

콘크리트 충전 튜브형 상부플랜지를 갖는 조립 H-Beam (TH Beam) 적용 사례

Performed Projects of the Concrete Filled Tube Flange Built Up H-Beam System



정 석 재*
Suk-Jae, Jung



권 순 규**
Soon-Kyu, Kwon



이 재 환***
Jae-Hwan, Lee

1. 개요

최근 구조물이 가지는 다양한 기능의 활용도를 높이기 위해 기둥경간 20m 이상의 건축계획 수요가 증가하고 있다. 특히 온라인 상거래 및 물류 증가에 따라 대형 물류창고에 대한 수요가 늘어나고 있으며, 공업용 건축물을 비롯한 장경간 건축물이 증가 추세에 있다. 장경간을 구현하기 위한 공법으로 철골트러스 공법이나 PEB 공법이 주로 적용되어 있다. 철골트러스 공법은 L, T, O, □-형강을 사용하여 경량 및 중량 지붕 골조에 트러스 형식을 적용한 구조시스템으로 수직하중에 대한 강성 확보가 가능하고, 장스팬 지붕 골조의 물량을 절감할 수 있다. 그러나 접합개소가

많아 제작성이 저하되며, 트러스 보의 높이가 높아지기 때문에 건축물의 높이가 증가되어 외장 마감 공사비가 늘어나는 한계점을 가지고 있다. PEB(Pre-Engineered Building) 공법은 철골구조물을 세운 후 샌드위치 패널로 외벽을 마감하는 공법이다. 이는 하중 및 부재력 분담율이 높은 부위는 구조 부재를 크게 하고 분담율이 작은 부위는 부재 크기를 작게 해서 구조 부재를 효율적으로 사용하는 공법이다. 최근 들어 용접 및 절단 기술, 구조해석 및 설계 기술의 발전, 고강도·고품질 철강재 개발, 전문 설계프로그램 도입 등으로 유연한 형태의 강구조물인 PEB시스템 공법이 많이 적용되고 있다. 그러나 PEB 공법은 횡-비틀림좌굴에 취약하여 2차부재(가로보, 퍼린재)에 의한 횡좌굴 보강이 반드시 필요하며, 2차부재 변화와 시공 품질 관리를 철저히 해야 한다¹⁾.

TH Beam은 H형강을 보로 사용하는 일반 강구조 공법과 비교할 때 TH Beam의 제작 과정에서 일부 차이가 있을 뿐 전체적인 시공 과정은 동일하다. 일반

* (주)쓰리디엔지니어링 대표
3D Engineering Co., Ltd.
** (주)쓰리디엔지니어링 기술영업부 부장
3D Engineering Co., Ltd.
*** (주)쓰리디엔지니어링 기술연구소 수석연구원
3D Engineering Co., Ltd.

H형강 형태에 콘크리트 충전 튜브형 상부플랜지를 적용함으로써 충분한 횡좌굴 저항성능 및 구조안전성을 확보하며 강관의 국부좌굴이 방지되어 장경간 구조물에 적용 시 안정적인 거동을 한다^{2),3)}. 본 기사에서는 TH Beam 공법의 장경간 건축물 적용 사례를 소개하고자 한다.

2. 프로젝트 개요

적용 사례 건축물인 <Fig. 1> 및 <Fig. 2>는 16bay x 2bay로 기본모듈 지상층 24 x 4.0m이며, 지붕은 박공지붕 형태로 48 x 8.0m이다. 지상층 경간 24m 바닥보와 지붕골조 스패ن 48m 지붕보에 TH Beam을 적용하였다. 적용 사례 건축물에 대한 개요는 다음과 같다.

- 공 사 명 : 드라마세트장 신축공사
- 대지위치 : 경기도 파주시
- 건물용도 : 방송시설(촬영소)
- 연 면 적 : 21,640m²
- 건물층수 : 지상 3층 (21.0m)
- 구조형식 : 강구조
- 횡력(지진력)저항시스템
 - 강구조설계기준의 일반규정만을 만족하는 철골 구조시스템
- 기초형식 : 직접기초 (지내력기초)
- 적용기준 : 건축구조기준 (KBC2016), 콘크리트구조 설계기준(KCI2012)

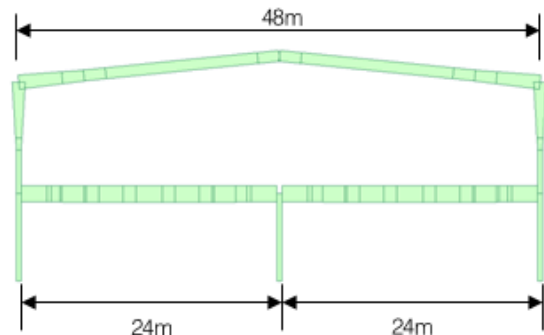
사용 재료의 종류 및 설계기준강도와 설계하중은 각각 <Table 1>과 <Table 2>에 정리하였다.

3. 구조계획

TH Beam 공법과 H형강 공법에 대하여 적용 사례 구조물의 지붕골조를 <Fig. 3> 및 <Fig. 4>와 같이 평면계획 후 강재물량 및 철골부재 설치 개수를 비교하였다. TH Beam 공법의 수평가새 및 작은보는 큰보의 횡지지용이 아니라 풍하중 분산 및 시공 중 안전성



<Fig. 1> Bird's-eye view



<Fig. 2> Front view

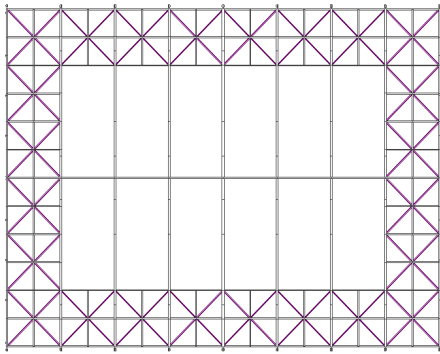
<Table 1> Structural materials and design strength

| Material specifications | | |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| Concrete | KS F 2405 | $f_{ck} = 24\text{MPa}$ |
| Reinforcing bar | KS D 3504 SD400* | $F_y = 400\text{MPa}$ |
| | KS D 3504 SD500** | $F_y = 500\text{MPa}$ |
| Structural steel | KS D 3515 SM355*** | $F_y = 355\text{MPa}$ |
| | KS D 3503 SS275**** | $F_y = 275\text{MPa}$ |
| | KS D 3865 SNRT355***** | $F_y = 355\text{MPa}$ |

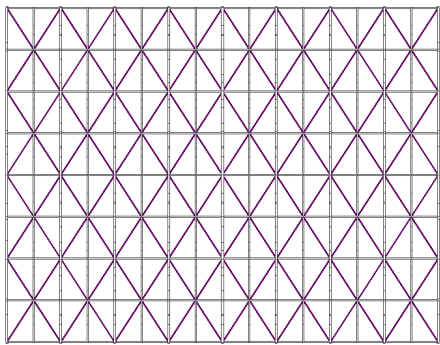
* $\leq D13$, ** $\geq D16$
 *** Flange width $\geq 300\text{mm}$, **** Flange width $< 300\text{mm}$
 *****CFT Column

<Table 2> Design load

| Loads | Roof Floor | 2nd Floor |
|-------------------|------------------------|----------------------|
| Dead load | 0.70 kN/m ² | 11 kN/m ² |
| Live load | 0.60 kN/m ² | 10 kN/m ² |
| Wind load | Basic wind speed | Exposure categories |
| | 26 m/s | C |
| | Importance factor | Topographic effects |
| Earthquake load | 0.95 | 1 |
| | Site coefficient | Site class |
| | 0.176 | SD |
| Importance factor | 1.0 | SDC |
| | | D |



〈Fig. 3〉 Plan (TH Beam)



〈Fig. 4〉 Plan (H Beam)

확보를 위해 최소 배치된 것이다. 보의 비지지길이 (L_b)는 TH Beam 공법 24m, 일반 H형강 공법 6m이다. TH Beam 공법은 H형강 공법 대비 강재량이 20% 절감되며 작은보, 수평가새 설치 부재 개수는 33% 절감된다. 설치 부재 개수 절감을 통한 고소작업을 요하는 공정의 간소화로 재해 노출 시간이 줄어 시공 중 안전성이 향상된다. 공사비의 경우 큰보 11%, 작은보 55%, 수평가새는 39% 절감되며 총 골조공사비는 13% 절감된다.

4. TH Beam 설계

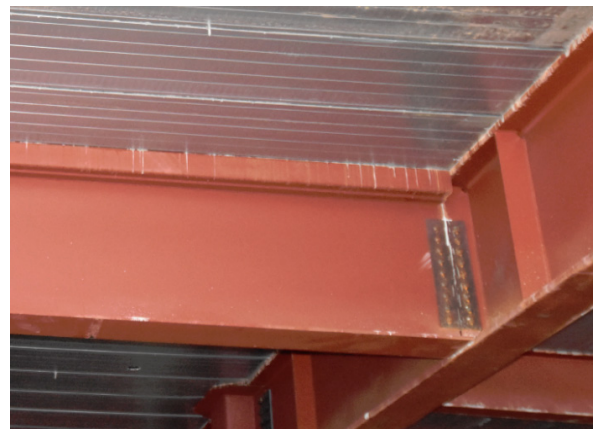
TH Beam은 H형강 상부 플랜지를 콘크리트 충전 튜브로 대체하여 횡강성 및 횡좌굴강도가 향상되고 휨강도 및 소성변형능력이 증대되어 구조안전성이 향상된 구조부재이다. 특히 장경간 구조물에서 지붕골조의 작은보가 생략되고 수평가새 부재가 최적화되므로 경제성 및 시공성이 우수하다. 본 적용 사례에서는 지상층 스패 24m 바닥보와 지붕골조 스패 48m 지붕보

〈Table 3〉 Member list

| Mark | Size | Remark |
|--------|-----------------------------------|--------|
| THG11 | TH-1500 X 300 X 15 X 22(125 X 8) | 2F |
| THG12 | TH-1000 X 300 X 10 X 16(125 X 8) | 2F |
| RTHG11 | TH-1000 X 300 X 12 X 18(125 X 10) | RF |



〈Fig. 5〉 Detail of rigid connection



〈Fig. 6〉 Detail of shear connection

에 대해 TH Beam을 적용하였다. 바닥보 THG11 및 THG12 크기는 각각 보춤 1,500mm, 1,000mm이며 보폭은 300mm, 상부 플랜지 튜브는 125(높이) x 300(폭) x 8mm(두께)로 동일하다. 지붕보 RTHG11 크기는 보춤 1,000mm, 보폭 300mm, 상부 플랜지 튜브 125(높이) x 300(폭) x 10mm(두께)이다. 〈Table 3〉에 TH Beam을 정리하였다. TH Beam-Column 접합부와 전단접합부는 〈Fig. 5〉 및 〈Fig. 6〉과 같다.

5. TH Beam 제작 및 설치

TH Beam 제작은 상부 플랜지 튜브 절곡 공정과 튜브 내 콘크리트충전 공정을 제외하면 일반 조립 H형강과 동일하다. TH Beam 제작 과정은 <Fig. 7>과 같다. 상부 플랜지 튜브 내부 콘크리트 충전 상태는 <Fig. 8>과 같이 밀실하게 충전되었음을 확인하였다. 동일 성능의 일반 H형강보와 TH Beam의 양중하중 비교 결과, 보 길이가 12m일 때 H형강 RH-700 x 300 x 13 x 24 크기 이상 부재 대비 TH Beam 양중하중이 감소함을 확인하였다. 부재 크기가 커질수록 강재량이 감소함에 따라 TH Beam 양중하중이 감소하므로 충전된 콘크리트의 중량은 시공 중 양중하중 증가에 영향이 없다.

강접합 상세를 갖는 큰 보일 경우 <Fig. 9>와 같이 단부는 H형강 상세로 제작되어 일반 H형강 보-기둥 접합 상세와 동일한 <Fig. 10>과 같이 설치된다. TH Beam의 단부는 H형강 형상으로 공장에서 제작된 후 현장에서 H형강 브라켓과 볼트 조립되므로 일반 H형강과 설치 과정이 동일하여 현장 시공자의 거부감이 없다.



<Fig. 8> Tube inner



Cutting



U-casing bending



Welded built-up



Concrete filled in U-casing



End-connectors



Nondestructive evaluation



Painting and storage



Shipment

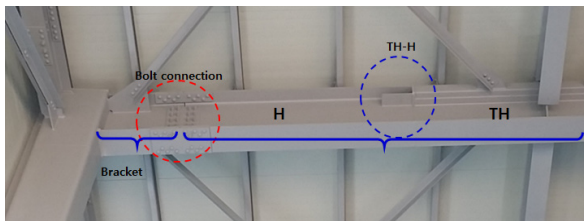


Erection

<Fig. 7> Producing process



〈Fig. 9〉 TH Beam



〈Fig. 10〉 Detail of connection



〈Fig. 11〉 TH Beam (2nd Floor) lifting



〈Fig. 12〉 TH Beam (Roof) lifting

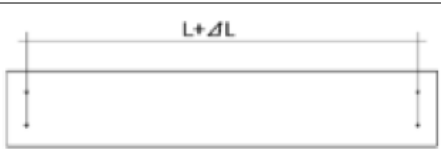
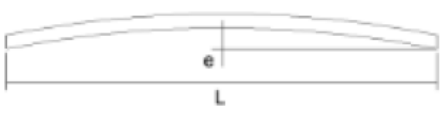
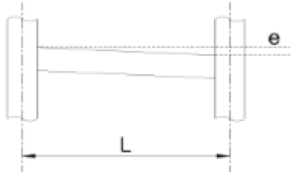


〈Fig. 13〉 Installed TH Beam (Span : 24m)



〈Fig. 14〉 Installed TH Beam (Span : 48m)

〈Table 4〉 Inspection standards

| | Description | Allowance | Ultimate allowance |
|----------------------|---|---|--|
| 전장 (ΔL) |  | $-3 \leq \Delta L \leq +3$ | $-5 \leq \Delta L \leq +5$ |
| Length (e) |  | $e \leq L/1000$ MAX, $e \leq 10$ | $e \leq 1.5L/1000$ MAX, $e \leq 15$ |
| Horizontality (e) |  | $e \leq L/1000 + 3\text{mm}$ or $e \leq 10\text{mm}$ | $e \leq L/700 + 5\text{mm}$ or $e \leq 15\text{mm}$ |

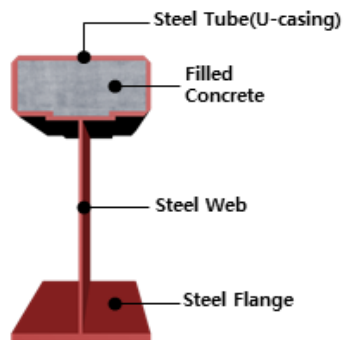
TH Beam 설치를 위한 양중은 지상보(경간 24m), 지붕보(경간 48m) 각각 <Fig. 11> 및 <Fig. 12>와 같이 일반 철골 공사와 동일하다. 지상보는 크레인 1대, 지붕보는 크레인 2대를 이용하여 양중하였다. TH Beam의 양중 조건에 따른 구조 안전성 검토를 통하여 <Table 4>의 시방기준에 따라 시공 중 안정성을 확인하였다.

<Fig. 13> 및 <Fig. 14>와 같이 TH Beam은 좌굴방지용 부재를 생략할 수 있고 보 배치의 단순화로 설비 간섭을 최소화하여 시공성이 향상되며, 기존 H형강 공법 대비 부재 설치 개수가 절감되어 공기 단축이 가능하다. 그리고 일반적인 공사시방서와 유지관리 지침서를 따르므로 유지관리도 기존 H형강과 동일하게 이루어진다.

6. 결론

TH Beam은 <Fig. 15>와 같이 H형강의 장점은 살리고 H형강의 단점인 황좌굴과 비틀림에 취약한 점을 보완하기 위해 상부플랜지를 튜브로 대체하고 튜브 내부를 콘크리트로 충전하여 횡강성 및 황좌굴강도 구조성능을 향상시킨 공법이다. 이는 2020년 7월 건설기술 제893호를 취득하였으며 장경간 지붕보 및 바닥보, 고하중 바닥보, 크레인주행보에 적용되고 있다.

TH Beam 공법은 최근 대형화·복합화되는 건축물이 증가함에 따라 효율적인 무주공간 계획이 가능하며 현장적용성과 구조성능을 확보하고 시공성 및 경제성이 향상된 장경간 공법으로서 역할이 기대된다.



<Fig. 15> TH Beam

References

1. Choi, I. R., Kim, Y. H., Jung, S. J., & Lee, J. H., "Flexural Performance Tests for Steel and Composite U-Tube Flange H-Beam Structure", Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol.31, No.3, pp.199~209, 2019, doi: 10.7781/kjoss.2019.31.3.199
2. Oh, M. H., Kim, Y. H., Jung, S. J., & Kim, M. H., "Experimental Study on the Flexural Capacity of H-shaped Steel Beam with the Concrete-Filled Tubular Flange", Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol.18, No.4, pp.1~9, 2018, doi: 10.9798/KOSHAM.2018.18.4.1
3. Choi, I. R., "튜브플랜지 TH Beam 시스템의 충전 및 구조/내화 성능 평가 연구(Tubular H Beam 공법)", Korean Society of Steel Construction, 2019