

# 저온양생한 폴리우레탄 모르타르의 강도특성에 관한 연구

## A Study on the Strengths of Polyurethane Mortar Cured under Low Temperature Condition

오 종 식<sup>\*</sup>      정 효 석<sup>\*\*</sup>      박 흥 신<sup>\*\*\*</sup>      조 영 국<sup>\*\*\*\*</sup>      소 양 섭<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Oh, Jong Sig    Jeong, Hyo Seok,    Park, Hong Shin    Jo, Young Kug    Soh, Yang Seob

### ABSTRACT

The Purpose of this study is to evaluate the strength characteristics of polyurethane(PUR) mortar cured under low temperature condition. PUR mortars are prepared with various catalyst content, methylene chloride(MC) content as a viscosity reducing agent, and curing age at low temperature condition of 0°C, -5°C and -10°C, and tested for working life, compressive and flexural strengths. From the test results, the catalyst and MC contents affect the degree of hardening and blowing of PUR mortar. Strengths increase with an increasing catalyst content at low temperature. Flexural and compressive strength of PUR mortar are about 177kgf/cm<sup>2</sup> and 490kgf/cm<sup>2</sup> respectively at curing temperature of -10°C with catalyst content of 0.4%. Therefore, it is apparent that this PUR mortars have a sufficient strengths for repair of concrete structures.

### 1. 서론

최근 철근 콘크리트 구조물은 동결융해, 철근부식, 중성화, 염해 등의 조기노후화 요인에 의해 그 사용성능이 급격히 저하되고 있다. 따라서 이러한 조기 노후화에 의한 철근 콘크리트 구조물의 적절한 보수·보강재료 및 시공기술의 개발은 시급한 실정이다. 이러한 보수·보강재료에 대한 연구 및 개발이 심도 깊게 진행되는 과정에서 사용장소의 온도·습도 등의 자연·물리적인 환경요인을 해결해야하는 과제도 안고 있다. 기존 시멘트계 보수·보강재료는 저온 및 한냉지에 있어서 강도발현등의 문제로 그 사용성이 제한되기도 하였으나 폴리머계 재료를 사용함으로써 환경요인에 대한 극복을 어느 정도 만족시킬 수 있는 보수·보강재료를 만들 수 있다.

\* 시설안전기술공단 건축실 기술원

\*\* 정회원, 전북대학교 건축공학과 석사과정

\*\*\* 정회원, 시설안전기술공단 건축실장

\*\*\*\* 정회원, 청운대학교 건축공학과 교수

\*\*\*\*\* 정회원, 전북대학교 도시·건축공학부 교수, 공업기술연구소

한편, 폴리우레탄 수지는 건설분야에서 방수실런트, 조인트 실런트, 보수용 그라우팅, 균열충진, 진동 저항 및 차음재료로서 널리 사용되고 있다. 그러나 이것은 폴리우레탄 수지의 발포성을 이용한 것으로서 수지의 발포로 인한 콘크리트 내부 매트릭스의 밀도가 낮아져 어느 정도 강도가 요구되는 곳에서의 보수·보강재료로서는 부적절하다.<sup>1)-3)</sup>

본 연구는 폴리우레탄 수지의 상온에서의 급격한 발포성을 저온이라는 특수조건으로 억제하면서 폴리머 모르타르의 시공성 및 역학적 성질을 실험적으로 고찰하여 저온에서의 보수·보강재료로서의 성능을 만족시킬 수 있는 폴리우레탄 모르타르를 개발하기 위한 기초적 자료를 제공하고자 하였다.

## 2. 사용재료

### 2.1 사용재료

본 연구에 사용한 재료는 다음과 같으며, 폴리올 및 MDI의 성질은 표1과 표2에 나타냈다.

- 1) 액상수지 : 폴리올(Polyol), MDI(Methylene Dipenyl Diisocyanate)
- 2) 촉매 : 디메틸사이클로아민(Dimethyl Cyclohexyl Amine : DMCHA)
- 3) 계면활성제 : 실리콘(Silicone)
- 4) 저점제 : 메틸렌 클로라이드(Methylren Chloride : MC)
- 5) 충전제 : 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>)
- 6) 잔골재 : 표준사

표 1 폴리올의 성질

Hydroxy Value (mgKOH/g)	Viscosity(25℃)	Functionality	Moisture(%)
360	3500	4	≤ 0.1

표 2 MDI의 성질

Functionality	Equivalent	NCO(%)	Viscosity(mpa · s, 20℃)
2.7	131.7~138.2	31.0	200

## 3. 실험방법

### 3.1 공시체 제작

본 실험은 양생온도(0℃~-10℃)의 변화에 따른 폴리우레탄 수지의 강도, 폴리우레탄 모르타르의 사용가능시간, 강도 및 부피변화 등을 고찰하기 위하여 표 3과 같은 배합에 의해 진행하였다.

특히, 폴리우레탄 수지의 합성은 당량과 분자량 및 물수에 의해 폴리올과 디이소시아네이트의 지수가 1:1이 되도록 하였다. 수지는 모르타르 배합시 필요한 재료 총중량의 15%를 사용하였으며, 계면활성제인 실리콘은 폴리올의 1%, 충전제는 수지량의 50%로 고정하였다. 촉매는 실험조건에 따라 폴리올의 0.1%, 0.2%, 0.3% 및 0.4%를 혼합하였으며, MC는 실험조건에 따라 수지량의 1%, 3%, 5% 및 10%로 변화하여 첨가하였다.

표 3. 폴리우레탄 모르타르의 배합

Polyol (%)	MDI (%)	촉매 (%)	실리콘 (%)	탄산칼슘 (%)	표준사 (%)	M.C (%)
100	88.5	0.1	1	93.6	139.5	1
		0.2				3
		0.3				5
		0.4				10

공시체는 40×40×160mm의 몰드를 사용하였으며, KS F 2419(폴리에스테르 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법)규준에 의거하여 제작하였다. 제작후 양생은 저온 냉동고에서 0℃, -5℃ 및 -10℃에서 실시하였다.

### 3.2 사용가능시간

폴리우레탄 모르타르의 사용가능시간은 KS F2484(폴리에스테르 레진 콘크리트의 사용가능시간 측정방법)에 제시된 감촉법을 이용하여 측정하였다.

### 3.3 압축강도 및 휨강도

폴리우레탄 모르타르의 압축 및 휨강도는 KS F2481 및 KS F 2484(폴리에스테르 레진 콘크리트의 압축강도 및 휨강도 시험방법)에 준하여 실시하였다. 압축강도는 휨강도 실시후 절편을 사용하였다.

## 4. 실험 및 고찰

### 4.1 촉매 변화에 따른 폴리우레탄 수지의 강도특성

촉매 변화에 따라 폴리우레탄 수지는 그림 1과 같이 전반적으로 촉매의 양이 증가할수록 강도가 증가하는 것으로 나타났으며, 같은 양생온도에서 촉매량 0.1%에 대한 촉매량 0.4%의 강도는 162.1~363.1%의 증진 효과가 있었다. 또한 동일한 촉매량을 혼입할 경우 -5℃에서의 강도가 현저히 크게 발현되는 것으로 나타났다. 이는 -5℃에서의 양생이 0℃에 비해 부피변화가 적고 부피변화 정도가 비슷한 -10℃에 비해 경화가 빠르게 진행되었기 때문으로 판단된다.

### 4.2 촉매 변화에 따른 폴리우레탄 모르타르의 사용가능시간

사용가능시간은 폴리우레탄 모르타르를 보수·보강재로 이용할 경우 현장 작업시 중요한 요소중의 하나로서 촉매량 및 양생온도에 의한 영향을 많이 받는다. 이는 그림 2에 나타난 바와 같이 대체적으로 촉매의 양이 많을수록 사용가능시간이 단축되었으며 0℃에서는 폴리우레탄 모르타르가 정상적인 경화반응을 보였으며, -5℃ 및 -10℃의 저온에서는 그 시공성이 열악하였다.

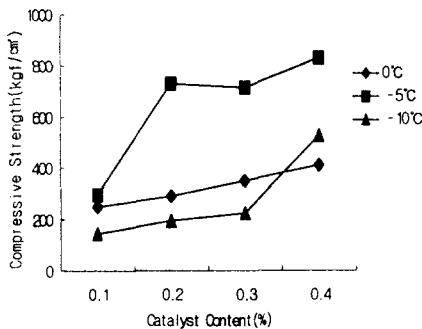


그림 1 촉매 변화에 따른 폴리우레탄 수지의 압축강도 특성

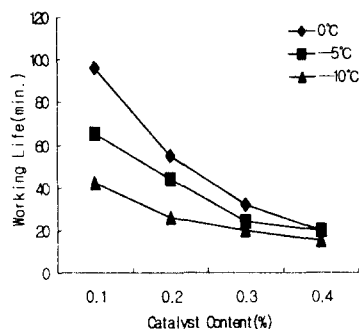


그림 2 촉매 변화에 따른 폴리우레탄 모르타르의 사용가능시간

### 4.3 촉매 변화에 따른 강도특성

촉매는 폴리우레탄 모르타르의 초기 경화속도를 지배하여 사용가능시간 및 경화후의 강도에 영향

을 미친다. 이와같은 촉매의 변화에 따른 각각의 온도별 압축·휨 강도는 그림 3과 그림 4에 나타냈다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 재령 3일의 폴리우레탄 모르타르의 압축강도는 촉매량 0.4%일 경우 0.1%에 비해 약 175~298% 정도의 강도 증가가 있으며, 휨강도의 경우 약 161~257%의 강도 증가가 있는 것으로 나타났다. 0℃의 압축강도가 -5℃ 및 -10℃에 비해 크게 나타났는데, 이는 전술한 수지만의 압축강도와는 경향이 다르나 모르타르 제작시의 골재에 의한 발포억제가 0℃에서도 작용되었다고 추측할 수 있다.

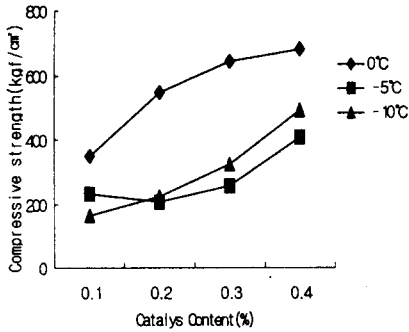


그림 3 재령 3일에 있어서의 촉매 변화에 따른 폴리우레탄 모르타르의 압축강도

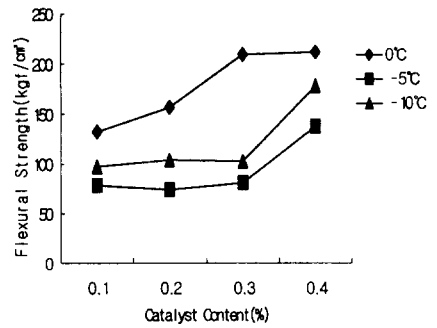


그림 4 재령 3일에 있어서의 촉매 변화에 따른 폴리우레탄 모르타르의 휨강도

#### 4.4 온도변화 및 MC 변화에 따른 부피변화 및 강도특성

폴리우레탄 수지의 점도가 높고, 반응시에 빠른 응결로 인해 시공성이 저하되므로 점도를 낮추어 시공성을 증대시키기 위해 폴리우레탄 수지에 MC를 혼입하였다. 본 실험에서는 혼입량에 따른 발포 특성과 강도의 변화 등을 알아보기 위해 촉매의 양을 0.4%로 고정하고 MC를 수지 중량의 1, 3, 5 및 10%로 변화시켜 이에 따른 부피변화 및 강도를 측정하였다. 그 결과는 그림 5, 그림 6 및 그림 7에 나타났다.

폴리우레탄 모르타르의 부피변화는 각각의 양생온도에 따라 약 112~147%의 범위에서 변화가 있었으며, MC변화에 따른 폴리우레탄 모르타르의 부피변화는 0℃와 -5℃에서는 크게 나타났으나 -10℃에서는 그 변화가 작게 나타났다. 이는 저온일수록 폴리우레탄 수지의 반응이 작게 나타났기 때문으로 볼 수 있다.

또한 그림 6 및 그림 7에서와 같이 MC첨가량의 증가에 따라 폴리우레탄 모르타르의 강도는 변함이 없거나 또는 약간 감소의 경향을 보였으며 감소의 정도는 양생온도 0℃에서 크게 나타났다. 이는 MC에 의한 시공성은 증대되지만, 물리적인 발포성능을 부여할 수 있기 때문이다. 이는 전술한 MC량에 따라 부피변화의 결과와 연관성이 있다. 결론적으로 적절한 MC량을 시공성 향상과 강도상의 밸런스를 갖춘 배합으로 할 필요가 있다.

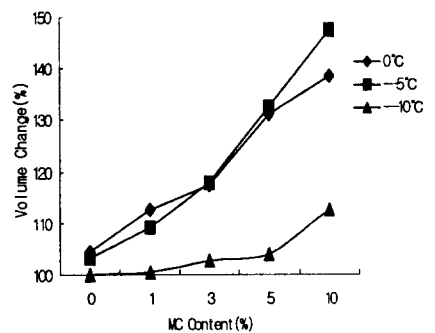


그림 5 MC변화에 따른 폴리우레탄 모르타르의 부피변화

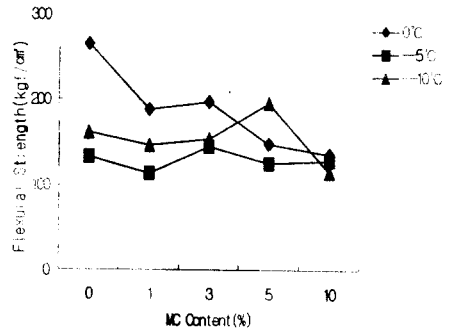
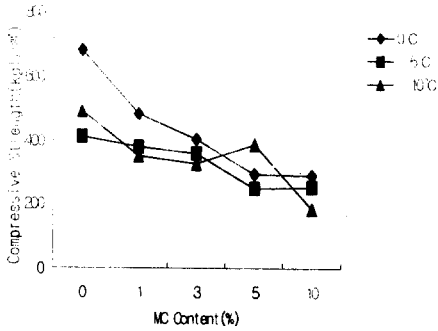


그림 6 MC변화에 따른 폴리우레탄 모르타르의 압축강도

그림 7 MC변화에 따른 폴리우레탄 모르타르의 휨강도

#### 4.5 재령별 강도특성

그림8과 그림9에는 폴리우레탄 모르타르의 재령에 따른 압축강도와 휨강도를 나타낸 것이다. 폴리우레탄 모르타르의 압축강도는 재령이 증가함에 따라 증가하여 재령 7일 정도에서 거의 변화가 없었다. 재령에 따른 강도 증진은 저온일수록 크게 나타나 양생온도에 커다란 영향을 받음을 알 수 있다. 재령7일에서 폴리우레탄 모르타르의 압축강도는 약 245~354kgf/cm<sup>2</sup>로 높게 나타나 보수·보강재료로서 충분한 강도를 나타냈다. 또한 0°C에서 양생한 폴리우레탄 모르타르의 휨강도는 재령의 증가에 따라 강도 증진효과가 컸으나 -5°C 및 -10°C에서는 약간 증가하는 정도였다. 그러나, 압축강도와 마찬가지로 휨강도도 81~163kgf/cm<sup>2</sup>로서 보수·보강재료로서 충분한 강도를 나타냈다.

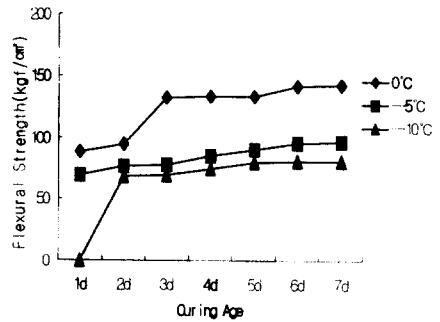
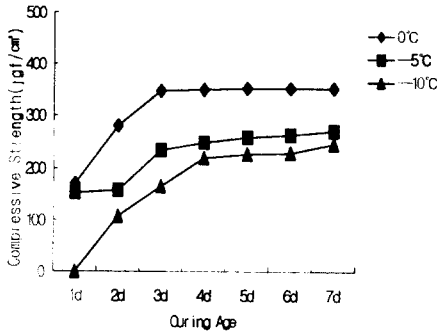


그림 8 재령에 따른 폴리우레탄 모르타르의 압축강도

그림 9 재령에 따른 폴리우레탄 모르타르의 휨강도

#### 5. 결론

저온에서 양생한 폴리우레탄 모르타르의 강도 특성에 관한 연구의 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 폴리우레탄 모르타르는 저온에서 온도가 높을수록, 촉매의 양이 많을수록 경화정도가 빠르고 강도의 발현이 크게 나타났다.
- (2) 저온환경의 보수재로서 폴리우레탄 모르타르의 사용가능시간은 촉매의 양으로서 조절할 수 있으며, 시공성 및 경화후의 강도 등을 고려할 때 촉매량은 0.4%정도가 적당한 것으로 판단된다.
- (3) MC량이 증가할수록 시공성은 증대되나 부피변화가 커져 수지 중량의 3%정도로 할 경우 부피변화에 따른 적절한 강도를 얻을 수 있었다.
- (4) 폴리우레탄 모르타르의 소정의 강도를 발현하기 위한 재령은 0℃에서 3일, -5℃ 및 -10℃에서는 4~5일 정도로 나타났다.
- (5) 본 실험결과, 폴리우레탄 수지가 열경화성 수지이지만 0℃이하의 저온에서도 그 반응의 정도는 적지만 보수·보강재료로서 강도는 충분히 발현 되었다. 향후 연구를 통해 반응성을 높여 보다 더 강도를 높일 수 있는 방안이 검토 되어야 한다.

#### 참 고 문 헌

1. 조영국, 강재홍, 소양섭, 폴리우레탄 콘크리트 패널의 특성 및 바닥재료의 이용에 관한 연구, 콘크리트 학회지 제10권 1호, 1998. 2, pp.171~178.
2. 정철, 이대수, 박상희, 구자균 “제8회, 폴리우레탄 가공 및 공업적응용기술 세미나” 기업기술 응용 시스템, 1996. pp.30~33.
3. K.Ashida and K.C.Frisch, International Progress in Urethanes Vol.3, Technomic Publishing Co., Inc. 1981, pp.1~113.