

# 수중 및 습윤 환경구조물 보수용 에폭시 모르타르의 경화제 종류에 따른 공학적 특성에 관한 연구

## A Study on the engineering Properties of Repairing Epoxy-Mortar According to Hardener types for Structures under Underwater and Humidity

박 덕 준<sup>\*</sup>    박 상 훈<sup>\*\*</sup>    이 대 경<sup>\*\*\*</sup>    배 기 선<sup>\*\*\*\*</sup>    김 진 만<sup>\*\*\*\*</sup>    백 신 원<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Park, Duk Jun    Park, Sang Hun    Lee, Dae Kyung    Bae, Kee Sun    Kim, Jin Man    Back, Sin Won

### ABSTRACT

Epoxy-mortar composites have been widely used as finishing and repairing materials in the construction because of their excellent properties. Conventional epoxy-mortars and concretes have an inferior applicability and cost performance ratio due to the two component mixing of the epoxy resin and hardener.

In this study, we examined the engineering effect of compressive strength and flexible strength according to the various epoxy-hardener in underwater and humidity environment, and evaluated the hardener types and physical effect of Epoxy mortar using cement binder in underwater and air condition.

In this study, it was clarified that the engineering properties of repairing epoxy-mortars were effected by the type of hardener.

#### 1. 서론

수중에 매입된 콘크리트 구조물의 경우 대표적으로 교량의 교각, 해양구조물의 부두, 잔교, 등대 등 다양한 구조물을 들 수 있다. 이러한 구조물의 경우 사용환경의 특성상 수분 및 습기의 영향에 의한 구조체 표면의 침식, 철근부식, 수류에 의한 단면손상 등 다양한 물리·화학적 열화요인의 영향을 받고 있다. 이에 따라 수중구조물에 대한 내구성, 수밀성 등 수중 콘크리트에 대한 품질 향상 방향이 어느때보다 큰 관심사로 대두되고 있다.

본 연구에서는 수중경화용 에폭시 모르타르의 품질과 성능을 최적화시키기 위한 그 첫 번째 연구로서 경화제 종류에 따라 발현되는 물리적 특성을 검토하였다. 또한 수중 및 습윤 환경에서 분체 혼입에 대한 에폭시 주재 및 경화제 배합에 따른 시험체의 압축강도 및 휨강도 등 모르타르의 기초적인 공학적 특성의 변화를 실험실적으로 검토하여 수중용에 적합한 에폭시 경화제를 평가하고자 한다.

- 
- \* 정회원 (주)리폼시스템 기술연구소 책임연구원
  - \*\* 정회원 (주)리폼시스템 기술연구소 선임연구원
  - \*\*\* 정회원 (주)리폼시스템 기술연구소 연구소장, 공학박사
  - \*\*\*\* 정회원 공주대학교 건축공학부 교수, 공학박사
  - \*\*\*\*\* 정회원 한경대학교 안전공학과 교수, 공학박사

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험 계획

본 실험실적 연구는 표 1과 같이 에폭시 경화제 종류에 따른 기초물성을 검토하고 최적의 경화제를 사용한 에폭시 모르타르의 기초적인 공학적 특성을 검토하였다.

표 1. 실험계획

| 실험요인     | 경화제 종류 | 수준    | 양생조건                                  | 측정항목                         |           |
|----------|--------|-------|---------------------------------------|------------------------------|-----------|
|          |        |       |                                       | 기건상태                         | 수중상태      |
| 에폭시 경화제  | 지방족 아민 | 114*  | 기건상태(온도:22℃, 습도:30%)<br>수중상태(온도: 20℃) | 인장강도, 연신율,<br>발열온도, 가사시<br>간 | 압축강도, 휨강도 |
|          | 폴리아마이드 | 77.3* |                                       |                              |           |
|          | 폴리아민   | 36*   |                                       |                              |           |
| 에폭시 모르타르 | 지방족 아민 | 114*  | 수중상태(온도: 20℃)                         | -                            | 압축강도, 휨강도 |
|          | 폴리아마이드 | 77.3* |                                       |                              |           |

\* 에폭시 주제와 경화제의 당량에 의한 수준임

### 2.2 사용재료

#### 2.2.1 시멘트 및 규사

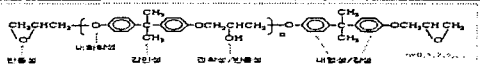
시멘트는 KS L 5201(포틀랜드 시멘트)에 규정하는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 규사는 J사에서 공급하는 1호사 및 6호사를 사용하였다.

#### 2.2.2 에폭시 경화제 및 주제

##### 1) 에폭시 주제

수중 경화용 에폭시 주제로는 국내산 B사의 비스페놀 A형 에폭시 수지를 사용하였다. 그 특성과 화학구조식은 표 2와 같다.

표 2. 비스페놀-A의 특성

| 에폭시 당량(g/eq) | 분자량 | 색상      | 비중   | 점도(mPa·s, 20℃) | 비스페놀-A 화학구조  |
|--------------|-----|---------|------|----------------|--|
| 189          | 380 | 0.2~0.4 | 1.17 | 11,000~15,000  |  |

##### 2) 에폭시 경화제

수중용 경화제는 수중 경화 특성이 있는 3종류(폴리 아마이드, 변성 지방족 아민, 폴리 아민)의 경화제를 선택하여 사용 하였고 경화제 종류별 화학적 특성은 표 3과 같다

표 3. 에폭시 경화제의 화학적 성질

| 구 분       | 활성화 수소당량(g/eq) | 점도(cps/25℃)  | 총 Amine 價 | 비 중  |
|-----------|----------------|--------------|-----------|------|
| 변성 지방족 아민 | 220            | 6000 ~ 7000  | 195       | 0.98 |
| 폴리아마이드    | 150            | 8000 ~ 10000 | 200 ~ 300 | 0.95 |
| 폴리아민      | 70             | 500 ~ 4,000  | 450 ~ 500 | 0.96 |

### 2.3 실험방법

#### 2.3.1 기건상태에서 에폭시 경화특성 검토

에폭시 경화제의 기본 특성을 검토하기 위하여 표 4와 같이 배합하여 기건 상태에서의 경화제 종류에 따른 가사시간, 발열온도, 인장강도, 연신율을 측정하였다.

### 2.3.2 수중상태에서 에폭시 경화특성 검토

에폭시 경화제의 수중경화 특성을 검토하기 위하여 표 4와 같은 배합조건을 설정하여 수중에서 시험체를 제작한 후 재령 3, 7, 14일에서 압축강도 및 휨강도를 측정하였다.

### 2.3.3 에폭시 모르타르 수중 경화 특성 검토

분체 혼입에 따른 에폭시의 수중 경화 특성을 검토하기 위하여 표 5와 같이 에폭시 모르타르를 배합한 후 수중에서 시험체를 제작하고 재령 3, 7, 14일에서 압축강도, 휨강도를 측정하였다.

표 4. 에폭시 경화제의 배합표

| 항 목 | 에폭시 경화제 |        | 에폭시 주체(g)<br>(비스페놀 A) |
|-----|---------|--------|-----------------------|
|     | 경화제 종류  | 투입량(g) |                       |
| 1   | 지방족아민   | 114    | 100                   |
| 2   | 폴리아마이드  | 77.3   |                       |
| 3   | 폴리아민    | 36     |                       |

표 5. 에폭시 모르타르 배합표

| 항 목 | 에폭시 경화제    |        | 에폭시 주체(g) | 분 체          |                      |
|-----|------------|--------|-----------|--------------|----------------------|
|     | 에폭시 경화제 종류 | 투입량(g) |           | 시멘트+5mm이하 규사 | 규사1호                 |
| 1   | 지방족아민      | 114    | 100       | 300          | 150<br>(C/S=1:2 무계비) |
| 2   | 폴리아마이드     | 77.3   |           |              |                      |

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 기건 환경에서 경화제의 물리적 특성 검토

에폭시 경화제 종류에 따른 물리적 특성을 검토한 결과 표 6과 같이 가사시간에 있어서 폴리아마이드계가 폴리아민보다 11분 길게 나타나 시공시 작업시간을 확보할 수 있는 이점이 있다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 기건 상태에서 에폭시 경화제의 인장강도 및 연신율을 측정한 결과 지방족 아민계 경화제가 폴리아마이드계와 비교하여 연신율이 2.5배 높은 것을 확인할 수 있었다. 이는 지방족 아민계의 경화제가 연성이 있어 물리적 특성이 폴리아마이드계 보다 낮아진 것으로 사료된다.

이상과 같은 결과로 폴리아마이드계의 반응온도, 신율 및 인장강도를 폴리아민계, 지방족 아민계와 비교해 볼때 그 적정선을 보이고 있어 에폭시 경화제로써 폴리아마이드계가 가장 적합할 것으로 사료된다.

표 6. 경화제 종류별 물리적 특성

| 경화제 종류 | 가사시간 (분) | 반응온도 (°C) | 인장강도 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 신율 (%) |
|--------|----------|-----------|----------------------------|--------|
| 지방족 아민 | 21       | 95        | 1.48                       | 14.59  |
| 폴리아마이드 | 29       | 123       | 3.46                       | 6.19   |
| 폴리아민   | 18       | 160       | 5.87                       | 1.44   |

### 3.2 수중 환경에서 경화제의 물리적 특성 검토

수중환경에서 에폭시 주체와 경화제로 시험체를 제작한 후 재령별 물리적 특성을 검토한 결과 그림 2, 3에서 볼 수 있듯이 에폭시 경화제의 종류에 따른 압축강도 특성은 지방족아민계 보다 폴리아마이드계가 측정 재령 3, 7일에서는 큰 차이를 보이지 않았지만 재령 14일에서는 210%의 높은 압축강도와 110%의 높은 휨강도를 보였다. 그러나 폴리아민계 에폭시 경화제의 경우 수중 양생후 1시간 이내에 사진 1과 같이 에폭시 경화의 이상 현상이 발견되어 압축강도 및 휨강도 측정이 불가능하였다.

이는 표 6에서 볼 수 있듯이 폴리아민계 경화제의 반응온도가 지방족 아민계 와 폴리아마이드계에 비하여 반응온도가 높고 가사 시간이 짧아 급격한 반응으로 인한 재료의 부피팽창으로 인한 결과라 사료된다

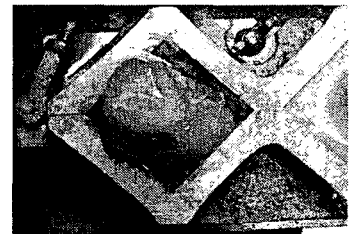


사진 1. 에폭시 경화의 이상현상

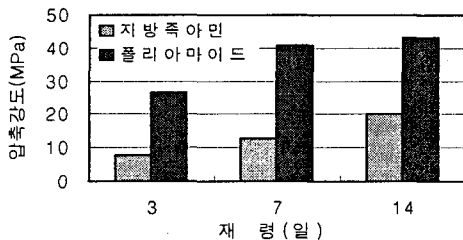


그림 2. 경화제 종류에 따른 재령별 압축강도

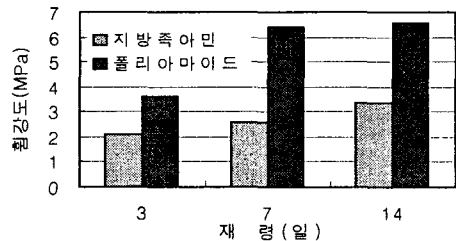


그림 3. 경화제 종류에 따른 재령별 휨강도

### 3.3 수중 환경에서 에폭시 모르타르 특성 검토

그림 5와 그림 6에서 볼 수 있듯이 수중환경에서 에폭시 모르타르의 물리적 특성은 3.2에서 검토한 에폭시 경화제의 물리적 특성과 유사하여 폴리아마이드계 경화제를 사용한 에폭시 모르타르의 물리적 특성이 지방족 아민계 보다 우수한 것을 확인하였다.

수중 환경에서 에폭시 주재와 경화제의 시험체와 분체를 혼입한 에폭시 모르타르의 시험체의 재령별 물리적 특성을 검토한 결과 그림 4와 같이 에폭시 경화제의 종류와 관계없이 에폭시 모르타르가 전 재령에서 높은 압축강도를 보이고 있었다.

특히 지방족 아민계는 폴리아마이드계 보다 에폭시 주재와 혼합할 시 보다 분체를 혼입함으로써 전 재령에서 200%이상의 높은 압축강도를 나타내면서 재령 14일에서 폴리아마이드계와 비슷한 수준의 압축강도를 보였다. 그러나 3.1에서의 경화제 종류별 물리적 특성에서 검토된 가사시간, 인장강도 및 신율을 고려해 볼 때 폴리아마이드계 에폭시 경화제가 수중경화제로 가장 우수한 특성을 가진 재료라 사료된다.

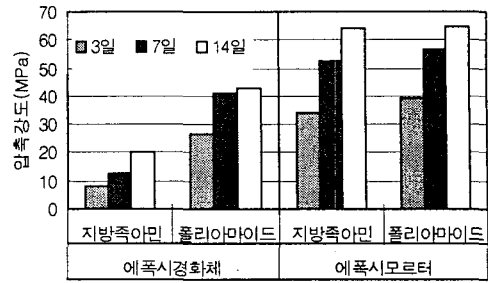


그림 4. 수중환경에서 경화제 종류에 따른 재령별 압축강도

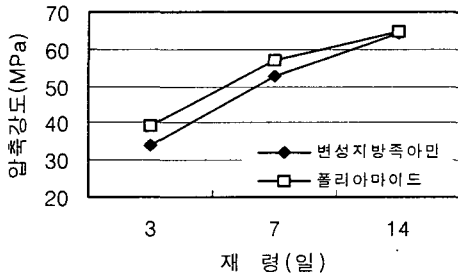


그림 5. 경화제 종류에 따른 재령별 압축강도의 변화

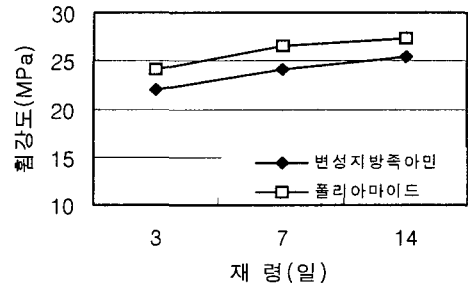


그림 6. 경화제 종류에 따른 재령별 압축강도의 변화

## 4. 결론

수중 및 습윤 환경 구조물 보수용 에폭시 모르타르의 경화제 종류에 따른 공학적 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

4.1 에폭시 경화제의 종류별로 반응온도, 신율 및 인장강도를 검토한 결과 폴리아마이드계가 수중용 경화제로 가장 적합하다는 결과를 보였다.

4.2 에폭시 경화제의 종류별 압축강도를 측정한 결과 폴리아마이드계 경화제를 사용한 에폭시 모르타르의 경우 40MPa 이상의 값이 얻어 질수 있다는 것이 확인되었다.

## 감사의 글

이 논문은 중소기업청에서 주관하는 중소기업청 기술혁신 전략과제 사업 지원에 의한 것으로 이에 감사드립니다.

## 참고 문헌

1. 배기선 오상근, “균열저동 및 습윤환경에 대응하는 누수보수기술”, 한일심포지엄, 학술발표대회논문집 pp.100~107
2. 오상근, 조인성, “수중불분리체와 방수제”, 한국콘크리트학회지, 제8권, 제2호 1996.4 pp.41~56
3. 조영국, 소양섭, “에폭시 시멘트 복합체의 에폭시 수지 경화에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, v.12, n.10(1996-10)