

IPC 거더 연속교의 실교량 내하력 평가 연구

Load Bearing Capacity Evaluation of Continuous IPC Girder Bridge.

한 만 엽* 황 의 승** 진 경 석*** 강 상 훈**** 신 재 우****
Han, man yop Hwang, eu seung Jin, kyung seok Kang, sang hoon Shin, jae yoo

ABSTRACT

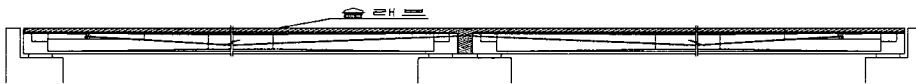
This study was performed to evaluate about load bearing capacity of continuos IPC Girder Bridge under and after Construction. This is Ichi-1 Bridge that is 2-40m span continuous bridge on a extension road through the Ichun and the Naesa. The result of static loading test to use a 25ton truck after construction, deflection ratio is 0.64 that is 35% and average of response ratio is 0.48~0.89 that is less than theoretical value. The result of dynamic loading test, the number of proper vibrations is 3.06Hz that is like theoretical value 3.61Hz, the modulus of impact is 0.235 that is bigger than specification 0.19. the load bearing capacity is minimum DB-40 that is so big value. In the result, continuos IPC Girder Bridge is safe in short period. we will evaluate long period behavior of continuos IPC Girder Bridge.

1. 서론

본 연구에서는 국내 최초로 시공한 IPC(Incrementally Prestressed Concrete) 거더 연속교(이치-1교)를 대상으로 1·2차 긴장과 정적·동적 차량재하실험에 따른 교량의 구조적 거동을 계속하였다. 단단계 긴장을 수행하는 IPC거더의 원리와 단부 노출 정착장치, 연속 강선의 원리를 결합한 지간 40m의 2경간 연속교에 대해 단계별 설계 결과를 제시하고 1·2차 긴장과 정적·동적 차량재하실험에 따른 거더의 변위와 변형률을 설계치와 비교분석함으로써 IPC 거더의 해석 및 설계이론의 정당성을 검증하였다. 또한 실 교량에서의 실험과정을 통해 시공 중 1·2차 긴장과 정적·동적 차량재하실험에 따른 설계이론 및 시공 상 문제점 등을 제시하고자 한다.

2. IPC거더 연속교(이치-1교) 제원 및 시공 순서

2.1 IPC거더 연속교의 제원



<그림 2.1> 종단면도

IPC거더 연속교의 형식 및 조건, 재료의 물리상수는 <표 2.1.1>, <표 2.1.2>와 같다.

- *정회원, 아주대학교 환경건설교통공학부 교수
- **정회원, 경희대학교 토목건축공학과 교수
- ***정회원, 아주대학교 건설교통공학과 박사과정
- ****정회원, 아주대학교 건설교통공학과 석사과정

<표 2.1.1> 이치-1교의 설계형식 및 조건

형식	총 지간 (m)	폭 원 (m)	IPC 거더 (m)	설계 등급	거더높이 (m)
	80	9.75	39.9	1등급	1.8

<표 2.1.2> 재료의 물리상수

구 분	재 료	콘 크 리 트		철 근	
		f_{ck}	E_c	f_y	E_s
	IPC 거더 (kgf/cm^2)	400	280,000	3,000	4,000
	바닥판 (kgf/cm^2)	270	246,475	2000,000	2000,000

2.2 교량의 시공 순서

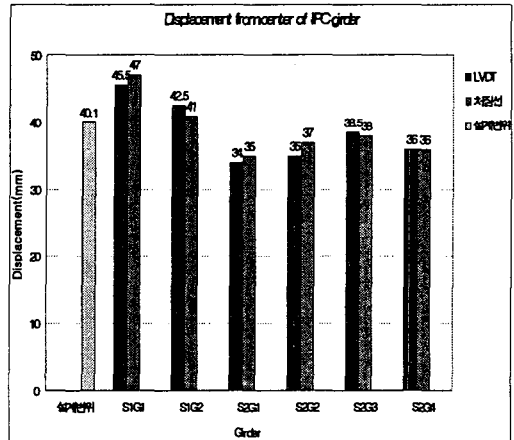
IPC거더 연속교의 시공순서는 거더의 자중 및 바닥판 슬래브 하중을 지지하기 위한 1차 강선 긴장 거더 거치 조인트 쉬스 연결 및 연속 긴장재 배치 이음부 및 바닥판 슬래브 타설 및 양생 연속강선의 긴장 단간, 연속등 추가 사하중 작용 활하중 작용 등의 순으로 진행된다.

3. 1·2차 긴장 계속

3.1 1차 긴장 계속 결과 및 분석

IPC거더 철근 조립과정 중 거더 중앙부, 최대 휨모멘트 위치에서 상·하부 플랜지의 주철근, 전단부 철근, 거더에 Steel Gauge를 부착하여 변형률을 계측하였다. 또한 1차 긴장시 거더의 Bracket부, 중앙부, Joint부의 상부 플랜지 위치에 LVDT를 설치하여 긴장에 의한 거더의 Bracket부와 내부지점부의 변위, 즉 거더단부 지점침하에 의한 처짐과 중앙부의 솟음량을 계측하였다.

<그림 3.1>은 1차 긴장시 거더별 변위를 설계치(이론치), LVDT 계측치, 처짐선 계측치를 토대로 서로 비교분석한 것이다. SIG1, SIG2의 경우는 설계치 보다 다소 크게 솟음이 발생한 반면, S2G1, S2G, S2G3, S2G4는 적은 솟음이 발생하였다. 그 이유는 제작일의 차이로 인해 재령기간이 긴 S2G1, S2G, S2G3, S2G4의 솟음량이 더 적게 발생하였기 때문이다. LVDT의 솟음을 평균하여 설계변위와 비교하면 0.962로 설계변위와 실측변위가 근사함을 볼 수 있다. 거더 1/4지점의 상부 플랜지와 거더의 휨 방향에 LVDT를 설치하여 거더의 뒤틀림을 계측해 본 결과 SIG1 1mm의 변화로 긴장에 따른 뒤틀림이 거의 없는 것으로 나타났다.



<그림 3.1> 거더별 변위 분석

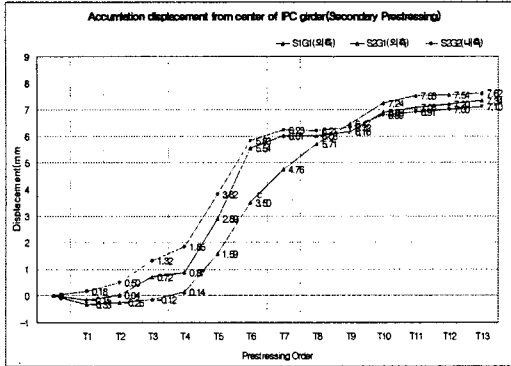
<표 3.1.1> 1차 긴장시 센서의 설치위치

	SIG1	SIG2	S2G1	S2G2	S2G3	S2G4
LVDT	A, C, D, F	A, C, F	A, C, F	A, C, F	A, C, F	A, C, F
Steel Gauge	B, C, E	B, C, E	B, C, E	B, C, E	B, C, E	B, C, E

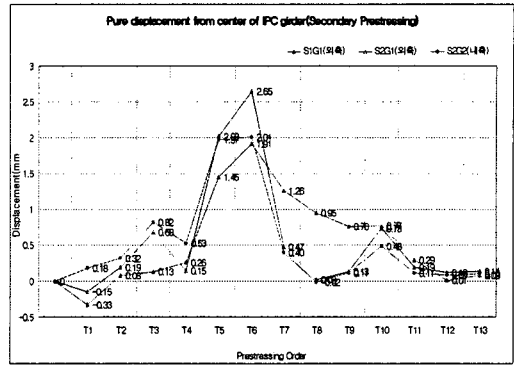
A, F : 지점으로부터 60cm떨어진 위치의 상부 플랜지(교좌판의 중앙) C : 거더 중심부의 상부 플랜지 D : Joint부에서 10m떨어진 위치의 상부 플랜지와 거더 휨 방향 B : Bracket부에서 15m떨어진 위치의 상부 플랜지 E : Joint부에서 180cm떨어진 위치

3.2 2차 긴장 계측 결과 및 분석

철근 조립시 중앙부에 설치한 Steel Gauge를 결합하여 2차 긴장 전에 S1G1, S2G1, S2G2 거더 중앙부 바닥에 Concrete Gauge와 LVDT를 설치하여 2차 긴장에 의한 IPC 거더 연속교의 각 거더에 미치는 영향을 계측하였다.



<그림 3.2.1> 2차 긴장에 따른 거더의 누적 솟음량



<그림 3.2.2> 2차 긴장에 따른 거더의 순 솟음량

각 거더별 2차 긴장에 따른 솟음량은 거더외측이 7.62mm로 가장 큰 솟음이 발생하였고 내측이 7.10mm로 가장 적은 솟음이 발생하였다. 외측거더와 내측거더의 변위 평균값을 구조해석프로그램(sap2000)에 의한 계산값인 271mm로 나누어 실측비를 비교하면 외측 내측이 각각 0.276, 0.262로 적은 솟음이 발생했음을 알 수 있다. 솟음이 적게 발생한 이유는 1차 긴장시에 거더의 전 긴장재를 양단에서 긴장시켜 긴장력의 충분한 효과를 얻는데 반해, 2차 긴장시에는 한쪽 브라켓의 긴장재 1가닥만을 긴장시킬 수 있는 단동 긴장기로 4일에 걸쳐 교량 전체 거더의 긴장재를 긴장함으로써 긴장효과가 적게 발생한 것으로 판단된다.

4. 정적·동적 차량재하실험

4.1 정적 차량재하실험 결과 및 분석

정적 차량재하실험은 1·2차 긴장시의 Steel Gauge, 바닥판 상부와 거더 하부에 Concrete Gauge와 Steel Gauge, 거더 중앙부 하부에 LVDT를 설치하여 IPC거더 연속교 거동에 대해 계측하였다.

<표 4.1.1> Load Case별 응답비

위치	가장 불리한 하중경우	센서	응답비
G1 (중앙부)	LC1	LC1의 평균 응답비	0.50
	LC8	LC8의 평균 응답비	0.72
	평균 응답비		0.61
G2 (중앙부)	LC8	평균 응답비	0.50
G3 (중앙부)	LC2	LC2의 평균 응답비	0.65
	LC6	LC6의 평균 응답비	0.78
	평균 응답비		0.72
G4 (중앙부)	LC6	평균 응답비	0.48
외측거더 (지점부)	LC5	평균 응답비	0.89
내측거더 (지점부)	LC5	평균 응답비	0.64

구분	주행속도	방향	차신
Load Case 1	10km	용인 → 이천	1
Load Case 2	10km	이천 → 용인	1
Load Case 3	30km	용인 → 이천	1
Load Case 4	30km	이천 → 용인	1
Load Case 5	55km	용인 → 이천	1
Load Case 6	60km	이천 → 용인	1
Load Case 7	55km	용인 → 이천	1
Load Case 8	65km	이천 → 용인	1
Load Case 9	10km	용인 → 이천	2
Load Case 10	10km	이천 → 용인	2
Load Case 11	30km	용인 → 이천	2
Load Case 12	30km	이천 → 용인	2
Load Case 13	55km	용인 → 이천	2
Load Case 14	60km	이천 → 용인	2
Load Case 15	55km	용인 → 이천	2
Load Case 16	65km	이천 → 용인	2

측정된 평균 응답비는 0.48에서 0.89 사이로 이론값보다 작은 것으로 나타났다.

4.2 동적 차량재하실험 결과 및 분석

<표 4.2.1> 거더의 각 Load Case별 충격계수

거더	Load Case	D_{st} 평균	i 평균	전체 평균 i	시방서규정 i	고유진동수(Hz)
G1	LC1 ~ LC8	7.21	0.177	0.235	0.19	3.06
	LC9 ~ LC16	2.97	0.29			
G3	LC1 ~ LC8	7.19	0.207			
	LC9 ~ LC16	3.02	0.319			
G4	LC1 ~ LC8	6.16	0.221			
	LC9 ~ LC16	4.07	0.197			

각 거더별로 충격계수를 구하여 평균값과 시방서 규정에 의한 결과치를 비교하면 충격계수는 다소 큰 수치를 나타내며 고유진동수는 이론치 3.61Hz와 비슷한 결과를 보임을 알 수 있다..

5. 결론

실교량(이치-1교) IPC(Incrementally Prestressed Concrete) 거더 연속교를 대상으로 시공 전·후 1·2차 긴장과 정적·동적 차량 재하실험에 따른 교량의 거동을 개측하여 설계치와 비교 분석한 결과 1차 긴장으로 인한 거더의 변위비는 0.962로 개측치가 설계치 보다 다소 적게 발생하였다. 2차 긴장의 경우 긴장력 도입의 문제로 인하여 변위비는 설계치에 비해 외측이 0.276, 내측이 0.262정도의 적은 솟음이 발생하였으며, 설계치의 약 30%정도의 솟음만이 발생하여 평균적으로 30%정도의 긴장력만이 도입된 것으로 판단된다. 교량 준공 후 25ton의 트럭하중을 이용한 정적재하시험이 수행된 결과, 처짐치는 0.64로서 이론값보다 35% 정도 적은 처짐이 발생하였으며, 응력계측에 의한 평균응답비가 0.48에서 0.89 사이로 이론값보다 작은 것으로 나타났다. 동적재하시험결과 고유진동수는 3.06Hz으로 이론치인 3.61Hz과 비슷한 결과를 얻었으며, 충격계수는 0.235로서 시방서에 규정된 0.19보다 다소 큰 값을 얻었고, 최종적인 공용내하력은 최소 DB-40에 해당하는 다소 과다한 내하력을 갖는 것으로 판명되었다. 따라서, IPS거더 연속교는 단기간 내하력 평가결과로는 구조적으로 안전한 것으로 나타났으며, 추후 장기적인 거동을 평가해야할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국도로교통협회(2000), 도로교 설계기준
2. 한국콘크리트학회(2000), 콘크리트 구조설계기준·해설
3. 한국과학기술원 연구보고서(2001), IPC거더 연속교의 장기거동 예측에 관한 연구
4. 아주대학교 토목기술연구센터(1999), 장경간 IPC 거더 개발연구
5. 아주대학교 토목기술연구센터(1999), IPC거더를 이용한 연속교 개발연구
6. 아주대학교 토목기술연구센터(1999), IPC거더의 구조적 거동에 관한연구
7. 아주대학교 토목기술연구센터(1997), 당경고교의 보강을 위한 내하력 평가 및 보강방안 검토 연구자료
8. 신현목(1997), 프리스트레스트 콘크리트
9. 황학주(1994), 교량공학
10. Edward G. Nawy(1996), Prestressed Concrete
11. Eugene J. O'bren and Damien L. Keogh(1995), Bridge Geck Analysis
12. James W. Dally & William F. Riley(1979), Experimental stress analysis
13. C. Menn(1990), Prestressed Concrete Bridge