

# 개선된 인양홀을 이용한 정착장치로 보강된 RC 보의 거동

## Behavior of RC Beam Strengthened with Advanced Lifting Hole Anchorage System

오 민 호<sup>1)\*</sup>

김 태 완<sup>2)</sup>

박 선 규<sup>3)</sup>

Oh, Min Ho

Kim, Tae Wan

Park, Sun Kyu

### Abstract

In order to strengthen RC structures, various strengthening methods have been used. Particularly, external tendon strengthening method is very popular method to strengthen damaged structures in terms of efficiency, ease, economics. In this study, improved anchorage elements using the lifting hole were proposed to strengthen PSC or RC girder without any damage. Two types of anchorage elements were proposed and these elements were applied on six RC beams. Also, three types of existing anchorage elements were applied on three RC beams. Otherwise, any anchorage element was not applied on one RC beam to used as a control beam. To analyse behavior of these elements, static load tests were carried out. Test variables were anchorage shapes, prestressing level on the steel bar and tendon profiles. Deflections, strains and modes of failure were recorded to examine the strengthening effects of the beams. Ductility index and tendon stress were analyzed by comparing cracking load, yielding load and ultimate load. As a result, proposed anchorage elements using lifting hole were superior to existing anchorage elements in terms of strengthening effect and furthermore, they showed ductile behavior based on energy method.

**Keywords** : External tendon, Anchorage element, Lifting hole

## 1. 서론

포스트텐서닝 공법은 경제적이며 기술적인 공법으로 기존 교량의 허용하중을 증가시킬 목적으로 콘크리트 교량에 광범위하게 사용되어 왔고 강교와 목교에서 또한 성능향상을 위해 적용되어 왔다(Han and Park, 2005).

한국의 철근 콘크리트(RC)와 프리스트레스트 콘크리트(PSC) 교량의 보수·보강에 적용되는 공법은 솔 플레이트 공법(Sole plate reconstruction method), 강판 부착공법(Steel plate method), 외부 FRP 부착공법(Externally-bonded FRP method), 그리고 본 논문에서 연구한 외부강선 보강공법(External tendon method) 등이 있다(Park and Joe, 2005).

그 중 외부강선 보강공법은 적용성이 좋고 보강효율성이 높아 다양한 콘크리트 구조물의 보강에 사용되어 왔다. 그리고 구조적인 해석이 용이하고 경제성이 좋으며(Naaman, 2004), 보강 재료가 가볍기 때문에 추가적인 하중을 부담할 필요가 없다. 또한 설치가 간편하고 시공 기간이 짧으며(Transportation Research Board, 1997), 시공 후에 구조물 유지관리가 용이하고 긴장력의 조절을

통하여 보강 정도를 조절할 수 있다(AASHTO, 1998). 하지만 외부강선 보강공법은 강선이 설치된 정착장치가 충분한 수용능력이 없을 때에는 다양한 문제가 발생하게 된다(Ghallab and beeby, 2005; Angel C. Aparicio et al, 2002; Ayaho Miyamoto et al, 2000).

이석훈 등은 기존 구조물에 적용되고 있는 3가지 정착장치를 선별하여 실험을 수행하였고, 인양홀 주변 균열발생, 앵커볼트의 인발 및 단부파괴 등 다양한 문제점을 확인하였다(이석훈 등, 2008). 본 연구에서는 이러한 기존 정착장치의 단점을 보완하고 모체에 손상을 주는 앵커볼트를 최소한으로 사용하여 인양홀에 하중을 효율적으로 전달할 수 있는 2가지 유형(ESM1 Series, ESM2 Series)의 정착장치를 제안하였다. 그리고 정적재하실험을 통하여 기존 3가지 종류의 정착장치와 비교·분석 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험 변수

본 연구에서는 Table 1과 같이 폭×높이×길이가 각각

1) 정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정

2) 정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 연구교수

3) 정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 교수

\* Corresponding author : s4mecca@gmail.com 031-290-7530

• 본 논문에 대한 토의를 2010년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2010년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Table 1 Test Variables

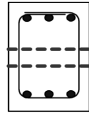
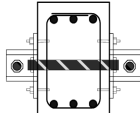
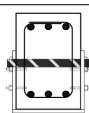
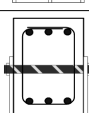
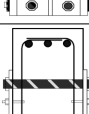
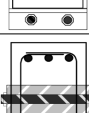
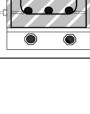
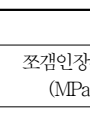
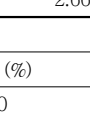
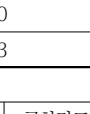
실험체 종류		$f_{ck}$ (MPa)	편심량 (mm)	긴장량 (kN)		긴장재 배치	크기 (mm)	정착장치형상
				강선	강봉			
표준 실험체	ST	30	-	-	-	-	3300 ×450 ×300	
Lifting-hole anchorage element (LHAE)	ED1		140	190	-	절곡		
	ES1		280	95	-	직선		
	ES2		280	95	-	직선		
Jacket-based anchorage element (JBAE)	ESM1		280	95	0	직선		
	ESM1-5		280	95	50	직선		
	ESM1-10		280	95	100	직선		
	ESM2		280	95	0	직선		
	ESM2-5		280	95	50	직선		
	ESM2-10		280	95	100	직선		

Table 2 Material Properties

콘크리트								
시멘트 (kg/m <sup>3</sup> )	물 (kg/m <sup>3</sup> )	잔골재 (kg/m <sup>3</sup> )	굵은 골재 (kg/m <sup>3</sup> )	혼화제 (g/m <sup>3</sup> )	물-시멘트비	압축강도 (MPa)	휨인장강도 (MPa)	쪼갠인장강도 (MPa)
394.0	177.4	749.7	978.9	30.85	0.42	28.9	3.37	2.66
보강 철근								
종류	항복강도 (MPa)			인장강도 (MPa)			연신율 (%)	
D10	409			637			20.0	
D13	454			621			21.0	
D16	485			601			22.3	
PS 강선					PS 강봉			
종류	지름 (mm)	면적 (mm <sup>2</sup> )	인장강도 (kN)	연신율 (%)	지름 (mm)	항복강도 (kN)	인장강도 (kN)	극한강도 (kN)
SWPC7B	12.7	98.7	183.4	3.5	34	671	828	804
강판								
항복강도 (MPa)		인장강도 (MPa)		허용 휨압축응력 (MPa)		허용 전단응력 (MPa)		지압응력 (MPa)
313.8		480.3 ~ 588.4		186.3		107.9		274.6
앵커 볼트								
볼트지름 (mm)		전체길이 (mm)		Expansion Sleeve 길이 (mm)		최소 삽입 깊이 (mm)		전체 외경 (mm)
18		130		55		100		23.5

300mm×450mm×3300mm 크기인 10개의 보를 제작하였고, LHAE와 JBAE를 사용하여 외부 긴장력을 가하였다. 1개의 보는 정착장치가 없는 보이고, 3개의 보는

기존의 인양홀을 이용한 정착장치(LHAE)를 사용하였으며, 나머지 6개의 보는 제안된 인양홀을 이용한 정착장치(JBAE)를 사용하였다. 실험 변수는 크게 두 가지 개념으

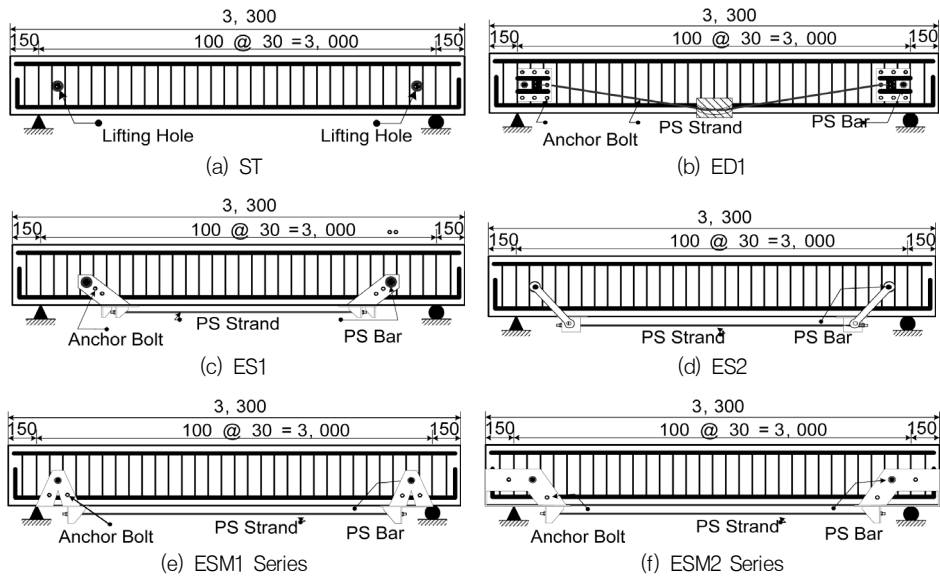


Fig. 1 Detail of the Beams

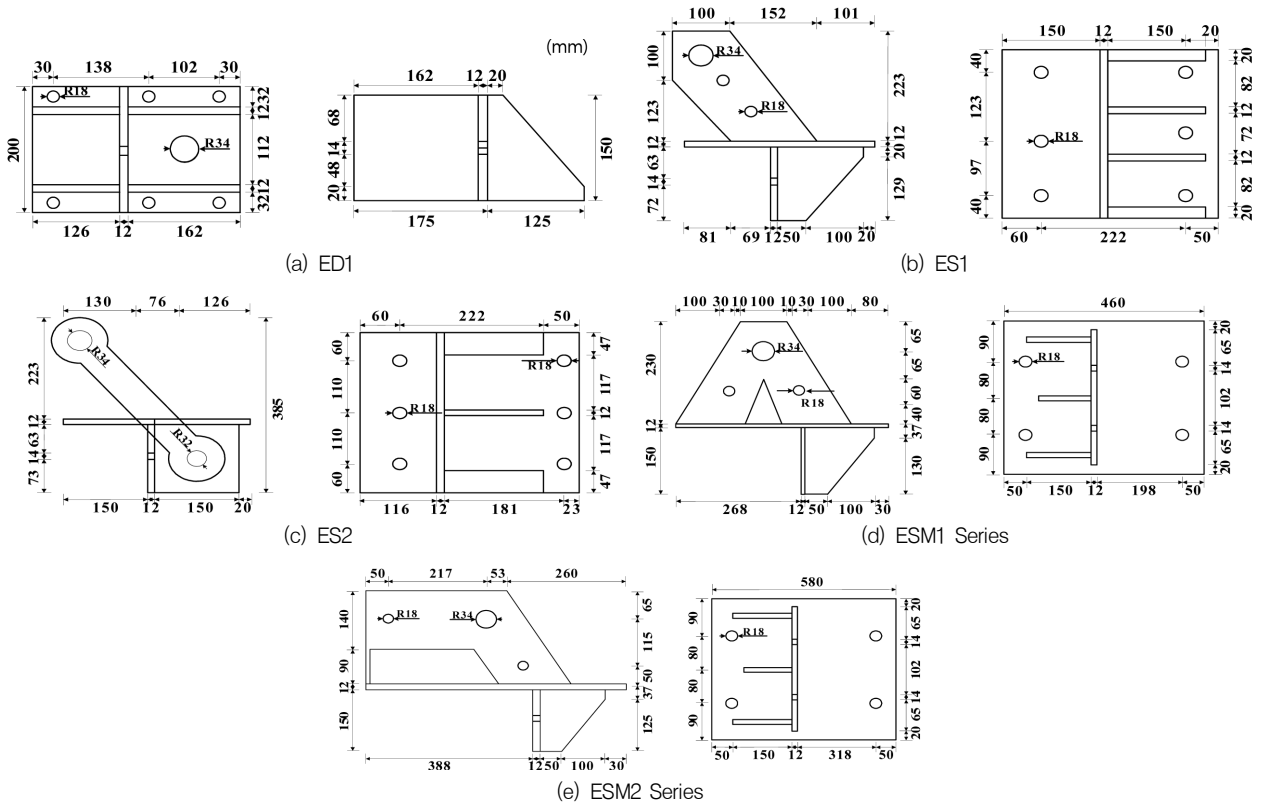


Fig. 2 Detail of the Anchorage Elements

로 설정하였다. 첫째는 실험체의 지간 중앙에 동일 보강량을 도입할 수 있도록 실험 변수를 정하여 정착장치 형상에 따른 성능을 평가하였고, 둘째는 극한 하중 가력 시 정착장치가 받는 우력 모멘트의 중심이 되는 정착장치의 인양홀 부분과 콘크리트 보의 압착력에 따른 파괴 양상의 변화를 파악하기 위해 JBAE의 인양홀에 사용되는 강봉

의 긴장력을 변화시켜 실험을 수행하였다.

## 2.2 실험 재료

콘크리트는 설계기준강도 30MPa인 레미콘 제품을 사용하였으며, 실험체에 배근된 철근은 항복강도가 400MPa

인 이형철근으로써 D10, D13, D16철근이 각각 사용되었다. 인양홀에 사용된 강봉은  $\varnothing 34\text{mm}$ 를 사용하였다. 자세한 실험 재료의 상세는 Table 2에 나타나있다.

정착장치와 실험체가 일체 거동하게 하기 위하여 에폭시를 충전제로 사용하여 하중재하 시에 실험체와 정착장치의 이탈을 방지하였다. 또한 정착장치와 실험체의 결속을 위해 고하중 sleeve anchor를 사용하였다.

### 2.3 실험체 제작

실험체는 한국콘크리트학회(KCI, 2003)의 구조물 기준에 기초하여 만들어졌다.  $300\text{mm} \times 450\text{mm}$ 인 직사각형 단면에 피복 두께는  $30\text{mm}$ 이고 순지간 거리는  $3000\text{mm}$ 이다. 압축철근은  $3@D13$ , 인장철근은  $3@16$ 을 배근하였다.

전단 철근은 D10 철근을  $100\text{mm}$  간격으로 배근하여 휨파괴를 유도 하였고, 보강철근은 균형철근비 이하로 배근 하였다. Fig. 1에 각각의 보의 형태를 나타내었다.

실험체의 양단부에 인양홀을 천공하여 Fig. 1과 같이 제작된 정착장치와 강봉을 장착하였으며, Table 1과 같이 외부 긴장을 실시하였다.

Fig. 2는 기존의 인양홀 정착장치인 LHAE와 본 연구에서 새롭게 제안된 인양홀 정착장치인 JBAE의 상세를 보여주고 있다. LHAE(ED1, ES1, ES2)는 하중 재하시 작용하는 긴장력이 인양홀의 강봉과 앵커볼트의 전단에 의해 지지되게 설계 되었으며 JBAE(ESM1, ESM2 series)의 경우에는 하중 재하시 작용하는 긴장력을 플레이트 모서리의 접합력과 인양홀의 강봉 및 앵커볼트에 의해 지지 되도록 설계 하였다.

### 2.4 재하 및 측정방법

하중 재하는 Fig. 3에서 보는 바와 같이  $980\text{kN}$  용량의 UTM(Universal Test Machine)을 사용하여 실험체의 지간 중앙에서 양쪽으로  $100\text{mm}$ 의 거리를 두고 2점 재하를 실시하였다. 가력은  $0.05\text{mm}/\text{sec}$ 의 비율로 변위제어 방식을 사용하여 파괴 시까지 하중을 재하 하였다. 측정은 정적 데이터 자동기록계와 컴퓨터를 사용하여 1초 간격으로 측정하였다. 또한, 처짐을 측정하기 위해서 보의 L/4의 위치와 중앙지점에 LVDT를 설치하였다. 철근의 변형을 측정하기 위해 전기저항 스트레인 게이지(측정한계:  $15,000\mu\epsilon$ )를 폭 중앙부 및 하중 재하 위치의 인장철근과 압축철근 부에 설치하였으며, 콘크리트 게이지는 콘크리트 지간 중앙의 상부, 중앙부, 하부에 부착하였다. 그리고 각 인양홀 정착 장치에 스트레인게이지를 설치하여 하중 재하에 따른 정착장치의 변형을 측정하였다. 이와 같이 설치된 센서로부터 나오는 데이터는 동적 변형을 측정

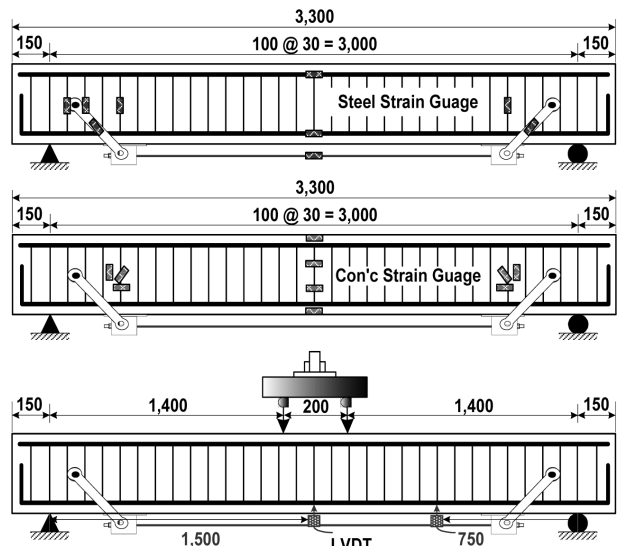


Fig. 3 Detail of Test Setup

장치인 EDX-1500A로 받아들이고 컴퓨터를 이용하여 데이터를 정리하고 결과를 분석하였다.

## 3. 실험 결과 및 분석

### 3.1 파괴 양상



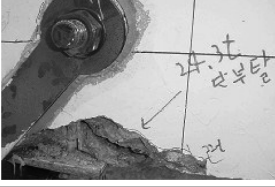


표준실험체를 포함한 모든 콘크리트 보 실험체는 하중 증가에 따라 균열이 길어지고, 철근 항복 후에는 균열 폭이 증가하는 휨파괴 현상을 나타내었다. 그러나 Table 3에서 보듯이 LHAE의 정착장치가 설치된 정착단부에서는 균열발생, 단부 파괴, 앵커볼트 인발과 이로 인한 정착장치의 이동이 발생한 반면 JBAE의 정착장치가 설치된 정착단부에서는 에폭시 탈락만이 발생하였으며 극한 하중 상태에서도 정착장치 주변의 균열 및 단부 파괴는 발생하지 않는 안정적인 파괴거동을 보였다.

### 3.2 하중-처짐 관계

Fig. 4, Fig. 5 및 Table 4에서 각 실험체의 실험결과를 살펴보면, 표준 실험체와 비교하여 기존의 정착장치를 사용한 ED1, ES1 및 ES2의 항복하중은 각각 41%, 88% 및 69%의 증가를 보였으며 제안된 정착장치를 사용한 ESM1 및 ESM2 series의 항복하중은 각각 100%~117% 및 110%~148% 증가하였다.

각 실험체의 극한하중의 경우 ED1, ES1 및 ES2는 표준 실험체의 극한하중에 비해 각각 66%, 86% 및 63% 증가하였으며, ESM1 및 ESM2 series의 극한하중은 각각 117%~135%, 132%~140%가 증가하였다. 이러한 결과는 제안된 정착장치가 기존의 정착장치보다 하중에 효

Table 3 Failure Modes

실험체	파괴양상	정착장치	에폭시	앵커볼트	파괴 모드
ST	-	-	-	-	휨파괴 현상
ED1		정착장치 주변 균열 발생	에폭시 탈락과 균열발생	이상 없음	휨파괴 현상
ES1		단부 파괴	에폭시 탈락	앵커볼트 인발	단부 파괴
ES2		단부 파괴	에폭시 탈락과 균열발생	앵커볼트 인발	단부 파괴
ESM1		정착장치에 이상 없음	항복 하중 이후에 에폭시 탈락	이상 없음	휨파괴 현상
ESM1-5					
ESM1-10					
ESM2		정착장치에 이상 없음	극한하중에 이르러 에폭시 탈락	이상 없음	휨파괴 현상
ESM2-5					
ESM2-10					

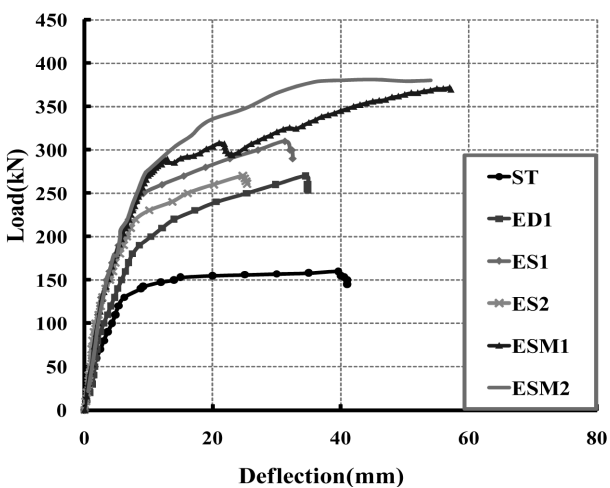


Fig. 4 Load-Deflection relationship on Anchorage Type

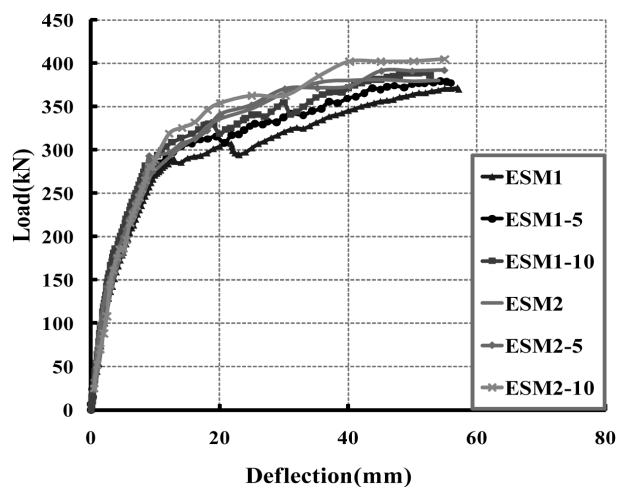


Fig. 5 Load-Deflection relationship on Prestressing Level

율적으로 저항한다는 것을 나타낸다. 이는 기존의 정착장치에서는 정착장치의 이동, 단부파괴, 앵커볼트의 인발 등

의 문제가 발생하지만 제안된 정착장치에서는 이러한 문제가 발생하지 않고 구조적으로 효율적인 하중 전달구조

Table 4 Results of the Test

실험체		균열하중 (kN)	항복하중 (kN)	극한하중 (kN)	정착장치에 의한 증가량 $\left(\frac{\text{보강실험체}}{\text{표준실험체}} - 1\right) \times 100$		강봉 긴장에 의한 증가량 $\left(\frac{\text{긴장실험체}}{\text{비긴장실험체}} - 1\right) \times 100$	
					항복 (%)	극한 (%)	항복 (%)	극한 (%)
표준실험체	ST	55	133	167	0	0	-	-
LHAE	ED1	97	187.5	278	41	66	-	-
	ES1	118	251	311	88	86	-	-
	ES2	115	225	272	69	63	-	-
JBAE	ESM1	105	267	364	100	117	0	0
	ESM1-5	120	275	379	107	127	3	4
	ESM1-10	138	288	393	117	135	8	8
	ESM2	118	280	388	110	132	0	0
	ESM2-5	132	299	394	122	136	7	2
	ESM2-10	150	318	401	148	140	14	3

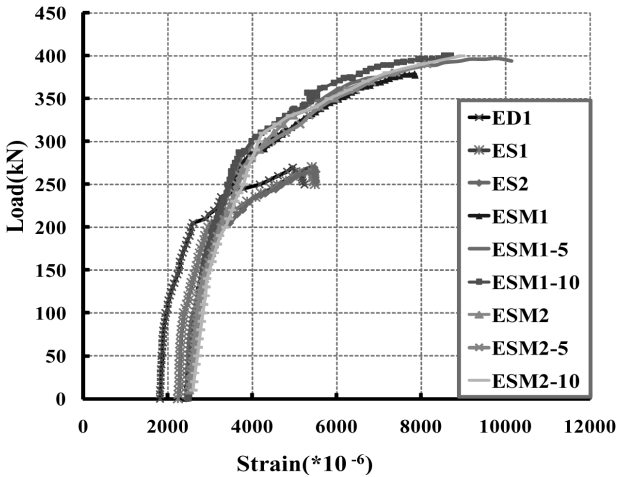


Fig. 6 Load-Strain relationship of External Strand

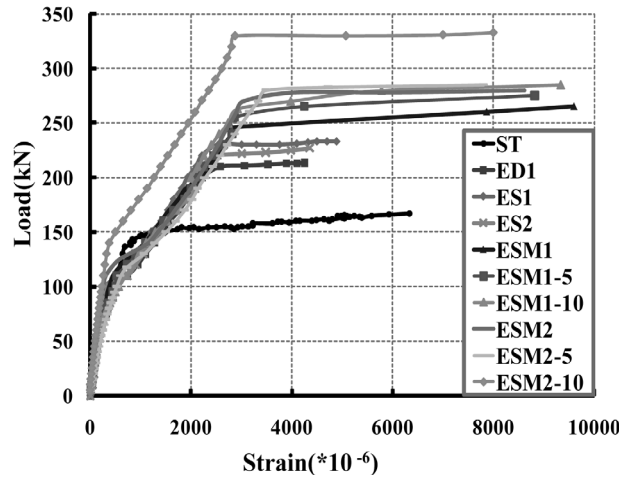


Fig. 7 Load-Strain relationship of Tension Rebars

를 확보하였기 때문이라 생각된다.

강봉의 긴장력에 따른 보강효과를 살펴보면, ESM1 series는 극한하중이 4%~8% 증가하였으나, ESM2 series는 극한하중이 2~3%로 미소한 증가를 보였다. 이는 ESM2 series의 보 끝에 위치하는 정착장치가 하중의 일부를 부담하여 강봉의 긴장력에 따른 보강효과가 줄어들기 때문이라고 생각된다.

처짐량을 살펴보면 표준 실험체의 극한하중에서의 최대 처짐은 대략 67.9mm이고, ED1, ES1 및 ES2의 최대 처짐은 각각 34.9mm, 32.5mm 및 25.4mm로 나타났다. 그리고 ESM1 및 ESM2 series는 각각 52.7mm~57.2mm, 56mm~57mm의 처짐을 보였다. 즉 외부강선으로 보강하였을 때 최대 처짐은 표준 실험체보다 적게 나타났다.

### 3.3 하중-강연선 변형률 관계

Fig. 6은 각 실험체의 하중에 따른 외부강선의 변형률 측정 결과를 나타낸 것이다. 외부강선의 변형률 측정 결

과 긴장재는 철근이 항복한 이후 외력에 추가 저항하기 위해 강선 응력이 급격히 증가하여 변형이 크게 발생하는 것을 확인 할 수 있었다. 그리고 기존 정착장치가 사용된 실험체에 비해 제안된 정착장치가 사용된 실험체들의 긴장재가 훨씬 큰 하중을 부담할 수 있는 것으로 나타났다. 이것은 제안된 정착장치가 단부 파괴 또는 국부적인 손상이 없으므로 실험체가 극한 상태에서도 긴장력을 유지시킬 수 있는 것으로 판단된다.

### 3.4 하중-인장철근 변형률 관계

Fig. 7은 하중에 따른 인장철근의 변형률을 나타낸 것이다. 실험체의 중앙지점의 인장 철근은 초기 균열 발생 시 급격한 변형률의 증가를 보이며, 하중의 증가에 따라 항복 변형률에 도달하였다. 또한, 제안된 정착장치가 사용된 실험체는 동일 하중 하에서 기존의 정착장치가 사용된 실험체보다 인장철근의 변형률이 적게 나타나 제안된 정착장치의 강연선이 부담하는 하중이 더 크다는 것을 확인

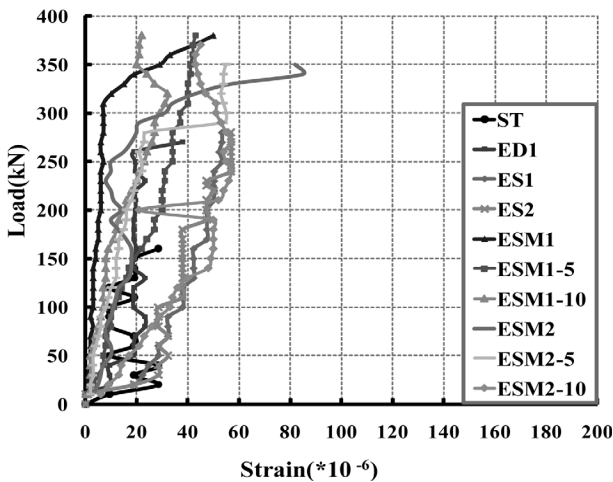


Fig. 8 Load-Strain relationship of Shear Reinforcements

할 수 있었다.

### 3.5 하중-전단철근 변형률 관계

Fig. 8은 하중에 따른 전단철근의 변형률 결과를 나타낸 것이며 하중 증가에 따라 전단 철근의 변형은 거의 발생하지 않았다. 표준실험체에 비해 보강된 실험체의 전단 철근 변형률이 매우 미소하게 나타나 인양홀을 이용한 정착장치는 정착단부의 전단력을 감소시키는 효과를 알 수 있었다.

### 3.6 변위연성지수를 사용한 연성도 평가

연성이란 재료, 구조단면, 구조부재 또는 구조계가 심각한 저항성의 손실이 없이 붕괴하기 전까지 보여주는 비선형 변형을 나타내는 개념이다. 일반적으로 철근콘크리트 보에서는 취성파괴를 방지하고 구조 부재의 변형에너지 흡수 능력을 확보하기 위하여 어느 정도 이상의 연성을 확보하여야 한다. 이와 더불어 부정정 구조 부재의 경우 연성은 위험단면의 과잉 응력을 다른 단면으로 재분배시켜 국부파괴를 지연시키는 중요한 역할을 한다. 연성을 측정하기 위한 방법으로 연성지수(Ductility Index) 또는 연성계수(Ductility Factor)가 사용되는데 이는 극한하중과 항복하중에서의 곡률, 회전, 처짐의 비율로 정의할 수 있으며 식(1)과 같이 나타낸다. 연성지수가 높으면 구조물의 연성이 높다는 것을 의미한다.

$$\mu_{\phi} = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad \mu_{\theta} = \frac{\theta_u}{\theta_y} \quad \mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (1)$$

$\mu$  : 부재의 연성지수,  $\phi$  : 부재의 회전계수,  
 $\theta$  : 부재의 곡률,  $\Delta$  : 부재의 처짐

Table 5 Ductility Index based on Displacement

실험체	항복하중		극한하중		변위 연성지수	
	하중 (kN)	처짐 (mm)	하중 (kN)	처짐 (mm)		
표준 실험체	133	6.5	167	67.9	10.4	
LHAE	ED1	188	8.6	278	34.5	4.0
	ES1	251	9.1	311	31.3	3.4
	ES2	255	7.0	272	24.7	3.5
JBAE	ESM1	276	12.3	378	51	4.1
	ESM1-5	282	13.7	387	54	3.9
	ESM1-10	315	14	394	56	4.0
	ESM2	300	12.3	386	50.2	4.1
	ESM2-5	307	14.2	392	54	3.8
	ESM2-10	325	16.2	398	55	3.4

본 실험에서는 실험체가 항복할 때의 처짐과 극한하중에 도달할 때의 처짐의 비로 표현되는 변위연성지수를 사용하여 부재의 연성도를 평가하였으며, 실험체의 변위연성지수는 Table 5와 같다. 변위연성지수를 평가해본 결과 표준실험체는 10.4로 높은 값을 보였으나 외부강선으로 보강된 실험체는 전부 4.0 이하로 평가되어 외부강선으로 보강 시 연성이 상대적으로 낮아지는 것으로 확인되었다.

### 3.7 에너지 개념을 이용한 연성도 평가

에너지 개념에 기초한 연성은 비탄성, 탄성 그리고 전체에너지 중에 두 개의 비로써 정의된다. Fig. 9는 하중-변형 곡선에서 탄성, 비탄성 에너지를 산정하는 방법이다. 여기서 기울기 S1, S2, S3는 수치적분을 적용하여 계산한 값이며 하중 P1, P2는 각각 다른 구간의 기울기를 연장하여 만나는 점의 하중을 뜻하고 하중 P3는 극한하중을 뜻한다. 이때 탄성에너지 기울기 S는 식(2)와 같이 나타낼 수 있으며 Fig. 9에 나타난 바와 같이 각각의 영역의 면적을 계산하여 탄성 및 비탄성 에너지의 크기를 산정한다.

$$S = \frac{P_1 S_1 + (P_2 - P_1) S_2 + (P_3 - P_2) S_3}{P_3} \quad (2)$$

$$ER = \frac{E_{incl}}{E_{tot}} \quad (3)$$

Grace의 연구결과에 의하면, 비탄성에너지와 전체에너지의 비로 연성지수를 정의하는 방법은 연성의 측정에 있어 더 좋은 방법으로 제안되었다(Grace and Abdel-sayed, 1998). 에너지 비는 식(3)과 같이 전체에너지와 비탄성에너지의 비로 나타낼 수 있다. 이는 구조물의 파

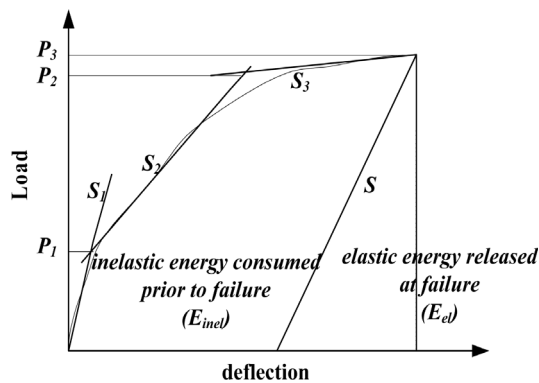


Fig. 9 Total, Elastic and Inelastic Energy

Table 6 Ductility Index based on Energy

실험체		에너지비	
		Einel/Etot	연성 분류
표준 실험체		94%	Ductile
LHAE	ED1	76%	Ductile
	ES1	80%	Ductile
	ES2	79%	Ductile
JBAE	ESM1	86%	Ductile
	ESM1-5	87%	Ductile
	ESM1-10	87%	Ductile
	ESM2	85%	Ductile
	ESM2-5	87%	Ductile
	ESM2-10	85%	Ductile

괴할 때까지 소산된 비탄성 에너지가 전체 에너지에서 차지하는 비를 나타낸다. 에너지 비가 75% 이상이면 연성 파괴가 지배적이 되며, 에너지 비가 70%~74%이면 반연성, 에너지비가 69%이하일 때 보는 취성파괴가 지배적이 된다. 본 연구에서는 에너지 개념에 기초하여 연성을 측정하였고 Table 6에 각 실험체의 연성을 분류하였다.

Table 6에서 보듯이 인양홀을 이용한 정착장치를 사용한 보들은 에너지비가 76%~87%로써 모두 충분한 연성을 확보하고 있었다. 기존의 변위연성지수를 사용한 연성도 평가에서는 인양홀을 이용한 정착장치를 사용한 실험체의 연성이 낮게 평가되었지만 에너지 개념에 의한 연성도 평가에서는 전부 연성을 확보하고 있는 것으로 나타났다. 또한 제안된 정착장치를 사용한 보의 기존의 정착장치를 사용한 보에 비해 6%~11%정도 에너지 비가 높게 나타나 제안된 정착장치의 에너지 흡수 능력이 크을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 기존에 사용되고 있는 3개의 LHAE (Lifting-hole anchorage element)와 새롭게 개발한 6개의 JBAE (Jacket-based anchorage element)로 보

강된 보를 제작하였고, 휨 실험을 수행하여 거동을 비교·분석 하였다. 실험결과 제안된 정착장치(JBAE)를 적용한 보강 실험체는 모체에 손상을 최소화하면서 구조부재가 극한상태에서도 안정한 것을 확인 할 수 있었다. 사용 정착장치 및 가력, 긴장력 등을 실험변수로 선택하여 휨 실험을 실시한 후 제한적 범위 하에서 도출한 결과는 다음과 같다.

1) 외부강선으로 보강된 실험체의 철근의 항복하중과 극한하중은 큰 증가를 보였다. 특히, JBAE를 사용한 실험체는 항복하중과 극한하중이 각각 100%~148%, 117%~140% 증가하여 LHAE를 사용한 실험체에 비해 대략 1.3배 정도의 높은 보강효율성을 보였다.

2) 강봉에 긴장력을 도입한 경우 ESM1 series는 극한하중이 4%~8% 증가한 반면 ESM2 series는 극한하중에서 1~2%의 미소한 보강효과를 나타내었으며 이에 따라 강봉의 긴장력에 따른 보강효과는 정착장치 형상에 따라 차이를 보이는 것을 알 수 있었다.

3) 보강 실험체들은 표준실험체에 비하여 상대적으로 낮은 연성을 갖고 있었지만, 에너지 개념을 도입한 연성도 평가를 통해 충분한 연성을 확보하고 있음을 알 수 있었다.

4) 기존의 정착장치에서는 정착장치의 이동, 단부 파괴, 앵커볼트 인발 등의 문제점이 발견되었다. 하지만 개선된 정착장치에서는 이러한 손상 없이 극한하중에서 에폭시만 탈락하는 안정된 거동을 보여줌으로 모든 긴장력을 인양홀에 받는 구조적으로 효율적인 하중 전달 구조를 가진 것으로 판단된다. 또한 이로써 결론 1)과 같이 기존의 정착장치보다 높은 보수 성능을 보였다.

#### 감사의 글

본 논문은 건설기술혁신사업(05건설핵심D11)인 “고성능 콘크리트 구조물의 구조설계 지침 및 매뉴얼 작성”의 지원을 받아 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 김형규, 양동석, 박선규, 엄준식, “자켓-반침형 정착장치를 이용한 외부 강선으로 보강된 RC보의 실험적 평가”, 대한토목학회논문집, 제23권, 3A호, 2003, pp. 503-511.
- 배종완, “인양홀 이용 개선된 정착장치로 외부 보강된 PSC보의 거동”, 성균관대학교, 석사학위논문, 2009.
- 오병환, 유성원, 조윤구, 서정인, “강선 형상과 편향부수에 따른 외부 강선을 가진 PSC 보의 휨거동 실험”, 대한토목학회 논문집, 제23권, 4A호, 2003, pp. 795-804.
- 유성원, 홍경욱, “부분부착 강선 모델을 이용한 외부 프리스트레스트 콘크리트 보의 휨해석 및 휨성능개선”, 대한토목학회 논문집, 제20권, 5A호, 2000, pp. 813-821.
- 이상열, 이재형, 한만엽, “외부프리스트레스 보강 공법에 사용되는 인장형 단부 브라켓의 개발연구”, 대한토목학회논문집, 제 20권, 제4호, 2001, pp. 611-618.



- 
6. 이석훈, 홍성남, 한경봉, 박선규, “인양홀을 이용한 외부 강선 보강 철근 콘크리트 보의 거동 특성”, 한국 구조물진단유지관리공학회논문집, 제12권, 4호, 2008, pp. 98-107.
  7. American Association of State Highway and Transportation Officials, Standard Specifications for Highway Bridges Sixteenth Edition, AASHTO, 1998.
  8. Aparicio, A. C., Ramos, G, and Cass, J. R., “Testing of externally prestressed concrete beams”, Engineering Structures, Vol. 24, Issue 1, 2002, pp. 77-84.
  9. Ghallab, A., and Beeby, A. W., “Factors Affecting the External Prestressing Stress in Externally Strengthened Prestressed Concrete Beams”, Cement and Concrete Composites, Vol. 27, Issues 9-10, 2005, pp. 945-957.
  10. Grace, N. F., and Abdel-Sayed, G. A., “Ductility of prestressed bridges using CFRP strands”, Concrete International, Vol. 20 no. 6, 1998, pp. 25-30.
  11. Han, K. B., and Park, S. K., “Parametric Study of Truss Bridges by the Post-Tensioning Method”, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 32, No. 2, 2005, pp. 402-429.
  12. Miyamoto, A., Tei, K., Nakamura, H., Bull, J. W., “Behavior of Prestressed Beam Strengthened with External Tendons”, Journal of structural Engineering (ASCE), Vol. 126, No. 9, 2000, pp. 1033-1044.
  13. Naaman, A. E., Prestressed Concrete Analysis and Design 2nd Edition, Techno Press 3000 Ann Arbor, Michigan, 2004.
  14. Park, S. K., and Joe, S. I., Bridge Maintenance and Management, Il Kwang, Seoul, South Korea, 2005.
  15. Transportation Research Board, Methods for Increasing Live Load Capacity of Existing Highway Bridges, NCHRP Synthesis Report #249, TRB, 1997.
- (접수일자 : 2009년 9월 21일)  
(1차수정일자 : 2009년 12월 11일)  
(2차수정일자 : 2010년 1월 15일)  
(심사완료일자 : 2010년 2월 11일)

---

## 요 지

RC 구조물의 보강에는 여러 가지 보강공법이 사용되고 있으며 특히 외부강선 보강공법은 손상된 구조물을 보강하는 대표적인 공법이며 효율성, 용이성, 경제성의 면에서도 우수하다. 본 연구에서는 PSC 및 RC 거더에서 추가 손상 없이 충분한 보강효과를 얻을 수 있는 보강공법으로써 개선된 인양홀을 이용한 정착장치를 제안하였다. 2가지 유형의 새롭게 제안된 정착장치를 6개의 실험체의 적용하였고 기존의 정착장치를 3개의 실험체에 적용하였다. 한 개의 실험체는 보강효율을 판단하기 위하여 보강공법을 적용하지 않았다. 이들 정착장치의 거동을 분석하기 위하여 정적 재하 시험을 수행하였고 실험변수들은 정착장치의 형상, 강봉의 긴장정도와 강선의 설치형태이다. 각 실험체의 보강 효과를 조사하기 위해 처짐, 변형률 그리고 파괴양상을 기록하였으며 균열하중, 항복하중, 극한하중, 연성지수 그리고 강선의 응력을 분석하였다. 그 결과 제안된 인양홀을 이용한 정착장치는 기존의 정착장치보다 높은 보강효율을 보였으며, 에너지 개념을 이용한 연성도 평가에 따르면 충분한 연성을 확보하고 있음을 알 수 있었다.

**핵심 용어** : 외부강선, 정착장치, 인양홀