

건축구조용 고성능 강재 HSA800의 효율적 사용을 위한 초고층 건물의 적용성 평가

김도환¹ · 김주우^{2*} · 이동우³ · 양재근⁴ · 이명재⁵

¹책임연구원, 포스코 철강솔루션센터 건축건자재연구그룹, ²교수, 세명대학교, 건축공학과, ³대표이사, 아이스트
⁴교수, 인하대학교, 건축공학과, ⁵교수, 중앙대학교, 건축학부

Evaluation of Applicability on a High-rise Building for the Effective Usage of High Performance Steel for Building Structures

Kim, Do Hwan¹, Kim, Joo Woo^{2*}, Lee, Dong Woo³, Yang, Jae Guen⁴, Lee, Myung Jae⁵

¹Senior researcher, Building structures and materials research group, POSCO Steel Solution Center, Incheon, 406-840, Korea

²Professor, Department of Architectural Engineering, Semyung University, Jecheon, 390-711, Korea

³Chairman & CEO, IST, Seoul, 135-933, Korea

⁴Professor, Department of Architectural Engineering, Inha University, Incheon, 402-751, Korea

⁵Professor, School of Architectural Engineering, Ching-Ang University, Seoul, 156-756, Korea

Abstract - As building height and span is getting taller and longer, the researches to increase material's strength and serviceability are continuously performed. This study evaluated mechanical and chemical properties of newly developed high-strength steel (HSS) for building structures, namely HSA800 and verified cost-effectiveness and applicability of HSS for a tall building by comparing the analysis results of normal strength steel (SM490) model. HSA800 was manufactured by TMCP to have a good weldability in spite of HSS and satisfied Korean Industrial Standards (KS). The analysis results for evaluating cost-effectiveness show that total steel quantity could be saved approximately 30% when using HSS compared to SM490. It is expected that HSA800 will contribute to enhance constructability of building.

Keywords - HSA800, 800MPa, High strength steel, Build Structure, Material property test, Cost-effectiveness

1. 서론

건축물이 초고층화 및 장스판화 됨에 따라 구조재료의 성능 증대에 대한 요구가 지속되고 있고, 이에 따라 현대 건축물에서 가장 널리 사용되는 구조 재료의 하나인 강재에 대한 고강도화 및 고성능화가 활발하게 진행되고 있다. 고성능 강재를 건축물에 적용함으로써 구조부재의 콤팩트화, 부재

크기의 축소, 건축물의 자중감소 등의 구조적 측면의 장점과 더불어 부재 크기 감소에 의한 자재의 비용절감, 운송, 양중 및 유효 공간 확보 등의 여러 측면에서 다양한 이점이 있다.

고강도 강재는 과거 1960-70년대만 하더라도 탄소 함유량을 증가시켜 강도를 증가시켜 제조한 탄소강이 주를 이루었으며, 이러한 경우 항복점이 명확하지 않고, 항복비가 상승하여 연신율과 인성이 급격히 줄어들면서 취성파괴 거동을 보이는 동시에 용접성이 떨어지는 단점이 있었다. 그러나 1980년대에 들어 탄소량 증가 없이도 Nb, Mo와 같은 microalloy를 첨가하여 강재의 조직을 조밀화 시키고 제어 압연과 가속냉각을 조합한 열처리 방식인 TMCP(Thermo Mechanical Controlled Process)가 개발됨으로써 탄소증가 없이도 강도를 증가시키는 기술이 가능하게 되었으며, 고강도 강재의 단점으로 여겨지던 연신율과 용접성 등이 향상

Note.-Discussion open until April 30, 2015. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on August 11, 2014; revised August 18, 2014; approved on August 21, 2014.

Copyright © 2014 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-43-649-1329 Fax. +82-43-649-1755

E-mail. jw_kim@semyung.ac.kr

된 고성능강재가 확보될 수 있었다.

고강도에 관한 연구는 미국에서 1960년대 초부터 진행되어, ASTM에 A514(항복강도 690MPa, 평판두께 150mm까지)와 A709 Grade 100W(항복강도 690MPa, 평판두께 64mm, 교량용)의 강종이, 일본에서도 1970년대 초부터 관심을 갖기 시작하여 HT80(인장강도 780MPa), HT100(인장강도 950MPa), H-SA700(인장강도 780MPa) 등의 강종이 개발되어 구조물에 시범적으로 사용되고 있다^[1]. 국내에서는 1990년 초반에 POSTEN80(항복강도 680MPa)의 개발을 시작으로 해서, 2009년에 HSB800(교량구조용 압연강재^[2]), 2011년 HSA800(건축구조용 고성능 압연강재^[3]) 강종이 개발되어 한국산업표준(KS)에 규정되었다. 최근에는 김도환 등^[4]에 의해 HSA800 고성능강재의 소재성능평가에 관한 연구를 통해 HSA800이 KS규격을 모두 만족하는 강재로 강구조 관련 기준에 적용될 경우 건축구조의 시공성 및 제작성 뿐만 아니라 공사비 절감에도 기여할 것으로 기대하고 있다.

고층/초고층 건축물의 경우 저층부 기둥에 발생하는 연직하중이나 아웃리거, 벨트트러스 등의 횡력저항부재에 발생하는 요구하중이 지나치게 커짐으로 인해 부재 사이즈가 대형화 및 극후판화 되게 된다. 이러한 대형 구조부재의 경우 강판 및 강대를 조립하기 위한 뛰어난 용접성과 비탄성거동 및 붕괴메커니즘을 고려한 합리적인 설계를 위한 항복비 상한치 및 항복/인장강도의 상/하한치 제한 등 높은 수준의 규격이 요구된다. 또한, 이러한 대형 구조물에 고강도 강재(High-strength steel; HSS)를 적용할 경우 부재 두께를 줄임으로서 철골 제작성, 시공성 향상 및 강재물량 절감 등을 통한 공사비 절감 등이 가능해진다. 따라서, 초고층 빌딩과 같은 대형 건축구조물에서 요구되는 안전성과 시공성을 확보하기 위해서는 기존의 일반구조용이 아닌 건축구조용 고성능/고강도 강재의 적용이 필요하다 할 수 있다. 건축구조용 강재의 품질은 항복강도, 인장강도 상/하한치 및 항복비 규정 등에 의해 일반강재에 비해 엄격한 관리를 필요로 하게 되며 그 만큼 더 강재의 높은 신뢰도(reliability)가 요구되어 진다.

본 논문에서는 최근에 개발된 건축구조용 고성능강재인 HSA800의 재료적 특성의 신뢰도 및 이를 효율적 사용을 위하여 강도의 변화에 따른 실 구조물의 적용성과 경제성에 대해 살펴보려고 한다.

2. 고성능강재의 재료적 특성

고성능강재는 일반적으로 490 MPa이상 980 MPa이하의 인장강도를 갖는 용접구조용강을 말하는데 최근에는 570 MPa 이상을 넘어 650 MPa이상의 항복강도를 갖는 강재를 지칭한다. 고성능강을 사용함으로써 얻게 되는 가장 큰 효과는 높은 허용응력을 가지기 때문에 교량구조를 합리화, 경량화 할 수 있다는 것이다. 구조의 합리화, 경량화를 통해 지간을 장대화 할 수 있어 경제적인 건설이 가능한 것 외에도, 보통강을 사용할 때보다 판두께를 얇게 할 수 있기 때문에 기계 가공과 용접작업이 용이해지고 비파괴검사의 정밀도도 높일 수 있어 안정된 제작품질을 얻을 수 있다는 장점이 있다.

저항복비 고성능강은 600 MPa급 고성능강이 실용화단계에 있는 것을 발판으로, 한층 강도를 높힘으로써 새로운 구조에 대한 가능성도 기대되며, 이에 따라 개발된 건축구조용 800MPa급 고성능강(HSA800)의 기계적 성질, 용접이음성능에서 부재, 골조성능에 이르는 연구사례가 보고되고 있다. 전형적인 HSA800의 응력-변형률 관계 곡선을 600MPa급 고성능강재와 400~500MPa급 강재와 함께 비교하여 Fig. 1에 나타내었다. 이를 살펴보면, 인장강도 최대점 이후 강도 저하가 급격히 발생하지 않는다는 것을 알 수 있다. 또한, 합금강 특성상 SM490과 달리 항복이후 항복침이 존재하지 않고 비선형 곡선으로 인장강도에 도달하는 것을 알 수 있다.

2.1 고강도 강재의 제조특성

강재의 열처리 과정은 크게 일반압연과 TMCP방식으로 크게 분류할 수 있다. 일반압연은 다시 As-rolled, Normalizing, QT 3가지 제조방법으로 분류할 수 있으며 TMCP는 가속냉

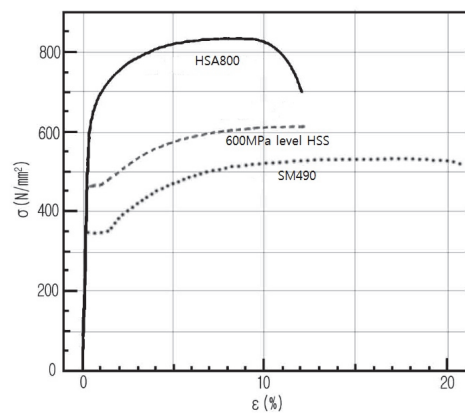


Fig. 1. Typical stress-strain relationships

각의 유무에 따라 두가지로 나눌 수 있다. 유럽에서 개발된 고강도 강재^{[5],[6]}는 QT방식으로 이루어져 공냉(Air Cooling) 방식으로 냉각시킴으로 제조 시간이 길어진다는 단점이 있으나 한국과 일본^[7]에서 주로 사용되는 TMCP방식은 급속냉각을 시킴으로 제조시간이 줄어든다.

일반 압연 방식(Normal)과 TMCP방식의 제조 절차 및 조직 크기를 Fig. 2에 비교하여 나타내었다. 여기서 RM은 조압연(오스테나이트의 재결정제어), FM은 사상압연(오스테나이트의 pancake화)를 의미하며 ACC는 가속냉각(상변태에 의한 재질확보)을 나타낸다. 이를 보면 TMCP강재의 입자크기가 현저히 작고 치밀하다는 것을 알 수 있으며 40mm 이상의 후판에서도 강도 저감이 없고 탄소당량(C_{eq})가 낮아 용접시 예열온도 저감이 가능하다.

Fig. 3에 보여진 고성능 강재의 개발 개념을 보면, 좋은 용접성을 가지면서 고강도를 달성하기 위해서는 탄소량을 일반 강재 수준으로 제한하여 C_{eq} 를 낮추고 이로 인해 줄어든 강도를 만회하기 위해 강재의 조직을 고강도 콘크리트처럼 작고 치밀하게 만들어야 한다. 이를 위해 압연 시 냉각조

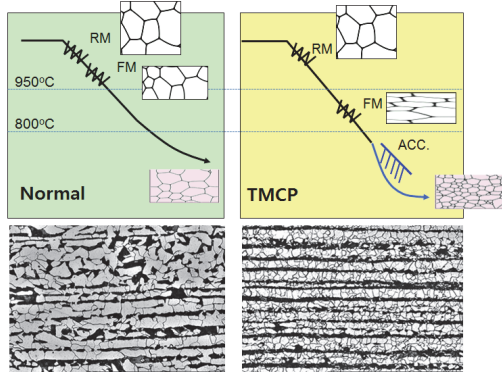


Fig. 2. Comparison of steel manufacturing process (Normal vs. TMCP)

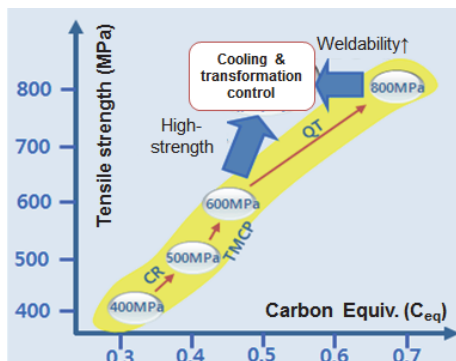


Fig. 3. Principal of developing High-strength steel

건 제어를 통하여 미세 결정체에 의해 고강도를 얻는 열처리 방식인 TMCP 기법이 주로 사용된다. 또한 종래 800MPa급 고강도강 생산을 위해 사용된 QT 제조방식은 생산공정 부하에 따른 제조 공기가 길어 주문 및 생산이 원활하지 못한 단점이 있었다. 따라서, HSA800 강재는 QT 방식이 아닌 TMCP 방식으로 제조되었다.

2.2 고강도 강재의 기계적 성질

800MPa급 건축구조용 고성능 강재 HSA800은 POSCO와 RIST 강구조연구소에서 총 3번의 시제품 제작을 거쳐 2011년 최종 양산품이 개발되었으며 소재 및 부재시험을 거쳐 성능이 검증되었다^{[8],[9],[10],[11],[12]}. 강재 두께에 따라 4호/5호 인장시편을 제작하여 100톤 혹은 300톤 만능시험기를 이용하여 인장시험이 수행되었으며 인장시험편은 압연방향(L-dir) 혹은 압연수직방향(C-dir)에 대해 각각 3개씩 시편을 제작하는 것을 기본으로 하였다. 시제품의 후물재(60t, 80t, 100t)에 대해서는 두께방향에 따라 (t/4, t/2, 3t/4) 각각 시편을 3개씩 추가하였다. 일반적인 인장시험 시험편 형상을 Fig. 4에 나타내었다.

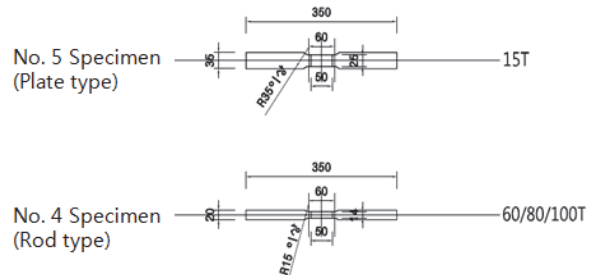


Fig. 4. Typical details of coupon test specimens

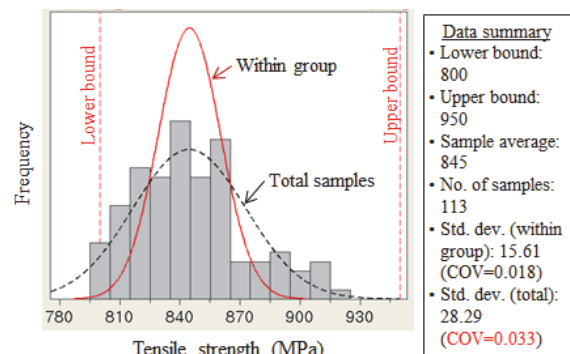


Fig. 5. Statistical analysis of HSS for tensile strength (tested by RIST steel structural research division)

각 시험 강재의 인장시험 결과는 Fig. 5에 보여진 것처럼 항복강도, 인장강도, 항복비, 연신율에 대하여 통계분석을 통하여 신뢰성 평가를 수행하였다. 인장강도에 대한 통계 데이터(Fig. 5)를 살펴보면, 총 113개의 시편에 대하여 인장강도 상/하한치를 만족하는 그룹(within group)에 대해서는 변동계수(COV)가 약 0.018을 나타냈으며, 전체샘플(Total samples)에 대해서는 약 0.033을 나타내었다. 이는 기존 SN강재의 COV값인 0.05보다 적은 수준이다.

고강도 강재 3차 시제품 시험편의 인장시험 데이터를 연신율을 제외한 기계적 성질 만족영역(Acceptable area)으로 맵핑한 그림을 Fig. 6에 나타내었다. 총 119개의 쿠펬시험편 중 약 10% 정도인 12개의 시험편만이 요구 성능을 만족하지 못하였으며 이중 약 40%가 100T 시험편에서 발생하였다. 이는 두께워진 두께로 인해 압연시 판재 중앙부위의 경

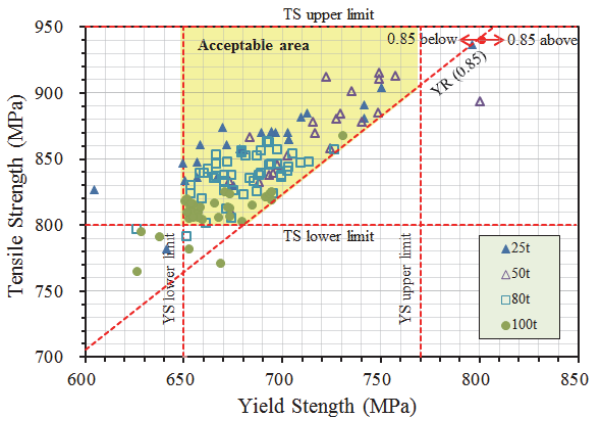


Fig. 6. Tensile test results of 3rd trial steels mapping into acceptable area (tested by RIST steel structural research division)

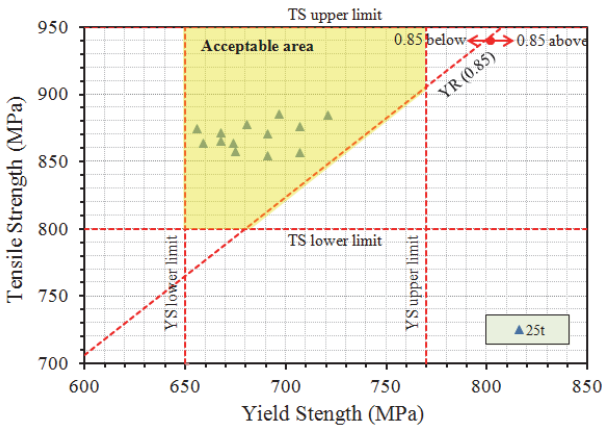


Fig. 7. Tensile test results of final products mapping into acceptable area (tested by RIST steel structural research division)

도가 다소 떨어지기 때문이며 이러한 단점을 극복하기 위해 후판 슬래브 두께를 증가시킴으로서 불량률을 저감할 수 있었다.

3번의 시제품을 거쳐 최종 생산된 양산품(“Final product”)의 인장시험 결과를 살펴보면 기계적 성질 모두 KS규격^[3]을 만족하였으며 시험결과를 만족영역으로 맵핑한 그림을 Fig. 7에 나타내었다. 이를 살펴보면 모든 시험 결과가 기계적 성질의 요구성능을 만족하는 것을 알 수 있다.

2.3 고강도 강재의 화학적 성질

고강도 강재 시험편의 화학 성분 분석을 통해 강재의 용접성에 큰 영향을 미치는 탄소당량(C_{eq}) 및 용접균열감수성조성(P_{cm})을 계산하여 KS규격 만족여부를 평가하였다.

일반적인 화학성분 분석을 위한 시험편 크기 및 채취 위치를 Fig. 8에 나타내었다. 30T가 넘는 후판에 대해서는 두께별로 $t/2$, $t/4$ 지점에 대해 총 12개의 성분(C, Si, Mn, P, S, Cr, Ni, Cu, Mo, Nb, V, B)을 분석하고 결과를 토대로 탄소당량(C_{eq}) 및 용접균열감수성조성(P_{cm}) 값을 도출한다.

HSA800은 합금원소 중에서 항복비 제어를 위해 Mn의 함량을 최대 2.55%로 증가시켰으며, 강도 확보를 위해 사용하던 V의 함량을 기존 0.04%에서 0.01% 정도로 감소시켰으며, Nb와 B 등의 경화능력 증대 합금을 활용하여 성분계를

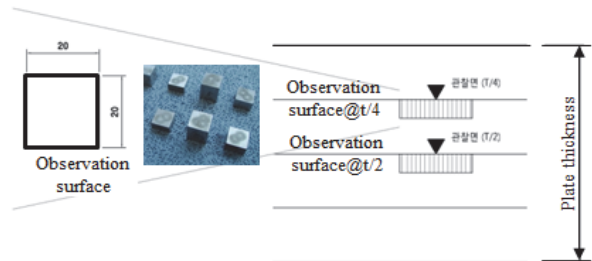


Fig. 8. Chemical composition test specimens and locations

Table 1. Chemical composition of the final product of HSA800 (tested by RIST steel structural research division)

Classification	Thick	Chemical Composition (%)					Weldability	
		C	Si	Mn	P	S	Ceq (%)	PC M (%)
Final product	25t / t/4	0.048	0.164	2.44	0.008	0.002	0.53	0.21

도출하였다. 또한 불순물로 분류되는 P와 S의 양을 최소화함으로써 내부 청정도를 향상 시켰다. 그 결과, 탄소당량 및 용접균열감수성조성의 KS규격인 0.60%이하 및 0.30%이하를 모두 만족하였으며 기계적 성질 또한 개선되는 결과를 얻을 수 있었다. 양산품(Final product)에 대한 5대 원소, 탄소당량 및 용접균열감수성조성 분석 결과를 Table 1에 나타내었다.

3. 고성능 강재의 초고층건물 적용성

3.1 초고층 건물의 구조시스템

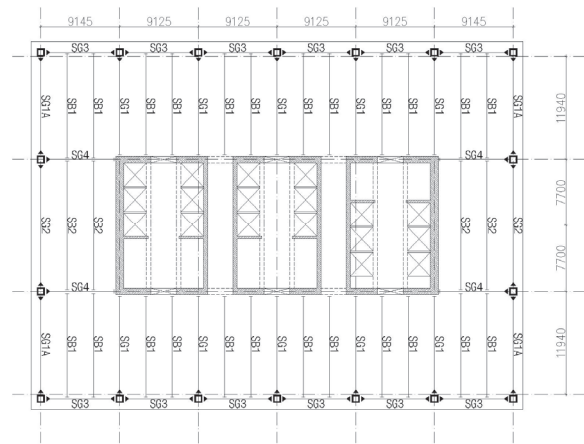
일반적으로 초고층건물이란 건물 지배면적이 50% 이상인 면서 지상에서부터 첨탑 끝까지의 높이가 300m 이상인 건물을 말한다^[13]. 현재 중동, 중국 등 아시아 지역을 중심으로 전 세계적으로 초고층건물이 존재하며 그 수는 점차 늘어나는 추세이다. 국내의 경우 2015년 완공을 목표로 555m 높이의 초고층 빌딩인 롯데월드타워가 건설 중에 있다.

초고층건물은 일반 고층건물과 달리 중력하중을 지지하기 위한 중력저항 시스템으로서 메가기둥, 코어월, 벨트트러스 등을 요구로 하며 지진하중, 풍하중과 같은 횡하중에 저항하기 위한 횡력저항 구조시스템으로서 아웃리거트러스, 다이아그리드, 메가브레이스 등을 필요로 한다. 일반 강재와 거의 동일한 탄성계수를 가지고 있는 고강도 강재는 강성보다는 강도가 지배하는 초고층 메가 구조부재에 적합하다 할 수 있다. 예를 들면, 일본의 도쿄 스카이트리(638m, 방송 및 전망대 용)의 하부 강관기둥의 두께를 절감하기 위하여 인장강도 800MPa급 고강도 강재가 사용되었다. Fig. 9에 고강도 강재가 적용된 대표적인 구조물을 나타내었다.

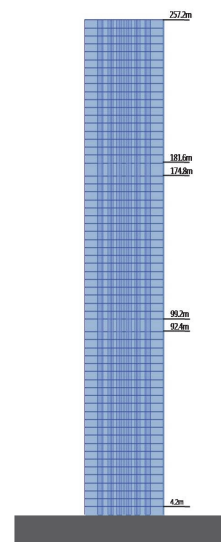
본 논문에서는 러시아 모스크바에서 건설 예정인 구조물

로 그 중 오피스 동을 선정하여, 철골 구조로 설계할 경우 강도에 따른 구조물의 경제성을 비교하고자 한다. 초고층 구조물인 만큼 중력저항 시스템인 벨트 트러스 (Belt truss)와 횡력저항 시스템인 아웃리거 (Outrigger)가 적용되었다. 구조물의 층고는 기준층 4.2m로 총 61층이며, 1/3과 2/3지점에 적용된 아웃리거 (Outrigger)와 벨트 트러스 (Belt truss)는 층고는 6.8m로 24층과 45층에 설치하였다.

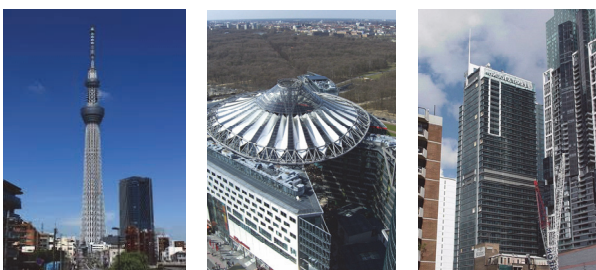
Fig. 10은 기준층 평면도와 측면도이고, 구조물에 적용된 고정하중과 활하중, 풍하중, 지진하중은 국내 기준에 근거하여 각각 Tables 2와 3에 도시하였다^{[14],[15]}. 여기서 활하중은 칸막이 하중을 포함하며, 적재하중 저감 70%를 고려하여 부재를 설계하였다.



(a) Typical floor plan



(b) Elevation



(a) Tokyo Skytree (b) Sony Center (c) World Tower

Fig. 9. Mega structural members of high-rise buildings

Fig. 10. Structural plan and elevation of example of office building

본 구조물에서 사용된 콘크리트 강도는 4개의 그룹핑 (grouping)을 통하여 층마다 강도를 달리 적용하였고, 항복 강도를 변수로 하여 두가지 강종 - SM490TMC ($F_y = 325\text{MPa}$)^[16] & HSA800 ($F_y = 650\text{MPa}$)^[3] - 을 적용한 구조해석 모델을 각각 모델링하여 MIDAS 구조해석 프로그램을 이용하여 기둥 부재를 설계하여 횡변위를 지표로 하여 사용성에 대하여 검토 분석하였다.

초고층건물 시스템인 아웃리거와 벨트 트러스는 SM490TMC 강재와 HSA800강재에 따라서 사이즈를 다르게 적용시켜 해석을 수행하였고 아웃리거와 벨트 트러스 시스템의 해석 모델은 Fig. 11과 같다. SM490TMC강재 모델은 부재사이즈를 아웃리거는 H-200×200×10×10, 벨트 트러스는 H-

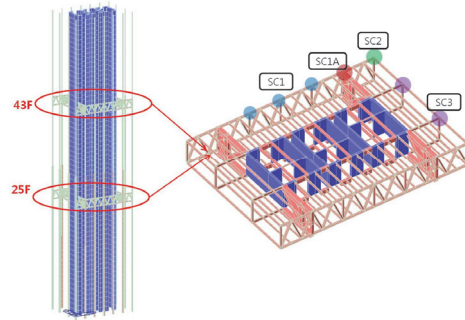


Fig. 11. Analysis model and lateral load resisting system

Table 2. Dead and live loads of example of office building

Types of Loads	THK.	KN/m ²	Design loads
Finishing	T=30	2.0	0.60KN/m ²
RC Slab	T=150	2.4	3.60KN/m ²
Ceiling			0.30KN/m ²
Total Dead Load			4.50KN/m ²
Live Load			3.50KN/m ² (including partition and 70% live load reduction)

Table 3. Coefficients used to calculate wind and seismic loads of example of office building

Wind Loads	Basic Wind Speed	: 30m/sec
	Exposure	: B
	Occupancy	: 1..0
	Topographic Factor	: 1.1
Seismic Loads	Site Coefficient	: 0.176
	Importance Factor	: 1.2
	Site Class	: Sb
	Response Modification Coefficient	: 5.0
	(Building Frame Systems-Ordinary RC shear Walls)	

Table 4. Concrete strength by story

Floors	Concrete strength (MPa)
45-Roof	30
31-45	40
16-30	50
1-15	60

Table 5. Section of column

Name Story	SC1				SC1A			
	SM490TMC		HSA800		SM490TMC		HSA800	
	Size	DCR	Size	DCR	Size	DCR	Size	DCR
46F -63F	450×450×27	0.92	320×320×20	0.90	450×450×30	0.92	400×400×15	0.92
31F -45F	600×600×34	0.90	400×400×22	0.91	700×700×60	0.94	650×650×22	0.91
16F -30F	700×700×40	0.93	500×500×28	0.90	1100×1100×70	0.97	800×800×28	0.93
1F -15F	800×800×48	0.90	600×600×28	0.94	1200×1200×70	0.95	900×900×30	0.93
	SC2				SC3			
46F -63F	400×400×18	0.94	300×300×13	0.91	500×500×32	0.92	320×320×20	0.90
31F -45F	500×500×24	0.90	400×400×15	0.93	600×600×45	0.93	420×420×26	0.91
16F -30F	600×600×26	0.90	500×500×20	0.90	700×700×56	0.91	500×500×32	0.91
1F -15F	700×700×28	0.92	600×600×20	0.94	800×800×65	0.90	600×600×34	0.93

* Demand/Capacity ratio : 외력/내력

500×500×40×40으로 하였고, 고강도 강재는 아웃리거를 H-800×800×50×50, 벨트 트러스는 H-1200×1200×10×10으로 SM490TMC강재를 고강도강재보다 작게 선정하였다. 이는 두 부재의 횡변위를 비슷한 조건에서 비교하기 위함이다. 또한 기둥의 부재는 90%이상의 응력을 받는 Built-up부재로 선정하였고 고층으로 갈수록 부재를 작게 하여 Table 5와 같이 정리하였다.

3.2 사용성 검토

풍하중과 지진하중에 대하여 SM490TMC강재와 고강도 강재가 비슷한 결과를 얻어냈다. 두 모델의 풍하중에 의한 횡변위, 층간변위비, 1차모드 주기, 밀면전단력에 대한 해석 결과를 Table 6에 나타내었다. 또한 Story에 따른 횡변위

Table 6. Analysis result

Steel type	Story (Height)	Area loads (typ.) (KN/m ²)		Total loads (kN)		Site class	T1 (sec)	Scale Up Factor (KN/m ²)		Inter-story drift (0.015h)		Base shear (kN)				Lateral displ. due to wind (m)	
		D.L	L.L	D.L	L.L			X-dir	Y-dir	X-dir	Y-dir	EQ		Wind		X-dir	Y-dir
												X-dir	Y-dir	X-dir	Y-dir		
SM490TMC	61F (257.2m)	10.14	3.54	1,193,831	411,254	Sb	6.01	1.95	1.39	0.0011	0.0013	5,194	7,255	27,361	40,374	0.3054 (H/842)	0.4607 (H/558)
HSA800		9.82	3.54	1,180,886	411,254	Sb	5.96	1.95	1.40	0.0011	0.0013	5,147	7,135	27,259	40,587	0.2970 (H/865)	0.4986 (H/516)

그래프와 강제종류에 따른 1, 2, 3차의 모드형상과 주기를 각각 Fig. 12와 Table 7에 나타내었고, 횡력저항시스템인 아웃리거와 벨트 트러스 및 벽체와 기둥이 횡력에 대하여 기여하는 정도를 Table 8에 도시하였다.

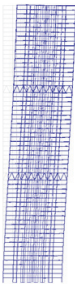

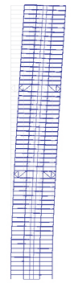
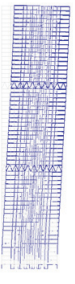
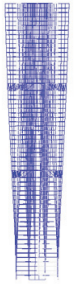
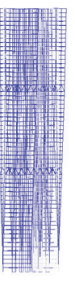
SM490TMC 모델이 HSA800강재 모델보다 주기가 미소하게 크게 나타났으며, SM490TMC강재의 1차 모드는 y방

향으로 거동하며 2차 모드는 x방향, 3차 모드는 비틀림 모드이며, 그에 반에 HSA800강재의 1차 모드는 x방향, 2차 모드는 y방향, 3차 모드는 마찬가지로 비틀림 모드로 나타났다.

구조물의 횡력에 대하여 코어의 강성이 크기 때문에 벽체로 하중이 몰려 최소 88%에서 최대 94%의 정도의 비율을 가져가며, 기둥은 최소 4%에서 12%까지의 힘을 가져간다. 아웃리거와 벨트 트러스가 설치된 층은 횡력에 대하여 100% 기여하는 것을 알 수 있다.

기둥의 철골 물량과 아웃리거와 벨트 트러스의 철골 물량을 산출한 결과를 Table 9와 10에 나타내었다. 기둥은 항복 강도의 증가비와 유사한 비율로 강재량이 감소하였고 항복

Table 7. Mode shape and period

Mode	SM490TMC	HSA800
1		
T(sec)	6.0060	5.9635
2		
T(sec)	5.7812	5.8844
3		
T(sec)	4.1143	3.8194

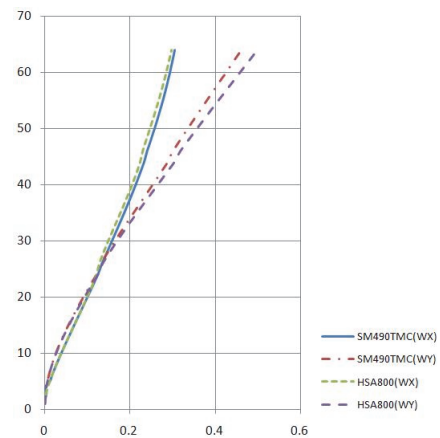


Fig. 12. Lateral displacement graph

Table 8. Contribution for the lateral forces

		SM490TMC		HSA800	
		Wx	Wy	Wx	Wy
Wall		0.88	0.89	0.94	0.96
Column		0.12	0.11	0.06	0.04
Outrigger + Belt truss	Wall	0	0	0	0
	Beam	1	1	1	1

Table 9. Steel quantity of columns

Column	Weight (tonf)	
	SM490TMC	HSA800
SC1	1,119	502
SC1A	1,598	535
SC2	418	246
SC3	992	404
SUM	4,127	1,687

Table 10. Steel quantity of outriggers and belt trusses

Unit	Weight (tonf)	
	SM490TMC	HSA800
Belt truss	44	435
Outrigger	373	1,103
SUM	417	1,538

강도가 커질수록 경제성이 높아지는 것을 알 수 있다.

또한 고층 기둥에서는 세장비가 낮은 부재가 사용되기 때문에 강도증가가 저항성능의 증가로 반영될 수 있어 강도가 높아질수록 경제성이 향상되는 것으로 판단된다.

4. 결론

지금까지 고강도 강재의 재료적 특징을 개발 단계부터 알아보았으며 건축구조용 고강도 강재가 어느 정도의 신뢰성을 가지고 KS규격을 만족하는지를 평가하였다. 또한 기존 일반강도 강재로 설계된 구조부재와 고강도 강재로 설계된 구조부재의 경제성을 비교함으로써 다양한 강도를 가진 강재의 효율적인 사용을 위한 초고층 실무적용에 대하여 검토하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 건축구조용 고강도 강재는 고강도이면서 항복비가 낮고 인성품질이 우수하며, 제조 공정이 간소하면서 용접성을 확보하기 위해 열처리 방식으로 TMCP 제조법을 적용하여 QT강 대비 원가 경쟁력을 확보하였다.
- (2) 고강도 강재의 KS규격에 대한 기계적 성질 만족도 (Acceptance)는 양산품의 경우 100% 만족하였다.
- (3) 소재의 화학적 특징으로는 Mn, Nb, B 등의 경화능력 증대 합금을 활용하여 성분계를 도출하였으며 불순물로 분류는 P와 S의 양을 최소화함으로써 내부 청정도를 향상 시켰다.
- (4) 60층 규모의 구조물에 대한 실무적용성 평가 결과, 기둥

부재는 고강도 강재 적용시 항복강도의 증가비와 유사한 비율로 강재량이 감소하였고, 항복강도가 높아질수록 경제성이 높아지는 것으로 검토되었다.

- (5) 고층기둥에서는 세장비가 낮은 부재가 사용되기 때문에 강도증가가 저항성능의 증가로 반영될 수 있어 강도가 높아질수록 경제성이 향상되는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 R&D정책인프라사업(11기술표준화01-01)에 의한 고성능 강재의 건설구조 적용을 위한 휨재 및 압축재의 LRFD 설계기준 표준화의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌(References)

- [1] 정미영, 김진호, 이승은, 정경수, 하태후(2010) 일본의 건축구조용 고강도 강재의 개발 및 적용 현황, 한국강구조학회 2010년 학술발표대회 논문집, 한국강구조학회, pp.349-350. Jung, M.Y., Kim, J.H., Lee, S.E., Chung, K.J., and Ha, T.H. (2010) Current Development and Application of High-Strength Steel for Building Systems in Japan, *Proceedings of Annual Conference of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, pp.349-350 (in Korean).
- [2] 국가기술표준원(2009) 교량 구조용 압연 강재(KS D 3868: 2009). Korean Agency for Technology and Standards (2009) *Rolled Steels for Bridge Structures* (KS D 3868: 2009), Korea (in Korean).
- [3] 국가기술표준원(2011) 건축구조용 고성능 압연강재(KS D 5994: 2011). Korean Agency for Technology and Standards (2011) *High-Performance Rolled Steel for Building Structures* (KS D 5994: 2011), Korea (in Korean).
- [4] 김도환, 이승은, 김진호, 하태후, 유승호(2012) 건축구조용 고성능 강재 HSA800 소재 성능 평가, 한국강구조학회 2012년 학술발표대회 논문집, 한국강구조학회, pp.267-268. Kim, D.H., Lee, S.E., Kim, J.H., Ha, T.H., and Yu, S.H. (2012) Material Tests of the HSA800 - The High Performance Steel for Building Structures, *Proceedings of Annual Conference of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, pp.267-268 (in Korean).
- [5] European Committee for Standardization (2005) *Eurocode*

- 3 - Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 1.12: Additional Rules for the Extension of EN 1993 up to Steel Grades S700 (prEN 1993-1-12), Belgium.
- [6] British Standards Institution (2009) *Hot Rolled Products of Structural Steels, Part 6: Technical Delivery Conditions for Flat Products of High Yield Strength Structural Steels in the Quenched and Tempered Condition* (BS EN 10025-6: 2004 + A1: 2009), UK.
- [7] Yoshida, Y., Obinata, T., Nishio, M., and Shiwaku, T. (2009) Development of High-Strength (780 N/mm²) Steel for Building Systems, *International Journal of Steel Structures*, KSSC, Vol.9, No.4, pp.285-289.
- [8] 하태휴, 김진호, 이승은, 정경수, 정미영(2010) 800MPa급 교량용 강재의 소재, 용접 특성 및 건축구조용 고성능 강재의 개발 전략, 한국강구조학회 2010년 학술대회발표 논문집, 한국강구조학회, pp.353-354.
Ha, T.H., Kim, J.H., Lee, S.E., Chung, K.J., and Jung, M.Y. (2010) Material and Welding Properties of 800MPa Grade Steel for Bridges and Development Strategies of High-Performance Steel for Buildings, *Proceedings of Annual Conference of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, pp.353-354 (in Korean).
- [9] 김도환, 이승은, 정경수, 김진호(2013) 건축구조용 고성능 강재 HSA800의 특징 및 초고층 적용성, 건축구조(한국건축구조기술사회), 한국건축구조사회, 제20권, 제6호, pp. 41-47.
Kim, D.H., Lee, S.E., Chung, K.S., and Kim, J.H. (2013) Features and Super-Tall Building Applications of HSA800 Steel Plates for Building Structures, *Structural Engineering*, Korean Structural Engineers Association, Vol.20, No.6, pp.41-47 (in Korean).
- [10] 이철호, 김대경, 한규홍, 박창희, 김진호, 이승은, 김도환 (2013) HSA800 후판재의 맞닿용접부 인장강도 실험, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제4호, pp. 431-440.
Lee, C.H., Kim, D.K., Han, K.H., Park, C.H., Kim, J.H., Lee, S.E., and Kim, D.H. (2013) Tensile Testing of Groove Welded Joints Joining Thick-HSA800 Plates, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No. 4, pp.431-440 (in Korean).
- [11] 이강민, 이명재, 오영석, 김태수, 김도환(2013) 중심압축력을 받는 건축구조용 고성능강(HSA800) 용접H형 단주의 국부좌굴거동, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제3호, pp.289-297.
Lee, K., Lee, M.J., Oh, Y.S., Kim, T.S., and Kim, D.H. (2013) Local Buckling Behavior of Stub H-Shaped Columns Fabricated with HSA800 High Performance Steels Under Concentric Axial Loading, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.3, pp.289-297 (in Korean).
- [12] 유정한, 김주우, 양재근, 강주원, 이동우(2013) 국부좌굴을 고려한 건축구조용 고성능강(HSA800) 조립각형강관 압축재의 적용성 평가, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제3호, pp.223-231.
Yoo, J.H., Kim, J.W., Yang, J.G., Kang, J.W., and Lee, D.W. (2013) Evaluation on Applicability of Built-up Square Tubular Compression Members Fabricated with HSA800 High Performance Steel Considering Local Buckling, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.3, pp.223-231 (in Korean).
- [13] Council on Tall Buildings and Urban Habitat (n.d.) *CTBUH Height Criteria*, CTBUH, <http://www.ctbuh.org/TallBuildings/HeightStatistics/Criteria/tabid/446/language/en-US/Default.aspx>
- [14] 대한건축학회(2009) 건축구조기준, 기문당.
Architectural Institute of Korea (2009) *Korea Building Code (KBC 2009) - Structural*, Kimoondang, Korea (in Korean).
- [15] American Institute of Steel Construction (2010) *Specification for Structural Steel Buildings* (ANSI/AISC 360-10), USA.
- [16] 국가기술표준원(2008) 용접 구조용 압연 강재(KS D 3515: 2008).
Korean Agency for Technology and Standards (2008) *Rolled Steels for Welded Structures* (KS D 3515: 2008), Korea (in Korean).

요 약 : 최근 건축물의 초고층화, 대형화 및 장경간화에 따른 요구 성능의 증대에 따라 강재 및 콘크리트 등의 구조재료가 지니는 재료강도 및 사용성 등을 향상시키고자 하는 노력이 지속적으로 이루어지고 있다. 본 연구에서는 개발된 건축구조용 고성능 강재의 기계적, 화학적 소재 특성을 평가하고, 실제 Project를 대상으로 대안설계를 수행하여 고강도 강재의 경제성을 평가하였다. HSA800은 고강도와 좋은 용접성을 갖추기 위해 TMCP 방식으로 제조되었으며, 기계적, 화학적 성질 모두 KS규격을 만족하였다. 또한 HSA800의 고층건물의 적용성 및 경제성 평가를 위해 SM490강재 모델과 사용성에 초점을 두고 비교 평가를 수행하였다. 그 결과 SM490대비 약 30% 물량절감이 가능하였다. HSA800의 사용은 추후 건축구조의 제작, 시공 뿐만아니라 공사비 절감에도 기여할 것으로 기대되어진다.

핵심용어 : HSA800, 800MPa, 고강도 강재, 건축구조용 강재, 소재 성능 평가, 경제성 평가