



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

BST면을 활용한 평면 비정형
건물의 횡성능 평가

제주대학교 대학원

건축공학과

김 세 정

2022년 2월

BST면을 활용한 평면 비정형 건물의 횡성능 평가

지도교수 고 동 우

김 세 정

이 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함

2021년 12월

김세정의 공학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 서 일 교



위 원 고 동 우



위 원 최 희 복



제주대학교 대학원

2021년 12월



Evaluation of the lateral performance of eccentric buildings using BST surfaces

Kim, Se-Jeong

(Supervised by Professor Ko, Dong-woo)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of Master of Science

December. 2021.

This thesis has been examined and approved.

.....Suh, Il-Gyo..... 

Thesis director, Suh Il-Gyo, Prof. of Department of Architectural Engineering

.....Ko, Dong-Woo..... 

.....Choi, Hee-Bok..... 

December. 2021.

Department of Architectural Engineering

GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

1. 서론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 기존연구분석	3
2. BST면의 개요	5
2.1 BST면의 개념	5
2.2 BST면의 정의	7
2.3 BST면 작도법	7
3. BST면의 Case Study	9
3.1 횡력저항요소의 배치에 따른 BST면 비교	9
3.2 평면 비정형 건물의 횡거동	17
4. 실제건물 적용	24
4.1 대상 건물의 개요	24
4.2 건물의 횡성능 산출	27
4.3 BST면의 비교	32
5. 결론	34
참고문헌	35
국문요약	37
Abstract	38

표 목 차

표 3.1 횡력저항요소 배치에 따른 BST면	12
표 3.2 횡력저항요소 배치에 따른 BST면	13
표 4.1 A건물 구조평면도 및 구조상세(단위 : mm)	25
표 4.2 B건물 구조평면도 및 구조상세(단위 : mm)	26
표 4.3 A건물의 각 부재별 횡성능(단위 : kN)	28
표 4.4 B건물의 각 부재별 횡성능(단위 : kN)	28
표 4.5 가력방향 횡성능(단위 : kN)	29
표 4.6 A건물의 밑면전단력 및 비틀림모멘트	30
표 4.7 B건물의 밑면전단력 및 비틀림모멘트	31

그림 목 차

그림 1.1 비틀림에 의한 건물의 붕괴	2
그림 1.2 포항지진에서 발생한 필로티 기둥의 붕괴	2
그림 2.1 BST면	6
그림 2.2 P-M상관도	6
그림 2.3 BST면 작도법	8
그림 3.1 횡력저항요소의 배치에 따른 BST면 비교	16
그림 3.2 이상적인 평면 형태	17
그림 3.3 평면 비정형 건물의 횡성능 산출	21
그림 3.4 모델건물의 횡성능점 도출	23
그림 4.1 횡력의 작용	27
그림 4.2 A건물의 BST면 비교	33
그림 4.3 B건물의 BST면 비교	33

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

우리나라는 좁은 국토 면적에 많은 인구가 밀집하다 보니 공간을 효율적으로 활용하기 위한 노력을 지속적으로 수행하여 왔다. 그 대표적인 사례로 상가와 주거용도, 주차장과 주거용도의 공간을 수직적으로 나눈 형태의 건물이 다수 지어져 왔다. 이와 같은 건물들은 계획적 특성상 지상 1층은 라멘구조, 지상2층은 벽식구조인 필로티형 구조를 가지고 있다. 이와 같은 하부라멘, 상부벽식의 필로티형 건물은 우리나라에서만 볼 수 있는 독특한 구조형식으로 건축계획적 측면에서 2가지 용도를 수직적으로 분리하여 대지를 효율적으로 이용할 수 있다는 장점이 있으나, 구조적측면에서는 비정형성이 크게 되어 횡력에 취약한 결과를 초래하고 있다.

대부분의 필로티형 건물은 수평에서는 ‘비틀림 비정형’, ‘면외 어긋남’에 해당되고, 수직에서는 ‘연층’, ‘기하비정형’, ‘횡력저항 수직요소 비정형’, ‘약층’에 해당한다. 그림 1.1은 벽과 기둥이 비대칭적으로 배치된 비틀림 비정형 건물로 비틀림으로 인해 붕괴된 모습이다. 비정형구조는 힘의 흐름이 부자연스러워 각 구조요소가 구조물의 능력을 잘 발휘할 수 없기 때문에, 우리나라에서는 내진설계 시 특별지진하중을 적용도록 하고 있다(건설교통부, 2005).

2017년 포항지진에서 다수의 필로티형 건물의 지층이 파괴되어 필로티형 건물이 지진에 취약함을 보여주었다(그림 1.2). 이에 우리나라에서는 내진설계의 범위가 저층까지 대폭 확대됨과 동시에, 필로티형 건물에 대해서는 내진설계 뿐만 아니라 엄격한 감리절차를 거치도록 규정이 개정되었다. 또한 필로티형 건물의 내진설계가이드라인(국토교통부, 2018)이 발간되어 필로티형 건물의 내진설계를 위한 지침으로 활용되도록 하고 있으며, 2019년에는 이를 반영한 내진설계 기준이 개정되었다(국토교통부, 2019). 그러나 이와 같은 노력은 구조설계 과정에서 반영되는 내용이며, 기초적인 설계단계에서 구조물의 성능을 파악하기는 쉽지 않다. 만약 건물의 횡성능을 쉽게 이해 할 수 있는 접근법이 있다면, 초기 계획 또는

내진보강계획 시 횡력저항 시스템을 배치하는 데 도움이 될 것이다.

필로티형 건물의 경우, 필로티층에서 연층 또는 약층이 형성되므로 지진발생 시 대부분의 손상이 필로티 층에 집중된다. 따라서 필로티건물의 하부층을 이상화하여 필로티층의 횡성능을 파악할 수 있다면, 설계초기단계에서 필로티형 건물의 횡성능을 파악할 수 있다. 이를 통해 초기계획단계에서 건물의 최적화된 기둥과 코어의 배치가 가능할 뿐만 아니라 기존 필로티형 건물의 효율적인 보강법을 제시할 수 있다. 본 연구에서는 이상과 같은 일련의 과정을 통해 초기 계획단계에서 건물의 횡성능을 증진시키고, 평가할 수 있는 방법을 제시하고, 이를 실제 건물에 적용함으로써 필로티형 건물의 횡성능을 평가하는 과정을 제시하고자 한다.



그림 1.1 비틀림에 의한 건물의 붕괴

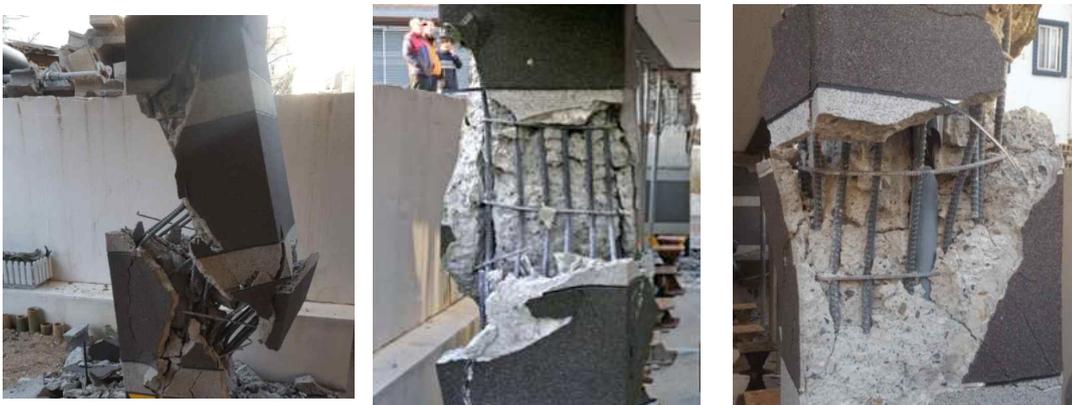


그림 1.2 포항지진에서 발생한 필로티 기둥의 붕괴

1.2 기존연구분석

비정형 건물의 횡성능에 대한 연구는 많은 연구자들이 수행하여 왔다. 그 접근 방법으로 정적인 해석법을 기반으로 횡성능을 파악하는 방법(Paulay, 1998)과 진동대실험으로부터 얻은 데이터를 바탕으로 구조물의 비틀림 거동(Yoo et al., 2016), (Ko et al., 2007) 그리고 우발편심거리를 기반으로 한 구조물의 비틀림 거동을 파악하는 연구(Chopra et al., 1994) 등이 수행되어 왔다. 그 외에 구조물의 횡거동을 밀면전단력과 밀면 비틀림모멘트의 상관관계를 도식화하여 나타내고자 하는 시도가 1995년부터 시작되었다.

De la Llera and Chopra(1995)는 건물의 각 골조별 항복강도로부터 밀면전단력과 비틀림모멘트의 관계를 사용하여 건물의 비대칭거동에 따른 파괴양상을 추정할 수 있는 Base shear-Torque surface(BST면)를 적용하여 건물의 성능을 파악하는 방법을 제시하였다.

BST면을 통해 직각방향골조의 저항, 골조별 강성과 강도분포에 따른 건물 성능의 변화 등을 파악할 수 있기 때문에, BST면이 초기설계단계에서 유용하게 사용할 수 있는 도구임을 해석적 연구를 통해 밝혔으며, 1층 단순모델에 대해 각 골조별 강성과 강도의 변수를 두어 BST면을 도출하고, 시간이력해석을 통하여 그 적절성을 검증하였다. 그리고, 그 후속연구로서 BST면을 활용하여 set back 된 5층 건물의 비탄성거동과 건물의 성능을 파악하고, 비선형 시간이력해석을 수행하여 수직비정형 건물의 합리적인 설계에도 적용이 가능함을 제시하였다.

Paulay(1998)는 연성을 갖는 건물에서 메카니즘 해석법을 통해 비틀림효과를 해석에 반영하는 방법을 제시하였다. 비틀림강도를 증가시키는 방법대신, 연약한 부분의 비틀림변형성능을 증가시키면서 비틀림거동을 제어하는 방법을 몇 가지 예를 들어 제시하였다. 이 연구에서는 비틀림메카니즘을 고려하여 평면 비대칭인 건물의 시스템 연성도 요구량을 구하는 방법을 제안하였다. 지진방향에 직각방향인 횡력저항부재의 유무에 따라 비틀림에 구속된 건물과 비구속된 건물로 구분하고, 최종적으로 지진방향에 직각방향의 부재들이 비틀림에 저항하기 위한 요구연성도를 구하였다.

Lee et al.,(2003)는 필로티형 건물의 진동대실험 결과 나타난 밑면전단력과 비틀림모멘트의 관계와 실험체로부터 도출한 BST면의 관계를 서로 비교하여 BST면이 건물의 실질적 거동한계를 예측하는데 효과적일 뿐만 아니라 파괴양상까지 예측이 가능함을 보여주었다.

George K.,(2015)는 비틀림 비정형 단층건물의 비틀림거동으로 인한 비선형 회전반응을 여러 가지 지반운동에 대해 적용함으로써, 정적인 방법으로 비틀림건물을 설계할 때, 직교방향 횡력저항요소에 대한 강성과 강도의 기여를 포함하지 않을 경우 질량중심으로 작용하기 위해서는 또 다른 변수를 반영해야 함을 제안하였다.

Lee et al., (2015)은 1/5축소 5층 건물의 진동대실험결과 측정된 데이터를 바탕으로 진동대실험에서 나타난 필로티형 건물의 거동을 BST면과 함께 나타내어 중층규모의 필로티형 건물의 횡성능평가에서도 BST면을 활용할 수 있는 가능성을 검증하였다.

이상에서 보듯이 BST면이 횡력에 대한 구조물의 거동을 개략적으로 이해하는데 도움이 되는 것으로 파악되었으나, 대부분 단순하고 이상적인 구조물에 대한 연구가 대부분이었다. 본 연구에서는 다양한 평면형태에 대한 BST면의 유형을 파악한 후, 실제 지진피해를 입은 건물의 보강 전과 후의 BST면에 대한 분석을 통해 보강효과를 비교하였다.

2. BST면의 개요

2.1 BST면의 개념

밑면전단력-비틀림모멘트 상관관계도(Base Shear and Torque surface;이하 BST면)는 그림 2.1과 같이 밑면전단력과 비틀림 모멘트의 상관관계를 2차원 공간에 나타낸 것으로, 각 골조들이 각 방향으로 최대의 저항을 나타내는 점을 연결하여 BST면을 도출한다. 그림 2.1은 가력방향으로 강도가 동일한 2개의 평행한 골조가 있는 경우의 BST면으로서, 구조물 성능 이내인 내부영역과 성능을 벗어난 외부영역으로 구분된다.

2가지 요소의 상관관계도를 통해 구조적 안전성을 평가하는 대표적인 방법으로 기둥의 축력-모멘트 상관도(P-M상관도)에 의한 기둥의 설계를 들 수 있다.

그림 2.2는 임의의 기둥의 P-M상관도이다. 굵은 실선은 기존의 P-M상관도이고, 실선과 가는 점선은 각각 휨모멘트와 축력이 성능을 벗어난 경우 보강기둥의 P-M상관도이다. 기둥을 설계함에 있어 점(A)와 같이 모멘트 성능이 부족할 경우, 모멘트의 영역을 확대하여 P-M상관도를 가는 실선의 형태로 만들어야 한다. 이를 위해서는 기둥의 주철근을 더 배근하여 휨성능을 증가시키는 방법을 제시할 수 있다. 그리고 점(B)와 같이 축성능이 부족하면 축력부분을 증대시키기 위해 P-M상관도를 가는 점선의 형태로 만들어야 한다. 이 경우 기둥의 단면을 키우거나 콘크리트의 강도를 증가시킴으로써 축성능을 증가시키게 된다.

P-M상관도와 마찬가지로 BST면도 구조물의 안전성을 평가하는 방법으로 복잡한 식을 사용하지는 않지만, 설계초기단계에서 개략적으로 구조물의 안전성을 파악하는 데 활용할 수 있다.

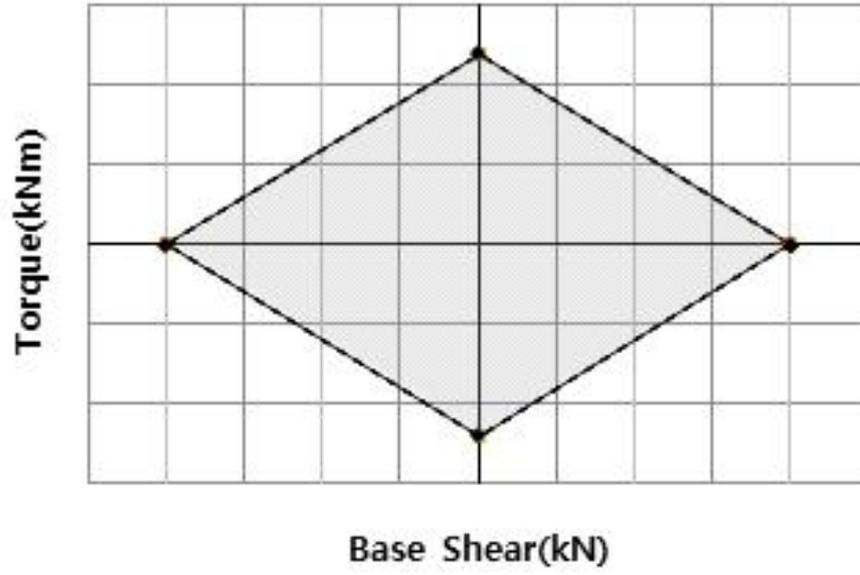


그림 2.1 BST면

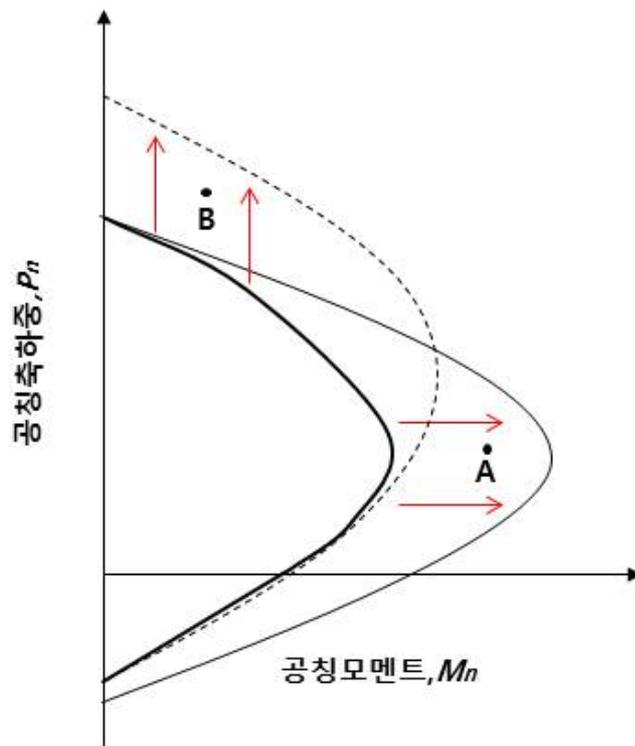


그림 2.2 P-M상관도

2.2 BST면의 정의

건물에 횡력이 작용하면 힘의 평형조건에 의해 건물의 저면에는 밀면전단력과 비틀림모멘트가 발생한다. 이때, 각각의 수직부재는 횡강성과 강도를 가지고 있기 때문에, 그 횡성능을 바탕으로 구조물이 저항할 수 있는 밀면전단력과 비틀림모멘트의 한계값을 산출할 수 있고, 이를 2차원 평면에 밀면전단력(V), 비틀림모멘트(T)의 상관관계로 나타낼 수 있다. 이때, 각 평면골조는 횡력에 대해 연성이 무한대이면서 완전 탄소성거동을 한다고 가정한다. 이와 같이 수직부재의 횡성능에 대해 구조물이 저항할 수 있는 밀면전단력과 비틀림모멘트를 각각의 축으로 하는 다이어그램으로 나타낸 모든 조합을 BST면이라 한다.

2.3 BST면 작도법

BST면은 각 골조들이 각 방향으로 최대의 저항을 보여주는 점을 연결하여 나타낼 수 있다. 그림 2.3은 가력방향으로 2개의 골조만 갖고 있는 평면에 대한 BST면의 작도과정이다. 여기서 각 골조의 항복강도를 f , 횡력저항요소간 거리를 w 라고 가정하고 힘의 평형조건을 이용하여 건물의 밀면전단력(V)과 비틀림모멘트(M_T)를 도출할 수 있다. 두 골조 모두 양의 방향으로 항복하면 좌측골조와 우측골조의 전단성능은 각각 f 로, 두 골조의 합 밀면전단력은 $2f$ 이며, 비틀림모멘트는 각 골조의 전단성능과 중앙부에서의 골조까지 거리를 곱한 값으로 $f \times \frac{w}{2} + f \times \left(-\frac{w}{2}\right) = 0$ 이 되어 점 (A)에 해당하고, 점 (B)의 경우 밀면전단력은 0이며, 비틀림모멘트는 $f \times \frac{w}{2} + (-f) \times \left(-\frac{w}{2}\right) = fw$ 가 된다. 이와 동일한 방법으로 두 골조 모두 음의 방향으로 항복하는 경우는 점 (C)가 되며, 밀면전단력은 $-2f$, 비틀림모멘트는 0, 시계반대방향으로 비틀림이 발생하는 위치는 그래프상에서 점 (D)에 해당되고 밀면전단력은 0, 비틀림모멘트는 $-fw$ 가 된다. 이렇게

생성된 4개의 점을 이으면, 해당골조에 대한 BST면이 완성된다. 각 골조의 힘의 방향을 살펴보면, (A)-(B)구간의 경우, (A)와 (B) 모두 우측골조가 양의방향으로 항복한 반면 좌측골조는 양의방향(A)에서 음의 방향(B)으로 이동하기 때문에 (A)-(B)구간은 우측골조가 양의 방향으로 항복하는 경우에 해당하며, (C)-(D)구간은 우측골조는 (C)와 (D)에서 음의 방향으로 항복하는 반면, 좌측골조는 음의 방향에서 양의 방향으로 이동하기 때문에 (C)-(D)구간에서 우측골조는 음의 방향으로 항복하는 경우에 해당한다. 다른 영역에 대해서도 이와 유사한 방법을 적용하면, (B)-(C)구간의 좌측골조는 음의방향으로 항복한 반면, 우측골조는 양의 방향(B)에서 음의방향(C)으로 이동하기 때문에 (B)-(C)구간에서 우측골조는 탄성영역이면서 좌측골조는 음의 방향으로 항복하는 경우이다. 마지막으로 (D)-(A)구간은 좌측골조가 양의방향으로 항복하고, 우측골조는 음의방향에서 양의방향(A)으로 이동하기 때문에 (D)-(A)구간에서 우측골조는 탄성영역에 놓이면서 좌측골조는 양의 방향으로 항복하는 경우이다.

따라서, 간단한 해석을 통해 건물에 횡력을 가했을 때 나타나는 밀면전단력과 비틀림모멘트의 관계를 도출하여 BST면과 중첩시키면, 건물의 파괴 양상도 확인이 가능하다.

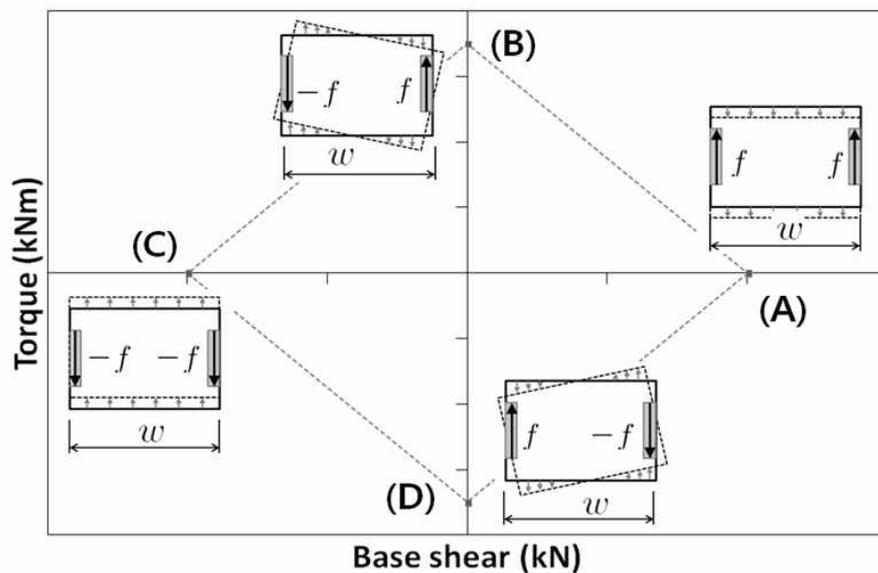


그림 2.3 BST면 작도법

3. BST면의 Case Study

3.1 횡력저항요소의 배치에 따른 BST면 비교

본 연구에서는 횡력저항요소의 배치에 따른 BST면의 변화를 비교하기 위해 표 3.1과 같이 이상적인 평면유형을 계획 하였다. 모델의 평면은 횡력저항요소의 배치 및 강도 차이에 따른 형태와 가력방향 길이증가, 직교방향 길이증가에 따라 선정하였다.

기본적으로 각 평면의 가력방향(Y방향) 길이는 l , 직교방향(X방향)의 길이는 w 이며, 가력방향 골조의 강도는 F_y , 직교방향 골조의 강도는 F_x 로 가정하였다.

Model 1~12의 골조 강도 $F_y = 2\text{kN}$, $F_x = 1\text{kN}$ 이며, 가력방향과 직교방향의 길이는 각 모델마다 차이가 있다. 가력방향 골조만 있는 Model 1, 2와 Model 5, 6의 경우 $w = 4\text{m}$, 직교방향 골조가 추가되어 있는 Model 3,4의 가력방향 길이와 직교방향 길이는 각각 $w = 7\text{m}$, $l = 8\text{m}$ 이며, Model 7~12의 가력방향 길이와 직교방향 길이는 모두 4m 이다.

기준이 되는 Model 1은 가력방향으로 강도가 동일한 2개의 골조로만 구성되어 있다. 강도가 동일한 골조의 배치로 밀면전단력과 비틀림모멘트의 값이 대칭을 이루며, BST면도 원점에 대한 대칭 형태이다. 밀면전단력 값이 최대일 때 비틀림 모멘트 값은 가장 낮고, 비틀림모멘트 값이 증가함에 따라 밀면전단력 값은 줄어든다. 이와 비슷하나, 강도가 비대칭인 Model 2는 BST면이 1사분면과 3사분면으로 기울어진다. 이것은 우측골조의 항복강도가 좌측골조보다 크다는 것을 나타내며, Model 1의 밀면전단력과 비틀림모멘트 값을 비교 하더라도, 강도가 증가한 만큼 전단성능과 비틀림 성능이 증가 한 것을 확인 할 수 있다. 이렇듯 강도의 비대칭은 BST면의 형태도 비대칭으로 나타나는 것을 알 수 있다.

Model 3은 직교방향에 골조가 추가된 평면이다. 직교방향 골조가 있을 경우 가력방향에만 골조가 있는 BST면보다 BST면을 구성하는 선분이 1개 늘어난다. 앞서 BST면의 특성에 따르면 지반운동 방향으로 구조물 내에서 저항하는 골조

의 수의 2배수만큼 선분을 가지는데, Model 3의 BST면에서는 1개의 선분이 추가됨으로 인해 직교방향의 골조가 횡성능에 영향을 미치는 것을 파악 할 수 있다. 직교방향의 골조는 횡성능과 무관해 보이지만, 비틀림 거동에 대해 전단력으로 저항하는 부분이 발생하고 이는 횡력으로 인한 비틀림모멘트를 직교방향 골조가 분담하는 것을 의미한다. 따라서, 직교방향 골조가 있는 경우 가력방향 골조만 있는 평면과 비교했을 때 비틀림 성능이 증가한다. 직교골조가 있으나 가력방향 골조의 강도가 비대칭인 평면의 경우, 강도의 증가만큼 전단성능과 비틀림 성능이 증가하고, BST면도 강도의 비대칭에 따라 비대칭인 형태로 나타난다.

Model 5는 강도가 동일한 내부골조가 추가된 평면이다. 골조가 추가됨에 따라 전단성능은 증가하나, 기준이 되는 Model 1과 최대 비틀림모멘트는 8kN으로 동일하다. 이때, BST면은 대칭형이며, 6개의 선분으로 형성된다. 동일한 강도의 골조가 3개 있는 평면의 BST면 특성을 잘 나타낸다. Model 6의 경우 내부골조가 있으나, 강도가 비대칭이다. 이 경우 기준 Model 1과 비교하여, 동일한 밀면전단력에 대한 비틀림 성능이 증가함을 알 수 있다. Model 1의 최대 밀면전단력 4kN일 때, 비틀림모멘트는 0이었으나, Model 6의 밀면전단력 4kN일 때에 비틀림모멘트는 12kN이다. 이는 직각방향 골조도 비틀림 성능을 증진시키는데 도움이 될 수 있다는 것을 보여준다. Model 5와 같이 BST면은 6개의 선분으로 형성되나, 강도의 비대칭에 따라 BST면도 비대칭이다.

Model 7과 Model 8은 X방향과 Y방향의 길이가 동일한 정사각형 모델로 각 방향의 길이증가 평면의 기준이 되는 모델이다. 두 모델은 가력방향 골조는 모두 비대칭이며, 가력방향 골조만 있는 Model 7과 직교방향 골조가 추가된 Model 8로 구분된다.

가력방향으로 강도가 비대칭인 골조만 있는 정사각형 평면 Model 7의 경우 최대 밀면전단력과 비틀림모멘트 값이 Model 2와 동일하며, BST면의 형태도 동일하다. 직교방향 골조가 추가된 Model 8은 Model 4와 비교하였을 때 최대 밀면전단력값은 동일하나, 각 방향 길이의 차이로 비틀림모멘트 값은 큰 차이를 보이지만, BST면의 형태는 동일하다.

Model 9와 Model 10은 가력방향으로 평면의 길이를 증가시킨 평면이다. Model 9의 경우 가력방향의 골조만 있는 평면으로 가력방향의 길이 증가는 가력방향 골조에 영향을 미치지 않아 BST면 형태가 Model 7과 동일하고, 가력방향 길이를 증가시킨 직교방향의 골조가 있는 Model 10은 직교방향 골조간 거리가 증가함에 따라 Model 9의 최대 비틀림모멘트 값보다 증가함을 알 수 있으며, BST면에서도 Y축으로 비틀림 성능이 증가함을 알 수 있다.

직교방향의 길이를 증가시킨 Model 11과 Model 12의 경우 편심거리 증가로 인해 정사각형 평면 Model 7과 8보다 비틀림 모멘트가 모두 증가하였으며, 가력방향골조만 있는 Model 11에 비해, 가력방향과 직교방향에 각각 2개의 골조가 있는 Model 12의 비틀림 모멘트가 증가함을 알 수 있다.

표 3.1 횡력저항요소 배치에 따른 BST면

Model No	Plan	BST	Base Shear (kN)	Torque (kNm)
1			4	0
			0	8
			-4	0
			0	-8
			4	0
2			6	4
			2	12
			-6	-4
			-2	-12
			6	4
3			4	8
			0	22
			-4	8
			-4	-8
			0	-22
			4	-8
			4	8
4			6	7
			2	29
			-6	1
			-6	-7
			-2	-29
			6	-1
			2	29
5			6	0
			2	8
			-2	8
			-6	0
			-2	-8
			2	-8
			6	0
6			8	4
			4	12
			0	12
			-8	-4
			-4	-12
			0	-12
			8	4

표 3.2 횡력저항요소 배치에 따른 BST면

Model No	Plan	BST	Base Shear (kN)	Torque (kNm)
7			6	4
			2	12
			-6	-4
			-2	-12
			6	4
8			6	8
			2	16
			-6	0
			-6	-8
			-2	-16
6	0			
6	8			
9			6	4
			2	12
			-6	-4
			-2	-12
			6	4
10			6	12
			2	20
			-6	4
			-6	-12
			-2	-20
6	-4			
6	12			
11			6	8
			2	24
			-6	-8
			-2	-24
			6	8
12			6	12
			2	28
			-6	-4
			-6	-12
			-2	-28
6	4			
6	12			

횡력저항요소의 배치에 따라 도출된 BST면을 그림 3.1과 같이 비교하여 횡력저항요소의 배치 및 강도, 평면의 길이증가가 BST면에 어떠한 영향을 미치는지 확인하였다. 두 모델 간 비교를 쉽게 하기 위해 기준이 되는 모델의 BST면은 굵은 실선으로 표시하였으며, 비교 대상 모델의 BST면은 점선으로 표시하였다.

그림 3.1(a)는 가력방향 골조 양쪽의 강도가 다른 경우이다. 이 경우 최대 밀면 전단력을 발휘할 때 불균등 하중이 작용하게 되어 비틀림 모멘트가 발생하게 되고, 비틀림모멘트가 최대일 때도 가력방향으로 전단력이 발생하게 된다. 따라서 가력방향으로 저항하는 골조의 성능이 동일하지 않을 경우 그림 3.1(a)의 점선과 같이 비틀림모멘트가 최대가 되는 상황에서도 좌측골조의 전단력과 우측골조의 전단력은 각각 -2kN과 4kN으로 서로 상쇄되지 않아 2kN의 밀면전단력이 남게 된다. 양측 골조의 항복강도(F_y)가 동일한 Model 1과 양측 골조의 항복강도가 2배 차이가 나는 Model 2의 BST면을 비교하면 Model 2의 BST면은 1사분면과 3사분면 방향으로 강도가 증가하는 만큼 BST면이 커지는 것을 확인 할 수 있다.

그림 3.1(b)는 직교골조의 유무에 따른 BST면의 차이를 나타낸다. 직교골조가 있을 경우, 비틀림 거동에 대해 직교방향 골조가 전단력으로 저항하는 부분이 발생한다. 이것은 횡력으로 인한 비틀림 모멘트를 직각방향 골조가 분담할 수 있다는 것을 의미하며, 직각방향 골조가 있을 경우 비틀림 성능이 증가함을 알 수 있다.

그림 3.1(c)는 가력방향 골조만 있는 평면과 중앙에 가력방향 골조가 추가된 평면의 BST면을 비교 하였다. 가력방향 골조가 추가됨에 따라 최대 비틀림 저항 성능은 중앙부 골조가 없을 때와 동일하지만, 동일한 비틀림모멘트에 대한 전단 성능은 증가함을 알 수 있다.

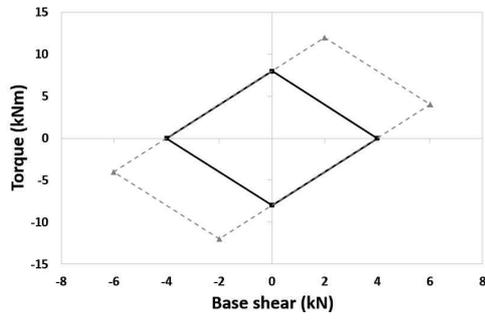
그림 3.1(d)는 정사각형 평면에 가력방향으로 강도가 비대칭인 골조가 있는 경우의 BST면이다. 실선은 가력방향으로만 골조가 있는 평면이며, 점선은 가력방향과 직교방향에 골조가 있는 평면이다. 두 평면의 차이는 직교방향 골조 유무로 그림 3.1(b)에 설명했던 바와 같이 비틀림 성능이 증가하는 것을 알 수 있다.

그림 3.1(e)와 (f)는 평면의 길이변화에 따른 비교를 위해 각각 가력방향으로 길이를 증가시킨 경우 BST면과 직교방향으로 길이를 증가시킨 경우 BST면을 비교하였다. 두 BST면의 기준이 되는 평면(실선)은 정사각형이며, 가력방향으로

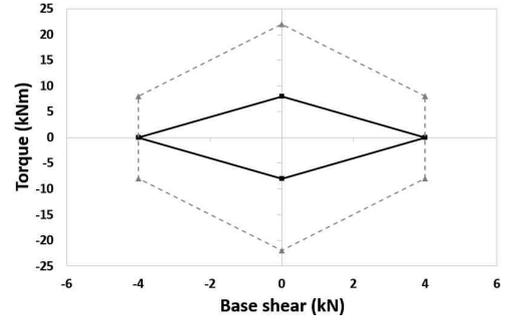
는 항복강도가 비대칭한 골조가 있고, 직교방향으로는 항복강도가 동일한 골조가 있는 경우 BST면의 형태이다.

그림 3.1(e)는 가력방향으로 평면의 길이를 증가 시킨 BST면으로, 가력방향 골조의 항복강도는 비대칭하고, 직교방향 골조의 항복강도는 동일하다. 가력방향의 길이를 증가 시킨 경우 질량중심에서 골조의 팔길이 증가로 인해 비틀림모멘트가 증가하여 Y축으로 확장되는 것을 알 수 있다.

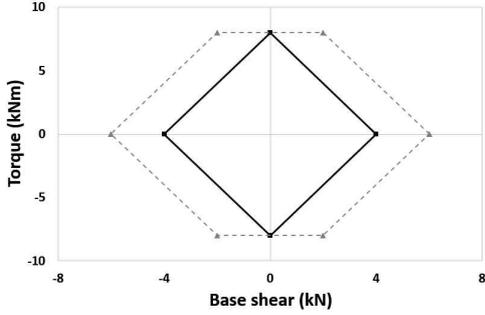
그림 3.1(f)는 직교방향으로 평면의 길이를 증가 시킨 BST면으로, 가력방향 골조의 항복강도는 비대칭하고, 직교방향 골조의 항복강도는 동일하다. 직교방향의 길이를 증가 시킨 경우 가력방향 길이를 증가시킨 경우의 BST면의 형태의 변화와 동일하게 골조의 팔길이 증가로 인해 비틀림모멘트가 증가하기는 했으나, 가력방향 골조의 항복강도가 비대칭하여, 기준 평면의 BST면보다 강도가 큰 골조가 있는 쪽의 비틀림모멘트가 크게 상승하는 것을 알 수 있다.



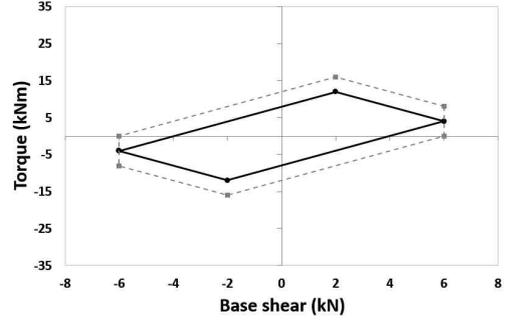
(a) 강도불균등



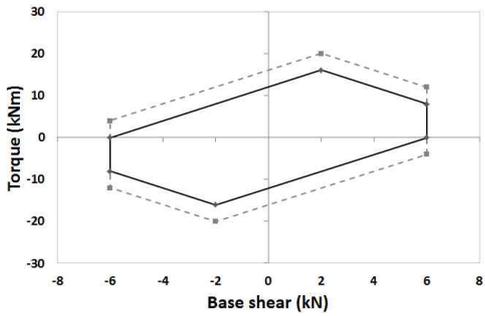
(b) 직교골조 유무



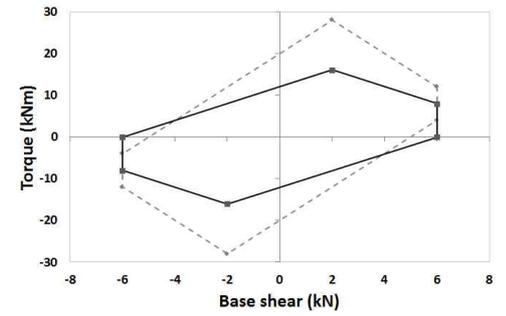
(c) 내부골조 유무



(d) 정사각형 평면



(e) 가력방향 길이증가



(f) 직교방향 길이증가

그림 3.1 횡력저항요소의 배치에 따른 BST면 비교

3.2 평면 비정형 건물의 횡거동

평면 비정형 건물의 경우 횡력저항요소의 강성분포에 따라 건물의 횡거동이 달라질 수 있다. 지진력은 건물 대부분의 질량이 집중되어 있는 각 층의 질량중심에 관성력으로 이상화하여 나타낸다. 따라서, 건물의 질량중심과 강성중심이 일치하지 않을 경우 편심거리(e)가 생기고, 그로 인해 건물은 비틀림거동을 하면서 건물의 밀면전단력과 비틀림 모멘트가 동시에 작용하게 된다. 비틀림거동을 하는 건물의 밀면전단력과 비틀림모멘트가 동시에 작용하는 경우, 횡력에 대한 거동을 분석하기 위해 가력방향과 그 직교방향으로 2개씩 횡력저항요소만 가지고 있는 이상적인 평면을 선정하였다(그림 3.2).

여기서, k_s , k_f , k_{tr} 은 각각 강한골조, 연약골조, 직교방향골조의 강성이며, w 와 l 은 각 골조의 X방향과 Y방향 길이이다. 계획한 평면으로 횡성능 산출식을 서술한 후, 그 횡하중에 대한 건물의 횡거동을 분석하였다.

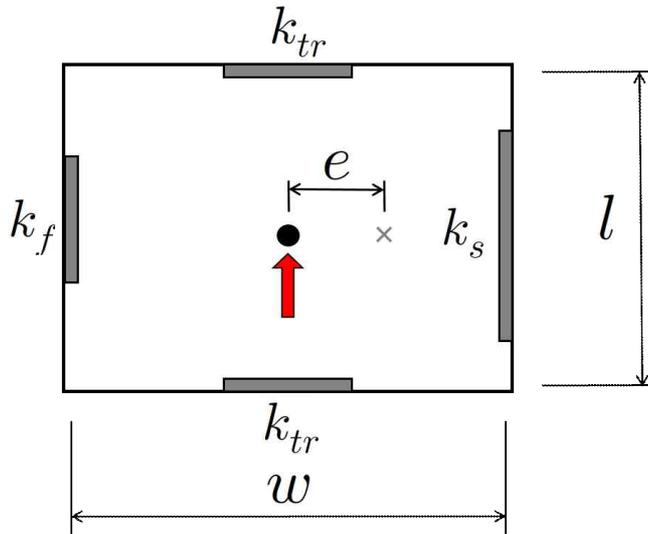


그림 3.2 이상적인 평면 형태

횡력저항요소의 횡강성이 균일하지 않아 질량중심과 강성중심이 일치하지 않을 경우 편심에 의한 비틀림이 발생한다. 편심거리 e 는 식 $\frac{w}{2} - \left(\frac{k_f}{k_s + k_f} \right) w$ 으로 구할 수 있다. 만일 횡력이 강성중심에 작용한다면 구조물은 병진운동만 하게 되

며, 이때 횡력은 골조의 강성에 비례하여 각 골조에 식(1)과 (2)와 같이 분배된다. 그러나, 지진하중에 해당하는 횡력은 질량중심에 작용하므로, 강성중심과 질량중심의 차이인 편심거리를 팔길이로 하는 비틀림모멘트(M_T)가 발생한다. M_T 와 비틀림에 의한 강성을 나타내는 단면극2차모멘트(I_p)로부터 M_T 에 의해 각 골조에서 발생하는 전단력(V_T'')을 식(3)과 같이 구할 수 있다.

$$V_s' = \frac{k_s}{k_s + k_f} V \dots\dots\dots (1)$$

$$V_f' = \frac{k_f}{k_s + k_f} V \dots\dots\dots (2)$$

$$V_T'' = \frac{x_i k_{x_i}}{I_p} \times M_T \dots\dots\dots (3)$$

$$I_p = \sum x_i^2 k_{x_i} + \sum y_i^2 k_{y_i} \dots\dots\dots (4)$$

$$V_s = V_s' + V_T'' \dots\dots\dots (5)$$

$$V_f = V_f' + V_T'' \dots\dots\dots (6)$$

여기서, V_s' 와 V_f' 는 각각 강성중심에 횡력이 작용했을 때 강한골조와 연약골조의 전단력, V_T'' 는 비틀림모멘트로 인한 전단력, V_s 와 V_f 는 각각 질량중심에 횡력이 작용했을 때 강한골조와 연약골조의 전단력이며, x_i 와 y_i 는 각각 강성중심에서의 강한골조와 연약골조까지의 거리, k_{x_i} 와 k_{y_i} 는 각각 강한골조와 연약골조의 강성이다.

위의 식 (1)~(6)을 활용하여, 평면 비정형 건물에서 직교방향 골조의 배치가 어떠한 영향을 미치는지 확인하기 위하여 가력방향 골조만 있는 평면(그림 3.3 Model 21)과 직교방향 골조가 추가된 평면(그림 3.3 Model 22)의 횡성능을 비교하였다.

그림 3.3은 건물의 폭과 깊이는 각각 7m와 8m이고, 강한골조와 연약골조의 강성은 각각 100kN/m와 10kN/m로 강성의 차이가 10배인 이상적인 건물의 질량중심에 100kN의 횡하중이 작용하는 이상적인 건물의 예이다. 예제 평면의 강성중심에 횡력이 작용할 때의 전단력을 식(1)과 (2)로 산출한다.

예제 평면은 직교방향 골조의 유무에 따른 차이가 있으나, 강성중심에 횡력이 작용할 때 골조는 병진운동을 하며(그림 3.3(b)), 직교골조에 영향을 받지 않기 때문에 가력방향 골조의 강성에 비례하여 두 예제 평면의 골조별 전단력은 동일하다. 강성중심에 100kN의 횡력이 작용할 때, 강한골조와 연약골조의 강성비에 따라

강한골조의 전단력 $V'_s = \frac{100}{100+10} \times 100$, 연약골조의 전단력

$V'_f = \frac{10}{100+10} \times 10$ 으로 각각 91kN과 9kN의 전단력이 발생한다(그림 3.3(b)).

비틀림모멘트에 의한 전단력(그림 3.3(c))을 구하기 위해서는 편심거리(e)와 단면극2차모멘트(I_p)값을 산출해야 한다. 편심거리는 $\frac{w}{2} - \left(\frac{k_f}{k_s + k_f} \right) w$ 식에 따라

$e = \frac{7}{2} - \left(\frac{10}{100+10} \right) \times 7$, 2.86m이며, 예제 평면(a)의 단면극2차모멘트

$I_p = 0.64^2 \times 100 + 6.36^2 \times 10 = 445.4$ 이며, 예제 평면(b)의 단면극2차모멘트

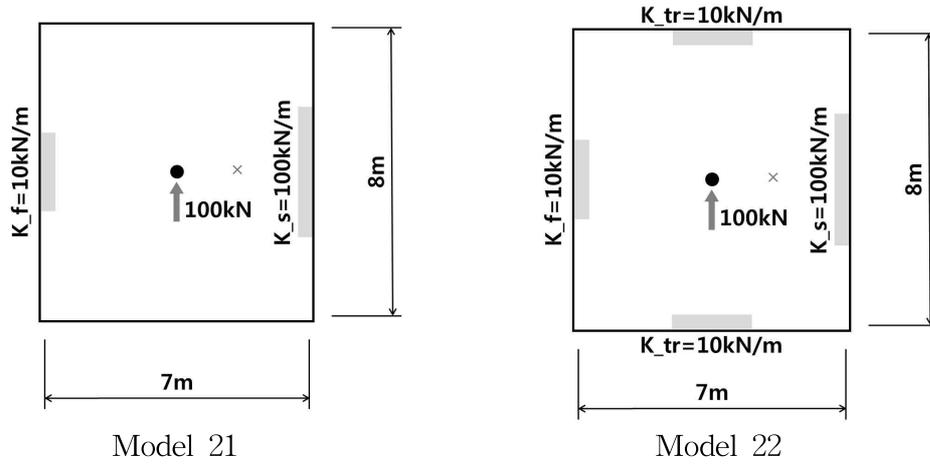
$I_p = 0.64^2 \times 100 + 6.36^2 \times 10 + 4^2 \times 10 + 4^2 \times 10 = 765.4$ 이다. 이렇게 산출한 값을

식(3)에 대입하여 비틀림모멘트로 인한 전단력을 구한다. 이때, 식(3)의 M_T 는 강성중심에 작용하는 횡력 100kN에 편심거리를 곱한 값으로 286kNm이다. 예제 평면(a)는 가력방향 골조만 있는 평면으로 산출된 비틀림모멘트로 인한 전단력

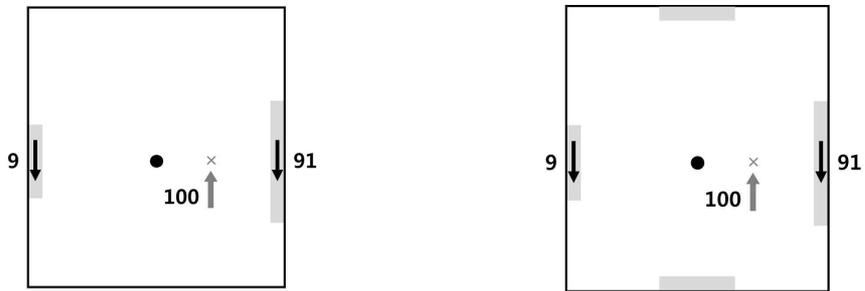
$V''_T = \frac{0.64 \times 100}{445.4} \times 286 = 41\text{kN}$ 로 각각 강한골조와 연약골조에 발생하며, 예제

평면 (b)의 $V_T'' = \frac{0.64 \times 100}{765} \times 286 = 23.9\text{kN}$ 으로 가력방향과 직교방향 골조에 각각 23.9kN의 전단력이 발생한다(그림 3.3(c)).

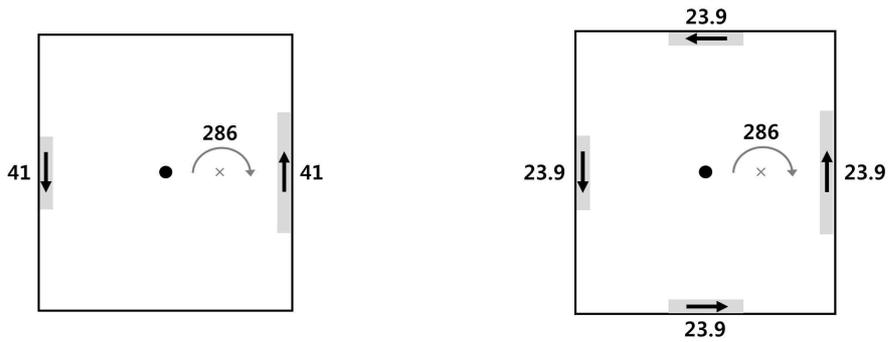
가력방향 골조만 있는 평면의 경우, 강한골조의 전단력 $V_s = 91 - 41 = 50\text{kN}$ 이며, 연약골조의 전단력 $V_f = 9 + 41 = 50\text{kN}$ 으로 강한골조와 연약골조에 작용하는 전단력이 동일한 반면, 직교방향 골조가 추가된 평면(b)의 경우, 강한골조의 전단력 $V_s = 91 - 23.9 = 67.1\text{kN}$, 연약골조의 전단력 $V_f = 9 + 23.9 = 32.9\text{kN}$ 으로 직교방향 골조의 강성에 따라 강한골조와 연약골조에 작용하는 전단력 차이를 보여주었다.



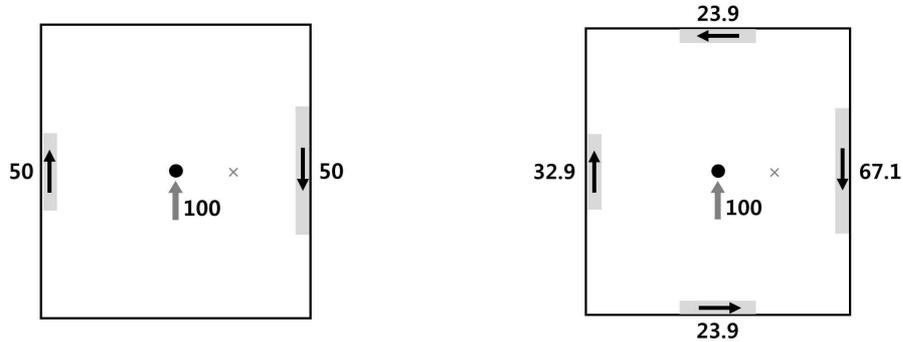
(a) 평면 비정형 건물 예제



(b) 강성중심에 횡력이 작용할 때 전단력 분포



(c) 편심거리에 따른 전단력 분포



(d) 각 골조별 전단력 분포

그림 3.3 평면 비정형 건물의 횡성능 산출

강성과 강도가 거의 비례한다고 가정하여 위 두 평면의 각 골조별 강도를 정하고, 그에 대한 BST면을 그림 3.4와 같이 나타낼 수 있다.

대상건물이 탄성영역에 존재하는 한 횡력 작용 시 건물의 밑면전단력과 밑면 비틀림모멘트는 가력하중 100kN과 비틀림모멘트(M_T) 286kNm와 비례하여 증가한다. 그림 3.4의 굵은 실선은 가력 시 건물 저면에 발생하는 밑면전단력과 비틀림모멘트로서 BST면과 화살표가 만나는 점이 건물의 횡성능 점을 의미한다.

가력방향 골조가 존재하는 그림 3.4 (a) Model 21의 횡성능점은 밑면전단력 55.1kN, 비틀림모멘트 157.1kNm에서 형성되며, 직교방향 골조가 있는 Model 22의 횡성능점은 밑면전단력 100kN, 비틀림모멘트 286kNm가 되어 Model 21보다 성능점이 1.8배 증가함을 알 수 있다. 또한, 성능점의 위치는 우측골조가 양의 방향으로 항복하는 영역에 해당하므로, 해당구조물의 파괴유형은 강한골조가 파괴되는 것에 해당함을 알 수 있다.

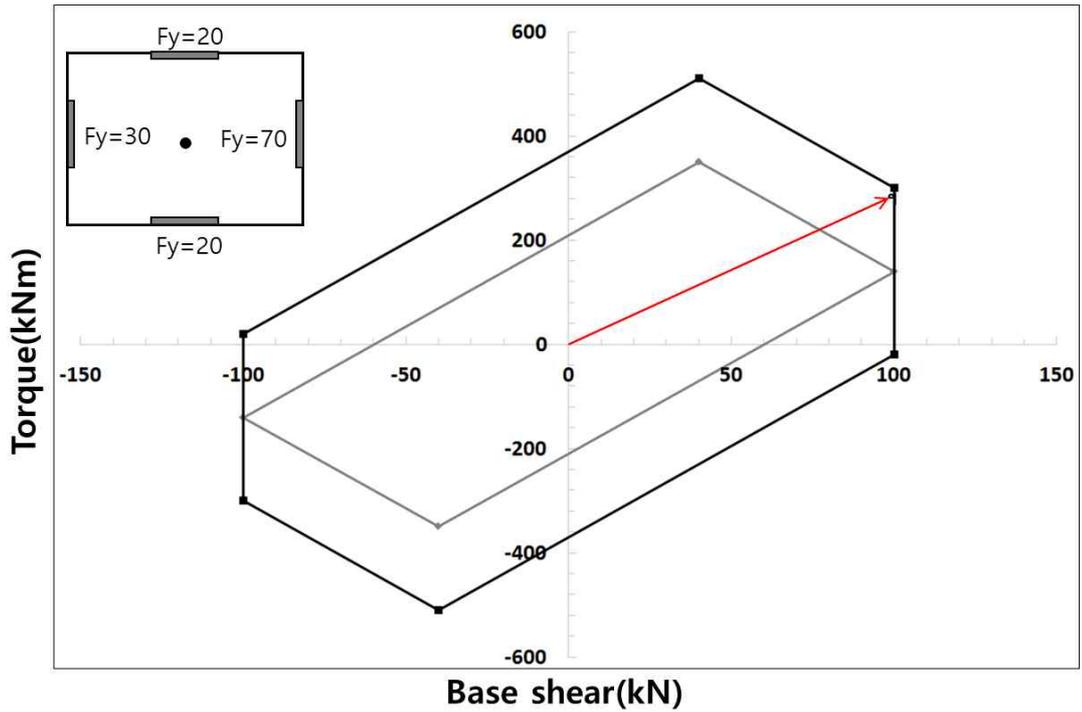
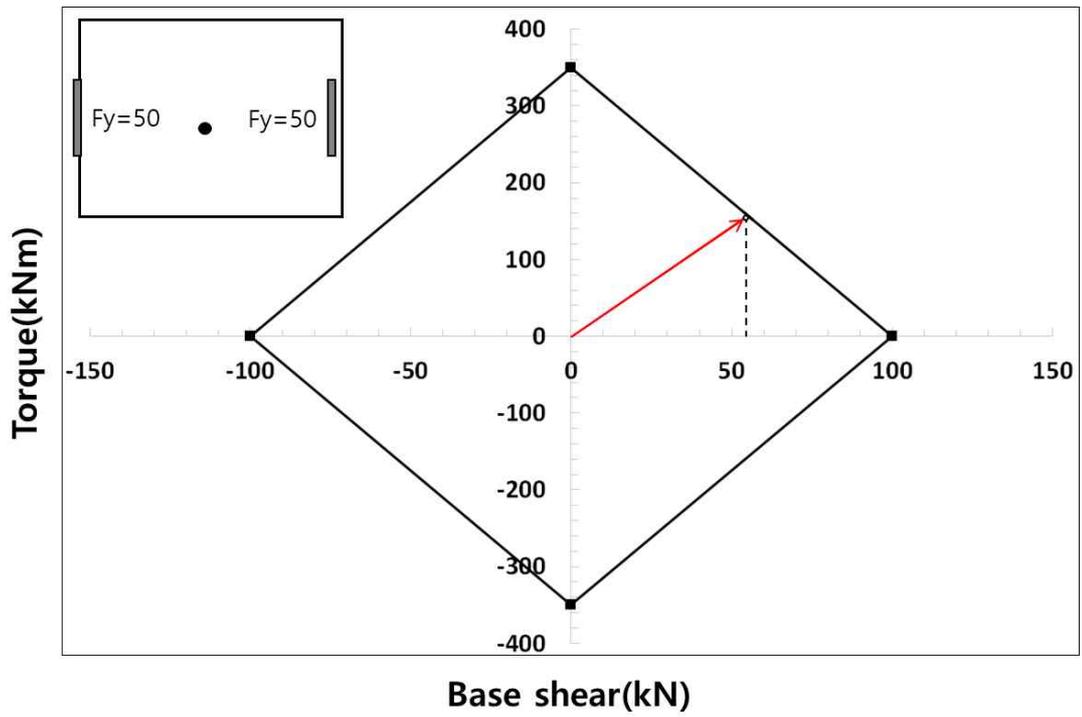


그림 3.4 모델건물의 횡성능점 도출

4. 실제건물 적용

실제 지진 피해를 입은 건물의 횡성능을 산출하고, 밀면전단력과 비틀림 모멘트를 산출하여 BST면을 작도하여, 건물의 보강 전과 후의 BST면에 대한 분석을 통해 보강효과를 비교하였다.

4.1 대상 건물의 개요

대상 건물은 “필로티 등 지진취약 건축물 지진방재 대책 마련을 위한 연구(국토교통부, 2018)”보고서에 2017 포항에서 발생한 지진에 의해 피해를 입은 건물 중 2개의 저층 필로티 건물을 선정하였다.

첫 번째로 선정한 건물은 포항시 북구 장량로 18번길에 위치한 지상 4층의 철근콘크리트/벽식구조로 지어진 필로티 건물(이하 A건물)이다.

계단실이 장방형 건물평면의 한쪽 모서리에 배치된 편심코어를 갖는 필로티 구조로서 편심에 의한 비틀림 거동으로 인해 코어와 가장 거리가 먼 건물 모서리 및 주변 기둥에는 대각균열과 전단파괴가 발생하고 계단실 벽면에도 전단균열이 크게 발생한 건물이다.

두 번째로 선정한 건물은 포항시 북구 장량로 31번길에 위치한 지상 4층의 철근콘크리트 구조로 지어진 필로티 건물(이하 B건물)이다. B건물은 편심코어 필로티 구조로 Y방향에 대하여 계단실 코어벽이 평면 가운데에 위치하여 대칭인 형태지만, X방향에 대해서는 계단실 코어벽이 아래쪽에 위치하고 있어 비틀림 거동이 발생할 수 있다. B건물은 필로티층에 상대적으로 많은 기둥과 벽체의 면적을 확보하고 있어 지진에 의한 피해는 크지 않았다.

대상 건물의 기존 구조평면도를 기준으로 벽체 및 기둥을 보강한 [보강 I]과 기둥 면적을 크게 증대시킨 [보강 II]의 BST면의 비교를 통해 보강 효과를 파악하였다.

표 4.1 A건물 구조평면도 및 구조상세(단위 : mm)

(a) 기존 구조평면도

	기둥	C1	300×300
	벽체	W1	200×5400
W2		300×5500	

(b) 보강 I

	기둥	C1	300×300
		C2	500×900
		C3	500×500
		C4	300×600
벽체	W1	200×5400	
	W2	300×5500	
	W3	300×3700	

(c) 보강 II

	기둥	C1	400×400
	벽체	W1	200×5400
W2		300×5500	

표 4.2 B건물 구조평면도 및 구조상세(단위 : mm)

(a) 기존 구조평면도			
	기둥	C1	300×600
	벽체	W1	200×3200
(b) 보강 I			
	기둥	C1	300×600
	벽체	W1	200×3200
W2		200×2400	
(c) 보강 II			
	기둥	C1	600×700
	벽체	W1	200×3200

4.2 건물의 횡성능 산출

대상 건물은 전형적인 필로티형 건물로서 지진발생 시 약층 파괴의 유형을 띠게 되어 필로티층에 대부분의 손상이 집중되어 파괴에 이르게 된다. 필로티구조의 경우 필로티층 상부가 강한 전이층을 이루고 있으므로, 상부와 하부를 고정단이라고 가정하면, 횡력에 대한 필로티층의 수직부재의 전단력과 모멘트는 그림 4.1과 같다.

정확한 의미의 내진설계 이론에서는 기둥은 전단력에 대해서는 안전하고, 기둥의 상부와 하부의 휨모멘트가 설계휨모멘트(M_{pr})에 도달하였을 때, 기둥에 발생하는 전단력 $V = M_{pr}/h$ 로 구하게 된다. 그러나, 실질적으로는 전단파괴가 다수 발생하고 있으며, 개략적인 성능도출에서 콘크리트가 저항할 수 있는 전단력을 기준으로 평가하기 때문에, 본 연구에서도 기둥의 횡성능을 콘크리트가 저항할 수 있는 전단력(V_c)의 2.5배(기둥의 전단성능의 1/2에 해당)를 횡성능으로 가정하여 대상건물의 횡성능을 분석하였다.

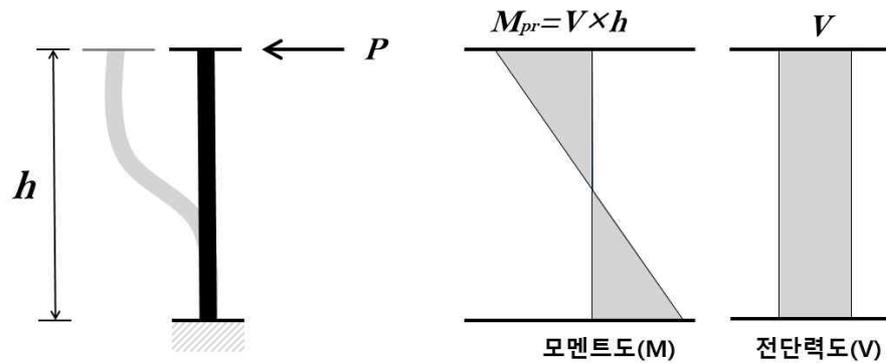


그림 4.1 횡력의 작용

$$(1) \text{ 기둥의 공칭전단강도 : } V_{col} = 2.5 \times 0.75 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{f_{ck}} \times A_{col}$$

$$(2) \text{ 벽체의 공칭전단강도 : } V_{wall} = 2.5 \times 0.75 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{f_{ck}} \times A_{wall}$$

여기서, f_{ck} :콘크리트 설계기준압축강도, A_{col} :기둥의 단면적, A_{wall} :벽체의 단면적

A건물 C1의 횡성능을 예로 들면, C1의 단면적은 300×300 , $f_{ck} = 24\text{MPa}$ 로 위 식(1)을 적용하면 $V_{col} = 2.5 \times 0.75 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{24} \times (300 \times 300)$ 로 C1의 횡성능은 13.7kN이다. 이와 동일한 방법으로 식 (1),(2)에 의해 구한 각 부재의 횡성능 값이 표 4.3과 표 4.4에 있다.

이와 같이 구한 각 부재의 횡성능을 가력방향으로 평행한 평면골조끼리 누적하여 골조의 횡성능의 값을 표 4.5에 있다. 표 4.6 및 표 4.7은 평면골조의 횡성능으로부터 각 골조의 BST면을 구한 결과이다.

표 4.3 A건물의 각 부재별 횡성능(단위 : kN)

기 존		보 강 I		보 강 II	
부재	횡성능	부재	횡성능	부재	횡성능
C1	13.7	C1	13.7	C1	24.4
W1	165.3	C2	68.8	W1	165.3
W2	252.6	C3	38.2	W2	252.6
		C4	27.5		
		W1	165.3		
		W2	252.6		
		W3	169.9		

표 4.4 B건물의 각 부재별 횡성능(단위 : kN)

기 존		보 강 I		보 강 II	
부재	횡성능	부재	횡성능	부재	횡성능
C1	27.5	C1	27.5	C1	64.3
W1	97.9	W1	97.9	W1	97.9
		W2	73.4		
		W3	97.9		

표 4.5 가력방향 횡성능(단위 : kN)

구분	A 건물	B 건물
기준		
보강 I		
보강 II		

표 4.6 A건물의 밀면전단력 및 비틀림모멘트

구분	BST	Base Shear (kN)	Torque (kNm)
기준		5419.50	-24075.42
		1561.55	5437.87
		-3766.09	32342.45
		-4592.79	30399.70
		-5419.50	24075.42
		-1561.55	-5437.87
		3766.09	-32342.45
		4592.79	-30399.70
보강 I		9889.81	-5304.68
		6031.87	24208.61
		153.09	53896.43
		-5174.55	41376.47
		-9889.81	5304.68
		-6031.87	-24208.61
		-153.09	-53896.43
		5174.55	-41376.47
보강 II		6383.98	-23041.28
		2097.38	9751.27
		-3444.59	37738.22
		-4914.29	34284.44
		-6383.98	23041.28
		-2097.38	-9751.27
		3444.59	-37738.22
		4914.29	-34284.44

표 4.7 B건물의 밀면전단력 및 비틀림모멘트

구분	BST	Base Shear (kN)	Torque (kNm)
기 존		5817.54	-153.09
		3613.00	15829.83
		551.14	20269.53
		-551.14	20269.53
		-3613.00	16136.01
		-5817.54	153.09
		-3613.00	-15829.83
		-551.14	-20269.53
		551.14	-20269.53
	3613.00	-16136.01	
보 강 I		7532.18	1622.79
		3857.95	28260.99
		796.08	32700.69
		-306.19	32700.69
		-3368.05	28567.17
		-7532.18	-1622.79
		-3857.95	-28260.99
		-796.08	-32700.69
		306.19	-32700.69
	3368.05	-28567.17	
보 강 II		10961.47	-226.58
		5817.54	37066.90
		1285.98	43637.66
		-1285.98	43637.66
		-5817.54	37520.06
		-10961.47	226.58
		-5817.54	-37066.90
		-1285.98	-43637.66
		1285.98	-43637.66
	5817.54	-37520.06	

4.3 BST면의 비교

A건물은 계단실 코어가 좌측 하단에 배치된 편심코어를 갖는 필로티 구조이다. 표 4.1 (a)에서 알 수 있듯이, 평면상 코어 외에는 벽체가 없고 기둥으로만 이루어져 있는 건물로 평면의 우측에 비해 좌측 골조의 면적이 크다는 것을 알 수 있으며, 이것은 좌측에 비해서 우측의 전체적인 강도가 낮다는 것을 알 수 있다. A건물의 좌측과 우측 강도의 차이는 BST면의 형태로도 파악 할 수 있다. 기본적으로 BST면은 평면상에 골조의 강도가 골고루 분배되었을 때 정방형으로 대칭되는 형태를 가진다. 그러나, A건물의 BST면은 2사분면과 4사분면으로 직사각형의 형태로 분포되어 있다(표 4.6 기준). A건물의 보강 I의 BST면은 표 4.1 (b)에서 알 수 있듯이 우측하단으로 2개의 벽체가 추가되고 우측상단 기둥사이즈 증가에 따라 밀면전단력과 비틀림 모멘트 모두 크게 증가 하였고, BST면의 형태도 직사각형이 아닌 정방형에 가까운 형태를 띠었다. 표 4.1 (c)의 A건물 보강II의 경우, 전체적으로 기둥 크기를 400×400으로 100mm씩 증가시켜 기존 평면보다는 밀면전단력 및 비틀림 모멘트가 증가하기는 했으나, BST면이 기존 평면과 동일한 직사각형 형태로 2사분면과 4사분면으로 분포되어 있는 것을 알 수 있다.

B건물은 중앙부 하단에 코어가 배치된 편심코어를 갖는 필로티 구조이며, 표 4.2 (a)에서 알 수 있듯이, 코어부분 외에는 벽체 없이 기둥으로만 이루어져 있다. 두 건물 모두 편심코어를 가지고 있기는 하나, A건물과 비교하여, B건물의 경우 코어가 중앙부 하단에 있으며, 상단에는 기둥이 총 6개로 벽체는 없지만 기둥이 골고루 배치되어 있는 형태이다. 표 4.7 기준에서도 확인 할 수 있듯이 BST면의 형태가 정방형에 가깝고, 대칭이 되는 형태임을 알 수 있다. B건물 보강 I의 경우 우측하단과 좌측상단에 각각 1개의 벽체가 추가 되었고, 그로 인해 강도는 전체적으로 증가하였으며, 골조의 추가로 인해 전단력도 상승된 것을 확인 할 수 있다(표 4.7 보강 I). 보강II의 경우 벽체의 추가는 없었으나, 기둥의 크기를 증가 시켰다. 기존 300×600에서 600×700으로 기둥의 크기를 증가시킨 결과 보강 I의 BST면보다 보강II의 BST면 영역이 더 확대되었다(표 4.7 보강II).

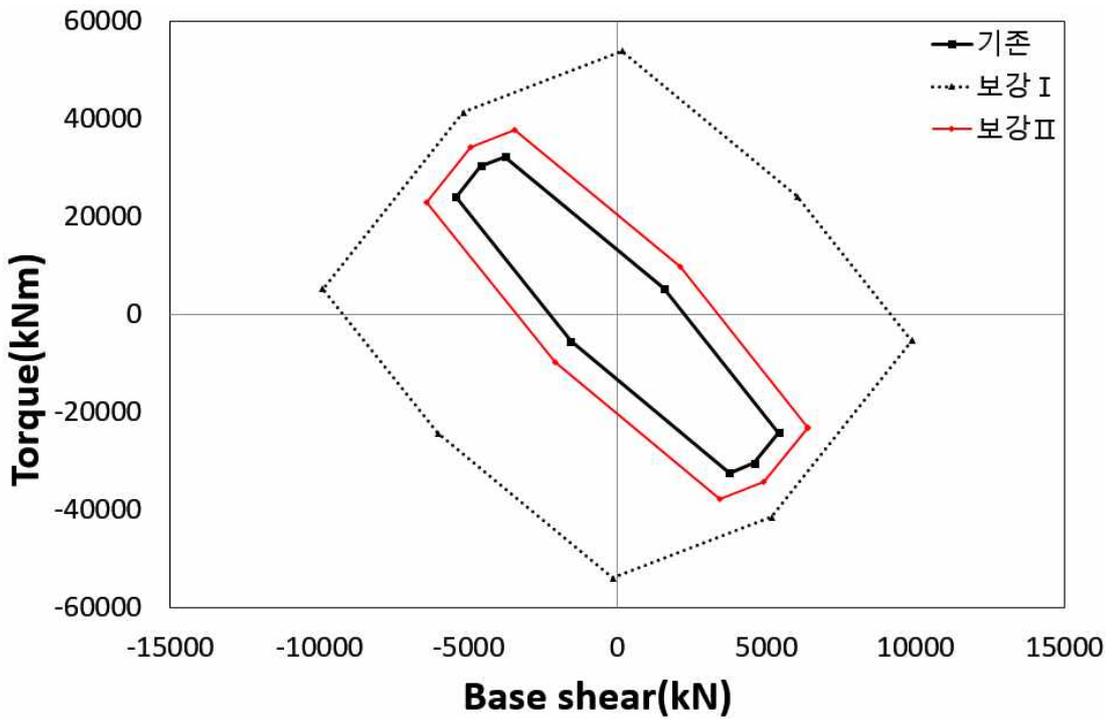


그림 4.2 A건물의 BST면 비교

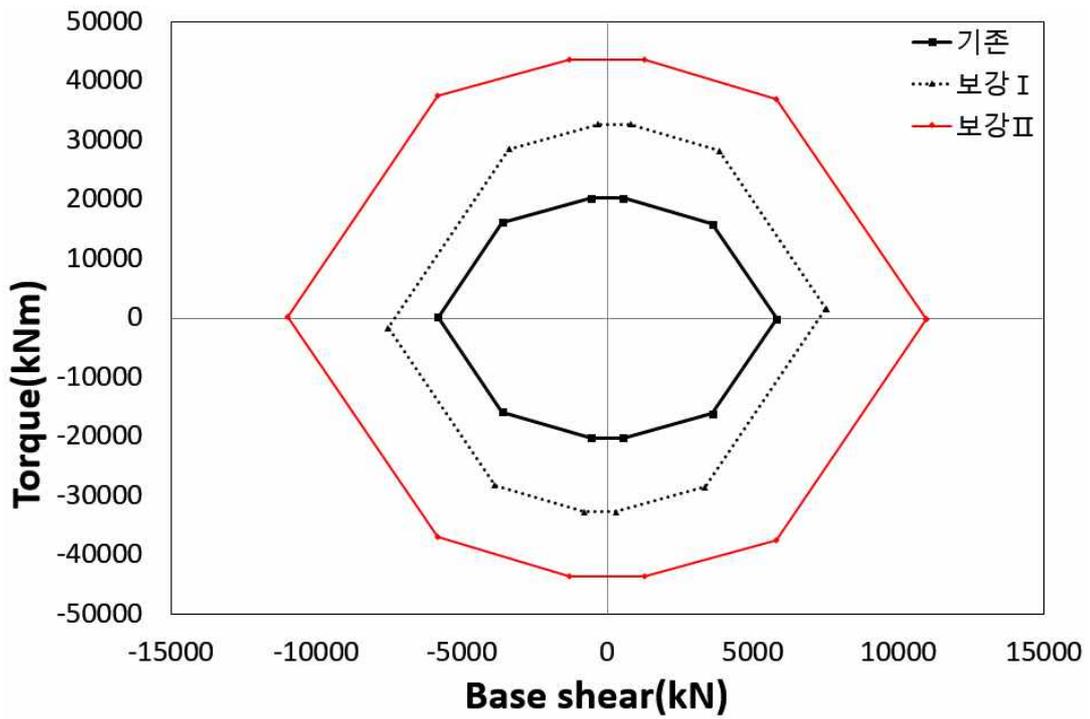


그림 4.3 B건물의 BST면 비교

5. 결론

본 연구에서는 건물의 평면형태에 따른 횡성능을 파악하기 위한 방법으로 BST면 활용방법을 제시하고, 다양한 평면형태에 따른 BST면 유형을 분석한 후 실제 지진피해를 입은 건물의 보강 전과 후의 BST면에 대한 분석을 통해 보강 효과를 비교한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

(1) 건물에 횡력을 가했을 때 나타나는 밀면전단력과 비틀림모멘트 관계를 도출하여 BST면으로 나타내면 건물의 파괴양상을 파악 할 수 있다.

(2) 평면형태에 따른 BST면의 형태를 분석한 결과, 강도불균등의 경우 BST면도 비대칭인 형태로 나타났으며, 내부골조가 있는 경우 동일한 밀면전단력에 대한 비틀림 성능이 증가하여 BST면이 X축으로 확장되었고, 직교골조가 있는 경우 횡력으로 인한 비틀림모멘트를 직교방향 골조가 분담하여 비틀림 성능이 증가되면서, BST면이 Y축으로 확장되었다.

(3) BST면 해석결과 나타난 밀면전단력과 비틀림모멘트 관계로부터 파괴유형과 성능점 추정이 가능하다.

(4) 실제 건물의 보강전과 후에 대한 BST면을 비교함으로써 구조물의 성능 변화를 직관적으로 파악할 수 있다.

참고 문헌

1. De la llera, J. C. and Chopra, A. K., “Accidental torsion in buildings due to stiffness uncertainty,” *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 23, pp.117~136, 1994.
2. De la llera, J. C. and Chopra, A. K., “Understanding the inelastic seismic behaviour of asymmetric-plan buildings”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 24, pp.549~572, 1995.
3. George K. Georgoussis., “Inelastic rotational response of single story lateral load resisting structures,” *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 19, No. 5, pp.1312~1319, 2015.
4. Kim, Se-jeong and Ko, Dong-woo., “Comparison of BST surface according to the arrangement of lateral force resistance elements in torsional irregular buildings”, *Journal of Research Institute of Advanced Tech, Jeju National University*, Vol. 31, pp.19~25, 2020.
5. Ko, Dong woo and Lee, Han seon., “Shaking table tests on a high-rise RC building model having torsional eccentricity in soft lower storeys”, *Earthquake and Structural Dynamics*, Vol. 35, pp.1425~1452. 2007.
6. Lee, Han seon and Hwang, Kyung ran., “A new methodology in seismic torsional design of building structures,” *The 2015 World congress on Advanced in Structural Engineering and Mechanics*, Incheon, Korea, August pp.25~29, 2015.
7. Lee, Han-Seon and Ko, Dong woo., “Seismic response of a high-rise RC bearing-wall structure with irregularities of weak story and torsion at bottom stories”, *Jorunal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, Vol. 7, No. 6, pp.81~91, 2003.
8. Nikolaos Bakas, Spyros Makridakis and Manolis Papadrakakis, “Torsional parameters importance in the structural response of multiscale

- asymmetric-plan building," Coupled system mechanics, Vol. 6, No.1, pp.55~74, 2017.
9. Paulay T., "Torsional mechanism in ductile building systems," Earthquake and Structural Dynamics, Vol. 27, pp.1101~1121, 1998.
 10. Suh, Il-Gyo and Ko, Dong-woo., "A case study of evaluation of lateral performance according to aspect ratio of torsional irregular building plane using BST surface", Journal of Research Institute of Advanced Tech, Jeju National University, Vol. 31, pp.9~17, 2020.
 11. Yoo, Changhwan, Kim, Taewan, and Chu, Yurim., "Seismic performance evaluation of small-size piloti-type reinforced concrete building using nonlinear dynamic analysis," Journal of Earthquake Engineering, Vol. 20, No. 4, 191~199, 2016.
 12. 건설교통부, "건축구조설계기준", 2005.
 13. 국토교통부, "건축구조기준", 2019.
 14. 국토교통부, "필로티 건축물 구조설계 가이드라인", 2018.
 15. 국토교통부, "필로티 등 지진취약 건축물 지진방재 대책 마련을 위한 연구", AIK-R-2018-848, 2018.
 16. 대한건축학회, "건축구조설계기준 2005", 2005.

<국문 요약>

BST면을 활용한 평면 비정형 건물의 횡성능 평가

제주대학교 대학원

건축공학과 석사과정 김 세 정

최근 평면 비정형 건물의 내진성능에 대한 관심이 증가하고 있음에도 불구하고 건물의 횡성능을 평가하는 것은 복잡한 비선형 해석을 통해서만 수행할 수 있는 것으로 인식되어 왔다. 그러나, 건물의 밑면전단력과 비틀림 모멘트의 상관관계도를 통해 건물의 대략적인 횡성능을 파악할 수 있다는 것을 많은 연구자들이 제시하여 왔다. 본 연구에서는 평면 비정형 건물의 평면 형태에 따른 횡성능을 파악하기 위한 방법으로 실제 건물의 BST면에 대한 분석을 통해 다음과 같은 결론에 도달하였다. (1) BST면을 활용하여 건물의 성능을 직관적으로 파악 할 수 있다. (2) 밑면전단력과 비틀림모멘트의 관계를 분석하여 건물에 횡력이 작용할 때 파괴양상과 성능점을 추정 할 수 있다. (3) 실제 건물의 보강 전과 보강 후의 BST면 비교를 통해 성능의 증가를 직관적으로 파악 할 수 있다.

<Abstract>

Evaluation of the lateral performance of eccentric buildings using BST surfaces

Kim, Se-Jeong

Department of Architectural Engineering
The Graduate School of Jeju National University

Despite of the growing interest in seismic performance of flat atypical buildings in recent years, it has been recognized that assessing the lateral performance of buildings can only be performed by complex nonlinear analyzes. However, many researchers have suggested that the approximate lateral performance of a building can be grasped from the correlation diagram between the bottom shear force and the torsional moment of the building. In this study, the following conclusions were reached through the analysis of the BST surfaces of actual buildings, which is a method for grasping the lateral performance of flat atypical building due to the plan shape. (1) The performance of the building can be intuitively grasped by utilizing the BST surfaces. (2) It is possible to analyze the relationship between the bottom shear force and the torsional moment, and estimate the fracture surface and performance points when a lateral force acts on the building. (3) By comparing the BST surfaces before and after reinforcement in the actual buildings, the increase in performance can be intuitively grasped.