

단경간 곡선교의 부반력에 관한 매개변수 연구

A Parameter Study for Negative Reactions of Single Span Curved Bridges

김진석¹⁾ 이학수²⁾
Kim, jin-seok Lee, hacksoo

ABSTRACT

Curved bridges are composed of curved members which have certain curvatures, comparing to straight bridges. Therefore, their behavior is quite different from one of the straight bridges, mainly due to the geometric characteristics of the curved bridges. In this paper, the curved bridges consisted of the single box-girder span are investigated to study the effects of negative reaction forces. The parameters considered in this study are span lengths, angles of curvature, and the number of shoes. Midas/Civil computer program was used for the analysis of the curved bridges. The analysis results show that negative reaction forces are not created with one shoe installed. When two shoes are provided, on the other hands, the uplift forces are developed at the inside shoe. It is also concluded that the increasing ratio of negative reaction forces becomes larger, as the angles of curvature increase, and the elongation of span lengths turns out to increase the magnitudes of the uplift forces.

1. 서론

근래 교통량의 증가와 차량의 고속화로 기존 도로의 확장 및 신설이 필요시 되고 있다. 우리나라는 산과 하천, 계곡 등이 평지에 비해 많은 지리적 요인으로 인해 도로망 내에 많은 교량을 포함하고 있다. 과거 교량의 건설에 있어 도로의 선형보다는 교량에 중점을 두어 설계되었으나, 좁은 국토의 공간적인 제한과 컴퓨터 기술의 발달로 거의 모든 교량의 해석이 가능해진 오늘날에는 교량 중심보다는 도로의 선형 중심으로 교량이 건설되고 있다. 교량 설계에 있어 도로의 선형이 중심이 되면서 일반적인 직선교와는 구조적 거동이 다르게 나타나는 사교 및 곡선교의 사용이 증가하게 되었다. 곡선교는 램프, 인터체인지, 입체 교차로와 스패 길이와 폭의 비가 큰 곡선부등에 사용된다. 곡선교는 교량의 기하학적 요인으로 인해 단면내에 비틀림 모멘트가 크게 발생하며, 지점부에는 부반력이 발생하여 교량의 들림이 발생하게 된다. 이러한 들림은 교량구조물에 치명적인 결함이 되어 교량 전체의 붕괴를 초래하는 경우도 있다.

1) 한남대학교 토목환경공학과 석사과정
2) 정회원 · 한남대학교 토목환경공학과 교수

현재 곡선교에 대해 명확한 설계 규정이 확립되어 있지 않고, 부반력에 대한 경우도 간단히 언급되어 있을 뿐 어떤 영역에서 부반력이 발생하는지에 대한 자세한 설명이 없는 실정이다. 본 연구에서는 곡선교의 들림 발생 여부를 설계 초기에 참고할 수 있도록 곡선교의 기하조건에 중점을 두어 매개변수 연구를 수행하였으며 해석에는 유한요소법을 사용한 상용 프로그램인 Midas/Civil을 사용하였다.

2. 해석 모형

2.1. 기본 모델링

본 연구에서는 1박스 거더를 사용한 단경간 곡선교를 대상으로 하였으며, 곡선교에 가장 많이 사용되고 있는 합성형 단면을 사용하였다. 해석에 사용된 모델의 횡단면은 그림 1과 같다. 강상자 거더는 보요소를 이용하였고, 콘크리트 슬래브는 판요소를 사용하였다. 합성형 단면을 적절히 나타내기 위하여 판요소와 보요소를 강제 연결시켰으며, 모델링과 해석에 소요되는 시간을 줄이기 위해 수직반력에 거의 영향이 없는 거더의 보강재와 슬래브의 방호벽 등 부대시설은 모델링에서 제외하였다.

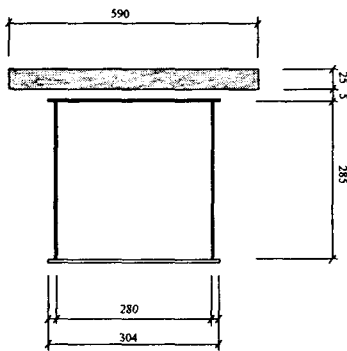


그림 1 교량의 횡단면

그림 2는 해석 모델의 예로서 중심각 60° 와 지간길이 25m의 경우 2개의 슈를 사용한 교량을 나타낸 것이다. 보요소와 판요소 모두 50cm 간격으로 분할하였으며, 해석에 사용된 모든 모델은 시간 중양을 기준으로 대칭이 되도록 모델링 하였다.

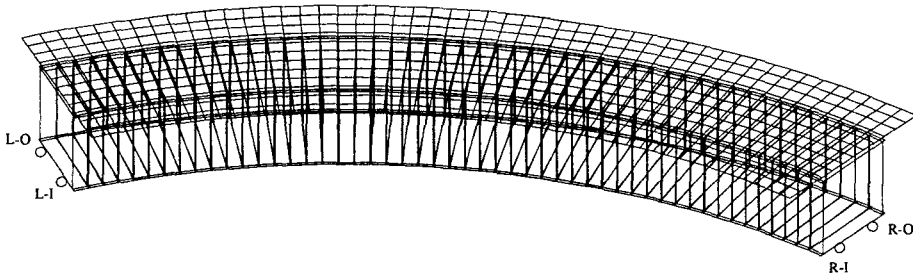


그림 2 해석 모델의 예

그림 2에 명시된 슈의 명칭 L-I, L-O, R-I와 R-O는 다음의 법칙에 따라 명명되었다. 즉, L과 R은 좌·우측을 I와 O는 내측과 외측을 나타낸다. 교량의 좌·우측에 1개의 슈를 사용한 경우에는 L과 R로만 표기하였다. 해석 모델에 사용된 하중은 수직반력에 영향이 큰 교량의 자중과 차량하중만을 고려하였으며, 자중은 콘크리트 슬래브와 강박스 거더의 자중만을 고려하였다. 차량 하중은 도로교 설계기준의 1등교를 기준으로 하여 DB-24 하중과 DL-24하중을 사용하였으며 1개 차선을 갖는 교량을 해석 대상으로 하였기 때문에 1개 차선에만 재하되었다.

2.2. 매개변수

곡선교는 직선교와 달리 일정한 곡률을 가지고 있다. 이러한 기하학적 차이가 곡선교와 직선교의 거동 차이를 발생시키므로, 곡선교의 기하학적 특성에 영향이 큰 시간길이와 중심각을 매개변수로 사용하였다. 시간길이는 강상자형 거더가 일반적으로 사용되는 25m부터 50m까지 5m간격으로 분할하였으며, 중심각은 직선교와 비교하기 위해 0°부터 60°까지 5°간격으로 분할하였다. 또 한쪽 지점의 슈의 수를 1개와 2개일 경우에 대하여 각각 해석하였다. 강상자형 거더에서 다이어프램의 배치간격은 거더의 단면력에는 큰 영향이 있으나 수직반력에는 큰 영향이 없기 때문에 본 연구의 매개변수에서는 제외시켰다.

2.3. 구속조건

온도하중이나 풍하중 같은 수평력이 작용될 때 곡선교에서는 슈의 배치 방법에 따라 수평반력의 거동이 상이하게 나타난다. 그러나 수직반력은 슈의 배치 방법에 의한 영향이 무시될 정도로 작게 나타났다. 본 논문에서는 수직반력만을 고려하였기 때문에 현방향 배치나 접선방향의 배치가 큰 의미가 없으므로 슈의 배치는 접선방향으로 배치하였다. 거더 중앙에 1개의 슈를 배치하였을 경우 슈 L은 곡선의 접선 방향으로의 수평변위와 접선에 수직인 방향의 모멘트에 대하여 자유롭게 하였으며, 슈 R은 곡선의 접선에 수직인 방향의 모멘트에 대하여 자유롭게 하였다. 2개의 슈를 사용하였을 경우 그림 2의 L-I는 접선방향과 이에 수직인 방향의 수평변위, L-O는 접선 방향의 수평변위, R-I는 접선에 수직인 방향의 수평변위에 대하여 자유롭게 하였으며, R-O는 고정단을 사용하였다.

3. 해석 방법 및 결과

3.1. 해석 방법

곡선교에서는 수직하중이 단면의 전단중심에 작용하더라도 휨과 동시에 비틀림을 수반하기 때문에 휨과 동시에 비틀림을 고려한 입체 구조해석이 필요하다. 그러나 본 연구에서는 받침부에서의 수직반력만을 다루었으므로, 단면내의 휨과 비틀림은 고려하지 않았다. 곡선교 해석에 사용되는 단순 비틀림 이론, 휨 비틀림 이론, 곡선경자 거더이론, 유한 띠판요소법, 부채꼴 직교 이방성 판이론과 유한요소법등 여러 가지 곡선교 해석방법 중 현재까지 가장 정확한 해를 보이는 유한요소법을 사용하였으며 해석에는 상용 프로그램을 이용하였다. 그리고 받침부에 발생하는 반력값을 정반력은 양수로 부반력은 음수로 나타내었다.

매개변수 변화에 따른 받침부의 수직반력 변화를 알아보기 위하여 교량의 자중과 차량하중이 고려되었다. 이들 하중 중 차량하중은 재하되는 위치에 따라 받침에 발생하는 반력값에 영향을 미친다. 차량하중의 위치에 따라 지점부에서의 반력값의 변화를 알아보기 위하여 영향면 해석을 수행하였으며, 영향면을 기초로 하여 반력의 최소값이 발생하도록 차량하중이 재하되었다. 이동하중인 차량하중은 정적하중으로 치환하여 재하되었으며, 충격계수를 이용하여 동적 효과를 고려하였다. 자중과 차량하중이 동시에 재하된 경우의 반력값은 자중의 반력값과 영향면을 기초로 얻어진 차량하중의 최소 반력값을 합산하였다. 그림 3은 중심각이 60°이고 시간길이가 25m인 경우 L-I의 수직반력에 대한 영향면을 나타낸 것으로 양의 반력값이 정반력을, 음의 반력값이 부반력을 의미한다. 해석 결과는 차량하중과 자중에 의해 발생된 반력값 중 최소 반력값을 중심각과 시간길이에 따라 그래프로 나타내었다.

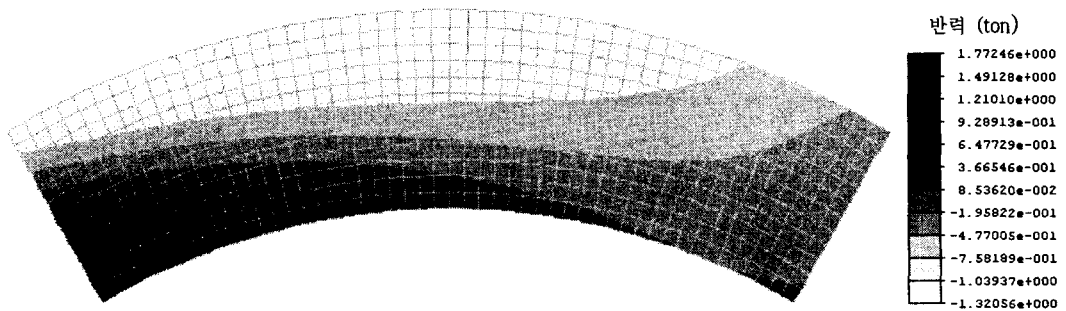


그림 3 중심각 60°, 지간길이 25m 인경우의 슈 L-I에서의 영향면

3.2. 해석 결과

중심각의 증가에 따라 그림 3에서의 부반력 영역은 곡선교의 내측 방향으로 증가하였고 부반력값 역시 증가하였다. 지간길이 증가에 따라 부반력 영역의 모양은 거의 변화가 없었으며, 부반력값만 증가하였다. 그림 3에서 L-I에 가장 큰 부반력이 발생하는 경우는 차량하중이 곡선교의 중앙 외측에 위치하였을 때임을 알 수 있다.

3.2.1. 슈 1개를 사용한 경우

1개의 슈를 사용한 경우 매개변수를 변화시킨 어떤 경우에도 부반력이 발생하지 않았으며, 그림 4와 그림 5에서 보이듯이 중심각의 변화에 따른 반력값의 변화는 거의 없었다. 단지 지간길이 변화함에 따라 반력값이 증가함을 보였다.

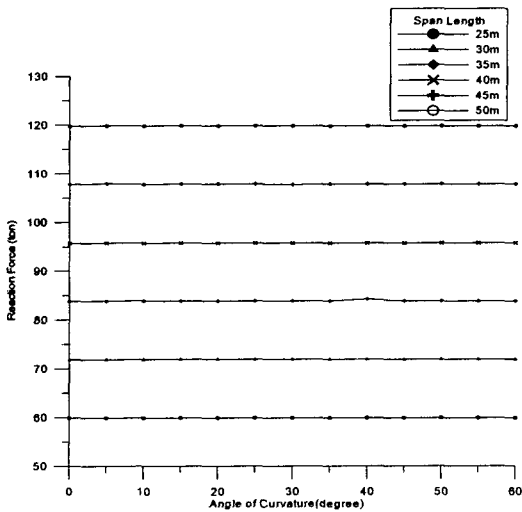


그림 4 슈 R에서의 반력변화

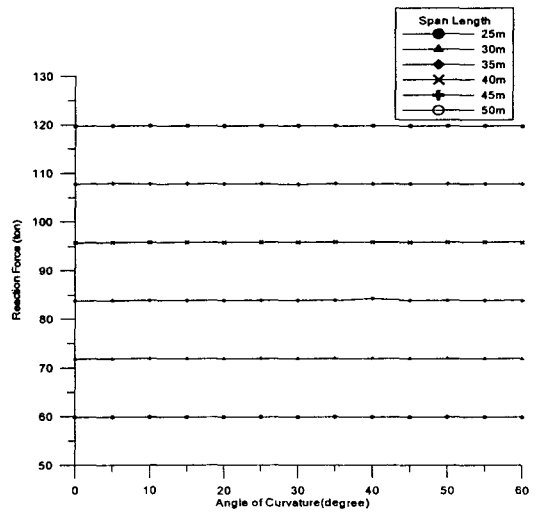


그림 5 슈 L에서의 반력변화

1개의 박스거더에 1개의 슈를 사용한 곡선교에서 수직하중만을 고려할 때 수직반력은 직선교의 거동과 크게 다르지 않으므로 1개의 박스거더를 갖는 곡선교량에 1개의 슈를 배치하는 경우 부반력이 발생하지 않아 교량의 들림으로 인한 파괴는 예방할 수 있다. 그러나 부재 종축에 대한 회전이 크게 발생되기 때문에 받침 설계시에 이에 대한 충분한 검토가 필요하다.

3.2.2. 슈 2개를 사용한 경우

그림 6과 그림 7은 교량의 좌·우 외측 지점에서 반력값의 변화를 나타낸 것이다. 지간 길이가 길어질수록 반력값이 증가하는 경향을 나타내며, 중심각이 증가할수록 반력값의 증가폭이 커지는 것을 알 수 있다. 중심각이 증가할수록 반력값의 증가폭이 커지는 것은 중심각 증가에 따라 내측 지점에 부반력이 크게 발생하므로 발생한 부반력을 외측 슈에서 정반력으로 부담하게 되어 반력의 변화 폭이 증가하기 때문이다.

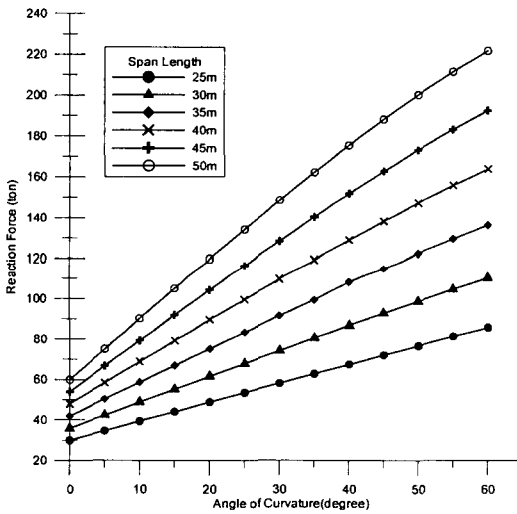


그림 6 슈 L-O에서의 반력변화

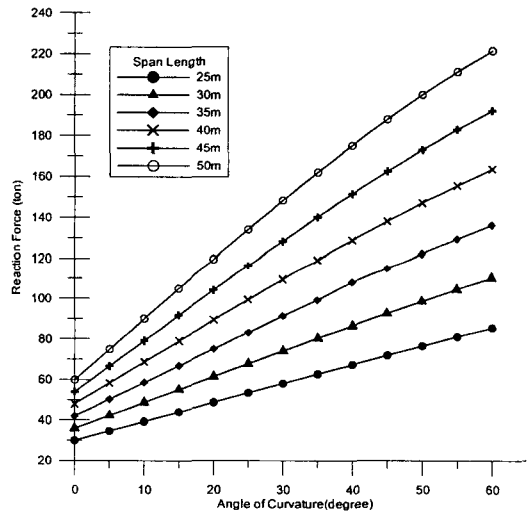


그림 7 슈 R-O에서의 반력변화

그림 8과 그림 9는 교량의 좌·우 내측 지점에서 반력값의 변화를 나타낸 것으로 교량의 좌·우측 모두 부반력이 발생하였다. 지간길이가 길어짐에 따라 부반력값이 증가하는 경향을 나타내며, 중심각이 커짐에 따라 발생하는 부반력값의 증가폭이 커졌다. 중심각 25° 이상에서는 지간 길이에 상관없이 부반력이 발생하였다. 부반력이 발생한 부분의 90% 이상은 자중이 작용할 때에도 내측 지점에는 부반력이 발생하였으며, 대략 65% 정도는 반력의 최소값뿐만 아니라 최대값 역시 부반력으로 나타났다. 그림 6, 7, 8과 그림 9를 보면 좌·우 대칭의 형태를 나타내며, 중심각 0°로 표현된 직선교의 반력값과 비교해 보면 직선교에서는 4개의 슈에서 작용되는 하중을 같은 비율로 부담하게 되지만 지간길이가 증가함에 따라 반력의 부담률이 외측과 내측 지점에 따라 증가와 감소하는 경향을 나타낸다.

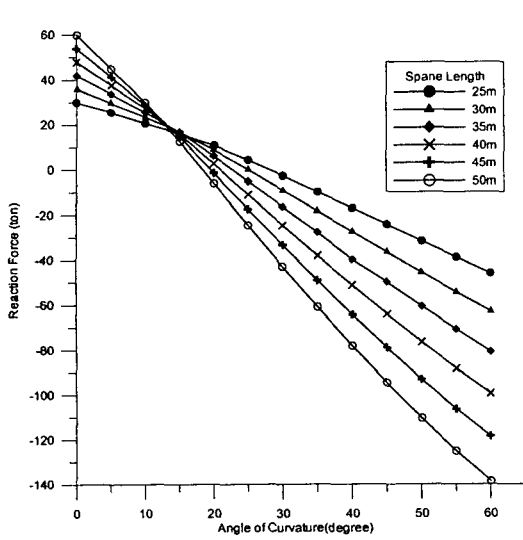


그림 8 슈 L-I에서의 반력변화

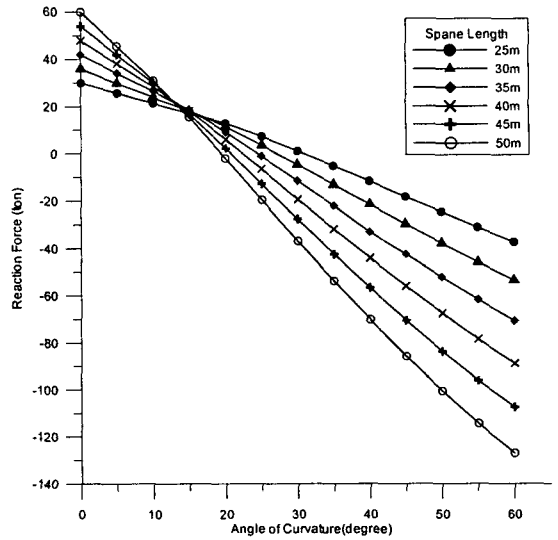


그림 9 슈 R-O에서의 반력변화

재하되는 하중들 중 자중에 의한 반력 변화는 지간길이가 같을 경우 중심각 변화에 따라 반력의 변화율이 일정하였다. 그러나 차량하중에 의한 반력의 변화는 그림 10과 그림 11에 나타나듯이 같은 지간길이에서도 중심각 변화에 따라 그 변화율이 일정하지 않다. 중심각이 15° 보다 커지면 차량하중에 의한 부반력이 급격하게 증가하는 것으로 나타났다. 중심각이 15° 이하일 경우 자중에 의한 부반력이 발생하지 않으며, 차량하중에 의한 부반력값이 자중에 의한 정반력 값보다 절대치가 작아서 부반력이 발생하지 않는다. 그러나 중심각 증가에 따른 자중의 반력 감소와 중심각 15° 이후에 차량하중에 의한 부반력의 급격한 증가로 인하여 중심각 20° 이상부터는 지간길이가 증가함에 따라 부반력 증가폭이 크게 나타난다.

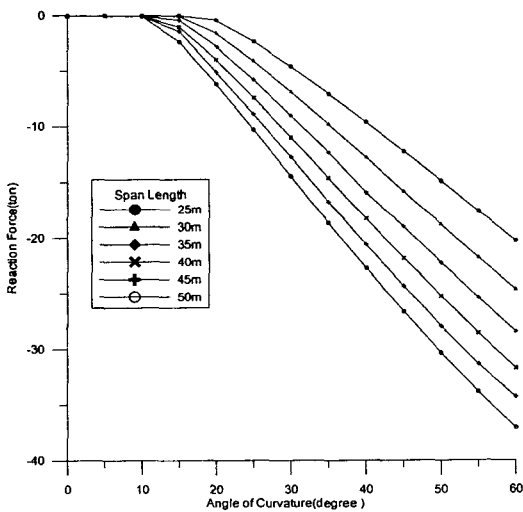


그림 10 슈 L-I에서 차량하중에 의한 반력변화

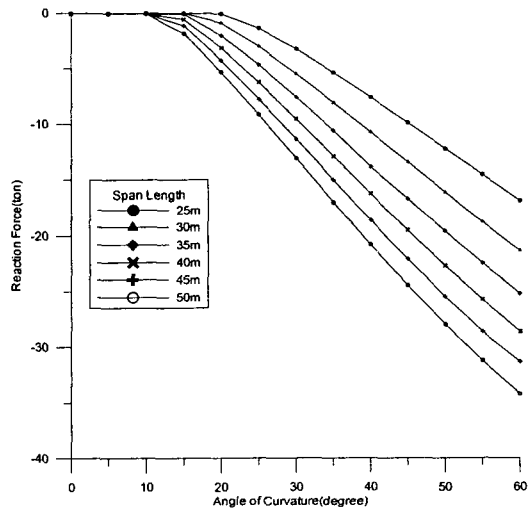


그림 11 슈 R-I에서 차량하중에 의한 반력변화

4. 결 론

본 연구는 곡선교에서 교량 전체의 파괴를 발생시킬 수 있는 부반력의 발생 영역을 파악하고자 하였다. 해석 모델은 1박스거더의 1경간 곡선교로 1개 차선만 고려하였으며, 곡선교의 부반력에 영향을 미치는 매개 변수가 아래와 같음을 알 수 있었다.

1. 곡선교의 부반력에 가장 큰 영향을 미치는 것은 곡선교의 중심각으로 중심각이 커지면 지간길이 증가에 따른 부반력의 증가율이 커졌다.
2. 지간길이에 따른 자중의 변화는 반력값의 변화에 큰 영향을 끼친다. 따라서 곡선교에서는 지간길이의 증가에 따라 내측 지점의 부반력값도 함께 증가하였다.
3. 곡선교에서의 부반력의 발생은 차량하중 뿐만 아니라 자중에 의한 영향도 큰 것으로 나타났으며, 부반력이 발생한 영역중 90% 정도가 자중에 의해서도 부반력이 발생하였다.
4. 중심각이 증가하고 지간길이 길어짐에 따라 증가되는 자중에 의한 부반력이 차량하중에 의한 정반력보다 크게 발생하는 경우가 있다. 이런 경우 내측 지점에는 최대 및 최소 반력값 모두 부반력으로 나타났다.
5. 1박스거더의 곡선교량에 1개의 슈를 사용하면 부반력이 발생되지 않지만, 받침부에 종방향 회전이 크게 발생하므로 이에 대한 적절한 설계가 필요하다.

참고 문헌

1. 정건호, '2경간 철근콘크리트 사교의 부반력(들림)에 관한 매개변수 연구', 한남대학교 석사학위논문, 2002
2. 김태균, 이성철, 최헌, '상자형 수평곡선교량에서 발생하는 뒤틀림응력에 관한 연구', 대한토목학회 학술발표회 논문집, Vol. 2000, No.1, 2000, pp.165~168
3. 홍성수, '뒤틀림을 고려한 수평곡선 상자형 거더의 내부격벽간격에 관한 연구', 고려대학교 석사학위 논문, 1999
4. 정진환, 김성도, 심경환, '상자형 곡선 교량의 근사해석기법에 관한 연구', 부산대학교 생산기술연구소 논문집, 제 50집, 1996, pp35~48
5. 김성일, 장승필, 곽종원, '차량하중 하의 곡선교의 동적해석' 대한토목학회 대한토목학회논문집, 제 16권 1-2호, 1996, pp123~133
6. 김수정, 박정용, 장병순, '탄성방정식을 이용한 연속곡선교의 영향선에 관한 연구', 대한토목학회 학술발표회 논문집, Vol.1999, No.1, 1999, pp.77~80
7. Vahit Mermertas., 'Dynamic interaction between the vehicle and simply supported curved bridge deck', Computer methods in applied mechanics and engineering, 1998, Vol.162, No.1/4, pp.125-131
8. Dongzhou Huang, Ton-Lo Wang, M. Shahawy, 'Vibration of horizontally curved box girder bridges due to vehicles', Computers & structures, Vol.68, No.5, 1988, pp.513-528