

〈건설신기술 제 418호〉

상부 개방형 강판을 이용한 T형 합성보(TSC 보) 공법

(주)센구조연구소

1. 서론

상부 개방형 강판을 이용한 T형 합성보 공법은 1999년부터 연구 개발을 시작하여 여러 차례의 실험과 건축물에 적용했으며 2004년 8월에는 건설교통부로부터 신기술 418호로 지정받았다. 상기 공법은 TSC 보 또는 TSC 합성보로 더 많이 소개되었다.



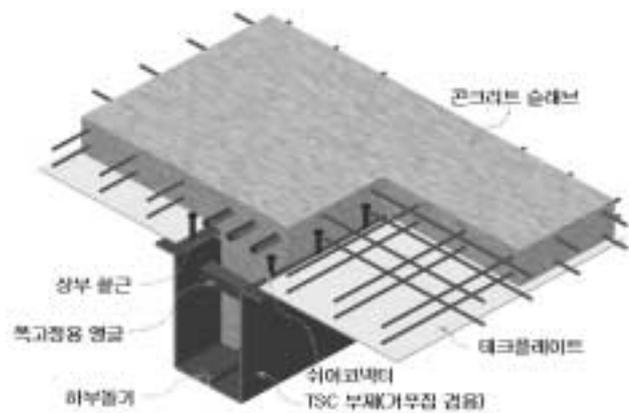
〈그림 1〉 신기술 지정증서(418호)

TSC 합성보는 (주)센구조연구소에서 개발한 형상으로 The SEN steel Concrete beam 또는 T type Composite beam의 약자이다. 합성보 또는 합성구조는 두 가지 이상의 구조재료를 조합하여 성능을 향상시킨 부재 및 구조시스템이다. 국내에서도 HI Beam, iTECH, Slim floor, Deep Deck 등이 개발되었고 신기술로도 지정되었다. 본 고에서는 신기술 418호로 지정된 공법의 개요와 특성, 적용 예 등을 간략히 소개하고자 한다.

2. 공법의 특성

2.1 구성 요소의 특징

TSC 보의 형상과 구성요소는 〈그림 2〉와 같다. TSC 보는 외부의 강판과 상부의 쉬어 코넥터, 하부의 돌기 및 내부의 앵글로 구성되고 내부에 콘크리트를 타설하여 일체화시킨 것이다. 각 구성요소의 역할은 다음과 같다.



〈그림 2〉 TSC 보의 개념도

외부의 강판은 하부와 수직 부재인 웹, 상부 플레이트로 구성되고, 각 플레이트는 일체화되어 구조재로서 적절한 설계내력을 갖는다. 또한 휨 내력은 중립축으로부터 거리에 비례하여 증가하므로 중립축에 근접한 상부 플레이트의 크기는 줄이고 중립축으로부터 거리가 최외단인 하부 플레이트의 크기는 증가시켜 부재를 효과적으로 사용토록 한다. TSC 보 내부의 콘크리트는 슬래브와 함께 타설하여 일체화 하며 이 때 바닥 슬래브와 합성보로 거동하기 위해 상부 플랜지에 스테드, c형강 또는 앵글 등을 이용한 쉬어 코넥터를 설치한다. 쉬어 코넥터의 설치 간격과 형상 등은 기존의 강구조 설계기준에 의한다.

하부 플레이트에는 반원 형상의 돌기를 설치한다. 돌기는 쉬어키 역할을 하는 것으로 초기 실험결과로 확인하였다. 일부 실험체 중 하부에 쉬어키 역할을 하는 스테드가 없는 경우 충분한 변형능력 확보없이 조기 파단된 사례가 발생하였다. 이러한 실험 결과는 하부 인장역에서 발생된 콘크리트의 균열이 급진전한 것으로 판단되었고 하부에 스테드 또는 돌기 등을 설치하여 하부 인장역에서 발생할 콘크리트의 균열을 제어토록 하였다. 그러므로 각 플레이트를 용접 제작하여 설치하는 경우 쉬어키

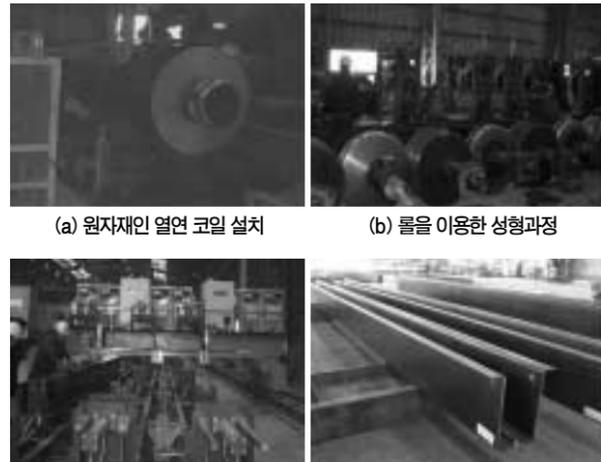
역할을 하는 스티드를 일정 간격으로 설치하고, 성형으로 제작하는 경우 돌기를 만든다. 또한 돌기는 중립축으로부터 가장 먼 하부 플레이트의 단면적을 증가시켜 부재내력을 상승시키는 효과도 있다.

내부에 설치되는 앵글은 구조재로서 내력을 증가시키는 것은 아니고, TSC 보의 형상이 U자형이므로 형상유지와 함께 작업자들의 원활한 작업을 위한 작업발판으로 사용된다. 또한 춤이 커지는 경우 판 폭 두께 비를 만족시키는 역할도 한다.

2.2 제작 방법

TSC 보는 각 플레이트를 절단하여 용접하거나 대형 롤을 이용하여 성형 제작한다. 플레이트를 절단, 가공 후 용접하는 방법은 성형제작이 불가능한 대형단면에 적용한다.

성형제작은 고로에서 생산된 열연 코일을 대형 롤을 냉간가공 한다. 그러므로 생산 가능한 판 두께와 크기가 한정된다. 성형제작하는 경우의 생산과정은 <사진 1>과 같다.



<사진 1> 성형 제작 과정

먼저 열연 코일을 포밍기에 설치하고, 13단의 대형 롤을 이용하여 단계적으로 형상을 만든다. 각 단에서 조금씩 형상을 만들어 가므로 냉간가공으로 인한 소성 변형의 영향을 최소화할 수 있다. TSC 보는 두 개의 단품으로 구성되며 하부를 용접하여 한 개로 일체화시킨다. 이 때 용접은 전용 용접기를 이용하여 자동 용접 한다. 그러므로 성형제작은 로스율이 적고, 생산이 용이하며 생산성이 높다.

2.3 TSC 보의 종류

TSC 보의 종류 및 변화는 <그림 3>과 같다.



<그림 3> TSC 보의 종류와 변화

초기 TSC 보는 보 외곽에 ㄱ형강이나 ㄷ형강을 배치하고, 철근 래티스로 조립한 후 외곽 면에 내화피복을 겸하는 영구거푸집을 설치하여 콘크리트를 부어 넣는 강콘크리트 구조에서 출발하였다(특허 제 0343960호). 그러나 국내에 내화재로 지정을 받은 영구거푸집 재료가 없기 때문에 필요에 따라 ㄱ형강이나 ㄷ형강을 선별적으로 사용하고, 강판을 구조재로 이용하여 설계하는 방법을 적용하게 되었다(특허 제 0430317호). 그 후 ㄱ형강이나 ㄷ형강을 플레이트로 용접 제작하는 방법을 적용하였으나 제작 비용 절감을 위해 성형제작 TSC 보를 개발하게 되었다. 또한 BNTSC 보(병목형 TSC 보)는 일반 소형 구조물에 적용하기 위해 연구 개발한 형상이다.

TSC 보의 지적 소유권은 상기의 특허 외에 성형강판 콘크리트 보(출원번호 10-2003-0072740)와 W자 성형보(출원번호 10-2004-0050934), 강콘크리트 바닥보를 가설 스트럿으로 겸용하는 지하골조 부분하향공법(출원번호 10-2003-0093489), 병목형 상부 플랜지 TSC 보(출원번호 10-2004-0079745) 등이 있다.

3. 개발 및 연구과정

TSC 합성보 연구개발을 위한 성능 평가 실험은 보 휨 실험과 사용성 평가, 기동 보 접합부 실험 등으로 나누어 진행하였다. 보 휨 실험은 용접 제작과 성형제작으로 나누어 3회에 걸쳐 실행하였고, 신축중인 건축물에서 사용성 평가를 실시하였다. 또한 신기술 취득 후 새로운 형상의 BNTSC보 휨 실험과 내화 실험도 실시하였으며 이하의 내용은 각 실험 및 연구 결과이다.

3.1 용접제작 보 휨 실험

용접제작 보 휨 실험은 TSC 보의 성능을 평가하기 위해 쉬어 코넥터의 배치방식, 하부강판의 두께, 쉬어키의 유·무, 측면강판과 하부 강판의 용접 방법 등을 변수로 10개의 실험체를 제작하였다. 보 휨 실험의 가력 형상은 <사진 2>와 같고, 이하 보 휨 실험은 동일한 형상과 방법으로 진행하였다.



<사진 2> 보 휨 실험 실험체 설치

실험결과 하부 플레이트의 두께가 두꺼울수록 내력 및 강성이 증가하나 변형능력은 현저히 감소하였다. 이것은 상부 쉬어 코넥터가 부분 합성으로 설계되어 충분한 내력 및 변형능력을 확보하지 못하고 조기에 수평 전단파괴가 일어나 내력이 저하되었기 때문으로 판단된다.

용접제작 보 휨 실험결과 TSC 보의 변형능력 차이는 합성율과 밀접한 관계가 있는 것으로 평가되어 상부 쉬어 코넥터를 완전합성으로 설계하면, TSC 보의 변형능력은 충분히 확보될 것으로 판단된다. 또한 하부 쉬어키는 초기강성에 큰 영향을 미치지 않으나 보 하부의 콘크리트 휨 균열을 분산시켜 조기 파단을 방지하고, 구조물의 변형능력을 확보하는데 필요한 것으로 확인되었다.

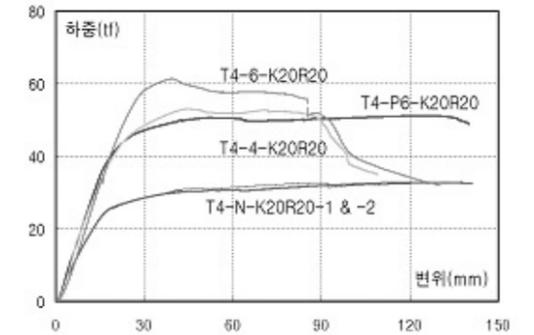
3.2 성형제작 보 휨 실험

성형제작 보 휨 실험은 상부 쉬어 코넥터와 하부 쉬어키의 대체 공법 및 배치 간격, 제작방법의 특성 등에 대해 완전합성으로 설계 제작하였다. 실험체는 벤딩기를 이용하여 제작하였고, 하부 플레이트의 내력 보강은 철근과 플레이트, 포스트텐션 등으로 하였다. 상부 쉬어 코넥터는 스티드를 기본으로 철근과 ㄷ형강, 앵글 등을 이용하여 제작성을 개선하는 방법을 연구하였다. 또한 쉬어 코넥터의 전단내력 평가를 위해 Push-out 시험도 하였다. <사진 3>은 쉬어 코넥터의 전단 내력 시험 전경이다.



<사진 3> 푸시 아웃 실험

성형제작 보 휨 실험 결과는 <그림 4>와 같다.



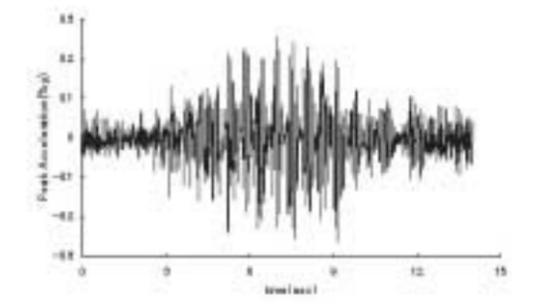
<그림 4> 보 휨 실험 결과(하부 보강방법의 영향)

1차 실험에 비해 완전합성으로 설계되어 충분한 변형능력이 확보되었음을 확인할 수 있다. 하부 쉬어키를 철근과 스티드로 사용하여 배치한 경우 모두 유사한 하중과 변형능력을 보이고 있어 쉬어키의 종류와 배치간격에 의한 영향은 적은 것으로 나타났다. 또한 하부 인장부 보강은 철근을 이용하여도 동일한 내력확보가 가능하고, 하부 쉬어키의 배치도 최대 600mm까지 내력 및 변형능력의 변화가 없으며, 쉬어 코넥터는 스티드와 철근, ㄷ형강 모두 적용이 가능함을 확인하였다.

3.3 사용성 평가

TSC 보는 기존의 철골 합성보에 비해 폐쇄 단면에 콘크리트를 채운 효과 등으로 사용성이 우수할 것으로 판단되어 신축 건축물에서 사용성 평가를 실시하였다. 측정 건축물은 서울시 역삼동에 위치한 지하 3층, 지상 12층 규모의 L빌딩과 서울시 구로동에 위치한 지하 1층, 지상 15층의 디지털 타워 I, 서울시 강북구 미아동에 위치한 지하 1층, 지상 5층의 S고등학교 기념관 등이다.

실험은 보행하중과 뒷꿈치 충격(Heel Drop Impact)에 대해 실시하였다. 최대가속도는 보행하중을 가진원으로 측정하였고, 이를 FFT(Fast Fourier Transfer) 변환하여 바닥판의 고유진동수를 구하였다. <그림 5>는 S고등학교 기념관의 보행하중에 의한 가속도응답이다.



<그림 5> S고등학교 기념관 가속도응답

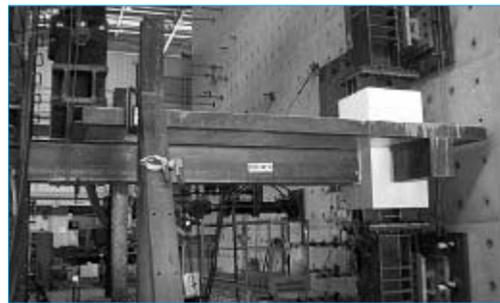
수직진동 평가 결과 AISC의 제한치 0.5%g와 일본건축학회 기준의 권장치 V-3를 모두 만족한 것으로 확인되었다.

3.4 기동 보 접합부 실험

기동 보 접합부는 연직 하중에 대한 평가를 위하여 단조 가력 실험과 내진 성능 평가를 위한 실대 실험체의 반복 가력실험을 실시하였다.

단조 가력 실험체는 TSC 보를 철골기둥에 웨브 또는 플랜지만 볼트 접합한 경우와 모두 볼트 접합한 3개 실험체로 제작하였다. TSC 보와 철골기둥의 볼트접합 위치에 따른 단조 가력 실험체의 접합부 성능 실험결과는 3개 실험체 모두 동일한 초기강성을 가지며 우수한 변형능력을 나타내었다. 또한 하부 플랜지만 볼트 접합한 실험체가 웨브와 플랜지 모두 볼트 접합한 실험체 보다 10% 정도 내력이 적게 나타났으나 효율적인 접합부 모델로 검토될 수 있는 것으로 평가 확인되었다.

실대 실험체는 TSC 보를 사용한 3개의 실험체와 기존 H형강을 적용한 한 개의 실험체로 하였고 TSC 보는 부 모멘트 영역인 상부슬래브 배근을 변수로 하였다. <사진 4>는 실대 실험체의 설치 전경이다. AISC (American Institute of Steel Construction, 1997)의 내진규정은 특별연성모멘트골조(SMF), 중간연성모멘트골조(IMF), 보통연성모멘트골조(OMF)의 경우 각각 최소 0.03, 0.02, 0.01 radian의 접합부 소성회전각을 확보할 것을 요구하고 있다.



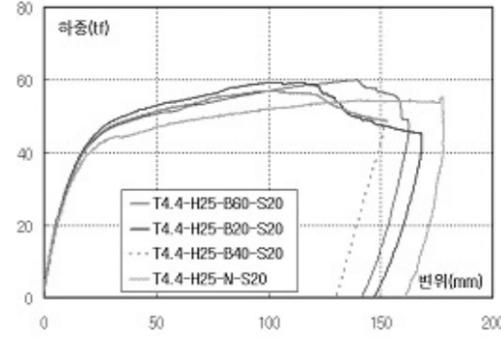
<사진 4> 기동 보 접합부 실대 실험

실험 결과 TSC 보를 이용한 기동-보 접합부 3개 실험체 모두 정·부 모멘트 구간이 0.04 radian까지 전소성모멘트의 80% 이상을 나타내어, 특별연성모멘트골조(SMF)의 내진성능을 확보하는 것으로 나타났다.

3.5 BNTSC 보 휨 실험 및 내화실험

상기의 3.1~3.4절의 각 실험을 통해 TSC 보의 성능을 일부 평가하였고 신기술을 취득하였다. 또한 TSC 보에 대한 지속적인 연구를 위해 BNTSC 보(그림 3)의 ⑤) 휨 실험과 내화 성능 실험을 하였다.

<그림 6>은 BNTSC보의 상부 볼트 간격에 의한 실험결과를 나타낸 하중 변위곡선이고, <사진 5>는 TSC 보의 내화성능 시험 전경이다.



<그림 6> 상부 볼트 설치 간격의 영향



<사진 5> 내화성능 평가 실험

내화 성능 평가는 TSC 보가 강재 내부에 콘크리트를 충전한 형상이므로 내화에 우수할 것으로 판단되어 내화 성능 평가 실험을 하였다. 그러나 TSC 보의 내화 인증 획득은 현행 규격상 불가능하므로 내화 성능 평가를 위한 기초 자료의 확보 차원에서 진행하였고, 향후 내화 피복제를 생산하는 회사와 협력을 진행할 계획이다.

4. 설계 · 시공 사례 및 적용 분야

4.1 설계 사례

<표 1>은 TSC 합성보의 설계 및 시공 사례이다.

<표 1> TSC 구조 설계 및 시공 사례

프로젝트명	건물 개요		특징	비고
	층수	연면적(m ²)		
H사 디자인 연구소	B3 ~ 3F	2,324	강콘크리트 적용	-
K 빌딩 증축공사	B1 ~ 10F	13,661	대안 설계 제안	최초의 TSC 설계
A 대 철도과선교	B1	310 (m)	대안 설계 제안	-
응암동 마트	B8 ~ 10F	-	보강부위 일부 적용	시공 완료
J 프라자	B1 ~ 6F	12,454	최초 적용 건축물	시공 완료
S 백화점 인천점	B2 ~ 6F	107,809	대안 설계 제안	-
장애인 재활체육센터	B3 ~ 4F	8,324	32.5m 스펀 적용	시공 완료
대저동 아파트	B2 ~ 28F	211,883	2층 트랜스퍼 보 적용	시공 완료
디지털 타워 I	B1 ~ 15F	57,122	아파트형 공장	시공 완료

군산자유무역지역 P 공장	3F	20,000	공장	시공 완료
H사 부산 사옥	B4 25 7F	17,984	탑 다운 공사 적용	시공 완료
민자 역사 I	B2 ~ 6F	29,800	대안 설계 제안	시공 중
민자 역사 II	B2 ~ 11F	86,886	대안 설계 : 장스팬	설계 중
주상 복합 아파트 II	B4 ~ 33F	382,472	1층 바닥 작업 구대 적용	시공 중

TSC 합성보 설계는 1999년부터 일부 부위에 적용하였고, 최초의 적용 예는 H사 디자인 연구소이다. 그러나 여기에 적용된 TSC 보는 <그림 3>의 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 춤으로 설계되었고, 하부 플레이트는 300mm 폭으로 12, 16, 20t의 플레이트가 사용되었다. 그러나 인식과 홍보 부족으로 시공되지는 않았다. 이후 2001년 4월 철도 과선교도 설계되었으나 채택되지는 않았다. 소규모이지만 시공된 최초의 사례는 2001년 5월 경 응암동 마트 보강공사이다. 기존 철근콘크리트 구조에 일부 구간 새로 추가된 보에 보강공사의 개념으로 적용 시공하였다. 2001년 10월 설계가 완료된 J 프라자는 TSC 합성보로 시공된 최초의 건축물이다. 이후 L 빌딩, S 고등학교 기념관, K 타워, P 공장 등에 적용하여 일부는 이미 시공이 완료되었다.

<사진 6>은 TSC 보를 적용하여 시공 중인 건물들의 조감도이다.



디지털 타워 I

디지털 타워 II



서니 S 빌딩

대저동 아파트



주상 복합 아파트 I

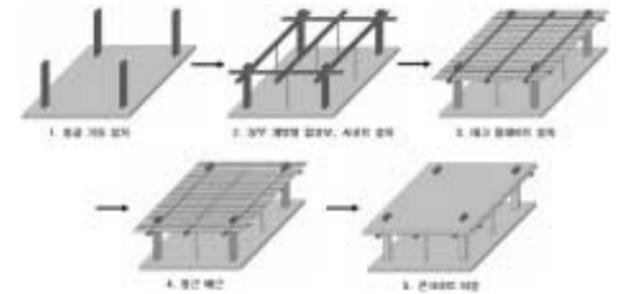
민자 역사 I

<사진 6> 적용 현장 조감도

발주처와 시공사 등의 호응으로 현재 공사중인 건물이 12개 동이고, 현재 추가 공사에 대한 설계가 계속 진행 중이다.

4.2 설계 및 시공 방법

<그림 7>은 시공 순서도이다.



<그림 7> 시공 순서

TSC 보의 설치 시공은 먼저 3~4개 층에 해당하는 철골기둥을 설치하고 (<그림 7>은 한 개 층의 철골 기둥만 표현), 기둥과 기둥 사이에 큰 보와 작은 보인 TSC 보를 연결 후 접합 및 이음을 한다. 이 때 보 하부에는 일부 서포트를 설치하는데, 내력이 크고 안전도가 높은 시스템 서포트를 설치하는 경우 그 개수를 줄일 수 있다. 보 설치가 끝나면 데크 플레이트와 철근 배근을 한 후 콘크리트를 타설한다. 그러므로 TSC 보를 이용한 공사는 철골과 동일한 개념으로 이해할 수 있고 제작 및 관리도 기존 철구 회사에서 한다.

TSC 보의 설계는 소성설계에 근거한 합성보 설계기준을 따른다. 생산되는 성형 TSC 보는 춤이 300~500까지 50(mm) 간격으로 생산되고 폭은 270, 360(mm)가 생산된다. 두께는 6~10(mm) 범위이고 생산 강종은 SS400, SM490 두 종류이다. <표 2>는 제품 규격에 따른 허용스팬과의 관계를 정리하여 나타낸 것이다.

(표 2) 제품 규격과 허용 스펠 에

높이×폭 (H×B)	두께 (mm)	적재 하중(kgf/m ²)				
		300	500	800	1,000	1,500
300×270	6	8.76	7.68	6.63	6.12	5.24
	8	9.94	8.72	7.52	6.95	5.95
	10	10.92	9.59	8.27	7.64	6.54
350×270	6	9.47	8.32	7.18	6.64	5.69
	8	10.75	9.45	8.15	7.54	6.46
	10	11.82	10.38	8.96	8.29	7.10
400×270	6	10.17	8.94	7.73	7.15	6.12
	8	11.55	10.16	8.78	8.12	6.96
	10	12.70	11.17	9.65	8.93	7.65
450×270	6	10.86	9.56	8.27	7.65	6.56
	8	12.34	10.86	9.39	8.69	7.45
	10	13.57	11.95	10.33	9.56	8.20
500×270	6	11.54	10.17	8.80	8.15	6.99
	8	13.12	11.56	10.00	9.26	7.94
	10	14.43	12.72	11.01	10.19	8.74
400×360	6	10.52	9.27	8.03	7.43	6.38
	8	11.94	10.53	9.12	8.44	7.25
	10	13.14	11.58	10.03	9.29	7.97
450×360	6	11.19	9.88	8.57	7.93	6.81
	8	12.71	11.23	9.73	9.01	7.74
	10	13.99	12.35	10.71	9.92	8.52
500×360	6	11.85	10.48	9.09	8.43	7.24
	8	13.47	11.91	10.34	9.58	8.23
	10	14.82	13.10	11.37	10.54	9.06

※ 설계조건 :
 슬래브 두께 : 150mm, 콘크리트 압축강도 : 240kgf/cm²
 강재 설계 기준강도 : 2,400kgf/cm²
 슬래브 분할 폭 : 4m

설계는 건물의 종류와 평면 조건에 따라 상이하므로 일괄된 예를 나타내는 다소 어려우나 대표적인 예를 정리한 것이다.

4.3 적용 분야

TSC 보는 외부에 강관으로 둘러 싸여 있고 내부에 콘크리트가 타설되어 있으므로 다음 건축물에 주로 적용이 많이 되어 왔다.

- 적재하중이 큰 건축물
- 장스팬으로 처짐 및 진동에 대한 사용성이 문제가 되는 경우
- 층고절감이 요구되는 건축물
- 철골 구조와 철근콘크리트 구조가 혼합된 건축물의 하중 전이층

최근에는 이러한 영역 외에 내부에 콘크리트가 타설된 잇점을 활용하는 예도 있으며, 지하 주차장에 사용할 경우 많은 장점을 갖는다. 최근 많이 적용되고 있는 탑 - 다운 공법이나, 업 - 업 공법의 경우 지하부분의 스트러트 또는 수평 지지대는 가설 구조물로 사용하거나 토압에 의한 압축력을 저항할 수 있도록 설계돼야 하는데 압축력은 강재보다 콘크리트가 효과적이어서 TSC 보가 적절하다. 또한 재래식 지하 가설 구조물은 공사를 진행하면서 철거 및 해체해야 하므로 공사기간과 물량의 손실을 초래한다. 아래의 내용은 TSC 보를 이용한 지하실 공사 예이다.

(사진 7)은 H사 부산 사옥에 적용된 탑 - 다운 공법 중 수평재를 본 구조물인 TSC 보로 적용하여 시공한 것이다.



(사진 7) 탑 다운 공법 적용 설치 예

이미 골조 공사가 완료되었고 마감공사가 마무리 중이다. 스트러트를 대용하여 본 골조인 TSC 보를 사용하게 되면 TSC 보는 내부에 콘크리트를 타설하므로 압축재로써 큰 효과가 있고 본 공사 진행시 슬래브 콘크리트와 함께 일체화하여 콘크리트를 타설하면 공사가 마무리 된다.

동일한 개념의 또 다른 적용 분야가 있다. 최근 도심지 공사는 충분한 작업공간의 확보가 점점 어려워지고 있다. 그러므로 작업공간 확보를 위해 지하 터파기 공사 중 파일을 추가 설치하여 복공판 등을 이용한 작업구대를 설치한다. 그러나 이 작업구대는 지하 공사가 종료되면서 해체해야 되고 공사 기간과 공사비의 증가를 초래한다. 본 구조물을 이용하여 작업구대를 사용하고 싶으나 철근콘크리트조는 거푸집 등의 설치 해체와 동바리 설치가 필수적이고, 철골조는 진동 및 처짐이 우려된다. 반면 TSC 보는 내부에 콘크리트가 타설되어 있으므로 충분한 강성확보가 가능하고 또한 철골조와 동일하므로 시공성이 우수하다. 이러한 장점을 이용하여 일부 현장에서 작업구대로 TSC 보를 적용한 예가 있다.

5. 맺음말

지금까지 2004년 신기술을 취득한 '상부개방형 강판을 이용한 합성보(TSC 보) 공법'에 대해 특징과 연구개발 및 시공 사례 등을 중심으로 소개하였다.

TSC 보는 철골과 콘크리트의 장점을 접목한 합성구조이다. 그러므로 그 개념이 새로운 것은 아니나 두 요소가 갖는 특성을 잘 조화시키기 위해서는 많은 연구가 필요하다. 이미 다수의 특허와 신기술도 획득하였고, 지속적인 연구를 통해 더욱 발전된 합성구조가 되도록 할 계획이다.

(주)센구조연구소

서울시 영등포구 당산동 121-74 센스빌딩

(T)02-2629-3119 (F)02-2629-3109

<http://www.senkuzo.co.kr>