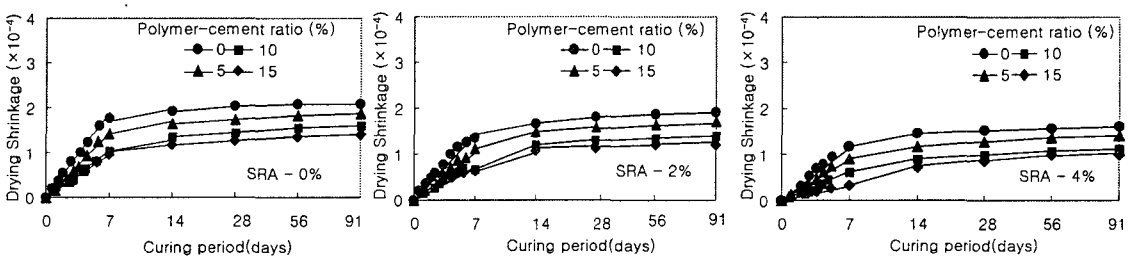

Fig. 2 Curing period versus drying shrinkage of PAE powder-modified mortars

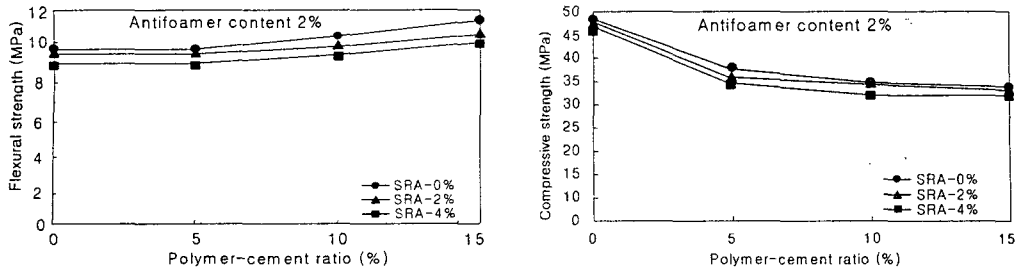

Fig. 3 Polymer-cement ratio versus flexural strength and compressive strength of SBR powder-modified mortars at age of 7days

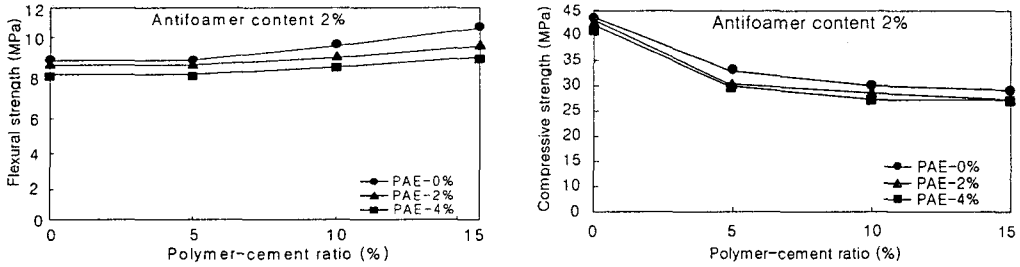

Fig. 4 Polymer-cement ratio versus flexural strength and compressive strength of PAE powder-modified mortars at age of 7days

휨 및 압축강도는 분말 수축저감제 첨가율 증가에 따라 약간 감소하는 경향을 보였으며, 감소율은 약 5~10 % 에 달했다. 또한, SBR 수지 분말을 사용한 경우 PAE 수지 분말을 사용한 경우에 비해 휨 및 압축강도 모두 약 10 %정도 높은 값을 보였다.

결론적으로 초기재령 7일에서도 폴리머 개질제 첨가는 휨강도 증진에 효과적이나 압축강도에는 그렇지 못함을 알 수 있으며, 휨 및 인장강도에 미치는 영향은 폴리머-시멘트 비가 분말 수축저감제 첨가율 보다 큰 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구는 SBR 및 PAE 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르타르의 건조수축 및 강도특성을 구명할 목적으로 수행된 실험연구로서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 건조수축율은 재령 7일까지 현저하게 증가하다 14일 이후 거의 일정한 값을 보였으며, 그 값은 약 $1\sim2\times10^{-4}$ 정도였다.
2) 재령 7일에서의 휨강도는 7~11 MPa로서 폴리머-시멘트비가 증가함에 따라 증가하였으며, 평균 증가율은 약 10 %정도로 나타났다.
3) 재령 7일에서의 압축강도는 23~39 MPa로서 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 감소하였으며, 최대 감소율은 약 30 % 에 달했다.
4) 건조수축은 물론, 휨 및 압축강도에 미치는 영향도 폴리머-시멘트비가 분말수축저감제 첨가율보다 크게 나타났다.
5) 건조수축은 SBR 및 PAE 분말 수지 차이가 거의 없는 것으로 나타났으나 재령 7일에서의 휨 및 압축강도는 SBR 수지 분말이 PAE 수지분말보다 현저히 높게 나타났다.

6. 참고문헌

1) Oharna Y., "Handbook of Polymer-modified Concrete and Mortars, Properties and Process Technology", pp. 55-120, 1995.
2) Chandra S. and Ohama Y., "Polymers in Concrete", pp.113-126, 1994.