

# 에폭시 접착강판으로 보강된 철근콘크리트보의 구조적 거동에 관한 연구

Structural Behavior of Cracked Reinforced Concrete Beams Strengthened by Epoxy Bonded Steel Plates(EBSP)

김 유식\*      류 해준\*\*      최 완철\*\*\*  
Kim, Yoo Sik      Rhew, Hae Jun      Choi, Oan Chul  
홍 기섭\*\*\*\*      신 영수\*\*\*\*\*      홍 영균\*\*\*\*\*  
Hong, Gi Suop      Shin, Young Soo      Hong, Young Kyun

## ABSTRACT

A series of 6 reinforced concrete beams was tested to verify the effects of EBSP strengthened on cracked beams and to identify the various parameters affecting structure strengthening design(SSD).

The parameters were the cross-sectional area of steel plates, the thickness of steel plates, and bond length of steel plates. In addition to these parameters, the effect of existing cracks on the strengthening was investigated.

Test results show that EBSP is very effective and predictable for strengthening damaged structures. The results also show that the bond length of steel plates is the most important factor to develop ultimate load carrying capacities of strengthened beams. However, considerations in SSD should be given to assure the ductile failure at ultimate load such as the low ratio of thickness to the width of plates.

## 1. 서론

### 1.1 연구배경 및 목적

기존 구조물을 보강해야 할 필요성은 여러가지 요인으로부터 발생한다. 구조설계 또는 시공상의 잘못, 구조물의 노후화, 하중의 변화 등은 그 대표적인 요인들이다. 해외에서는 70년도 이후 손상된 구조물의 내

력을 증대시키고 사용성을 유지하기 위한 보강공법 및 보강설계에 대한 연구가 활발히 전개되어 왔으나 국내에서는 이에 대한 연구가 극소수에 불과하며 나날이 심각하게 요구되는 구조물의 보강설계는 단지 보강공사업체의 단편적인 지식에 따라 이루어져 오고 있는 실정이다.

손상된 콘크리트 구조물의 보수·보강에는 여러가지 방법이 있다. 국내에서는 앵커볼트를 이용하여 강판을 부착하는 보강공법을 일반적으로 사용하고 있으나 해외에서는 앵커볼트를 이용하지 않고 에폭시로 강판을 접착하는 에폭시접착 강판공법이 선호되고 있다.

\* 정회원, 서울대학교 대학원 석사과정  
\*\* 정회원, 숭실대학교 대학원 석사과정  
\*\*\* 정회원, 숭실대학교 건축공학과 부교수  
\*\*\*\* 정회원, 홍익대학교 건축학과 조교수  
\*\*\*\*\* 정회원, 단구조연구소 실장  
\*\*\*\*\* 정회원, KOPEC 연구원

이 연구의 목적은 여러 설계변수에 따라 에폭시접착 강판공법으로 보강된 철근콘크리트 보의 구조적 거동을 실험에 의해 비교분석하여 설계변수의 영향을 파악하고 보강설계 및 보강공사에 대한 기초 자료를 제시하는데 있다.

## 1.2 연구내용 및 방법

에폭시접착 강판공법으로 보강된 구조물의 구조적 거동에 영향을 주는 변수들은 여러가지가 있으나 이 연구에서는 초기 균열의 유무, 강판치수의 변화, 강판 단면적의 증가 그리고 강판길이에 의한 영향을 주요변수로 선정하였다. 이러한 변수를 고려하기 위해 폭 150 mm, 촘 240 mm 및 지간 2.0 m의 6개 보 시험체를 제작하여 힘에 대한 구조 거동을 시험하였다.

모든 시험체는 상대적 변화를 최소화하기 위해 1배치(batch) 콘크리트로 제작하였다. 강판보강시 최대 철근비를 초과하지 않도록 보의 인장철근은 최대 철근비의 절반 정도가 되도록 조절하였으며, 전단파괴에 의한 영향을 배제하기 위해 전단 보강근을 충분히 배근하여 시험체를 제작하였다.

이 실험과 병행하여 에폭시 자체 물성에 대한 재료적 측면의 실험을 수행하였으며 그 결과는 참고문헌 1에 발표되었다.

## 2. 실험 계획

### 2.1 재료 특성

보시험체 제작에 사용한 콘크리트는 재령 28일 설계기준강도  $210 \text{ kg/cm}^2$ , 슬럼프 12 cm의 레미콘을 사용하였다. 콘크리트의 배합은 표 2-1과 같다. 실험 기간동안 시험체와 같은 조건으로 양생 하였다.

표 2-1 콘크리트 배합표

배합강도 ( $\text{kg/cm}^2$ )	각 재료의 배합량( $\text{kg/m}^3$ )				
	물-시멘트비	시멘트	물	잔골재	굵은골재
210	55.9%	333	186	808	952

사용철근은 SD40(최소 항복강도,  $f_y = 4,000 \text{ kg/cm}^2$ ) D10 및 D13이며, 강판은 SS41( $F_y = 2,400 \text{ kg/cm}^2$ )를 사용하였다.

강판 접착에 사용한 에폭시는 일본 동방천연가스사 제품인 EPX-3W를 사용하였다.

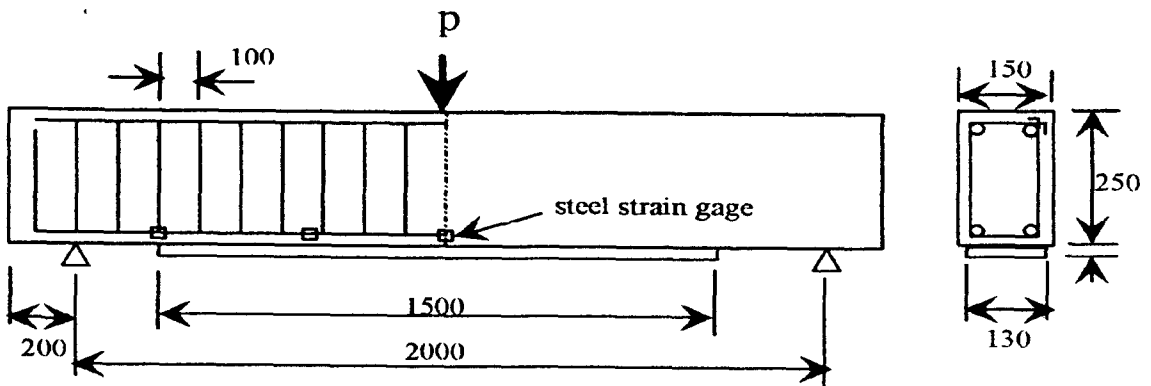


그림 2-1 보시험체 상세도

## 2.2 시험체 제작

6개의 보시험체의 단면치수, 철근상세 및 지간은 모두 동일하며, 그림 2-1과 같다.

보의 지간 중앙과 중앙에서 35 cm 간격으로 2곳과 반대편 단부(지간 중앙으로부터 70 cm 떨어진 지점)에 철근 변형계이지(strain gage)를 부착하였다.

콘크리트 타설시 실험실 온도는 12℃ 이었고, 콘크리트 내부 온도는 8℃가 기록되었다. 콘크리트 타설 직전의 슬럼프량은 22 cm 이었다. 거푸집은 타설일로부터 7일 이후에 일제히 제거하였고, 양생 기간중에는 13℃ 이상의 온도가 유지되도록 하였다. 재령 28일 콘크리트 평균강도는 208kg/cm<sup>2</sup>이었다.

## 2.3 보강강판의 변수선정

구조적 손상이 발생한 콘크리트 보를 보강하는 경우, 고려해야 할 변수로서 강판두께의 변화, 균열발생 유무의 변화, 강판길이에 따른 변화를 선정하였다. 이러한 변수를 고려하기 위해 시험체를 3개 그룹으로 표 2-2와 같이 분류하였으며 이들의 특징은 다음과 같다.

### 실험변수(그룹1):균열유무에 따른 보강효과

최대하중의 70%까지 가력하여 초기균열을 발생시키고, 강판보강된 시험체(S2\*130\*1.5)를 파괴시까지 제하하였으며 이시험체를 표준으로 하였다. 이에 대비하여 초기 균열없이 강판 보강된 시험체(S2\*130\*1.5\*NOCR)를 시험하였다.

### 실험변수(그룹2):강판길이에 따른 보강효과

보강길이를 달리하여 지간의  $\frac{1}{3}L$ .

$\frac{2}{3}L$ ,  $L$ 이 되도록 변화시킨 시험체 S2\*130\*

0.8, S2\*130\*1.5, S2\*130\*1.9 시험체를 제작하였다.

실험변수(그룹3):강판두께에 따른 보강효과  
보강강판의 두께를 각각 2.3 mm, 3.3 mm, 4 mm로 보강한 시험체를 제작하였다.

## 2.4 보강시험체 제작

초기균열을 발생시킨후, 시험체에 강판보강을 위하여 하중을 제거하고 콘크리트보의 하부 보강 표면을 그라인딩하여 표면 거칠기를 고르게 하였다. 그라인딩된 표면의 불순물 제거를 위하여 에어콤프레샤를 이용해 표면을 깨끗히 청소하였다. 접착제로 사용될 에폭시의 두께를 3 mm로 유지될 수 있도록 스페이서를 설치하고, 주입 에폭시가 새지 않도록 강판과 콘크리트의 경계면을 실링하였다.

실링제는 실내온도를 13℃ 이상에서 1일간 양생한후 에폭시 주입을 시행하였다. 에폭시의 접착력을 크게 저하시키는 공기구멍이 발생하지 않게 하기 위해 에폭시 주입용 건(gun)을 사용하여 에폭시를 주입하였다. 에폭시 주입 후 실험실 내에서 13℃ 이상을 유지하며, 7일간 양생한 후 본 실험을 수행하였다.

표 2-2 시험체 분류

시험변수	시험체분류	보강판			초기균열하중 (TON)
		길이 (m)	두께 (mm)	폭 (cm)	
초기균열 유무	S2*130*1.5	1.5	2.3	13	3.8
	S2*130*1.5*NOCR	1.5	2.3	13	-
강판길이	S2*130*0.8	0.8	2.3	13	3.8
	S2*130*1.9	1.9	2.3	13	3.8
강판두께	S3*130*1.5	1.5	3.3	13	3.8
	S4*130*1.5	1.5	4.0	13	3.8

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 파괴형상

실험결과 주된 파괴형상은 강판단부 위치에서 콘크리트 사인장파괴와 지간 중앙에서의 콘크리트 압축파괴로 나타났다. 각 시험체의 파괴형상은 표 3-1에 나타나 있다.

**콘크리트 사인장파괴:** 초기하중단계에서는 전 지간에 걸쳐 골고루 휨균열이 발생한다. 파괴하중 가까이에서 보강재 단부 위치의 콘크리트면에서 인장철근 높이 까지 45° 정도의 경사각을 갖는 사균열이 발생한다. 사균열이 발생한 후에는 다른 위치의 균열은 더 이상 발전하지 않고 사균열의 폭과 높이가 급격히 증가하고 인장철근 높이에서 수평방향의 균열로 발전하여 결국은 피복콘크리트가 떨어져 나오는 파괴형상을 나타내었다. 이러한 콘크리트 사인장파괴는 파괴시에 급격한 취성파괴 현상을 나타낸다.

**콘크리트 압축파괴:** 강판과 콘크리트하부의 접합부분에서 파괴가 일어나지 않고 대신에 인장축의 강판과 철근이 순차적으로 항복하여 지간중앙부에서 처짐이 커지고 휨 균열이 상부로 발전한다. 보춤의 95%까지 균열이 발전한 후 압축부분의 콘크리트가 압괴되는 휨

파괴현상을 나타내었다. 콘크리트 압축파괴는 파괴시에 최대 강도가 한 동안 유지되는 연성파괴현상을 나타내었다.

### 3.2 최대 강도 및 하중-변위관계

기존 균열의 유무에 따른 그룹시험체들에서는 기존 균열의 유무가 최대 강도에 별 영향을 주지않았다. 강판 길이가 증가함에 따라 최대 강도는 증가하는 경향을 나타내었다. 즉, 강판길이 1.5m로된 기본시험체가 7.7ton의 하중을 받은 결과에 비하여 강판길이 0.8m, 1.9m의 시험체는 각각 5.1ton, 10.3ton의 하중에서 파괴되었다. (그림 3.1) 강판두께에 달린 그룹 시험체들에서는 2.3mm, 3.3mm 강판의 경우에는 거의 동일한 크기의 최대 강도를 나타내었고 4mm보강 강판 시험체의 경우에는 2.3mm강판에 비해 오히려 최대 강도가 88%정도에서 파괴되었다. (그림 3.2) 보강구조물에 대한 재하실험 결과 각 시험체에 대한 최대강도를 표3.1에 표시하였다.

표 3-1 파괴형상 및 파괴하중

시험체명		파괴형상	사균열 발생시점 하중 (ton)	파괴하중 (ton)
초기 균열 유무	S2*130*1.5	철근, 강판 모두 탄성 변형. 강판단부에서 콘크리트 사인장파괴	6.3	7.7
	S2*130*1.5*NOCR	철근, 강판 모두 탄성 변형. 강판단부에서 콘크리트 사인장파괴	5.3	7.5
강판 길이	S2*130*0.8	철근, 강판 모두 탄성 변형. 강판단부에서 콘크리트 사인장파괴	5.0	5.1
	S2*130*1.9	철근, 강판 모두 항복 변형. 스패중앙 상단 콘크리트 압축파괴	9.3	10.3
강판 두께	S3*130*1.5	철근, 강판 모두 탄성 변형. 강판단부에서 콘크리트 사인장파괴	5.3	7.6
	S4*130*1.5	철근, 강판 모두 탄성 변형. 강판단부에서 콘크리트 사인장파괴	5.3	6.8

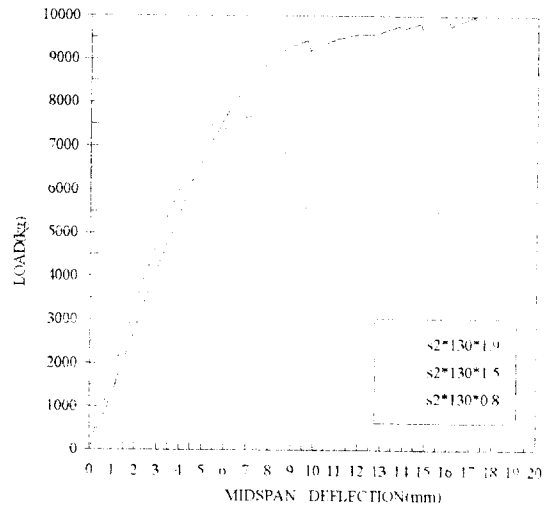


그림 3-1 하중-변위곡선(강판길이)

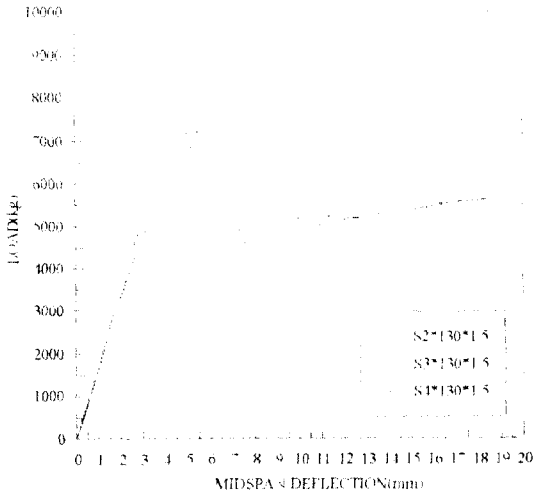


그림 3-2 하중-변위곡선(강판두께)

### 3.3 결과 분석

각 시험체의 최대 강도는 시험체의 파괴형상에 크게 의존하는 경향을 나타내었다. 콘크리트 사인장파괴형상을 나타낸 시험체의 경우에는 강판의 접착면적이 최대 강도를 결정하는 요인이 되었다.

시험체의 하중-변위 곡선에서 알 수 있듯이 보강길이를 1.9m로 한 시험체에서는 다른 시험체와 비교할 때 최대 강도 이후에도 상당한 연성도를 나타낸 반면에 사인장균열에 의한 파괴를 나타낸 시험체에서는 최대하중이 후에 급격한 취성파괴양상을 나타내었다. (그림 3.1) 그러나 인장철근이 아직 항복이전 단계이므로 무보강시험체의 최대하중이하로는 급격히 감소하지는 않고 5.4 ton 정도의 하중에서 연성도를 회복하는 것을 볼 수 있었다. 결국 강판보강시 콘크리트 압축파괴가 발생하기 이전에 보강단부에서 콘크리트의 파괴나 강판박리 현상을 방지하기 위해서는 보강단부에 집중된 응력량을 계산하여 바람직스럽지 못한 취성파괴형상이 발생되지 않도록 하여야 한다.

## 4. 결 론

- 이 연구를 수행한 결과 결론은 다음과 같다.
- (1) 초기균열 유무는 보강구조물의 구조적 거동에 큰 영향이 없다.
  - (2) 에폭시의 부착면적이 넓을수록 강판 단부에서의 사인장 파괴를 줄일 것으로 예상되며, 보강 강판의 접착길이는 보강 구조물의 극한 내력을 발휘하는데 필수적인 요소이다.
  - (3) 구조보강이 필요한 단면에서 보강판의 두께 및 폭은 가능한한 얇고 넓은 단면이 효율적이다.
  - (4) 에폭시 접착강판으로 보강된 철근콘크리트 보는 거동이 부분적으로 취성이고 따라서 구조물 보강설계에 대한 공학적 근거를 제시하기 위해서 연구가 더 보완되어야 한다.

이 연구는 (주)T.S본드 건설공업의 연구비와 보강시험체 제작지원에 의해서 이루어졌음을 밝히고, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

### < 참 고 문 헌 >

1. 최완철 외, “에폭시로 보강된 콘크리트 접합계면의 접착성능” 1994년 대한건축학회 춘계 학술발표 논문
2. 대한건축학회, “건축물의 안전진단과 보수보강” 세미나, 1993년 10월, 268pp
3. 일본수도고속도로공단, “보수용에폭시수지시공기준” 昭和 56년 2월
4. John R., Swamy R.N. and Bloxham: Structural Behaviour of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Epoxy Bonded Steel Plates, Structural Engineer, Vol. 65A. NO. 2 February 1987.