

정적해석에 의한 표준적인 P.S.C거더 교량의 적정 가로보 수에 관한 연구

A Study on the Optimal Number of Cross Beam of Standard P.S.C Girder Bridge by Static Analysis

최 창 근*

Choi, Chang-Koon

김 경 호**

Kim, Kyeong-Ho

김 재 범***

Kim, Jae-Bum

(논문접수일 : 2000년 5월 15일 ; 심사종료일 : 2001년 3월 12일)

요지

본 논문에서는 현행 표준적인 P.S.C거더 교량의 적정 가로보 수를 위한 매개변수 연구를 수행하였다. 교량의 길이는 P.S.C거더교로서 국내에서 가장 흔히 사용되는 30m의 단순교를 채택하였다. 교량의 해석방법으로는 상부의 슬래브와 거더를 효율적으로 모델링하기 위하여 정밀해석법인 유한요소법을 사용하였다. 본 연구에서 사용된 매개변수로는 크게 두 가지로 분류되는데, 하나는 사용된 가로보의 개수이고 다른 하나는 교량의 사각(Skew)이다. 상부 슬래브는 웰 요소와 범 요소를 연결하는데 효율적인 회전자유도를 가지는 웰 요소로 모델링하였다. 슬래브와 거더의 중심축이 이격되어 있는 문제를 정확히 고려하기 위하여 편심보 요소를 사용하였다. 해석 모델은 가로보가 각각 7,5,3개 있는 경우를 선정하였다. 이러한 조건하에서 정적 해석을 수행하여 최대 휨모멘트, 전단력, 비틀림 모멘트값을 구하여 현행 시방서에서 규정된 극한치를 만족하는지 검토하였다. 검토결과 현재 사용되고 있는 P.S.C거더 교량에서의 가로보 개수는 과다한 것으로 판단되며 경제적인 설계를 위하여 가로보의 개수를 줄일 수 있는 것으로 제안하였다.

핵심용어 : PSC거더 교량, 가로보, 편심보 모델링, 매개변수들

Abstract

Parametric studies on the cross beam of P.S.C girder bridge are performed to get an optimal number of cross beam of the current standard P.S.C girder bridge. The span length is fixed to 30m for simplicity, because the length is widely used in common P.S.C girder bridge in Korea. FEM is used to analyze the P.S.C girder bridge, which is more exact and effective in modeling the slab and girder of bridge. Parameters included in this paper can be classified into two categories; the first category of parameters is the number of cross beams used in a span.

The second one is the skew angle of the deck. The slab is modeled using shell elements with drilling degrees of freedom, which is very effective for connecting shell to beam. To solve the problem due to the difference of the axis of shell and that of attached beam, an eccentric beam modeling is used for the effective idealization of slab-on-girder bridge. The analytical models are the cases of which the number of cross beams are 7,5,3 respectively.

Under the aforementioned conditions, the maximum values of bending, shear and torsional member forces under dead and live loads are calculated, all of which meet the current recommendations in the specifications in practice. It is shown that the cross beams are over-designed and recommended for bridge designers to reduce the number of cross beams for a more economic design.

Keywords : p.s.c girder bridge, cross beam, eccentric beam modeling, parameters

* 정회원 · 한국과학기술원 토목공학과, 석좌교수

** 한국과학기술원 토목공학과 박사과정, 토목 구조기술사

*** (주)LG 건설 토목 사업본부, 사원

• 이 논문에 대한 토론을 2001년 6월 30일까지 본 학회에 보내주시면 2001년 9월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

콘크리트 구조 부재로는 철근 또는 철골에 의해 콘크리트의 인장 강도의 약점을 보강한 RC와 프리스트레싱에 의해 부재에 작용하는 인장력에 저항할 만큼 압축력을 사전에 작용시켜 주는 P.S.C 부재로 대별된다. P.S.C부재는 전단면을 유효하게 이용할 수 있고 그 자중을 경감할 수 있으므로 교량에 유리한 구조이고, 현재 국내의 고속도로 및 지방도로상에 많은 P.S.C거더교가 사용되고 있다. P.S.C거더교의 전형적인 구조시스템은 거더에 연결되어 있는 가로보(Cross Beam or Diaphragm)가 상부 철근콘크리트 슬래브에 연결되어 있다. 이러한 가로보의 역할은 시공중 거더를 안정시키며 거더에 작용하는 하중을 횡방향으로 전달하여 분배해 주는 역할을 한다. 현재 국내에서 P.S.C거더교 설계는 표준도가 작성되어 있어서 설계시에는 현행 표준도를 적용하고 있다. 표준도에서는 30m 교량의 경우 지점부에 2개를 포함하여 총 7개의 가로보를 설계에 사용하고 있다.

이러한 사용은 정확한 구조 해석에 의하여 규명된 결과에 따라 적용하는 것이 아니고 과거에서부터 그대로 사용되어 왔기 때문에 관습적으로 사용되고 있는 경향이 있다. 따라서 P.S.C 거더교 설계에서 그 역할과 필요성이 확실히 검증되지 않은 가로보에 대한 검토를 수행해 볼 필요성이 있다. 연구 결과를 토대로 가로보를 최적화 할 수 있다면 설계 및 시공시 발생하는 제반 문제점 및 구조적인 결함의 원인이 될 수 있는 사항을 근본적으로 해결하게 될 것이고 시공의 편리성 및 경제성을 도모함은 물론 부실 공사 예방에 도움이 될 것이다. 이와 같은 P.S.C거더 교량을 해석하는 방법으로는 판 이론, 유한대판법, 격자해석법,¹⁾ 유한요소법 등 여러가지가 있으나 본 연구에서는 현행 표준도와 동일한 30m 지간의 P.S.C거더교량에 대하여 교량상부 구조물을 3차원적인 유한요소로 모델링하고 정적 해석을 수행하였다. 가로보가 7개, 5개, 3개 있는 경우와, 교량의 사각(Skew)이 있는 경우 더 위험(Critical)한 경우가 발생할 수 있으므로 사각 90°, 60°, 45°의 경우에 대하여 각각 정적해석을 수행하였다. 이러한 해석 과정을 통하여 가로보에 작용하는 최대 휨모멘트, 최대 전단력, 최대 비틀림모멘트를 산정하여 가로보의 기능 및 효용성, 안전성에 대해 정확히 평가하고 가로보의 개수를 최적화시키는 데 그 목적이 있다.

2. 유한요소 모델

2.1 개요

유한요소법은 불규칙적인 기하형태나 복잡한 구조해석에 쉽고 효과적인 수단을 제공하여 구조물의 거동을 정확하게 해석할 수 있는 수치 기법이다. 그러나 유한요소 모델의 선택시 실제 구조물과 부합되는 모델을 선정해야 하며 부적합한 모델링은 격자 모델이나 입체 프레임과 같은 단순한 형상 모델에 의한 해석치보다 부정확할 수 있다. 본 연구에서는 형교에 대한 유한 요소모델의 방법에 대해 나열하고 그 중 자유도가 가장 적게 필요한 방법인 상부 슬래브는 쉘 요소로, 거더는 편심보 요소로 모델링하는 방법을 적용하였다.

2.2 모델링 방법

거더교에 대한 유한요소 해석 모델링 방법으로는 그림 1과 같이 여러가지 방법이 있다.²⁾

- (1) 상부 슬래브와 거더를 쉘요소로 모델링하는 방법 (그림(a))
- (2) 상부 슬래브는 쉘요소로, 거더는 편심보 요소(Eccentric Beam)로 모델링하는 방법 (그림(b))
- (3) 상부 슬래브는 쉘요소로, 거더는 보 요소를 이용하고 Rigid Link로 연결하는 방법(그림(c))
- (4) 상부 슬래브 및 거더를 Solid요소로 모델링하는 방법(그림(d))

2.3 유한요소 해석 모델링

본 연구에 적용된 30m P.S.C거더교의 표준단면은 그림 2와 같다.³⁾ P.S.C거더교 상부의 정확한 거동을 해석하기 위하여 3차원적인 모델을 사용하였는데 그림 3과 같다. P.S.C거더교의 상부 슬래브는 쉘 요소, 거더와 가로보는 보 요소를 사용하였다. 상부 슬래브와 보의 중심이 일치하지 않고 이격되어 있으므로 이러한 편심 효과를 고려하기 위하여 위에 열거한 여러가지 모델링 방법 중에서 편심보 요소를 사용하였다. 해석에 사용된 총 절점수는 1433개, 요소수는 1362개이다.

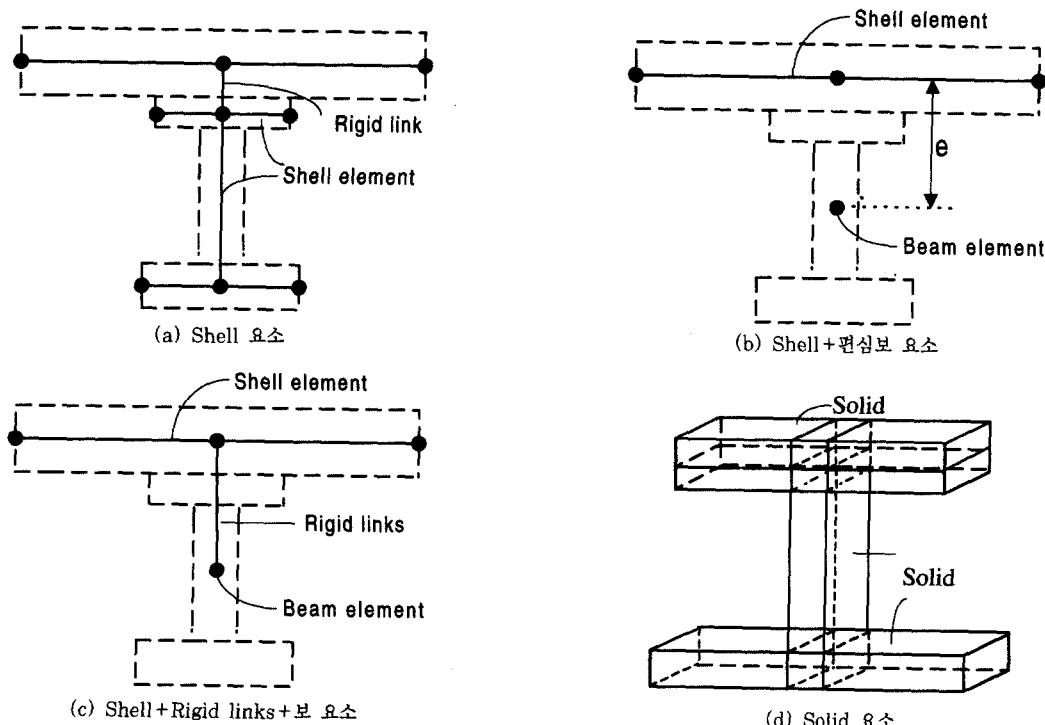


그림 1 해석 모델링 방법

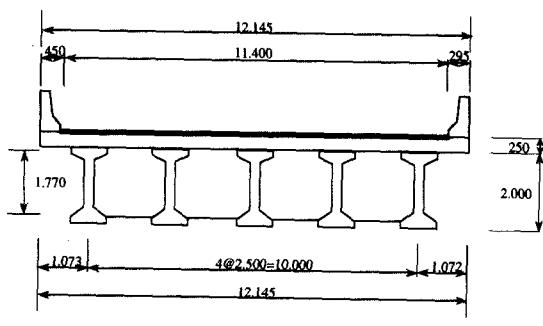


그림 2 P.S.C거더교의 단면(단위 : mm)

2.4 요소

2.4.1 쉘 요소

교량의 슬래브는 쉘 요소로 모델링하였는데, 본 연구에서는 절점당 6자유도를 갖는 평면 쉘 요소 NMS-4F⁴⁾를 사용하였다. 이 요소는 회전 자유도를 갖는 평면응력요소(NMS-4M)와 대체전단 변형률장을 혼용한 평판요소(NMS-4P)를 결합한 것으로서 일반적인 평면

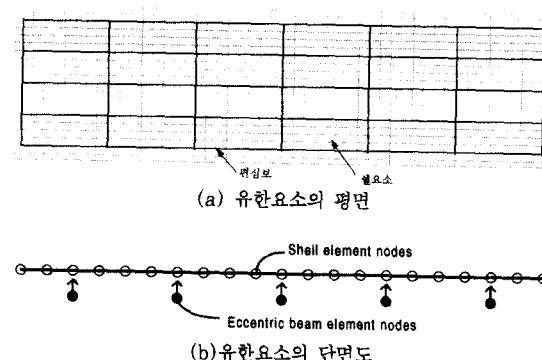


그림 3 유한요소 모델링

쉘 요소가 같은 평면에서는 Singular가 발생하므로 이것을 피할 수 있고 동시에 면내 거동에 대한 해를 개선시킬 수 있다. 그림 4는 평면응력요소 및 평판 휨 요소의 자유도를 나타낸 것이다.

2.4.2 편심보 요소

교량의 상부 구조물에서 거더와 슬래브는 한 평면상에

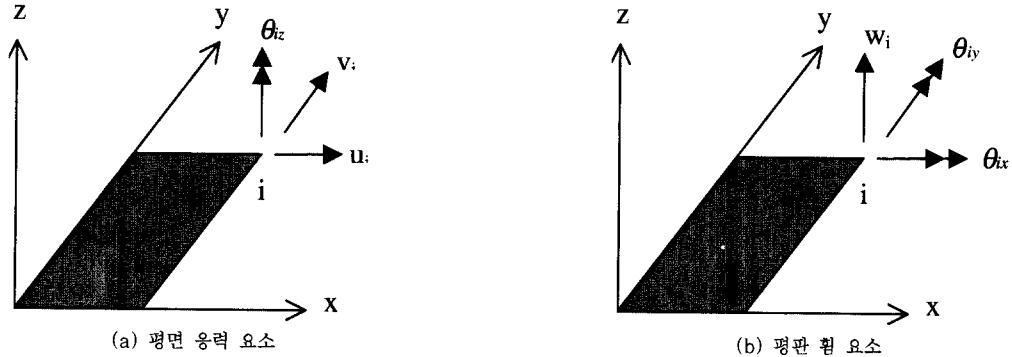


그림 4 셀 요소

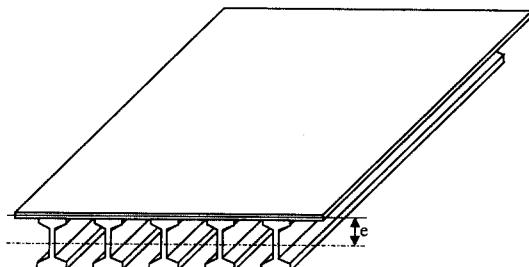


그림 5 편심보 요소

존재하지 않는다. 모델링 과정에서는 보와 켈 요소가 한 평면에 존재하는 것으로 모델링 되었는데, 이러한 모델링상의 문제점을 보완하여 실제 보의 중심위치가 켈의 위치와 다른 점을 고려하는 방법 중 2.2의 여러 가지 모델링 방법 중에서 편심보 요소를 이용하여 모델링하고 해석하였다.

절점당 6자유도의 셀 요소와 편심 배치된 보의 경우는 6자유도에 대하여 확장하여 식(1)과 같이 변환행렬을 구할 수 있다.²⁾

$$\begin{pmatrix} u_i \\ v_i \\ w_i \\ \theta_{ix} \\ \theta_{iy} \\ \theta_{iz} \end{pmatrix}_{beam} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -e & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -e & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_i \\ v_i \\ w_i \\ \theta_{ix} \\ \theta_{iy} \\ \theta_{iz} \end{pmatrix}_{shell} \quad (1)$$

식(1)은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta_i^b = \mathbf{T} \delta_i^s \quad (2)$$

편심보 요소를 적용하는 경우에 요소의 강성 행렬 및 하중 벡터는 다음과 같다.

$$\mathbf{K}_e = \mathbf{T}^T \mathbf{K}_b \mathbf{T} \quad (3)$$

$$\mathbf{P}_s = \mathbf{T}^T \mathbf{K}_b \mathbf{T} \delta_i^b \quad (4)$$

2.5 주형 및 가로보

주형과 가로보의 단면 및 강성은 다음과 같다. 단면2는 변화 단면이므로 단면1과 단면3의 중간 모양 단면을 이용하였다. 각 단면의 형상은 그림 6에 나타난 바와 같다.

3. 교량해석 및 거동 분석

3.1 하중 계하 및 해석 흐름도

그림 7은 차선의 위치에 따른 하중의 경우를 나타낸 P.S.C거더교의 단면이다. 해석은 차선이 한 쪽으로 편재되어 있는 경우와 중앙에 재하되어 있는 경우에 대하여 수행하고 그 결과를 나타내었다. 각 차선에 DB24의 차량을 재하하여 경간 시점에서 종점까지 이동하중 해석을 수행하고, 각 부재에 걸리는 최대 부재력을 구하였다. 그리고 각 차선을 조합하여 모든 하중 Case에 대하여 최대 부재력을 산정하였다. 해석의 흐름도는 그림 8에 나타나 있다.

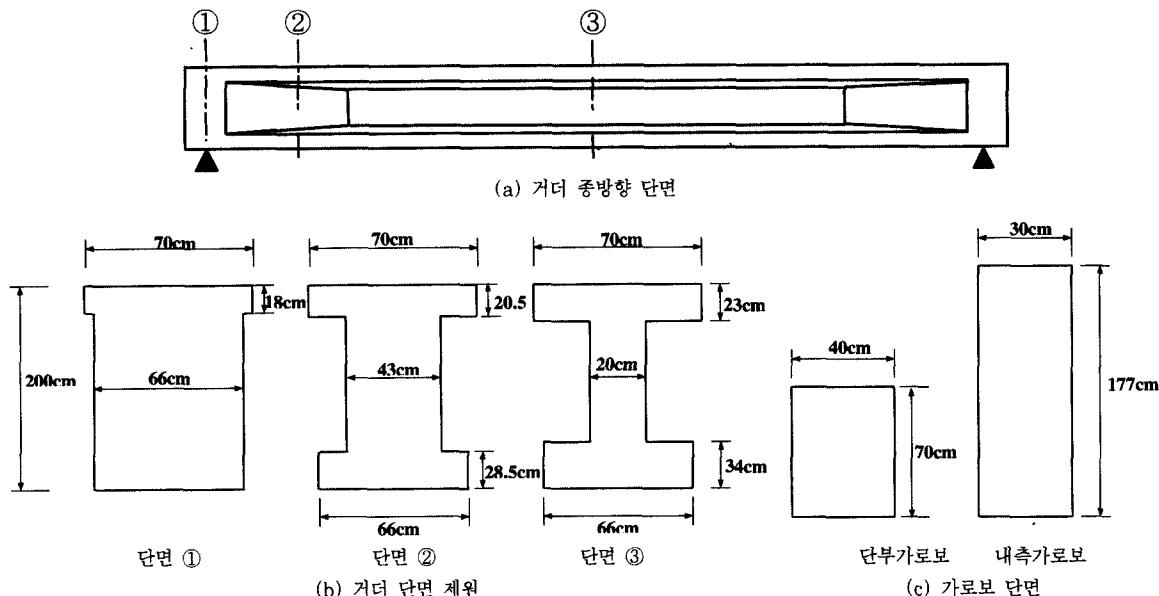


그림 6 각 단면형상

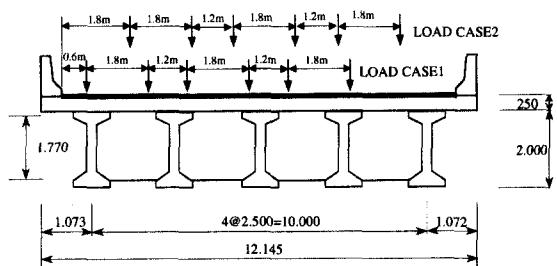


그림 7 하중 Case

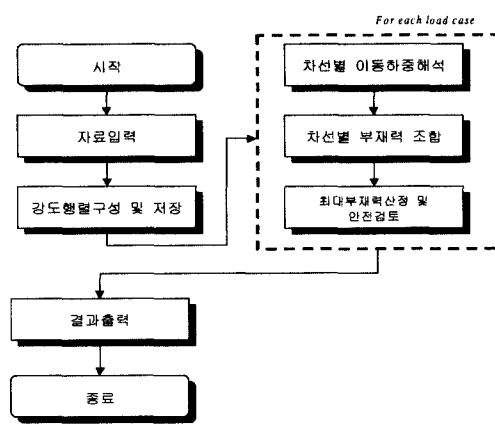


그림 8 해석의 흐름도

3.2 해석 모델

현행 도로교 시방서 규정에 따르면 PC거더교의 설계규정은 T형교의 기준을 따르고 있다. 시방서의 규정에는 주형의 부등 처짐이나 비틀림 변형이 바닥판, 받침의 구조에 좋지 않은 영향을 주는 수가 있으므로 주형 직각방향의 강성을 높이기 위하여 주형의 지점상에 가로보를 두는 것을 원칙으로 하고, 중간 가로보(격벽)를 1지간에 1개소 이상 또는 15M이하의 간격으로 설치하는 것을 원칙으로 하고 있다. 그리고 중간 가로보에 대한 규정은 권장 사항이므로 실험이나 구조 해석에 의해 가로보가 필요하지 않다는 것이 확인되는 경우에는 두지 않아도 좋으나 규정에 따라 가로보를 두는 것이 바람직하다고 되어있다.⁵⁾ 해석 Case는 가로보를 줄였을 때의 거동을 분석하기 위하여 가로보가 7개 있는 경우(Type 1), 5개 있는 경우(Type 2), 3개 있는 경우(Type 3)를 설정하였다. 각 해석 모델은 그림 9와 같다. 여기서 가로보는 각각 16개, 주형은 각각50개의 보요소로 이루어져 있다. 부재의 설계기준으로는 철근콘크리트보의 휨모멘트, 전단력 및 비틀림모멘트에 관한 기준식⁶⁾을 적용하여 안전성을 검토하였다.

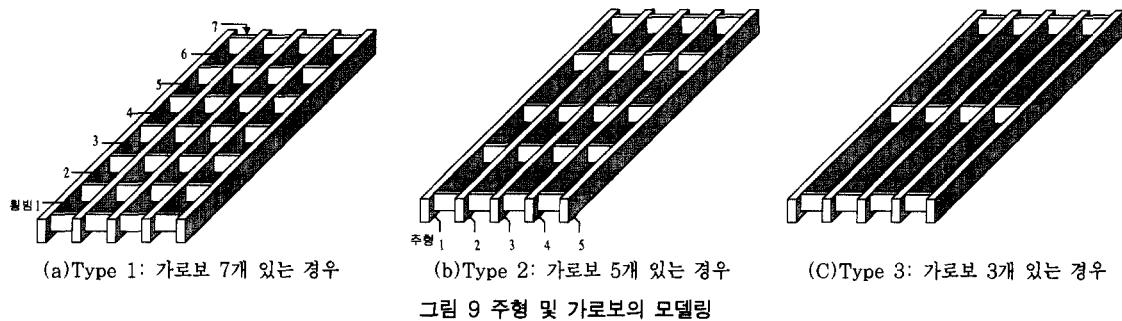


그림 9 주형 및 가로보의 모델링

3.3 해석 모델별 거동 분석

3.3.1 주형(Girder)

가로보는 횡 방향 강성을 키워주고 주형에 걸리는 하중을 분배해 주는 역할을 수행한다. 가로보의 개수를 줄였을 때 주형의 거동을 분석해 보고, 그 개수를 줄였을 때에도 가로보가 하중의 횡 분배 역할을 제대로 수행하는지의 분석을 수행해 볼 필요가 있다. 가로보 개수를 줄이면서 주형의 단면력을 구해봄으로써 가로보를 줄이는 것이 유용한지를 검토한다. 그림 10은 가로보의 개수를 줄여나감에 따라 주형에 걸리는 휨모멘트의 최대값을 교량의 사각(Skew)에 대해 해석 모델별로 나타낸 것이다. 그래프의 x축은 주형의 요소(주형 길이 방향) 번호를, y축은 부재력을 나타낸다.

그림에서 나타난 바와 같이 가로보의 개수를 줄일수록 주형에 걸리는 최대 휨모멘트값은 조금씩 줄어드는 경향을 보여주고 있다. 이는 가로보를 적게 사용하여서 횡분배값이 줄어드는 영향 보다는 오히려 가로보의 개수가 줄어듦으로 인한 자중 감소 효과로 주형은 더 안전한 상태가 되는 것을 보여주고 있다.

3.3.2 가로보

가로보의 개수를 7개에서 5개, 3개로 줄이게 될 경우 가로보가 안전한지를 검토해 봄으로써 P.S.C거더 교의 가로보 개수를 줄일 수 있는지에 대하여 확인한

다. 가로보의 단면 및 철근 배근은 현행 도로교 표준 시방서와 동일하게 적용하였다. 가로보의 거동을 보았을 때 개수가 적어질수록 휨과 전단이 크게 걸리는 경향을 보여준다. 그러나 비틀림의 경우는 단부보의 경우 개수가 적을수록 크게 걸리고 내측 가로보의 경우는 개수가 많을수록 최대값이 크게 나타나는 경향을 보이고 있다. 이는 교량의 구조를 고려할 때 단부보의 경우는 가로보가 적을 때에는 비틀림을 잡아주는 가로보가 적어지므로 가로보가 적을수록 많이 걸리게 되는 것이고 내측 빔의 경우는 가로보가 많은 경우가 중심에서 멀리 떨어지는 가로보가 존재하여 비틀림이 크게 나타나고 있는 것이다.

전반적인 가로보의 거동을 보면 가로보의 부재력은 가로보의 개수에 따른 일정한 경향을 보이고 있지만 그 개수에 크게 영향을 받고 있지는 않고 있다. 가로보의 개수를 줄일 수 있는지에 대한 부분을 확인하기 위하여 가로보의 강성을 구하고 휨 모멘트, 전단력, 비틀림 모멘트등의 부재력에 견딜 수 있는지를 검토하였다.

가. 휨 모멘트

가로보에 걸리는 부재력은 정, 부의 휨 중에서 더 위험한 값에 대하여 정리하였다. 표 2는 단부보와 내측 가로보의 각 Type별, 사각(Skew)별 최대 휨모멘트를 나타내었다. 각각의 가로보 단면에 대한 단면력을 철근콘크리트보의 휨 강도에 관한 식을 사용하여 구하고 비교하였다. 각각의 Case에 대하여 단면이 안전한

표 1 각 Type별 주형의 최대 휨모멘트

(단위 : t-m)

	Type 1	Type 2	Type 3
최대 휨모멘트	90°	524.7	513.7
	60°	502.5	505.9
	45°	482.5	473.3
			464.6

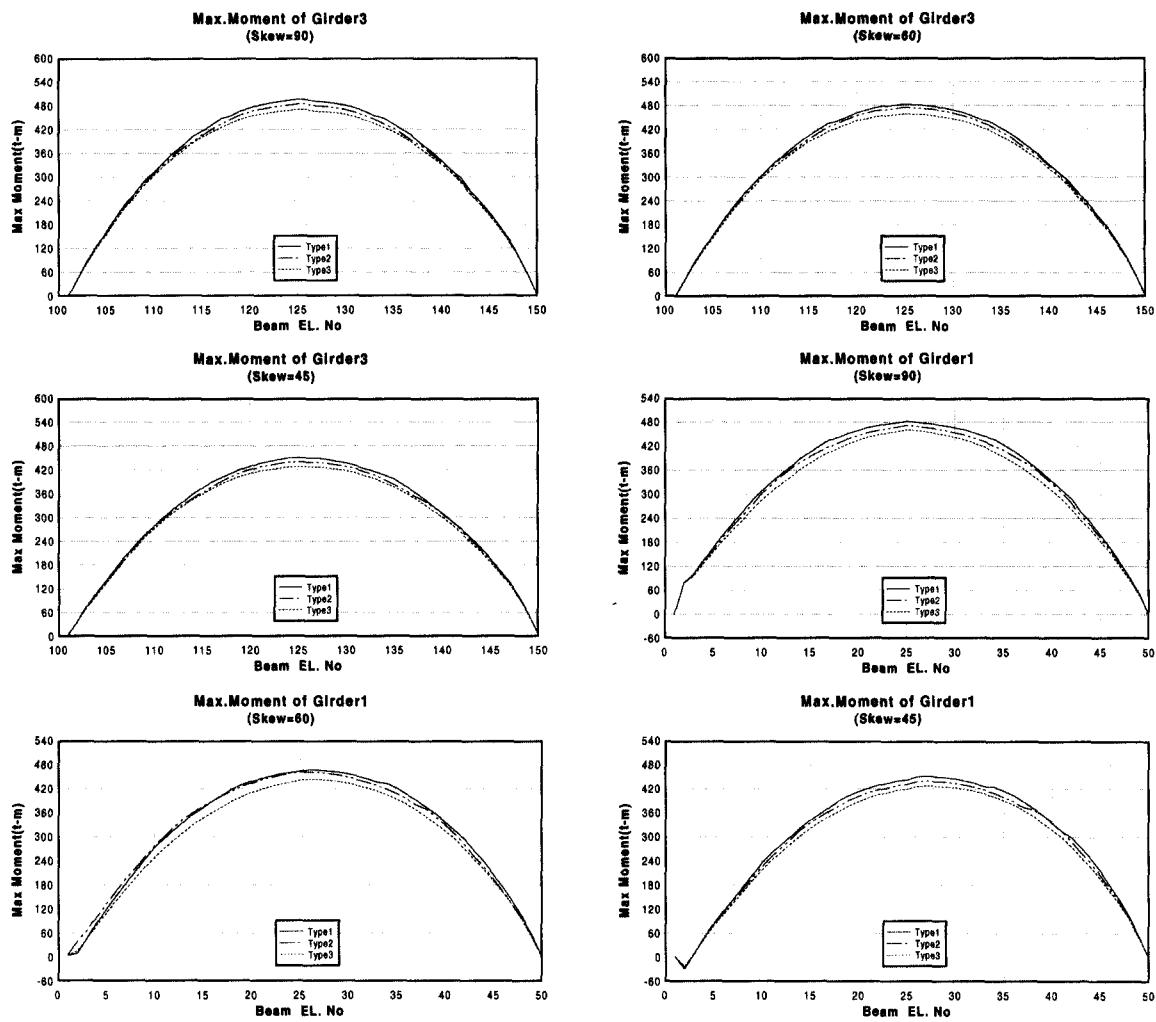


그림 10 각 Type별 주형의 흡모멘트도

표 2 가로보의 최대 흡모멘트

(단위 : t-m)

구분	사각(Skew)	Type1	Type2	Type3	설계 흡 강도	설계만족 여부
단부가로보	90°	6.51(0.20)	6.58(0.21)	6.40(0.20)	31.88	O.K
	60°	14.46(0.46)	8.58(0.27)	16.82(0.53)	31.61	O.K
	45°	19.63(0.63)	21.41(0.69)	23.04(0.74)	31.18	O.K
내측가로보	90°	26.36(0.25)	29.09(0.28)	33.49(0.32)	104.13	O.K
	60°	31.73(0.31)	22.76(0.22)	46.50(0.45)	103.50	O.K
	45°	43.36(0.42)	43.74(0.46)	53.41(0.52)	102.45	O.K

():최대 흡모멘트/설계 흡 강도

지를 최대의 부재력을 기준으로 확인해본 결과 모두 안전측에 있다는 것을 보여 주고 있다. ()의 값은 가로보에 걸리는 최대 흡 모멘트를 그 부재가 받을 수 있는

흡 강도로 나눈 지수인데 이 값이 작을수록 안전하다는 것을 나타내며 이 값의 역수가 안전율이 된다. 그림 11은 단부와 내측중앙부에 대하여 이 지수값을 나타낸 것

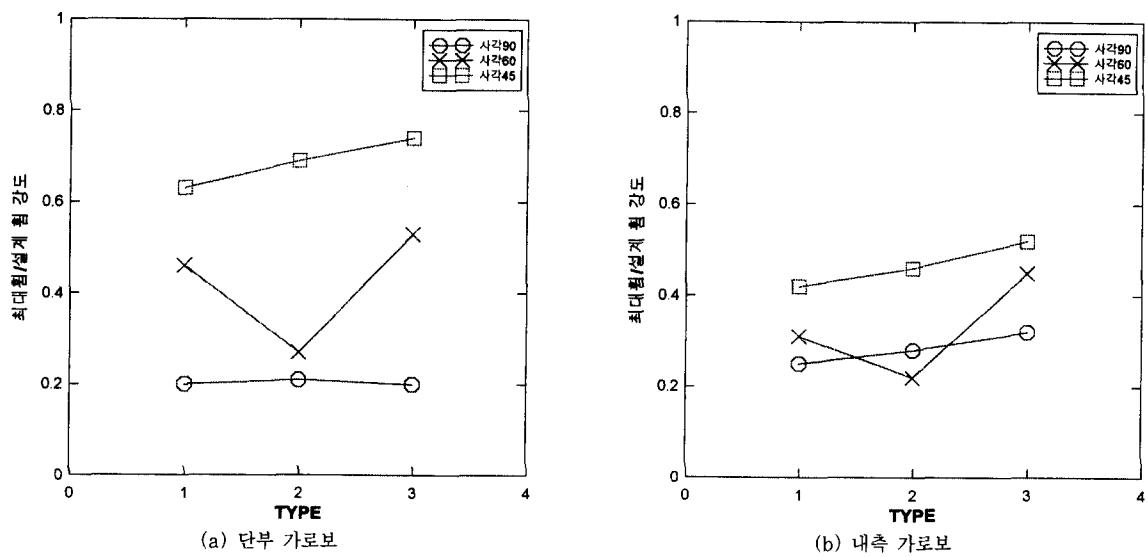


그림 11 각 Type에 대한 휨 무차원 값

인데 그림에서 나타난 바와 같이 가로보에 걸리는 휨 모멘트값은 가로보의 개수가 적어질수록 부재력의 값이 일반적으로 커지는 경향을 나타내고 있다. 그림 12는 가로보에 걸리는 휨모멘트 값을 교량의 사각별, 해석 Type별로 나타낸 것이다. 그래프의 x축은 가로보의 요소(가로보의 길이 방향) 번호를, y축은 최대 모멘트 값을 나타낸다. 내측 가로보에서는 가로보의 개수가 적어질수록 휨 모멘트의 값이 커지는 경향을 나타내고 있는데, 지점부의 가로보에는 휨모멘트가 매우 작은 값으로 나타나며 Type별로 변화가 없이 거의 같은 값을 나타낸다. 그리고 사각이 작아질수록 부재력은 작아지는 경향을 보이고 있다. 이는 사각이 작아질수록 가로보에는 오히려 부재력이 적게 걸리도록 차량의 바퀴가 위치할 수 밖에 없음을 보여주고 있다. 교량이 직각인 경우 차량은 가로보에 영향이 크도록 가로보 위에 바퀴들이 오게 되지만 직각이 아닌 경우에는 가로보는 기울어 있기 때문에 가로보에서 떨어진 곳에 바퀴들이 위치하게 되는 것이다.

나. 전단 및 비틀림

단면이 전단과 비틀림을 동시에 받고 있으므로 철근 콘크리트보 이론에서 단면력을 구하는식을 이용하여 안전성을 검토하였다. 먼저 비틀림 값의 경우 최소 비틀림 모멘트의 값보다 작게 나오는 경우 비틀림에 의한 영향을 무시하였다. 최소 비틀림 모멘트는 다음 식(5)와 같다.

$$T_{min} = \phi_v (0.13 \sqrt{\sigma_{ck}} \sum x^2 y) \quad (5)$$

표 4는 해석 모델별 최대 전단 값인데 이 최대 전단 값에 대하여 부재가 안전한지를 검토하였다.

먼저 비틀림 값의 경우 표 4에 나타나 있는 최소 비틀림 모멘트의 값보다 작게 나온 경우는 검토할 필요가 없어 전단에 대하여서만 검토를 하였다. 표 5의 경우는 모두 최소 비틀림 모멘트의 값보다 적게 나와서 전단에 대해서만 검토를 수행하였다. 각각의 경우에 대하여 단면이 안전한지를 최대 전단력을 기준으로 검토한 결과 안전측으로 나타났다. ()의 값은 가로보에 걸리는 최대 전단력을 그 부재가 받을 수 있는 전단강도로 나눈 지수인데 이 값이 작을수록 안전하다는 것을 나타내며 이 값의 역수가 안전율이 된다. 그림 13은 가로보에 걸리는 최대 전단력을 그 부재가 받을 수 있는 전단강도로 나눈 지수값을 그린 것인데 가로보가 적게 있는 경우일수록 최대 전단력은 크게 발생한다. 이것은 가로보가 많이 있는 경우는 전단력을 분담해서 받고 있기 때문인 것으로 판단된다. 그림 14는 각 Type별 전단력을 나타낸 것인데 내측 가로보의 경우 개수가 작아질수록 증가하는 경향을 보이며 단부 보의 경우는 거의 변화가 없는데 이것은 교량받침으로 지지되어 각 Case별로 거의 동일한 조건이기 때문인 것으로 판단된다.

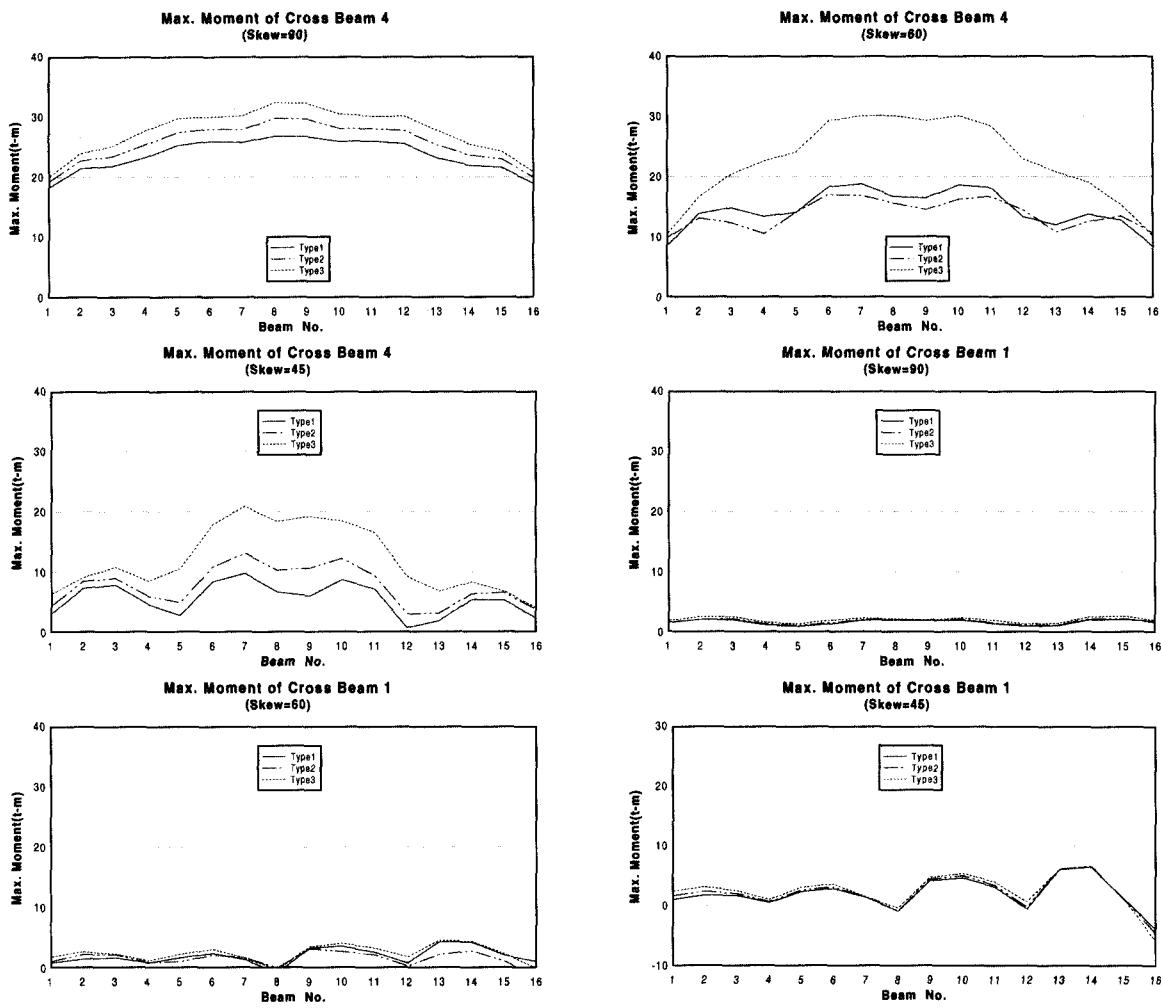


그림 12 각 Type별 가로보의 흡모멘트도

표 3 최소 비틀림 모멘트

(단위 : t-m)

사각	90°	60°	45°
단부보	1.99	1.44	0.96
내측가로보	2.72	2.04	1.36

표 4 가로보의 최대 전단력

(단위 : t-m)

구분	사각(Skew)	Type1	Type2	Type3	비틀 모멘트	$\phi_v S_c$	설계만족 여부
단부가로보	90°	14.99(0.87)	15.09(0.87)	15.31(0.88)	0.81	17.32	O.K
	60°	9.20(0.65)	8.94(0.63)	9.85(0.69)	0.80	14.19	O.K
	45°	10.69(0.84)	11.19(0.88)	11.38(0.90)	0.17	12.72	O.K
내측가로보	90°	19.59(0.60)	22.54(0.70)	28.62(0.88)	0.60	32.42	O.K
	60°	20.16(0.71)	23.84(0.84)	25.87(0.91)	0.12	28.39	O.K
	45°	16.15(0.75)	16.96(0.78)	19.73(0.91)	0.71	21.62	O.K

() : 최대전단력 / $\phi_v S_c$

표 5 가로보의 최대 비틀림

(단위 : t-m)

구분	사각(Skew)	Type1	Type2	Type3	전단력	$\phi_v T_c$	설계만족 여부
단부가로보	90°	1.88	1.89	1.91	4.44	1.99*	O.K
	60°	0.95	1.49	1.28	6.38	1.95	O.K
	45°	0.68	0.75	0.90	0.71	0.96*	O.K
내측가로보	90°	2.27	2.20	1.38	0.52	2.72*	O.K
	60°	1.01	1.58	1.02	8.09	2.04*	O.K
	45°	0.79	0.81	0.91	0.39	1.36*	O.K

(*는 최소 비틀림 모멘트)

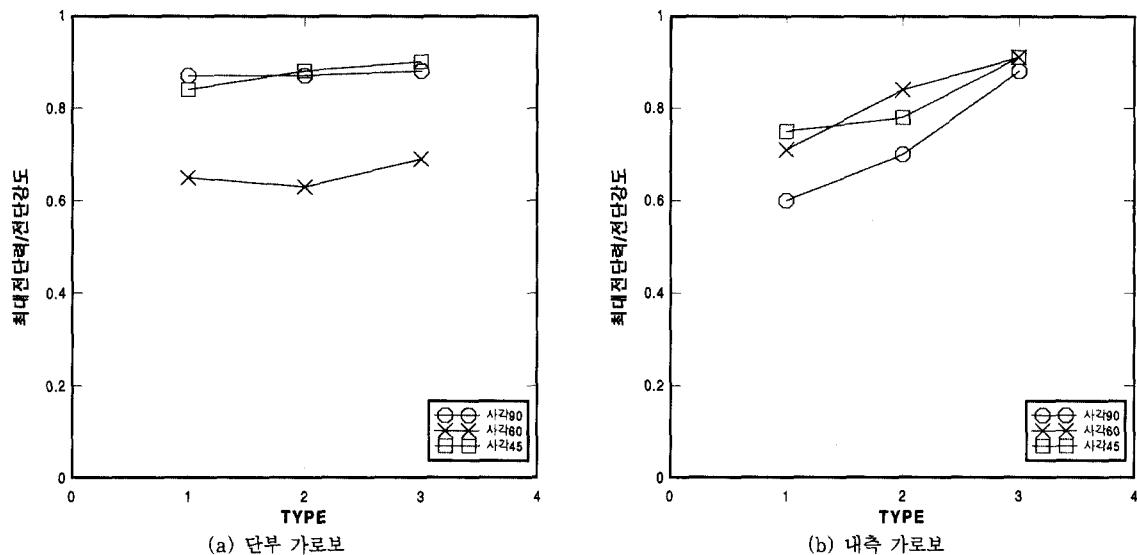


그림 13 각 Type에 대한 전단강도 무차원 값

표 5는 부재에 걸리는 모든 하중 경우에 대한 최대 비틀림 값인데 이 최대 비틀림에 대하여 부재가 안전한지를 검토하였다. 먼저 비틀림 값의 경우 표 4의 최소 비틀림 모멘트의 값보다 작은 경우는 검토를 할 필요가 없으므로 하지 않았다. 표 5의 경우 단부 보 사각 60°의 경우를 제외한 나머지 경우는 최소 비틀림 모멘트의 값보다 적게 나와서 검토를 할 필요가 없었다. 그리고 이 경우도 단면력을 구해보면 안전측이다.

비틀림의 경우 내측 가로보는 사각이 90°인 경우에 는 가로보의 개수가 감소하면서 지수값이 감소하는 경향을 보이며 단부 가로보의 경우에는 개수에 따른 변화가 별로 없음을 보여주고 있다.

3.4 경제성 및 시공성 검토

이상의 검토결과에서 나타난 바와 같이 가로보를 현재

7개에서 3개로 줄여도 설계부재력은 모두 다 만족되는 것을 알 수 있다. 이와 같이 가로보를 줄여서 시공을 하게 되면 경제적인 이점이 상당히 클 것으로 판단된다. 교량 횡방향의 가로보 하나를 제작하는데 드는 비용은 표 6에 나타난 바와 같이 1,600,000원 정도가 든다. 현재 일반적인 고속도로 상의 지간 30m의 교량은 가로보를 7개 사용하고 있다. 본 연구 결과를 이용하여 가로보 사용을 7개에서 3개로 줄인다면 30m 단경간 교량(상하행선)에서 절약할 수 있는 경비는 $1,600,000 \times 4 \times 2 = 12,800,000$ 원 정도가 된다. 일반적으로 고속도로나 지방국도의 경우 P.S.C거더교량을 적용할 경우 평균적으로 150×210 m의 교량길이가 많이 적용되고 있으며, 장대교량의 경우 400m내외까지 적용되는 경우도 있는데 교량길이가 길어질수록 절약되는 비용이 아주 커질 것이다.

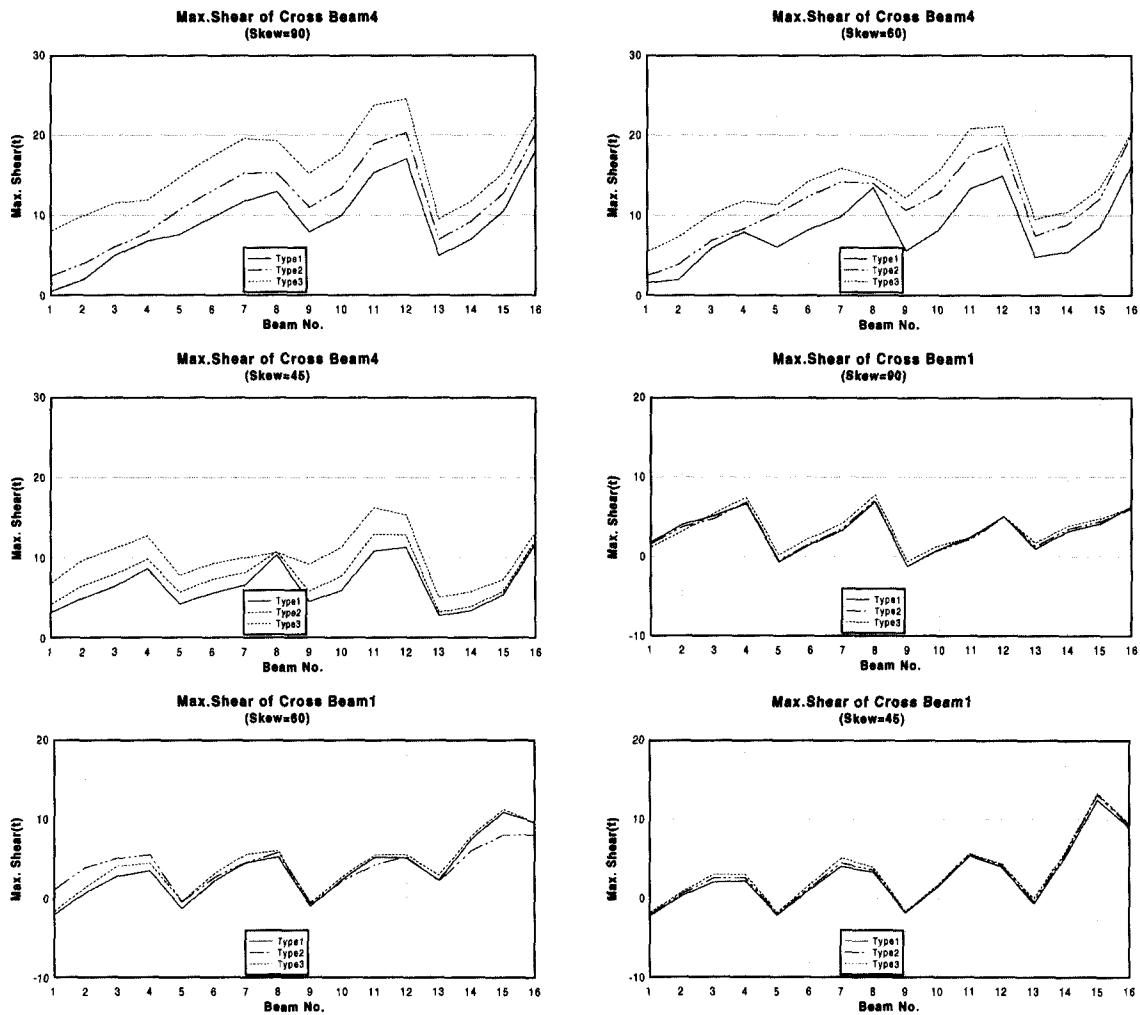


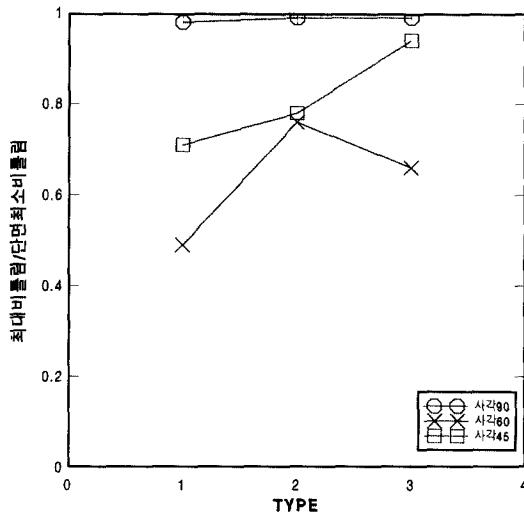
그림 14 각 Type에 대한 가로보의 전단력도

그림 16은 교량 길이증가에 따른 공사비 절감액을 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 P.S.C거더 교량 공사 총 길이가 늘어날수록 절감되는 공사비는 기하적으로 증가되고 있으므로 가로보의 제거효과는 경제성면에서 상당한 효과가 있는 것으로 판단된다.

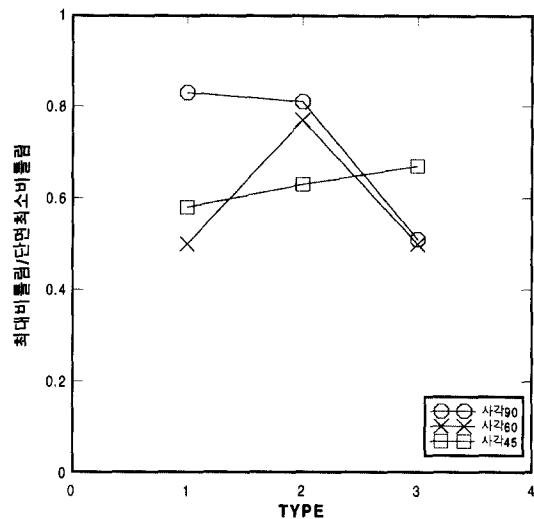
그림 16 교량길이에 따른 공사비 절감액그리고 P.S.C 거더교에서 주형은 별도 제작인데 비해 가로보는 현장에서 타설하여야 하므로 시공상 어려움이 많다. 필요 없는 가로보의 개수를 줄인다면 시공이 아주 용이해져 시공상의 과실을 줄일 수도 있고 공사기간을 단축할 수 있는 잇점도 있다. 강교의 경우를 보면 최근 들어 건설

사업비와 관련하여 상대적으로 비싼 인건비를 절감하는 방안으로써 간단한 구조형태, 즉 강교의 합리화에 주력하게 되었다. 기본적으로 소(少) 주형화, 수직 및 수평 브레이싱의 생략 등을 하고 있는 것이다. 이는 구조 형태가 간단하고 가공작업이 적게 드는 교량시스템이라고 할 수 있는 것이다.

마찬 가지로 P.S.C거더 교량의 제작에서도 가로보의 개수를 줄인다면 부재 수를 줄일 수 있게 되는 것이고 유지관리에 관련된 문제, 즉 응력 집중 개소의 저감을 가져올 수 있게 되고 검사가 용이해지게 되는 것이다.



(a) 단부 가로보

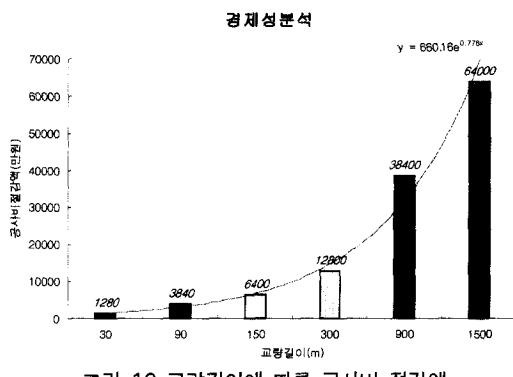


(b) 내측 가로보

그림 15 각 Type에 대한 비틀림모멘트 무차원 값

표 6 가로보 제작비(개당)

내 용	경비(원)
콘크리트 타설비	42,820
철근 가공 조립	148,400
철근비	227,700
레미콘	156,000
합판 거푸집(3회)	423,100
계	998,000
제경비 포함	1,600,000



4. 결 론

본 연구에서는 현행 표준도상의 지간 30m P.S.C

거더교량의 가로보의 개수와 사각에 따른 정적해석을 수행하여 각 부재에 걸리는 최대 부재력을 산정하였으며 그 결과를 토대로 주형 및 가로보의 거동을 분석하였다.

교량을 모델링하기 위하여 상판은 절점당 6자유도를 가지는 평면 쉘을 이용하였고 P.S.C거더와 가로보는 편심 효과를 고려할 수 있는 편심보 요소를 개발하여 사용하였다. 이때 활하중(DB24)을 재하하면서, 차량 윤하중의 위치가 절점에 정확히 위치하지 않는 문제점을 해결하기 위하여 형상함수를 가지고 요소 내부에 위치하는 바퀴 하중을 각 절점으로 치환시켜 주는 방법을 이용하였다.

본 연구에 의하면 P.S.C거더교량의 가로보 수를 최소 3개로 줄여도 주형과 가로보에는 문제가 발생하지 않았다. 오히려 가로보의 개수를 줄였을 때에는 자중이 감소하는 효과로 주형의 경우에는 부재력이 줄어드는 현상을 보였다. 이는 가로보의 개수가 줄어들면서 횡분 배율이 작아지는 단점보다는 가로보 개수 축소로 인하여 자중감소가 발생하는 영향이 더 커서 주형의 안전율이 증가하는 현상을 보여주는 것이다.

도로 선형상 교량이 사각이 있는 경우 부재력이 더 크게 나오는 경우를 산정하기 위하여 사각 90°, 60°, 45°의 경우를 해석한 결과 사각이 있는 경우에도 가로보의 개수를 3개로 줄여 사용하여도 별 문제점이 없는 것으로 나타났다. 본 연구의 수행 결과 30m P.S.C거더교

의 경우 가로보가 과다하게 설계되는 경향이 있음을 보여주고 있다. 본 연구는 정적 해석을 수행하였지만, 이에 추가하여 동적 해석을 수행해 봄으로써 가로보의 효용성 및 기능성을 검토해 볼 필요가 있다.

가로보를 3개로 줄일 때의 경제성을 검토한 결과 P.S.C 거더 교량 공사 총 길이가 늘어날수록 절감되는 공사비는 기하급수적으로 증가되고 있으므로 가로보의 제거 효과는 경제성면에서 상당한 효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서 P.S.C 거더 교량을 설계함에 있어서 정밀한 해석모델링에 의한 구조해석을 통하여 가로보의 수를 줄여 경제성, 시공성을 개선할 수 있는 여지가 많은 것으로 사료되며, 본 연구에서 제안된 해석방법은 설계 실무 적용시 상당히 효율적으로 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. E. C. Hambly, *Bridge deck behavior*, E & FN SPON, 2nd edition, 1991
2. H. T. Chan, H. F. Chan, "The use of eccentric beam elements in the analysis of slab-on-girder bridges", Dep. of Civil & Structural Engineering, The Hong Kong Polytechnic University
3. 김재범, "PC빔교의 적정 가로보설계를 위한 파라메트릭 연구", 한국과학기술원, 석사학위논문, 2000.2
4. C. K. Choi, P. S. Lee, Y.M.Park, "Defect-free 4node flat shell elements NMS-4F element", *Int. J. SEM*, Vol. 8, No. 2, 1999, pp.207~231
5. 도로교 표준 시방서, 건설교통부, 1996.
6. 변동균, 철근 콘크리트, 동명사, 1999.
7. R. Park and T. Paulay, "*Reinforced concrete structures*", WIE, 1975
8. 최창근, 유한요소법, 집문당, 1992
9. 황학주, 최신교량공학, 동명사, 1994
10. J. W. Tedesco, J. M. Stallings and D. R. Tow, "Finite Element Method analysis of Bridge Girder-Diaphragm Interaction", *Computer & Structures*, Vol. 56, No. 2, pp.461~473