

# 교량설계 변수가 IPC 거더 연속교의 형고에 미치는 영향

## The Effect of Design Parameter on the Beam Depth of IPC Girder Continuous Bridge

한 만 엽\*      김 보 형\*\*      김 상 완\*\*\*  
Han, Man Yop      Kim, Bo Hyoung      Kim, Samg Wan

---

### ABSTRACT

A existing design method of PSC girder bridges , according to total service loads, stress required tendon force at a time. Because this design method increases beam depth, design of long span is difficult. However, As IPC girder stressing at difficult loading stages reduces sectional depth of PSC girder, both design and operation of long span bridges is possible. so, this study analyzes the effect of design parameter (Girder Strength, Girder Spacing, Span Length, Joint Strength) on the beam depth of IPC girder continuous bridges, and shows sectional depth of IPC girder for design of long span bridges. According to analysis, when a continuous bridges of same length span is at strength of joint over strength of girder of  $600\text{kg/cm}^2$ , a change of beam depth is observed and when a continuous bridges of different span length is at strength of joint below strength of girder of  $600\text{kg/cm}^2$ , a change of beam depth is observed. In two case, a change of beam depth is mostly observed over strength of girder of  $350\text{kg/cm}^2$ . according to analysis of deflection data, a continuous bridges of IPC girder is nearly satisfied with deflection provisions of specifications.

---

#### 1. 서론

기존의 PSC I형 거더를 이용한 교량의 경우 장경간 교량의 적용의 한계로 인해 지간길이 30m 이하에만 제한적으로 이용되어지고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 PSC 거더 설계시 이용된 기존 설계 방법을 개선한 다단계 긴장형 프리스트레스트 콘크리트 거더(Incrementally Prestressed Concrete Girder, IPC Girder)를 이용하여 연속 교량을 설계 분석하였다. 일정 교폭을 가지는 교량을 대상으로 거더강도( $400\sim 600\text{kg/cm}^2$ ), 30~60m까지 지간길이의 변화, 등-부등간격의 2, 3경간 IPC 거더 연속교

- 
- \* 정회원, 아주대학교 토목설계공학과 교수
  - \*\* 정회원, 아주대학교 토목설계공학과 석사
  - \*\*\* 정회원, 아주대학교 토목설계공학과 석사과정

로 설계하였다. 또한 거더의 간격을 50cm 간격으로 변화를 주어 설계를 실시하였으며, 연속교의 경우에는 이음부의 강도를  $270\text{kg/cm}^2$ 를 기준으로 강도를 증가시켜 가면서 설계를 실시하였다.

각 조건에 따라 설계된 거더의 형고는 콘크리트의 허용 응력을 만족하며, 시방 기준에서 제시하는 허용처짐 1/800에 부합하는 최저 형고로서 제시된다. 먼저 응력을 만족하는 단면을 응력지배 단면이라 칭하였으며 응력과 처짐을 모두 만족하는 단면을 처짐지배 단면이라 칭하였다. IPC 거더에 관한 이론 및 실험적인 내용은 참고문헌에서 살펴볼 수 있으므로 본 연구에서는 설계 결과에 따른 분석만을 고찰하기로 한다.

## 2. 연속화 공법 및 시공 순서

본 연구에서 적용된 IPC거더 연속화 공법은 연속강선을 이용한 구조적 연속화 공법이다. 상부 바닥판을 연속화한 기존의 연속화 공법과는 다르게 미리 제작된 PSC거더를 교각 위에 거치하고, 거더와 거더 사이 이음부와 바닥판 슬래브는 현장치기 콘크리트로 타설하여 일체화 한다. 또한 중앙 지점부에 발생하는 부모멘트를 상쇄하고 구조적인 연속교 거동을 확보하기 위해 연속 PS강재를 배치하고 긴장하도록 하는 연속화 방법을 적용하였다.

교량의 연속화를 위한 정착구 및 연결 긴장재의 배치는 그림 1과 같다.



그림 1 정착구 및 연결 긴장재의 배치

## 3. 설계 제원 및 교량 모델링

설계 교량의 일반적인 공통 조건은 다음과 같다.

- 설계 등급 : 1등급, 폭 원 : 12.10 m
- 연석간 교폭 : 11.2 m, 설계차선 수 : 3 차선
- 설계 차선평 : 3.6 m, 포장 두께 : 8 cm
- 방호벽 난간 중량 : 0.836 t/m
- 바닥판 두께 : 25 cm (단. 거더 간격 3.5 m 는 27 cm로 한다.)

- 교량의 형식별 및 거더간격, 그리고 지간 길이는 다음 표 1과 같다.
- 거더 강도는 400, 500, 600  $\text{kg/cm}^2$ 으로 설계를 실시 하였으며, 이음부 강도의 변화를 주어 각 설계 변수에 따른 형고의 변화를 분석하였다.
- 부재의 단면 재원은 다음과 같다.

다음 그림 2는 경간 중앙부 구간 단면 형상과 지점(이음)부의 단면 형상이다.

표 1 분석 대상 교량의 설계 변수

형식	거더간격				
	2.0 m	2.5 m	3.0 m	3.5 m	
단 경 간(m)		30, 40, 50, 60			
2연속교	등간격 (m)	30 - 30, 40 - 40 50 - 50, 60 - 60			
	부등간격 (m)	30 - 40, 30 - 50 30 - 60, 40 - 50 40 - 60, 50 - 60			
3연속교	등간격 (m)	30 - 30 - 30, 40 - 40 - 40 50 - 50 - 50, 60 - 60 - 60			
	부등간격 (m)	30 - 40 - 30, 30 - 50 - 30 30 - 60 - 30, 40 - 50 - 40 40 - 60 - 40, 50 - 60 - 50			

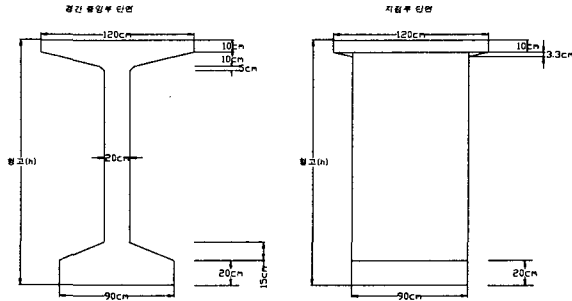


그림 2 부재의 제원

#### 4. 설계 변수에 따른 결과 분석

##### 4.1 데이터 분석

###### 4.1.1 응력지배 단면

###### (1) 경간 및 형식별 형고 변화

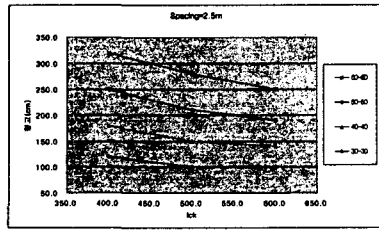
거더가 고강도로 설계시 연속교에서 이음부의 설계 지배로 인하여 단경간에 비해 큰 형고를 갖게 된다. 또한 등간격 2연속교에서 3연속교로 다경간화 될 경우 부모멘트가 작아지나 형고 감소를 발생시키지는 않는다. 부등 2-3경간 연속교의 경우 단면 설계시 정모멘트 보다 부모멘트가 상대적으로 훨씬 크게 작용한다. 따라서 이는 부등경간 연속교 설계시 정모멘트 구간보다 부모멘트 구간이 설계를 크게 지배하게 된다. 결국 등경간 연속교와는 다르게 2경간 연속교에서 3경간 연속교로 다경간화 될 경우 형고가 낮아짐을 알 수 있다.

###### (2) 거더 강도 변화시 형고 변화

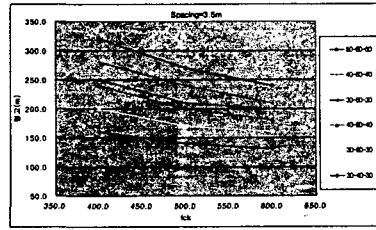
연속교의 경우 그림 3에서 알 수 있듯이 거더 강도가 증가할 경우 정모멘트에는 콘크리트 허용응력의 증가로 다소 여유를 확보하게 되어 형고 감소가 가능하나 부모멘트 구간에서는 단면의 감소로 불리하게 작용하게 됨을 의미한다. 고강도 콘크리트로 주형을 설계할 경우 더욱 심화되어지는데 고강도로 갈수록 이음부의 강도는 유지되고 단면만 감소되므로 이음부에서 형고 설계를 지배하게 된다. 따라서 이음부의 설계 지배로 인하여 거더의 강도가 증가할수록 교량의 경간 중앙부에서는 응력의 여유치가 크게되고 이음부에서는 여유가 줄어들게 된다. 따라서 거더의 강도를 고강도화 시킬 경우 이음부 콘크리트의 강도를 크게 하면 단면 감소 나타낼 수 있을 것으로 예상 할 수 있다.

###### (3) 거더 간격에 따른 형고 변화

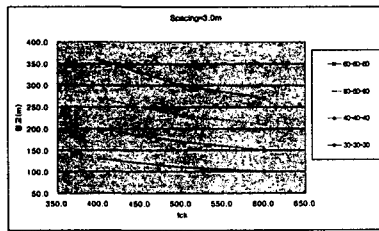
거더의 간격에 따른 형고의 변화를 보면 거더 간격이 0.5m 씩 증가 할 경우 다소 약간의 차이는 있지만 대략 10cm씩 증가하는 양상을 보인다.



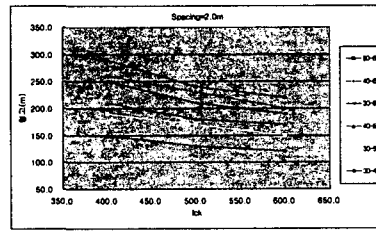
a) 등 2연속교



b) 부등 3연속교

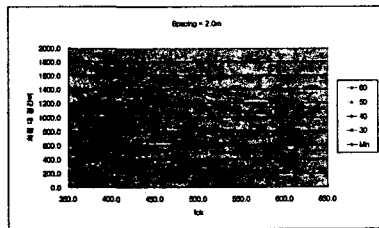


c) 등 3연속교

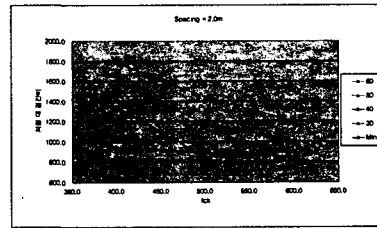


d) 부등 2연속교

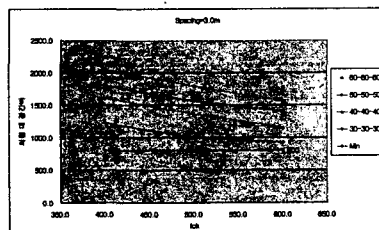
그림 3 거더 강도 증가



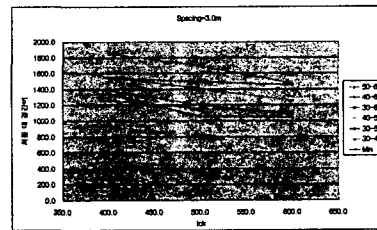
a) 단순교 처짐



b) 단순교 처짐



c) 등 3연속교 처짐



d) 부등 3연속교 처짐

그림 4 교량 형식별 처짐

#### 4.1.2 처짐 지배 단면

콘크리트교의 처짐한도인 1/800을 기준으로 설계시 활하중에 의한 처짐 발생량을 체크 하였다. 단순교의 경우 상대적으로 단경간 즉 30-40m의 설계 형고에서 처짐한도를 벗어나는걸 알 수 있다. 이는 단경간의 경우 고강도화 되어 갈수록 거더의 형고가 줄어 E(탄성계수)는 증가하더라도 I값이 현저히 줄어들어 연속교에 비하여 상대적으로 정모멘트 값이 크게 나타남으로 처짐이 상당히 크게 나타난다. 그림 4 a)는 용력만을 만족하는 단면의 처짐값이다. 그리고 그림 4 b)는 처짐 시방기준을 만족하기 위

하여 형고를 수정한 상태 즉, 처짐 지배 단면의 처짐값이다. 그림 4 c), d)에서와 같이 IPC 거더 연속교에서는 단순교와는 달리 처짐에 모두 만족하는 양상을 보인다.

#### 4.2 이음부 강도( $J_{ck}$ )변화에 따른 형고 변화

본 절에서는 이음부의 강도를 변화시켜 부재의 응력 상태만을 고려하여 형고의 변화를 관찰하였다.

##### 4.2.1 응력 지배단면

연속교의 경우 통상적으로 정모멘트보다 부모멘트가 경간 중앙부 보다 먼저 이음부의 항복을 가져온다. 따라서 이음부의 휨강도를 상대적으로 크게 하지 않는 한 일반적으로 연결부에서 먼저 항복이 발생한다.

##### (1) 거더 강도별 형고 변화

슬래브 강도 변화에 따른 거더 형고의 감소가 가장 현저하게 보이는 주형의 강도  $f_{ck}=600\text{kg/cm}^2$ ,  $500\text{kg/cm}^2$ ,  $400\text{kg/cm}^2$  순으로 지간길이 차이가 비교적 큰 부등 간격 연속교에서만 형고의 변화가 관찰 되었으며, 주형 강도 약간의  $600\text{kg/cm}^2$ 인 경우에는 마찬가지로 거더 간격별로 차이는 있지만 대부분의 등-부등 연속교 형식에서 형고의 변화를 보였다. 거더 강도가 높아질수록 형고 변화의 발생 비율이 높은 이유는 다음과 같다. 거더 강도가 낮은 경우에는 주어진 형고에서 부등 연속교의 몇 개 형식을 제외하면, 경간 중앙부의 응력의 여유분이 적게 나타남을 의미한다. 따라서 슬래브 강도를 높인다 할지라도 경간 중앙부에서 응력의 여유분이 없게 설계되어졌으므로 형고를 낮출 수 없다. 거더의 강도가 높은 경우에 설계된 단면은 처음 설계 시부터 경간 중앙부에서는 응력의 충분한 여유가 확보 되었으나 이음부 구간에서의 설계지배로, 즉 2차 긴장량의 한계로 인해 단면을 더욱 줄일 수 없는 상태로 설계가 되어졌다. 따라서 이음부 강도를 증가시키면 이음부 콘크리트의 허용압축응력의 증가로 단면을 줄이게 된다.

##### (2) 형식별 형고 변화

거더의 간격에 따라서 다소 차이는 있지만 등간격 2-3 연속교에서는 거더 강도  $400\text{kg/cm}^2$  그리고  $500\text{kg/cm}^2$  에서는 거더의 형고 변화가 거의 없음을 나타내고 있다. 주어진 단면으로 부모멘트에 저항하는 2차 긴장량을 늘려 부모멘트를 상쇄할 수 있으나 경간 중앙부에서 콘크리트의 허용 응력을 초과하게 된다. 앞에서 설명하였듯이 등간격 2-3 연속교에서는 정모멘트 구간에서 응력의 여유가 없이 설계되어 이음부의 강도를 증가시킨다 할지라도 형고를 줄이게 되면 경간 중앙부 즉, 정모멘트 구간에서 활하중 작용시 콘크리트의 허용응력을 넘어가게 된다. 따라서 형고의 감소는 어렵다. 하지만 거더강도  $600\text{kg/cm}^2$ 인 경우에는 형고의 감소가 이루어진다. 이는 거더 형고가  $400\text{kg/cm}^2$ ,  $500\text{kg/cm}^2$  보다 낮다 할 지라도 강도가 높아 다소 경간 중앙부에서 응력의 여유가 있게 설계되어졌으나, 이음부의 강도로 인해 부모멘트 구간이 설계를 지배하게 된 상태이다. 따라서 이 경우에는 형고의 감소가 이루어 질 수 있다. 부등간격 2-3 연속교의 경우에는 거더 간격별로 다소 차이는 있지만 거더 강도가  $400\text{kg/cm}^2$  인 경우에서도 형고의 감소가 나타난다. 거더 강도  $400\text{kg/cm}^2$ 에서의 형고 감소는 부등 2 연속교에서만 나타나는데 그 중에서도 양쪽 지간 길이의 차이가 다른 형식에 비하여 크게 나타나는 형식에서만 발생하였다. 이는 양쪽 지간의 차이가 크게 되면 정모멘트와 부모멘트 차이가 크게 나타나게 되며 따라서 설계 단면 결정시 응력에 여유가 있는 경간 중앙부보다 이음부에서 응력이 설계를 지배하게 된다. 이 경우에는 이음부의 강도 증가시 형고의 감소가 발생하게 된다. 거더 강도가  $500\text{kg/cm}^2$ 인 경우에는

400kg/cm<sup>2</sup>인 경우보다 부등 간격 연속교에서 더욱 형고감소 많이 발생하는데, 이는 형고 결정시 거더의 강도가 증가할수록 이음부의 설계 지배로 인해 형고 감소가 이루어지지 못했음을 나타내고 있다.

#### (3) 처짐 지배단면

연속교의 경우 대부분의 단면에서 이음부의 강도 증가로 감소된 단면이 한계처짐 1/800을 만족하는 것으로 나타났다. 하지만 거더 강도 600kg/cm<sup>2</sup>인 경우에 지간의 길이가 비교적 짧아 형고가 낮은 형식에서 한계 처짐을 벗어나는 경우가 있다. 그러나 1/700 이상으로 허용치와 오차가 크게 나타나지 않으므로 형고의 소폭 증가로서 충분히 만족하리라 본다. 이 외의 단면은 처짐에 만족하여 응력과 처짐에 대해 만족하는 처짐 지배단면이 된다.

### 4. 결론

(1) 동일 형식의 교량에서는 거더 강도가 감소할 경우 그리고 지간길이가 증가할 경우, 거더 간격이 증가할 경우 형고의 증가가 나타났다.

(2) 이음부의 강도를 일정 강도로 고정(270kg/cm<sup>2</sup>) 시킬 경우, 동일 지간길이의 단경간에 비해 등간격 연속교로 다경간화 될 경우 거더 강도 600 kg/cm<sup>2</sup>에서는 일부에서 이음부 설계 지배로 인해 다소 형고의 증가가 나타났다. 부등간격 연속교의 경우는 다경간화(2→3연속교)시 모두 형고 감소가 나타났다. 거더 강도 증가에 따른 형고 변화는 이음부의 단면감소로 인한 이음부에서의 설계 지배로 형고 감소가 어려웠다.

(3) 이음부의 강도를 변화시킬 때 등경간 연속교의 경우 거더 강도 500kg/cm<sup>2</sup>이하에서는 거더의 형고 감소가 나타나지 않았지만 600kg/cm<sup>2</sup>에서는 이음부 강도 증가시 대부분 형고가 감소하였다. 부등경간 연속교의 경우 저강도에서도 형고 감소의 경우가 나타나는데 이는 등경간에 비하여 부모멘트가 정모멘트보다 상대적으로 크게 나타나기 때문이다. 거더 강도 변화시 형고 변화 양상은 600kg/cm<sup>2</sup>에서 이음부의 강도 증가시 등-부등 간격 연속교 모두 형고 변화 발생 빈도수가 증가가 나타났다. 이는 고강도화 될수록 단면의 감소가 이음부의 지배를 크게 받는 것을 나타낸다. 따라서 교량의 설계 변수인 거더 간격, 지간길이에 따라 약간의 차이는 있지만 대부분 등간격 연속교의 경우는 600kg/cm<sup>2</sup>이상의 강도에서 이음부의 설계 지배가 크게 작용함을 알 수 있었으며, 부등 간격 연속교의 경우에는 400kg/cm<sup>2</sup>에서도 양쪽 지간 길이의 차가 크면 이음부의 설계 지배를 받게 됨을 알 수 있었다.

(4) IPC연속교의 대부분의 설계 단면이 활하중에 대한 한계 처짐을 대부분 만족하는 수준이었다.

(5) 콘크리트는 시간이 경과함에 따라 추가적인 변형이 발생하고 그 성질이 변한다. 따라서 콘크리트의 장기변형에 대한 연구와 형고 감소로 인한 장기 처짐 및 진동에 대한 연구가 요구된다.

### 5. 참고 문헌

1. 김보형, "교량 설계 변수가 IPC거더 연속교의 형고에 미치는 영향에 관한 연구", 아주대학교, 2001
2. 박준범, "IPC 거더교의 연속화를 위한 설계 프로그램 개발 연구", 아주대학교, 2001
3. 한양대학교, "국내시방규정에 적합한 Bulb-Tee 거더의 사용가능성에 대한 연구", 1998.
4. 한만엽, 김진근, 이차돈, 박선규, 황의승, "다단계 긴장법에 의한 IPC거더 개발", 아주대학교 보고서, 1999. 12.
5. Kathryn L. Geren, "Optimization of Precast/Prestressed Concrete Bridge I-Girders", 1992.
6. Collins, M.P. & D. Mitchell, "Prestressed Concrete Structures", 1991.