

# 변형에폭시계 재료를 사용한 하부증대 보의 구조적 성능

## Structural Performance of Flexural Members Enlarged with Epoxy Mortar System at Soffit

홍건호\*

Hong, Geon Ho

조하나\*\*

Cho, Ha na

신영수\*\*\*

Shin, Young Soo

정혜교\*\*\*\*

Chung, Hye Kyo

### ABSTRACT

This paper is aimed to investigate structural performance of flexural members enlarged with epoxy mortar at soffit. Main test variables are steel ratio and interface treatment method and six test beams are tested to investigate the effect of each test variables on maximum load capacity, load-deflection and moment-curvature relationship, interface behavior and failure mode.

Test results show that section enlarged beams can carry almost same load of the monolithic beams with same size and the flexural stiffness and cracking moments are increased about 2.5 times and 50 to 70% of failure moment in comparison with same sized control beam, respectively. However, deflections and curvatures are decreased at the same load and interface fractures are not discovered at the ultimate load.

### 1. 서 론

최근 국내에서 잇따르고 있는 철근콘크리트 구조물의 대형사고로 인하여 사회적으로 건축물의 내구성 및 안전도에 심각한 우려가 나타나고 있으며, 70년대 이후 시작된 대규모 건축물의 건설은 20여년 이상이 경과된 현 시점에서 구조물의 내력저하를 유발하고 있다. 더욱이, 철근콘크리트조 건축물에 대한 유지관리 의식의 미흡, 사용상의 부주의 등은 이러한 건축물의 내력저하를 촉진시키는 계기가 되고 있는 실정이다. 이러한 상황에서 새로운 재료의 개발 및 보수·보강공법의 발전 등 기술적 요인과 재건축과 보수·보강 후 건축물의 재사용 사이에 발생하는 경제적 요인에 의하여 건축물의 보수·보강에 대한 체계적인 연구의 필요성이 증대되고 있다.

현재 국내에서 주로 사용되는 휨 보강 방법은 강판이나 탄소섬유শ트 등을 외부에 접착하는 방법이 주로 사용되고 있으나, 외부보강으로 인한 최대 철근비의 초과, 단면 부족에 의한 변형 등의 현상에는

\* 정회원, 호서대학교 건축학부 전임강사

\*\* 이화여대 건축학과 석사과정

\*\*\* 정회원, 이화여대 건축학과 교수

\*\*\*\* 정회원, 현대건설 기술연구소 책임연구원

단면증대공법이 보다 효과적이라고 할 수 있다. 단면을 증대하는 경우 계면의 박리, 탈락 등의 현상이 발생하므로 재료의 선택에 유의할 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 단면증대용으로 개발된 외국 E사의 변형 에폭시계 재료로 보 하부단면을 증대하여 구조적 거동 특성의 변화 및 파괴형태, 내력보강 효과 등에 대한 실험적 연구를 수행함으로써 변형 에폭시계 재료를 사용한 보 하부단면 증대공법의 구조적 타당성과 보강설계 기준의 기초적 자료를 확보하는 데 본 연구의 목적이 있다.

## 2. 실험계획 및 방법

휨부재의 인장 측 단면이 증대된 경우의 보강효과를 평가하기 위하여 본 연구에서는 단면이  $15 \times 25$  cm, 길이가 280cm인 기본 시험체에 대하여 단면의 하단부에 5cm의 변형에폭시계 재료를 사용하여 보강을 실시하고, 순스팬 2.4m의 단순 보에 4점재하를 실시하였다. 실험장치는 다음의 그림 1과 같다. 부재의 사용성 평가 및 강성의 변화를 분석하기 위하여 시험체의 중앙 및  $\frac{1}{4}$ 지점에서 LVDT에 의한 측정을 측정하였으며, 보강재의 일체성 평가를 위하여 부재의 중앙부 보강철근 및 부재 표면에 대한 변형도를 측정하도록 하였다. 또한 시험체의 곡률 변화를 관찰하기 위하여 일정한 모멘트가 작용되는 부재의 중앙부에 균열 측정용 포인터를 설치하여 각 하중단계별 길이의 변화량을 측정함으로써 균열발생에 따른 스트레인 케이지의 파단후에도 부재의 곡률 변화를 관찰할 수 있도록 하였다.

시험체의 구성은 증대 철근량과 증대부위의 표면처리 등 2개의 변수에 대한 시험체 4개와 시험체 크기에 따른 기본시험체 2개를 포함하여 총 6개의 시험체를 실험하였으며, 그 종류는 다음의 표 1과 같다. 증대에 사용된 변형에폭시계 모르타르의 기계적 성질은 표 2 및 그림 2와 같다.

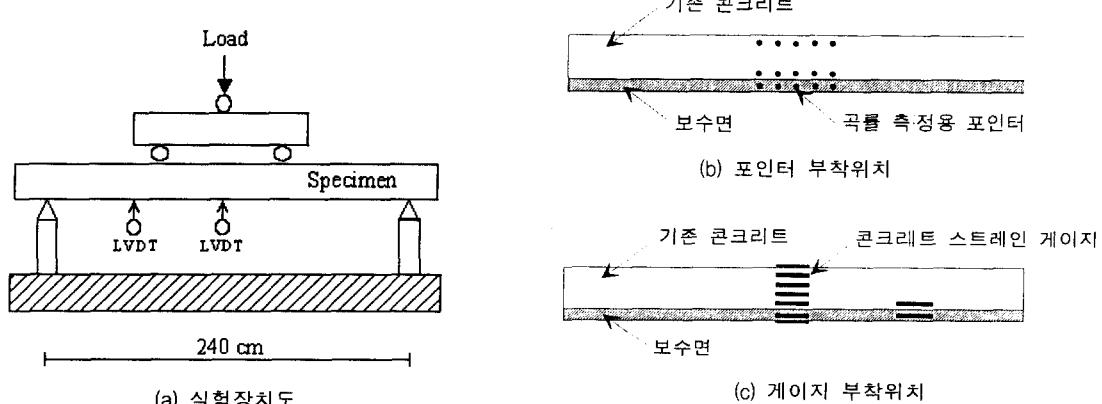


그림 1. 실험장치 구성도

표 1. 시험체의 구성

구 분	시험체 치수(cm)	단면증대	인장철근	증타 표면처리	기 타
control	15×25×280	없음	2-D13	없음	기본시험체
control-ab	15×30×280	없음	4-D13	없음	증타 기본시험체
ab13-a	15×25×280	하부 5cm 증타	2-D13 + 2-D13 증대	케미칼 앵커	
ab13-c	15×25×280	하부 5cm 증타	2-D13 + 2-D13 증대	콘크리트 치핑	
ab16-a	15×25×280	하부 5cm 증타	2-D13 + 2-D16 증대	케미칼 앵커	
ab16-c	15×25×280	하부 5cm 증타	2-D13 + 2-D16 증대	콘크리트 치핑	

표 2. 변형에폭시계 모르타르의 기계적 성질 및 구성

압축강도	인장강도	탄성계수	모르타르의 구성
948 kg/cm <sup>2</sup>	108 kg/cm <sup>2</sup>	$2.17 \times 10^3$ kg/cm <sup>2</sup>	에폭시 레진 + 경화제 + 골재

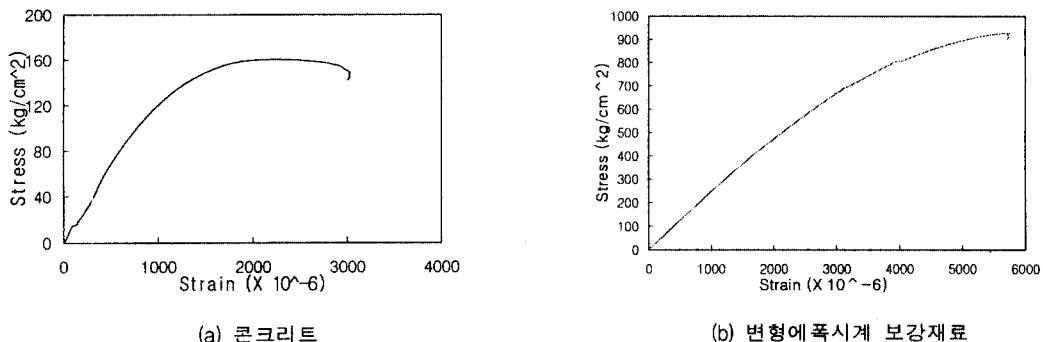


그림 2. 사용재료의 응력도-변형도 곡선

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 단면 증대에 의한 내력보강효과

보 하단부 단면의 증대에 의한 실험의 결과는 다음의 표 3과 같다. 변형에폭시계 재료를 사용하여 증대된 ab13 시험체의 파괴모멘트는 하단부가 증대된 경우와 동일한 치수와 철근비를 갖는 control-ab 시험체와 비교하였을 때 각각 1.04, 1.00배의 값을 나타내어 증대에 의한 보강효과가 최초 같은 크기의 단면과 철근비를 갖는 시험체와 동일한 효과를 갖는 것으로 나타났으며, 이때 구콘크리트와 신보강재료와의 계면파괴는 나타나지 않았다. 또한 추가 보강근으로 2-D16을 사용한 ab16의 경우

표 3. 실험결과 요약

구 분	최대모멘트 (t.m)			균열모멘트 $M_{cr}$ (t.m)			
	① $M_n$	② 파괴모멘트 (실험)	비율 (② / ①)	③ 계산치	④ 실험치	비율 (④ / ③)	비율 (④ / ②)
control	2.02	1.92	0.95	0.40	0.35	0.88	0.18
control-ab	4.38	4.22	0.96	0.57	0.90	1.58	0.21
ab13-a	4.38	4.37	1.00	0.57	3.06	5.37	0.70
ab13-c	4.38	4.21	0.96	0.57	1.92	3.37	0.47
ab16-a	5.32	5.22	0.98	0.57	3.85	6.75	0.74
ab16-c	5.32	5.62	1.06	0.57	3.21	5.63	0.57

에도 계면의 처리방법에 따라 실험시의 파괴모멘트가 시험체의 공칭모멘트  $M_n$ 의 0.98배, 1.06배를 보임으로써 철근비에 관계없이 보강효과가 동일함을 알 수 있다. 한편, 신구콘크리트 계면의 처리방법에 따른 내력보강효과의 차이를 살펴보면 큰 값의 차이를 나타내고 있지는 않으나 철근비의 크기에 상관 없이 앵커를 설치한 경우가 콘크리트의 표면을 치평하여 보강재를 타설한 경우보다 약간 큰 것으로 나타나고 있다. 그러나, 구조적 성능에서 큰 차이가 없으므로 경제성을 고려하여 계면을 치평하거나 앵커로 처리하여도 무방하다.

### 3.2 단면 증대이후의 부재 강성의 변화

에폭시 모르타르에 의하여 단면이 증대된 이후 부재의 하중-처짐 곡선을 보면 다음의 그림 3과 같다.

4점재하 휨시험에 의하여 계산되는 부재 중앙부의 최대처짐은  $y_{max} = \frac{23P^3}{648EI}$  이므로 부재의 처짐은 하중과 비례하고, 하중-처짐곡선의 기울기는 부재의 강성 EI에 비례한다. 실험결과에서 하중-처짐 곡선의 초기 직선부분의 기울기를 측정한 결과는 다음의 표 4와 같다. 표에서 나타나듯이 증대된 시험체는 기본시험체와 비교할 때 약 2.5배 이상의 강성을 갖는 것으로 나타나고 있으며, 이러한 결과는 증대재료인 에폭시 모르타르의 탄성계수가 시험체 콘크리트의 약 1.8배 이상의 값을 갖는 고강도 재료임에 기인하는 것으로 판단된다. 한편, 보강후 시험체의 모멘트-곡률관계를 도시하면 그림 4와 같다. 그림에서 본 연구의 모든 시험체가 계산에 의한 곡률보다 적은 값을 갖는 것을 알 수

표 4. 하중-처짐곡선의 기울기

구 분	control	control-ab	ab13-a	ab13-c	ab16-a	ab16-c
초기접선 기울기	472	891	2308	2143	3243	2400
기울기 비 (/control-ab)	0.53	1	2.59	2.41	3.64	2.69

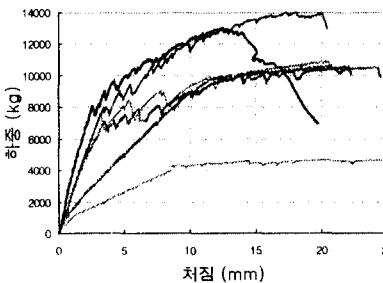


그림 3. 시험체의 하중-처짐곡선

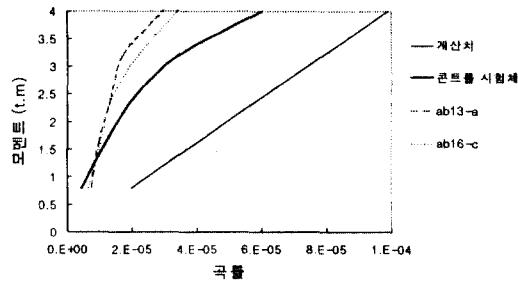


그림 4. 모멘트-곡률 관계

있었으며, 특히 하단부 중대시험체의 경우에는 계면의 처리방법에 관계없이 기본시험체보다 적은 곡률을 갖는 것으로 나타났다. 이와같은 현상은 그림 3의 하중-처짐관계에서 나타나듯이 중대부위 재료의 강성증가로 인한 것이다.

### 3.3 단면 증대이후의 균열발생 및 파괴양상

시험체의 초기균열발생시의 모멘트를 비교해 보면 표 2에서 나타나듯이 기본시험체의 경우에는 최대 하중의 약 20% 내외에서 초기 균열이 발생하여 하중의 증가와 더불어 균열의 폭 및 길이가 증가하는 양상을 갖게 된다. 한편, 중대 시험체에서는 표면처리의 방법에 따라 다소간의 차이를 나타내고 있으나 앵커를 설치하고 증대된 경우 최대하중의 약 70% 이상의 하중이 가해질 때까지 시험체에서는 균열이 발생하지 않으며, 이때까지의 처짐량도 기본시험체의 균열발생 하중시의 처짐밖에 발생하지 않는 것을 알 수 있다. 콘크리트 표면을 치핑한 후 증대한 경우에는 앵커의 설치시 보다는 균열 발생하중의 크기가 적게 나타나고 있으나 이 역시 최대하중의 약 50% 이상의 하중에서 균열이 발생되며 그 이하의 하중에서는 적은 처짐값과 함께 균열이 발생하지 않았다. 그러나 단면 증대 시험체의 경우에는 균열발생 하중을 넘어서게 되면 심한 소음을 동반하며 급격한 균열의 진전양상을 나타내었는데, 초기에 발생하는 균열의 길이가 전체 보솜의 약 % 이상의 길이를 가지며, 폭 0.3mm 이상을 갖는 취성적인 균열양상을 나타내었다. 이후에도 균열의 발생시에는 초기균열과 동일한 양상으로 소음과 함께 급격한 균열의 진전을 보여 증대 설계시에는 이와 같은 균열모멘트에 대한 검토가 필요하다.

### 3.4 증대부위 계면의 거동

시험체 하부 증대부위의 계면에서의 일체성 거동을 분석하기 위하여 증대면에서의 균열발생에 대한 육안관찰 및 증대부위와 본 시험체의 하중에 따른 곡률 변화를 병행하여 측정하였다. 육안조사결과 본 시험체와 증대부분과의 계면에서의 균열은 시험체의 파괴시까지 발견되지 않았다. 또한, 하중단계별로 측정한 시험체 곡률의 변화를 측정한 결과는 다음의 그림 5와 같다. 그림에서 나타나듯이 본 시험체의

상단 및 하단철근의 위치와 중대 철근의 위치에서 균열측정용 포인터를 이용하여 기계적인 방법에 의하여 길이의 변화를 측정한 결과 시험체의 설계하중( $\phi M_n$ ) 도달시 까지 시험체 상하단 응력의 분포는 선형을 이루고 있으며, 중대계면에서의 슬립에 따른 길이변화는 없었다. 즉, 시험체의 중대면은 본 시험체와 일체로 거동하고 있음을 알 수 있으며, 그럼에서 ab13-c 중대시험체의 길이변화량이 타시험체 보다 크게 나타나는 것은 측정 구간 내에 발생한 균열의 폭 및 균열량이 타시험체보다 많기 때문이다.

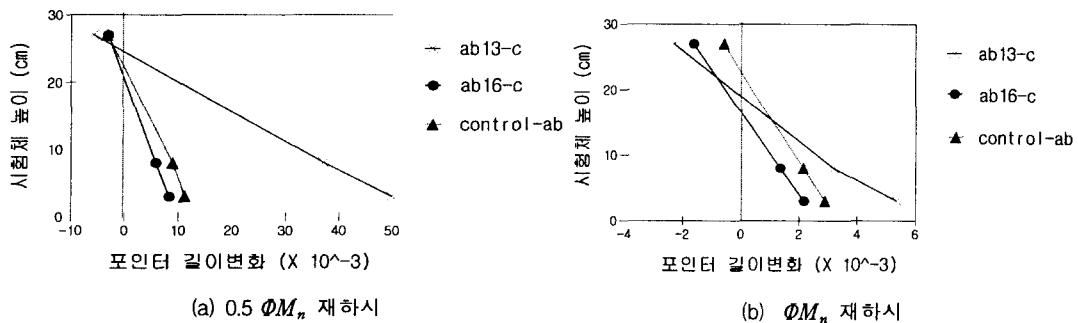


그림 5. 균열포인터에 의한 시험체 중앙부 길이변화량

#### 4. 결론

변형에폭시계 재료를 사용하여 보 하단부를 증대시킨 시험체에 대한 연구결과 다음과 같다.

- 1) 증대에 따른 내력 보강효과는 증대부위의 보강철근비에 관계없이 최초 동일한 단면성능을 갖는 시험체와 보강효과가 동일하여 휨 강도는 규준에 의한 식으로 계산할 수 있다.
- 2) 증대계면의 거동은 계면의 처리방법과 관계없이 시험체의 파괴시까지 계면파괴가 발생하지 않았으며, 본 시험체와 일체가 되어 거동하였다.
- 3) 증대후 부재의 강성은 증대재료의 강도 및 탄성계수의 증가로 인하여 기본시험체보다 약 2.5배 이상의 강성을 나타내었으며, 이에 따라 동일 하중에 대한 시험체의 처짐값이 감소하였다.
- 4) 증대시험체의 균열발생하중은 기본 시험체의 균열발생하중보다 큰 값을 가지나, 균열발생시 소음과 함께 균열이 급격하게 전전되어 설계시 최소철근비, 내력 보유에 유의할 필요가 있다.

본 연구는 (주)태창SMS와 (주)유크리드 코리아의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 1) 건설교통부, “철근콘크리트 구조물의 보수보강 신기술개발”, 94 연구개발사업 최종보고서, 1996. 10
- 2) 김성철, 이희경, 유성훈, 김중구, 정란, “철근콘크리트보의 휨내력보강 공법에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제 9권 2호, 1997. 11