

앵커 접합 방법에 따른 강판 보강 RC보의 휨 거동에 관한 연구

A Study on the Flexural Behavior of Steel Plate Reinforced RC Beam by Anchor Conjugation

이 호*

Lee, Ho

요 약

오늘날 일부 아파트, 빌딩, 공연장 등 대형 건축물이 내진설계 의무 규정이 없던 시절에 완공돼 지진 대비 조치가 전혀 갖춰져 있지 않은 건축물이 많다. 이러한 건축물을 보강하는 공법 중 가장 널리 쓰이는 방법은 강판접착공법이다. 강판접착공법에 대해서는 많은 연구가 진행되어 오고 있으나, 보의 구조적 거동에 영향을 미치는 다양한 인자들의 영향이나 강성, 파괴양상 등에 미치는 영향 등에 대해서는 체계적인 평가가 이루어지지 않은 실정이다. 따라서 본 논문은 앵커에 변수를 준 강판 휨 보강을 앵커접합한 철근콘크리트보에 재하실험을 하여 얻은 자료를 통해 앵커접합에 따른 보의 휨 거동을 연구하여 정립하고자 한다.

Abstract

Most of apartments, buildings and venues today were built without consideration of earthquake when there was no mandate for an earthquake-resistant design. To reinforce such construction, a compressive method of steel plate is widely used. In spite of continuous researches on the compressive method of steel plate, it has not been systematically evaluated for the effects of various factors affecting the structural behavior of beam and its effect on intensity and failure. Therefore, this study aims to determine the flexural behavior of beam due to Anchor conjugation through the materials obtained by making load test for the Anchor conjugated steel plate while the anchor is set as variable.

키워드 : 강판보강공법, 앵커접합, RC보

Keywords : Method of Steel Plate Reinforced, Anchor Conjugated, RC Beam

1. 서 론

1.1 연구배경

1988년에 내진 설계법령이 시행되었다. 국내의 내진설계는 지난 1985년 멕시코 대지진을 계기로 1986년 내진설계법이 마련되어 1988년부터 적용되

었다. 이는 1988년도 전에 지어진 건축구조물은 내진설계법이 적용이 되지 않은 건축물이 60% 이상이 된다. 국토해양부에 따르면 6층 이상 건축물(대부분 민간건축물) 중 내진설계가 된 곳은 9만7천784개동 중 36%인 3만5천442개 동에, 교량, 터널 등 주요 교통시설은 1만 2천263개소 중 63%인 7천115개소에만 내진설계가 돼 있는 것으로 집계되었다. 더욱이 1988년 이전에 지은 건축물·교량·터널 등은 사실상 지진피해에 무방비 상태로 노출되어 있다.

국토해양부에 따르면 내진설계 의무 규정이 없던

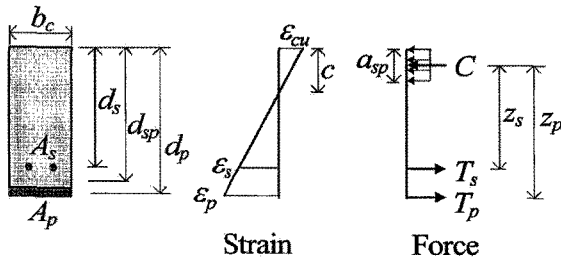
* 경북대학교 이공대학 건축도시환경공학부교수,
공학박사
Tel: 054-530-1372 Fax: 054-530-1379
E-mail : holee59@knu.ac.kr

시절에 완공된 일부 아파트와 빌딩, 공연장등은 지진 대비 조치가 전혀 갖춰져 있지 않은 것으로 조사되었다. 이는 지진과 같은 큰 재난이 발생하였을 경우 내진설계를 적용하지 않은 일부 아파트 빌딩, 공연장등 사람이 밀집되어 있는 건물의 주요 부재에 큰 손상이 발생하여 붕괴가 발생하여 큰 인명피해를 일으킬 것이 분명하므로, 이를 사전에 방지하기 위하여 보강을 해야 할 것으로 사료된다.

보강공법 중 가장 널리 쓰이는 방법은 강판접착공법이다. 철근콘크리트 보의 인장측에 강판으로 휨보강한 철근콘크리트 보의 휨강도는 일반적인 철근콘크리트 보의 공칭휨강도를 계산하는 식으로 사용되는 ACI 318-95에 제시되어 있는 식으로 정의할 수 있다.

$$M_{n,plated} = A_s f_{sy} \left(d_s - \frac{a_{sp}}{2} \right) + A_p f_{py} \left(d_p - \frac{a_{sp}}{2} \right)$$

$$a_{sp} = \frac{A_s f_{sy} + A_p f_{py}}{0.85 f_{ck} b_c}$$



〈그림 1〉 강판으로 휨보강된 RC보의 단면력

1.2 기존 연구 이론

Jones의 이론에서 콘크리트와 강판의 접착계면에서의 평행조건과 부재 단면의 변형접합조건을 이용하여 강판단부에서의 전단응력($f_{tp,x}$) 및 박리응력을 계산하였다.

$$f_{tp,x} = \left(1 + \frac{L_c}{x} \right) \frac{V y_p A_p n_p}{I_t b_p}$$

Roberts는 보강한 단면과 보강되지 않은 단면의 경계점 근처에서 발생하는 최대전단 응력 및 박리응력의 집중현상을 이용하여 최대 전단응력 및 박리응력을 1단계 : 보 이론에 의한 축력 및 전단응력 계산, 2단계 : 강판단부의 축력, 전단력, 휨모멘트

재하, 3단계 : 강판단부에 반대의 힘으로 전단력, 휨모멘트 재하. 3단계의 중첩과정을 통해 계산하였다. 보강판의 단부에서의 최대전단응력(τ_0)과 수직응력(σ_0)은 다음과 같다.

$$\tau_0 = \left[V_0 + \left(\frac{K_s}{E_p \cdot b_p \cdot t_p} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot M_0 \right] \frac{b_p \cdot t_p}{I \cdot b_a} (h_p - c)$$

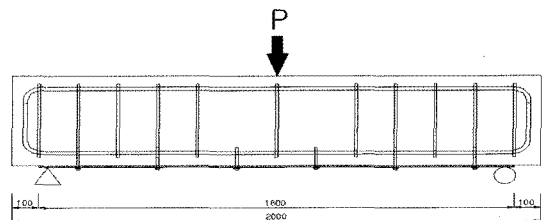
$$\sigma_0 = \tau_0 \cdot t_p \left(\frac{K_n}{4 \cdot E_p \cdot I_p} \right)^{\frac{1}{4}}$$

강판접착공법에 대해서는 많은 연구가 진행되어 오고 있으나, 보의 구조적 거동에 영향을 미치는 다양한 인자들의 영향이나 강성, 파괴양상 등에 미치는 영향들에 대해서는 체계적인 평가가 이루어지지 않은 실정이다. 또한, 기존의 연구 이론식을 실무에 적용하기에는 어려운 점이 많이 있다.

본 연구에서는 일련의 철근콘크리트 보 부재를 대상으로 하여 주요 실험변수로 앵커볼트의 크기, 앵커볼트의 길이 등 앵커볼트의 종류 및 접착제(에폭시)적용여부를 실험변수로 하여, 보부재의 휨 거동에 대해 강판접착공법을 적용하여 실험을 수행하였다. 실험결과를 이용하여 강판의 인장 및 철근콘크리트의 압축 그리고 앵커볼트에 따른 보의 휨 강도를 측정, 분석하였고, 이를 토대로 보 부재의 거동특성과 파괴 하중 및 파괴 양상을 분석하여 실무자로 하여금 시공 시 정확한 시공 자료를 이용하여 실무에 적용하도록 하는 것이 본 연구의 목적이다.

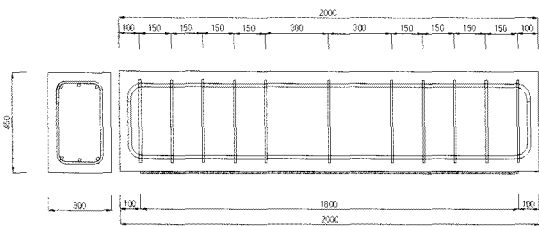
2. 본 론

2.1 실험체 개요

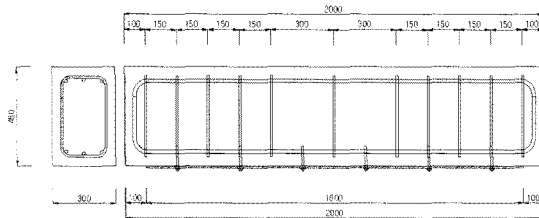


〈그림 2〉 실험체 상세 및 가력위치

4.5mm 강판으로 보강된 실험에서 사용된 철근콘크리트 보는 길이 2000mm, 폭 300mm, 높이 450mm로 제작되었으며, 인장철근으로 D16 3본과 압축철근 D16 3본을 사용하였다. 실험체의 크기를 실제 사용되는 보의 크기와 비슷하게 하였고 그에 따른 단부에서의 전단파괴를 방지하기 위하여 스텐드(D10)를 단부 150mm, 중앙부 300mm 간격으로 배근하였다. <그림 2>는 실험체 상세 및 가력위치를 나타낸 그림이다.



<그림 3> 실험체 A (하부 플레이트보강)



<그림 4> 실험체 B~E (하부 플레이트+앵커 보강)

2.2 실험체 변수

실험체 제작에 사용된 변수 <표 1>은 크게 에폭시만 사용한 경우와 앵커볼트만 사용한 경우, 그리고 에폭시와 앵커볼트 동시에 사용한 경우에 따라 10개의 실험체를 제작하였다. A 실험체는 강판과 콘크리트를 에폭시만으로 접착하고 앵커의 보강은 하지 않았다. B-1, B-2 실험체는 직경 8mm 길이 75mm의 HSA로 접합하였다. C-1, C-2 실험체는 직경 8mm 길이 75mm의 HSA를 주입식 케미컬 앵커(HY150)으로 접합하였다. D-1, D-2 실험체는 직경 10mm 길이 90mm의 HSA로 접합하였다.

E-1, E-2 실험체는 직경 10mm 길이 90mm의 HSA를 주입식 케미컬 앵커(HY150)으로 접합을 하였다.

모든 실험체는 SS400에 두께 4.5T의 강판을 철근콘크리트보의 인장측에 에폭시로 접합하였다.

<표 1> 실험체 개요 및 변수

실험체명	보강재 길이 (mm)	보강재 판폭 (mm)	앵커종류 및 규격
A-1	1800	300	無
A-2	1800	300	無
B-1	1800	300	HSA M8x75mm
B-2	1800	300	HSA M8x75mm
C-1	1800	300	HSA M8x75mm + HY150
C-2	1800	300	HSA M8x75mm + HY150
D-1	1800	300	HSA M10x90mm
D-2	1800	300	HSA M10x90mm
E-1	1800	300	HSA M10x90mm + HY150
E-2	1800	300	HSA M10x90mm + HY150

2.3 사용재료

2.3.1 콘크리트와 철근

콘크리트 배합에 사용된 시멘트는 포틀랜드 시멘트로 슬럼프 값 150mm, 설계기준강도 21MPa인 레미콘을 사용하였으며, 재료배합은 <표 2>와 같고, KS F 2403에 따라 제작한 공시체는 실험체와 동일 조건에서 양생시킨 후 콘크리트 압축강도 시험한 결과는 <표 3>과 같다.

<표 2> 콘크리트 재료 배합량

W/C (%)	각 재료의 배합량 (kg)				슬럼프 (mm)
	시멘트	물	잔골재	굵은골재	
53	330	150	960	900	150

<표 3> 콘크리트의 압축시험 결과

재령 (일)	슬럼프 (mm)	평균압축강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)
28	150	26.96	2.15×10^4

철근은 SD400 고강도 이형철근 스테럽 D10, 주근 D16을 사용 하였으며, 항복강도는 각각 341MPa, 354MPa로 <표 4>와 같다.

<표 4> 철근의 실험결과

구분	철근종류	항복강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)
주근	D16	341	2.0 × 10 ⁵
띠철근	D10	354	

2.3.2 보강재료

모든 앵커의 물리적인 성질<표 5>에 관한 내용은 제작회사에서 제시하는 시방서를 참조하였다.

<표 5> 앵커볼트의 물리적 성질

앵커규격(HSA)	M6	M10
A _s (mm ²) 나사신 부분의 응력단면적	36.6	58.0
f _{uk} (N/mm ²) 나사신 부분의 공칭인장강도	520	550
A _{s,i} (mm ²) 테이퍼 부분의 응력단면적	25.5	44.2
f _{uk} (N/mm ²) 테이퍼 부분의 공칭인장강도	650	650
W _{el} (mm ³) 저항 모멘트	31.2	62.3
M _{Rd,s} (Nm) 설계 휨 모멘트	18.7	37.4

주입식 케미컬 앵커(HY150)의 재질은 우레탄 메타 아크릴레이트 레진으로 제작회사의 물리적 성질 <표 6>은 제작회사에서 제시하는 시방서를 참조하였다.

<표 6> 에폭시의 물리적 성질

접착제 종류	인장강도 (MPa)	굴곡강도 (MPa)	압축강도 (MPa)	접착강도 (MPa)
HY150	36.28	50.99	84.33	10.78

보강재료 중 강판은 폭 300mm로 철근콘크리트

보의 하부에 길이 1800mm로 보강하였고, 두께는 4.5mm이다. 강판의 물리적 성질은 <표 7>와 같다.

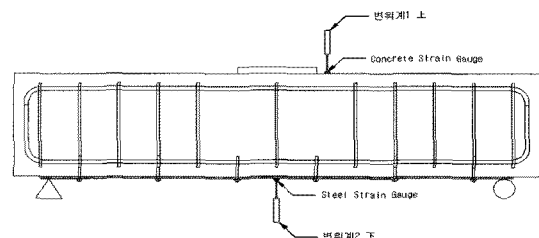
<표 7> 강판의 물리적 성질

강판 종류	탄성계수 (MPa)	항복강도 (MPa)	최대인장강도 (MPa)
SS400	2.0 × 10 ⁵	235	470

3. 실험 및 실험체 거동

3.1 실험 방법

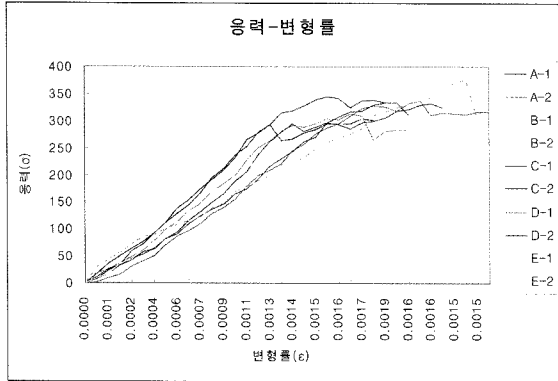
2000KN 용량의 유압식 Actuator를 사용하여 콘크리트 보 실험체의 휨실험을 실시하였다. 단순지지 경계조건을 만족하도록 실험체의 양쪽단부에서 135mm 떨어진 곳에 강제 물리를 설치하여 실험체를 지지하였다. 하중은 실험체의 중앙에 가하도록 하였다. 작용하중은 Actuator에 부착된 하중계 (Load cell)에 의해 측정되었으며, 작용하중에 대한 실험체의 처짐은 보의 중앙 상·하부에 설치된 변위계를 이용하여 측정하였다. 보의 인장변형률을 측정하기 위하여 플레이트 하부에 보의 중앙지점에 전기저항식 변형률 게이지를 부착하였다. 또한, 실험체의 콘크리트 압축변형률을 측정하기 위하여 게이지를 정중앙부에 설치하여야 하지만 Actuator에 의한 손상을 방지하기위하여 콘크리트 압축상단 중앙에서 180mm떨어진 위치에 부착하였다. 실험체의 파괴정도가 아닌 Actuator의 하중이 더 이상 증가하지 않을 때까지 하중을 준 후 하중을 제거 하여 파괴 하중의 데이터를 얻었다.



<그림 5> 게이지 및 변위계 위치

3.2 응력-변형률

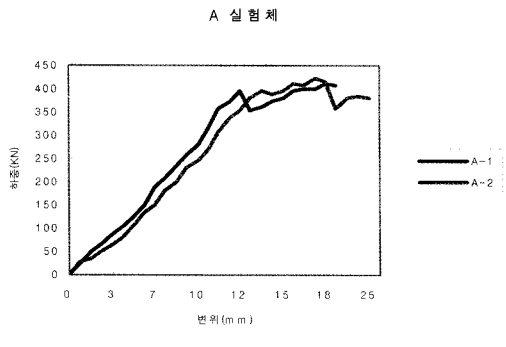
<그림 6>은 전체 실험체의 응력-변형률을 비교한 그래프이다.



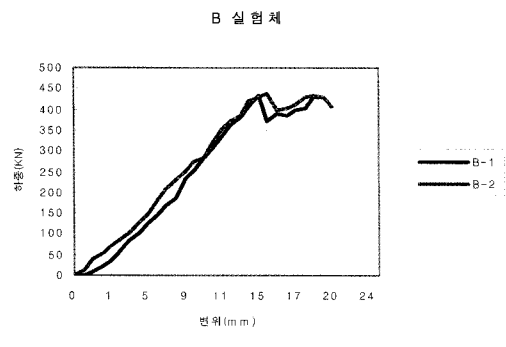
<그림 6> 전체 실험체의 응력-변형률 그래프

3.3 실험체 거동

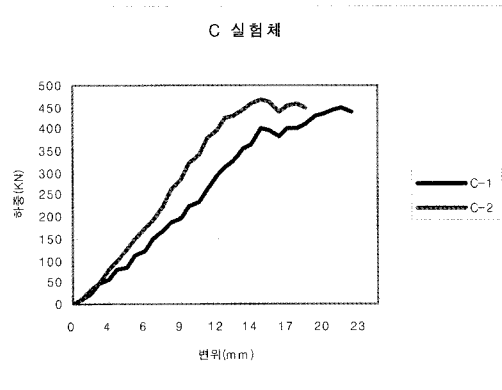
실험을 통해 얻은 각 실험체별 하중-변위 그래프는 다음 <그림 7> ~ <그림 11>과 같다.



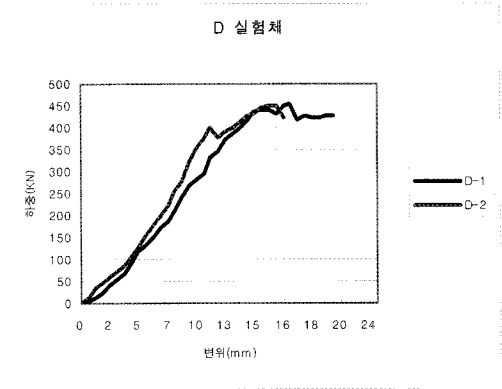
<그림 7> A 실험체 하중-변위 그래프



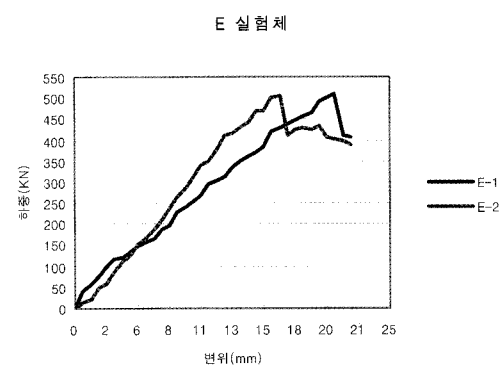
<그림 8> B 실험체 하중-변위 그래프



<그림 9> C 실험체 하중-변위 그래프



<그림 10> D 실험체 하중-변위 그래프

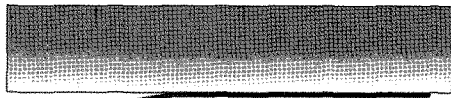


<그림 11> E 실험체 하중-변위 그래프

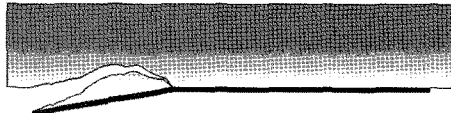
3.4 실험체 파괴양상

실험체가 파괴되면서 각 실험체가 비슷한 파괴양상을 보이고 있다. 파괴양상을 살펴보게 되면 보강재의 단부 박리 및 단부의 콘크리트 피복분리, 그리고 이 두 가지 현상이 복합적으로 일어났으며 이러

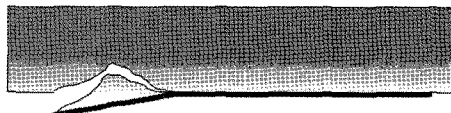
한 파괴양상을 <그림 12>에 그림으로 <그림 13>에 사진으로 각각 나타내었다.



(a) 파괴양상 1 - 단부박리 (S)



(b) 파괴양상 2 - 콘크리트피복분리(R)

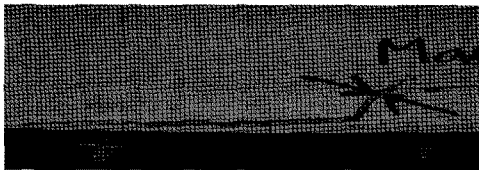


(c) 파괴양상 3 - (a) + (b) (S + R)

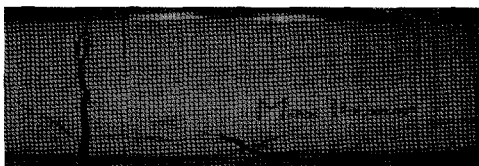
<그림 12> 파괴 양상(그림)



(a) 파괴양상1 - 단부 박리(S)



(b) 파괴양상2 - 콘크리트 피복분리(R)

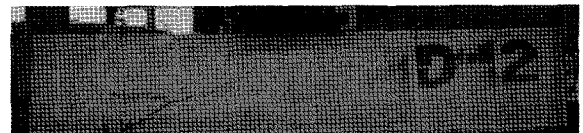
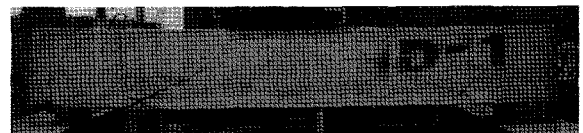
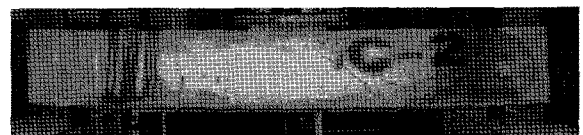
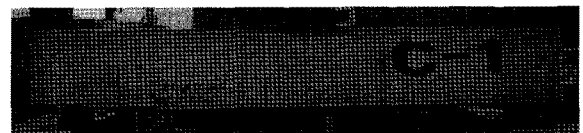
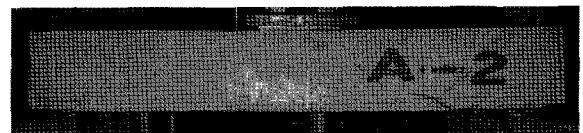


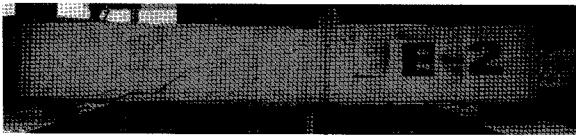
(c) 파괴양상3 - (S)+(R)

<그림 13> 실험체의 파괴양상(사진)

10개의 실험체 중 절반의 실험체는 단부박리가 일어났으며 나머지 5개의 실험체는 단부박리와 콘크리트 피복분리 현상이 함께 일어났다. 강판과 에폭시만으로 보강한 A-1, A-2 실험체는 단부 박리가

일어나면서 보강강판이 중앙부 쪽으로 끌려 들어오는 것을 확인할 수 있었다. 앵커는 콘크리트 모체와 강판의 박리를 지연시켰을 뿐만 아니라 보강재의 단부에서 보강재가 보의 중앙부로 끌려 들어오는 현상을 방지시켰다. <그림 14>에 재하 실험 종료 후 실험체 파괴형태를 나타내고 있다.





〈그림 14〉 실험체의 최종파괴형태

〈그림 14〉의 파괴 형태 중 강판의 단부 박리 현상 만 일어난 실험체는 앵커 보강을 하지 않은 A-1, A-2 실험체와 앵커 HSA + HY150 M8x75m + HY150를 보강한 C-1 실험체에서 나타났다. C-1 실험체는 에폭시 주입 시 시공불량으로 인한 콘크리트 모체와 강판의 접착강도 저하로 인해 박리 현상이 발생한 것으로 사료된다.

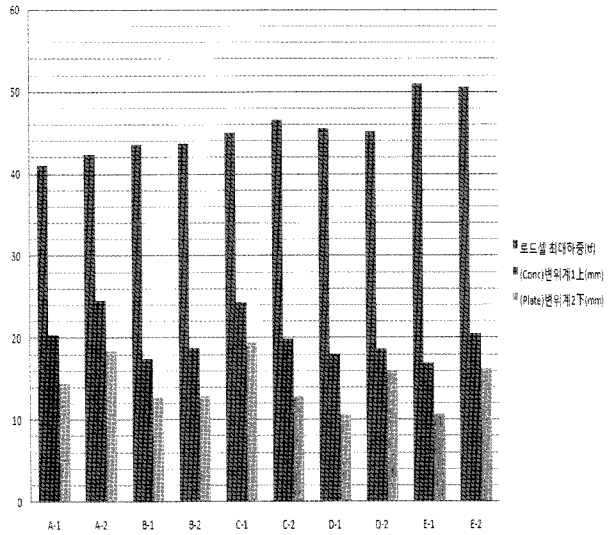
4. 실험결과

다음 <표 8>은 실험체 전체의 최대하중 및 상하부 최대 처짐에 대한 실험결과로 일반적으로 하부 변위계의 값을 실험체의 수직변위로 평가하기 때문에 상부의 처짐을 보정하지는 않았고, 상부 처짐에 대한 자료는 참고 자료이다. 〈그림 15〉는 실험체별 최대하중에 대한 변위를 비교한 실험 결과이다.

〈표 8〉 보강보 실험결과

실험체명	최대하중 (KN)	상부처짐 (mm)	하부처짐 (mm)	증가 (%)	파괴양상
A-1	410.14	20.39	14.49	-	R
A-2	423.18	24.56	18.45	-	R
B-1	435.23	17.48	12.76	6	S+R
B-2	436.74	18.88	12.85	6	S
C-1	449.79	24.3	19.53	9	R
C-2	466.36	19.68	12.86	13	S+R
D-1	455.81	18.01	10.62	11	S
D-2	451.29	18.65	16.06	10	S
E-1	509.02	16.91	10.6	24	S
E-2	505.01	20.47	16.19	23	S+R

실험체별 최대하중 및 변위계

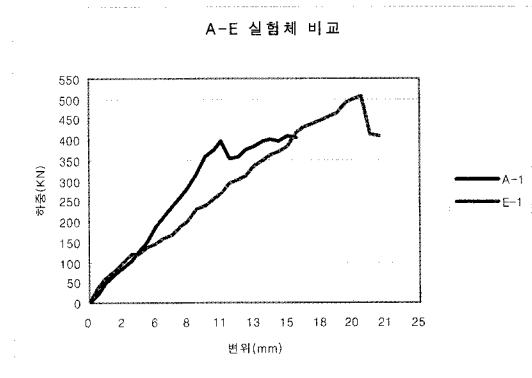


〈그림 15〉 최대하중 및 최대변위

4.1 실험체별 비교분석

4.1.1 A 실험체와 E 실험체의 비교 분석

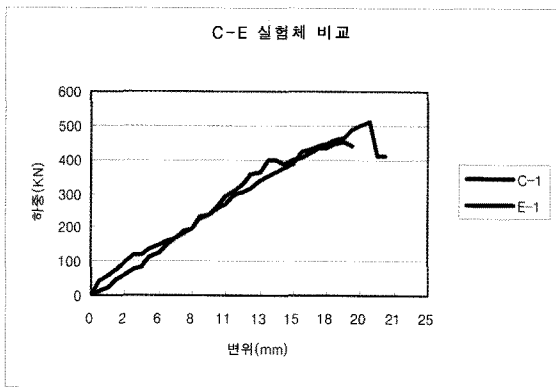
콘크리트 모체와 강판과의 접착을 에폭시만으로도 했을 경우와 앵커를 보강하였을 때는 확연한 차이를 보여주고 있다. HSA M10x90m + HY150로 보강된 E-1, E-2 실험체에서 최고하중을 나타내며 A-1, A-2 실험체보다 약 24%의 하중을 더 견딜 수 있는 것으로 파악하였다. 〈그림 16〉은 A 실험체와 E 실험체의 비교 그래프이다.



〈그림 16〉 A-E 실험체 비교 그래프

4.1.2 C실험체와 E 실험체의 비교 분석

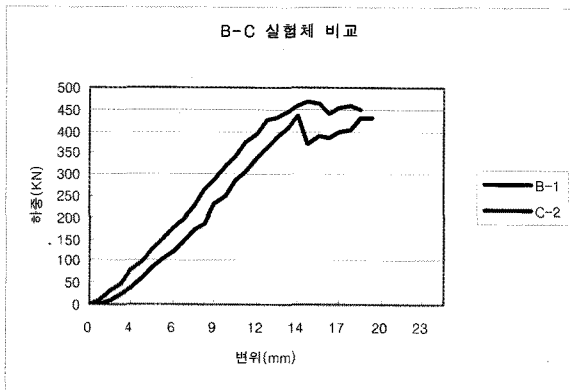
또한, HSA M8x75m+HY150로 보강된 C-1, C-2 실험체를 HSA M10x90m+HY150로 보강된 E-1, E-2 실험체와 비교하였을 경우 약13% 하중을 더 견딜 수 있는 것으로 파악하였다. <그림 17>은 C 실험체와 E실험체의 비교 그래프이다.



<그림 17> C-E 실험체 비교 그래프

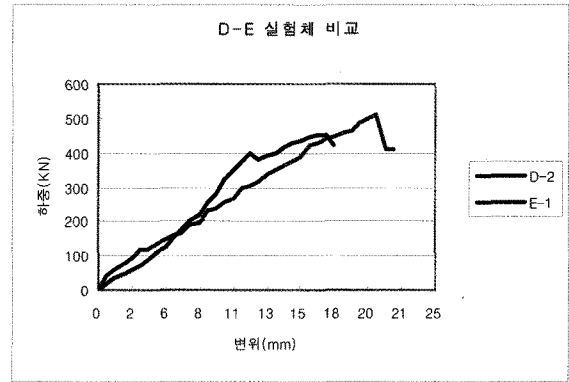
4.1.3 에폭시 사용여부에 따른 비교 분석

B실험체와 C실험체의 차이점으로 C실험체에만 에폭시를 사용하였다. <그림 18>은 B실험체와 C 실험체를 비교한 그래프로 B-1, C-2 실험체와 비교하였을 경우 에폭시를 사용한 C-2실험체가 최대 7.2% 하중을 더 견딜 수 있는 것으로 판단된다.



<그림 18> B-C 실험체 비교 그래프

<그림 19>는 D실험체와 E실험체를 비교한 그래프로 이 경우에도 E실험체에만 에폭시를 적용하였고, D-2, E-1 실험체와 비교하였을 경우 최대 13% 하중을 더 견딜 수 있는 것으로 파악하였다.



<그림 19> D-E 실험체 비교 그래프

위의 실험체별 비교분석에 나타나는 것과 같이 에폭시 사용여부와 앵커볼트의 직경 및 기계적 특성이 실험체의 최대 하중에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 앵커볼트의 종류에 따른 보강효과를 보면, 앵커볼트에 따라 차이를 나타내는데 그 값은 다음 <표 9>와 같다.

<표 9> 앵커볼트 및 에폭시 적용여부에 따른 실험결과

실험체	앵커볼트 종류 및 에폭시 적용여부	보강효과
A	앵커볼트 없음	-
B	HSA M8x75	1.06배
C	HSA M8x75 + HY150	1.13배
D	HSA M10x90	1.11배
E	HSA M10x90 + HY150	1.24배

5. 결 론

본 연구에서 앵커볼트의 종류에 따른 보강효과를 규명하기 위해 재하 실험을 하였고, 얻어진 실험결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 본 연구에서 실시된 보강보 실험결과 앵커볼트가 없이 강판을 보강한 최대내력과 앵커볼트를 설치한 보강실험체의 최대내력을 비교했을 때 약 1.24배의 보강효과를 나타내었다. 따라서 앵커볼트를 이용하여 보강하는 것은 효과적이라고 판단된다.

(2) B실험체(HSA M8×75)는 앵커볼트에 따른 보강효과가 A실험체와 크게 차이가 없었으며, E실험체(HSA M10×90 + HY150)는 보강효과 A실험체에 비해 폭이 서로 차이를 보였다. 보강효과를 보면 E 실험체(HSA M10×90 + HY150)가 가장 효과적이다.

(3) 강판과 에폭시만으로 보강한 A실험체는 단부 박리가 일어나면서 보강강판이 중앙부 쪽으로 끌려 들어오는 것을 확인할 수 있었다. 앵커볼트 보강보는 콘크리트 모체와 강판의 박리를 지연시켰을 뿐만 아니라 보강재의 단부에서 보강재가 보의 중앙부로 끌려 들어오는 현상을 방지시켰다. 이는 사용성에 있어서 중요한 부분이 될 것이다.

감사의 글

본 논문은 2008년도 KNU학술 연구비에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Jonse, R., Swamy R.N., and Ang, T.H., " Under- and Over- Reinforced Concrete Beams with Glued Steel Plates", the international Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol.4, No.1, Feb(1982), pp. 19-32
2. Roberts. T.M., "Approximate Analysis of Shear and Normal Stress Concentration in the Adhesive Layer of Plated RC Beams", The Structural Engineer. Vol.67, No.12, June

- (1989), pp.229-233.
3. ACI 318-95 Code (1995)
4. 심종성, 한만엽, 김규선, 이인범, 「강판으로 보강된 RC보의 조기파괴제어에 관한 실험적 연구」, 한국콘크리트학회 봄학술대회 논문집, pp. 585~591, 1998
5. 류기찬, 이영미, 김우석, 백승민, 곽윤근 「보강재에 의해 보강된 RC보의 휨보강효과에 관한 실험적 연구」 대한건축학회 학술발표논문집 제22권 제2호(2002)

- ▶접수일자 : 2010년 2월 8일
- ▶심사 완료일자 : 2010년 11월 5일
- ▶게재 확정일자 : 2010년 11월 20일