

철도교량의 F.C.M(Free Cantilever Method) 공법 시공사례 연구

The Application Of F.C.M(Free Cantilever Method) Case Study Of The Railway Bridge

권순섭* 김경연** 최동기*** 정인철**** 신상철*****
Kwon, Soon Seob Kim, Kyong Yeon Choi, Dong kee Jeong, In Choul Shin, Sang Chul

ABSTRACT

F.C.M applied from Jin Jung Li to Yang Su Li(660m) in Puk Han River Bridge(1,414m) construction part is a construction method on the double-track construction which is the third section part of work, called Chung Ang Railroad Line(Deok-So~Won-Ju). This method is the beginning application on Railroad Bridge. After completing upper slab structure, there are several following works such as setting up ballast, sleepers and laying long rails. So it is important to consider the properties of Railroad Bridge while designing the length of bridge and its single span. After the physical process study the shrinkage and creep of concrete, bending up by prestressing in general PSM bridge, relaxation of tendons as time goes by after post-tension, the conclusion of such a study is applied to the Puk-Han River Bridge in this construction field.

1. 서론

F.C.M. 공법은 중앙선 덕소~원주간 복선전철 제3공구 북한강교(1,414m) 공사 구간중 진중리에서 양수리에 이르는 수상부구간(660m)에 적용된 상부공 공법으로서, 철도교에 처음 적용되는 공법이다. 철도교는 상부구조물 완료후 자갈도상, 침목 및 레일 설치 등 2차 사하중의 재하, 장대 레일의 부설과 같은 제한조건이 있으므로, 철도교로서의 특성을 감안한 교량 연장 및 경간 분할 계획을 세워야 한다. 이에 당현장에서는 시공단계별 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 일반적인 PSM 교량에서 프리스트레싱에 의해 발생할 수 있는 종방향 신축량, 포스트 텐션 이후 시간 경과로 인한 긴장재의 릴렉세이션 등을 고려한 솟음량 등을 검토하여 당 현장에 적용하였다.

* 서울산업대학교 철도대학원 박사과정, 정회원, 삼성물산(주) 소장, 기술사

** 삼성물산(주) 공사 과장 (북한강교)

*** 삼성물산(주) 공사 대리 (북한강교)

**** 서울산업대학교 철도대학원 석사과정, 정회원, 삼성물산(주) 상무이사

***** 삼성물산(주) 공사 주임 (북한강교)

2. 북한강교 F.C.M(Free Cantilever Method)

1) 현장개요

북한강교 가설지점은 환경정책 기본법(1990년 제정)에 의거하여 1990년 7월부터 팔당상류 지역을 수질보전 특별대책지역으로 지정 및 고시하여 수질오염원에 대한 각종 규제가 시행중이며, 상류의 유수가 홍수조절기능 없는 팔당댐을 통해 수도권에 연결되므로 홍수예방을 위한 엄격한 수위관리가 이뤄져야 하는 지역이다. 따라서 당 현장은 공법 선정시 수질오염을 최소화할 수 있는 교량형식이 요구되며, 안개 상승발생지역으로서 산성안개에 의한 중성화를 저감시킬 수 있는 별도의 대책이 필요하고, 주변경관, 지역적 특성, 철도교량의 특성 등을 감안한 Land Mark적 기능을 갖는 Prestress Concrete Box형교로 계획 되었다.

2) 공법개요

F.C.M 공법은 동바리를 필요로 하지 않는 계곡이나 하천에 적합하며 PC박스 거더교의 현장 타설에 의한 가설공법으로서, 교각에 주두부를 설치하고 특수한 가설장비(작업차 : Form Traveller)를 이용하여 한 세그먼트씩 현장에서 타설하면서 교량을 시공하는 방식이다. 또한 3~5m 씩 세그먼트(북한강교 1SEG=4m)로 나누어 시공하므로 상부구조를 변단면으로 시공할 수 있으며, 대부분의 작업이 이동식 작업차 내에서 실시되므로 기후조건에 관계없이 품질, 공정 등의 시공관리를 확실하게 행할 수 있다. 각 시공단계마다 오차의 수정이 가능하므로 시공 정밀도를 높일 수 있으나 시공단계에 따라 구조계가 변하므로 타공법의 교량설계에 비하여 많은 시간과 노력이 요구된다.

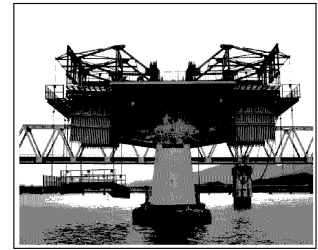
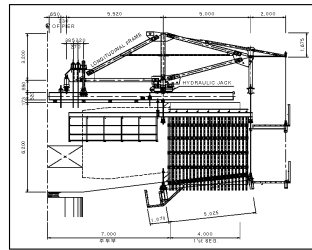
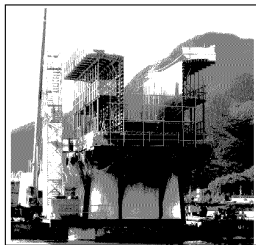
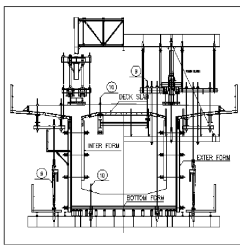


그림 1. 주두부 정면도 및 설치 후 전경

그림 2. Form Traveller 측면도 및 설치 후 전경

3. 설계시 고려사항

1) 지진 하중에 대한 설계

교량구조물에서 상부 수평 관성력을 지지하는 방법은 하부구조의 수평 탄성 저항력으로 지지하는 내진설계방법과 상부와 하부를 분리시킴으로써 상부구조에 전달되는 수평 관성 지진력을 분산, 감소시키는 면진설계방법이 있다. 북한강교(F.C.M 가설공법)는 지진시 단면력이 과다하게 발생됨에 따라 교량의 주기를 길게하며, 지진력을 감소시켜 하부로 전달되는 단면력을 감소시켜주는 면진장치의 적용이 타당할 것이다.

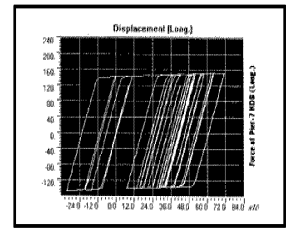
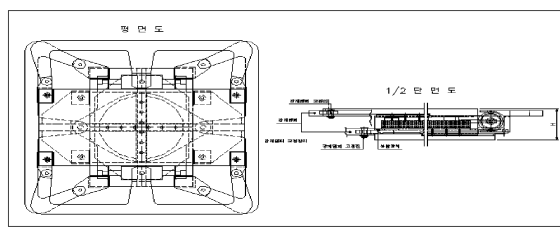
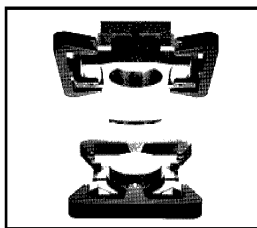


그림 3. 기초분리장치 및 Hysteresis Curve

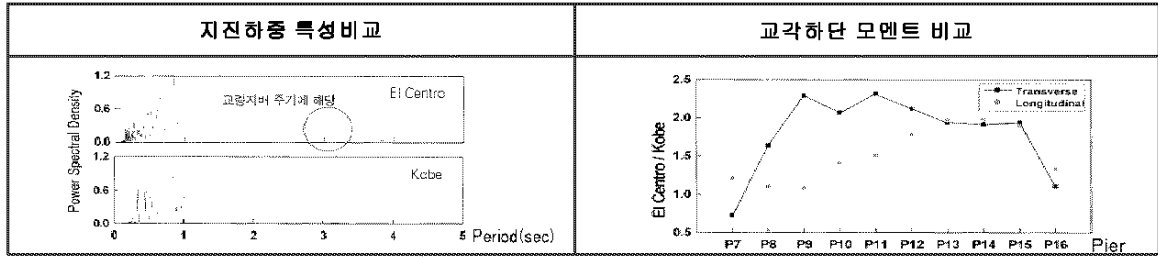


그림 4. 지진하중 특성에 따른 내진해석

2) 종방향 신축량 검토

일반적인 PSM 교량에서는 Stressing Force, 콘크리트의 Creep/Shrinkage 특성 등에 의해 종방향으로 수축이 발생한다. 특히 연속교인 경우에는 이러한 종방향 수축으로 인해 큰 교각 변위가 발생하게 되어 안정성 및 사용성에 문제가 발생할 수 있다. 북한강교의 경우 철도설계기준에 가동받침 이동량 산정시 온도변화에 대한 별한 규준이 없기 때문에 도로교설계기준에 준하여 온도변화의 범위를 $-15^{\circ}\text{C} \sim +35^{\circ}\text{C}$ 로 정하고 있다. 본 교량은 10°C 를 기준으로 이에 대한 상대 온도 변화량을 $-25^{\circ}\text{C} \sim +25^{\circ}\text{C}$ 로 정하였다.

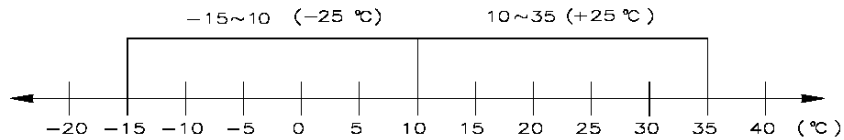


그림 5. 도로교설계기준 온도변화의 범위

Key-Seg 가설시기의 월 평균기온이 최소 -5.1°C 에서 최대 24.0°C 이나 기준온도 10°C 이하에서의 프리세팅은 수축여유량을 증가시키기 때문에 최소적용온도를 5.0°C 로 고 정하였다.

표 1. PIER별 KEY-SEG 접합시 예상온도

위치	날짜	월평균기온($^{\circ}\text{C}$)	적용기온($^{\circ}\text{C}$)	프리세팅값
P11	04년 6월 24일	22.4	22.4	+55.4
P13	04년 10월 29일	8.6	5.0	+38.1
P10	04년 11월 24일	2.0	5.0	+56.8
P14	05년 6월 9일	20.7	20.7	+75.0
P 9	05년 7월 9일	24.0	24.0	+110.0
P16	05년 11월 14일	5.3	5.0	+80.0
P15	05년 12월 4일	-0.5	5.0	+55.0
P 7	05년 12월 14일	-1.3	5.0	+85.0
P 8	06년 1월 4일	-5.1	5.0	+60.0

- 모든 교각에서의 프리세팅량은 여유량 30mm 고려
- 콘크리트 설계강도는 $400\text{kgf}/\text{cm}^2$
- 공정상의 키세그 가설시기의 온도가 예정온도보다 10°C 이상 차이가 생길 경우 프리 세팅값을 세팅전 재산정하여 적용

3) Camber Control

- 개요 : F.C.M공법의 특성상 Cantilever(내민보)의 Segment를 점진적으로 가설해가면서 자중에 의하여 처짐(변위)이 발생하며, Cantilever 완공후에도 자중(2차사하중)의 증가와 시간의 경과로 인하여 Cantilever는 지속적으로 하향 처짐이 발생하는데, 이 처짐을 설계

에서 예측하여 교량이 완료되는 최종상태에서 교량상부를 원하는 높이로 유지하기 위하여 시공중에 미리 일정한 높이를 상향으로 높여나가는 것을 말한다.

- 처짐판리의 중점요소

- ① 설계처짐량 계산 : 각 SEG. 콘크리트 타설시 EL결정, 설계시 고려된 처짐인자 관리
- ② 하중요소 : 콘크리트 자중, F/T자중, PRESTRESS, 가설하중, 설계값과 실측값을 반영

- 현장에서의 Camber Control

- ① KINK 현상 : NEW SEG.와 OLD SEG. 사이의 레벨단차

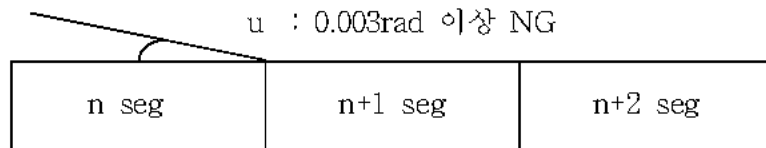


그림 6. KINK 현상 개요도

- ② 과도한 수정값 적용 등으로 인하여 SEG. 사이의 각 \ominus 가 0.003RAD 이상 발생치 않아야 한다. 이러한 것은 수직변위를 발생하게 하므로, 수정값의 적용은 여러 SEG.에 걸쳐서 이루어져야 하며, 종단구배(PROFILE), F/T처짐량, 추가 Camber값 수정치의 합이 균일하게 이루어져야 전체 Cantilever의 KINK를 방지할 수 있다.

* 북한강교의 최대 수직 변위량

$$0.003 \text{ RAD} \times 180^\circ / \pi = \text{SIN } 0-10-18.79 \times 1\text{SEG길이}(4\text{m}) = 12\text{mm}$$

따라서 현장에서는 $\pm 12\text{mm}$ 이상의 변위를 조정치 말아야 한다.

4. 주두부 및 SEGMENT 시공순서 및 개요

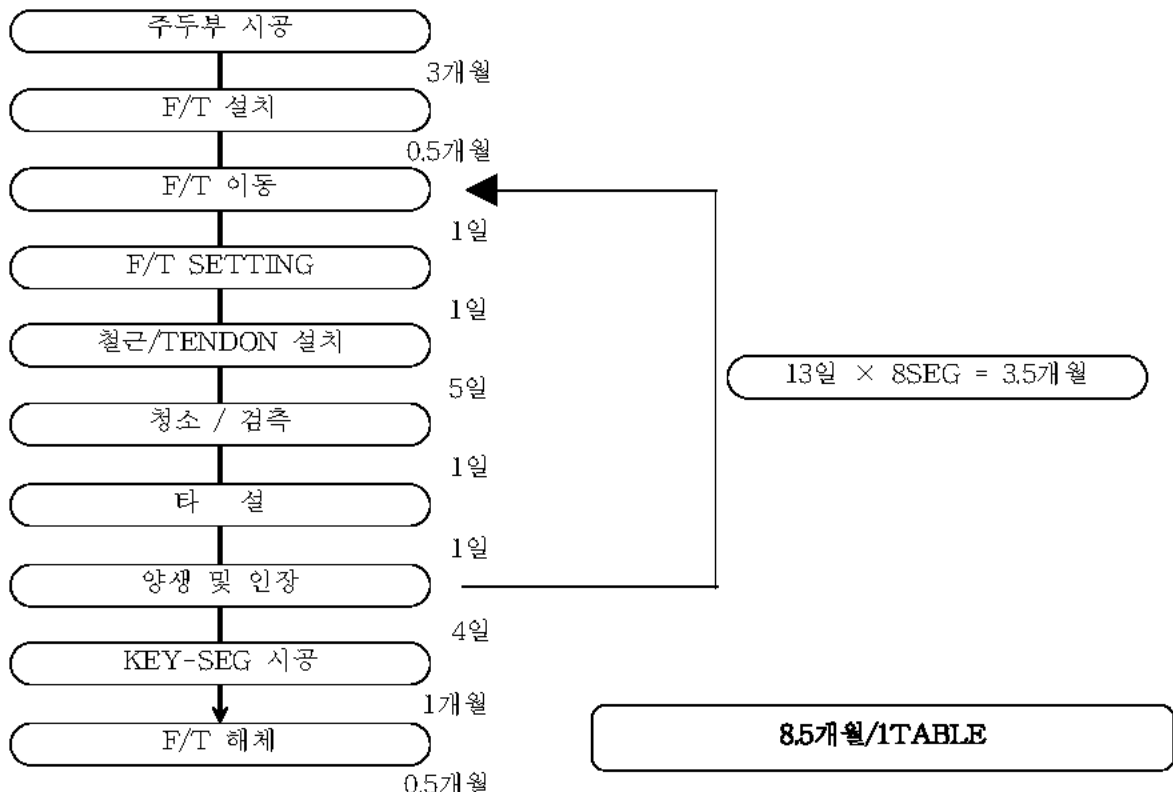


그림 7. SPAN 별 공정계획

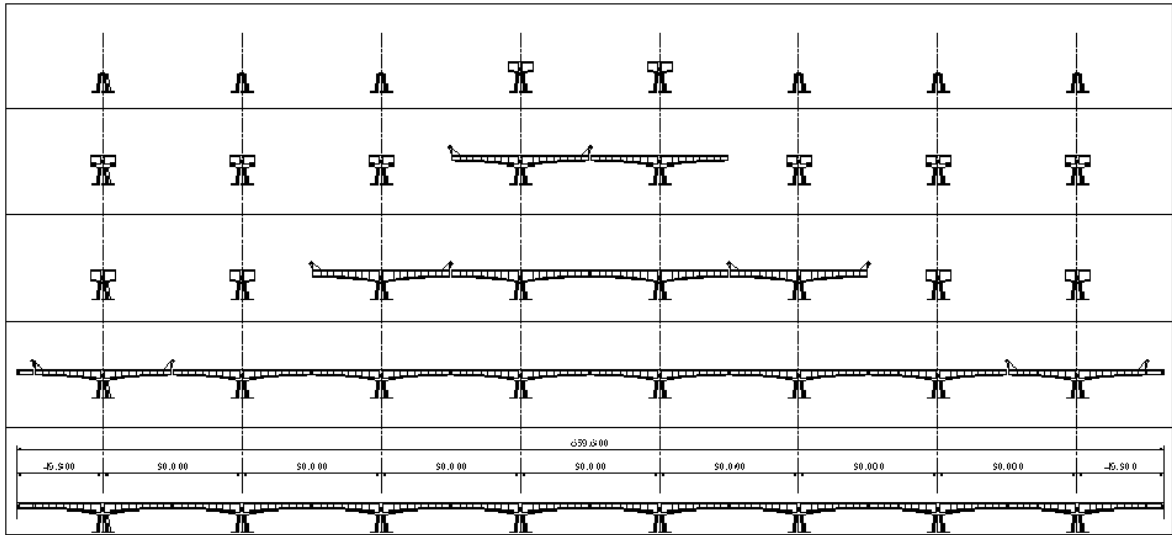


그림 8. 북한강교 전체 시공순서도

5. KEY-SEGMENT(길이=2m)의 접합

- 1) 개요 : 캔틸레버부의 시공이 완료되면, 경간장 또는 측경간에서 양쪽의 캔틸레버 끝단을 연결하여 완전한 구조체를 형성하는 과정이 KEY SEGMENT 시공이다.

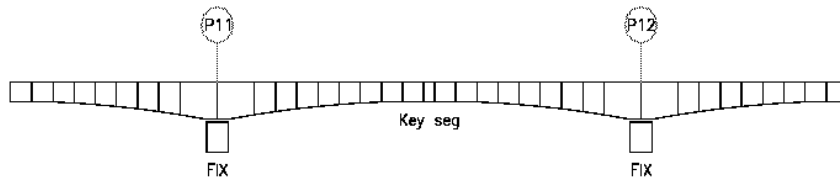


그림 9. KEY-SEG. 접합후 완료된 SPAN

- 2) KEY-SEG.접합시기는 설계시 예상했던 접합 기온과의 적정성 여부를 판단하고, 설계시 산정한 온도차와 차이가 클경우 재검토하여 현장에 반영시켜야 한다. 설계치와 근접한 경우에는 접합전.후로 구조물이 온도승강에 의하여 종방향 거동을 일으킬 경우에 대하여 검토하여야 한다. KEY-SEG. 콘크리트 타설전 양쪽 Cantilever를 연결한 후, 하부텐던을 인장하여 연결될 Cantilever가 같이 거동을 하게 하여야 한다.
- 3) 매 SEGMENT 진행시 Camber Tree상의 단계별 계획고의 관리를 정밀하게 하여 KEY-SEG 접합시 양 Cantilever간 레벨차이를 실측한 후 Leveling Beam, F/T의 자중 등을 이용하여 단차조정 및 가고정 강봉을 이용하여 Form Setting을 하여야 할 것이다.

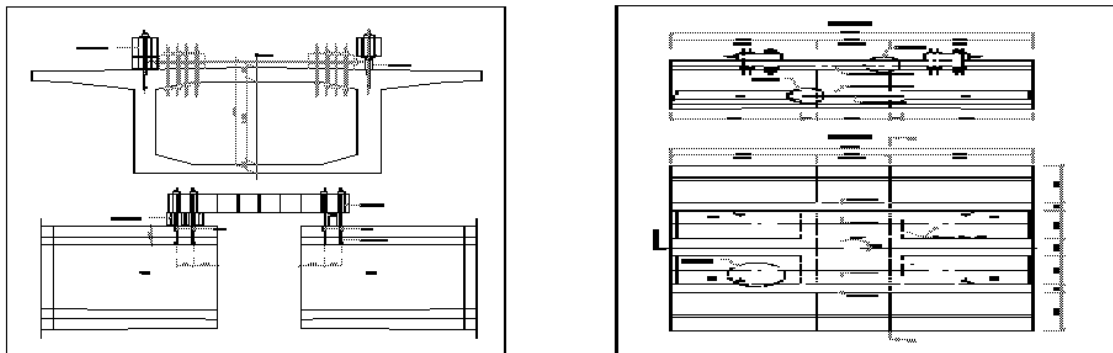


그림 10. KEY-SEGMENT 가고정 강봉배치도

4) KEY-SEGMENT 타설후 응력검토

키세그 타설후 콘크리트 강도가 200 kgf/cm^2 가 될 때 강선(6-22) 6개소를 긴장하게 되며 키세그 단면에 작용하는 압축력은 다음과 같다.

$$P = 26.6 \times 22 \times 0.7 \times 6 = 2457.85 \text{ tonf}$$

콘크리트 허용응력은 콘크리트 강도 200 kgf/cm^2 일 경우,

- 허용압축응력 : $f_{ca} = 0.4 f_{ck} = 0.4 \times 200 = 80.0 \text{ kgf/cm}^2$

- 허용인장응력 : $f_{ta} = 1.60 \sqrt{f_{ck}} = 1.60 \sqrt{200} = 22.6 \text{ kgf/cm}^2$

표 2. 북한강교 전체 시공순서도

	단면상면	단면하면	허용응력
최대응력	$+3.63 \text{ kgf/cm}^2$	-55.79 kgf/cm^2	압축:- 80.0 kgf/cm^2
최소응력	$+3.41 \text{ kgf/cm}^2$	-57.02 kgf/cm^2	인장:+ 22.6 kgf/cm^2

6. 결 론

정부차원의 국토균형개발 계획이 추진되고, 산업기술과 국민들의 권리의식이 향상됨에 따라 지역 간 도로 및 철도 시공시 계곡이나 하천, 혹은 도심지에 교량의 건설추세가 늘어나고 있는 상황이다. 또한 모든 산업이 환경친화적인 면을 배제하고는 계획 자체가 어려운 실정이다. 국민들 또한 주거지 주변 환경의 녹지시설에 대한 욕구와 자연환경의 파괴에 아주 민감한 반응을 보이고 있다.

도로 및 철도의 시설 확충에 따른 사회간접 자본의 투자가 활성화 되는 추세이고, 하부 가시설의 제약을 받지 않고, 환경친화적인 교량공법의 연구도 활발하게 진행중이다. 따라서 하부공간에 상부공 시공을 위한 가시설 설치 제약을 받지 않고, 환경친화적이며 공사시 주변 환경을 오염시키지 않는 교량 공법의 연구가 대두되고 있다. 일반적인 강합성 트러스 공법, Extradosed 공법 등과 F.C.M 공법을 비교해보면 강교에 비해 환경친화적인 면이 우수하며, Extradosed 공법에 비해 구조적 안정성 및 완공후 내구성이 우수하다.

당 현장에서 적용중인 **F.C.M(Free Cantilever Method)** 상부공 공법은 상습 안개발생지역이고, 습도가 높은 지역으로서 결로현상에 의한 부식의 영향을 최소화 하기위한 현장타설 공법이며, 추가적인 외부도장이 필요없고 피로에 대한 안전성 및 지진 하중에 견딜수 있는 면진설계의 반영, 구조적으로 수직 및 비틀림 강성이 크고 피로저항성이 양호한 공법이다. 또한 처짐이 작아 사용성이 양호하며, 유지관리용 External Tendon의 추가 긴장으로 구조성능을 향상 시킬 수 있는, 당 현장과 유사한 환경의 교량공사시 매우 유용하게 사용될 수 있는 공법이라 판단된다.

참고문헌

1. 건설부 한국건설기술연구원(1994) 콘크리트 교량 가설 특수공법 설계·시공·유지관리지침
2. 장대교량 기술논문집(2001) (주)유신 코퍼레이션
3. W.Podolny JR J.M.Muller(1994), 세그멘탈 공법에 의한 PC교의 설계와 시공
4. 철도교의 해석 및 설계 - 서울 산업대 철도전문대학원