

RC구조물 보수용 에폭시 레진의 물리·화학적 특성 고찰

A Study on the Physical and Chemical Properties of Epoxy Resin in RC Structures

김도겸*
Kim, Do Gyeum

유영찬**
You, Young Chan

이장화***
Lee, Jang Hwa

박승범****
Park, Seung Bum

Abstract

In the repair and retrofit works, epoxy resins are widely used as repair materials. The successful concrete repairs and retrofit works depends on the quality of the repair and retrofit materials. Although, many materials for the repairs and retrofit have been developed in many contries, information on the repair methods and data describing the strength and deformation characteristics of the repaired members, are somewhat limited. Futhermore, the repairs and retrofit methods are also largely dependent on those froms in other developed contries, it is necessary to initiate rather fundamental repair-related research.

The purpose of this study is to investigate the physical and mechanical properties of epoxy resin which is commonly used in repairing concrete crack in RC structures. The basic physical properties such as specific gravity, gel point and shrinkage ratio as well as the mechanical properties such as the tensile and compressive strength, elastic modulus were acquired by the standard test methods (KS code). For the test results, the great deviations of physical and mechanical properties among the test materials were discovered and it is, therefore, recommended that careful attentions should be given on selecting the epoxy resin by considering the characteristics of the repair materials and repair works.

1. 서 론

철근 콘크리트 부재는 설계 및 시공상의 품질오차, 환경의 변화, 하중조건의 변화 등에 의해 구조물

* 정회원, 한국건설기술연구원 연구원
** 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원
*** 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원
**** 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수

의 기능이 저하되므로, 적절한 유지관리를 실시하지 않는다면 균열의 확대 등에 의하여 구조물의 파괴 등 구조적인 심각한 문제가 발생할 수 있다. 따라서, 구조물에 발생한 열화현상에 대하여는 적절한 보수·보강 등의 유지관리를 통하여 구조물의 기능성 및 사용성을 확보하여야 한다. 일반적으로 RC 구조물의 보수는 균열의 발생이나 기타 열화요인에 의해 손상된 콘크리트 구조물의 기능을 회복시키는 것을 목적으로, 사용 초기에 부여된 콘크리트 고유의 기능성을 유지 또는 향상시켜 구조물 사용기간 중에 문제점이 발생하지 않도록 콘크리트의 성질을 회복시키는 행위를 말한다. 현재 RC 구조물의 보수에 사용되고 있는 재료로는 에폭시 레진, 폴리머 모르타 등이 있으며, 이중 에폭시 레진은 콘크리트의 균열 보수에 폭넓게 사용되고 있으나, 이에 대한 물리적 역학적 특성이 명확하게 규명되어 있지 못한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 현재 우리나라에서 폭넓게 사용되고 있는 콘크리트 균열보수에 에폭시 레진에 대한 물리적 화학적 특성을 고찰하고자 한다.

2. 시험개요

2.1 시험 재료

국내에서 사용중인 콘크리트 균열 수용에폭시 레진중에서 대표적인 4종으로 하였으며, 주제 및 경화제에 대한 각각의 배합비는 표 1과 같다.

표 1 시험재료 배합표

종 류	주 제	경화제
A	100	40
B	100	50
C	100	50
D	70	30

2.2 비중시험

에폭시 레진에 대한 비중시험은 KS M 3821에 준하여 실시하였다. 즉, 비중컵으로 25℃에서의 시료 무게(W_s)와 그것과 같은 부피의 25℃에서의 증류수의 무게(W_w)를 측정하여 그 무게비로부터 시료의 비중(W_s/W_w)을 구하였다.

2.3 사용 가능 시간 시험

에폭시 레진의 사용가능시간은 발열온도 상승시간 측정법으로 측정하였다. 시험방법은 주제와 경화제를 소정의 비율로서 혼합 교반하여 100g의 시료를 채취한 후 폴리프로필렌 용기에 넣고 Thermocouple을 삽입한 다음 시간에 대한 온도를 측정하여 그림 1과 같은 방법으로 사용가능시간을 구하였다. 발열온도 상승시간 측정법에 의한 가사시간(사용가능시간)의 판정은 에폭시 레진을 적정비율로 혼합시킨 후, 그 수지를 접착면에 균일하게 도포하는 것이 가능하고 강도가 보증되는 혼합용기 내에서의 최대 사용가능시간이다.

2.4 Gel Point 시험

약 10g 정도의 잘 교반된 주제와 경화제의 혼합물을 입구가 비교적 넓은 폴리프로필렌 용기에 주입한 후, 20±0.5℃, RH 50±2%의 항온항습기에 넣은 다음, 가늘고 딱딱한 핀을 사용하여 시간의 경과에 따른 겔 형성시간 및 경화시간을 측정하였다.

2.5 용제함유율 시험

각 시료의 주제 및 경화제에 대한 용제 함유율을 측정하기 위하여 50g의 시료를 유리비이커에 넣고

100℃의 건조로에 12시간 이상 방치한 후 항량이 되었는지를 확인하여 중량변화가 없는가를 확인한 다음 그 무게를 측정하여 중량감소율을 계산하였다.

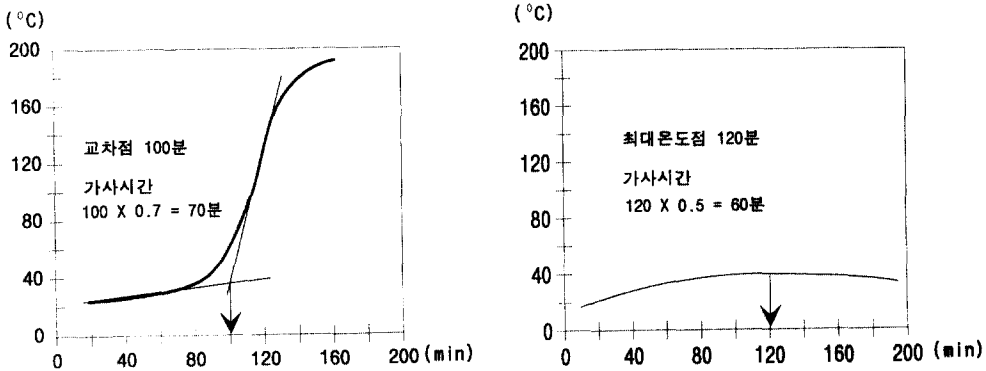


그림 1 발열온도 상승시간 측정법에 의한 사용가능시간 측정방법

2.6 성형 수축율 시험

에폭시 레진의 성형수축율 시험은 KS M 3015에 준하여 실시하였다. 즉, 내경 76mm의 원형성형 판에 수지를 성형하고 $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, RH $50 \pm 2\%$ 의 항온항습기에서 24 ± 1 시간 양생한 후, 금형으로부터 분리하여 동일조건외 항온항습기에 7일간 양생한 다음, 양생한 시험편의 앞과 뒤에 튀어나온 등근 띠의 바깥지름을 서로 교차하는 측정선에 따라 앞면에 2군데와 뒷면에 2군데를 측정하여 수축율을 계산하였다.

2.7 강도 시험

2.7.1 휨 시험 및 휨 탄성계수

KS M 3015에 준하여 $4 \times 10 \times 100\text{mm}$ 의 시험편을 제작한 후, $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, RH $50 \pm 2\%$ 의 항온항습기에서 7일간 양생하였다. 시험편은 시험전 높이와 나비를 각각 0.05mm 까지 정확하게 잴 다음, 지점간의 거리를 80mm로 하여 시험편을 지점 위에 올려 놓고 그 중앙을 가압부로 하중을 가하여 시험편이 부러졌을 때의 무게를 0.1kg까지 측정하였고, 하중에 따른 변형율을 측정기에 부착되어 있는 X-Y 레코더를 사용하여 측정하였다. 휨강도와 휨탄성계수는 식(1)을 사용하여 구하였다.

$$\sigma_b = \frac{3PL_f}{2Wh^2}, \quad E_f = \frac{L_f^3}{4Wh^3} \cdot \frac{F}{Y} \quad (1)$$

여기서, σ_b 는 휨강도(kg/cm^2), E_f 는 휨탄성계수(kg/cm^2), P는 시험편이 파괴될 때의 하중(kg), L_f 는 지점간의 거리(cm), W는 시험편의 나비(cm), h는 시험편의 높이, F/Y는 하중-변형곡선의 직선 부분 기울기(kg/cm)이다.

2.7.2 인장 강도 및 인장탄성계수

KS M 3015에 준하여 $4 \times 10 \times 100\text{mm}$ 의 시험편을 제작한 후, $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$, RH $50 \pm 2\%$ 의 항온항습기에서 7일간 양생하였다. 인장시험기에 부착되어 있는 2개의 고정 장치에 시험편을 붙여서 힘의 작

용접이 시험편의 중심 축선과 일치하도록 한 다음, 그 시험편에 하중을 가하여 시험편의 거의 중앙부분에서 부러졌을 때의 하중을 구하고 하중에 따른 변형율을 측정기에 부착되어있는 X-Y 레코더를 사용하여 측정하였다. 인장강도와 인장탄성계수는 공식(2)를 사용하여 구하였다.

$$\sigma_b = \frac{P}{A} = \frac{P}{t \times W}, \quad E_t = \frac{\sigma_a}{\epsilon_a} \quad (2)$$

여기서, σ_b 는 인장강도(kg/cm²), E_t 는 인장탄성계수(kg/cm²), P는 시험편이 파괴될때의 하중(kg), t는 시험편의 두께(cm), W는 시험편 중앙부의 나비(cm), σ_a 와 ϵ_a 는 하중-변형곡선의 직선부분에서의 응력증가량(kg/cm²)과 변형증가량(cm/cm)이다.

2.7.3 압축강도 및 압축탄성계수

KS M 3015에 준하여 13×13×25mm의 시험편을 제작한 후, 20±0.5℃, RH 50±2%의 항온항습기에서 7일간 양생하였다. 시험편은 면의 평행도를 0.1mm 이내로 되도록 가공한 후 그 크기를 0.05 mm까지 측정하였다. 강도의 측정은 X-Y레코더가 부착되어있는 시험기의 가압판과 가압판 사이 중앙에 시료를 놓은 후 그 시험편에 하중을 가하여 시험편이 파괴되었을 때의 하중을 구하고 하중에 따른 변형율을 측정기에 부착되어있는 X-Y 레코더를 사용하여 측정하였다. 압축강도와 압축탄성계수는 식(3)을 사용하여 구하였다.

$$\sigma_c = \frac{P}{A}, \quad E_c = \frac{\sigma_a}{\epsilon_a} \quad (3)$$

여기서, σ_c 는 압축강도(kg/cm²), E_c 는 압축탄성계수(kg/cm²), P는 시험편이 파괴될 때의 하중(kg), A는 시험편의 면적(cm²), σ_a 와 ϵ_a 는 하중-변형곡선의 직선부분에서의 응력증가량(kg/cm²)과 변형증가량(cm/cm)이다.

2.7.4 인장전단 접착강도

인장전단 접착강도는 KS M 3734에 준하여 실시하였다. 즉, 그림 2와 같은 시험편의 끝 파지부분을 지지체와 함께 척에 고정하고, 시험편의 장축과 척의 중심선이 수직선상에 있고 하중이 바르게 그 선위를 통과하도록 한 후, 매분 2.0mm의 인장속도로 시험편이 파괴될 때의 최대하중(kg)을 측정한 다음, 접착면적(cm²)으로 나누어 인장전단 접착강도(kg/cm²)를 구하였다.

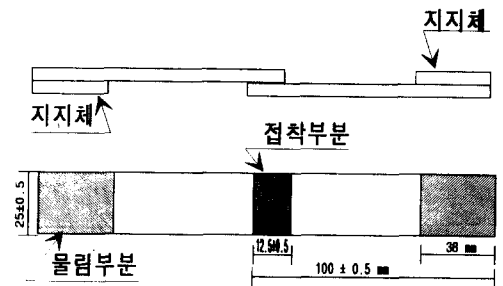


그림 2 인장전단 접착강도 측정용 시험편

3. 시험결과

3.1 비중시험

국내에서 사용중인 에폭시의 겉보기 비중은 1.10±0.05의 범위에 있는 것으로 나타났다. 주제의 비

중은 1.036~1.127의 범위에 있었으며, 경화제의 비중은 0.956~1.052의 범위에 있었다.

3.2 사용 가능 시간 시험

그림 4는 시험 재료별 발열온도 상승시간을 나타낸 그래프이다. A와 C제품은 발열상승온도가 매우 높은 재료로서 경화시간이 짧은 특징을 지니고 있었으며, B와 D제품의 경우에는 경화의 진행이 매우 완만하고 발열 상승온도도 40℃를 넘지 않았다. 각 제품별 사용가능시간은 A제품의 경우에는 76분, B제품은 73분, C제품은 45분, D제품은 100분으로 분석되었다.

3.3 Gel Point 시험

A 및 C제품의 경우에는 겔 형성시간이 1.3~2시간, 경화시간이 3~4시간으로 매우 빠른 경화양상을 보였으며, B 및 D제품은 겔 형성시간이 21~23시간, 경화시간이 72~82시간으로 매우 느린 경화양상을 보였다. 경화형태를 보면, B,C,D제품의 경우에는 전반적으로 점성이 증가하면서 부드러운 젤리상태로 진행되는 양상을 보였지만, A제품의 경우에는 중심부에서부터 응집이 발생하며 경화하는 양상을 보였다.

3.4 용제함유율 시험

그림 6은 각 시료별 용제함유율을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 B제품의 경우가 주제의 용제함유율이 0.77%, 경화제의 용제함유율이 3.68%로 가장 낮은 용제함유율을 나타내었으며, A제품이 주제 11.47% 및 경화제 5.36%, C제품이 주제 4.36% 및 경화제 6.24%, D제품이 주제 11.47% 및 경화제 4.52%의 용제함유율을 나타내었다.

3.5 성형 수축율 시험

성형수축율은 모든 제품이 0~0.18%의 낮은 수축율을 보였으며, A 및 D제품의 경우에는 0.005%이하의 성형 수축율을 지닌 것으로 분석되었다.

3.6 강도 시험

3.6.1 휨 시험

그림 7은 각 시험재료에 대한 휨강도와 변형과의 관

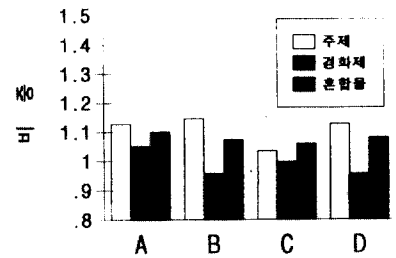


그림 3 비중시험 결과

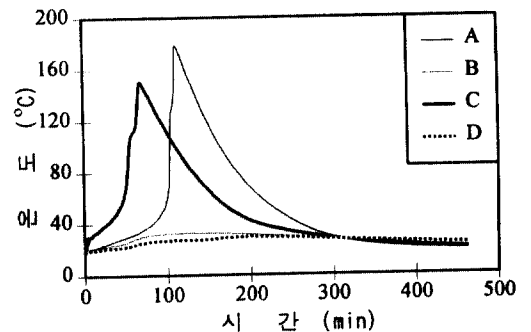


그림 4 시험 재료별 발열온도 상승곡선

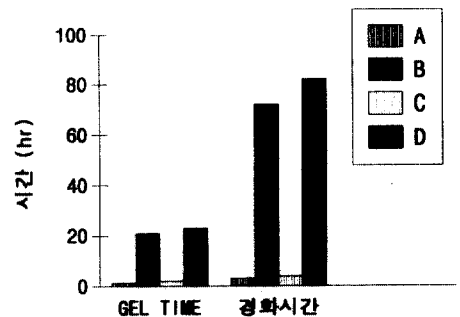


그림 5 Gel Point 시험결과

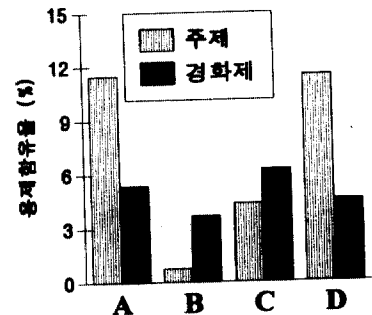


그림 6 용제함유율 시험결과

표 2 휨강도 시험결과(7일)

종류	휨강도 (kg/cm ²)	휨탄성계수 (kg/cm ²)
A	827.74	19558
B	848.07	18965
C	249.42	3137
D	10.84	205

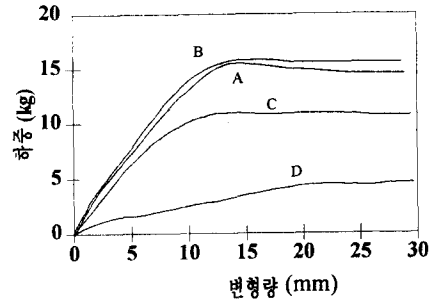


그림 7 휨하중-변형도 곡선

계를 나타낸 그래프이다. A와 C제품은 경화특성이 비슷하지만 휨강도 및 휨탄성계수에 있어서는 큰 차이를 나타내었다. 또한, A제품과 B제품은 휨강도와 휨 탄성계수에 있어서 유사한 값을 나타내고 있다.

3.6.2 인장 강도 시험

그림 8은 각 시험재료별 인장응력-변형율을 나타낸 것이며, 그림 9는 하중재하속도를 2mm/min으로 한 시험결과를 기준으로 하였을 때 하중 재하속도가 인장강도 및 변형율에 미치는 영향을 분석한 것이다. 인장강도 및 인장탄성계수는 A제품의 경우가 402.38kg/cm²과 2840kg/cm²으로 분석대상 제품 중 가장 높은 강도와 탄성계수를 나타내었으며, D제품이 인장강도 4.05 kg/cm², 탄성계수 222kg/cm²로 가장 낮은 강도와 탄성계수를 나타내었다. 하중재하속도에 따른 강도의 변화는 3~14%, 최대 변형율의 변화는 6~32%로 나타났다.

표 3 인장강도 시험결과(7일)

종류	인장강도 (kg/cm ²)	최대 변형률 (10 ⁻²)	인장탄성계수 (kg/cm ²)
A	402.38	14.744	2840
B	267.03	23.441	2000
C	154.90	68.999	1080
D	4.05	100이상	222

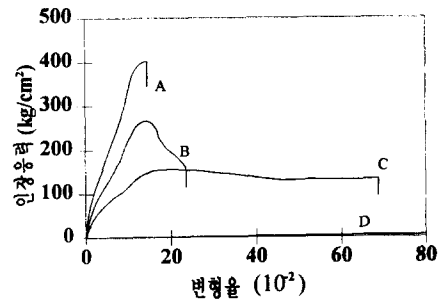


그림 8 인장응력-변형율 곡선

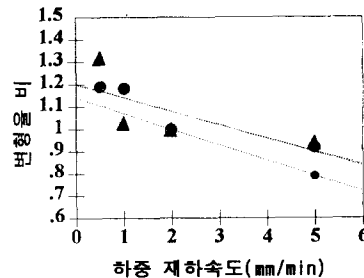
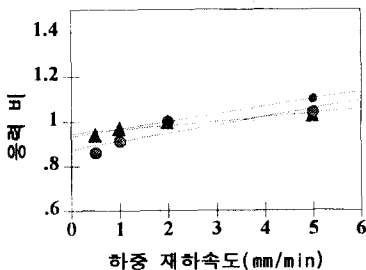


그림 9 하중재하속도에 따른 응력비 및 변형율비

표 4 압축강도 시험결과(7일)

종류	압축강도 (kg/cm ²)	압축탄성계수 (kg/cm ²)
A	957.72	18857
B	654.33	10671
C	353.46	4975
D	7.45	37

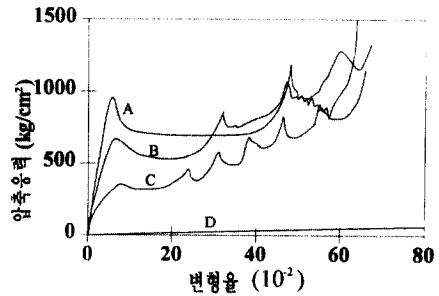


그림 10 압축응력-변형률 곡선

3.6.3 압축강도 시험

그림 10은 각 시험재료별 압축응력-변형률 곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 A제품의 경우에는 압축강도 957.72kg/cm², 압축탄성계수 18,857kg/cm²로 가장 높은 값을 나타내었으며, D제품의 경우에는 압축강도 7.45kg/cm², 압축탄성계수 37kg/cm²로 가장 낮은 값을 나타내었다.

3.6.4 인장 전단 접착 강도 시험

표 5는 각 시험재료별 인장전단 접착강도 및 최대 변형율을 나타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이 인장전단 접착강도에 있어서는 B제품이 75.35 kg/cm²로 가장 높은 값을 나타내었으며, 최대 변형율에 있어서는 C제품이 0.2168로 가장 높은 변형율을 나타내었다.

표 5 인장전단 접착강도 시험결과(7일)

종류	인장전단 접착강도 (kg/cm ²)	최대 변형율 (10 ⁻³)
A	43.71	3.524
B	75.35	20.755
C	67.83	21.680
D	35.65	2.973

4. 결 론

본 연구는 콘크리트의 균열 보수에 폭넓게 사용되고 있는 에폭시 주입제에 대한 물리적 역학적 특성을 고찰하고자 하였으며, 기본 물성시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 국내에서 사용중인 균열 보수용 에폭시 레진의 겉보기 비중은 1.10±0.05의 범위에 있으며, 사용가능시간은 45~100분으로 분석되었다. 또한, 겔 형성시간은 1.3~4시간, 경화시간은 3~82시간으로 나타났다.
- 2) 재령 7일의 강도에서는 휨강도 10.84~848.07kg/cm²로, 인장강도 4.05~402.38kg/cm²로, 압축강도 7.45~957.72kg/cm²로, 인장전단접착강도 35.65~75.35kg/cm²로 나타나 매우 큰 편차를 지니고 있었다. 또한, 하중재하속도에 따른 인장강도 및 변형율의 변동에 있어서는 강도의 변화가 3~14%, 최대변형율의 변화가 6~32%로 나타났다.
- 3) 에폭시 레진은 각 제품별로 커다란 물성차이를 나타내고 있는 것으로 분석되었다. 따라서, 보수재료로서 에폭시 레진을 사용할 경우에는 보수목적과 재료의 특성을 고려하여 적합한 보수재료를 선정하는 것이 바람직하다.
- 4) 본 연구는 균열 주입용 에폭시 레진에 대한 역학적 성능 분석 및 내구성시험을 위한 기본물성 시험중의 일부분으로 향후, 본 실험결과를 근거로 보수용 주입재료에 대한 품질시험 지침(안)을 작성하고자 한다.

참고 문헌

1. 韓國工業振興廳, 韓國工業規格, 社団法人 韓國工業標準協會, 1996
2. ACI, Structural repair corrosion damage and control, seminar course manual, scm-8, 1985
3. ACI, Repair and rehabilitation of concrete structures. seminar course manual, scm-16, 1987
4. ACI, Repairs and concrete structures - Assessments, methods and risks, seminar course manual, scm-21, 1989
5. 日本建築學會, 鐵筋コンクリート造のひび割れ対策・(設計・施工)指針・同解説, 丸善株式會社, 1990
6. 社団法人 日本塗裝工業會, コンクリート土木構造物の補修マニュアル, 技報堂出版社, 1995
7. 財團法人 土木研究センター, 土木新材料要覽, 奥村, 印刷株式會社 1991
8. 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 號, 1990
9. 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
10. コンクリート構造物の補修ハンドブック編集委員會, コンクリート構造物の補修ハンドブック, 技報堂出版社, 1991
11. ドイツ連邦道交省道路局, 路橋の補修・補強事例集 報告書 1990, 道路橋安全委員會, 1995