

TSC 합성보의 개발 및 시공사례

김 성 배 | (주)센구조연구소 연구개발팀장, 공학박사
김 상 모 | (주)센구조연구소 부장, 구조기술사
이 창 남 | (주)센구조연구소 대표이사, 구조기술사

TSC는 1999년부터 연구 개발을 시작하여 현재 까지 지속적으로 성능향상을 하고 있으며, 점차적으로 현장 적용도 늘리고 있다. TSC는 Type Steel Composite beam 또는 The SEN steel Composite beam으로 칭하고 있는 합성구조로서 합성보는 두 가지 이상의 구조재료를 복합적으로 조합하여 성능을 향상시킨 부재 및 구조시스템으로 국내에서 개발 중인 iTech와 영국 강구조학회에서 개발한 Slimflor 등이 있다. 이하에 지금까지 연구한 TSC 합성보의 특성과 적용 예를 중심으로 간략히 소개하고자 한다.

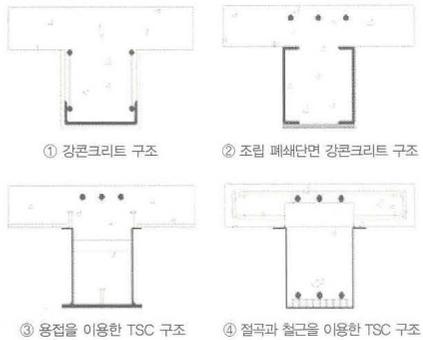


그림 1. TSC 구조의 변화

TSC 복합구조의 특징

TSC는 기둥이나 보의 외곽에 ㄱ형강이나 ㄷ형강을 배치하고, 철근 래티스로 조합한 후 외곽 면에 내화피복을 겸하는 영구거푸집을 설치하여 콘크리트를 부어 넣는 강콘크리트 구조에서 출발하였다(특허 제 0343960호). 그러나 현장에 적용하는 단계에서 국내에 아직 내화재로 지정을 받은 영구거푸집 재료가 없고, 대형 구조물에는 철근 래티스만으로 시공하중에 대응 하는데 문제가 있음을 발견하였다. 그로 인해 내화거푸집 대용으로 영구거푸집을 강판으로 제작하여 ㄱ형강이나 ㄷ형강을 필요에 따라 선별적으로 사용하고, 강판을 내구재로 이용하여 설계하는 방법을 개발하였다(출원번호 10-2001-0004409).

그림 1은 이러한 개념의 변화를 도식적으로 나타낸 것

이다. 실험 및 건축물 설계에 적용하고 있는 상재는 각 플레이트를 용접하여 일체화 시키는 방법이 주로 적용되고 있다. 그러나 최근의 연구 결과를 중심으로 각 플레이트를 용접 대신 성형 또는 절곡하고 보 하부는 철근으로 보강하는 방법 등도 검토 하고 있다.

TSC 보의 형상 및 각 부위의 구성은 그림 2와 같다. TSC 보는 하부와 웨브, 상부 플레이트로 구성되고, 각 플레이트는 일체화 되어 적절한 설계내력을 갖는다. 또한 TSC는 철골보와 콘크리트 슬래브 경계면의 수평전단력에 저항하며 합성보 거동을 하기 위해 스티드, ㄷ형강, 또는 철근 등을 이용한 쉬어 코넥터와 하부의 쉬어키가 설치된다. 하부의 쉬어키는 상부와 같이 내력을 부담하는 것이 아니라 하부 콘크리트에 발생 하는 균열이 급진전하여 파단 되는 것을 방지하기 위한 것이다. TSC 보의 상단에는 콘크리트 타설 시 웨브의 벌어짐을 방지하

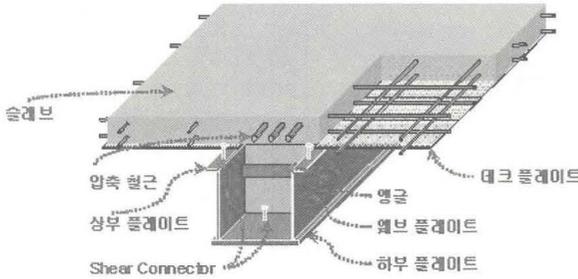


그림 2. TSC 합성보 개념도

고, 상부 슬래브 작업의 용이성 등을 위해 폭 고정용으로 관통볼트 또는 형강을 부착한다. 초기에는 관통볼트를 이용하였으나 현장 작업 시 발판으로 사용이 가능하고 제작·시공성 등을 고려하여 앵글이나 ㄷ형강을 많이 사용한다. 또한 하부와 웹, 상부 플레이트의 제작은 각 부재를 절단하여 용접·볼트접합하거나 벤딩기를 이용하여 절곡, 성형하면 TSC 보가 완성된다.

철골구조는 철근콘크리트에 비해 공사비가 20~30% 비싼 것으로 알려져 있다. TSC는 현재 철골 구조 보다 싸고 철근콘크리트와 비교 시 5% 미만의 공사비 증가를 보이고 있다. 그러나 공사비 증가는 용접으로 TSC 보를 제작하기 때문에 발생하는 것으로 성형이나 벤딩 등으로 냉간 가공하면 공사비는 더욱 저하되어 철근콘크리트와 충분히 경쟁력 있는 구조가 될 것으로 생각된다. 이러한 원가 분석은 시공 완료한 건축물을 대상으로 한 것이다.

개발 및 연구과정

▷ 1차 실험 : 1차 실험은 TSC 보의 구성 요소인 쉬어 코넥터, 하부강판의 두께(PL-6, 12, 18mm), 쉬어키의 영향, 측면 강판과 하부 강판의 용접방법 등을 중심으로 10개의 실험체를 제작하여 불완전합성으로 설계되었다. 실험은 사진 1과 같이 설치하여 실시하였고, 2차 실험도 동일 조건으로 하였다.

실험결과 하부 플레이트의 두께증가에 따라 내력증가

가 확인되었다. 그러나 연성은 현격히 감소하는 반비례 관계를 나타내었는데, 이것은 상부 쉬어 코넥터의 내력부족과 일부 용접불량 등에 의한 것으로 상부 쉬어 코넥터를 완전합성으로 설계하면 충분히 연성이 확보되리라 판단된다. 또한 하부 쉬어키는 초기 강성에 큰 영향을 미치지 않으나 보 하부의 콘크리트 휨

균열을 분산시켜 조기 파단을 방지하므로 적정한 간격으로 배치하는 것이 필요한 것으로 확인되었다.

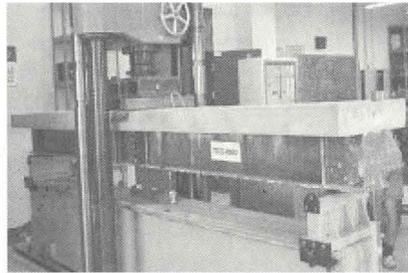


사진 1. 1차 실험 셋팅 상황

▷ 2차 실험 : 2차 실험은 1차 실험을 토대로 2003년 한국기술교육대와 함께 시행하였다. 실험은 설계 및 제작 시 변경이 필요한 상부 쉬어 코넥터와 하부 쉬어키, 하부 인장부의 보강 방법과 TSC 보 제작방법의 단순화 등에 대해 검토하였다. TSC 보 제작은 벤딩기로 절곡하였고, 상부 쉬어 코넥터도 철근과 ㄷ형강으로 시공성을 고려하여 16개의 실험체로 제작하였다.

실험 결과 하부 플레이트를 기존의 방법과 동일한 플레이트로 보강하는 경우와 철근 또는 포스트텐션에 의해 보강하는 경우 모두 내력 보강 효과가 크고 1차 실험과 달리 우수한 변형능력을 확보하였다. 그림 3은 하부 인장부 보강방법에 의한 하중 변위곡선이다. 또한 하부 쉬

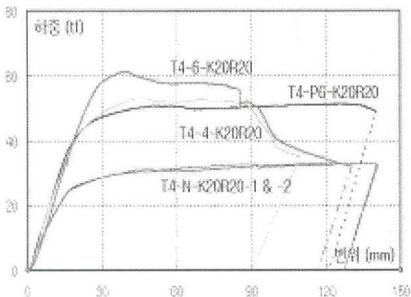


그림 3. 하부 인장부 보강방법의 영향

어키는 철근과 스티드로 적용 시 각각의 종류와 배치간격에 의한 영향은 적은 것으로 확인되었다. 이러한 2차 실험을 통해 하부 인장부 보강은 철근을 이용하여도 동일한 내력확보가 가능하고 쉬어 코넥터는 스티드와 철근, C형강 모두 적용 가능함이 확인되었다. 또한 C형강은 폭 고정근으로 사용이 가능하므로 작업성이 상당히 우수하다.

2차 실험은 보 휨 실험 이외에 쉬어 코넥터의 전단내력 평가를 위한 Push-out 실험과 기둥 보 접합부에 대해서도 실시하였다. 이러한 지속적인 실험을 통해 TSC 합성보의 특성을 파악하고 설계에 적용하기 위해 계속 연구 중이다.

▷ 사용성 평가: TSC 보는 기존의 철골보 합성구조에 비해 폐쇄 단면에 콘크리트를 채워 철근콘크리트 보와 유사한 형상을 가지므로 사용성이 우수하다. 그러나 측정 자료가 없어 현재 신축중인 건축물 중 TSC를 적용한 세 건물에 대해 사용성 평가를 하였다. 측정은 동적 신호 분석기와 서브 가속도계 센서를 이용하여 보행하중과 뒷꿈치 충격(Heel Drop Impact)에 대해 실시하였다.

수직진동에 의한 사용성 평가는 일반 철골조 건축물과 상대비교 자료는 없으나 그림 4와 같이 사무소 건물에 적용되는 AISC 제한치 0.5%g와 일본건축학회 기준의 권장치 V-3을 모두 만족하여 상당히 우수한 것으로 확인되었다.

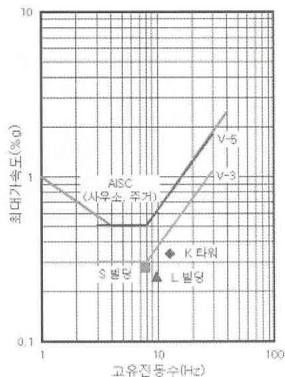


그림 4. 사용성 평가 결과

시공 및 설계 사례

표 1은 TSC 합성보 설계 및 시공 사례이다. TSC 합성보 설계는 1999년부터 일부 부위에 적용하기 시작하였고, 최초의 적용 예는 H사 디자인 연구소이다. 그러나 여기에 적용된 TSC는 그림 1의 ①과 같은 강콘크리트 구조이다.

현재의 형상과 유사한 상세의 적용은 2001년 3월 경 대안 설계로 제안한 K 빌딩 증축공사이다. TSC 보의 형상은 슬래브 두께 120mm를 포함하여 520, 620mm의 층으로 설계되었고, 하부 인장플레이트는 300mm 폭으로 12, 16, 20t의 플레이트가 사용되었다. 그러나 최초의 설계인 관계로 인식과 홍보 부족 등으로 시공되지는 않았다. 이후 2001년 4월 철도 과선교도 설계되었으나 채택되지는 않았다. 소규모이지만 시공된 최초의 사례는 2001년 5월 경 응암동 B 마트 보강공사이다. 기존 철근콘크리트 구조에 일부 구간 새로 추가된 보에 보강공사의 개념으로 TSC를 적용하여 시공하였다.

2001년 10월 설계가 완료된 J 프리지는 TSC 합성보로 시공된 최초의 건축물이다. 이후 L 빌딩, S 고등학교 기념관, K 타워, P 공장 등에 적용하여 일부는 이미 시공이 완료되었다.

표 1. TSC 구조 설계 및 시공 사례

프로젝트명	건물 개요		위 치	특 징	비 고
	층 수	연면적(m ²)			
H사 디자인 연구소	B3 ~ 3F	2,324	서울시 종로구 원서동	강콘크리트 적용	-
K 빌딩 증축공사	B1 ~ 10F	13,661	서울시 관악구 신림동	대안 설계 제안	최초의 TSC 설계
A 대 철도과선교	B1	310 (m)	서울시 서대문구 대현동	대안 설계 제안	-
B 마트	B8 ~ 10F	-	서울시 은평구 응암동	보강부위 일부 적용	시공 완료
S 백화점 인천점	B2 ~ 6F	107,809	인천시 남구 관교동	대안 설계 제안	-
S 전자 공장	3F	5,482	경북 구미시 공단동	-	시공 중
장애인 재활체육센터	B3 ~ 4F	8,324	서울시 노원구 하계동	32.5m 스펀 적용	시공 완료
J 프라자	B1 ~ 6F	12,454	경기도 시흥시 정왕동	-	시공 완료
L 빌딩	B3 ~ 12F	11,844	서울시 강남구 역삼동	업무시설	시공 중
S 고등학교 기념관	B1 ~ 5F	6,288	서울시 강북구 미아동	-	시공 중
C 아파트	B2 ~ 28F	211,883	서울시 강남구 대치동	2층 트랜스퍼 보 적용	시공 중
K 타워	B1 ~ 15F	57,122	서울시 구로구 구로동	아파트형 공장	시공 중
군산자유무역지역 P 공장	3F	7,231	전북 군산시 군장	공장	시공 중
S 백화점 본점	B7 ~ 28F	118,312	서울시 중구 충무로	충고 확보 위해 적용	시공 중

K 타워는 17,000명이 넘는 아파트형 공장으로 입주자들에게 분양되었으나 입주 시점이 촉박하여 철근콘크리트에서 TSC로 공법 변경되어 시공하였다. 공기가 초기 계획 보다 약 3개월 단축되어 금융비와 간접관리비 등의 감소 효과가 컸고, 공사비도 큰 차이 없이 끝났다. 이로 인해 발주처와 시공회사는 차기 아파트형 공장에 TSC를 적용하여 설계기로 하여 이미 설계가 진행 중이다. 사진 2는 TSC 합성보를 적용하여 시공 중인 건물들의 조감도이다.

앞에서 언급한 바와 같이 TSC 합성보는 이미 여러 건축물에 적용하여 시공 중이거나 시공이 완료 되었고, 발주처와 시공사 등이 만족하여 추가 공사에 대한 설계가 계속 협의 중이다.

* * *

지금까지 연구개발 및 시공 사례 등을 중심으로 합성구조인 TSC 합성보의 특성에 대해 소개하였다.

TSC 보는 철근콘크리트와 철골조 사이에 존재할 수 있는 또 하나의 구조 시스템이다. 그만큼 지속적인 연구개발과 해결해야 할 숙제도 많다. 그러나 연구개발의 성과로 TSC 합성보에 대한 각 구성 요소간의 특성이 하나씩 확인되고 있고, 새로운 접합부 상세와 시공의 편의성, 경제성 까지 검토하며 실구조물에 적용하고 있다. ☼