

캔틸레버 공법에 의한 PS Concrete 교량의 설계와 시공

- 강동대교의 건설 -

최 계 식* 이 상 희**

1. 머리말

강동대교는 완교-구리간 고속도로 건설공사 구간 중 서울시 강남구 하일동과 경기도 구리시 토평동을 연결하는 한강상의 교량으로서, 국내 최초로 연속 강결 방식의 캔틸레버 공법으로 시공되는 7경간 연속 PC Box Girder 형식의 장대교량이다.

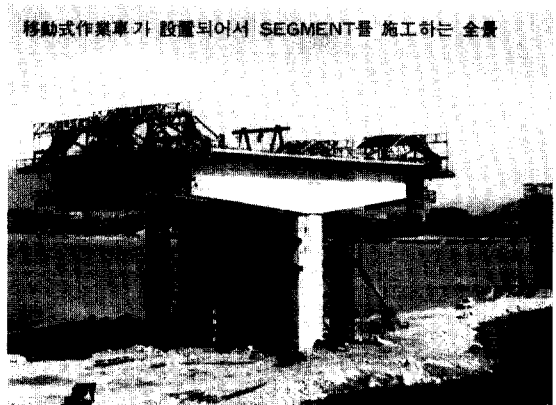
본 교량은 당초 국내에서의 유사한 교량시공실적, 국내 기술진의 설계 및 시공능력을 감안하여 캔틸레버 공법에서 일반적으로 사용되어 오던 강봉(Dywidag Bar) 긴장재로 설계되었다. 그러나 1988년 부터 Low Relaxation Strand의 국내 생산이 가능한 점에 착안, 수입자재인 강봉을 국산 강연선으로 설계변경하여 신공법인 강연선을 사용한 캔틸레버 공법의 설계기법과 시공기술을 국내에 도입, 정착함으로써 국내 기술발전의 계기를 마련하고, 아울러 국산자재의 활용으로 공사비 절감을 도모하였다.

이하에 강동대교의 설계시공 및 캔틸레버 공법의 개요에 대해 간략히 기술한 다음에 강동대교에 있어서 주요한 기술적 사항인 긴장재의 선정, 처짐관리, 캔틸레버 시공시의 안정 System에 대해 중심으로 기술하고자 한다.

2. 강동대교 개요

2.1 교량개요

① 위치 : 서울시 강동구 하일동~경기도 구리시 토평동



CANTILEVER構造物 및 柱頭部가 施工된 後의 全景

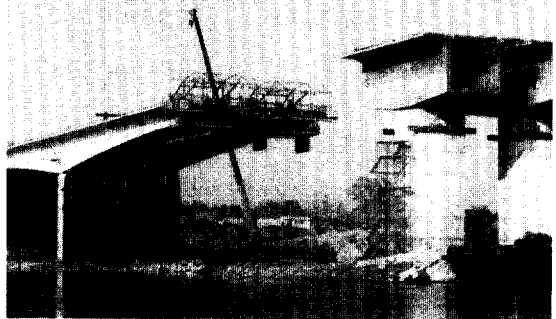
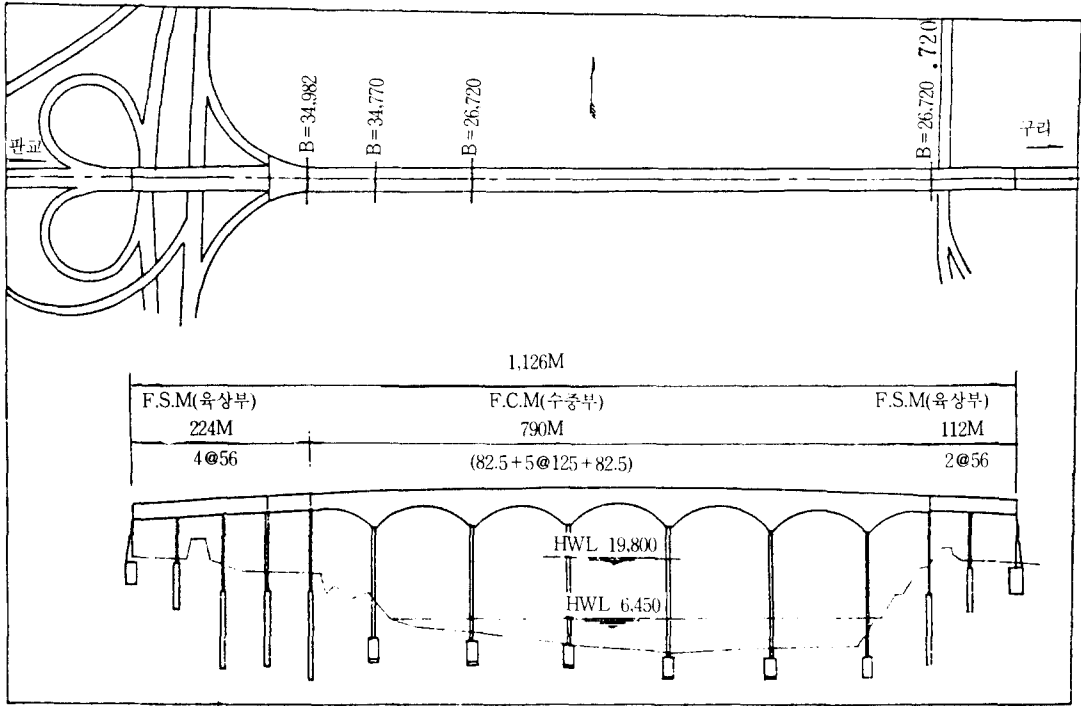


사진 1. 강동대교 시공모습

- ② 형식 : Prestressed Concrete Continuous Box Girder
- ③ 가설방법 : 캔틸레버 공법(Free Cantilever Method)
- ④ 폭 : 26.72 m ~ 34.962 m (2방향 4차선)

* 대림산업(주) 상무이사

** 대림산업(주) 기술연구소 과장



CROSS SECTION

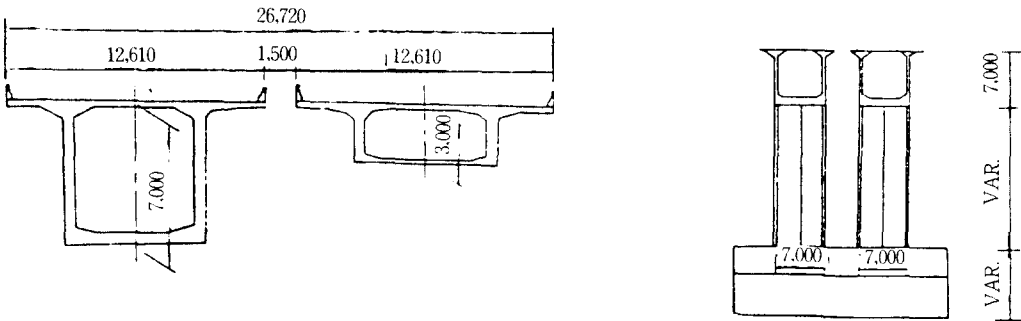


그림 1. 강동대교 일반도

⑤ 연장 : $L = 82.5 + 5 @ 125.0 + 82.5 = 790.0$ m (FCM 구간)

⑥ 시공기간 : 1988. 2 ~ 1991. 12

2.2 설계 개요

사용 전산 Program : 「RM-SPACE FRAME」(Austria TDV社 개발)

종방향 해석 : 3차원 해석

표 1. 사용재료

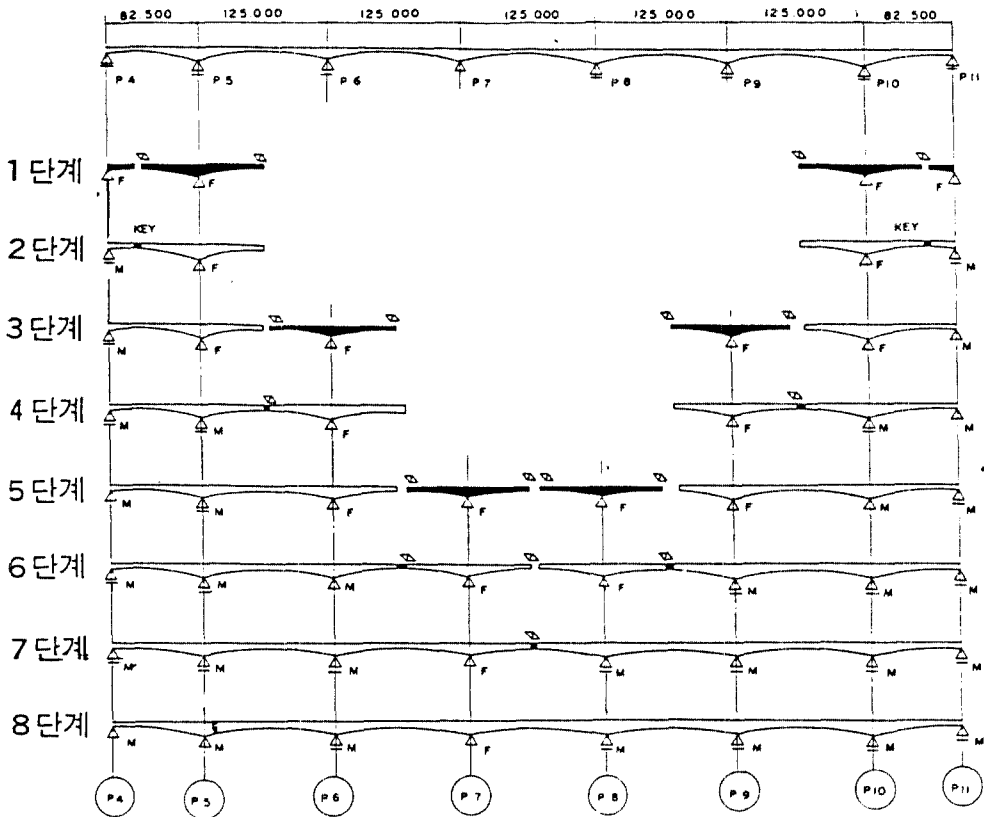
재 료	재 질	사 용 처	참고
콘크리트	$\sigma_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$	상부구조	
철 강	SD40	상부구조	
	SD30	Diaphragm 일부 Buttress	
강 인 선	$\sigma_{pu} = 18,900 \text{ kg/cm}^2$ $\sigma_{py} = 16,800 \text{ kg/cm}^2$	중, 횡방향 Tendon	
강 봉	ST 110/125	Shear Tendon Diaphragm	

시간 의존적 영향 고려 : Creep, Shrinkage
 시공단계 고려 : Segment의 발생, 단계별 Prestressing,
 지점 조건의 변화

횡방향 해석 : 2차원 Frame 해석
 Web 해석 : Shear Tendon 사용
 사용재료 : Ⅱ 1.

2.3 시공 개요

1) 시공순서



1단계	P5/P10 CANTILEVER 구조물 및 단부 구조물 시공
2단계	CANTILEVER 구조물 및 단부 구조물을 KEY SEGMENT 시공으로 강결
3단계	P6/P9 CANTILEVER 구조물 시공
4단계	P6/P9 CANTILEVER 구조물과 선시공된 구조물을 KEY SEGMENT 시공으로 강결

5단계	P7/P8 CANTILEVER 구조물 시공
6단계	P7/P8 CANTILEVER 구조물과 선시공된 구조물을 KEY SEGMENT 시공으로 강결
7단계	P7/P8 중앙부를 KEY SEGMENT 시공으로 강결
8단계	7경간 연속 구조물 완성

그림 2. FCM 구간의 시공순서도 및 시공단계

2) Segment 순환 공정

표 2. Segment 순환 공정

공종	작업일	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FORM TRAVELLER 이동 및 기둥집 설치		■	■	■	■						
바닥 및 벽체철근·강동조립 설치			■	■	■	■					
벽체 내부 기둥집 조립				■	■	■					
스리브철근 및 시어스핀, 앵커리치 설치				■	■	■					
콘크리트 타설						■	■				
콘크리트 양생								■	■	■	■
강선삽입 및 인상										■	■

3. 캔틸레버 공법

3.1 공법 개요

캔틸레버 공법은 1950년대에 서독의 Dyckerhoff und Widmann 社에 의해 개발된 이후 유럽과 미국등 선진국에서 장경간 교량가설에 많이 사용되어온 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 시공되어 있는 교각으로부터 좌우로 평형을 맞추면서 3~5m 길이의 분할된 거어더(Segment)를 순차적으로 시공하는 공법이다. 이 방법은 지면으로부터의 동바리 설치가 어려운 깊은 계곡이나, 해상등에 장경간의 교량을 가설할 경우에 적합한 공법으로서 거어더교, 사자교, 아치교등 각종 구조형식의 교량가설에 이용 가능한 우수한 공법이다.

한편, 긴장재의 재료면에서 분때 초기에는 강봉(Stress Bar)을 주 긴장재로 사용하였으나 최근에는 가격이 저렴하고 연결재(Coupler)가 필요없는 강연선(Strand)을 사용하는 추세에 있다.

3.2 구조형식에 따른 분류

캔틸레버 공법은 완성된 교량의 구조형식에 따라 여러 가지로 분류할 수 있으며, 주로 경간 중앙에서 양측 캔틸레버의 접합방법, PIER와 GIRDER의 연결형태 및 캔틸레버의 지지 방법등에 따라 그림 3과 같이 다양한 형식으로 분류할 수 있다. 강동대교는 그림 3의 (d)에서 보이는

바와 같이 연속강결 방식으로 되어있다.

연속강결방식은 교각과 상부 거더를 분리하고 경간의 중앙부에서 강결한 연속교이므로, 교각위에 교좌장치를 설치하여야 하며 시공중에 발생하는 불균형 모멘트에 대비한 임시 지지용 가시설이 필요하다. 게다가 부정정 구조물이므로 구조해석이 복잡하고 시공중의 처짐 관리가 상당히 복잡하다. 그러나 경간 중앙이 강결되어 있으므로 장기처짐의 우려가 적고 주행성이 양호하다.

이에 반해, 교각과 상부 거더를 일체로 시공하고 중앙부는 힌지 연결하는 라멘형태인 힌지 방식(그림 3의 (a), (b))은 상·하부가 일체이므로 교각위에 별도의 교좌장치나 시공중의 불균형 모멘트 저항 가시설이 필요없다. 또한 정정 구조물이므로 구조해석이 비교적 간단하고 시공중 처짐관리도 비교적 용이하다. 그러나 힌지 연결된 경간 중앙이 캔틸레버 자유단이 되므로 장기처짐의 우려가 높고 주행성이 불량하여 이제는 거의 적용되지 않게 되었다.

3.3 시공방법에 따른 분류

캔틸레버 공법은 시공방법에 따라 크게 현장타설 방법과 프리캐스트 조립방법으로 구분할 수 있다.

현장타설방법(Cast-in-situ Method)은 분할된 거더(Segment)를 캔틸레버 단부에서 이동식 작업차(Form Traveller)를 이용하여 순차적으로 타설해 나가는 방법으로, 강동대교는 이 방식을 적용하였다.

프리캐스트 조립방법(Precast Segmental Method)은 별도의 제작장에서 제작된 Segment를 Launching Girder 혹은 Truss 등을 이용하여 순서에 따라 각각의 위치에 설치하여 나가는 방법으로 장기변형량의 감소 및 공기 단축의 잇점이 있다.

4. 긴장재의 선정

캔틸레버 공법의 교량에 사용되는 주 긴장재는 상부슬래브에 설치되는 Cantilever Tendon과 지간 중앙부의 양측 캔틸레버를 연결하는 Continuous Tendon으로 분류할 수 있으며, 본 공법이 처음 시공될 당시는 주 긴장재

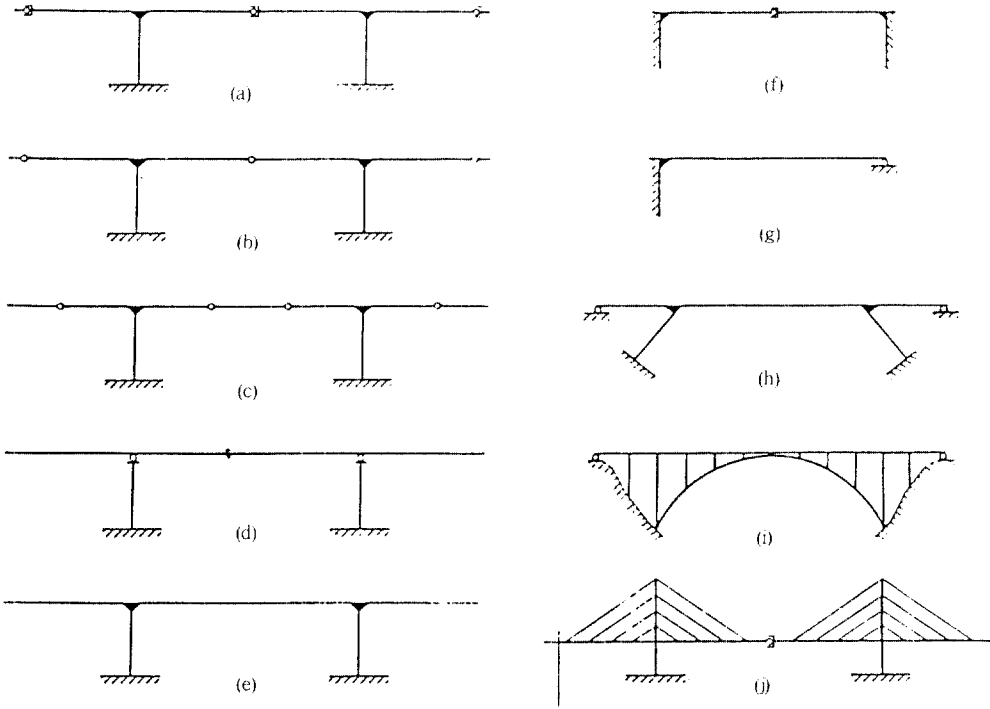


그림 3. 구조형식에 따른 분류

로서 Dywidag Bar(강봉)가 주로 사용되었으나 최근의 세계적인 건설추세로 볼 때에는 Bar(강봉)에서 Strand(강연선)으로 전환되는 경향을 나타내고 있다.

4.1 강봉과 강연선의 비교

강연선은 0.5" (또는 0.6") 직경으로 되어 있으며, 이들의 조합으로 필요한 인장력을 쉽게 얻을 수 있으며, 강봉은 직경(Φ36mm 혹은 Φ32mm)에 따라 인장력을 달리하게 됨은 물론 재질에 따라서도 그 차이가 있다. 재료의 성질 및 형태, 시공성, 경제성 등을 비교해 보면 표 3과 같다.

본 강동대교에서는 상기의 강봉과 강연선을 비교검토하여 주 긴장재를 강연선으로 결정하였다.

4.2 Low Relaxation Strand의 선정

본 강동대교는 주 긴장재로서 강연선을 선정하였으며

그 중에서 구조적으로 우수한 저이완 강연선(Low Relaxation Strand)을 사용하였다. 최근까지도 강연선을 이용한 국내 대부분의 교량은 보통이완 강연선(Normal Relaxation Strand)을 사용하였으나, 1988년 부터 L/R Strand의 국내 생산이 가능하게 됨에 따라 외국에서 일반적으로 사용하는 L/R Strand를 수입하지 않고도 설계 및 시공이 가능하게 되었다.

N/R Strand(강연선 1종)와 L/R Strand(강연선 2종)에 대한 비교는 표 4에서 보여주는 바와 같다.

5. 처짐 관리

처짐관리라 함은 교량의 종단 선형을 확보하고 경간 중앙부에서의 목표레벨에 도달할 수 있도록 설계 처짐값에 기초하여 시공 단계별로 측량을 실시하면서 필요한 계산을 수행하여 요구되는 Form Setting Level에 맞추어 나가기를 말한다.

표 3. 강봉과 강연선의 비교

구분	강봉(BAR)	강연선(STRAND)															
종류	<ul style="list-style-type: none"> • Smooth, Thread Type • Φ32, Φ36mm 	<ul style="list-style-type: none"> • 7연선 Type • Φ0.5", Φ0.6" 															
재료의 특질	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Type</th> <th>σ_{py}</th> <th>σ_{pu}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ST 85/105</td> <td>85</td> <td>105</td> </tr> <tr> <td>ST 90/110</td> <td>90</td> <td>110</td> </tr> <tr> <td>ST 110/125</td> <td>110</td> <td>125</td> </tr> <tr> <td>ST 135/150</td> <td>135</td> <td>150</td> </tr> </tbody> </table> <p>(kg/mm)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Low Relaxation: 약 5% 	Type	σ_{py}	σ_{pu}	ST 85/105	85	105	ST 90/110	90	110	ST 110/125	110	125	ST 135/150	135	150	<ul style="list-style-type: none"> • $\sigma_{py} = 168\text{kg/mm}$ • $\sigma_{pu} = 189\text{kg/mm}$ • Relaxation N/R: 약 15% L/R: 약 5%
Type	σ_{py}	σ_{pu}															
ST 85/105	85	105															
ST 90/110	90	110															
ST 110/125	110	125															
ST 135/150	135	150															
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 긴장후 Nut로서 고정하므로 인장력 손실이 적다. • 시공 간편 • 짧은 구간 P.S에 유리 	<ul style="list-style-type: none"> • 유연한 용이(Flexible) • 곡선 배치에 유리 • 긴 구간 P.S에 유리 • 시공 간편 															
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 유연한 물리(Rigid) • 곡선배치에 불리 • 긴 구간 P.S에 불리 • 다수의 연결재 사용 불가 	<ul style="list-style-type: none"> • Wedge에 의한 인장력 손실 • 짧은 구간 P.S에 불리 															
경제성	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 생산 불가 • 강봉 및 부속자재를 수입하므로 가격이 고가 	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 생산 • 가격 저렴 															
적용	○																

표 4. N/R과 L/R Strand의 비교

강연선의 종류 구분	강연선 1종 (NORMAL RELAX STRAND)	강연선 2종 (LOW RELAX STRAND)
1. 물리적특성	<ul style="list-style-type: none"> • 리락세이션(Relaxation)이 커서 장기적으로 볼때 구조적으로 불리함(3% 이하: 10HR 기준) 	<ul style="list-style-type: none"> • 리락세이션(Relaxation)이 적어 장기적으로 볼때 구조적으로 유리함(2.5% 이하: 1,000HR 기준) • 제품의 길함이 적다. (생산시 인장력의 50%를 도입, 길함사전 제외)
2. 자재비	<ul style="list-style-type: none"> • 자재단가는 저렴하다. 수량이 증가되어 2종 강연선에 비해 고가임 	<ul style="list-style-type: none"> • 총 자재비가 1종 강연선보다 저렴함(약 5%)
3. 품질및생산	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 생산이 일반화 되어 있음 - 최초생산: '83년 	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 생산이 초기 단계임 - 최초생산: '88. 6월 • 품질 시험결과 품질이 양호함 • 외국에서는 2종 강연선 사용이 일반화 되어 있음

5.1 거푸집 설치 레벨(Form Setting Level)의 계산
 거푸집 설치 레벨의 계산은 교량의 종단 선형으로부터 얻은 각 세그먼트 절점에서의 설계 레벨값에 처짐량을 더하여 구한다.

그런데 설계 계산결과 얻은 처짐 관리도상의 처짐량은 다음과 같은 요인들을 고려하여 수정 계산한다.

- Form Traveler의 탄성변형($\Delta d_{traveler}$)
- 기 수행된 세그먼트에서의 실측치와 목표치와의 차이 (Δd_i)
- 기타 고려사항
 - 기 완성된 캔틸레버의 처짐 오차(Δd_s)
 - 기초의 부등 침하 또는 지짐(Sand Bearing)의 변위($\Delta d\theta$)

5.1.1 처짐 관리도

처짐 관리도는 설계 단계에서 구한 처짐량을 도식화한 그래프를 말하며, 예를 들면 강동대교의 경우 그림 4와

같다.

그림 4에서 Form Setting Level이라 함은 각 점에서의 Design level(최종 목표 레벨)을 0으로 기준했을 때의 Level을 말하며 이 Form Setting Level에 해당 세그먼트의 거푸집을 맞추게 된다. 이후 그 세그먼트를 시공한 후에는 하단에 표기된 Level로 변하게 된다. 여기서 각 세그먼트의 시공후라 함은 콘크리트 타설 및 Prestressing, Form Traveler의 이동이 완료된 상태를 의미한다.

5.1.2 Form Traveler의 탄성 변형($\Delta d_{traveler}$)

콘크리트의 타설시 Form Traveler가 탄성 변형을 일으키므로 이 양만큼 상향 조정되어야 한다. 이 변형량은 계산에 의한 값과 실측에 의한 값을 같이 검토하여 실제 상황에 맞는 값을 택하여야 한다.

Form Traveler의 탄성 변형량을 측정하는 방법은 그림 5와 같이 콘크리트 타설 직후 σT 를 측정하고 시공된 3~4 세그먼트의 처짐 변형량으로부터 δ 를 추정 결정하여

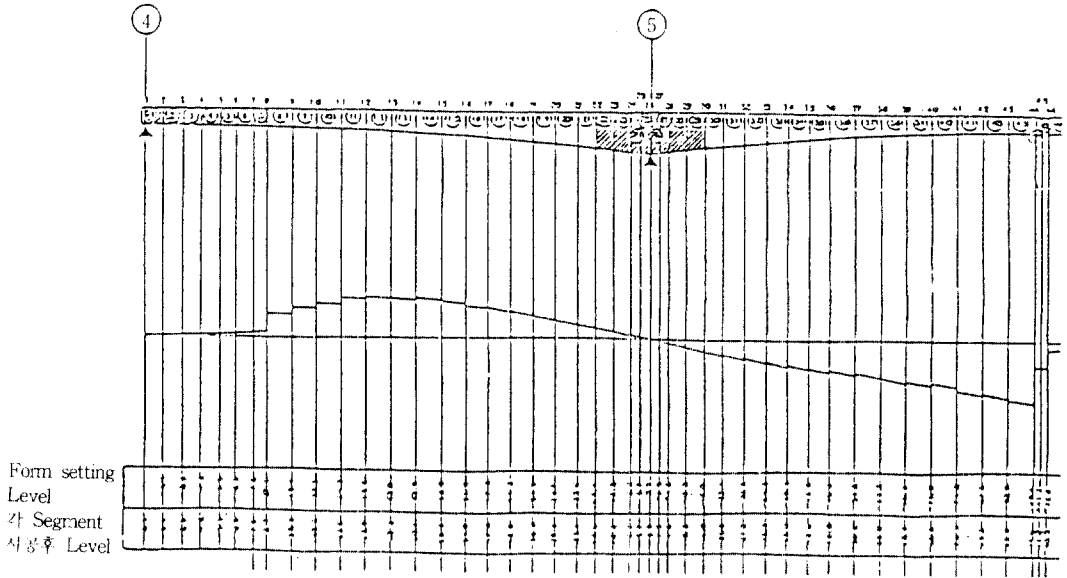


그림 4. 강동대교 처짐관리도의 예

$$\Delta d_{\text{traveler}} = \delta T - \delta i$$

로부터 $\Delta d_{\text{traveler}}$ 값을 구한다.

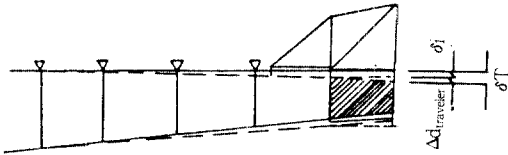


그림 5. Form Traveler의 탄성 변형량 측정

5.1.3 기 수행된 세그먼트에서의 실측치와 목표치와의 차이(Δd_i)

2~4 세그먼트의 공사를 수행하면서 계산치 보다 상향 혹은 하향 처짐이 계속적으로 발생하는 것이 확인되면 이에 의해 다음 2~4 세그먼트에 걸쳐 보정을 한다.

5.1.4 실제 측정과 콘크리트면(또는 Design Level)과의 차이(Δd_i)

시공여건에 따라 측정의 위치를 다르게 할 경우에는 기준 측정레벨과의 차이를 감안하여야 한다.

예를 들어 그림 6과 같이 측정할 경우 측정(∇)이 기준면과 Δd_i 만큼의 차이를 갖게되므로 이 양을 보정하여

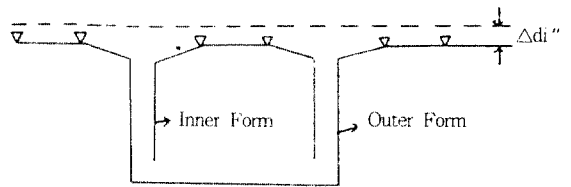


그림 6. 거푸집 설치시의 측정

주어야 한다.

5.1.5 기타 고려사항

1) 기 시공한 캔틸레버의 처짐 오차

기 시공되어 대기중인 캔틸레버에 계속적으로 처짐이 발생되어 이 양이 설계시의 가정값과 다른 경우, 연결된 캔틸레버의 끝단이 서로 맞도록 수정되어야 하는데 이를 위해 각 점에서 측정된 Δd_i 만큼 보정해야 한다.

2) 지점의 변위

임시 고정 지점인 Sand Bearing의 다짐이 제대로 이루어

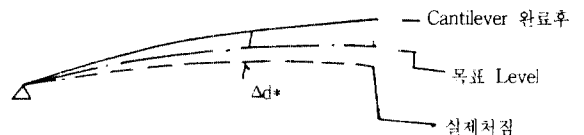


그림 7. 기 시공된 캔틸레버의 처짐 오차

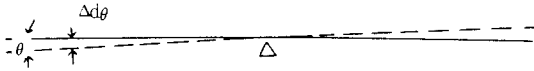


그림 8. 지점의 회전

어지지 않았거나 기초 지반의 변형으로 부등 침하나 회전이 발생할 경우 이에 대한 보정을 해 주어야 한다.

5.2 구조물 측점 관리

각 세그먼트는 타설, 긴장, F/T 이동의 과정을 반복하는데 각 세그먼트의 F/T 이동후의 레벨값이 설계값으로 계산되어 있고, 설계값과 비교되는 현장 실측값을 관리하게 된다. 현장에서 측량하는 관리점은 데크 슬래브 위에서 거더 중앙선상의 각 세그먼트의 끝단이 되는데 각 시공 단계마다 측량을 실시하게 되므로 측량 스태프가 항상 동일한 지점에 세워질 수 있도록 측점을 관리해야 한다. 이를 위해 관리점에 Bolt 또는 Marking Pig 등을 박아서 항상 동일한 지점을 측량하도록 해야 한다.

또한 측량시간은 매일 아침 해뜨기 직전에 실시하여 온도상승에 의한 구조물 레벨의 변화가 없도록 한다. 이는 데크 슬래브의 온도가 먼저 상승할 때 구조물의 레벨이 하향으로 변화하는 데 이러한 효과가 발생되기 전에 측량을 실시하기 위해서이다.

5.3 레벨 조정 방법

각 세그먼트 완성후에 구조물 레벨 측량을 실시하게 되면 설계값과 실측값 사이에 차이가 발생하게 된다. 이러한 차이를 최소로 줄이면서 세그먼트를 완성하기 위해서는 매 세그먼트의 기둥집 설치시 레벨값을 조정하는 작업이 필요한데, 그 조정량을 구하는 방법에는 2가지가 있다.

첫번째 방법은 차이값이 최대 20mm 이내일 때 적용할 수 있는 방법으로 마지막 세그먼트의 차이값이 근소하게 발생할 때 다음 세그먼트의 기둥집 설치 레벨을 당초 설계레벨과 일치시키는 방법이다. 이 방법은 상향 또는 하향 추세를 갖는 구조물의 경향을 수정할 수 없는 단점이 있는 반면에, 현장에서 신속하게 기둥집설치 작업을 진행시킬 수 있는 장점이 있다.

두번째 방법은 기 타설된 몇개 세그먼트에서의 설계값과 레벨 차이를 백분율로 구하여 그 평균값 만큼 반대 부호로 보정하는 방법이다. 이 방법은 구조물의 상향 또는 하향 추세를 수정할 수 있고 또 수정값이 완만하게 적용되므로 구조물의 종단 선형상 데크 슬래브 표면에서의 Kink 현상(표면 꺾임 현상)을 최소로 줄일 수 있는 장점이 있는 반면, 기둥집 설치 작업을 신속하게 진행시킬 수 없는 단점이 있다.

5.4 처짐 관리상의 문제점

5.4.1 시-소 현상

FCM 공법에 의한 캔틸레버 구조물의 시공시 대칭인 세그먼트 중 어느 한쪽의 세그먼트를 먼저 타설해야 하므로 이때 발생하는 불균형 모멘트에 의해서 캔틸레버 구조물 전체가 어느 한쪽으로 기울어 지려는 경향이 있다. 따라서 이에 대응하여 주두부 바닥 슬래브에 Sand Jack을 설치하여 구조물의 안정을 도모해야 한다.

실제 상동대교 현장에서 사용된 샌드 잭의 모래 다짐면적은 $1.5\text{m} \times 0.8\text{m} \times 2\text{EA}$ 로 설계되어 있으며, 이때 샌드 잭의 단위 면적당 압력은 $100\text{kg}/\text{cm}^2$, 변형율은 0.018에 달한다. 따라서 샌드 잭의 모래 두께 60mm에 대해서 $60 \times 0.018 = 1.08\text{mm}$ 의 변형을 초래하는 데, 주두부에 설치된 교차 상치에서 샌드 잭까지의 거리는 6.5m로 거리 비례를 고려하면 최종 세그먼트 끝단에서의 시-소 현상에 의한 처짐량은 9.5mm로 예측된다.

시-소 현상에 의한 상부 캔틸레버 구조물의 거동량을 최소화하기 위해서는 대칭되는 세그먼트의 타설 순서를 일정하게 유지할 필요성이 있다. 즉 Balanced Cantilever Structure는 종단 구배상 낮은 쪽의 세그먼트를 먼저 타설하고 Unbalanced Cantilever Structure는 무거운 쪽의 세그먼트를 먼저 타설하여 어느 한쪽의 모래가 항상 먼저 하중을 받도록 하는 것이 바람직하다.

5.4.2 Kink 현상

각 세그먼트 완성후에 설계값과 실측값 사이에 차이가 발생하면 점차적으로 수정하면서 설계값과 일치시켜야 하는데, 이때 각 세그먼트의 절점에서는 약간의 표면

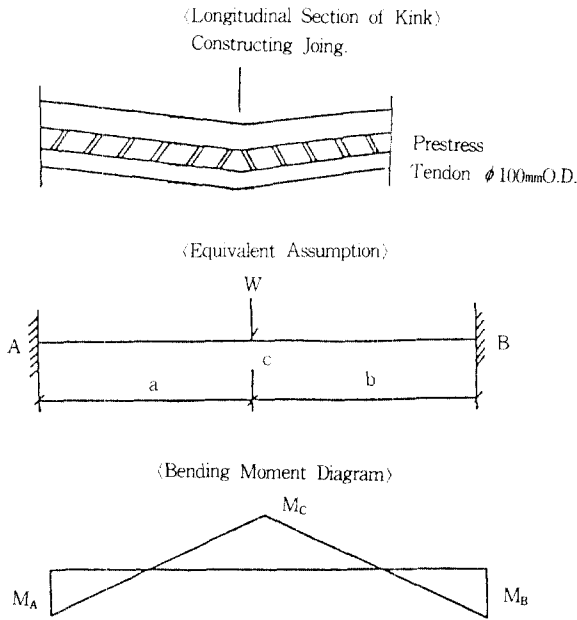


그림 9. Kink Effect

꺾임현상(Kink)이 발생된다.

데크 슬래브 내의 Tendon Profile이 그림 9와 같이 꺾이 지면서 데크 슬래브에 모멘트 효과를 유발하여 균열을 발생시킬 수도 있을 뿐만 아니라, 중단 Curvature를 완만하게 유지하기 곤란하게 된다.

5.4.3 처짐 오차

캔틸레버 구조물의 처짐 계산량과 실제 현장에서 구조물의 처짐량 사이에는 아래와 같은 원인들 때문에 오차가 발생한다.

- 1) 콘크리트 탄성계수의 변화
 - 2) 시멘트, 모래, 자갈의 품질 불균일
 - 3) 각 세그먼트 콘크리트의 재령 차이
 - 4) 크리이프 계수 가정치의 차이
 - 5) 건조 수축률 가정치의 차이
 - 6) 온도 및 습도 차이
 - 7) PS장재의 품질 불균일
 - 8) 세그먼트 거푸집 설치시의 측량 오차
 - 9) 콘크리트 표면 마감시의 시공 오차
- 이러한 오차를 최소화시켜서 정확한 시공을 하기 위해

서는 설계시 가정된 각종 계수값과 시공 Schedule이 실제와 부합되도록 현장 시험치에 근거하여 반복 수정 계산을 하여야 하고, 또한 현장에서의 시공관리를 더욱 개선하여야 한다.

6. 캔틸레버 시공시의 안정 System

6.1 개요

일반적으로 교각과 캔틸레버를 구성하는 상부구조가 일체로 시공되는 경우에는 구조물이 안정 상태를 이루나 그렇지 않은 경우는 적절한 지점조건을 주지 않으면 구조물의 시스템은 불안정이 된다. 예를 들면 시공후 Bearing의 상태가 Free한 경우에 시공중 별도의 장치를 하지 않으면 구조물은 성립되지 않는다. 따라서 시공중에는 다음과 같은 구속조건을 위한 안정장치가 필요하다.

- ① 교축방향의 Translation: dxx
- ② 교축직각 방향의 Translation: dzz
- ③ 교축에 대한 Rotation: θ_{xx}
- ④ 연직축에 대한 Rotation: θ_{yy}
- ⑤ 교축직각에 대한 Rotation: θ_{zz}

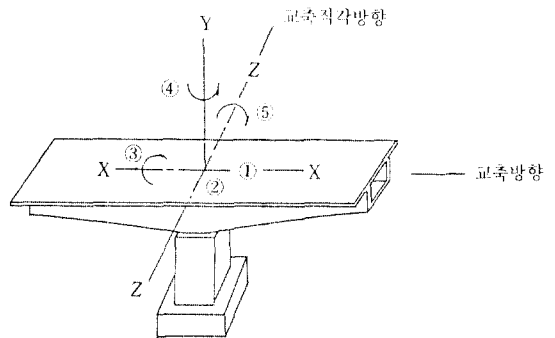


그림 10. 캔틸레버의 이동방향

6.2 안정점토를 위한 고려하중

시공시의 안정을 확보하기 위해서는 적절하고 합리적인 하중상태를 고려하여 설계하여야 한다.

- 1) 교축방향의 Translation: dxx

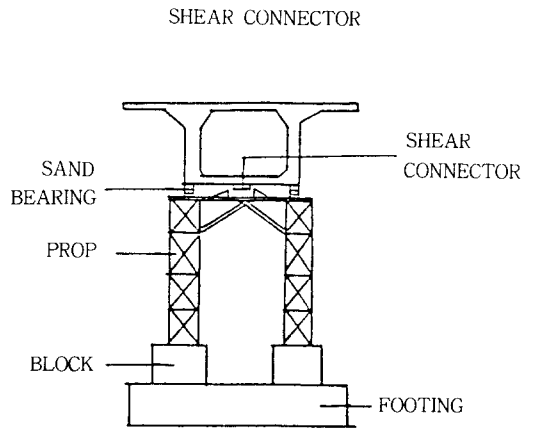
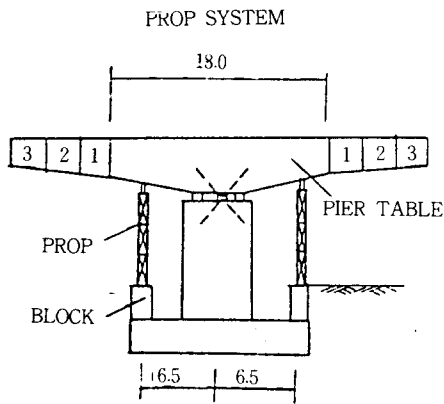
시공되는 콘크리트 구체의 2.5%가 교축방향으로 작용한다고 가정하였다.

- 2) 교축직각 방향의 Translation : dzz
 풍하중에 의해 발생되며 하중강도는 시공시 217kg/m²로 산정하였다.
- 3) 교축에 대한 Rotation : θ_{xx}
 작업중의 편심과 주형의 편기의 영향등이 있으나 이 값은 미미하며 Bearing으로 구속된다.
- 4) 연직축에 대한 Rotation : θ_{yy}
 양측 캔틸레버에 서로 다른 풍압을 작용시켜, 큰 쪽에 217kg/m², 작은쪽에 120kg/m²의 풍압으로 인한 회전 모멘

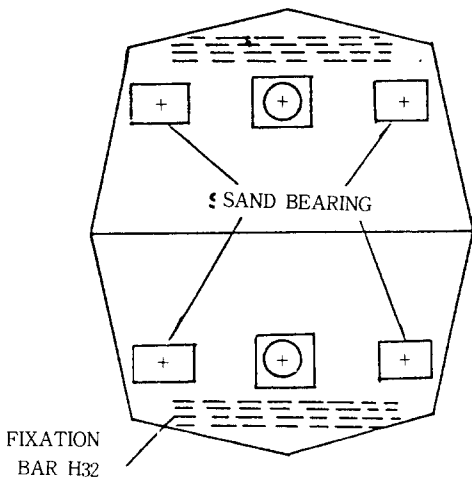
트를 고려하였다.

- 5) 교축직각에 대한 Rotation : θ_{zz}
 FCM 시공에서 가장 중요한 안정 System을 요구하며, 작용하는 하중은 다음과 같다.

- ① 양측 캔틸레버의 자중차이
- ② 시공제작오차(한쪽 캔틸레버에 2%의 오차산정)
- ③ 양단중 한쪽 Segment만 타설하는 경우
- ④ 작업하중(끝단에 20TON과 75kg/m²의 등분포 하중)



SAND BEARING SYSTEM



SAND BEARING SECTION

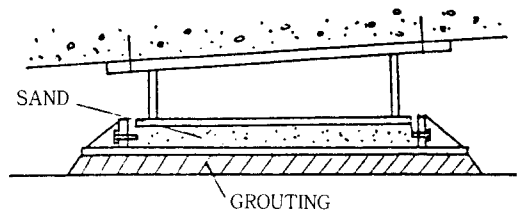


그림 11. 강동대교에 사용한 안정 System

⑤ 상향의 풍하중(한쪽에 71kg/m², 반대쪽에 39kg/m²의 상향 풍압 고려)

위의 값은 강동대교에 사용한 값으로 구조물에 따라 적절히 고려되어야 한다.

6.3 강동대교에 적용된 안정 System

강동대교에서는 위의 ①~⑤의 구속조건중 별도의 조치 없이 만족하는 것은 ②항과 ③항이다. 따라서 ①, ④, ⑤항에 대한 안정장치를 설치해야 한다.

만일 ③항과 ②항에서도 작용하는 하중에 대해 반반력이 발생 하거나 Bearing의 허용 수평 지지력을 초과할 경우 보강대책을 마련해야 한다.

본 강동대교에서 사용된 안정 System은 다음과 같다.

1) 주두부(Pier Table)시공시

- ①항: X형 철근 사용(H32×8EA)
- ②항: Bearing의 허용 수평 지지력
- ③항: Bearing의 간격
- ④항: X형 철근 사용
- ⑤항: Sand Bearing 사용(Pier당 4개)

2) 캔틸레버 시공시

- ①항: X형 철근 사용(H32×8EA)
- ②항: Bearing의 허용 수평지지력
- ③항: Bearing의 간격
- ④항: Shear Connector

⑤항: Prop System(e=6.5m 양측)

위에 사용된 안정 System은 강동대교에 사용된 것으로 각 교량의 경우에 따라 다른 System이 사용될 수 있으며 면밀한 검토를 통해 결정되어야 한다.

강동대교에 사용된 안정 System을 그림 11에 나타내었다.

7. 맺음말

강동대교는 한강상에 가설되는 고속도로용 장대교량으로서 경제적인 긴장재인 Low Relaxation Strand를 사용하여 국내 최초로 연속 강길 방식의 캔틸레버 공법에 의해 건설되고 있다.

설계시에는 Segment별로 분할 시공되는 PS 콘크리트 교량에서의 재료 특성의 변화 및 구조계의 변화를 정밀하게 고려할 수 있는 전용 해석 Program이 사용되었다.

시공시에는 재료의 품질 및 작업 Schedule에 대한 철저한 시공관리로 설계 가정에 부합되도록 총력을 기울이고 있다. 특히 완성후 상부구조의 종단 선형을 확보하기 위해 현장에서의 치짐관리에 만전을 기하고 있다.

본문에서 기술한 바와 같이 강동대교에서 적용되고 있는 여러가지 주요한 기술적인 내용들은 이후 유사한 교량의 건설에 효과적으로 응용될 수 있을 것이며 국내 교량건설 기술의 발전에 크게 이바지 할 것으로 기대된다.