



수직 긴장시스템을 이용한 하이드로 라멘공법

Hydro-Rahmen Methods Using Vertical Prestressing System

권용식 Yong-Sik Kwon
(주)하이드로코리아 기술연구소 책임연구원

심태무 Tae-Moo Shim
(주)하이드로코리아 기술연구소 소장

1. 머리말

최근 우리나라는 지구온난화와 이상기후로 인한 집중호우와 돌발홍수가 급증하고 있다. 이로 인한 도로 및 교량파손 또는 유실 등의 피해는 해마다 늘고 있고, 이에 따른 시설복구비 또한 늘고 있다. 2000년 이후 태풍과 집중호우에 의해 발생하는 교량의 수해는 연간 약 20~30건으로 연간피해액은 약 400~500억 원에 이르고 있다. 홍수로 인한 주요 교량피해 유형은 홍수 시 유송잡물에 의한 통수능력의 저하, 교각 및 교대부의 세굴, 설계 시 반영하지 못한 주변 수리환경의 변화 등이 주요 유형이다. 이러한 기후변화의 영향으로 하천 설계기준에서는 하천통과용 교량의 여유고와 경간장의 기준이 강화되었다. 하천 내에 설치되는 교각의 수를 최소한으로 규정하여 하천의 통수능력 감소를 막고 예비 통수능력의 확보를 위한 다리 밑 공간(여유고) 규정을 함께 포함하고 있다. 하천횡단용 교량의 여유고는 <그림 1>에서와 같이 받침이 있는 거더교의 경우 받침이 놓이는 콘크리트 부분 상단부터 홍수위까지로 규정하고, 받침이 없는 라멘교의 경우에는 콘크리트 현치(hunch) 하단부터 홍수위까지로 정하고 있다. 이러한 기후변화와 하천관리 규정의 강화로 인해 하천횡단용 교량은 교각의 수를 줄일 수 있고, 교량 밑 공간을 확보하면서도 교량의 계획고 상승을 억제할 수 있는 저형고·장경간 교량의 필요성이 제기되고 있다. 이에 따라 합성라멘형 공법들과 PF계열의 라멘공법들이 개발되어 사용되고 있다.

합성라멘교 공법은 상부자중의 부담을 줄이기 위한 방안으로 공장에서 제작된 경량 강재 플레이트 거더를 교대에 직접 결합시킨 공법이다. 합성라멘 공법은 강재플레이트 거더가 거더자중과 바닥판 하중 그리고 사용하중을 모두 감당하여 형고가 높고, 거더 본수가 늘어나 많은 강재량이 소요된다(사진 1).

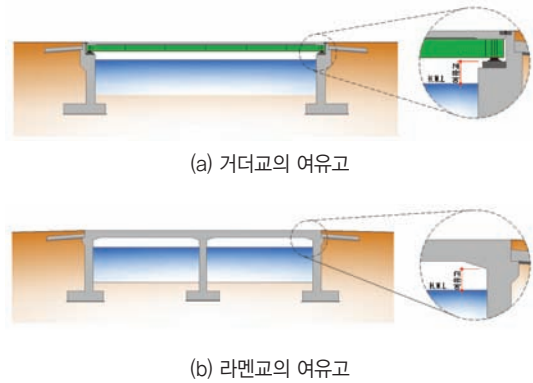


그림 1. 하천횡단용 교량의 다리 밑 공간규정



사진 1. PF거더 합성라멘교 공법

PF계열의 합성라멘공법은 거더의 내구성이 강화된 합성거더를 이용하므로 상부구조의 효율을 극대화 하였으나 거더 제작을 위한 현장부근의 제작장이 설치되어야 하고 현장조건에 따라 거더의 운반 및 현장접근성의 어려움을 가질 수 있다.

본 기사는 이러한 기존 개발된 공법들의 문제점을 해결함과 동시에 새로운 긴장력 도입방법을 도입하여 경제성을 높이고 사용성을 개선한 하이드로 라멘교를 소개하고자 한다.

2. 하이드로 라멘(Hydro-Rahmen)공법

2.1 공법특징

하이드로 라멘공법(사진 2)은 강봉이 매립되어 선행 시공된 교대부에 상향으로 노출된 강봉에 단부가 관통하여 연결되도록 강재 거더를 거치한 뒤 강봉의 연직긴장 시스템을 이용하여 연직방향으로 긴장함으로써 강재 거더에 프리스트레스를 도입하고, 슬래브콘크리트와의 합성전 슬래브 타설 하중에 발생하는 휨모멘트를 단순보에서 연속보 형태로 형성하도록 유도한 공법이다(그림 2). 본 기술은(그림 3)과 같이 강재거더 거치 이후의 간단한 현장공정(그림 4)를 통해 강재 거더에 프리스트레스를 도입하여 거더의 효율을 증가시킨



사진 2. 춘천시 지내교 전경

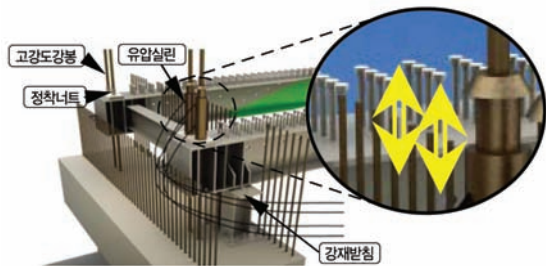


그림 2. 연직방향 긴장시스템

공법이다. 또한 연직긴장 이후 강봉이 강재 거더 단부에 정착되면 바닥판 합성전 강재 거더에 작용되는 고정하중에 대한 거동 특성이(그림 5)와 같이 연속보 형태로 발생되어 부재력이 강재 거더의 단부와 중앙부로 분배되는 특성이 있다. 이는 합성 전 고정하중에 의해 단순보 거동을 하는 타 공법에 비해 발생응력이 현저하게 감소되어 사용 강재량의 감소와 단면효율성의 증대로 이어져 라멘교의 저형고화 및 장경간화의 실현이 가능하게 된다.

완성된 하이드로 라멘교에서 중앙부는 강재거더와 슬래브 합성구조로, 교대부는 철근 콘크리트(RC) 구조로, 이들의 접합부는 내구성이 우수한 철골·철근 콘크리트(S,R,C; Steel & Reinforced Concrete)구조로 구성된다. 이 접합부는 배력 철근이 강재거더의 복부를 관통하여 결합/배근되며 강재거더 전체가 콘크리트에 폐합되거나 하부 플랜지는 노출되는 구조로 타공법과 다르게 현차가 없다. 철근과 철골을 결합하는 구조는 단순히 철골을 콘크리트에 폐합하는 방식보다 콘크리트와의 일체성을 향상시켜 높은 내구성을 가지게 된다. 또한 접합부에 함께 매립되어 정착된 고강도 강봉은 설계수준 이상의



그림 3. 거더 설치 후 단순보 거동



그림 4. 수직긴장 시스템을 통한 Prestressing



2지점형성

그림 5. 슬래브 타설시 연속보 거동

초과하중이 작용할 경우에 우각부에 배근된 주철근과 함께 저항하여 교량전체의 안전성을 높여준다<그림 6>.

2.2 Full Scale TEST

하이드로 라멘교는 Full Scale TEST를 통하여 안전성과 성능을 검증하였다. <그림 7, 8>은 대우건설기술연구원에서 실시한 하이드로 라멘교의 성능실험을 위한 실험체의 제원이다. 실험체는 연장 14.2m, 폭 2.4m, 높이 2.620m로 제작되었고 강봉의 긴장을 위한 인장용 유압잭은 500 kN 용량의 인장용 유압잭을 사용하였다.

<그림 9>는 강봉에 긴장력 도입 시 거더 중앙부에서 발생하는 솟음량을 계측한 결과이며, 강봉의 긴장에 의한 거더의 최종 솟음량은 14.2mm가 발생하였다. 거더의 솟음량 계측은 거더 1과 거더 2의 중앙부 하단에 각각 변위계를 설치하여 계측하였고 각각의 변위계에서

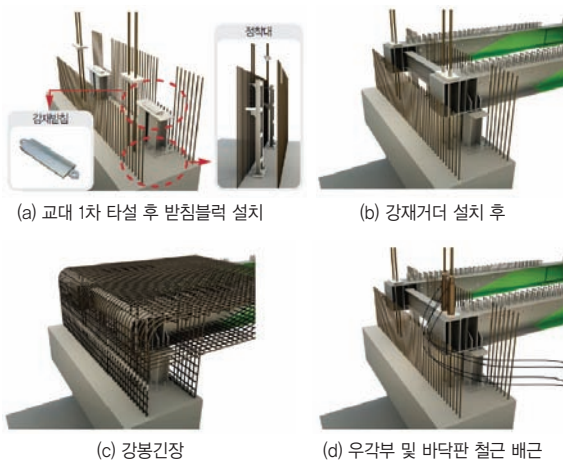


그림 6. Hydro Rahmen 공정

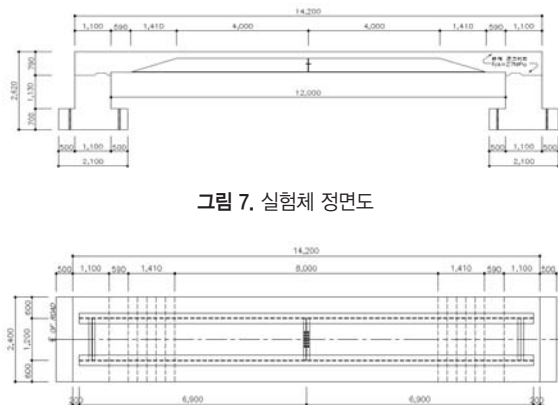


그림 7. 실험체 정면도

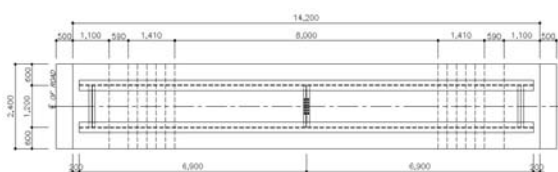


그림 8. 실험체 평면도

계측된 솟음량의 편차는 없었으며 상향의 변위를 (-)로 표시하였고 하향의 변위를 (+)로 표기하였기 때문이다. 측정결과 수직방향 긴장시스템의 긴장력 도입이 강재거더에 일정하게 도입됨을 확인할 수 있다. 강봉에 긴장력이 도입된 이후 슬래브타설시 강봉과 거더의 중앙부에 발생한 사하중의 영향은 <그림 10, 11>과 같다. <그림 10>은 콘크리트타설시 강봉에 발생하는 변형률을 나타낸 그래프이고, <그림 11>은 슬래브 콘크리트 타설에 따른 거더 중앙부 처짐 그래프 이다. 슬래브 타설시 강봉은 콘크리트타설에 따라 추가적인 인장력을 받게 되고,

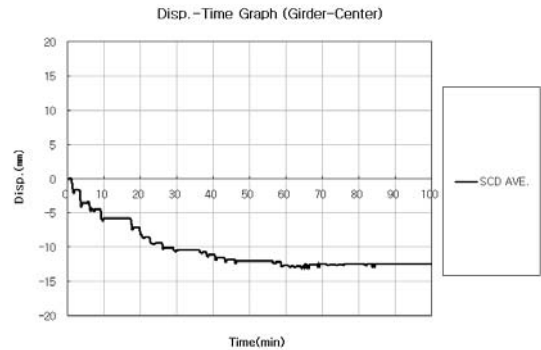


그림 9. 강봉 긴장력 도입에 따른 거더 중앙부 솟음 그래프

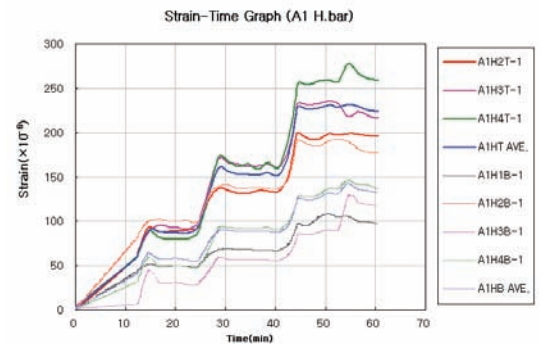


그림 10. 슬래브 콘크리트 타설에 따른 강봉의 변형률-시간 그래프

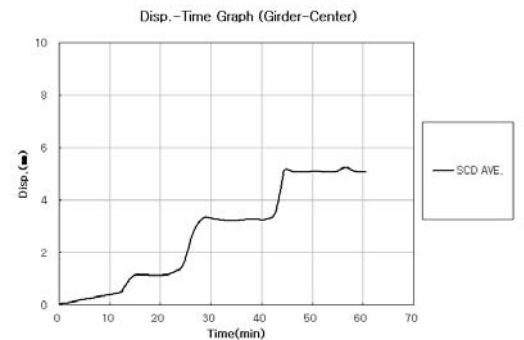


그림 11. 슬래브콘크리트 타설에 따른 거더 중앙부 처짐 그래프

거더 중앙부의 처짐은 하향으로 처지게 된다. 이런 결과는 구조계산에 반영하여 초기 강봉의 인장량과 바닥 판 콘크리트에 의한 추가 인장량이 산정되도록 하였으며 중앙부 거더의 처짐양상은 실제 설계의 최종 쉘에 반영하였다. 강봉 긴장 및 슬래브 콘크리트 타설에 의한 복합검토 결과 강봉은 초기 106 kN으로 장력이 도입되었고 이후 콘크리트 타설에 의하여 37 kN의 장력이 추가 되어 최종 143 kN의 장력이 도입되었다(그림 12).

〈그림 13〉은 강봉의 긴장 및 슬래브 콘크리트 타설에 의해 거더 중앙부에서 발생하는 처짐량을 계측한 결과이다. 강봉긴장에 의해 발생한 솟음량이 12.4 mm 발생하였으며, 콘크리트 타설에 의해 발생한 거더의 처짐량이 5.1mm 발생하여 강봉 긴장 및 콘크리트 타설에 대한 영향을 복합적으로 모두 고려한 거더 중앙부의 발생 변위는 7.3mm로 여전히 솟음이 존재하는 것을 확인하였다(사진 3).

2.3 현장재하시험

복합라멘 형식의 운곡교를 대상으로 트럭재하시험을 통해 정적 및 동적거동을 분석하고 유한요소해석을 통



사진 3. 실험전경 사진

해 수치해석을 실하여 이를 기반으로 내하력을 평가하였다. 현장시험을 수행한 운곡교는 충남 홍성군 갈산면에 위치한 경간 20m 단순교이다(사진 4, 5). 대상교량의 정적재하시험 결과, 처짐에 대한 사용성이 설계기준을 만족하는 것으로 평가되었으며, 교량상에 종방향으로 설치된 변형률 게이지의 계측치를 분석한 결과 대상교량이 라멘교의 전형적인 변형상태를 나타냄을 확인하였다. 또한 충격햄머를 이용한 동적 재하시험 결과 〈그림 14〉와 같은 고유진동수를 나타내었다. 3차원 엄밀 유한요소해석(그림 15)을 통해 대상교량의 수치해석을 실시한 결과 고유진동수는 10.3 Hz로 나타나 실험치로부터 유추한 10.2 Hz와 약 2% 오차만을 보였으며, 대상교

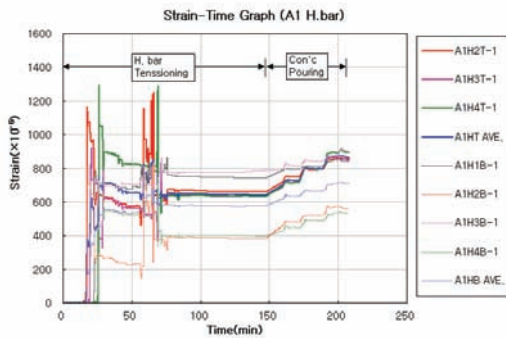


그림 12. 강봉 긴장&콘크리트 타설에 따른 강봉의 변형률-시간 그래프

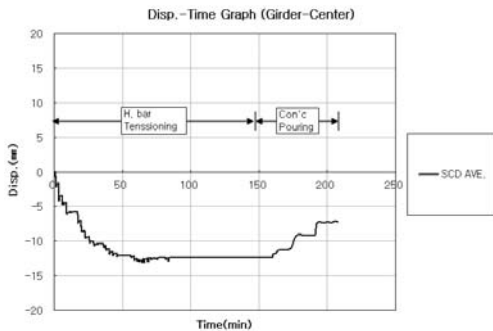


그림 13. 강봉 긴장&콘크리트 타설에 따른 거더 중앙부 처짐 그래프



사진 4. 운곡교 전경



사진 5. 재하시험 전경

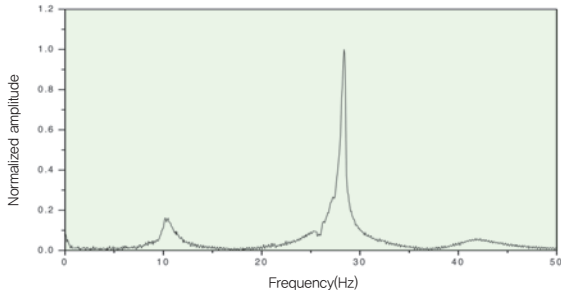


그림 14. 실측을 통한 고유주기 값

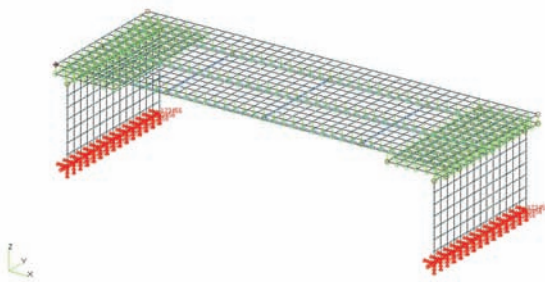


그림 15. 유한요소 해석

량의 허용응력개념과 하중저항계수 개념으로 내하력 평가를 수행한 결과 공용 내하력은 모두 DB24 이상으로 평가되었다(표 1).

표 1. 정적재하시험 결과분석

분석 항목		분석 결과
처짐	해석	3.86 mm
	실측	3.23 mm
	허용 처짐	24.75 mm
충격계수	실측	0.245
	시방서	0.251
	실측/시방서	0.976

3. 맺음말

강봉의 연직방향 긴장시스템을 이용한 강합성 라멘공법인 하이드로 라멘교는 연직방향 긴장시스템의 검증에 포함하여 우각부의 안전성과 사용성을 확보한 공법으로 국내 기후의 아열대화에 따른 급작스런 폭우와 거대 태풍에 대하여 하천의 범람과 그에 따른 교량 손상을 줄이고, 하천의 여유고를 확보할 수 있는 경제적인 공법이라 판단되며 앞으로의 국내 20~35m 지간의 라멘시장의 선두적인 역할을 할 것이라 기대한다.

담당 편집위원 : 김태훈(삼성물산(주)) th1970.kim@samsung.com



권용식 책임연구원은 경희대학교 토목공학과에서 강교이음부 스플라이스 연결부에 관한 연구로 석사학위를 취득하고, (주)삼표E&C 기술연구소를 거쳐 (주)하이드로코리아 기술연구소에서 근무하고 있다.

kwoun27@naver.com



심태무 연구소장은 경희대학교 토목공학과에서 석사학위를 취득하였고, 2005년 토목구조기술사 취득 후 현재 수원시 설계자문위원으로 있으며, (주)하이드로코리아의 기술개발 및 R&D 업무를 총괄하고 있다

stm889@hydrokorea.co.kr