

에폭시계 보수재료의 재료특성 및 내구성능 분석

A Study on the Material Properties and Durabilities of Epoxy-Type Repairing Materials

김도겸*
Do-Gyeum Kim

이장화**
Jang-Hwa Lee,

박승범***
Seung Bum, Park

Abstract

RC structures can deteriorate for many defective factors. In the repair and retrofit works of concrete, epoxy resins are widely used as repair materials.

The object of this study is to investigate the material properties and durabilities of epoxy resins which are commonly used in repairing concrete. The material properties such as line-expansion modulus, viscosity, microstructure and physical parameter as well as the durabilities such as gravity change, tensile strength, elongation change were carried out.

1. 서론

최근 구조물의 대규모화 및 대량건설이 진행되고 있는 가운데 각종 콘크리트 구조물의 내구성 부족과 열화현상에 의해 내용연수가 극도로 저하되어 구조물의 안전성 및 사용성이 악화되고 있다. 국내의 경우, 시설물에 관한 특별법이 제정되는 등 유지관리 업무에 큰 관심이 집중되고 있으나 주로 안전진단에 국한되고 열화요인별 적절한 보수·보강기술에 대한 지침이 전무한 실정이며, 또한 사용되는 보수·보강재료의 선정에서 실적 및 이론적 뒷받침이 없어 시공업체의 경험에 의존하기 때문에 보수·보강된 구조물의 안정성에 대한 평가기준이 시급히 요망되고 있다. 일반적으로 콘크리트 구조물의 보수는 균열의 발생이나 기타 열화요인에 의해 손상된 콘크리트 구조물의 기능을 회복시키는 목적으로, 사용초기시점에 부여된 콘크리트 고유의 기능으로 유지 또는 향상시켜 구조물 사용기간 중에 문제점이 발생하지 않도록 콘크리트의 성질을 회복시키는 행위이다. 일반적으로 사용되고 있는 보수공법은 균열 주입공법, 단면 회복공법, 표면 피복공법 등이 있으며, 이들 공법에 대표적으로 사용되는 보수재료가 에폭시 레진이다. 콘크리트 균열 및 열화보수재료로서 사용되는 에폭시 레진의 물리적 성질은 조성에 따라 크게 달라지며, 같은 재료라도 온도와 혼합량의 변화에 따라 경화특성과 시공성이 크게 변한다. 따라서, 콘크리트 구조물의 보수에 사용되는 에폭시 레진의 특성을 충분히 파악하여 시공방법과 시공기간 등에 대해 가장 적절한 조성을 선택할 필요가 있다. 또한, 환경특성을 적절히 고려하지 않은 상태에서 보수재를 선택하여 사용할 경우 보수구조물

* 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

*** 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수

은 균열, 박리, 탈락 등의 열화현상이 가속될 수 있다. 따라서, 콘크리트 구조물의 보수설계시에는 온도, 수분, 화학적 침해 등 구조물의 사용환경을 고려하여야 한다.

2. 시험개요

2.1 시험 재료

에폭시 레진은 에폭시기를 가지는 대표적인 열경화성 수지의 하나이며, 가장 일반적으로 사용되는 에폭시 레진은 비스페놀A와 에피클로로히드린을 가성소다 존재하에서 반응시켜 얻어지는 에피클로로히드린-비스페놀 A(epichlorohydrin-bisphenol A)이다. 본 시험에서는 국내에서 사용중인 콘크리트 보수용 에폭시 레진 4종에 대하여 시험을 실시하였으며, 주제 및 경화제에 대한 각각의 배합비는 표 1과 같다.

표 1. 시험재료 배합표

종류	주제	경화제
A	100	40
B	100	50
C	100	50
D	70	30

2.2 재료특성시험

2.2.1 선 팽창계수 시험

열기분석장치 (TMA)를 사용하여 0~300℃의 온도변화에 따른 선팽창곡선을 구하고 이 곡선으로부터 150℃이하에서 발생하는 직선구간을 선정하여 선 팽창계수를 구하였다. 본 시험에서는 표준시료로서 석영글라스를 사용하였으며, 측정시료는 20℃에서 7일간 양생한 후, 2×2×5mm로 제작하였다.

2.2.2 점도 시험

시간 경과에 따른 점도의 변화 추이를 분석하기 위하여 시험온도 50℃의 경우와 초당 1/30℃씩 온도를 증가시켰을 경우에 대한 점도곡선을 구하였다. 본 시험에 사용한 기기는 Brookfield engineering사에서 제작한 viscometer로서 Brookfield viscometer는 스피들(spindle)을 시료 안에 넣어서 회전하는데 걸리는 토크(torque)를 이용하여 이에 대한 저항치로서 점도를 측정한다.

2.2.3 경화제 조직 촬영

본 시험에서는 에폭시 레진의 주제와 경화제를 적정비율로 혼합시켜 20±0.5℃, RH 50±2%의 주사전자현미경(SEM)을 사용하여 에폭시 경화체의 결정상태를 고찰하였다. 주사전자현미경은 고체상태에서 작은 크기의 미세조직과 형상을 관찰하는데 가장 다양하게 쓰이는 현미경으로 해상능력은 10Å~50Å 정도이며 본 실험에서 사용한 주사전자현미경(SEM)은 AKASHI제품의 SR-50으로 가속전압 30kV, 해상능력 50Å, 배율 200kX이다.

2.2.4 열 분석

열 분석법(Thermal analysis)이란 물질의 물리적 변수(Physical parameters)를 온도의 함수로 나타내는 분석방법으로 물질의 온도를 일정하게 변화시키기에 따라 나타나는 열적 특성변화를 분석하는 것이다. 본 시험에서는 중량변화측정법(TGA; Thermo-Gravimetric Analysis)에 의한 중량변화 측정 및 시차열 분석법(DTA; Differential Thermal Analysis)에 의한 열용량의 변화를 분석하였다. 중량변화측정법(TGA)은 일정한 속도로 온도를 변화시켰을 때 일정한 시간동안 시료무게의 변화를 측정하여 질량-온도 곡선을 구하므로써 시료의 열적 안정성 및 물질의 구성비를 분석할 수 있으며, 시차열 분석법(DTA)는 시료를 일정한 속도로 가열하면서 이것이 흡수되거나 방출하는 열을 비활성 기준화합물(알루미나, 탄화실리콘, 유리구슬 등)과 비교하여 이들 사이의 온도상승차를 측정하므로써 관찰하는 방법이다.

2.3 내구성능 시험

50×50×5mm의 중량증가를 측정용 시험편 및 4×10×100mm의 인장강도 측정용 시험편을 제조하여 7일간 표준양생한 후, 황산(H₂SO₄) 3%용액, 수산화 나트륨(NaOH) 5%용액, 염화나트륨(NaCl) 10%용액에 침적시켜 중량변화, 인장강도 및 신율 변화 등을 측정하였다. 각 재령에서의 중량변화율(%)은 식 (1)에 의하여 구하였다. 또한, 각 재령에서의 인장강도는 변형률 측정기가 부착되어있는 인장시험기를 사용하여 KS M 3015에 준하여 실시하였으며, 식 (2)에 의하여 구하였다.

$$M(\%) = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 \quad \text{----- (1)} \quad \sigma_{tb} = \frac{P}{A} = \frac{P}{t \times W} \quad \text{----- (2)}$$

여기서, M은 중량변화율(%), M₁은 초기 중량, M₂는 그 재령에서의 중량이며, σ_{tb}는 인장강도(kg/cm²), P는 시험편이 파괴될때의 하중(kg), t는 시험편의 두께(cm), W는 시험편 중앙부의 나비(cm)이다.

3. 시험결과

3.1 재료특성 분석

3.1.1 선 팽창계수 시험

각 시료 경화물의 선 팽창계수 시험결과, 선 팽창계수는 170~180 μm/m°C로 나타났다.

3.1.2 점도 시험

점도측정결과, 초기점도는 시료 C를 제외하고는 200cP이하로 나타났다. 또한, 10000cP 도달시간에 있어서 항온(50°C)의 경우에는 시료 B와 D가 3500초 이상으로, 시료 A와 C가 약 1500초로 나타났으며, 승온(1/30°C/초)의 경우에는 1300~1900초의 범위에 있는 것으로 나타났다.

표 2. 선 팽창계수 시험결과

종류	선 팽창계수 (μm/m°C)	비 고
A	179	
B	171	
C	178	
D	171	

표 3. 점도 측정결과

종류	초기 점도(cP)	10000 cP 도달시간(초)	
		항온(50°C)	승온(1/30°C/초)
A	100~200	1700	1450
B	20~60	3500 이상	1870
C	1000	1450	1900
D	20~60	3500 이상	1350

3.1.3 경화체 조직 촬영

각 시료의 주사전자현미경(SEM) 촬영결과는 사진 1과 같다. 모든 시료에서 분자끼리의 강한 응집력을 나타내고 있다.



(a) 시료 A (5000×)



(b) 시료 B (5000×)



(c) 시료 C (5000×)



(d) 시료 D (5000×)

사진 1. 주사전자현미경(SEM) 촬영결과

3.1.4 열분석

모든 시료에서 전반적으로 수분 흡수로 인한 불연속 곡선이 나타나지만, 약 200℃까지는 열적으로 안정함을 보여준다.

3.3 내구성능 분석

3.3.1 내산성 시험

그림 1에서 보는 바와 같이 120일 침적후 중량증가율에 있어서는 시료 A의 경우와 시료 B의 경우가 각각 24.41% 및 18.10%로 크게 나타났다. 또한, 신율의 변화에 있어서는 시료 A와 시료 B의 경우, 증가하는 경향을 나타내었으며, 시료 C, D는 감소하는 경향을 나타내었다. 인장강도에 있어서 시료 A,B,C의 경우에는 침적 120일 85%이상의 강도 감소 경향을 나타내었으나, 시료 D의 경우에는 침적후 60일 까지 증가하는 경향을 나타내었다.

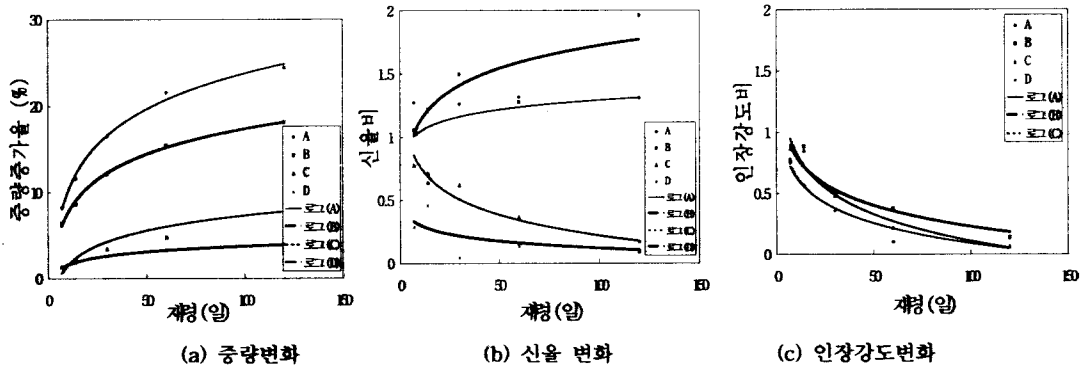


그림 1. 내산성 시험결과

3.3.2 내염해성 시험

내염해성 시험결과는 그림 2와 같다. 염화나트륨 10%용액에 침적시킨 시료의 중량증가율에 있어서는 120일 침적후 전체 시료에서 2~4%의 중량증가현상이 나타났다. 또한, 신율의 변화에 있어서는 시료 A의 경우에만 증가하는 경향을 나타내었다. 인장강도에 있어서 시료 A,C의 경우에는 침적 120일까지 강도 감소 경향을 나타내었으나, 시료 D의 경우에는 침적후 60일 까지 증가하는 경향을 나타내었다.

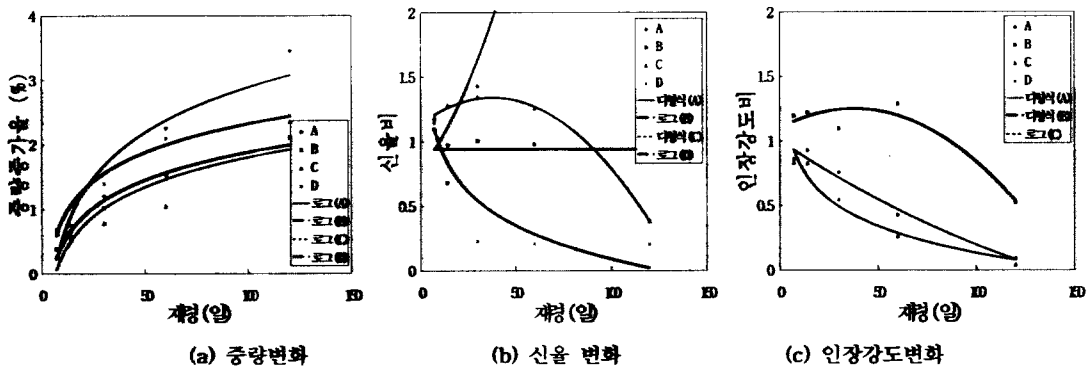


그림 2. 내염해성 시험결과

3.3.3 내수성 시험

내염해성 시험결과는 그림 3과 같다. 증류수 용액에 120일 침적후 증량증가율은 전체 시료에서 2~4%의 증량증가현상이 나타났다. 또한, 신율의 변화에 있어서는 시료 A의 경우에만 증가하는 경향을 나타내었다. 인장강도에 있어서 시료 A,C의 경우에는 침적 120일까지 강도 감소 경향을 나타내었으나, 시료 D의 경우에는 침적후 60일 까지 증가하는 경향을 나타내었다.

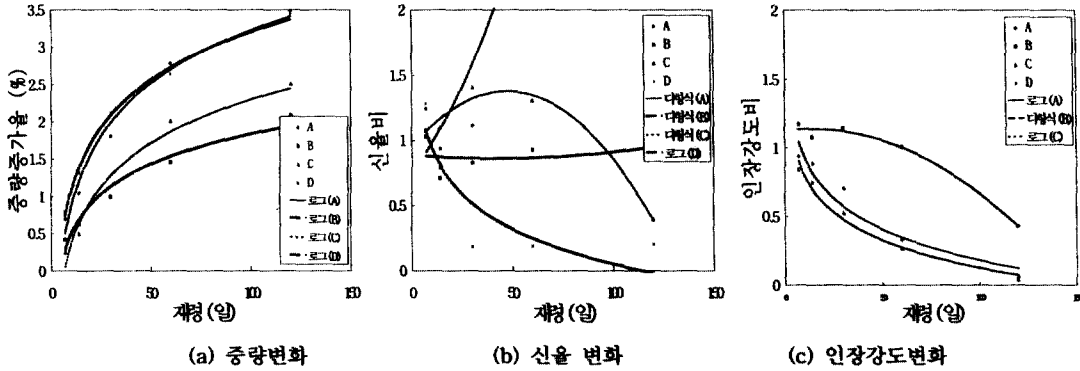


그림 3. 내수성 시험결과

3.3.4 내알칼리성 시험

내염해성 시험결과는 그림 4와 같다. 증류수 용액에 120일 침적후 증량증가율은 전체 시료에서 2~4%의 증량증가현상이 나타났다. 또한, 신율의 변화에 있어서는 시료 A,B의 경우 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었으나, 시료 C,D의 경우에는 감소하는 경향을 나타내었다. 인장강도에 있어서 시료 A,C의 경우에는 침적 120일까지 강도 감소 경향을 나타내었으나, 시료 D의 경우에는 침적후 60일 까지 증가하는 경향을 나타내었다.

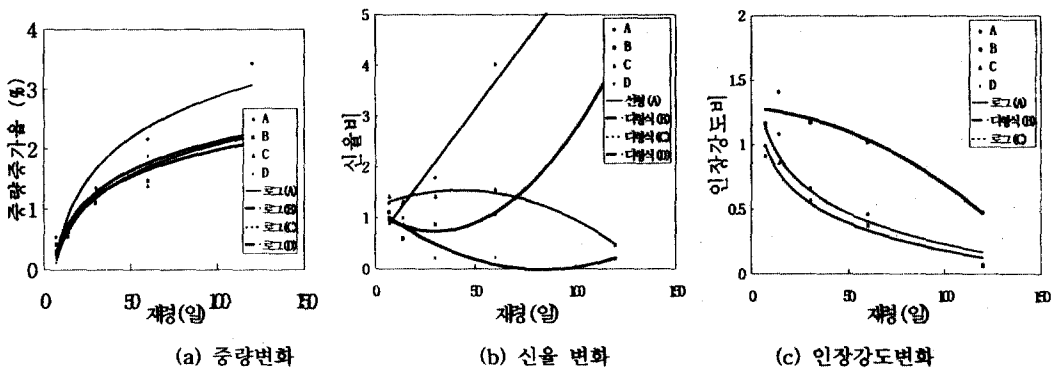


그림 4. 내알칼리성 시험결과

4. 결론

본 연구는 열화된 콘크리트 구조물의 보수에 폭넓게 사용되는 에폭시계 보수재료의 재료특성 및 내구성능을 분석하기 위한 목적으로 수행되었으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 에폭시계 보수재료의 선 팽창계수는 $170\sim 180\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ 의 범위에 있는 것으로 분석되었다. 점도에 있어서는 초기점도가 $20\sim 1000\text{cP}$ 의 범위로 시료에 따라 큰 차이를 나타내고 있었으며, 10000cP 에 도달하는 시간은 항온(50°C)시험의 경우 초기점도가 작을 경우에 큰 것으로 분석되었으나 승온($1/30^\circ\text{C}/\text{초}$)의 경우는 $1350\sim 1900$ 초로 큰 차이가 없었다.

(2) 시료 경화체에 대한 조직촬영결과, 에폭시계의 강한 응집력을 확인할 수 있었다. 또한, 열분석에 있어서는 모든 시료에서 수분 흡수로 인한 불연속 곡선이 나타났지만, 약 200°C 까지는 열적으로 안정함을 보여 주었다.

(3) 내구성능 시험에 있어서는 황산(H_2SO_4) 3%용액에 침적시킨 경우에 증량증가율이 가장 현저하였으며, 수산화 나트륨(NaOH) 5%용액, 염화나트륨(NaCl) 10%용액 및 증류수에 침적시킨 경우에는 증량증가율 4%이하의 비슷한 경향을 나타내었다. 또한, 인장강도의 변화에 있어서는 수산화 나트륨(NaOH) 5%용액, 염화나트륨(NaCl) 10%용액 및 증류수에 침적후 30일까지는 표준양생을 실시한 시료보다 강도가 높거나 비슷하였으나 침적후 30일 이후에는 저하하는 경향을 나타내었다. 그러나, 황산(H_2SO_4) 3%용액에 침적시킨 경우에는 강도저하가 현저하였다.

(4) 본 연구는 에폭시계 보수재료에 대한 역학적 성능 분석 및 내구성능분석을 위한 연구의 일부분으로 향후, 본 실험결과를 기초로 보수재료에 대한 품질시험 지침(안)을 작성하고자 한다.

참 고 문 헌

1. ACI, Structural repair corrosion damage and control, seminar course manual, scm-8, 1985
2. ACI, Repair and rehabilitation of concrete structures, seminar course manual, scm-16, 1987
3. ACI, Repairs and concrete structures - Assessments, methods and risks, seminar course manual, scm-21, 1989
4. 建設省土木研究所,劣化部材の補修・補強技術の開発に関する共同研究報告書, 共同研究報告書, 整理番號第 27号, 1990
5. 首都高速道路公團, 補修用 EPOXY 樹脂施工基準, 首都高速道路公團, 1982
6. M.V.Gandhi and M.Usman, "Swelling and Saturation of Polymer- Based Composite Materials" IBID., 1986
7. 한국건설기술연구원, 월성 원자력 2,3,4호기 비금속라이너의 자연열화 시험 및 평가, 중간보고서, 1996
8. 한국건설기술연구원, RC구조물 보수·보강재에 관한 조사 연구, 중간보고서, 1996