

다단계 온도프리스트레싱기법을 활용한 HEAT 가설교량

KIGEMA



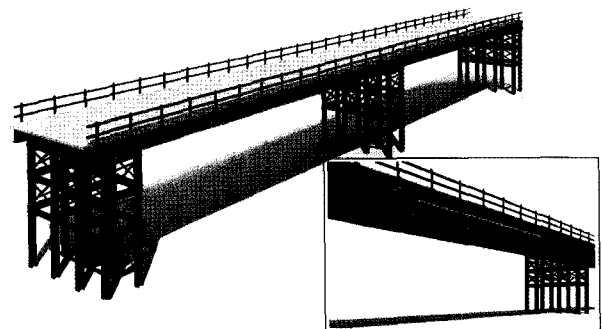
이승재, (주)승화이엔씨 대표이사
 이상우, (주)승화이엔씨 기술연구소 소장
 장지훈, 디지털건설(주) 대표이사

현재 국내 건설현장에 적용되고 있는 가설교량은 크게 재래식 가설교량과 장지간 가설교량으로 구분할 수 있다. 최근 가설교량의 장지간화가 가능한 다양한 공법들이 개발, 적용되면서 장지간 가설교량의 활용범위가 확대되고 있는 실정이다. 또한 과거와는 달리 하천부의 통수단면 확보나 넓은 도로 폭을 갖는 하부 도로를 횡단할 수 있도록 가설교량의 장지간화가 사회적 요구로서 제시되고 있는 추세에 있기 때문에 향후 장지간 가설교량의 적용범위는 크게 확장될 것으로 기대된다. 따라서 본고에서는 현재의 사회적 요구에 적합한 장지간 가설교량으로 다단계 온도프리스트레싱이라는 신개념의 프리스트레싱 공법을 적용하고 있는 HEAT 가설교량에 대해 소개하고자 한다.

1. HEAT 가설교량이란?

HEAT(H-type girder, Environmental friendly, Advanced technology, Thermal prestressed temporary bridge) 가설교량은 일반 구조용 H형강을 이용하여 시공되는 라멘형식 가설교량의 내하성능 및 사용성을 개선시키기 위하여 강재에 일시적인 가열을 통해 다단계 온도프리스트레싱을 도입함으로써 단면효율을 극대화시킴은 물론 가설교량의 장지간화 및 효율적인 형하공간 확보가 가능하도록 한 경관친화적 가설교량이다.

HEAT 가설교량은 종래의 강봉이나 강연선을 긴장하여 프리스트레싱을 도입하는 방법과는 달리 고강도 강판에 일시적으로 다단계 온도분포를 적용함으로써 강판의 열팽창 및 수축특성을 이용하여 프리스트레싱을 도입하는 신개념의 온도프리스트레싱 도입공법을 적용한다. 다단계 온도프리스트레싱 공법은 긴장재로 강봉이나 강연선 대신 고강도 강판을 사용하기 때문에 상대적으로 큰 프리스트레싱력의 도입이 가능하고, 프리스트레싱 효과뿐만 아니라 고강도 강판의 강결에 따른 단면보강효과까지도 얻을 수 있는 매우 효율적인 특허공법(온도프리스트레싱 보강재 접합방식을 이용한 교량의 보강공법, 특허 제04440802호; 반력 모멘트 도입을 이용한 라멘식 구조물의 시공방법, 특허 제10-0608926호)이다.

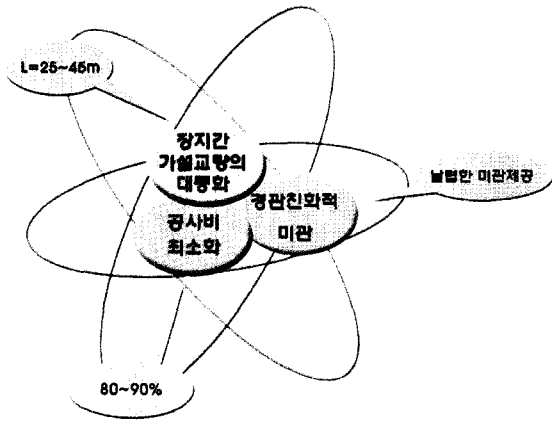


< HEAT 가설교량의 모식도 >

또한 고강도 강판을 이용한 다단계 온도프리스트레싱 공법은 요구되는 가설교량의 취약부위(지점부, 중앙부 등)별로 국부적

인 프리스트레싱 도입이 가능하므로 주거터 단면의 효율적인 활용으로 가설교량의 장시간화 및 구조적 안전성을 극대화할 수 있는 신공법이다.

HEAT 가설교량은 프리스트레싱 도입 후 주거터와 고강도 강판이 완전 합성된 보로써 거동하도록 용접 등을 이용하여 강결시 키기 때문에 프리스트레싱 도입단계는 물론 공용상태 하에서 하중재하 및 진동에 따른 프리스트레싱 소실과 같은 문제가 발생될 소지가 없다. 그러므로 HEAT 가설교량은 프리스트레싱 소실과 관련된 측면에서 공용 중 별도의 유지관리가 필요하지 않으며, 일반 강구조물에서 요구되는 연결부에 대한 유지관리만 요구되기 때문에 상대적으로 유지관리에 있어 간편하고, 편리하다.



< HEAT 가설교량의 장점 >

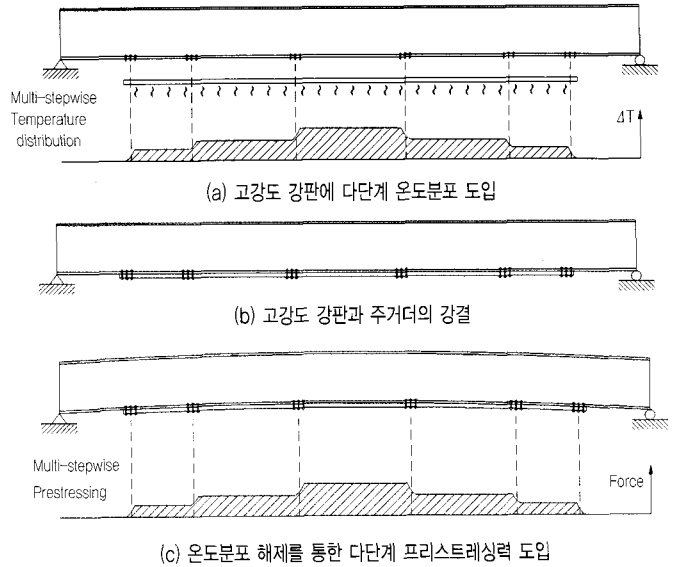
또한 HEAT 가설교량은 프리스트레싱 도입용 고강도 강판이 주거터의 형고 내에 설치되기 때문에 형하공간 확보에 매우 유리한 가설교량이다. 즉, 형하공간을 극대화함으로써 하부도로를 횡단하는 경우, 통행하는 차량의 시거확보 및 시각적 불안감을 최소화할 수 있으며, 하천을 횡단하는 경우 통수단면 확보에 유리하여 홍수시 부유잡물에 의해 발생할 수 있는 직·간접적인 영향을 최소화할 수 있다. 또한 시각적으로 안전한 수준의 형고 확보 및 균일한 형고 확보로 인해 교량의 미관이 우수하기 때문에 주변 경관과도 잘 어울릴 수 있으며, 사용자의 시각적 안정감을 제공할 수 있다.

2. 다단계 온도프리스트레싱 공법

(1) 기본 원리

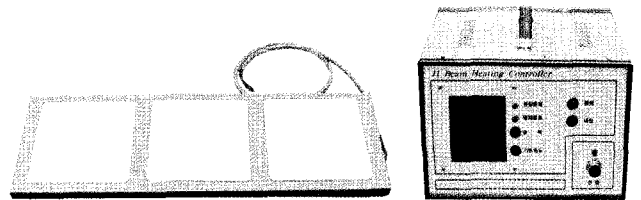
고강도 강판을 이용한 다단계 온도프리스트레싱 공법은 주거터와 고강도 강판의 온도차에 따른 고강도 강판의 팽창 및 신축

특성을 이용하여 주거터에 프리스트레싱을 도입하는 공법이다. 고강도 강판을 이용하여 다단계 온도프리스트레싱을 도입하는 개념도는 다음과 같다.



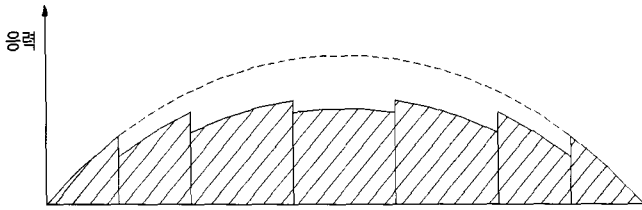
<다단계 온도프리스트레싱 도입과정>

첫 번째 단계는 고강도 강판에 다단계 온도분포(주거터와 강판의 상대온도차)를 도입하는 단계이다. 다단계 온도분포는 별도로 개발된 인덕션 가열판과 자동온도 조절장치를 이용하여 도입된다.



< 인덕션 가열판과 자동온도 조절장치 >

두 번째 단계는 고강도 강판과 주거터를 강결시키는 단계로 고강도 강판에 목표로 하는 온도(차)분포가 도입된 후 온도분포를 일정하게 유지한 상태에서 고강도 강판과 주거터를 고장력 볼트로 체결하는 단계이다. 마지막 단계는 주거터에 다단계 온도프리스트레싱을 도입하는 단계로 주거터와 고강도 강판이 볼트로 강결된 후 인위적으로 발생시킨 온도분포를 해제하므로써 고강도 강판이 대기온도 상태로 냉각되면서 주거터에 온도프리스트레싱을 도입하게 된다. 다단계 온도프리스트레싱의 도입에 따른 주거터의 응력변화도는 다음과 같다.



< 다단계 온도프리스트레싱에 따른 역학적 효과 >

(2) 특징

고강도 강판을 이용한 다단계 온도프리스트레싱 공법이 다른 프리스트레싱 공법과 차별화되는 대표적인 특징은 다음과 같다.

① 효율적인 프리스트레싱 도입

다단계 온도프리스트레싱의 도입은 작용하중에 의해 발생하는 불균등한 모멘트 분포를 전 지간에 걸쳐 균등하게 재분배시킬 수 있기 때문에 전 지간에 걸쳐 단면효율을 극대화할 수 있다. 또한 기존 프리스트레싱 공법이 단일단계로 긴장하는 것과 달리 프리스트레싱력을 다단계로 도입할 수 있기 때문에 단일단계 긴장으로 인한 정착부의 응력집중 문제를 해소할 수 있다.

② 고강도 강판을 이용한 온도프리스트레싱 도입

다단계 온도프리스트레싱 공법은 긴장재로 고강도 강판을 이용하기 때문에 큰 프리스트레싱력을 손쉽게 얻을 수 있으며, 프리스트레싱 도입 후 고강도 강판은 주거더와 일체화된 단면으로 작용하기 때문에 구조물의 단면강성을 증가시키는 역할을 하게 된다.

③ 볼트 또는 용접을 이용한 고강도 강판 체결

온도프리스트레싱 도입 후 고강도 강판이 주거더와 완전 체결된 상태로 거동하게 되므로 프리스트레싱 도입 직후나 공용 중에 온도프리스트레싱이 소실될 염려가 없다. 그러므로 프리스트레싱 소실에 따른 별도의 유지관리가 필요 없는 편리한 공법이다.

3. HEAT 가설교량의 시공성 및 구조적 안전성

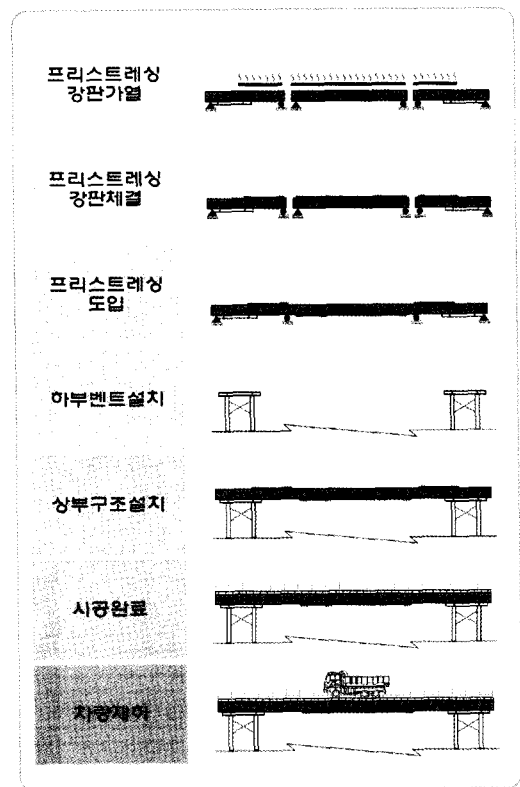
다단계 온도프리스트레싱을 이용하는 HEAT 가설교량은 온도프리스트레싱의 도입방법에 따라 다양한 시공공법이 적용 가능하다. 시공공법별로 다단계 온도분포가 도입된 고강도 강판을 이용하여 주거더에 프리스트레싱을 도입하는 기본원리는 동일하나 다각적인 효율성 측면에서 다소 차이가 있을 수 있다. 그러므로 HEAT 가설교량의 시공방법은 시공성(현장 조건에 따른

적용성 등), 구조적 성능(프리스트레싱에 따른 구조적 효율 등), 경제성(고강도 강판의 부착여부 등) 등에 따라 선택적으로 적용될 수 있다. 본고에서는 현재 시공시 적용하고 있는 시공방법인 직접거치방법으로 제한하여 HEAT 가설교량의 시공성 및 구조적 안전성 등에 대해 언급하고자 한다.

(1) 시공성 (직접거치방법)

직접거치를 통한 HEAT 가설교량의 시공방법은 주 구조물 가설이전에 주거더 하부(정모멘트부) 또는 상부(부모멘트부)에 고강도 강판을 이용하여 다단계 온도프리스트레싱을 미리 도입한 후, 이를 이용하여 주 구조물을 가설하는 방법이다. 온도프리스트레싱의 도입공정은 제작장 또는 시공현장 부지(지상)에서 실시되기 때문에 장비의 이용이나 부지공간의 확보 등에 있어 제약이 없으며, 프리스트레싱의 품질관리가 용이하다는 장점이 있다. 또한 온도프리스트레싱의 도입을 위한 모든 공정(고강도 강판 거치, 온도분포 도입, 고강도 강판 체결 등)이 주거더 상면에서 하향으로 진행되기 때문에 상대적으로 간편하고, 신속한 작업성을 기대할 수 있다.

직접거치를 통한 HEAT 가설교량의 시공단계는 다음과 같다.

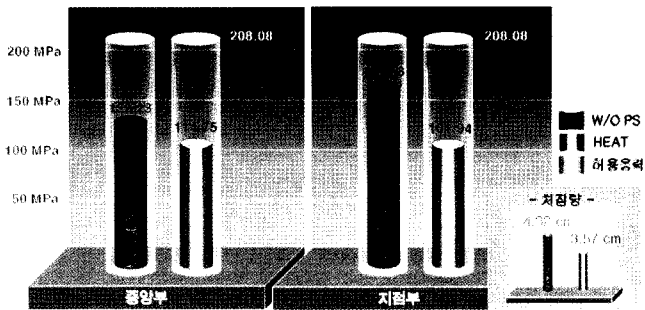


< HEAT 가설교량 시공절차(직접거치방법) >

먼저, 제작장이나 현장 부지에서 주거터의 중앙부와 지점부에 대해 요구되는 프리스트레싱력에 따라 프리스트레싱용 고강도 강관에 다단계 온도분포를 도입한다. 다단계 온도분포가 목표온도에 도달하였을 때, 주거터와 고강도 강관을 체결한 후, 프리스트레싱이 도입된 중앙부 및 지점부의 주거터 부재를 요구되는 프리스트레싱 효과에 맞도록 주거터를 조립한다. 반면에 현장 부지에서 온도프리스트레싱된 주거터를 조립하는 동안, 가설교량 설치위치에서는 하부벤트를 설치하게 된다. 하부벤트 설치 후, 기 조립된 상부거터를 거치하고, 가로보를 조립하여 완전한 라멘구조식 가설교량을 완성하게 된다. 이후 복공판과 가드레일을 설치하여 직접거치방법에 의한 장지간 가설교량의 시공을 완료하게 된다.

(2) 구조적 효율

다단계 온도프리스트레싱 공법이 적용된 HEAT 가설교량의 구조적 효율을 분석하기 위하여 동일조건 대상교량(최대지간장 31m, 교폭 6m, 하부벤트 간격 2m)에 대해 온도프리스트레싱의 도입여부에 따른 최대작용응력 및 처짐량을 비교하였다. HEAT 가설교량에 적용된 고강도 강관의 두께는 중앙부, 지점부 모두가 2cm이고, 다단계 온도분포는 중앙부가 $\Delta T=60^{\circ}\text{C}-80^{\circ}\text{C}-60^{\circ}\text{C}$, 지점부가 $\Delta T=80^{\circ}\text{C}$ 이다. 하중조건은 고정하중, 온도프리스트레싱력, 활하중(DB-24 2대 재하), 온도변화에 대한 하중조합을 이용하였다.



<구조적 효율 비교결과>

온도프리스트레싱의 도입여부에 따른 구조적 효율을 비교·분석한 결과, 온도프리스트레싱의 도입에 의해 주거터에 작용하는 최대응력이 약 29% 감소하는 것으로 나타났으며, 처짐량도 상당히 감소하는 것으로 나타났다. 즉, 온도프리스트레싱의 도입을 통해 동일한 지간장에 대해서는 가설교량의 안전수준을 높일 수 있으며, 동일한 안전수준에 대해서는 보다 장지간의 가설교

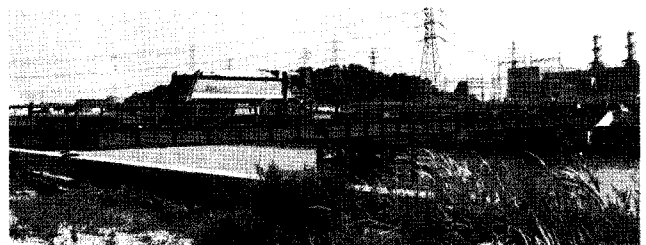
량 시공이 가능한 것을 알 수 있다.

4. 적용사례

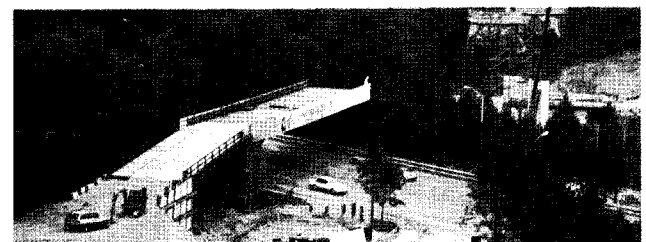
HEAT 가설교량은 고강도 강관을 이용한 다단계 온도프리스트레싱 공법을 적용한 가설교량으로 실물가설교량에 대한 재하 시험을 통하여 구조적 안전성이나 시공성 등이 확인되었으며, 현재 실제 시공현장의 공사용 가설교량이나 교통우회용 가설교량, 보도용 육교 등으로 적용되고 있다. HEAT 가설교량은 경부선 왜관낙동강교 교각단면 보강공사의 공사용 가교로 처음 시공되었다. 현재 청라투기장 진입도로의 중차량 통행용 가설교량 및 분당-내곡간 고속도로 횡단 서울-용인간 고속도로 건설공사의 공사용 가설교량이 시공되어, 공용 중에 있다. 또한, 서울시 중차량추가노선사업의 고척교, 오목교와 판교 JCT 부산방향 가도 변경 공사 등 총 3건이 곧 시공될 예정이며, 고속도로 대체 우회도로, 수해상습지 개선사업, 턴키사업 및 민자사업 등 약 14여 개소에 설계반영되어 있다.



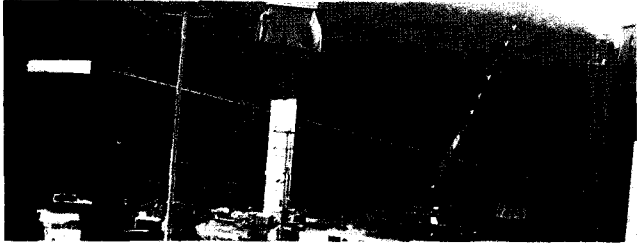
< 왜관낙동강교 공사용 가교 >



< 청라투기장 진입로 중차량 통행용 가교 >



< 분당-내곡 횡단 중차량 통행용 가교-1 >



< 분당-내곡 횡단 중차량 통행용 가교2 >

5. 맺음말

HEAT 가설교량은 종래의 프리스트레싱 기술과는 달리 긴장재로 고강도 강판을 사용하며, 다단계의 온도분포를 이용하여 프리스트레싱을 도입하는 신개념의 온도프리스트레싱 공법을 적용한 가설교량으로 현재 특허기술로써 실제 건설현장에서 적용되고 있으며, 건설신기술 지정 신청이 진행 중에 있다. HEAT 가설교량은 2005년도부터 기술개발을 시작하여 2006년 5월 첫 시험시공을 실시한 이래로 현재 시공완료, 시공 중, 시공예정(설계완료)인 교량이 약 20개소로 빠르게 확대되어 왔으며, 신개념 온도프리스트레싱 기술에 대한 우수성이 입증됨에 따라 그 활용 사례는 더욱 증가할 것으로 전망된다.