

내풍설계된 초고층 철골대각가새골조의 내진성능평가

Seismic Performance Evaluation of Wind-Designed High-rise Steel Diagrid Frames

김 선 응* · 김 종 호** · 김 태 진*** · 강 대 언****
Kim, Seonwoong · Kim, Jong-Ho · Kim, Taejin · Kang, Dae-Eon

1)

요 약

본 논문에서는 강풍대이면서 중/약진대에 위치하는 초고층건물에 내습할 수 있는 잠재적 지진에 대하여 다양한 지반조건에 따른 응답스펙트럼해석과 내진성능평가를 수행하였다. 국내와 같이 강풍대에 위치하면서 중약진대에 속하는 지진환경하에서 세장비 5.2이상의 초고층 철골대각가새골조는 10%/50년 재현주기 지진동에 대해서는 탄성저항가능성을 나타내었고, 세장비 6.9이상의 초고층 철골대각가새골조는 2%/50년 재현주기 지진동에 대해서도 탄성적으로 저항할 수 있음을 보여주었다.

keywords : 초고층건물, 내풍설계, 대각가새골조, 지반조건, 내진성능평가

1. 서 론

일반적으로 구조설계 실무엔지니어들은 초고층건물의 내진설계시에 풍하중과 지진하중의 겹보기 크기만을 비교하여 내진설계를 검토하지 않거나 상세검토를 생략한다. 초고층건물은 소위 비정의시스템으로서 중저층건물을 대상으로 하는 기존의 내진설계철학을 그대로 초고층건물의 내진설계에 적용하는 것은 문제가 있다. 최근에 미국을 중심으로 하여 초고층건물의 내진설계에 대한 이러한 문제점을 인식하고 중저층건물과는 구별된 새로운 가이드라인(CTBUH, 2008; LATBSDC, 2008; PEER, 2010)이 제시되고 있다. 본 연구에서는 다양한 지반조건하에서의 초고층건물의 내진성능을 평가하고자 한다.

2. 초고층 철골대각가새골조의 내풍설계

본 장에서는 초고층 철골대각가새골조의 내진성능평가를 위해서 KBC2009(대한건축학회, 2009)에 근거하여 초고층 철골대각가새골조를 내풍설계하였다. 초고층 철골대각가새골조는 세장비(건물의 높이/건물의 폭)가 5.2~6.9 범위를 갖도록 한계상태설계법을 적용하여 내풍설계를 수행하였다(그림 1 참조). Moon 등(2007)이 제시하고 있는 대각가새의 단면산정을 위한 (1)식과 (2)식의 근사식을 각각 사용하여 대각가새부재의 단면적을 산정하였다(표 1 참조).

* 책임저자 · (주)창민우구조 컨설턴트 부설건설기술연구소 연구실장 corea13@snu.ac.kr
** (주)창민우구조 컨설턴트 대표이사 jhkim@minwoo21.com
*** (주)창민우구조 컨설턴트 본부장 taejin@minwoo21.com
**** (주)창민우구조 컨설턴트 부설건설기술연구소 소장 kde0898@minwoo21.com

웹골조의 대각가새부재의 단면적:

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

플랜지골조의 대각가새부재의 단면적:

$$A_{d,f} = \frac{2ML_d}{(N_{d,f} + \delta_d)w^2E_d\chi^*h\sin^2\theta} \quad (2)$$

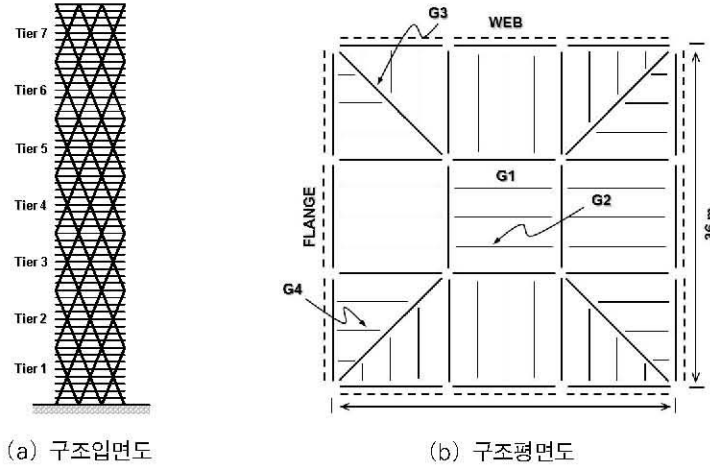


그림 1 초고층 철골대각가새골조의 구조입면도 및 구조평면도(세장비 6.1일 경우)

표 1 대각가새부재의 사이즈

세장비	Tier	소요 단면적(cm ²)		단 면	폭-두께비	설계 단면적(cm ²)	단면증가율(%)	
		웹	플랜지				웹	플랜지
5.2	6	241.14	58.61	□-345×345×20	15.25	260.00	7.82	343.63
	5	485.81	230.61	□-480×480×27	15.78	489.24	0.71	112.15
	4	715.81	509.73	□-580×580×33	15.58	722.04	0.87	41.65
	3	928.63	888.73	□-665×665×37	15.97	929.44	0.09	4.58
	2	1,119.92	1,358.83	□-820×820×44	16.64	1,365.76	21.95	0.51
	1	1,282.04	1,908.26	□-970×970×52	16.65	1,909.44	48.94	0.06
6.1	7	344.67	70.04	□-400×400×23	15.39	346.84	0.63	395.19
	6	697.19	276.31	□-565×565×33	15.12	702.24	0.72	154.15
	5	1,032.46	612.54	□-690×690×40	15.25	1,040.00	0.73	69.78
	4	1,348.20	1,071.75	□-815×815×44	16.52	1,356.96	0.65	26.61
	3	1,641.06	1,645.85	□-890×890×49	16.16	1,648.36	0.44	0.15
	2	1,905.24	2,325.07	□-1,065×1,065×58	16.36	2,336.24	22.62	0.48
6.9	8	463.42	83.85	□-460×460×27	15.04	467.64	0.91	457.69
	7	940.17	331.40	□-660×660×38	15.37	945.44	0.56	185.28
	6	1,397.17	736.23	□-825×825×45	16.33	1,404.00	0.49	90.70
	5	1,832.34	1,291.30	□-950×950×51	16.63	1,833.96	0.09	42.02
	4	2,242.80	1,988.70	□-1,045×1,045×57	16.33	2,252.64	0.44	13.27
	3	2,624.32	2,819.35	□-1,185×1,185×63	16.81	2,827.44	7.74	0.29
	2	2,969.55	3,772.20	□-1,365×1,365×73	16.70	3,772.64	27.04	0.01
	1	3,265.64	4,832.48	□-1,540×1,540×83	16.55	4,837.24	48.13	0.10

3. 응답스펙트럼해석에 의한 내진성능평가

본 장에서는 내풍설계된 철골대각가새골조의 탄성내진설계 가능성 및 내진성능을 응답스펙트럼을 통해 얻어진 결과를 사용하여 FEMA 356(FEMA, 2000)에 근거한 (3)식에 의해 평가하였다. (3)식의 DCR을 만족하는 부재는 탄성영역에, (3)식의 DCR값이 1.0을 초과하는 부재는 비탄성영역에 있는 것이다. 그림 2는 단단한 토사지반에서 세장비에 따른 초고층 철골대각가새골조의 DCR분포를 도시한 것이다.

$$DCR = \text{strength demand} / \text{strength capacity} \leq 1.0 \quad (3)$$

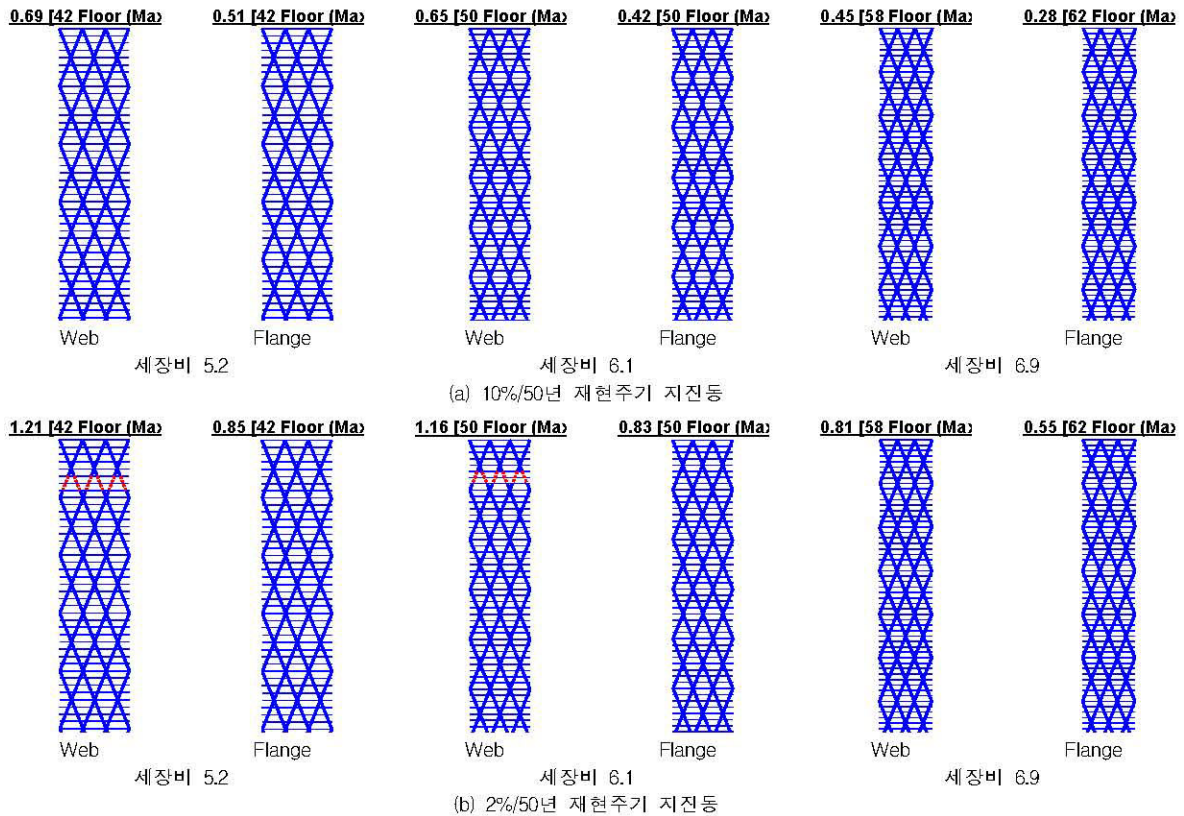


그림 2 응답스펙트럼해석에 의한 S_D 지반에서의 DCR의 분포(이하 —: 탄성부재, ...: 비탄성부재)

FEMA 356(FEMA, 2000)은 특정입력지진동에 대한 저항성능수준을 즉시거주, 인명안전, 그리고 붕괴방지 수준으로 분류하여 내진성능을 평가하도록 하고 있다. FEMA 356은 10%/50년 재현주기 지진동에 대해서는 인명안전을 2%/50년 재현주기 지진동에 대해서는 붕괴방지를 기본안전목표를 설정하고 있다. 아울러 선형해석을 통해 얻어진 결과에 대해서는 (4)식의 m -계수를 사용하여 부재단위에서 변위지배부재와 하중지배부재로 구분하여 내진성능을 평가한다.

$$m = DCR / \kappa \quad (4)$$

표 2는 응답스펙트럼해석을 통해 얻어진 단단한 토사지반에서의 초고층 철골대각가새골조의 부재수준의 내진성능수준을 정리한 것이다. 단단한 토사지반에서의 초고층 철골대각가새골조는 10%/50년과 2%/50년 재

현주기 지진동에 대해서 모두 즉시거주수준을 나타내었다.

표 2 응답스펙트럼해석에 의한 S_D 지반에서의 부재수준의 내진성능평가

세장비	10%/50년 재현주기 지진동						2%/50년 재현주기 지진동					
	웹브골조			플랜지골조			웹브골조			플랜지골조		
	최대 m-계수	성능평가 수준	비고	최대 m-계수	성능평가 수준	비고	최대 m-계수	성능평가 수준	비고	최대 m-계수	성능평가 수준	비고
5.2	0.69	IO	42층	0.51	IO	42층	1.21	IO	42층	0.85	IO	42층
6.1	0.65	IO	50층	0.42	IO	50층	1.16	IO	50층	0.83	IO	50층
6.9	0.45	IO	58층	0.28	IO	62층	0.81	IO	58층	0.55	IO	62층

4. 요약 및 결론

(1) 초고층건물은 사용성조건을 만족시키는 내풍설계과정에서 상당한 시스템 초과강도가 유입됨을 확인할 수 있었고, 이러한 시스템 초과강도 등으로 인하여 강풍대이면서 중약진대 위치하는 국내의 지진환경하에서 초고층 철골대각가새골조는 반응수정계수를 1로서 간주하는 탄성내진설계의 가능성을 확인하였다.

(2) 세장비 5.2 이상의 초고층 철골대각가새골조는 10%/50년 재현주기 지진동에 대해서는 다양한 지반조건에 상관없이 모두 탄성저항할 수 있음을 알 수 있었다. 2%/50년 재현주기 지진동 조차도 세장비 6.9 이상의 모델은 지반조건에 관계없이 탄성설계가 가능함을 보여주었다.

(3) FEMA 356에 의할 때, 10%/50년 재현주기 지진동에 대해서 세장비 5.2 이상의 모델은 다양한 지반조건에서 모두 즉시거주수준을 나타내었고, 2%/50년 재현주기 지진동에 대해서는 세장비 6.9 이상의 모델이 지반조건에 관계없이 즉시거주수준을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비 지원(과제번호 #09 첨단도시 A01)에 의해 수행되었으며, 연구비 지원에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- 대한건축학회 (2009) 건축구조기준 및 해설, 대한건축학회.
- Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH) (2008) Recommendations for the Seismic Design of Highrise Buildings, CTBUH.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) (2000) Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 356), FEMA.
- Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council (LATBSDC) (2008) An alternative procedure for seismic analysis and design of tall buildings located in the Los Angeles region consensus document, LATBSDC.
- Moon, S., 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, pp.205~230.
- Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) (2010) Tall Building Initiative Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings, PEER.