

# 에폭시 모르타르로 보수한 손상을 입은 RC 보의 휨 거동

## Flexural Behavior of Damaged RC Beams Repaired with Epoxy Mortar System

조 하 나 \*      신 영 수 \*\*      홍 건 호 \*\*\*      정 혜 교 \*\*\*\*  
Cho, Ha Na      Shin, Yeong Soo      Hong, Geon Ho      Chung, Hye Kyo

### ABSTRACT

This paper presents an experimental study on flexural behavior of damaged RC beams repaired with epoxy mortar system. The main test variables are repair length and depth. A series of 7 specimens was tested to show the corresponding effect of each variables on maximum load capacity, load-deflection relationship, and failure mode.

The results of this study shows that flexural behavior of repaired RC beams changes as the repair length and depth is getting longer and deeper, so that the tension strength of repairing materials should be considered in the courses of repair design.

### 1. 서 론

철근 콘크리트 구조물은 사용기간 동안 여러 가지 이유로 보수·보강을 필요로 하는 경우가 많다. 보수·보강한 구조체의 성능은 사용 재료와 공법에 따라 달라지며, 이에 따라 다양한 재료와 공법으로 보수·보강한 구조체의 거동에 대한 연구가 많이 진행되어 왔다. 보강에 대한 연구는 에폭시로 콘크리트 표면에 강판, 탄소섬유쉬트, 유리섬유, 아라미드 섬유 등의 보강재를 외부 접착하여 보강한 부재의 성능에 대해 주로 진행되어 왔다. 그러나 재료의 성능저하나 국부적 손상이 발생한 부재를 보수한 경우의 거동에 대한 연구는 부족한 편이다. 콘크리트 구조물의 보수 재료로는 폴리머계, 폴리머-시멘트계, 시멘트계 재료를 주로 사용하고 있다. 이중 폴리머계를 제외한 다른 재료로 보수한 시험체는 보수계면에서 파괴가 발생하였고, 폴리머계 재료를 사용하는 경우는 계면에서 파괴되지는 않으나 중앙부에 큰 균열이 집중적으로 발생하거나 다소 취성적으로 거동하는 것으로 나타났다. 보수한 보의 성능이 본래의 콘크리트 보와 유사하거나 보다 향상되기 위해서는 보수 재료의 성능과 보수한 보의 구조적 거동에 영향을 미치는 요소에 대해 연구할 필요가 있다. 본 연구에서는 기존의 연구<sup>1)</sup>에서 계면 탈락이 발생하지 않음이 증명된 폴리머계 재료를 사용하여 보의 밑면을 보수하고 보수 깊이, 보수 길이 등에 따른 구조적 거동에 대해 연구하였다.

기존 연구<sup>1)</sup>에서 폴리머-시멘트계와 시멘트계 재료로 보수한 부재는 손상이 없는 보와 유사한 내력을 나타내나 폴리머계 재료로 보수한 보의 내력이 약 35% 정도 향상되는 것으로 나타나고 있다. 이는 폴리머계 재료의 고인장 특성으로 인한 현상으로, 본 연구에서는 이러한 폴리머계 재료의 특성이 보수 깊이, 보수 길

\* 이화여대 건축학과 석사과정  
\*\* 정희원, 이화여대 건축학과 교수  
\*\*\* 정희원, 호서대 건축학과 교수  
\*\*\*\* 정희원, 현대건설 기술연구소 책임연구원

표 1. 시험체 구성

구분	시험체 치수 (cm)	보수길이×보수깊이 (cm×cm)	보수깊이비 (L'/L)	보수깊이비 (H'/H)	기타
control	15×25×280	없음	-	-	기본 시험체
d3-6	15×25×280	60×3	0.25	0.12	
d3-12	15×25×280	120×3	0.50	0.12	
d3-18	15×25×280	180×3	0.75	0.12	
d6-6	15×25×280	60×6	0.25	0.24	
d6-12	15×25×280	120×6	0.50	0.24	
d6-12	15×25×280	180×6	0.75	0.24	

이에 따라 구조적 거동에 미치는 영향에 대해서도 연구하고자 하였다.

이상으로부터 본 연구에서는 인장축 단면이 손상된 철근 콘크리트 보를 변형 예폭시계 모르터를 사용해 보수한 후의 휨 거동 특성의 변화 및 파괴형태, 내력 보강 효과 등에 대해 실험적 연구를 수행함으로써 보수 방법에 대한 기초자료를 확보하고자 한다.

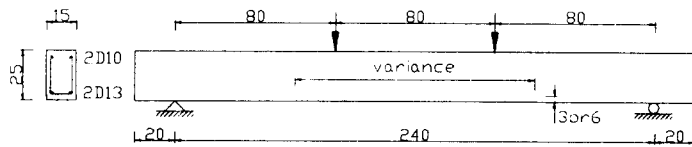


그림 1. 시험체 (단위 : cm)

## 2. 실험계획 및 방법

본 연구를 위하여 단면이 15×25cm, 길이가 280cm인 시험체의 인장축(하부)에 시험체 제작과정에서 인위적으로 손상부위를 만들었다. 손상부위의 크기는 60cm, 120cm, 180cm이고, 깊이는 각각 3cm, 6cm 로 하였다. 보수깊이는 손상정도가 피복 정도인 경우와 그보다 큰 피복의 2배 정도로 가정하여 결정한 것이다. 보수재료는 예폭시 레진, 경화제, 골재로 이루어진 외국 E사의 변형 예폭시계 모르터를 사용하였다. 보수계면은 치평으로 면처리하여 보수 성능을 향상시켰다. 시험체는 보수깊이와 깊이에 따른 시험체 6개와 기본 시험체를 포함하여 총 7개로 구성되어 있으며, 그 종류는 표 1과 같다. 본 실험에서는 4점 재하로 단순보 상태에서 가력 하였다. 부재의 사용성 및 강성의 변화를 분석하기 위해 시험체의 중앙 및 1/4 지점에 LVDT를 설치하여 수직 처짐을 측정하였으며, 부재 내부의 철근과 표면의 변형도는 전기적 게이지를 이용하여 측정하였다. 또한, 모멘트가 일정한 부재의 중앙부에 포인터를 부착하여 하중 단계별 길이 변화량을 실험에 사용한 재료의 물성은 표 2와 같다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 단면 보수에 따른 내력 증가

본 연구에서 수행한 보수 후 시험체의 휨 내력 실험 결과는 표 3과 같다. 실험 결과 D6-12와 D6-18을

표 2. 사용 재료의 물리적 성질

콘크리트		철근		변형 에폭시계 모르타르		
압축강도	탄성계수	인장강도	탄성계수	압축강도	인장강도	탄성계수
185~187 kg/cm <sup>2</sup>	1.2×10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup>	4236 kg/cm <sup>2</sup>	1.88×10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup>	948 kg/cm <sup>2</sup>	108 kg/cm <sup>2</sup>	2.17×10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup>

표 3. 실험 결과

구 분	최대 모멘트 (t · m)			균열 모멘트 M <sub>cr</sub> (t · m)					
	① Mn	② 파괴 모멘트 (실험)	비율 ②/control	③ 실험치	④ 계산치 (f <sub>r</sub> 값으로 계산)	⑤ 계산치 (보수재료의 인장강도 고려)	비율 ③/④	비율 ③/⑤	비율 ④/②
control	2.02	1.92	0.95	0.35	0.40	-	0.89	0.21	0.18
D3-6	"	2.00	1.04	0.44	"	1.67	1.12	0.26	0.22
D3-12	"	1.89	0.98	0.52	"	"	1.32	0.31	0.28
D3-18	"	1.93	1.00	0.96	"	"	2.43	0.57	0.50
D6-6	"	1.98	1.03	0.44	"	"	1.11	0.26	0.22
D6-12	"	2.62	1.36	0.82	"	"	2.07	0.49	0.31
D6-18	"	2.69	1.40	1.86	"	"	4.71	1.11	0.69

제외한 시험체는 변수에 관계없이 기본시험체의 파괴 모멘트와 거의 동일한 휨 내력을 나타내었다. 즉, 보수 두께가 얇은 경우에는 보수 길이에 관계없이 휨 내력의 증가는 없으며, 보수깊이가 두껍고 보수 길이가 짧은 경우 휨 내력의 변화는 없으나, 길 경우 보수재료의 인장강도가 증가하여 최대 모멘트와 균열 모멘트가 증가하는 것으로 나타났다. 따라서, 보수 두께가 피복 정도인 경우에는 우리 나라 철근콘크리트 설계기준<sup>4)</sup>에 의한 공칭 모멘트 계산식을 이용할 수 있다. 한편, D6-12와 D6-18의 휨 내력은 각각 기본 시험체의 1.36, 1.40배로 약 40%의 휨 내력 증가를 보이는데 이는 보수 깊이가 깊어 인장철근과의 부착 상태가 우수하고 보수재료의 인장강도가 크기 때문에 발생한 현상이다.

### 3.2 보수 후 부재 강성의 변화

그림 2는 본 연구에서 수행한 보수 시험체의 하중-처짐에 대한 실험 결과를 나타낸 것이며, 표 4는 하중-처짐 곡선의 초기 직선 구간의 기울기를 계산하여 정리한 것이다. 처짐은 하중과 비례하고 하중-처짐 곡선의 기울기는 부재의 강성 EI에 비례하므로 시험체의 강성을 초기 직선 구간의 기울기로 평가하면, 보수두께가 피복 정도인 3cm인 경우 강성은 기본 시험체에 비하여 2.54~5.34배 정도이며, 보수깊이가 두껍고 보수 길이가 길어지면 8.65배까지 증가한다. 즉, 시험체 스펠의 50% 정도까지 에폭시 모르타르로 보수하면 강성이 약 2.54배 정도까지 증가하나 보수 길이가 증가하여 실험체 스펠의 75%에 이르면 5.34, 8.65배까지 강성이 증가하는 현상을 보인다. 이로부터 에폭시 모르타르로 보수한 경우 보수 길이에 따라 휨 강성이 증가하므로 보수 길이의 결정에 유의해야 한다. 이러한 강성의 증가는 보수재료로, 부착성능이 우수하고 탄성계수가 시험체 콘크리트의 약 1.8배 이상으로 고강도이며 인장강도도 큰 에폭시 모르타르를 사용했기 때문으로 보인다.

### 3.3 균열 발생 및 파괴 양상

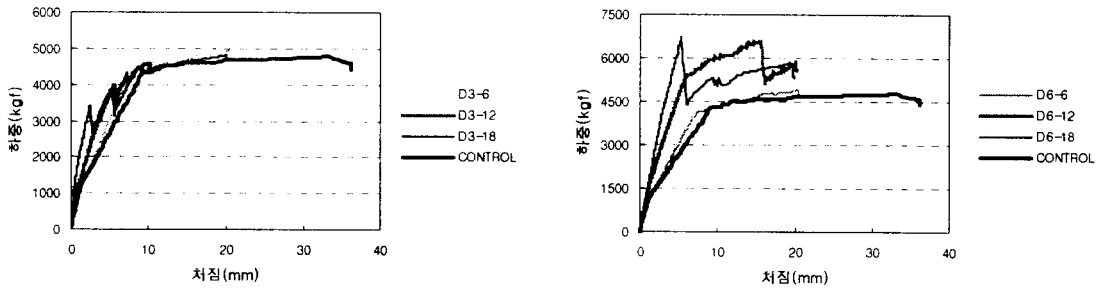


그림 2. 하중-처짐 곡선

표 4. 하중-처짐 곡선의 기울기

구 분	control	D3-12	D3-18	D6-6	D6-12	D6-18
초기접선 기울기	472	1197	2522	760	1201	4082
control 시험체에 대한 기울기비	1	2.54	5.34	1.61	2.54	8.65

기본 시험체의 경우 초기 균열은 최대 하중의 약 20% 내외에서 발생하고, 하중이 증가하면 균열의 폭과 길이가 증가하는 양상을 보인다. 기본 시험체와 비교하여 보수 시험체는 보수 크기에 따라 초기 균열 발생 하중 및 균열 이후 내력이 증가하는 양상이 다르게 나타나는데, 보수 길이가 120cm 이하인 경우 보수깊이에 관계없이 최대 하중의 20~30%에서 초기 균열이 발생하며, 그 때의 처짐량도 비슷하게 나타난다. 다만, D3-18 시험체는 하중을 최대하중의 50%정도 가할 때까지 균열이 발생하지 않고 처짐량도 다른 시험체와 비교하여 매우 작게 나타나며, 균열 발생 후 다른 시험체와 유사한 처짐을 보이면서 강성이 저하된다. D6-18 시험체는 최대 하중 70% 정도에서 초기 균열이 발생하여 동일 하중의 다른 시험체와 비교하여 처짐이 작게 발생한다.

표 3을 통해 균열 모멘트 실험치와 규준<sup>4)</sup>에 의한 계산치를 비교하면 보수길이가 60cm인 경우 계산치와 실험치는 비슷한 값을 보이지만 보수길이가 길어질수록 2~4배 큰 값에서 초기 균열이 발생하게 된다. 그러나, 보수재료의 특성을 고려하여 계산한 균열모멘트와 실험치를 비교하면 현행 규준에 의한 값보다 더 정확한 값을 보여준다. 이는 본 연구에서처럼 고인장 보수 재료를 콘크리트 대신 사용할 경우  $M_{cr}$ 이 증가하여 발생하는 현상으로, 현행 기준에 의한 최소 철근비를 증가시킬 필요가 있으며 보수 설계시 보수 단면에 대한 균열 모멘트를 고려할 필요가 있다.

기본 시험체의 균열은 하중이 증가함에 따라 보 스패น 내에서 일정한 간격으로 균등하게 분포하면서 진전되지만, 보수 시험체인 D3-6과 D6-6 시험체는 가력점 하부의 보수를 하지 않은 인장 측과 보수 계면 근처의 콘크리트에서부터 균열이 발생하여 점차 진전되어 파괴된다. D3-12와 D6-12 시험체도 D3-6과 D6-6 시험체와 유사하게 초기 균열이 보수계면 근처의 콘크리트에서 발생하지만, 하중이 증가함에 따라 균열이 가력점으로 분포, 진전되면서 파괴된다. 이는 보수재료의 고인장 성능, 보수 계면의 부착 강도 등으로 인하여 파괴가 보수재료에서 먼저 발생하지 않고 상대적으로 인장강도가 작은 콘크리트에서 균열이 발생, 진전되거나 보수재료로 확산되는 경향을 보인다.

D3-18과 D6-18 시험체는 보수재료의 고인장 성능으로 인해 가력점 하부의 콘크리트에서 균열이 집중적으로 발생하고 이후 중앙부로 확산되나 기본 시험체에 비하여 균열의 확산이 덜 발생하였다.

한편, D6 계열의 시험체는 파괴시 소음이 발생하는데 이는 보수재료 자체의 균열 발생 하중과 배근된 철근의 휨 모멘트 강도가 비슷하여 보수재료에서 균열이 발생하면서 동시에 철근이 항복하기 때문으로 보인다. 따라서 예폭시 모르타르로 보수할 경우 철근 배근에 따른 휨 강도가 보수재료의 인장강도에 의한 휨 모멘트를 보다 커지도록 해야 한다.

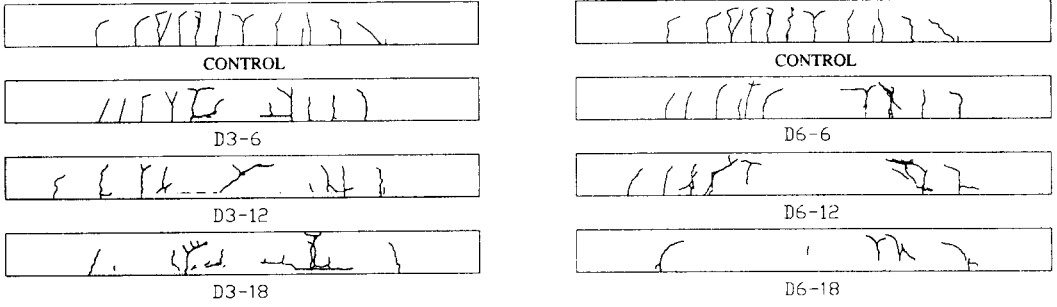


그림 3. 시험체 균열도

### 3.5 보수 계면의 거동

육안 관찰 및 하중-곡률 변화도 측정을 통해 보수 계면의 일체성 거동을 분석하였다. 육안으로 단면 손상을 입은 부재의 보수계면을 관찰한 결과, 시험체가 파괴할 때까지 계면에서의 파괴는 발생하지 않았다. 그림 5는 하중 단계별로 측정된 시험체의 곡률 변화를 나타낸 것이다. 그림 5로부터 거의 모든 시험체에서 설계 하중( $\phi M_n$ )에 도달할 때까지 상, 하단의 응력 분포가 선형을 이루는 것으로 나타나며, 이는 계면에서의 슬립이나 탈락현상이 발생하지 않고 일체로 거동하고 있음을 보여준다.

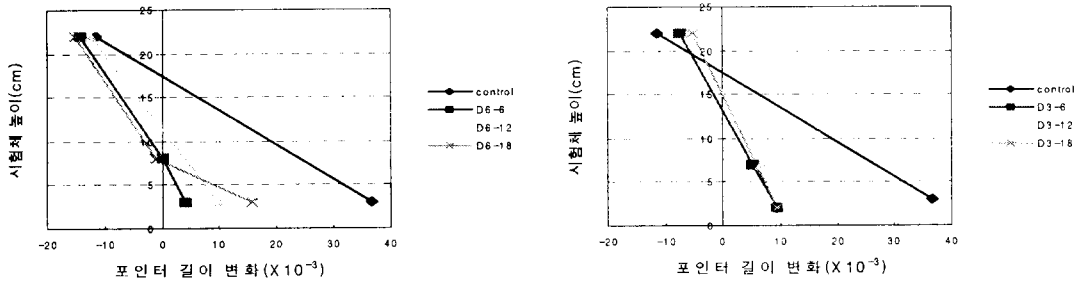


그림 4  $\phi M_n$  재하시 시험체 중앙부 길이 변화량

## 4. 결론

에폭시 모르타르로 손상을 입은 보를 보수한 후의 휨 거동에 대한 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) 보수에 따른 부재의 휨 내력은 동일한 단면의 기본 시험체와 비슷하며, 피복 두께 정도의 손상을 입은 보를 보수할 경우 기준에 의한 공칭 모멘트 계산식을 이용할 수 있다.
- (2) 보수 두께가 얇은 경우에는 보수길이에 관계없이 휨 내력의 증가가 없는 것으로 나타났다. 보수 깊이가 두껍고 보수 길이가 짧은 경우, 휨 내력의 변화는 없고 강성이 다소 증가하지만 길어질 경우, 보수재료의 인장강도가 커져 휨 내력과 강성이 크게 증가하였다.
- (3) 보수 계면은 계면 파괴의 발생 없이 본 시험체와 일체로 거동하였다.
- (4) 보수 재료의 고인장 성능, 보수 계면의 부착 강도 등으로 인하여 파괴가 보수재료에서 먼저 발생하지 않고 상대적으로 인장강도가 작은 콘크리트에서 균열이 발생, 진전되거나 보수 재료로 확산되는 경향을 보

인다.

(5) 보수 길이와 보수 깊이가 증가할수록 보수재료의 인장강도에 의해 구조적 거동이 영향을 받으므로 보수설계 단계에서 보수 크기를 결정할 때 보수재료의 인장강도를 고려해야 한다.

#### 감사의 글

본 연구는 (주)태창 SMS와 (주)유크리드 코리아의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 1) 건설교통부, "Premix형 보수재료를 적용한 R/C 구조물의 보수 및 섬유보강공법 개발", 96 연구개발사업 연차보고서, 1997. 11, pp37-47
- 2) 홍건호, 조하나, 신영수, 정혜교, "변형에폭시계 재료를 사용한 하부증대 보의 구조적 성능", 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제 10권 2호, 1998.11
- 3) 정란, 이영재, 문희중, 이경언, 정상진, "재하상태에서 보강된 철근 콘크리트 보의 보강 재료에 따른 구조적 거동", 콘크리트학회지 제 11권 1호, 1999.2
- 4) 건설교통부, 극한 강도 설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계 기준 및 해설, 1990