

특수구조 대상으로 고강도 강재(HSA800)의 현장 적용성 연구

Application Study of High-Strength Steel(HSA800) for the Special Structure

김인호* 이희수** 박성용*** 김종수**
Kim, In-Ho Lee, Hee-Su Park, Sung-Yong Kim, Jong-Soo

Abstract

The purpose of this study is to increase applicability of high strength steel, HSA800 to the structure. Selected study of structure is to consider high strength steel, and following parts, 1) Tensile member with no consider of buckling, 2) Truss existing both tension and compression members with small slenderness ratio. This studied structure is included tension column hang on to the upper bridge truss. The structure element quantity with apply HSA800 instead of SM570 is reduced about 38.9% of tension column and 29.7% of bridge truss. In addition, the number of element's division is reduced about two sections due to reduction of self weight that the crane is able to lift up. This improves to reduce erection sequence and construction period which can save about a month. All connections are reviewed as welding and bolt. Also, the cost of welding is reduced about 41.3% due to apply HSA800. In conclusion, applying HSA800 to the hanging structure aggressively can secure economic and constructability.

Keywords : HSA800, Hanging Tension Column, Bridge Truss, Erection, Connection Plan

1. 서론

최근 동북아시아(한국, 일본, 중국)와 서남아시아(사우디아라비아, 두바이, 카타르)를 중심으로 세계의 많은 건물이 고층화, 대형화되고 있다. 이에 따라 구조설계분야에서는 기본설계단계의 구조계획, 즉 구조시스템 및 구조재료의 선택이 더욱 중요해지고 있다. 재료분야에서는 구조물의 주재료인 콘크리트와 강재의 고성능화가 요구되고 있으며, 특히 고강도화에 대한 사회적 요구가 높다. 이러한 추세에 발맞추어 국내 업체에서도 항복강도 650MPa, 인

장강도 800MPa 고강도 강재인 건축용 강(HSA800)이 최근 개발되었다.

고강도 강재에 대한 연구는 해외의 경우 1960년부터 진행되어, 미국에서는 ASTM에서 A514(항복강도 690MPa, 평판두께 150 mm까지)와 A709 Grade 100W(항복강도 690MPa, 평판두께 64mm, 교량용)의 강재를 허용하고 있으며, 일본의 경우 인장강도 780MPa급의 강종이 개발되어 시범적으로 사용되고 있다¹⁾. 2011년 HSA800(건축구조용 고성능 압연강재)²⁾ 강종이 개발되어 한국산업표준(KS)에 규정되었다. 최근 김도한³⁾ 등의 HSA800의 특성에 관한 연구에서 HSA800은 KS규격을 모두 만족하는 강재로, 강구조 관련 기준에 적용될 경우 건축구조의 시공성 및 제작성 뿐만 아니라 공사비 절감에도 기여할 것으로 기대되고 있다^{4),5)}. 최근에 이철호⁶⁾ 등은 HSA800 고강도 강재의 단주실험과 편심압축실험을 통해 얻어진 내력을 현행 강구조설계기준의 설계강도와 비교를 하였고, 잔류응력이 항복강

* 교신저자, 정회원, 포스코건설 R&D Center 기술연구소, 차장, 공학박사

Posco R&D Center. Research & Engineering Division.
Tel: 032-200-2216 Fax: 032-200-2254
E-mail: kiminho@poscoenc.com

** 정회원, CS 구조엔지니어링, 공학석사
CS Structural Engineering Inc.

*** 정회원, CS 구조엔지니어링, 공학박사
CS Structural Engineering Inc.

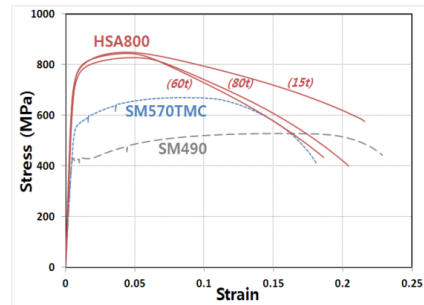
도에 미치는 영향을 검토하였다. 그 결과로 일부 실험체는 가력장치의 최대가력용량을 초과하여 중극상태(국부좌굴)에 도달하지 못하는 경우가 발생했지만, 대부분의 실험체는 현행설계기준의 요구강도를 만족하는 것으로 나타났다⁷⁾. 또한 유정한 등⁸⁾과 김태수 등⁹⁾은 HSA800 고강도강재의 단순인장강도시험을 통해 기계적 성질을 확인하고 조립H형강과 조립각형강관 압축재의 중심압축실험을 실시하였고, 유한요소해석을 통한 결과값과 비교하였다. 그 결과 실험결과가 현행설계기준에서 요구하는 강도를 만족하는 것으로 나타났으며, 이러한 실험결과를 비교적 정확히 예측하는 유한요소모델을 제시하였다.¹⁰⁾

고강도 강재는 <Fig. 1>에서 나타낸 바와 같이 강재종별에 관계없이 일정한 탄성계수를 가진다. 따라서, 고강도 강재를 구조부재로 사용할 경우 현행 강도설계기반으로 한 탄성설계에서는 부재의 소요단면적이 감소하고 구조부재 전체의 중량은 감소한다. 반면 부재의 단면적 감소로 인하여 부재의 강성이 감소하고 사용성이 저하된다. 또한 철골부재의 주요 특성인 좌굴, 즉 국부좌굴, 휨좌굴 및 횡좌굴의 위험성이 커지게 된다. 또한 고강도 강재는 기존 일반강재에 비하여 높은 항복비와 낮은 연신율을 가짐에 따라 변형능력과 인성확보가 곤란하다는 단점과 용접 및 모재의 취성적인 성향 때문에 소성거동을 통한 에너지 흡수 능력이 기대되는 부재에 사용할 경우 주의를 요한다.¹¹⁾

이러한 연구를 기반으로 고강도 강재를 사용함에 따라 효율성이 극대화될 수 있는 구조부재는 다음과 같이 요약된다.

- 좌굴의 위험이 없는 인장력을 받는 부재
- 압축부재와 인장부재가 혼재하지만 세장비가 낮은 트러스 부재
- 높은 압축력을 받지만 콘크리트로 인하여 좌굴이 방지되는 매립형 충전형 합성기둥
- Beam & Girder System에서 Beam에 직각방향으로 설치되어 주로 휨에 저항하는 Girder (Beam에 의하여 Girder의 비지지 길이가 감소하므로 횡좌굴이 방지됨)

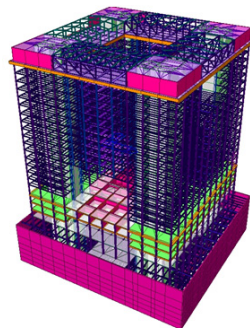
본 연구에서는 위에서 열거한 고강도 강재를 사용함에 따라 효율성이 기대되는 부재 중에서 기존 사례나 연구를 통해 평가가 이루어지지 않은 “좌굴의 위험이 없는 인장력을 받는 부재”와 “높은 압축부재와 인장부재가 혼재하지만 세장비가 낮은 트러스 부재”에 대해서 대상 건물에 적용성을 고찰해보고 그 타당성을 검토해 보고자 한다.



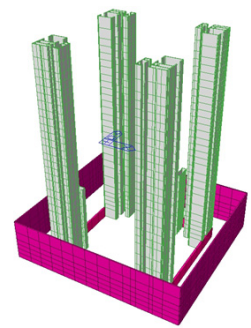
<Fig. 1> Strength-strain Curve

2. 검토대상 건물

이 장에서는 고강도 강재의 특성을 이용한 효율적인 강재의 활용과 현장 적용성을 검토하여 고강도 강재인 HSA800을 대상건물에 적용하여 경제성 및 시공성에 대해 고찰해 보기로 하겠다.



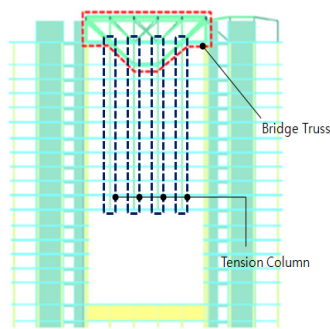
<Fig. 2> 3D Modeling



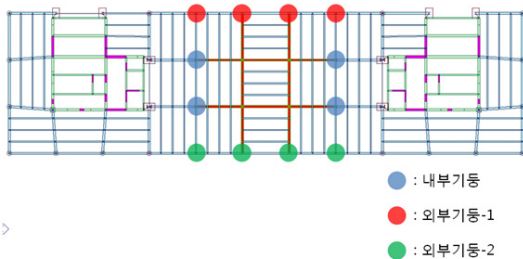
<Fig. 3> Lateral System

본 대상 건물의 규모는 지상 22층, 지하 7층으로 구성되어 있으며, 건물의 높이는 약 110m로 건물 용도는 업무시설, 판매시설 및 근린생활시설로 구성되어 있다. <Fig. 2>는 대상 건물의 3차원 형상을 보여주고 있다. 횡력저항시스템은 반응수정계수 R=4.0

인 철근콘크리트 보통전단벽시스템(Fig. 3)을 적용하여 지진력에 저항하고, 기준층 및 지하층은 철골구조의 모멘트골조로 계획하여 중력하중에 저항하도록 설계하였다. 각 층의 바닥을 지지하기 위한 수직 기둥은 최상층의 Bridge Truss에 매달려 지지되도록 계획하였다. <Fig. 4>는 매달리는 구조에 대한 입면을 나타내며, <Fig. 5>와 같이 Tension Column은 내부와 외부 기둥으로 각각 구성되어 24.3m x 24.3m의 공간을 메가트러스를 통해 처짐 및 진동을 제어할 수 있도록 하였다.



<Fig. 4> Bridge Truss Elevation



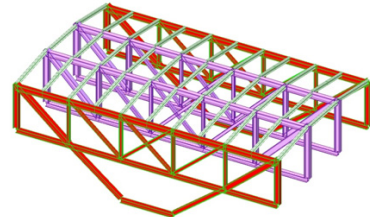
<Fig. 5> Tension Column Location

3. 트러스

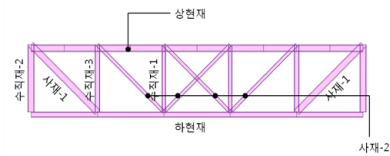
3.1 Bridge Truss 소개

<Fig. 2>와 <Fig. 4>에서 나타난 바와 같이 검토 대상 건물은 입면에 3개의 큰 오프닝으로 계획되어 있다. 이러한 오프닝은 각 입면에서 다양한 높이에 위치하며, 오프닝 상부의 구조물은 최상층의 Steel Bridge Truss에 매달린다. 이 Bridge Truss는 하부

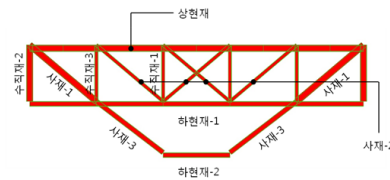
에 매달리는 구조물의 규모에 따라 3개로 나누어진 다. 본 장에서는 하부에 매달리는 구조물의 규모가 가장 큰 구간(Fig. 4)에 대하여 고강도 강재 HSA800과 SM570에 대해서 구조적인 안전성을 평가하였다.



(a) Bridge Truss Shape



(b) Interior Truss



(c) Exterior Truss

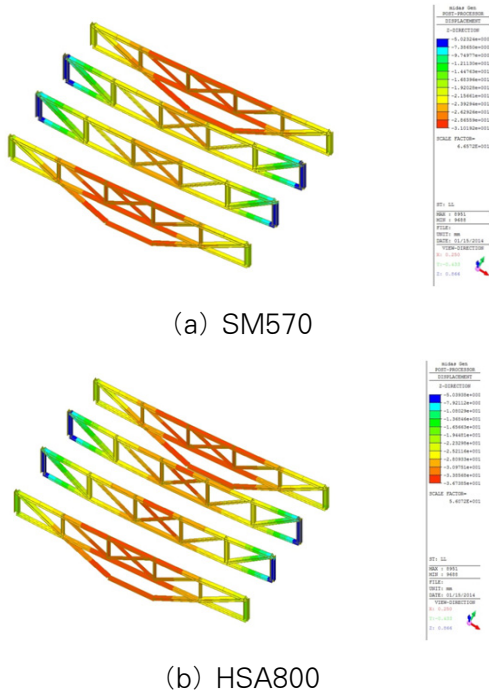
<Fig. 6> Bridge Truss

두 강재에 대해 단면의 산정은 Bridge Truss의 수직 처짐을 기준으로 하였고, 고정하중에 의한 처짐은 Camber로 제어할 수 있는 범위로 제어하였으며, 활하중에 대해서는 부재 간 상대 처짐으로 약 $L/1000$ 으로 계획하였다. 구조물의 구조 안전성 평가를 위한 해석 모델링은 부분 모델링으로 해석을 수행하여 해석시간을 단축하였다.

해석을 수행한 모델은 총 11개 층의 바닥하중이 각 층의 Tension Column(Fig. 4)에 의하여 1차로 지지되고, Bridge Truss에 2차로 하중을 전달한다. 즉 중력하중에 의하여 Bridge Truss(Fig. 6)하부의 연결 기둥에는 인장력이 발생하고, 각 코너 구간의 수직재에는 압축력이 작용한다. 따라서, Bridge Truss 하부의 Tension Column에 있어서 좌굴에 대한 위험성은 극히 낮아진다.

3.2 Bridge Truss 사용성 평가

<Fig. 7>과 같이 활하중에 의한 처짐은 SM570의 경우 내부와 외부에서 각각 20mm(=1/2025), 12mm(=1/3375)이었으며, HSA800의 경우 내부와 외부에서 각각 27mm(=1/1500), 18mm(=1/2250)로 평가되었다. HSA800을 사용함에 따라 Live Load에 의한 처짐은 내부 Truss에서 35.0%(= (27-20)/20x100), 외부 Truss에서 50.0%(=(18-12)/12x100) 증가되었다. 상기와 같이 HSA800을 적용함에 따라 처짐이 증가되고 사용성은 감소하였다. 이는 단면 감소에 따른 강성저하로 인해 발생한 것으로, 상기의 처짐량은 허용 처짐량 135mm(=40500/300) 이내이므로 사용성에 대한 문제는 없다고 판단된다.



<Fig.7> Displacement due to Live Load

3.3 Bridge Truss 응력 평가

두 강재에 대해서 구조해석을 수행하여 산정한 단면 치수는 <Table 1>에 표현한 바와 같으며, HSA800을 적용할 경우 Bridge Truss의 단면감소에 따른 각 부재별 응력비를 나타내었다. 산정한 단면치수는 HSA800 적용에 따른 응력비가 기존 SM570 적용에 따른 응력비보다 작고, 인접부재와의 접합이

가능한 범위 내에서 변경하였다. <Table 2>에서는 두 강재에 대해 동일한 단면치수를 적용하고 강재의 종류만 SM570과 HSA800으로 변경하였을 경우, Bridge Truss의 응력비 감소율과 안전성 증가율을 표현하였다. 여기서, 응력비란 설계강도에 대한 소요강도의 비를 나타내며, KBC2009¹⁴⁾를 기준으로 조합응력(축방향력, 휨응력)을 고려하여 산정하였다. 또한, 안전성 증가율이란 고강도 강재의 사용에 따른 구조적 안전성 증가율을 나타내며, 그 값은 상기의 응력비 감소율과 같다.

SM570의 항복강도는 420MPa이고 HSA800의 항복강도는 650MPa이다. 따라서 강재의 항복강도 증가에 의한 구조적 안전성 증가를 최대한 활용할 수 있다면 기대되는 최대 응력비 감소율은 35.4%(=(650-420)/650x100)이다.

<Table 1> HSA800 & SM570 Bridge Truss Section size

구분	SM570		HSA800		B/A (%)	
	단면치수	응력비(A)	단면치수	응력비(B)		
In	상현재	H800x600 x80x80	0.807	H700x600 x60x60	0.789	98.9
	하현재	H600x600 x50x50	0.555	H600x600 x40x40	0.522	94.1
	수직재 1	H414x405 x18x28	0.323	H414x405 x18x28	0.192	59.4
	수직재 2	H600x600 x50x50	0.241	H600x600 x30x30	0.220	91.3
	사재	H800x600 x70x70	0.861	H800x600 x50x50	0.832	96.6
Ex	상현재	H800x600 x80x80	0.724	H700x600 x55x55	0.686	94.8
	하현재	H600x600 x50x50	0.663	H600x600 x30x30	0.653	98.5
	수직재	H414x405 x18x28	0.356	H400x400 x13x21	0.328	92.1

<Table 2> HSA800 & SM570 Bridge Truss Stress Reduction Ratio

단면번호		SM570 (A)	HSA800 (B)	응력비감소율(%) (A-B)/Ax100
Interior Bridge Truss	상현재	0.807	0.589	27.0
	하현재	0.555	0.414	25.4
	수직재1	0.323	0.160	50.5
	수직재2	0.241	0.163	32.4
Exterior Bridge Truss	상현재	0.861	0.564	34.5
	하현재	0.724	0.472	34.8
	수직재	0.663	0.431	35.0
	수직재	0.356	0.243	31.7

Bridge Truss의 응력비 감소율의 범위는 25.4 ~ 50.5%로 나타났다(Table 2). 단면치수에 따라 그 중량이 상이함으로 중량에 의한 가중치를 고려한 평균 응력비 감소율은 32.7%로 나타났다. 바꾸어 말하면 HSA800 강재의 적용에 의하여 Bridge Truss의 구조적 안전성이 평균 32.7% 증가하였다. 이 수치는 최대 기대안전성 증가율의 92.4%(32.7/ 35.4x100)로 Bridge Truss에 있어서 HSA800의 효율성이 높아짐을 나타낸다.

3.4 Bridge Truss 물량 평가

<Table 3>에는 HSA800 적용에 따른 Bridge Truss의 물량 감소를 나타내었다. HSA800을 적용함에 따라 Bridge Truss의 전체 중량은 SM570을 적용한 경우에 비하여 29.7%(=5773-4060)/5773x100)로 감소하였다. 실제적인 중량 감소율은 <Table 2>의 평균 응력비 감소율의 90.8%(=29.7/32.7x100)로 평균 응력비 감소율보다 9.2% 더 작은 것으로 평가되었다. 그 이유는 Bridge Truss가 여러 종류의 단면으로 구성되어 있기 때문에 모든 부재에 있어서 목표하는 응력비를 달성하기가 쉽지 않기 때문이라고 사료된다.

<Table 3> HSA800 & SM570 Bridge Truss Steel Amount

구분	SM570	HSA800	B/A (%)
	중량 A (kN)	중량 B (kN)	
In.	상현재	944	72.6
	하현재	438	80.9
	수직재1	283	100
	수직재2	130	61.4
	사재	304	65.4
Ex.	상현재	1,160	66.9
	하현재	565	61.4
	수직재	237	74.0
합계	5773	4060	70.3

3.5 Tension Column 응력 평가

<Table 4>는 Tension Column을 대상으로 SM570과 HSA800에 대해서 구조해석을 수행하여 Tension

Column의 응력비 감소율과 안전성 증가율을 평가하였다. Tension Column의 응력비 감소율 범위는 35.0~35.3%로 나타났다. 또한 단면치수별 중량을 고려한 평균 응력비 감소율은 35.2%로 증가하였다. 이를 근거로 보면 최대 기대안전성 증가율의 99.4%에 해당하며 인장력을 받는 연결기둥에 있어서 HSA800의 효율성은 대단히 높은 것으로 나타났다.

Bridge Truss와 비교하여 Tension Column에서 단면치수에 따른 응력비 감소율의 편차는 감소하였으며, 구조적 안전성은 7.6% 더 증가하였다. 그 이유는 다음과 같다.

우선 Bridge Truss의 특성상 압축과 인장부재가 혼재한다. KBC2009에 의하면 압축부재에 있어서 항복강도에 대한 휨좌굴응력의 비는 항복강도가 증가함에 따라 감소하였다. 따라서, 항복강도의 증가가 그대로 구조적 안전성의 증가로 이어지지 않았다. 반면, 인장부재에서는 좌굴의 위험이 없으므로 항복강도가 증가하는 만큼 구조적 안전성도 증가하게 되었다. 이러한 이유로 인장부재만으로 구성된 Tension Column의 경우가 압축과 인장부재가 혼재된 Bridge Truss보다 HSA800의 효율성이 더 높아졌다.

<Table 4> HSA800 & SM570 Tension Column Stress Reduction Ratio

구분	SM570 (A)	HSA800 (B)	응력비감소율 (%) =(A-B)/Ax100
내부기둥	0.900	0.585	35.0
외부기둥-1	0.815	0.527	35.3
외부기둥-2	0.909	0.588	35.3

3.6 Tension Column 물량 평가

<Table 5>와 <Table 6>은 HSA800 적용에 따른 Tension Column의 단면 및 물량 감소를 표현하였다. HSA800을 적용함에 따라 Tension Column의 전체 중량은 SM570을 적용한 경우에 비하여 38.9% 감소하였다. 이 수치는 평균 응력비 감소율의 110.5%로 HSA800 적용에 따른 실질적인 감소는 평균 응력비 감소율보다 10.5% 더 큰 것으로 나타났다.

<Table 5> HSA800 & SM570 Tension Column Section Size

구분	SM570		HSA800		B/A (%)
	단면치수	응력비(A)	단면치수	응력비(B)	
내부	H500x500 x80x80	90.0	H500x500 x45x45	86.9	96.6
외부 1	H450x350 x40x50	81.5	H400x350 x30x30	79.3	97.3
외부 2	H400x350 x40x50	90.9	H400x350 x25x30	87.2	95.9

<Table 6> HSA800 & SM570 Tension Column Steel Amount

구분	SM570	HSA800	B/A (%)
	중량 A (kN)	중량 B (kN)	
내부기둥	1676	992	59.2
외부기둥 1	766	488	63.7
외부기둥 2	735	461	62.8
합	3177	1941	61.1


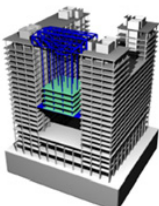
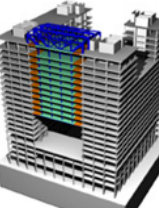
4. 양중계획

본 건물은 앞에서 설명한 것처럼 입면에 큰 3개의 오프닝이 계획되어 상부의 구조물을 지지하기 위한 하부 기둥이 없으며, 일반적인 구조물에 비하여 시공순서가 더욱 복잡하다. 따라서 시공순서에 따른 공법 선정과 그에 따른 양중계획에 대한 검토가 반드시 수반되어야 한다. 본 건물에 적용 가능한 시공방법으로는 시공순서에 따라 Bottom-Up 공법과 Top-Down 공법이 있다.

Bottom-Up 공법은 오프닝이 존재하는 구간에 가설 지지 기둥을 미리 설치한 후 오프닝 상부 구조물을 아래층에서부터 위층으로 순차적으로 시공한 다음 가설재를 제거하는 시공법이다. 반면 Top-Down 공법은 최상층의 Bridge Truss를 우선 설치하고 그 하부의 Tension Column을 위층에서부터 아래층으로 시공한 다음 바닥슬래브를 설치하는 방법이다.

본 연구에서는 두 공법 중 Bridge Truss 하부 구조물의 부재력 및 처짐을 제어하기 쉬우며, 각 시공 단계별로 Bridge Truss 하부의 Tension Column에는 인장력만이 작용하여 경제성을 확보할 수 있는 Top-Down 공법을 적용하였다. Top-Down 공법에 따른 본 건물의 시공단계는 <Table 7>에 표현하였다.

<Table 7> Bridge Truss Erection Sequence

Stage 1	Stage 2
 <p>- Bridge Truss을 설치할 코너부 구조체를 우선 시공</p>	 <p>- Bridge Truss을 코너부 구조체와 연결, Camber 설치로 고정하중에 따른 처짐 조절</p>
Stage 3	Stage 4
 <p>- Bridge Truss 하부의 Tension Column을 위층에서부터 아래층으로 설치</p>	 <p>- 바닥슬래브를 아래층에서 위층으로 설치함 - 이때 바닥슬래브는 코너부 구조체와 연결하지 않음</p>
Stage 5	Stage 6
 <p>- 최상층까지 바닥슬래브 설치</p>	 <p>- 코너부 구조체와 Bridge Truss 하부구조물의 바닥슬래브를 일체화함</p>

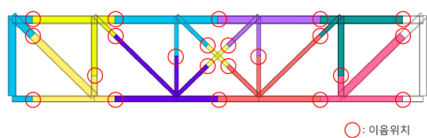
4.1 양중능력을 고려한 분절계획

Bridge Truss 한 개당 중량은 SM570을 사용할 경우 Int. Truss 1400kN, Ext. Truss 1487kN이며 HSA800을 사용할 경우 Int. 1049kN, Ext. Truss 981kN이다. 한편 공기단축을 고려하면 Bridge Truss를 지상에서 조립한 후 최상층에 설치하는 것이 유리하다. 하지만 상기와 같이 Bridge Truss 한 개의 중량이 1000kN을 초과하므로 일반 타워크레인으로는 양중이 불가능하다. 따라서 일반용량의 타워크레인을 사용할 경우 Bridge Truss를 여러 부분

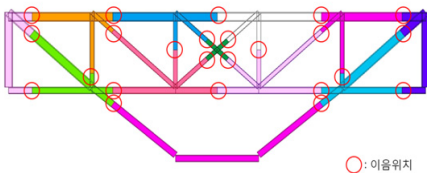
으로 나누어 지상에서 제작한 후 최상부로 양중하여 부재 간 이음을 실시하여야 한다.

<Fig. 8>, <Fig. 9>는 타워크레인으로 양중이 가능한 강재종별에 따른 분절 계획을 나타내며, 타워크레인의 용량 등을 고려하여 약 170 kN이하가 되도록 분절 계획을 수립하였다. 분절된 부재 간의 접합은 용접과 볼트의 두 가지 경우를 모두 고려하였다. SM570을 사용할 경우 Int. Truss는 11개소, Ext. Truss는 12개소로 각각 나누어졌으며, HSA800을 사용할 경우 Int. Truss는 9개소, Ext. Truss는 10개소로 나누어졌다. 이는 HSA800을 사용할 경우 양중횟수, 즉 시간과 비용이 Int. Truss에서 18.2%, Ext. Truss에서 16.7% 각각 감소함을 나타낸다.

분절에 따른 이음부의 개소는 SM570을 사용할 경우가 Int. Truss 22개소, Ext. Truss 24개소로 나타났으며 HSA800을 사용할 경우 Int. Truss 20개소, Ext. Truss 22개소로 나타났다. 바꾸어 말하면 HSA800을 사용함에 따라 이음부의 개소가 Int. Truss에서 9.1%, Ext. Truss에서 8.3% 감소하였다. 이 수치는 고강도 강재의 사용에 따른 중량 감소를 Int. Truss 25.1%, Ext. Truss 34.0% 보다 작으며 이는 분절 시 주변 부재와의 연결을 고려하여야 하기 때문이다.

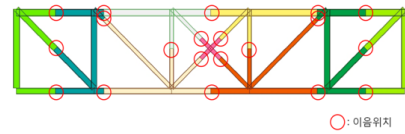


(a) Exterior Bridge Truss

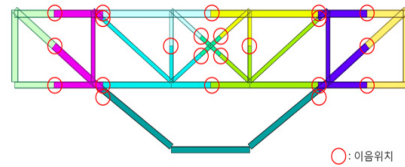


(b) Interior Bridge Truss

<Fig. 8> Bridge Truss Division Plan(SM570)



(a) Exterior Bridge Truss



(b) Interior Bridge Truss

<Fig. 9> Bridge Truss Division Plan(HSA800)

4.2 양중을 고려한 용접부 검토

HSA800을 적용한 조립부재 제작 시 용접재료의 선택 및 용접조건 선택에 신중을 기해야 한다. 용접재료의 강도가 모재의 강도에 비하여 작을 경우 용접부의 취성과파괴가 구조물 전체의 취성과파괴를 유발할 우려가 있어 용접재료 선정 시 모재의 인장강도보다 높은 것을 사용하여야 한다. HSA800의 용접성 평가를 위해 김진원 등^{12),13)}은 인장강도 800MPa급인 K-120TG와 900MPa인 OK-Aristo79, PKW900 총 세 가지의 용접재료를 이용하여 실험을 수행하였으며, 그 결과 강재의 최소 인장강도보다 큰 900MPa급 용접재료인 PKW900을 사용하는 것이 용접부의 강도를 확보하는데 가장 적합한 것으로 평가하였다.

따라서 본 연구에서는 HSA800에 대해 900MPa급 용접재료인 PKW900을 사용하는 것으로 가정하였으며, <Table 8>에는 HSA800과 SM570 적용에 따른 이음부 용접량 감소를 나타내었다. 여기서 부재 간의 이음은 맞댐용접으로 하였으며 개선각도는 45도로 하였다. 또한 용접량 V을 산정함에 있어서 보강살 붙임 부분은 제외하고 다음 식과 같이 계산하였다.

$$V = t^2 \times l \times \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (1)$$

여기서, t: 유효목두께, l: 맞댐용접 유효길이, θ : 개선각도

<Table 8> Welding Amount by Splice with HSA800 & SM570

구분	SM570			HSA800			B / A	
	Fl. (m ³)	Web (m ³)	합계 (m ³) A	Fl. (m ³)	Web (m ³)	합계 (m ³) B		
In.	상현재	0.032	0.017	0.049	0.018	0.009	0.027	54.4
	하현재	0.012	0.005	0.018	0.008	0.003	0.011	64.8
	수직재	0.004	0.001	0.005	0.004	0.001	0.005	100
Ex.	상현재	0.045	0.024	0.068	0.021	0.010	0.031	46.0
	하현재	0.017	0.007	0.025	0.006	0.003	0.009	36.8
	수직재	0.005	0.001	0.006	0.002	0.000	0.003	44.0
합			0.193			0.093	48.4	

<Table 8>에 의하면 용접량은 SM570을 적용할 경우 0.193m³, HSA800을 적용할 경우 0.093m³으로 나타났다. 바꾸어 말하면 HSA800 사용에 따른 용접량은 SM570 사용에 따른 용접량의 48.4%로 나타났다. 이는 HSA800을 사용함에 따라 용접에 필요한 시간 및 용접 시 발생하는 결함이 SM570에 비하여 절반 이하로 감소함을 의미한다. 또한 HSA800 사용에 따른 단위 용접량당 비용 상승이 1.21배인 점을 고려하면 HSA800 사용에 따른 용접비용은 41.3% 감소하였다.

<Table 9> Splice Plate Amount of Apply SM570

구분	플랜지		웹	
	이음판			
	바깥쪽	안쪽	이음판	
In.	상현재	2xPL- 50x600x2220	4xPL- 50x240x2200	2xPL- 48x480x780
	하현재	2xPL- 35x600x1355	4xPL- 35x240x1355	2xPL- 30x400x490
	수직재	2xPL- 20x405x780	4xPL- 20x180x780	2xPL- 12x302x350
Ex.	상현재	2xPL- 65x600x2220	4xPL- 65x240x2220	2xPL- 50x480x780
	하현재	2xPL- 40x600x1355	4xPL- 40x240x1355	2xPL- 30x40x490
	수직재	2xPL- 20x405x780	4xPL- 20x180x780	2xPL- 12x302x350

<Table 10> Splice Plate Quantity of Apply HSA800

단면번호	플랜지		웹	
	이음판			
	바깥쪽	안쪽	이음판	
In.	상현재	2xPL- 40x600x2510	4xPL- 40x240x2510	2xPL- 35x460x780
	하현재	2xPL- 25x600x1645	4xPL- 25x240x1645	2xPL- 25x440x490
	수직재	2xPL- 25x405x1210	4xPL- 25x180x1210	2xPL- 12x302x350
Ex.	상현재	2xPL- 50x600x2365	4xPL- 50x240x2365	2xPL- 30x480x780
	하현재	2xPL- 30x600x1355	4xPL- 30x240x1355	2xPL- 15x480x350
	수직재	2xPL- 18x400x925	4xPL- 18x180x925	2xPL- 12x316x350

<Table 11> Splice Plate Quantity of Each HSA800 & SM570

단면번호	SM570	HSA800	B/A (%)
	중량 A (kN)	중량 B (kN)	
상현재	546	452	82.7
하현재	211	164	77.7
수직재	69	88	127.5
합	826	704	85.2

4.3 양중을 고려한 이음판 검토

<Table 9>와 <Table 10>은 단면치수에 따른 이음판의 물량을 나타내었다. 이음판 물량은 KBC2009에 의거하여 기둥 접합부 이음으로 산정하였다. 고려볼트는 단면치수와 상관없이 M24(F10T)로 하였으며 이음판에 있어서의 연단 및 측단거리는 볼트 직경의 2배 이상, 볼트중심간 간격은 볼트직경의 3배 이상이 되도록 하였다.

두 표를 비교하면 HSA800을 사용함에 따라 대부분의 경우 이음판의 두께는 감소하였다. 이는 동일 강종의 모재와 이음판을 사용할 경우 모재의 두께가 감소하면 이음판의 두께도 감소하기 때문이다. 한편 고려볼트의 수는 HSA800을 사용함에 따라 약간 증가하는 경향을 보였다. 이는 HSA800을 사용할 경우에도 부재의 성능(내력)이 SM570을 사용할 경우와 동등 또는 그 이상이 되도록 부재치수가 산정되었기 때문이다. 즉 부재의 용력을 원활하게 전달하기 위해서는 고려볼트의 수가 약간 증가되며 이와 동시에 이음판의 길이도 증가하게 된다.

<Table 11>에는 HSA800 적용에 따른 이음판의 물량을 비교하였다. 이음판의 물량을 산출함에 있어서 볼트구멍은 제외하였다. HSA800을 사용할 경우 이음판의 중량은 SM570 대비 18.0% 감소했으나 비용은 0.4% 증가하였다. 즉 고력볼트이음을 할 경우 HSA800 사용에 따른 경제적 효과는 없는 것으로 검토되었다. 따라서 Bridge Truss의 이음은 고력볼트접합 보다는 용접접합을 하는 것이 더욱 경제적이라고 말할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 최대 11개 층이 최상부 Bridge Truss에 매달리는 특수구조형태(Hanging System)를 가진 고층 구조물을 대상으로 하여 최상부에 위치하는 Bridge Truss와 하부 Tension Column 부재에 대해 항복강도 650MPa인 HSA800의 현장 적용성 및 경제성을 분석하였다.

HSA800 적용에 따른 구조적 안정성 및 경제성 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) Bridge Truss와 하부 Tension Column에 고강도 강재 HSA800을 적용함에 따라 구조적 안전성은 약 30% 이상 증가하였다. 그 이유는 Bridge Truss의 경우 압축재와 인장재가 혼재하지만 부재의 판폭두께비 및 세장비가 작아 좌굴에 대한 위험성이 낮으며 하부 연결기둥의 경우 인장력을 받는 부재이기 때문에 좌굴에 대한 위험성이 없기 때문이다.
- (2) HSA800을 적용한 부재의 성능이 SM570 대비 동등 또는 그 이상이 되도록 단면치수를 변경할 경우, Tension Column의 물량감소가 약 38% 이상인 것으로 나타났다. 한편 HSA800을 적용함에 따라 부재의 강성저하로 인해 사용성(처짐으로 검토함)이 저하되었다. 하지만 사용성의 감소폭은 허용범위 내에 있는 것으로 나타나 HSA800 적용에 따른 큰 문제는 없는 것으로 사료된다. HSA800 적용에 따른 부재력(축력 및 휨모멘트)은 부재의 강성저하로 인하여 약간 감소했으나 무시 가능

한 범위 내에 있었다.

- (3) 마지막으로 Bridge Truss 구간에 대한 양중 계획 및 설치계획을 검토하였다. 본 연구에서는 최상부 Bridge Truss를 우선 설치하고 하부 Tension Column을 그 다음에 설치하는 Top-Down 공법을 시공법으로 검토하였으며, Bridge Truss는 일반용량의 타워크레인으로 양중을 할 경우 분절계획이 필요하였으며, HSA800 사용에 따라 양중횟수, 즉 시간과 비용이 15% 이상 감소하였다. 또한 분절된 Bridge Truss의 이음에 관해서는 HSA800을 사용함에 따라 용접 시 비용이 40% 이상 감소하는 것으로 나타났다. 반면 고력볼트로 이음을 할 경우에는 이음판의 중량은 감소하였지만 HSA800 강재의 높은 단가로 인하여 비용은 감소하지 않아 고력볼트접합의 경제성은 없는 것으로 나타났다.

특수구조형태를 가진 고층 구조물을 대상으로 “좌굴의 위험이 없는 인장력을 받는 부재”와 “높은 압축부재와 인장부재가 혼재하지만 세장비가 낮은 트러스 부재”에 대해 고강도 강재인 HSA800을 적용할 경우 경제성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 양중 중량 감소에 따른 시공적인 편의를 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 추후 다양한 부재에 대해 고강도 강재의 추가적인 현장 적용성에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 첨단도시개발사업의 연구비지원(과제번호#09첨단도시A01)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

1. Jung, M.Y(2010) Current Development and Application of High-Strength Steel for Building Systems in Japan, Proceedings of

- Annual Academic or Technical Conference (in Korean)
2. KS (2011) KS D 5994, High-performance rolled Steel for building structures.
 3. Lee, M.J. (2012) Code Comparisons for Limiting the Application of HSA High Performance Steels, Journal of KSSC, V6, pp.261~262
 4. Kim, D.H.(2012) Material Tests of the HSA800 - the High Performance Steel for Building Structures, journal of KSSC, pp.445~458
 5. Kim, J.R.(2011) Research on Design Criteria of High-strength Steel, Research Report, KSSC.
 6. Lee, C.H.(2012) Compressive Strength and Residual Stress Evaluation of Stub Columns Fabricated of High Strength Steel, Journal of KSSC, V24, pp.23~34.
 7. Ramussen, K.J.R and Hancock, G.J.(1992) Plate Slenderness Limits for High Strength Steel Sections, Journal of Construction Steel Research, KSSC, Vol. 23, pp.73~96.
 8. Yoo, J.H. (2012) Structural Behaviors of Built-up Squares Tubular Compression Members Fabricated with HSA800 High Performance Steels under Concentric Axial Loading, Journal of KSSC, Vol. 24, pp.435~442
 9. Kim, T.S.(2012) A Study on Compressive Strength of Built-up H Shaped Columns Fabricated with HSA800 High Performance Steels, Journal of KSSC, Vol. 24, pp.627~636
 10. Yoo, J.H. (2013) Evaluation on Applicability of Built-up Square Tubular Compression Members Fabricated with HSA800 High Performance Steel Considering Local Buckling, Journal of KSSC, Vol. 25 pp.223~231.
 11. Oh, S.H (2012) Structural Performance Evaluation of Beam to Column Connections with High Strength Steel(HSA800),Journal of AIK-RA, pp.329~333.
 12. Kim, H.W.(2013) Welded Joint Tests of the HSA800 with 900MPa Welding Material, Journal of KSSC, pp.229~230.
 13. Lee, C.H.(2013) Tensile Testing of Groove Welding Joints Joining thick-HSA800 Plate, journal of KSSC, V25, pp.445~458
 14. Architectural Institute of Korea (2009) Korea Building Code and Commentary - Structural, Architectural Institute of Korea

(접수일자 : 2014년 05월 02일)
(심사완료일자 : 2014년 05월 20일)
(게재확정일자 : 2014년 06월 02일)