

11-8. FCM 가설 공법=FCM(Free Cantilever Method=외팔보=Diwidag 공법)

문) FCM 시공 대책(52, 72회)

문) 교량가설에서 Cantilever 공법으로 시공하는 구조 형식의 예를 들고 공법에 대해 설명(FCM)(56회)

문) 교량의 상부 가로 FCM으로 시공케 되어 있다.

이 경우 현장에서 반복된 Segment 가설 작업에 따라 교량의 상부가 완성된다.

1개의 Segment 가설에 소요 되는 공중에 대해 기술(59회)

문) 장대교 가설 공법의 종류 특징 설명(FCM, ILM, PSM, MSS 등의 PSC 교량)(51회)

문) PSC Box Girder 교량($L = 1500\text{m}$, 폭 20m , 경간장 50m 연속교)을 산악 지역에 건설시 상부공 건설법(FCM, ILM)(54회)

문) 협준한 산악지 등을 횡단하는 PSC Box 거더 교량 시공 시 가설 공법의 종류를 열거하고 각각의 특징에 대하여 서술(69회)

문) PSC Grout 재료의 품질 조건 및 주입 시 유의사항(54회 용어)

문) 프리스트레스트 콘크리트 박스 거더(PSC Box Girder) 캔틸레버 교량에서 콘크리트 타설 시 유의사항과 처짐 관리에 대하여 설명 - 76회 4교시

문) 현장타설 FCM 시공 시 발생되는 모멘트 변화에 대한 관리방안 설명(110회, 2016년 7월)

1. 개요(FCM의 정의)

1) 서독 Diwidag사가 개발

2) PSC Box Girder 교의 현장 타설에 의한 가설 공법으로써 교각에 주두부를 설치하고 특수한 가설장비(작업차 : Form Traveller)를 이용하여 한 Segment씩 현장에서 콘크리트를 타설한 후 Prestress를 도입하면서 이어나가는 공법

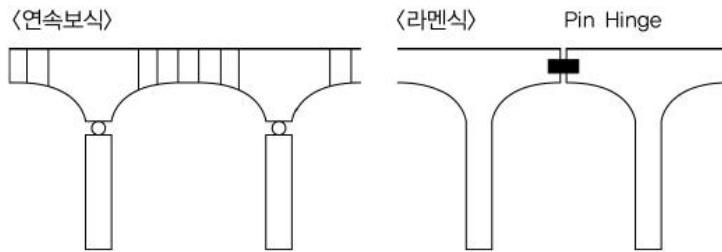
[Form Traveller 이용 교각 중심부(주두부)부터 좌우로 1Segment($3\sim 5\text{m}$)씩 Concrete 타설 후 Prestress 도입, 일체화시키는 공법]

3) 장대 교량(지간장 200m)에 유효함

2. 공법의 분류와 특징(FCM 및 BCM)

1) 구조 형식별 분류 : 연속보, Hinge식, 라멘식

NO	구조 형식 구조 특성	연속보 (강동대교)	Hinge	Rahman(원효대교)
1	부의 Moment	작다	크다	-
2	주행감	양호	불량	-
3	Creep, 처짐	작다	크다	작다(중앙부 Pin 헌지)
4	응력 재분배	Key Seg. 강결 후 정정 → 부정정	-	-
5	Key Seg.	필요	Pin Hinge로 전단에 저항	-
6	전단 저항	Key Seg.로 처리	Pin Hinge로 처리	-
7	교좌 (Shoe = Bearing)	필요	필요	불필요



2) 시공방법별 분류

- (1) 현장 타설 : Form Traveller
- (2) 공장 제작 : PSM(가설 방법 : BCM)

구분	Form Traveller 공법 (이동식 작업차)	이동식 Truss 방식(P&Z)	PSM 공법 (Precast Segment Method) = BCM 공법
공법	교각상부에 주두부 설치 양측에 F/T 설치 후 모멘트 균형을 유지하면서 양측으로 시공	서독 P&Z사에서 개발, 교각 위 Pier Table 위에서 Truss Girder 설치, Truss Girder로 지지되는 거푸집 이동하여 시공	공장에서 Segment를 미리 제작, 운반하여 가설 크레인, Launching Girder 이용
콘크리트 타설 (세그먼트 제작)	현장 타설	현장 타설	공장 제작
특징	유의사항 <ul style="list-style-type: none"> • 주두부 시공: Fixation Bar • 불균형 모멘트 처리 • 프리스트레싱 • 처짐관리(Camber) • Key seg. 접합 	<ul style="list-style-type: none"> • Pier Table로 지보공 없이 시공 가능 • 반복 시공: 품질관리 쉬움 • 시공속도 빠름 • 적용 경간 40~150m 	<ul style="list-style-type: none"> • 공장 제작이므로 콘크리트 품질 관리 확실 • 운반 시 파손에 유의 • Segment 접합에 유의

3. 특징

장점	<ul style="list-style-type: none"> • 동바리를 필요로 하지 않음: 깊은 계곡이나 하천, 해상, 교통량이 많은 위치 장대교량 유리 • Segment 제작에 필요한 모든 장비를 갖춘 이동식 작업차를 이용: 가설장비 사용 • 거푸집 설치, 콘크리트 타설, Prestressing 작업 등 모든 공정이 동일하게 반복: 시공속도가 빠름, 작업인원도 적음, 작업원의 숙련도가 빨라 작업 능률 높음 • 3~5m씩 Segment로 나누어 시공: 상부구조를 단면으로 시공 가능 • 대부분의 작업이 이동식 작업차 내에서 실시: 기후조건에 관계없이 품질, 공정 등의 시공관리를 확실 • 각 시공단계마다 오차의 수정이 가능: 시공정밀도를 높음
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 시공단계마다 구조계가 변하므로 타 공법의 교량설계에 비하여 많은 시간과 노력이 필요 • 불균형 모멘트 처리: 가 Bent, Fixation Bar, Stay Cable 필요 • 교각 상부 고소 작업이므로 안전관리에 유의

* FCM의 특징(MSS, ILM, PSM 공통)

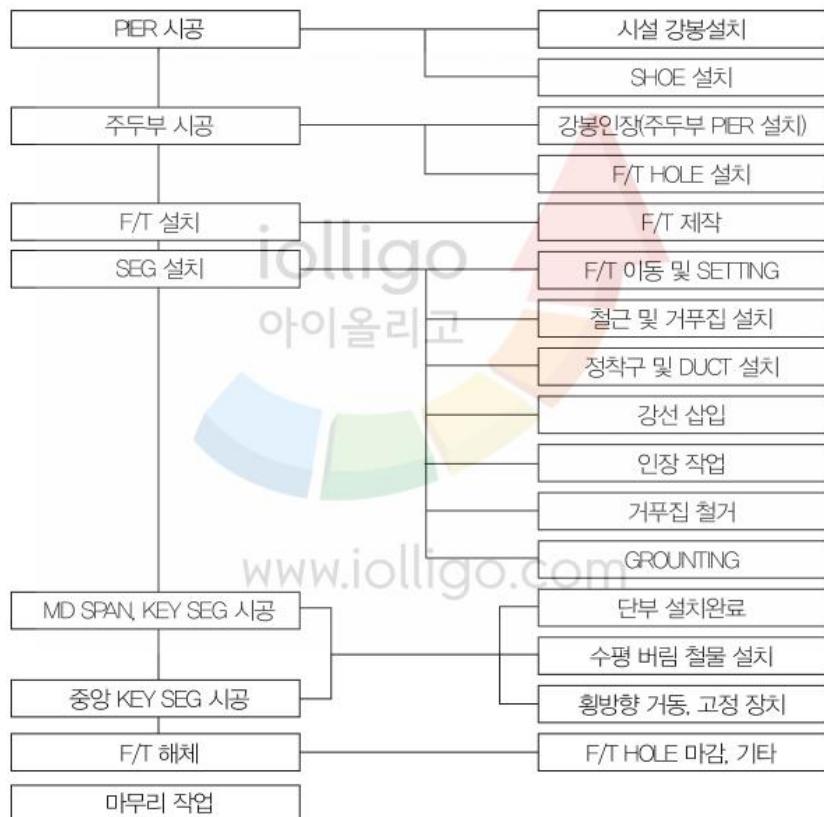
- 1) 장대 교량에 유리(지간장 200m)
- 2) 형고 변화 자유: Segment 분할(2~5m 블록) 시공(FCM인 경우에 단면 변화 가능)
- 3) 품질 확보: 고강도 콘크리트($f_{ck} = 40 \text{ MPa}$)
- 4) 전천후 시공: Form Traveller에 양생 설비
- 5) 작업 능률 양호: 거푸집, 콘크리트, 거푸집 해체, PS 도입의 반복 작업

- 6) 시공 정밀도 양호
- 7) 미관이 좋음
- 8) 연속 교량이므로 단순교에 비해 단면을 적게 할 수 있음

4. 적용성

- 1) 하천 교량: 깊은 계곡, 수심 깊고, 유량 많은 곳
- 2) 장대 교량: 지간 200m
- 3) 협하 공간 이용: 선박, 차량 교통 많은 곳

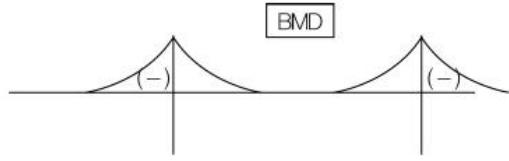
5. FCM 시공 흐름도



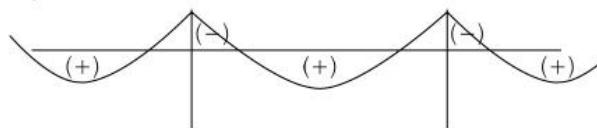
6. FCM 시공법 및 시공순서, 공법의 원리

- 1) 시공법 및 순서: 전술된 내용과 그림
- 2) 공법의 원리
 - (1) 시공 중: 정정(캡틸레버) – 지점부의 모멘트가 큼
 - (2) 시공 후: Key Segment 연결 후 – 부정정, 지점부 모멘트 감소, 처짐 감소

- 시공 중 : 정정

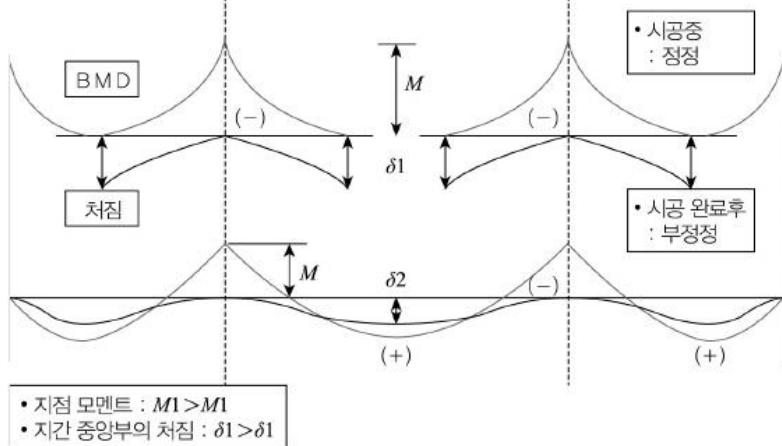
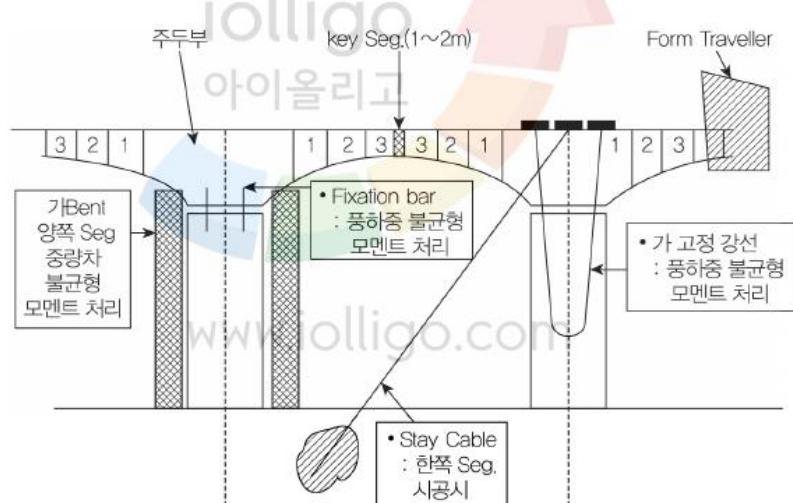


- 시공 후 : 부정정, 연속교



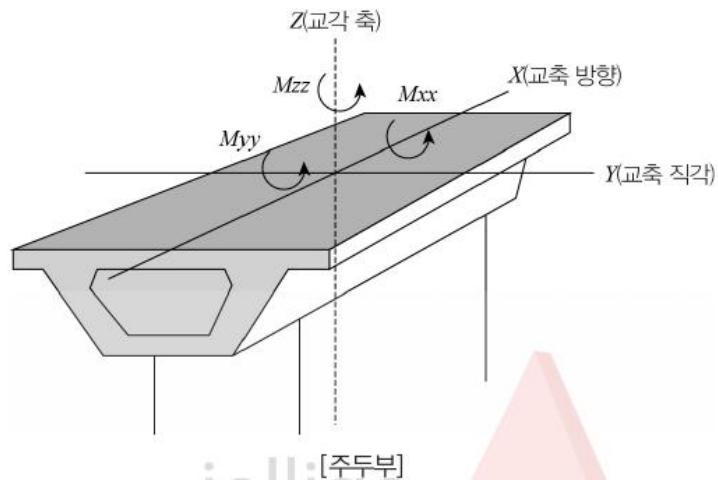
7. 시공 시 문제점 및 대책(시공 시 유의사항)

NO	문제점	대책
1	중앙 접속부 캔틸레버에 의한 부의 Moment	추가 Prestress 도입
2	지점부 불균형 모멘트	기 Bent 설치
3	Camber 관리(차짐) Creep, 건조 수축, Relaxation	Camber 해석 방법 ① CEB-Model ② FIP-Model ③ ACI-Model
4	Camber에 문제 있을 때	기 설치된 Additional Sheath 이용, 추가 긴장



1) 불균형 모멘트 처리

- (1) 가 Bent : 양쪽 Segment 중량차
- (2) Stay Cable : 한쪽 Seg. 만 시공 시
- (3) Fixation bar : 풍하중



2) 처짐 관리(Camber 관리)

- (1) 처짐의 원인 : Creep, 건조수축, Relaxation

- (2) 해석 프로그램 : Camber 조정

① CEB-Model

② FIP-Model

③ ACI-Model

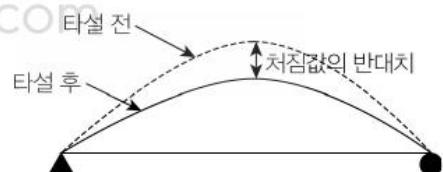
- (3) Camber Curve(교량시공곡선)

① 캠버곡선 = 처짐곡선의 반대치(역)

+ 최종선형곡선치

② 시공 시 처짐값의 반대(상향)값으로 함

거푸집 조립시 미리 조정



[그림] 캠버곡선

3) 응력 재분배

- (1) Key Segment 연결 후

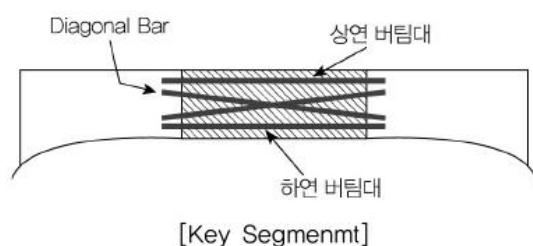
① 정정에서 부정정으로 변경

② 지점부 모멘트 감소, 처짐 감소(Camber 조정됨)

- (2) Key Segment의 연결 상세도

① 길이 : L=1~2m

② 전단력에 저항



4) Prestress 도입 시 시공 관리

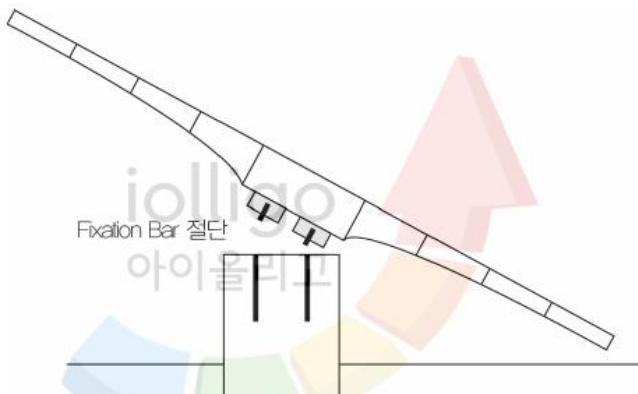
- (1) PSC 시공 단계별 응력 변화 논술하면 됨(콘크리트편 PSC 참고)

(2) Duct 내 Grouting 관리

- ① 팽창률 : 10% 이하
- ② $f_{28} = 20 \text{ MPa}(200 \text{ kg/cm}^2)$ 이상 $40 \text{ MPa}(400 \text{ kg/cm}^2)$의 고강도
- ③ W/C 비 : 45% 이하
- ④ 팽창재 : Aluminum 분말 사용
- ⑤ PS 도입 시기 : $f_{ck} \times 85\%$
- ⑥ 주입 압력 : 7 kg/cm^2
- ⑦ 긴장 순서 : 대칭 긴장, 시방 기준대로

8. 국내 FCM 붕괴사례

■ 2016년 CS 대교 시공 중 붕괴



[그림] FCM 시공 중 붕괴

1) 원인(추정)

- (1) 양쪽 Segment 중량차 또는 한쪽 Segment만 콘크리트 타설 시의 불균형 모멘트
 - ① 교량 상부 Girder(상판)가 한쪽으로 기울어짐(전도)
 - ② 반대측 Fixation Bar(강봉)에 과도한 인장력 작용으로 강봉 절단

(2) 풍하중

- (3) Fixation Bar 설계·시공 오류

2) 문제점

- (1) 공기지연
- (2) 상판 슬래브 재사용 불가
철거(폭파) 후 폐기물 처리, 주변 환경오염
- (3) 경제적 손실

3) 대책

- (1) 설계상의 안정성 검토
- (2) 시공 시 품질관리 여부 검토
- (3) 철거방법검토

(4) 재시공 시 안정성 재검토 후 재시공시 안전한 시공방법 검토

9. 맷음말

1) 원효대교가 현장 타설 방식에 의한 FCM 시공

2) FCM 시공 관리 주안점

(1) Camber 관리 : CEB, FIP, ACI Creep 해석

(2) 응력 재분배 : Key Seg. 연결 후 정정에서 부정정

(3) Key Seg.의 접합 : Diagonal Bar 시공

(4) 지점부의 불균형 Moment 처리 : 가 Bent

(5) 측량시간 : 일정한 시간, 해뜨기 전 새벽이 좋음

(6) Key Seg. 타설 : 저녁에 타설, 새벽에 긴장

3) 향후 개선 방향

(1) Form Traveller 설계법 연구

(2) 주두부 Fixation 시 공법 및 계산 방법 연구

(3) 불균형 Moment 처리 방법 연구

(4) Key Seg. 결합 방법 연구

(5) Camber 관리 방법 연구

(6) 2차 응력 : Creep, 건조 수축, Relaxation, 온도 응력에 의한 처짐 최소화 방법 연구

■ 참고문헌 ■

1. 서진수(2006), Powerful 토목시공기술사(1, 2권), 엔지니어즈.
2. 서진수(2009), Powerful 토목시공기술사 단원별 핵심기출문제, 엔지니어즈.
3. 도로교 표준시방서(2012).
4. 도로교 설계기준(2012).
5. 토목시공 고등기술강좌, 대한토목학회.
6. 콘크리트교량 가설 특수공법 설계시공 유지관리지침(1994), 건설교통부.
7. FCM, 브이에스엘 코리아(주).
8. PC 교량 가설 공법 해설.