

# 친환경 층고 절감형 합성보의 시공 Process 및 시공사례

## Environmental Friendly Construction Process of Composite Beam and its Application

홍원기\*  
Hong, Won-Kee

박선치\*\*  
Park, Seon-Chee

이경훈\*\*\*  
Lee, Kyoung-Hun

김점한\*\*\*  
Kim, Jeom-Han

이호찬\*\*\*\*  
Lee, Ho-Chan

황윤하\*\*\*\*\*  
Hwang, Yun-Ha

### Abstract

Recently hybrid beam system is widely used because it has many structural advantages such as short construction period and low story height etc. Generally steel wide flange beam exposure type and embedded type hybrid beams are constructed. Even though exposure hybrid beam is easily constructed, the fire proofing protection process is necessary because steel wide flange beam cannot resist to fire itself. Story height reduction type hybrid beam, which is introduced hybrid beam in this paper, does not need fire proofing protection process because it is constructed as a fully embedded type hybrid beam. Developed construction process and actual construction cases of story height reduction type hybrid beam were introduced in this study.

키워드: 층고절감형합성보, 매입형합성보, 내화피복

Keywords: Story height reduction type hybrid beam, Embedded hybrid beam, Fire proofing protection

### 1. 서론

구조물을 축조하는 건설공법은 오랜 기간 동안 끊임없이 개발되어 왔다. 공법의 개발은 공사기간의 단축 및 건설현장의 안정성확보를 비롯하여 환경 친화적인 건설 등의 효과를 얻어 인간생활의 삶의 질을 향상시키는데 일조하였다.

공사기간은 전체공사비에 가장 큰 영향을 미치는 요소로써 대표적인 공법 중 공사기간을 단축시킬 수 있는 구조형식은 철골구조와 PC (Precast Concrete) 구조이다. 그러나 철골구조는 지속적으로 상승되는 철의 단가로 인하여 재료비가 상당히 많이 소요되며 환경오염의 주범인 내화피복 공정 등 짧은 공사기간에 비하여 단점 또한 많은 구조형식이다. PC구조는 내화피복 등 환경문제를 야기시키지는 않지만 접합부 성능이 타 구조에

비하여 상대적으로 약한 구조적 단점을 가지고 있다.

PC구조와 철골구조의 장점을 발휘할 수 있도록 개발된 합성보는 공장에서 철골 보와 PC를 합성보 형태로 제작하여 현장에 반입한 후 접합부를 조립하고 현장타설로 일체화하는 공법이다. 층고절감형 합성보는 철골 상부플랜지가 슬래브 내부에 묻히고 철골보의 사이즈 감소로 인하여 지상층에서의 층고절감 및 지하층 굴토량 절감효과가 있다. 본 연구에서는 시공성이 뛰어나고 환경 친화적인 공법인 합성보의 시공 Process를 소개하고자 한다.

### 2. 층고절감형 합성보 공법의 개요

두 가지 이상의 재료를 사용하여 구조적 성능과 사용성 등의 장점을 극대화시키기 위하여 개발된 합성보의 형태는 다양하다. [그림 1]은 가장 보편적으로 사용되는 노출형 합성보로써 철골보의 상부플랜지에 스티드 볼트(stud bolt)를 설치하여 상부 콘크리트 슬래브와 일체화시켜 모멘트 성능을 극대화시키는 합성보이다. 노출형 합성보는 시공이 간편한 반면 하부의 철골보가 노출되어 있어 내화피복이 필수적으로 요구되며 진동에 대한 성능에 상대적으로 약하여 장스팬 구조의 구축에 불리하다.

\* 주저자, 경희대학교 건축공학과, 부교수

\*\* 교신저자, 경희대 대학원 박사과정 (pscogogo@khu.ac.kr)

\*\*\* (주)크로스구조연구소 연구소장

\*\*\*\* (주)크로스구조연구소 대표이사

\*\*\*\*\* (주)MCS Tech. 대표이사

\*\*\*\*\* 동화약품충주공장 감독관

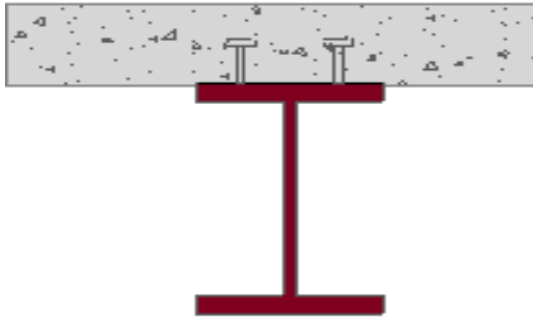


그림 1. 노출형 합성보

합성보를 완전히 구축한 후의 단면형상은 [그림 2]와 같이 매입형과 철골보 웹부분을 가벼운 스티로폼으로 채워 자중을 경감시킨 중공형의 두 가지로 나눌 수 있다. 두 형상 모두 완공 후 철골보가 외부로 노출되는 부분이 없어서 내화피복공정을 완전히 제거할 수 있다.

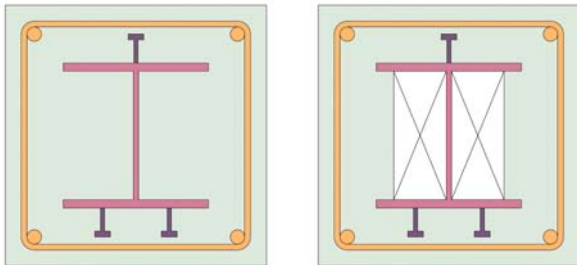
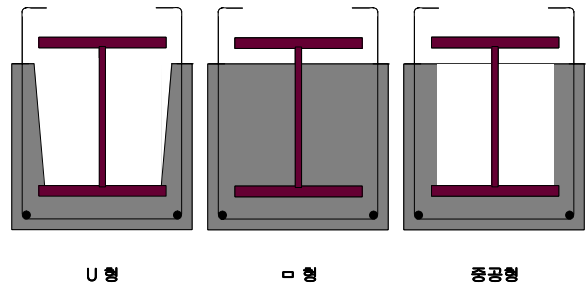


그림 2. 완공된 합성보의 단면형상

공장에서 제작되어 현장으로 반입된 PC형 합성보는 [그림 3]과 같이 U형, □형, 일자형 그리고 중공형의 네 가지 형상으로 구분된다. 각각의 합성보는 현장반입 후 기둥과의 조립을 용이하게 하기 위하여 PC(Pre-cast) 콘크리트를 [그림 4(a)]와 같이

단부의 일부를 제외한 부분에 제작을 하며 필요에 따라 작은 보를 설치하는 경우 [그림 4(b)]와 같이 중앙부분의 철골보를 노출시킬 수도 있다.

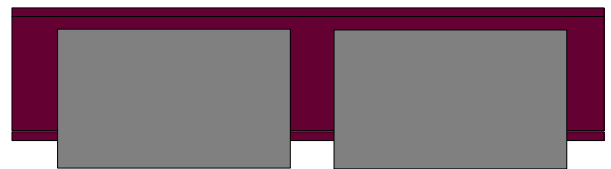


U형 □형 중공형

그림 3. 공장제작 합성보의 단면형상



(a) 철골보와 PC 콘크리트가 합성된 MHS 보

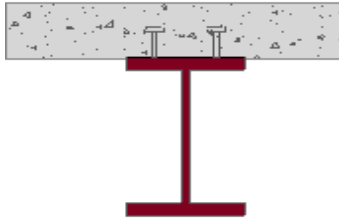
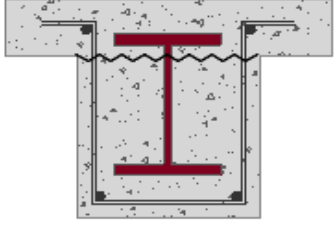


(b) 작은 보 설치를 위한 MHS 보

그림 4. 공장제작 합성보의 입면

[표 1]은 노출형 합성보와 층고 절감형 합성보를 비교한 표로써, 두 구조시스템의 구조적 특징을 정리한 것이다.

표 1. 합성보의 특성 비교

구분	노출형 합성보	층고절감형 합성보
단면형태		
철골물량	큰 철골을 사용하므로 철골물량 증가	합성효과로 철골 사이즈를 줄일 수 있어서 물량 감소
내화피복	석면 등 발암물질을 사용하므로 환경오염의 원인이 됨	콘크리트가 내화피복역할을 수행
층고	슬래브를 철골보 상부에 스티드 볼트(stud bolt)로 접합	철골 상부플랜지가 슬래브 내부에 묻히고 철골보의 사이즈 감소로 인한 지상층에서의 층고절감 및 지하층 굴도랑 절감

### 3. 층고절감형 합성보 시공 process 및 고려사항

층고절감형 합성보의 설계는 시공 시와 완공 시의 두 가지 상황을 고려하여 각 상황에 맞는 하중조건 하에 설계를 수행한다. 시공 시 층고절감형 합성보는 합성보로 고려하지 않고 모든 하중을 철골 보가 부담할 수 있도록 철골 보를 선택한다.

#### 3.1 U형 합성보의 설계시 고려사항

U형 합성보는 가장 대표적인 층고절감형 합성보의 형상으로 철골 보의 하부 플랜지에 스타터 볼트(stud bolt)를 설치한 후 하부철근과 스타터립(stirrup)을 배근하고 미리 제작된 몰드(mold)에 콘크리트를 타설하여 중기양생으로 [그림 5]와 같은 U형 합성보를 제작한다. 현장에 반입 후 데크 플레이트(deck plate)를 U형 PC(prest) 콘크리트 상부에 거치시키고, 스타터립(stirrup)과 용접(spot welding)을 수행하여 데크 플레이트(deck plate)를 고정시킨다. 이때 철골 보 상부플랜지(upper flange)와 U형 PC(prest) 콘크리트까지의 최단거리는 70mm 이상을 유지하여야 하는데 이는 현장타설 시 진동기(vibrator)를 삽입시키기 위함이다.

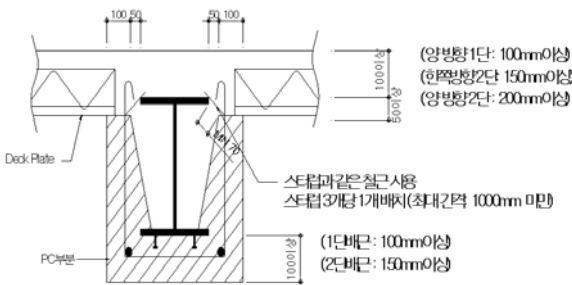


그림 5. U형 합성보의 설계 시 고려사항

또한 철골 보 상부플랜지(upper flange)에서 콘크리트 슬래브 상부까지의 두께는 [건축구조설계기준 2005]에 따라 최소 100mm 이상을 확보하여야 한다. 따라서 두께가 150mm인 슬래브를 설계하는 경우 현장타설 시 진동기(vibrator)의 삽입이 용이하지 않아 이러한 경우 중공형 합성보를 적용한다.

#### 3.2 중공형 합성보의 설계시 고려사항

중공형 합성보는 [그림 6]과 같이 PC(prest) 콘크리트와 철골 보를 합성하면서 철골 보의 웹부분에 스티로폼(styrofoam)을 미리 삽입하여 현장으로 반입한다. 이 스티로폼(styrofoam)은 현장타설 후에도 영구적으로 남아있어 내부가 비어있는 가벼운 중공형 합성보를 구축하게 된다. 그러나 현장타설되는 단부와 접합부는 완전 매입형으로 축조되므로 매입형과 중공형이 복합된 형태의 합성보를 구축하게 된다. 중공형 합성보의 설계시 특별히 고려해야 할 사항은 없으며 기존의 구조설계기준에서 제시하고 있는 합성보의 규준에 준하여 설계를 하거나 [층고절감형 합성보 구조설계지침]에 따라 설계한다.

### 4. 층고절감형 합성보의 모듈 특성

층고절감형 합성보의 모듈 특성으로는 공사기간 단축형과 공

사비용 절감형으로 구분되며 철골기둥, RC기둥 및 SRC 기둥과도 연결 가능하다.

#### 4.1 공사기간 단축형

층고절감형 합성보는 다양한 기둥의 구조형식에 대하여 시공 절차가 체계화 되어 있으며 이러한 시공 개념은 [그림 6] ~ [그림 8]과 같다. [그림 6]은 철골기둥에 접합되는 층고절감형 합성보의 형상으로 공사기간을 최대로 단축시킬 수 있는 공법이지만 접합부 및 기둥의 철골에는 내화피복을 수행하여야 한다. [그림 7]과 [그림 8]은 각각 RC기둥과 SRC기둥에 접합된 합성보의 형상으로 이 경우 슬래브 콘크리트 타설 시 단부와 접합부의 철골이 콘크리트 내부에 완전 매입되므로 내화피복공정은 전혀 필요하지 않으며 약 10 ~ 20% 정도의 공사기간을 단축시킬 수 있다.



그림 6. 철골기둥-합성보

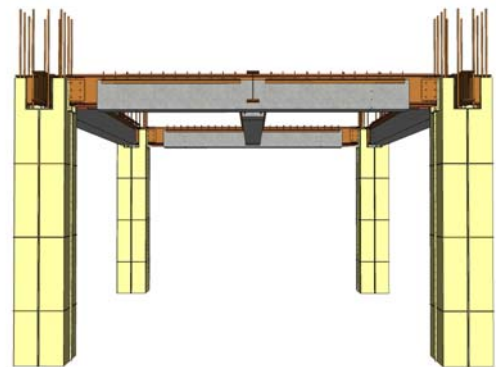


그림 7. RC기둥-합성보

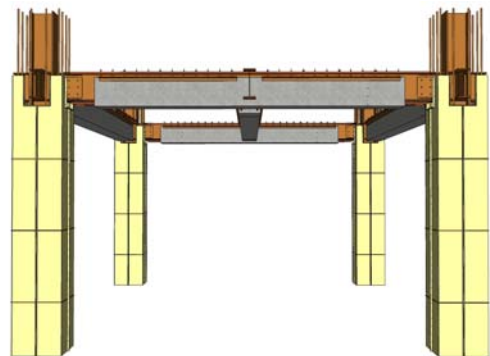


그림 8. SRC기둥-합성보

#### 4.2 공사비용 절감형

다음 [그림 9] ~ [그림 11]은 공사비 절감형 합성보의 모듈을 보여주는 그림으로 합성보의 콘크리트 부분을 일부경간 또는 전경간 현장에서 타설하게 된다. 또한 공장제작시 PC 콘크리트 부분의 길이 조정이 가능한 시스템이므로 PC부분을 최소화하여 공사비를 절감할 수 있다. [그림 9]는 층고절감형 합성보의 콘크리트 부분을 일부경간만 현장타설하는 공사비 절감형 합성보와 철골기둥의 시스템으로, 기둥-보 접합부는 FRP 시스템 거푸집을 이용하여 현장타설을 한다. 철골기둥은 내화피복이 필요하지만 기둥-보 접합부는 내화피복이 불필요하다.

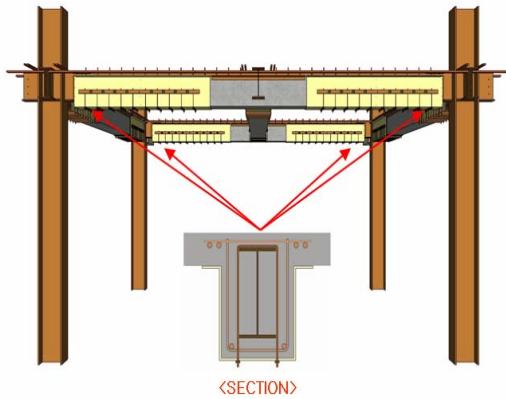


그림 9. 공사비 절감형 철골기둥-합성보

[그림 10]과 [그림 11]은 층고절감형 합성보와 RC 및 SRC기둥과의 연결 시스템으로 기둥과 기둥-보 접합부는 FRP 시스템 거푸집을 이용하여 현장타설을 수행하며 내화피복이 불필요하다. 또한 RC기둥을 PC기둥으로 대체하여 사용하면 기둥부 콘크리트 타설 과정을 생략할 수 있다.

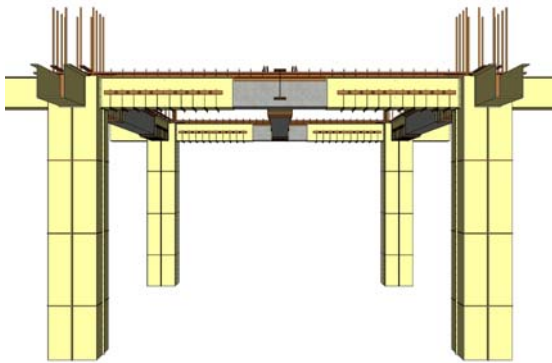


그림 10. 공사비 절감형 RC기둥-합성보

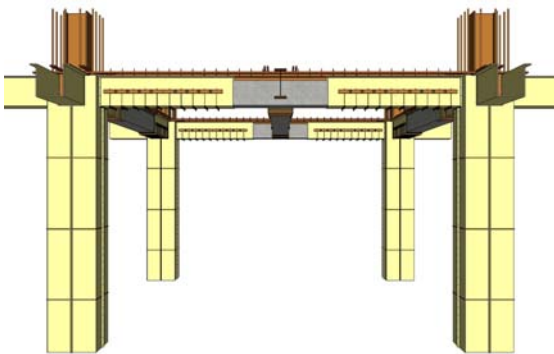


그림 11. 공사비 절감형 SRC기둥-합성보

#### 5. 시공사례

층고절감형 합성보의 적용범위로는 층고의 제약이 따르는 현장, 바닥의 진동 및 소음에 대한 대책이 필요한 현장, 고층건물의 구현으로 회 강성의 증대가 필요한 구조물, 공장 제작에 따른 품질 및 안전성 확보가 가능한 구조물등에 적용이 가능하다. 또한 장스팬이 요구되는 구조물과 공사기간의 부족으로 공기단축이 요구되는 현장 및 작업 공간의 확보가 불가피한 현장에 적용이 가능하다.

[그림 12]은 00동 주상복합 건물로써 서울특별시 강동구에 위치해 있으며 건축면적 1,235.32m<sup>2</sup>, 연면적 약 24,420m<sup>2</sup>이며 규모는 지상 19층 지하 6층의 철근철골콘크리트 구조이다. 본 주상복합 건물의 지상층에 층고절감형 합성보를 적용하여 현재 공사 중이며 철골대비 약 10%의 공사비를 절감하는 효과를 얻고 있다. 또한 층고절감형 합성보를 사용하여 층당 20cm~25cm 정도의 층고 절감 효과가 있는 구조물로 하부에 설비공간 확보가 가능하다.



그림 12. 00동 주상복합

[그림 13]과 [그림14]는 현장에서 시공 중인 합성보의 설치장면이다. 층고절감형 합성보 설치를 위하여 타워 크레인으로 합성보를 인양후 철골 기둥에 볼트로 조립하여 설치한다. 층고절감형 합성보는 부분적으로 PC형태를 취하고 있으므로 인양이 번거롭지 않다. 또한 보의 단부에는 설비시설을 위한 천공을 하여 층고를 더욱 낮출 수 있었다. [그림 15]은 기둥과 접합되는 접합부에 거푸집을 설치한 장면이다. 본 공사에서는 가설거푸집을 사용하여 구조물을 구축하였으나 모듈이 일정한 경우 이 거푸집을 FRP 등으로 제작하여 반복적으로 사용함으로써 시공기간을 좀더 절감하는 방안도 고려할 수 있다.





그림 13. 층고절감형 합성보 인양



그림 14. 합성보의 시공현장



그림 15. 기둥-합성보 접합부 시공현황

[그림 16]은 충청북도 충주시에 건설될 예정인 00약품의 전경이다. 지상 3층 규모의 본 구조물의 구조형식은 철골철근콘크리트와 철근콘크리트구조이며 건축면적 및 연면적은 각각 30,485.3m<sup>2</sup>와 50,709.6m<sup>2</sup>이다. 00약품 충주공장에 층고절감형 합성보를 적용하여 RC보를 적용하는 경우에 비하여 공사기간을 약 17%정도 단축시킬 수 있을 것으로 판단되며 이에 따른 경제적 효과도 클 것으로 기대한다.<sup>[1]</sup>



그림 16. 00약품 투시도

이상과 같이 층고절감형 합성보는 짧은 공사기간과 낮은 층고로 시공이 가능한 공법으로 대형화, 초고층화 되어가는 현대 구조물의 구축에 매우 적합한 새로운 공법이라 판단된다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 환경문제를 야기 시키는 건축현장의 내화피복 공정을 제거하면서 철골 보의 휨성능은 충분히 발휘할 수 있는 공법인 층고절감형 합성보에 대해서 다루었다. 층고 절감형 합성보는 철골 상부플랜지가 슬래브 내부에 묻히고 철골보의 사이즈 감소로 인한 지상층에서의 층고절감 및 지하층 굴도량 절감등의 효과가 있다. 층고절감형 합성보는 공장에서 철골 보와 PC 콘크리트를 접합하여 현장에 반입한 후 현장타설을 수행하여 완공되는 공법으로, 완공된 후에는 공장에서 제작된 다양한 합성보의 형상에도 불구하고 완전 매입형과 중공형의 두 가지 단면형상을 나타내어 모두 내화피복이 전혀 불필요한 친환경공법이라 할 수 있다. 또한 기존의 노출형 합성보에 사용되던 철골 부재의 크기를 줄이면서 합성에 따른 성능향상으로 동일구조성능을 발휘할 수 있으므로 철골물량이 감소하여 재료비의 경감효과를 얻을 수 있으며, 철골 보의 크기가 작아짐에 따라 층고가 낮아질 수 있다. 층고절감형 합성보의 설계는 시공 시와 완공 시의 두 가지 상황을 고려하여 각 상황에 맞는 하중조건 하에 설계를 수행한다. 시공 시 층고절감형 합성보는 합성보로 고려하지 않고 모든 하중을 철골 보가 부담할 수 있도록 철골 보를 선택한다.

층고절감형 합성보와 공사비 절감형 합성보의 모듈형태에 따라 총 48가지 모듈을 철골조, RC조, SRC조 및 PC구조와 결합할 수 있게 개발하여 현장에서 발생할 수 있는 모든 상황을 고려하여 설계에 반영할 수 있는 시스템을 제안하였다. 실제 시공사례를 고찰하여 층고절감 및 공사기간 단축 효과를 확인하였다.

## 감사의 글

본 연구는 [2단계 BK21사업]의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 이경훈, 박선치, 김점한, 이호찬, 홍원기, “내화피복공정이 생략된 MHS(Modularized Hybrid System) 합성보의 실무적용 사례고찰”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제27권 제1호(통권 제51집), 2007년 10월 26-27, pp. 25-28.
2. ACI 318-05 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary.
3. 건축구조설계기준[Korean Building Code-Structural] 2005, 대한건축학회
4. 최신 철근콘크리트 공학, 안주옥 외, 2004
5. Oven, V. A., Burgess, I. W., Plank, R. J., and Abdul Wali, A. A. (1997). "An analytical model for the analysis of composite beams with partial interaction." *Computers and Structures*, 62(3), 493-504.
6. Broderick, B. M., and Elnashni, A. S. (1996). "Seismic response of composite frames. I. Response criteria and input motion." *Engineering Structures*, 18(9), 696-706
7. Ali Mirza, S., Ville hyttinen, and Esko Hyttinen. (1996). "Physical tests and analyses of composite steel-concrete beam-columns." *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 122(11), 1317-1326