

## 재하상태를 고려한 RC 보의 에폭시 주입 보수공법의 적용성 평가

홍건호<sup>1)</sup> · 신영수<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>호서대학교 건축공학과 <sup>2)</sup>이화여자대학교 건축학과

(2003년 8월 22일 원고접수, 2003년 12월 31일 심사완료)

### Applicability of Epoxy Injection Method to Cracked RC Beams Considering Pre-Loading Conditions

Geon-Ho Hong<sup>1)</sup> and Yeong-Soo Shin<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Architectural Engineering, Hoseo University, ChungNam-Do, 336-795, Korea

<sup>2)</sup> Dept. of Architecture, Ewha Womans University, Seoul, 120-750, Korea

(Received August 22, 2003, Accepted December 31, 2003)

#### ABSTRACT

The objective of this study was to investigate applicability of epoxy injection method to cracked RC beams and structural behavior of repaired RC beams considering pre-loading conditions. For this purpose, five test beams were fabricated under two experimental variables. The main variables of this experimental study were pre-loading conditions and repair methods. The two pre-loading conditions were selected as 70% and 90% of nominal strength and the repair methods were to repair the cracked RC beams under free loading after crack and sustained loading. The comparative study was executed to evaluate effects of pre-loading conditions on the structural behavior of the cracked RC beams after crack-repair. The strains of reinforcement and concrete and deflections of beams at each loading step were measured and evaluated. As the results of this study, repair methods have much influence on structural behavior of epoxy injected RC beams and epoxy injection method for cracks of RC structures is appeared to be efficient.

**Keywords :** crack repair, epoxy, pre-loading condition, epoxy injection method

#### 1. 서 론

철근콘크리트 구조 부재의 성능 저하 현상은 궁극적으로 부재의 변형 및 균열을 야기하며, 이러한 구조체의 균열은 미관, 내구성 및 구조적 측면에서 보수를 요구하는 경우가 많다. 국내 콘크리트 설계 기준에서도 균열의 폭이 0.3mm 이상인 경우 내구성을 고려하여 균열을 보수하도록 규정하고 있다.<sup>7)</sup> 최근 균열을 보수하기 위한 공법 중 균열에 에폭시를 주입하여 보수하는 에폭시 주입공법이 가장 널리 사용되어 왔으나, 에폭시 주입공법에 의한 균열 보수공법은 보수 후 휨 부재의 거동에 대한 구체적인 검토 없이 적용되어 온 것이 사실이다. 이러한 에폭시 주입공법의 성능에 영향을 미치는 주 요소는 사용하는 에폭시의 성능과 균열의 폭인 것으로 알려져 있다.<sup>5,11)</sup> 즉, 건축 구조물의 균열 보수 후 성능을 파악하기 위해서는 에폭시의 종류와 균열의 폭을 변수로 연구할 필요가 있다.

본 연구에서는 이러한 성능 영향인자들을 고려하여 에폭시의 종류는 시공 현장에서 가장 널리 사용되는 균열 주입용 에폭시를 선택하여 사용하고, 균열의 폭은 하중의 크기에 비례하게 되므로 재하 하중의 크기를 변수로 연구하고자 한다. 기존의 연구는 주로 하중의 크기를 변화시켜 균열을 발생시킨 후 하중을 제거한 상태에서 균열에 에폭시를 주입하고 다시 가력하는 방법을 많이 사용해 왔다.<sup>5)</sup> 그러나, 실험적으로 정확한 균열 후 거동을 파악하기 위해서는 하중이 재하된 상태에서 균열을 보수하여 파괴 시까지 가력하는 방법으로 실험이 이루어져야 한다.<sup>3,4)</sup> 즉, 실제 균열 보수작업이 건물을 사용하면서 이루어진다는 점을 고려할 때, 실제와 유사하게 재하된 상태에서 균열을 보수하고 이를 파괴 시까지 실험하는 방법으로 연구해야 보다 정확한 부재의 거동을 평가할 수 있다.

본 연구에서는 위의 두 가지 방법으로 실험체를 보수하여 파괴 시까지 가력함으로써, 보수방법에 따른 결과와 균열 주입 시 하중의 크기에 따른 결과를 비교하여 균열 보수 후 거동을 파악하고 에폭시 주입공법의 적용성을 평가하고자 한다.

\* Corresponding author  
Tel : 02-3277-2596 Fax : 02-3277-2396  
E-mail : shinys@ewha.ac.kr

**Table 1** The detail of specimens

| No. | Specimen | Size(mm)<br>(width × height × length) | Reinforcement |             |         | Description   |
|-----|----------|---------------------------------------|---------------|-------------|---------|---|
|     |          |                                       | Tensile       | Compressive | Stirrup |   |
| 1   | CONTROL  | 150 × 250 × 2800                      | 2-D13         | 2-D10       | D10@100 | Continuously loading until failure                          |
| 2   | CR-70M   | 150 × 250 × 2800                      | 2-D13         | 2-D10       | D10@100 | Loading until 0.7 Mn(35 KN)                                 |
|     | CR-70M-1 | 150 × 250 × 2800                      | 2-D13         | 2-D10       | D10@100 | Repair when remove load(0.7 Mn) and reloading until failure |
| 3   | CR-90M   | 150 × 250 × 2800                      | 2-D13         | 2-D10       | D10@100 | Loading until 0.9 Mn(44 KN)                                 |
|     | CR-90M-1 | 150 × 250 × 2800                      | 2-D13         | 2-D10       | D10@100 | Repair when remove load(0.9 Mn) and reloading until failure |
| 4   | REP-70M  | 150 × 250 × 2800                      | 2-D13         | 2-D10       | D10@100 | Repair sustaining load(0.7 Mn)                              |
| 5   | REP-90M  | 150 × 250 × 2800                      | 2-D13         | 2-D10       | D10@100 | Repair sustaining load(0.9 Mn)                              |

## 2. 실험계획

### 2.1 실험체 제작 및 사용재료

본 연구에서는 주 실험 변수를 보수 시 하중의 유무, 하중의 크기 등 2 종류로 하여 실험 변수별 4개의 실험체와 기준 실험체 등 총 5개를 제작하였으며 실험체의 상세는 Table 1과 같다. 실험체의 크기는 단면 150×250mm, 길이 2,800mm로서 순지간을 2,400mm로 하고, 철근의 배근은 인장철근 2-D13, 압축철근 2-D10으로 계획하였다. 실험체의 제작에 사용한 재료의 성능은 Table 2 및 Table 3과 같다.

재하 하중의 크기는 균열폭과 관련이 있는 사항으로 당초 공칭휨강도의 50%에서 균열을 보수하는 것으로 하였으나, 균열발생 과정에서 하중이 공칭휨강도의 50%에 도달하여도 균열의 폭이 0.3mm에 미치지 못하여 균열의 폭을 증가시킬 수 있도록 더 큰 하중을 선택하였다. 이에 따라 균열을 발생시키는 하중의 선택은 균열이 극심한 상

**Table 2** Mechanical properties(unit : MPa)

|                      | Concrete           | Re-bar             |
|----------------------|--------------------|--------------------|
| Compressive strength | 18.2               | -                  |
| Tensile strength     | 1.9                | 423.6              |
| E-Modulus            | $2.01 \times 10^4$ | $1.88 \times 10^5$ |

**Table 3** Mecanical properties of epoxy

|                      |      |      |
|----------------------|------|------|
| Compressive strength | MPa  | 105  |
| Tensile strength     | MPa  | 62   |
| Flexural strength    | MPa  | 84   |
| Bond strength        | MPa  | 13.2 |
| Viscosity            | mpas | 355  |
| Gel time             | min. | 15   |

태의 보수 효과를 나타내기 위하여 공칭휨강도의 70%와 90%를 가력하도록 하였다. 균열을 보수한 실험체 중 2개의 실험체는 공칭 휨 강도의 70%, 90% 하중에서 균열을 발생시킨 후 하중을 제거한 상태에서 보수하였고, 2개의 실험체는 하중을 유지시킨 상태에서 균열에 에폭시를 주입하여 실험체를 제작하였다. 균열 주입에 사용한 에폭시는 일반적으로 사용되는 균열용 저점도 에폭시를 선택하였고 그 역학적 성질은 Table 3과 같다. 에폭시 주입 후 실험체는 모두 7일간 양생시킨 후 실험하도록 하였다. 원 실험체의 제작 시에는 가능한 한 콘크리트 재료의 변화를 최소화하기 위하여 레미콘을 사용하였고, 콘크리트 타설 전 철근에 전기식 스트레인지지를 부착하였다.

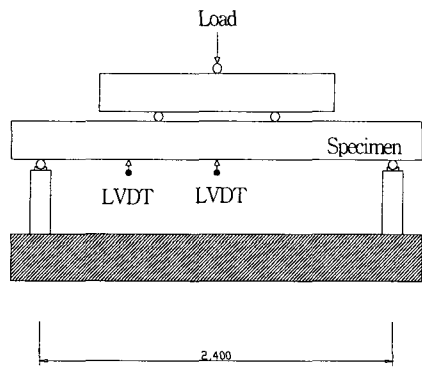
### 2.2 가력 및 측정방법

실험 장치의 구성도 및 변위·변형율의 측정위치는 다음 Fig. 1과 같다. 가력 방법은 순지간 2,400mm를 3등분하여 2지점에서 가력하는 4점 재하 방식으로 하였으며, 하중에 따른 변위를 평가하기 위해 실험체의 중앙부와 1/4 지점에 LVDT를 설치하여 수직 처짐을 측정하였다. 균열이 발생한 이후 부재에 과도한 변형이 발생하게 되면 전기식 스트레인 게이지로는 부재의 변형률을 측정할 수 없게 되므로, 극한 상황에서의 부재의 변형을 계측하기 위한 포인트를 모멘트가 일정한 중앙부에 설치하여 하중 단계별로 길이변화를 계측하도록 하였다. 철근 게이지는 인장 및 압축철근 중앙부와 가력점에 설치하였으며, 콘크리트 변형율의 측정위치는 Fig. 1과 같다.

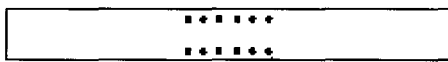
## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 최대 하중

본 연구의 실험결과를 인장철근 항복 시의 모멘트 및



(a) Test setup



(b) Pointer location



(c) Concrete strain gauge location

Fig 1 Test setup

최대 모멘트에 대하여 정리한 결과는 Table 4와 같다. Table 4에서 인장철근 항복 시의 모멘트를 비교하여 보면, 모든 실험체의 경우에서 기준 실험체와 3% 이내의 모멘트를 나타냄으로써 균열 및 보수의 효과가 철근 항복 시까지는 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 반면, 실험체의 최대 모멘트의 경우에는 공칭모멘트의 70%까지 가력된 상태에서 보수된 실험체는 기준 실험체와 4% 이내의 유사한 결과를 나타내었으나, 공칭모멘트의 90%까지 가력된 상태에서 보수된 실험체는 그 내력이 30% 정도 증가하는 양상을 나타내었다. 이와 같이 응력이 큰 상태에서 보수된 CR-90M이나 REP-90M의 최대 모멘트의 증가폭이 큰 이유는 에폭시의 주입으로 인장 응력을 받는 면적이 증가하였고, 상대적으로 에폭시의 주입량이 많아

에폭시가 균열 주변 콘크리트에 함침되어 강도에 영향을 미친 것으로 보인다. 즉, 에폭시로 보수된 실험체는 주입된 에폭시로 인하여 균열에 의한 불연속면이 없어지고, 오히려 균열면에서 에폭시에 의한 인장응력이 상호 전달되면서 내력이 증가하는 것으로 분석된다.

각 경우에 대하여 하중이 재하된 상태에서 보수된 REP 실험체와 하중을 제거한 후 보수한 CR 실험체의 내력을 비교하여 보면, 인장철근의 항복모멘트와 최대 모멘트 등 모든 경우에서 REP 실험체가 약간씩 적은 값을 나타내고는 있으나, 그 영향성이 크지는 않은 것으로 판단된다. 이와 같은 결과로부터 하중을 제거하여 균열면이 일부 닫히더라도, 에폭시의 주입이 확실하게 이루어진다면 그 성능을 양호하게 발현할 수 있음을 알 수 있다.

### 3.2 하중-처짐 곡선

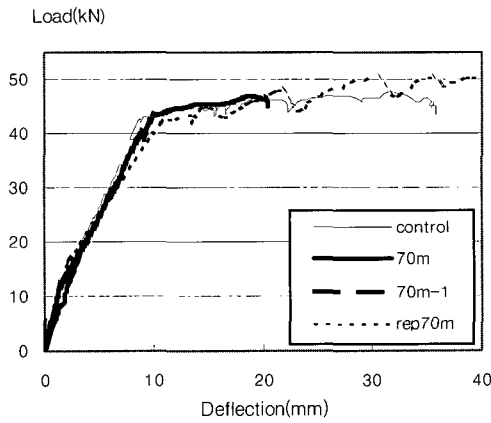
공칭휨강도의 70%까지 가력한 후 보수한 실험체의 하중-처짐 곡선을 살펴보면, Fig. 2에서 나타나듯이 보수 시 하중의 유무에 관계없이 강성과 최대 하중에서 매우 유사한 형태를 나타내고 있다. 그러나, 철근의 항복이후 하중-처짐 곡선의 양상을 살펴보면, 기준실험체에 비하여 보수를 실시한 실험체의 곡선이 상하로 움직이는 폭이 커지는데, 특히 가력한 상태에서 보수한 REP 실험체의 곡선이 움직이는 폭이 크다는 것을 알 수 있다.

이는 초기균열이 발생한 상태에서부터 점진적으로 하중이 증가하는 경우와는 달리, 보수하여 균열이 없는 상태에서 다시 균열이 발생하고, 균열발생과 동시에 같은 하중의 기준 시험체의 균열깊이까지 급격히 진전하므로, 균열이 발생할 때마다 부재의 저항내력이 그림과 같이 상하로 움직이는 현상을 나타내게 된다. 이와 같은 현상으로 인하여 하중을 제거한 상태에서 보수한 후 초기하중부터 재가력한 실험체와 재하 상태에서 보수한 실험체는 균열 발생 시의 거동이 달라진다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 공칭휨강도의 70% 하중을 가력하여 손상을 입힌 실험체의 경우, 보수 후 균열 발생 시의 거동에서는 약간의 차이가 있으나 전체적인 하중-처짐 곡선은 유사하다.

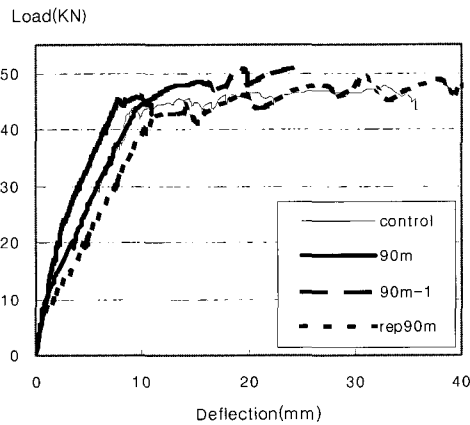
공칭휨강도의 90%까지 하중을 가력했을 경우에는

Table 4 Test results

| Specimen | Nominal flexural strength | Moment at re-bar yielding |                    | Max. moment |                    | Description                     |
|----------|---------------------------|---------------------------|--------------------|-------------|--------------------|---------------------------------|
|          |                           | Moment                    | Ratio with control | Moment      | Ratio with control |                                 |
| Control  | 20.2 KN · m               | 17.6 KN · m               | 1.0                | 19.2 KN · m | 1.0                | -                               |
| CR-70M   |                           | 17.5 KN · m               | 0.99               | 18.9 KN · m | 0.98               | Repair when remove load (0.7Mn) |
| REP-70M  |                           | 17.2 KN · m               | 0.98               | 20.0 KN · m | 1.04               | Repair sustaining load (0.7Mn)  |
| CR-90M   |                           | 17.8 KN · m               | 1.01               | 25.4 KN · m | 1.32               | Repair when remove load (0.9Mn) |
| REP-90M  |                           | 17.0 KN · m               | 0.97               | 24.8 KN · m | 1.29               | Repair sustaining load (0.9Mn)  |



(a) 70 M



(b) 90 M

Fig. 2 Load-deflection curve

Fig. 2에서 나타나듯이 부재의 강성 및 최대 내력에 약간의 차이가 발생하게 되는 것을 알 수 있다. 즉, 공칭 휨강도의 90%까지 하중을 가력했다가 하중을 제거한 후 보수한 실험체의 경우를 살펴보면, 균열의 폭 및 길이가 증가하여 주입되는 에폭시의 양이 증가하게 되고, 콘크리트에 비하여 상대적으로 강도 및 강성이 큰 에폭시의 주입은 부재 전체의 강성 및 최대 내력을 증가시키는 결과를 가져오게 된다. 인장철근의 항복 후 보수된 실험체의 하중-처짐 곡선이 상하로 움직이는 현상은 공칭휨강도의 70% 하중을 준 경우와 동일하게 나타났다.

### 3.3 균열의 형태

보수를 실시하지 않은 기준 실험체와 에폭시 주입공법으로 보수된 실험체의 최종 균열양상은 Fig. 3과 같다. 그림에서와 같이 기준 실험체의 최종 균열과 보수 후의 최종 균열은 다른 양상을 보여 준다.

즉, 기준 실험체의 경우에는 보 중앙부로부터 균열이 발생하여 점진적으로 단부로 균열의 발생이 확산되어나가는 전형적인 휨파괴의 양상을 나타내는 반면에, 보수된 실험체의 균열은 기준 실험체에서 발생한 균열과 동일한 부위에서는 발생하지 않고 기존 균열의 주변에서 다시 균열이 발생하는 형태를 보여 준다. 특히 재하 중에 보수를 실시한 REP 실험체의 경우에는 기존 균열 사이에서 급격하게 보수 깊이까지 진전되는 큰 균열이 몇 개 발생되며 부재의 파괴에 도달함으로써, 최종 파괴 시의 균열의 수는 기준 실험체나 CR 실험체보다 훨씬 적은 것을 알 수 있다.

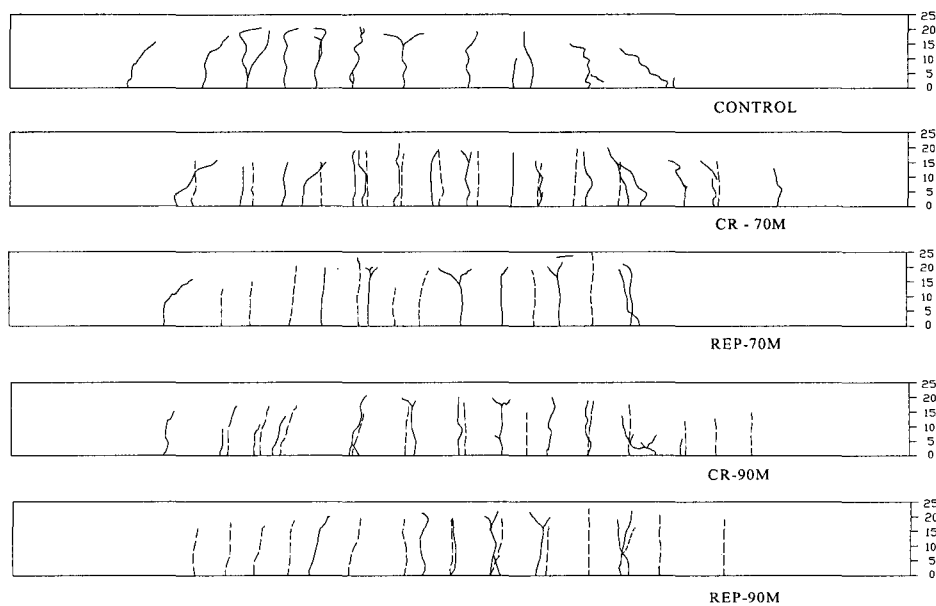


Fig. 3 Failure aspect

하중을 제거하고 보수한 실험체의 균열 발생은 기준 실험체의 균열과 유사하게 하중점 주변에서 균열이 먼저 발생하고 이후 지점 방향으로 점진적으로 진전되어 가는 형태를 보여 주지만, REP 실험체와 같이 하중이 증가함에 따라 급격히 균열이 진전되는 현상은 보이지 않는다. 기 보수한 균열에서 균열이 다시 발생하거나 진전되지 않는 현상은 REP 실험체와 동일하게 나타났다.

이와 같이 보수 이후 균열의 발생이 기존 균열의 위치에서 발생하지 않는 이유는 에폭시에 의해 인장응력에 대한 연속성이 충분히 보완되고, 균열 면이 일체화되었으며, 에폭시의 인장강도가 콘크리트의 인장강도보다 크기 때문에 에폭시로 보수된 지점 이외의 콘크리트 면에서 균열이 다시 발생되는 것으로 분석된다.

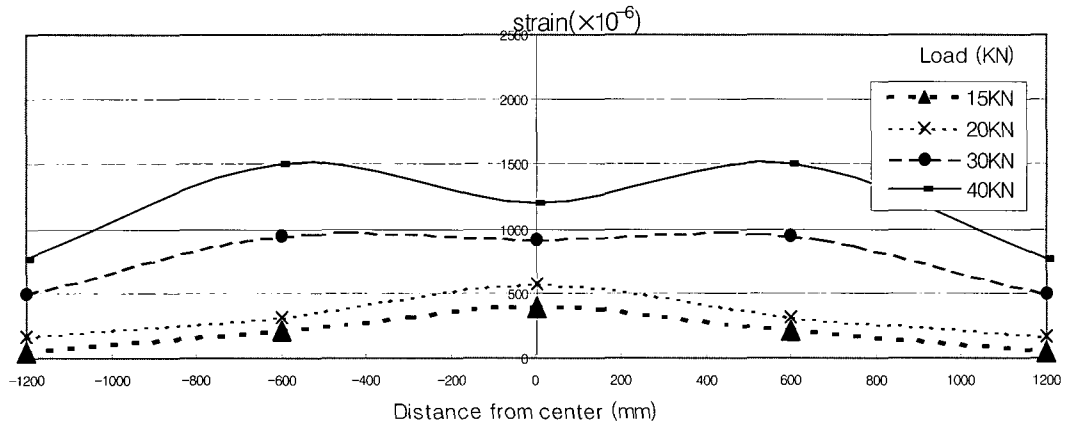
이상에서, 균열 보수 시 하중의 유무와 관계없이 균열의 형태는 이미 보수된 균열에서는 발생하지 않고 주변에서 발생하여, 하중이 증가함에 따라 급격히 혹은 점진적으로 중립축까지 진전하는 형태를 나타내고 하중점 부근에서 먼저 발생하고 지점 부근으로 진전되는 현상을 나타내었다. 따라서, 에폭시 주입 균열 보수 공법은 균열면을 충분히 일체화시켜 인장 응력을 전달시킬 수 있도록 하므로,

에폭시에 의한 균열 보수는 안정된 구조적 거동을 보이면 서 내구성을 확보할 수 있는 방법이라고 할 수 있다.

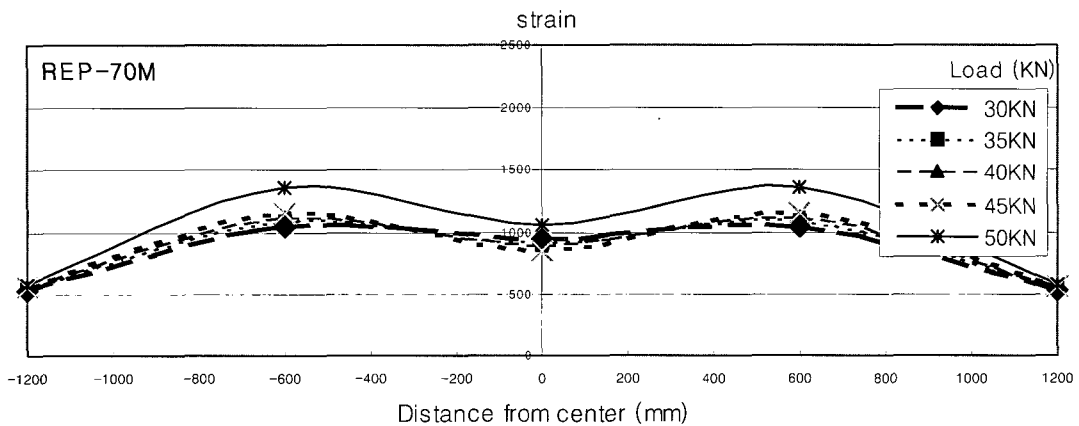
### 3.4 보 길이에 따른 변형률의 변화

보수 후 하중 상태에 따른 보 길이 방향의 변형률 변화를 파악하기 위하여 중앙부와 중앙부에서 각각 600mm, 1200mm 지점에 스트레인 게이지를 부착하였다. 각 하중 조건에 따른 실험체 별 변형률의 변화는 대체로 유사하였으며, 대표적인 경우를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에서는 재하 상태에서 보수 작업이 이루어진 REP-70M과 기준 실험체를 비교하도록 하였으며, REP-70M의 보수 전 변형률 분포는 기준 실험체와 동일하므로 나타내지 않았다.

Fig. 4(a)에서 기준 실험체는 초기하중 시 중앙부에서 변형률이 크게 발생하다가, 하중이 점차 증가함에 따라 가력지점 부근에 해당하는 중앙부에서 600mm 위치에 부착한 스트레인 게이지에서 최대 변형률을 나타내는데, 이와 같은 현상은 REP-70M 실험체에서도 동일하게 중앙부에서 600mm 지점에서 최대 변형률을 나타내고 있음을 알 수 있다. 변형률의 크기를 비교하여 보면, 동일 하중 하에



(a) Control specimen



(b) REP-70M specimen

Fig. 4 Strain distribution diagram

서 REP-70M 실험체의 변형률이 기준 실험체의 변형률보다 적게 나타남을 알 수 있는데, 이는 보수재료로 주입된 에폭시의 인장강도가 부재의 인장내역에 기여함에 따른 현상으로 분석되며, 그 영향성은 크지 않은 것으로 보인다. 전체적으로 부재의 변형률 분포를 살펴보면 변형률의 크기에서 약간의 차이는 있으나, 대체적으로 보수된 실험체와 기준 실험체의 변형률 분포는 유사하게 거동한다는 것을 알 수 있다. 이상에서 에폭시 주입방법에 의한 균열의 보수는 효율적인 것으로 평가할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 균열의 양상이 기 보수된 곳에서는 발생하지 않고, 기존 균열의 주변에서 발생하여 하중에 따라 진전하는 형태로 나타나므로, 에폭시의 주입으로 인한 균열은 충분히 보수되어 일체화된다고 볼 수 있다.
- 2) 각 실험변수에 따른 철근 항복 시의 내력은 약간의 차이가 있으나 매우 유사하며, 최대 내력은 극한 상태에서 보수된 실험체(90M)의 경우 주입된 에폭시의 양이 증가함에 따라 30% 정도 내력의 증가를 나타내었다.
- 3) 기준 실험체에 비하여 가력 상태에서 보수한 실험체의 하중-처짐 곡선은 인장철근의 항복 이후 톱니 형태로 상하로 움직이는 현상을 나타내는데, 이는 균열을 보수한 상태에서 하중이 증가함에 따라 발생하는 균열이 보수 전 균열의 높이까지 급작스럽게 진전됨에 따라 나타나는 현상이다.
- 4) 보의 길이에 따른 변형률의 분포 및 최대 변형률의 발생 위치가 기준 실험체와 가력 상태에서 보수한 실험체에서 동일하며, 전체적으로 유사한 거동을 한다.
- 5) 에폭시 주입에 의한 균열 보수는 하중의 재하여부에 관계없이 균열 면이 일체화되어 안정된 구조적 거동을 보이므로, 충분히 균열 보수공법으로 적용할 수 있다.

#### 참고문헌

1. 신영수, 홍영균, 최완철, 홍기섭, “탄소섬유 쉬트로 밀면 보강된 철근콘크리트 보의 구조적 거동”, 대한건축학회 논문집, 11권 8호, 1995. 8, pp.249~257.
2. 신영수, 홍영균, 최완철, 홍기섭, “탄소섬유 쉬트로 횡보강된 콘크리트의 강도특성”, 대한건축학회 논문집, 11권 10호, 1995. 10, pp.323~328.
3. 김주연, 신영수, 홍건호, “재하상태에 따른 탄소섬유쉬트 및 강판의 전단 보강 효과” 한국콘크리트학회 복합술발표회 논문집, 12권 1호, 2000. 5, pp.775~780
4. 한복규, 홍건호, 신영수, 조하나, “재하상태에 따른 강판 보강공법의 휨 보강효과”, 한국콘크리트학회 가을 학술 발표회 논문집, 11권 2호, 1999. 11, pp.701~704
5. 오용복, 정일영, 권영용, 신영수, “균열이 있는 철근콘크리트 보의 에폭시 보수효과에 관한 연구”, 대한건축학회춘계학술발표회 논문집, 17권 1호, 1997, pp.513~517.
6. 건설교통부, “건축물의 구조 기준 등에 관한 규칙”, 건설교통부, 1998.
7. 건설교통부, “콘크리트구조설계기준”, 한국콘크리트학회, 1999, pp.73~89
8. 최완철, “에폭시 접착 강판 보강 철근콘크리트보의 역학적 거동에 관한 연구”, 숭실대학교 생산기술연구소, 1994. 10.
9. Oan Chul Choi, Gi Suop Hong, Young Kyun Hong, and Young Soo Shin, “Strengthening Design for Damaged Concrete Beams Using Epoxy-Bonded Steel Plates,” EASEC-5, Queensland, Australia, 1995.
10. Philip A.Ritchie, David A. Thomas, Le-Wu Lu, and Guy M.Connelly, “External Reinforcement of Concrete Beams Using Fiber Reinforced Plastics,” *ACI Structural Journal*, Jul.~Aug. 1991, pp.490~500.
11. 首都高速道路工團 安全施設部, “補修用エポキシ樹脂施工基準”, 昭和 56年 建設省土木研究所, 鋼板 接着による 鐵筋コンクリート床板 補強よいて 實驗, 昭和 46年 4月, 1981.

#### 요 약

철근콘크리트 구조 부재에 발생하는 균열은 구조체의 미관, 내구성 및 구조적 측면에서 보수를 요하게 되며, 에폭시 주입 균열보수공법은 최근 국내에서 가장 널리 사용되는 균열 보수공법 중의 하나이다. 에폭시 주입공법의 성능은 사용되는 에폭시의 물성과 균열의 폭에 기인하게 된다. 본 연구에서는 균열을 발생시키는 하중의 크기를 변수로 하고, 재하 중 보수한 경우와 하중을 제거한 후 보수한 경우를 비교 분석하도록 하였다. 총 5개의 실험체에 대하여 공칭 휨강도의 70% 및 90%의 하중을 가력하여 균열을 발생시킨 후 에폭시 주입공법으로 보수하고, 보수 이후 부재의 거동을 실험적으로 연구하였다. 실험결과, 에폭시 주입공법에 의한 균열의 보수는 양호한 구조성능의 회복을 나타내었으며, 극심한 하중 하에서 보수된 실험체는 에폭시의 강도특성으로 인하여 오히려 강도 및 강성이 증가되는 현상을 나타내었다.

**핵심용어** : 균열, 보수, 에폭시, 에폭시 주입공법, 재하중 보수