

〈 건설교통부 신기술 제 530호 〉

H-형강에 고강도강판을 부착한 프리스트레스 복합거더 가설교량의 설계/시공법

Development of a Prestressed Plate Girder Forming Hybrid Sections of Hot-rolled H Beam and High-Strength Steel Plates

(주)수성엔지니어링, (주)휴먼브릿지, 태평양개발(주)

1. 신기술 개발 배경

현대사회에 들어와 인구의 증가와 산업의 발달로 인하여 교통량 및 물동량이 증가하고 있으며, 이에 새로운 도로의 개설 및 확장공사가 급격히 증가하고 있다. 일반적으로 가설교량은 한시적으로 신설교량의 우회도로로 활용되거나, 장비의 이동통로, 시공시의 임시동바리로 활용되는 등 사용범위가 증가하고 있는 실정에서 교량의 개설 및 증설에 맞추어 가설교량의 수요 또한 증가하고 있다. 현재 국내에서 사용되는 가교공법으로는 단순 H형강 또는 외부 긴장된 H형강을 이용한 가교공법, 트러스 거더를 이용한 장지간 조립식 가설교량 공법 등이 사용되고 있다. 이러한 기존 가설교량 공법의 문제점은 다음과 같다.

(가) 단순 H형강을 이용한 가설교량 공법(재래식 공법)

- 단순 H형강을 사용함으로써 유효지간 거리가 짧다.
- 지간거리의 한계로 인해 단경간의 교각 개수가 많아 시공성이 떨어지고 공기가 길며 하부공사비가 증대된다.
- 짧은 지간거리의 한계로 도로 및 철도의 횡단에 제약이 따르며 (차량통행 공간부족), 홍수시 통수능에 불리하고, 해체시 산소절단을 함으로써 고재가 다량 발생하는 등의 문제점을 내포하고 있다.

이에 상기의 제반 문제점을 해소기 위해 선행하중을 재하한 일반 H형강의 상하부 플랜지에 고강도 강판을 강결융접한 후 응력을 해

방시킴으로써 프리스트레스의 도입효과를 극대화 시킨 강재거더 (High Prestressed Plate Girder, 이하 HiPP 거더)를 개발하였으며, 이를 이용한 가설교량 공법(이하 HiPP 공법)을 개발하였다. 본 신기술에 의해 개발된 HiPP 거더의 특징은 낮은 형고로 장지간 가설이 가능하여 도로 및 철도횡단시 차량소통을 위한 형하공간 확보와 하천횡단시 통수능 확보에 유리하고, 전체적인 가설교량 시스템의 구조가 간단하여 시공성이 좋고, 강재거더의 공장제작으로 현장작업이 최소화 되어 시공오차가 거의 없으며, 시공시 공기의 단축 및 부속부재가 필요없고 형고가 낮아 미관이 양호한 등의 많은 장점을 보유하고 있다.

2. 신기술의 내용

(1) 신기술의 내용

가설교량시스템은 일반교량과 달리 시급한 공기를 필요로 하는 경우가 많으며, 또한 영구적인 교량보다는 본교량의 우회교량이나 시공시 동바리역할을 수행하는데 초점이 맞추어져 있다. 이러한 필요성에 대두해서 많은 가설교량이 제작 시공되었으나 앞서 말한 여러 사항을 만족하지 못함에 따라 본 신기술은 H형강에 선행하중을 도입한 상태에서 상하부 플랜지에 고강도 강판을 부착한 후, 초기에 도입된 선행하중을 제거(release)함으로써 내부의 H형강과 고강도 강판의 응력차를 이용한 공법(이하 HiPP 공법)을 나타낸다.

본 신기술은 공장에서 다량으로 제작되는 H형강을 이용하였으며, 초기의 선행하중이 도입된 H형강의 플랜지에 고강도 강판을 용접하여 합성시킴으로써 합성거더에 미리 프리스트레스를 도입하는 효과를 이용하였기 때문에,

- 기존의 H형강만을 이용한 강재보다 강성과 처짐에 유리하며,
- 부가적인 거치물의 설치가 없기 때문에 외관이 아름답고 간결하며,
- 강재거더의 항복을 지연시킴으로써 같은 하중조건하에서 기존의 강재보다 장지간으로 제작하여 이용할 수 있음을 보여주는 기술이다.

본 기술에 의해 제작된 HiPP 거더는 공장제작으로서 균일한 품질을 확보할 수 있으며, 현장시공 시 조립 과정만을 거치므로 공기의 단축이 가능하고, 프리스트레스효과를 이용하였기 때문에 구조적인 측면에서 장지간이 가능한 가설교량시스템이다. 또한 HiPP 거더의 경우는 가설교량의 주형으로서 활용될 뿐만 아니라 체육관, 백화점, 주차장 등에서 장지간 거더를 사용하여 기둥의 개수를 줄일 때 활용가치가 높은 건축구조물의 거더로서 활용될 수 있으며 중소형교량의 역할도 충분히 소화할 수 있다.

(가) HiPP 거더 제작 순서

단 계	하중 재하 상태	응력 저항단면 및 발생응력	비 고
(1) 일반 H형강			일반 구조용 강재를 재하대 거치
(2) 선행하중 재하			선행하중을 재하하여 설계 모멘트만큼의 설계 휨모멘트를 부과
(3) H형강의 상하부 플랜지에 고강도강판 용접			(2)의 상태에서 H형강의 상하부 플랜지에 고강도 강판을 용접한다.
(4) 선행하중 제거			선행하중을 제거하여 합성단면 (HiPP 거더 완성)

〈그림 1〉 HiPP 거더 제작 순서

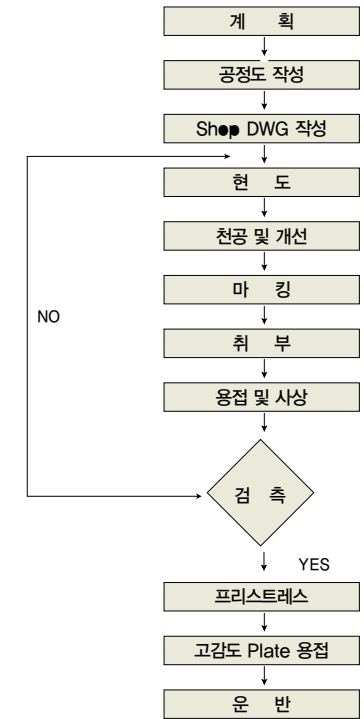
(나) HiPP 거더 제작과정

제작과정은 아래의 flow-chart를 따라 진행되며 각 과정에서 검측을 실시하여 보다 정밀하게 제작, 현장 조립 시의 문제를 사전에 방지하여야 하며 각 공정에 대한 상세한 설명은 다음과 같다.

1) 자재반입

규격에 맞는 내부의 H형강과 고강도 강판을 반입한다. 설계시 내부의 H형강과 고강도 강판의 허용응력차를 고려하여 고강도 강판의 강종을 선택한다. 이때 각 재료의 품질규정은 HiPP 거더 특별

시방서를 따른다.



〈그림 2〉 HiPP 거더 제작 공정



〈사진 1〉 자재반입

2) 절단

공장 자동화시설에 의거하여 H형강과 고강도 강판의 절단 및 거더 연결부위 볼트 위치의 선정, 볼트구멍의 천공 등 모든 공정은 자동적으로 이루어지고 있다. 반드시, H형강 및 고강도 강판의 절단시 작업지시서를 참조한다.(하중재하점 한 곳의 고강도강판의 절단 포함)



〈사진 2〉 강재 자동 절단기

3) 주형 가제작

H형강에 선행하중을 재하하기 전에 강재 자동 절단기를 통한 내부 H형강과 고강도강판을 가집 및 고정구와 썸기로 접합시켜놓는다. 또한 하중재하점 및 지지점의 국부좌굴 방지용 수직보강재와 가로 보 연결지점의 수직보강재를 설치한다.



〈사진 3〉 주형 가제작

4) 가제작된 주형의 재하대 거치

가제작된 주형을 거더 재하대에 거치한다. 이때 지지점 및 유압잭



〈사진 4〉 가제작주형 거더 재하대 거치

의 정확한 위치에 놓는 것에 유의하며, 거더의 선행하중 재하시 횡좌굴의 위험성을 고려하여 옆면에 횡좌굴 지지대를 설치한다.

5) 선행하중 재하

선행하중의 재하는 구조적 안전성 확보를 위해 하향용접을 지향하여, 정모멘트부는 하부에서 재하하고 부모멘트부는 상부에서 재하하고자 각각 특성에 맞는 재하대를 제작, 시행하며 항복응력까지 선행-탄성적인 부재의 성질을 지니게 한다.



〈사진 5〉 선행하중 재하 및 해제

6) 선행하중 재하상태에서의 고강도강판 용접

선행하중이 재하된 상태를 유지하며 H형강과 고강도 강판을 용접하여 합성단면을 완성한다.



〈사진 6〉 선행하중재하 중 고강도강판 용접

7) 하중제거(Release)로 Prestress가 도입된 HiPP거더 완성

용접이 완료된 상태에서 선행하중을 제거하면 초기에 도입했던 선행하중방향과 반대의 방향으로 합성거더에 모멘트로 작용하며 이때, 합성 전·후의 강성차에 의해 프리스트레스 응력이 도입된다.



〈사진 7〉 완성된 HiPP거더

8) 자재 현장 운반

모든 HiPP 거더는 공장에서 제작되기 때문에 현장에 부지를 확보할 필요가 없다. 따라서 공장에서 제작한 거더를 현장에 가설 시에는 특수차량을 이용하여 운반하며, 현장에서는 운반된 거더를 이용하여 현장조립하면 된다.



〈사진 8〉 자재 현장 운반

3. 신기술의 범위

본 신기술은 일반 강형재의 상·하부에 고강도 강판을 강결하여 낮은 형고로 장지간보를 가능하도록 한 H형강에 고강도강판을 부착한 프리스트레스트 가설교량 시공법에 관한 것으로,

- 1차: 일반 강형재 및 강형재의 상·하부에 고강도 강재를 준비
- 2차: 선행하중 재하점 위치에 절단 노치부를 형성하고 절단 노치부 및 중앙부에 가집
- 3차: 강형재와 고강도 강판 사이를 썸기로 밀착
- 4차: $\frac{1}{4}$ 및 $\frac{3}{4}$ L지점의 2점 선행하중 재하
- 5차: 선행하중이 재하된 상태에서 강형재와 고강도 강판을 용접하여 합성단면완성

6차: 하중 해제로 프리스트레스 강재보 완성

7차: 완성된 강재보를 180° Turn Over 하였을 때 상기와 반대의 모멘트 발생 위치에 적용(상기의 강재보가 정모멘트부에 배치될 때 Turn Over 된 강재보는 부모멘트부에 배치)하여 연속교 배치 수행

상기 과정의 강재보 제작방법에 있어서

- (1) 선행하중 재하점 위치에 절단 노치부를 형성하여 마찰력에 의한 고강도 강판의 정체됨을 방지하여 강형재와 고강도 강판이 힘에 대해 자연히 일치되게 하는 기술.
- (2) 하중재하전 썸기에 의해 강형재와 고강도 강판을 밀착시켜 하중 재하상태에서 강형재와 고강도 강판 사이의 공극이 없이 용접을 수행할 수 있게 하는 기술.
- (3) 정모멘트부와 부모멘트부에 적용되어지는 강재보를 각각 제작하는 것이 아니라 한쪽은 180° Turn Over 하여 현장에서 조립과정만을 거쳐서 연속교를 완성하는 기술.
- (4) 상기 (3)항의 대체공법으로서 상부에서 선행하중을 재하하여 제작한 거더는 부모멘트부(지점부)에 배치하고 하부에서 선행하중을 재하하여 제작한 거더는 정모멘트부(중앙부)에 배치하여 연속교를 완성하는 기술.

순위	공사명	발주자 / 시공자	신기술만의 공시기간과 공사금액	시공장소 (위치)
1	울포천 2단계공사 중 가설교량 설치공사	수자원공사 / 현대건설	2006.11.01 - 2006.06.30 (₩ 3,100,000,000)	인천시 서구 시천동
2	은파 보도현수교 가설공사	군산시 / 삼한캐슈	2005.11.30 - 2006.03.31 (₩ 2,509,400,000)	군산시 내운동
3	성남판교지구 국지도23호선	한국토지공사 / 태평양개발	2006.05.31 - 2008.02.28 (₩ 3,100,000,000)	성남시 판교지구
4	지하차도 건설공사(1차) 남해리조트 보도육교	에머선퍼시픽 / 신신토건	2006.06.01 - 2006.07.31 (₩ 470,000,000)	경상남도 남해군
5	성남판교지구 국지도23호선 지하차도 건설공사(2차)	한국토지공사 / 태평양개발	2006.08.25 - 2008.02.15 (₩ 4,940,000,000)	성남시 판교지구

- 보급성

본 신기술은 Preflexion기술 및 고강도강재를 이용하여 Prestress를 도입하여 상·하부 플랜지의 압축 및 인장응력을 감소시킴으로써 같은 하중조건에서 기존의 기술을 사용한 강재보 보다 지간거리를 장지간화 한 기술로서, 기존의 공법보다 구조가 단순하고 부속부재가 없어 시공성이 좋고 공기가 빠르고 낮은 형고로 장지간 시공되므로 형하공간의 이용 및 미관이 양호하며 또한 장지간 시공이 가능하므로 하천의 유수 소통을 원활하게 할 수 있으며, 본 신기술을 이용하여 아래와 같은 다양한 분야에 적용할 수 있다.

- 각도로 및 하천교량 또는 철도교량 공사에 있어 본 교량 설치 전 우회도로용으로 필요한 가설교량.

- 집중호우 등에 의한 하천 범람으로 인한 교량 유실시 긴급 복구 가설교량.
- 높은 형하공간 확보가 필요한 가설교량.
- 홍수시 높은 형하 여유고 및 통수능 확보가 필요한 가설교량.
- 공연장이나 백화점, 주차장 등 낮은 형고와 장경간 확보 및 미관성이 고려되는 건축 구조물.
- 도로 및 하천의 폭이 커 장기간으로 시공할 필요가 있는 가설교량.

4. 기술적, 경제적 파급효과

(가) 기술적 파급효과

1) 프리스트레스 구조물의 설계 기술의 발전

현재 프리스트레싱의 기술적, 경제적 유용성은 콘크리트에 도입하면서 폭넓게 발전되었으나, 프리스트레스트 강교량은 상대적으로 더딘 발전을 보였다. 그러나 프리스트레스트 콘크리트의 발전은 프리스트레스트 강교량에도 유사한 해석 방법을 적용시킬 수 있다는 것을 보여주고 있다. 따라서 본 신개발 공법은 강교량에도 프리스트레스를 도입함으로써 기술적, 경제적 유용성을 보여주는 예가 되었으며, 또한 기존의 기술은 프리스트레스 도입을 강봉이나 강연선을 통해서 주로 도입하였으나 Preflexion 기술을 이용하여 프리스트레스를 도입함으로써 앞으로 강교량설계에서 프리스트레스의 도입방법 연구를 더욱 폭넓게 하는 계기가 될 것으로 생각된다.

2) 영구 교량의 설계 기술의 발전.

Preflexion을 이용한 Prestress의 도입은 교량의 장기간은 물론이며 낮은 형고와 높은 형하공간, 교량의 미관성 확보가 용이하므로 더욱 다양하고 양질의 교량 설계기술 발전에 기여할 수 있다고 판단된다.

(나) 경제적 파급효과

1) 공사원가 절감의 효과.

가) Preflexion을 이용하여 가설교량을 시공할 경우 형고가 낮아짐으로 인하여, 접속도로의 성토고가 낮아짐으로서 추가적인 원가 절감 효과를 발생한다.

나) 가설교량의 장기간화로 인하여 하부구조물의 공사가 적어지므로 공사비가 절감된다.

다) 일반 건축물에 적용할 시 본 공법으로 시공할 경우 층고의 감소로 인하여 구조물 전체의 비용을 절감할 수 있다.

2) 간접 효과

가) 규격화, 표준화에 의한 원,부자재의 재활용으로 장기적으로는 국가자원의 낭비를 방지할 수 있다.

나) 여름 집중호우에 의한 급격한 유량의 증가에 따른 교량의 붕괴 시 신속한 교량시공으로 지역주민의 편리도모 및 원활한 복구 장비 이동이 가능함으로써 국가예산의 절감효과를 가져올 수 있다.

다) 대도시 및 중소도시 내 교량 신규 개설 또는 대체교량 설치시 장기간으로 설계 및 시공할 수 있음으로 원활한 교통흐름을 기대할 수 있다.

5. 결론

미리 선행하중을 도입한 H형강의 상하부에 고강도 강판을 부착시킴으로써 프리스트레스의 도입효과를 극대화 시킨 새로운 강재거더의 제작원리, HiPP 거더의 제작과 재하실험, 그리고 가교설계에 적용 가능성을 살펴보았다. 아울러 HiPP 거더의 허용휨응력과 용접부 설계검토 방안을 제시하였다. 그 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본질적으로 HiPP 거더는 H형강의 상하플랜지에 강판을 부착시킨 합성거더이기 때문에 강성이 상당히 증가하고 형고가 낮아진다.
2. HiPP 거더의 제작과정에서 도입된 프리스트레스 때문에 거더가 받을 수 있는 허용응력의 범위가 더 커지게 된다. 그 결과 HiPP 거더를 적용하면 동일단면을 갖는 합성거더보다 장경간 교량설계가 가능하다.
3. 정모멘트 구간과 부모멘트 지점부에 HiPP 거더를 반대로 적용하면 효과적인 연속가교(continuous temporary bridge)의 설계가 가능하다.
4. 실험체 B의 방법을 따르면, 선행하중 도입 시 H형강에는 순수 휨응력이 도입되고, 상하부 고강도 강판에는 무응력 상태를 발생시키는 HiPP 거더의 제작이 가능하다.