

구량천교(FCM) 시공 보고

권 오 응
 한국도로공사 대진1건설사업소장
 김 재 영
 품질 관리부장
 이 규 명
 대 리

1. 서 언

FCM(Free Cantilever Method) 공법은 서독의 Dywidag사가 최초로 개발하여 자국의 Lan 교량(Span Length : 62m)에 최초 시공하였으며, 그후 여러나라에 확대 적용되었고, 우리나라에는 원효대교를 시작으로 여러곳에서 시공 실적이 있다. 현재까지는 1998년 노르웨이의 Raftsundet 교량이 Span Length : 298m로서 세계 최장 지간으로 알려져 있다. 시공법을 살펴보면, 아래 사진과 같이 고교각의 경우에는 상

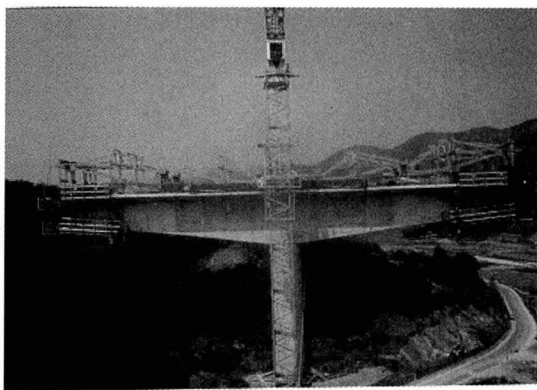


사진 1. Segment 시공 전경

부 구조물에 별도의 동바리를 설치할 수 없기 때문에 고정점(교각)의 Pier Table(주두부)로부터 좌우 평형을 유지하면서 이동식 작업차인 Form Traveller를 제작 설치하여 3~5m의 Segment를 순차적으로 시공한 후에 경간 중앙부에서 캔틸레버 구조물을 강결 또는 힌지 방식으로 연결하는 상부 가설 공법 중의 하나이다.

이제까지의 강결 라멘식 고교각 FCM 교량은 Twin Column으로 설계 시공되는 반면에 본 현장의 FCM 교량은 Single Column으로 설계되어 있다. 총 연장 750m(75+6@ 100+75)로서 주경간장이 100m인 FCM 공법으로, 시·종점부 교대쪽은 25m의 FSM 공법으로 구성되어 있는 8경간 연속 PSC Box Girder인 상부 형식과 또한, 하부 형식의 교각 형태는 Single Column으로서 교각 단면적이 21m²(7m×3m)이고, 내진 설계를 고려한 P2~P6는 중공식 타원형으로 P1, P7은 분리형 교각으로서 최대 교각 높이가 60m이며, 강결 라멘식 고교각 Single Column 교량으로서는 국내의 최초로 현재 시공중에 있다.

2. Single Column 교량의 시공중 안정성 확보 방안

Single Column FCM 교량의 시공중 안정성에 대하여 도로교 시방과 Segment 바닥 거푸집 탈락 하중을 고려한 비정상적인 조건에 의하여 구조검토한 결과 시공중의 안전율이 1.2로서 마지막 Segment 콘크리트 타설시의 순서 차이에 의한 교각 상단 응력 불균형 모멘트 발생으로 교각 상단 수평변위가 최대 1,679mm, Segment 단부의 시소현상 즉 수직변위가 534mm로서 과도한 변위가 발생되고, 교각 심부 구속 균열폭이 허용 균열폭(0.325cm)에 근접함에 따라서 시공중 교각의 안정성 증대 및 심부구속 균열을 저감하는 방안이 대두됨에 따라서, 이러한 문제점 즉 변위의 최소화와 시공중의 안전율을 증대시켜 교각 안정성을 확보하기 위한 일안으로서 가설 안정케이블(Stay Cable)과 Segment 양방향 동시타설을 시행하게 되었다.

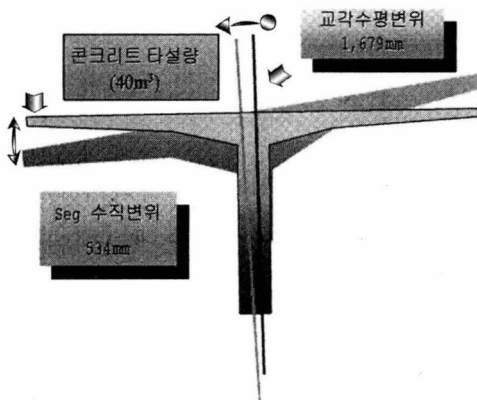


그림 1. 수평변위 및 사소현상

2.1 가설 안정케이블 (Stay Cable) 설치

2.1.1 목적

도로교 시방기준 및 비정상적인 조건에 의한 하중 적용시 구조검토 결과 안전율을 향상시키고, Segment 콘크리트 타설시의 순서 차이에 의해 발생하는 수평변위 및 수직변위를 최소화시켜 교각 상단의 응력 불균형 모멘트 감소로 시공중 상부의 캠버관리의 오차를 줄여 정밀시공을 위하고, 시공중 교각의 안정성을 확보하기 위함이다.

2.1.2 시공 방법

교각 안정성 확보 방안중 하나인 가설 안정케이블의 시공순서 및 방법에 대하여 살펴보면, 첫째로 교량 하부 지반을 $\phi 165\text{mm}$ 인 천공기를 이용하여 45° 각도로 20~30m까지 지반을 천공한다. 연암층까지의 최소 근입깊이는 8m이다. 두 번째로 $\phi 15.2\text{mm}$, PS 강연선 12가닥으로 구성된 록앵커(Rock Anchor)를 연암층에 구축시킨 후에 2차에 걸쳐 그라우팅을 실시하

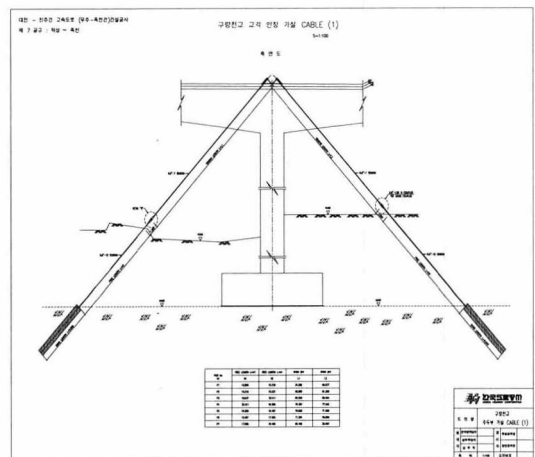


그림 2. 가설 안정케이블 종평면도

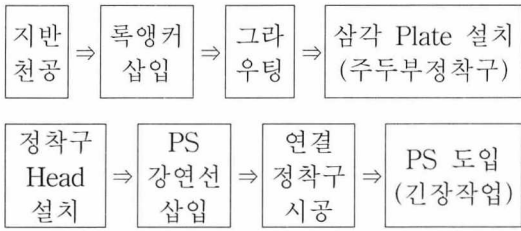


표 1. 가설안정 케이블 시공순서

게 되면 150ton의 작용하중을 갖게 된다. 세번째로 주두부 상부 슬래브에는 콘크리트로 된 Butress를 시공할 수 없기 때문에 철물 제작된 삼각 플레이트판을 설치하여 상부 슬래브에 방호벽측 캔틸레버부에 2개소, 중분대측 캔틸레버부에 2개소, 각 Pier당 4개소를 설치한 후 $\phi 15.2\text{mm}$ 로 된 PS 강연선 7가닥을 모노잭을 이용하여 하나씩 삽입한 후에 네번째로 지표상단 1.5m에서 록앵커와 연결 정착장치(0.6"-19)를 이용하여 고정시킨 다음 마지막으로 상부(주두부)에서 PS 110ton의 긴장력을 도입하게 되면 가설 안정케이블 설치가 완료된다. 여기서 주의할 점은 상부에서 긴장시 4개소 정착구에 편심하중이 가중되지 않도록 30~40%씩 교대로 긴장을 하여 편심을 억제시켜야 한다.

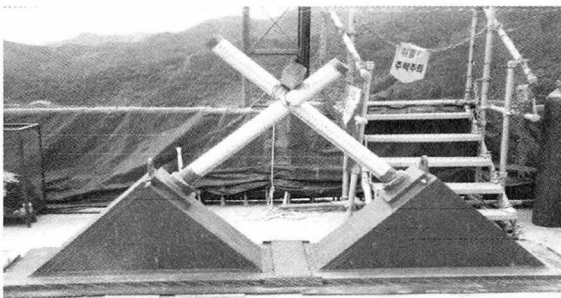


사진 2. 주두부 상부 Butress

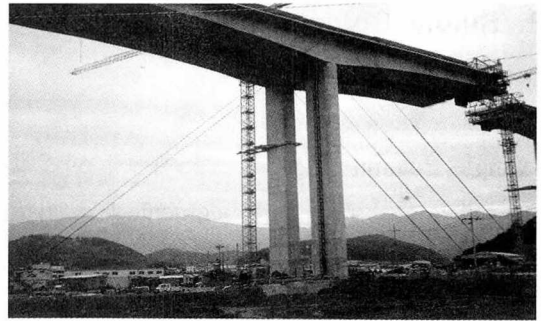


사진 3. 가설 안정 케이블 설치 전경

2.2 Segment 양방향 동시 타설 시형

2.2.1 목적

기존의 FCM 공법으로 장대교량 시공시는 사진 3과 같이 교각을 중심으로 좌·우측 Segment 콘크리트 타설시 한쪽(좌측)으로 교각에서 올라오는 압송배관 파이프에 연결하여 슬래브 상부에 배관을 설치하여 타설후 다른쪽(우측)으로 압송배관 파이프를 이동하여 콘크리트를 타설함에 따라서 시공의 불편성 및 시간과 다 소요, 타설 순서차에 의해 발생하는 교각 상단 응력 불균형 모멘트와 이에 따른 수평, 수직 변위 과다 발생으로 상부공 캠버 관리의 어려움이 예상되었다.

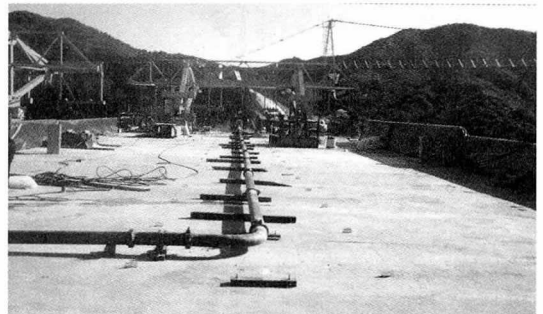


사진 4. 일방향 콘크리트 타설시

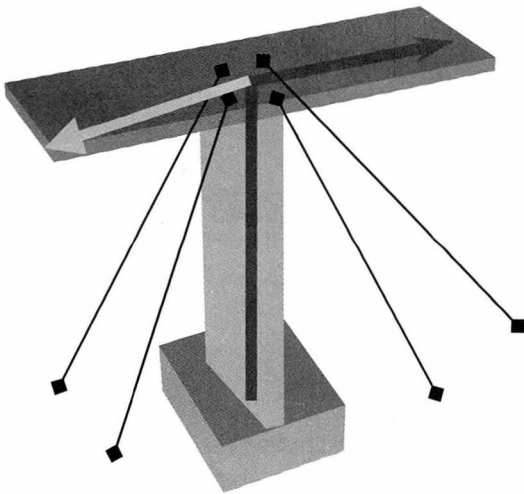


그림 3. 콘크리트 타설 방향

따라서 이러한 단점을 보완하여 캠버 관리의 확실성을 통해 Single Column 교량의 시공중 안정성을 확보하기 위하여 Segment 양방향 동시 타설을 시행하게 되었다.

2.2.3 시공 방법

상기에서 기술한 내용의 단점을 보완하기 위하여 양방향 동시타설 장치인 2Way Valve System의 연구개발이 시작되었다. 여러 가지의 제작안이 검토되었지만 그중에서 가장 합리적이고 경제적인 두가지 안이 채택되어 비교 검토할 수 있게 되었다. 작동 원리는 2Way Valve 자체를 Air의 힘으로 실린더를 움직이게 하는 공압식 방법과 유압의 힘으로 움직이는 유압식 방법이다. 전자는 교량 하부의 펌프카와 병행, 중간에 2Way Valve System을 설치하여 타설하는 방법으로서 작동형식은 실린더 안의 피스톤을 약 10kg/m^2 의 Air에 의한 힘으로 작동하는 방식으로 실린더 Head는 $1,256\text{kg}$ 이고, Rod는 $1,142\text{kg}$ 의 작동력을 갖게 된다. 이

러한 방식으로 양방향 콘크리트 타설시 수평변위와 수직변위를 최소화 시킬 수 있고 또한 제작비가 유압식에 비해 경제적인 장점을 갖고 있지만, 단점으로는 Air 동결로 인하여 동절기에는 시공이 어렵다는 것이다. 이를 보완한 후자는 교량 하부의 펌프카와 병행, 중간에 2Way Valve System을 설치하여 타설하는 공압식과 같은 원리로서 작동 형식은 실린더 안의 피스톤을 약 150kg/m^2 의 유압에 의한 힘으로 작동하는 방식으로 실린더 Head는 $4,749\text{kg}$ 이고, Rod는 $2,826\text{ kg}$ 의 작동력을 갖게 된다. 이러한 방법으로 2Way Valve 자체를 좌우측 교대로 이동시켜 콘크리트를 양쪽으로 배분하는 방법이다. 장점으로는 공압식과 같고 추가적으로 동절기에도 시공이 가능하다는 것이며, 공압에 비해 Option 장치가 많이 설치되므로 비교적 고가인 것이 단점이다. 따라서 공압식과 유압식을 검토한 결과 비교적 경제적이고 작업성이 뛰어난 아래 사진과 같은 공압식 동시타설 장치를 채택하여 제작하게 되었다.

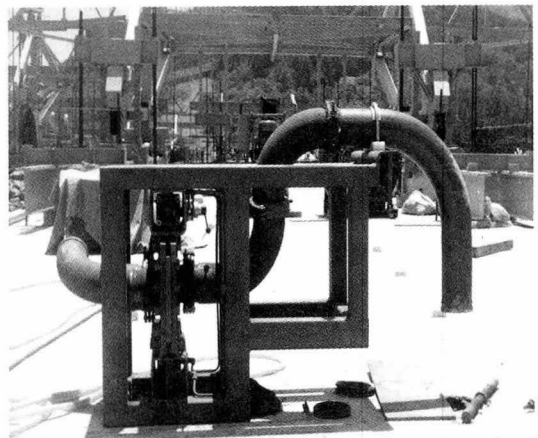


사진 5. 공압식 동시 타설 장치

표 2. 양방향 동시타설 시행방법 검토

구분	당초	개선 1안	개선 2안
타설방법	일방향 타설	양방향 동시타설	양방향 동시타설
타설장비	Portable Car	Portable Car 2Way Valve System	Portable Car 2Way Valve System
작동형식	유압식	Air식	유압식
작동력	Head	-	1,256kg
	Rod	-	1,142kg
장단점	수평변위 과다 시소현상 과다 인건비 및 제작비 절감	수평변위 최소 시소현상 최소 비교적 경제적 Air 동결로 동절기 공사 중단 우려	수평변위 최소 시소현상 최소 비교적 고가 동절기 공사 우수
	현장적용		○

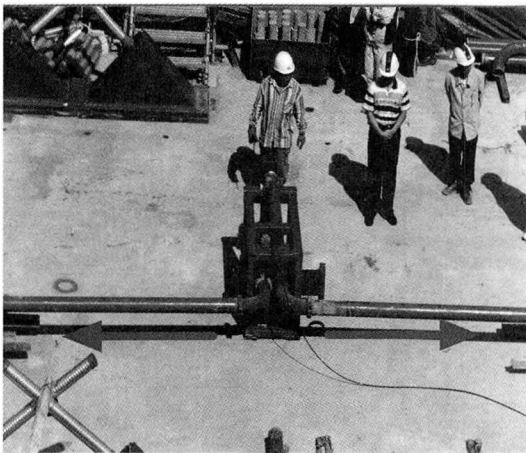


사진 6. 양방향 압송 배관 설치

시공 방법으로는 상부에 동시 타설 장치인 공압식 2Way Valve System을 설치하고, 양쪽으로 압송 배관을 평행하게 연결한 후에 2Way Valve System을 작동시키게 되면 위 사진의 S형의 밸브 즉 2 Way Valve 자체가 좌·우측

교대로 이동하면서

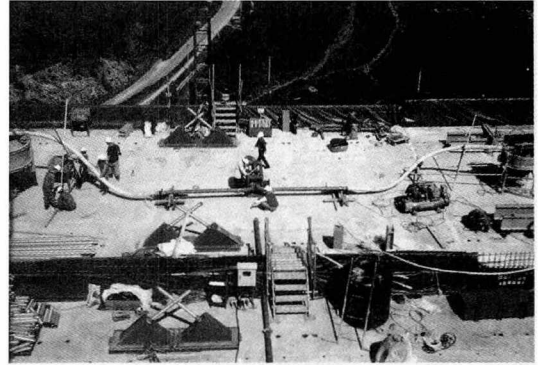


사진 7. 양방향 동시 타설 전경

사진 6, 7과 같이 양쪽으로 콘크리트를 배분하여 Segment를 동시에 타설할 수 있었다. 일방향 타설과 동시타설을 비교한 결과 제작비 및 인건비의 증대가 있었지만 결과적으로 콘크리트 타설 시간이 약 2시간 정도 감소되어 공기 단축 효과를 얻을 수 있었을 뿐만 아니라 또한 챔버 관리의 정밀함을 기할 수 있었다.

표 3. 일방향 타설과 동시타설 비교

구분	기존 방안	개선 방안	비고
장비	· 펌프카 1대	· 펌프카 1대 · 2Way Valve System	동시타설 비용 증대
인원	· 콘크리트공 6명 · 미장공 6명 · 보통 인부 6명 · 기타 공구 1배	· 콘크리트공 12명 · 미장공 12명 · 보통 인부 12명 · 기타 공구 1.5배	증 2배
타설 시간	6시간	4시간	감 2시간

3. 가설 안정케이블(Stay Cable) 설치 및 동시타설 시행결과

가설 안정케이블(Stay Cable) 설치와 Segment 양방향 동시타설 시행후 분석결과를 살펴보면, 교각 상단 수평변위가 최대 1,679mm 설계에서 약 97%가 감소된 48mm로 변위가 감소되었고, 또한 Segment 끝단부의 시소현상(수직변위)이 당초 543mm 설계에서 약 88%가 감소된 66mm로 변위가 최소화 됨에 따라 교각 상단에 발생하는 응력 불균형 모멘트를 저감시켜 교각 하단부의 균열 발생을 억제시켰고, 또한 상부공 처짐 및 캠버관리를 용이하게 할 수 있었다.

시공이 될 수 있었고, 이를 계기로 앞으로 교량 설계 및 시공 기술의 향상이 기대되어 진다.

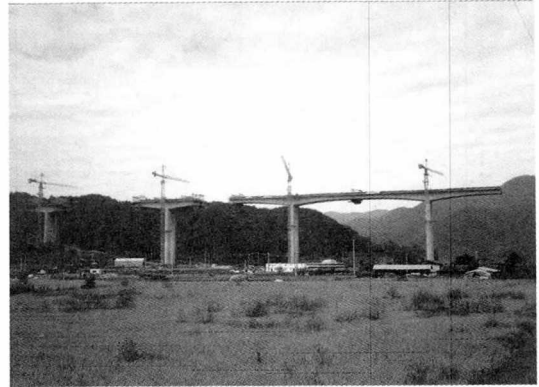


사진 8. 구량천교 시공전경

표 4. 교각 수평변위 및 시소현상 대비표

구 분	수평변위	시소현상	비고
구조검토 결과	1,679mm	534mm	
가설안정케이블+양방향 동시타설 시행 후	48mm	66mm	
감소 효과	감 97%	감 88%	

4. 결 언

상기에서 기술한 Single Column 교량의 가설 안정 케이블(Stay Cable) 설치와 Segment 양방향 동시타설로 인하여 시공중 안정성을 확보하게 됨으로써 교량이 아래 사진과 같이 보다 더 Slim화 되고 미관이 수려한 경제적인 교량