

부재 종류에 따른 고강도 강재의 경제성 평가

김인호^{1†} · 조소훈² · 김종호² · 이철우³

¹포스코건설 R&D CENTER 기술연구소, ²(주)창민우구조건설타트, ³포스코건설 건축사업본부

Economic Evaluation of High-Strength Steel for Structural Member Types in Building Structures

In Ho Kim^{1†}, So Hoon Cho², Jong Ho Kim² and Chul Woo Lee³

¹R&D Center, POSCO E&C., Incheon, 406-840, Korea

²Chang Minwoo Structural Consultants, Seoul, 135-907, Korea

³Architecture Division, POSCO E&C., Incheon, 406-840, Korea

Abstract

The structural steel produced in domestic is classified into 5 grades. For economic structural design, the structural engineers need to choose optimal steel grades for structural member types, but the related data is not sufficient. Recently, high strength steel with yield strength in 650MPa was developed in domestic. It provides structural engineers with the wider range of structural steel strength, which leads to the larger difference in economic evaluation. In this paper, the economic evaluation of high-strength steel in building structures is investigated, by applying structural steel with 235MPa, 325MPa and 650MPa in yield strength to various types of structural members, and can be used as basic data for economic structural design.

Keywords : high strength steel, economy, building frame system, diagrid system, progressive collapse, transfer girder

1. 서 론

기술이 발달함에 따라 구조재료로 사용되고 있는 강재의 강도도 점차적으로 높아지고 있다. 그런데 강재의 경우에는 강도와 관계없이 일정한 탄성계수를 가지기 때문에 고강도 강재를 이용하여 단면의 크기를 감소시켰을 경우에 변형의 증가로 인하여 사용성능의 감소를 초래하고 이로 인해 고강도 강재의 적용범위를 제한하게 된다. 고강도 강재의 경우에는 단면크기에 비하여 저항능력이 우수하므로 제작시간과 비용을 상당히 감소시킬 수 있다. 그러므로 설정된 사용성능을 만족한다면 고강도 강재의 사용으로 경제적인 구조물의 설계가 가능하다. 중력하중에 대하여 설계된 좌굴 등에 의하여 부재의 성능이 영향을 받지 않는 고층구조물의 저층부 기둥에서는 고강도 강재를 적용하여 경제성을 향상시킬 수 있고 (Seo *et al.*, 2008) 최근, 국내에서 항복강도 650MPa의

고강도 강재가 개발되고 몇몇 구조물의 구조설계에서는 실질적으로 적용되고 있는 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 강재의 강도에 따른 경제성을 평가하기 위하여 다양한 구조 부재 및 구조물에 대하여 강도의 변화에 따른 경제성을 비교하여 고강도 강재의 효율적인 적용조건을 제시하고자 한다.

2. 고강도 강재의 특성

강재의 경우에 강도에 관계없이 일정한 탄성계수를 가지고 강도가 증가함에 따라 연성도가 낮아지는 경향을 가진다. Fig. 1은 강재의 응력-변형을 곡선을 보여준다. 최근 국내에서 개발된 항복강도 650MPa의 고강도 강재는 한국산업표준 규격(KS D 5994)로 확정·고시되어 시행되고 있으며, 많은 연구와 실험을 통해 모든 항목에서 KBC-09기준을 만족하는 것이 검증되었다. Table 1은 각 강재별 요구성능을 비교한

[†] Corresponding author:

Tel: +82-32-200-2216; E-mail: kiminho@poscoenc.com

Received December 7 2012; Revised February 12 2013;

Accepted February 13 2013

©2013 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1 Comparison of Mechanical Properties of Steel

Category	Weldability				Ductility		Performance Through Thinkness		
	Upper limit of C	Charpy Impact	$P \leq 0.3\%$ $S \leq 1.5\%$	Cep, PCM	Yield Ratio	Upper limit of Yield Strength	$P \leq 0.3\%$ $S \leq 1.5\%$	Shrink-age	UT
SS400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SM490B	-	●	●	-	-	-	-	-	-
SN490C	●	●	●	●	●	●	●	●	●
HSA800	●	●	●	●	●	●	●	●	▲

● : Satisfied, ▲ : Optional, - : Not Required or Satisfied

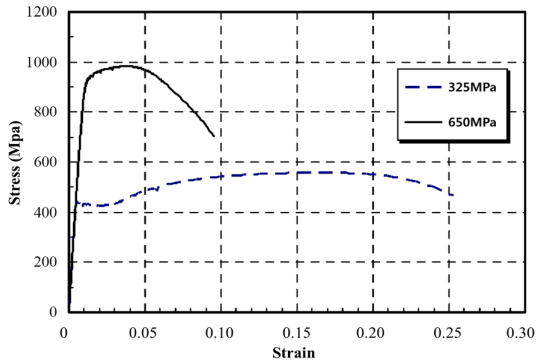


Fig. 1 Stress-Strain Curve of Steel Grades

표이다. 다만, 합성기둥의 경우 KBC-09기준에서 강재의 항복강도를 440MPa이하가 되도록 규정하고 있지만, 일반 철골부재에 대해서는 별도의 제약이 없기 때문에 기준에서 요구하는 절차에 따라 승인을 받은 고강도 강재에 대해서는 현재의 기준인 KBC-09를 적용받을 수 있을 것이다.

3. 건물골조 시스템을 가진 구조물

본 논문에서는 먼저 일반 오피스 구조물을 대상으로 철골 구조로 설계할 경우에 강도에 따른 구조물의 경제성을 비교하기 위하여 대한건축학회에서 수행한 “비대칭 H형강을 이용한 층고절감공법 경제성 평가” 보고서에서 23층 구조설계에

Table 2 Dead and Live Loads of Example of Office Building

Category	Types of Loads	THK.(mm)	kN/m ²	kN/m ²
Typical Story	Dead Loads	Finishing	t=50	1.0
		RC Slab	t=135	3.2
		Steel Deck		0.2
		Ceiling		0.3
	Live Load		3.5	3.5
Roof Story	Dead Loads	Plain Concrete	t=100	2.3
		RC Slab	t=135	3.2
		Steel Deck		0.2
		Ceiling		0.3
	Live Load		2.0	2.0

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	: 1.0
Seismic Loads	Site Coefficient	: 0.176
	Importance Factor	: 1.2
	Site Class	: Sc
	Response Modification Coefficient	: 5.0
	(Building Frame Systems-Ordinary RC Shear Walls))	

제로 사용되었던 건물과 동일 구조평면(Fig. 2)을 가진 건물에 대해 동일한 하중조건(Table 2,3)을 적용하여 구조설계를 수행하였다. 예제 구조물의 층고는 1층 6m, 지상 2,3층 및 최상층 4.7m, 기준층 4.1m로 하여 10층, 20층 및 30층 구조물에 대하여 검토하였다.

3.1 중력하중에 대한 보 부재의 설계결과 비교

중력하중에 대해, 보 부재의 강도에 따른 경제성을 비교하기 위하여 재질의 강도를 변화시키면서 강도에 따른 부재설계를 수행하였다. Table 4는 부재설계 결과 및 최대 처짐값을 보여준다. 위 결과에서 G1, G2 및 G3의 경우, 작은보에 의하여 횡좌굴이 방지되어 재료강도의 증가가 대부분 반영되지만 G11부재의 경우 횡좌굴에 의하여 허용내력이 결정되기 때문에 재료강도의 증가보다 줄어든 상대물량의 비율이 낮은

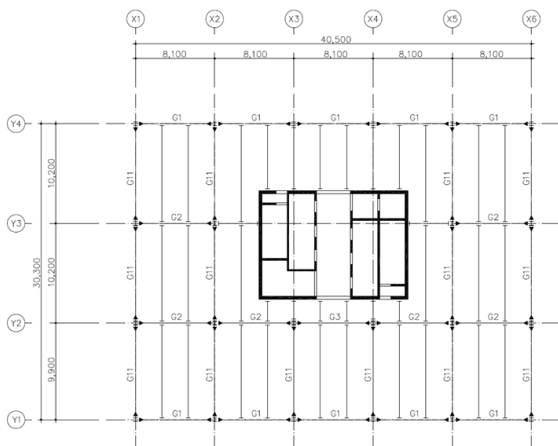


Fig. 2 Structural Plan of Example of Office Building

Table 4 Design results of office building satisfying strength requirement for gravity loads

Name of Member	Yield Strength	Section	Deflection	Relative Quantity
G1	235MPa	H-404*201*9/15	L/583	100%
	325MPa	H-396*199*7/11	L/458	75%
	650MPa	H-300*150*6.5/9	L/204	49%
G2	235MPa	H-606*201*12/20	L/579	100%
	325MPa	H-596*199*10/15	L/424	79%
	650MPa	H-396*199*7/11	L/196	47%
G3	235MPa	H-496*199*9/14	L/988	100%
	325MPa	H-400*200*8/13	L/591	83%
	650MPa	H-346*174*6/9	L/302	52%
G11	235MPa	H-404*201*9/15	L/580	100%
	325MPa	H-336*249*8/12	L/429	92%
	650MPa	H-244*252*11/11	L/238	85%

Table 5 Design results of office building satisfying strength and serviceability requirement

Name of Member	Yield Strength	Section	Deflection	Relative Quantity
G1	650MPa	H-350*175*7/11	L/341	66%
G2	650MPa	H-496*199*9/14	L/314	66%
G11	650MPa	H-336*249*8/12	L/429	92%

것을 볼 수 있다. 현 기준에서 철골보의 허용처짐에 대한 규정은 없지만 83년에 발표되었던 강구조기준에서는 처짐량을 L/300으로 제한하고 있었으므로 이 기준을 적용하면 항복강도 235MPa 및 325MPa인 강재로 설계된 부재는 모두 허용처짐량 이내에 든다. 하지만 항복강도 650MPa로 설계된 구조부재는 처짐이 과다하게 발생하여 Table 5와 같이 처짐을 만족할 수 있도록 단면크기를 조정하였다.

강도와 사용성을 모두 만족하도록 설계된 구조물의 경제성을 분석하기 위해서는 구조물의 제작 및 시공 단가가 필요하다. 하지만, 철골규격 및 지역에 따라서 강재의 가격이 상이하고 구조물의 규모, 난이도, 기간 등 다양한 요소의 영향으로 제작사마다 제작단가가 서로 달라 일반적으로 통용되는 권장단가의 개념이 없다. 따라서, 본 논문에서는 대형 철골부재를 대상으로 하고 몇몇의 한정된 제작사를 대상으로 조사한 제작단가를 근거로 경제성을 검토하였다. 제작단가는 60t, 100t 철관을 기준으로 조사되었다(Table 6). 이 외에도 철골 공사비에서 차지하는 비율이 높은 주요 항목으로 설치비를 들 수 있는데, 현장용접량에 따른 편차가 크고 현장용접부재가 없는 경우 강도에 따른 차이가 없어 본 검토에서는 제외하였다.

용접에 대한 비용인 2차가공비는 용접량 뿐만 아니라 운 영비용, 용접횟수 및 용접에 의한 변형수정비용 등 다양한

Table 6 Cost per tonf for steel grades

(Unit: 1,000KRW)

Yield Strength	235 & 325MPa		650MPa	
	60t	100t	60t	100t
Thickness	60t	100t	60t	100t
Material Cost	1,200	1,200	1,850	1,850
1 st Fabrication Cost	2.5	3.0	4.8	5.8
2 nd Fabrication Cost	290	560	350	770

Table 7 Material & fabrication cost of office building for steel grades (Unit: 1,000KRW)

Yield Strength	Item	Quantity (tonf)	Price (per tonf)	Cost	Total
235MPa	Material	23.2	1,100	25,520	32,306
	Fabrication	23.2	292.5	6,786	
325MPa	Material	19.5	1,150	22,425	28,129
	Fabrication	19.5	292.5	5,704	
650MPa	Material	18.0	1,800	32,400	38,786
	Fabrication	18.0	354.8	6,386	

요소에 의해서 결정된다. 일반적으로 강판의 두께가 두꺼워지면 용접에 의한 열영향으로 변형이 더 커지고 이를 수정하는데 요구되는 비용도 증가한다. Table 6을 살펴보면, 두께가 60t에서 100t로 1.67배 증가할 때 2차가공비는 일반강도 강재 1.9배, 고강도 강재 2.2배로 증가하여 2차가공비의 증가폭이 자재비보다 더 큰 것으로 조사되었다.

일반강도 강재의 극후판 100t 강판 경우 고강도 강재의 60t 강판으로 설계하면 요구되는 물량뿐만 아니라 용접에 대한 비용인 2차가공비도 줄일 수 있으나, 일반강도 강재의 60t 이하의 강판에 대해서는 용접변형의 수정비용이 크지 않아 고강도 강재를 적용으로 인한 2차가공비의 절감효과가 없는 것으로 조사되었다. 본 논문에서는 고강도 강재의 경제성을 과대평가하지 않도록 모든 부재에 대해서 60t 강판에 대한 제작단가를 적용하였을 때 경제성을 비교하였고 그 결과가 Table 7에 나타나 있다. 항복강도 235MPa 강재에 대해서는 325MPa 강재와 동일 제작단가를 적용하였다. 강재의 강도에 따른 보 부재의 경제성을 검토한 결과, Table 7과 같이 항복강도가 235MPa보다는 항복강도가 325MPa이 더 경제적인 것으로 검토되었으나 항복강도가 650MPa의 경우는 가장 비 경제적인 것으로 검토되었다. 이는 항복강도가 650MPa인 강재의 설계에서는 허용 처짐기준을 만족시키기 위하여 강도에 근거하여 요구되는 단면을 증가시킴으로써 강도가 증가에 따른 단면의 감소효과가 충분히 나타나지 못하였기 때문이다.

3.2 층수에 따른 오피스 구조물의 설계결과 비교

구조물의 층수에 따른 부재별 강재 강도의 경제성을 검토

Table 8 Steel quantity of office building for steel grades
(Unit: tonf)

Yield Strength	Type of Member	10-story	20-story	30-story
235MPa	Column	230	685	1,315
325MPa		177	508	979
650MPa		118	291	578
235MPa	Girder	264	435	797
325MPa		244	414	654
650MPa		223	391	648

Table 9 Material & fabrication cost of office building for steel grades (Unit: 1,000KRW)

Yield Strength	Type of Member	10-story	20-story	30-story
235MPa	Column	320,275	953,863	1,831,138
325MPa		255,323	732,790	1,412,208
650MPa		254,266	627,047	1,245,474
235MPa	Girder	367,620	605,738	1,109,823
325MPa		351,970	597,195	943,395
650MPa		480,520	842,527	1,396,310

Table 10 Lateral displacement of office building for steel grades

Yield Strength	Direction	10-story	20-story	30-story
235MPa	w _x	H/6441	H/1547	H/704
	w _y	H/11641	H/1594	H/521
325MPa	w _x	H/6261	H/1478	H/665
	w _y	H/11550	H/1565	H/470
650MPa	w _x	H/6041	H/1390	H/597
	w _y	H/11521	H/1553	H/461

하기 위하여 Fig. 2와 같은 평면을 가진 10, 20, 30층 건물에 대하여 강도를 달리 하면서 구조설계를 수행하였다. 단순보의 경우에는 중력하중에 의하여 설계될 뿐만 아니라 일반적으로 합성보로 설계하는 부재이므로 본 논문에서는 다루지 않았고 거더와 기둥부재에 대한 검토만 수행하였다. 층수에 따른 설계결과는 Table 8, 9에 나타나 있다.

검토 결과, 거더의 경우 항복강도가 325MPa에서 가장 경제적인 것으로 검토되었고, 기둥의 경우 항복강도가 높아 질수록 경제성이 높아지는 것으로 검토되었다. 고층기둥에서는 세장비가 낮은 부재가 사용되기 때문에 강도증가가 저항 성능의 증가로 반영될 수 있어 강도가 높아질수록 경제성이 향상되는 것으로 검토되었다. 그리고 건물골조 시스템에서는 내부에 있는 코아 전단벽체가 횡하중을 많은 부분을 부담하기 때문에 검토된 구조물에서 고강도 강재를 사용하여도 Table 10에 나타난 것과 같이 사용성능은 모두 만족시킬 수 있는 것으로 검토되었다.

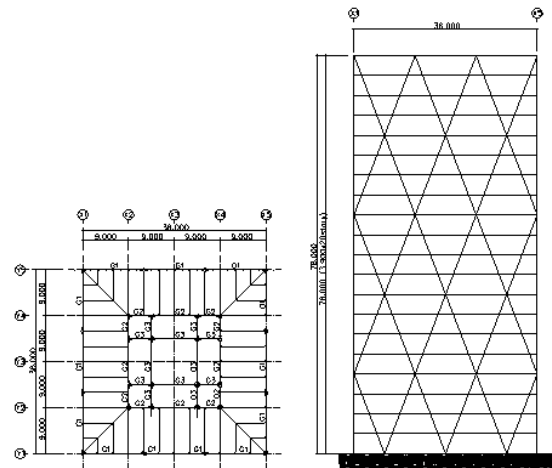


Fig. 3 Structural plan and section of diagrid structure

4. 다이아그리드 골조 구조물

최근에 비정형 구조물의 외관에 많이 사용되고 있는 다이아그리드 골조의 경우에는 경사부재를 이용하여 축력으로 하중을 전달하고 있기 때문에 강성비가 다른 시스템에 비하여 우수한 것으로 평가되고 있다. 본 논문에서는 Fig. 3과 같은 층고 3.9m의 다이아그리드 외부골조 예제구조물을 대상으로 하여 20층, 40층 60층에 대하여 강재의 강도에 따른 경제성을 비교하였다.

4.1 설계하중에 대한 설계결과 비교

다이아그리드 구조물에 대하여 KBC-09기준에 따라서 구조부재를 검토한 결과 강도에 따른 구조부재의 물량과 비용이 Table 11, 12에 나타나 있다. Table 11을 보면, 층수에 따라 차이는 있지만 다이아그리드와 기둥부재의 경우에는 항복강도의 증가비와 유사한 비율로 강재량이 감소하는 것을 볼 수 있다.

Table 11 Steel Quantity of Diagrid Structure Satisfying Strength Requirement for Steel Grades (Unit : tonf)

Type of Member	Yield Strength	20-story	40-story	60-story
Diagrid	235MPa	371	1,490	4,110
	325MPa	264	1,073	2,806
	650MPa	160	593	1,476
Column	235MPa	518	1,595	3,451
	325MPa	408	1,258	2,548
	650MPa	207	690	1,448
Girder	235MPa	636	1,333	2,192
	325MPa	513	1,056	1,754
	650MPa	360	764	1,217

Table 12 Material & fabrication cost of diagrid structure satisfying strength requirement for steel grades (Unit : 1,000KRW)

Type of Member	Yield Strength	20-story	40-story	60-story
Diagrid	235MPa	516,618	2,074,825	5,723,175
	325MPa	380,820	1,547,803	4,047,655
	650MPa	344,768	1,277,796	3,180,485
Column	235MPa	721,315	2,221,038	4,805,518
	325MPa	588,540	1,814,665	3,675,490
	650MPa	446,044	1,486,812	3,120,150
Girder	235MPa	885,630	1,856,203	3,052,360
	325MPa	740,003	1,523,280	2,530,145
	650MPa	775,728	1,646,267	2,622,392

Table 13 Lateral displacement of diagrid structure for steel grades

Yield Strength	Direction	20-story	40-story	60-story
235MPa	w _x	H/2,342	H/1,061	H/670
	w _y	H/2,294	H/1,048	H/663
325MPa	w _x	H/1,642	H/759	H/459
	w _y	H/1,608	H/750	H/454
650MPa	w _x	H/958	H/411	H/235
	w _y	H/936	H/407	H/233

Table 14 Steel quantity of diagrid structure satisfying strength and serviceability requirement (Unit : tonf)

Member	Diagrid		Column	Girder
Yield Strength	325MPa	650MPa	650MPa	325MPa
Quantity(tonf)	2,341	289	1,448	1,754

Table 15 Material & fabrication cost of diagrid structure satisfying strength and serviceability requirement (Unit : 1,000KRW)

Yield Strength	Cost	Quantity (tonf)	Price (per tonf)	Total Cost
325MPa	Material	2,341	2,692	3,212,350
	Fabrication	2,341	520	
650MPa	Material	289	685	787,280
	Fabrication	289	103	
전체				3,999,630

Table 16 Material & fabrication cost of diagrid structure for steel grades (Unit : 1,000KRW)

Yield Strength	Cost	20-story	40-story	60-story
235MPa	Total	2,123,563	6,152,065	13,581,053
	Relative	100%	100%	100%
325MPa	Total	1,709,363	4,885,748	10,253,290
	Relative	80%	79%	75%
650MPa & 325MPa	Total	1,566,540	4,410,876	9,649,925
	Relative	74%	72%	71%

이에 반하여, 보 부재의 경우에는 항복강도의 증가비보다 강재량의 감소비가 더 작은 것을 볼 수 있는데, 이는 강도에 의해 요구되는 단면성능이 작은 경우 허용 처짐량 제한과 횡좌굴의 영향으로 항복강도비만큼 줄어들지 못하기 때문이다. 또한, 강도에 의하여 설계된 부재를 적용하였을 때 풍하중에 대한 구조물의 횡변위는 Table 13와 같다.

사용성을 만족시키기 위한 절대적인 기준은 없지만 일반적으로 오피스 구조물인 경우에는 H/400의 변위를 만족하도록 설계하고 있다. 본 논문에서도 Table 13에서 항복강도 650MPa로 설계된 60층 예제구조물에 대해 H/400의 변위를 만족하도록 단면적을 수정하였다. 부재의 조정은 고강도 강재의 사용으로 경제성 향상효과가 적은 거더와 강성에 대한 기여도가 높은 저층부 36층까지의 다이아그리드에 대하여 일반강도 강재를 적용하였고, 이와 같이 설계된 구조물의 물량 및 제작비가 Table 14, 15와 같다. 저층부를 일반강도 강재를 사용하고 고층을 고강도 강재를 사용하여 경제성을 향상시킨 사례는 일본의 동경 스카이트리가 있다.

다이아그리드 구조물의 경제성을 비교한 Table 16을 살펴보면 20층, 40층, 60층 구조물에 대하여 모두 강재강도가 클수록 더 경제적인 것으로 검토되었다. 특히 60층 구조물과 같이 강성에 의하여 단면이 결정되어야 하는 경우에는 강성에 대한 기여도가 높은 부재를 일반강도 강재로 설계하는 것이 더 경제적인 것으로 검토되었다.

4.2 연쇄붕괴 고려 시 설계결과 비교

최근 초고층 건물, 공공기관 건물 등 중요 건물에서는 일부 부재의 붕괴가 건물 전체의 붕괴로 이어지지 않도록 연쇄붕괴를 방지하는 설계를 요구하고 있다. 아직까지 연쇄붕괴 방지 설계가 보편화되지는 않았지만 중요 건물에서는 대부분 연쇄붕괴를 방지하기 위하여 구조부재의 보강을 요구하고 있다. 본 연구에서는 연속붕괴 고려에 따른 강재 강도의 경제성을 평가

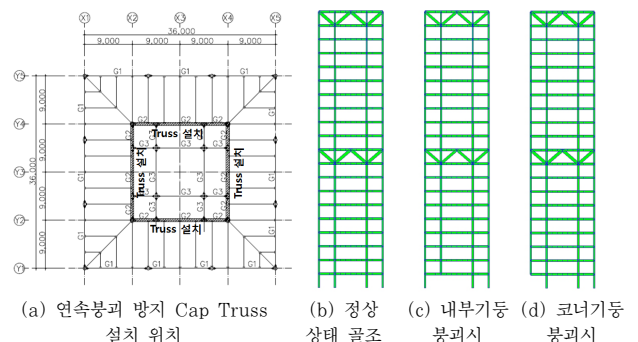


Fig. 4 Arrangement of cap trusses and assumed failure case of diagrid structure

Table 17 Steel quantity and material & fabrication cost of cap trusses for steel grades

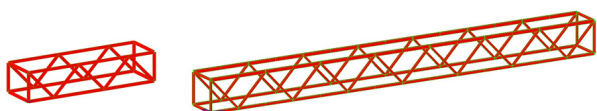
Yield Strength	235MPa	325MPa	650MPa
Quantity(tonf)	94	71	47
Cost(1,000KRW)	130,895	102,418	101,276
Relative Ratio	100%	78%	77%

하기 위하여, Fig. 4와 같은 다이어그램 구조물에 대해 내부 기둥의 붕괴로 연쇄붕괴가 발생되지 않도록 10개 층 단위로 트러스를 설치 후 1층 기둥의 1개소가 붕괴되는 상황에 대하여 연쇄붕괴를 방지하도록 트러스 부재를 설계하였다. GSA 가이드라인에서는 기둥이 파괴되었을 때 충격효과를 고려하기 위하여 기둥이 제거된 양쪽 경간에는 2(DL+0.25LL)을 적용하고 나머지 경간에는 (DL+0.25LL)의 중력하중을 적용하도록 권고하고 있다(Lee *et al.*, 2008). 본 논문에서의 연쇄붕괴에 대한 검토도 이에 준하였으며, 일부 부재가 붕괴된 상태에서 풍하중이나 지진하중이 가해지는 시나리오는 고려하지 않았다.

강도에 따른 트러스 부재 설계결과를 검토하면 Table 17에서 보는 바와 같이 항복강도가 235MPa에서 325MPa로 증가하면서는 경제성이 향상된 것으로 검토되었으나, 325MPa에서 650MPa로 증가하면서는 비용의 변화가 미미한 것으로 검토되었다. 이는 트러스 부재의 작용하는 부재력이 기둥의 축력에 비하여 작고 좌굴에 의해 설계강도가 영향을 받는 단면으로 설계되어서 강도의 증가만큼의 단면이 감소하지 않았기 때문이다.

5. 스카이브릿지

두 개의 건물을 이어주는 스카이브릿지(sky-bridge) 구조물은 비교적 최근에 등장한 구조물로서 화재 시 대피 공간으로 이용하기 위하여 많이 설치하였지만 최근에는 주거건물이 고층화, 대규모화 되면서 주민 편의시설에 설치되어 주변 경관 조망권을 제공하도록 활용되고 있다. 스카이브릿지 구조물은 일반적으로 저층부 조립 후 양중하여 설치하는데, 이 때 양중 무게를 감소시키는 것이 경제성 확보에 중요하며 고강도 강재의 활용을 통한 양중부하 저감으로 경제성의 향상 효과가 클 수 있는 구조물이다. 본 논문에서는, Fig. 5와 같이 각각 15m 와 54m 스패를 가진 4.2m 폭의 스카이브릿지에 대해 연결부



(a) 15m 경간 스카이브릿지 (b) 54m 경간 스카이브릿지

Fig. 5 Analysis Models for Sky Bridges

가 건물의 수평 변위를 흡수할 수 있도록 연결부에 면진장치가 적용된 조건으로 가정하여, 수직하중에 대해서만 스카이브릿지 구조물의 강재강도에 따른 경제성을 검토하였다.

5.1 짧은 경간의 스카이 브릿지의 설계결과 비교

주상복합 건물에서는 비교적 짧은 경간인 15m 내외의 스카이 브릿지를 많이 설치하고 있는 것으로 조사되었다. 주상복합 건물의 일반적인 층고인 3m 높이를 가진 트러스로 설계할 경우에 강도에 따른 구조부재의 물량 및 처짐이 Table 18에 나타나 있다. Table 18에서 보는 바와 같이 15m 경간을 가진 3m 높이의 트러스는 사용성능을 확보하는데 충분한 높이로서 고강도 강재를 이용한 경우로 허용처짐인 L/300 이내에 드는 것으로 검토되었다. 그러나 트러스 전체 구조물에 대한 사용성은 허용범위 이내에 있는 것으로 검토되었지만 경사부재 사이의 국부적인 현부재의 처짐은 사용성을 만족하지 못하는 부분도 발생있는 것으로 검토되었다. 짧은 경간을 가진 스카이브릿지 구조물에서는 경간에 비하여 보 높이가 충분하고 하중이 크지 않는 경우에는 일반강도 강재를 이용하여도 요구되는 단면의 크기가 작기 때문에 고강도 강재의 필요성이 크지 않을 뿐만 아니라 고강도 강재가 일정 두께 이상의 강판만을 생산하고 있는 현실을 고려하면 15m 정도의 스카이 브릿지 구조물에는 고강도 강재를 적용하여 경제성을 향상시키기는 어려운 것으로 조사되었다.

Table 18 Design results of short-span sky-bridge for steel grades

Yield Strength	235MPa	325MPa	650MPa
Quantity(tonf)	4.41	3.94	2.86
Cost(1,000KRW)	6,141	5,683	6,163
Relative Ratio	100%	93%	100%
Truss Deflection	L/1000	L/882	L/385
Chord Deflection	L/400	L/353	L/154

5.2 긴 경간의 스카이 브릿지의 설계결과 비교

주상복합 건물과는 달리 일반 오피스 건물을 연결하는 스카이 브릿지의 경우에는 일반적으로 50m 내외의 긴 경간을 가지고 있는 것으로 검토되었다. 본 논문에서는 54m 스패에 대하여 4.0의 트러스 높이를 가지는 스카이 브릿지 구조물을 대상으로 강도에 따른 구조물의 경제성을 비교하였다. Table 19에서 보는 바와 같이 항복강도가 650MPa의 경우에 가장 비경제적인 것으로 검토되었는데, 이는 트러스 부재의 경우 축력보다는 좌굴에 의해 단면크기가 결정되기 때문에 강도증

Table 19 Design results of long-span sky-bridge for steel grades

Yield Strength	235MPa	325MPa	650MPa
Quantity(tonf)	35.68	30.68	25.58
Cost(1,000KRW)	49,684	44,256	55,120
Relative Ratio	100%	89%	111%
Truss Deflection	L/675	L/557	L/432
Chord Deflection	L/1935	L/1106	L/645

가와 비례하여 강재를 감소시킬 수 없기 때문이다. 그러나 물량적인 측면에서는 최소이므로 스카이브릿지 구조물에서는 설치과정에서 양중무게의 감소로 인한 경비절감 효과가 큰 경우에는 일반강재보다 고강도 강재가 더 경제적인 대안이 될 수도 있다.

6. 전이보 구조물

상부에서 내려오는 아파트 벽체를 지지하는 전이보로 사용된 구조부재에서는 특별지진하중을 적용하여야 한다. 특별지진하중은 상부 구조물의 파괴전에 상부 구조물을 지지하고 있는 부재의 선행 파괴를 방지하기 위한 것으로써 일반 상태에서의 사용성능과는 무관한 하중이다. 본 연구에서는 Fig. 6과 같이 2동의 공동주택을 연결시켜 주는 부분에 현재 시공 중인 실제 건축물을 대상으로 일반 강재로 설계한 구조물과

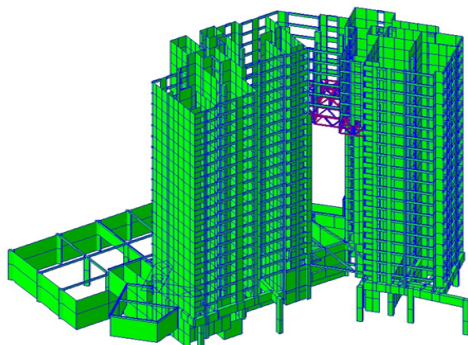


Fig. 6 Analysis models for building with transfer girders

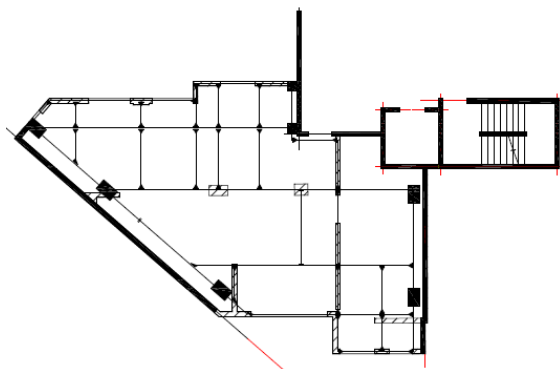


Fig. 7 Structural plan for arrangement of transfer girders

고강도 강재로 설계한 구조물에 대한 경제성을 비교하여 보았다. 전이보 설치 층의 평면을 나타낸 Fig. 7에서 빗금친 부분으로 표시된 구조부재는 상부 구조물로서 전이보에 지지되는 부재이고, 다른 구조부재는 하부 구조물로서 지지점 역할을 하는 부재이다.

6.1 전이보 구조물의 설계결과 비교

강도에 따른 구조부재의 경제성을 비교하기 위하여 항복강도가 325MPa인 일반강재와 항복강도가 650MPa인 고강도 강재를 이용하여 전이보 구조물을 설계하였다. 고강도 강재의 경우 현재 국내에서 15t이상의 강판만 생산되는 여건 상 설계 시 15t 이상의 고강도 강판이 요구되는 부재에 대해서만 적용하였다. 전이보 구조물을 설계한 결과, 상현재와 하현재에는 고강도 강재로 설계하였고, 경사부재의 경우에 대부분 일반강도 강재로 설계되었다. Table 20는 강재강도에 따른 전이보 구조물의 설계결과를 나타낸 것이다.

검토 결과, 강재의 물량이 항복강도비보다 더 많이 줄어든 것을 볼 수 있는데, 이는 본 구조물이 특별지진하중의 적용을 받아 설계되는 구조물이기 때문이다. 지진 등과 같은 횡하중에 대해 구조부재가 저항 시 구조부재에 작용하는 하중은 구조부재의 강성에 비례하기 때문에, 고강도 강재를 이용하여 단면의 강성을 감소시킬 경우에 구조부재에 작용하는 하중도 같이 감소하는 효과로 인한 것이다.

Table 20 Design results of transfer girders for steel grades

Yield Strength	Element	Quantity (tonf)	Cost (1,000KRW)	Total	
325MPa	Material	56.3	64,745	81,213	
	Fabrication	56.3	16,468		
650MPa & 325MPa	650 MPa	Material	16.8	30,240	49,237
		Fabrication	9.1	10,465	
	325 MPa	Material	16.8	5,960	
		Fabrication	9.1	2,662	

6.2 고강도 강재 적용 전이보 구조물의 검토결과

Fig. 6의 전이보 구조물과 같이 특별지진하중을 적용하는 구조물의 경우, 특별지진하중으로 인하여 일반 골조보다 더 많은 강도를 확보하여야 한다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 특별지진하중을 적용하였을 경우 99%까지 내력을 필요로 하는 구조물이 특별지진하중을 적용하지 않았을 경우에는 79%의 내력만을 요구하고 있는 것을 확인할 수 있다. 특별지진하중은 지진 발생 시에 상부 구조물보다 상부구조물을 지지하는 부재의 선행 파괴를 방지하기 위한 고려사항으로서 구

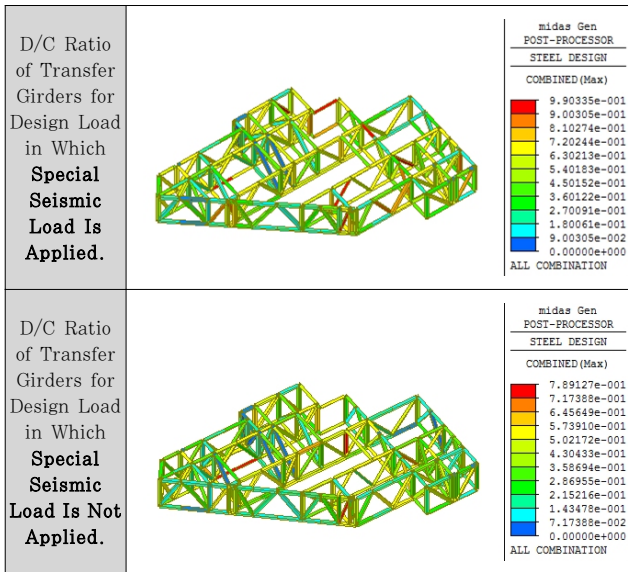


Fig. 8 Demand/Capacity(D/C) Ratio for Transfer Girders according to the presence or absence of Special Seismic Load

조물의 사용성능과는 무관하고 안전성능에만 영향을 주므로 고강도 강재의 적용으로 경제성을 향상시키기에 유리한 부재로 검토되었다. 또한, 최대 스패인이 약 15m인 조건에서 약 1.5cm 정도의 상대적 처짐이 발생하는데, 이 값은 약 L/800로 허용 처짐량인 L/300이내에 있는 것으로 검토되었다.

7. 결 론

본 연구에서는 기존 일반강도 강재로 설계된 구조부재와 고강도 강재로 설계된 구조부재의 경제성을 비교함으로써 다양한 강도를 가진 강재의 효율적인 사용으로 경제성을 향상시킬 수 있는 방법에 대하여 검토하였다.

첫째, 일반 보 부재와 같이 휨을 주로 받는 부재에 대해서는 사용성능의 저하 및 횡좌굴 발생 등과 같은 요인으로 인하여 고강도 강재의 경제성이 낮은 것으로 평가되었다.

둘째, 축력에 저항하는 부재에서는 단면적이 작게 요구되는 작은 축력에 저항하는 부재에서는 고강도 강재의 사용으로 경제성이 저하되지만 고층 구조물의 기둥과 같은 큰 축력에 저항하는 부재에서는 경제성의 향상효과가 높은 것으로 검토되었다.

셋째, 전이보와 같이 특별지진하중이 가해지는 곳에서는 고강도강재의 적용으로 부재강성을 감소시킬 수 있고, 강성의 감소는 저항해야 하는 횡력을 감소시킴으로써 단면적을 더 감소시킬 수 있는 효과가 있는 것으로 검토되었다.

넷째, 본 연구에서 검토한 보통전단벽을 가진 건물골조 시스템인 10, 20, 30층 구조물과 다이아그리드 시스템을 가진

20, 40, 60층 건물에 대해서 고강도 강재를 사용한 60층의 다이아그리드 시스템을 제외하고는 모두 풍하중에 대한 사용성능을 만족시키는 것으로 검토되었고, 60층 다이아그리드 시스템을 제외하고는 기둥 또는 경사부재에 고강도 강재를 사용하는 것이 경제적인 것으로 검토되었다. 또한 다이아그리드 시스템을 가진 60층 구조물에 대해서도 높은 강성이 요구되는 저층부에는 일반강도 강재를 사용하고, 고층부는 고강도 강재를 사용함으로써 경제성을 향상시킬 수 있을 것으로 검토되었다.

다섯째, 일반강도 강재를 적용하였을 때 극후판이 요구되는 구조부재의 경우에는 고강도 강재를 이용하여 용접량을 감소시킴으로서 경제성을 보다 향상시킬 수 있는 것으로 검토되었다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

Architectural Institute of Korea (2008) Economic Estimation of Story Height Reduction Method With Asymmetric H-Beam, *Architectural Institute of Korea*, pp.2~5.

Benedict, T.L., Amr, S.E. (1999) Structural Performance and Economics of Tall High Strength RC Buildings in Seismic Regions, *The Structural Design of Tall Buildings*, 8, pp.171~204.

GSA (2003) Progressive Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and Major Modernization Projects, *The U.S. General Services Administration*.

Lee, Y.H., Kim, J.K. (2008) Seismic Performance Evaluation of Diagrid System Buildings, *Architectural Institute of Korea Annual Conference*, 28(1), pp.21~24.

Lim, B.H., Lee, S.H., Shin, K.J. (2010) The Study for Behavior of High-Strength Steel (800MPa) Beam-to-Column Connections, *Korean Society of Steel Construction Annual Conference*, pp.15~16.

Moon, K., Connor, J.J., Fernandez, J.E. (2007) Diagrid Structural Systems for Tall Buildings: Characteristics and Methodology for Preliminary

Design, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 16(2), pp.205~230.

Seo, J.H., Kwon, B.K., Kim, S.B., Park, H.S. (2008)
Structural Optimization of High-rise Buildings using

High-strength Steels, *Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea*, 22(3), pp.277~288.

요 지

현재 국내에서 생산되는 구조용 강재의 강도는 크게 5가지로 구분할 수 있다. 경제적인 구조설계를 하기 위하여 적절한 강도의 선정이 우선적으로 요구되는데 현재는 이와 관련된 기존 자료가 충분치 않은 상태이다. 최근, 국내에서 항복강도가 650MPa인 고강도 강재가 개발되어 구조용 강재의 강도 범위가 더 커졌기 때문에 부재 종류별 강재의 선택에 따른 경제성의 차이도 더 커졌을 것으로 예상된다. 본 논문에서는 경제적인 구조설계에 도움이 되도록, 항복강도 235MPa, 325MPa 및 650MPa 강재를 다양한 구조부재에 적용함으로써, 고강도 강재 적용에 따른 부재 종류별 경제성을 분석하였다.

핵심용어 : 고강도 강재, 경제성, 건물골조 시스템, 다이아그리드 시스템, 연쇄붕괴, 전이보