

재유화형 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** · 이 현 종*** · 김 성 기**** · 이 지 원****

Yeon, Kyu Seok · Joo, Myung Ki · Lee, Hyun Jong · Jin, Xing Qi · Lee, Chi Won

Abstract

This study was conducted to investigate experimentally the drying shrinkage and the strength properties of redispersible SBR and PAE powder-modified mortars. Polymer-cement ratio, content of shrinkage-reducing agent and antifoamer content were manipulated as the experimental variables. The peculiarity of this study is to obtain a high early-age strength by using the portland cement and alumina cement with the ratio of 8 : 2. Until 7 days of age, the drying shrinkage remarkably increased up to $1\sim 2 \times 10^{-4}$, while it tended to decrease as the ratio of polymer to cement ratio and the content of shrinkage-reducing agent increased. Polymer-cement ratio was effective in improving the flexural, tensile and adhesive strengths: As the ratio increased, the strengths correspondingly increased. The flexural strength was in the range of 7~11 MPa, the tensile strength was 3.5~5 MPa and the adhesive strength was 1.2~3.9 MPa. On the other hand, the compressive strength tended to decrease as the polymer-cement ratio increased, and it was in the range of 23~39 MPa. All strengths, flexural, tensile, adhesive and compressive strengths, decreased as the content of powder shrinkage-reducing agent increased. It turned out that the polymer-cement ratio influenced more on the behavior of drying shrinkage and the properties of strength than the powder shrinkage-reducing agent did.

Keywords : Polymer-modified mortar, Drying shrinkage, Strength properties, Polymer-cement ratio, Antifoamer, Shrinkage reducing agent

- * 강원대학교 농업공학부 교수
** 주성대학 콘크리트 보수보강재료 연구센터
전임연구원
*** 강원대학교 석재복합 신소재제품 연구센터
전임연구원
**** 강원대학교 대학원
* Corresponding author. Tel.: +82-33-251-3965
Fax: +82-33-251-3965
E-mail address: ksyeon@kangwon.ac.kr

I. 서 론

시멘트 모르타르나 콘크리트는 건설 분야에서 가장 널리 쓰이는 재료 중의 하나로서, 이에 대한 연구 개발 및 시공기술 수준은 괄목할 만한 발전을 이룩하였다. 이들 시멘트 복합체는 저렴한 비용, 용이한 취급성 등 여러 가지 장점이 있으나, 취성 재료로서 인장강도가 낮고, 건조수축이 크며, 내약품성이 약한 결점을 지니고 있다.¹⁾ 더욱이 고도 산업화 과정에서 파생되고 있는 환경문제(산성비 등)로 시멘트 복합체들의 성능저하가 가속화되어 구조물의 내구성 확보에 심각한 문제점을 야기시키고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근에는 여러 나라에서 콘크리트의 피복두께를 늘리는 등 다각적인 대책을 강구하고 있으며, 이와 아울러서 시멘트 모르타르나 콘크리트의 성질을 개선하기 위한 연구도 꾸준히 이루어지고 있다. 이와 같은 성질의 개선을 위한 개질에는 폴리머가 주로 사용되며, 재유화형 폴리머 분말, 수용성 폴리머, 액상 수지, 모노머 등의 형태로 이용된다.^{1),2)}

본 연구에서는 재유화형 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르타르를 제조하여 이에 대한 건조수축 및 강도 특성에 미치는 폴리머 시멘트비 및 수축저감제 첨가량의 영향을 실험적으로 구명하였다. 그리고 높은 초기강도를 얻기 위해 결합재로 포틀랜드 시멘트와 알루미나 시멘트를 혼합하여 사용한 것이 본 연구의 특징이라 하겠다.

II. 사용재료

1. 시멘트

사용재료를 선정함에 있어, 예비시험에서 포틀랜드 시멘트에 알루미나 시멘트를 섞어 사용하여 조기강도를 높였으며, 최적 배합비를 얻기 위하여 알루미나 시멘트를 각각 전체 시멘트의 0%, 10%, 20%, 30%, 40%로 하였을 경우 시멘트 모르타르의 3시간 강도(Fig. 1)를 측정하였다. 그 결과, 조기강도 발현에는 40%가 가장 유리하나 재료사용 측면에서 20%로 하였다.

이에 따라 본 연구에서는 주결합재로서 포틀랜드 시멘트와 알루미나 시멘트를 8:2의 비율로 혼합 사용하였으며, 각각의 물리적 성질은 Table 1과 같다.

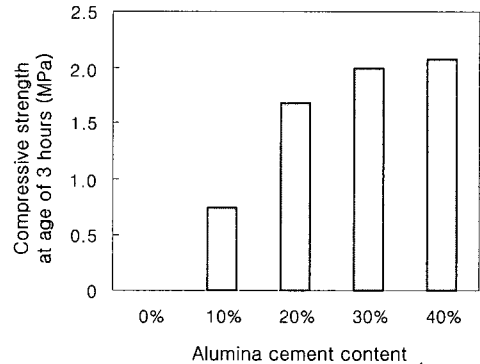


Fig. 1 Alumina cement content versus compressive strength at the age of 3 hours

Table 1 Physical properties of portland and alumina cement

Type of cement	Blaine specific surface (㎎/g)	Setting time (h-min)		Compressive strength (MPa)			
		Initial set	Final set	3 h	6 h	1 d	28 d
Portland	3,300	2-18	3-12			14.0	42.3
Alumina	4,115	3-00	3-30	22	27	40	46

2. 잔골재

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

Table 2 Physical properties of silica sand

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

3. 시멘트 혼화용 재유화형 분말수지

시멘트 혼화용 재유화형 분말수지로 Styrene-Butadiene Rubber(SBR)와 Polyacrylic ester (PAE)가 각각 사용되었다. SBR은 elastomeric powder에 속하고 PAE는 thermoplastic powder에 속하며¹⁾ 그 성질은 Table 3과 같다.

Table 3 Properties of redispersible SBR and PAE powder

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

4. 분말 소포제 및 수축저감제

모르타르 내부의 기포를 줄이기 위해 폴리 에테르계 분말 소포제를 사용하였고, 수축량을 줄이기 위해 폴리 에틸렌 그리콜 분말 수축저감제를 사용하였다.

Ⅲ. 시험 방법

1. 공시체 제작

KS F 2476 (폴리머 시멘트 모르타르의 시험 방법)에 준하여 시멘트:잔골재 = 1:2 (중량비), 폴리머-시멘트비율 0, 5, 10 및 15 wt. %, 분말 소포제 첨가율을 0 및 2 wt. % (폴리머 분말에 대한 중량비), 분말 수축저감제 첨가율을 0, 2 및 4 wt. % (시멘트량에 대한 중량비)로 하여 배합하였다. 그리고 슬럼프-플로우치가 170±5 cm로 일정하게 되도록 물-시멘트비(약 45%)를 조정해서 모르타르를 비빈 후 공시체를 제작하였다. 결합재인 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트와 알루미늄 시멘트를 8:2의 비율로 혼합하여 사용하였으며, 본 실험에 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 (wt. %)	Shrinkage - reducing agent (wt. %)	Antifoamer (wt. %)
1 : 2	0	0, 2, 4	0, 2
	5		
	10		
	15		

2. 건조수축 시험

건조수축 시험은 온도 20 °C, 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 변화량을 측정하였다.

3. 휨, 압축 및 인장 강도 시험

KS F 2476 (폴리머 시멘트 모르타르의 시험 방법)에 의하여 재령 7일에서의 휨, 압축 및 인장강도 시험을 각각 실시하였다. 휨강도 시험용 공시체는 40×40×160 mm의 각주형이고, 공시체 중앙에 하중을 가하여 파괴 하중을 구하였다. 압축강도 시험용 공시체는 휨강도 시험시 얻어진 공시체의 절편을 사용하였다. Photo. 1은 인장강도 시험용 공시체 및 클램프의 형상과 시험 광경을 보여주고 있다.

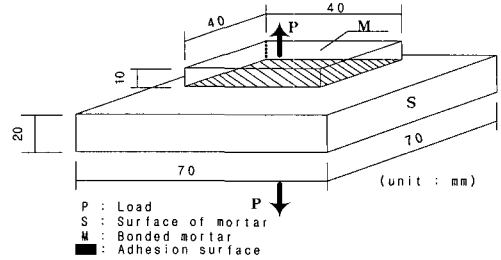


Fig. 2 Specimen for adhesive strength test

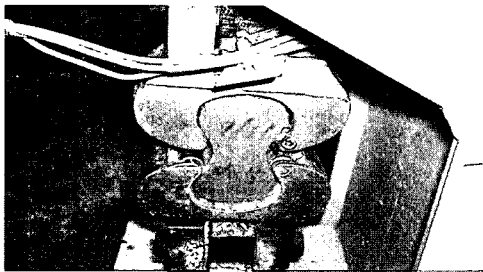


Photo 1 Specimen and clamp for tensile strength test

4. 부착강도 시험

KS F 4919 (시멘트 혼입 폴리머계 방수재)에 규정된 방법에 따라 부착강도를 시험하였다. Instron 만능시험기를 사용하였으며, 재하는 변위제어로 10 mm/min 였다. 부착강도시험용 공시체의 형상은 Fig. 2와 같다.

IV. 결과 및 고찰

1. 건조수축

Fig. 3~4는 SBR, Fig. 5~6는 PAE 재유화형 분말수지를 각각 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 재령별 건조수축을 분말소포제의 첨가유무에 따라 나타낸 것이다. 이들 결과로부터 건조수축은 재령 7일까지 현저히 증가하다가 14일 이후는 변화가 거의 일어나지 않음을 알 수 있다.

폴리머-시멘트비가 0~15 %로 증가함에 따라 건조수축은 현저히 감소하였는데, 수축저감제를 첨가하지 않았을 경우, 건조수축은 약 2.1×10^{-4} 에서 1.4×10^{-4} 으로 약 33 % 감소하였으며, 수축저감제를 2 %, 4 % 첨가하였을 경우에도 대략 32~38 %의 큰 감소를 보였다.

수축저감제를 0~4 % 첨가함에 따라 건조수축은 폴리머 시멘트비가 0 %일 경우 약 20 % 감소하였

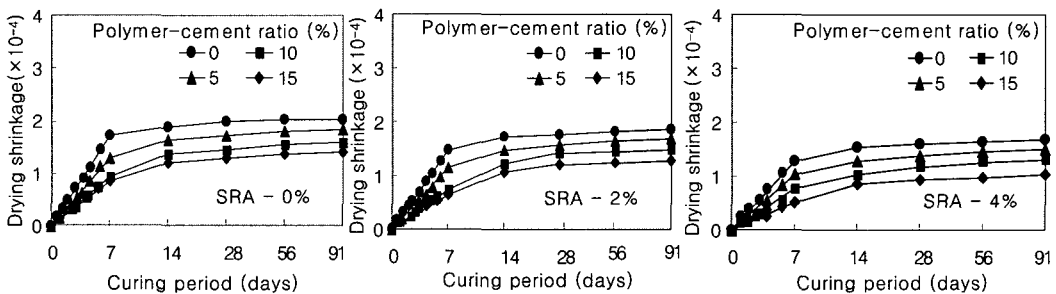


Fig. 3 Curing period versus drying shrinkage of SBR powder-modified mortars without antifoamer

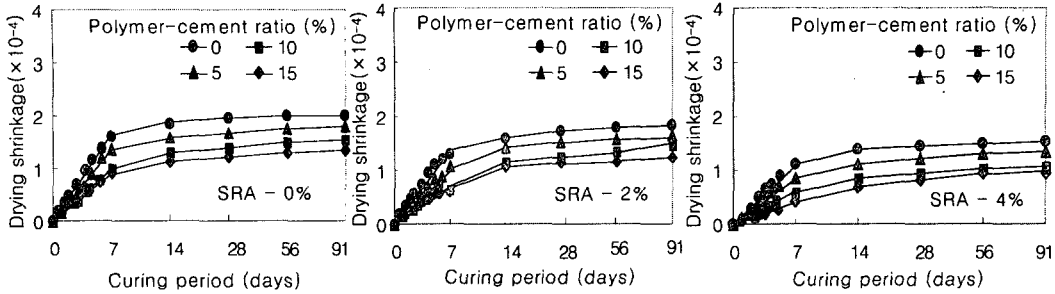


Fig. 4 Curing period versus drying shrinkage of SBR powder-modified mortars with antifoamer

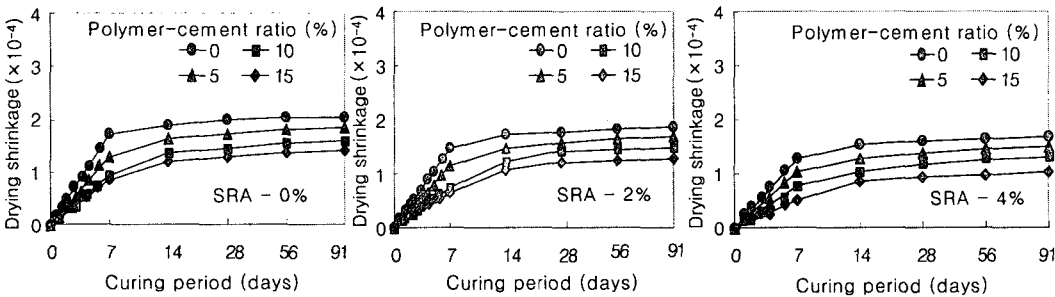


Fig. 5 Curing period versus drying shrinkage of PAE powder-modified mortars without antifoamer

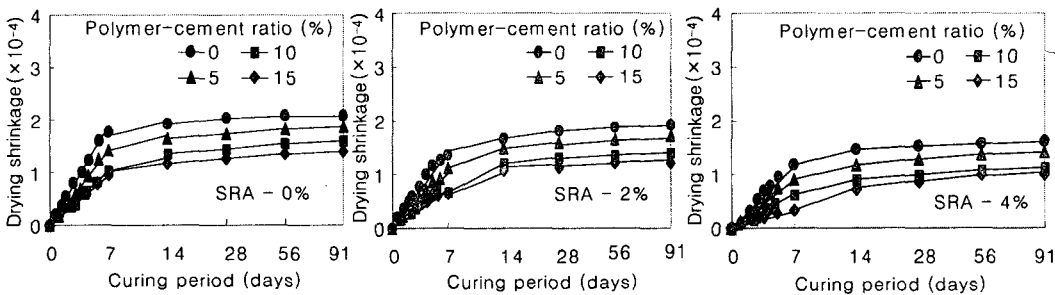


Fig. 6 Curing period versus drying shrinkage of PAE powder-modified mortars with antifoamer

고, 폴리머-시멘트비가 5%, 10%, 15%일 경우는 약 18~24% 감소하였다.

SBR 과 PAE간에는 최대 5% 미만의 작은 차이로 SBR의 건조수축이 약간 작게 나타났다.

또한, 분말 소포제를 첨가한 경우 건조수축은 첨가하지 않은 경우의 건조수축보다 작았으며, 분말 수축저감제 첨가율이 증가함에 따라 건조수축은 감소하였다. 이것은 분말 소포제를 첨가할 경우 모세관 중에 존재하는 물의 표면장력 저하와 함께 물의

주곡률반경이 크게 되어 모세관에 발생하는 압력 저하로 수축이 감소되기 때문이라고 판단된다.^{4),5)}

한편 시멘트 개질용 재유화형 분말수지는 경화한 모르타르 내부에서 필름을 형성하는데, Photo. 2에서 보는 바와 같이 재유화형 폴리머 분말 개질 시스템에서 연속적인 폴리머 필름을 발견 할 수 있다. 폴리머 시멘트 모르타르의 내부에 이러한 폴리머 필름이 형성됨으로써 보수성이 향상되고, 그로 인해 증발수량이 감소하기 때문에 폴리머-시멘트

비가 증가할수록 건조수축이 감소하는 것으로 되어 있다.¹⁾ 특히 폴리머 시멘트 모르타르가 보통 시멘트 모르타르에 비해 건조수축이 작아지는 이유는 폴리머 속에 있는 소포제와 계면활성제의 효과 때문이다.³⁾

결과적으로 볼 때, 건조수축에는 폴리머-시멘트 비가 분말 수축저감제 첨가율보다 더 큰 영향을 주며, 분말소포제 첨가유무와 SBR과 PAE간에는 건조수축율의 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.

2. 힘, 압축 및 인장 강도

폴리머 시멘트 모르타르의 강도는 여러 가지 복합적인 요인의 영향을 받게 된다. 그 요인으로는 폴리머의 종류, 골재의 성질, 물-시멘트비, 폴리머-시멘트비, 배합방법, 양생조건, 시험방법 등을 들 수 있다. 결국 이런 조건들이 일정하게 맞추어졌을 때 적절한 강도가 발현된다.¹⁾ Fig. 7~12는 재령

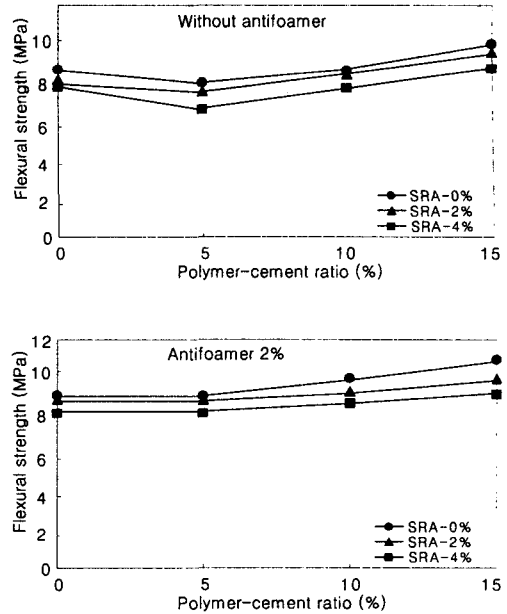


Fig. 8 Polymer-cement ratio versus flexural strength of PAE powder-modified mortars at the age of 7 days

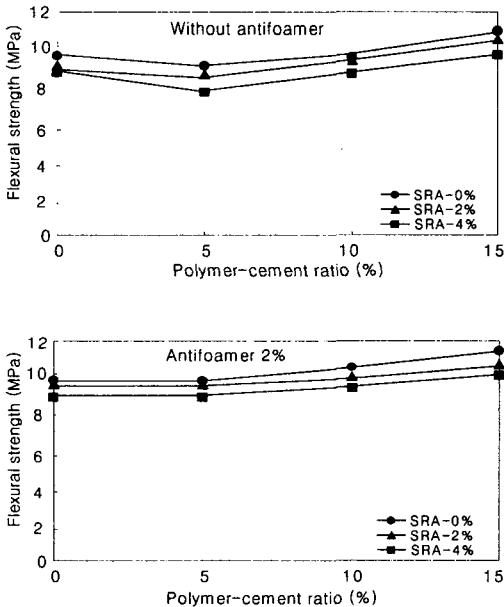


Fig. 7 Polymer-cement ratio versus flexural strength of SBR powder-modified mortars at the age of 7 days

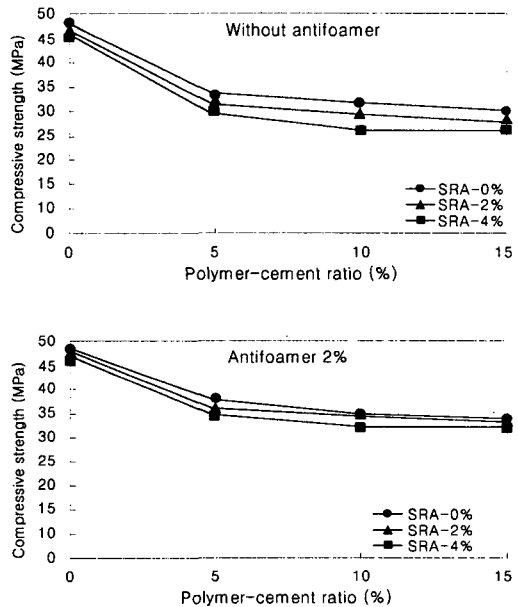


Fig. 9 Polymer-cement ratio versus compressive strength of SBR powder-modified mortars at the age of 7 days

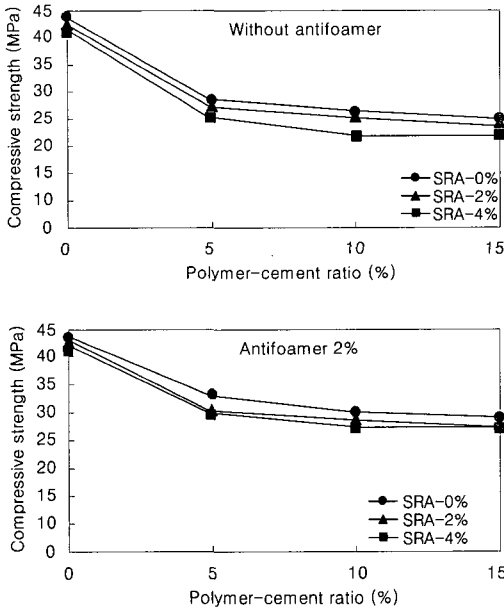


Fig. 10 Polymer-cement ratio versus compressive strength of PAE powder-modified mortars at the age of 7 days

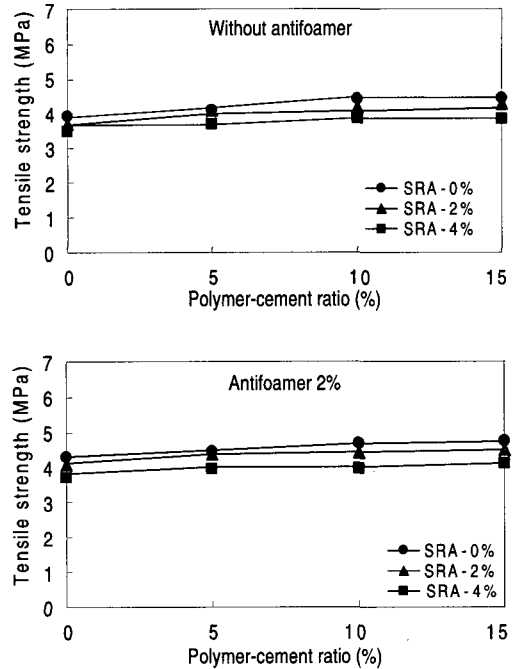


Fig. 12 Polymer-cement ratio versus tensile strength of PAE polymer-modified mortars at the age of 7 days

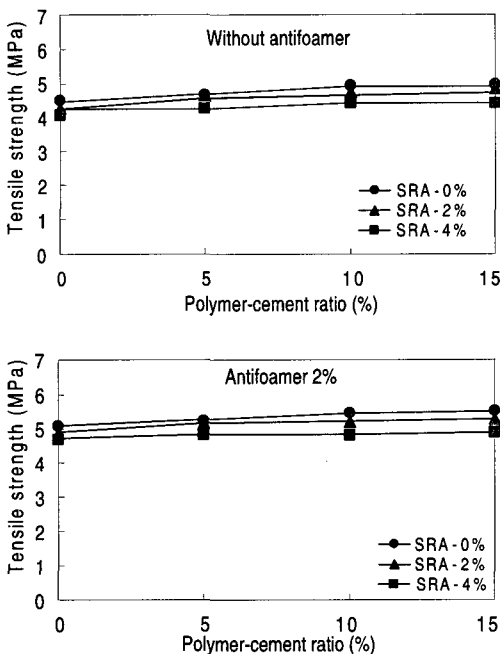


Fig. 11 Polymer-cement ratio versus tensile strength of SBR polymer-modified mortars at the age of 7 days

7일에서 폴리머-시멘트비와 분말소포제 첨가유무에 따른 휨, 압축 및 인장강도를 각각 나타낸 것이다. 이와같이 초기 채령에서 휨, 압축 및 인장강도를 측정하는 것은 보수재료로서의 현장적용성을 고려하였기 때문이다.

그 결과, 채령 7일에서의 휨 및 인장 강도는 각각 7~11 MPa, 3.5~5 MPa로서 폴리머-시멘트비가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 폴리머-시멘트비가 15%일 때, 휨 강도는 0%에 비해 약 10% 증가하였고, 인장강도는 약 7%의 증가를 나타냈다. 이같은 휨 및 인장 강도의 증가는 Photo 2 및 Photo 3에서 보는 바와 같이 폴리머 시멘트 모르타르 중에 형성되는 폴리머 필름에 의해 폴리머의 인장력이 발휘되고, 시멘트 수화물과 골재간의 부착성이 현저히 개선되기 때문이다.^{6),7)} 단지, 폴리머-시멘트비 0~5%에서 휨강도가 거의 변화가 없거나 심지어 약간 감소하였는데, 이는 결합재

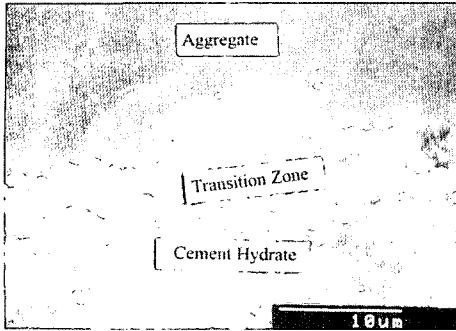
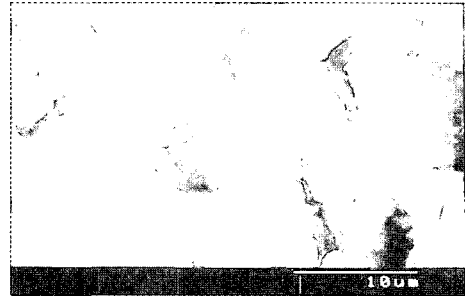


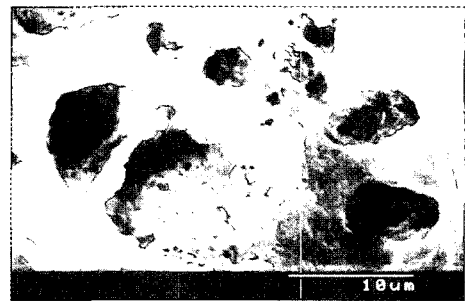
Photo 2 Microstructure of transition zone between aggregate and cement hydrate in redispersible polymer powder-modified mortars

중 폴리머의 함량이 너무 적기 때문에 불연속적인 폴리머필름을 형성하여 강도증진에 큰 효과를 발휘하지 못하였기 때문에 나타나는 결과라고 사료된다. 이것은 폴리머-시멘트비가 적합해야 휨강도 증진이 가능하다는 것을 보여주는 결과라고 하겠다.

또한 재령 7일에서의 압축강도는 23~39 MPa로서, 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 폴리머-시멘트비 15%에서의 압축강도는 0%에 비해 최대 약 30% 감소하였다. 이와 같은 원인은 폴리머-시멘트비가 커질수록 압축응력을 부담하는 시멘트 수화물의 강도가 작아짐과 동시에, 형성된 폴리머 필름이 겔상태이기 때문이다.^{5),8)} 한편, 휨, 압축 및 인장강도는 분말 수축저



SBR



PAE

Photo 3 Electron micrograph of polymer films formed in redispersible SBR and PAE powder-modified mortars

감제 첨가율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 분말수축저감제 2% 첨가시 0%에 비해 5~10%정도 감소 하였다.

Fig. 13은 알루미늄 시멘트 함량이 0%, 20%이

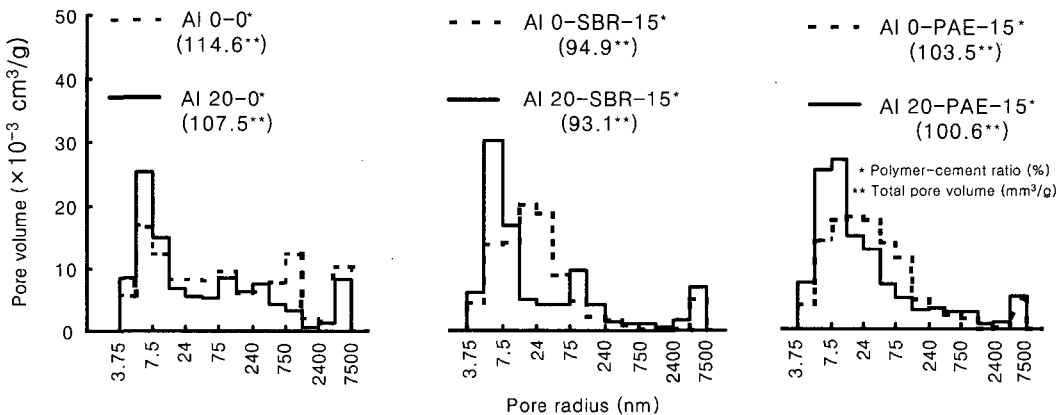


Fig. 13 Pore size distribution of SBR and PAE polymer-modified mortars

고, 폴리머-결합재비가 각각 0% 및 15%일 때 SBR 및 PAE의 세공경 분포를 나타낸 것이다. 보통 시멘트 모르타르(폴리머-결합재비 0%)의 세공경 분포는 세공 반경 24~750 nm에서 세공용적이 가장 크게 나타났지만, 알루미나 시멘트의 치환에 의해 그 세공용적의 피크는 세공 반경이 작은 쪽(좌측)으로 이동하는 경향을 보였으며, 폴리머를 혼입하였을 경우 세공경 분포의 피크는 세공반경 14 nm 이하로 작아지는 경향을 보였다. 또한, 전체 세공 용적은 SBR 및 PAE 폴리머를 15% 혼입하였을 경우 약 10% 정도 감소하는 경향을 보였다. 이 결과로부터 재유화형 분말수지 및 알루미나 시멘트의 혼입에 의해 모르타르의 내부조직이 치밀하게 됨을 알 수 있다. 또한 작은 반경의 세공 증가는 강도, 방수성, 중성화 및 염화물 이온 침투에 대한 저항성을 개선하는 하나의 요인이라고 할 수 있다.

3. 부착 강도

Fig. 14과 Fig. 15는 폴리머-시멘트비와 분말소포제 첨가유무에 따른 SBR 및 PAE 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르타르의 부착강도를 나타낸 것이다. 분말 소포제 및 분말 수축저감제 첨가율에 관계없이 폴리머-시멘트비가 증가함에 따라 SBR 및 PAE의 부착강도는 각각 약 1.8 MPa에서 3.9 MPa로, 약 1.2 MPa에서 3.3 MPa로 평균 140% 증가하는 경향을 보였다. 이같은 부착강도의 증가 원인은 Photo. 2에서 보는 바와같이 폴리머 시멘트 모르타르의 접촉면에 형성된 폴리머 필름이 치밀한 조직을 형성함과 동시에 폴리머 시멘트 모르타르의 양호한 보수성에 의해 드라이아웃이 방지되기 때문이라 사료된다.^{1),2)}

그리고, 수축저감제 첨가율이 증가함에 따라 부착강도는 약 10% 미만의 감소를 보였으며, 분말소포제의 첨가유무는 부착강도에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

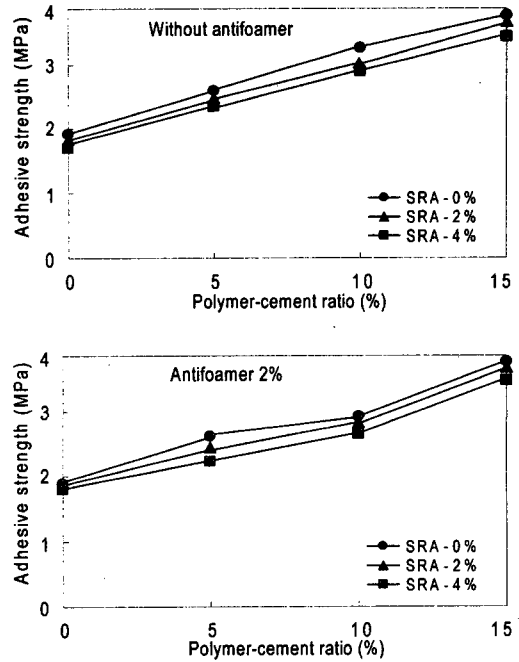


Fig. 14 Polymer-cement ratio versus adhesive strength of SBR polymer-modified mortars

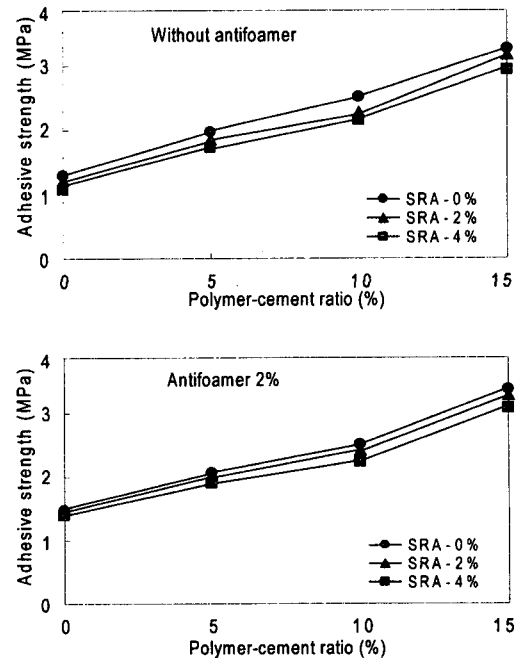


Fig. 15 Polymer-cement ratio versus adhesive strength of PAE polymer-modified mortars

V. 결 론

이 연구는 재유화형 SBR 및 PAE 분말수지 혼입 폴리머 시멘트 모르타르의 건조수축 및 강도특성을 구명하기 위해 수행된 실험연구로서, 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 건조수축은 재령 7일까지 현저하게 증가하다 14일 이후 거의 일정하였는데, 그 값은 $1\sim 2\times 10^{-4}$ 정도였으며, 분말 수축저감제 첨가율보다 폴리머-시멘트비의 영향이 더 크게 미치는 것으로 나타났다.

2) 적당량의 폴리머-시멘트비는 휨강도 및 인장강도 향상에 효과가 있어, 재령 7일에서의 휨강도는 7~11 MPa, 인장강도는 3.5~5 MPa로서 폴리머-시멘트비가 증가함에 따라 증가하였으나, 압축강도는 23~39 MPa로서 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다.

3) 이와같은 휨, 압축 및 인장강도의 변화도 건조수축의 경우와 마찬가지로 분말 수축저감제 첨가율 보다 폴리머-시멘트비의 영향을 더 크게 받는 것으로 나타났다.

4) 부착강도는 폴리머-시멘트비가 증가함에 따라 각각 SBR은 약 1.8 MPa에서 3.9 MPa로, PAE는 약 1.2 MPa에서 3.3 MPa로 평균 140% 증가하였으나, 수축저감제 첨가율이 증가할 경우는 다소 감소하는 경향을 나타냈다.

5) 건조수축 및 강도특성 면에서 볼 때, SBR이 PAE보다 더 우수하게 나타났으며, 이에 영향을 미치는 요소는 폴리머-시멘트비, 분말 수축저감제 첨가량, 분말 소포제 첨가율 순으로 나타났다.

본 연구는 건설교통부 지원 “건설핵심기술연구개발사업”으로 수행된 연구결과의 일부이며 재정지원을 해준 당국에 깊은 감사를 드립니다.

References

1. Ohama, Y., 1995, Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars, Noyes Publications,; 1- 44.
2. Chandra, S., 1994, Ohama, Y., Polymers in Concrete, CRC,; 81-146.
3. Kawano, T., 1981, Studies on the mechanism of reducing drying shrinkage of cement mortar modified by rubber latex, Polymers in concrete, *Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete*, Nihon University, Koriyama, Japan,; 147-162.
4. Joo, M. K., Lee, Y. S., and Yeon, K. S., 2002, Drying shrinkage of polymer-modified mortar using redispersible polymer powder, *Proceedings of the Korean Society of Agricultural Engineers*,; 165-168. (in Korean)
5. Ohama Y., and Matsumoto S., 2003, Effect type of powder antifoamer on properties of polymer-modified mortars using redispersible polymer powders with powdered shrinkage-reducing agent, *Proceedings of the 4th Asia Symposium on Polymers in Concrete*, Kangwon National University, Chuncheon, Korea,; 81-87.
6. Joo, M. K., Yeon, K. S., and Ohama Y., 2002, Strength properties of SBR-modified concrete using ground granulate blast-furnace slag, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 14(3): 315-320. (in Korean)
7. Lee, Y. S., Joo, M. K., and Yeon, K. S., 2001, properties of strength of ultrarapid-hardening polymer-modified mortar, *Proceedings of the Korean Society of Agricultural Engineers*,; 115-118. (in Korean)
8. Kubokawa T., Matsusato H., and Yamazaki Y., 1997, Characteristic of Polymer-Modified Mortar Using Redispersible Polymer Powders, Japan: E & FN SPON,; pp. 141-150.