



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년04월23일
(11) 등록번호 10-2103736
(24) 등록일자 2020년04월17일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 30/00 (2020.01) G06F 17/10 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G06F 30/13 (2020.01)
G06F 17/10 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2019-0102810
- (22) 출원일자 2019년08월22일
심사청구일자 2019년08월22일
- (56) 선행기술조사문헌
“비틀림 비정형 건물의 내진설계를 위한 우발편심 비틀림 증폭계수 검증”, 한국지진공학회 논문집 제14권 제6호(pp. 67-74), 2010년 12월.*
JP2011094377 A*
KR1020150137423 A
“설계편심의 크기에 따른 비틀림 비정형 건물의 최종 정적편심 크기의 비교에 관한 연구”, 한국지진공학회 논문집 제16권 제5호(pp. 33-40), 2012년 10월.
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
명지대학교 산학협력단
경기도 용인시 처인구 명지로 116 (남동, 명지대학교)
- (72) 발명자
김영민
서울특별시 성동구 고산자로2길 65, 102동 2004호(행당동, 서울숲리버뷰자이)
- (74) 대리인
이은철, 이우영

전체 청구항 수 : 총 3 항

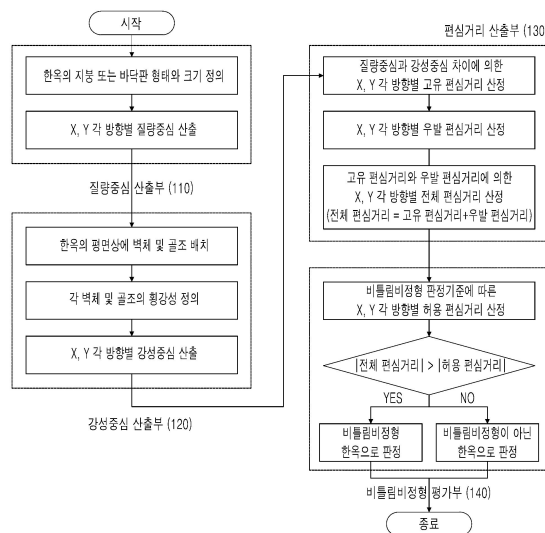
심사관 : 박승철

(54) 발명의 명칭 **한옥의 내진설계를 위한 비틀림비정형 평가시스템 및 방법**

(57) 요약

본 발명은 한옥의 내진설계를 위한 비틀림비정형 평가시스템 및 방법에 관한 것으로서, 복잡한 3차원 구조 해석에 의하지 않고 간단한 데이터만으로 한옥의 내진설계에 필요한 비틀림비정형 여부를 판단하는 시스템 및 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1615010681

부처명 국토교통부

연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원

연구사업명 도시건축연구사업

연구과제명 10m급 대공간 한옥기술개발

기 여 율 1/1

주관기관 명지대학교 산학협력단

연구기간 2019.01.01 ~ 2019.12.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

한옥의 내진설계를 위한 비틀림비정형 평가시스템으로서,

한옥의 평면형태 또는 지붕형태로부터 질량중심을 산출하는 질량중심 산출부;

한옥의 부재의 횡강성으로부터 강성중심을 산출하는 강성중심 산출부;

상기 질량중심 산출부에서 산출된 질량중심과 상기 강성중심 산출부에서 산출된 강성중심으로부터 고유 편심거리를 산출하고, 우발 편심거리를 산출하여 상기 고유 편심거리와 상기 우발 편심거리로부터 전체 편심거리를 산출하는 편심거리 산출부; 및

비틀림비정형 여부를 판단하는 비틀림비정형 평가부를 포함하며,

상기 비틀림비정형 평가부는,

비틀림비정형 판정기준에 따른 각 방향별 허용 최대 편심거리와 상기 전체 편심거리를 비교하여, 상기 전체 편심거리의 절대값이 상기 허용 최대 편심거리의 절대값보다 클 때 비틀림비정형으로 평가하고,

상기 허용 최대 편심거리는 하기의 식에 의해 구해지는 것을 특징으로 하는 비틀림비정형 평가시스템.

$$e_{x,max} = \frac{1}{2 + \alpha} \cdot \frac{1}{L_x} \cdot \frac{K_o}{K_y}$$

$$e_{y,max} = \frac{1}{2 + \alpha} \cdot \frac{1}{L_y} \cdot \frac{K_o}{K_x}$$

여기서,

$e_{x,max}$: X방향 허용 최대 편심거리

$e_{y,max}$: Y방향 허용 최대 편심거리

α : 평면 길이에 대한 구조물 단부(비틀림모멘트에 의해 지진력과 반대방향)의 변위가 발생하는 지점에서 강성중심까지의 거리비 ($0 \leq \alpha \leq 1$)

L_x, L_y : 각각 X축 방향 및 Y축 방향의 평면 길이

K_x, K_y : 각각 X 축 및 Y축 방향의 횡강성의 힘

K_o : X 축 및 Y축 방향 모든 구조요소에 의한 전체 비틀림 강성

청구항 4

청구항 3의 비틀림비정형 평가시스템에 의해 수행되는 한옥의 내진설계를 위한 비틀림비정형 평가방법으로서,

한옥의 평면형태 또는 지붕형태로부터 X, Y 방향별 질량중심을 산출하고, 한옥 부재의 횡강성으로부터 X, Y 방

향별 강성중심을 산출하는 (a) 단계;

상기 (a) 단계에서 산출된 질량중심과 강성중심을 이용하여 X, Y 방향별 고유 편심거리 및 우발 편심거리를 산출하는 (b) 단계; 및

상기 고유 편심거리와 상기 우발 편심거리를 이용하여 전체 편심거리를 구하고, 상기 전체 편심거리로부터 한옥의 비틀림비정형 여부를 평가하는 (c) 단계를 포함하는 비틀림비정형 평가방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 (c) 단계는 허용 최대 편심거리와 상기 전체 편심거리를 비교하여, 상기 전체 편심거리의 절대값이 상기 허용 최대 편심거리의 절대값보다 클 때 비틀림비정형으로 평가하는 것을 특징으로 하는 비틀림비정형 평가방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 한옥의 내진설계를 위한 비틀림비정형 평가시스템 및 방법에 관한 것으로서, 상세하게는 복잡한 3차원 구조해석에 의하지 않고 간단한 데이터만으로 한옥의 내진설계에 필요한 비틀림비정형 여부를 판단하는 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 한옥에 대한 내진설계를 수행하기 위해서는 한옥에 지진하중이 작용하는 질량중심과 지진하중에 대해 한옥의 구조가 전체적인 저항력을 발휘하는 강성중심을 파악하고 있어야 한다. 이러한 질량중심과 강성중심의 차이값이 편심거리가 되고 작용하는 지진하중과 이 편심거리의 곱이 비틀림모멘트로 건물에 작용하게 된다.

[0003] 건물에 비틀림이 작용하면 강성중심으로부터 먼 거리에 있는 수직부재는 과도한 수평이동이 발생하여 파괴의 위험이 커진다. 한옥의 경우에는 부재간의 접합이 힌지접합 또는 약간의 회전강성을 가지는 반강접합이 대부분이므로 비틀림모멘트에 의한 과도한 수평이동은 건물의 전체적인 붕괴로까지 쉽게 이어질 수 있어 한옥의 구조적 안전성을 위협하는 큰 요인이 된다.

[0004] 건축구조기준(KBC, Korean Building Code)에 따르면 구조물에서 질량중심과 강성중심간의 과도한 편심은 평면비정형의 다섯 가지 유형 중 비틀림비정형을 유발할 수 있다. 건축구조기준에 따르면 비틀림비정형은 “격막이 유연하지 않은 구조물에서 어떤 축에 직교하는 구조물의 한 단부에서 우발편심을 고려한 최대 층변위가 그 구조물 양단부 층변위 평균값의 1.2배보다 클 때” 로 정의하고 있다. 질량중심과 강성중심간의 편심이 클수록 비틀림 거동이 커지고, 이러한 비틀림 거동에 의해 강성중심으로부터 가장 멀리 떨어진 위치에서 최대 층변위가 발생된다. 결과적으로 비틀림비정형을 판단하는 기준은 질량중심과 강성중심간의 편심거리와 직접적으로 관련되어 있다.

[0005] 건축구조기준에서는 비틀림비정형 여부가 정형건물과 비정형건물을 구분하는 주요 인자로 역할하며, 이로부터 내진설계범주를 설정하여 내진설계를 위한 구조해석 방법(등가정적해석법 또는 동적해석법)을 차등 적용하고 있다. 따라서, 초기 구조설계시 비틀림비정형의 신속하고 정확한 판단여부는 내진설계를 위해 상당히 중요하다.

[0006] 내진설계시 중요한 판단기준인 비틀림비정형 여부를 판단하기 위해서 종래에는 3차원 구조해석소프트웨어를 이용하여 건축물을 상당한 수준의 정확도로 모델링하고 우발편심을 설정한 후 구조해석을 실시하여 구조물의 각 절점에서 변위를 구하였다. 그리고 이로부터 어떤 축에 직교하는 구조물의 한 단부에서 우발편심을 고려한 최대 층변위가 그 구조물 양단부 층변위 평균값의 1.2배보다 큰지 여부를 확인하여 비틀림비정형 여부를 판단하였다.

[0007] 이때, 구조해석시 지진력은 질량중심에 부과해야 하므로 질량중심을 먼저 산정해야 하며, 이를 위해 3차원 구조해석 모델링시 각 구조부재의 크기 및 밀도, 질량으로 변환될 하중을 하나하나 정확히 입력해야 하는 어려움이 있다. 특히, 구조해석을 통해 변위를 구하기 위해서는 3차원 구조해석 모델에 오류가 전혀 없어야 한다는 어려움이 있다.

[0008] 일반적인 철근콘크리트나 강구조 건물은 형태가 단순하여 3차원 구조해석 모델링에 어려움이 없으나, 한옥의 경우에는 가구구성이 복잡하여 3차원 모델링에 상당한 시간과 비용이 요구될 뿐만 아니라, 접합부의 강성 등을 정확하게 평가하기 어려워 구조해석이 쉽지 않다. 또한, 이러한 문제를 개선하기 위한 한옥의 비틀림비정형 평가시스템도 현재 없는 실정이다.

[0009] 따라서, 한옥의 초기 내진설계를 위한 비틀림비정형 여부의 평가가 현실적으로 어려우므로, 이러한 문제를 해결하기 위해 간단한 데이터의 계산을 통해 비틀림비정형 여부를 신뢰할만한 수준으로 평가하는 기술의 필요성이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 공개특허공보 특2003-0053633(공개일자: 2003년07월02일)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 한옥의 내진설계를 위한 비틀림비정형 평가시스템 및 방법으로서, 한옥에 관한 간단한 데이터만으로 한옥의 내진설계에 필요한 비틀림비정형 여부를 신뢰할만한 수준으로 도출하는 평가시스템 및 방법을 제공하는 것에 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명은, 한옥의 내진설계를 위한 비틀림비정형 평가시스템으로서, 한옥의 평면형태 또는 지붕형태로부터 질량중심을 산출하는 질량중심 산출부와 한옥의 부재의 횡강성으로부터 강성중심을 산출하는 강성중심 산출부와 상기 질량중심 산출부에서 산출된 질량중심과 상기 강성중심 산출부에서 산출된 강성중심으로부터 고유 편심거리를 산출하고, 우발 편심거리를 산출하여 상기 고유 편심거리와 상기 우발 편심거리로부터 전체 편심거리를 산출하는 편심거리 산출부 및 비틀림비정형 여부를 판단하는 비틀림비정형 평가부를 포함한다.

[0013] 또한, 한옥의 내진설계를 위한 비틀림비정형 평가방법으로서, 한옥의 평면형태 또는 지붕형태로부터 X, Y 방향별 질량중심을 산출하고, 한옥 부재의 횡강성으로부터 X, Y 방향별 강성중심을 산출하는 (a) 단계와 상기 (a) 단계에서 산출된 질량중심과 강성중심을 이용하여 X, Y 방향별 고유 편심거리 및 우발 편심거리를 산출하는 (b) 단계 및 상기 고유 편심거리와 상기 우발 편심거리를 이용하여 전체 편심거리를 구하고, 상기 전체 편심거리로부터 한옥의 비틀림비정형 여부를 평가하는 (c) 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0014] 본 발명에 따르면, 한옥에서 복잡하고 비용이 많이 드는 3차원 구조해석 없이 한옥의 형태적인 특징과 가구 구성 유형 및 벽체 배치에 대한 간단한 데이터만으로도 한옥의 내진설계에 필요한 비틀림비정형 여부를 판단할 수 있어 시간과 비용을 절약할 수 있다.

[0015] 또한, 비틀림비정형 여부를 손쉽게 판단함으로써, 한옥의 내진설계범주 판단과 내진설계를 위한 구조해석 방법(등가정적해석법 또는 동적해석법)을 쉽게 도출할 수 있고, 궁극적으로 지진에 대한 한옥의 구조적 안전성을 효율적으로 확보할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도1은 본 발명의 실시예에 따른 비틀림비정형 평가시스템의 구성을 도시한 것이다.

도2는 비틀림비정형 평가시스템의 구성이 비틀림비정형 여부를 평가하는 순서도를 도시한 것이다.

도3a는 ‘ㄱ’ 자 평면 한옥의 지붕층과 바닥층 질량중심 산정 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도3b는 일자형 평면의 질량중심 산정 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도4는 강성중심의 산정 방법을 설명하기 위한 도면이다.
 도5a는 고유 편심거리 산정 방법을 설명하기 위한 도면이다.
 도5b는 고유 편심거리와 우발 편심거리를 고려한 전체 편심거리를 산정하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.
 도6a는 강성중심에 작용하는 수평 지진력에 의한 비틀림모멘트와 수평력의 합을 도시한 것이다.
 도6b는 Y축 방향 지진력에 의한 이동변형을 도시한 것이다.
 도6c은 X축 방향 편심으로 인한 비틀림모멘트에 따른 회전변형을 도시한 것이다.
 도6d는 이동변형과 회전변형에 의한 전체변형을 도시한 것이다.
 도6e는 한옥 골조의 비틀림 강성 계산 방법을 설명하기 위한 도면이다.
 도7a 내지 도7b는 한옥의 비틀림비정형 평가 예를 설명하기 위한 도면이다.
 도7c 내지 도7d는 한옥의 강성중심과 벽체위치에 따른 비틀림비정형 평가 예를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0017] 본 발명의 실시예에서 제시되는 특정한 구조 내지 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예를 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있다. 또한, 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 아니 되며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경물, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0018] 본 명세서에서 사용하는 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로서, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백히 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.
- [0019] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명을 설명한다. 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지기능 혹은 구성에 대한 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0020] 도1은 본 발명의 실시예에 따른 비틀림비정형 평가시스템(100)의 구성을 도시한 것이다. 도1을 참조하면, 비틀림비정형 평가시스템(100)은 질량중심 산출부(110), 강성중심 산출부(120), 편심거리 산출부(130) 및 비틀림비정형 평가부(140)를 포함한다.
- [0021] 도 2는 비틀림비정형 평가시스템(100)이 비틀림비정형 여부를 평가하는 순서를 각 구성에 따라 도시한 것이다. 도2를 참조하면, 질량중심 산출부(110)는 한옥의 지붕 또는 바닥판의 형태와 크기를 정의하고, X축 방향과 Y축 방향의 질량중심을 산출한다.
- [0022] 강성중심 산출부(120)는 한옥의 평면상에 벽체와 골조를 배치하고, 각 벽체와 골조의 횡강성을 정의한 뒤, X축 방향과 Y축 방향의 강성중심을 산출한다.
- [0023] 편심거리 산출부(130)는 질량중심과 강성중심의 차이에 의한 X축 방향, Y축 방향의 고유 편심거리를 산정하고, 각 방향별 우발 편심거리를 산정한다. 그리고 상기 고유 편심거리와 상기 우발 편심거리에 의한 각 방향별 전체 편심거리를 산정한다. (전체 편심거리 = 고유 편심거리 + 우발 편심거리)
- [0024] 비틀림비정형 평가부(140)는 비틀림비정형 판정기준에 따른 각 방향별 허용 최대 편심거리를 산정한 뒤, 상기 전체 편심거리의 절대값이 상기 허용 최대 편심거리보다 큰 경우 비틀림비정형으로 판정한다.
- [0025] 이하, 질량중심 산출부(110)에서 질량중심을 산출하는 방법을 상세하게 설명한다.
- [0026] 지진력은 관성력이므로 건축물 내 질량이 존재하는 곳에 질량 크기에 비례하여 작용한다. 건축물 내 질량은 구조부재가 있는 모든 곳에 분산되어 존재하나, 일반적인 건축물의 내진설계에서는 이를 단순화하여 대부분의 질량이 지붕층 또는 바닥층에 존재한다고 가정한다. 이때, 수직부재인 기둥이나 벽체의 질량은 인접한 지붕층과 바닥층으로 옮겨서 고려한다.
- [0027] 건축물에서 지붕층과 바닥층은 대부분 두껍고 하나의 큰 판으로 구성되어 면내강성이 매우 큰 격막으로 거동하는 특징이 있으므로, 구조해석 시 건축물에 작용하는 지진하중은 지붕층 및 바닥층의 질량중심에 작용하는 집중하중인 것으로 고려한다.
- [0028] 특히, 한옥은 다른 구조형식의 건축물에 비해 지붕층과 바닥층의 질량이 기둥이나 벽체 등 수직부재의 질량에

비해 상대적으로 크고, 전체적으로 균등하게 분포하는 특징이 있다. 따라서, 한옥에 작용하는 지진하중을 지붕층 및 바닥층의 질량중심에 작용하는 집중하중으로 고려하여도 큰 무리가 없다.

[0029] 도3a는 ‘ㄱ’ 자 평면 한옥의 지붕층과 바닥층 질량중심 산정 방법을 설명한다. 지진하중이 작용하는 지붕층과 바닥층 질량중심의 X, Y축 좌표는 평면의 도심을 구하는 방법을 활용하여 다음 식으로 구할 수 있다.

수학식 1

$$m_x = \frac{G_Y}{A} = \frac{\int_A x \cdot dA}{A}$$

$$m_y = \frac{G_X}{A} = \frac{\int_A y \cdot dA}{A}$$

여기서,

- m_x : 질량중심의 X축 좌표
- m_y : 질량중심의 Y축 좌표
- G_X : 평면의 X축에 대한 단면 1차 모멘트
- G_Y : 평면의 Y축에 대한 단면 1차 모멘트
- A : 평면의 전체 면적
- dA : 도심 산정을 위한 미소 면적

[0030]

[0031] 도3b는 한옥이 일자형 평면일 때 질량중심 산정 방법을 설명한다. 질량중심의 X, Y축 위치는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

수학식 2

$$(m_x, m_y) = \left(c_x + \frac{L_x}{2}, c_y + \frac{L_y}{2} \right)$$

여기서,

- L_x : 평면의 X축 방향 길이
- L_y : 평면의 Y축 방향 길이
- c_x : 기준점의 X축 좌표
- c_y : 기준점의 Y축 좌표

[0032]

[0033] 다음으로 강성중심 산출부(120)에서 강성중심을 산출하는 방법을 상세하게 설명한다.

[0034] 강성중심은 횡방향 강성이 있는 구조부재들의 강성 값의 중심위치로서 구조물은 작용하는 지진력에 대해 강성

중심에서 저항한다. 일반적으로 한옥의 횡강성은 주로 벽체가 보유하며, 기둥과 수평부재(창방, 도리, 보 등)로 구성되는 골조도 작지만 횡강성을 보유한다.

[0035] 한옥에서 벽체나 골조의 횡강성은 대부분 면내강성만 존재하며 면외강성은 미소하다. 또한, 한옥 가구 구성의 특성상 인접한 벽체나 골조의 강성은 서로 연계되지 않고 독립적으로 발휘된다.

[0036] 상기와 같은 특성을 고려하여, 한옥의 각 층에서의 강성중심의 X, Y 축 좌표는 이산화된 물체의 무게중심을 구하는 방법을 활용한다. 도4를 참조하면, 강성중심은 다음 식과 같이 구할 수 있다.

수학식 3

$$s_x = \frac{\sum_{i=1}^n (k_{yi} \cdot x_i)}{\sum_{i=1}^n k_{yi}} = \frac{Z_y}{K_y}, \quad s_y = \frac{\sum_{j=1}^m (k_{xj} \cdot y_j)}{\sum_{j=1}^m k_{xj}} = \frac{Z_x}{K_x}$$

여기서,

s_x : 강성중심의 X축 좌표

s_y : 강성중심의 Y축 좌표

k_{xj} : X축 방향 j 번째 구조요소의 횡강성

k_{yi} : Y축 방향 i 번째 구조요소의 횡강성

x_i : Y축에서 Y축 방향 i 번째 구조요소까지의 거리

y_j : X축에서 X축 방향 j 번째 구조요소까지의 거리

m : X축 방향 각 구조요소의 개수

n : Y축 방향 각 구조요소의 개수

K_x : X축 방향의 모든 횡강성의 합

K_y : Y축 방향의 모든 횡강성의 합

Z_x : X축 방향 각 구조요소의 횡강성(k_{xj})과 X축에서 해당 구조요소까지의

거리(y_j)를 곱한 값을 모두 더한 값

Z_y : Y축 방향 각 구조요소의 횡강성(k_{yi})과 Y축에서 해당 구조요소까지의

거리(x_i)를 곱한 값을 모두 더한 값

[0037]

[0038] 다음으로 편심거리 산출부(130)에서 고유 편심거리, 우발 편심거리 및 전체 편심거리를 산출하는 방법을 상세하게 설명한다.

[0039] 질량중심은 관성에 의한 하중인 지진력이 작용하는 위치이고, 강성중심은 건물이 지진력에 저항하는 중심위치이다. 질량중심과 강성중심 간의 거리가 고유 편심거리이다.

[0040] 도5a를 참조하면, 고유 편심거리는 X, Y축 방향으로 각각 다음 식에 의해 산정된다.

수학식 4

$$i_x = |m_x - s_x|$$

$$i_y = |m_y - s_y|$$

여기서,

i_x : X축 방향 고유 편심거리

i_y : Y축 방향 고유 편심거리

m_x : 질량중심의 X축 좌표

m_y : 질량중심의 Y축 좌표

s_x : 강성중심의 X축 좌표

s_y : 강성중심의 Y축 좌표

[0041]

[0042] 일반적인 내진설계는 질량중심과 강성중심 간의 차이에 의한 실제 편심거리 이외에도 질량분포나 강성분포의 변화 등을 감안하여 우발 편심을 고려한다.

[0043] 통상적으로 우발 편심은 해당 방향 평면 길이의 5% 정도를 고려하고 있으며, 다음 식과 같이 표현된다. 다만, 우발 편심 비율에 5% 이외의 값을 고려할 수 있으며, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 사람 (이하 ‘당업자’ 라고 함)이 적절하게 변형 가능한 것을 포함한다.

수학식 5

$$a_x = \gamma \times L_x = 0.05 \times L_x$$

$$a_y = \gamma \times L_y = 0.05 \times L_y$$

여기서,

a_x : X축 방향 우발 편심거리

a_y : Y축 방향 우발 편심거리

L_x : X축 방향의 평면 길이

L_y : Y축 방향의 평면 길이

γ : 우발 편심 비율 (일반적으로 0.05)

[0044]

[0045] 도5b를 참조하면, 전체 편심거리는 고유 편심거리와 우발 편심거리를 합하여 다음 식과 같이 산정된다.

수학식 6

$$e_x = i_x + a_x$$

$$e_y = i_y + a_y$$

여기서,

e_x : X축 방향 전체 편심거리

e_y : Y축 방향 전체 편심거리

i_x : X축 방향 고유 편심거리

i_y : Y축 방향 고유 편심거리

a_x : X축 방향 우발 편심거리

a_y : Y축 방향 우발 편심거리

[0046]

[0047]

편심거리는 질량중심과 강성중심 간의 차이에 의한 비틀림모멘트를 계산하는데 사용되므로, 일반적으로 우발 편심은 고유 편심거리가 커지는 방향으로 고려한다.

[0048]

이하, 비틀림비정형 평가부(140)에서 비틀림비정형 여부를 평가하는 방법을 상세하게 설명한다.

[0049]

건축구조기준(KBC, Korean Building Code)에서는 “격막이 유연하지 않은 구조물에서 어떤 축에 직교하는 구조물의 한 단부에서 우발 편심을 고려한 최대 층변위가 그 구조물 양단부 층변위 평균값의 1.2배보다 클 때”를 비틀림비정형으로 정의한다.

[0050]

질량중심과 강성중심 간의 편심에 의해 지진 시 건물에는 비틀림모멘트가 작용한다. 여기서 편심은 고유 편심거리와 우발 편심거리를 모두 고려한 전체 편심거리이다. 전체 편심거리가 커질수록 비틀림 거동이 커지고, 이러한 비틀림 거동에 의해 강성중심으로부터 멀리 떨어질수록 층변위가 더 크게 발생한다.

[0051]

도6a를 참조하면, 편심으로 작용하는 지진력은 강성중심에 작용하는 지진력과 강성중심에 작용하는 비틀림모멘트의 합으로 치환할 수 있다. 그리고 지진하중에 의한 건물의 수평변형은 이동변형과 회전변형의 두 가지로 나타난다.

[0052]

도6b를 참조하면, 이동변형은 강성중심에 작용하는 수평 지진력에 의해 건물이 전체적으로 균등하게 수평 방향으로 이동하는 것이며, 해당 방향의 지진력을 해당 방향의 횡강성의 합으로 나누어 구한다. Y축 방향 지진력 작용 시 이동변위를 구하면 다음 식과 같다.

수학식 7

$$\Delta_y = \frac{P_y}{\sum_{i=1}^n k_{y,i}} = \frac{P_y}{K_y}$$

여기서,

Δ_y : Y축 방향 지진력에 의한 이동변위

P_y : Y축 방향 지진력

$k_{y,i}$: Y축 방향 i 번째 구조요소의 횡강성

K_y : Y축 방향의 모든 횡강성의 합

n : Y축 방향 각 구조요소의 개수

[0053]

[0054]

도6c를 참조하면, 회전변형은 지진력이 작용하는 질량중심과 건물이 저항하는 강성중심 간의 차이에 의한 비틀림모멘트에 의해 발생한다. 비틀림모멘트에 의해 건물은 강성중심을 기준으로 회전하게 된다. Y축 방향 지진력 작용 시 비틀림모멘트와 건물의 회전각 사이에는 다음 식이 성립한다.

수학식 8

$$M = P_y \times e_x = K_o \times \theta$$

$$\text{즉, } \theta = \frac{P_y \times e_x}{K_o}$$

여기서,

M : Y축 방향 지진력(P_y)과 X축 방향 편심(e_x)에 의한 비틀림모멘트

P_y : Y축 방향 지진력

e_x : X축 방향 전체 편심거리

K_o : X축 및 Y축 방향 모든 구조요소에 의한 전체 비틀림 강성

θ : 비틀림모멘트(M)에 의한 회전각

[0055]

[0056]

도6d를 참조하면, Y축 방향 지진력 작용 시 이동변형과 회전변형에 의한 전체변형이 도시된다.

[0057]

특정 구조요소의 비틀림강성은 해당 구조요소의 횡강성과 회전중심에서 해당 구조요소까지의 수직거리의 제곱을 곱하여 구한다. 비틀림강성 산정 시 구조요소의 회전각이 크다면 회전각에 따른 기하학적 변형도 고려한다. 그러나, 지진력에 의한 건물의 변형에서는 일반적으로 회전각이 미소하므로 당업자의 판단에 따라 기하학적 변

형을 고려하지 않을 수 있다.

[0058] 한옥에서 벽체나 골조의 횡강성은 대부분 면내강성만 존재하며 면외강성은 무시할 수 있다. 또한, 한옥 가구 구성의 특성상 인접한 벽체나 골조의 강성은 서로 연계되지 않고 독립적으로 발휘된다.

[0059] 따라서, 한옥에서는 모서리에 ㄱ자 형식으로 X축 방향 및 Y축 방향 벽체가 붙어 있어도 ㄱ자 형식의 벽체로 고려하지 않고 각각 일자 형식의 벽체로 독립적으로 고려할 수 있다. 또한, 한옥에서 벽체나 골조는 대부분 X축과 Y축 방향, 즉 직교하는 방향으로 존재한다.

[0060] 본 발명은 이와 같은 특성이 고려된 것으로서, 한옥 구조요소의 전체 비틀림강성은 X축 및 Y축 방향으로 존재하는 모든 구조요소의 해당 방향 면내 횡강성과 강성중심에서 해당 구조요소까지의 수직거리의 제곱을 곱하여 구한다.

[0061] 도6e를 참조하면, 한옥 골조의 비틀림 강성을 구하는 식은 다음과 같다.

수학식 9

$$K_{\theta} = \sum_{i=1}^n (k_{y_i} \cdot (d_{x_i})^2) + \sum_{j=1}^m (k_{x_j} \cdot (d_{y_j})^2)$$

여기서,

K_{θ} : X 축 및 Y축 방향 모든 구조요소에 의한 전체 비틀림 강성

k_{x_j} : X축 방향 j 번째 구조요소의 횡강성

k_{y_i} : Y축 방향 i 번째 구조요소의 횡강성

d_{x_i} : 강성중심에서 Y축 방향 i 번째 구조요소까지의 X축 방향 거리

d_{y_j} : 강성중심에서 X축 방향 j 번째 구조요소까지의 Y축 방향 거리

m : X축 방향 구조요소의 개수

n : Y축 방향 구조요소의 개수

[0062] ...

[0063] 지진력에 의한 건물의 변형에서는 회전각이 미소하므로 비틀림모멘트에 의한 구조물 양단부의 층변위는 다음과 같이 강성중심에서 구조물 각 단부까지의 수직거리와 회전각의 곱으로 구할 수 있다. 이때, 작용하는 지진력과 직교하는 방향의 변위 및 이로 인한 지진력 방향 변위의 감소는 미소하여 고려하지 않을 수 있다.

수학식 10

$$\Delta_{\theta, \max} = (1 - \alpha)L_x \times \theta$$

$$\Delta_{\theta, \min} = -\alpha L_x \times \theta$$

여기서,

$\Delta_{\theta, \max}$: 비틀림모멘트에 의한 구조물 단부의 최대 층변위

$\Delta_{\theta, \min}$: 비틀림모멘트에 의한 구조물 단부의 최소 층변위

α : 평면 길이에 대한 구조물 단부(비틀림모멘트에 의해 지진력과 반대방향의 변위가 발생하는 지점)에서 강성중심까지의 거리비 ($0 \leq \alpha \leq 1$)

L_x : X축 방향의 평면 길이

θ : 비틀림모멘트에 의한 회전각

[0064]

[0065]

Y축 방향의 지진력에 대한 이동변형과 회전변형을 고려한 최대 층변위는 비틀림모멘트에 의해 지진력과 동일한 방향의 변위가 발생하는 구조물 단부에서 발생하고, 최소 층변위는 비틀림모멘트에 의해 지진력과 반대 방향의 변위가 발생하는 구조물 단부에서 발생한다. 이를 구하면 다음과 같다.

수학식 11

$$\Delta_{\max} = \Delta_t + \Delta_{\theta, \max} = \frac{P_y}{K_y} + (1 - \alpha)L_x \times \theta$$

$$\Delta_{\min} = \Delta_t + \Delta_{\theta, \min} = \frac{P_y}{K_y} - \alpha L_x \times \theta$$

여기서,

Δ_{\max} : 이동변형과 회전변형에 의한 구조물 단부의 최대 층변위

Δ_{\min} : 이동변형과 회전변형에 의한 구조물 단부의 최소 층변위

P_y : Y축 방향 지진력

K_y : Y축 방향의 모든 횡강성의 합

[0066]

[0067]

구조물 양단부 층변위 평균값은 다음 식과 같다.

수학식 12

$$\begin{aligned} \Delta_{mean} &= \frac{\Delta_{max} + \Delta_{min}}{2} = \frac{(\Delta_t + \Delta_{\theta,max}) + (\Delta_t + \Delta_{\theta,min})}{2} \\ &= \Delta_t + \frac{(1-\alpha)L_x \times \theta - \alpha L_x \times \theta}{2} = \Delta_t + \frac{(1-2\alpha)L_x \times \theta}{2} \end{aligned}$$

여기서,

Δ_{mean} : 구조물 양단부 층변위 평균값

[0068]

[0069]

건축구조기준에 따른 비틀림비정형을 판단하는 기준인 “구조물의 한 단부에서 우발 편심을 고려한 최대 층변위가 그 구조물 양단부 층변위 평균값의 1.2배보다 커야 한다” 는 조건을 적용하면 다음과 같다.

수학식 13

$$\Delta_{max} > 1.2\Delta_{mean}$$

$$\text{즉, } \Delta_t + \Delta_{\theta,max} > 1.2 \left(\Delta_t + \frac{(1-2\alpha)L_x \times \theta}{2} \right)$$

$$\text{즉, } \Delta_t + (1-\alpha)L_x \times \theta > 1.2 \left(\Delta_t + \frac{(1-2\alpha)L_x \times \theta}{2} \right)$$

$$\text{즉, } \theta > \frac{1}{2+\alpha} \cdot \frac{\Delta_t}{L_x}$$

[0070]

[0071]

위 식에 비틀림모멘트에 의한 회전각 $\theta = \frac{P_y \times e_x}{K_\theta}$ 와 Y방향 지진력에 의한 이동변위 $\Delta_t = \frac{P_y}{K_y}$ 를 대입하면, 한옥에서 비틀림비정형으로 판단되기 위한 X 방향 편심거리 조건은 결과적으로 다음과 같이 도출된다.

수학식 14

$$\frac{P_y \times e_x}{K_\theta} > \frac{1}{2+\alpha} \cdot \frac{1}{L_x} \cdot \frac{P_y}{K_y}$$

$$\text{즉, } e_x > \frac{1}{2+\alpha} \cdot \frac{1}{L_x} \cdot \frac{K_\theta}{K_y}$$

[0072]

[0073]

결과적으로 비틀림비정형이 되지 않기 위한 X축 방향 허용 최대 편심거리는 다음과 같다.

수학식 15

$$e_{x, \max} = \frac{1}{2 + \alpha} \cdot \frac{1}{L_x} \cdot \frac{K_o}{K_y}$$

여기서,

$e_{x, \max}$: 비틀림비정형이 되지 않기 위한 X방향 허용 최대 편심거리

[0074]

[0075] 같은 방법으로 X축 방향 지진력에 대하여 비틀림비정형이 되지 않기 위한 Y축 방향 허용 최대 편심거리는 다음과 같다.

수학식 16

$$e_{y, \max} = \frac{1}{2 + \alpha} \cdot \frac{1}{L_y} \cdot \frac{K_o}{K_x}$$

여기서,

$e_{y, \max}$: 비틀림비정형이 되지 않기 위한 Y축 방향 허용 최대 편심거리

α : 평면 길이에 대한 구조물 단부(비틀림모멘트에 의해 지진력과 반대방향

의 변위가 발생하는 지점)에서 강성중심까지의 거리비 ($0 \leq \alpha \leq 1$)

L_x, L_y : 각각 X축 방향 및 Y축 방향의 평면 길이

K_x, K_y : 각각 X축 방향 및 Y축 방향의 모든 횡강성의 합

K_o : X축 및 Y축 방향 모든 구조요소에 의한 전체 비틀림 강성

[0076]

[0077] 따라서, 본 발명에 의하면 한옥의 비틀림비정형 여부는 3차원 구조해석에 의한 직접적인 변위 산출 없이도 전문적인 허용 최대 편심거리로 평가할 수 있다.

[0078] 허용 최대 편심거리에 영향을 미치는 요소는 강성중심 위치(α), 지진력과 직각 방향의 평면 길이(L_x 또는 L_y), 지진력 방향 구조요소의 횡강성(K_x 또는 K_y) 그리고 비틀림강성(K_o)이다. 이는 구조물의 기하학적 치수와 구조요소의 배치, 각 구조요소의 횡강성으로부터 본 발명에서 제안하는 식을 이용하여 쉽게 구할 수 있다.

[0079] 이하, 도7a 내지 도7b를 참조하여 한옥의 비틀림비정형 평가 적용 예를 설명한다.

[0080] 도7a를 참조하면, 한옥의 일자형 평면에 Y축 방향으로 강성이 K_y 인 2개의 벽체가 평면의 강성중심을 기준으로 대칭으로 존재한다. Y축 방향으로 지진력이 작용하고, X축 방향의 건물 평면 길이가 L_x 인 경우 비틀림비정형이 되지 않기 위한 허용 최대 편심거리($e_{x, \max}$)를 구하면 아래 식과 같다.

수학식 17

Y축 방향 모든 횡강성의 합 : $K_y = k_y + k_y = 2k_y$

전체 비틀림 강성 : $K_\theta = k_y \times (\beta L_x)^2 + k_y \times (\beta L_x)^2 = 2k_y (\beta L_x)^2$

$$\begin{aligned} \text{허용 최대 편심거리 : } e_{x,\max} &= \frac{1}{2+\alpha} \cdot \frac{1}{L_x} \cdot \frac{K_\theta}{K_y} \\ &= \frac{1}{2+\alpha} \cdot \frac{1}{L_x} \cdot \frac{2k_y (\beta L_x)^2}{2k_y} \\ &= \frac{1}{2+\alpha} \cdot \frac{1}{L_x} \cdot (\beta L_x)^2 \\ &= \frac{\beta^2}{2+\alpha} L_x \end{aligned}$$

[0081]

[0082]

여기서, 평면의 왼쪽 끝에서 강성중심까지의 거리는 αL_x 이고($0 \leq \alpha \leq 1.0$), 강성중심에서 양쪽 벽체까지의 거리는 βL_x 로 동일하다. ($0 \leq \beta \leq 0.5$)

[0083]

만약, 도7b와 같이 강성중심이 건물의 가운데에 있고($\alpha=0.5$), 강성중심에서 양쪽 벽체까지의 거리가 각각 $0, 0.25L_x, 0.5L_x$ 인 세 가지 경우를 비교하면, 허용 최대 편심거리 $e_{x,\max}$ 는 다음 식과 같이 각각 $0, \frac{0.025}{2+\alpha} L_x, \frac{0.10}{2+\alpha} L_x$ 가 된다. 즉, 각각 X축 방향의 건물 평면 길이인 L_x 의 0%, 2.5%, 10%이다.

[0084]

이를 일반화하여 다시 표현하면, 허용 최대 편심거리는 지진력과 수직인 방향 평면 길이의 0%, 2.5%, 10%이다.

수학식 18

$\alpha = 0.5, \beta = 0$ 일 때 허용 최대 편심거리:

$$e_{x,\max} = \frac{\beta^2}{2+\alpha} L_x = \frac{0^2}{2+0.5} L_x = 0$$

$\alpha = 0.5, \beta = 0.25$ 일 때 허용 최대 편심거리:

$$e_{x,\max} = \frac{\beta^2}{2+\alpha} L_x = \frac{0.25^2}{2+0.5} L_x = 0.025 L_x$$

$\alpha = 0.5, \beta = 0.5$ 일 때 허용 최대 편심거리:

$$e_{x,\max} = \frac{\beta^2}{2+\alpha} L_x = \frac{0.5^2}{2+0.5} L_x = 0.1 L_x$$

[0085]

[0086]

도7c은 $\alpha=0.5$ 일 때, β 를 0부터 0.5까지 0.05단위로 변화시켰을 때, 허용 최대 편심거리의 변화 모습을 보여 준다. 허용 최대 편심거리는 지진력과 수직인 방향 평면 길이의 0%에서 10%까지 변화하며, 두 벽체 사이의 거리가 커질수록 허용 최대 편심거리가 커지는 것을 확인할 수 있다.

[0087] 도7d는 강성중심 위치 $\alpha(0 \leq \alpha \leq 1.0)$ 와 강성중심에 대한 벽체 위치 $\beta(0 \leq \beta \leq 0.5)$ 의 전체 구간에 대한 허용 최대 편심거리의 분포 모습을 보여준다. 강성중심 위치가 0.5로 접근할수록, 즉 평면의 중심으로 접근할수록, 그리고 벽체 사이의 거리가 커질수록 허용 최대 편심거리가 커지는 것을 확인할 수 있으며, 그 최대 값은 평면 길이의 10%에 이른다.

[0088] 이를 일반화하면, 한 방향으로만 벽체가 있는 경우 한옥이 비틀림비정형이 되지 않기 위해 가장 유리한 조건일 때($\alpha = 0.5, \beta = 0.5$) 허용 최대 편심거리는 지진력과 수직인 방향 평면 길이의 10%이며, 조건이 조금만 불리해져도 허용 최대 편심거리가 평면 길이의 10% 미만으로 쉽게 떨어진다. 따라서, 한옥에서 한 방향으로만 벽체가 있는 경우에는 전체 편심거리가 평면 길이의 10%를 넘는 경우 항상 비틀림비정형으로 분류할 수 있다.

[0089] 전술한 본 발명의 실시예에 따른 비틀림비정형 평가시스템에 의하면, 한옥의 복잡한 3차원 구조해석 및 이를 통한 변위 산출에 의하지 않고도 강성중심 위치와 구조요소의 위치에 따라 허용 최대 편심거리를 손쉽게 구하여 비틀림비정형 여부를 평가할 수 있다.

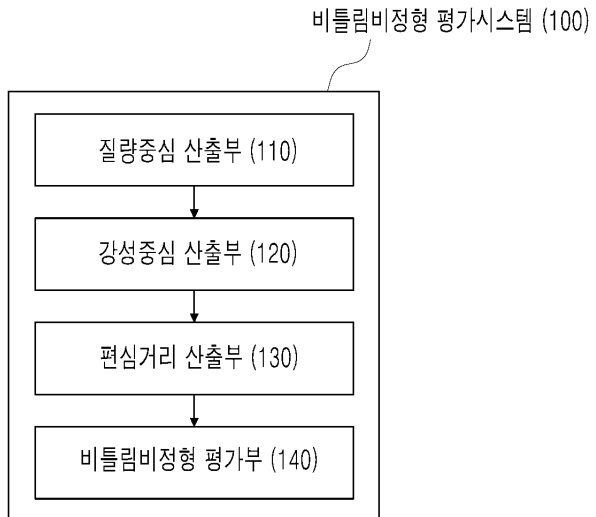
[0090] 이상에서 설명한 본 발명은 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능함은 당업자에게 명백할 것이다.

부호의 설명

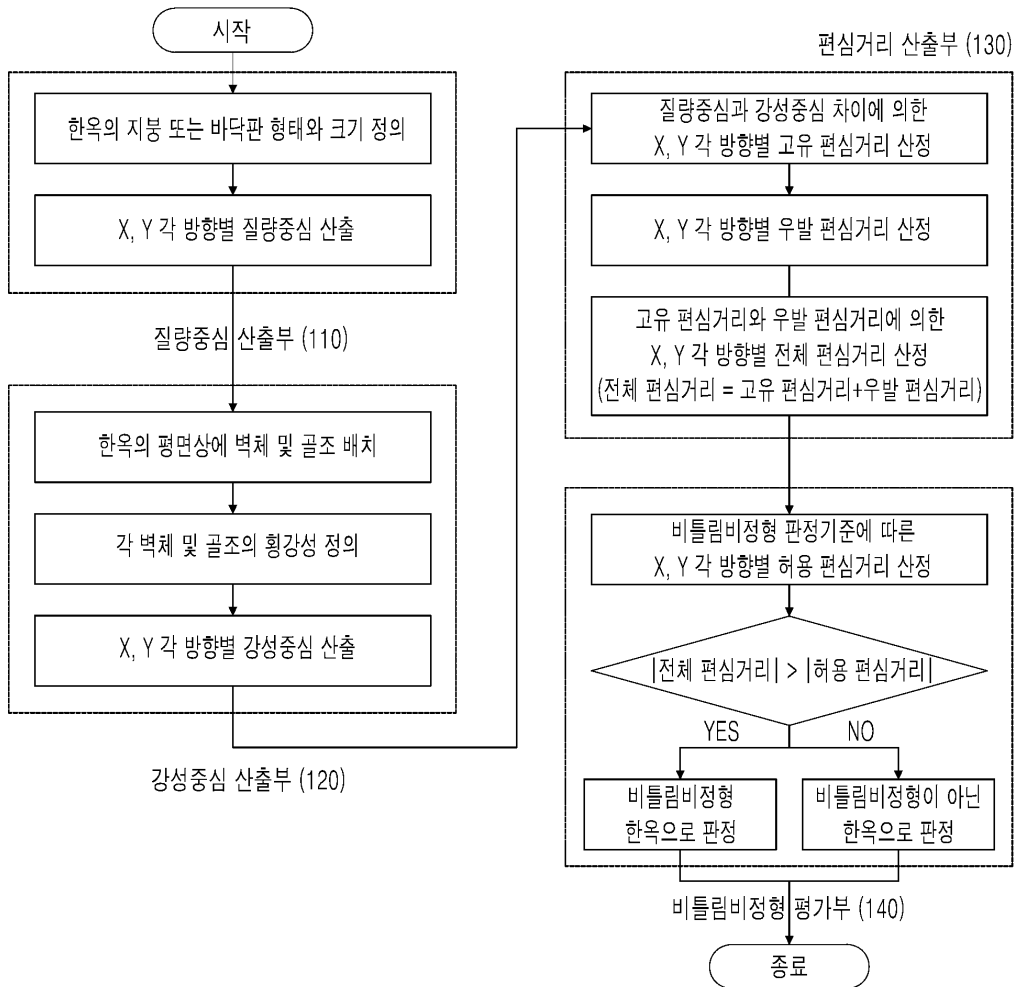
- [0092] 100: 본 발명의 실시예에 따른 비틀림비정형 평가시스템
- 110: 질량중심 산출부
- 120: 강성중심 산출부
- 130: 편심거리 산출부
- 140: 비틀림비정형 평가부

도면

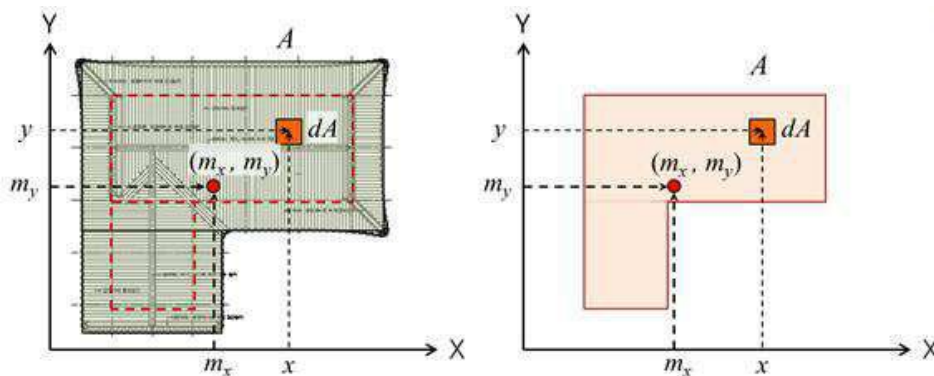
도면1



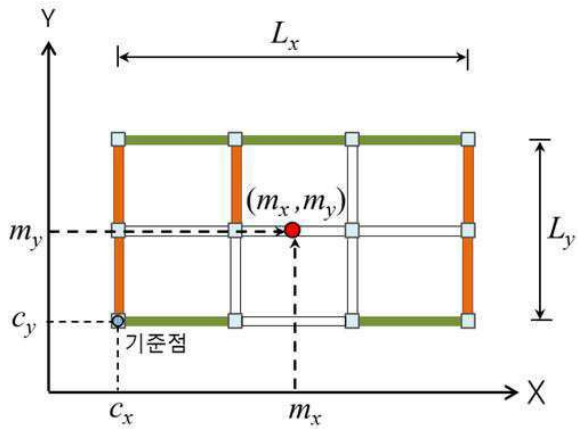
도면2



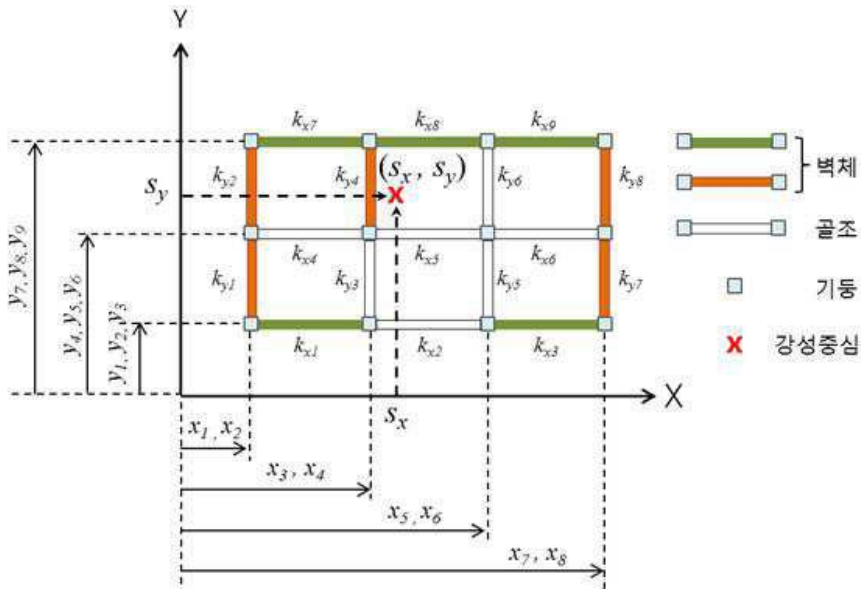
도면3a



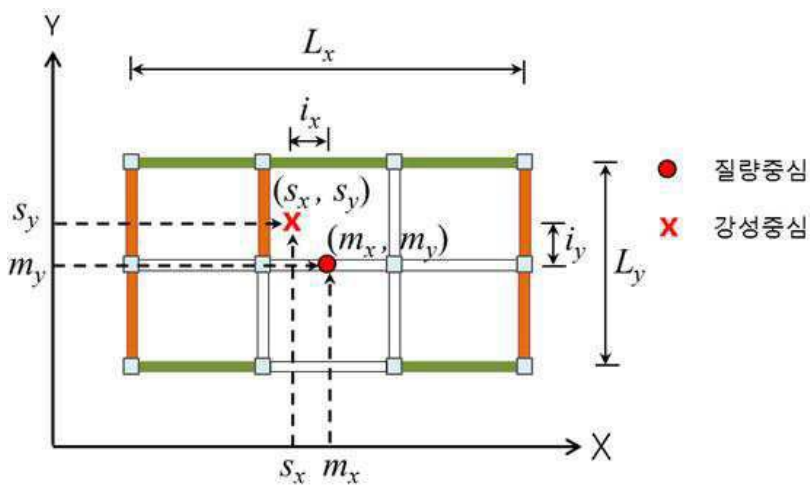
도면3b



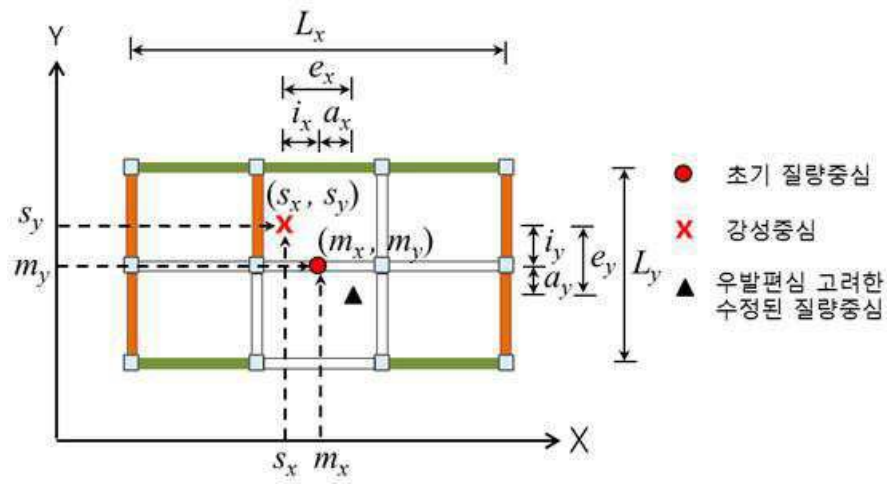
도면4



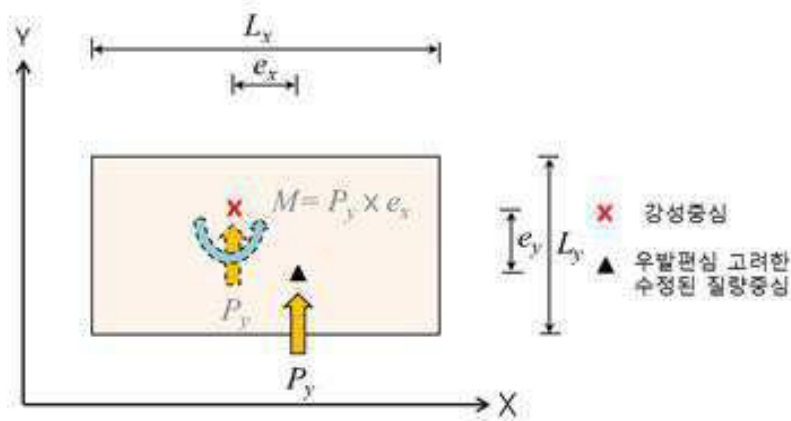
도면5a



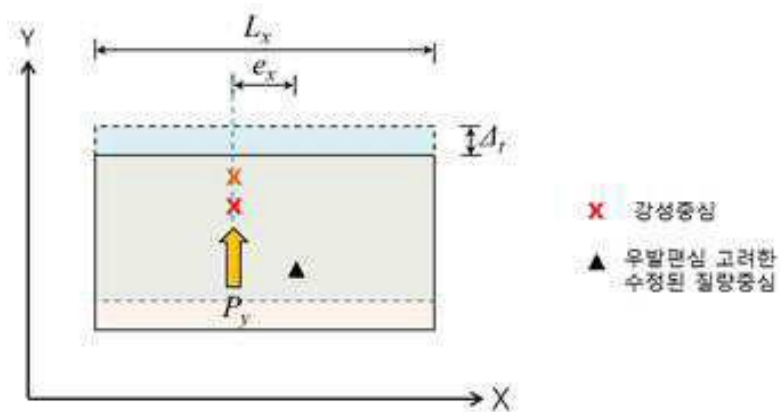
도면5b



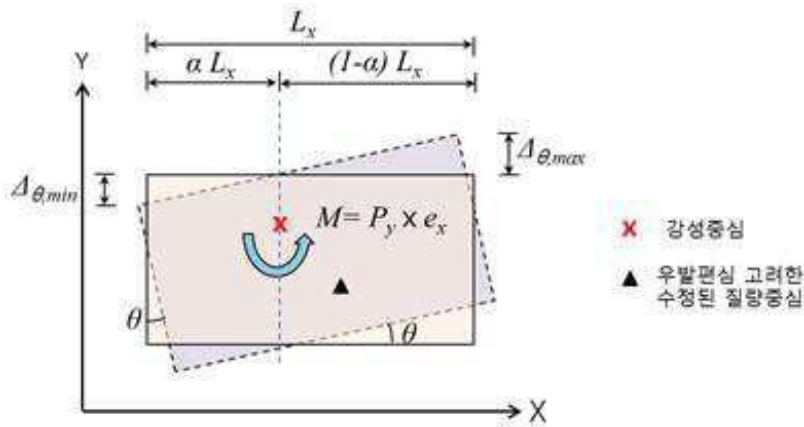
도면6a



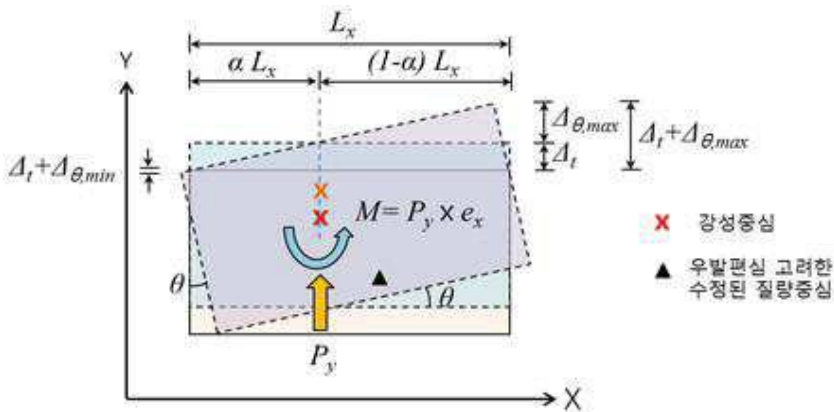
도면6b



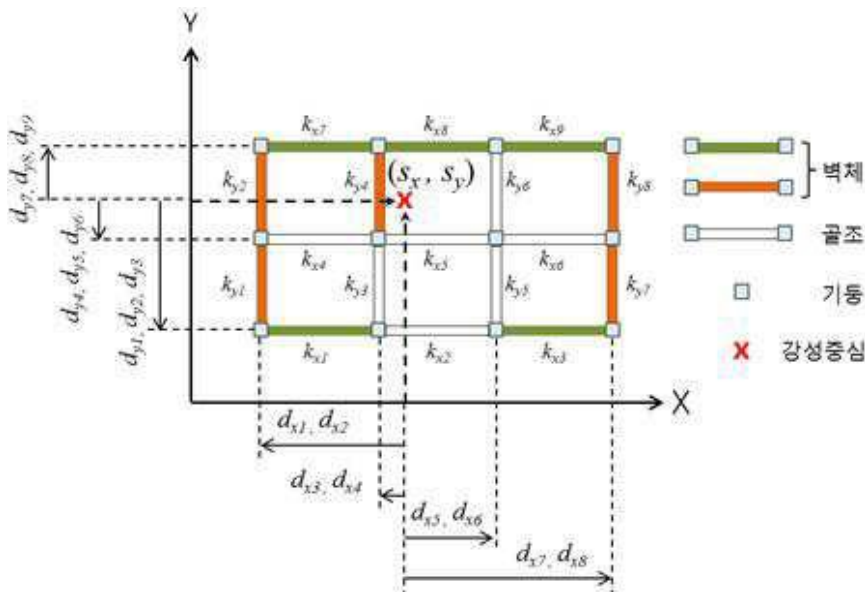
도면6c



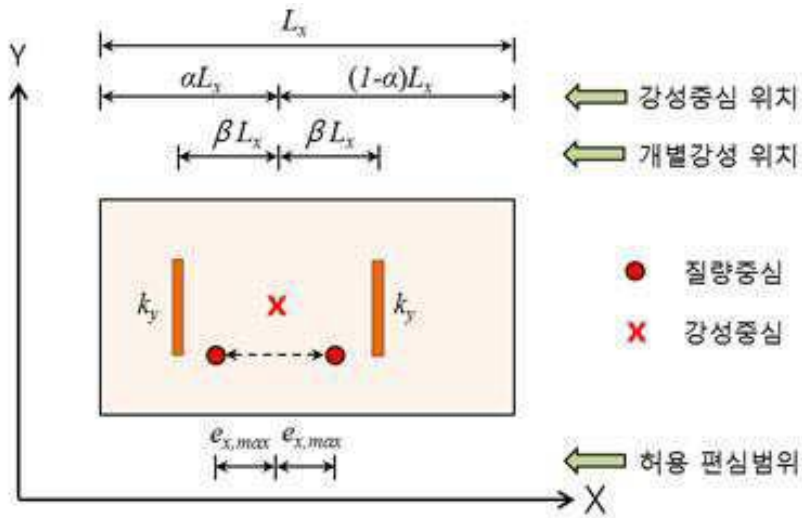
도면6d



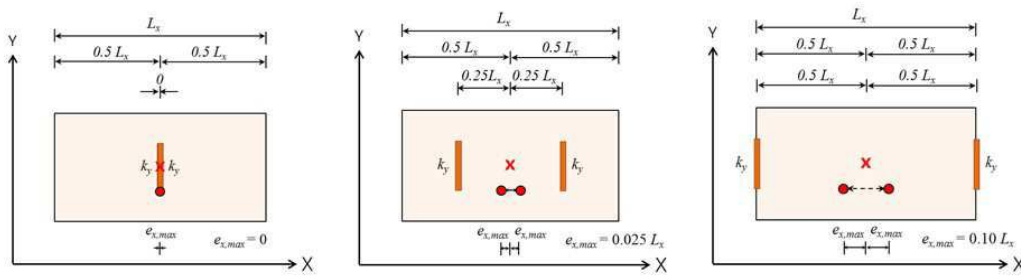
도면6e



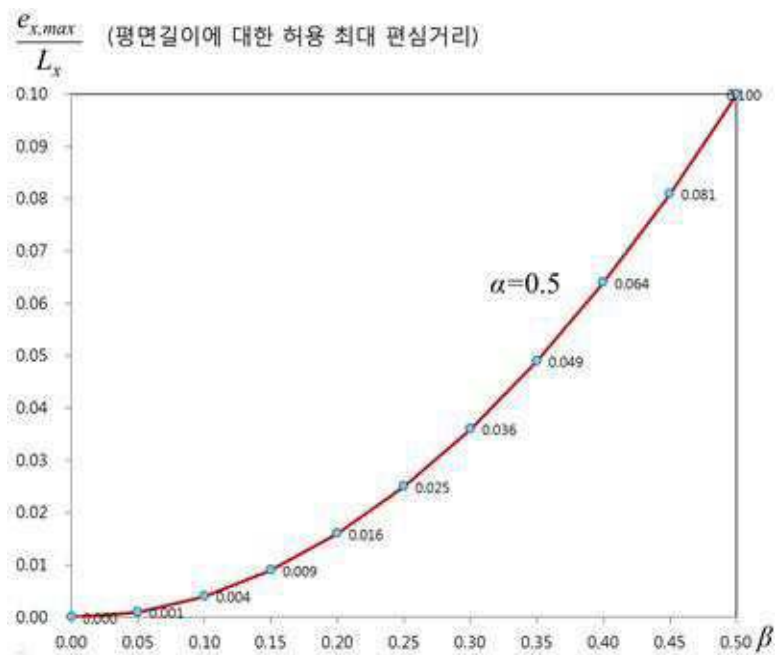
도면7a



도면7b



도면7c



도면7d

평면길이에 대한 허용 최대 편심거리

