

# 에폭시모르타르로 보강된 부식철근 RC보의 구조적 성능

## Structural Performance of Reinforcement corrosion RC Beams Strengthened with Epoxy Mortar System

한복규\*      홍건호\*\*      신영수\*\*\*      정란\*\*\*\*  
Han, Bok kyu    Hong, Geon Ho    Shin, Yeong Soo    Chung, Lan

### ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the structural performance of reinforcement corrosion reinforced concrete beams strengthened with epoxy mortar system. Main test parameters are existence and the magnitude of the reinforcement corrosion and the reinforcing bar and the tensile reinforcement ratio of the specimens. Eight beam specimens were tested to investigate the effectiveness of each test variables on maximum load capacity and failure mode.

Test results showed that the ultimate moment of the specimens were higher than the nominal moment and the flexural stiffness was increased about 2.5 times and the cracking moments occurred over 60% of the failure moment in comparison with same sized control beam.

However, note that epoxy mortar may conduct member into brittle failure mode.

Key word : rehabilitation, reinforcement corrosion, epoxy mortar, tensile reinforcement ratio

### 1. 서론

철근 콘크리트 구조물은 피복두께의 부족, 염화물 침투, 콘크리트 중성화로 인하여 콘크리트 내부 철근이 녹슬게 되고 이 녹이 진행되어 콘크리트 구조물에 균열·박리 등과 같은 열화현상과 함께 구조물에 치명적인 손상을 주게 되며, 종국에는 구조물 붕괴에 까지 이르게 된다. 따라서, 손상된 철근콘크리트 보의 구조적 안전성 확보를 위해서는 손상된 단면의 보수 및 내력보강이 필요하게 된다.

현재 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 보수재료는 폴리머계 재료, 폴리머-시멘트계 재료, 시멘트계 재료로 구분할 수 있다. 국내 연구 결과, 폴리머계 재료로 보수한 경우 다소 취성적으로 파괴되지만 원부재와 보수재료 사이의 계면파괴는 발생하지 않는 것으로 보고되고 있다. 하지만 폴리머계 재료로 보수한 구조물의 구조적 거동과 휨 내력보강 효과는 그 구분이 명확하지 않다.

따라서, 본 연구에서는 보강철근의 부식으로 인하여 단면이 손상된 철근콘크리트 보를 에폭시모르타르로 보수한 이후 부재의 구조적 성능 평가 실험을 실시하였다. 이를 위해 추가 보강철근의 배근유무, 부식비율에 따른 변화, 철근비를 변수로 하여 실험을 실시하였으며, 보강 후 시험체의 내력보강효과 및 파괴형태, 단면보수이후 강성의 변화 등에 관한 분석을 통해 에폭시모르타르 재료를 사용한 부재의 적절한 보강방법을 제시하였다.

\* 정희원, 호서대학교 건축학과 석사과정

\*\*\* 정희원, 이화여대 건축학과 교수

\*\* 정희원, 호서대학교 건축학과 교수

\*\*\*\* 정희원, 단국대학교 건축공학과 교수

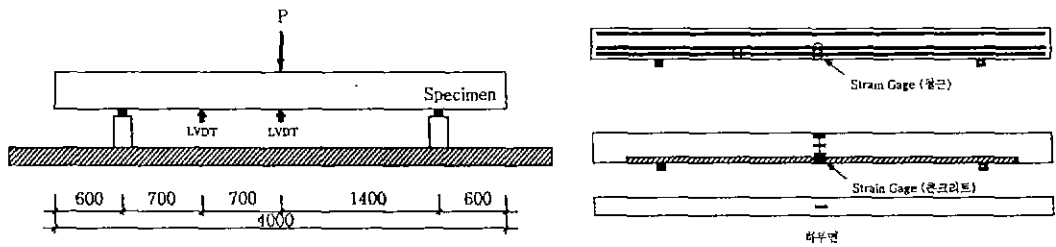
## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 시험체 계획

본 연구를 수행하기 위한 시험체구성 및 실험장치 구성도는 각각 다음의 표 1, 그림 1과 같다. 표 1에서 보는 바와 같이 단면 치수 20×30cm(유효층 26.5cm), 시험체 길이 400cm인 시험체를 제작하였다.

부재의 사용성 평가를 위해서 시험체의 중앙부위와 1/4지점에 처짐측정기(LVDT)를 설치하였다. 또한 하중증가에 따른 부재의 용력 및 단면보수재료와 콘크리트 사이의 계면거동을 관찰하기 위해서 그림 1에서 보는바와 같이 스트레인 게이지를 설치하였다.

시험체 제작은 전위차 부식방법에 의하여 소요량 만큼의 철근단면을 부식시켰으며, 철근의 부식 후 부재의 휨성능에 대한 실험을 실시하였다. 그 후 하중을 제거한 상태에서 단면의 보수 및 보강작업을 실시한 이후에 동일한 방법으로 실험을 다시 수행하여 부재의 휨성능 변화를 비교·평가 하였다.



(a) 실험장치도

(b) 스트레인게이지 부착위치

그림 1. 실험장치 구성도

표 1. 시험체의 구성

구분	시험체치수	보강재료	인장철근	피복두께	부식비율	보강 방법
EA 0-0	20×30×400	에폭시모르타르	2-D16	3cm	0%	피복 제거후 단면보수
EA I-4	20×30×400	에폭시모르타르	2-D16	3cm	15%	추가철근 배근( 4-D13 )
EA II-0	20×30×400	에폭시모르타르	2-D16	3cm	20%	피복 및 녹제거후 단면보수
EA III-2	20×30×400	에폭시모르타르	2-D16	3cm	25%	추가철근 배근( 2-D10 )
EB 0-0	20×30×400	에폭시모르타르	2-D19	3cm	0%	피복 제거후 단면보수
EB I-4	20×30×400	에폭시모르타르	2-D19	5cm	15%	추가철근 배근( 4-D13 )
EB II-0	20×30×400	에폭시모르타르	2-D19	3cm	20%	피복 및 녹제거후 단면보수
EB III-2	20×30×400	에폭시모르타르	2-D19	3cm	25%	추가철근 배근( 2-D10 )

EA I-0

- 보강철근( 0 : 추가철근 무보강, 2 : 2-D10 추가, 4 : 4-D13 추가 )
- 부식비율( 0 : 0%, I : 15%, II : 20%, III : 25% )
- 인장철근( A : 2-D16, B : 2-D19 )

## 2.2 사용재료

본 연구에 사용된 단면 보수재료는 국내 현장에서 사용하는 에폭시모르타르를 사용하였다. 이는 보수재료와 원부재간의 계면파괴가 발생하였을 때 심각한 문제를 야기할 수 있는 여건을 고려하여 선정하였다. 사용된 재료는 폴리머계 단면보수재료로서 압축강도  $1,110.5 \text{ kg/cm}^2$ , 인장강도  $102.7 \text{ kg/cm}^2$ 인 변형에폭시계 모르타르를 사용하였다. 원시형체 콘크리트의 압축강도는  $293 \text{ kg/cm}^2$ 이었으며, 보강철근의 항복강도는  $4,310 \text{ kg/cm}^2$ 인 철근을 사용하였다. 인장철근의 부식부분은 시공성을 고려하여 분무식 SEAL재를 사용하여 제거하였다.

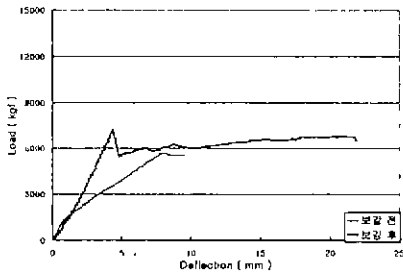
## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 휨 보강효과

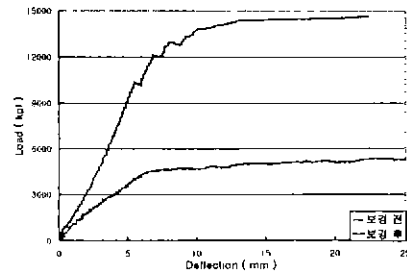
에폭시모르타르로 보강된 부식 철근콘크리트보의 휨성능 분석을 위한 시험체의 실험결과는 다음의 표 2와 같다. 보수재료 자체의 고인장력에 의한 부재의 내력 향상 효과를 살펴보면 부식이 없는 상태에서 부재의 단면을 보수한 EA0-0, EB0-0인 시험체의 내력이 보강이전의 시험체의 내력보다 각각 1.27, 1.16배의 내력 향상 효과를 나타내고 있으며, 부재의 공칭모멘트에서도 각각 1.25, 1.31배로 나타났다. 또한 인장철근의 부식으로 20%의 단면결손이 발생한 시험체 EAII-0, EBII-0에서도 1.39, 1.13배로써 보수재료 자체의 고인장력에 의한 내력증진효과를 관찰할 수 있었다. 철근부식에 의한 단면감소 면적만큼 추가철근으로 보강한 시험체 EAIII-2, EBIII-2와 부재의 최대철근비까지 추가철근을 보강

표 2. 실험결과 요약

시험체 명	최대 모멘트						균열 모멘트 $M_{cr}$			
	단면보수 전		단면보수 후		비율 (④/③)	비율 (④/②)	⑤계산	⑥실험	비율 (⑥/⑤)	비율 (⑥/④)
	① $M_n$	② 실험	③ $M_n$	④ 실험						
EA 0-0	4.05	3.99	4.05	5.06	1.25	1.27	1.03	5.04	4.89	1.00
EA I-4	3.48	3.78	8.82	10.24	1.16	2.71	1.24	7.21	5.81	0.70
EA II-0	3.29	3.58	3.29	4.99	1.52	1.39	1.03	3.71	3.60	0.74
EA III-2	3.10	-	4.68	6.57	1.40		1.24	5.74	4.63	0.87
EB 0-0	6.05	6.87	6.05	7.96	1.31	1.16	1.03	5.18	5.03	0.65
EB I-4	4.78	5.12	9.87	9.07	0.92	1.77	1.03	5.81	5.64	0.64
EB II-0	4.92	6.12	4.93	6.94	1.41	1.13	1.03	4.20	4.08	0.60
EB III-2	4.63	-	6.30	8.36	1.33		1.24	7.98	6.43	0.93



(a) EA 0-0



(b) EA I-4

그림 2. 보강 전·후 하중-처짐 곡선 비교

한 시험체 EA I-4, EB I-4의 경우에도 부재의 공칭모멘트 보다 1.16배 이상의 내력증진효과를 볼 수 있었다. 이와같이 전체적인 시험체에서 부재의 내력이 공칭모멘트보다 월등히 향상된 것을 볼 수 있다. 각시험체별 단면보수 전·후의 하중-처짐 곡선은 다음의 그림 2와 같다.

그림 3. 에서 보는바와 같이, 부재의 휨내력을 보강하기 위해 추가철근의 양을 점차 증가시킨 경우 철근양이 증가함에 따라 시험체 내력이 증가하는 양상을 관찰할 수 있다. 이와 같이 에폭시모르타르로 보수한 경우 추가철근의 철근양에 따라 내력증진효과를 달리할 수 있고, 단면보수 뿐만 아니라 철근보강효과도 기대할 수 있는 것으로 보여진다.

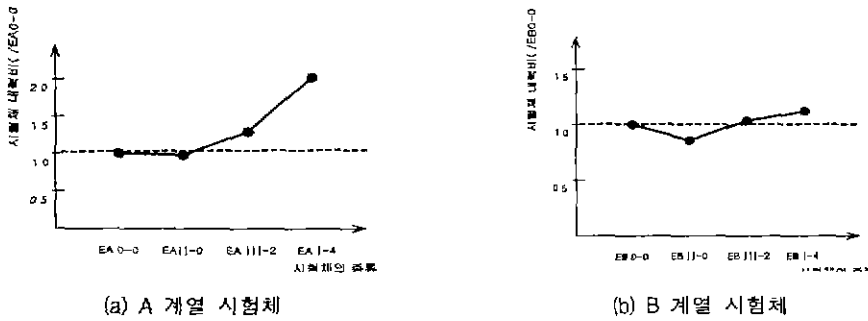


그림 3. 시험체의 내력변화 비교

### 3.2 단면보수 이후 강성의 변화

단면보수 이후 부재의 하중-처짐 곡선은 다음의 그림 4와 같으며, 곡선의 기울기는 표 3과 같다. 표 3에서 보는바와 같이, 보수 전·후 시험체의 하중-처짐 곡선 기울기를 살펴보면 그 비율은 2.5~3.5배를 나타내고 있다. 추가철근양에 따른 변화를 살펴보면, 철근양의 변화에 관계없이 부재의 강성은 유사한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 시험체 단면보수 이후 부재의 강성은 철근양과는 무관하며 고인장재료인 보수재료에 의한 것임을 알 수 있다. 또한 하중-처짐 곡선에서 요철이 심하게 나타난 현상을 관찰할 수 있는데, 그 원인은 부재의 초기균열 발생시 급격한 균열의 진전양상을 동반하면서 시험체의 내력이 감소하여 발생한 현상이다.

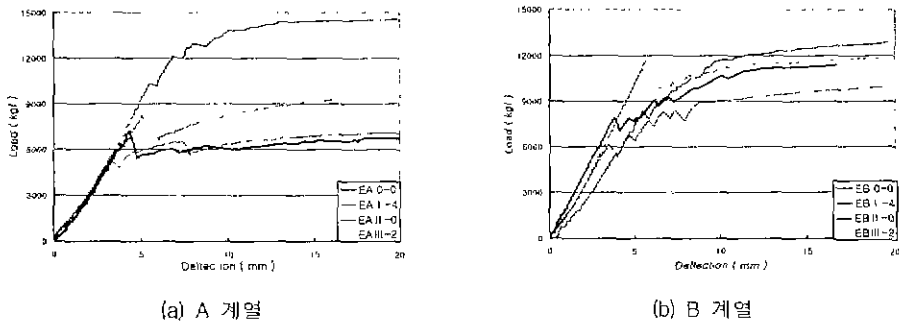


그림 4. 하중-처짐곡선

표 3. 하중-처짐 곡선의 기울기

구 분	접선 기울기		비율( ②/① )	비율( /E 0-0)
	① 보수 전	② 보수 후		
EA 0-0	617	1805	2.92	1
EA I -4	631	1810	2.87	1.00
EA II -0	656	1696	2.58	0.94
EA III -2	-	1645	-	0.91
EB 0-0	796	2001	2.51	1
EB I -4	495	1736	3.50	0.87
EB II -0	705	1883	2.67	0.94
EB III -2	-	2182	-	1.14

한편, 추가철근양이 많을수록 요철현상이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이는 초기균열 발생이후에 추가 철근의 양이 많아 질수록 시험체 저항내력을 철근이 부담할 수 있기 때문인 것으로 분석이 된다. 따라서, 에폭시모르타르로 단면보수한 경우에는 추가철근에 따른 변화를 고려하여 설계에 반영하여야 할 것으로 판단이 된다.

### 3.3 파괴양상

단면보수한 시험체의 파괴양상은 다음 그림 5와 같다. 보수시험체의 파괴양상은 표 2에서 보는 바와 같이 다소 차이는 있으나 전체시험체에서 최대하중의 60%이상에서 초기균열이 발생하였으며, 초기균열 발생시 “딱”하는 큰 소음을 동반하면서 보수단면 전체 길이 이상의 큰 균열이 발생하였다. 대부분의 시험체에서 최초 균열은 그 길이가 보춤의 2/3 이상의 길이를 나타내었으며, 균열폭도 0.3mm 이상을 나타내었다. 추가철근양에 따른 변화를 살펴보면 철근양이 많을수록 시험체 균열이 많이 발생한 것을 그림 5에서 관찰할 수 있다. 이와 같은 현상은 초기균열발생 이후에도 시험체 저항내력을 철근이 부담함으로써 시험체의 급격한 처짐을 방지하고 그 이후 균열이 발생한 것으로 판단된다. 하지만, 철근양이 적은 시험체의 경우 초기균열 발생과 동시에 철근이 항복됨에 따라 시험체 저항내력을 부담할

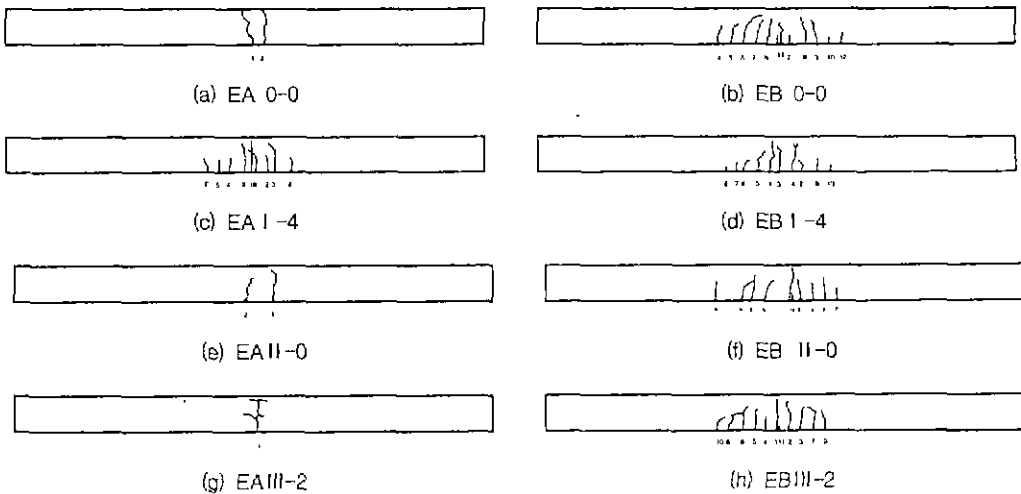


그림 5. 시험체의 균열

수 없기 때문에 추가적인 균열은 발생하지 않고 초기균열의 폭이 증가하면서 종국에는 파괴에 이르는 양상을 나타내었다. 따라서, 에폭시모르타르로 단면보수한 경우 균열 발생이후 부재의 급격한 내력저하를 방지하기 위해서 부재의 균열모멘트를 고려한 추가철근의 배근이 고려되어야 한다.

### 3. 결 론

본 연구의 실험결과에 따라 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 에폭시모르타르 단면보수에 따른 내력의 변화는 전체 시험체에서 부재의 내력이 공칭모멘트보다 높게 나타났으며, 추가철근의 철근양에 따라 내력증진효과를 달리할 수 있고, 단면보수 뿐만 아니라 철근보강효과도 기대할 수 있다.
- 2) 에폭시모르타르 단면보수에 따른 강성의 변화는 철근양의 변화에 관계없이 부재의 강성은 일정한 것으로 나타났으며, 보수재료의 고탄성계수로 인하여 부재의 강성이 원시험체의 3배 내외로 증가하였다.
- 3) 에폭시모르타르 단면보수에 따른 파괴양상은 최초균열의 발생시점이 최대내력의 60% 이상에서 발생하였으나, 균열의 발생시 심각한 소음과 부재 내력의 급격한 저하를 동반하였다. 다만, 단면보수시 추가철근량을 증가시킴으로써 균열발생시 부재의 내력저하를 방지할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 모든 부재의 극한내력시까지 접합계면에서의 파괴는 발생하지 않았다.

### 감사의 글

본 연구는 건설교통부의 연구비 지원과 (주) 태창 S.M.S, (주) 유크리드 코리아의 시험체 보강지원에 의하여 이루어 졌음을 밝히며 관계자 여러분의 도움에 감사드립니다.

### 참고문헌

- 1) 건설교통부, "철근콘크리트 구조물의 보수보강 신기술개발", 94 연구개발사업 최종보고서, 1996. 10
- 2) 건설교통부, "철근이 부식된 콘크리트 구조물의 구조성능 평가기법", 99 연구개발사업 1차년도 보고서, 1999. 4
- 3) 홍건호, 조하나, 신영수, 정혜교, "변형에폭시계 재료를 사용한 하부중대 보의 구조적 성능", 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제 10권 2호, 1998. 11
- 4) 정란, 이영재, 문희중, 이경언, 정상진, "재하상태에서 보강된 철근콘크리트보의 보강재료에 따른 구조적 거동", 콘크리트학회지, 제 11권 제 1호, 1999. 2, pp201-208
- 5) Khan-MS, Corrosion State of Reinforcing Steel in Concrete at Early Ages, ACI MATERIALS, Vol 88, 1991
- 6) ACI Committee222, Corrosion of Metals in Concret, ACI Journal, Jan.-Feb., 1985