

# 수직긴장시스템을 이용한 하이드로라멘공법

## Hydro-Rahmen Methods Using Vertical Prestress System



양 난 경 \*  
Yang, Nahn-Kyung



심 태 무 \*\*  
Shim, Tae-Moo



한 창 민 \*\*\*  
Han, Chang-Min



정 대 기 \*\*\*\*  
Joung, Dae-Ki

### 1. 기술개발 배경

최근 기후변화와 지구온난화에 영향으로 돌발홍수와 국지성폭우가 빈번히 발생하고 있다. 태풍과 집중호우에 의한 연평균 피해액은 1조9천억에 달하고 있다. 이상기후와 집중호우, 그리고 돌발홍수와 산악지 계곡부의 범람은 사회적 인프라의 파괴뿐만 아니라 인명피해까지 야기시키고 있다. 10년 동안 특별재난지역선포가 19차례 있었고, 그 중 15회가 태풍과 호우에 대한 특별재난지역선포였다.



〈그림 1〉 이상기후와 집중호우에 의한 피해

기존 RC라멘교량이 대부분인 중/소하천에서는 집중호우와 폭우로 인하여 유송잡물에 의한 교량손상이 매년 발생하고 있다. 기존교량의 대부분인 RC라멘교량은 많은 교각을 필요로 하는 구조적 특징을 가지고 있기 때문에 이에 대한 교체문제와 손상된 교량의 급속한 교체가 중/소하천의 관리에 중요한 부분으로 대두되고 있다.



〈그림 2〉 RC라멘교

\* (주)하이드로코리아 대표이사  
\*\* (주)하이드로코리아 본부장  
\*\*\* (주)대우건설 부장  
\*\*\*\* (주)대우건설 차장

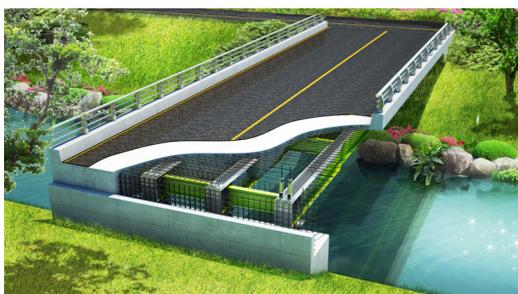
기존교량을 대체하는 교량은 급속교체가 가능하고 기존 계획고 증가를 최소화 할 수 있는 공법이어야 한다. 뿐만아니라 저형고의 장경간 라멘교타입으로 유지관리가 편리하며 교각을 최소화하고 다리밑

공간을 최대한 확보할 수 있는 공법이 가장 유리한 공법일 것이다.

이에 하이드로라멘공법은 급속시공이 가능하며, 공장제작을 통하여 품질을 향상시키고 구조적성능을 확보함과 동시에 시공성 향상에 초점을 맞추어 개발되었다. 기존에 사용되는 강합성라멘교보다 약 20%의 강재량을 감소시켜 탄소배출량을 줄이고 현장근처의 제작장을 없애 자연훼손을 최소화 시키며 공기를 최소화 하여 친환경적이면서 경제적인 기술개발을 시도하였다.

## 2. 하이드로라멘교의 구성

하이드로라멘교의 기술적 특성은 크게 4가지로 구성된다.

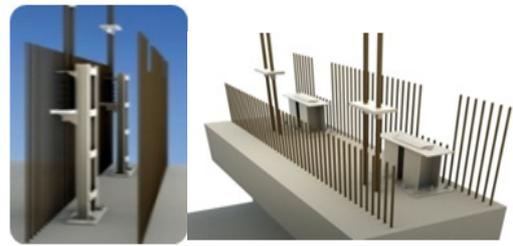


〈그림 3〉 하이드로라멘교

### 2.1 강봉을 통한 연직방향 긴장시스템

하이드로라멘교는 공장에서 제작된 강재거더를 현장에서 조립/설치한 후 교대 위에서 연직긴장시스템을 이용하여 프리스트레스를 도입한다. 이는 거더에 프리스트레스를 도입하는 일반적인 합성형 라멘교와 구분되는 가장 큰 특징이다. 교대내부에 설치되는 강봉은 강봉정착장치(그림 4)를 통하여 연직도와 설치 위치를 확보하고 벽체타설시 매립된다.

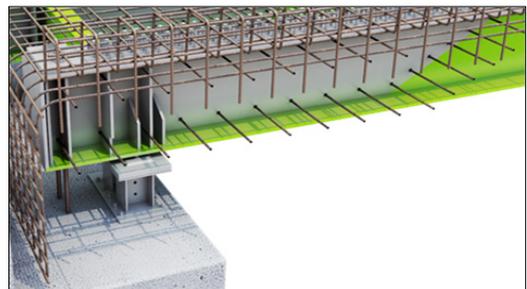
이는 강봉의 안전성을 확보해 주고, 시공시 발생하는 시공오차를 최소화 시켜주며 벽체의 안전성을 높여주는 효과가 있다.



〈그림 4〉 강봉 정착장치

### 2.2 철골·철근콘크리트 구조(S.R.C)

받침장치가 없는 라멘교의 특성상 슬래브와 벽체가 접합되는 우각부는 공용중 가장 응력이 집중되는 부위다. 슬래브와 교대부의 접합부에서 철근들이 거더를 관통하여 결합되는 형식으로 연성과 내구성을 향상시킨 철골·철근 콘크리트(S.R.C) 구조를 적용하여 교량전체의 안전성을 향상시켰다.



〈그림 5〉 철골·철근콘크리트 구조

### 2.3 강재거더 분절시스템

기존합성형 라멘공법은 거더를 현장 근처의 조립장에서 외부하중도입 후 케이싱콘크리트를 타설하여 양생시간이 소요되며 제작 후에도 거더이동과 거치에 대형 장비사용이 필요하다. 이에 반해 하이드로



〈그림 6-1〉 기존합성라멘교 거더이동 방법

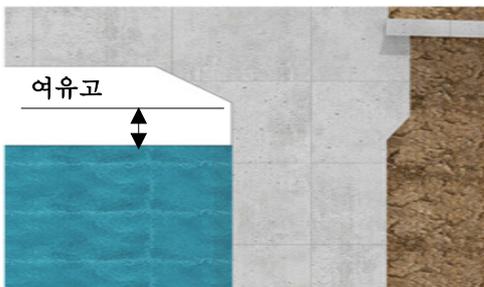


〈그림 6-2〉 하이드로라멘교 거더이동 방법

라멘교는 강재거더를 분절거더 형식으로 공장에서 제작하여 현장으로 운반 후 조립하여 소형장비로 가설하므로 현장접근성과 시공성이 우수하다.

### 2.4 거더 형고내에 현치부 형성

최근 기후변화의 영향으로 하천설계기준에서는 하천통과용 교량의 여유고와 경간장의 기준이 엄격하게 규정되어 있다. 하천설계기준에서는 하천 내에 설치되는 교각의 수를 최소한으로 규정하여 하천의 통수능력 감소를 막고 예비 통수능력의 확보를 위한 다리밑 공간규정을 함께 포함하고 있다. 하천횡단용 다리밑 공간은 〈그림 7〉에 도시된 바와 같다.



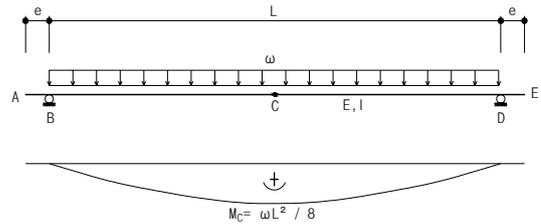
〈그림 7〉 라멘교 하천 다리밑 공간규정

하천설계기준에서는 라멘교의 다리밑 공간을 현치부 하단부부터 수면까지의 거리로 규정하고 있다. 하이드로라멘교는 현치부를 거더형고내에 위치시킴으로써 최대 다리밑 공간을 확보할 수 있다.

## 3. 하이드로라멘교의 특성

### 3.1 공학적 원리

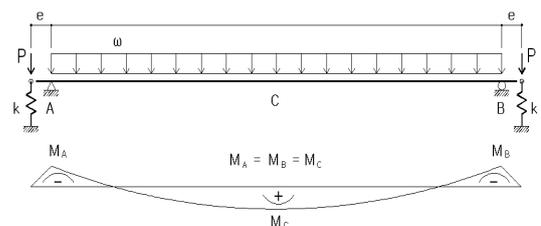
일반적으로 철근콘크리트 구조물은 동바리를 사용하여 슬래브 콘크리트 타설하중을 지반 혹은 하부 구조물에 직접 지지시키는 반면, 거더를 이용하는 구조물은 슬래브 콘크리트 타설하중을 거더가 받아서 하부구조로 전달하는데, 대부분의 거더교에서는 합성전 고정하중, 즉 거더의 자중과 슬래브 콘크리트 타설 하중에 의해 내하력의 50~60%가 소요된다. 이는 슬래브 콘크리트가 양생되기 전, 즉 거더와의 합성 이전 단계에서도 단면강성이 우수한 거더가 사용되면 교량의 공용내하력이 매우 향상 되지만, 단면 강성이 커지는 만큼 재료가 더 소요되므로 경제적인 측면에는 한계가 있다.



〈그림 8〉 거더교 슬래브 타설시 거동

일반적인 합성라멘공법은 슬래브 콘크리트 타설 단계에서 단순보거동으로 인해 발생하는 강재거더 중앙부 응력에 효과적으로 대처하기 위한 방안으로 강재거더 하부 플랜지를 콘크리트로 케이싱 하여 거더의 강성을 증대하는 동시에 프리스트레스를 도입하여 내구성을 향상시키는 것이 일반적이다.

하이드로라멘교는 대부분의 타 공법이 추구하는



〈그림 9〉 2지점 구조계 및 연직 긴장력 도입

방법과는 다르게 지점부를 2지점으로 형성하여 연속 보 형식의 구조계로 변경하고 연직방향 긴장력을 도입하여 슬래브 콘크리트 타설 하중에 의해 발생하는 휨모멘트를 강재 거더의 중앙부와 지점부로 분배시킨다.

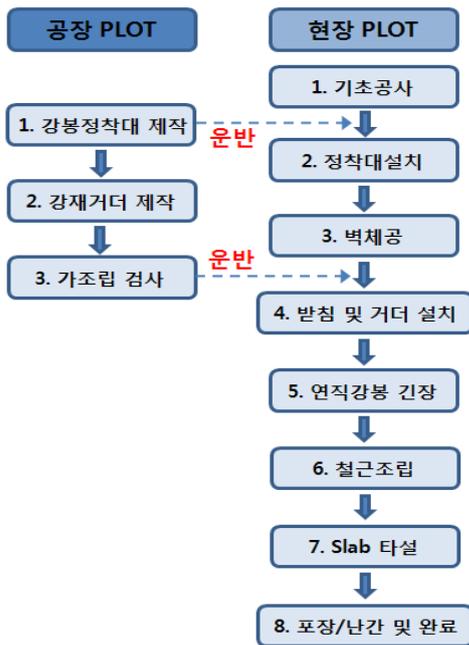
이는 지점부와 중앙부에 대한 강재거더의 단면을 동일 단면으로 사용함과 동시에 가장 경제적인 강재량으로 거더를 설계할 수 있게 한다.

### 3.2 시공 PLOT

하이드로 라멘교는 공장과 현장에서 동시에 작업이 진행된다. 강봉정착장치와 강재거더가 공장에서 제작 및 조립되어 가조립 검사를 통하여 현장으로 운반된다.

현장에서는 기초공사를 시작으로 공정이 진행되며 현장에서 운반된 강봉정착대와 강재거더설치 공사가 진행되어 완성되게 된다. 시공 Plot의 Critical pass는 현장공기에 따라 결정되며 공장에서 제작되는 강봉정착대와 강재거더는 기초공사와 벽체공의 콘크리트 타설과 양생전에 완료되므로 공장Plot에 따른 공기 지연은 없다.

〈표 1〉 시공 PLOT



## 4. 기술검증

### 4.1 Full Scale Test

하이드로라멘교의 검증을 위하여 도로교 12m 제원으로 실험체 제작을 통하여 시공성을 평가하고, 실험체의 시공단계별 주요 부재의 거동과 모멘트 분포 및 구조계 변화를 모니터링 하여 구조성능을 확인하였다.

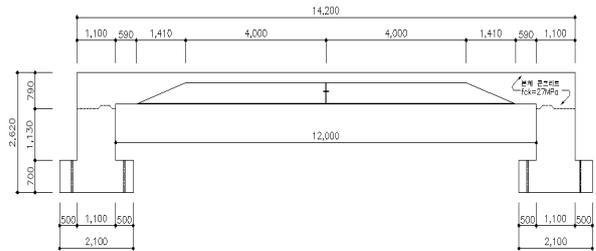
본 실험에 사용된 실험체의 주요재료는

철근 : SD 400

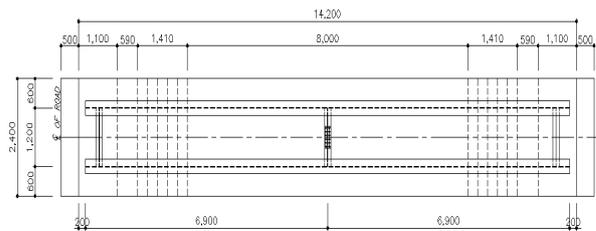
콘크리트 : 27 MPa

강재거더 : SM490 H-488\*300\*11\*18

이 사용되었다.



〈그림 10-1〉 실험체 정면도

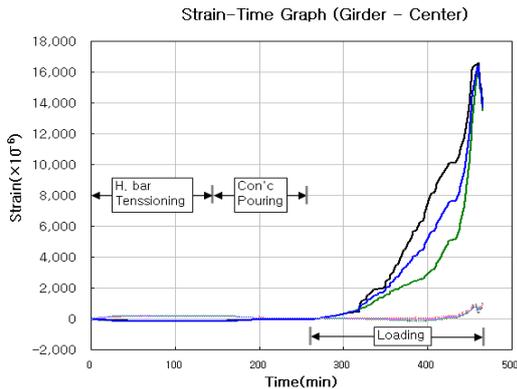


〈그림 10-2〉 실험체 평면도

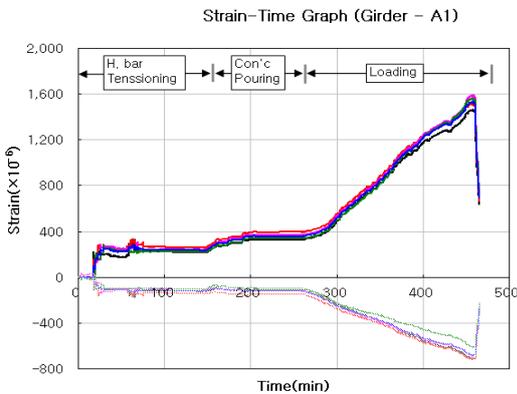


〈그림 10-3〉 실험체 설치 전경

본 실험에 앞서 유한요소 해석을 통한 해석결과와 실험결과를 비교하였다. 유한요소 해석결과 예상균열하중은 300kN, 예상파괴하중은 2,700kN으로 해석되었다. 실험치에 의한 초기균열하중은 400kN으로 유한요소해석치보다 높은 하중에서 초기 균열이 발생하였으며 파괴하중은 2,642kN으로 유한요소해석값과 98% 정도의 일치율을 보였다.



〈그림 11-1〉 강재거더 중앙부 변형률



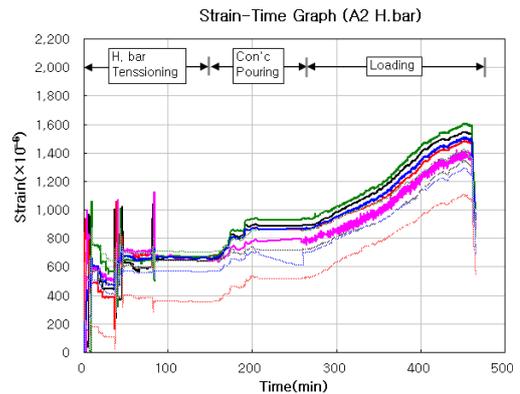
〈그림 11-2〉 강재거더 지점부 변형률

〈그림 11〉 시공단계 재하시험 중 강재거더 플랜지의 변형률-시간 그래프

〈그림 11-1〉과 〈그림11-2〉는 실험체의 시공단계와 하중재하에 따른 강재거더의 변형률과 발생응력 현황을 나타낸 것으로, 최대 재하하중 2,666kN이 작용하였을 때, 지점부 강재거더 상부 플랜지에서 산정된 응력은 약 335MPa이며, 강재거더 공칭항복강도의 약 103.1%로 최종파괴 전에도 지점부 강재거더가 지속적으로 라멘거동을 하고 있다는 것을 확인

할 수 있었다.

〈그림 12〉는 실험체 시공단계와 하중재하에 따라 예측된 변형률과 고강도 강봉에 발생된 인장력의 변화를 나타내는 그래프로서 프리스트레스도입에 의하여 강봉에 발생하는 인장력과 콘크리트슬래브타설과 작용하중에 의한 강봉의 인장력 추이가 나타나 있다. 최종하중 2,666kN시 강봉에 발생된 인장력은 항복강도 대비 37%이내의 수준이었다.



〈그림 12〉 시공단계 및 재하시험 중 강봉의 변형률-시간 그래프

#### 4.2 현장재하 시험

현장재하시험은 충청남도 홍성군 갈산면 운곡리 소재에 위치한 운곡교를 대상으로 실시하였다. 대상 교량은 L=22.3m B=7.0m로 1등급 교량으로 설계되었다.



〈그림 13〉 현장재하시험 전경사진

현장재하시험 결과는 〈표 2〉와 같다.

〈표 2〉 현장재하시험 결과

내하력 평가	처짐 (mm)	해석	3.86mm
		실측	3.23mm
		허용처짐	24.75mm
	총경 계수	실측	0.245
		시방서	0.251
		실측/시방서	0.976

〈표 2〉의 결과를 바탕으로 내하력 평가를 실시한 결과 허용응력 개념 내하력은 547.4kN(DB 30.4), 하중저항계수 개념 내하력 기준으로는 494.3kN(DB 27.5)의 내하력을 확보하는 것으로 확인되었다.

## 5. 결론

하이드로라멘교는 기존의 강합성 라멘교공법의 일반적인 프리스트레스 도입방법을 변경하여 강재량을 줄이고 분절시스템을 사용하여 시공성을 향상시켰으며 공정을 단축시킨 공법이다. 또한 건설부지의 최소화를 통하여 환경훼손을 최소화하고 일반 공법 대비 약 25일 정도의 공기를 단축시켜 빠른 현장복원이 가능한 친환경적인 공법이다. 현재 20~30m의 지간을 갖는 중/소하천의 신설교량과 급속교체공사로 약 170개소를 설치완료 하였으며, 하이드로라멘교는 앞으로도 지속적으로 중/소하천의 신설교량 및 급속교체 공법을 대체할 수 있을 것이다. 또한, 본 하이드로라멘 공법을 응용한다면 대공간 구조에도 적용될 수 있을 것이라 기대한다.

## 참고문헌

1. 정원석, 심태무, 정대기 (2009), "수직방향 긴장력을 도입한 합성 라멘교량의 거동 분석", 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 98-101.
2. ASCE (1993). "Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structures", State of the Art Rep., New York, N.Y.
3. 대한토목학회 (2008), 도로교설계기준.
4. 이필구, 김성일, 안해영, 문종훈 (2005), "프리스트레스 강합성 거더의 정적거동 평가", 대한토목학회 학술대회논문집, pp. 460-463.
5. 한녹희, 윤동용, 윤석구 (2007), "H형강을 사용한 초슬림 하이브리드 합성라멘교(Hicom)공법 개발", 한국강구조학회 논문집, 20권 제3호, pp.
6. Cai Xin-ning (2008). "The construction technology and application of large span preflex composite beam", Shanxi Architecture, 2008-19