

휨시험에 의한 에폭시 균열주입제의 변형특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Characteristics of Deformation of Repaired Epoxy Resin by Flexural Strength Test

김재성* 배준영* 김경덕* 강석표** 박주호*** 김정환****
Kim, Jae Sung Bae, Jun Young Kim, Kyung Deok Kang, Suk Pyo Kawk, Ju Ho Kim, Jung Hwan

ABSTRACT

Epoxy resins are gradually becoming some of the most important and versatile polymers in modern civil engineering. Because epoxy resins have some unique properties, such as toughness, versatility of viscosity and curing conditions, good handling characteristics, high adhesive strength, inertness, low shrinkage compared to most other thermo-setting resins and concrete, and resistance to chemicals, they have found many applications in construction castings, repair materials, road or bridge deck pavements, coatings, and as structural or nonstructural adhesives.

In this applications, epoxy resins are widely used for polymer concretes, grouting materials, injection glues, and sealants.

In this paper, characteristics of deformation of repair material after repaired have been investigated by viscosity of repair material and the width of crack.

It is believed that flexural strength of epoxy resin with low viscosity is high because tensile strength is high and elongation at break is low, fracture energy is low.

1. 서론

콘크리트 구조물에서 균열은 부재에 수밀성 및 기밀성의 기능저하, 미관, 내구성, 철근부식에 의한 내하력을 저하시키는 중요한 원인 중의 하나이므로 구조물의 기능회복과 안전성회복을 위해서는 적절한 재료 및 공법에 의하여 보수가 행하여져야한다.

최근 균열보수공법으로 에폭시수지 또는 폴리머 시멘트 슬러리등의 접착재료를 사용한 주입공법이 주로 적용되어지고 있다. 이와 같은 균열보수재는 균열공극내에 접착력 및 점성을 가진 접착재를 가압 주입하여 접착재를 균열면에 고착하여 경화시킴으로서 부재강도 회복 및 수밀성증진에 의한 내구성을 향상시킨다.

특히 부재강도 회복측면에서의 균열보수는 신축능력을 가진 접착재료를 사용하는 것에 의하여 접착재료의 변형능력이 인성의 향상에 기여하고 본래 콘크리트가 가지는 취성적인 성질을 개선시켜주어야 한다. 그러나 국내 균열보수공법에 사용되어지고 있는 균열주입제의 보수 후 변형특성에 대한 연구는 극히 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 균열주입제로 널리 사용되고 있는 에폭시수지의 기초물성을 검토한 후 에폭

* 정회원, 한일시멘트(주) 중앙연구소

** 정회원, 한일시멘트(주) 중앙연구소, 공학박사

*** 정회원, 성립화학(주) 기술연구소장, 공학박사

**** 정회원, 한일시멘트(주) 중앙연구소장, 공학박사

시수지를 사용하여 균열보수한 콘크리트부재의 균열폭에 따른 변형특성을 휨시험에 의하여 검토하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 사용재료

균열보수한 콘크리트부재의 균열폭에 따른 변형특성을 휨시험에 의하여 검토하기 위한 본 연구의 실험계획을 표1에 나타내었다.

또한 본 연구에서 사용한 재료의 일반적 성질을 표 2, 콘크리트 배합을 표 3에 나타내었다.

2.2 시험체 제작

콘크리트 시험체는 제작시 중앙부에 노치형성을 위한 슬릿을 삽입하여 28일간 표준수준양생 후 3점법으로 하중을 가하여 자연적인 균열을 유발하였다. 또한 시멘트 모르타르 시험체는 균열주입제의 휨강도시험을 위하여 간격재를 삽입하여 2등분한 후 28일간 표준수준양생을 하였다.

균열폭에 따른 휨-응력변형곡선 측정용 콘크리트 공시체는 0.5, 1.5, 3.0mm의 균열폭을 형성하기 위하여 각 균열폭 두께의 슬릿을 제작하여 기 제작된 콘크리트 공시체의 노치에 삽입하여 하단을 고정시킴으로서 균열폭을 제어하였다. 균열 보수용 에폭시수지의 주입은 균열부를 실링한 후 아래에서 위방향으로 주입하였으며 주입 후 노치를 통하여 주입재가 흘러나오는 시점을 충진이 완료된 것으로 간주하였다. 또한 균열보수를 위한 에폭시 주입은 주사기를 사용하여 충진하였다.

2.3 측정방법

균열보수 후 휨강도 시험은 유압재하시험기에 시험체를 사진 1과 같이 설치하고 시험체 중앙에 10~12kg/sec로 하중을 재하하였으며 측정된 하중 및 변형값은 데이터라이저에 0.1sec의 간격으로 기록하였다. 보수재료의 평가방법으로서 휨강도 f_b 는 다음 (식 1)에 의하여 구하였다.

$$f_b = \frac{1.5l \cdot (F_{max} + mg/2)}{ab^2} \text{-----(식 1)}$$

여기에서 l = 스패ん 길이(cm), F_{max} : 최대 하중(kgf), a : 균열과단 폭(cm), b : 균열과단 높이(cm) 파괴에너지 G_f 는 RILEM이 제안한 다음 (식 2)와 같이 구하였다.

$$G_f = \frac{W_0 + mg \cdot \delta}{A_{lig}} \text{-----(식 2)}$$

여기에서 W_0 : 하중-변위곡선의 면적(kgf · cm), mg : 시험체 자중(kgf · cm)

δ_0 : 과단시 수직변위(cm), A_{lig} : 균열과단 수직투영면적(cm²)

또한 균열주입용으로 사용한 에폭시 수지의 인장강도, 신장율, 점도, 접착강도는 KS F 4923에 준하여 실시하였다.

표 1. 실험계획

| 에폭시 종류 | 균열폭 (mm) | 측정항목 | |
|--------|----------|----------|------------|
| | | 에폭시 | 보수 후 성능 |
| V100 | 0.5 | - 점도 | - 휨-응력변형곡선 |
| | 1.5 | - 인장강도 | - 휨강도 |
| V500 | 1.5 | - 인장파단신율 | - 파괴에너지 |
| | 3.0 | - 접착강도 | |

표 2. 사용재료의 물리적 성질

| | |
|-------|--|
| 시멘트 | 종류 : 보통포틀랜드시멘트 비중 : 3.15, 분말도 : 3,200cm ² /g |
| 굵은 골재 | 종류 : 부순자갈 비중 : 2.62 최대치수 : 25mm |
| 잔 골재 | 종류 : 강모래 비중 : 2.55 최대치수 : 5mm |

표 3. 콘크리트 배합

| W/C (%) | S/A (%) | 단위수량 (kg/m ³) | 단위중량 (kg/m ³) | | |
|---------|---------|---------------------------|---------------------------|-----|-----|
| | | | C | S | G |
| 60 | 48 | 180 | 300 | 849 | 955 |

*C : 시멘트, S : 잔골재, G : 굵은골재

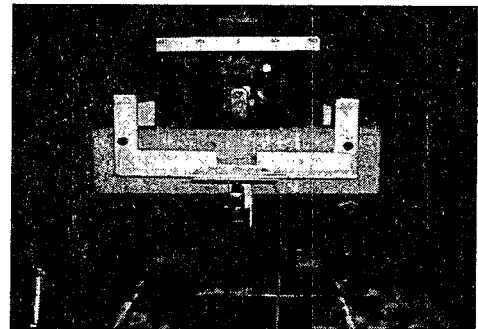
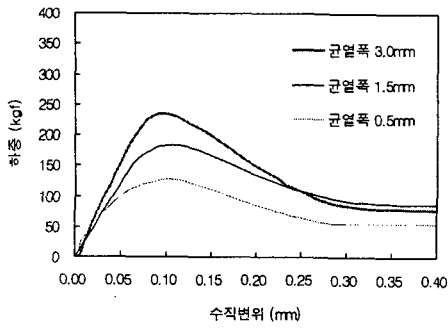


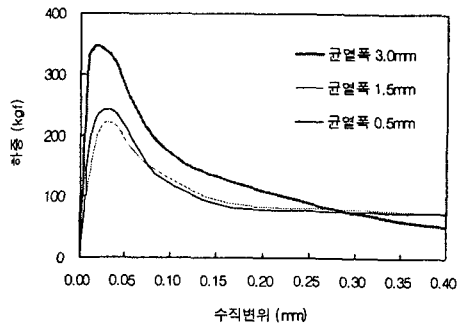
사진 1. 보수 후 휨시험

표 4. 에폭시수지의 일반적 성질 측정결과

| 구분 | 점도 (cps) | 인장강도 ((kgf/cm ²)) | 신율 (%) | 접착강도 (kgf/cm ²) |
|------|----------|-------------------------------|--------|-----------------------------|
| V100 | 103 | 97 | 1.23 | 59 |
| V500 | 543 | 89 | 1.67 | 50 |



(a) V500



(b) V100

그림 1. 에폭시 점도별 균열보수 후 휨시험 결과

3. 실험결과 및 고찰

1) 에폭시수지의 기초물성

균열 보수용으로 본 연구에 사용한 에폭시의 기초물성 측정결과는 표 4에 나타낸 바와 같이 낮은 점도의 에폭시 경우 높은 점도의 에폭시와 비교하여 분자량이 적어 네트워크길이 짧아지게 됨으로서 상대적으로 인장강도 및 접착강도는 증가하지만 신율이 작은 것을 알 수 있다.

2) 균열 보수 후 휨시험

그림 1은 에폭시 점도별 균열보수 후 휨 시험결과를 나타낸 것으로서 점도가 낮은 V100 에폭시로 주입된 시험체가 상대적으로 점도가 높은 V500 에폭시로 주입된 시험체보다 최대하중이 상대적으로 높게 나타나고 있다. 이는 에폭시의 인장강도 및 부착강도 측정결과에서 알 수 있는 바와 같이 낮은 점도의 에폭시가 인장강도 및 부착강도가 높았기 때문에 사료된다. 그러나 최대하중에서의 수직변위는 그림 2에서 알 수 있는 바와 같이 낮은 점도의 에폭시를 사용한 시험체가 에폭시의 신율이 작기 때문에 높은 점도의 에폭시를 사용한 시험체와 비교하여 상대적으로 작게 나타나고 있다. 또한 균열폭이 작아질수록 최대하중은 감소하고 있는 것으로 나타나고 있는데 이는 균열폭이 작아질수록 에폭시 주입성능이 감소하였기 때문에 사료된다.

3) 균열보수 후 휨강도

에폭시에 의한 균열 보수 후 휨강도는 그림 3에 나타낸 바와 같이 낮은 점도의 에폭시로 균열보수한 시험체의 휨강도가 높은 점도의 에폭시로 균열보수한 시험체와 비교하여 상대적으로 높게 나타나고 있는데 이는 점도가 낮을수록 주입성이 향상되었기 때문에 사료된다. 또한 균열폭이 감소할수록 휨강도는 감소하고 있으며 이러한 경향은 점도가 높은 에폭시로 균열보수한 시험체에서 뚜렷하게 나

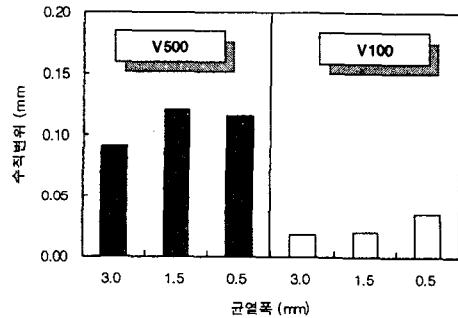


그림 2. 최대하중에서의 수직변위

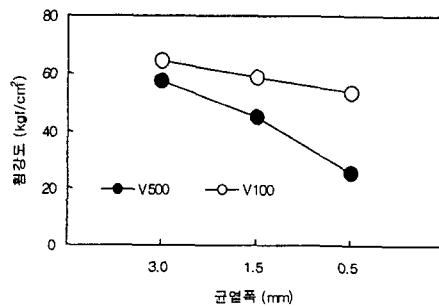


그림 3. 균열보수 후 휨강도

타나고 있다.

4) 균열보수 후 파괴에너지

에폭시에 의한 균열 보수 후 파괴에너지는 그림 4에 나타낸 바와 같이 점도가 낮은 에폭시로 균열보수한 시험체의 파괴에너지가 점도가 높은 에폭시로 균열보수한 시험체와 비교하여 상대적으로 낮게 나타나고 있다. 이는 점도가 낮은 에폭시의 경우 휨강도는 상대적으로 높게 나타나고 있으나 최대하중에서의 수직변형이 작게 나타나고 있기 때문인 것으로 사료된다. 또한 균열폭에 따른 파괴에너지는 균열폭이 감소할수록 변형량이 증가하여 휨강도에서와 달리 균열폭에 따른 영향이 작게 나타나고 있다.

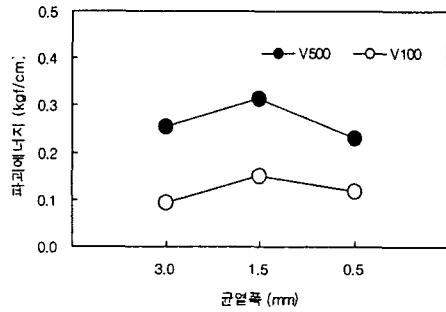


그림 4. 균열보수 후 파괴에너지

4. 결론

에폭시수지로 균열보수한 콘크리트부재의 변형특성을 휨시험에 의하여 검토한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) 낮은 점도의 에폭시 경우 높은 점도의 에폭시와 비교하여 분자량이 적어 경화시 네트워크길이가 짧아지게 됨으로서 상대적으로 인장강도 및 접착강도는 증가하지만 신율이 작게 나타났다.
- 2) 점도가 낮은 V100 에폭시로 주입된 시험체가 상대적으로 점도가 높은 V500 에폭시로 주입된 시험체보다 최대하중이 상대적으로 높게 나타나고 있으며, 최대하중에서의 수직변위는 낮은 점도의 에폭시를 사용한 시험체가 에폭시의 신율이 작기 때문에 높은 점도의 에폭시를 사용한 시험체와 비교하여 상대적으로 작게 나타나고 있다.
- 3) 에폭시에 의한 균열 보수 후 휨강도는 낮은 점도의 에폭시로 균열보수한 시험체의 휨강도가 높은 점도의 에폭시로 균열보수한 시험체와 비교하여 상대적으로 높게 나타났다.
- 4) 에폭시에 의한 균열 보수 후 파괴에너지는 점도가 낮은 에폭시로 균열보수한 시험체의 파괴에너지가 점도가 높은 에폭시로 균열보수한 시험체와 비교하여 상대적으로 낮게 나타나고 있다.

참고문헌

1. 橋高義典 外, “コンクリート切り欠き試験体の曲げ試験によるひびわれ補修材料の評価”, 日本建築学会構造系論文報告集, 第432号, 1992, pp.1~9
2. Lin Tu, and Deon Kruger, “Engineering Properties of Epoxy Resins Used as Concrete Adhesives,” *ACI Materials Journal*, Vol.93, No.1, 1996, pp.26~35
3. Abu-Tair A. I., Rigden S. R., and Burley E., “Testing the Bond between Repair Materials and Concrete Substrate,” *ACI Materials Journal*, Vol.93, No.6, 1996, pp.553~558
4. Adnan Colak, “Adhesion and Durability Characteristics of Concrete Prisms Repaired by Methyl Methacrylate Resin Injection,” *ACI Materials Journal*, Vol.100, No.5, 2003, pp.413~418
5. 이찬영, 심재원, “신·구 콘크리트접착제의 시공조건에 따른 성능”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 2002. 10., pp.513~518
6. 박성우, 윤성훈, “콘크리트 균열 보수성능에 관한 비교 연구”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 2002. 10., pp.817~822