

# 긴장력 조절이 가능한 PSC 거더교의 개발

Development of Detensionable and Retensionable PSC Girder Bridge



유인권\*  
In-Kwon You



이종관\*\*  
Jong-Kwan Lee



남정민\*\*\*  
Jung-Min Nam



김진근\*\*\*\*  
Jin-Keun Kim

## 1. 머리말

프리스트레스트 콘크리트(PSC) 교량은 안전성과 경제성의 장점을 고루 갖추고 있으며 유지관리와 미적측면에서도 우수한 형식으로서 세계적으로 널리 사용되고 있다.

우리나라에서도 1960년대 교량에 대한 적용을 시작으로 도로 교 및 철도교에 꾸준히 시공되고 있으며 근래에 들어 콘크리트와 케이블을 비롯한 재료적 분야의 발전을 근간으로 보다 효율적인 형식들이 등장하고 있다. 특히 PSC I형 거더는 35m 이하 경간에 널리 사용되는 경제적인 교량형식으로서, 그동안은 건설교통부 및 한국도로공사의 표준도에 근거하여 시공되어 왔으나 표준도에 근거한 단면은 폭이 좁고 높은 형태가 많아 구조적 효율성이 떨어지므로 근래에 들어 장지간에 PSC 거더를 적용하기 위한 저형교, 고효율의 형식들이 개발되고 있다.

여기서는 시공단계에 따른 거동을 면밀히 분석하여 가장 합리적인 긴장방법을 모색하고, 국내외에 적용된 PSC 보의 단면형상을 비교 검토하여 구조적으로 가장 효율적인 저형교이면서 경제성이 우수한 PSC 거더 시스템에 대하여 소개하고자 한다.

## 2. DR-거더의 개요 및 특징

긴장력 조절이 가능한 조립식 PSC 거더교(detensionable and retensionable PSC girder bridge, 이하 DR-거더교)는 교량을 구성하는 거더, 바닥판, 가로보의 형태 및 시공단계별 구조적 거동을 면밀히 분석하여 각각의 요소를 최적화한 후 시공단계별로 효율을 극대화시킬 수 있도록 개발한 공법으로서 <그림 1>에 보인 바와 같은 DR-거더의 특징은 다음과 같다.

- 1) 합성 프리캐스트 바닥판(half precast slab)을 거치한 후 비합성 상태에서 2차 긴장 및 연속화 강선을 긴장함으로써 구조적 효율성을 증대시켜 형고를 최소화하였다.
- 2) 연속지점부 상단에 강선 편심의 극대화를 위한 돌기를 설치함으로써 효율성 및 경제성을 향상시켰다.
- 3) 공용중 상부슬래브의 내하력이 부족하여 바닥판을 교체할 때, 과긴장으로 인하여 거더의 응력이 허용압축응력을 초과하는 경우가 발생할 수 있는데, 이를 대비하여 긴장력 조절이 가능한 정착구 시스템을 적용함으로써 구조적 안정성을 확보하였다.
- 4) 교량의 내하력이 저하될 때 재인장용 인장장치를 이용하여 추가 긴장함으로써 유지관리 비용을 낮추고 간단히 성능을 개선할 수 있다.

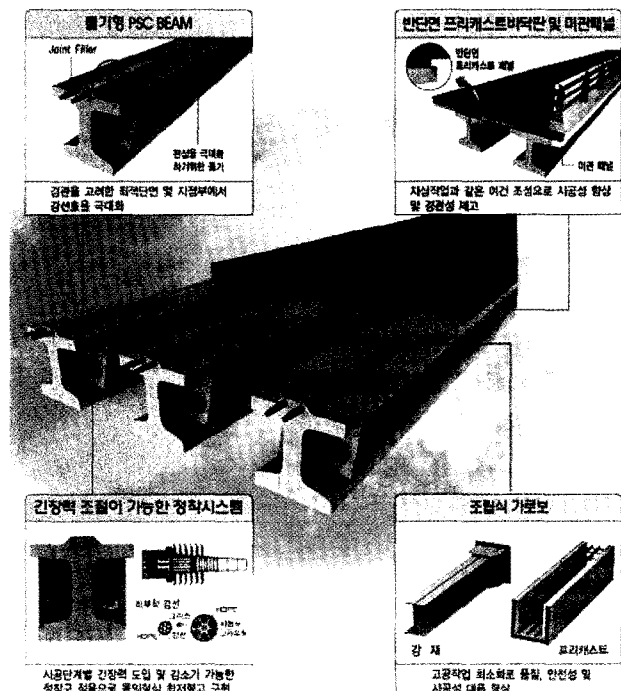


그림 1. DR-거더 개념도

\* 정회원, (주)한맥기술 특수사업부 본부장  
youinkwon@hanmaceng.co.kr

\*\* 정회원, (주)한맥기술 기술연구소 상무

\*\*\* 정회원, 대림산업(주)

\*\*\*\* 정회원, 한국과학기술원 교수

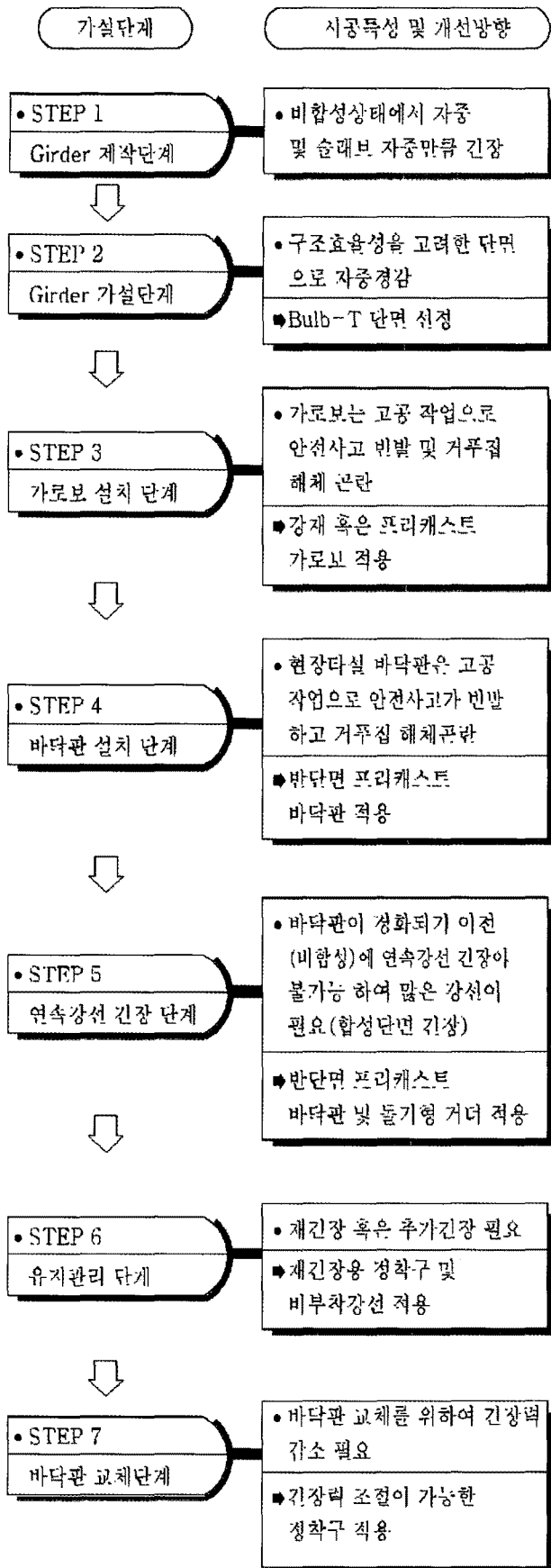


그림 2. DR-거더 시공단계 분석

- 5) 하프 PC 패널과 조립식 가로보의 도입으로 구조적 효율성과 시공성뿐만 아니라 추락 등의 안전사고를 대폭 낮출 수 있다.
- 6) 거더의 형고를 최소화하고, 단면의 곡선처리로 미관을 향상시켰다.

### 3. DR-거더의 개발

#### 3.1 DR-거더 부재

##### 3.1.1 시공단계의 분석

연속화된 PSC 거더는 <그림 2>에 보인 바와 같은 과정에 따라 시공단계에 따른 단면의 상태를 면밀히 분석하여 최상의 효율과 안전성을 낼 수 있는 시스템을 선정하였다.

##### 3.2.2 긴장력 조절 시스템의 구성

원활한 유지관리 및 안전한 바닥판 교체를 위해서 긴장력 도입 이후에도 긴장력을 손쉽게 조절할 수 있는 <그림 3>에 보인 바와 같은 정착시스템을 개발하였다.

#### 3.2 SP-슬래브 부재

<그림 4>에 보인 것과 같이 PC 패널을 설치한 후 바닥판 상부 콘크리트를 현장타설하는 공법(stay in place precast panel

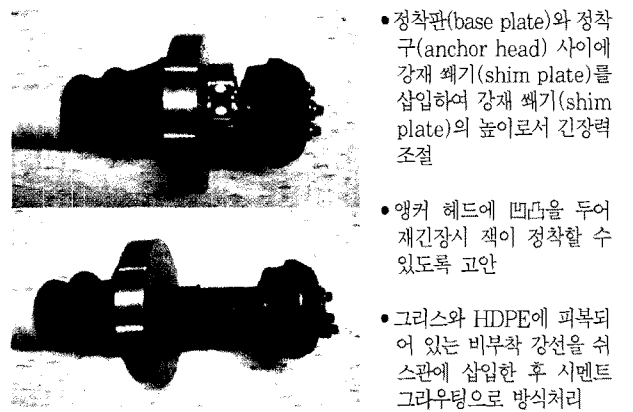


그림 3. 긴장력 조절이 가능한 정착구

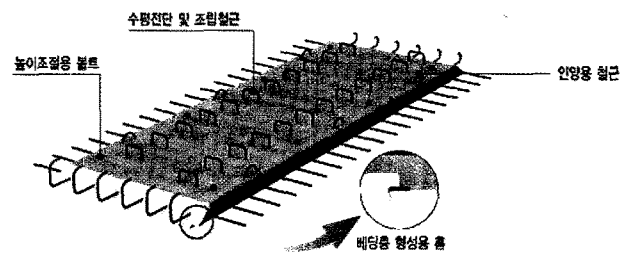


그림 4. SP-슬래브 입체도

with cast in place topping, 이하 SP-슬래브)으로서 품질이 우수하고 가설 중 교량 하면으로 낙하물 및 인부의 추락사고 등을 최소화하는 이점으로 유럽을 비롯한 미주 및 일본 등지에서는 콘크리트 표면의 거칠기를 이용한 PC 및 RC 바닥판이 널리 사용되고 있다. 특히 DR-거더에서는 SP-슬래브를 사용함으로써 거더와 슬래브가 비합성상태일 때 추가긴장 또는 연속강선 긴장을 할 수 있게 된다. SP-슬래브는 <표 1>과 같은 국제적으로 통용되는 기준에 따라 설계하였으며, 국제적으로 사용예가 <그림 5>에 나타나 있다.

### 3.3 조립식 가로보

DR-거더교는 기존의 콘크리트 가로보를 <그림 6>에 보인 바와 같은 강재 및 프리캐스트 조립식 가로보로 개선하여 시공성 및 안전성을 확보하도록 하였다.

### 3.4 DR-거더의 장점

개발된 DR-거더의 장점은 다음과 같은 경제성, 시공성, 유지관리 측면에서 볼 수 있다.

- 1) 동형식 교량 중 최저 형고 및 최저 비용 구현
- 2) 전 부재의 프리캐스트화로 품질 및 시공성 향상

표 1. SP-슬래브의 설계 기준

- ① AASHTO/LRFD 9.7.4항
- ② BS5400/Part 5 9.6.3항
- ③ PCI Design Manual 3.3.9항
- ④ PC 합성 거더교(PC 합성 상판 타입)에 관한 연구보고서 6.7.4항(일본,건설성 토목연구소)

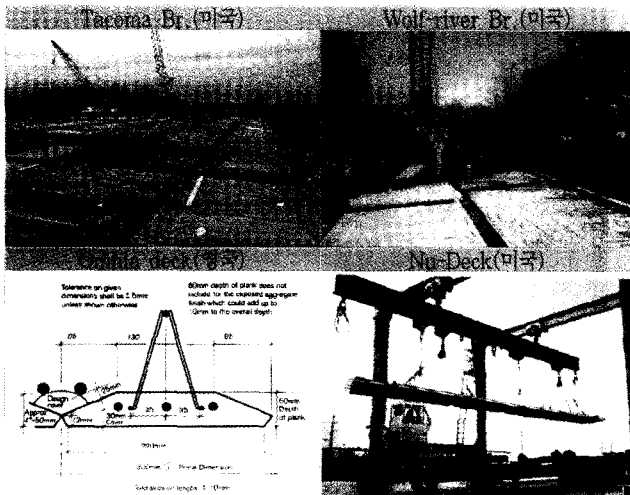


그림 5. 하프 PC 공법 해외적용 사례

- 3) 재긴장이 가능하여 유지관리가 용이
- 4) 긴장력 조절로 안전한 바닥판 교체

## 4. DR-거더의 설계

### 4.1 해석 개요

PSC-거더교는 시공단계별로 단면의 특성 및 작용하중이 변하고 크리프 및 건조수축 등의 영향으로 복잡한 거동 양상을 보인다. 따라서 전술한 시공단계에 따라 시공단계 해석을 수행하여 전 시공단계에서 안전하도록 설계를 수행한다.

#### 4.1.1 구조해석 모델링 개요

- 거더와 슬래브를 3D-빔 요소로 모델링하고, 이를 강결로 연결한 2-레이어 모델 적용
- 경계 조건 : 교량 받침을 같은 강성을 갖는 등가 스프링 요소로 치환하여 적용
- 크리프 및 건조수축 : CEB-FIP 1990 모델 기준

#### 4.1.2 적용하중

|     |   |
|-----|---|
| 주하중 | - 고정하중(자중, PS하중, 2차고정하중)<br>- 활하중(DB, DL하중)<br>- 크리프 및 건조수축 |
| 부하중 | - 온도하중(± 15℃, 상하연 온도차 5℃)<br>- 받침점 침하(10 mm)<br>- 풍하중 등     |

### 4.2 시공단계 해석 및 결과

<그림 7>은 시공단계별 해석 예를 보여주고 있으며, 이 해석 예에 사용된 교량의 제원은 <표 3>과 같다.

### 4.3 하중 집중부 설계

정착구가 많은 하중 집중부에는 큰 하중이 작용하므로, 도로 교설계기준에 의한 관용법과 FEM 해석을 비교 검토하여 안전측의 값을 설계에 반영하였다(그림 8).

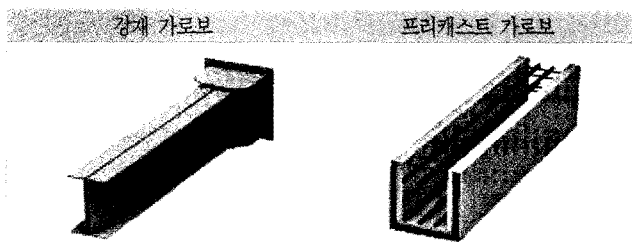
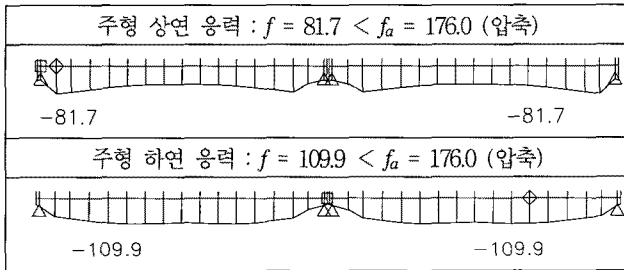


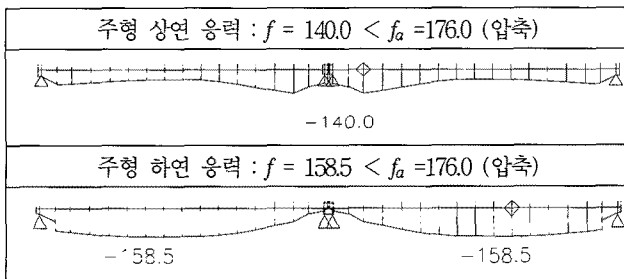
그림 6. 조립식 가로보

표 3. 적용 교량의 제원

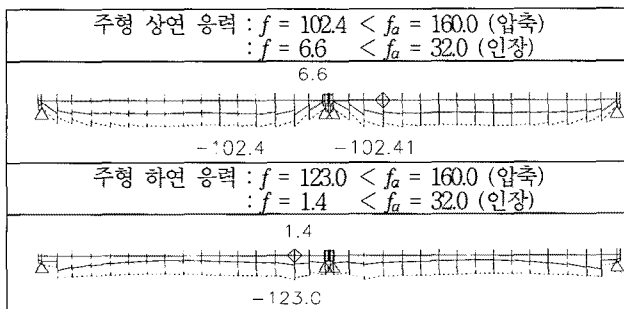
| 구분   | 내용              |
|------|-----------------|
| 교량명  | 남동대교            |
| 연장   | 40 m의 경간으로 80 m |
| 폭    | 16.05 m         |
| 거더간격 | 중양간 사이는 2.2 m   |



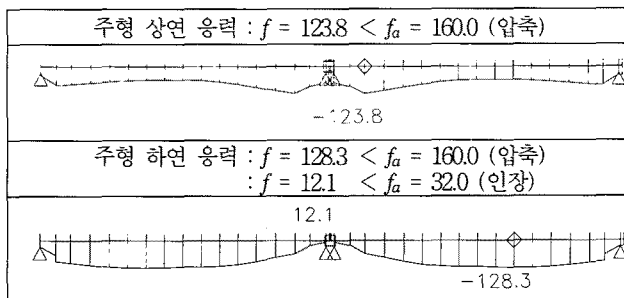
(a) 1차 텐던 긴장 직후(kgf/cm<sup>2</sup>)



(b) 2차 텐던 긴장 직후(kgf/cm<sup>2</sup>)



(c) 사용하중 조합시(kgf/cm<sup>2</sup>)



(d) 바닥판 교체시(kgf/cm<sup>2</sup>)

그림 7. 시공단계별 해석 예

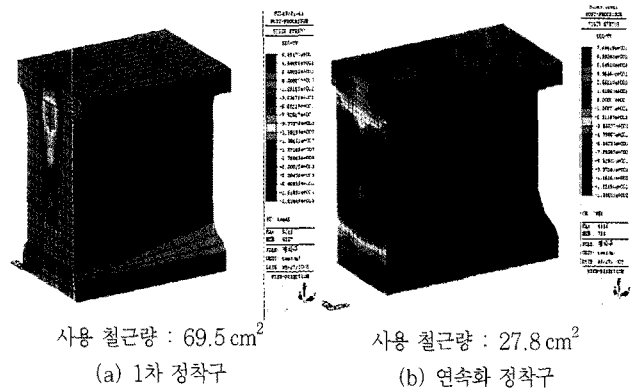


그림 8. 하중 집중부 설계 예

### 5. DR-거더의 시공 및 검증 실험

#### 5.1 DR-거더의 시공

〈그림 9〉에 나타난 것이 DR-거더의 효율을 최대로 할 수 있는 시공순서이나, 현장여건에 따라 시공편의 및 효율을 고려하여 시공순서의 변경도 가능하다

#### 5.2 DR-거더의 검증 실험

##### 5.2.1 DR-거더의 실험

DR-거더의 설계 개념을 검증하기 위해 경간 20 m, 거더의 높이 1.4 m, 바닥판 두께 280 mm인 실험용 거더를 제작하여 긴장력 조절 실험과 정적 재하 실험을 수행하였다(그림 10). 우선, 긴장력 조절 실험을 통해 긴장력의 제거와 재긴장이 가능함을 확인할 수 있었으며, 따라서 시공단계에 따라 용이하게 긴장력을 조절하여 PSC 거더의 효율성을 증대시킬 수 있다고 판단된다.

정적 실험을 위한 설계 하중은 철도교 설계 기준에 따른 LS22 철도하중을 사용하였으며 실험 결과 균열 하중이 설계하중의 2.56배로 나타나 균열이 발생하기까지 충분한 안전율을 확보하고 있음을 확인하였고, 설계하중과 균열하중에 대한 처짐값 모두 시방서의 활하중 처짐 기준(L/800 = 25 mm)보다 작은 것으로 나타나 사용성을 충분히 확보하고 있음을 알 수 있었다(그림 11).

##### 5.2.2 SP-슬래브의 실험

SP-슬래브의 합성거동여부를 평가하기 위하여 〈그림 12〉와 같이 접착면의 거칠기 여부와 전단키 설치 여부를 변수로 하여 실험체를 제작하고 면내 전단 내력에 대한 실험을 실시하였다.

실험 결과를 〈그림 13〉와 〈그림 14〉에 나타내었으며 거칠기 작업과 전단키를 설치한 SP-슬래브는 비교를 위해 일체 현

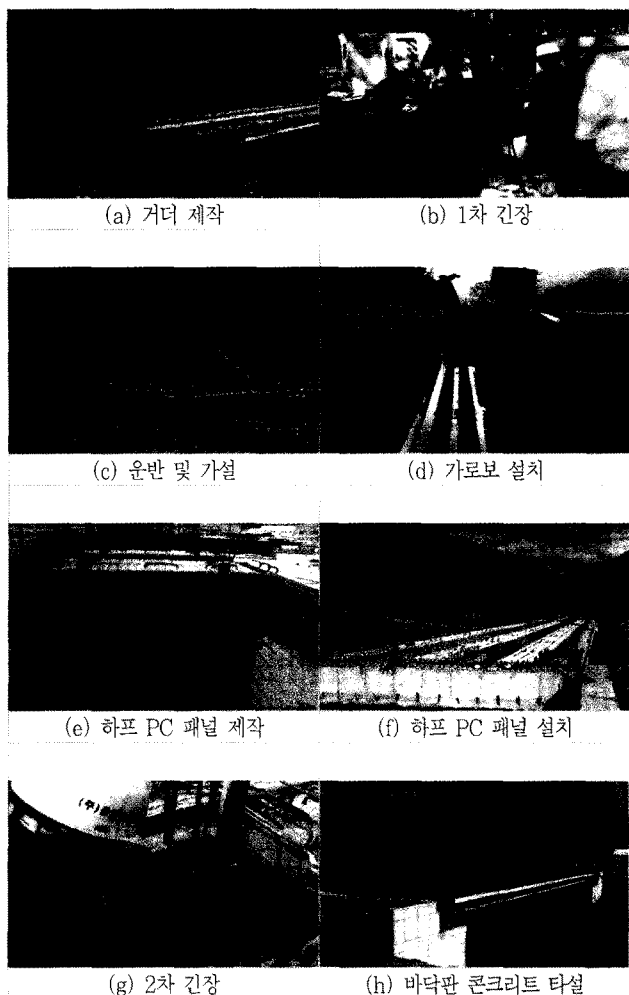


그림 9. DR-거더 시공 과정

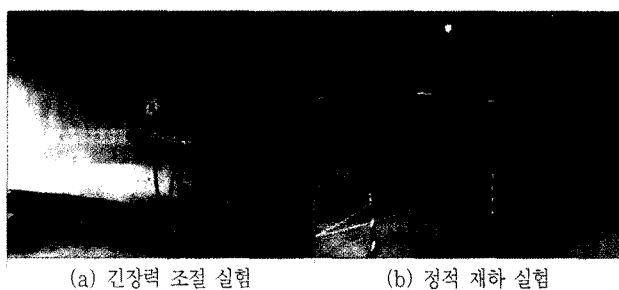


그림 10. DR-거더 실험 과정

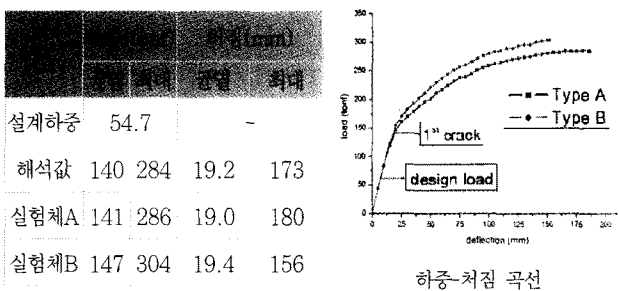


그림 11. 정적 재하 실험 결과

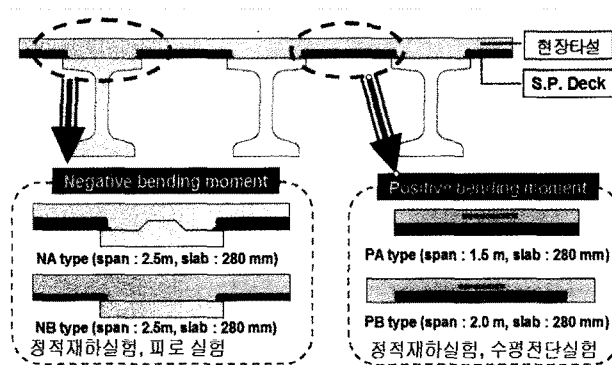


그림 12. SP-슬래브 실험 항목

장타설한 바닥판과 유사한 거동을 보이며, 사용하중에 대한 200만회의 피로 실험 후에도 실험 전의 거동과 큰 차이가 없음을 확인 할 수 있었다.

### 6. 맺음말

DR-거더는 교량을 구성하는 대부분의 부재를 공장 혹은 제작장에서 제작 가설함으로써 품질향상 및 가설시 안정성을 향상시킨 이외에 다음과 같은 장점이 있는 것으로 판단된다.

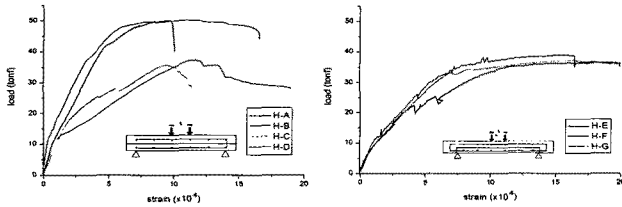
- 1) 긴장력 조절로 인한 동종교량 최저 형고 구현으로 교량자체의 경제성은 물론 교량 전후 구간의 토공량 감소로 공사비 절감효과를 구현
- 2) 비합성 상태에서 긴장이 가능하고, 연속 지점부의 강선 편심을 증가시켜 경제적 효율성 극대화
- 3) 지점부 바닥판에 프리스트레스를 도입하여 바닥판의 균열을 억제함으로써 구조물 내구성을 향상
- 4) 자유로운 긴장력 조절로 유지관리가 용이할 뿐 아니라 안전한 바닥판 교체가 가능
- 5) 단면에 곡면도입으로 미관을 증진
- 6) 단면의 표준화로 다양한 경간(20 ~ 50 m)으로 조합 적용이 가능

따라서 DR-거더는 경제성이 우수한 저형고 교량으로서 20 ~ 50 m에 이르는 경간에 광범위하게 적용될 수 있을 것으로 판단되며, 특히 다음과 같은 가설지역에 적용할 경우 매우 유용할 것으로 판단된다.

- 1) 높은 성토고로 인하여 공사비가 증대되거나, 민원이 야기되어 계획고를 낮출 필요가 있는 지역
- 2) 도심지 혹은 하천 통과시 형하고가 부족하고, 장지간 교량이 필요한 지역

|     |             |     |             |
|-----|-------------|-----|-------------|
| PA  | 전단보강        | PB  | 전단보강        |
| H-A | 일체현장타설      | H-E | 없음          |
| H-B | 없음          | H-F | 거칠기 작업(7mm) |
| H-C | 거칠기 작업(7mm) | H-G | 거칠기 작업, 전단키 |
| H-D | 거칠기 작업, 전단키 |     |             |

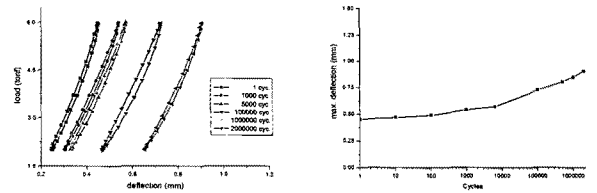
(a) 실험체 종류



(b) 하중-처짐 곡선 (c) 피로실험 후 정적재하

그림 13. 수평 전단 실험 결과

- 3) 가설 중 교량하부로 낙하물이 떨어질 경우 2차 사고 등이 우려되고, 낙하시공의 위험이 큰 지역
- 4) 급속시공을 필요로 하는 지역
- 5) 교량하부의 미관이 중요한 지역
- 6) 유지관리를 원활하게 할 필요성이 있는 지역



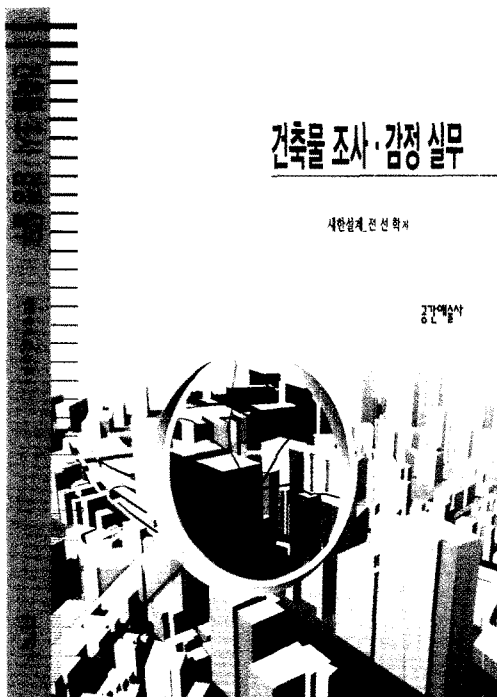
(a) 횡수별 하중-처짐 (b) 횡수별 최대 처짐

그림 14. 피로 실험 결과

참고문헌

1. 오병환, "PSC 교량의 세계 건설 현황 및 장점", 한국콘크리트학회지, Vol.13, No.5, 2001. 9. pp.18 ~ 27.
2. 한국과학기술, 한맥기술, "PSC 거더 연구성과 보고서", (주)한맥기술, 2006. 4.
3. 한국콘크리트학회, "긴장력 조절이 가능한 PSC 거더 교량 실험 결과 적정성 검토 보고서", 2006. 8. pp. 2 ~ 3, pp. 52 ~ 53.
4. Collins, M.P. and Mitchell, D., "Prestressed Concrete Structures", Prentice Hall, 1991.
5. Alexander, K.B., Rita, L.S., Culmo, M.P., "Design, Fabrication and Construction of the New England Bulb-Tee Girder". *PCI Journal*, 1997. 11 ~ 12, pp. 30 ~ 40.

도서소개



건축물 조사·감정 실무

: 건설산업의 고도화, 다양·다변화에 따라 관련 이해당사자간의 클레임 및 분쟁 등이 급증하고 있는 현실이다. 이 조정자로서의 전문가(교수, 건축사, 기술사, 기사 등)가 필연적으로 요구됨으로써 우리 건축기술인에게는 또 하나의 새로운 직무가 부여된 것이다.

건축물 조사·감정은 매우 복잡·다양하여, 당사자에 따라 견해차가 클 수밖에 없고 재판 조건에 따라 그 평가도 달라진다. 또한 당사자간 이해관계 역시 첨예한 까닭에 객관적이고 정확한 감정서의 작성은 정말 중요할 수밖에 없다.

이 책은 빈도수가 높은 조사·감정 항목들에 대해 가능한 객관성 있게 접근함은 물론 모든 시설물 조사·감정 전문가가 간과하기 쉬운 사안들까지도 꼼꼼하게 서술해 놓았으며, 또한 일반적인 조사·감정이라 하더라도, 분쟁과 관련하여 법원에 제출시, 증거자료로서의 신뢰성 및 객관성 확보 차원에서 법원감정을 기준으로 한 감정서 사례도 수록하고 있다.

- ✦ 저 자 : 세한설계\_전선학
- ✦ 출 판 : 공간예술사
- ✦ 연락처 : 02-737-1020
- ✦ 발행일 : 2007년 3월 10일
- ✦ 판 형 : B5 변형 / 중 357쪽 / W 30,000