

특집

콘크리트 교량

콘크리트 장대교량의 설계 및 건설기술 Design and Construction Technology of Concrete Bridges



이 승 우*



조 재 병**

1. 머리말

지난 1950년대 부터 유럽을 중심으로 개발되기 시작한 PS 콘크리트 교량은 그간 새로운 설계법과 시공기술들이 개발되고 발전되어 오늘날 다른 어느 형태의 교량보다 폭넓게 채택되고 있다. 이는 현대교량에서 요구되고 있는 미적인 측면에 부합되고 기계화, 공정의 표준화 등을 통하여 시공성과 품질을 높일 수 있으며 노임상승에 대해서도 일반적으로 경제성이 있기 때문이다.

국내에서는 1981년에 원효대교가 FCM 공법에 의한 PS 콘크리트 박스기둥로 시공된 이후 신공법을 사용한 많은 PS 콘크리트 교량들이 건설되었거나, 현재 시공중에 있다.

PS 콘크리트 교량건설에 많이 적용되는 신공법으로는

- MSS (Movable Scaffolding System)
- FCM (Free Cantilever Method)
- ILM (Incremental Launching Method)
- PSM (Precast Segment Method)

등이 있다. 본 고에서는 종래의 동바리에 의한 현

장타설 공법과는 달리 기계화 시공으로 전환하고 있는 신공법에 의한 교량의 설계와 건설기술에 대해 약술하고자 한다.

2. 이동식 비계공법(MSS : Movable Scaffolding System) 공법

이동식 비계를 이용하여 교량의 상부구조를 한 경간씩 시공하는 방식이다. 고도로 기계화된 비계와 거푸집을 사용하므로 진행이 빠르고 안전한 시공을 할 수 있다. 반복작업으로 소수의 인원으로 도 시공이 가능하며 시공관리가 용이하고, 노무비를 절감할 수 있다. 그러나, 이동식 비계의 중량이 비교적 무겁고, 대형이므로 교각의 높이가 큰 다경간의 교량이나 전용가능성이 있는 경우에 적용하는 것이 바람직하다.

지금까지 여러 종류의 이동식 비계가 개발되고 사용되어 왔다. 교량상부의 단면에 따라서 적절하게 개발되었으므로 형상이 다양하고 구조상세가 다르나 원리는 거의 같다. 한 경간의 상부구조에 콘크리트가 타설되고 프리스트레싱 힘의 도입작업이 끝나면 상부구조의 콘크리트 면에서 거푸집을 분리한 후, 교량의 축방향으로 다음 경간의 교

* 쌍용건설(주) 부사장, 공학박사

** 정회원, 쌍용건설 기술연구소, 부장, 공학박사

량 상부구조를 시공할 위치에 비계보와 거푸집을 이동시켜 다음 작업을 계속할 수 있도록 한다.

이동식 비계의 비계보는 강 트러스 형태, 혹은 상자형 강구조 형태로 개발되어 시공될 상부구조의 위에, 혹은 아래에 위치하게 된다. 비계보의 위치에 따라 이동식비계 공법은 거푸집이 비계보에 매달려 있는 형태의 상부이동식 (Hanger Type) 과 거푸집이 비계보 위에 받쳐져 있는 형태의 하부이동식 (Support Type)으로 구분할 수 있다.

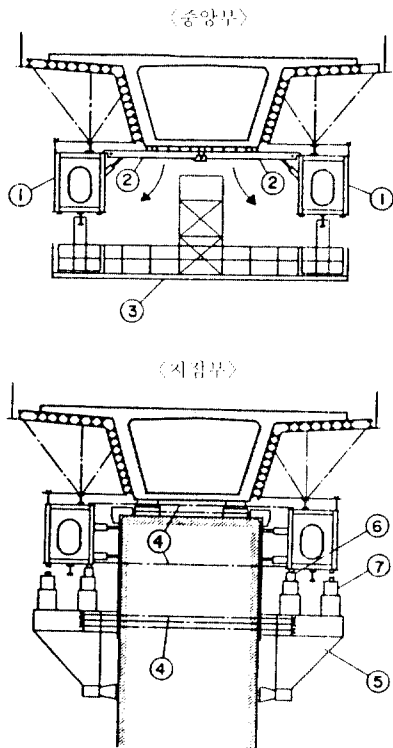
상부이동식 비계 공법에서는 비계보가 이미 시공된 상부구조물 위에서 두 지점으로 지지되어 있는 외팔보 형태로 이동하여 비계보의 전방 단부가 다음번 교각에 지지되도록 한다.

하부이동식 비계공법으로는 3개의 비계보로 구성된 계산자 (Slide Rule)방식이 많이 사용되고 있다. 비계보는 계산자의 원리와 같이 가운데의 비계보가 다음번 교각의 중앙부에 의해 지지될 때

까지 이동하여 지지된 후, 양 바깥쪽의 비계보가 다음번 상부구조가 시공될 구간까지 이동한다. 이 공법으로 시공된 교량의 교각 상부는 중앙 비계보가 이동할 수 있도록 중앙부를 비워놓고 양옆에 두개의 기둥을 세워 놓은 모양으로 되어 있다.

1실 PS 콘크리트 교량용으로는 2개의 상자형 강구조 보로 되어 있는 이동식 비계가 사용된다 (그림 1 참조). 콘크리트 타설과 프리스트레싱 작업이 완료되면 거푸집이 유압장비에 의해 콘크리트 면으로부터 분리되고, 이어서 비계보와 거푸집이 총방향으로 이동한다. 비계보의 뒷쪽은 시공된 상부구조의 상판 위에서 위로 움직일 수 있는 후방 크레인차에 매달려 있고 앞쪽은 교각에 고정되어 있는 지지 브라켓트에 의해 지지된다. 비계보가 전진하여 비계보 선방의 연결라멘이 다음번 교각위에 오면 이곳에 지지되도록 하고, 지지 브라켓트를 풀어 다음 교각으로 이동시킨다. 지지 브라켓트를 교각에 고정시킨 후, 이동식 비계와 거푸집을 다음 시공할 경간의 위치로 이동시킨다. 각 시공 단계별 이동식 비계보의 구조 시스템은 그림 2와 같다.

이와같은 이동식 비계 공법에 사용되는 비계보



① 비계보 ② 바닥거푸집 ③ 적임대 ④ 인장용강봉
⑤ 브라켓트 ⑥ 유압잭 ⑦ 볼리

그림 1 이동식 비계공법

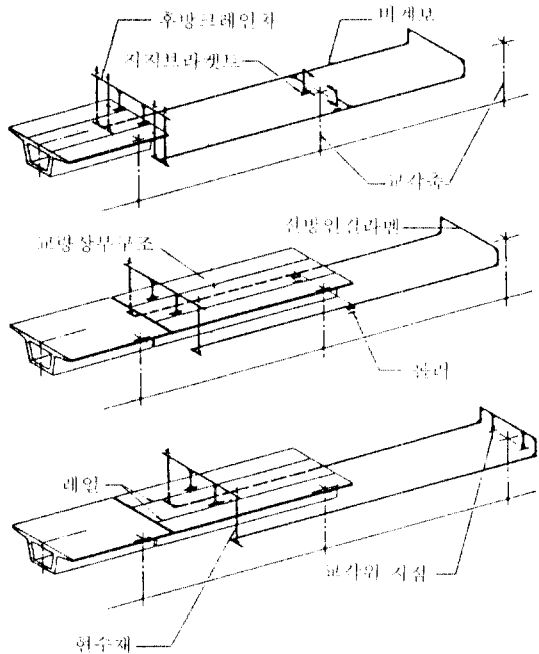


그림 2 이동식 비계보의 구조 SYSTEM

의 무게를 줄이기 위해서 교량상부구조의 하부슬래브와 벽체를 먼저 시공하고 상부슬래브는 나중에 시공하는 공법이 개발되었다. 이 공법에 사용되는 이동식 비계 시스템은 4개의 강구조 트러스 비계보로 구성되어 있는데, 2개의 비계보는 상부형 단면의 하부 슬래브와 벽체를 시공할 때 사용되며 다른 2개의 비계보는 상부슬래브를 시공할 때 사용된다. 콘크리트 타설과 프리스트레싱 작업이 끝나면 첫번째 강간의 비계보를 횡방향으로 이동시켜 두번째 강간의 비계보와 서로 연결하고, 한 강간 앞으로 이동시킨다. 새로 이동된 첫번째 강간에서 비계보는 다시 횡방향으로 이동하여 교량 상부구조의 하부슬래브와 벽체를 시공할 수 있게 위치로 올려 놓으면 된다. 이때 이미 시공된 하부슬래브와 벽체구조물은 상부슬래브 콘크리트를 타설할 때 발생하는 하중을 비계보와 같이 받아 교각에 전달하는 역할을 한다. 이를 타설할 때 발생하는 하중을 비계보와 같이 받아 교각에 전달하는 역할을 한다.

이동식 비계공법에 의한 교량의 설계개념은 가설 구조물에 의해 주부재가 지지된 상태에서 상부구조를 시공하므로 일반적인 동바리 공법과 비슷하다.

3. 외팔보 공법(FCM : Free Cantilever Method) 공법

원래 독일의 Dyckerhoff & Widmann 사에서 개발한 FCM 공법은 이미 시공된 교각의 양쪽으로 평형을 이루는 상부구조 끝부분에서 이동식 거푸집차를 이용하여 순차적으로 다음번 세그먼트를 연결 시공하며 전진하는 공법이다. 한 세그먼트의 길이는 보통 3.0~5.0m로 이동식 거푸집차의 무게와 경제성을 고려하여 결정한다. 프리스트레싱 케이블은 각 세그먼트 마다 추가로 배치하여 긴장시키고 세그먼트 연결부의 철근은 길이음으로 처리한다. 시공단계에서 상부구조는 교각을 중심으로 캔틸레버 구조체가 되며, 최대 부 모멘트를 발생하는 캔틸레버 보의 길이는 교량강간의 절반이다.

FCM 공법으로 시공한 교량의 완공 후 구조형

식은 활절 배치 라멘구조와 연속 상판구조로 분류할 수 있다. 활절 배치 라멘구조는 상부구조를 캔틸레버 형식으로 시공한 뒤 중앙 이음부를 활동형 활절(Sliding Hinge)로 처리한 것이며, 연속 상판구조는 중앙 이음부를 현상타설 콘크리트 등을 사용하여 연결시키고 PS 강선을 추가로 보의 하부에 배치하여 프리스트레싱 힘을 도입하므로써 두개의 캔틸레버 구조를 완전 일체로 만든 것이다.

활절 배치 라멘구조 형식은 내하력이 작고, 연결처짐이 크고, 강재의 리랙세이션이나 콘크리트의 크리이프에 지나치게 민감하게 거동하는 등 구조적으로 불리한 점이 많아서 근래에는 보다 유리한 연속 상판구조 형식을 주로 사용하고 있다.

연속 상판구조 형식의 경우, 두 개의 캔틸레버 보가 강간의 중앙부에서 연결되면 구조시스템이 바뀌면서 상부구조에 작용하는 단면력도 변한다. 이에 따르는 문제점은 시공단계의 적절한 프리스트레싱 텐던의 배치, 사용단계를 고려한 프리스트레싱 텐던의 추가 배치, 그리고 교각부분의 상부구조 높이로 인한 구조시스템 특유의 잇짐 등을 통해서 해결하여야 한다.

또한 연속 상판구조로 상부구조를 설계하면 교축방향으로 큰 신축 변형량이 발생한다. 이로 인한 구속응력이 과대하게 발생하지 않도록 교각 위에 미끄럼식 교좌장치(Sliding Bearing)나 탄성 교좌장치(Elastomeric Bearing)를 설치하고 교량상부에 적절한 신축이음장치를 사용하여 신축량을 흡수할 수 있도록 하여야 한다.

FCM 공법에 의한 콘크리트의 타설은 이동식 거푸집차를 이용하여 이루어진다. 이동식 거푸집차는 메인프레임, 횡방향 트러스, 현수재, 거푸집, 앵커, 레일, 유압프레스 등으로 구성되어 있는데, 콘크리트 타설 시 처짐이 허용범위 이내가 되도록 충분한 강성을 가져야 하며 총 중량은 콘크리트 타설중량의 55~75% 정도로 설계하여야 한다. 메인프레임은 교량 상부구조의 벽체 윗부분 상부슬래브에 위치하고, 2개의 지점에 고정되어 있는 캔틸레버 구조 시스템을 이루고 있으며, 교량의 상판에 설치된 레일 위로 이동할 수 있도록 되어 있다. 횡방향 트러스는 현수재에 매달려 있는 거푸집의 자중과 콘크리트 타설시 발생하는 하중을 매

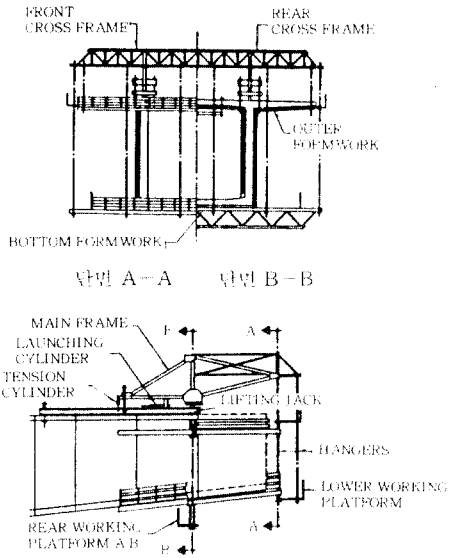


그림 3 이동식 거푸집차

인 프레임에 전달하는 역할을 한다. 그림 3 은 이동식 거푸집차의 한 예를 보여주고 있다.

최근에는 미리 조립한 철근케이지의 설치를 쉽게 하기 위해서 거푸집차의 메인프레임을 교량 상부구조의 벽체와 상하부슬래브의 아래면에 고정하는 방법이 사용되기도 한다.

FCM공법의 변형된 공법으로서 이동식 거푸집차 이외에 추가로 보조기둥을 사용하는 공법이 있다. 이와같은 방법은 보통의 FCM 공법에 비하여 인력과 자재 등을 기사용된 교량상부와 보조기둥을 이용하여 작업하는 곳까지 쉽게 운반할 수 있으며, 캔틸레버 상부구조를 완성한 후, 이동식 거푸집차도 다음 작업이 이어지는 교각 위로 다른 장비의 도움없이 이동시킬 수 있다. 또한 캔틸레버 상부구조 시공 시 상부구조의 수평을 유지하기 위하여 보조 받침대 대신 보조기둥을 이용할 수 있다.

시공단계에 캔틸레버 구조 시스템으로 되어있는 상부구조는 교각 윗부분서 큰 부모멘트를 받게 된다. 이 부모멘트의 크기를 줄이기 위하여 여러 가지 변형된 FCM 공법이 개발되었다. 가교각을 설치하거나 혹은, 위에서 언급한 바와 같이 보조기둥을 사용하는 공법이 그것이다. 다른 방법으로

는 교각 위에 보조기둥을 세우고 케이블을 상부구조와 연결하면서 세그먼트를 시공하는 공법이 있다. 보조기둥과 인장 케이블을 사용한 이 공법은 한동안 사용된 적이 있으나 경제성이 없어 오늘날에는 거의 사용되고 있지 않다. 또 다른 공법으로는 상부단면중 일부 중심부분만을 FCM 방법으로 시공하여 연속보로 완성시키고 나머지 부분은 이미 시공된 중심부분으로 이루어진 연속보 위에서 이동하는 작업차를 이용하여 시공한다.

4. 연속 압출 공법(ILM : Incremental Launching Method) 공법

ILM 공법은 일반적으로 교대 뒷부분에 위치한 작업장에서 교량상부 구조물을 한 세그먼트씩 제작하고, 유압식 압출재를 이용하여 앞으로 밀어내는 작업을 반복하므로써 상부구조를 완성시키는 공법이다(그림 4 참조). 이 공법을 적용하기 위해서는 교량 상부구조의 평면과 종단면이 직선 혹은 일정한 곡률로 되어 있어야 한다.

ILM 공법의 핵심부는 작업상인데 작업장은 거푸집 장비와 압출장치 등으로 구성되어 있다. 바깥쪽 거푸집은 아래로 내릴 수 있으며, 내부 거푸집은 교축방향으로 이동 가능하게 되어 있어서 압출작업 후 다시 뒤로 이동한다. 압출작업은 교대 위에 설치된 압출재를 이용하여 시공된 세그먼트를 위로 들어올려 그 무게에 의한 마찰로 수평힘을 전달하므로써 이루어지는 방식과(그림 5 참조) 제작된 세그먼트 뒷쪽에서 유압재로 교량 상부구조를 압출하는 방식이(그림 6 참조)있다. 상부구조를 압출할때에는 별도로 제작한 미끄럼 받침을 사용하는데 교량상부의 압출이 완료되면 교좌

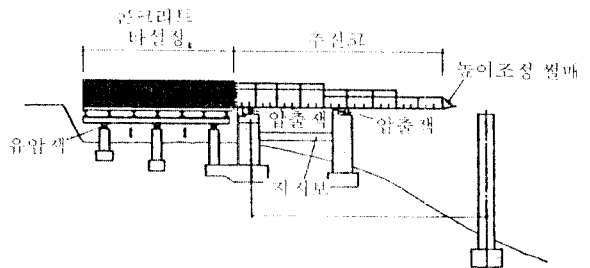


그림 4 압출공법

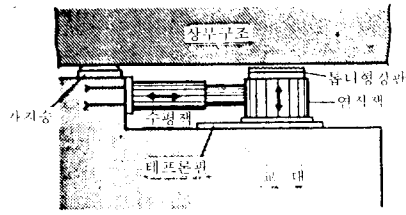


그림 5 교대위 압출

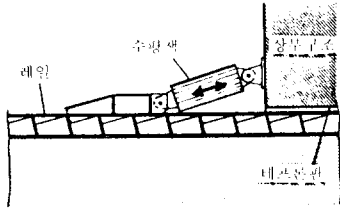


그림 6 후방 압출

장치로 교체한다.

상부구조를 압출하는 과정에서 상부구조 앞부분이 다음 교각에 지지 될 때까지 캔틸레버와 같이 작용하게 되며, 교각 윗부분에서 큰 부모멘트가 발생하게 된다. 이 부모멘트를 줄이기위해서 상부구조 앞부분에 경량 강구조물로 되어있는 추진코를 연결시킨다. 일반적으로 추진코는 길이가 최대 경간길이의 60~70% 정도이고, 강성이 상부구조의 1/10 정도이면 적당하다. 경간이 커서 과대한 부모멘트가 발생할 경우에는 가교각을 사용하거나, 교량 상부구조의 앞부분에 타워를 설치하고 선단부를 인장 케이블로 연결하여 단면력을 줄이도록 한다. 한 세그먼트의 길이는 압출액의 힘의 크기에 따라 좌우되며, 일반적으로 15.0~30.0m 이다. 곡선 교량인 경우에는 불가피한 수평방향의 수정때문에 작다. 한 세그먼트를 제작하고 압출하는 공정을 1주일 단위로 하여 주말을 양생기간으로 이용하는것이 바람직하다.

압출하는 과정에서 상부구조의 자중으로 인해 발생하는 휨모멘트가 상부구조의 위치에 따라 반복하여 변하게 된다. 이 변화로 인한 휨모멘트는 단면의 무게중심 위치에 도입된 1차 프리스트레싱 힘에 의해 저항한다. ILM 공법에 의한 교량은 가설시에 발생하는 큰 휨모멘트에 저항하고 가설시 도입하는 프리스트레싱 힘의 효과를 크게하기 위

해서 일반적으로 그 단면의 높이가 동바리 공법에 의한 교량의 경우보다 크게 하는 것이 경제적이다.

완공된 상부구조가 사용하중에 의해 발생하는 단면력에 저항하기 위해서는 미리 콘크리트 단면에 붙어있는 프리스트레싱 덕트에 프리스트레싱 텐션을 설치하고 긴장시켜야 한다. 각 세그먼트 연결부에서 미리 설치하는 프리스트레싱 덕트는 철근 조립과 콘크리트 타설시 손상되지않고 앞 세그먼트의 덕트와 잘 연결되도록 주의를 기울여야 한다.

이와같은 ILM 공법은 작업상의 장비에 많은 경비가 소요되므로 충분한 교량길이 확보되었을 때 적용 타당성이 있다. Dyckerhoff & Widmann 사는 간단한 압출장비를 사용한 ILM 공법을 개발하여 비교적 짧은 교량에도 경제적으로 적용할 수 있도록 하였다. 이 공법의 특징으로는, 작업상의 상부구조 기푸집이 압출시 상부구조와 같이 압출되는 방향으로 이동하며, 압출은 교대와 맨 마지막 타설된 상부구조 끝부분에 연결된 인장용 강봉을 이용하는 집이다. 이와 같이 강봉을 인장하여 상부구조를 압출하는 장비는 일반 ILM 공법의 압출책에 비하여 비용이 적게 드나 인상할 수 있는 힘이 최고 400Ton 정도로 한정되어있다. 압출시 교량의 경사를 약 4%라고 하면 무게 10,000Ton 까지의 상부구조를 이 공법에 의해 압출할 수 있다.

5. PSM (Precast Segment Method) 공법

공장에서 좋은 품질의 고강도 콘크리트 제품을 경제적으로 생산할 수 있는 장점을 살리고 현장에서는 미리 생산된 세그먼트를 조립함으로써 경제적인 교량을 건설하고자 PSM 공법이 개발되었다. 이로써 각각의 세그먼트의 품질관리는 용이하게 되었으나, 세그먼트의 결합부에서 다른 공법의 경우에는 없었던 문제들이 발생하였다. 오늘날의 기술수준으로 이와같은 문제점들을 해결할 수 있지만 품질관리 측면이나 내구성 측면에서 결합부는 취약한 부분이 될 수 밖에 없다. 이것은 이 공법이 오늘날 많은 발주처와 건설회사들의 토론의

대상이 되고 있는 이유 중에 하나일 것이다. 특히, 우리나라에서와 같이 겨울철에 제설용으로 염화칼슘을 많이 사용하고 교량상판의 방수처리에 대한 규정이 독일 등 유럽에서 요구하고 있는 수준에 미달하는 경우에는 시공상 많은 주의가 요구되며, 유지관리시 관심을 가지고 살펴보아야 할 것이다.

프리캐스트 세그먼트 제작장에서는 운반과 조립시에 사용될 장비의 용량을 고려하여 2.2m~3.5m 정도 길이로 세그먼트를 제작한다. 서로 연결되는 세그먼트의 접합부가 정확히 맞도록 먼저 타설된 세그먼트의 접합부를 다음번 세그먼트의 콘크리트 타설시에 기푸집으로 사용토록 한다. 세그먼트의 제작방식에는 기푸집 이동식 (long line casting) 과 기푸집 고정식 (short line-casting) 이 있다.

기푸집 이동식은 최대경간의 1/2이상의 길이를 가진 제작대에서 기푸집을 이동시키면서 세그먼트를 제작하는 방식으로 상부구조의 형상대로 자유롭게 제작하기가 용이하고 시공정도가 높은 장점이 있다. 그러나 경간의 형상이 각기 다르거나 구조물이 곡선으로 되어있을 때에는 적용이 어려우며 제작장비를 제작, 양생을 위해 계속해서 이동시켜야 하는 불편함이 있다. 특히 제작장의 지면침하가 일어나지 않도록 주의할 기울려야 한다.

기푸집 고정식은 높이와 위치를 조정할 수 있는 고정된 기푸집을 이용하여 연속적으로 세그먼트를 제작하는 방식이다. 제작시 정확성을 기해야 하므로 세그먼트 제작공정이 기푸집 이동식에 비해서 복잡하다. 한 세그먼트에 대한 제작과 초기 양생이 끝나면 앞의 세그먼트는 저장장으로 옮겨지고 그 기푸집에 새로운 세그먼트가 제작되게 된다.

이렇게 제작된 세그먼트는 교량조립 현장으로 운반되어서 크레인이나 조립용 가설거더에 의해 조립된다. 프리캐스트 세그먼트의 조립은 캔틸레버 공법 혹은 경간별로 조립하는 SBS공법 (span by span method)에 의해 이루어진다.

캔틸레버 공법에는 이미 조립된 상부구조위에 설치된 이동식 가설거더(Launching Girder)을 이용하여 교각을 중심으로 양쪽으로 전진하며 세

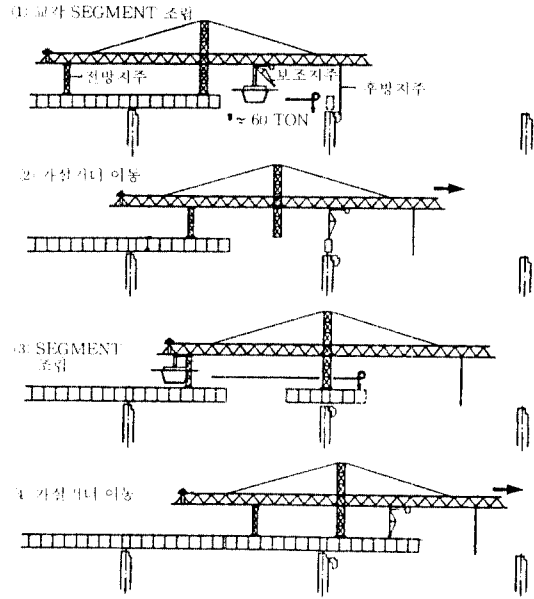


그림 7 가설거더를 이용한 FSM공법

그먼트를 조립하는 가설거더 공법이 (그림 7 참조) 있으며, 그 이외에 크레인이나 가동인양기 등을 이용한 공법도 있다.

경간별 조립 공법은 교각에 설치된 비계보 위로 크레인이나 기타 양중기를 이용하여 프리캐스트 세그먼트를 올려놓고 경간별로 세그먼트를 조립한다(그림 8,9 참조). 프리스트레싱작업이 끝나면 비계보는 다음 경간의 상부구조 조립을 위해 이동한다.

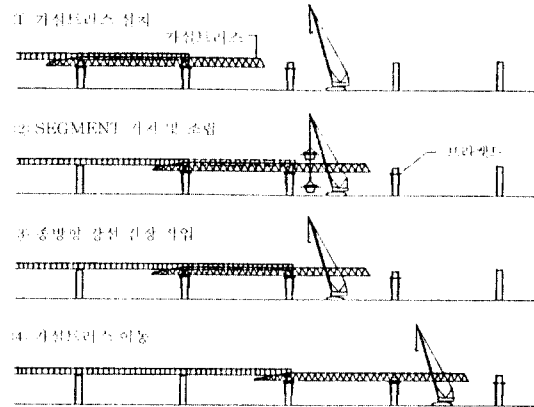


그림 8 가설트러스를 이용한 SBS공법

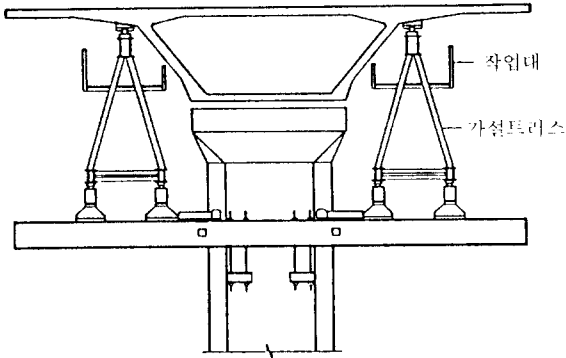


그림 9 가설트러스를 이용한 SBS공법 단면도

세그먼트의 접합부는 약 3mm 두께의 에폭시 수지를 접착면에 발라서 접착토록 한다. 각 세그먼트는 가설용 강봉을 이용한 임시 프리스트레싱 힘을 도입하여 접합부가 잘 폐합되고 잉여 에폭시는 빠져나오도록 해야한다. 접합부는 가설단계 뿐만 아니라 사용시에도 인장응력이 발생되지 않도록 영구프리스트레싱 힘을 도입하여야 하며 부분적인 접착으로 인한 예기치 않은 응력이 발생할 수 있으므로 세그먼트 제작시 보조철근을 추가로 배치하여 접합부근을 보강하여야 한다. 또한 세그먼트 접합면의 미끄러짐을 방지하고 가설 중 작용하는 전단력에 대처할 수 있도록 전단키(Shear Key)를 설치한다.

6. 상부구조 단면의 설계

교량 상부구조 단면의 형태는 교량의 길이, 높이, 선형, 교폭, 공법 등을 고려하여 선정하여야 한다. 곡선교와 장대교의 경우 일반적으로 상자형 단면이 많이 사용되고 있는데 상자형 단면의 장점을 살펴보면 다음과 같다.

- 단면의 역학적 효율도가 높다
- 파괴거동시 휨 강도의 손실이 적다
- 폐합단면이므로 비틀림 강성이 크다
- 강선배치가 유리하다
- 미적인 측면에서 유리하다

1실 단면(one cell box)은 2실 단면에 비하여 상하부 플랜지가 받는 횡방향 휨 모멘트가 크고, 전단뒤짐(shear lag)이 크게 일어나는 단점이 있

으나, 시공상 유리한 점이 많아서 주로 교량폭 13m 이내에 적용되고 있다. 최근에는 20m를 초과하는 경우에도 1실 단면으로 설계하는 경우가 많이 있다.

벽체는 수직으로 하거나 경사지게 할 수 있다. 벽체를 경사지게 하면 외관이 좋아지고, 하부 슬래브의 자중과 거푸집 면적 그리고 교각이나 기초에 드는 경비 등을 줄일 수 있는 장점이 있다. 일반적으로 3.5 : 1 ~ 5.5 : 1 범위의 경사를 적용하는데 경간이 짧은 경우 2 : 1 까지도 가능하다. 벽체의 두께는 전단력이나 비틀림 모멘트에 의한 전단응력, 콘크리트 타설의 용이성 그리고 프리스트레싱 접착부에 작용하는 응력 등을 고려하여 설계하여야 한다.

7. 맺음말

이상과 같이 간략히 설명한 장대교량에 있어서의 설계 및 건설기술은 채택하는 공법에 따라서 상당점이 있다. 교량이 건설되는 곳의 지형, 지질 조건, 교통량, 주변환경 그리고 경제성을 충분히 고려하여 공법과 교형이 선택되고 이에 따라 적절하게 설계되어야 할 것이다.

그러나, 신공법에 의한 교량은 재래의 동바리공법과는 달리 대형화 하고 있는 추세이며, 프리스트레스트 공법을 적극 활용하고 있으므로 철저한 품질관리가 요구된다. 신공법 도입초기에는 시공 경험이 많지 않으므로 시공관리의 중요성이 더욱 강조되어야 한다.

신공법에 의한 설계는 최종 완공단계 뿐만 아니라 각 시공단계에서도 단면력이 변화하므로 이에 대한 안전 검토가 이루어져야 하며, 우리 손으로 설계하여 시공한 경험이 많지 않으므로 이미 시공된 교량에서 발생했던 문제점들이 재발하지 않도록 노력을 기울여야 할 것이다.

일반적으로 PS 콘크리트 교량은 내구성이 크고 유지 보수비가 저렴하며 주행성이 좋고, 주재료로 양질의 국산 시멘트를 사용할 수 있는 등 장점이 많으므로 적절한 공법선택과 설계, 그리고 철저한 시공관리가 이루어진다면 경제적이고, 미적인 교량 건설에 기여할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Pauser, A., "Entwicklungsgeschichte des Massivbrückenbaues", Österreichischer Betonverein, 1987
2. Holst, K.H., "Brücken aus Stahlbeton und Spannbeton", 2.Auflage Ernst & Sohn, Berlin, 1990
3. IABSE SYMPOSIUM, Leningrad, USSR, September, 1991
4. Weidemann, H., "Brückenbau-Stahlbeton und Spannbeton Brücken", Werner-Verlag, Düsseldorf, 1982
5. 이승우, "독일 건설기술공법의 최근 추세", 한국건설기술연구원, 국제건설기술 학술발표회, 논문집 통권 제 1 호, 1984. 10
6. 이승우, "경제적인 PS 콘크리트 교량건설공법에 관한 연구", 한국건설기술연구원 연구보고서, 1986. 6
7. Rhie, S., "The Construction of the 1988 Seoul Olympic Grand Bridge", Proceeding of the International Conference on Cable Stayed Bridges, Bangkok, 1987, pp.1143-1156
8. Rhie, S., "La Construction du Grand Pont Olympique", Proceedings of 3rd IRF Middle East Regional Meeting, Vol.6, Riyadh, 1987
9. Rhie, S., "Brückenbausysteme für mittelgroße Spannweiten", Springer Verlag, Wien, NewYork, 1992 