인양홀을 이용한 외부 강선 보강 철근 콘크리트 보의 거동 특성

Structural Behavior of RC Beam Strengthened with External Tendons Using Lifting Hole Anchorage System

이 석 훈* 홍 성 남** 한 경 봉*** 박 선 규****

Lee, Seok-Hoon Hong, Sung-Nam Han, Kyoung-Bong Park, Sun-Kyu

Abstract

The strengthening in terms of efficiency, easy, economics is very popular method when it is applied to a damaged structures. The purpose of this study develops anchorage system that supports enough strengthening effect without any damage. In addition it is checked whether the method can be conveniently applied to structures. To verify strengthening effect a flexural experiments were performed. Four concrete beams were constructed and tested. Deflections, strains and modes of failure were recorded to examine strengthen of beams. Comparing crack load of each experimental data, yielding load, ultimate load, ductility index, and tendon stress were analyzed

요 지

인양홀을 이용한 정착장치는 손상된 구조물에 내하력을 증가시키기 위해 사용되어지며, 시공이 간편하고 보강효율이 좋은 경제적인 방법이다. 본 논문에서는 구조물에 손상을 입히지 않으면서 충분한 보강효과를 가져 올 수 있는 인양홀 이용 정착장치를 선정하여 그에 대한 적용 가능성을 연구하였다. 실무에서 시공빈도가 높은 인양홀 이용 단부 정착 장치가 적용된 3개의 실험체를 제작하였고, 이에 대한 휨 실험을 수행하여 처짐, 변형률 및 파괴양상을 분석하였다. 인양홀 이용 정착장치가 구비된 철근 콘크리트 보의 보강 성능을 실험적으로 규명하기 위하여 각 실험체의 균열하중, 항복하중, 극한하중, 강선의 응력 증가량, 처짐 및 연성 등을 비교·분석하였다.

Keywords : Anchorage system, Ductility index, External post-tension, Lifting hole

핵심 용어 : 정착장치, 연성도, 외부강선, 인양홀

* 학생회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정

** 학생회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정

*** 정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 연구조교수

**** 정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 교수

E-mail : ly040000@hotmail.com 016-529-3363

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 2008년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

외부 강연선을 이용한 보강방법은 교량의 주거더 등으로 사용되는 철근 콘크리트 보에 균열 등의 손상이 발생하였을 경우 주로 사용되는 보강방법 중에 하나이다. 외부강연선을 이용한 보강방법은 휨 변형과 균열이 발생된 교량의 주거더에서 철근 콘크리트 보 단부의 한쪽에 정착장치를 고정하고, 이 브라켓에 외부강선을 결합하고 유압식 긴장장치를 이용하여 긴장됨으로써, 철근 콘크리트 보의 휨 변형과 균열을 보수한다. 이와 더불어 교량의 철근 콘크리트 주형에 상당한 변형과 균열이 발생된 경우에는 철근 콘크리트 보를 용이하게 보강을 할 수 있으며, 철근 콘크리트 보의 내하력을 증대시킬 수 있다.[(2),(5),(6),(9),(10),(12)]

최근에 박승범[(3)], 오병환[(4)], 이상열[(7)] 등은 외부 긴장장치를 이용하여 철근 콘크리트 구조물의 보강방법을 연구하였는데, 외부 긴장재의 PS력에 따라 인양홀 주변에 추가로 발생하는 응력변화를 유한요소해석을 통하여 분석・고찰하였고, 외부 강선 보강공법으로 보강된 기존 교량에서 강도 설계법에 의한 정착구 재설계를 실시하여 기존 설계와 비교・검토하였다.

이에 대하여 본 논문에서는 인양홀을 이용한 정착장치가 구비된 보 실험체를 제작하여 이에 외부 후 긴장을 가하여 보강 성능 평가 및 정착장치의 거동 특성을 연구하였다. 인양홀을 이용한 각각의 정착장치에 따른 보강효과 및 각 실험체의 외부 긴장력에 따른 보강효과를 파악하고 실험체의 파괴형상, 균열하중, 항복하중, 극한하중, 강선의 응력 증가량, 사용성 비교. 연성도 등을 비교・분석 하였다.

2. 실험 방법

2.1 실험변수

본 논문에서는 인양홀 이용 정착장치가 구비된 외부강선 보강 보의 거동특성 및 보강성능을 실험적으로 규명하기 위하여 3가지 형태의 인양홀 이용 정착장치를 선정하였다. 이는 콘크리트 빔 보강공법, M・K공법, 전단·휨 보강 공법으로 비교적 시공실적이 많은 인양홀 이용 정착장치들이다.

콘크리트 빔 보강공법은 강연선이 절곡된 형태로 배치되고, M・K공법 및 전단·휨 보강공법은 직선 형태의 강연선 배치로 이루어진다. 본 논문에서는 이러한 정착 장치들이 적용된 철근 콘크리트 보 실험체를 제작하여 이를 실험하고 외부 긴장력의 변화에 따른 보강효과를 규명하였다. 실험에 사용된 각 실험체별 보강변수는 Table 1과 같다.

2.2 사용재료

실험체 제작을 위해 콘크리트는 설계기준강도 30MPa인 레미콘 제품을 사용하였으며, 실험체에 배근된 철근은 설계기준항복강도가 400MPa인 이형철근을 사용하였다. 정착장치를 제작하는데 사용된 강재는 SM490을 사용하였으며, 강연선은 SWPC7B를 사용하였다. 또한, 인양홀에 사용된 PS강봉은 Φ34mm를 사용하였다.

2.2.1 콘크리트

실험체 제작에 사용된 콘크리트는 Table 2와 같이 배합 설계된 레미콘 제품을 사용하여 타설하였다. 또한 실험체 제작 시 별도로 Φ100× 200mm의 원주형 공시체를 제작한 후 재령 28일 후에 콘크리트 압축강도, 인장강도, 쪼갬 인장강도를 측정하였으며 그 결과는 Table 3과 같다.

Table 1 실험 변수 및 실험체명

실험체명	실험 변수		강연선 배치형태
	편심량 (mm)	보강량 (kN)	
표준실험체(ST)	-	-	-
콘크리트 빔 보강 공법 실험체(ED1)	280	95	절곡
M・K공법 실험체(ES1)	280	95	직선
전단·휨 보강공법 실험체(ES2)	140	75	직선

Table 2 실험체의 배합설계

시멘트 (kg/m^3)	물 (kg/m^3)	잔골재 (kg/m^3)	굵은 골재 (kg/m^3)	혼화제 (kg/m^3)	물-시멘트비 (%)	잔골재율 (%)
10.28	4.63	19.56	19.56	30.85	41.60	41.60

Table 3 실험체에 사용된 콘크리트의 공시체 강도실험 결과

종류 \ 공시체	1 (MPa)	2 (MPa)	3 (MPa)	평균강도 (MPa)
압축강도	37.81	36.98	37.50	37.43
쪼갬인장강도	3.45	3.51	3.12	3.36
휨인장강도	4.45	4.62	4.05	4.37

Table 4 실험체에 사용된 철근의 재료실험 결과

철근종류	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)
SD40D13	507	604	21.4
SD40D16	495	615	21.6

Table 5 강연선의 물성치

종류	표준 지름 (mm)	공칭 단면적 (mm^2)	인장 하중 (kN)	연신률 (%)
SWPC7B	12.7	98.71	187 이상	3.5 이상

2.2.2 철근

본 논문에서는 KSD 3504D에 규정되어 있는 SD 40의 이형철근을 사용했으며, 재료 실험결과 실험체에 사용한 철근의 물성치는 Table 4와 같았다.

2.2.3 PS강연선

외부 긴장력을 도입하기 위하여 본 논문에서는 KSD 7002에 규정된 7연선 B종인 SWPC7B의 강연선을 사용하였다. PS강연선의 물성치는 Table 5와 같다.

2.2.4 강재 및 강봉

인양홀 이용 정착장치를 제작하는데 사용된 강판은 KSD 3515의 규격에 의한 판두께 12mm의 SM490 강재를 사용하였고, 인양홀에 사용된 강봉은 Φ34mm를 사용하였다. 그에 따른 재료 물성치는 Table 6~7과 같다.

Table 6 강봉의 물성치

강봉지름 (mm)	항복하중 (kN)	극한하중 (kN)	최대인장력 (kN)
D34	384	510	391.6

Table 7 강판의 물성치

판두께 (mm)	허용휨응력 (MPa)	허용전단응력 (MPa)	허용지압응력 (MPa)
40이하	190	110	280

2.3 실험체의 설계 및 제작

실험체의 철근 콘크리트 보 단면은 300× 450mm인 직사각형 단면이며 피복두께를 30mm로 하였고, 지점간 거리는 3000mm이다. 압축철근으로는 3@H13, 인장철근으로는 3@H16을 배근하였다. 전단철근은 휨 파괴를 유도하기 위하여 H10 철근을 100mm 간격으로 배근하였다. 인장철근의 항복시점을 파악하기 위하여 콘크리트 타설 전 내부 인장철근의 표면에는 전기 저항식 변형률 게이지를 설치하였다. 각 실험변수별 실험체의 형상은 Fig. 1~Fig. 4와 같다.

인양홀 이용 정착장치는 Fig. 5~Fig. 7과 같이 제작하였으며 허용 전단력이 약 27kN인 앵커볼트를 사용하였다. 용접부는 12mm 목두께로 필렛 용접을 하였고, 단부 정착장치는 허용 전단응력 및 허용 지압응력 내에서 거동하도록 설계 및 제작을 실시하였다.

매립되어 있는 변형률 게이지가 콘크리트 타설에 의해 손상되는 것을 방지하기 위하여 방수형 코팅제로 도포하여 1차 보호막을 형성하고, 그 위에 방수 테이프를 사용하여 2차에 걸친 보호막을 형성하였다.

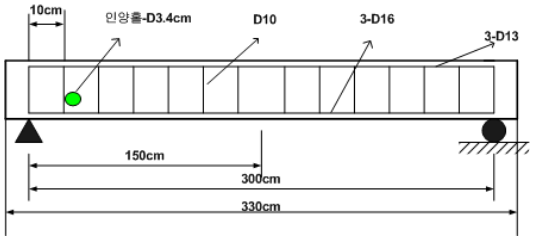

Fig. 1 표준실험체

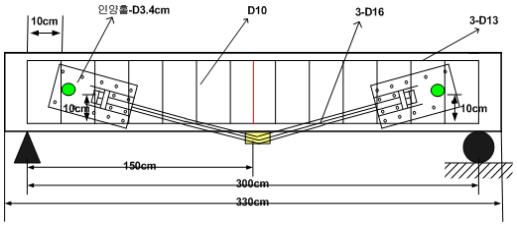

Fig. 2 콘크리트 빔 보강공법 실험체

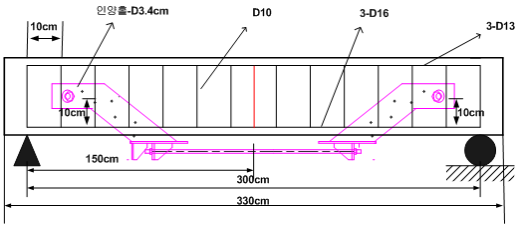

Fig. 3 M・K공법 실험체

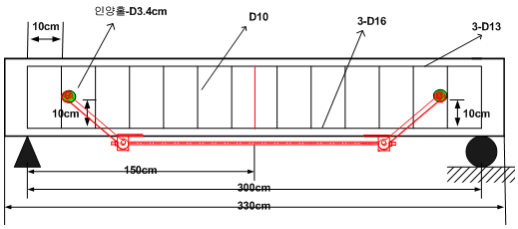

Fig. 4 전단·휨 보강공법 실험체

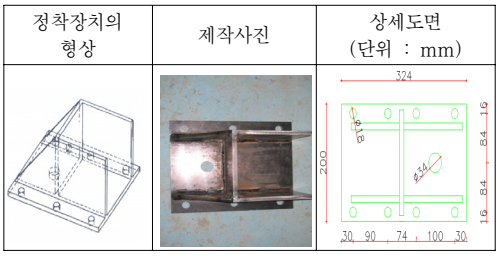

Fig. 5 콘크리트 빔 보강공법 정착장치

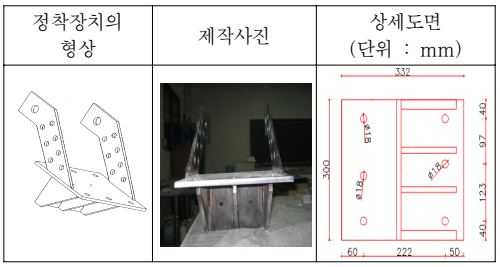

Fig. 6 전단·휨 보강공법 정착장치

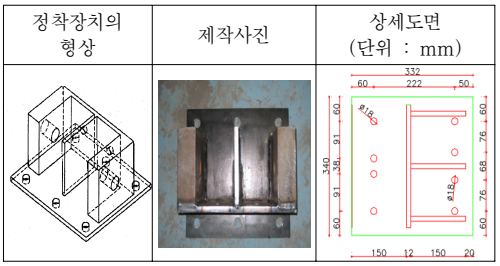

Fig. 7 M・K공법 정착장치

2.4 실험체의 하중재하 및 측정방법

본 논문에서는 실험체의 하중 재하는 지간 중앙에서 양쪽으로 100mm의 거리를 두고 2점 재하를 실시하였다. 가력은 1000kN 용량의 UTM으로 분당 1mm의 변위제어 방식을 사용하여 파괴 시까지 하중을 재하 하였고 변위측정을 위해 변위계(LVDT)와 긴장재, 인장철근, 압축철근, 콘크리트 표면에 변형률 게이지를 설치하였다. 실험체의 재하 시스템 및 계측 상세는 Fig. 8(a), Fig. 8(b)와 같다.

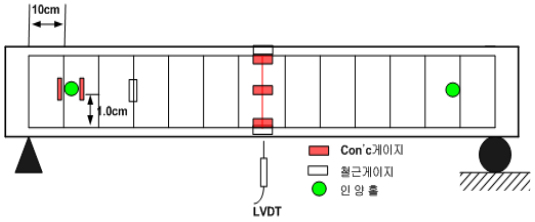

Fig. 8(a) 변형률 게이지 부착위치 및 LVDT 위치

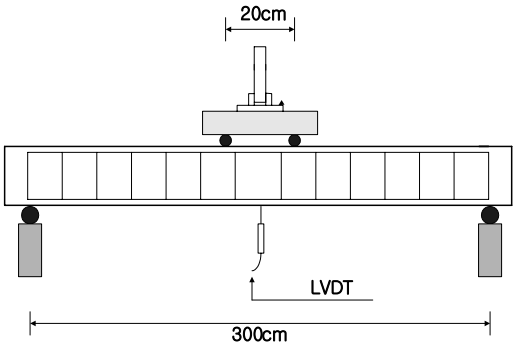

Fig. 8(b) 하중재하 및 LVDT 위치

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 하중 - 처짐 관계

Fig. 9는 보강실험체의 하중-처짐 관계를 표준 실험체(ST)와 비교한 그래프이다. 하중-처짐 관계에서 확인 할 수 있듯이 보강실험체들은 표준 실험체보다 높은 내하성능을 보여주었다. 표준 실험체와 비교하여 초기강성 및 균열하중, 항복하중, 극한하중이 증가되는 것을 확인 할 수 있었다. 하중-처짐 관계에서의 보강효율은 M·K공법 실험체(ES1)가 가장 높음을 알 수 있었고, 다음으로는 전단·휨 보강공법 실험체(ES2), 콘크리트 빔 보강공법 실험체(ES1)은 가장 낮은 보강효율을 나타냈다.

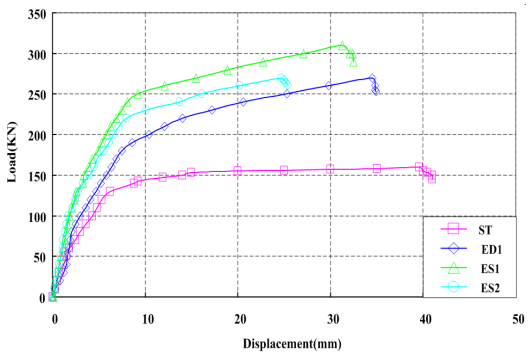

Fig. 9 하중-처짐 곡선

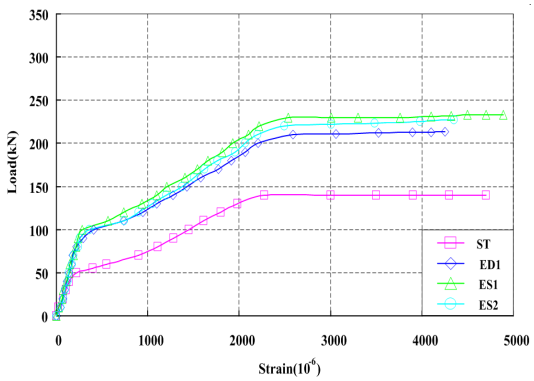

Fig. 10 하중-인장철근 변형률 곡선

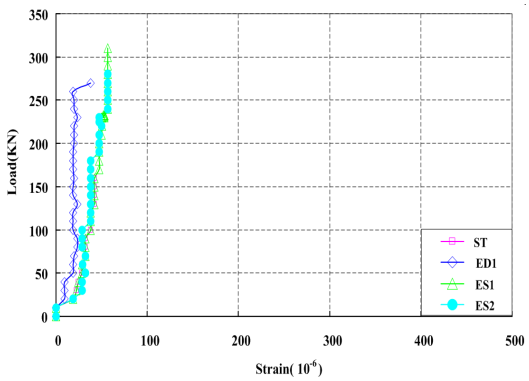

Fig. 11 하중-전단철근 변형률 곡선

3.2 하중 - 인장철근 변형률 관계

Fig. 10의 하중-인장철근 변형률 곡선에서 확인 할 수 있듯이, 가력하중이 증가함에 따라 모든 실험체의 인장철근이 항복하였고, 철근이 항복 이후 급격한 변형률 증가현상을 보이며 파괴에 도달하였다. 하중-처짐 관계와 마찬가지로 하중-인장철근 변형률 곡선에서 확인 할 수 있듯이 보강실험체들은 표준 실험체보다 높은 내하성능을 나타내었다.

3.3 하중 - 전단철근 변형률 관계

Fig. 11의 하중-전단철근 변형률 곡선을 보면, 인양홀을 이용한 정착장치를 사용하여 보강된 실험체의 경우에는 변형율이 매우 미소하게 나타나 정착장치를 이용하여 보강한 실험체의 경우 단부 전단력을 일부 감소시키는 효과가 있는 것으로 판단된다.

3.4 하중 - 강연선 변형률 관계

Fig. 12의 하중-강연선 변형률 곡선을 통해 알 수 있듯이 보강 실험체의 균열 이전에는 외부 강연선 부재는 강연선 응력 증가량이 다소 적게 발생하였다. 하지만 철근 항복 이후에는 변형률이 급격히 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 철근이 항복한 이 후 강연선이 외력에 추가 저항하기 때문이며, 보강 실험체의 내하력이 표준 실험체와 비교하였을 때 상대적으로 높은 이유이기도 하다.

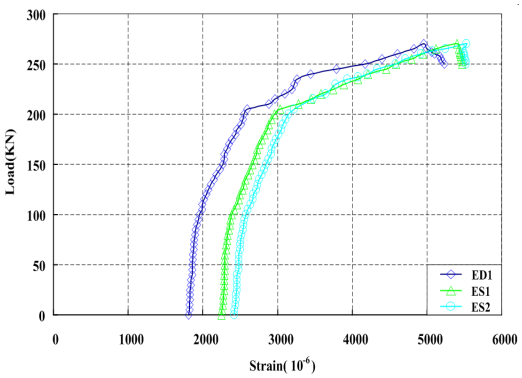

Fig. 12 하중-강연선 변형률 곡선

3.5 보강 효과의 비교

인양홀을 이용한 외부 강선 보강 실험체의 보강효과를 파악하기 위하여 우선 각 실험체별로 철근이 항복할 때의 실험체 항복하중을 비교해 보았다. Table 8과 같이 표준 실험체(ST)의 경우에는 133kN에서 철근이 항복하는 것으로 나타났고, 95kN의 동일한 긴장력을 도입한 M·K공법 실험체(ES1)와 전단·휨 보강공법 실험체(ES2)의 항복하중은 각각 251kN 및 225kN으로 표준 실험체(ST)에 비해 88%, 69%정도의 철근 항복하중 증진을 가져왔다.

보강 실험체의 극한하중과 표준 실험체(ST)의 극한하중을 비교하였을 경우 콘크리트 빔 보강공법 실험체(ED1)인 경우에는 66%의 보강효율 증진을 가져왔고, M·K공법 실험체(ES1)와 전단·휨 보강공법 실험체(ES2)의 경우에는 각각 86%, 63%정도의 보강효과가 증진되는 것을 알 수 있었다.

Table 8 실험체의 보강 효율 비교

실험체명	균열하중 (kN)	철근 항복시 하중 (kN)	극한하중 (kN)	보강효율(%) $(\frac{\text{보강실험체}}{\text{표준실험체}}-1)\times 100$	
				항복하중	극한하중
ST	55	133.0	167.0	-	-
ED1	97.0	187.5	277.5	41%	66%
ES1	118.0	251.0	310.5	88%	86%
ES2	115.0	225.0	272.0	69%	63%

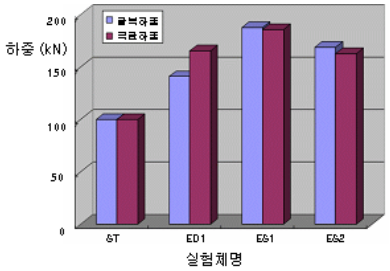

Fig. 13 실험체의 보강 효과 비교

3.6 파괴 양상

Fig. 14~Fig. 17의 파괴 양상을 살펴보면, 표준 실험체(ST)를 포함한 콘크리트 빔 보강공법 실험체(ED1)는 전형적인 휨 파괴를 나타내었으나, M·K공법 실험체(ES1)와 전단·휨 보강공법 실험체(ES2)는 휨 파괴와 더불어 단부 정착부의 국부 파괴가 발생하였다. 전단·휨 보강공법 실험체(ES2)의 경우 하중이 증가되면서 천공된 앵커볼트가 인발하거나 정착장치의 수평 이동에 의한 모멘트가 작용하면서 콘크리트 표면으로부터 이탈이 발생되어 단부쪽에서 갑자기 파괴를 일으키는 양상이 나타났다. 균열의 형태는 하중이 증가할수록 균열 길이가 길어지고, 철근이 항복 한 이후에는 균열폭이 증가하는 일반적인 현상을 나타내었다.

Table 8에서 알 수 있듯이 최초 균열 발생의 경우, 표준 실험체(ST)는 55kN에서 초기 균열이 발생한데 비해, 콘크리트 빔 보강공법 실험체(ED1)의 경우 97kN, M·K공법 실험체(ES1) 및 전단·휨 보강공법 실험체(ES2)의 경우에는 118kN, 115kN으로 긴장량의 증가에 따라 초기 균열하중이 증가되는 것을 알 수 있었다.

보강 실험체의 경우 표준 실험체(ST)보다 압축부의 콘크리트가 급작스럽게 파괴되는 취성파괴 현상을 나타내었다. 일반적으로 철근 콘크리트 보에 보강을 실시한 경우에는 취성적인 파괴가 발생한다. 본 실험의 경우 보강 실험체들의 변형률 데이터와 파괴 양상을 살펴보면 초기 하중은 철근과 강연선이 동시에 지지하지만, 철근이 항복한 이후의 추가적인 하중에 대해서는 외부에 설치된 강연선만이 부담하게 되어 급격하게 파괴에 도달하기 때문인 것으로 판단된다.

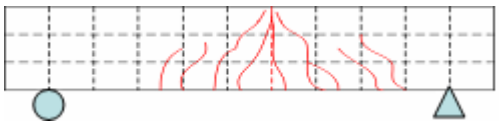

Fig. 14 표준실험체 균열도

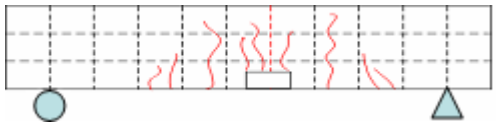

Fig. 15 콘크리트 빔 보강공법의 실험체 균열도

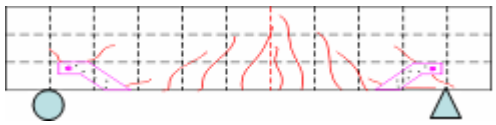

Fig. 16 M·K공법 실험체 균열도

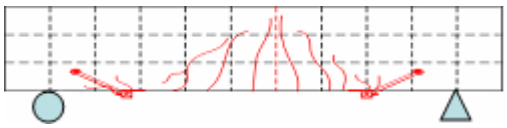

Fig. 17 전단·휨 보강공법 실험체 균열도

3.7 처짐 검토

일반적으로 휨 부재는 사용하중과 충격으로 인해 발생한 처짐 또는 변형이 구조물의 강도나 실제 사용에 해로운 영향을 주지 않도록 충분한 강성과 연성을 갖게 설계되어야 한다. 이를 위해 국내 콘크리트 설계기준[1] 에서는 일반적으로 구조물의 처짐이 경간의 1/800을 초과하지 않도록 규정하고 있고, ACI Code[8]는 1/360, Euro Code 2[11]는 1/250을 초과하지 않도록 규정하고 있으며 이를 Fig. 18에 비교하였다. 각각의 코드에서 규정하는 사용 처짐 한계에서의 하중을 비교해 보면 외부강선으로 보강할 경우 정착장치의 종류 및 외부 긴장량의 변화에 관계없이 모두 표준 실험체(ST)보다 높은 처짐 사용성을 확보하고 있음을 확인 할 수 있었고, 처짐 한계에서의 하중값을 비교하여 보면, 보강실험체의 경우 기준실험체에 비하여 약 52%에서 73% 정도의 하중 증대효과가 발생하였다. 이를 통해 알 수 있듯이 인양홀 이용 정착장치를 사용한 외부 긴장 실험체의 경우 보다 높은 처짐 사용성에 대한 보강효과가 있다고 판단된다.

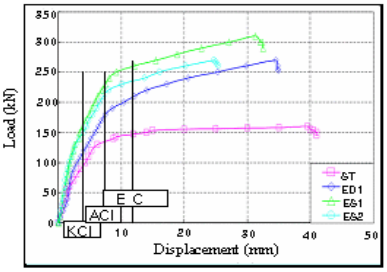

Fig. 18 하중-처짐 관계에서의 사용처짐 한계규정

3.8 실험체의 연성 평가

3.8.1 실험체의 변위 연성도

일반적으로 철근 콘크리트 보에서는 갑작스런 취성파괴를 방지하고 구조물의 변형에너지 흡수 능력을 확보하기 위하여 어느 정도 이상의 연성을 확보하여야 한다. 연성을 측정하기 위한 방법으로 연성지수 또는 연성계수가 사용이 되는데 곡률, 회전, 처짐의 비로 식 (1)과 같이 정의한다.[13]

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

여기서, μ= 부재의 연성지수
ϕ= 부재의 회전계수
θ= 부재의 곡률
Δ= 부재의 처짐

본 논문에서는 실험체가 항복할 때의 처짐과 극한하중에 도달할 때의 처짐의 비로 표현되는 변위 연성지수를 산정하였고, 그 결과는 Table 9와 같다. 표준

Table 9 실험체의 연성 지수

실험체명	항복하중		극한하중		연성지수
	하중 (kN)	처짐 (mm)	하중 (kN)	처짐 (mm)	
ST	133	6.5	167	40.2	6.18
ED1	187.5	8.6	277.5	34.5	4.00
ES1	251	9.1	310.5	31.3	3.43
ES2	225	7.0	272	24.7	3.52

실험체(ST)의 연성지수가 6.18로 가장 높으나, 보강 실험체의 경우에는 연성지수가 4.0이하로 평가되어 외부강선으로 보강 시 그 보강 효율은 증가하나, 연성은 상대적으로 낮아지는 것으로 확인 되었다.

3.7.2 에너지 개념을 이용한 연성 평가

실험체의 변위연성도 비교를 통해 알 수 있듯이 일반적으로 철근 콘크리트 보에 보강을 실시한 경우 연성능력이 저하된다. 그러나 변위 연성도의 비교만으로 휨 부재가 소요의 연성능력을 확보하고 있는지에 대한 판단을 하기에는 부족한 면이 많다. 그래서 본 논문에서는 실험체의 연성능력을 평가하기 위하여 에너지 개념을 도입하여 이를 바탕으로 각 실험체의 연성능력을 평가하고자 한다.

에너지 정의에 기초한 연성은 비탄성, 탄성, 그리고 전체에너지 중에 어떤 두 개의 비로써 정의되어 진다. 그러나 에너지 비를 사용함에 있어 선형에너지 부분과 비선형에너지 부분을 결정하는 것이 문제가 된다. 본 논문에서는 하중-처짐 곡선에서 하중의 증가가 다르게 바뀌는 점을 찾는 방법을 선택하여 에너지 변곡점을 결정하였다. 에너지 연성지수를 산정하는 방법은 Fig. 19와 같다. 여기서, 기울기 S1, S2, S3는 수치적분을 적용 계산하여 기울기를 찾았고, 하중 P1, P2는 다른 구간의 기울기를 연장하여 만나는 점의 하중을 뜻하며, 하중 P3는 극한하중을 뜻한다. Fig. 19 에서와 같이 탄성과 비탄성에너지 크기의 산정은 식(2)를 사용할 수 있으며, 비탄성에너지와 전체에너지에 비로 정의된 에너지 비(energy ratio)는 식(3)을 이용하여 산정할 수 있다.

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

여기서, S, S_1, S_2, S_3 : 기울기

P_1, P_2, P_3 : 하중

$$ER = \frac{Elastic\ \ energy\ (E_i)}{Total\ \ energy\ (E_t)} \quad (3)$$

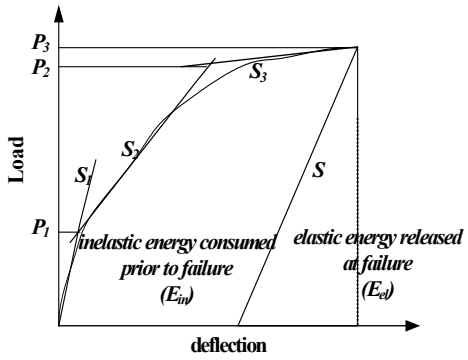

Fig. 19 Total, Elastic, and Inelastic Energies

Table10 실험체의 연성 평가

실험체명	항복하중		극한하중		에너지비 (E_i/E_t)	연성분류
	하중 (kN)	처짐 (mm)	하중 (kN)	처짐 (mm)		
ST	133	6.5	167	40.2	88%	Ductile
ED1	187.5	8.6	277.5	34.5	79%	Ductile
ES1	251	9.1	310.5	31.3	77%	Ductile
ES2	225	7.0	272	24.7	75%	Ductile

1998년 Grace[14]의 연구결과에 의하면, 에너지 비가 75%보다 더 크면 그 보는 연성파괴(ductile failure)가 지배적이 되며, 에너지비가 70%~74% 사이이면 반연성(semi-ductile)으로 고려되어 진다. 만약 69% 이하일 때 보는 취성파괴(brittle failure)가 지배한다. 에너지 비(energy ratio)에 따라 실험체의 연성을 분류하면 Table 10과 같다. 연성 분류에서 확인할 수 있듯이 본 실험의 경우 보강실험체들도 파괴 형태가 연성 파괴로 분류되어 일반 철근 콘크리트 보에 인양홀 이용 정착장치를 이용하여 외부 긴장보강을 실시하여도 구조물은 연성을 확보할 수 있음을 제한적으로 확인하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 외부 강선을 이용한 보강 공법 중 구조물의 손상을 최소화 할 수 있는 인양홀 이용 정착장치를 선정하여 그에 따른 보강된 철근 콘크리트 보의

휨 성능 및 거동을 파악하였다. 위에서 얻은 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 인양홀 이용 정착장치를 적용한 보강 실험체는 모체에 손상을 최소화하면서도 충분한 보강효과가 있음을 확인 할 수 있었다. 표준실험체와 비교하여 외부강선으로 보강된 실험체들은 약 63~86% 정도의 보강효율을 나타내었다.
2) 외부강선으로 보강 시 정착장치의 종류 및 외부긴장량의 변화에 관계없이 모두 표준 실험체(ST)보다 높은 처짐 사용성을 확보하고 있음을 확인할 수 있었다.
3) 일반적으로 보강 실험체들은 표준 실험체 비하여 상대적으로 낮은 연성을 갖고 있다. 그러나 인양홀 이용 정착장치를 적용한 보강실험체들도 충분한 연성을 확보하고 있음을 에너지 개념을 도입한 연성 능력 평가에서 확인 할 수 있었다.
4) 인양홀을 이용한 정착 장치는 앵커볼트로 인한 기존 구조체의 손상을 최소화 할 수 있으며, 긴장력을 인양홀에서 받는 하중 전달 구조를 가짐으로써 시공이 유리하고 보강효율이 우수한 시스템임을 확인 할 수 있었다. 그러나 파괴 시 지점부의 국부파괴가 발생하는 경우가 있어 예기치 못한 파괴가 발생할 수 있음을 확인하였고, 이러한 국부파괴를 방지할 수 있는 시스템이나 방안이 마련되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 건설교통부, 콘코리트구조설계기준, 2003.
2. 김기봉, 정영수, 최혁주, 강보순, "외부 후긴장으로 보강한 합성보에 대한 실험적 연구," 한국강구조학회논문집, 제10권 제4호, 1999, pp. 701-708.
3. 박승범, 홍석주, "정착방법에 따른 외부 프리스트레스트 도입공법의 보강성능평가," 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 2001, pp. 279-284.
4. 오병환, 유성원, 조윤구, 서정인, "강선 형상과 편향부 수에 따른 외부 강선을 가진 PSC 보의 휨거동 실험," 대한토목학회 논문집, Vol.23 No.4A, 2003, pp. 795-804.
5. 유성원, 홍경욱, "부분부착 강선 모델을 이용한 외부프리스트레스트 콘크리트 보의 휨해석 및 휨성능개선," 대한토목학회 논문집, Vol.20 No.5-A, 2000, pp. 813-821.
6. 윤영묵, 최명석 "포스트-텐션 부재의 정착부에 관한 AASHTO 시방규정의 평가," 대한토목학회 1999년도 학술발표회 논문집(1), 1999.
7. 이상열, 이재형, 한만엽, "외부프리스트레스 보강 공법에 사용되는 인장형 단부 브라켓의 개발연구," 대한토목학회 논문집, 제21권 제4호, 2001, pp. 611~618.
8. ACI Committee 318, "Building Code Requirement for Reinforced Concrete", ACI-318-05, American Concrete Institute, Detroit, 2005.
9. Ahmed Ghallab and A.W. Beeby "Factors affecting the external prestressing stress in externally strengthened prestressed concrete beams," Cement and Concrete Composites, Volume 27, Issues 9-10, October-November 2005, pp. 945-957.
10. Angel C. Aparicio, Gonzalo Ramos, "Flexural Strength of Externally Prestressed Concrete Bridges," ACI Structural Journal, Vol. 93, No. 5, 1996, pp. 512-522.
11. European Committee for Standardization, Eurocode 2 Design of Concrete Structures, European Committee for Standardization, Brussels, 2002.
12. Kiang-Hwee Tan, Chee-Khoon Ng, "Effects of Deviators and Tendon Configuration on Behavior of Externally Prestressed Beams," ACI Structural Journal, Vol. 94, No. 1, 1997, pp. 13-22.
13. Naaman, A. E., "Ductility of Reinforced and Prestressed and Prestressed Concrete Flexural Members", PCI Journal, Mar.-Apr., 1990.
14. N. F. Grace, A. K. Soliman, G. Abdel-Sayed and K. R. Saleh, "Behavior and Ductility of Simple AND Continuous FRP Reinforced Beams." Journal of Composites for Construction (ASCE), Vol. 2 No. 4 November, 1998, pp. 186-194.

(접수일자 : 2007년 8월 13일)
(심사완료일자 : 2008년 2월 5일)