이동식 재하장치에 의한 PSC-Beam의 거동시험

Behaviour Test of PSC-Beam by Transferable Loading Tester

한경봉* 박선규** 천영덕*** 유문식****
Han, Kyoung Bong Park, Sun Kyu Chun, Yong Duk Yu, Moon Sik

ABSTRACT

In this study, the new testing method for PSC-Beam will be proposed and performed. Transferable loading tester has many advantage compared with other testing method for PSC-Beam. Numerical analyses are performed and the results are compared with those of experimental studies for PSC-beam. Based on the results of this study, an improved testing method is usable for the assessment of load carrying capacity of PSC-Beam.

1. 서론

국내에서 설계 시공되어 유지 관리되는 교량 중 프리스트레스트 콘크리트 빔(PSC-Beam) 교량이 차지하는 비율은 약 15% 정도로 비교적 높은 비율을 차지하고 있다. PSC-Beam 교량은 시공이 간편하고 경제적인 이유로 PSC-Beam 교량은 점차 늘어날 전망이다. 그러나 PSC-Beam 교량의 자체시험 및 연구는 매우 저조하였으며 대부분의 연구는 실제구조물을 축소제작 하거나 Sampling하여 시험 결과를 실제 설계와 시공에 적용하였다.

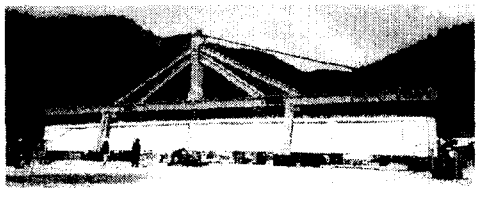


그림 1 이동식 재하장치

본 연구는 실제 표준단면 PSC-Beam을 대상으로 기존의 재래적인 재하실험과는 달리 그림 1과 같이 국내 최초로 개발된 이동식 재하장치를 이용하여 현장재하시험을 실시하여, PSC-Beam의 물리적, 기능적 거동 특성을 시험적으로 규명하고 나아가, 구조물의 안전성을 검토하였다.

일반적으로, PSC-Beam 교량에서는 하부에 위치한 각각의 PSC-Beam이 교량 상판에 작용하는 대부분의 하중을 분담한다. 본 연구에서는 PSC-Beam 제작시의 설계에 의한 PS 긴장재의 인장력으로 발생하는 솟음량을 시험적으로 측정하고 외부하중이 작용하였을 때 처짐 및 응력의 정도를 측정하였다. 비파괴시험 및 외관조사를 실시하여 강도, 부재두께, 철근의 위치여부를 조사하여 그 결과를 분석함으로써 PSC-Beam의 안정성 여부를 판단하였다.

2. 실험대상 PSC-Beam

* 정회원, 성균관대학교 토목공학과 대학원 석사과정
** 정회원, 성균관대학교 토목공학과 부교수
*** (주) 용마엔지니어링 상무이사
**** (주) KR 연구소 책임연구원

본 연구에 사용된 시험체는 30m 표준단면 PSC-Beam으로 품질상태 및 시공상태를 파악하기 위하여 콘크리트 비파괴 강도 추정을 위한 반발경도 시험 및 초음파 탐사시험을 수행하였으며, 철근배근 상태조사도 실시하였다. 각 항목별 시험위치 및 측정개소는 미리 외관조사를 실시한 후에 구조부재 및 외관상태를 고려하여 선정하였다.

콘크리트 강도의 비파괴 시험결과 신뢰성을 확보하기 위하여 현재 공증을 받은 콘크리트 압축강도 추정 제안식들을 적용하여 평균값으로 PSC-Beam의 압축강도를 추정하였다. 그 결과 반발경도법은 콘크리트 압축강도가 347 kg/cm^2, 복합법은 396 kg/cm^{2}로 추정되어 구조상 안전 기준치를 상회하므로 강도 측면에서는 이상이 없다고 판단하였다. 또한 철근탐사 결과 콘크리트 피복 두께 및 철근 배근간격은 설계도면과 일치하였다.

3. 현장재하시험

현장재하시험은 대상 구조물의 실제 거동을 파악하여 안전성 및 내하력을 평가하기 위하여 필요한 자료를 획득할 목적으로 실시한다. 따라서 구조물의 특징에 따라 측정부위 및 요소의 선정이 중요하며 이에 따른 재하방법의 선택이 중요하다. 콘크리트시방서에 따르면 구조물의 콘크리트가 공사중 동해를 받았을 우려가 있을 때, 콘크리트 압축강도 시험결과 강도에 의심이 있는 경우, 공사중 구조물의 안전성에 어떤 근거가 있는 의심이 생겼을 경우 등에 책임기술자가 필요하다고 인정할 때 재하시험을 실시하도록 하고 있다.

본 연구에서 실시한 PSC-Beam에 대한 현장 재하시험은 이동식 재하시험장치를 이용하여 3점재하 방식으로 하중을 0.5ton씩 단계별로 증가시켜 하중단계별 처짐 및 변형율을 측정하였다. 하중재하는 유압잭당 14 ton까지 하중을 가하였다.

3.1 재하시험장치

3.1.1 이동식 재하장치

국내 최초로 개발된 이동식 재하장치로서 재하 방식은 삼각 트러스 타입의 재하대에 PSC-Beam 거치후 유압잭을 이용하여 하중을 재하 하는 형식이다. 기존의 재래식 현장 재하장치와는 달리 조립식으로 설치하기 때문에 이동이 가능하며, PSC-Beam 길이나 모양에 상관없이 자유롭게 현장 재하시험이 가능하다. 그리고, 반복적인 재하가 가능하기 때문에 정·동적 재하시험이 가능하다. 또한 기존의 1점 재하 방식과는 다르게 3점 재하 방식을 채택하여 국부적인 파괴를 방지할 수 있다.

3.1.2 재래식 재하장치와 이동식 재하장치의 비교

이동식 재하시험 장치는 하중을 3개의 유압잭을 통하여 PSC Beam에 재하되며 3개의 유압잭에 작용하는 유압을 동일하게 조정하여 동일한 하중을 3점 재하할 수 있도록 한다.

기존의 재하방식은 PSC-Beam에 1점 재하하는 방식인데 비하여 본 연구에서 사용한 이동식 재하시험 장치는 3점 재하방식을 채택하였다. 이러한 3점 재하방식은 하중작용지점에서의 국부적인 파괴를 방지할 수 있는 장점이 있으며 집중하중에 대한 영향과 동시에 자중과 같은 분포하중의 영향 또한 동시에 고려할 수 있다. 기존 재하방식과의 비교는 표 1과 같다.

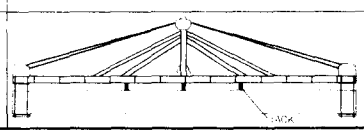
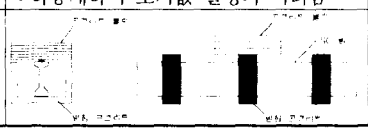
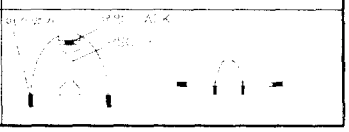
3.2 계측기 설치

변형율을 측정하기 위한 Strain gauge와 처짐을 측정하기 위한 LVDT 그림 2와 같이 설치하였다.

그림 2 계측위치

이동식 재하장치와 PSC-Beam 사이에 1개의 LVDT를 설치하여 이동식 재하장치와 PSC-Beam 사이의 상대변위를 측정하였다. 또한 하중변화에 따른 변형률이나 처짐값을 정확히 측정하기 위하여 다음과 같이 하중이 재하되는 3개의 유압잭중 중앙에 위치한 유압잭 상단에 Load Cell을 설치하여 유압에 의한 하중값을 측정하였다.

표 1 재래식 재하장치와 이동식 재하장치의 비교

구분	이동식 재하시험장치	콘크리트 블럭재하방식	어스앵커 이용 재하방식
방식	삼각 트러스 타입의 재하대에 PSC-Beam 거치후 유압 잭을 이용하여 하중을 재하하는 방식	현장제작된 콘크리트 받침대에 PSC-Beam을 거치하여 고정한 후 콘크리트 블럭으로 하중을 증가시키며 재하하는 하중재하 방법	PSC-Beam 위에 유압잭을 설치하고 하중 재하 받침대를 어스앵커로 고정시킨후 유압 잭을 이용하여 하중을 재하하는 방식
장점	• 교량의 정·동적재하시험 가능 • 반복재하 가능 • PSC 빔와 단위부재의 빔 구조물 재하 가능 • 재하 하중을 자유롭게 변경 가능 • 조립 및 해체 이동 가능 • 재하시험의 안전성 및 신뢰도가 높음.	• 현장제작 가능 • 시험이 비교적 단순	• 유압 FORCE 형식으로 재하 하중을 자유 롭게 변경할 수 있다.
단점	• 재하시험 장치의 자중이 무겁다.	• 1회성 사용으로 반복사용 불가 • PSC 빔만 재하 가능 • 콘크리트 블럭 재하시 안전사고 위험 • 콘크리트 블럭의 자중외에 하중 변화 불가능 • 하중재하시 초기값 설정의 어려움	• 비용이 고가 • 1회성 사용으로 반복사용 불가 • 앵커의 뽑힘 현상으로 안전사고 위험
그림			

4. 시험결과

현장재하시험은 측정 대상인 PSC-Beam에 대하여 3점 재하시 1점당 최고 14ton까지 단계별로 하중을 증가시키며 시험을 실시하였다. 이에 대한 처짐값 및 변형률 값은 그림 3, 4와 같다.

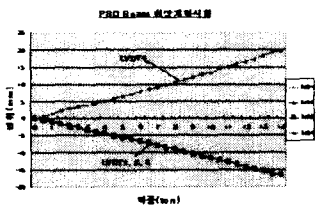


그림 3 하중-처짐 관계

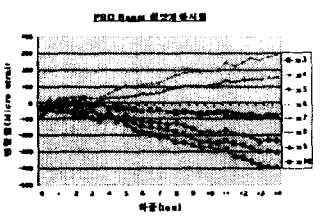


그림 4 하중-변형율 관계

5. 구조해석

시험체의 실험적 거동특성과 이론적인 거동특성을 비교, 평가하기 위하여 PSC-Beam에 대해서 유한요소 해석을 수행하였다. 해석은 재하된 하중단계별로 구분하여 해석하였다.

5.1 유한요소해석

연구대상구조물인 PSC-Beam에 대한 유한요소해석은 Frame요소를 사용하여 모델링 하였다. 입력자료로 사용된 부재의 단면특성 및 재료의 물성은 표 2와 같다.

표 2 PSC-Beam의 단면특성 및 재료 물성

부재명	단위중량 (t/m^3)	탄성계수(t/m^2)	단면2차모멘트(m^4)
P.S.C BEAM	2.5	3.00×10^9	0.3841

단계별 하중에 대한 구조해석값과 현장측정값과의 비교분석을 통하여 응답비를 도출하였다. 결과는 표 3, 4와 같다.

표 3 처짐 비교

계측 번호	구분	Load Case (t)							
		0	2	4	6	8	10	12	14
LVDT 1	실측치	0	2.24	4.56	6.80	9.17	11.42	14.16	16.50
	계산치	0	2.91	5.83	8.75	11.66	14.58	17.49	20.41
	응답비	0	0.77	0.78	0.77	0.78	0.78	0.81	0.81
LVDT 2	실측치	0	2.22	4.52	6.71	9.09	11.42	14.11	16.42
	계산치	0	2.89	5.81	8.73	11.64	14.56	17.47	20.39
	응답비	0	0.77	0.78	0.77	0.79	0.78	0.81	0.81
LVDT 3	실측치	0	2.19	4.50	6.75	9.13	11.47	14.13	16.45
	계산치	0	2.89	5.81	8.73	11.64	14.56	17.47	20.39
	응답비	0	0.77	0.78	0.77	0.79	0.78	0.81	0.81

표 4 응력 비교

계측 부위	구분	Load Case (t)							
		0	2	4	6	8	10	12	14
하부 플랜지	실측치	0	3.78	11.20	21.80	28.82	36.29	54.28	57.28
	계산치	0	8.73	17.46	26.18	34.91	43.64	52.37	61.10
	응답비	0	0.45	0.64	0.83	0.84	0.83	1.03	0.94
하부 플랜지	실측치	0	3.78	8.40	15.95	19.48	26.28	31.78	35.47
	계산치	0	5.42	10.83	16.25	21.66	27.08	32.49	37.96
	응답비	0	0.70	0.78	0.98	0.90	0.97	0.98	0.93
상부 플랜지	실측치	0	-5.04	-14.00	-20.7	-22.55	-30.44	-37.70	-46.57
	계산치	0	-6.89	-13.77	-20.66	-27.55	-34.44	-41.35	-48.21
	응답비	0	0.73	1.02	1.00	0.82	0.88	0.91	0.97
상부 플랜지	실측치	0	-2.52	-14.00	-31.63	-40.71	-48.23	-54.29	-68.36
	계산치	0	-10.20	-20.40	-30.60	-40.80	-51.00	-61.20	-71.40
	응답비	0	0.25	0.69	1.03	1.00	0.95	0.89	0.96

5.2 안전성 평가

구조물이 보유하고 있는 안전도를 추정하기 위한 내하력 평가는 내하력 분석 및 평가기법의 합리성과 결과의 신뢰도가 중요한 문제로 대두된다. 내하력 평가방법은 건설교통부의 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 1996』을 준용하였고 구조해석을 수행한 결과와 현장측정을 통하여 획득한 재하시험의 실측자료를 토대로 PSC-Beam의 안전성을 평가하였다. 응답비가 1보다 작다는 것은 실제 구조물이 가지고 있는 내하력이 계산된 내하력 보다 커서 구조물이 안전하다는 것을 의미하는데, 본 연구에서 수행한 PSC-Beam의 처짐에 대한 응답비는 0.77~0.81 정도로 그 값들이 일정한 분포로 나타났으나 응력의 경우는 0.25~1.02 사이여서 그 변동폭이 컸다. 그러나 작용하중이 증가할수록 그 값들이 일정한 분포를 보였다. 따라서,시험대상 PSC-Beam은 소요의 안전성을 확보하고 있어 실 구조물로 사용이 가능하다고 판단하였다.

6. 결 론

PSC-Beam은 시공상 오류, 즉 프리스트레싱 과정, 콘크리트 타설 과정, 양생과정 등과 운반상 취급부주의, 추락 등으로 손상을 받을수 있으며, 설계하중 이상의 과적하중에 의해서도 손상을 받기 쉬운 구조물이다. 손상정도와 내하력 판단을 위해 현장에서 재하시험을 실시할 경우 현장여건상 그 적용이 불가능한 현실이었다. 이에 본 연구에서는 국내 최초로 제작된 이동식 재하장치를 개발하여 PSC- Beam의 내하력을 손쉽게 측정할 수 있었다. 본 연구에서 개발된 이동식 재하장치를 이용하여 향후 폐교량 내하력 평가시험, 실물재하시험, 노후 교량의 정·동적 재하시험 등에 안전하고 신속하게 구조물의 안전성을 평가할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

1) 건설기술연구원, "교량관리체계 개선," 건설교통부, 1995.
2) 심종성, "비파괴 시험법의 분류 및 특징," 한국콘크리트 학회지, 제 6권 제2호, 1994.
3) 건설교통부제정, 콘크리트 표준 시방서, 1996.
4) 건설교통부제정, "안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 (교량)," 1996.
5) 변근주, 송하원, 유동우, "파괴시험에 의한 철근콘크리트 T형교 거동의 시험적 연구", 대한토목학회 논문집, 1998.
6) 김은겸, "쌍령교 PSC-Beam 재하시험 보고서," 1998
7) 신현묵, "프리스트레스트 콘크리트," 동명사, 1993