

# 분말형 폴리머를 사용한 시멘트 경화체의 내구성 평가

## Evaluation of Durability Properties of Cement Matrix Using the Polymer of Powder Type

김성수\*                      정호섭\*\*                      이정배\*\*\*                      윤하영\*\*\*\*                      고준호\*\*\*\*  
Kim, Seong Soo              Jung, Ho Seop              Lee, Jeong Bae              Yoon, Ha Young              Koh, Joon Ho

### ABSTRACT

It was investigated the durability of the concrete to improve construction materials with polymer cement mortar in this study. With the popularity of repair and rehabilitation material, some mixtures composed of Ethylene Vinyl Acetate(EVA) was studied. Ethylene Vinyl Acetate(EVA) carried out tests to determine its properties which a include : freezing-thawing resistance test, carbonation test, and chemical resistance test. Result of freezing-thawing resistance test, mass change ratio and chemical resistance test, mass change ratio decreased of 12 and 15~45% as compared with control mortar. Carbonation depth decreased 3.7~5.6mm as polymer-cement ratio increased 1~4%.

### 1. 서론

건설재료 가운데 강재와 더불어 가장 큰 비중을 차지하는 시멘트 콘크리트는 경제적이고, 시공성이 좋으며 내구성이 우수한 재료로 널리 알려져 왔으나, 구조물의 공용기간이 경과함에 따라 사용 환경과 하중조건 등이 변함에 따라 내구성이 저하하게 된다. 콘크리트의 내구성에 영향을 미치는 요인들은 매우 다양하며, 이러한 요인들이 상호 복합적으로 작용하고 있으므로 그 원인과 구조물에 미치는 영향 정도를 정확하게 평가하는 것은 매우 어렵다. 특히 해안구조물, 온천지대, 화학공장 및 환경처리 시설물 등 콘크리트 구조물의 사용 환경이 열악해지고, 요구되는 사용수명 또한 상대적으로 늘어남에 따라 콘크리트 구조물의 내구성 문제에 대한 관심이 점점 증가되고 있는 실정이다. 특히 염해, 중성화, 동해, 및 화학적 침식과 같은 열화요인에 대한 철근콘크리트 구조물의 내구성 저하 현상이 심각하게 대두되고 있다. 그래서 콘크리트 구조물의 사용용도 및 주변 환경조건에 따라 고성능·고기능 콘크리트의 제조가 절실히 요망되는 시기라고 생각된다. 본 연구에서는 국내에서 유통되는 재유화형 분말형 폴리머인 에틸렌 비닐 아세테이트(Ethylene Vinyl Acetate, EVA)를 혼입율을 5단계로 달리 사용하여 제조한 폴리머시멘트 모르타르의 동결융해 저항성, 탄산화 및 화학적 침식저항성에 대하여 보통포틀랜드시멘트 모르타르와 비교하여 고찰하였다.

\* 정회원, 대전대학교 건설시스템공학과 부교수

\*\* 정회원, 대전대학교 건설시스템공학과 초빙교수

\*\*\* 정회원, 삼영유화산업(주), 공학석사

\*\*\*\* 정회원, 대전대학교 토목공학과 석사과정

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

(1) 시멘트 : 국내 S사에서 제조된 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며 그 화학성분 및 물리적 특성은 표 1과 같다.

표 1 보통포틀랜드시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	강열감량 (%)	비중	비표면적 (cm <sup>2</sup> /g)
21.7	5.7	3.2	63.1	2.8	2.2	1.3	3.15	3,280

(2) 골재 : 비중이 2.61인 규사를 사용하였으며, 물리적 성질은 표 2와 같다.

(3) 폴리머 : 본 연구에서 사용한 시멘트 혼입용 폴리머는 분말형태의 재유화형 폴리머인 에틸렌 비닐 아세테이트(EVA)를 사용 하였으며, 폴리머의 일반적 성질은 표 3과 같다.

표 2 골재의 물리적 성질

규격	크기 (mm)	비중	흡수율 (%)	유기 불순물
6호	≤0.67	2.61	0.91	없음

표 3 폴리머의 성질

종류	형태	입자크기 ( $\mu$ m)	유리온도 ( $^{\circ}$ C)	pH (10% 수용액, 20 $^{\circ}$ C)
EVA	백색분말	400	0	9.1

### 2.2 모르타르 배합

시멘트와 규사를 1:2.45의 비율로 하였으며, 폴리머-시멘트비를 1~4%로 달리하여 폴리머시멘트 모르타르를 제작하였다. 또한, 공기량 4.5±1.5%와 플로우값을 170±5mm로 유지하기 위하여 폴리머 함유량의 12.5~20%의 분말소포제를 사용하였다.

### 2.3 실험방법

(1) 동결융해저항성 : 에틸렌 비닐 아세테이트(EVA)의 혼입율을 달리하여 제조한 시멘트 모르타르의 동결융해 저항성은 40×40×160mm 규격의 모르타르 시험체를 제작하여, 재령 28일에서 ASTM C 666 기중 동결 수중융해의 방법으로 실시하였다. 또한 동결융해를 받는 동안 모르타르의 중량변화를 알아보기 위하여 매 30사이클마다 동결융해 시험 전 모르타르 공시체의 중량을 기준으로 300사이클까지 또는 상대동탄성계수비가 60%이하로 떨어지기 이전까지 모르타르 공시체의 중량변화를 측정하였다.

(2) 탄산화 : 50×50×50mm 규격의 시험체를 제작하여, 재령 28일에 촉진 탄산화 시험을 온도 30 $^{\circ}$ C, CO<sub>2</sub>농도 5%, 상대습도 60% 조건으로 4주간의 폭로시험을 실시한 후, 페놀프탈레인용액(1%)을 분무하여 탄산화 깊이를 측정하였다.

(3) 화학적 침식 저항성 : 에틸렌 비닐 아세테이트(EVA)를 사용하여 제조한 폴리머시멘트 모르타르와 보통포틀랜드시멘트 모르타르를 재령 28일에서 5%황산수용액, 5%황산나트륨 및 인공해수 중에 침지한 후 침지재령 28일까지의 중량변화를 통하여 비교 평가 하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 동결융해저항성

동해작용을 받은 폴리머시멘트 모르타르와 보통포틀랜드시멘트 모르타르의 동결융해에 대한 저항성을 평가하기 위하여 매 30사이클마다 동탄성계수를 측정 한 후 상대동탄성계수비로 나타낸 것이 그림 1이

며, 아울러 매 30사이클마다 중량변화를 측정하여 중량변화비로 나타낸 것이 그림 2이다. 이들 그림에서 알 수 있듯이 보통포틀랜드시멘트 모르타르의 경우 180사이클에서 상대동탄성계수비가 70% 이하로 나타난 반면 폴리머시멘트 모르타르의 경우는 분말 폴리머의 밀봉효과로 인해 모르타르의 내부조직이 치밀하게 되어 폴리머-시멘트비가 증가할수록 동해에 대하여 우수한 결과를 보여주었다. 특히, 폴리머-시멘트비에 관계없이 300사이클까지 상대동탄성 계수 70% 이상의 양호한 결과를 나타내었으며, 중량변화에 대한 결과에서도 300사이클까지 90% 이상을 유지하였다. 이것은 폴리머 필름의 형성으로 인하여 시멘트수화물과 골재 사이의 균열 발생을 억제하여 동결융해가 진행되는 동안 수분의 침투를 저하시키기 때문이라고 사료된다.

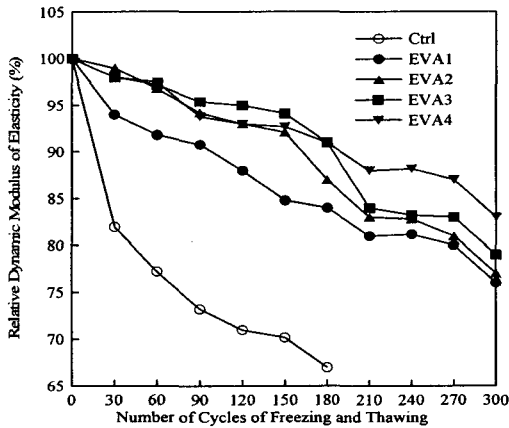


그림 1 폴리머시멘트 모르타르의 상대동탄성계수비

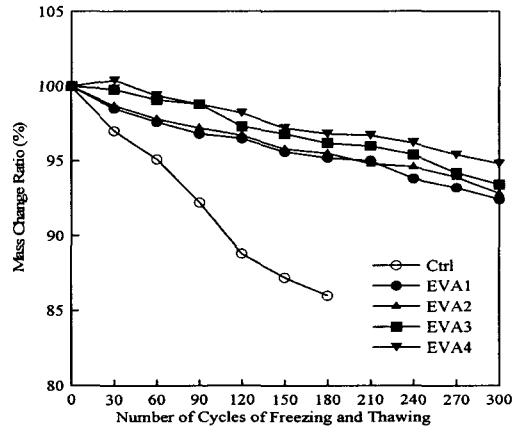


그림 2 동결융해 사이클별 중량변화율

### 3.2 탄산화

시간에 따른 탄산화 깊이를 예측하기 위한 중요한 요소 중의 하나인 콘크리트의 이산화탄소 확산계수를 예측하는 것은 탄산화에 의한 콘크리트 구조물의 내구성능을 평가하기 위하여 매우 중요하다. 일반적으로 시멘트 페이스트를 통한 이산화탄소의 확산계수는 콘크리트 및 모르타르를 통한 이산화탄소 확산계수에 비하여 매우 크게 나타난다. 이와 같은 이산화탄소의 확산계수를 예측하기 위한 연구의 일환으로 폴리머의 혼입율을 달리하여 제조한 모르타르의 탄산화 깊이를 페놀프탈레인법으로 기초적 실험을 실시하였으며, 온도 30℃, CO<sub>2</sub>농도 5%, 상대습도 60%의 시험조건으로 4주 동안의 폭로실험을 통하여 측정된 탄산화 깊이를 그림 3에 나타내었다. 이 그림에서 폴리머-시멘트비가 증가할수록 탄산화깊이 3.7~5.6mm로서 탄산화에 대한 저항성이 크게 나타났으며, 특히 폴리머-시멘트비 4%인 EVA4 모르타르의 경우 기준 모르타르에 비하여 58%까지 줄어드는 우수한 결과를 보여주었다. 이는 시멘트 겔이나 골재의 표면에 있는 폴리머 입자가 서로 결합하여 연속적인 필름이나 망을 형성하여 시멘트 수화물과 함께 결합하여 시멘트모르타르 내부의 공극의 발생을 저하시켜 조직이 치밀하게 되어 수분과 CO<sub>2</sub>의 침투를 방해하기 때문이라고 판단된다.

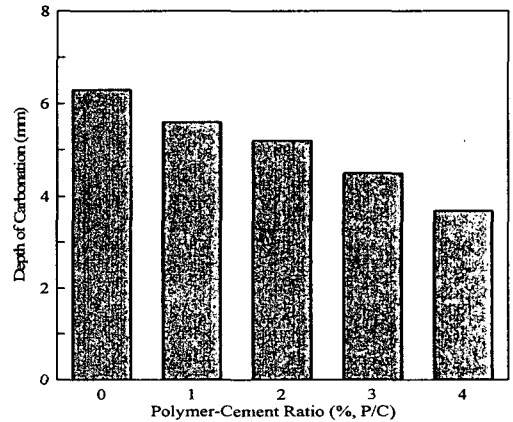


그림 3 폴리머-시멘트비에 따른 모르타르의 탄산화깊이 측정결과

### 3.3 화학적 침식 저항성

이번에는 황산, 황산염 및 해수환경에 건설되는 콘크리트 구조물의 내구성 향상을 위한 연구의 일환으로 재유화형 폴리머인 EVA의 혼입율을 5단계로 달리하여 제조한 모르타르를 각각의 용액에 침지재령 28일간 침지한 후 침지재령 7일 및 28일에서 중량변화 및 압축강도를 측정하여 정리한 것이 그림 4이다. 여기서 압축강도 감소율은 침지전 모르타르의 압축강도에 대한 침지재령에서의 강도비를 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 기준 모르타르의 경우 침지재령 7 및 28일에서 중량변화율이 각각 73 및 37.3%로서 많은 손상을 입었으나, 황산나트륨 및 해수에 침지한 폴리머-시멘트 모르타르의 중량변화율은 침지

전의 중량과 거의 변화가 없었다. 그러나 5%황산수용액에 침지한 경우에는 침지재령 7 및 28일에 각각 기준 모르타르의 15%, 108%로서 침지재령이 증가할수록 황산침식에 대한 저항성이 우수한 결과를 보여주고 있다. 이는 황산이 시멘트수화물 중  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 반응하여 난용성 석고를 생성하여 시멘트중의  $\text{C}_3\text{A}$ 와 반응하여 에트링가이트를 생성하면서 모르타르에 균열이 생기게 되는데 모르타르 내부에 생성된 폴리머 필름이 균열 발생을 막아 산이 침투되는 것을 방해하기 때문인 것으로 보인다. 한편 5%황산수용액에 침지한 기준 모르타르의 침지재령 28일의 압축강도는 침지전 압축강도의 30%로서 폴리머의 혼입율이 증가할수록 폴리머시멘트 모르타르의 압축강도가 우수하였으며, 황산나트륨 및 인공해수에 침지한 경우에는 용액에 영향을 받지 않은 것으로 보이며 중량감소율과 유사한 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다.

### 4. 결론

콘크리트 구조물의 효과적인 보수·보강을 위한 분말형 폴리머를 사용한 폴리머시멘트 모르타르의 내구성평가 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 동결융해저항성 실험결과 폴리머 필름의 형성으로 인한 우수한 접착력으로 인해 시멘트 수화물과 골재 사이에 발생하는 균열을 막아 동결융해 작용이 진행되는 동안 수분의 침투가 억제되어 폴리머시멘트 모르타르가 보통포틀랜드시멘트 모르타르보다 우수한 저항성을 나타내었다.
- 2) 폴리머 입자 상호간의 결합으로 인한 필름 및 망의 형성으로 수분과  $\text{CO}_2$ 의 침투를 방해함으로써 폴리머-시멘트비가 증가할수록 탄산화에 대한 저항성은 크게 나타난 것으로 판단된다.
- 3) 3종류의 용액에 침지재령 28일까지 침지한 모르타르의 내화학성 실험결과, 황산나트륨 및 인공해수에 침지한 폴리머시멘트 모르타르는 용액에 대한 영향이 미치지 않은 것으로 판단되지만 황산수용액에 침지한 경우 폴리머-시멘트비가 증가할수록 황산수용액에 대한 저항성이 우수한 것으로 나타났다.

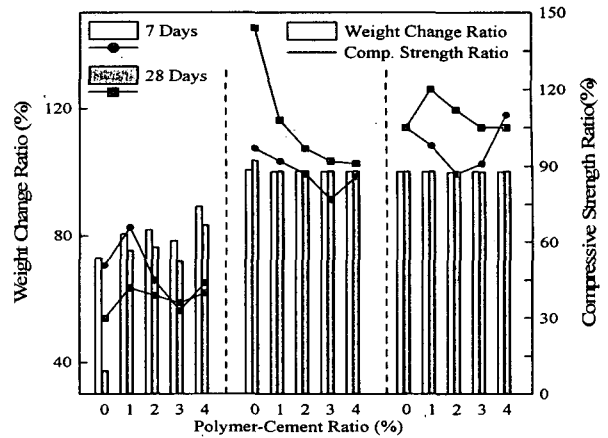


그림 4 각종 용액에 침지한 폴리머시멘트 모르타르의 중량변화 및 압축강도비