



## 행주대교 확장공사 F.C.M. 구간 CAMBER 해석



박 경 준\*



장 신 찬\*\*

### 1. 서 론

행주대교 확장공사 구간은 강남북 구간은 추진 공법(Incremental Launching Method)에 의해 건설되고 중앙구간은 캔틸레버 공법(Free Cantilever Method, 이하 F.C.M.)에 의해 건설중인 교량으로 총연장은  $L=12@60(\text{I.L.M.})+2@50+120+2@50(\text{F.C.M.})+7@60(\text{I.L.M.})=1460\text{m}$ 이다.

초기 설계는 F.C.M.구간의 양 측경간이 동바리 공법에 의해 건설되는 것으로 설계되었으나 홍수 시 하천의 흐름을 고려하여 가설시 임시 사장재에 의해 측경간부를 타설하는 것으로 변경되었다. 그후 시공과정 및 기타 여건의 변화로 인해 측경간부를 추진공법에서 사용된 추진코(launching nose)를 사용하여 타설하는 안으로 변경되어 camber의 재검토가 이루어졌다.

행주대교는 도면에서 보는 바와 같이 비대칭의 경간으로 분할되어서 P13, P18 통과시 하부공과 상부공을 연결하는 경우 부반력이 발생하게 된다. 따라서 상부공 건설시 발생할 부반력을 최소화하고 상부공과 하부공의 간섭이 없도록 적절한 단

계에서 상부공과 하부공을 연결하도록 검토하였다.

F.C.M. 방식에 의해 설계되는 프리스트레스트 콘크리트 박스거더 교량의 경우는 타 공법에 의해 건설되는 교량과 비교해 종단면상의 각변화 외에 평면상의 각변화의 영향, 즉 3차원의 강선 배치에 의한 영향이 큰 편이다. 보통은 평면의 변화는 무시하고 2차원에 의한 프리스트레싱의 효과만을 고려하나 여기에서는 그 영향을 고려하여 무시하였을 경우와 비교해 보기로 한다.

Camber 계산에 사용된 프로그램은 Austria TDV사에서 개발된 교량 전용 해석 프로그램인 RM-space Frame의 최신 version인 Rev.7.30이 사용되었다.

본 기고에서는 F.C.M. 교량의 camber 해석에 대해 한 예를 들어 기술적인 내용을 기술하여 토목 기술자, 특히 교량 기술자들의 이해를 돕고자 한다.

### 2. Camber

F.C.M.으로 건설되는 교량에 있어서 각 segment

\* 정회원·비티 컨설턴트(주), 이사·토목구조기술사  
\*\* 디바다 시스템즈 코리아(주), 지사장

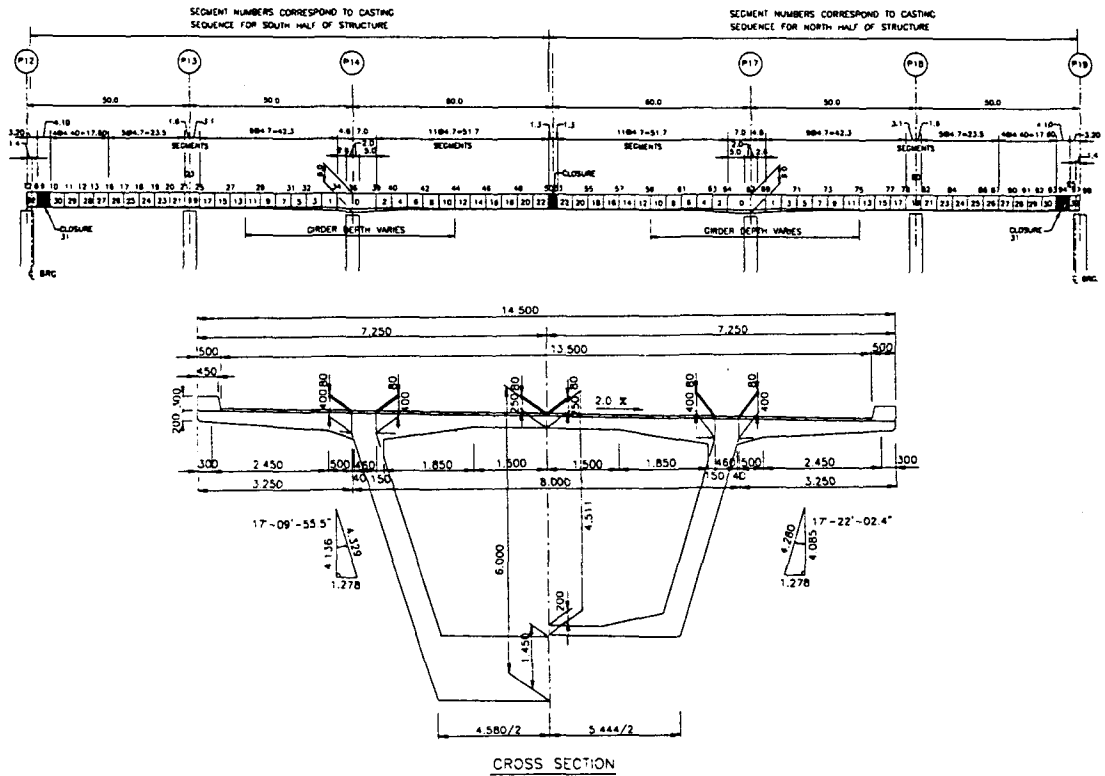


그림 1 행주대교 단면도

의 시공시로부터 service상태에 이르기까지는 다음과 같은 많은 상황들이 각 segment의 변위에 영향을 미치게 된다.

- 기 시공된 콘크리트의 크리프 및 건조수축
- 프리스트레스의 손실
- 새로운 segment의 시공
- 새로운 tendon의 인장
- bridge builder(또는 form traveller)의 이동
- key segment의 연결
- 포장 및 방호벽등의 영향
- cantilever 연결후 단면력의 재분배

Camber의 산정은 어떤 segment의 콘크리트 타설을 하기전 bridge builder의 level과 장기손실이 일어난 후 같은 위치에서 최종 level과의 차를 구하는 것으로 산술적으로는 모든 시공단계에서 일

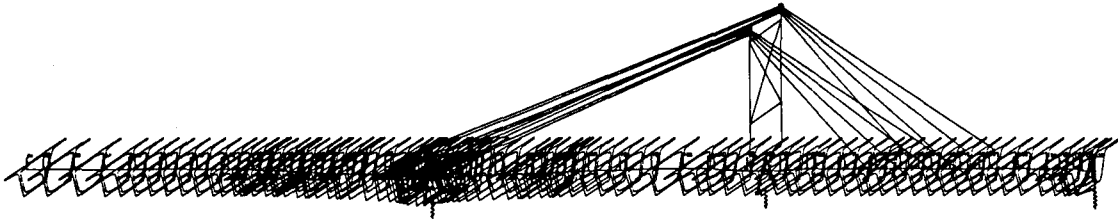
어난 처짐을 역으로 더한 값이 camber량이다.

### 3. 변경안 - 가설시 임시 사장교 형식

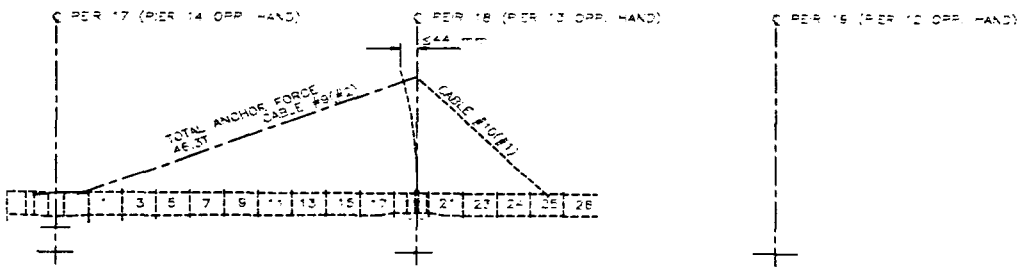
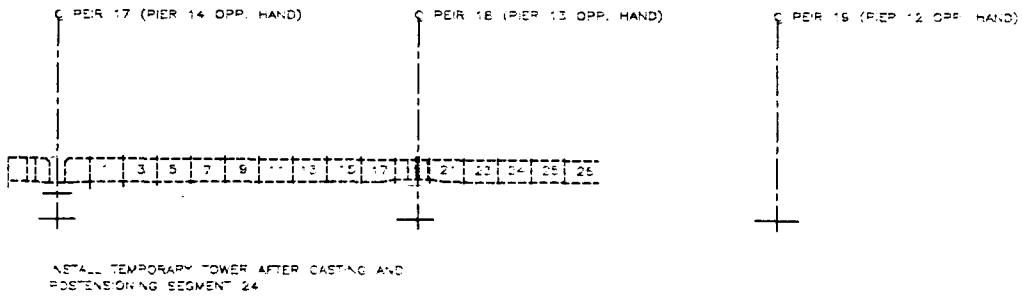
측경간부를 staging을 사용하지 않고 시공하기 위해서는 상부에 추가의 tendon이 필요하다. 그러나 가설시 필요한 프리스트레싱이 완성시에 구조계에 영향을 미치게 되므로 이를 피하기 위해 측경간부를 임시 사장재를 설치하여 가설시 발생하는 부모멘트에 저항하도록 한 안이다.

교량 완성후에는 임시 사장재를 제거하고 측경간 하부에 프리스트레스를 도입한다. 이와 같은 형식은 국내 처음 소개된 방법으로 외국에서도 드물게 사용되는 방법이다.

아래 그림에서 보는 바와 같이 한조의 사장재를 세 번에 나누어 긴장력을 도입하며 이에 따른 단면력도는 아래와 같다.



Temporary Staying Cable Modelling



STEP 1.2  
 -STRESS EACH BAR OF CABLE #9 AND LOCK,  
 ANCHOR FORCE=11.6T

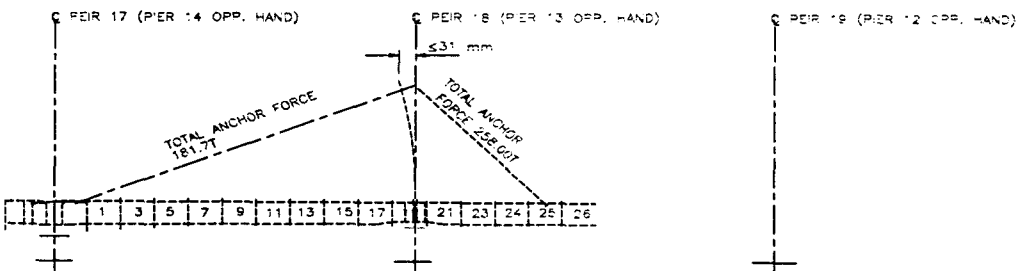


그림 2 임시 사장교 단면력도

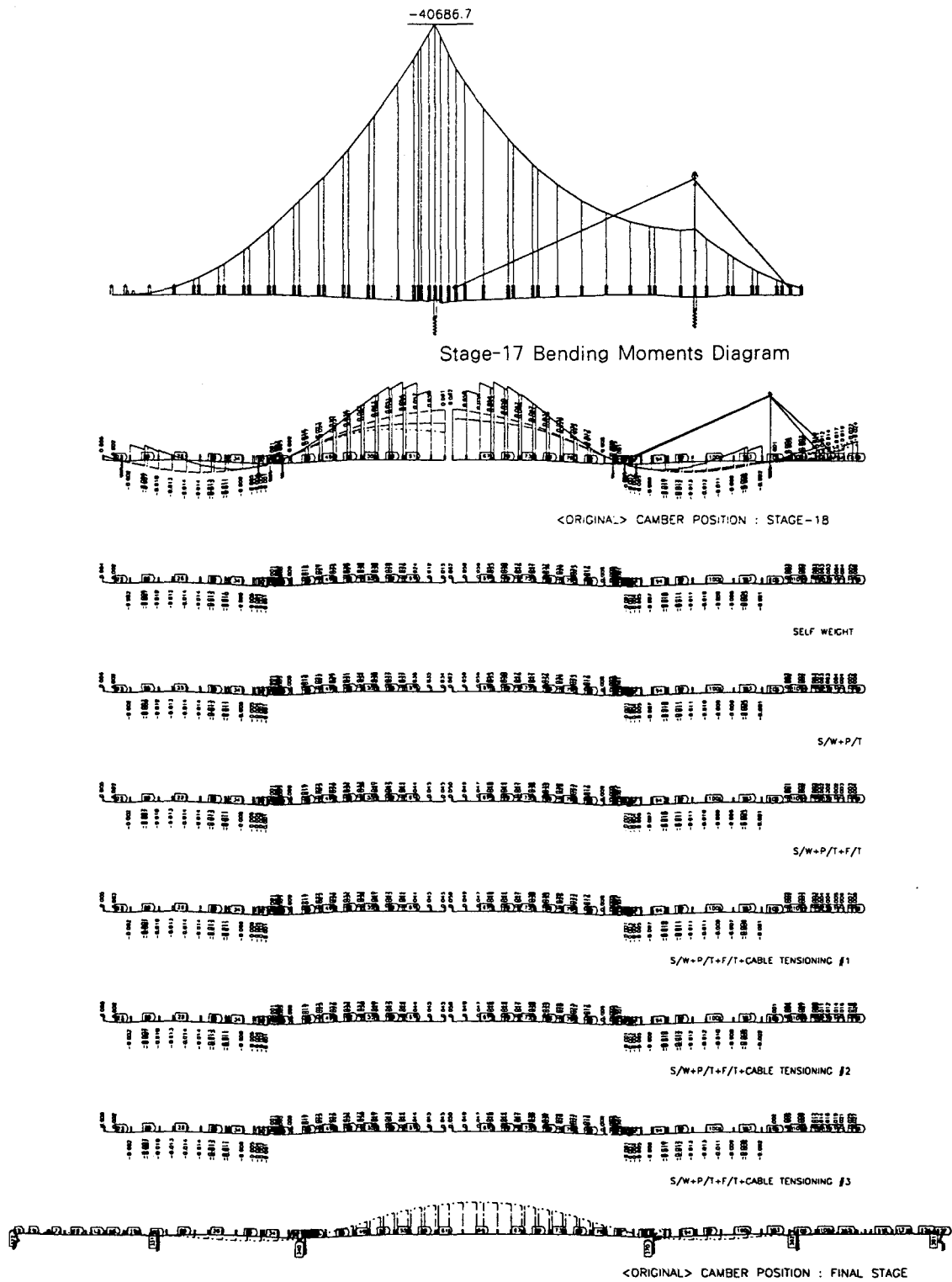


그림 3 가설시 임시 사장교 형식 camber graph

시공 단계별 해석을 수행한 결과 얻어진 camber graph 중 일부를 첨부하였다.

#### 4. 최종안 - 축경간부 Staging

축경간부를 압출이 완료된 launching nose를 이용하여 시공하는 안으로 일반적인 F.C.M. 시공 방법과 동일하다.

행주대교의 특징은 주두부를 최소로하여 bridge builder를 한 기 설치하여 첫 segment를 타설, bridge builder 이동후 반대 방향에 나머지 bridge builder를 설치하여 각 segment를 순차적으로 타설해나가는 방법을 채택하였다. 따라서 모든 segment의 타설이 비대칭으로 시공되는 형식이다. 상부 tendon의 배치도 이를 고려하여 비대칭으로 배치가 되었다.

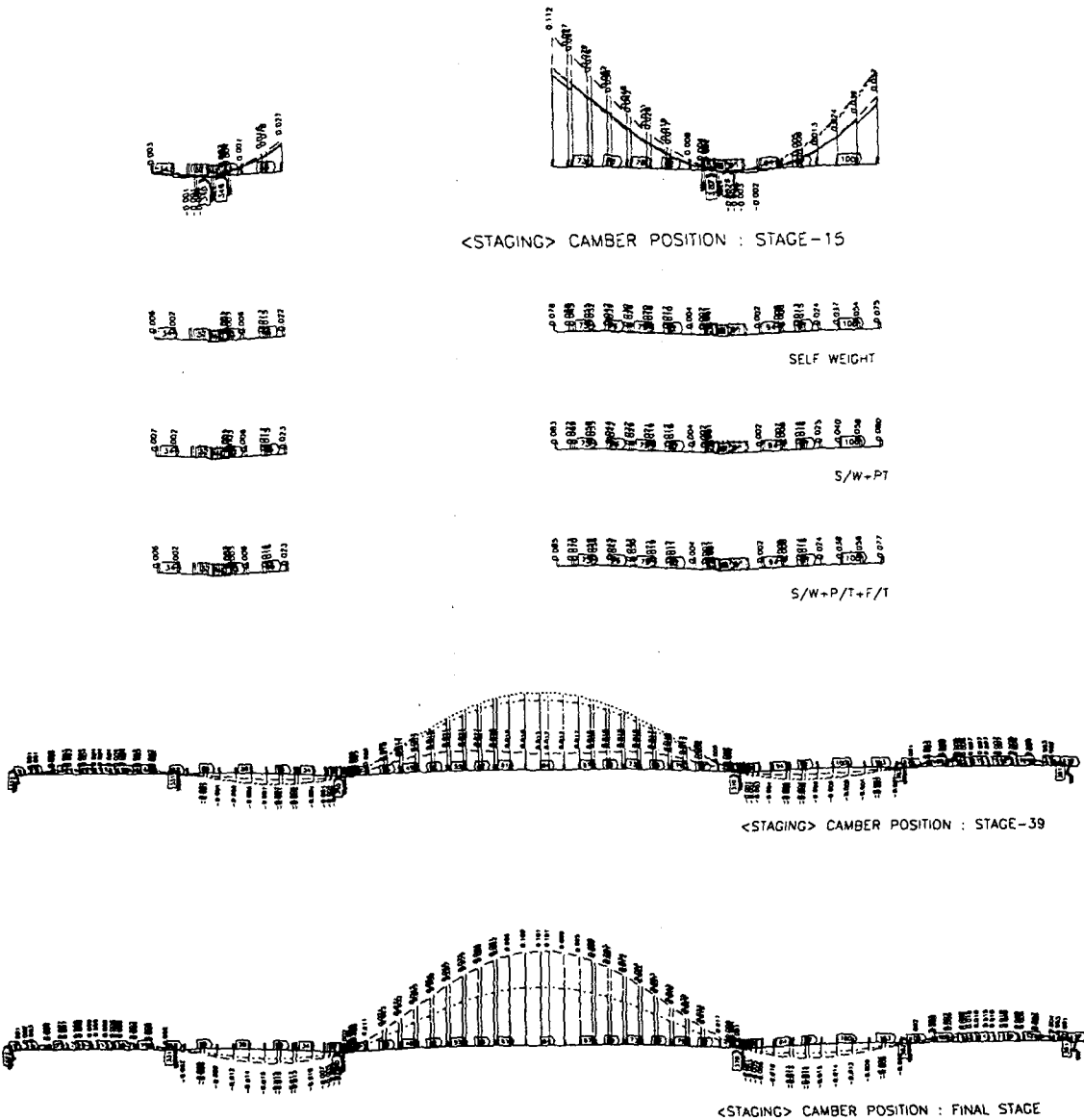


그림 4 축경간부 staging camber graph

Key segment의 연결 순서는 우측경간→좌측경간→중앙부 순서이고 연속화에는 표준 segment 타설에 사용된 기존 bridge builder를 사용하는 안이 채택되었다.

각 시공단계별 camber graph중 일부를 그림 4와 같이 첨부하였다.

**5. Tendon의 2차원 및 3차원 배치의 결과**

프리스트레스트 콘크리트 박스 교량, 특히 F.C.M 방식에 의해 설계된 교량의 tendon 배치는 3차원의 선형을 갖는다. 캔틸레버 가설시 발생하는 부 모멘트에 저항하기 위한 상부 강선의 배치는 가설 길이가 길어질수록 곡률의 변화가 커지게 된다.

설계시에는 보통 평면 선형은 무시하고 종단 선형만 고려한 해석을 수행하는 추세이나 본 검토에서는 tendon의 2차원과 3차원 배치에 따른 결과를 비교해 보았다.

교각부에서의 유효 프리스트레스 힘 및 응력을 비교한 결과는 표 1과 같다.

표 1 유효 프리스트레스 힘의 비교

프리스트레스 힘	2차원 배치	3차원 배치	비율(%)
즉시손실 발생후	13779	13688	97.84
장기손실 발생후	13215	12942	97.93

크리프의 영향은 크리프 작용시의 하중 상태의 영향을 받는다. 따라서 최종 결과치는 주어진 하중 조건 등에 따라 틀리기 때문에 tendon의 2차원, 3차원 배치에 의한 영향이 정확히 어느 정도라고는 명기 할 수 없지만 본 교량의 경우에는 교량 완성후 교각부에서 크리프 종료전에 3차원 배치에 의한 결과가 2차원 배치에 비해 86.85%, 크리프 종료후 90.64%의 비율로 압축응력이 감소하였다.

대상교량에 경우에 대략 10% 정도의 차이가 있다고 볼 수 있으며 이는 프리스트레싱에 의해 도입된 프리스트레스 힘의 차이 2~3% 정도에 비해 증가되었음을 알 수 있는데, 이는 복합적인 하중 작용에 의한 것이기 때문에 단정 지을 수는 없고 다른 교량의 경우에도 적용되지 않는다.

국내 프리스트레스트 콘크리트 교량의 최근 설계 추세를 살펴보면 철도교(고속전철 포함)의 경우는 완전 프리스트레싱(full prestressing)의 개념으로 설계되고, 도로교의 경우는 부분 프리스트레싱(partial prestressing)의 개념으로 설계된다. 따라서 2차원의 tendon배치에 의한 결과값의 여유가 적다면 3차원 tendon배치를 고려했을 경우 허용한계를 초과하는 경우도 발생할 수 있으므로 검토시 주의가 필요하다.

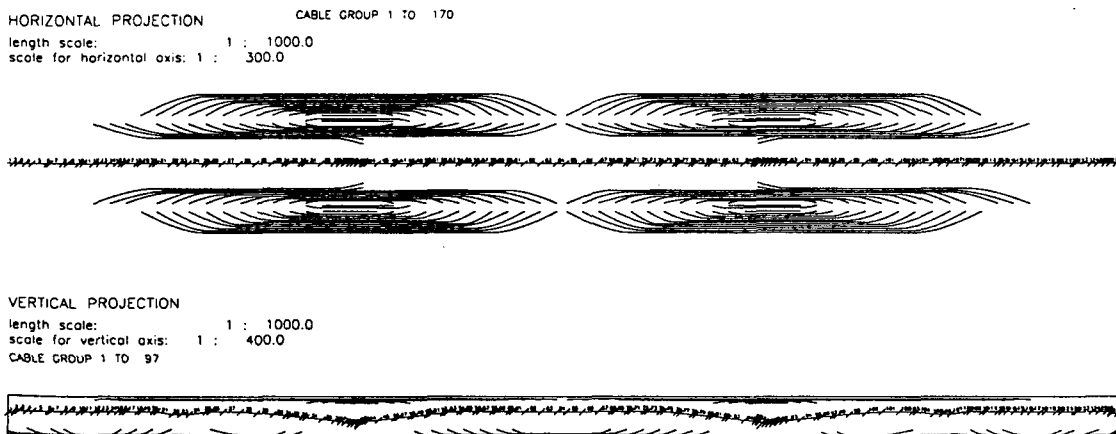
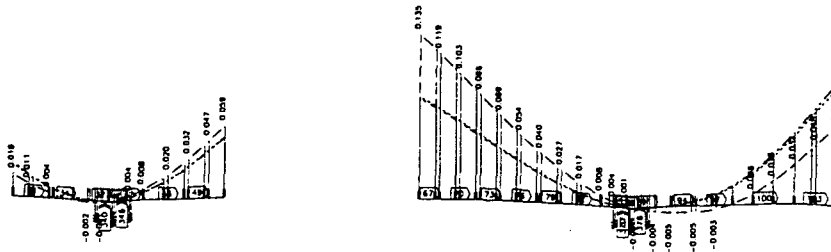


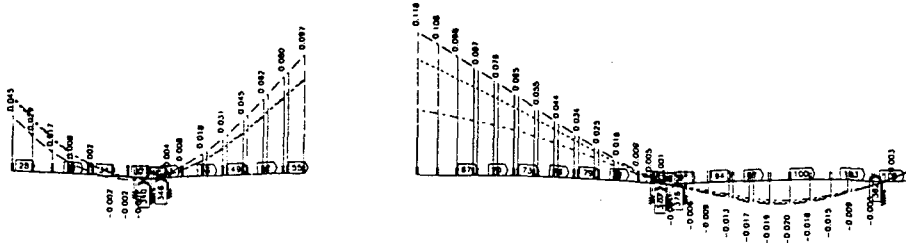
그림 5 Tendon의 2차원과 3차원 배치 결과

표 2 손실 발생후 지점부의 응력

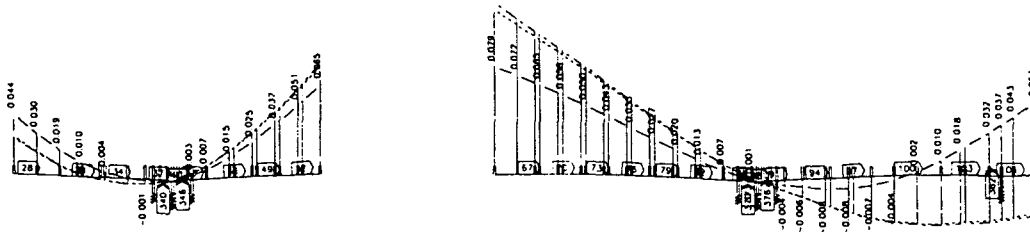
		2 차 원		3 차 원		비 율 (%)	
		상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
프리스트레싱	Primary	-192.8	57.8	-188.7	56.5	97.87	97.75
	Secondary	-7.7	7.5	-7.9	7.7	102.60	102.67
크리프 및 전조수축	Primary	7.8	-2.4	7.5	-2.3	96.15	95.83
	Secondary	-6.2	5.8	-6.4	6.1	103.22	105.17
TOTAL	크리프 전	-25.1	-89.3	-21.8	-90.0	86.85	100.78
	크리프 후	-26.7	-83.7	-24.2	-83.9	90.64	100.24



(a) Segment-19 타설시 camber



(b) Segment-23 타설시 camber



WRONG CAMBER POSITION : STAGE-22 (SUPERSTRUCTURE IS BELOW THAN TOP OF PIER)

(c) Camber position이 교각 상면 아래에 있는 경우

그림 6 중간 교각 통과시 처리 방안

## 6. 중간 교각 통과시 처리 방안

중간 교각 P13, P18 통과 시 좌우 캔틸레버 길이가 평형이 안됨으로 인해 segment 20, 22 타설 시 segment-19 위치(P13, P18)에서 상향의 처짐이 발생하게 된다. 설계 및 시공시 반영된 교량 받침(pot bearing)의 특성상 부반력을 저항할 수 없으므로 실제 시공시 상향의 처짐을 허용하여야 한다.

중간 교각부와 상부공의 연결 시점에 따라 부반력이 발생할 수도 있고 그 시점이 늦게되면 연결부위의 camber 값이 기준선 이하, 즉 교각부 상면이하로 되는 경우도 발생되므로 적절한 시공 단계에서 상부공과 중간 교각부의 교량 받침과 연결시켜 주어야 한다.

본 교량의 경우는 segment 23을 타설한 후 상부공과 연결하는 것이 가장 바람직한 것으로 판단되어 이를 추천하였으며, 이를 근거로 현장에서 camber에 적용하여 시공 중이다.

## 7. 결 론

보통의 F.C.M. 방식에 의해 건설되는 교량과 다른 특성을 갖는 행주대교에 대해 camber를 검토해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

Tendon의 3차원 선형을 고려하는 경우는 도입된 프리스트레스 힘의 차이가 2차원 선형의 값과 비교하여 약 2~3%정도 차이로 보통의 경우는 무시할 수 있을 정도이나 응력의 상태가 여유가 없는 경우에는 고려를 해야 할 것으로 보인다. 크리프를 고려할 장기 손실까지 고려할 경우는 크리프가 고려될 때의 응력상태에 따라 그 값이 변하기 때문에 정량적으로 표시할 수는 없지만, 대부분 교량의 경우는 프리스트레싱의 영향보다 자중의 영향이 크기 때문에 불리한 쪽의 결과가 얻어진다. 따라서 장기손실까지 고려한 경우는 3% 이상의 차이를 보이게 된다.

보통 구조물을 해석하는데 있어 정밀도의 오차 범위는 공학적인 범주에서 5% 정도로 보는 것이

일반적이므로 tendon의 3차원 배치를 반드시 고려해야 하는가의 문제는 해당 구조물의 중요도 및 그 응력의 여유분등을 고려하여 결정하는 것이 적절하다고 판단된다.

교각을 중심으로 양측이 비대칭으로 건설되는 경우에는 지간이 짧은 쪽의 교각과 상부공과의 접합부분의 처리에 세심한 주의를 기울여야 한다. 본 교량의 경우는 여러번의 계산 결과 부반력의 처리 및 camber 값의 적용이 가장 적절하다고 판단되는 segment 23을 타설한 직후에 상부공과 교각을 연결하는 것으로 계산하였다.

모든 프리스트레스트 콘크리트 박스 교량, 특히 F.C.M.으로 건설되는 교량은 시공 조건, 시공 순서 및 제반 여건에 따라서 camber의 적용에 있어서 세밀한 주의를 기울여야 한다. 특히 본 교량과 마찬가지로 복잡한 여건이 있는 경우에는 camber 값을 현장의 조건에 맞추어야 하므로 camber 계산 전에 현장여건을 충분히 고려한 후 계산에 임하여야 한다.

## 참 고 문 헌

1. TDV, RM SPACE FRAME Analysis Reference, 1999
2. DSI Korea, "행주대교 확장공사 F.C.M.구간 Camber 검토 보고서", 1999
3. 건설부, 도로교 표준 시방서, 1996
4. 건설부, 콘크리트 표준 시방서, 1996
5. Jacques Mathivat, *The Cantilever Construction of Prestressed Concrete Bridges*, John Wiley & Sons, 1979
6. Hubert Rusch 외 2인, *Creep and Shrinkage - Their Effect on the Behavior of Concrete Structures*, Springer-Verlag, 1983
7. A. M. Neville 외 2인, *Creep of plain and structural concrete*, Construction Press, 1983
8. Michael P. Collins 외 1인, *Prestressed Concrete Structures*, Prentice Hall, 1991 