

비틀림 비정형성을 가진 RC 건물의 설계편심

Design Eccentricity of RC Building Structures with Torsional Irregularity

이 한 선* 고 동 우**

Lee, Han Seon, Ko Dong Woo

ABSTRACT

Recently, many high-rise reinforced concrete (RC) bearing wall structures of multiple occupancy have been constructed, which have the irregularities of weak (or soft) story and torsion at the lower stories simultaneously. The study compared the eccentricity of such a building predicted by design codes, EC 8, IBC 2000 and UBC 97, and by the test results through a series of shaking table tests of 1:12 model. Based on the comparison of the predicted eccentricity and the test result, the conclusions are drawn as follow: Accidental torsion due to the uncertainty on the properties of structure can be reasonably predicted by using the dynamic analysis with the center of mass being shifted by 5 percent of the dimension of the building perpendicular to the direction of the excitations than by using equivalent lateral force procedure

1. 서론

최근 20년간 우리나라에서는 대도시 지역에서 신축건물을 위한 대지부족과 대지의 효율적인 활용을 위해 상하층에 다른 용도를 가진 복합용도의 건물 건설이 빈번해지고 있다. 이와 같은 복합용도 건물의 가장 보편적인 구조시스템으로서, 저층부는 주차장, 정원 혹은 개방공간으로 하거나 상업공간으로 활용하기 위하여, 보와 기둥을 사용한 골조형식으로 하고, 상층부는 아파트용도로서 가장 보편적으로 사용되는 내력벽형식의 구조시스템을 사용하고 있다. 강한 지진이 발생할 경우, 이러한 구조형식을 가진 건물은 수직비정형성을 띠므로 저층부에 연층(soft story)과 약층(weak story) 현상이 발생하고, 동시에 수평비정형으로 인한 강한 비틀림 거동이 발생한다. 본 논문에서는 이와 같은 건물을 EC 8과 IBC 2000에 따라 설계할 때 고려하는 우발편심 거리와 1/12축소 진동대 실험을 통해 구한 편심거리를 비교함으로써 설계 시 적용하는 우발비틀림의 적합성에 관해 연구하였다.

2. 우발비틀림의 의의와 설계기법

A.K.Chopra⁽¹⁾에 따르면, 구조물이 대칭일지라도 1) 구조물의 재료상, 시공상 불확실성 때문에 완벽한 대칭을 이룰 수 없으므로 발생하는 비틀림과 2) 지반운동에 회전성분이 포함되는 경우 발생하는 비틀림이 발생한다고 하였다. 기준에서도 이와 같은 우발비틀림을 구조설계에 반영하기 위한 방법들을 제시하고 있다. 본 연구에서는 1방향 진동대 실험을 수행하여 구조물에 작용하는 비틀림 거동을 파악함으로써 구조물의 불확실성으로 인해 발생하는 우

* 고려대학교 건축공학과 교수, 정회원,

** 고려대학교 건축공학과 박사과정, 정회원

발편심거리가 어느 정도 인지 파악하고 기준에서 제시하는 방법에 따라 구한 우발편심거리와 비교하였다.

그림 1과 같은 대상건물에 대해 IBC 2000⁽²⁾과 EC 8⁽³⁾에서 정적해석 시 우발비틀림을 고려하는 방법으로 제시하는 절차에 따라 해석하여 구한 저항중심 범위와 UBC 97⁽⁴⁾에서 동적해석 시 우발비틀림을 고려하는 방법으로 제시한 방법에 따라 해석하여 구한 저항중심 범위를 실험으로부터 구한 저항중심의 범위와 비교함으로써 기준에 따른 우발비틀림 적용방법의 적합성을 파악하였다.

실험결과로서 나타내는 비틀림 모멘트는 그림 2(a)와 같이 모두 질량 중심에 작용하는 것으로 표현된 것이다. 그러나, 강성중심을 기준으로 한 비틀림 모멘트의 표현이 보다 이해가 쉬울 수 있어 이들의 차이를 그림 2(b)에서 표현하였다. 즉, M_T 로 인해 추가적으로 발생하는 편심거리를 e_a 라고 하고, 강성중심(CK)에서 질량중심까지의 거리를 강성편심 e_k 라고 하며, 강성중심을 기준으로 했을 때의 비틀림 모멘트편심은 $e_d (= e_k + e_a)$ 로 나타낼 수 있다. 여기서 강성중심은 구조물에 대한 등가정적해석을 수행하여 구한 각 하부골조의 강성으로부터 구하였으며, 강성편심거리 e_k 는 -4.48 m이다.

IBC 2000⁽²⁾에서는 등가정적해석 시 이와 같은 e_d 를 강성편심에 의한 비틀림 모멘트 M_t 와 우발비틀림 모멘트 M_{ul} 의 합에 식 (1)과 같이 구한 비틀림 증폭계수 A_x 를 곱하여 동적거동 시 발생하는 비틀림 증폭현상을 고려하도록 하고 있다. 단, 우발편심이 강성편심거리를 축소시키는 방향으로 작용할 때는 증폭계수를 적용하지 않는다. 대상 건물의 증폭계수는 다음과 같다.

$$A_x = \left(\frac{\delta_{\max}}{1.2\delta_{\text{avg}}} \right)^2 = (1.33)^2 = 1.78 \leq 3.0 \quad (1)$$

이를 이용하여 우발편심의 적용방향에 따라 전체비틀림 편심거리는 각각 다음과 같이 구한다.

$$e_d = (e_k + e_a) \times A_x = (4.48 + 0.6) \times 1.78 = 9.04 \text{ m} \quad (2)$$

$$e_d = (e_k - e_a) = (4.48 - 0.6) = 3.88 \text{ m} \quad (3)$$

여기서 e_{ac} 는 우발편심거리를 나타낸다. 지진력과 평행한 방향으로의 밀면전단저항력의 합력중심과 질량중심과의 거리를 저항중심거리 e_r 이라고 하면 식 (2)와 (3)의 e_d 에 대해 e_r 은 각각 0.68 m, -2.26 m로 나타낸다. 이때 (+)부호는 질량중심을 기준으로 상향일 때, (-)부호는 하향일 때를 뜻한다.

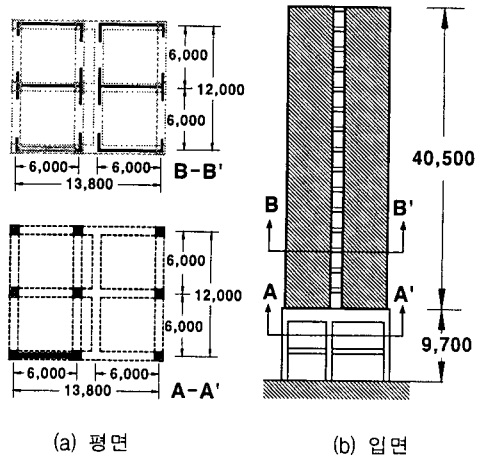


그림 1 대상구조물의 평면, 입면 (단위 : mm)

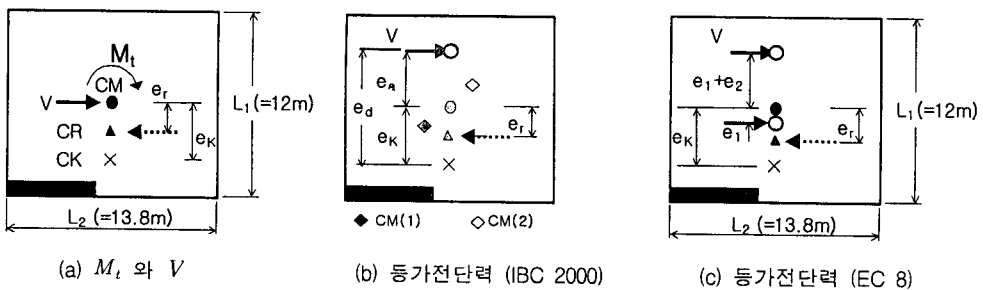


그림 2 편심거리와 정의

또한 EC 8⁽³⁾에 따라 우발편심거리를 구할 때, 구조물의 평면상 거리 L_1, L_2 , 비틀림 강성과 병진운동 강성의 비(r)를 고려하여 다음과 같이 우발편심거리를 구하였다.

$$e_d = e_k + e_1 + e_2 = 7.66 \text{ m} \quad (4)$$

$$e_d = e_k - e_1 = 3.88 \text{ m} \quad (5)$$

여기서, e_1 은 지진방향에 수직인 건물길이의 5%로서 $e_1 = 0.6\text{m}$ 이며, e_2 는 아래의 식 (6)과 식 (7)로부터 구한 값 중에서 작은 값 ($e_2 = 2.58$)을 취하였다.

$$e_2 = 0.10 (L_1 + L_2) \left(10 \frac{e_0}{L_1} \right)^{1/2} \leq 0.10 (L_1 + L_2) \quad (6)$$

$$= 0.10 (12 + 13.8) \left(10 \frac{4.48}{12} \right)^{1/2} = 4.985 \text{ m} > 0.10 (12+13.8) = 2.58 \text{ m}$$

$$e_2 = \frac{1}{2e_0} (l_k^2 - e_k^2 - r^2 + \sqrt{(l_k^2 + e_k^2 - r^2)^2 + 4e_k^2 r^2}) = 5.43 \text{ m} \quad (7)$$

$$l_k^2 = (L_1^2 + L_2^2)/12 = (12^2 + 13.8^2)/12 = 27.87$$

$$r^2 = (K_{Torr}/K_{Parallel})^2 = (11.6)^2 = 135$$

여기서, $r^2 = 135 < 5(l_k^2 + e_0^2) = 5(27.87 + 4.48^2) = 239$ 이므로 우발비틀림을 고려해야 한다.

이로부터 저항중심 e_r 을 구하면, 식 (4)와 식 (5)에 대해 각각 -0.10 m와 -2.26 m로 나타났고, 이때 (+)부호는 질량중심은 중심으로 상향일 때, (-)부호는 하향일 때를 의미한다.

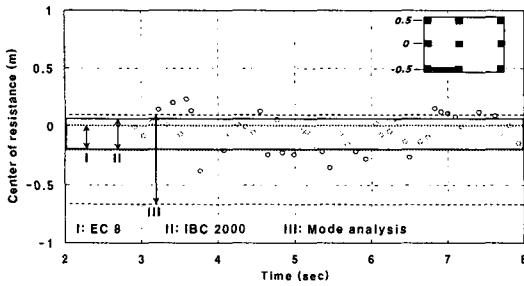
또한 UBC 97⁽⁴⁾은 동적해석 시 질량중심의 위치를 지진방향과 수직인 건물길이의 5%만큼 이동시켜 각 층마다 4가지 모델을 수립하여 우발편심을 고려하도록 하고 있다. 이 중 가장 지배적인 질량중심이 그림 2(b)에 CM(1)과 CM(2)로 주어져 있으며 그에 대한 결과를 상사성에 따라 축소하여 표 1에서 보여주고 있다. 표 1은 각 해석법에 따라 구한 저항중심을 상사성에 따라 축소한 값으로서 저항중심의 폭은 EC 8에 따라 우발비틀림을 고려하여 구한 저항중심의 폭이 -0.187 m ~ -0.008 m 로 가장 작고, IBC 2000에 따라 우발비틀림을 고려한 경우 -0.187 m ~ + 0.057 m 이며, 질량중심을 이동시켜 동적해석을 수행한 결과로부터 구한 저항중심의 폭은 -0.643 m ~ +0.076 m 로 가장 큰 폭을 나타내었다.

표 1 편심거리의 비교 (단위 : m)

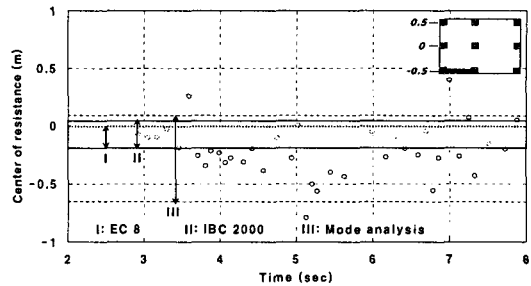
	Static Analysis				Dynamic Analysis			
	EC 8		IBC 2000		Translational mode		Torsional mode	
	$e_a > 0$	$e_a < 0$	$e_a > 0$	$e_a < 0$	CM(1)	CM(2)	CM(1)	CM(2)
e_r	-0.008	-0.187	+0.057	-0.187	0.028	0.076	-0.643	-0.625

3. 실험결과와 비교

그림 3은 진동대 실험⁽⁵⁾에서 전체 밀면전단력이 극점에 도달할 때 지진방향과 평행한 골조에 작용하는 밀면전단력 합력의 위치, 즉 저항중심을 구하여 표시한 것이다. EC 8과 IBC 2000의 정적해석으로부터 얻어진 예측범위와 동적해석으로부터 얻어진 예측범위를 상사성에 맞추어 1/12로 축소시켜 실험값과 비교하였다. 정적해석으로부터 얻어진 예측범위는 2차모드가 지배적인 한 그림 3(a)에서 보듯이 대체로 잘 맞는 것으로 나타나고 있으나, Taft080과 같이 3차모드가 지배적인 경우에는 그림 3(b)에서 보듯이 정적해석에 의한 결과로는 실험에서 나타난 저항중심의 범위를 포함하지 못하고 동적해석결과가 실험결과에 근접하는 것을 발견할 수 있다.



(a) Taft030



(b) Taft080

그림 3 저항중심 비교

4. 결론

본 연구의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) EC 8과 IBC 2000에서 제시한 방법에 따라 우발편심을 고려하여 구한 구조물의 저항중심과 UBC 97에서 제시한 방법에 의해 동적해석을 수행하여 구한 구조물의 저항중심을 비교하면, EC 8의 절차에 따라 구한 저항중심의 범위가 $-0.187\text{m} \sim -0.008\text{m}$ 로 가장 작은 범위를 보여주었으며, 동적해석으로부터 구한 저항중심이 $-0.643\text{m} \sim +0.076\text{m}$ 로 큰 범위를 보여주었다.
- (2) 우발비틀림을 정적해석에 의해 고려하여 구한 구조물의 저항중심($-0.187\text{m} \sim 0.057\text{m}$)과 질량중심을 5%이동하여 동적해석을 수행한 후 구한 구조물의 저항중심($-0.643\text{m} \sim +0.076\text{m}$)을 실험에서 구한 값과 비교하면, Taft030($-0.38\text{m} \sim 0.23\text{m}$)일 때는 상당한 부분이 정적해석으로부터 구한 범위내에 들어왔으나, 비틀림이 크게 작용하는 Taft080($-0.79\text{m} \sim +0.39\text{m}$)일 때는 동적해석으로부터 구한 저항중심의 범위가 실험결과와 잘 일치하여 정적해석법에 의한 우발비틀림의 예측은 한계가 있는 것으로 나타났다.
- (3) 이상은 지반운동 중 비틀림 성분을 제외하고 구조물 특성의 불확실성에 대한 우발비틀림의 예측과 실험결과를 비교한 것으로서 만약 추가적으로 지반의 비틀림성분까지 포함하는 경우 5%의 우발비틀림은 이러한 2개의 불확실성을 아우르기에 부족한 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구에서 실험은 1999년도 건설교통부 국책과제인 “복합구조(전단벽+골조)의 내진설계기법 연구”의 일부로 수행되었으며, 건설교통부와 참여업체인 쌍용건설(주), 대한주택공사, 코오롱건설(주), (주)형상구조안전의 지원에 의한 것이다. 진동대 실험은 한국기계연구원에서 수행되었고, 이 실험결과와 분석은 고려대학교의 연구년지원(2002.3-2003.2)과 한국과학재단과 일본학술진흥회의 방문연구(2002.8-2003.2)지원에 의해 가능하였다. 이들 지원에 대하여 감사드린다.

참고문헌

1. Chopra, A.K. (2002), *Dynamics of Structures*, Prentice Hall.
2. International Code Council (ICC) (2000), *International Building Code 2000*, ICC.
3. Kappos et al. (1997), *Earthquake-Resistant Concrete Structures*, E & FN SPON.
4. International Council of Building Officials (ICBO) (1997), *Uniform Building Code*, Whittier, CA
5. 이한선 외 (2001), “편심을 가진 1/12축소 RC 주상복합 구조물의 진동대 실험,” 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제 13권 2호, pp. 185-190.