

서울외곽순환 고속도로 건설공사 김포대교 공법소개

The Construction Method of Kimpo Bridge in the Seoul Outer Loop Expressway



경 상 현*

1. 서 론

현재 공사중인 서울외곽 순환고속도로는 수도권 및 경기지역의 증가하는 교통수요에 대처하기 위하여 1988년 2월에 착공하였다. 동 고속도로는 서울기점 15.3km 지점인 판교 J/C를 시점으로 경기도 의왕시, 안양시, 군포시, 부천시와 경인고속도로 7.1km 지점인 서운 J/C를 통과하여 김포군, 고양시, 벽제, 그리고 서울시 도봉구를 경유하여 이미 사용중인 판교-퇴계원선과 연결된 총 연장 125km의 순환노선이라고 할 수 있다. 이 중 이미 시공되어 공용중인 연장은 33.8km이고 26.9km는 현재 10개 공구로 발주되어 시공중에 있으며 김포대교 구간은 본 노선의 한강 하류측 횡단구간으로서 판교기점 52.5km 지점에 위치하고 있다.

고속도로로서 한강을 횡단하는 교량은 '91년 12월에 완공되어 공용중인 상류측의 강동대교가 있으며 김포대교는 두번째의 한강횡단 고속도로 교량으로서 현재 우리나라에서 본격적으로 적용되는 P.C 구조물로 시공될 예정인바 동 교량의 공사 개요 및 적용공법에 대하여 요약 소개하고자 한

다.

2. 김포대교 개요

2.1 공사개요

- 위치 : 경기도 김포군 고촌면 신곡리-고양시 토당동
- 연 장 : 2,280 m(19@50 m+90 m+6@125 m+90 m+8@50 m)
- 폭 원 : 39.82m(8차선 고속도로)
- 설계하중 : DB 24, DL 24
- 공 사 비 : 730 억(지급자재비 포함)
상부공 520 억
하부공 210 억

• 적용공법 :

구 분	육상부	수중부
상 부	M.S.S.	F.C.M
하 부	현장치기말뚝	우물통

- 공사기간 : '92.12 ~ '96.12

2.2 공사규모

- 교각 68 기(상, 하행)

* 한국도로공사 수도권 건설사업소 소장

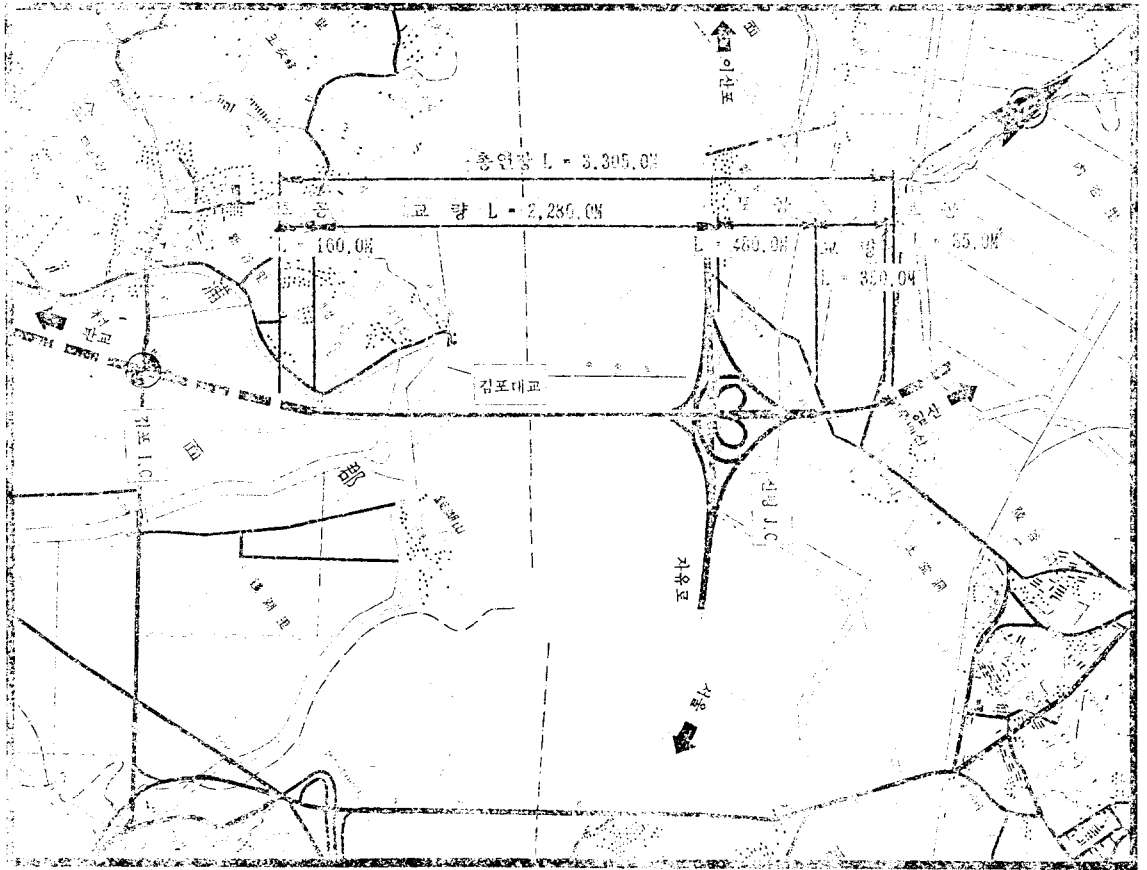


그림 1 김포대교위치도

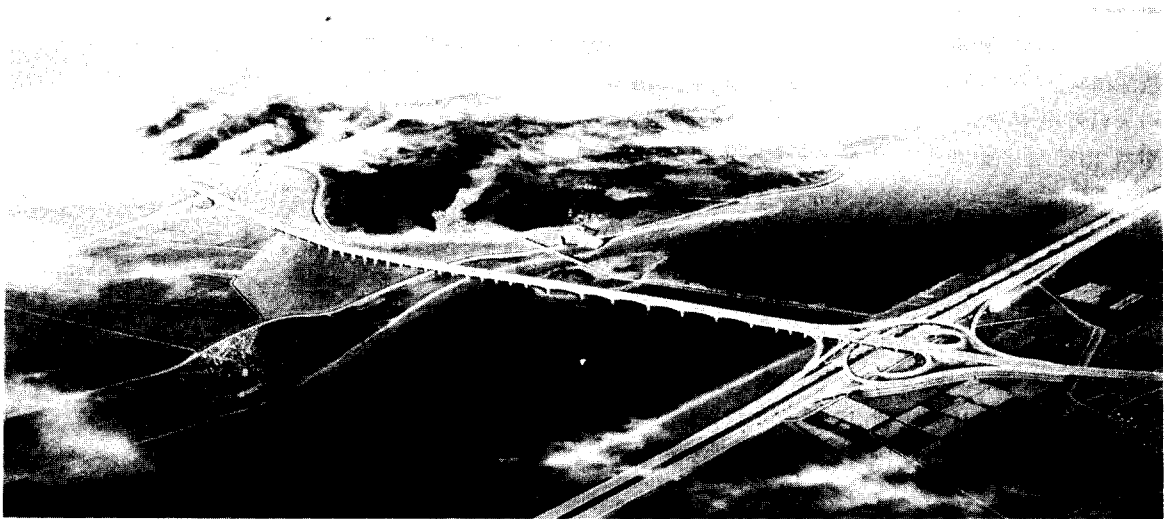


사진 1 김포대교조감도

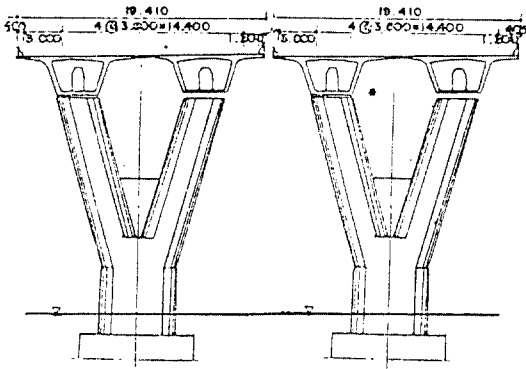


그림 2 표준단면서

- 우물통 42기(직경 12m, 평균심도 26m, 최대 34m, 최소 15m)
- 현장치기말뚝 200공(직경 1.5m, 평균심도 27m, 최대 41m, 최소 17m)
- P.C BOX 높이 3.0~7.0 m
- 경간장 : 육상부 : 50 m , 수중부 : 125m
- 수상부 형하 공간 : 평균위시 20m, 홍수시 13 m
- 투입자재 : Con'c 217,000m³(Cement 85,000 Ton)

철근 36,000 Ton

강선 3700 Ton

3. 공법소개

3.1 하부공법

김포대교 구간의 지반상태는 대부분 모래, 자갈 및 부분적으로 호박돌을 함유한 충적층, 풍화대층 및 기반암으로 구성되어있다. 기초의 지지층인 기반암층까지의 깊이는 교각하단으로 부터 약 15~34m 정도인데, 유심부에 설치되는 125m 의 상경간(F.C.M 공법) 구간은 시공시 예상되는 비대칭하중을 감안하여 기초의 자중이 크고 횡방향 저항력이 크며 수상구간의 시공성이 양호한 우물 통기초로 시공중에 있다. 50m 단경간구간의 육상 부는 시공성과 경제성이 우수하고 기반암에 지지가 확실한 현장 치기말뚝 기초를 시공중에 있는 바, 당 현장에서는 $\Phi 1500$ mm의 all casing 공법으로 연암층 1.5m를 굴착하여 지지도록 되어있으므로 순수한 BENOTO 굴착방식으로 풍화암이상 연암층 상단까지 casing을 타입 후 R.C.D(reverse circulation drill)에 의한 연암층을 굴착 완료하여 철근망 투입 및 tremie con'c를 치는 BENOTO 및 R.C.D의 합성공법을 적용하여 시행하고 있다.

우물통 공법은 이미 보편화된지 오래이므로 여기서는 대구경 현장치기 말뚝 공법과 BENOTO 공법을 간략히 설명하고자 한다.

3.1.1 대구경 현장치기 말뚝 공법

현장치기 말뚝공법은 지중에 일정한 크기의 hole을 drilling한 후 철근망을 삽입하고 콘크리트

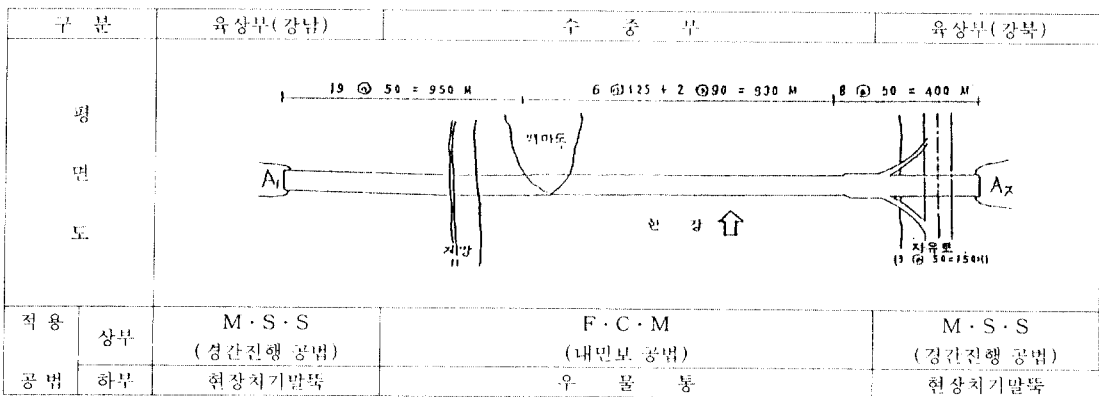


그림 3 적용공법 개요

를 쳐서 말뚝을 조성하는 것으로 여기서 공법의 특성을 가장 크게 좌우하는 것은 공벽보호방법이며 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 공벽보호방법
 - With Casing
 - Without Casing
 - With Water Over Pressure
 - With Bentonite Slurry
- 현장치기말뚝
 - BENOTO(ALL CASING)
 - R.C.D.(Reverse Circulation Drill)
 - Earth Drill
 - Barrette
 - P.I.P(Packed-In Place Pile)
 - M.I.P(Mixed-In Place Pile)

현장치기말뚝은 20년 이상의 역사가 있는데도 불구하고 시공의 양·부가 직접 그 품질을 좌우하므로 확인의 어려움으로 신뢰도 평가에 문제가 있는 공법이다.

그러나 시공관리에 만전을 기하면 큰 강도와 높은 안전성, 정밀도가 높은 확실한 기초를 구축할 수 있다.

현장치기말뚝이 종래의 말뚝박기 공법에 비하여 다음의 이점이 있다.

- 시공속도가 빠르다.
- 저소음, 저진동
- 말뚝지름이 크고 깊은 말뚝 시공이 가능하다.
- R.C.D 에 의한 암반굴착이 가능하다.

3.1.2 BENOTO 공법개요

BENOTO 공법은 기초말뚝과 우물통과의 중간 치수를 가진 기초 즉 소형 우물통, 대형 중공기초 말뚝이라 하며 casing 을 세우고 casing 내부를 hammer grab 또는 chisel로 굴착하고 동시에 casing을 좌·우로 회전시키면서 소정 깊이에 달하게 하여 slime 제거 후 철근을 근입하고 콘크리트를 쳐서 Casing을 인발하면서 현장치기 말뚝을 조성하는 공법이다.

가. 장점

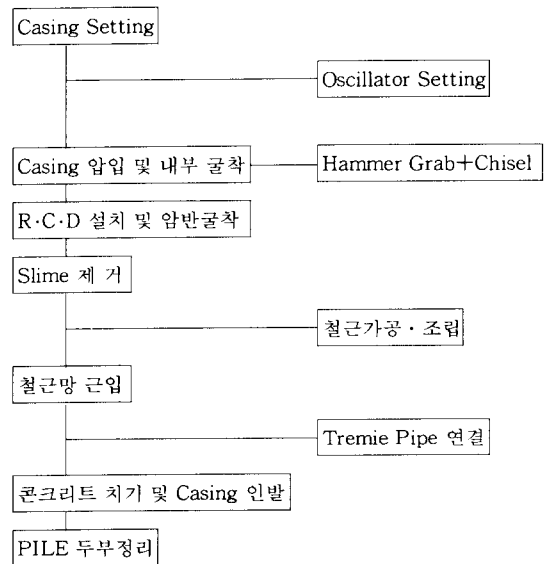
- 1) All Casing 을 사용하므로 공벽붕괴의 위험성이 없다.
- 2) Casing을 콘크리트 친 후 인발하므로 콘크리트 치기시 붕괴사고가 적고 철근 피복유지가 확실하다.
- 3) 토질에의 적응성이 높아 굴착중 전석이나 나무가 있어도 hammer grab나 chisel로 파쇄하여 굴착이 가능하다.
- 4) 저소음, 저진동 공법이다.
- 5) 사면(경사) 말뚝시공이 가능하고 기설 구조물 근접시공이 용이하다.

나. 단점

- 1) Cashing 의 진동, 인발능력이 한계가 있기때문에 시공 심도에 한계가 있다.(약 50 m)
- 2) Cashing 인발시 철근이 같이 올라오는 경우에 유의하여야 한다.(공상현상)
- 3) Casing 인발에 따른 반력이 필요하므로 수상의 잔교상이나 복공에서의 시공시 유의할 필요가 있다.

3.1.3 시공순서(김포대교)

표 1 작업 흐름도



1. Casing Setting
2. Casing 압입, 굴착
3. R. C. D 암반굴착
4. Slime 제거
5. 철근망 근입
6. 콘크리트 치기
7. Casing 인발

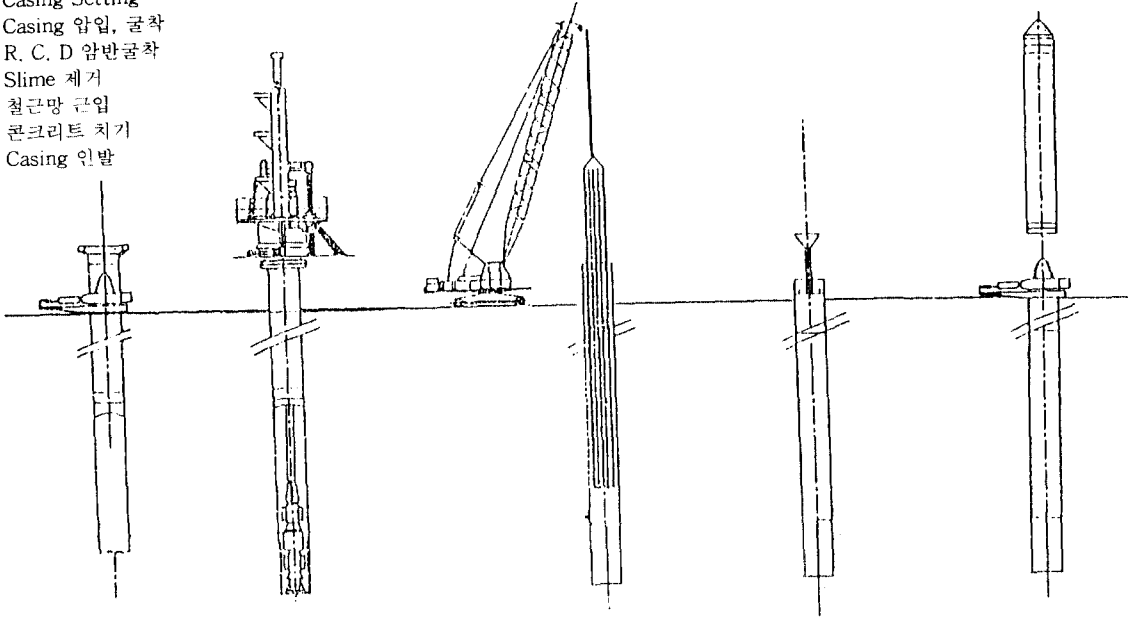


그림 4 시공 순서도

3.2 상부공법

김포대교의 상부 형식은 설계시 P.C Box Girder, 강합성교, 사장교, 아치교 등이 비교 검토되었으나 한강상 장대 구조물로서의 조형미, 하상조건과 시공성, 주요 자재 확보 및 장비 소요 등 국내 사정과 국내 기술 능력 등을 감안하여 P.C Box Girder로서 채택 선정되었다.

상부 공법으로서는 육상부에서는 M.S.S 공법, 수상부에서는 F.C.M 공법을 적용하였다. 여기서는 M.S.S 공법과 F.C.M 공법을 개략 설명하고자 한다.

3.2.1 M.S.S 공법

이동식 비계공법(movable scaffolding system)은 종래의 동바리 공법이 발전한 형태로 지상의 동바리를 없애는 대신 service girder 와 sliding cantilever girder와 hydraulic jack을 이용하여 교량을 한경간씩 가설해 나가는 공법이다.

즉 거푸집이 이동하여 교각과 교각사이를 걸쳐가 되면 콘크리트를 쳐서 교량의 모습을 드러내는 교량 상부시공의 신공법으로 그 장점을 들면 다음과 같다.

- 1) 고도의 기계화 구동장치로서 신속, 확실한 시공을 할 수 있으므로 공사비와 공사기간을 단축할 수 있다.
- 2) 동바리공을 사용하지 않으므로 산악과 계곡, 수상등 지상조건에 구애받지 아니하고 시공할 수 있다.
- 3) 단순한 연속적 시공방식이므로 공사기간 단축은 물론, 장대교일수록 거푸집의 사용횟수가 경제적이며, 재활용 등 반 영구적이다.
- 4) 교각의 높이가 높을수록, 즉 난공사구간 일수록 더욱 경제적이다.
- 5) 시공기술이 숙달될 경우 1 cycle(1 Span / 50.0m)Time 을 축소시킴에 따라 공사기간을 단축할 수 있다.

이 공법은 1959년 서독의 Stra-bay사에 의해 처음으로 개발되어 서독의 Kettiger Hang교에 처음 시공된 후 Dywidag사, P&Z사, Thyssen사 등에 의하여 공법의 다양화가 모색되고 있으며 우리나라는 1983년 노량대교(경간 50m)에 처음 도입된 후 올림픽 대교(경간 50M)에 적용한 바 있다.

나. M.S.S. 공법의 종류

사용장비에 따라 시공방법에 차이가 있지만 기

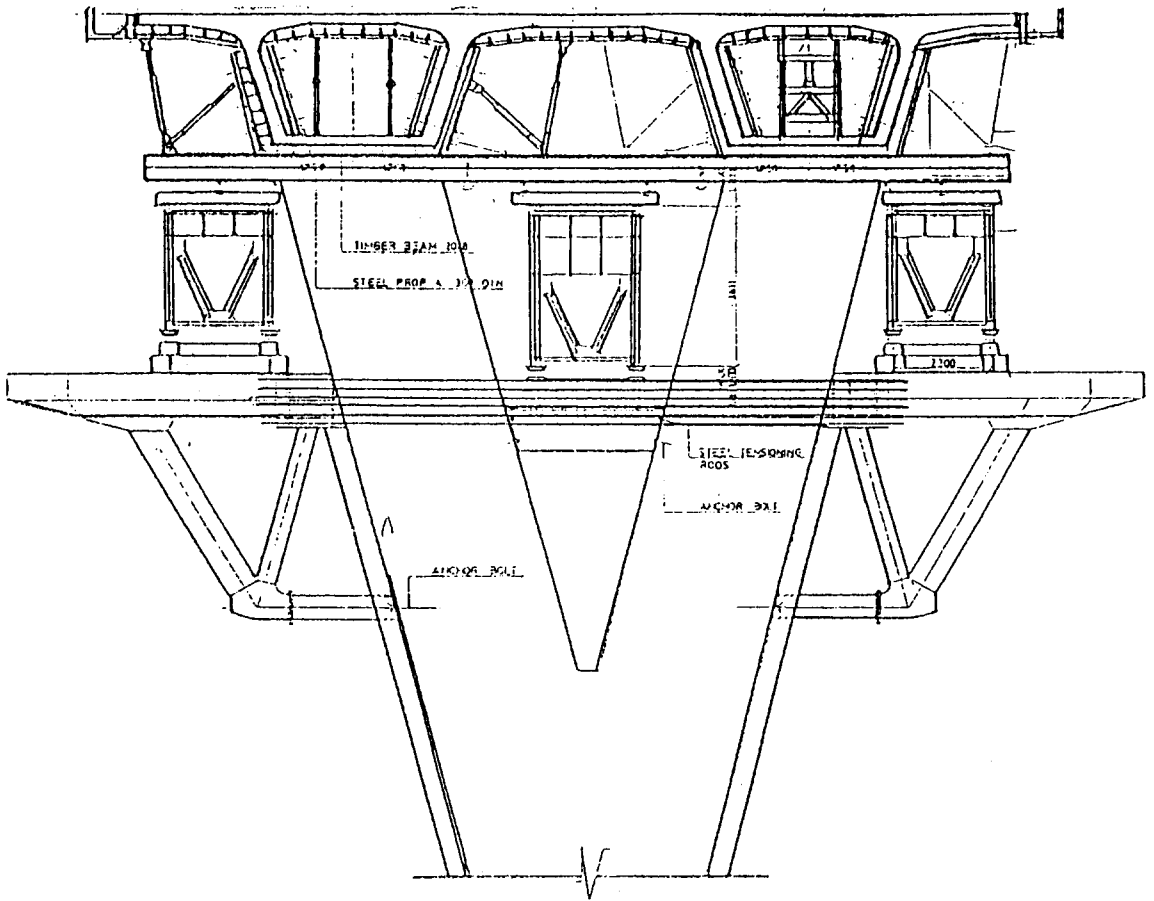


그림 5 MSS 표준 단면도

본적인 원리는 전술한 바와 같고, Service Girder가 매달려 이동하는가, 혹은 떠받쳐져 이동하는가에 따라 각각 상부식(hanger type), 하부식(support type)으로 구분된다.

- 하부 이동식
 - Rechenstab 방식...비계보와 추진보가 계산자 모양으로 이동
 - Kettiger Hang 방식...비계보와 추진보가 독립적으로 이동
 - Mannesmann 방식...비계보가 추진보 역할(노량대교)
- 상부 이동식 : Gerustwagen 방식, FPS 방식, PSC방식

이중 김포대교는 Mannesmann 방식으로 시공될 예정이다.

3.2.2 F.C.M 공법

(1) 개요

캔틸레버공법은 1950년대에 서독 Dyckerhoff und Widmann사에 의해 개발된 이후 유럽과 미국 등 선진국에서 장경간 교량시설에 많이 사용되어 온 공법이다.

이 공법은 일반적으로 시공시 교량하부에서 지지하도록 되어있는 동바리를 사용하지 않고 그 대신 이동식 작업차(form traveller) 혹은 이동가설용 Truss(moving gantry)를 이용하여 기 시공되어있는 교각으로부터 좌우로 평형을 맞추면서 3~5m의 길이의 분할된 거어더(segment)를 순차적으로 시공하는 공법이다. 이 방법은 지면으로부터의 동바리 설치가 어려운 깊은 계곡이나, 해상 등에 장경간의 교량을 가설 할 경우에 적합한 공

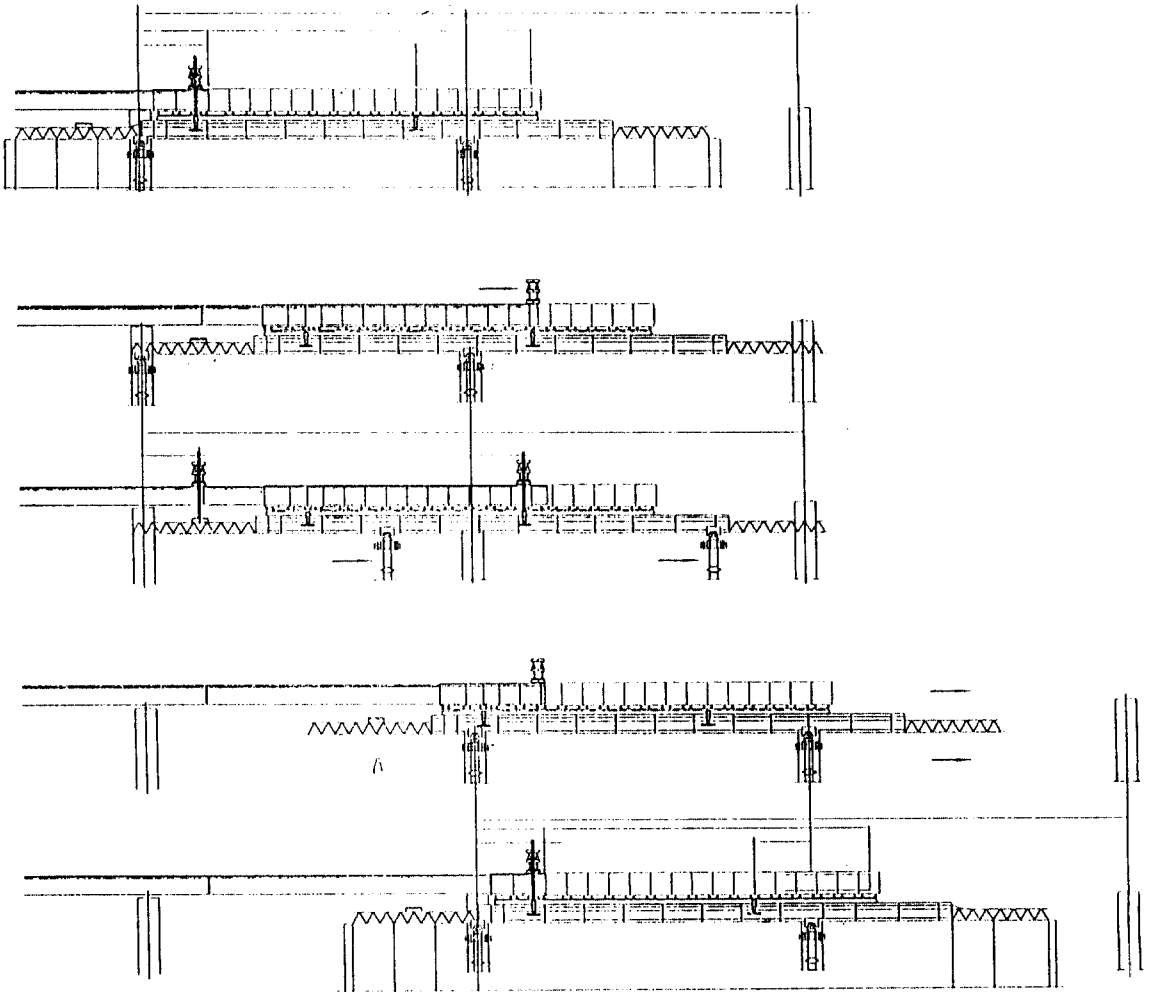


그림 6 MSS 시공순서도

법으로서 거어터교, 사장교, 아치교등 각종 구조 형식의 교량가설에 이용 가능한 우수한 공법이다.

한편, 긴장재의 재료면에서 볼때 초기에는 강봉(stress bar)을 주 긴장재로 사용하였으나 최근에는 가격이 저렴하고 연결재(coupler)가 필요없는 강연선(strand)를 사용하는 추세이다.

이 공법에 의한 최초의 교량은 1950년 서독의 Bahn교(경간 : 62 m)이고 우리나라에서는 1979년 한강상의 원효대교(경간 : 100m)가 이 공법의 효시이며 그후 상진교(경간 : 95m) 청풍교(경간 : 100m), 강동대교(경간 : 125m)등이 이 공법에 의해 시공된 바 있다.

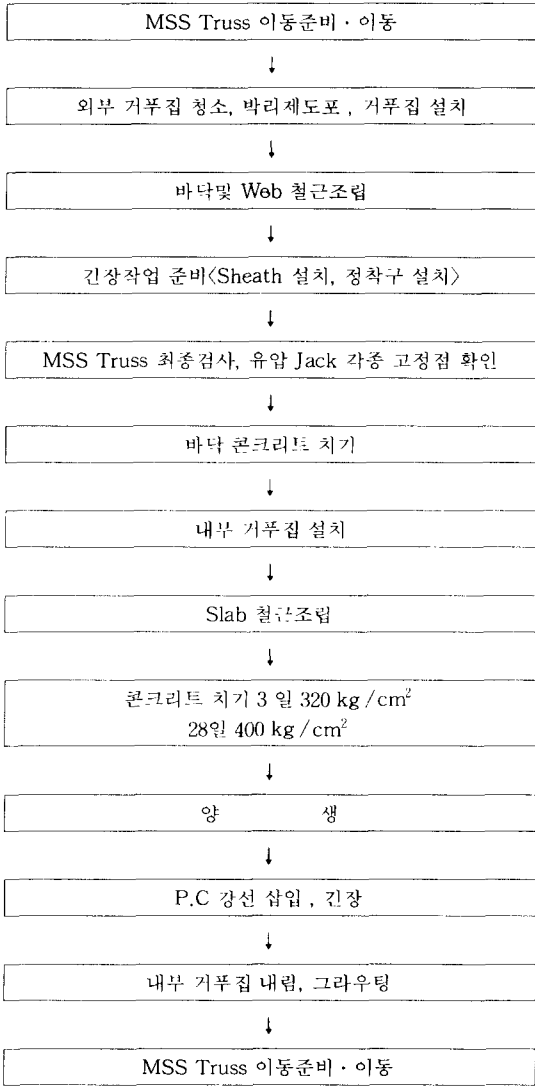
이 공법의 경간 적용범위는 보통 60~150 m 정도이지만 최대경간 시공실적을 보면 1978년에 아르헨티나에서 시공한 Paraguay 교의 270m가 있고 국내에서는 운암교에서 160m 경간으로 시공한 실적이 있다.

(2) 공법의 종류

- ① 구조형식에 따른 분류
 - 연속보형식



표 2 시공순서



○ 라멘형식



○ 장단점 비교

연속보형식	라멘 방식
<ol style="list-style-type: none"> 교각과 상부거더를 분리하고 중앙부에서 강결한 연속교임. 상하부가 분리되어 교각상에 교차장치가 필요함. 상하부가 분리되어 있으므로 시공중에 발생하는 불규칙 모멘트에 대비한 임시 지지용 가시설이 필요함. 부정경 구조물이므로 구조해석이 복잡하고 시공중 처짐관리가 상당히 어려움. 경간중량이 강결되어 있어 장기치짐의 우려가 없고 주행성이 좋음. 	<ol style="list-style-type: none"> 교각과 상부 거더를 일체로 시공하고 중앙부에는 Hinge로 연결한 단순교임. 상하부가 일체이므로 교각상에 별도 교차장치가 필요치 않음. 상하부가 일체로 강결되어 있어 상부 시공중에 발생하는 불규칙 모멘트에 대비한 별도의 가시설이 필요없음. 정경 구조물이므로 구조해석이 비교적 간단하고 시공중 처짐관리가 비교적 쉬움. 경간중량이 Hinge로 연결된 캔틸레버 자유단이되므로 장기치짐의 우려가 있으며 주행성이 나쁨.
강동대교, 김포대교	원효대교, 청봉교, 운암교

2) 시공방법에 따른 분류

시공방법에 따른 F.C.M 공법의 분류는 다음과 같이 구분 할 수 있다.

- 현장 치기 방법 (cast-in-situ method)
- Precast 조립방법 (precast segmental method)

(i) 현장 치기 방법<김포대교>

분할된 거어더(segment)를 캔틸레버 양단에서 이동식 작업차(form traveller)로 순차적으로 현장 치기해 나가는 방법이다.

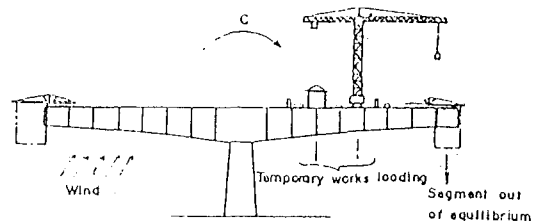


그림 7 현장타설시공도

(ii) 프리캐스트 조립방법

이미 제작된 세그먼트를 순서에 따라 각각의 위치에 설치하여 나가는 방법으로 Launching 기어 더 혹은 트러스 등을 이용하여 작업한다.

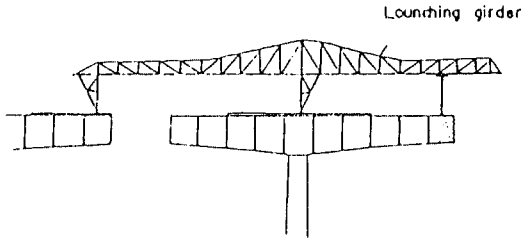


그림 8 프리캐스트 시공도

(3) 김포대교 설계

① 구조물의 형상

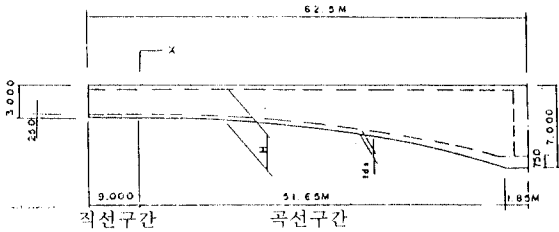
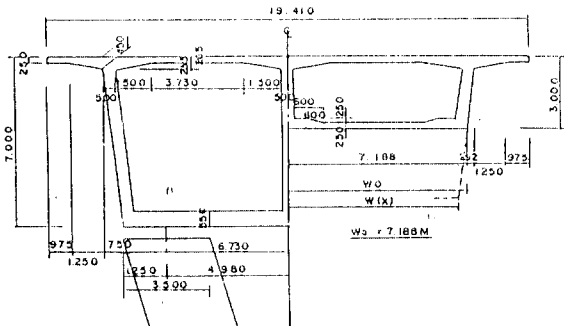


그림 9 종방향 단면

$$\text{주형의 높이 } H = 3.0 + 4.0 \left(\frac{X}{51.65} \right)^2$$

$$\text{하부플랜지 두께 } tbs = 0.25 + 0.30 \left(\frac{X}{51.65} \right)^2$$

지간 중앙부에서는 주형 높이 3.0m, 지점부에서 7.0m가 되며, 하부플랜지의 두께는 지간중앙부에서 0.25m, 지점부에서 0.55m이다.



지점부 지간 중앙부

그림 10 횡방향 단면

F.C.M 구간의 상부구조 단면은 상,하행선 각각 Twin-Cell의 BOX의 형태로 되어있으며 상부플랜지의 캔틸레버의 길이 및 형태는 접속교의 형식과 같이 취하여 일부구간에서 아래와같은 형상을 갖게 된다.

② 세그먼트 분할

세그먼트의 분할은 시공기간, 필요한 Tendon의 단위와 갯수 Form Traveller의 용량, 불균형 모멘트의 크기 등에 의해 좌우되어 일반적으로 3~5m 정도의 길이를 기준으로 한다.

본 김포대교에서는 위의 사항들을 고려하여 최소 3m, 최대 4m의 길이로 세그먼트를 분할하여 세그먼트의 무게를 최소약 140ton에서 최대 170ton 정도로 되게 하였다.

재래식 동바리에 의해 시공되는 주두부(Pier Table)의 길이는 좌우측 Form Traveller를 동시에 설치가능한 최소길이로 14m 로 하였다.

표 3 시공순서 및 Cycle Time

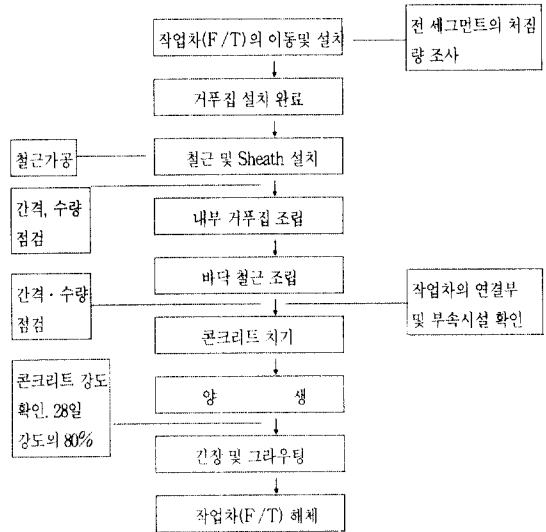


표 4 작업 Cycle(FCM)

일정	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	비고
공종											
F/T 이동·설치											2 일
거푸집, 철근, Sheath											3 일
콘크리트 치기											1 일
양 생											3 일
간 장											1 일
계											10 일

4. 특징 및 기대효과

4.1 규모 및 지역적 특성

현재 한강상에 가설되어 있는 교량은 도로교가 15개교 철도교가 4개교이고 철도 및 도로로 공용되고 있는 교량은 3개교로 총 22개의 교량이 건설되어 있다.

김포대교가 완공되면 한강상 23번째의 교량이며 본교량이 통과하는 지역은 한강 최하류(행주대교 2km 하류)의 하폭이 가장 넓은 지역으로서 평상시 하폭은 1,350m이며 홍수시 하폭은 1,520m이다.

연장은 2.28km로서 8 차선 고속도로로 역시 한강상 최대 폭원이다. 김포대교에 연계된 출입 및 분기 시설로는 강남측의 서울-강화간 48번 국도를 연결하는 김포 I/C 가 있으며 강북측에는 자유

로와 연계되는 신평 J/C 가 있다.

4.2 기대효과

최근 급격히 변화된 각종 사회·경제적 여건과 수도권 지역의 주변 위성도시 및 신도시 건설등으로 인하여 교통수요의 증가에 대한 대처방안 모색이 시급한 실정으로 서울 외곽순환 고속도로가 건설중인 바, 김포대교가 완공되면 자유로와 48번 국도(서울-강화)를 연결함으로써 일산 신도시의 주변입주 및 자유로 개통, 김포, 경인 지역의 급증하는 물동량으로 인하여 날로 증가하는 행주대교의 교통량 분산에 기여('96년 예상 교통량 74,000대/일)하고 해당 구간내 교통수요의 효과적 처리는 물론 지역발전에 크게 기여할 것으로 기대된다.

콘크리트 관련 도서 신간 안내

新版 土木構造物設計

金生彬 著

- B5 사이즈
- 365面
- 12,000원
- 발행처 : 기문당

● 이 도서는 개정된 시방서에 맞추어서 전문대학이나 대학동의 교재로 또는 토목기술자를 위한 토목설계의 입문서로서 집필되었다. 설계시방서에 있는 공식만을 이용하지 않고 슬래브 설계는 판이론(版理論)을, 거더(桁)에 대한 것은 일부 격자이론(Guyon, Massonnet)을 적용하였으며, 각종설계에 앞서 독자를 위해 간단한 이론전개도 서도 되었다.