

## 2지점 상승·하강에 의한 3경간 연속 프리플렉스 합성보의 Prestressing 효과에 관한 연구

### A Study on the Prestressing Effect of Three Span Continuous Preflex Composite Bridges by Lifting Two Supports

구민세\*                      정재운\*\*                      김필식\*\*\*  
Koo, Min-Se                  Jeong, Jae-Woon                  Kim, Phil-Sik

---

#### ABSTRACT

This study presents the concept and the effects of the lifting two supports method that makes get economical design sections and efficient stress condition. The analysis of relation between critical sections and ratios is done. Also, connection between critical sections and design variable is analyzed. In order to resolve the effects of the lifting two supports method, sections which was designed with the existing method, lifting support method, are used. Finally, it is proved that the new method is more efficient than the existing methods in economy and structure.

---

#### 1. 서    론

프리플렉스 합성보는 강재와 콘크리트의 서로 다른 재료적 강점을 활용한 구조형식으로 타형식에 비해 높은 경제적·구조적 장점을 가지고 있어 널리 사용되어 왔다. 기존의 프리플렉스 합성보공법은 프리플렉스 합성보의 연속보처리시 많은 장점이 있음에도 불구하고 지점부의 부모멘트 처리문제 등의 어려움으로 단순보형태의 교량에 주로 적용되었다. 다경간의 교량을 시공할 경우 지점부의 연결부 처리는 고가의 팽창조인트를 사용하고 있으나 지속적인 보수 및 유지관리가 필요하고 주행감을 저하시키는 문제점을 안고 있다. 최근 들어 연속화 시공을 위한 계속적인 연구가 진행되고 있고 시공에 도입되고 있는 실정이다. 일본의 경우 프리플렉스 합성보의 연속화 시공방법으로는 지점부 슬래브에 강선으로 부분적인 프리스트레스를 도입시키는 방법과 일정량의 하중을 적재한 상태에서 콘크리트를 타설, 경화후 하중을 제거하는 counter weight 방법 등이 있다. 국내의 경우는 프리플렉스 합성형 교량을 연속화하고 이 때 부모멘트구간에서 발생하는 인장응력을 내측지점부의 상승·하강에 의한 프리스트레스를 도입하여 효과적으로 해결할 수 있는 연속 프리플렉스 합성보공법[구민세, 1994]이 있다. 이 공법은 교량의 연속화를 통한 단면절감과 고가의 팽창조인트를 제거할 수 있는 경제적인 시공법이다. 그러나 3경간 이상의 교량에서 연속 프리플렉스 합성보공법은 연속되는 지점부의 상승·하강시 선행된 지점부 하부콘크리트의 인장에 대한 허용응력의 제약으로 더 효과적인 응력상태나 더

---

\* 인하대학교 토목공학과 교수

\*\* 인하대학교 토목공학과 박사과정

\*\*\* 인하대학교 토목공학과 석사과정

경제적인 단면을 얻지 못했다.

본 연구는 기존의 연속 프리플렉스 합성보공법에서의 제약 조건을 개선 및 보완하는 방법과 원리를 소개하고, 또한 보완 방법인 2지점 상승·하강공법을 통한 효과적인 단면과 시공과정에서의 상승비와 하강비의 변화가 위험단면에 미치는 응력의 영향 정도와 설계단면의 변화에 따른 응력의 변화 정도를 보여줌으로 설계의 기초자료를 제시하고 기존 단면과 비교 검토하여 그 효과를 분석하였다.

## 2. 프리플렉스 합성보와 연속화 방법의 소개

### 2.1 단경간 프리플렉스 합성보의 개요

벨기에의 설계기사 A. Lipski에 의해 1949년에 개발된 프리플렉스 합성보는 보에 작용하는 하중에 대하여 발생하는 정모멘트를 상쇄시킬 목적으로 프리스트레스를 미리 도입하여 응력에 대해 유리한 조건을 얻을 수 있는 경제적인 구조부재이다. 빠른 시공성과 기존의 R.C.교에 비해 형고가 절반정도이므로 공간에 제약을 받는 곳에 적합하다. 그 원리는 최종 정모멘트에 저항할 수 있는 부모멘트를 발생시켜 응력의 감소효과를 얻게 한 것으로 소정의 솟음을 주어 제작한 강형에 프리플렉션 하중을 가한후 하부케이싱 콘크리트를 타설하고 프리플렉션 하중을 제거하면 정모멘트 발생시의 응력과 반대되는 응력을 도입할 수 있다. 그림 2.1은 프리플렉션 빔의 제작과정을 보여주고 있다.

단 계	제 작 과 정
단계 1 (Pf 하중재하) 소정의 솟음을 주어 제작한 강형에 프리플렉션 하중을 가한다.	
단계 2 (하부케이싱 타설) 강형플랜지 하부에 케이싱콘크리트를 타설한다.	
단계3 (Release) 프리플렉션 하중을 제거하여 콘크리트에 압축력 도입	
단계 4 (슬래브콘크리트 타설) 복부, 슬래브 콘크리트를 타설한다.	

그림 2.1 단경간 프리플렉스 합성형교의 제작순서도

### 2.2 지점 상승·하강을 이용한 연속 프리플렉션 합성보의 개요

프리플렉션 합성형교의 연속화에 있어서 가장 문제가 되는 점은 부모멘트구간의 처리이다. 단경간에 국한되던 프리플렉션 합성형교의 연속화에 대한 연구는 선진각국에서 연구되어 왔고 국내의 경우 지점 상승·하강을 통한 부모멘트구간에 프리스트레스를 도입하는 연속화 방법[구민세,1994]이 연구 개발 되었다.

지점 상승·하강에 의한 연속화 공법은 단경간으로 제작한 프리플렉스 합성보를 연결시키고 지점부를 상승한후 슬래브 콘크리트를 타설하고 경화 후 지점부를 하강시켜 최종상태에 발생하는 사하중과 활하중에 의

한 부모멘트에 반대되는 압축응력을 슬래브 콘크리트에 발생시켜 응력의 상쇄효과를 얻는 방법이다. 그림 2.1은 지점 상승·하강에 의한 연속화 공법을 보여 준다.

단 계	제 작 과 정
단계 1 (지점상승) 단경간으로 제작된 프리플렉션빔을 연결후 지점을 상승한다.	
단계 2 (슬래브콘크리트 타설) 부모멘트 구간의 슬래브 콘크리트를 타설한다.	
단계 3 (Release) 지점을 하강하여 슬래브 콘크리트에 압축응력을 도입	
단계 4 (슬래브콘크리트 타설) 정모멘트 구간의 슬래브 콘크리트를 타설한다.	

그림 2.2 2경간 연속 프리플렉스 합성형교의 제작순서도

### 3. 2지점 상승·하강을 이용한 연속화 방법과 원리

#### 3.1 2지점 상승·하강을 통한 연속 프리플렉스 합성보의 개요

3경간에 있어 지점 상승·하강을 통한 연속화 공법은 기존의 단경간을 연속화 시키는 방법에 비해 월등히 구조적으로 유리하며 경제적이다. 그러나 더 유리한 단면과 경제적 성과를 얻을 수 있음에도 불구하고 시공 단계에 따른 부분적 응력의 제한으로 더 효과적인 시공이 어려웠다. 제약조건이 되는 응력의 제한은 지점의 상승·하강이 선행된 지점부의 하부콘크리트에서 발생된다. 3경간에서 지점의 상승·하강이 순차적으로 이루어 질 때 2지점은 이미 상승·하강 공정이 완료된 상태로 3지점의 상승이 이루어진다. 이때 3지점의 상승은 2지점에 정모멘트를 발생시켜 하부콘크리트에 인장응력을 일으키고 이는 3지점의 상승량을 제한시키게 된다. 제한된 상승량은 지점부에 도입되는 프리스트레스량에 직접적인 영향을 미치므로 더 경제적인 단면을 얻거나 효과적인 응력상태를 얻는데 제약사항으로 작용한다.

2지점 상승·하강을 통한 연속화 공법은 앞에서 언급된 제한 사항을 해결 보완하여 보다 경제적이고 유리한 단면을 얻을 수 있게 한다. 3경간에서 2지점의 상승·하강 공정이 완료된 후 3지점의 상승 전에 2지점을 다시 상승시켜 미리 2지점 하부 콘크리트에 압축응력을 도입시키므로 3지점에 충분한 상승량을 얻을 수 있다. 차후 순차적으로 3지점을 하강하고 2지점을 하강하여 요구되는 프리스트레스를 부모멘트구간과 정모멘트 구간에 도입한다. 그림 3.1은 3경간에서 기존의 지점 상승·하강을 이용한 연속화 방법과 앞에서 언급된 제약사항을 개선한 2지점 상승·하강을 통한 연속화의 방법을 보여주고 있다. 제시되지 않은 선행 부분은 2경간 연속화 방법의 단계 3 까지 동일한 과정을 따른다.

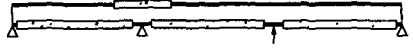

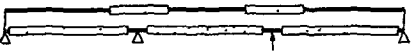
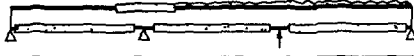
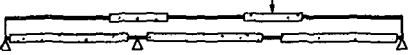
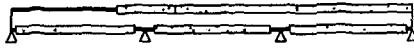
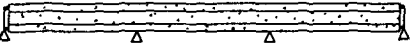
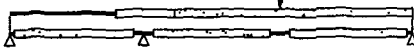
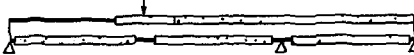
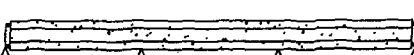
기존방법	2지점 상승·하강공법
	rak12 
	rak13 
	
	rak15 
	rak16 
	

그림 3.1 기존 연속화방법과 2지점 상승·하강을 통한 연속화방법

### 3.2 2지점 상승·하강을 이용한 연속화의 원리

3경간 이상의 연속 프리플렉스 합성형교의 제작에 있어서 바닥판 콘크리트에 압축응력을 도입하고자 실시하는 1개소의 내부지점 상승은 인접한 내부지점부에 정모멘트를 발생시키므로 인근 내부지점부 하부플랜지 콘크리트에 인장응력이 작용하게 된다. 그림 3.2 (가)에서 이러한 모멘트의 영향을 보면 프리플렉스 합성형이 3경간까지 등간격으로 연결되어 있는 경우 C지점의 상승에 의해 B지점에는 C지점에 발생하는 부모멘트의 약 67%의 정모멘트가 발생하며, 이 때문에 압축응력이 도입되지 않은 B지점부 하부플랜지 콘크리트에는 인장응력이 발생하게 된다. 그림 3.2 (나)는 B지점부 하부플랜지 콘크리트의 인장응력을 상쇄시키기 위하여 C지점의 상승 이전에 B지점에 지점상승력을 가하여 C지점의 상승으로 발생하는 B지점의 정모멘트 만큼 부모멘트를 B지점에 발생시킨다. 그림 3.2 (다)는 이로 인해 결과적으로 B지점에 발생하는 모멘트는 0이 되며, 하부플랜지 콘크리트에는 인장응력이 발생하지 않게 됨을 나타낸다. 이러한 모멘트 영향의 상쇄효과를 적용하여 2지점 상승·하강을 이용한 연속화를 이룰 수 있다.

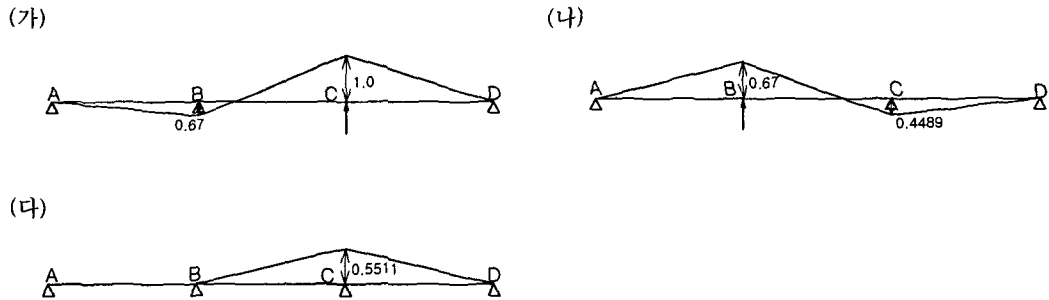


그림 3.2 2지점 상승·하강 원리에 관한 모멘트도

#### 4. 매개변수 해석과 결과 분석

##### 4.1 상승비와 하강비의 제한

상승력과 하강력에 대한 최고값의 결정은 고려되는 부분들의 허용응력까지의 여유응력을 단위하중에 의한 응력으로 나누어준 값들 중 최소값을 선택함으로써 이루어진다. 여기서 구하여진 상승력 혹은 하강력을 기준으로 상승비와 하강비를 결정하게 된다.

표 4.1 지점의 최대 상승·하강력의 결정

구 분	지점상승력(최대값)	지점하강력(최대값)
결정방법	$PF_{jU}^i = \frac{\sigma_{all} - \sum \sigma_{i,j-1}}{\sigma_{i,j}^{p=1}}$ $PF_{jU} = \min[PF_{jU}^i]$	$PF_{jD}^i = \frac{\sigma_{all} - \sum \sigma_{i,j-1}}{\sigma_{i,j}^{p=1}}$ $PF_{jD} = \min[PF_{jD}^i]$
부호설명	$i$ =부재의 절점번호 $j$ =시공단계 $\sigma_{all}$ =각 부재의 허용응력 $\sigma_{i,j}^{p=1}$ = 단위하중에 의한 응력 $\sum \sigma_{i,j-1}$ = $j-1$ 단계까지 각절점의 응력 합계 $PF_{jU}^i, PF_{jD}^i$ = $j$ 단계 $i$ 절점에서 계산된 지점 상승·하강력 $PF_{jU}, PF_{jD}$ = 최종 결정된 지점 상승·하강력	

표 4.2 지점의 상승·하강력의 결정

구 분	지점상승력	지점하강력
결정방법	$PF = PF_{jU} \times \text{Ratio}$	$PF = PF_{jD} \times \text{Ratio}$

위의 결정방법으로부터 상승비와 하강비의 최고값은 1이 되며 최저값은 0이 된다. 상승비와 하강비가 1이상의 값을 갖게 되면 위험단면의 응력이 허용응력을 초과하는 결과를 가져오게 되기 때문에 1 이상의 값을 가질 수 없다.

##### 4.2 상승비와 하강비 변화에 따른 위험단면의 응력변화

설계시 고려되는 적절한 상승비와 하강비의 결정은 많은 반복 계산을 통하여 이루어진다. 각 단계별 상승비 혹은 하강비의 변화는 다음 단계의 상승비 혹은 하강비에 영향을 줌으로 Ratio간의 확실한 연관성을 표현하기란 사실상 불가능하다. 그러나 단면의 설계에 있어서 상승비와 하강비의 변화가 각각의 위험단면에 미치는 응력의 변화를 살펴보면 그 영향의 정도가 상이하므로 특정 위험단면에 대하여는 그 영향성이 크고 작음을 알 수 있다. 그림 4.1은 Ratio(상승비, 하강비)의 변화가 위험단면의 응력에 얼마정도의 영향을 미치는지 그 비중을 나타내고 있다. 동일 쪽의 Ratio를 감소시켰으며 rak8에 의한 응력의 변화량을 기준으로 다른 Ratio에 의한 응력의 변화정도를 나타내었다. rak8은 2경간으로 만든 후 지점을 상승할 때의 Ratio이며(그림 2.2의 단계1 참조), rak10은 지점을 하강할 때의 Ratio이다.(그림 2.2의 단계3 참조) rak12에서 rak16은 그림 3.1에 나타내었다.

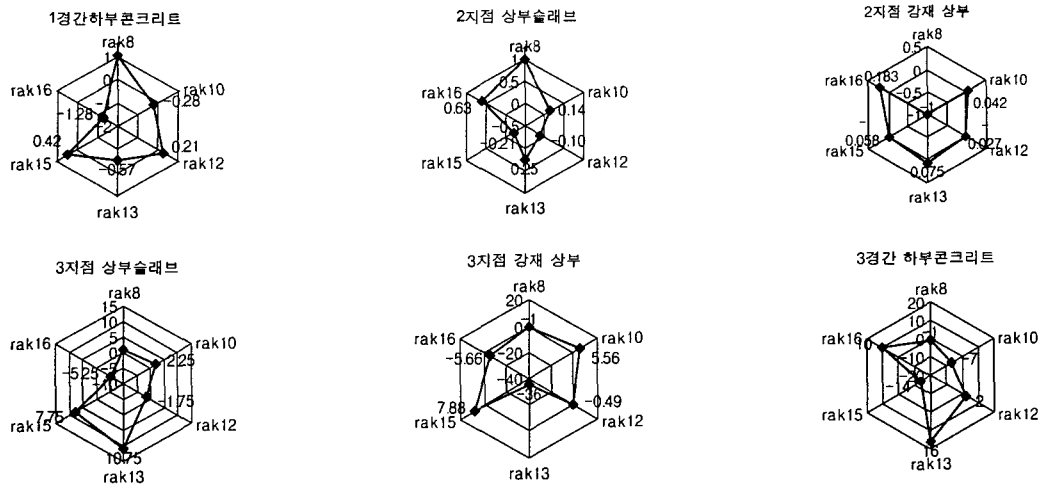


그림 4.1 위험단면의 응력에 대한 Ratio의 영향도

#### 4.2 설계변수에 따른 위험단면의 응력변화

설계단면에 있어 각 변수의 증감은 부재의 응력상태를 변화시킨다. 각 변수의 변화에 따른 위험단면의 응력을 비교·검토하여 단면 설계시 경제적인 단면을 얻을 수 있다. 설계단면에 대한 각각의 변수는 형고, 플랜지 폭(1), 플랜지 폭(2), 플랜지 두께(1), 플랜지 두께(2)가 되며 위험단면은 정모멘트 구간과 부모멘트 구간에서 각 구간중 최대 응력 발생지점이 된다. 또한 비교 대상들의 객관적 해석을 위해 동일한 강재량을 기준으로 각 변수의 변화량을 결정하였다.

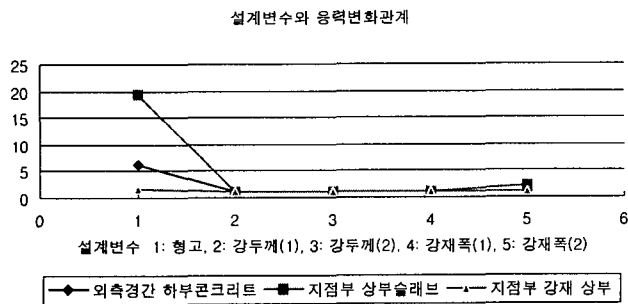


그림 4.2 설계변수와 위험단면의 응력관계

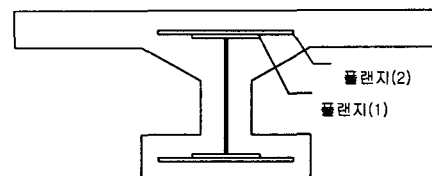


그림 4.3 설계단면

표 4.3 설계변수와 위험단면의 응력관계

	형 고	플랜지 두께(1)	플랜지 두께(2)	플랜지 폭(1)	플랜지 폭(2)
외측경간 하부콘크리트	6.17	1	1.08	1.08	1.14
지점부 상부슬래브 콘크리트	19.41	1	1.11	1.10	2.10
지점부 강재상부	1.64	1	1.04	1.04	1.14

위험단면의 응력에 가장 큰 영향을 미치는 설계변수는 형고이며 가장 작은 영향을 미치는 변수는 플랜지두

계(1)로 나타났다. 형고의 제한을 받을 경우 형고를 제외한 설계변수중에 응력의 효과를 가장 크게 볼 수 있는 변수는 플랜지폭(2)로 나타났다.

#### 4.3 기존 연속화 방법에 의한 단면과의 비교

기존의 연속화 방법으로 설계된 단면에 2지점 상승·하강을 이용한 연속화 방법을 적용하여 지간별 응력의 감소효과를 토대로 형고 감소효과와 강재 감소효과 그리고 지간연장효과를 검토하였다. 지간이 길어질수록 지간연장효과, 형고 감소효과 그리고 강재 감소효과가 줄어드는 경향을 보였다. 지간 연장에 있어서 6%~12% 내의 효과를 얻을 수 있었고 형고에 대하여는 6%~10%의 감소 효과를 얻었다. 그리고 강재량의 경우 10%~21%의 큰 감소효과를 얻는 것으로 나타났다.

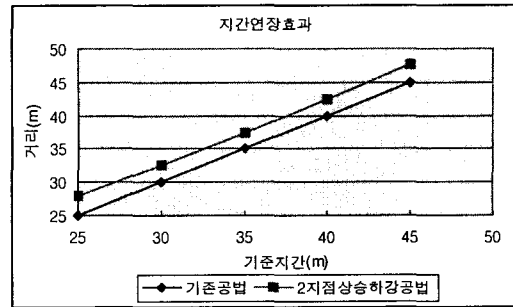


그림 4.4 지간 연장효과

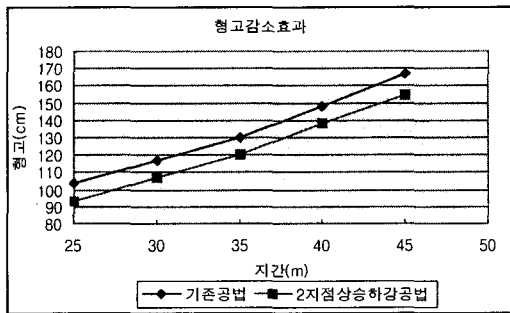


그림 4.5 형고 감소효과 그림

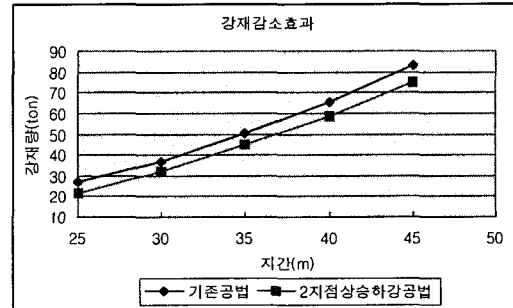


그림 4.6 강재량 감소효과

표 4.4 2지점 상승·하강공법에 의한 효과

	25m	30m	35m	40m
지간연장효과	12%	8.7%	6.9%	6%
형고감소효과	10.6%	8.5%	7.7%	6.8%
강재감소효과	21.2%	13.3%	11%	10.2%

## 5. 결 론

본 연구에서는 지점 상승·하강을 이용한 기존의 연속화 방법의 제약 사항을 검토하여 그 문제점을 해결 하였고 새로운 공법인 2지점 상승·하강공법에서 Ratio와 위험단면의 응력관계 및 설계변수와 위험단면의 응력관계가 검토되었다. 기존의 연속화 방법에 의한 단면을 2지점 상승·하강공법에 적용하여 새로운 공법의 효과를 분석하였다.

위험단면의 응력에 대한 Ratio와 설계변수의 영향성을 보면 1경간 하부콘크리트와 2지점 상부슬래브 콘크리트 그리고 2지점 강재 상부에 rak8이 가장 큰 영향을 준다. 반면에 3지점 상부슬래브 콘크리트와 3지점 강재상부 그리고 3경간 하부콘크리트의 경우는 rak13이 가장 큰 영향을 준다. 설계변수의 경우 플랜지 두께(1)

의 변화에 대한 응력의 증·감량을 기준으로 다른 변수에 의한 위험단면의 응력변화를 나타낸 결과 형고가 가장 큰 영향성을 지니며 그 다음으로 플랜지 폭(2)가 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 단면의 강성에 기여하는 정도에 따라 그 영향성이 결정되어짐을 알 수 있다.

2지점 상승·하강공법에 의해 단면을 새로이 검토하였을 때 시간연장의 경우 최고 12%의 효과를 그리고 형고감소의 경우 최고 10.6%의 효과를 얻었다. 그리고 강재감소의 경우 21.2%의 큰 효과를 얻을 수 있었다. 시간이 짧을수록 더 큰 효과를 얻을 수 있었는데 이는 시간이 길어지면 하중에 의해 발생하는 모멘트가 큰 폭으로 증가되므로 위험단면의 응력이 허용응력에 더 빨리 도달하기 때문이다.

분석내용을 고려해 볼 때 2지점 상승·하강을 이용한 3경간 연속프리플렉션 교량의 제작은 기존의 방법에 의한 연속화보다 더 경제적이며 동일한 단면을 쓸 경우에는 더 안전한 응력 상태를 얻을 수 있다.

## 6. 참고문헌

1. 건설부(1996). 도로교표준시방서.
2. 건설부(1996). 콘크리트표준시방서.
3. 대한토목학회(1986). 프리플렉스 합성형 표준시방서 및 동해설(안).
4. 구민세(1993). “연속보 구조용 P.S. 합성보와 이를 이용한 P.S. 연속합성보 구조물의 시공법”. 대한토목학회 학술 발표회 개요집(I), pp.71~74.
5. 구민세, 신동기, 이재혁(1994). “2경간 연속 P.S.합성보 구조물의 설계에 관한 연구”. 대한토목학회 학술발표회 논문집(I), pp.419~422.
6. Michael P.Collins, Denis Mitchell (1992). Prestressed Concrete Structures. Prentice Hall.