

# IPC거더 연속교의 장기거동 모니터링

## Monitoring of Long-Term Behavior of The Continuous IPC Girder Bridge

이 홍 우\*     안 정 생\*\*     김 경 원\*\*\*     유 상 희\*\*\*\*  
Lee, Hong Woo     Ahn, Jeong Saeng     Kim, Kyoung Won     Yu, Sang Hui

---

### ABSTRACT

IPC girder is more prestressed and has smaller sectional area than the conventional PSC-I type girder due to incremental prestressing along the construction process. The continuous IPC girder bridge may have problems in serviceability and stresses at internal supports because it is very flexible. In this paper, The long-term behavior of the continuous IPC girder bridge is studied through long-term structural analysis and monitoring the deflections.

The long-term behavior is monitored right before the introduction of 2nd prestressing that is the construction process different from the conventional PSC-I type girder bridge. The total station of high-precision was used in measuring the deflections. According to the monitoring result so far, the continuous IPC girder bridges does not show remarkable long-term behavior like severe camber or deflection and the measured deflections are very similar to the results of long-term structural analysis.

### 요 약

IPC 거더교(Incrementally Prestressed Concrete Girder Bridge)는 단단계 긴장을 이용하여 구조적 효율을 최대화하기 때문에 기존의 PSC-I형 거더교에 비하여 작은 단면에 큰 긴장력이 도입된다. 따라서 기존의 PSC-I형 거더교에 비하여 강성(stiffness)이 작아져서 장기적으로 큰 변형이 발생할 가능성이 있다. PSC 거더 연속교에서의 장기변형은 연속지점부의 응력에도 큰 변화를 일으키기 때문에 장기적 거동을 고려하지 않으면 구조물의 사용성 뿐만 아니라 안전성에도 문제를 일으킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 IPC 거더 연속교의 장기거동 모니터링을 통하여 예상범위를 초과하는 특이 거동의 발생을 포함한 IPC거더교의 장기적인 솟음 또는 처짐 특성을 파악하고자 하였다.

장기거동의 계측은 계측방법의 용이성과 정밀도에 대한 검토를 통하여 고정밀도의 토탈스테이션을 사용하였으며, 기존의 PSC-I형 거더교 공정과 차별되는 2차 긴장력 도입 공정부터 처짐을 계측하였다. 현재까지의 계측결과를 보면, IPC거더 연속교는 특이한 거동, 즉 과도한 솟음이나 처짐은 없었으며 장기구조해석 결과와 상당히 유사한 경향을 보였다.

---

\*정회원, (주)인터컨스텍 기술연구소 대리  
\*\*정회원, (주)인터컨스텍 기술연구소 소장  
\*\*\*정회원, (주)인터컨스텍 기술연구소 부장  
\*\*\*\*정회원, (주)인터컨스텍 기술연구소 대리

## 1. 서론

콘크리트 구조물에서는 재하즉시 발생하는 탄성변형 외에 콘크리트의 크리프와 건조수축과 같은 시간 의존적 장기변형이 발생한다. 이러한 콘크리트의 장기적인 변형은 시공단계에 따라 단순구조에서 연속구조로 변화하는 PSC-I형 합성거더 연속교에서는 연속부의 응력에 큰 영향을 준다.<sup>(1)</sup>

IPC 거더(Incrementally Prestressed Concrete Girder) 연속교는 거더에 1차 긴장력을 도입하여 하부 구조에 거치하고, 연속부와 합성슬래브의 콘크리트를 타설하고 양생이 끝나면 연속텐던을 긴장하는 PSC-I형 합성거더교로서, 구조적 효율성이 뛰어나기 때문에 기존의 PSC-I형 거더교에 비하여 작은 단면을 갖는다.<sup>(2)</sup> 따라서 IPC 거더교는 기존의 PSC-I형 거더교에 비하여 강성(Stiffness)이 작기 때문에 시공단계별로 상대적으로 큰 처짐이나 솟음이 발생한다. 이러한 거동 특성을 갖는 IPC 거더 연속교는 과도한 장기적인 변형이 발생하여 사용성은 물론 연속부의 구조적 안정성에도 문제가 발생할 가능성이 있다.

본 연구에서는 IPC거더 연속교의 장기거동 모니터링을 통하여 예상범위를 초과하는 특이 거동의 발생을 포함한 IPC거더교의 장기 솟음 또는 처짐 특성을 파악하고자 하였다.

## 2. 토탈스테이션을 이용한 장기계측

### 2.1. 계측장비

장기변형 계측에는 바이브레이팅 와이어 스트레인 게이지(vibrating wire strain gauge), 광섬유센서, 레이저 변위계, water manometer, 측량기 등이 사용된다<sup>(3)</sup>. 그러나 아직까지 합리적인 비용범위 내에서 교량현장에 적용가능하며 장기적인 계측 정밀도를 유지할 수 있는 방법을 찾기는 쉽지 않다. 본 연구에서는 여러 가지 장기계측방법 중에서 계측방법의 용이성, 정밀도, 현장적용성 및 비용 등에 대한 다각적인 검토를 통하여 고정밀도의 토탈스테이션을 사용하는 방법을 선택하였다. 장기계측에 사용한 토탈스테이션의 기종 및 정도는 표 1과 같다.

표 1 토탈스테이션의 기종 및 정도

기종	측각정도	측거정도	측정온도	최소표시	자동 보상범위
TCA1800(Leica)	1"	1mm+2ppm	-20℃ ~ +50℃	1"	4'

### 2.2. 계측대상교량

계측대상 IPC거더 연속교는 모두 교통량이 비교적 적은 교량을 선정하였다. 대상교량의 구조형식 및 설계조건은 표 2와 같다. 표 3은 대상교량의 시공일정을 나타낸 것이다.

표 2 계측대상교량의 구조형식 및 설계조건

교량명	고지 1교	봉성 2호교	원암 1교
형 식	2경간 연속	2경간 연속	3경간 연속
경간	55m (27.5+27.5)	66m (33+33)	120m (40+40+40)
설계하중	DB/DL-24	DB/DL-24	DB/DL-24
거더높이	1.10m	1.40m	1.90m
거더중심간격	2.00m	2.30m	2.35m
바닥관두께	0.25m	0.25m	0.25m
폭원	10.500m	7.000m	9.145m

표 3 계측대상교량의 시공일정

교량명	고지 1교	봉성 2호교	원암 1교
제작	2005. 05. 01	2006. 05. 10	2006. 08. 26
1차 긴장	2005. 06. 04	2006. 09. 15	2006. 09. 30
가설	2005. 10. 13	2006. 11. 02	2006. 10. 18
슬래브타설	2006. 05. 04	2006. 12. 14	2006. 12. 13
2차 긴장	2006. 11. 18	2007. 04. 27	2007. 04. 19
방호벽타설	2006. 05. 25	2007. 02. 06	2007. 06. 23
그라우팅	2006. 11. 19	2007. 04. 30	2007. 04. 20
아스팔트포장	2007. 04. 25	-	-

### 2.3. 장기계측 방법

장기변형은 그림 1과 같이 외측거더 하연에서 약 100mm 떨어진 하부플랜지 측면에 설치한 계측용 L형 프리즘의 상대적 위치변화를 측량하여 산정하였다. 프리즘은 교축방향으로는 교량의 단부, 경간의 중앙, 연속지점부에 설치하였다. 즉 2경간인 고지 1교와 봉성 2호교의 경우에는 5개, 3경간인 원암 1교의 경우에는 7개의 프리즘을 설치하였다. 그리고 현장에서 계측방법의 오차 발생정도를 확인하기 위해 주변 지형지물에 고정용 L형 프리즘을 3개씩 설치하였다.

토탈스테이션은 기상조건의 영향을 받기 때문에 계측의 정밀도를 높이기 위해 현장에서 온도, 기압, 습도를 측정하여 입력함으로써 계측치를 보정하였다. 맑은 날에 계측을 할 경우에는 차양막을 설치하여 토탈스테이션 내부의 온도 상승을 방지하였다.

토탈스테이션의 설치가 완료되면 계측용 프리즘과 고정용 프리즘에 대하여 10회 이상 반복적으로 정·반 계측을 시행하였다. 계측 시기는 2차 긴장 직전에 1회 이상을 실시하였고, 2차 긴장 후에는 크리프와 건조수축의 장기변화특성을 고려하여 초반에는 계측 간격을 짧게 하고 점차 계측 간격을 길게 하였다. 교량의 위치별 온도차에 의한 솟음량의 변화 정도를 확인하고자 그림 1의 ③과 같이 적외선 온도계를 이용하여 교량의 상·하부의 표면온도를 계측 시 마다 측정하였다.



그림 1 솟음량 계측 과정

### 2.4. 솟음량 산정

계측된 데이터는 3차원 좌표 값을 갖는 3개의 점들로 구성되는데, 오차가 큰 데이터를 필터링한 다음에 양단의 두 점을 지나는 직선에 대한 중앙 점의 수직거리를 계산하였다. 2차 긴장 직전의 수직거리를 기준으로 2차 긴장 이후의 시간에 따른 수직거리의 변화를 솟음량의 변화로 산정하였다.

## 3. 장기계측 결과 및 분석

### 3.1. 계측된 솟음량의 오차 발생정도

계측의 정도는 바람, 습도, 일사량 등 계측 시의 환경의 영향을 받는다. 각 교량현장에서 위치가 고정되어 있다고 판단되는 곳에 고정프리즘을 설치하여 이를 계측함으로써 계측 환경에 의한 오차를 간접적으로 평가하였다. 측정된 평가오차는 고지교 1.1mm, 봉성2호교 0.7mm로 나타나 오차범위가 대략 1mm 정도임을 알 수 있었다. 원암1교의 경우 적절한 고정점 설치 장소가 없어 고정프리즘을 전신주에 설치하였으나 분석 결과 큰 변위가 발생한 것으로 나타나 오차평가에 사용할 수가 없었다.

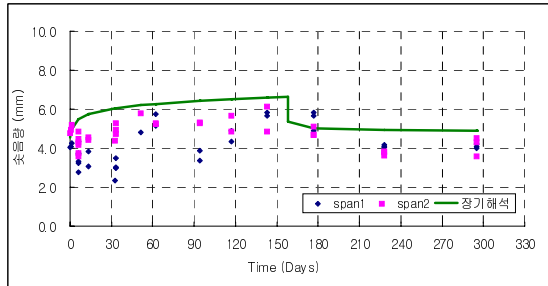
### 3.2. 교량 표면온도차에 의한 솟음량 변화

교량의 표면온도분포 차이에 따른 솟음량의 변화를 알아보려고 고지1교와 봉성2호교에서 약 12시간 동안 계측을 수행하였다. 이론적으로는 교량 상하부 온도차가 크면 클수록 솟음량은 커져야 하나 계측 결과에서는 온도차와 솟음량 변화의 연관성을 찾을 수 없었다. 이는 교량 상하부 온도차에 의한 솟음

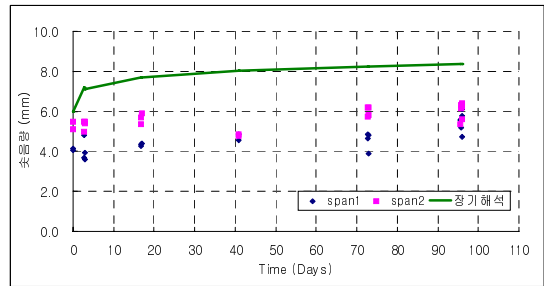
량의 변화가 본 연구에 사용한 토탈스테이션의 계측오차범위(≒1mm)내에 있기 때문에 판단된다. 따라서 본 연구에서는 교량 상하부의 온도차에 의한 보정은 하지 않았다.

### 3.2. 시간에 따른 IPC거더 연속교의 솟음량

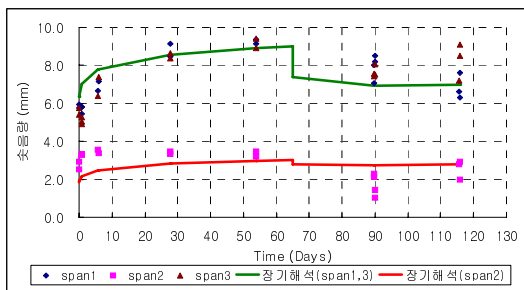
그림2는 2차 긴장 후에 계측한 솟음량과 상용프로그램(MIDAS/Civil 2006)을 이용한 장기구조해석 결과를 비교한 것이다. 여기서 span1, span2, span3는 계측위치에서 교량을 보았을 때 좌측에서 우측의 순서로 표현한 경간의 중앙점 솟음량이다.



(a) 고지1교



(b)봉성2호교



(c)원암1교

그림 2 2차 긴장 후 시간에 따른 솟음량

계측 결과, 2차 긴장직후 발생한 최대 솟음량이 고지1교는 4.8mm, 봉성2호교는 5.3mm, 원암1교는 5.9mm(span2는 2.7mm)로 나타나 각각 장기해석에 의한 솟음량 4.6mm, 6.0mm, 6.3mm(1.9mm)와 상당히 유사한 경향을 보였다. 또한 솟음량의 변화량은 고지1교는 1.7mm, 봉성2호교는 1.4mm, 원암1교는 3.6mm(0.6mm)로 각각 장기해석에 의한 솟음량의 변화량 2.0mm, 2.4mm, 2.7mm(1.1mm)와 상당히 유사하였다.

## 4. 결론

본 연구에서는 IPC 거더 연속교의 장기거동 모니터링을 통하여 예측범위를 초과하는 특이한 장기거동의 발생을 포함한 IPC 거더교의 장기 솟음 또는 처짐 특성을 파악하고자 하였다. 아직 계측데이터의 양이 충분하지 않지만 현재까지의 계측결과를 보면, IPC 거더 연속교는 특이한 거동 즉 과도한 솟음이나 처짐이 없었으며, 그 거동은 장기구조해석 결과와 상당히 유사한 양상을 보였다.

### 참고문헌

1. 곽효경, 서영재, 박영하(1999.1) 합성형 교량의 장기거동해석 곽효경, 대한토목학회 논문집, 제 19권 제1-1호, pp1-17
2. 한만엽, 황의승, 김성겸(2000.1) IPC 거더의 구조적 거동에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, 제 20권 제4-A호, pp525-533
3. Ronald A. Cook(2005), Field Verification of Camber Estimates For Prestressed Concrete Bridge Girders, Report No. BD-545 RPWO#7, The University of florida.