

경화제 무첨가 에폭시 시멘트 모르타 및 콘크리트의 역학적 성질

Mechanical Properties of Epoxy-Modified Mortars and Concretes without Hardener

조영국* · 소양섭**

Jo, Young Kug · Soh, Yang Seob

요 약

경화제 무첨가 에폭시 수지는 시멘트 모르타 및 콘크리트 중에 시멘트 수화에 의해 생성된 수산화물(예를 들어 $\text{Ca}(\text{OH})_2$)의 존재하에서 경화할 수 있음에 착안하여, 본 연구는 경화제를 첨가하지 않은 에폭시 시멘트 모르타 및 콘크리트의 배합비 변화에 따른 역학적 성질을 파악하고 종래의 경화제 첨가 에폭시 시멘트 모르타 및 콘크리트와 비교하여 성능과 경제적인 면에서 우수한 경화제 무첨가 에폭시 시멘트 모르타 및 콘크리트를 개발하기 위하여 연구되었다.

연구 결과 종래의 경화제 첨가 에폭시 시멘트 모르타 및 콘크리트와 비교하여 10~20%의 낮은 폴리머 시멘트 비에서 우수한 역학적 성질을 가진 경화제 무첨가 에폭시 시멘트 모르타 및 콘크리트를 개발할 수 있었다.

Abstract

The purpose of this study is to develop the epoxy-modified mortars and concretes without hardener having a good balance between performance and cost. In this study, the epoxy-modified and concretes without and with the hardener are prepared with various polymer-cement ratios, and tested for the mechanical properties of the epoxy-modified mortars and concretes without and with the hardener.

From the test results, the epoxy-modified mortars and concretes without the hardener having an excellent mechanical properties are developed at low polymer-cement ratios of 10 to 20% compared with those of conventional epoxy-modified mortars and concretes with the hardener.

Keywords : Epoxy-modified mortars and concretes, hardener, mechanical properties, polymer-cement ratio

* 정회원, 전북대학교 강사, 공박

** 정회원, 전북대학교 건축공학과 교수, 공박

• 본 논문에 대한 토의를 1996년 8월 30일까지 학회로 보내
주시면 1996년 10월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

현재, 폴리머 시멘트 모르터 및 콘크리트는 건축, 토목분야에서 보수 및 마감재료로서 광범위하게 사용되고 있으나 이에 대한 학문적 체계는 미흡한 실정이다. 시멘트 혼화용 폴리머로서는 수성 폴리머 디스퍼션이 널리 사용되고 있으나, 에폭시 수지는 이와같은 범용의 수성 폴리머 디스퍼션과 비교하여, 접착성, 내약품성, 강도 등이 우수하기 때문에 이 성질을 잘 활용하면 보다 우수한 성질의 폴리머 시멘트 모르터 및 콘크리트의 제조가 가능하다고 생각된다.

한편, 지금까지 사용, 연구되어 왔던 에폭시 시멘트 모르터 및 콘크리트는 에폭시 수지에 경화제를 첨가하는 것이 필수불가결한 사항으로 주지되어, 2성분의 혼화에 따른 시공성에 문제가 있었다. 또한 에폭시 수지에 첨가되는 경화제는 시멘트 모르터의 수화에 지장을 주며, 이와같은 에폭시 시멘트 모르터 및 콘크리트에 있어 에폭시 수지의 혼입에 의한 개질효과를 충분히 발휘하기 위해서는 50~80%정도의 높은 폴리머 시멘트비가 필요하다.^{1),2)} 그러나 경화제를 사용하지 않고 에폭시 수지만 시멘트 모르터 및 콘크리트 중에 혼입함으로써, 수화에 의해 생성된 알칼리 성분의 존재하에서 에폭시 수지는 경화될 수 있다는 사실을 확인하였다.^{3),4)}

본 연구의 목적은 건축, 토목분야에서 보수 및 마감재료로서의 경화제 무첨가 에폭시 시멘트 모르터 및 콘크리트에 대한 역학적 성질을 파악함과 동시에 기존의 경화제 첨가 에폭시 시멘트 모르터 및 콘크리트와 비교하여 성능과 경제적인 면에서 우수한 새로운 폴리머 시멘트 모르터 및 콘크리트를 개발하는데 있다.

2. 사용재료 및 시험방법

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

시멘트는 JIS A 5210(포틀랜드 시멘트)에 규정되어 있는 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

2.1.2 골재

시멘트 모르터용 잔골재로서는 일본산 표준사를, 콘크리트용 골재로서는 일본산 강모래(입경 2.5mm이하) 및 강자갈(입경 5~20mm)를 사용하였다.

2.1.3 시멘트 혼화용 에폭시 수지 및 경화제

시멘트 혼화용 에폭시 수지로서는 비스페놀 A형 에폭시 수지(Diglycidyl ether of bisphenol A; DGEBA)를, 경화제로서는 변성 지방족 아민을 사용하였다. 사용된 에폭시 수지의 성질은 Table 1, 그의 화학구조식은 Fig. 1과 같다.

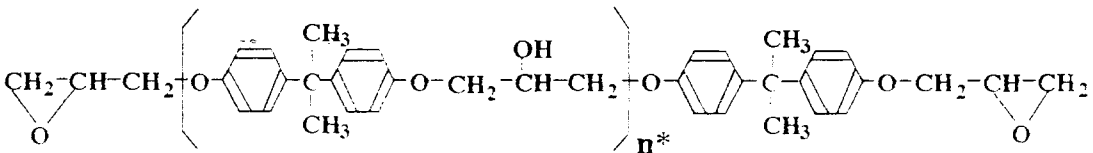
Table 1 Properties of epoxy resin

Epoxide equivalent	Molecular weight	Hue (gardner)	Specific gravity (20℃)	Viscosity (mPa·s, 20℃)
185	380	0.2~0.4	1.17	13100

2.2 시험방법

2.2.1 공시체 제작

JIS A 1171(시험실에 있어서 폴리머 시멘트 모르터의 만드는 방법) 및 JIS A 1138(시험실에 있어서 콘크리트의 만드는 방법)에 준하여 시멘트 :



Note, * : Average degree of polymerization (n=0.1~0.2)

Fig. 1 Constitutional formula of epoxy resin.

모래=1:3(중량비), 폴리머-시멘트비를 0~80%로 변화시켜 에폭시 시멘트 모르타르의 플로우치 170±5가 되도록 물-시멘트비를 조정하였다. 이 때 경화제 무첨가 에폭시 시멘트 모르타르의 경우 폴리머-시멘트비에 관계없이 물-시멘트비가 75.5%였고, 경화제를 첨가한 경우에는 74~80%의 범위였다. 에폭시 시멘트 콘크리트는 단위 시멘트량 280kg/m³, 세골재율 42%, 슬럼프값 8.0±1cm가 되도록 물-시멘트비를 조정하였다. 에폭시 시멘트 모르타르 및 콘크리트는 2일 습윤(20℃, 50% R. H.), 5일 수중(20℃), 21일 건조(20℃, 50% R. H.)양생을 실시하였다. 특히 경화제 첨가 에폭시 시멘트 모르타르의 경우, 배합 비법시 진행되는 공기량이 많기 때문에 경화제 무첨가 에폭시 시멘트 모르타르와 비슷한 수준으로 조정하기 위해 에폭시 수지에 대해 1.4%의 소포제를 첨가하였다.

2.2.2 압축강도 시험

JIS A 1172(폴리머 시멘트 모르타르의 강도시험 방법) 및 JIS A 1108(콘크리트의 압축강도 시험 방법)에 준하여 치수 4×4×8cm(휨강도 시험후 절편) 및 ϕ 7.5×15cm의 공시체에 대해 압축강도 시험을 하였다. 이 때 와이어 스트레인 게이지(wire strain gage)를 이용하여 압축변형률을 측정하고 그의 결과로부터 탄성계수를 산출하였다. 탄성계수는 압축강도의 1/3의 응력에 대한 변형률로부터 구한 할선 탄성계수로 하였다.

2.2.3 휨강도 시험

JIS A 1172 및 JIS A 1106(콘크리트의 휨강도 시험 방법)에 준하여 만능시험기를 이용하여 재하 속도 0.2mm/min 으로 중앙집중 재하법(스팬: 10 및 18cm)으로 치수 4×4×16cm 및 6×6×24cm인 공시체에 대해 휨강도 시험을 하였다. 이 때 에폭시 시멘트 모르타르에 대한 공시체의 중앙에 처짐을 다이얼 게이지(dial gage)를 사용하여 측정하였다.

2.2.4 인장강도 시험

일본 콘크리트 공학 협회에서 제정한 폴리머 시멘트 모르타르의 인장시험방법(안) 및 JIS A 1113

(콘크리트의 인장시험 방법)에 준하여 프리키프(Frigate)형 및 치수 ϕ 7.5×15cm의 공시체에 대해 인장강도 시험을 하였으며 와이어 스트레인 게이지를 사용하여 인장변형률을 측정하였다.

2.2.5 인장접착강도 시험

JIS A 6915(두겹게 붙이는 마무리 도)에 준하여 공시체에 강제 형틀을 접착한 후 인장 게이지(pull gage)를 이용하여 인장접착강도 시험을 하였다. 또한 Fig. 2에 표시한 것과 같이 시험후의 공시체 파괴 양상을 기호에 의해 나타냈으며, 파 단면에 있어서 M, A, S에 대한 각각의 비율을 10점법으로 표시하였다.

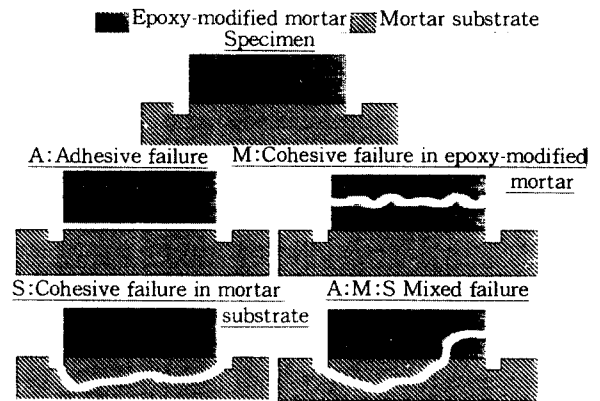


Fig. 2 Types of failure modes of specimens in adhesion test

3. 결과 및 고찰

3.1 압축강도 및 압축응력과 변형률과의 관계

Fig. 3과 Fig. 4는 에폭시 시멘트 모르타르 및 콘크리트의 압축강도와 폴리머-시멘트비와의 관계를 나타내고 있다. 경화제 무첨가 에폭시 시멘트 모르타르의 압축강도는 폴리머-시멘트비 10%에서 최대값에 달하며, 이는 폴리머-시멘트비 80%인 경화제 첨가 에폭시 시멘트 모르타르의 압축강도와 거의 동일한 값이다. 한편, 경화제 첨가 에폭시 시멘트 모르타르의 압축강도는 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 증가하나 낮은 폴리머-시멘트비에 있어

서는 강도가 거의 개선되지 않기 때문에 강도 개선을 위해서는 폴리머-시멘트비가 40% 이상으로 할 필요가 있다. 에폭시 시멘트 콘크리트의 경우, 경화제 무첨가 에폭시 시멘트 모르타르와 마찬가지로 폴리머-시멘트비 10%에서 최대치를 나타내나 모르타르와 같은 강도의 개선은 거의 발견할 수가 없다.

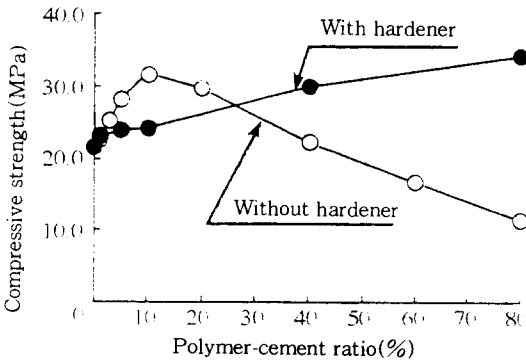


Fig. 3 Polymer-cement ratio vs. compressive strength of epoxy-modified mortars

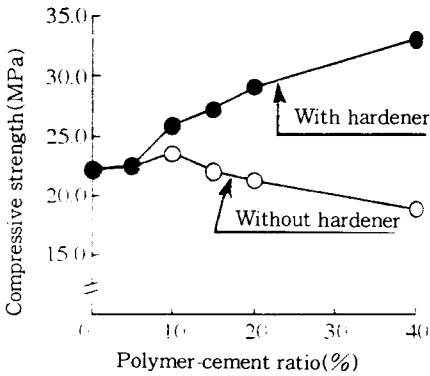


Fig. 4 Polymer-cement ratio vs. compressive strength of epoxy-modified concretes

Fig. 5와 Fig. 6은 에폭시 시멘트 모르타르 및 콘크리트의 압축응력과 변형율과의 관계를 나타내고 있다. 경화제 무첨가 에폭시 시멘트 모르타르는 폴리머-시멘트비 60% 이상의 경우에 저응력 하에서 변형율이 큰 압축응력-변형율의 관계를 나타내 보통 시멘트 모르타르와 거의 같은 경향을 보였는데, 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 압축응력-변

형률 곡선에 있어 총 변형률에 대한 비선형 변형률의 비율이 증가하였다. 경화제 무첨가 에폭시 시멘트 모르타르의 최대 압축변형률은 폴리머-시멘트비 10%에서 최대치를 보였으며, 이 값은 보통 시멘트 모르타르의 약 1.5배, 동일 폴리머-시멘트비의 경화제 첨가 에폭시 시멘트 모르타르의 약 1.2배에 해당한다. 한편 경화제 첨가 에폭시 시멘트 콘크리트는 폴리머-시멘트비에 관계없이 저응력 하에서의 압축응력-변형률 관계를 보통 시멘트 콘크리트의 것과 거의 같은 경향을 나타내고, 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 압축응력-변형률 곡선에 있어 비선형 부분의 비율이 증가하는데 비해 경화제 무첨가 에폭시 시멘트 콘크리트의 압축응력-변형률의 관계는 보통 시멘트 콘크리트의 그것과 거의 같은 형상을 나타냈다.

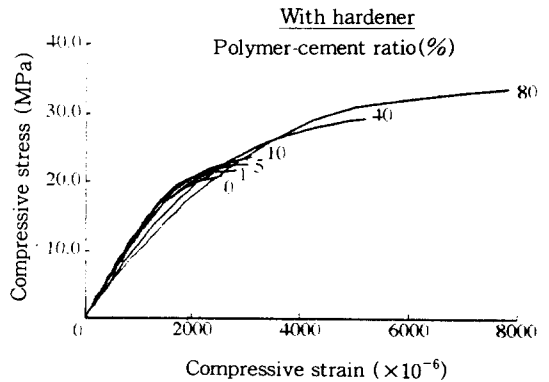
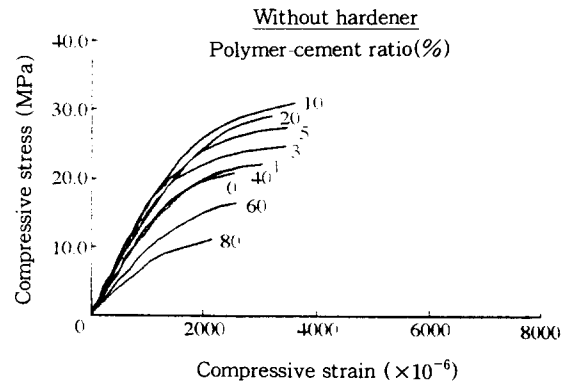


Fig. 5 Compressive stress-strain curves for epoxy-modified mortars

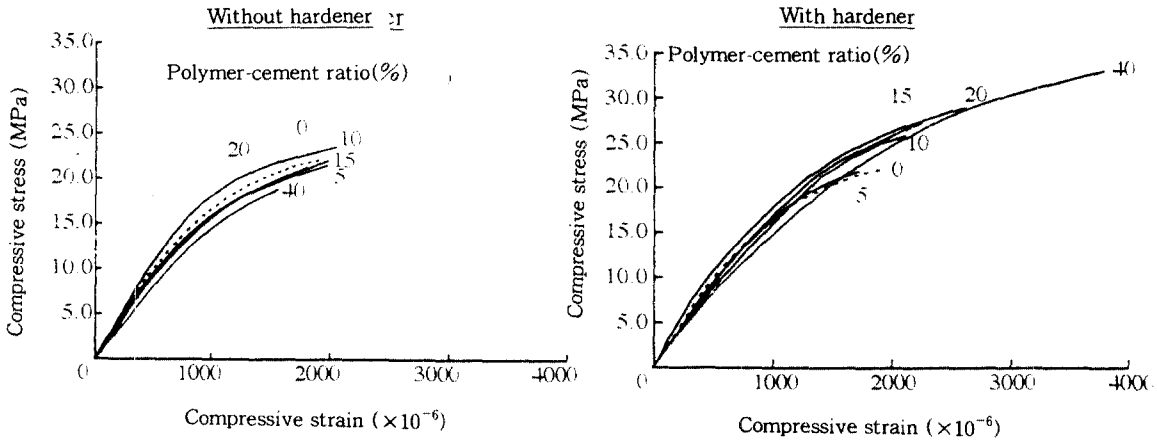


Fig. 6 Compressive stress-strain curves for epoxy-modified concretes

이상과 같이 경화제 무첨가 에폭시 시멘트 모르터 및 콘크리트의 경우 폴리머-시멘트비가 10% 이상인 경우 압축강도와 변형률이 폴리머-시멘트비가 증가함에 따라 감소하는 것은 모르터 및 콘크리트 중의 미경화 에폭시 수지 양이 증가하기 때문이라고 판단된다.

3.2 휨강도 및 휨하중과 처짐의 관계

Fig. 7과 Fig. 8에는 에폭시 시멘트 모르터 및 콘크리트의 휨강도와 폴리머 시멘트와의 관계를 나타내고 있다. 경화제 무첨가 에폭시 시멘트 모르터 및 콘크리트의 휨강도는 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 증가하여, 폴리머-시멘트비 15%와

10%에서 최대치를 나타낸 후 감소하였다. 이와같이 폴리머-시멘트비 15%와 10% 이하에서의 휨강도는 경화제를 첨가한 에폭시 시멘트 모르터 및 콘크리트 보다 월등히 크게 나타나고 있다.

Fig. 9와 Fig. 10에는 에폭시 시멘트 모르터 및 콘크리트의 휨하중과 처짐과의 관계를 나타내고 있다. 폴리머-시멘트비에 관계없이 경화제 무첨가 및 첨가 에폭시 시멘트 모르터는 최대하중 근방까지 거의 선형의 휨하중-처짐 관계를 나타냈으나, 폴리머-시멘트비 5~20%에서 보통 시멘트 모르터와 비교할때 거의 동일하거나 약간 큰 경사도를, 폴리머-시멘트비 40% 이상에서는 그것보다 작은 경사도를 나타냈다. 한편 경화제 첨가 에폭시 시멘트 모르터의 휨하중-처짐곡선의 경사도는 폴리

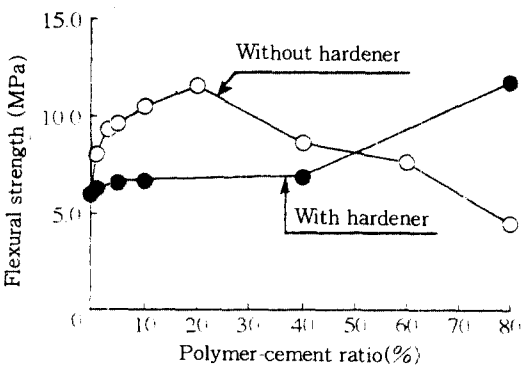


Fig. 7 Polymer-cement ratio vs. flexural strength of epoxy-modified mortars

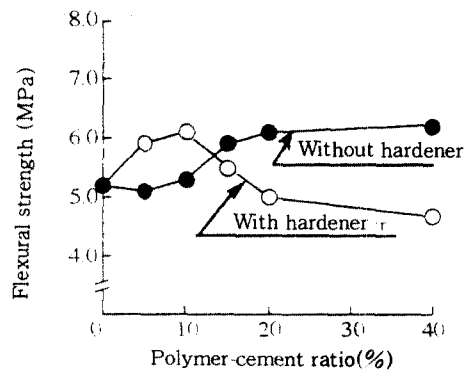


Fig. 8 Polymer-cement ratio vs. flexural strength of epoxy-modified concretes

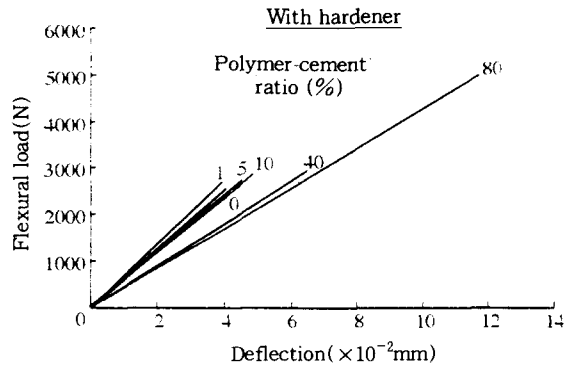
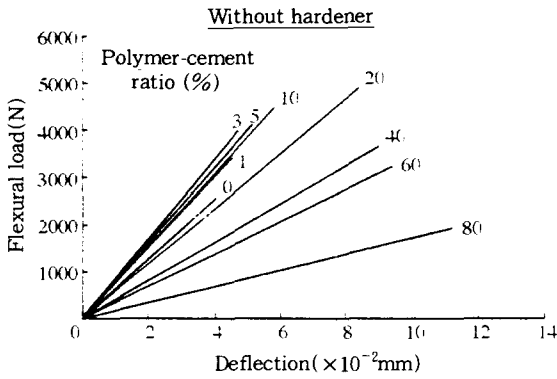


Fig. 9 Flexural load-deflection curves for epoxy-modified mortars

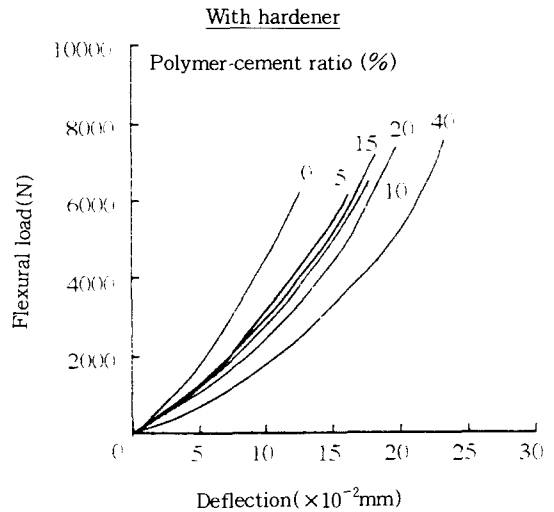
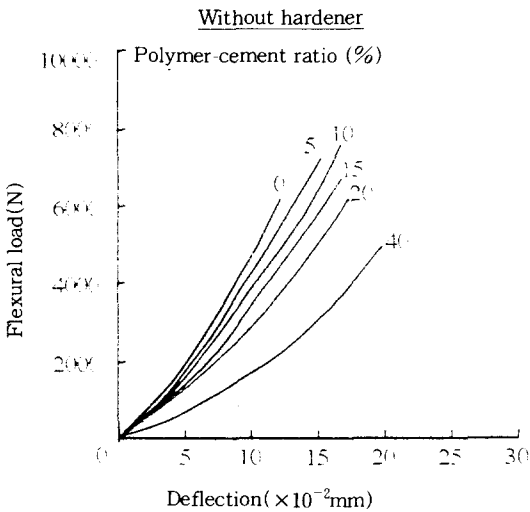


Fig. 10 Flexural load-deflection curves for epoxy-modified concretes

머-시멘트비의 증가에 따라 작게되는 경향을 나타냈다. 경화제 무첨가 에폭시 시멘트 모르타의 최대 처짐은 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 증가하고 폴리머-시멘트비 80%에서의 최대처짐은 보통 시멘트 모르타의 2.7~3배였다. 경화제 무첨가 에폭시 시멘트 모르타의 최대처짐은 폴리머-시멘트비 40% 이하에서 경화제 첨가 에폭시 시멘트 모르타의 그것보다 큰 값을 나타냈다. 한편, 에폭시 시멘트 콘크리트의 최대처짐은 에폭시 시멘트 모르타와 달리 경화제를 첨가한 콘크리트가 큰 값을 나타냈다.

3.3 인장강도 및 인장하중과 변형률의 관계

Fig. 11은 에폭시 시멘트 모르타의 인장강도와 폴리머-시멘트비의 관계를, Fig. 12는 에폭시 시멘트 콘크리트의 할렬인장강도와 폴리머-시멘트비의 관계를 나타내고 있다. 경화제 무첨가 에폭시 시멘트 모르타 및 콘크리트의 인장강도는 앞에서 말한 압축강도와 폴리머-시멘트비와의 관계와 유사하며, 폴리머-시멘트비 20% 이하에 있어서의 인장강도는 경화제를 첨가한 에폭시 시멘트 모르타의 인장강도 보다 높은 값을 보였다. 한편, Fig.

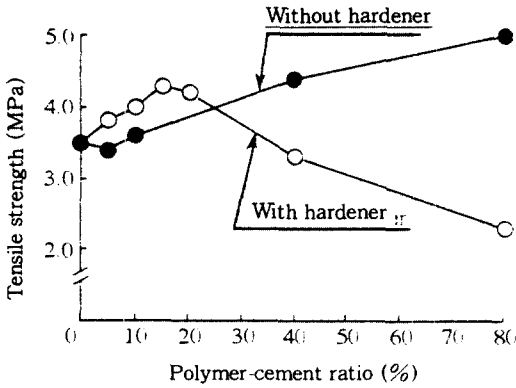


Fig. 11 Polymer-cement ratio vs. tensile strength of epoxy-modified mortars

13에 나타난 바와같이 에폭시 시멘트 모르타의 인장응력-변형률과의 관계는 전술한 압축응력-변형률과의 관계와 유사하였다.

이상과 같이 경화제를 첨가하지 않은 에폭시 시멘트 모르타의 역학적 성질이 폴리머-시멘트비 10% 또는 20% 이하에서 우수한 것은 시멘트 수화물로서 생성되는 알칼리의 존재하에서 에폭시 수지 분자 중 다음에 표시한 것과 같이 에폭시기의 개환반응이 일어나 에폭시 수지가 경화하기 때문이라고 추정된다.³⁾ 그러나 이 반응은 알칼리의 존재하에서 일어나지만 그의 진행도는 경화제 사용한 경우보다 떨어지며 폴리머-시멘트비가 커지는 경우에는 미반응 에폭시 수지가 존재하여 폴리머 시멘트 모르타 및 콘크리트의 강도가 저하한다. 한편, 경화제를 첨가한 에폭시 시멘트 모르타

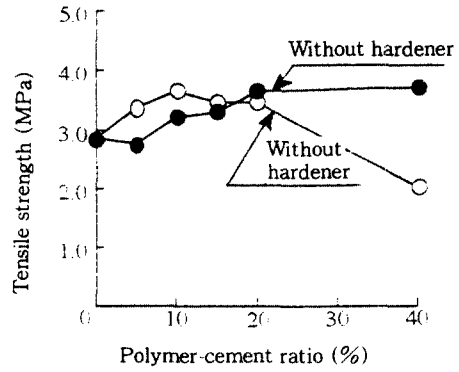


Fig. 12 Polymer-cement ratio vs. tensile strength of epoxy-modified concretes

및 콘크리트에 있어서도 경화제를 첨가하지 않은 에폭시 수지에서 일어나는 반응을 일으키고 있으나, 오히려 경화제와 에폭시 수지와 반응이 선택적으로 일어난다고 할 수 있다. 이와같은 것은 Photo 1에 표시한 경화제 무첨가 및 첨가 에폭시 시멘트 모르타 및 콘크리트 중에 생성된 에폭시 경화체의 대표적 미세구조로부터 알 수 있다. 즉 경화제 무첨가 에폭시 시멘트 모르타 및 콘크리트에 있어서 폴리머-시멘트비 5~20%까지는 경화반응에 의해 형성되는 연속필립(사진은 폴리머-시멘트비 10%)의 존재에 의해 폴리머 시멘트 모르타 및 콘크리트의 강도가 양호하나, 폴리머-시멘트비가 20%를 넘으면 에폭시 경화체 내부의 액상 미경화 에폭시 수지(사진은 폴리머-시멘트비 40%)의 존재에 의해 그의 강도 발현이 저하하게 된다.

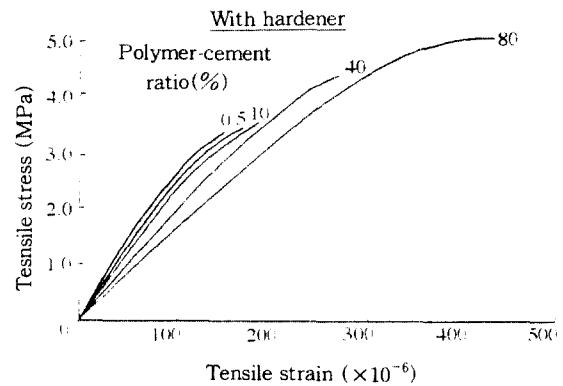
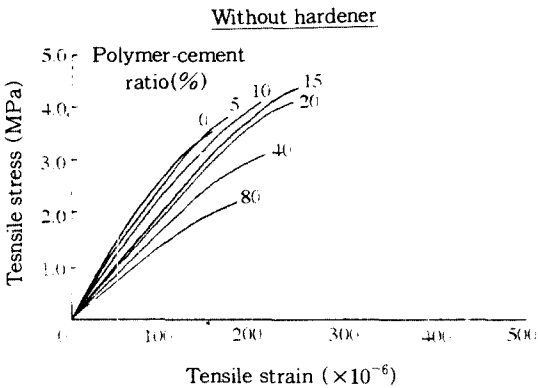


Fig. 13 Tensile stress-strain curves for epoxy-modified mortars

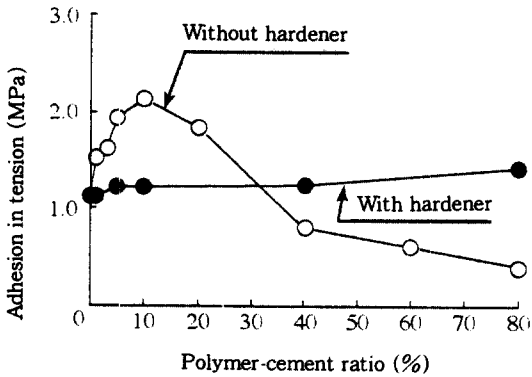


Fig. 14 Polymer-cement ratio vs. adhesion in tension of epoxy-modified mortars

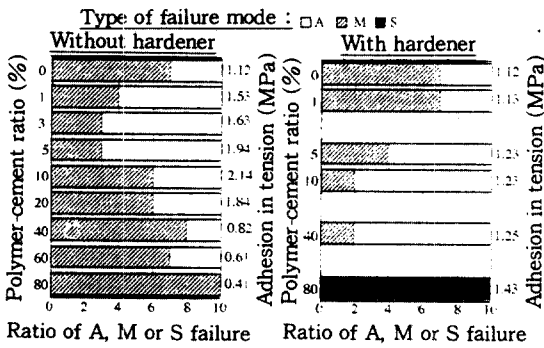


Fig. 15 Failure mode distribution vs. adhesion in tension of epoxy-modified mortars to ordinary cement mortar

4. 결 론

본 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 폴리머-시멘트비 10% 또는 20% 이하에 있어서 경화제 무첨가 에폭시 시멘트 모르타르 및 콘크리트는 경화제 첨가 에폭시 시멘트 모르타르 및 콘크리트에 비해 높은 압축, 휨 및 인장강도를 나타내며, 폴리머-시멘트비 40~80%인 경화제 첨가 에폭시 시멘트 모르타르 및 콘크리트와 거의 동등한 값을 나타냈다.

2) 폴리머-시멘트비 20% 이하에 있어서 경화제 무첨가 에폭시 시멘트 모르타르의 최대 변형도, 최대 처짐 및 최대 인장변형률은 보통 시멘트 모르타르 및 경화제를 첨가한 것보다 크게 나타났다.

3) 경화제 무첨가 에폭시 시멘트 모르타르의 인장 접착강도는 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 증가하고, 폴리머-시멘트비 10%에서 최대치에 달하였으며, 또한 폴리머-시멘트비 20% 이하에 있어서는 경화제 첨가의 것보다 월등히 큰 강도를 나타냈다.

4) 이상으로부터 경화제 첨가 에폭시 시멘트 모르타르 및 콘크리트의 제조에 있어서 폴리머 시멘트비를 40% 이상으로 할 필요가 있으나, 경화제 무첨가 에폭시 시멘트 모르타르 및 콘크리트의 경우에는 폴리머-시멘트비를 20% 이하로 하여도 우수한 역학적 성질을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Nawy, E. G., Ukadike, M. M., and Saure, J. A., "Optimum Polymer Content in Concrete Modified by Liquid Epoxy Resin", SP-58, American Concrete Institute, Detroit, 1978, pp. 329-355.
2. Mai, Y., and Cotterell, B., "Porosity and Mechanical Properties of Epoxy-Resin Modified Cement Mortar", Cement and Concrete Research, V.16, No.5, Sept. 1986, pp.646-652.
3. 垣内 弘, 新 エポキシ樹脂, 昭晃堂, 東京, Feb. 1985, pp.140-141.
4. 趙榮國, 大濱嘉彦, 出村克宜, 硬化劑無添加エポキシ樹脂混入ポリマ-セメントモルタルの力學的性質, 日本建築學會構造系 論文集, No.464, Oct. 1994, pp.1-6.
5. 趙榮國, 大濱嘉彦, 出村克宜, 硬化劑を含まないエポキシ樹脂混入ポリマ-セメントコンクリートの性質, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.16, No. 1, 1994, pp.371-376.

(접수일자 : 1996. 3. 8)