

# 변수연구를 통한 소수주형 PSC-I 거더 설계

## Design of PSC-I Bridge with Widely Spaced Girder based on Parametric Study

심종성<sup>\*</sup>                      김민수<sup>\*\*</sup>                      김영호<sup>\*\*\*</sup>  
Jong-Sung Sim              Min-Su Kim                  Young-Ho Kim

---

### ABSTRACT

Prestressed concrete I-girders were used in the bridge applications in the early 1950s. During the last four decades, the most widely used girder length of bridges have been below 30 meters. The main objective of this study is to develop the alternative section for widely spaced girder of 30 meters span bridge. Girder spacing, the number of strands and compressive strength of concrete are major parameters for widely spaced girders. The optimal girder spacing is determined through the parameter studies of design using widely spaced girders. 30m span bridges of widely girder spacing must use high-strength concrete. Although the basic unit cost of concrete is higher for high-strength concrete, it may be partially or even fully offset by reduced quantities of concrete as result of the smaller number of girders used. High-strength concrete girders have more prestressing strands per girder, but the total number of strands for all of the girders is less than that required for the larger number of normal-strength concrete girders. It could design PSC-I Bridge with widely spaced girder owing to high-strength concrete.

---

### 1. 서론

최근들어 국내 PSC교량에 대한 많은 연구와 기술개발이 이루어 지고 있다. 심종성[3]은 PSC-I형 거더 교량의 효율적인 단면을 선정하여 장경간에 적합하도록 시공기술을 접목시킨 거더교량을 개발하였으며, 그 외에도 기존 개념의 거더교량에서 External Tendon을 접목하여 다단계 긴장력으로 조정하여 효율성이 높은 PSC-I와 같은 거더교량의 개발등이 이루어지고 있다. 해외에서는 몇몇 연구자들에 의해 고강도 콘크리트에 대한 연구가 진행되면서 PSC-I거더와 같은 교량의 거더 간격을 넓힘으로써 거더 개수를 줄일수 있게 되므로 프리스트레스 콘크리트의 단점인 자중을 감소시킬 수 있다는 것이다. 본 연구에서는 사용재료의 재질 향상 및 기술력의 발달, 내구성, 시공성, 유지관리, 미관 등을 종합적으로 고려한 소수주형의 PSC-I거더 교량형식의 적용이 필요하게 되었다. 국내에서는 이러한 연구가

---

\* 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 교수

\*\* 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 박사과정

\*\*\* 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 석사과정

아직 미비한 상태며, 고강도 콘크리트를 사용하여 교량을 시공 할 수 계기를 마련하고자 한다.

본 연구에서는 도로교 설계기준에 준하여 현재 국내에서 사용되고 있는 표준단면을 기준으로 가장 적합한 거더간격과 거더 개수를 줄인 소수주형 PSC-I 거더에 관한 단면을 연구하고 이를 통해 보다 외관이 수려하고 경제적이며 효율적인 교량을 개발하고자 한다.

## 2. 소수주형 PSC-I 거더교량

경간의 길이가 30m이고 교폭이 12.15m인 도로교 설계기준에 적합한 표준단면은 그림 1과 같다. 이때 이러한 표준단면으로 설계된 교량은 거더개수 5개를 가지며, 설계하중 DB-24를 허용한다. 그러나 이러한 설계체원으로 설계된 교량은 실제적으로 과다 설계된 점이 없지 않아, 경제성 및 효율성이 감소함을 알 수 있다. 최근 이러한 문제점을 인식하여 여러 연구가 진행되어 왔으며, 특히 효율적인 단면을 가진 장경간 교량의 개발에 연구가 집중되어 있었다. 그러나 중경간 교량에 대하여 보다 경제적이고, 효율적으로 거동할 수 있는 교량에 대한 연구는 상대적으로 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 PSC-I Type 교량의 비효율적인 표준단면을 개선하고 경제성을 향상시키기 위한 변수연구를 통해 거더의 개수를 최소화한 소수주형 PSC-I Type 의 거더교량을 설계하고자 하며, 이에 앞서 거더간격 및 압축강도의 관계를 분석하여 압축강도에 따른 거더개수별 거더간격을 도출하고, 단면계수 및 휨효율의 영향성 검토를 통해 단면변수를 연구하여 적정단면을 제안한 후, 설계변수의 영향성을 검토하여 거더의 개수를 최소화한 소수주형 PSC-I Type 거더 교량을 설계하였다.

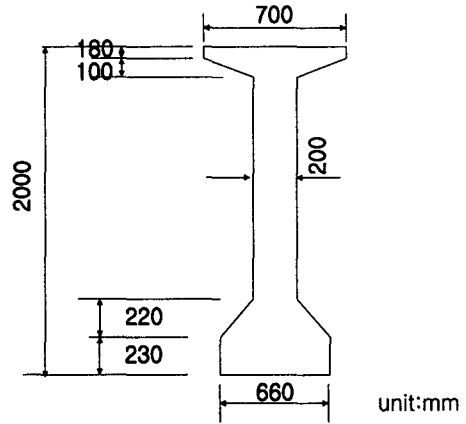


그림 1 30m PSC-I 거더 표준단면

## 3. 거더간격 및 압축강도

본 연구에서는 가장 효율적인 거더 간격을 찾기 위해 그림 1과 같은 표준 단면으로 설계된 경간 30m 교량에서 거더 개수별 간격의 변화 및 콘크리트 강도의 변화에 따른 최대 가능 경간을 조사하였

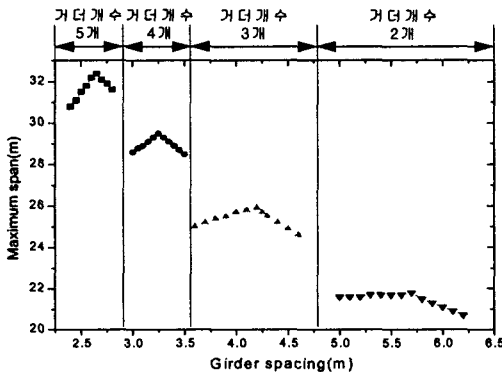


그림 2 거더개수별 거더간격에 대한 최대경간

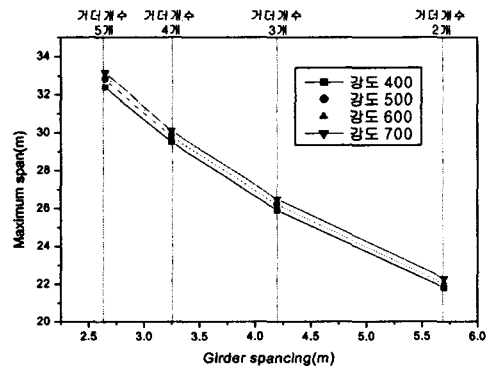


그림 3 압축강도별 거더간격에 대한 최대경간

으며, 이는 그림 2, 그림 3과 같다. 이때 그림 2에서 거더개수를 최소값은 2개, 최대값은 5개로 설정하였으며 각 거더 개수별 거더 간격을 변화시키면서 최대 가능 경간을 조사하였다. 또한 그림 2를 분석한 결과 각 거더 개수별 최적의 거더 간격을 설정하여 압축 강도의 변화에 따른 최대 가능 경간의 변화를 그림 3에 나타내었다.

거더 개수별로 최대 경간에 해당하는 효율적인 거더 간격을 관찰하여 각각의 콘크리트 강도에 대한 최대 경간을 그림 3에 나타냈다. 콘크리트 압축강도가 증가함에 따라 최대 경간은 크게 증가하지 않는 것으로 보이나 거더 간격이 늘어남에 따라 경간의 감소폭이 낮아 진다는 것을 알 수 있다.

#### 4. 단면계수 및 휨효율의 영향성 검토

단면의 휨효율 척도로서 단면 계수비가 사용된다. 단면 계수비가 큰거더는 작은 거더에 비해 재료를 효율적으로 사용하였음을 나타낸다. 즉 모멘트에 의해 발생하는 단면의 상부응력과 하부응력이 가장 효율적으로 저항할 수 있다는 것이다. 표준 단면을 이용하여 높이와 상부폭, 하부폭을 변화 시키면서 단면계수비를 조사한 결과 상·하연의 단면계수비가 동시에 최대가 되는 3가지 Type 단면을 선정할 수 있었다. 본 연구에서 조사한 단면들을 국외 여러 단면들과 상·하연의 단면계수비를 알아보기위해 그림 4와 같이 나타내었다. 상·하연 단면의 휨효율을 동시에 최대로 만족하는 단면이 있는 국외 단면과 비교해 볼 때 제안단면 보다는 낮다는 것을 알 수 있으며, 상연의 단면계수비가 높은 국외 단면은 하연의 단면계수비가 낮은 것을 알 수 있다. 여기서 제안된 단면은 향후 단순경간이 아닌 연속 경간에서도 적용할수 있도록 정·부모트에 모두 효과적으로 거동할수 있는 상·하연의 단면계수비가 모두 높은 단면이 되도록 설정하였다. 단면계수비를 통해 제안된 단면이 휨 효율계수(Q)를 분석하여 고려하였다. 휨 효율계수는 0.45이하일 경우는 투박한 단면이 되고, 0.55이상 이 되면 얇은 단면이 된다. 제안된 단면의 휨효율계수를 산정한 결과 단면 계수비를 동시에 최대로 만족하면서 휨 효율계수의 범위에 드는 경제적인 단면을 설계할 수 있었다.

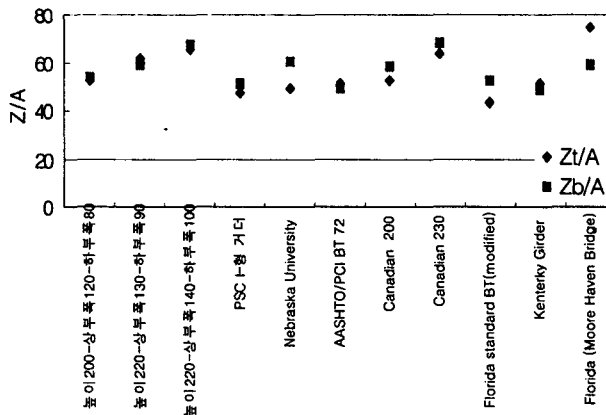
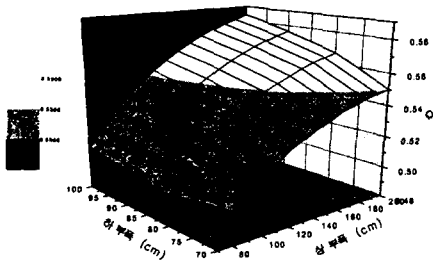
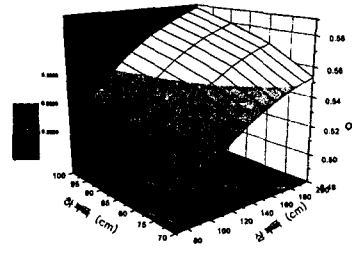


그림 4 단면계수비에 대한 비교



(a) 거더높이 200cm



(b) 거더높이 220cm

그림 5 거더높이-상부폭-하부폭에 대한 침효율

### 5. 단면변수고찰 및 단면제안

국내 도로교 설계기준에 적합한 표준단면으로부터 단면계수비와 휨효율을 분석하여 가장 효율적인 단면 변수들을 고찰한 결과 상부폭이 증가함에 따라 상연의 단면계수비가 증가하여 휨모멘트에 대한 저항력이 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 상·하연의 단면계수비를 동시에 최대 만족하는 상부폭은 120cm로 나타났으며, 표준단면과 동일한 거더높이 200cm로 고정하였을 때 하부플랜지 폭은 80cm로 나타났다.

본 연구에서 단면 변수를 고찰한 결과 30m에 적용 가능한 소수조형 PSC-I 거더 단면을 제안 하고자 한다. 상부폭은 휨강성에 가장 효율적인 거동을 할 수 있는 120cm로 사용하고, 상부플랜지 두께는 상부의 압축력을 충분히 지지할 수 있고, 스티럽 배근이 용이한 15cm로 하고 현치부의 제원 역시 미관 및 구조상의 역할 등을 고려하여 10cm로 결정하였다. 복부폭은 20cm 이상이면 설계 및 시공이 가능한 것으로 나타났다. 하부플랜지 두께는 소수 주형거더로 설계시 외력하중에 대해 충분한 긴장력을 발휘 시킬 수 있는 긴장량이 필요하므로, 이에 적합한 쉬스관을 배치 할 수 있는 두께를 25cm로 하였으며, 현치부는 미관을 고려하여 20cm로 결정하였다.

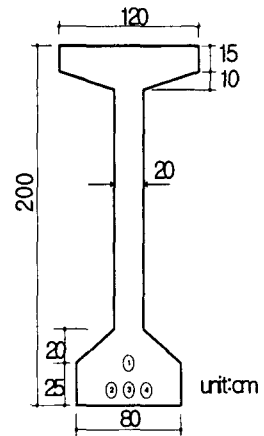


그림 6 변수연구를 통한 단면형상

### 6. 설계변수의 영향성 검토

변수연구를 통해 제안된 단면을 이용하여 설계 하중 DB-24에 적합한 30m경간의 소수 주형 PSC-I 거더를 설계하기 위한 설계변수의 영향성을 검토 하고자 한다. 그래서 거더개수가 2개, 3개일 경우 압축강도에 대한 최대 긴장재 개수별 최대 설계 경간을 그림 7에 나타냈다. 그림 7을 참고로 하여 30m 경간을 설계 할 수 있는 최소 긴장량의 개수와 압축강도를 알아 보기 위해 그림 8과 같이 압축강도의 변화에 따라 거더 개수별로 긴장재의 개수를 증가 시키면서 최대 설계 경간장을 알아 보았다. 그림 8에서 조사한결과를 보면 30m 설계경간을 갖는 소수주형 PSC-I 거더를 설계하기 위해서 압축강도가 400 kgf/cm<sup>2</sup>일 경우에 거더 개수가 2개일때는 그림 7에서 보는 바와 같이 강재량의 최대값이 쉬스량 18개로로서 30m 경간의 교량을 설계 할 수 없음을 보내주고 있다.

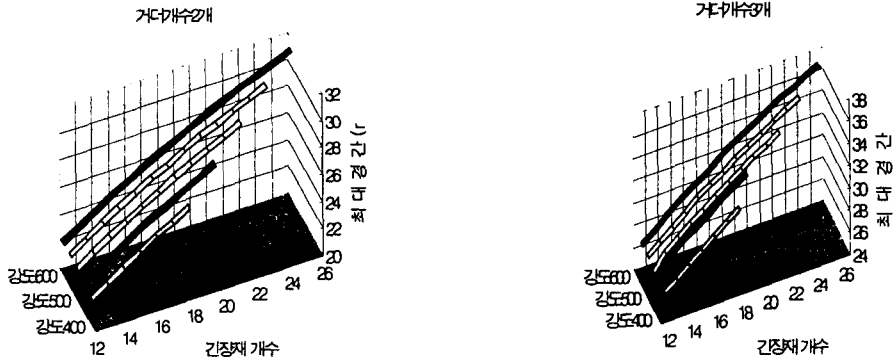
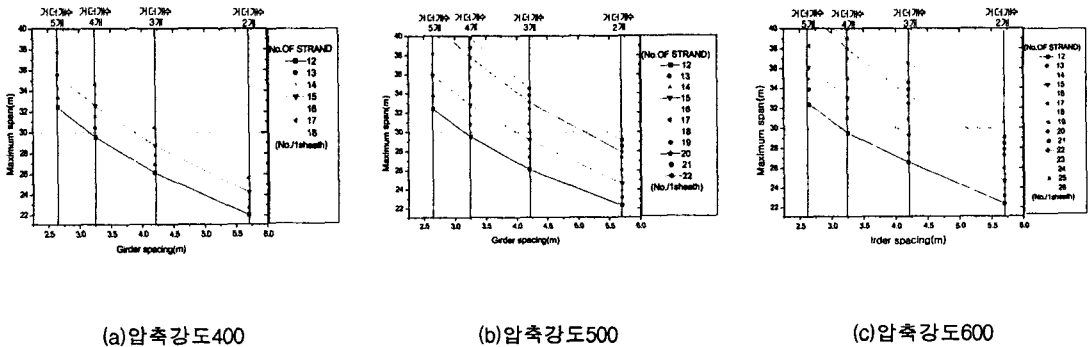


그림 7 압축강도-긴장재 개수 변화에 따른 최대경간



(a) 압축강도 400

(b) 압축강도 500

(c) 압축강도 600

그림 8 압축강도-긴장재 개수 변화에 따른 최대경간

따라서, 거더 개수를 2개로 설계 하기 위해서는 콘크리트의 압축 강도가  $600 \text{ kgf/cm}^2$  이상 되어야 하고 긴장재 개수가 24개 이상 증가 시켜줌으로써 30m 설계 경간을 갖는 교량을 설계 할 수 있을 것으로 판단된다. 거더 개수가 3개일 경우는 도로교 설계 기준에서 사용하는  $400 \text{ kgf/cm}^2$ 의 콘크리트 압축강도에서 긴장량만 충분히 증가 시켜준다면 30m 설계 경간을 갖는 교량을 충분히 설계 할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나, 콘크리트 압축 강도가  $600 \text{ kgf/cm}^2$  이상 되는 경우에는 PSC거더가 현장에서 시공이 되는 것을 감안 할 때 향후 시공성 및 경제성을 고찰해 보아야 한다.

## 7. 결론

1. 소수주형 PSC-I거더교를 설계, 시공하기 위해서는 거더의 개수를 최대한 줄이면서 가장 효율적인 단면을 구하기 위해 도로교 설계기준에 따라 설계·해석된 설계프로그램을 이용하였다. 따라서 거더 개수에 따른 최적의 거더 간격을 제안 하였고, 거더 간격이 증가 할수록 긴장재의 증가와 더불어 고강도 콘크리트의 사용은 필연적임을 알 수 있다.
2. 거더 높이에 따라 상부플랜지폭, 하부폭의 치수를 변화 시키면서 단면계수비가 상·하연응력이 동시에 최대가 되고 가장 실용성있는 휨효율을 가지는 단면을 선정하였다. 향후 연속보에서 부모멘트에 대한 응력을 고려하기 위해 단면계수비의 상·하연 응력을 동시에 최대가 되는 단면을 제안하였다.

3. 콘크리트의 압축강도와 긴장재 양은 소수주형 거더 교량에서 가장 중요한 변수이며 긴장재 양이 증가됨에 따라 콘크리트 압축강도 또한 증가되어야 함을 알 수 있다. 또한  $600 \text{ kgf/cm}^2$  이상의 고강도 콘크리트를 사용함으로써 거더 개수가 2개로도 교량 설계가 가능함을 보여주고 있다. 하지만 거더 개수 2개를 사용하기 위해서는 교량 바닥판에 대한 추가적인 연구가 필요할 것이다.
4. 본 연구의 결과로 30m 도로교에 대한 소수주형 거더 단면을 제안하였다. 향후 거더 개수가 줄어들어 따라 수반되는 슬래브의 안전성 및 하중의 횡분배를 효율적으로 할 수 있는 최소의 가로보에 대한 설계를 진행하여 경제성, 미관 뿐만 아니라 구조 거동에 안전성을 검증하고자 한다.

#### 참고문헌

1. “도로설계 실무편람”, 한국도로공사, 1996
2. 심종성, 한만엽, 오홍섭, 김정구, 김민수, “장경간 Spliced PSC 거더교량의 개발”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 1998 pp.680-685
3. 심종성, 오홍섭, 김민수, “장지간 교량을 위한 PSC-I형 거더의 단면 설계변수 연구”, 한국콘크리트학회 논문집, 제12권, 6호, 2000. 12. pp.13~22
4. Dolan, Charles W., Ballinger, Craig A, Robert W., “High Strength Prestressed Concrete Bridge Girder Performance,” PCI JOURNAL, pp83-97.
5. Federal highway Administration “Optimized Sections for High Strength Concrete Bridge Girders,” FHWA-RD-95-180, Aug97.