

설계편심의 크기에 따른 비틀림 비정형 건물의 최종 정적편심 크기의 비교에 관한 연구

A Study on the Static Eccentricities of Buildings Designed by Different Design Eccentricities

이광호¹⁾ · 정성훈²⁾

Lee, Kwang Ho · Jeong, Seoung Hoon

국문 요약 >> 지진하중에 의해 발생하는 비정형 건물의 피해를 줄이기 위하여 내진설계기준에서는 비틀림 증폭계수를 도입하였다. 이 계수는 내진설계기준에 따라 다르게 적용되었으며 같은 시기의 설계기준에서조차 다르게 적용되었다. 본 연구에서는 서로 다른 설계편심으로 설계된 건물의 최종 정적편심의 크기, 연약단부의 횡강성과 비틀림 강성비를 비교하였다. 비틀림 증폭계수가 증가할수록 연약단부의 횡강성이 증가하여 건물의 최종 정적편심의 크기는 감소하였으나 이 계수가 최대값 3.0에 도달한 이후부터 건물의 최종 정적편심의 크기는 다시 증가하였다. 우발편심과 정적편심의 합에 비틀림 증폭계수를 곱하여 구한 설계편심으로 설계된 건물의 최종 정적편심의 크기는 수직부재의 위치에 따라 0 또는 음수로 측정되었다.

주요어 비틀림 증폭계수, 비틀림 비정형 건물, 설계편심, 최종 정적편심, 내진설계기준

ABSTRACT >> To reduce the vulnerability of torsional irregular buildings caused by seismic loads, the torsional amplification factor was introduced by the seismic code. This factor has been applied differently in a variety of seismic codes. In this study, the final static eccentricity, and the lateral and torsional stiffness ratios of buildings designed with different design eccentricities were compared. The increment of the torsional amplification factor resulted in a decrement of the final static eccentricity of the building. However, after reaching the maximum value of this factor, the final static eccentricity of the building increased again. The final static eccentricity of the building designed by multiplying the sum of the inherent and accidental eccentricity by the torsional amplification factor was zero or had a minus value, depending to the position of the vertical element.

Key words Torsional amplification factor, Torsional imbalanced buildings, Design eccentricity, The final static Eccentricity, Seismic code

1. 서론

지진에 의한 피해사례 조사 및 해석적인 연구를 통하여 비정형 건물이 정형 건물보다 지진동에 의한 피해를 더 많이 받는다는 사실이 입증되었다. 비정형 건물은 형상과 하중 경로의 불연속으로 인하여 과도한 비탄성 변형의 가능성

이 있는 구조물로서 평면 비정형과 수직 비정형 건물로 분류된다.

평면 비정형 건물 유형에 속하는 비틀림 비정형 건물은 우발편심을 고려한 최대 층변위가 그 구조물의 양단부 층변위 평균값의 1.2배보다 크고 강한 격막으로 분류된 구조물로 정의된다.^{(1),(2)} 여기서 우발편심은 지진력 작용방향에 직각인 평면치수의 5%에 해당하는 거리이다. 격막은 강한 격막과 유연한 격막으로 분류되며, 유연한 격막은 슬래브 중앙점 변위가 양단부 지점변위 평균의 2배 이상인 경우이다.^{(1),(2)} 비틀림 증폭계수는 비틀림 비정형 건물을 등가정적 해석법으로 설계할 때 사용된다. 이 계수는 “Seismology Committee to Encourage Buildings with Good Torsional Stiffness”에서 만들어진 경험식이며 이 계수의 목적은 비정

¹⁾ 학생회원·인하대학교 건축학부, 박사과정

²⁾ 정회원·인하대학교 건축학부, 조교수

(교신저자: jeong@inha.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2012년 12월 30일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.

(논문접수일 : 2012. 6. 4 / 수정일 : 2012. 8. 8 / 게재확정일 : 2012. 9. 24)

© 2011EESK www.eesk.or.kr

형 건물의 취약성을 줄이기 위함이다.⁽³⁾

비틀림 비정형 건물의 비탄성 동적 거동시 연약단부와 강층단부의 부재들이 비슷한 연성도를 갖도록 구조물의 설계 강도 편심을 제안한 연구⁽⁴⁾와 평면 비정형 벽식 구조물의 동적 거동 및 비탄성 거동을 고려한 설계 변위를 제안한 연구⁽⁵⁾는 일부 있다. 이 연구들은 비틀림 비정형 건물의 설계 강도 편심과 설계변위에 초점이 맞춰져 있는 반면 비틀림 증폭계수를 이용하여 설계된 건물의 최종 정적편심의 크기를 비교한 연구는 거의 없다.

본 연구의 목표는 우발편심을 고려하여 설계된 건물과 이 건물에서 측정된 비틀림 증폭계수를 사용하여 증가된 설계 편심으로 설계된 건물의 최종 정적편심의 크기, 연약단부의 횡강성과 비틀림 강성을 비교, 평가하는 것이다. 여기서, 최종 정적편심은 건물의 설계 완료 후 건물의 질량 중심 (Center of Mass, CM)과 강성 중심(Center of Rigidity, CR) 간의 차이이다.

2. 비틀림 증폭계수와 설계 편심

그림 1은 현행 내진설계기준⁽¹⁾에 명기된 건물의 설계절차를 보여주고 있다. 설계자는 건물의 지역 계수, 지반 종류와 건물의 중요도에 따라 설계 스펙트럼 가속도(S_{DS} , S_{D1})와 건물의 내진등급을 결정한 후 내진설계범주를 분류한다. 내진설계범주는 단주기 설계 스펙트럼 가속도(S_{DS})와 주기 1초의 설계 스펙트럼 가속도(S_{D1})에 따라 구분되며 결정된 내

진설계범주가 다르면 높은 범주가 적용된다.⁽¹⁾ 격막은 철근 콘크리트, 합성 데크 플레이트로 바닥이 구성된 강한 격막과 상대적으로 강성이 낮은 나무 판넬로 바닥이 구성되거나 바닥 슬래브에 큰 개구부가 있는 유연한 격막으로 분류된다. 유연한 격막을 갖는 구조물은 강한 격막을 갖는 구조물보다 슬래브의 강성이 상대적으로 작아 슬래브의 변형이 크게 발생한다. 따라서 이를 고려할 수 있는 특별한 해석과 설계절차⁽¹⁾에 따라 구조물이 설계되어야 한다. 건물은 평면상 정형과 비정형 건물로 분류되며 높이가 각각 70m와 20m 이상인 정형 건물과 비정형 건물은 모드 해석법을 이용하여 설계되는 반면 높이가 낮은 건물들은 등가정적해석법을 이용하여 설계된다.

건물을 설계할 때 설계자는 수직축에 대한 지반 운동의 회전요소, 계산된 강성과 실제 강성의 차이, 항복강도의 불확실성 등의 우발편심의 영향을 고려하여야 한다.⁽¹⁾ 이 영향을 고려하여 구조물을 모드 해석법으로 설계할 경우, 질량 중심을 우발편심의 크기만큼 이동시키는 반면 등가정적해석법으로 설계할 경우, 질량 중심의 위치를 움직이지 않고 등가 정적하중의 위치를 이동시킨다. 비틀림 증폭계수는 내진설계범주가 C이상, 강한 격막으로 분류되고 높이 20m 또는 6층 미만의 비틀림 비정형 건물을 등가정적해석법으로 설계할 때에만 사용되며 모드 해석법으로 구조물을 설계할 경우 이 계수는 1.0이다.

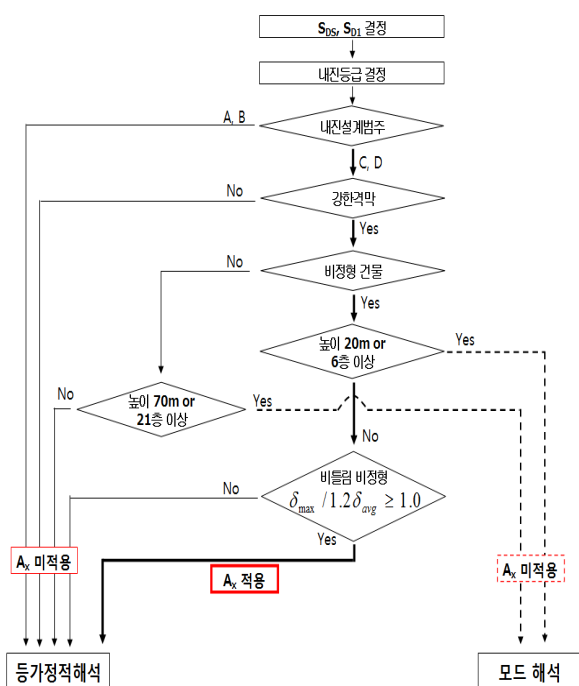
설계편심은 식 (1)과 (2)를 이용하여 계산되며 각각 연약단부와 강층단부의 부재를 설계할 때 사용된다. 설계편심의 크기는 비틀림 증폭계수에 따라 변하며 이 계수는 식 (3)에서 보듯이 최솟값 1.0에서 최댓값 3.0 사이에 존재하고 비틀림 비정형 건물 유형을 분류하는 식($\delta_{max}/1.2\delta_{avg}$)을 제공하여 구해진다. 비틀림 증폭계수가 1.0보다 크다면 식 (3)을 이용하여 식 (4)를 구할 수 있다. 식 (4)에서 보듯이 건물의 최대 층변위가 최소 층변위의 1.5배를 초과할 때, 구조물은 비틀림 비정형 건물 유형으로 분류되며 비틀림 증폭계수는 1.0보다 크다.

$$e_d = e_s + A_x e_a \tag{1}$$

$$e_d = e_s - A_x e_a \tag{2}$$

$$1.0 \leq A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1.2\delta_{avg}} \right)^2 \leq 3.0 \tag{3}$$

$$\delta_{max} \geq 1.5\delta_{min} \tag{4}$$



〈그림 1〉 내진설계기준에 명기된 건물의 설계 절차

- 여기서 e_d : 설계편심
- e_a : 우발편심
- e_s : 정적편심
- A_x : 비틀림 증폭계수
- δ_{max} : i번째 층 바닥에서의 최대 층변위
- δ_{min} : i번째 층 바닥에서의 최소 층변위
- δ_{avg} : i번째 층 바닥에서의 건물 양단부 층변위 평균

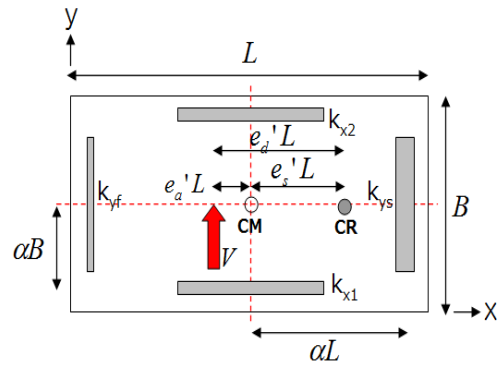
비틀림 증폭계수에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위하여 그림 2와 같은 예제 건물이 사용되었다. 이 건물은 형상비(L/B)와 수직부재의 위치(α)에 따른 비틀림 증폭계수의 관계를 파악하기 위하여 FEMA P-750⁽⁶⁾에서 사용되었다. 건물의 질량 중심과 등가 정적중은 각각 건물의 평면상 중심과 강성 중심으로부터 설계편심만큼 떨어진 거리에 위치하고 있다. 수직부재는 건물 각 방향의 단부에 위치하며($\alpha=0.5$) 건물의 격막은 강한 격막으로 분류되었다고 가정하였다. 강한 격막으로 분류된 구조물의 최대 층변위는 강성 중심에서 측정된 횡변위와 비틀림 모멘트에 의해 발생하는 변위를 더하여 측정되며 이는 식 (5)와 같다. 반대로 건물의 최소 층변위는 식 (6)을 이용하여 계산된다. 식 (5)와 식 (6)을 식 (4)에 대입하여 전개하면 비틀림 증폭계수가 1.0보다 큰 경우인 식 (7)을 구할 수 있다. 식 (7)에서 보는 바와 같이 비틀림 증폭계수에 영향을 미치는 요인은 횡강성에 대한 비틀림 강성비(K_y^{CR}/K_θ^{CR}), 설계편심비, 정적편심비 그리고 지진력 작용방향에 직각인 평면치수(L)이다. 여기서, 평면치수(L)는 건물의 형상비(L/B)와 관련이 있으며 정적편심비가 정해지면 설계편심비가 계산된다.

$$\delta_{max} = \frac{V}{K_y^{CR}} + \frac{Ve_d' L}{K_\theta^{CR}} (0.5 + e_s') L \quad (5)$$

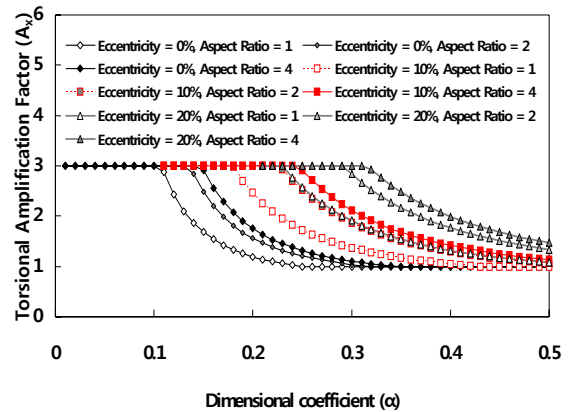
$$\delta_{min} = \frac{V}{K_y^{CR}} - \frac{Ve_d' L}{K_\theta^{CR}} (0.5 - e_s') L \quad (6)$$

$$e_d' (2.5 - e_s') L^2 \times \frac{K_y^{CR}}{K_\theta^{CR}} > 1.0 \quad (7)$$

- 여기서 K_y^{CR} : 강성중심에서 건물의 횡강성
- K_θ^{CR} : 강성중심에서 건물의 비틀림강성
- L : 지진력 작용방향에 직각인 평면 치수
- V : 밀면전단력
- e_d' : 설계편심비
- e_s' : 정적편심비



〈그림 2〉 예제 건물의 평면



〈그림 3〉 편심의 크기, 형상비와 수직부재의 위치에 따른 비틀림 증폭 계수

횡강성에 대한 비틀림 강성비, 정적편심비와 형상비를 해석변수로 하여 예제 건물(그림 2)의 정적·탄성해석을 수행하였으며 예제 건물의 양단부에서 측정된 최대 및 최소 층변위는 비틀림 증폭계수를 결정하는데 사용된다. α 의 크기가 작아질수록 수직부재들은 건물의 단부에서 평면 중심에 위치하며 강성 중심에서 수직부재까지의 거리인 비틀림 팔 길이가 짧아 건물의 비틀림 강성이 줄어들게 된다. 따라서 변수 α 의 크기는 횡강성에 대한 비틀림 강성비와 관련이 있다. 정적편심비는 지진력 작용방향에 직각인 평면치수의 0%, 10%, 20%에 해당하도록 강성 중심의 위치를 조절하였으며 건물의 형상비(L/B)는 1, 2, 4이다. 그림 3은 이러한 변수들에 따른 비틀림 증폭계수의 변화를 보여주고 있다. 정적편심비가 0%인 정형 건물에서, 형상비가 1인 경우 α 의 크기가 0.10과 0.25일 때와 형상비가 4인 경우 0.15와 0.35일 때 비틀림 증폭계수가 각각 최댓값 3.0과 최솟값 1.0으로 측정되었다.⁽⁶⁾ α 의 크기가 클수록 건물의 비틀림 강성은 커지기 때문에 비틀림 증폭계수는 작아진다. α 의 크기와 정적 편심비가 같은 경우, 형상비가 큰 건물일수록 이 계수가 크게 측정되었다. 이는 건물의 형상비가 크면 비틀림 팔길이

〈표 1〉 내진설계기준에 명시된 설계편심

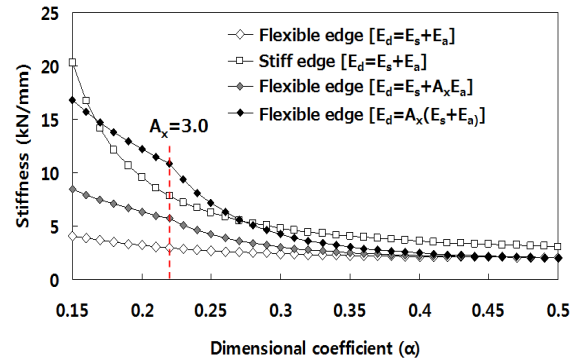
년도	내진설계기준	설계편심
1988	UBC 88 ⁽⁷⁾	$e_d = e_s + e_a$
	SEAOC 1988 ⁽⁸⁾	$e_d = e_s + A_x e_a$
1991	UBC 91 ⁽⁹⁾	$e_d = e_s + A_x e_a$
1994	UBC 94 ⁽¹⁰⁾	$e_d = e_s + A_x e_a$
1997	UBC 97 ⁽¹¹⁾	$e_d = e_s + A_x e_a$
	FEMA 273 ⁽¹²⁾	$e_d = e_s + A_x e_a$
	FEMA 302 ⁽¹³⁾	$e_d = A_x(e_s + e_a)$
1999	SEAOC 1999 ⁽¹⁴⁾	$e_d = e_s + A_x e_a$
2000	FEMA 356 ⁽¹⁵⁾	$e_d = e_s + A_x e_a$
	FEMA 368 ⁽¹⁶⁾	$e_d = A_x(e_s + e_a)$
2002	ASCE 7-02 ⁽¹⁷⁾	$e_d = e_s + A_x e_a$
2003	FEMA 450 ⁽¹⁸⁾	$e_d = A_x(e_s + e_a)$
2005	ASCE 7-05 ⁽¹⁹⁾	$e_d = e_s + A_x e_a$
2006	KBC 2006 ⁽²⁰⁾	$e_d = A_x(e_s + e_a)$
2009	KBC 2009 ⁽¹⁾	$e_d = e_s + A_x e_a$
2010	ASCE 7-10 ⁽²⁾	$e_d = e_s + A_x e_a$

가 길어져 건물의 비틀림 강성은 증가하지만 비틀림 모멘트의 크기도 증가하기 때문이다. 정적 편심비가 10%와 20%인 비정형 건물의 해석결과와 경향은 정형 건물의 경향과 동일하였다.

표 1은 내진설계 및 하중기준에 명기된 설계편심이다. 비틀림 증폭계수는 SEAOC⁽⁸⁾에 처음 소개되었으며 이후 여러 설계 및 하중기준에 삽입되었다. UBC 설계기준과 ASCE 7 하중기준은 우발편심에 비틀림 증폭계수를 곱하여 구한 값에 정적편심을 더하여 설계편심을 구한다. 그러나 1997년부터 2003년까지의 미국 연방재난관리청(FEMA)의 설계기준에 명기된 설계편심은 UBC와 ASCE 7 기준과 같은 방법으로 계산되거나 우발편심과 정적편심의 합에 비틀림 증폭계수를 곱하여 계산된다. 2006년과 2009년의 국내설계기준에 명기된 설계편심은 미국 연방재난관리청의 설계기준처럼 서로 다른 방법으로 계산되었으며 2009년의 설계기준⁽¹⁾에 명기된 설계편심의 크기가 2006년 기준⁽²⁰⁾의 설계편심 크기보다 작다.

3. 예제 건물의 최종 정적편심의 크기 비교

설계편심의 크기에 따른 예제 건물의 최종 정적편심의 크기, 건물의 비틀림 강성비와 연약단부의 횡강성비를 비교하기 위하여, 단층 예제 건물의 정적·탄성해석이 수행되었다. 건물의 중요도 계수는 1.0, 높이는 4.0m이고 보통암 지반에 위치하고 있으며 내진설계범주는 C로 분류되었다고 가정하였다. 예제 건물의 질량 중심은 평면 중심에 위치하며



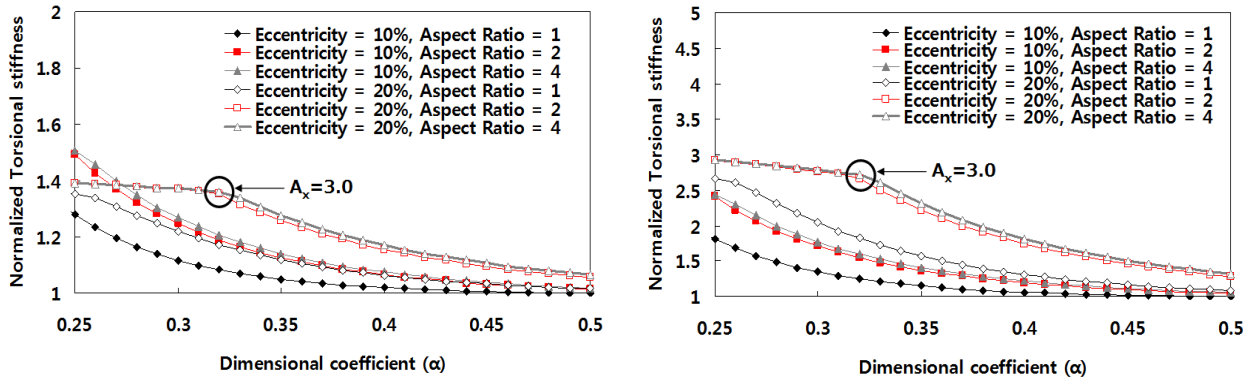
〈그림 4〉 설계편심의 크기에 따른 연약단부와 강축단부의 횡강성 크기 비교

해석에 사용된 지진력 저항 시스템은 내력벽 시스템과 모멘트-저항 골조 시스템이다. 우발편심을 고려하여 설계된 건물과 증가된 설계편심으로 설계된 건물의 강축단부의 횡강성은 동일하다. 우발편심을 고려하여 설계된 건물의 최종 정적편심비는 10%와 20%이며 설계편심은 표 1에서 설명한 바와 같이 두 가지 방법으로 계산된다.

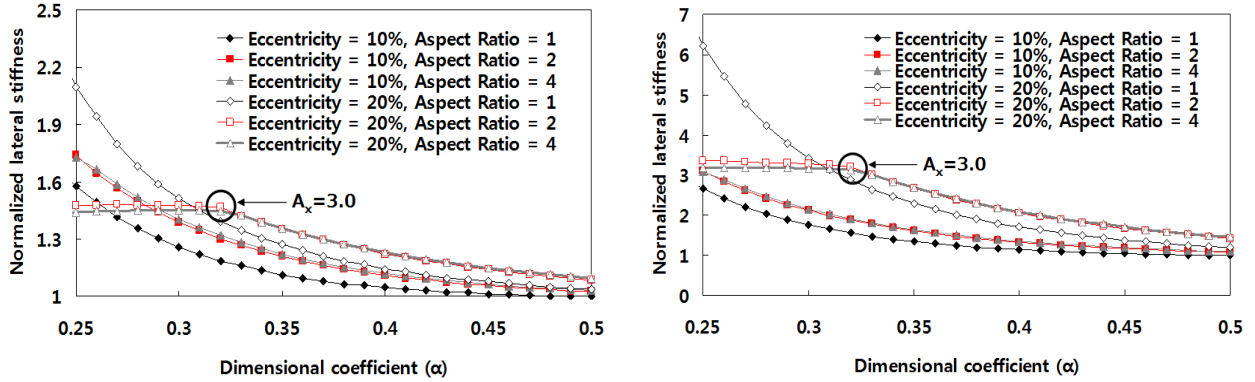
3.1 내력벽 시스템

해석에 사용된 예제 건물(그림 2)은 철근 콘크리트 보통 전단벽 건물이며 전단벽 및 슬래브에서 발생하는 면외 변형은 고려되지 않았다. 그림 4는 우발편심을 고려하여 설계된 건물의 최종 정적편심비가 10%이고 형상비가 1인 건물의 연약단부와 강축단부의 횡강성, 증가된 설계편심으로 설계된 건물의 연약단부의 횡강성의 크기를 보여주고 있다. α 의 크기가 작을수록 건물의 비틀림 강성이 작아지므로 허용 층간변위를 만족하기 위하여 연약단부와 강축단부의 횡강성의 크기가 증가된다. 증가된 설계편심으로 설계된 건물의 연약단부의 횡강성 증가비는 α 의 크기가 작아질수록 커지지만 비틀림 증폭계수가 최댓값에 도달한 후 횡강성 증가비가 일정하였다. 이러한 해석결과와 경향은 건물의 최종 정적편심비와 형상비의 크기에 관계없이 동일하였다.

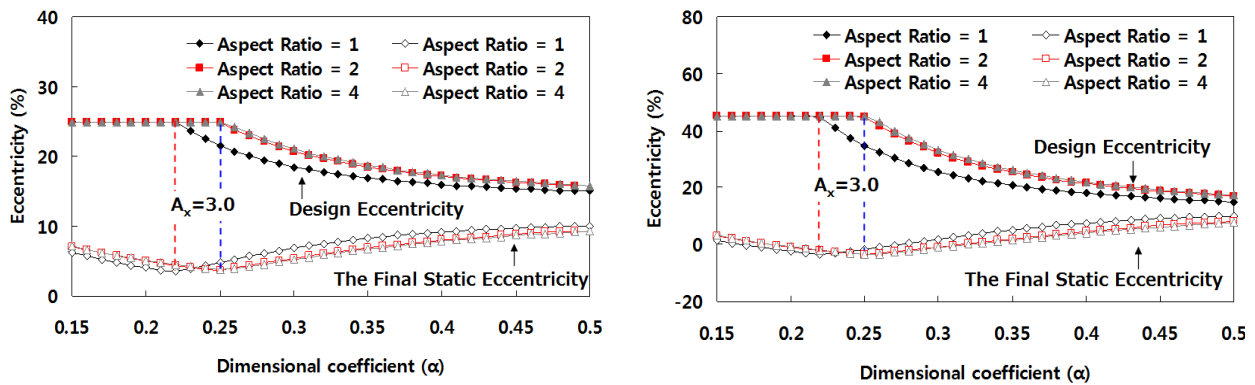
그림 5, 6의 (a)와 (b)는 우발편심을 고려하여 설계된 건물과 증가된 설계편심으로 설계된 건물의 연약단부 횡강성비와 비틀림 강성비를 보여주고 있다. 여기서, $K_{\theta A_x}$, $K_{y A_x}$ 는 증가된 설계편심으로 설계된 건물의 비틀림 강성과 연약단부의 횡강성이고 K_{θ} , K_y 는 우발편심을 고려하여 설계된 건물의 비틀림 강성과 연약단부의 횡강성이다. 우발편심을 고려하여 설계된 건물의 최종 정적편심비가 20%이고 형상비가 2와 4인 예제 건물의 경우, 비틀림 증폭계수가 최댓값 3.0으로 측정된 후 연약단부의 횡강성비와 건물의 비틀림



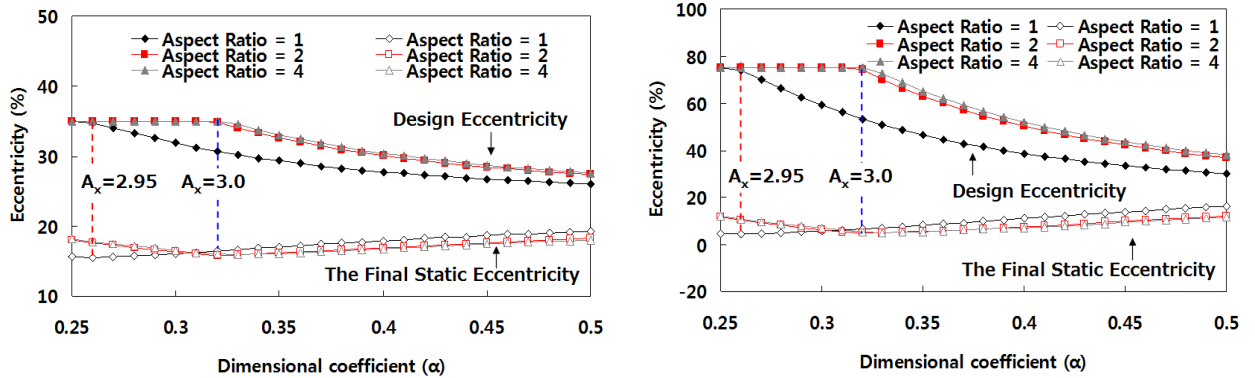
(a) 형상비와 최종 정적편심비에 따른 정규화된 비틀림 강성비($K_{\theta, A_x} / K_{\theta}$)



(b) 형상비와 최종 정적편심비에 따른 정규화된 횡강성비($K_{y, A_x} / K_y$)

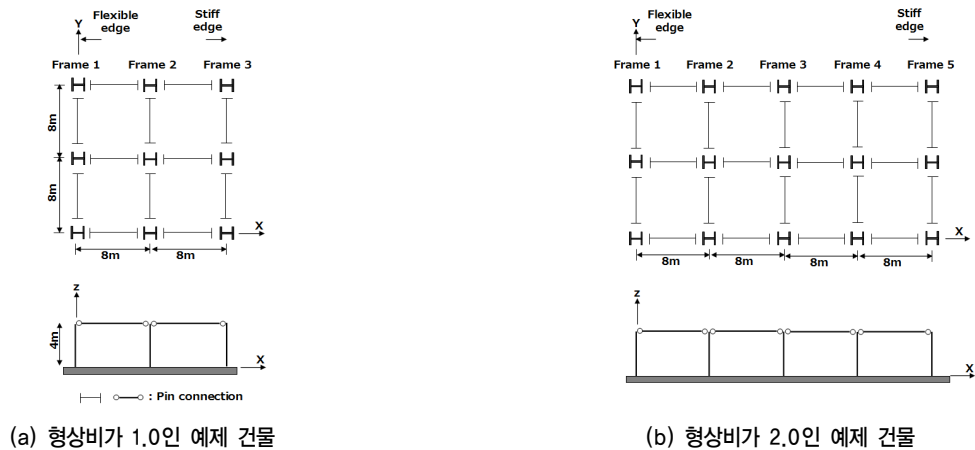


(c) 우발편심을 고려하여 설계된 건물(최종 정적편심비=10%)에서 측정된 비틀림 증폭계수로 인해 증가된 설계편심의 크기와 이 설계편심으로 설계된 건물의 최종 정적편심비 비교



(d) 우발편심을 고려하여 설계된 건물(최종 정적편심비=20%)에서 측정된 비틀림 증폭계수로 인해 증가된 설계편심의 크기와 이 설계편심으로 설계된 건물의 최종 정적편심비 비교

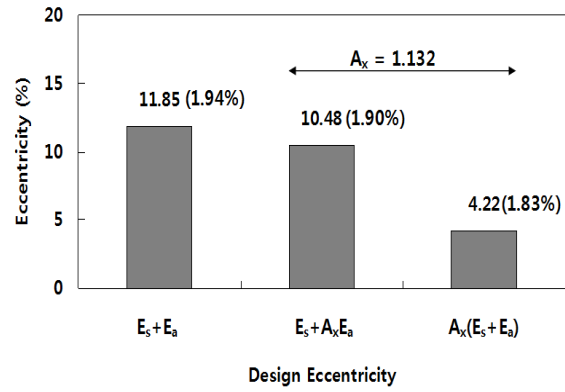
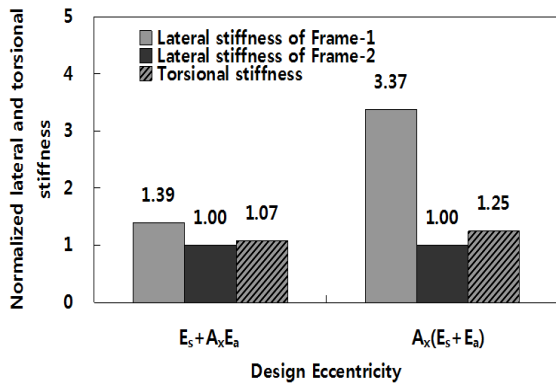
<그림 5> 우발편심에 비틀림 증폭계수를 곱한 값에 정적편심을 더하여 구 <그림 6> 우발편심과 정적편심의 합에 비틀림 증폭계수를 곱하여 구한 설계 편심



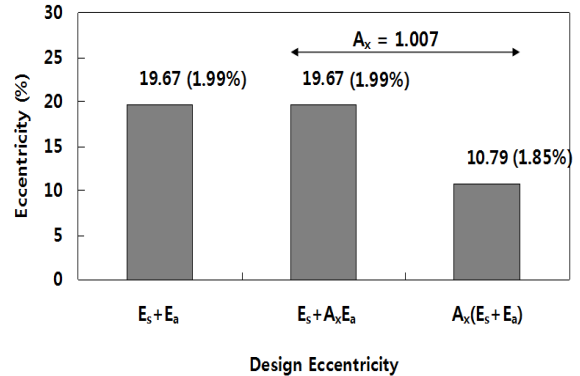
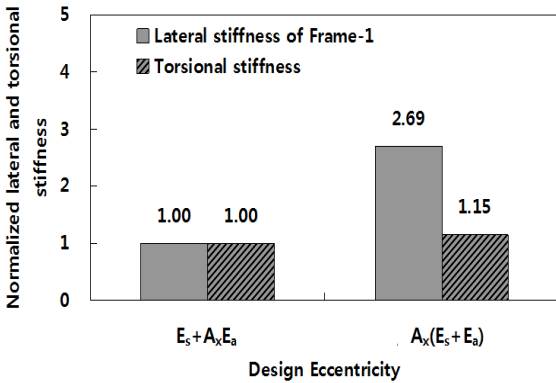
(a) 형상비가 1.0인 예제 건물

(b) 형상비가 2.0인 예제 건물

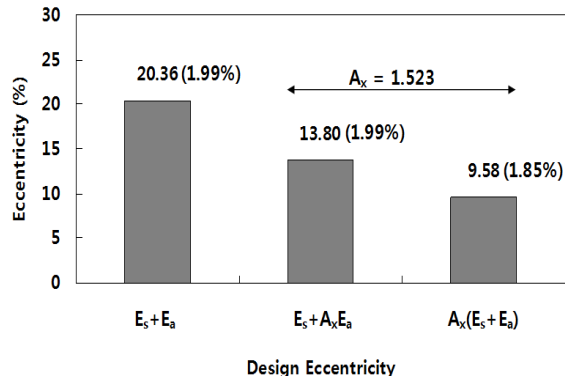
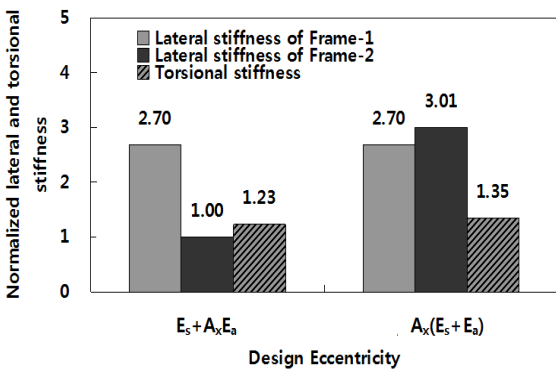
〈그림 7〉 철골 보통 모멘트 골조로 설계된 건물의 평면과 입면



(a) 형상비가 2이고 우발편심을 고려하여 설계된 건물의 최종 정적편심비가 10%인 건물과 증가된 설계편심으로 설계된 건물



(b) 형상비가 10이고 우발편심을 고려하여 설계된 건물의 최종 정적편심비가 20%인 건물과 증가된 설계편심으로 설계된 건물



(c) 형상비가 20이고 우발편심을 고려하여 설계된 건물의 최종 정적편심비가 20%인 건물과 증가된 설계편심으로 설계된 건물

〈그림 8〉 서로 다른 설계편심으로 설계된 건물의 연약단부 횡강성비, 비틀림 강성비, 최종 정적편심비 비교

강성비의 증가가 일정하였다. 이는 그림 4에서 설명한 바와 같이 이 계수가 최댓값에 도달하면 연약단부의 횡강성비는 일정하게 증가하고 이 계수의 적용 전후의 강축단부의 횡강성의 크기는 같으므로 건물의 비틀림 강성비의 증가도 일정하다.

그림 5, 6의 (c)와 (d)는 우발편심, 우발편심과 정적편심의 합에 비틀림 증폭계수를 곱하여 구한 설계편심과 설계 완료 후 건물의 최종 정적편심비를 보여주고 있다. α 의 크기가 작아질수록 건물의 최종 정적편심비가 감소하지만 비틀림 증폭계수가 최댓값 또는 이와 근접한 값에 도달한 후 최종 정적편심비가 증가하였다. 비틀림 증폭계수가 최댓값에 도달하기 전까지 증가된 설계편심으로 설계된 건물의 연약단부의 횡강성은 우발편심을 고려하여 설계된 구조물의 연약단부의 횡강성보다 크기 때문에 건물의 최종 정적편심비가 감소한다. 반면 그림 4에서 확인한 바와 같이 이 계수가 최댓값에 도달하면 α 의 크기가 작아질수록 강축단부의 횡강성 증가비는 계속 커지지만 연약단부의 횡강성 증가비는 일정하므로 건물의 최종 정적편심비가 증가하게 된다.

우발편심과 정적편심의 합에 비틀림 증폭계수를 곱하여 구한 설계편심으로 설계된 건물의 최종 정적편심비는 수직 부재의 위치에 따라 음수 또는 0으로 측정되었다(그림 6의 (c)). 최종 정적편심비가 음수로 측정된 것은 우발편심을 고려하여 설계된 건물의 연약단부와 강축단부의 위치가 증가된 설계편심으로 설계 후 서로 바뀌었음을 의미한다. 최종 정적편심비가 0으로 측정된 것은 우발편심을 고려하여 설계된 비틀림 비정형 건물이 증가된 설계편심으로 설계된 후 연약단부와 강축단부의 횡강성이 같은 정형 건물로 바뀌었음을 의미한다.

그림 6의 (d)에서 보듯이 우발편심을 고려하여 설계된 건물의 최종 정적편심비가 20%인 경우, 이 건물의 최대 설계편심비는 75%이다. 이 결과는 5%의 우발편심과 20%의 정적편심의 합에 비틀림 증폭계수의 최댓값 3.0이 곱해져서 계산된 설계편심이다. 질량 중심이 건물의 평면 중심에 위치하고 있을 때, 건물의 정적편심비는 -50% ~ 50% 내에 존재하며 우발편심 5%를 고려하여도 편심의 최대 크기는 55%이다. 비틀림 증폭계수가 2.2를 초과하면 편심의 최대 크기인 55%를 초과하게 되며 설계편심은 건물 밖에 위치한다. 일반적으로 지진하중에 의한 건물의 횡방향 거동의 영향은 작으나 비틀림 거동의 영향이 클 때 편심이 건물 밖에 위치한다.

3.2 모멘트-저항 골조 시스템

해석에 사용된 예제 건물들은 형상비가 각각 1과 2인

2×2와 2×4 베이의 철골 보통 모멘트 골조로 설계된 단층 건물이다. 그림 7은 형상비가 1과 2인 예제 건물의 평면과 입면을 보여주고 있다. 예제 건물의 기둥은 지반에 고정되어 있고 보는 편집합 되어 있으며 베이당 길이는 8m로 가정하였다. 설계편심을 이용하여 건물을 설계할 때 허용 층간비를 만족하지 못할 때에는 기둥의 단면 크기를 증가시켰다.

그림 8은 우발편심을 고려하여 설계된 건물과 증가된 설계편심으로 설계된 건물의 연약단부(형상비가 1인 건물일 때는 골조 1, 형상비가 2인 건물일 때는 골조 1과 2)의 횡강성비, 건물의 비틀림 강성비와 최종 정적편심비를 보여주고 있다. 괄호안의 값은 층간비이며 설계된 예제 건물들은 2%의 허용 층간비⁽¹⁾를 만족하고 있다. 설계편심의 크기가 클수록 연약단부의 횡강성과 건물의 비틀림 강성은 증가하는 반면 건물의 최종 정적편심의 크기는 작아진다. 이는 앞 소절의 해석결과의 경향과 일치한다. 그림 8의 (b)의 우측 그림은 비틀림 증폭계수가 1.0에 가까울 경우 설계편심의 크기에 따른 건물의 최종 정적편심비를 보여주고 있다. 철골부재와 같이 부재의 단면치수가 데이터베이스화 되어 있고 허용 층간비를 만족하기 위하여 연약단부에 위치한 기둥의 단면크기가 증가된다면, 비틀림 증폭계수가 1.0에 가까우면 하더라도 우발편심과 정적편심의 합에 이 계수를 곱하여 구한 설계편심으로 설계된 건물의 최종 정적편심의 크기는 우발편심을 고려하여 설계된 건물의 최종 정적편심의 크기에 비해 상당히 줄어든다.

4. 결론

내진설계기준과 하중기준에 명기된 설계편심은 비틀림 증폭계수를 우발편심에 곱한 값에 정적편심을 더하여 구하거나 우발편심과 정적편심의 합에 곱하여 계산된다. 이처럼 크기가 서로 다른 설계편심을 이용하여 설계된 건물의 최종 정적편심의 크기를 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 구조물이 비틀림 비정형 건물 유형으로 분류되었을 때 사용되는 비틀림 증폭계수는 연약단부의 횡강성과 건물의 비틀림 강성을 증가시킨다. 비틀림 증폭계수가 증가할수록 건물의 최종 정적편심의 크기는 감소하지만 이 계수가 최댓값 3.0에 도달한 후부터 최종 정적편심의 크기가 다시 증가한다.
2. 철골부재와 같이 부재의 단면치수가 데이터베이스화 되어 있고 허용 층간비를 만족하기 위하여 연약단부에 위

치한 기동의 단면크기가 증가된다면, 비틀림 증폭계수가 1.0에 가깝다고 하더라도 우발편심과 정적편심의 합에 이 계수를 곱하여 구한 설계편심으로 설계된 건물의 최종 정적편심의 크기는 우발편심을 고려하여 설계된 건물의 최종 정적편심의 크기에 비해 상당히 줄어든다.

3. 우발편심을 고려하여 설계된 건물의 최종 정적편심의 크기가 10%이고 이 건물에서 측정된 비틀림 증폭계수를 우발편심과 정적편심의 합에 곱하여 구한 설계편심으로 설계된 건물의 최종 정적편심의 크기는 수직부재의 위치에 따라 0 또는 음수로 측정되었다. 최종 정적편심의 크기가 0으로 측정된 것은 우발편심을 고려하여 설계된 비틀림 비정형 건물이 설계 완료 후 연약단부와 강측단부의 횡강성이 동일한 정형 건물로 바뀌었음을 의미한다. 최종 정적편심의 크기가 음수로 측정되었다는 것은 증가된 설계편심으로 설계된 후 건물의 연약단부와 강측단부의 위치가 서로 바뀌었다는 것을 의미한다.
4. 우발편심을 고려하여 설계된 건물의 최종 정적편심의 크기가 20%이고 이 건물에서 측정된 비틀림 증폭계수를 우발편심과 정적편심의 합에 곱하여 설계편심을 구할 경우, 이 계수가 2.2를 초과하면 건물의 설계편심은 건물 밖에 위치한다. 일반적으로 지진하중에 의한 건물의 횡방향 거동의 영향은 작으나 비틀림 거동의 영향이 클 때 편심이 건물 밖에 위치한다.

감사의 글

이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

1. 대한건축학회, 건축구조설계기준, 대한건축학회, 106, 2009.
2. ASCE/SEI 7-10, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, 80-92, 2010.
3. Stefano, M. D. and Rutenberg, A., "A comparison of the present SEAOC/UBC torsional provisions with the old ones," *Engineering Structures*, V.19, No.8, 655-664, 1997.
4. 이명규, 조소훈, "모드 해석을 이용한 등가 지진하중에서의 설계편심," *대한토목학회논문집 A*, 제22권, 제6-A호, 1259-1269, 2002.
5. 홍성걸, 하태후, "평면비정형 벽식 구조물의 비탄성 설계변위 산정," *대한건축학회 논문집 구조계*, 제23권, 제2호, 51~58, 2007.
6. Federal Emergency Management Agency, NEHRP recommended Seismic provisions for new buildings and other structures, Report FEMA P-750, Washington D.C., 130, 2009.
7. International Conference of Building Officials, Uniform Building Code, California, USA, 1988.
8. Structural Engineers Association of California, Recommended lateral force requirements and commentary, San Francisco, 1999.
9. International Conference of Building Officials, Uniform Building Code, California, USA, 1991.
10. International Conference of Building Officials, Uniform Building Code, California, USA, 1994.
11. International Conference of Building Officials, Uniform Building Code, California, USA, 2-15, 1997.
12. Federal Emergency Management Agency, NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings, Report FEMA 273, Washington D.C., 3-2, 1997.
13. Federal Emergency Management Agency, NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, Report FEMA 302, Washington D.C., 66, 1997.
14. Structural Engineers Association of California, Recommended lateral force requirements and commentary, San Francisco, 13; 112; 121, 1999.
15. Federal Emergency Management Agency, Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, Report FEMA 356, Washington D.C., 3-3, 2000.
16. Federal Emergency Management Agency, NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, Report FEMA 368, Washington D.C., 76, 2000.
17. ASCE/SEI 7-02, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, 148, 2002.
18. Federal Emergency Management Agency, NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, Report FEMA 450, Washington D.C., 90, 2003.
19. ASCE/SEI 7-05, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, 214; 130, 2006.
20. 대한건축학회, 건축구조설계기준, 대한건축학회, 121, 2006.