

IsoTruss[®] 그리드를 적용한 건물구조시스템의 특성

김태헌, 김영찬
부경대학교 건축공학과

Characteristics of Building Structural System with IsoTruss[®] Grid

Tae-Heon Kim, Young-Chan Kim*

Department of Architectural Engineering, Pukyong National University

요약 본 최근 기존의 모습과는 다른 고층건물의 형태가 대도시에서 랜드마크로서 주목을 끌고 있으며 혁신적인 건물형태에 대한 탐색은 건축분야에서 지속적으로 이루어질 것이다. 본 연구에서는 소규모의 구조체에 활용되고 있는 IsoTruss[®] 그리드를 건물의 외주골조에 적용하여 구조적 성능을 검토하였다. 구조적 거동을 비교하기 위해 다이아그리드 구조시스템을 준거로 하였다. 동일한 규모의 16층, 32층, 48층 건물을 두가지의 구조시스템으로 설계하였다. 아이소트러스 그리드 구조 부재의 선정은 예비적 설계단계로 생각하여 다이아그리드의 강성에 기준한 설계방법을 이용하였다. 경사기둥의 각도인 아이소트러스 구조는 59°, 다이아그리드 구조는 68.2°로 하였다. 횡강성, 철골량, 외부골조의 횡력 부담비율, 기둥의 축력 강도비, 고유진동수를 비교하였다. 6개의 건물 모델을 해석한 결과 두 구조시스템의 구조적 성능은 유사하나 외주골조의 횡하중 부담율이 아이소트러스 그리드 구조가 93.3%로 다이아그리드 구조의 88.7% 보다 약간 커서 코어 기둥의 배치에 있어 유리하다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서 제안하는 아이소트러스 그리드 시스템은 입면형태가 독특할 뿐만 아니라 기존의 구조시스템과 동등한 구조적 성능을 보유한 것으로 보인다.

Abstract Recently, unconventional high-rise building shapes have attracted attention as a landmark of metropolitan cities and the search for innovative building forms in architecture is ongoing. In this study, IsoTruss[®] grid(ITG) used in smaller scale structures was applied to building structural systems and its structural performance was examined. The structural behavior of an ITG was compared with that of a diagrid structure as a reference structure. The stiffness-based design method of the diagrid system was used for the preliminary design stage of member sizing in an ITG. The structural design of 16, 32, and 48-story buildings was carried out for the two systems with the same size. The angle of the inclined columns for ITG and diagrid was 59° and 68.2°, respectively. The lateral stiffness, steel tonnage of the exterior frame, axial strength ratio, story drift ratio, and natural frequency of the two systems were compared. Based on the analysis result of 6 buildings, the two systems had similar structural capacity; 93.3% and 88.7% of the lateral load was carried by the perimeter frame in the ITG system and diagrid system, respectively. This suggests that the ITG system is better in arranging core columns. Therefore, the proposed ITG system has not only a unique façade, but also substantial structural capacity equivalent to the existing system.

Keywords : Diagrid system, High-rise building, IsoTruss[®], Preliminary design, Structural design

1. 서론

인구의 증가와 대도시로의 집중화는 고층건물을 건설하는 주된 요인이었고, 대도시에서 고층건물은 한정된 대지에 최대의 인구를 수용하는 최적의 방법이었다. 최

근 고층건물은 형태를 비정형으로 건설하여 우수한 공간 활용능력을 포함하고 한 도시를 상징할 수 있는 랜드마크적 기능을 수행하고 있다. 이러한 이유로 혁신적인 건물형태를 찾아내고자 하는 노력은 지속적으로 이루어질 것이다.

본 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2015년)에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Young-Chan Kim(Pukyong National Univ.)

Tel: +82-51-629-6091 email: yckim@pknu.ac.kr

Received January 5, 2017

Revised January 18, 2017

Accepted February 3, 2017

Published February 28, 2017

본 연구에서는 소규모 구조체에 활용되고 있는 아이소트러스 그리드(IsoTruss® grid, ITG)[2]를 건물의 구조 시스템에 적용하여 구조적 성능을 알아보았다. 해석모델 건물의 구조설계시 일반적으로 사용되는 다이아그리드 구조시스템의 외주기둥 소요단면적 산정식[3]을 이용하여 16층, 32층, 48층 다이아그리드 건물의 외주골조기둥 부재를 결정하였고 이 부재들을 아이소트러스 구조시스템에 적용하였다. 새로운 구조시스템의 구조적 성능을 평가하기 위해 최대횡변위, 철골량, 하중분담비율, 강도비, 고유진동수, 층간변위비를 비교하였다.

2. 아이소트러스 그리드의 적용

아이소트러스구조의 바닥형태는 동일한 크기의 정사각형을 45°로 돌려서 두 개의 정사각형을 겹쳐 만들어진 것이다. Fig.1에서 내측의 작은 원은 수직기둥이고 외측의 큰 원은 경사기둥을 나타낸다. 동일한 모양의 경사진 기둥이 최하층과 최상층에서 연결되면 Fig.2와 같은 모듈이 만들어진다. 모듈에서 바닥의 형상은 층의 위치에 따라 달라지며 최대 면적과 최소면적은 Fig.3과 같다. Fig.4는 모듈의 기둥만 연결한 나무모형으로 ITG의 독특한 형태를 나타낸다.

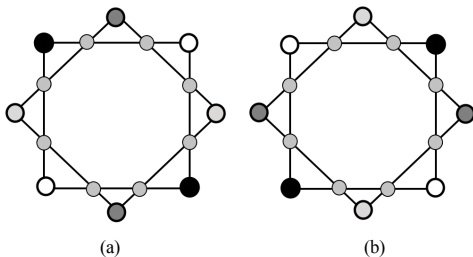


Fig. 1. Exterior column connections at the top and bottom floors of each module (a)Bottom (b)Top

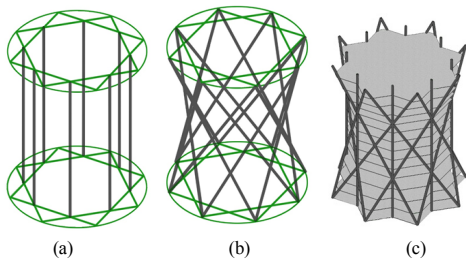


Fig. 2. Formation of the module (a)vertical column (b)inclined column (c)module

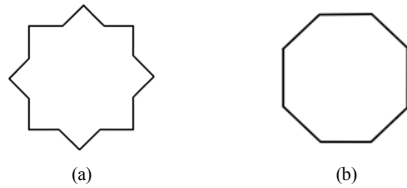


Fig. 3. Floor shape and size (a)maximum (b)minimum

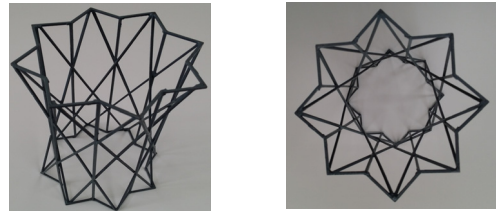


Fig. 4. Skeleton of ITG captured from wooden model

3. ITG구조 건물의 구조설계

3.1 건물 규모 및 평면

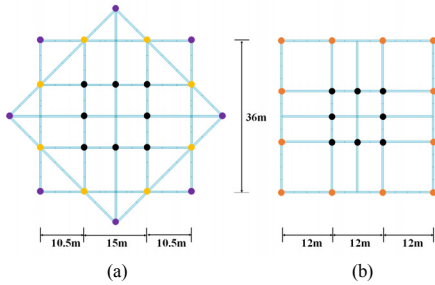
외주 골조의 구조적 성능 비교를 위하여 최대한 동일한 규모의 건축바닥면적이 확보되도록 평면을 설계하였다. Table 1에 두 구조시스템의 기본사양이 나와 있으며 다이아그리드구조 설계시 외주기둥의 소요단면적은 Moon 외2인[3]의 제안식을 그리고 ITG구조 설계시 경사기둥의 각도는 Kim 외3인[4]의 연구결과를 참조하여 정하였다.

Table 1. Building dimension

Parameter		ITG	Diagrid
Total floor area (m ²)	16F	20,564	20,522
	32F	41,128	41,045
	48F	61,692	61,567
No. of modules	16F	1	2
	32F	2	4
	48F	3	6
No. of stories per module		16	8
Angle of inclined column		59°	68.2°

구조해석시 건축구조기준 2016 [5]을 적용하여 고정하중은 4kN/m², 활하중은 2.5kN/m², 풍속은 38m/s로 하였다. 외주기둥간, 그리고 내부보와 외주기둥의 연결은 핀접합으로 하였고, 구조해석은 Midas[6]를 이용하여 수

행하였다. Fig.5는 해석모델의 1층 기준 평면도이다. 기둥 부재는 원형강관을 사용하였다. Fig.6과 Fig.7은 16층(60m), 32층(120m), 48층(180m) 모델에 대한 구조모델링의 투시도이고 각 층의 높이는 3.75m이다.



Core column: ● Diagrid column: ●
ITG columns: inclined - ● vertical - ●

Fig. 5. Floor-framing plans (a)ITG (b)Diagrid

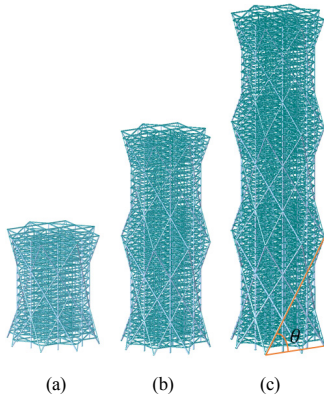


Fig. 6. ITG Rendering images captured from MIDAS modeling (a)16 stories (b)32 stories (c)48 stories

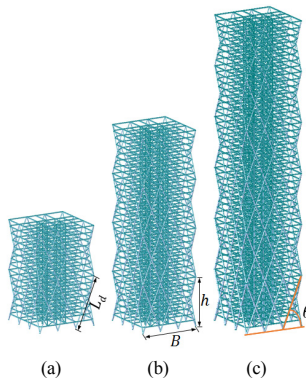


Fig. 7. Diagrid Rendering images captured from MIDAS modeling (a)16 stories (b)32 stories (c)48 stories

3.2 횡력에 대한 외주기둥의 소요단면적

외주기둥의 소요단면적은 Moon 외[3]연구의 다음과 같은 산정식을 사용하였다. 건물의 웹면과 플랜지면에 작용하는 전단력과 모멘트에 따라 부재 단면적을 산정하여 큰 단면적을 모듈의 부재로 정한다. 전단력에 의한 웹면 기둥의 소요단면적 $A_{d,w}$ 과 모멘트에 의한 플랜지면 기둥의 소요단면적 $A_{d,f}$ 은 다음과 같다.

$$A_{d,w} = \frac{VL_d}{2N_w E_d h \gamma \cos^2 \theta}$$

$$A_{d,f} = \frac{2ML_d}{N_f B^2 E_d \chi h \sin^2 \theta}$$

여기서

N_w : 웹부분에 위치한 경사부재 개수

γ : 전단변형률

N_f : 플랜지 부분에 위치한 경사부재 개수

χ : 곡률

건물의 횡변형 대 전단변형의 비를 나타내는 s는 아래 식과 같고 기존 연구[3]에서 적절한 값으로 제안된 s=3, 4를 적용하였다.

$$s = \frac{\chi H^2}{\frac{2}{\gamma H}} = \frac{H\chi}{2\gamma}$$

여기서

$$\gamma = \frac{1}{(1+s)\alpha}, \chi = \frac{2s}{(1+s)H\alpha}$$

α : 최대 허용횡변위($\frac{H}{\alpha}$, $\alpha = 500$)

H : 건물의 높이

4. 해석결과에 대한 비교분석

4.1 최대횡변위와 철골량

고층건물구조에서는 횡변위를 효율적으로 제어 할 수 있어야 하는데 풍하중에 의한 최대횡변위는 Fig.8에 나타나 있다. 16층골조의 횡변위는 ITG구조가 다이아그리드구조보다 80%정도 적으나 층수가 증가하면서 횡변위의 차이가 많이 감소하는 것을 알 수 있다. Fig.9에는 외주골조기둥으로 사용된 철골량이 나와 있는데 ITG구조

가 다이아그리드구조보다 약 3.3%정도 많다. 따라서, 횡 변위와 철골량을 함께 고려한다면 두 구조시스템의 횡강 성은 유사하다고 판단된다.

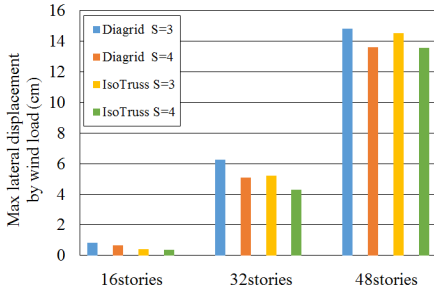


Fig. 8. Maximum lateral displacement

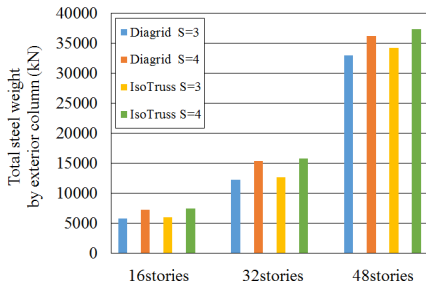


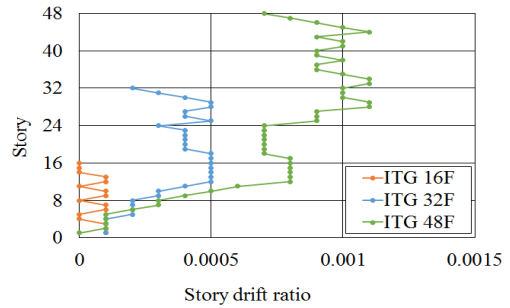
Fig. 9. Total steel weight by exterior column

4.2 층간변위비

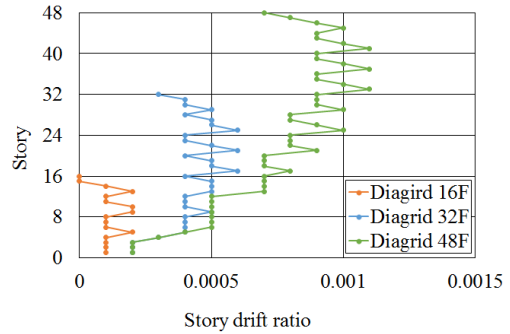
층간변위비(Fig.10)는 ITG구조가 저층부분에서 다이아그리드구조 보다 작게 시작하였으나 위로 올라가면서 유사한 패턴을 보이고 있다. 두 시스템 모두 제한값 (0.0015)을 모두 만족하였다.

4.3 외주기둥의 하중분담률

외주골조기둥의 하중에 대한 분담률을 Fig.11에 나타 내었다. 다이아그리드 구조의 중력하중에 대한 외주골조 기둥의 분담률은 54.5%이고, ITG구조는 54.8%이다. 그러나 횡하중에 대해서는 ITG구조의 분담률(93.3%)이 다이아그리드 구조의 분담률(88.7%)보다 크게 나타나 코어기둥의 부담을 줄일 수 있다.

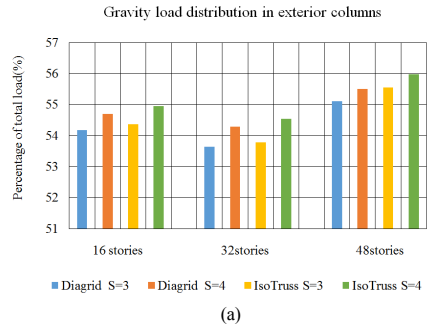


(a)

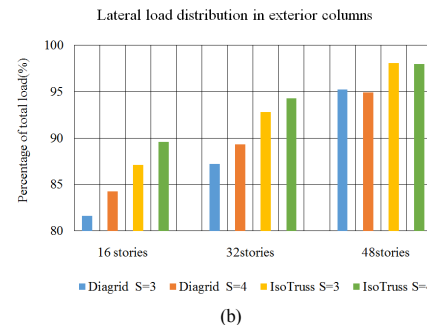


(b)

Fig. 10. Story drift ratio(S=4) (a)ITG (b)Diagrid



(a)



(b)

Fig. 11. Load distribution (a)Gravity load (b)Lateral load

4.4 외주기둥 강도비의 분포

기둥의 강도비(R)를 알아 보기 위해 Fig.12에 기둥의 소요강도를 설계강도로 나눈 강도비의 분포를 나타내었다. 횡하중에 대한 축력강도비를 보면 건물 높이 변화에 따라 축력강도비가 증가하는 것을 알 수 있으며, 두 시스템의 최대·최소 R값은 유사한 것으로 보이나 ITG구조가 다이아그리드 구조에 비해 분산되어 있는 것을 알 수 있다. 즉, ITG구조에서 동일한 위치의 기둥간에 작용하는 응력이 많이 다르다는 것을 알 수 있다.

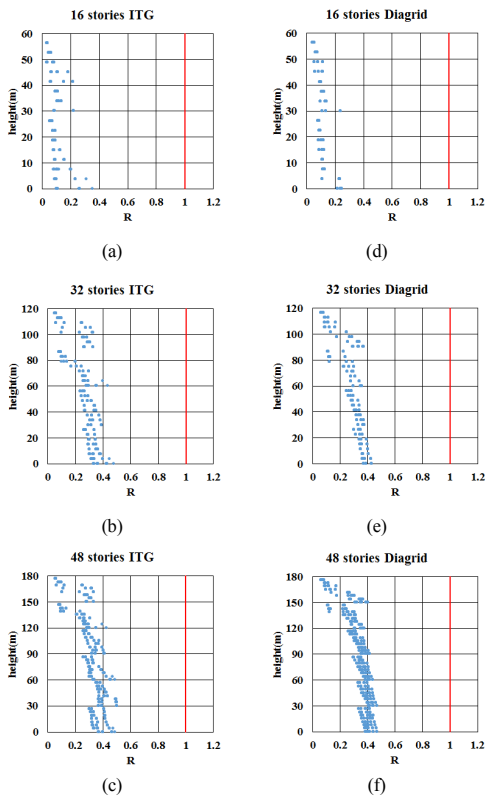


Fig. 12. Axial strength requirement for exterior columns (a)~(c): ITG (d)~(f): Diagrid

4.5 ITG구조 기둥의 축력

아이소트러스 1개 층에서 외주골조 수직기둥의 개수는 8개 이고 경사기둥의 개수는 16개 이다. Fig.13은 s=4, 48층 아이소트러스 모델의 횡하중 작용시 외주기둥의 강도비를 나타낸 그래프이다. 수직기둥의 평균 강도비는 0.34이고, 경사기둥의 강도비는 0.290이다. 그리고 Fig.14는 s=4, 48층 아이소트러스구조의 기본모델의 소

요단면적을 10% 줄인 단면적을 수직기둥에만 적용한 변경모델의 강도비를 나타낸 것이다. 변경모델의 수직기둥의 강도비는 0.36이고 경사기둥의 강도비는 0.299로 나타났다. 그리고 Table.2에서 기본모델 대비 변경모델의 최대횡변위는 3.1% 증가하였고, 철골량은 3.2% 감소하였다.

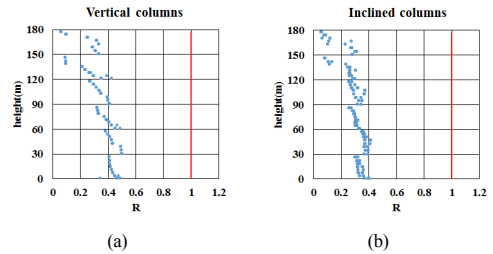


Fig. 13. Axial strength ratio of basic model: ITG 48 Stories(S=4) (a)Vertical columns (b)Inclined columns

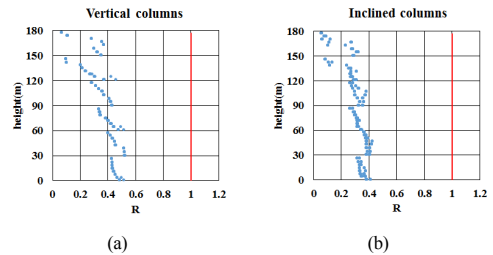


Fig. 14. Axial strength ratio of modified model: ITG 48 Stories(S=4) (a)Vertical columns (b)Inclined columns

Table 2. Analysis result of modified model

	Displacement (cm)	Steel weight (kN)
Basic model	13.56	37,400
Modified model	13.98	36,200

4.6 고유진동수

Fig.15는 해석모델들의 1차 모드의 고유진동수를 나타낸 것으로 건물이 높아질수록 두 구조시스템간의 차이는 거의 없는 것으로 보인다.

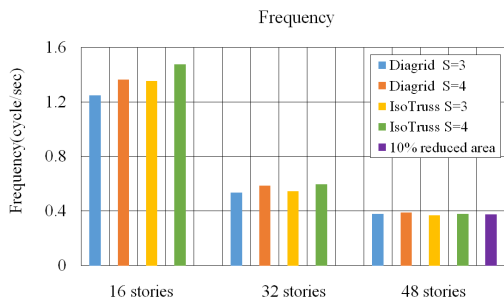


Fig. 15. Natural frequency (1st mode)

5. 결론

본 연구에서는 아이소트러스 그리드를 건물구조시스템으로 적용하여 동일한 규모의 저층, 중층, 고층 다이아그리드 구조와 비교하여 구조적 성능을 분석하였으며 결론은 다음과 같다.

- (1) 외주기둥의 철골량이 ITG구조가 다이아그리드 구조에 비해 약 3.3%크나, 최대 횡변위는 다이아그리드 구조보다 약 7% 감소하여 두 시스템간의 횡강성은 비슷한 것으로 보인다.
- (2) 기둥의 강도비에서 두 시스템은 약간 다른 패턴을 보이나 최대값의 크기는 비슷하다.
- (3) 외주골조기둥과 내부코어기둥의 중력하중에 대한 분담률은 거의 같으나 횡하중에 대한 분담률은 ITG구조가 더 크게 나타났다.
- (4) ITG구조에서 수직기둥과 경사기둥의 단면적을 다르게 한 모델에서 철골량의 감소량과 횡변위의 증가량이 유사하였으며 강도비는 수직기둥이 경사기둥에 비해 크게 나와 기둥부재의 효율성을 높이기 위해 기둥부재를 다르게 쓰는 것도 대안이 될 수 있다.
- (5) 고유진동수가 저층건물에서는 ITG구조가 약간 크게 나왔으나 고층건물에서는 거의 동일하게 나와 두 구조시스템의 기본적인 동적 특성이 유사하다고 생각된다.

본 연구에서 제안한 구조시스템의 구조적 성능이 다이아그리드구조와 비교하여 대체적으로 비슷하여 구조적 타당성은 있는 것으로 판단된다.

References

- [1] Mir M. Ali, K. S. Moon, Structural Development in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects, Architectural Science Review, vol. 50.3, pp. 205-223, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.3763/asre.2007.5027>
- [2] IsoTruss® homepage, <http://www.isotruss.com/>
- [3] K. S. Moon, J. J. Connor, J. E. Fernandez, Diagrid Structural Systems for Tall Buildings: Characteristics and Methodology for Preliminary Design, The Structural Design of Tall and Special Buildings, vol. 16.2, pp. 205-230, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1002/tal.311>
- [4] T. H. Kim, H. U. Lee, H. J. Jeong, Y. C. Kim, Investigation of Optimal Angle for Diagonal Member in Building Structures with IsoTruss® System, Proceedings of the 2015 International Symposium on Advanced Engineering, Busan, Korea, pp. 403-404.
- [5] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korean Building Code-Structural, pp. 41-190, 2016.
- [6] MIDAS, Gen2017, v855 R2.

김 태 현(Tae-Heon Kim)

[정회원]



- 2015년 8월 : 부경대학교 건축공학과 (공학사)
- 2017년 2월 : 부경대학교 대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2017년 1월 ~ 현재 : CS구조엔지니어링 엔지니어

<관심분야>
합성구조, 철골구조

김 영 찬(Young-Chan Kim)

[정회원]



- 1983년 2월 : 서울대학교 건축학과 (공학사)
- 1985년 2월 : 서울대학교 대학원 건축학과 (공학석사)
- 1995년 5월 : West Virginia University 토목공학과 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 부경대학교 건축공학과 교수

<관심분야>
합성구조, 철골구조