

자켓-받침형 정착장치를 이용한 외부강선 보강 효과의 실험적 연구

Experimental Study of External Prestressing Strengthening Using Jacket-Base Anchorage System.

김형규* 양동석** 박선규*** 곽수현****
Hyung-Gyu Kim Dong-Suk Yang Sun-Kyu Park Su-Hyun Kwak

ABSTRACT

Generally speaking, durability, load carrying capacity and the life of structure becomes to be shortened in all structures as time passed. Also, we have to repair and reinforce because of the decrease of the traffic volume and overloaded vehicles in the bridge. External prestressing method is most popular and effective strengthening method which can be used for the prestressed concrete girders. When strengthening with external prestressing method, there are many ways to install anchorage system. But, These methods have many faults. For example, the anchorage force is so small or an anchorage system installation damages an existing structure. So, this paper suggested a new anchorage system to strengthen without any damage to the structure and then confirm the increase of durability and the properties of behavior with experimentation.

1. 서론

국내 교량 보강공사에서는 강관 및 FRP 보강 공법이 널리 사용되어 왔으나 최근 들어 사용재료, 시공 품질의 확보 및 유지 관리상의 문제점과 보강효과의 효율성에 대한 의문으로 인하여 사용 예가 점차 줄어들고 있다. 이에 비하여 외부 강선을 이용한 기존 구조체의 보강 공법은 구조체에 대한 적용성과 보강효율이 높아 다양한 구조체의 보강에 활발하게 이용되고 있으며, 구조적 및 경제적 측면에서 여러 장점이 있다. 이러한 장점으로서는 구조적인 해석이 용이하며, 적용범위가 광범위하다. 또한 보강부재의 자중이 가벼워 하중의 증가가 거의 없으며, 설치가 간편하며 공기가 짧은 장점 등이 있다. 이때의 외부 강선의 긴장력은 정착구와 새들을 통하여 구조체에 전달하게 된다. 이러한 외부 강선을 이용한 보강 공법은 전체구조체의 보강성능이나 해석 방법 등에는 별다른 문제가 없으나, 강선보강을 위한 정착구의 설치에 따라 다양한 문제점들을 안고 있다. 즉, 정착구의 설치방법에 따라 다양한 외부

* 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 석사과정

** 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 박사과정

*** 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 교수

**** G.S.C.개발엔지니어링(주) 대표이사

강선 보강공법이 적용되어지고 있는데, 각 공법마다 정착력의 크기가 작다거나 상당히 큰 압축력을 가해야 한다거나, 정착장치의 설치를 위해 기존 구조체에 손상을 입히거나, 하중 전달 구조가 복잡하여 정착구의 설계가 불가능하다는 문제점들이 있다.

본 연구에서는 외부강선 보강공법에 사용되었던 기존 정착구들의 문제점을 개선하고 신 지압지방식의 정착구를 제작, 실험하여 내하력의 증대 및 거동 특성을 파악하고자 한다. 표준시험체를 포함한 5개의 시험체를 제작하여 휨실험을 수행하였다. 실험결과로서 파괴형태, 균열하중, 항복하중 및 극한하중을 파악함으로써 새롭게 제시된 정착장치의 거동 및 보강효과를 분석하고자 한다.

2. 실험계획

2.1 실험재료

본 실험에서 사용된 콘크리트의 설계강도는 240kgf/cm²으로 설계된 레미콘 제품을 사용하였다. 콘크리트 강도는 재령 28일에서 측정된 압축공시체의 평균강도를 기준으로 하였으며 압축강도는 100mm×200mm 크기의 원통형 공시체를 제작하여 습윤양생한 후 실험하였다. 슬럼프는 14cm, 공기량은 4.5%, 28일 압축강도는 278kgf/cm²이다. 시험체에 배근된 철근은 설계항복응력이 4000kgf/cm²인 철근을 사용하였으며 압축측에는 HD10을, 인장측에는 HD16을 배근하였다. 그리고 외부보강에 사용한 강연선은 SWPC 7A인 표준지름 12.4mm, 인장하중 16,300kgf인 7연선을 사용하였다. 정착장치는 SM490 강재를 사용하여 제작하였다.

표 1. 철근의 물성치

철근종류	인장응력 (kgf/cm ²)	항복응력 (kgf/cm ²)	연신율 (%)
SD40 D10	6500	4170	20
SD40 D16	6130	4940	22.3

표 2. 강판의 물성치

판두께(mm)	허용휨압축 응력(kgf/cm ²)	허용전단응력 응력(kgf/cm ²)	지압응력 응력(kgf/cm ²)
40이하	1,900	1,100	2,800

표 3. 강연선의 물성치

종류	기호	호칭명	표준지름 (mm)	공칭단면적 (mm ²)	인장하중 (kgf)	연신률 (%)	
7연선	A종	SWPC7A	7연선 12.4mm	12.4	92.90	16,300	3.5이상

2.2 실험변수와 시험체 제작

본 연구에서는 실험변수로서 기존에 많이 사용되어진 전단지지방식의 정착장치와 새롭게 제안된 자켓 받침형 정착장치에 동일한 외부 긴장력을 가한 뒤 휨 파괴 실험을 수행하였으며, 또한 동일한 자켓 받침형 정착장치를 가진 시험체에 차등 긴장력을 가하여 그에 따른 거동특성을 살펴보았다. 시험체의 단면치수와 배근상세도는 그림2에 나타내었으며, 자켓 받침형 정착장치의 제원도는 그림1과 같고 각각의 실험변수를 표4에 나타내었다. 보의 폭 및 높이는 각각 15cm, 25cm이며 순지간 길이는 200cm, 총길이 220cm이다. 그리고 시험 중 발생할 수 있는 전단파괴를 방지하기 위하여 D10 스티럽을 15cm간격으로 충분히 배근하였다. 그리고 각각의 정착장치는 외부 긴장력에 충분한 내하력을 가지도록 필렛 용접을 하여 제작하였다. 이때 적용된 용접길이에 따른 자켓 받침형 정착장치의 내하력은 38.18tonf으로 계산되었다.

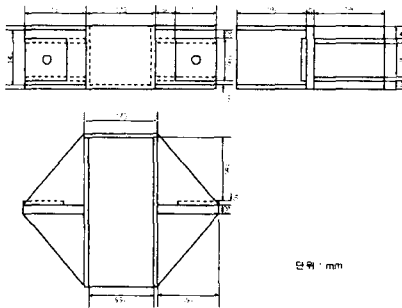


그림 1. 자켓 받침형 정착장치

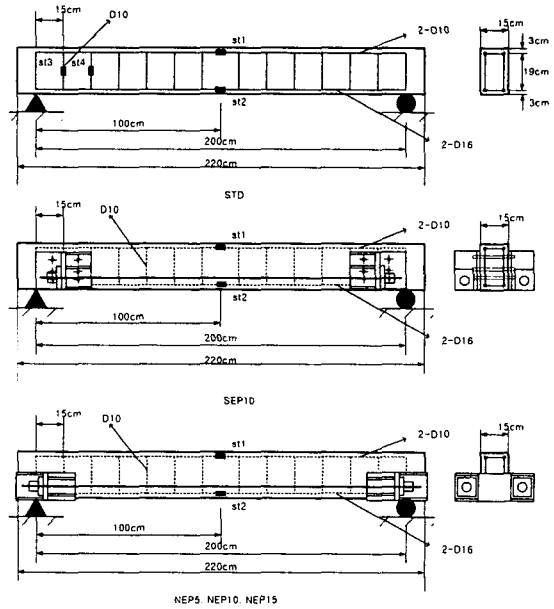


그림 2. 시험체의 형상 및 제원 (단위:cm)

표 4. 시험체의 실험변수 및 시험체명

종류	시험체명	f_{ck} (kgf/cm ²)	편심량 (cm)	긴장량 (tonf)	Size (cm)
표준시험체	STD	278	-	-	15×25×220
전단지지방식	SEP10		6	10	
자켓 받침형 정착방식	NEP5			5	
	NEP10			10	
	NEP20	15			

2.3 하중 재하 및 측정 방법

재하 실험은 100tonf용량의 U.T.M을 사용하여 2점 재하방식에 의하여 지지점을 부재에 맞추고, 그 위에 보 시험체를 설치 한 후, 각 시험체의 정해진 양의 외부 긴장력을 가한뒤 변위제어 방식으로 하중을 재하하여 휨과괴 시험을 수행하였다. 시험체 중앙부에 처짐을 측정하기 위하여 L.V.D.T를 설치하였고, 보 시험체의 압축철근, 인장철근, 전단철근에 콘크리트를 타설하기전에 변형율 gauge를 설치하였다. 또한, 외부 강연선 및 정착장치 본체에 변형율 gauge를 설치하여 Data Logger에 의하여 각 실험 데이터를 측정하였다.

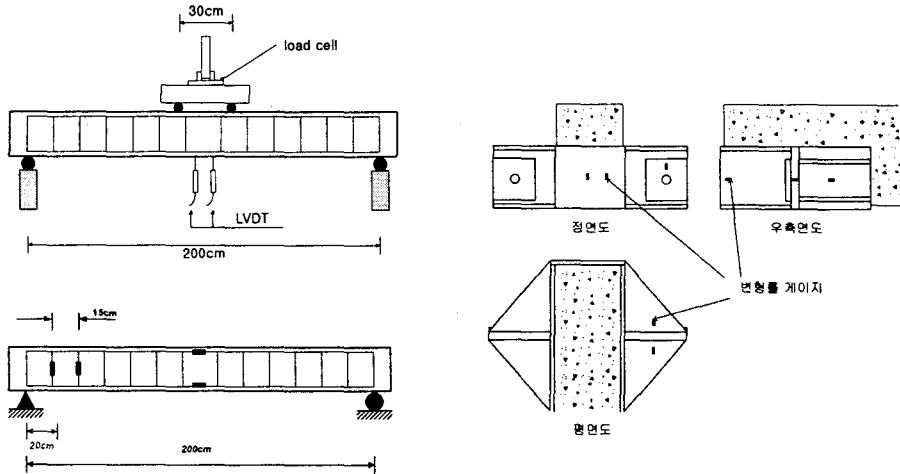


그림 3. 실험장치도 및 게이지 측정위치

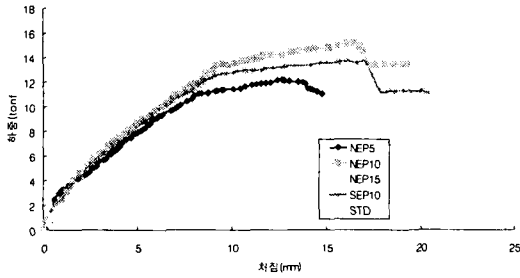
3. 실험 결과 및 고찰

3.1 파괴양상

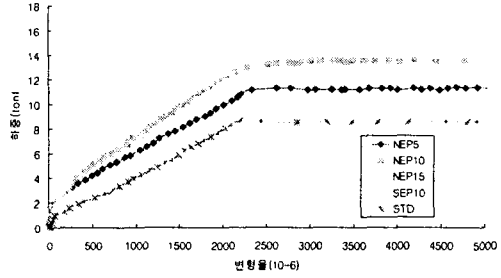
표준시험체를 포함한 보강 시험체 모두 휨 압축 파괴를 나타내었으며, 균열 형태는 모든 시험체가 휨 균열로서 초기 균열이후 하중이 증가할수록 균열길이가 길어지고 항복한 이후에는 균열폭이 증가하는 일반적인 현상을 나타내었다. 자켓 받침형 정착장치는 시험체가 파괴되는 순간까지도 변형율이 200 μ ~250 μ 으로 큰 변형을 일으키지는 않았으나, 전단지지방식의 시험체의 경우는 하중이 증가되면서 천공된 앵커볼트가 인발하면서 정착장치가 부착된 콘크리트 표면으로부터 이탈이 생겨 최대하중의 경우 동일한 긴장력으로 보강한 자켓 받침형 정착장치보다 최대하중이 10%정도 적은것으로 나타났다. 표5에서 보듯이 외부 강선으로 보강된 시험체는 표준 시험체보다 32%~72%의 내하력 증가를 나타내는 것으로 나타났다. 하지만 파괴시에는 표준 시험체보다 급작스럽게 파괴되는 취성 파괴 현상을 나타내었는데 이는 그림4의 (3)에서 보듯이 인장철근이 항복한 이후 외부에 설치된 강연선이 추가되는 하중을 부담했기 때문이다. 이는 보강된 RC보는 강도와 강성면에서 보강하지 않은 보에 비하여 상당한 증가를 보였고 강도와 강성의 향상에 비례하여 그만큼 연성이 감소하였으며 이에 따라 급작스럽게 파괴가 되는 취성 파괴 양상이 나타났다.

표 5. 시험체의 실험결과

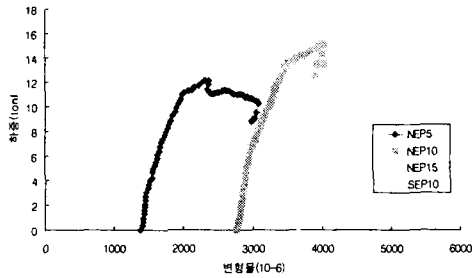
시험체명	정착장치형태	긴 장 력 (tonf)	숫음량 (mm)	초기균열하중 (tonf)	항복하중 (tonf)		극한하중 (tonf)		파괴양상
					하중	보강율	하중	보강율	
STD	.	.	.	1.26	8.53	1.0	9.23	1.0	휨 파괴
NEP5	자켓 받침형	5	0.3	2.80	10.58	1.24	12.16	1.32	휨 파괴
NEP10	자켓 받침형	10	0.6	4.15	11.83	1.38	15.19	1.64	휨 파괴
NEP15	자켓 받침형	15	1.2	5.3	12.70	1.48	15.95	1.73	휨 파괴
SEP10	전단지지방식	10	0.6	3.32	11.49	1.34	13.72	1.48	휨 파괴



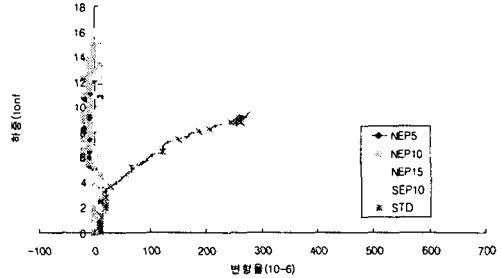
(a) 하중-처짐



(b) 하중-인장철근 변형율



(c) 하중-강연선 변형율



(d) 하중-전단철근 변형율

그림 4. 휨 실험 결과

3.2 하중-변위 관계

그림4에서 (a)은 보강시험체의 하중-변위 관계를 표준시험체와 비교한 그래프이다. 표준시험체 STD의 사용하중 7.8tonf의 처짐인 7mm에서의 각 시험체의 하중을 비교해 보면, 외부 강연선에 동일한 10tonf의 긴장력으로 보강한 NEP10 및 SEP10의 시험체의 경우에는 각각 10.9tonf, 10.6tonf을 나타내어 39%, 35%의 하중 증가를 나타내고 있다. NEP5의 경우에는 9.8tonf, NEP15는 11.9tonf으로 표준 시험체에 비해 각각 25%, 52%의 하중 증가율을 나타내었다. 최대 하중시의 처짐을 비교해 보면 15mm를 전후 하여 처짐이 나타나고 있어 처짐 억제 효과는 표준 시험체에 비하여 효과가 높지 않은 것으로 나타났다.

3.3 정착 장치에 따른 영향

전단지지방식의 정착장치인 SEP10과 자켓 받침형 정착장치인 NEP10을 비교해 보면 최대 하중의 경우에는 표준 시험체인 STD와 비교하였을 경우 STD는 9.23tonf이며, SEP10의 경우에는 13.72tonf으로 48%의 최대 하중 증가를 보였다. 자켓 받침형 정착장치인 NEP10은 최대하중이 15.19tonf으로 표준 시험체에 비해 64%의 최대 하중 증가효과를 나타내었고, 전단지지방식 시험체보다 자켓 받침형 시험체가 약 11%의 하중 증가 효과를 가져왔다. 그리고 그림4의 (b)에 나타난 하중-인장철근의 변형율 그래프를 보면 자켓 받침형 정착장치의 경우에는 인장철근이 항복점에 이르면 파괴 되는 양상을 나타내었고, 단부의 전단 철근의 경우에는 하중 증가에 따른 전단 철근의 변형이 거의 발생되지 않았다.

그러나, 전단지지방식의 경우에는 인장철근이 항복되기 이전에 시험체가 파괴 되는 양상을 나타내었고, 단부의 전단 철근의 경우에는 자켓 받침형 정착장치와는 다르게 최대하중 근처에서 갑작스런 철근의 변형이 생기는 현상을 나타내었다. 또한 표준 시험체에서도 하중의 증가에 따라 전단 철근의 변형이 생겼으나, 자켓 받침형 정착장치를 장치한 시험체의 경우에는 변형율이 매우 미소하게 나타나 단부의 전단력을 감소시키는 효과를 보여주고 있다.

3.4 외부 강연선의 긴장력에 따른 영향

본 연구에서는 자켓 받침형 정착장치를 통해 외부 강연선에 긴장력을 각각 5tonf, 10tonf, 15tonf을 도입하여 실험을 수행하였다. 표준 시험체에 비해 최대하중의 증가율은 외부 강연선의 긴장력에 비례하여 나타났는데, 5tonf으로 긴장하였을 경우, 32%의 증가효과가 나타났고, 10tonf 및 15tonf의 경우에는 각각 64% 73%의 증가 효과를 나타내었다. 도입긴장력의 보강 효율을 보면 긴장력을 증가시킬수록 그 보강 효율이 비례적으로 증가하지는 않는 현상을 나타내었다.

4. 결론

이상의 실험 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 외부강선으로 보강된 시험체들 중 10tonf으로 긴장된 전단지지 방식의 시험체는 표준 시험체에 비하여 48%의 내력 증가를 보였으며, 같은 긴장력을 긴장된 자켓 받침형 정착장치에서는 64%의 내력 증가를 보여 동일한 긴장력이 주어진 상태에서는 자켓 받침형 정착장치가 전단지지방식의 정착장치보다 약 11%정도 보강 효율이 더 좋은 것으로 나타났다.
- 2) 외부 긴장력에 증가에 따라 NEP5, NEP10, NEP15의 시험체에서는 표준 시험체에 비해 각각 보강 효율이 32%, 64%, 73%로 증가되는 효과를 가져왔으나, 강도와 강성의 증가에 비례하여 그만큼 연성이 감소하였다.
- 3) 자켓 받침형 정착장치를 이용하여 외부 긴장공법으로 보강하였을 경우, 표준 시험체 및 전단지지 방식의 시험체 보다 단부 전단력을 감소시키는 효과를 보였으며, 특히 자켓 받침형 외부긴장보강공법은 설치시 보강 시험체에 어떠한 손상을 입히지 않으면서도 가장 큰 보강 효과를 나타내었다.

참고문헌

1. 정문연, 한만엽, (1999), "외부강선 보강을 위한 압축형 단부 브라켓의 개발연구," 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, pp. 697~700.
2. 이상열, 이재형, 한만엽. (2001), "외부프리스트레스 보강 공법에 사용되는 인장형 단부 브라켓의 개발연구." 대한토목학회 논문집, 제21권 제4호, pp. 611~618.
3. Angel C. Aparicio, Gonzalo Ramos, (1996), "Flexural Strength of Externally Prestressed Concrete Bridges," ACI Structural Journal, Vol. 93, No. 5, pp. 512~522.
4. Kiang-Hwee Tan, Chee-Khoo Ng, (1997), "Effects of Deviators and Tendon Configuration on Behavior of Externally Prestressed Beams." ACI Structural Journal, Vol. 94, No. 1, pp13~22.