

다이아그리드 구조 시스템의 횡적 거동에 대한 민감도 해석

Sensitivity Analysis on the Lateral Behavior of Diagrid Structure

안근우¹⁾ 양재광²⁾ 박성수^{3)*}
Keun-Woo Ahn Jae-Kwang Yang Sung-Soo Park

Abstract

In evaluating lateral behavior on the seismic and wind load, the purpose of sensitivity analysis is to find critical variables and to identify characteristic response with variability of variables. The sensitivity analysis is very important in structural diagnosis, repair and reinforcement field. This study investigates the sensitivity by linear static analysis applying the TDA method in changing angles of diagrid braces on the same height structures. In case of mid rise model, under the seismic load, the brace member is determined as a major variable at 58° but a high rise model, under the wind load, has the brace member as a major variable at 67.4°. In addition, location of critical sensitivity on the mid rise model is distributed over middle section, while it is distributed lower section on the high rise model.

Keywords : Sensitivity analysis, Diagrid structure, Lateral behaviors, Tornado diagram analysis

1. 서론

다이아그리드 구조 시스템 (Diagrid Structural System)은 최근 초고층 건물의 횡력 저항 시스템으로 사용되고 있다. 초고층 건물은 중력에 의한 연직하중보다는 풍하중·지진하중과 같은 횡하중에 의해 거동에 큰 영향을 받게 되는데, 다이아그리드 구조 시스템은 횡하중을 최외단 부에 설치된 가새의 축력으로 전달하게 함으로서 건물의 전단변형 및 전단 지연현상을 완화시킬 수 있는 장점을 지니고 있다. 또한 다이아그리드 구조 시스템을 적용한 건물은 내부에 강성이 큰 코어의 설치 필요성이 줄어들어 내부 사용 면적을 늘릴 수 있으며, 구조물의 미적인 기하학적 구성을 발휘해 지역의 랜드마크적 역할을 할 수도 있다.

민감도 해석은 구조물의 거동 해석 수행 시 하나의 고정된 값만을 대표로 하여 해석을 수행하는 것이 아니라 입력 변수의 불확실성을 고려하여 구조물 해석 결과에 대한 신뢰도를 높이고자 제안된 해석 방식이다. 일반적으로 풍하중·지진

하중에 대한 거동 분석은 하나의 고정된 대푯값으로 수행하기 때문에 실제의 거동과는 차이가 있을 수 있다. 설계단계에서 입력되는 재료 특성값도 편차를 가질 수 있고, 이와 같은 경우 변수들의 확률분포에 따라 구조물의 응답도 확률분포를 가지게 된다. 이러한 입력변수의 변화에 따른 결과치의 변화를 분석하면 여러 입력변수들 가운데 해석 결과에 여러 가지 영향을 주는 주요한 변수를 판별할 수 있다. 따라서 본 해석법을 적용시킨다면 구조물 보강시 가장 큰 효과를 발휘하는 변수를 찾아내어 경제적인 보강을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

기존 연구에서 구조물의 민감도 해석에서는 주로 기둥과 보의 항복강도와 재료의 탄성계수, 감쇠비를 설계변수로 하여 내진과 연쇄붕괴에 대한 민감도 해석을 수행하였다 (Park et al., 2008). 하지만 다이아그리드 구조물은 그 구조적 형태의 특성상 가새의 각도가 다양하기 때문에 같은 높이와 평면에서도 가새부재의 설치 각도에 따라 어떠한 민감도 경향성을 나타내는지에 대한 연구가 필요하다.

1) 학생회원, 부산대학교 건축공학과 석사과정
2) 학생회원, 부산대학교 건축공학과 석사과정
3) 정회원, 부산대학교 건축공학과 정교수, 공학박사, 교신저자

* Corresponding author : parks@pusan.ac.kr
• 본 논문에 대한 토의를 2015년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2015년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

따라서, 본 연구에서는 다이아그리드 구조 시스템의 횡적 거동에 영향을 미치는 변수로서 구조부재의 탄성계수, 항복 강도를 내력에 대한 확률변수로 설정하여, 다양한 모델에 적용하여 민감도 해석을 수행하여, 상대적으로 주요한 설계변수를 판별하고자 한다.

2. 민감도 해석

2.1 민감도 해석의 개념

건축 구조분야에서의 민감도 해석법은 주로 지진하중에 대한 최적 설계와 주요 설계변수를 판별하기 위하여 자주 사용되어 왔고, 이러한 민감도 해석의 가장 큰 목적은 확률 변수의 변동에 따른 결과값의 변동에 가장 큰 영향을 주는 입력변수 및 가정을 규명하는데 있었다 (Lee and Mosalam, 2006). 지진응답에 영향을 미치는 다양한 변수들 중 선정된 하나의 변수를 제외한 나머지 변수들의 값을 고정한 채 선정 변수에 따른 Engineering Demand Parameter (EDP)의 변화를 조사함으로써 해당 변수의 영향성을 분석할 수 있고, 이를 나머지 변수에 대해 반복 수행하면 모든 변수에 대한 민감도를 나타낼 수 있으며, 민감도 수치가 클수록 변수의 상대적 중요도가 크다고 할 수 있다.

본 논문에서는 민감도 해석을 수행하기 위해서 입력변수의 통계적 조사 자료를 이용하여 토네이도 다이어그램 해석 (Tornado Diagram Analysis, 이후 TDA)의 접근 방법을 사용하였다.

2.2 토네이도 다이어그램 (Tornado Diagram Analysis)

TDA는 최근 내진 공학 민감도 해석에 자주 사용되는 방법으로 입력변수의 하한값과 상한값, 평균값에 대한 구조해석을 수행하여 결과값을 도출하는 방법으로, 단순히 결과의 변동폭 (swing)에 대한 민감도를 분석하는 방법이다. 변동폭의 크기는 입력변수의 변화에 따라 다른 값을 가지게 되고, 가시성을 높이기 위하여 이 변동폭들을 내림 순으로 정리하면 토네이도 모양을 보이게 되는데, 이를 토네이도 다이어그램 (Tornado Diagram)이라 한다. TDA의 경우 양 끝단과 중간값만으로 결과값을 도출하는 방법으로, 해석 방법이 간편하다는 장점이 있지만 결과값의 확률분포 모양을 확인할 수 없다는 단점이 있다. Fig. 1과 Fig. 2는 설계 변수의 양 한계점 값을 입력하여 EDP가 산출되는 과정과 이에 따라 도출된

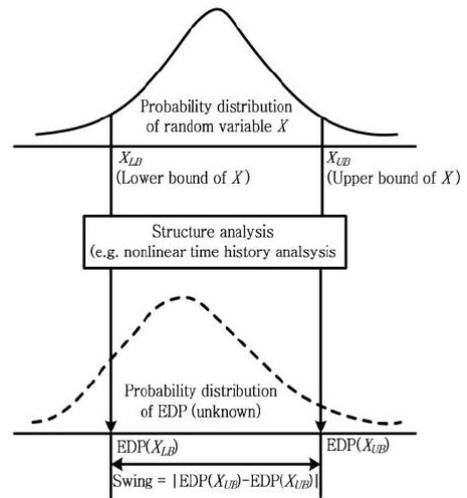


Fig. 1 Procedure of developing a swing in tornado diagram (Lee and Mosalam, 2006)

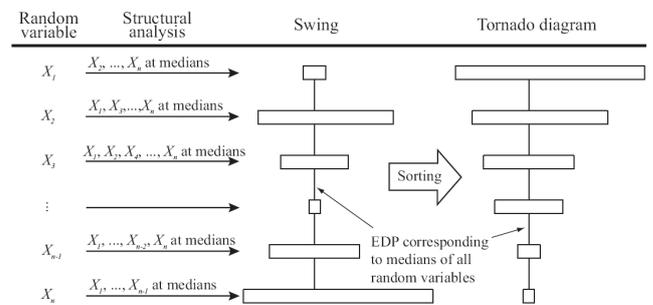


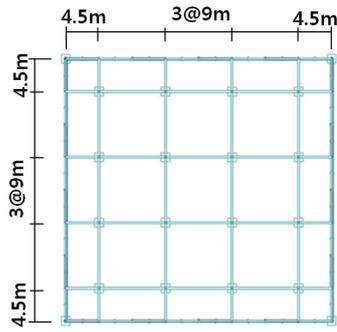
Fig. 2 Procedure of developing a tornado diagram (Lee and Mosalam, 2006)

결과값을 내림차순으로 정리하여 토네이도 다이어그램을 완성하는 과정을 보여준다.

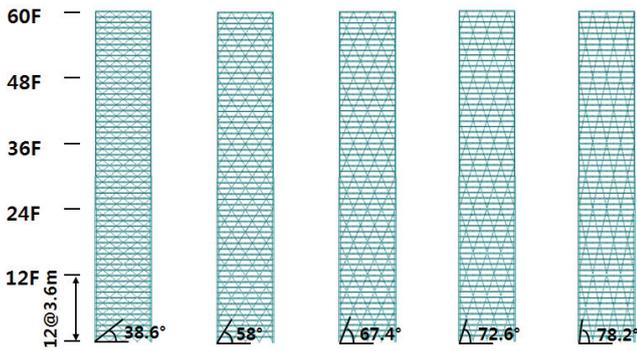
3. 해석 모델

3.1 해석 구조물의 모델링

본 연구에서의 해석 모델은 Fig. 3과 같은 평면과 모듈을 가지는 12층, 24층, 36층, 48층, 60층의 다이아그리드 구조 시스템으로, Midas Gen (Ver.800)을 이용하여 설계하였다. 기존 연구 결과에 따르면 가새부재를 지면에서 65~75°의 각도로 설치하는 경우가 가장 효과적인 횡거동 제어 능력을 나타내었다 (Moon et al., 2007). 그러나 본 논문에서는 가새 부재의 각도에 따른 민감도의 경향을 파악하고자 가새 부재의 각도를 더 확장 시킬 필요가 있었다. 따라서 가새 부재를 지면으로부터 38.6°, 58°, 67.4°, 72.6°, 78.2°의 기울기로 모



(a) Plan



(b) Elevation

Fig. 3 Analysis Modeling

벨링 하였다. 가새는 9m 간격으로 배치되었고, 각 층의 층고는 3.6m로서 전층 동일하게 적용되었다. 횡하중에 대하여 각 부재의 민감도를 분석하기 위해서 내부 골조도 횡하중에 저항하도록 설계하였다. 설계하중은 건축구조설계기준 (KBC2009)에 따라 고정하중 5.0kN/m², 활하중 2.5kN/m²를 적용하였으며, 풍하중은 노풍도 B의 부산지역으로, 지진하중은 지진구역 1에 해당하는 S₁ 지반으로 가정하였으며, 중요도 계수 1.2, 반응 수정계수는 기타 골조에 해당하는 3을 적용하였다. 기둥과 가새 부재의 재료는 SM490을 사용하였고, 보는 SS400을 사용하였다. 다이아그리드 구조 시스템에서는 코너 기둥의 유무가 거동에 영향을 미치기 때문에 코너 기둥을 설치하여 설계를 진행하였다.

또한 본 논문의 목적상 일반적으로 적용되는 변위 제한값은 고려하지 않고 강도 설계를 수행하였으며, 높이가 같은 구조물들은 각 부재별로 같은 물량을 사용하여 설계하였다. 물량 적용은 가새 부재와 내부 기둥 및 보의 경우에는 78.2°의 모뿔 각도를 가지는 구조물을 기준으로, 외부 기둥의 경우에는 38.6°의 모뿔 각도를 가지는 구조물을 기준으로 하여 전체 모델에 최대 요구 물량을 통일하여 설계에 적용하였다.

Table 1 Statistical Property of Variables

Variable	μ	σ	COV (%)
Brace Strength (MPa)	325	32.8	10.10
Inner Column Strength (MPa)	325	32.8	10.10
Conner Column Strength (MPa)	325	32.8	10.10
Girder Strength (MPa)	235	12.4	5.28
Modulus (MPa)	205000	6796	3.30

μ : Mean, σ : Standard deviation

COV : Coefficient of variation (σ/μ)

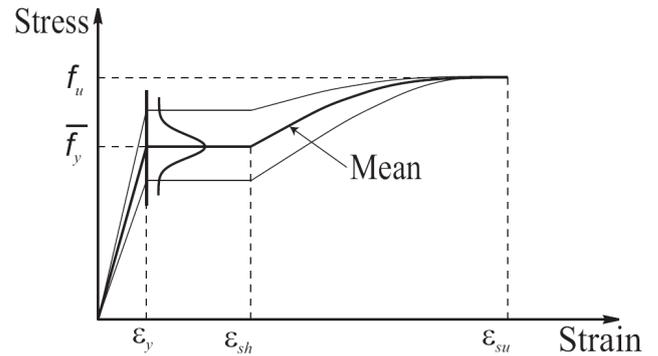


Fig. 4 Probabilistic constitutive model of Steel (Lee and Mosalam, 2006)

3.2 변수의 통계적 특성

본 연구에서는 민감도 해석을 하기 위해 필수적으로 입력 변수들에 대한 통계적 데이터가 존재하여야 한다. 다수의 실험을 통하여 필요한 자료를 수집하는 것이 가장 바람직하나, 수많은 실험에 대한 부담이 과하기 때문에 본 논문에서는 기존 연구자들이 제시한 자료를 바탕으로 입력변수들을 선정하였으며 (Kim et al., 2000a; Kim et al., 2000b), 그 확률변수들의 통계적 특성은 Table 1과 같다. 강재의 항복강도 차이는 Fig. 4와 같이 동일한 변형률에서 탄성계수의 차이로 적용하였으며, 본 논문에서는 부재의 탄성 거동까지만 고려하였다.

4. 민감도 해석 수행 결과

4.1 예비 해석

민감도 해석을 수행하기 전 구조물들의 예비 해석으로 구조물들의 최대 수평 변위와 최대 층간 변위를 분석하였고, 이러한 데이터 값을 Fig. 5, Tables 2와 3에 나타내었다.

층간 변위비는 모든 구조물에서 기준치를 만족하는 것을

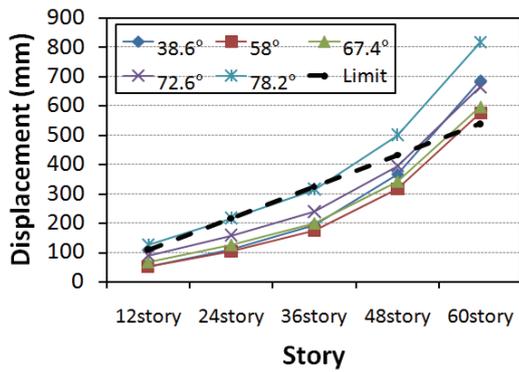


Fig. 5 Maximum Horizontal Displacement

Table 2 Maximum Horizontal Displacement (mm)

Separation	38.6°	58°	67.4°	72.6°	78.2°
12story	50.79	50.60	68.00	89.42	126.54
24story	109.32	102.75	126.75	158.30	217.17
36story	193.52	174.36	199.96	239.34	316.10
48story	366.29	317.39	343.10	394.2	501.35
60story	685.80	576.64	596.82	663.74	817.56

Table 3 Maximum Story Drift Ratio

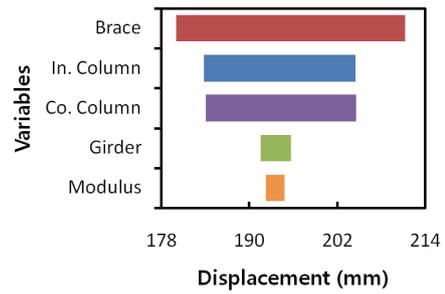
Separation	38.6°	58°	67.4°	72.6°	78.2°
12story	0.0052	0.0056	0.0085	0.0100	0.0143
24story	0.0075	0.0075	0.0100	0.0107	0.0137
36story	0.0089	0.0084	0.0103	0.0108	0.0134
48story	0.0096	0.0086	0.0099	0.0107	0.0137
60story	0.0117	0.0103	0.0110	0.0120	0.0145

확인하였고, 최대 수평 변위는 모든 각도의 60층 구조물과 78.2°의 설치 각도를 가지는 구조물을 제외하고는 거의 대부분 H/400의 최대 허용 변위값을 만족하는 것으로 나타났다. 이는 60층 이상의 다이아그리드 구조물에서는 최대 허용 변위값을 만족하기 위해서는 추가적인 횡저항 시스템의 적용이 필요하다는 것을 의미한다.

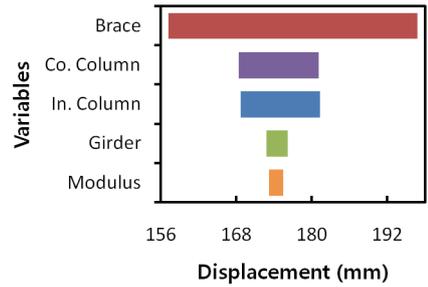
4.2 민감도해석

4.2.1 건물 층수에 따른 모듈 각도별 부재 민감도해석

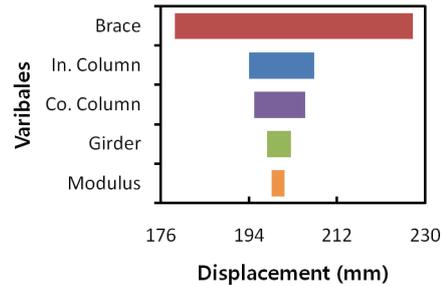
동일한 건물 높이에서 다이아그리드 부재의 모듈 각도에 따른 민감도 해석을 수행하였다. 모두 5개의 건물 높이별 5개의 모듈 각도를 적용하여 해석을 수행하였으며, Fig. 6은 그중 대표적으로 36층 건물의 민감도 해석 결과를 토네이도 다이어그램으로 나타낸 것이다. 다이아그리드 구조물의 코너 기둥의 영향성을 고려하여 기둥은 코너기둥과 내부기둥을



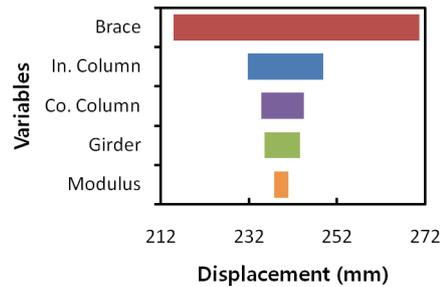
(a) 38.6°



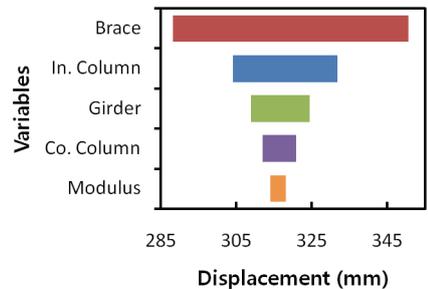
(b) 58°



(c) 67.4°



(d) 72.6°



(e) 78.2°

Fig. 6 36story sensitivity TDA

따로 분리하여 해석하였다.

여기서 각 변수에 의한 스윙값은 변수의 상·하한 입력값에 따른 결과값의 상·하한 값으로 입력 변수의 변화에 따른 절대적인 변위 변화 폭만을 나타낸다. 이러한 절대 변위의 변화폭은 각 높이별 또는 모듈 각도별 민감도의 비교가 곤란하기 때문에, 이 변동폭을 해당 구조물에서 산출된 변위의 평균값으로 나누어 그 값을 비율 (이후 민감도)로서 표현하였으며, 각 건물 높이별 모듈 각도에 따른 민감도의 차이를 비교해, 이를 Fig. 7에 도식적으로 표현하였다.

12층 구조물의 경우 모든 모듈 설치 각도에서 단일 입력

변수로서는 가새의 강도 변화가 가장 큰 민감도를 나타냈고, 모듈 설치 각도 58°의 가새부재 강도가 변수일 때 0.298으로 최댓값을 보였다. 모듈 각도의 변화에 따른 각 변수별 민감도는 가새의 부재의 경우 60°까지 증가하다가 이후 감소하는 경향을 보였으며, 내부기둥과 보의 경우는 정도의 차이는 있으나, 각도가 커지면서 민감도도 함께 증가하였다. 코너기둥은 각도가 증가함에 따라 민감도가 감소하는 경향을 보였다.

24층 구조물도 역시 최대 민감도는 모든 모듈 각도에서 가새 부재로 산정되었으며, 모듈 설치 각도 67.4°에서 0.260으로 나타났다. 내부 기둥은 58°까지 감소하다가 반등하는 모

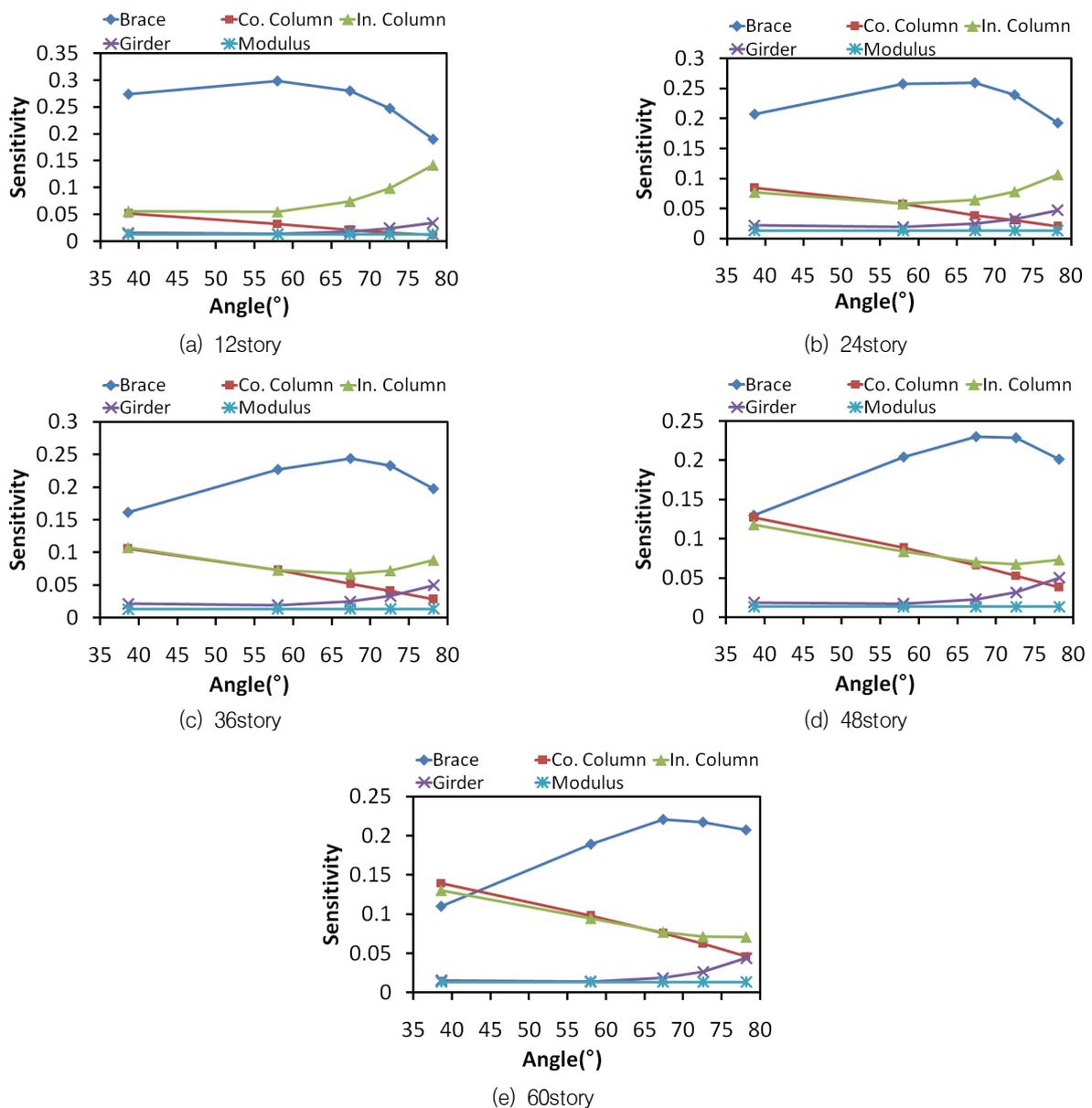


Fig. 7 Sensitivity Curve

습을 보였으며, 코너기둥과 보, 탄성계수의 변화에 따른 민감도는 12층과 같은 경향을 보였다.

36층 구조물에서의 최대 민감도는 67.4°의 가새 부재에서 0.244로 나타났으며, 최대 민감도를 나타내는 각도는 동일하나 24층과 달리 높은 민감도의 분포가 모듈 각도가 큰 쪽으로 이동 한 것을 확인할 수 있었다. 36층 구조물부터는 저 각도에서 가새 부재의 민감도와 기둥 부재의 민감도 차이가 현저히 줄어든 것을 볼 수 있었고, 이는 곧 36층 이상의 건물에서 저 각도의 모듈에서는 가새의 횡변위 제어 능력이 작아진다는 것을 의미한다. 또한 36층 구조물부터는 내부기둥의 민감도도 각도의 증가에 따라 감소하는 경향성을 띄기 시작하였다.

48층과 60층 구조물에서도 36층 구조물에서 나타났던 경향이 그대로 나타났으며, 건물이 고층화될수록 고 각도의 모듈 설치에서 가새의 횡변위 제어 영향력이 점점 더 증가하였고, 저 각도에서는 가새의 민감도가 기둥의 민감도에 역전되는 현상도 확인할 수 있었다. 민감도 해석에서는 민감도가 클수록 결과값에 대한 영향력이 크다는 것을 의미하므로, 각 구조물의 높이별 입력변수의 민감도 해석을 수행함으로써, 가새 부재가 횡변위 제어에 가장 큰 영향력을 미치는 각도가 58°~72°사이임을 알 수 있었다. 또한 모든 민감도 분석에서 하한값 ($\mu - 2\sigma$)을 입력한 경우가 상한값 ($\mu + 2\sigma$)을 입력

한 경우보다 스윙의 폭이 크게 나타났는데, 이는 곧, 모든 부재에서 똑같은 수준의 강도를 보강하여 얻는 횡적 거동의 이점보다 강도가 저하되어 발생하는 구조적 손실이 더 크다는 것을 의미한다.

4.2.2 동일 각도에서 건물의 높이에 따른 민감도 해석

민감도 해석을 통해 같은 모듈 각도에서 구조물의 층수를 변경하면서 민감도의 변화를 살펴보았다. Fig. 8(a)에서 모듈 각도 38.6° 모델은 건물의 층수가 커질수록 가새의 민감도는 감소하고 내부기둥과 코너기둥의 민감도는 거의 동일하게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 곧, 작은 각도의 가새 부재는 저층 구조물로 갈수록 그 영향력이 커지므로 횡거동 제어에 적합하다고 할 수 있다. 이러한 경향은 모듈 각도가 점점 증가함에 따라 각 높이에서 가새부재의 민감도가 점차 비슷해지는 것으로 나타났으며, 이는 가새부재가 구조물의 횡거동에 미치는 영향력이 거의 동일함을 의미한다. 하지만 가새부재의 영향력이 거의 동일하다고 해도 이것이 구조물의 횡거동이 동일하다는 뜻은 아니며, 가새 부재를 제외한 나머지 부재의 횡거동 제어 영향력에 따라 구조물의 변위가 달라지게 된다.

민감도 해석 과정에서 두 가지 이상의 변수를 동시에 입력하였을 경우, 각각의 민감도를 단순합 한 값과 거의 유사한

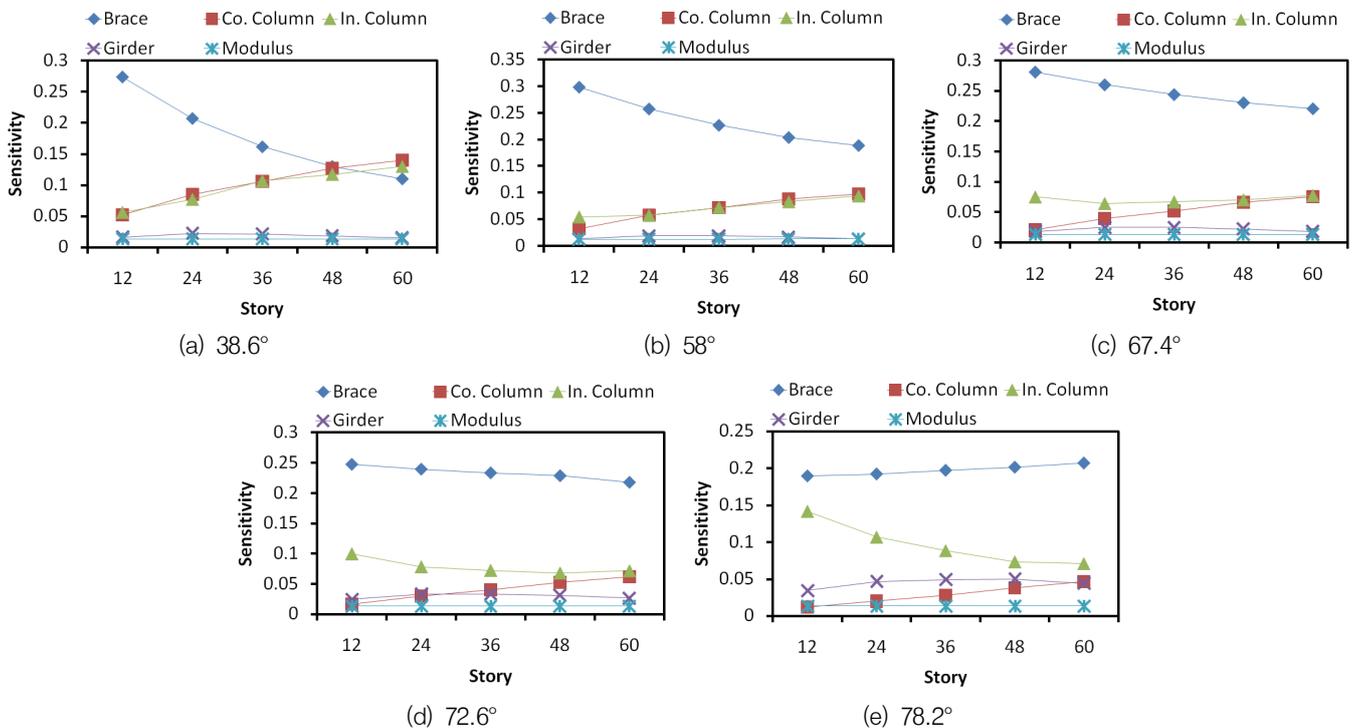


Fig. 8 Sensitivity trend in same angle

Table 4 Relation of Sensitivity and EDP

Separation		38.6°	58°	67.4°	72.6°	78.2°
12 story	sensitivity	0.382	0.386	0.376	0.363	0.343
	displacement (mm)	50.79	50.60	68.00	89.42	126.54
24 story	sensitivity	0.369	0.374	0.363	0.347	0.319
	displacement (mm)	109.32	102.75	126.75	158.30	217.17
36 story	sensitivity	0.374	0.373	0.362	0.346	0.314
	displacement (mm)	193.52	174.36	199.96	239.34	316.10
48 story	sensitivity	0.374	0.376	0.366	0.349	0.312
	displacement (mm)	366.29	317.39	343.10	394.2	501.35
60 story	sensitivity	0.379	0.382	0.373	0.351	0.324
	displacement (mm)	685.80	576.64	596.82	663.74	817.56

민감도 값을 도출할 수 있었다. 이러한 특성을 적용하여 Table 4에서 각 부재의 민감도를 단순한 한 값이 큰 순서대로 횡변위가 작게 나타나는 것을 알 수 있었다.

4.2.3 구간별 민감도 해석

앞에서 동일 높이의 건물에서 각도의 변화, 동일 각도에서 건물 높이의 변화에 따른 민감도 해석을 수행하였다. 하지만 이는 구조물 전체의 각 부재에 동일하게 상·하한값을 입력한 것으로, 각 구조물의 어느 높이에서 부재의 변화가 횡거동에 가장 큰 영향을 미치는지 분석하기가 곤란하다. 따라서 각 구간별로 수직부재의 민감도 해석을 수행함으로써 모듈 설치 각도에 따른 구간별 민감도를 분석해 보고, 이를 토대

로 강도 보강시 가장 큰 효과가 나타날 것으로 예상되는 지점을 산정해보았다. 모든 구조물을 12개의 동일한 구간으로 분할하여 각 구간별 민감도 해석을 수행하였다. Fig. 9는 12층부터 60층까지의 67.4°각도에 대한 구간별 민감도 해석을 나타내고 있으며, 각 구간별 민감도는 저층부에서 비슷한 값을 나타내다가 높이가 높아짐에 따라 저층부의 민감도가 커지는 양상을 나타냈다. 각 모델의 구간별 민감도 분배는 Fig. 10과 같고 각 모델별 최대 구간 민감도의 위치는 Table 5에 표시한 바와 같다.

지진하중에 의한 영향력이 더 큰 12층과 24층, 36층 구조물의 경우, Fig. 10(a)에서 보이는 바와 같이 12층 구조물은 모든 모듈 각도에서 항상 0.58h (7층) 위치에서 최대 민감도가 산출되었으며, 최대 민감도와 전 구간 민감도값 평균과의 배율이 1.44~1.57로 비교적 고른 구간별 민감도 분포를 나타내었다.

24층 구조물의 경우에는 12층 구조물보다 약간 높은 위치인 0.83h (19~20층)에서 가장 큰 민감도 값이 산출되었으며, 최대 민감도와 전 구간 민감도 평균값의 배율이 1.16~1.43으로 나타났다. 이는 상층부의 부재 사용량이 적다는 것을 고려하면, 구조물의 횡변위 제어에 있어서 하층부보다 상층부의 강도 보강이 더 효과적임을 의미한다. 이러한 결과에 따라, 일반적으로는 저층부의 구조 골조가 횡변위 제어에 더 큰 영향력을 발휘하기 때문에 구조보강이 저층부에 집중되

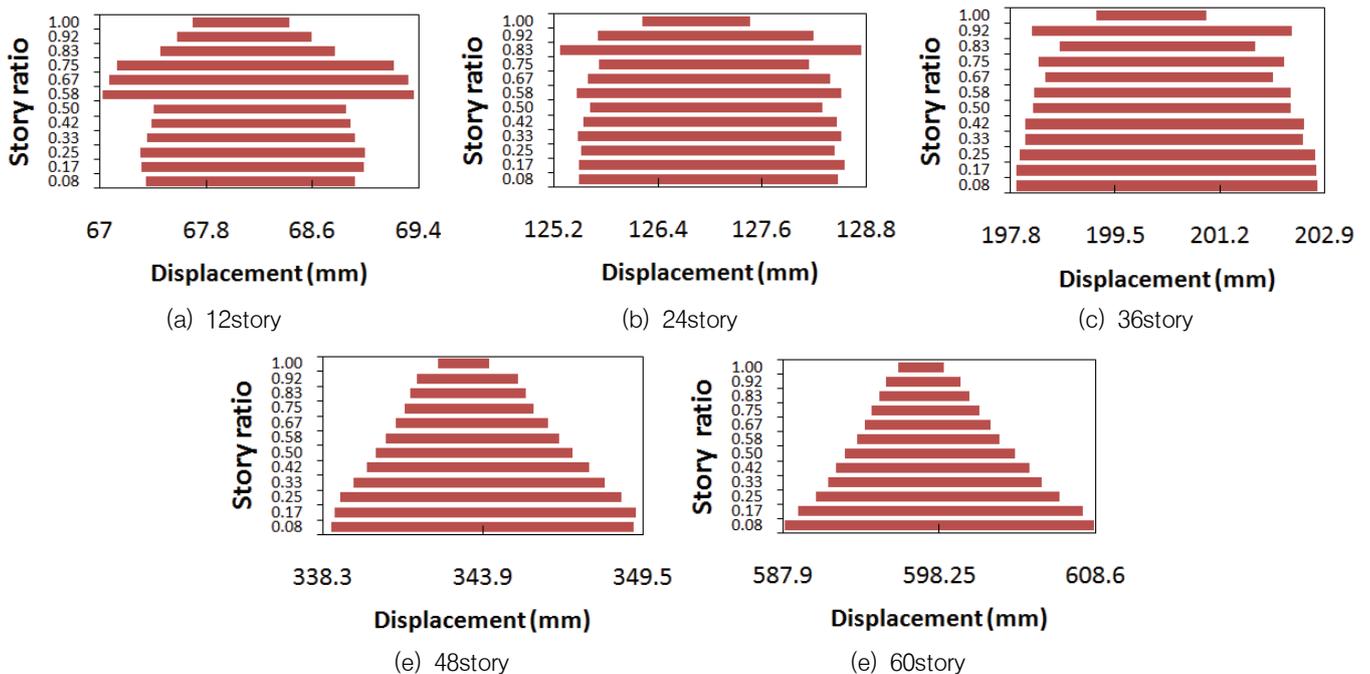
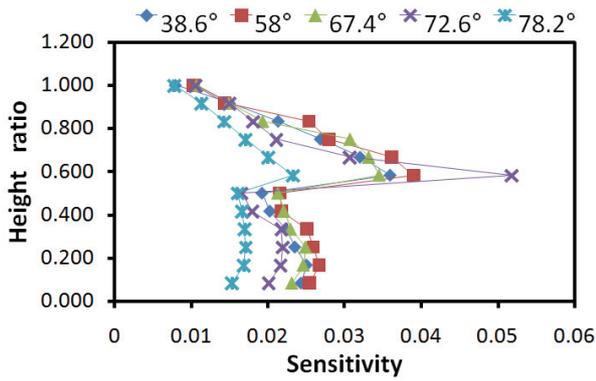
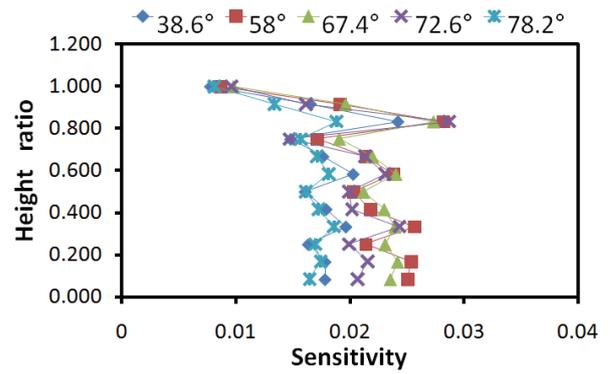


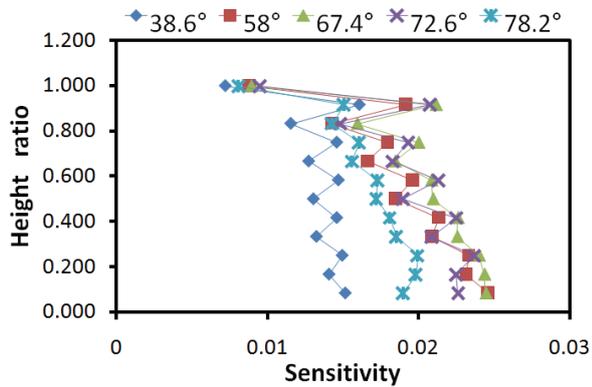
Fig. 9 67.4° section sensitivity



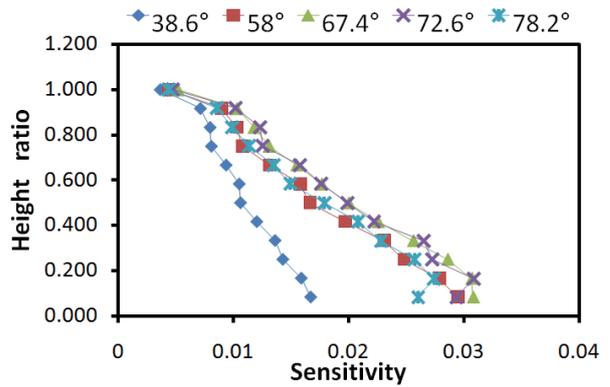
(a) 12story



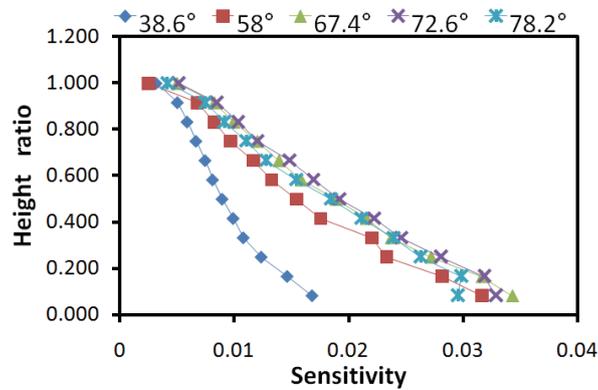
(b) 24story



(c) 36story



(d) 48story



(e) 60story

Fig. 10 Section Sensitivity

Table 10 Location of Maximum Sensitivity Section

Separation	38.6°	58°	67.4°	72.6°	78.2°
12story	0.58h	0.58h	0.58h	0.58h	0.58h
24story	0.83h	0.83h	0.83h	0.83h	0.83h
36story	0.92h	0.08h	0.08h	0.25h	0.17h
48story	0.08h	0.08h	0.08h	0.17h	0.17h
60story	0.08h	0.08h	0.08h	0.08h	0.17h

h : height of structure (m)

는 경향이 있으나, 다이아그리드 구조시스템이 적용된 중층의 구조물은 오히려 저층부보다는 상층부 구조부재의 강도를 보강하는 것이 횡변위 제어에 더 큰 이점이 있을 것이라 판단된다.

36층 구조물은 모듈 각도에 따라 최대 민감도의 위치가 가장 변동이 심하게 나타났으나, 38.6°의 각도를 제외하고는 대체적으로 저층부에 최대 민감도가 나타난 것을 확인할 수 있었다. 36층 구조물의 최대 민감도와 전 구간 민감도 평균

값의 배율은 1.19~1.29로 모든 높이에서 가장 작게 나타났다. 이는 구조물 전반적으로 가장 구간별 민감도가 대등하게 산정되었다는 것을 의미하며, 이는 다시 36층 구조물의 경우에 가새의 횡제어 능력이 전층에 골고루 분배된다는 것을 의미한다.

48층과 60층 구조물의 경우에는 대부분의 각도에서 가장 하부층에 나타났고, 최대 민감도와 전 구간 민감도 평균값의 배율이 각각 1.59~1.72, 1.71~1.99로 최대 민감도가 월등히 큰 값을 나타내었다. 구간별 민감도의 분포 모양도 구간별로 비슷한 분배 양상을 보였던 중층 구조물과는 달리 높이에 따른 민감도의 차이가 확연하게 나타났고, 고층 구조물에서는 모듈 각도가 커짐에 따라 최대 민감도 구간이 약간 상승하는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 토네이도 다이어그램 해석방법을 이용하여, 12층 단위로 증가 하는 총 5개 높이의 구조물에서 가새 부재의 설치 각도변화에 따른 횡적거동에 대한 민감도 해석을 수행하였다. 이러한 해석 연구에 의한 본 논문의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 가새부재가 가장 큰 민감도값을 나타낸 설치각도는 12층과 24층 구조물의 경우 58°였으며, 36층과 48층, 60층 구조물의 경우 67.4°로 기존 연구의 최적 가새부재 설치 각도와 유사한 경향을 나타냈다. 이에 따라 민감도 해석법이 구조물의 횡적 거동 해석에 유효하다는 것이 입증되었다.
- (2) 구조물의 높이를 동일하게 적용 하였을 때, 대부분의 모델에서 가새부재의 항복강도가 가장 큰 민감도 값을 나타내 다이어그립 구조물 설계시 가장 주요한 설계 변수로 판별되었고, 그 값은 평균적으로 전체 설계변수를 입력한 민감도 총합의 약 54.45%를 차지하였다.
- (3) 민감도 해석에서 전체 설계변수를 동시에 적용하였을 때의 민감도값과 단일 설계변수를 개별로 적용하여 산출된 민감도 값의 합은 거의 일치 하였다. 또한, 부재별 민감도 합이 클수록 구조물 전체의 횡변위가 작아졌다.
- (4) 12층 구조물의 경우에는 전체 구조물의 0.58h 높이에서 가장 큰 구간 민감도값이 산출 되었으며, 24층 구조물의 경우 전체 구조물의 0.83h 높이에서 최대 구간

민감도값이 산출 되었다. 36층은 모듈 설치 각도에 따라 최대 구간 민감도 위치가 큰 변동을 보였으나, 이는 전 구간의 민감도 값이 가장 균등하게 분배 되어 발생한 현상으로, 각 구간의 최대 민감도 값은 전구간 민감도 값 평균치의 1.19~1.29배로 가장 작게 나타났다. 48층과 60층 구조물의 경우는 0.08h 높이에서 최대 민감도값이 산출되었으며, 저층부에서 고층부로 갈수록 민감도 폭이 급격히 좁아지는 모양을 나타냈다. 이에 따라 각 모델별 최대 민감도 구간을 보장할 때 가장 효과적인 것으로 판단된다.

References

1. Architectural Institute of Korea (2009), Korean Building Code (in Korean).
2. Kim, J. R., Kim, S. B., Park, Y. H., Jung, W. G. (2000), A Statistical Study on the Mechanical Properties and Chemical Components of Rolled Steels for General Structure, SS400, *Proceeding of Architectural Institute of Korea*, 20(1), 229-232 (in Korean).
3. Kim, J. R., Kim, S. B., Park, Y. H., Jung, W. G. (2000), A Statistical Study on the Mechanical Properties and Chemical Components of Rolled Steels for Welded Structure, SM490, *Journal of Architectural Institute of Korea*, 16(11), 3-10 (in Korean).
4. Lee, D. K., Shin, S. M. (2008), Formulations of Sensitivity Analysis for Topological Optimum Modelings, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection*, 12(6), 241-248 (in Korean).
5. Lee, T. H., Mosalam, K. M. (2006), Probabilistic Seismic Evaluation of Reinforced Concrete Structural Components and Systems, *PEER Technical Report 2006/04*, University of California, Berkeley.
6. MIDAS GEN ANALYSIS AND DESIGN (2013), Ver. 800.
7. Moon, K. S., Connor, J. J., and Fernandez, J. E. (2007), Diagrid Structural Systems for Tall Buildings: Characteristics and Methodology for Preliminary Design, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, John Wiley & Sons, Ltd, 16(2), 205-230.
8. Park, J. H., Kim, J. K., Lee, T. H. (2008), Sensitivity Analysis of Steel Frames Subjected to Progressive Collapse, *Journal of Computational Structural Engineering Institute of Korea*, 21(3), 211-216 (in Korean).
9. Yang, Y. S., Seo, Y. S., Lee, J. O. (2006), Structural Reliability Engineering, A Publishing Department of Seoul National University (in Korean).

Received : 07/25/2014
 Revised : 09/12/2014
 Accepted : 12/17/2014

요 지

지진하중·풍하중 등에 의한 횡적 거동 분석시, 민감도 해석은 구조 모델의 입력변수의 변화에 따른 횡적 거동의 특성을 분석하고 그에 따른 상대적 주요 변수를 찾는 것을 목적으로 한다. 따라서 민감도 해석은 건축물의 구조 진단과 보수 보강 분야에서 특히 중요하다. 본 논문에서는 동일한 높이에서 다이아그리드 가새부재의 설치 각도를 변화 시키면서 TDA이론을 적용한 선형정적 해석법으로 민감도 해석을 수행하였다. 지진하중의 영향이 큰 중층 건축물에서는 모듈의 설치 각도가 58°일 때 가새부재가 가장 주요한 변수로 판별되었고, 풍하중의 영향이 큰 고층 건축물에서는 모듈의 설치 각도가 67.4°일 경우 가새부재가 가장 주요한 변수로 판별되어 시스템 적용의 효율성을 입증하였다. 또한 구간별 민감도는 12층에서 36층 모델의 경우 중상층부에서 가장 크게 나타났으며, 고층 건축물의 경우 하부에서 가장 큰 민감도값이 산출되었다.

핵심 용어 : 민감도 해석, 다이아그리드 구조, 횡적 거동, 토네이도 다이어그램
