

# MMA를 이용한 프리팩트 폴리머 모르타르의 강도특성

## Strength Properties of Prepacked Polymer Mortar Using MMA-Based Binders

연 규 석·이 현 중·유 능 환·김 성 기·이 지 원\*(강원대)

Yeon, Kyu-Seok·Lee, Hyun-Jong·Ryu, Neung Hwan·Jin, Xing-Qi·Lee, Chi-Won

### Abstract

Prepacked polymer mortar that is mainly composed of MMA monomer and used for the patching and restoring materials of concrete structures was developed, and its hardening and strength properties were experimentally surveyed. Results of study show that the permeance of binder into the aggregate was excellent for the case of PMMA mixing ratio of below 10%, the surface hardening inferiority was not generated for the case of the ratio of over 5%. Working time of the prepacked polymer mortar and hardening shrinkage tended to decrease as the PMMA mixing ratio increased. On the other hand, the ratio turned out not to decisively affect on compressive and flexural strengths. Regardless of PMMA mixing content, the adhesive strength was about 2.5 MPa. Occurring the desquamation on the substrate of cement concrete showed the adhesive strength of MMA prepack polymer mortar was excellent.

### I. 서론

최근 환경보호 및 자원의 순환이용에 대한 요구가 증가함에 따라, 콘크리트 구조물의 보수·보강을 통한 내구성 증진 및 장수명화는 자원절약 및 폐기물 발생억제의 수단으로 부각되고 있다. 콘크리트 구조물은 내구성이 강한 것으로 알려져 있으나, 중성화, 염해, 동해 등에 의한 성능저하가 일어나며, 이것으로부터 발생하는 손상을 억제하기 위한 단면복구재 및 표면피복재로서 콘크리트·폴리머 복합체가 광범위하게 사용되고 있다. 특히 메타크릴산 메틸을 주성분으로 하는 폴리머 모르타르는 속경성이고, 저온경화성이며, 경화 후 물성의 경시 변화가 없다. 또한 연질부터 경질까지 수지의 분자설계가 가능하며, 저점도부터 고점도까지 수지의 점도 변화가 용이하고, 내후성, 내약품성이 우수하며, 내마모성, 시공성이 우수한 특성을 지니고 있다. 외국에서는 MMA 수지의 이러한 성질을 이용하여 도로면 보수, 교량 상판 방수와 보수, 구조물 단면 복구, 교량신축장치 보수 등 다기능성 건설재료로서 광범위하게 이용하고 있다.<sup>1-3)</sup>

콘크리트 구조물의 보수·보강 공법 중에는 적당한 입도의 골재를 거푸집 속에 채워 넣고 고유동성의 모르타르를 적당한 압력으로 주입하는 프리팩트 콘크리트 공법이 있다. MMA수지는 점도가 낮아 골재 공극 내부로의 침투가 용이하므로, 이러한 성질을 활용하면 프리팩트형 폴리머 복합소재의 개발이 가능할 것이다. 이러한 프리팩트 폴리머 복합소재는 일반 콘크리트에 비해 우수한 역학적 특성과 화학적 저항성을 가진 신소재로서 콘크리트 구조물 보수·보강 분야에 있어서 광범위하게 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서는 콘크리트 구조물 보수용 단면복구재로서 메타크릴산 메틸 모노머의 상온경화 특성 및 저점도 특성을 활용한 프리팩트 폴리머 모르타르를 개발하고 그 경화 및 강도 특성을 실험적으로 구명하였다.

### II. 사용재료

## 2.1 결합재계 재료

MMA(methyl methacrylate)는 국내 A사의 공업용 MMA모노머를 사용하였으며, 그 성질은 표 1과 같다.

표 1 MMA 모노머의 특성

Density (20 °C, g/cc)	Viscosity (20 °C, MPa·s)	Molecular weight (g/mol)	Appearance
0.9420	0.56	100	Transparent

라디칼 중합 개시제로는 과산화벤조일(benzoyl peroxide : 이하 BPO)를 사용하였으며, 촉진제로서는 N,N-Dimethylaniline(이하 DMA)를 사용하였다. 수지의 점도 조절, 수축저감 및 모노머의 증발저감을 위하여 PMMA를 사용하였다.

## 2.2 골재

골재는 규사 1호와 6호를 사용하였으며, 100±5°C에서 48시간 건조시켜 함수율을 0.1 %이하로 하였다(표 2).

표 2 골재의 특성

Silica sand	Size (mm)	Apparent density	Bulk density	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Fineness modulus	Absorption (wt.%)
No. 1	1~5	2.62	2.61	1,645	2.48	0.44
No. 5	0.08~0.6	2.3	2.54	1,500	3.42	0.7

골재의 배합은 KS F 2384(잔골재의 공극 시험 방법)를 이용하여 골재의 배합비에 따른 공극율을 측정하고, 수지량이 최소화되는 배합비율인 규사 1호 : 6호를 4 : 6으로 하여 사용하였다. 이때 수지량은 약 14 %였다.

## 2.3 반응성 첨가제

강도증진 및 경화촉진을 위하여 본 연구실에서 제조한 반응성 첨가제(이하 RA)를 사용하였다.

## III. 시험방법

### 3.1 결합재의 제조

PMMA의 혼입율이 0, 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20 %가 되도록 PMMA를 MMA 모노머에 60°C에서 용해하여 제조하였다. 각 농도의 MMA용액에 개시제, 촉진제 및 반응성 첨가제를 1.5, 1 및 5 phr 첨가하고 회전 교반하여 결합재를 제조하였다.

### 3.2 결합재의 침투성

φ100 mm의 유리병 속에 혼합골재를 100mm 높이로 채우고 3.1항에서 제조한 결합재를 부어 PMMA가 용해된 모노머의 침투성을 조사하였다.

### 3.3 사용가능시간

KS F 2484 (폴리에스테르 레진콘크리트의 사용가능시간 측정방법)의 측정법에 따라 온도 20 °C, 상대습도 60 %인 조건에서 측정하였다

### 3.4 경화수축

경화수축은 Ohama-Demura 방법에 의해 시험하였다. 배합된 골재를 7×7×32 cm의 몰드에 채우고 3.1항에서 제조한 결합재를 골재의 공극에 침투시켜 온도 20 °C, 상대습도 60 %의 조건에서 측정하였다. 시험장치는 그림 1과 같다.



그림 1 경화수축 시험장치



그림2 Digital type의 Pull-out tester

### 3.5 공시체 제작

프리팩트 폴리머 모르타르 공시체는 몰드에 규사 1호와 6호를 4 : 6으로 혼합한 골재를 미리 채우고 3.1에서 제조한 결합재를 부어 20 °C, 상대습도 60 %의 항온항습실에서 72 h 건조 양생시켜 강도측정용 공시체를 제작하였다.

### 3.6 휨 및 압축강도

휨강도 시험 및 압축강도 시험은 각각 KS F 2482 (폴리에스테르 레진콘크리트의 휨강도 시험 방법) 및 KS F 2483 (폴리에스테르 레진콘크리트의 콘크리트의 압축강도 시험 방법)에 준하여 실시하였다.

### 3.7 부착강도

부착강도 시험은 KS F 2476 (폴리머 시멘트 모르타르의 시험 방법)에 준하여 그림 2와 같은 Digital type의 Pull-out tester를 사용하여 실시하였다.

## IV. 결과 및 고찰

### 4.1 모노머의 침투성

프리팩트 폴리머 모르타르는 골재를 미리 거푸집 또는 손상된 콘크리트 바닥면을 채우고 그 위에 모노머를 주입하여 제조하므로 골재공극 내부로의 침투성은 중요한 요소이다. PMMA의 농도에 따른 MMA용액의 골재 공극내부에 대한 침투성을 시험한 결과 PMMA농도 10 %까지는 1분에 약 100 mm까지 모노머 용액이 침투되었으나, PMMA 15 %에서는 약 50 mm 까지 침투되었다.

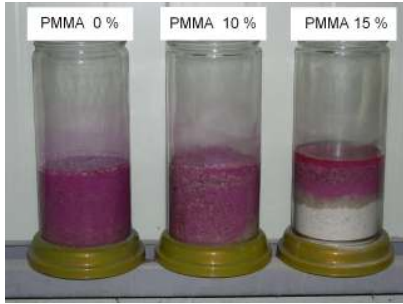


그림 3 결합체의 침투성



PMMA 0% PMMA 2.5% PMMA 5%

그림 4 폴리머 모르타르의 표면외관

#### 4.2 표면외관

MMA 모노머는 점도가 낮아 과도한 증발이 발생하며, 따라서 외부에 노출된 표면은 결합체의 부족으로 경화불량이 발생할 수 있다. 본 실험에서는 PMMA를 MMA에 용해하여 증발 및 경화불량의 방지를 꾀하였다. 경화된 공시체의 표면 외관을 관찰한 결과 PMMA의 농도가 증가할수록 표면 외관은 양호하였으며, PMMA 5 % 이상에서는 표면경화불량이 발생하지 않음을 알 수 있었다(그림 4). 이는 표면에서 MMA 모노머가 증발하면 PMMA에 의한 표면 박막이 형성되어 모노머의 증발을 방지하기 때문으로 생각된다.

#### 4.3 사용가능시간

그림 5에 프리팩트 폴리머 모르타르의 사용가능시간에 미치는 PMMA 혼입율의 영향을 나타냈다. MMA 수지 폴리머 모르타르의 사용가능시간은 PMMA 혼입율이 증가할수록 짧아지는 경향을 나타냈다. 또한 반응성 첨가제를 5 % 첨가하였을 경우 사용가능시간이 1/2 정도로 짧아졌다. 본 실험에서는 개시제, 촉진제 및 반응성 첨가제의 첨가량을 일정하게 하였으나, 이들의 첨가량을 변화시켜 사용가능시간을 자유로이 조절할 수 있다.

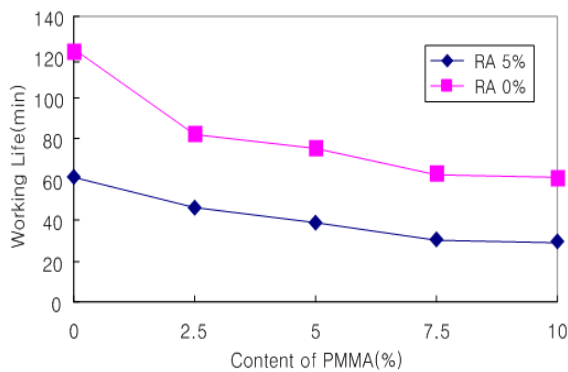


그림 5 사용가능시간

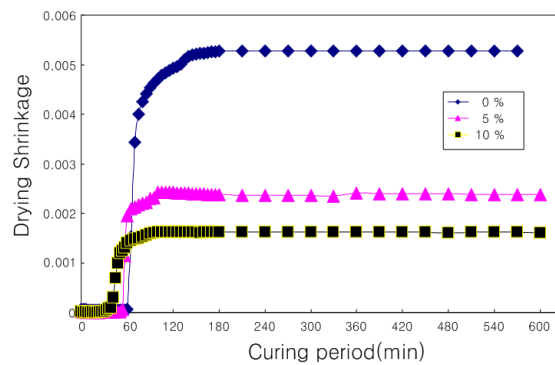


그림 6 경화수축

#### 4.4 경화수축

그림 6에 프리팩트 폴리머 모르타르의 경화수축에 미치는 PMMA 혼입율의 영향을 나타냈다. MMA 수지 프리팩트 폴리머 모르타르의 경화수축은 PMMA의 혼입율이 증가할수록 작아지는 경향을 나타냈으며, PMMA를 10 %를 혼입한 경우 경화수축은 약 1/4로 줄어드는 것으로 나타났다. 이로부터 결합체 중의 PMMA는 표면으로부터 MMA 모노머의 과도한 증발을 방지할 뿐만 아니라, 수축저감제의 역할을 하는 것을 알 수 있다.

#### 4.5 압축강도

그림 7에 PMMA 혼입율이 프리팩트 폴리머 모르타르의 압축강도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. PMMA 혼입율은 프리팩트 폴리머 모르타르의 압축강도에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. PMMA 무첨가의 경우 압축 강도가 낮은 것은 모노머의 표면증발에 의한 표면 경화 불량에 의한 것으로 추측되며, PMMA 혼입율 10 %에서 약간 저하되는 것은 결합제의 침투성 저하에 의한 것으로 추정된다. 또한 반응성 첨가제를 5 % 첨가한 경우 압축강도는 PMMA의 첨가량에 관계없이 약 50 % 증가하였다.

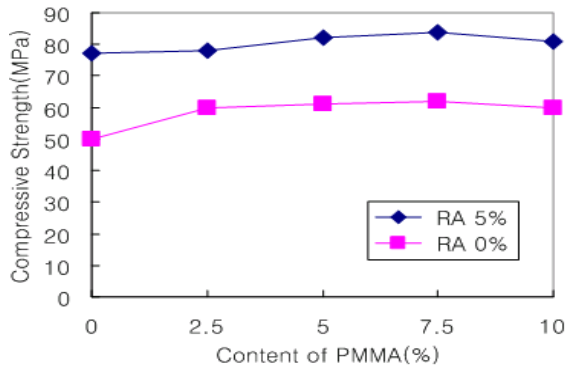


그림 7 폴리머 모르타르의 압축강도

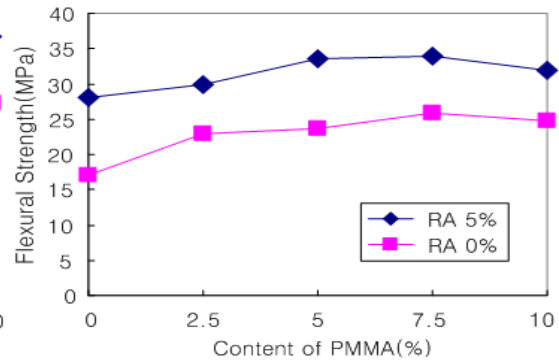


그림 8 폴리머 모르타르의 휨강도

#### 4.6 휨강도

그림 8에 PMMA 혼입율이 프리팩트 폴리머 모르타르의 휨강도에 미치는 영향을 나타냈다. PMMA 혼입율은 휨강도와 마찬가지로 프리팩트 폴리머 모르타르의 휨강도에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 반응성 첨가제를 5 % 첨가한 경우 휨강도는 PMMA의 첨가량에 관계없이 약 50 % 증가하였다.

#### 4.7 부착강도

그림 9에 반응성 첨가제를 5 % 혼입한 경우 PMMA 혼입율이 프리팩트 폴리머 모르타르의 부착강도에 미치는 영향을 나타냈다. 접착강도는 PMMA 혼입량에 관계없이 약 2.5 MPa 전후로서 KS F 4919(시멘트 혼입 폴리머 방수재)에 제시된 기준인 0.8 MPa에 비해 약 2.5~5배 우수한 것으로 나타났다. 또한 박리는 피착재인 시멘트 콘크리트에서 발생하여 MMA 수지 프리팩트 폴리머 모르타르의 부착강도가 우수함을 알 수 있었다.

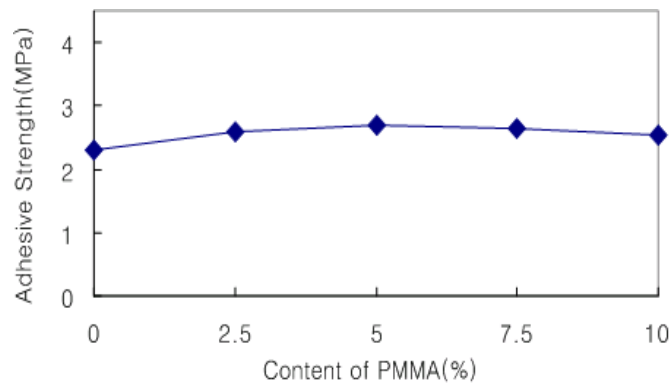


그림 9 폴리머 모르타르의 부착강도

## V. 결 론

본 연구에서는 콘크리트 구조물 보수용 단면복구재로서 메타크릴산 메틸 모노머의 상온경화 및 저점도 특성을 활용한 프리팩트 폴리머 모르타르를 개발하고 경화 및 강도 특성을 실험적으로 구명하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) MMA수지는 점도가 낮고 상온경화 특성이 있어 프리팩트 폴리머 모르타르용 결합재로서 적용하기가 용이하며, PMMA 혼입율 10 %까지는 골재에 대한 침투성이 우수하다.
- 2) PMMA 혼입율 5 % 이상에서는 PMMA에 의한 표면 증발 방지효과로 표면 경화불량이 발생하지 않는다.
- 3) MMA 수지 폴리머 모르타르의 사용가능시간은 PMMA 혼입율이 증가할수록 짧아지는 경향을 나타냈다.
- 4) MMA 수지 프리팩트 폴리머 모르타르의 경화수축은 PMMA의 혼입율이 증가할수록 작아지는 경향을 나타냈으며, PMMA를 10 %를 혼입한 경우 경화수축은 약 1/4로 줄어드는 것으로 나타났다.
- 5) PMMA 혼입율은 프리팩트 폴리머 모르타르의 압축강도 및 휨강도에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났으며, 반응성 첨가제를 5 % 첨가하면 압축강도 및 휨강도는 약 50 % 증가하였다.
- 6) 부착강도는 PMMA 혼입량에 관계없이 약 2.5 MPa 전후이며, 박리는 피착재인 시멘트 콘크리트에서 발생하여 MMA 수지 프리팩트 폴리머 모르타르의 부착강도가 우수함을 알 수 있었다.

## 감사의 글

본 논문은 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연 A-10-02)의 지원으로 이루어졌습니다.

## 참고문헌

1. Ohama, Y., Demura, K., and Komiyama, T., "Length Change of Polyester Resin Concrete", Plastic Mortars, Sealants and Caulking Compounds, ACS Symposium, Series 113, American Chemical Society, Washington, D. C., 1979, pp.67-78
2. Ohama, Y., Demura, K., and Komiyama, T., "Mix Proportioning and Mechanical Properties of Polymethyl Methacrylate Resin Concrete", Transactions of the Japan Concrete Institute, V.3, Dec. 1981, pp. 97-104
3. Ohama, Y., "Recent Development of Sustainable Construction Materials in Japan", Proceedings of the Forth International Conference on Materials for Resources 2001 Akita, Vol.1, Akita, Japan, Oct, 2001, pp.83-93