

P.C 박스거더교의 횡단면 최적설계에 관한 연구

A Study on the Cross Section Optimization of P.C Box-Girder Bridge

방명석* 김일곤** 조현준***
Bang, Myung-Suk Kim, Il-Kon Cho, Hyun-Joon

ABSTRACT

The program which could determine cross-sectional dimensions of the box girder bridge at the stage of preliminary design was developed using the optimal technique in this study. It could minimize the cost and time required in the design of box girder bridges and the construction with the prestressed precast segmental method.

Objective cost function consisted of four independent variables such as widths and depth of the cross-section. The Nelder-Mead method was used to solve the nonconstrained nonlinear problem like this.

1. 서론

P.C 박스 거더교는 미관이 수려하고 구조적인 효율성이 높지만 아니라 여러가지 가설공법이 개발되어 거의 모든 지형에 제약을 받지 않고 시공이 가능하다. 특히 장대교량 시공시 다른형식의 교량에 비해 경제적으로 유리하기 때문에 그 수요는 계속증가 할 것으로 예상되며 국내에서도 현재까지 40 여개의 박스거더 교량이 준공 또는 건설중에 있다. 이러한 사용수요의 급증에 맞추어 우리나라에서도 조만간 박스거더 교량의 가설공법별 설계지침서나 시방서가 제정되겠지만 이미 교량등급, 지간, 폭 등에 따라 표준화까지 완료된 RC 나 PC교에 비해 그 설계방법이 체계적으로 정립되어 있지 않으며, 특히 박스단면의 횡방향 해석이나 정착부설계 등은 보완이 요망되는 사항이다.

박스거더 교량의 횡방향 해석문제와 관련하여 설계자가 예비설계 단계에서 단면형상이나 치수를 결정하는데는 상당한 어려움이 있다. 이에 대한 기본자료는 외국에서도 체계적으로 정리되어 있지는 않고 설계자들의 축적된 경험을 바탕으로 설계에 임하고 있으나 요구되는 기능과 주변조건에 맞추어 단면형태나 치수도 변화시켜야 하기 때문에 역시 어려움이 따른다. 또한 최종적인 시공단면을 구하는데 가능한 시간과 노력을 최소화해야 한다는 측면에서도 예비설계 단계에서 설계자는 시공단면과 가장 근접한 단면을 결정해야 한다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 어느정도 해결할 수 있도록 하기위해 예비설계 단계에서 목적함수(교량의 상부구조 건설비용)를 최소화 시키는 설계변수(횡단면 치수)를 결정하기 위하여 최적설계 프로그램을 개발하였다.

2. 최적화 기법

- * 정회원 한국건설기술연구원 구조연구실 선임연구원
- ** 한국건설기술연구원 구조연구실 선임연구원
- *** 한국건설기술연구원 구조연구실 연구원

횡단면 치수의 최적화를 위해 유도된 목적함수가 4개의 독립변수를 갖는 비선형 함수이기 때문에 비선형 계획 문제에 대한 해석기법으로 Nelder-Mead Method를 사용하였다.

Nelder-Mead Method는 Simplex Method를 개량시킨 것으로 n 차원 공간에서 (n + 1) 개의 점의 집합 {X_i | i = 1, 2, ..., (n + 1)}으로 만들어지는 Simplex를 이용하여 함수 f(x)를 최소화시키는 설계변수를 구한다.

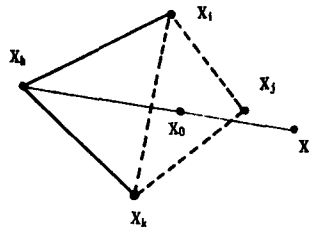


그림1

3. 설계변수와 목적함수

예비설계 단계에서 Box 단면의 치수를 최적화하기 위해 사용되는 설계 변수로는 모든 횡단면 치수와 Tendon량 등이 채택될 수 있으며 이러한 설계 변수사이의 상호독립과 종속적인 관계에 따라 아래와 같이 분류하였다.

- a) 상수 (Constants) :
b, t4, 상하부 플렌지의 최소두께 (20 cm)
- b) 독립변수 (Independent Variables) :
b1, b2, b3, d
- c) 종속변수 (Dependent Variables) :
S, t1, t2, t3, As

목적함수는 횡단면의 단위 M 당 콘크리트와 Tendon 량을 추정하여 최소경비 (Minimum Cost)의 함수로 유도하였으며 아래와 같은 독립변수의 함수로 나타낸다.

$$C = f (b1, b2, b3, d)$$

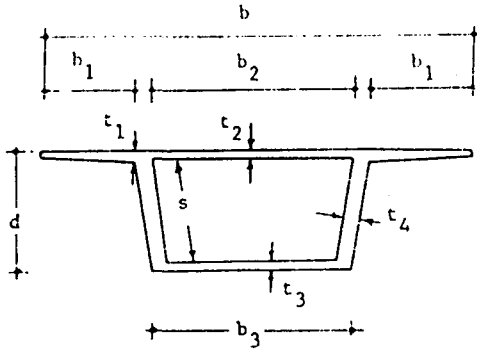


그림2 박스거더의 횡단면

가. 목적함수의 유도

목적함수의 유도는 먼저 횡단면에 대해 개략적인 설계를 수행하고 개략설계로 얻은 콘크리트 단면과 Tendon 탕을 합하므로써 이루어지며, 개략설계 과정은 아래와 같다.

- 1) 차타중에 의한 상부 Slab 설계.
- 2) 사하중에 의한 Tendon 탕 설계
- 3) 극한모멘트 계산, Bottom Slab 결정, Tendon 면적계산

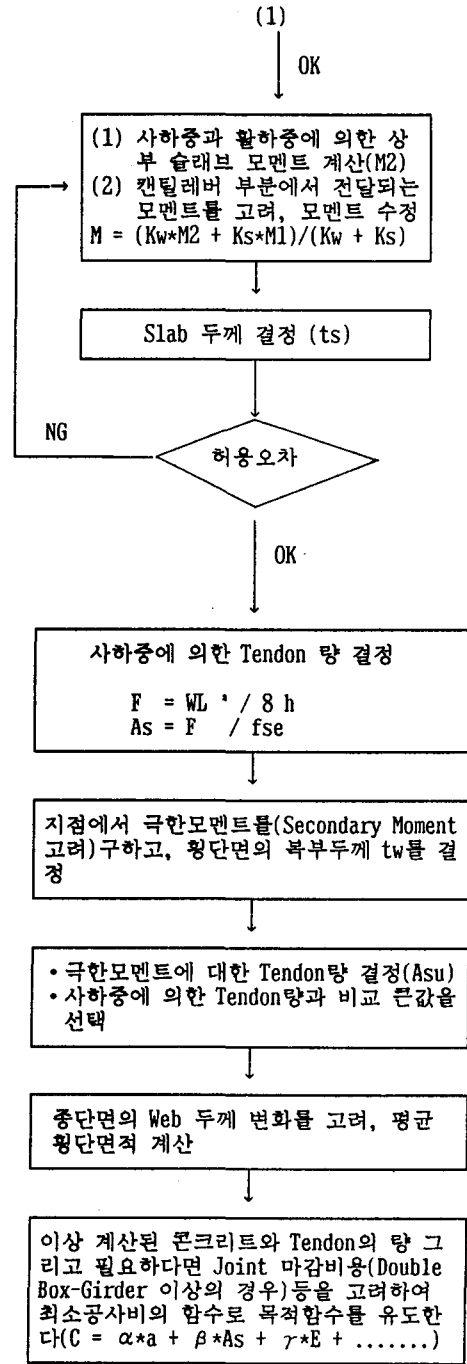
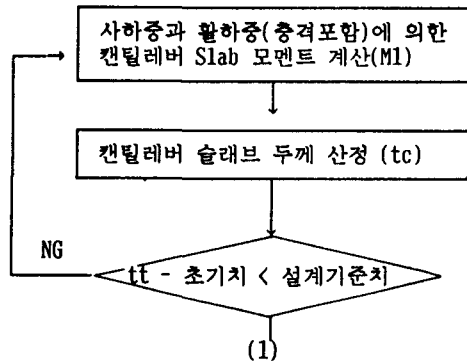
4) 2), 3)의 Tendon 탕 비교, 결정
이 때 설계를 간편하게 하고 목적함수 계산시 Computer 실행 시간을 단축하기 위해 아래와 같이 설계조건을 단순화 시킨다.

- 1) 횡단면에서 Fillet를 무시한다.
- 2) Tendon 의 철근은 별도로 계산하지 않고 전체 콘크리트 물탕에 대한 일정비율로 고려한다.

3) Tendon 중심은 그양과 무관한 것으로 본다.
최종 설계시에는 위와 같은 조건들이 모두 고려되어야 하지만 예비설계 단계에서는 최소공사비를 결정하기 위한 기본적인 단면치수를 구하는 것이 목적이기 때문에 무시할 수 있다.

즉, 중요한 것은 최적치에서 독립변수에 대한 정확한 값을 구하는 것이기 때문에 이러한 조건들의 단순화는 독립변수의 해석결과에 거의 영향을 주지 않는다.

나. 목적함수 유도과정



여기서 α : 콘크리트의 단위체적당 비용
 β : Tendon 단위체적당 비용
 γ : 마감재료 단위체적당 비용

- a, As, E : 콘크리트, Tendon, 마감재의 양
- Kw : 복부강성(Web Stiffness)
- Ks : 슬래브 강성(Slab Stiffness)
- W : 등분포 하중
- L : 지간(Span)
- h : 편심거리
- F : Prestressing Force
- fse : Effective Prestressing

이상 유도된 목적함수는 가설공법, Span, 박스 거더 실수(Number of Cells) 등에 의해서 달라지므로 각각의 경우에 대해서 공사비를 최소화 할 수 있는 목적함수를 유도한다.

4. 수치해석 예

1실 (One-Cell), 2실 (Two-Cell), 다실(Multi-Cell) 박스거더교를 예제로 선택하여 본 연구에 의한 설계결과를 기시공된 교량의 횡단면치수와 비교하였다.

가. 입력데이터

- 차선수, 지간, 교폭, 웨브두께 (tw)
- 독립변수 4개(b1, b2, b3, d)
- 콘크리트 설계강도, Tendon 항복강도

나. 결과 및 분석

그림 3, 4, 5는 본 프로그램에 의한 1실, 2실, 다실 박스거더교에 관한 최적 설계결과이다.

그림 6은 그림 3의 1실 박스거더교에 관한 출력 결과를 이용하여 경간과 단면높이에 대한 관계를 그래프로 나타낸 것이다. 또한 콘크리트 강도의 변화에 따른 형고비의 변화를 나타내고 있다. 최적설계치는 기 시공된 교량의 횡단면 치수와 비교하여 본 결과 큰 차이가 없음을 보여주고 있다. 그림 7은 2실과 다실 박스거더교의 경간길이에 대한 형고비(Span/Depth Ratio)를 나타내며 기존의 설계치와 비교하여 우수한 결과를 주고 있다.

5. 결론

본 연구에서 개발된 박스거더교의 횡단면 최적 설계 프로그램은 초기설계 단계에서 좋은 결과를 주고 있다. 그러나 본 연구의 범위는 형고가 일정한 교량의 경우로 제한되었으므로 형고가 변하는 경우에는 추가적인 연구가 필요하다.

참고문헌

1. G.C Lacey and J.E. Breen. "The Design and Optimization of Segmentally Precast Prestressed Box Girder Bridges", Research Report. Univ. of Texds August 1975
2. URI Kirsch, "Optimum Structural Design". Mcgraw-Hill Book Co., 1981
3. "경제적인 PS 콘크리트 교량 건설공법에 관한 연구". 한국건설기술연구원, 1986
4. "P.S 콘크리트 박스거더 교량의 설계표준화에 관한 연구", 한국건설기술연구원, 1986
5. "도로교 표준 시방서" 건설부
6. Comrad P. Heins and Javid Siminou. "Preliminary Design of Curved Bridges", AISC Engineering Journal, April, 1970

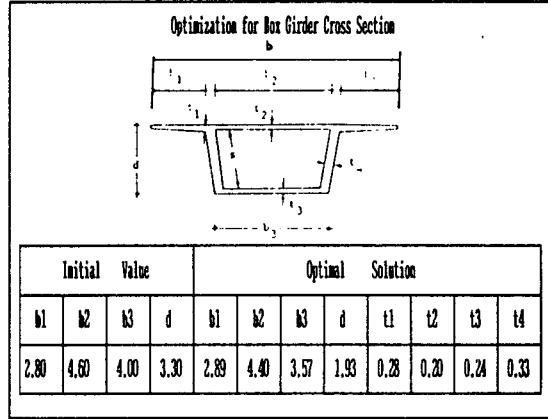


그림3

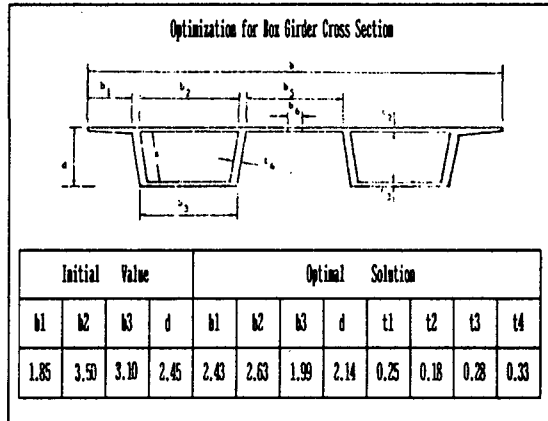


그림4

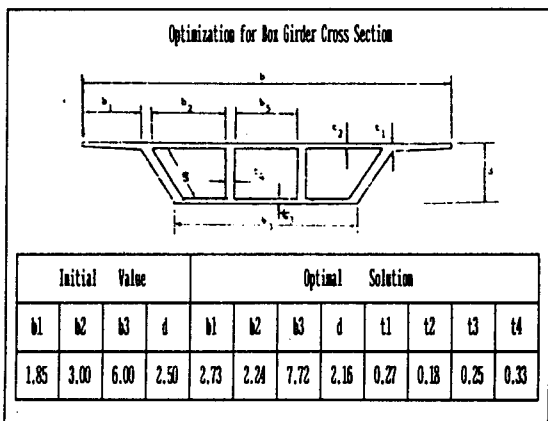


그림5

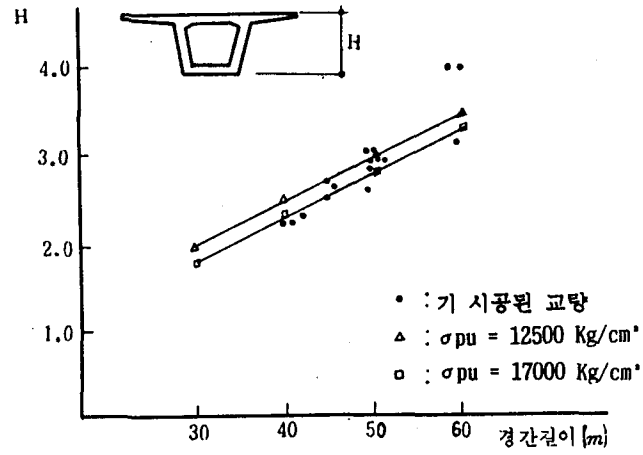


그림6 경간길이의와 단면높이 관계

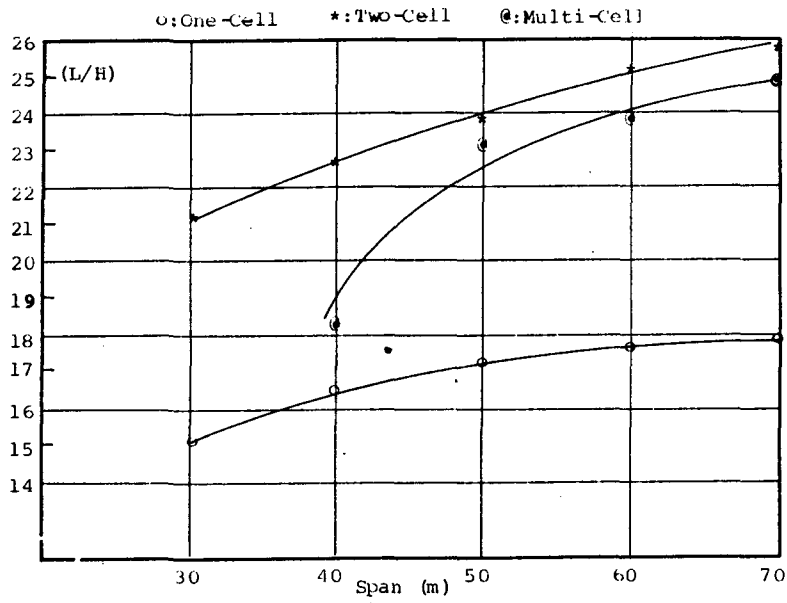


그림7 경간길이의와 형고비의 관계