

# 단순 모델을 사용한 주상복합 건물의 효율적인 전이 시스템에 관한 연구

## Evaluation of an Effective Load Transfer System Applied to a Simple Model of a Wall Frame Structural System

정 영 일\*                      윤 석 한\*                      홍 원 기\*\*                      김 희 철\*\*\*  
Chung, Young Il              Yoon, Suk Han              Hong, Won Kee              Kim Hee Cheul

### 국문요약

상부 벽식, 하부 골조로 이루어진 주상복합 건물은 주어진 대지 내에 여러 기능을 수용하기 위한 건물의 구조로서 대도시에서는 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 이러한 전이보 시스템은 구조시스템의 수직적 불연속성으로 인하여 많은 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서는 현재 일반적으로 주상복합건물에 사용중인 춤이 깊은 전이보를 가진 구조시스템을 조사하고 아치 시스템으로 대체하기 위하여 기존의 전이보를 사용하였을 경우 발생하는 아치거동의 형태를 규정하고 이를 아치의 형태로 나타내어 전이보 시스템을 대체하였다. 전이보 시스템을 대체한 보다 효율적인 아치 시스템에 대한 여러 가지 고찰을 통해 아치 시스템의 적용성 여부를 판단하고, 이 시스템과 기존의 전이보 시스템을 중력방향 하중과 횡 방향 하중에 대하여 비교하였다.

전이보 시스템과 아치 시스템을 중력방향 하중과 횡 방향 하중에 대해 비교한 결과, 전이보 시스템이 가지고 있는 구조적인 문제점을 많이 감소시킬 수 있었다. 전이보 시스템을 대체할 아치 시스템은 아치 작용으로 인해 발생하는 전이보의 전단 거동에 대한 불확실성, 전이보 자체의 큰 강성으로 인하여 기둥 부분에 발생하는 추가 모멘트, 벽 하단부에 발생하는 전단 응력 집중 현상 및 벽 하부 중앙과 전이보 중앙부의 비효율성 등과 같은 문제점을 감소시킬 수 있는 효율적인 시스템으로 판단된다.

주요어 : 주상복합건물, 전이보시스템, 아치시스템, 아치작용, 상대 강성비

### ABSTRACT

A wall-frame type structural system has been widely used to make full use of a limited land in large cities to satisfy the several functional requirement in one building. However, this type of hybrid structure brought some problems due to the vertical discontinuity of a structural system. The response of a wall-frame type structural system having a deep transfer girder was observed. An arch system was introduced to replace the deep transfer girder. The adequacy of an arch system was observed for the various boundary conditions of a system. The proposed system was compared to a general transfer girder system by applying both gravity load and lateral load.

It was observed that an arch system fairly distributes the stress without concentrating stress at a certain location of a system differently from the current transfer girder system. The moment decrement effect of a column can also be obtained by eliminating the large mass of a transfer girder. Also it was investigated that an arch system is more economical and effective than the current transfer girder system.

Key words : wall-frame system, transfer girder system, arch system, arch action, relative stiffness ratio

## 1. 서 론

주상복합 건물은 토지의 이용을 극대화시키기 위해 도심지에 많이 건설되고 있는 건물의 형태이다. 그러나 현실적인 요구로 인하여 건물의 구조적인 시스템 자체에는 수직적인 비연속성이 발생하게되므로 구조적으로 많은 문제점을 야기시키고 있다. 또한 급격한 강성의 변화와 수직적인 건물의 비정형으로 인하여 횡 방향 하중에 취약한 단점을 가지게 된다.

상부 벽식, 하부 골조로 이루어진 주상복합 건물은 중력 방향 하중을 전달하는데 있어, 벽체의 하부에서 발생하는 아치 작용에 의하여 하부 골조 층으로 전달하게 된다. 이러한 하중 전달을 위해 현재 일반적으로 사용되고 있는 구조시스

템은 전이보가 대부분이다.

하지만 전이보의 경우 벽체의 하부에서 발생하는 아치 작용에 대해 직접적으로 연관이 없는 보의 중앙부에서 필요 이상의 중량이 존재하는 비효율적인 점이 있다. 또한 횡방향 하중에 대해 전이보 자체의 큰 강성으로 인한 강제 작용으로 기둥에 추가적인 수평변형을 야기하게 되는 문제점을 가지고 있다. 이로 인해 실무에서는 전이보에 대한 거동의 불확실성으로 보의 춤을 키우는 경제적인 비효율성까지 야기하고 있다.

이러한 비효율적인 전이보 시스템의 대안으로 벽체의 하부에서 발생하는 아치거동을 고려한 아치 시스템으로 대체한 시스템을 제안하였다. 제안된 아치시스템은 상부 벽과 하부 골조의 갑작스러운 강성차이를 감소시킴으로 인하여 횡 방향의 하중에 보다 효율적으로 저항할 수 있으며 전이보 두께에 결정적인 영향을 미치는 전단력의 저항에도 매우 효율적인 장점이 있다.

현재 일반적으로 주상복합건물에 사용중인 전이보를 아치 시스템으로 대체하기 위하여 먼저 기존의 전이보를 사용

\* 정희원 · 경희대학교 대학원, 석사과정

\*\* 정희원 · 경희대학교 대학원, 박사과정

\*\*\* 정희원 · 경희대학교 건축공학과, 조교수

\*\*\*\* 정희원 · 경희대학교 건축공학과, 부교수(대표저자 : kimhc@khu.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2002년 8월 31일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다. (논문접수일 : 2002. 3. 4 / 심사종료일 : 2002. 5. 24)

하였을 경우 발생하는 아치거동의 형태를 규정하고 이를 아치의 형태로 대체하였다. 아치 시스템과 기존의 전이보 시스템에 대하여 중력방향 하중과 횡방향 하중을 적용하고 간단한 2차원 모델과 3차원 모델을 비교하였다. 본 연구는 상부 벽에 개구부가 없는 경우와 개구부의 형태에 따라서 한 공간의 단순한 모델에 대한 중력 방향 하중과 횡방향 하중에 대해 연구를 수행하였다.

2. 전이보 시스템의 전이층 거동 고찰

주상복합 건물에 있어 상부의 벽에 작용하는 큰 하중을 하부의 라멘 구조에 전달해주는 전이보는 중력방향 하중을 전달하는 주요 부재로서 일반적으로 휨을 주로 받고 있는 보 요소와는 다른 거동의 형태를 나타내게 된다. 전이보는 중력 방향 하중에 대해 상부 벽에서 발생하는 아치 작용으로 인하여 상대적으로 보 중앙부보다 지지부에서의 응력이 크게 나타나게 된다.

전이보의 중력방향 하중에 대한 거동은 벽의 중앙부에서 벽의 하단부 쪽으로 발생하는 아치 작용으로 인하여 매우 큰 수직하중과 더불어 전단력, 모멘트를 발생시키고, 전이보를 인장부재로써 거동하게 한다.

실험적인 연구에 의하면 벽과 보의 접합면에서의 수직 응력과 전단 응력 전달은 Fig. 1에서 보여지는 것처럼 명백하게 나타나고 있다.<sup>(1)</sup> 상부 벽에서 발생하는 아치 작용으로 인하여 벽과 보의 접합면에 응력이 집중하게 된다. 전단 응력과 수직 응력의 분포는 아치작용으로 인하여 삼각형의 응력 분포 형태를 나타내게 되고, 벽에서 발생하는 아치 작용은 수직 응력이 지점을 향해 집중하게 만든다.

최대 수직 응력은 벽과 보가 만나는 부근을 따라 지지점에서 발생하게 되고, 보의 중앙부에서는 수평 방향으로 응력이 작용하여 보의 전체 단면에 걸쳐 인장력으로 발생하게 된다. 이러한 거동은 길이에 대한 높이의 비가 0.6보다 큰 지지점에서 발생하게 된다.<sup>(1)</sup> 또한 상부 벽에 개구부가 있는 경우에는 Fig. 2(b)와 같이 지지부 쪽으로 기본적인 아치(primary arch)와 개구부 쪽으로의 작은 아치(secondary arch)가 동시에 발생하게 된다.

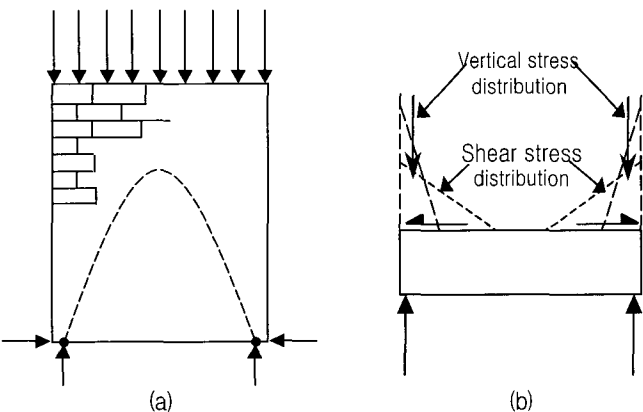


Fig. 1 Structural action in composite wall beam

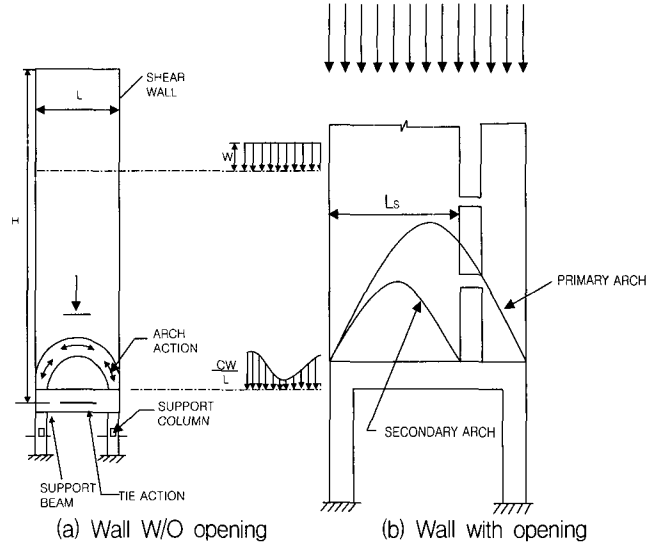


Fig. 2 Arch action a of wall

Davies와 Ahmed는 보와 벽의 복합작용을 상대 강성비( $R_f$ )를 이용하여 정의하였다.<sup>(2)</sup> 보와 벽의 휨강성에 따라 벽 하단부에 발생하는 응력의 분포는 달라지게 된다. 보의 강성이 벽에 비해 상대적으로 작아지게 되면, 벽의 수직 응력이 크게 발생하게 된다. 이러한 상대적 강성비는 다음과 같은 식 (1)로 정의되었으며 Fig. 3은 상대 강성비에 따라 벽에 작용하는 응력집중현상을 보여주고 있다.

$$R_f = 4 \sqrt{\frac{E_w t H^3}{EI}} \tag{1}$$

여기서,  $E_w$ 는 벽의 압축 탄성계수를 말하며,  $EI$ 는 보의 휨강성,  $t$ 는 벽의 두께, 그리고  $H$ 는 벽의 높이를 말한다.

지금까지 살펴본 바와 같이 전이보 시스템에서 아치 작용을 간단히 요약하면, 주상복합 건물에서 전이보와 전단벽은 복합적인 작용을 하여 상부 벽 중앙에서 벽 하단부로 아치 작용이 발생하게 된다. 이와 같은 아치 작용은 중력 방향 하중을 지지부인 기둥 쪽으로 전달시켜 벽 하단부에 상당히

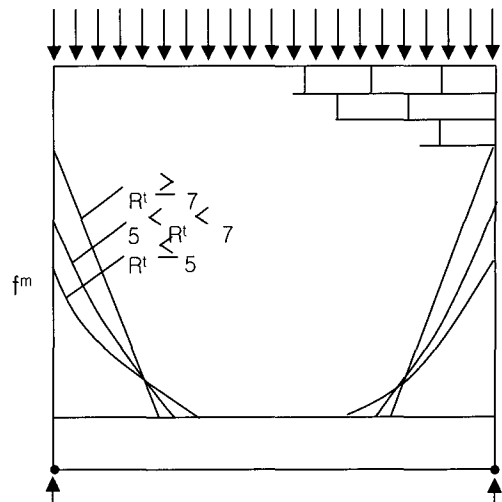


Fig. 3 Stress concentration of a wall according to the relative stiffness ratio

큰 수직 응력이 발생하게 한다. 이때 전이보는 인장 부재로써 중앙부에서 발생하는 다소 작은 인장력이 지점 방향으로 작용하게 된다. 따라서, 전이보의 큰 춤으로 볼 때 보의 중앙부와 전단벽의 중앙 하부는 매우 비효율적인 부분이라 판단된다.

### 3. 아치 형태의 규정

중력방향 하중에 대해 발생하는 아치작용의 형태를 규정하기 위해 개구부가 없는 한 경간의 단순한 모델에 대해 경간의 길이에 따른 응력 형태와 개구부의 위치에 따른 응력 형태를 살펴보았다. 여러 가지 변수 중 아치 작용의 형태에 가장 영향을 주는 요소는 경간으로서 이를 변수로 하여 이에 따른 아치 작용의 형태를 살펴보았다. “아치 작용은 경간의 0.6배 이상의 높이에서 발생한다<sup>(1)</sup>”고 말하고 있으므로 이를 근거로 해석을 통하여 아치 작용이 발생하는 위치를 확인한 후 아치로 대체하였다.

기본 모델은 아래의 Fig. 4와 같으며 해석 모델에 대한 일반사항은 Table. 1에 나타내었다. 경간 L에 따라 각각의 경우를 달리하여 해석을 수행하였다. 해석의 편의를 위하여 상부 벽은 3층 정도만 모델링을 하였으며, 상부의 나머지 부분은 하중으로 치환하여 작용시켰다. 하중은 중력하중만을 고려하였으며, 입력 하중은 벽 자체의 무게와 각 층에 작용하는 고정하중만을 고려하여 17층 정도 규모의 하중을 산정하여 해당하는 하중을 중력방향 하중으로 각 질점에 나누어 재하하였다.

Fig. 5는 경간에 따라 상부 벽에서 발생하는 아치의 형태를 보여주고 있다. 경간이 증가함에 따라 상부 벽에서 발생하는 아치 작용은 경간의 길이에 비례하게 되며, 약 0.6L 정도의 높이에서 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 아치의 높이는 경간의 0.6배 높이로 규정할 수 있다.

개구부의 위치에 따른 응력 형태를 살펴보면, 개구부가 단부에 위치한 경우 개구부 모서리 부분에 응력이 집중하게 된다. 그러나 개구부가 중앙에 위치한 경우에는 개구부가 없는 경우와 비슷한 형태를 나타낸다. Fig 6은 개구부의 위치에 따른 응력 분포상태를 보여주고 있다.

경간의 증가에 따른 아치의 높이 변화와 개구부의 위치에 따른 아치의 형태를 규정하여, 전이보를 아치로 대체하여 보았다. Fig. 7은 개구부의 위치에 따라 전이보를 아치로 대체한 모델이다. 이때 아치의 높이는 위에서 규명한 아치 발생 높이 0.6L을 적용하였다.

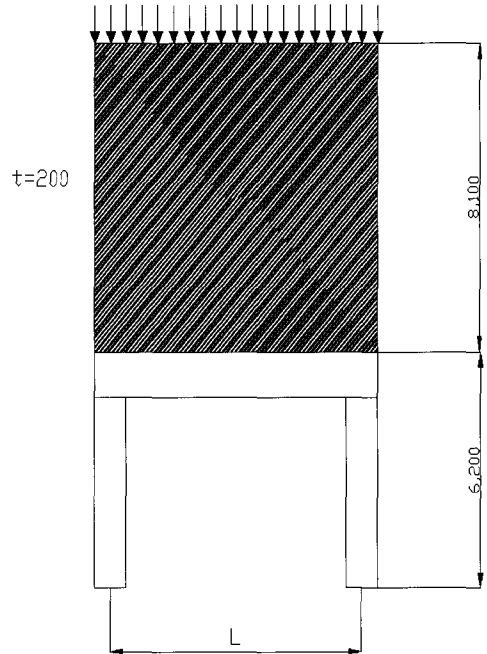


Fig. 4 Simple analysis model

Table 1 Material properties of a simple model

기둥 (mm)	깊은보 (mm)	벽 두께 (mm)	콘크리트강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	요소
1000×1000	800×1500	200	210	Plate

## 4. 전이보 시스템과 아치 시스템의 비교

### 4.1 중력방향 하중에 대한 비교

먼저 위에서 선정한 기본 모델에 대하여 전이보 시스템과 아치 시스템의 중력방향 하중에 대한 거동을 비교하여 보았다.

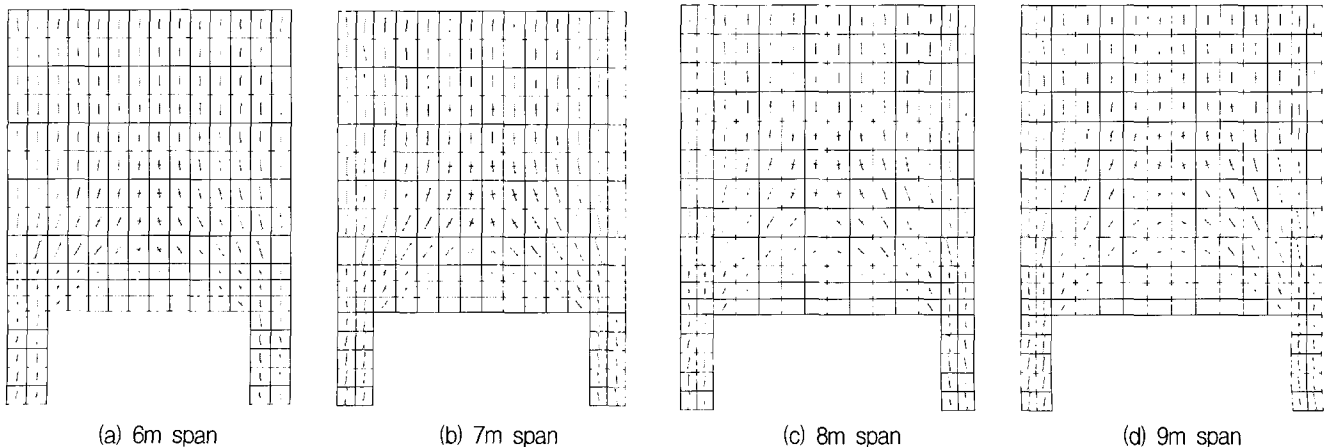


Fig. 5 Arch action due to the different span length

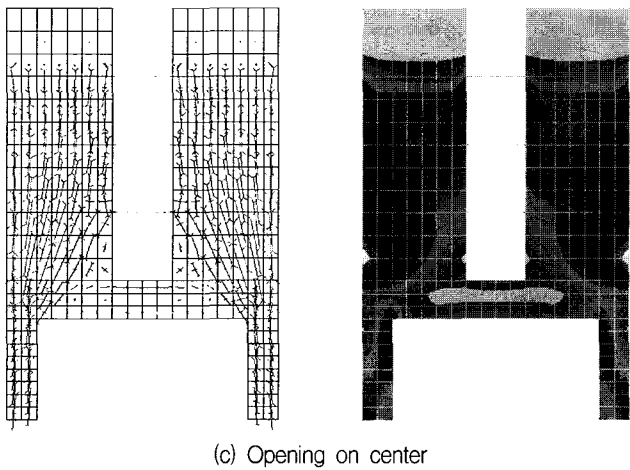
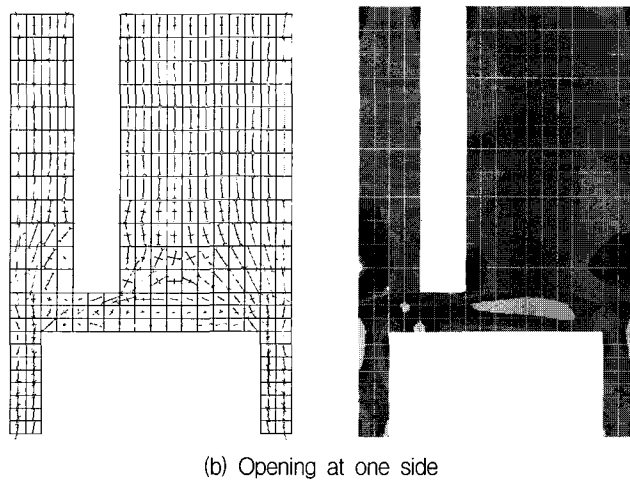
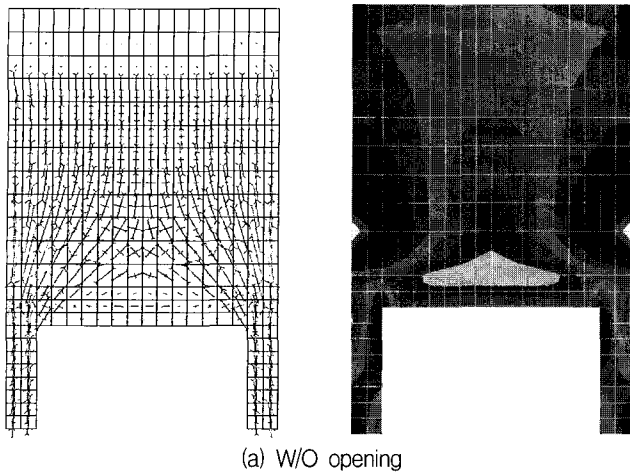


Fig. 6 Stress distribution according to the location of an opening

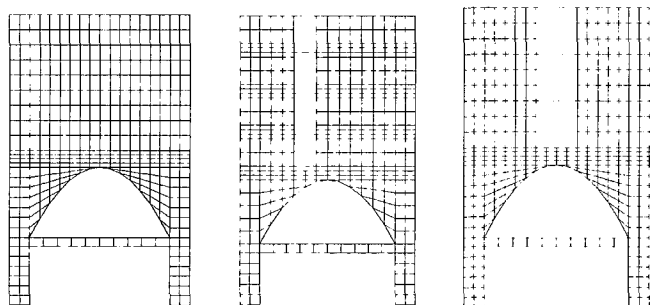


Fig. 7 Transformed model of a transfer girder system to an arch system

Fig. 8은 개구부의 위치에 따른 전이보 시스템과 아치 시스템의 응력 분포 형태를 보여준다. 개구부가 없는 경우와 개구부가 중앙에 있는 경우에는 전이보 시스템의 경우 벽 하단에 응력이 집중하였으며, 아치 시스템의 경우에는 아치 하단에 응력이 집중하는 것을 볼 수 있다. 개구부가 단부에 있는 경우에는 전이보 시스템의 경우 개구부 모서리 부분에 응력이 집중하였으며, 아치 시스템의 경우에는 개구부가 위치한 반대편 부분의 아치 하단에 응력이 집중하는 것을 알 수 있다.

전이보 시스템에서의 보는 상부 벽에서 발생하는 아치작용으로 인하여 단부에서는 상당한 전단력이 발생하게 된다.

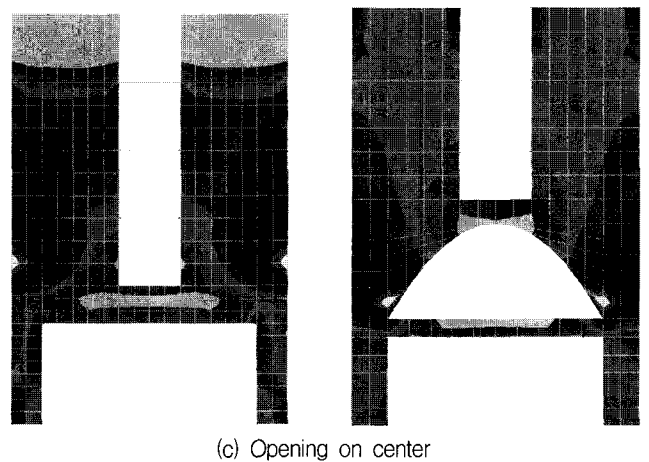
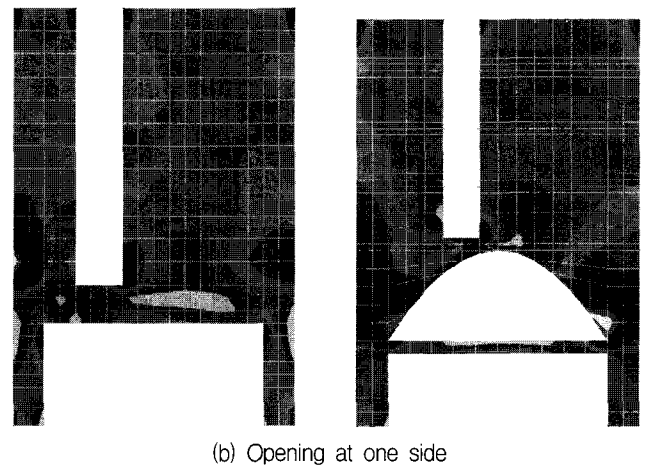
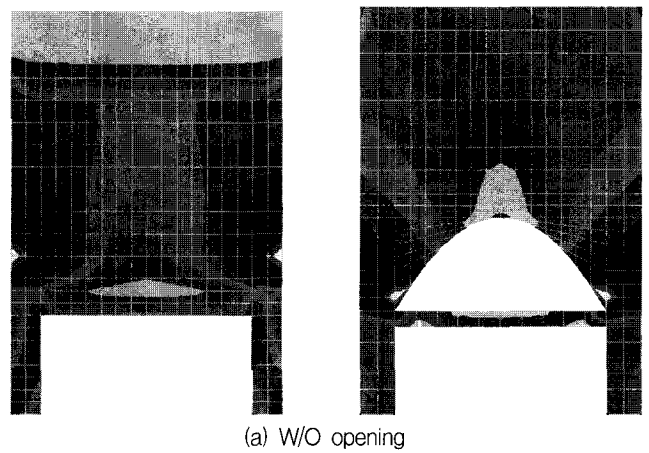


Fig. 8 Stress distribution of two system

반면 아치 시스템에 있어서 보는 아치로 인해 발생하는 추력에 의한 인장력이 발생하게 된다.

전이보의 경우 아치 작용으로 인해 전이보 단부에 큰 전단력이 작용하게 되고, 아치 시스템의 보는 일반보와 같이 약간의 전단력이 발생하게 된다. 따라서 전이보는 전단에 의해 지배를 받게 되며, 이로 인해 보의 춤이 커지게 된다. 하지만 아치시스템에서는 전이보를 제거함으로써 이러한 문제가 발생하지 않게 된다. Fig. 9는 전이보의 단부와 아치 시스템에서의 보에 발생하는 전단력을 개구부의 위치에 따라 비교한 그래프로써 이러한 현상을 뚜렷이 볼 수 있다.

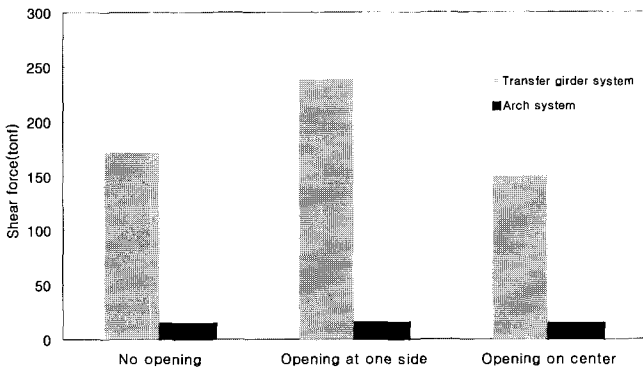


Fig. 9 Beam shear force of two system

## 4.2 횡 방향 하중에 대한 비교

### 4.2.1 2차원 모델

먼저 전이보 시스템과 아치 시스템의 횡 방향에 대한 비교를 위하여 건물의 높이를 같게 한 한 경간의 단순한 모델을 설정하여 2차원으로 모델링을 하였다. 각각의 시스템에 대해 정적 해석과 동적 해석을 적용하여 횡 방향 변위와 기둥에 발생하는 모멘트의 상대적 크기를 비교하였다.

Fig. 10은 상부 벽에 개구부가 없는 모델에 대하여 등가정적해석방법에 의하여 산출된 층 지진하중을 나타낸다. 질량이 큰 전이보를 아치로 대체함으로써 전이층에서 작용하는 커다란 질량을 감소시키는 효과를 얻을 수 있다. 따라서 Fig. 10에서 보는 바와 같이 전이층인 2층에서의 층 지진하중에 있어, 아치 시스템의 경우가 전이보 시스템의 경우보다 약 1/2

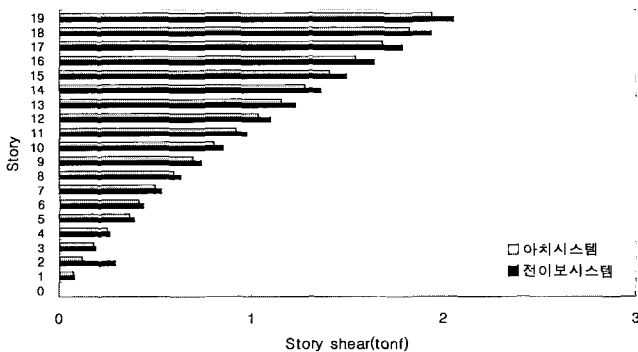


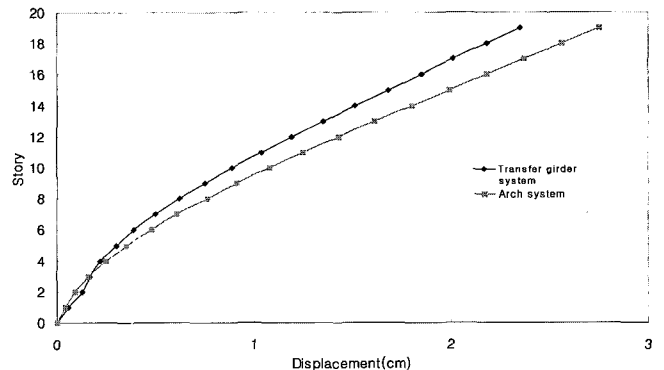
Fig. 10 Story shear force of two system

정도로 작게 산출된 것을 볼 수 있다.

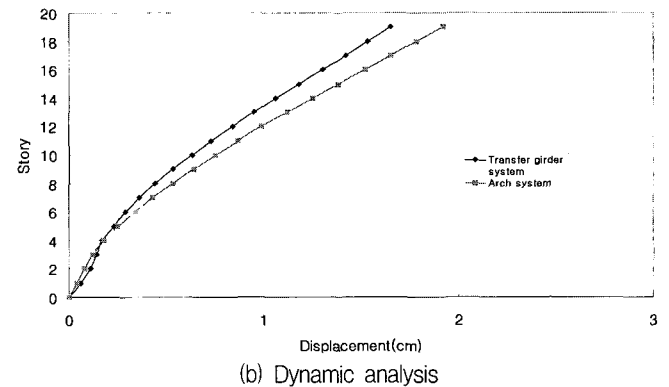
Fig. 11은 개구부 위치에 따른 전이보 시스템과 아치 시스템의 횡방향에 대한 층 변위를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 아치 시스템의 경우가 전이보 시스템보다 조금 더 큰 변위가 발생하였다. 그러나, 전이층에서의 층 변위는 전이보 시스템이 조금 더 크게 나타났다.

Fig 12는 개구부의 위치에 따른 전이보 시스템과 아치 시스템의 등가정적해석을 통해서 얻은 하부 골조 층에서의 기둥 모멘트이다. 기둥 모멘트에 있어 전이보 시스템의 경우가 보다 큰 값을 나타내었다.

이와 같은 결과로 미루어 볼 때, 전이보 시스템에서는 강성이 상대적으로 큰 전이보의 강체 작용으로 인하여 기둥에 추가 변형을 야기 시키는데 반하여 아치 시스템에는 이러한 문제가 발생하지 않는다는 것을 알 수 있다.



(a) Static analysis



(b) Dynamic analysis

Fig. 11 Displacement of two different systems

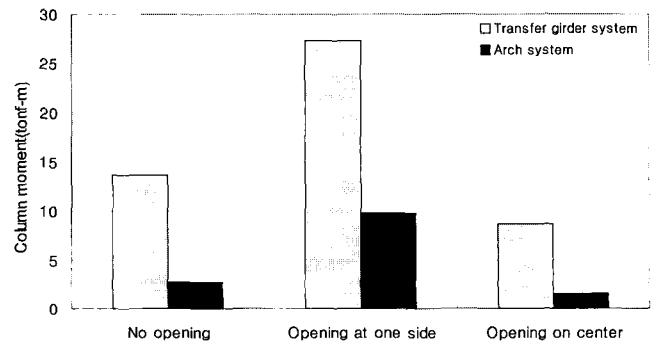


Fig. 12 Column moment of two different systems

4.2.2 3차원 모델

지금까지 2차원의 간단한 모델에 대해서 기존의 전이보 시스템과 아치 시스템에 대한 거동을 비교해 보았다. 본 절에서는 2차원 모델을 3차원 모델로 확장하여 비교하여 보았다. 기본 모델은 Fig. 13과 같이 간단한 3차원 대칭 모델을 선정하였으며 모델에 대한 일반 사항은 Table 2에 나타나 있다.

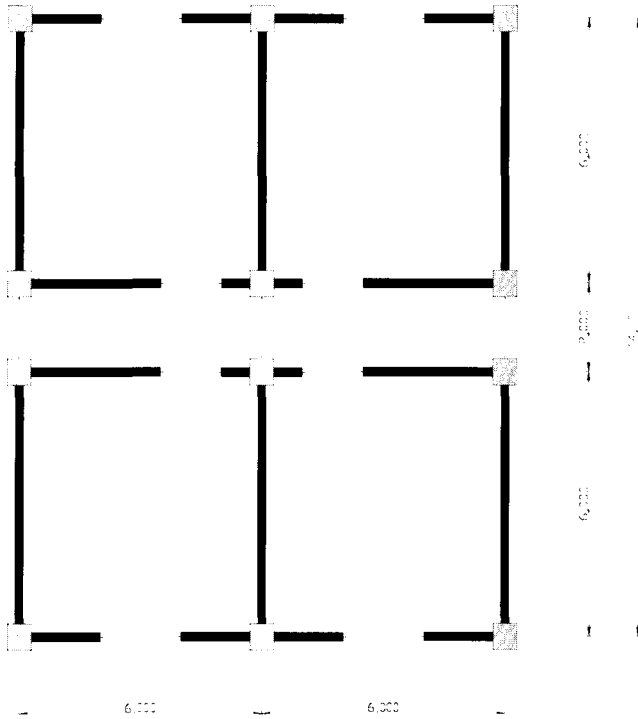


Fig. 13 Simple analysis model

Table 2 Material properties of a simple model

기둥(mm)	보(mm)	벽 두께(mm)	사용 요소
1000×1000	400×700	200	Beam, Plate

Fig. 14는 3차원 단순 모델에 대한 등가정적해석방법에 의해 산출된 층 지진하중이다. 2차원 모델과 같이 전이보 시스템의 층 지진하중이 아치 시스템보다 크게 산정 되었다. 전이층인 2층과 하부 골조 층과의 차이를 비교해 보면 전이보 시스템인 경우가 아치 시스템보다 많은 차이를 나타내고 있다.

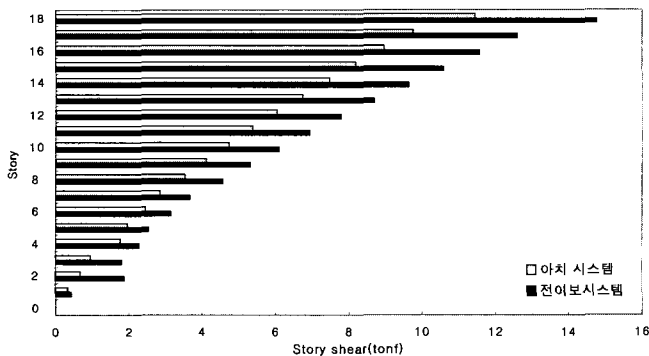


Fig. 14 Story shear of two different systems

Fig. 15와 Fig. 16은 위에서 산출한 층 지진하중에 의한 정적해석과 동적해석에 의한 X방향, Y방향의 변위를 보여주고 있다. 전이보 시스템보다 아치 시스템의 변위가 약간 크게 발생하였으며, 전이층에서의 변위는 2차원 모델에서와 같이 전이보 시스템이 크게 발생하는 것을 알 수 있다.

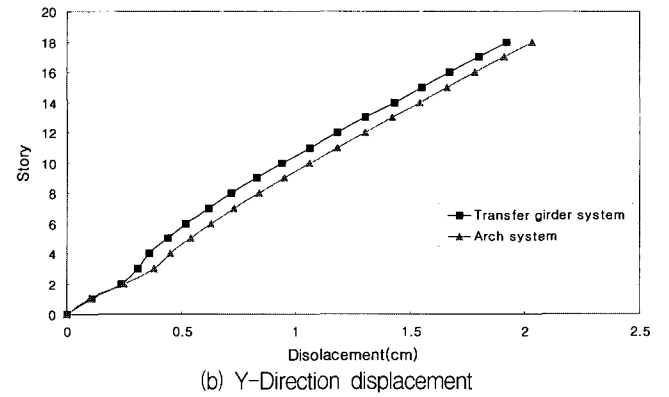
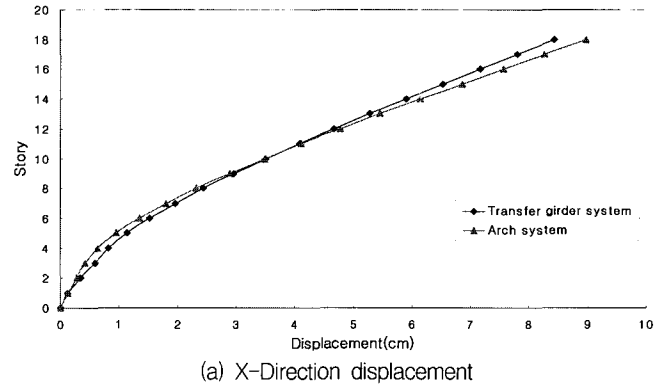


Fig. 15 Static analysis

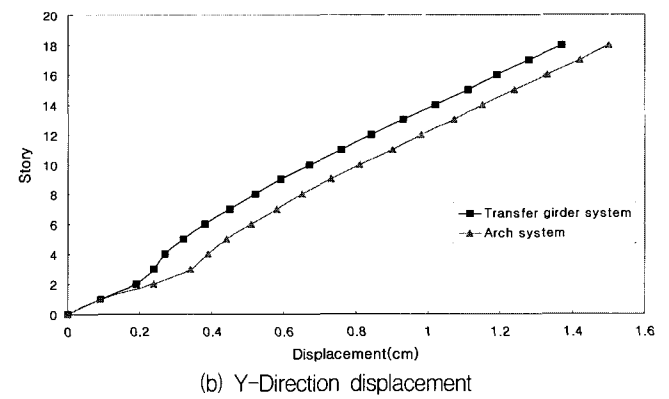
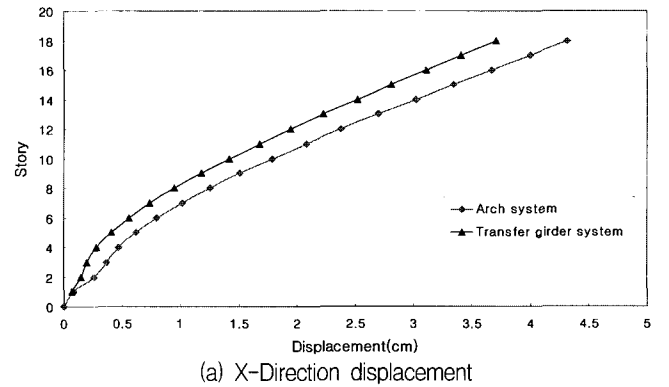


Fig. 16 Dynamic analysis

Fig. 17은 정적해석과 동적해석을 통한 전이보 시스템과 아치 시스템의 하부 골조 층의 기둥에서 발생하는 모멘트를 비교한 그래프이다. 2차원 해석 시 하부 골조 층의 기둥 모멘트에 있어 전이보 시스템이 아치 시스템보다 크게 발생하였는데, 3차원해석에서도 전이보 시스템이 보다 크게 발생하는 것을 확인할 수 있다.

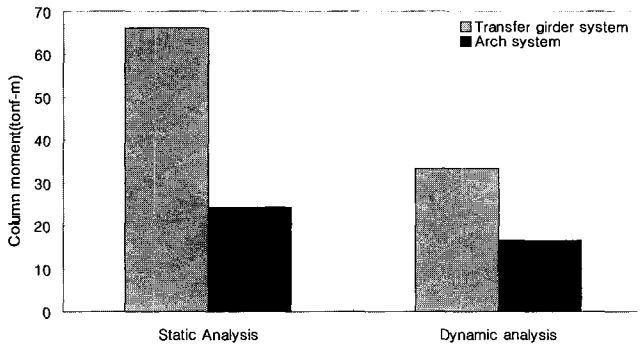


Fig. 17 Column moment of two different systems

### 5. 결 론

현재 주상복합건물에 일반적으로 사용되고 있는 전이보 시스템은 수직적인 구조의 비정형화로 인하여 지진과 같은 횡하중에 매우 취약한 단점을 가지고 있다. 따라서 이러한 단점을 보완하고 전단벽에서 발생하는 중력하중에 의한 아치거동을 효율적으로 이용하기 위한 아치 시스템을 제안하고 이에 대한 거동을 조사하였다. 중력방향 하중과 횡방향 하중에 대한 거동을 모두 살펴본 결과 아래와 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 전이보 시스템의 경우 벽과 보의 복합작용으로 발생하는 아치 작용으로 인하여 전이보 단부에 상당한 전단력이 발생하게 된다. 따라서 전이보의 춤은 전단에 의해 지배되고 되고, 전단 거동에 대한 불확실성으로 인하여 과다 설계되는 요인이 되고 있다. 그러나 아치 시스템을 도입하면 이러한 문제점을 제거할 수 있게 된다.
- 2) 전이보 시스템의 경우 아치 작용으로 인한 벽 하단부에 응력이 집중하는 반면, 아치 시스템의 경우는 특정한 부분에 응력이 집중하지 않고 상대적으로 응력이 고르게 분포되는 장점이 있어 매우 효율적인 설계가 가능하다.
- 3) 상대적으로 강성이 매우 큰 전이보로 인하여 기둥에 추가 모멘트를 발생시키는 전이보 시스템과는 달리 아치 시스템에서는 이러한 문제가 발생하지 않았다.

전이보 시스템을 대체할 아치 시스템은 아치 작용으로 인해 발생하는 전이보의 전단 거동에 대한 불확실성, 전이보 자체의 큰 강성으로 인해 기둥 부분에 발생하는 추가 모멘

트, 벽 하단부에 발생하는 전단 응력 집중 현상 및 벽 하부 중앙과 전이보 중앙부의 비효율성 등과 같은 문제점을 감소시킬 수 있는 효율적인 시스템으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. Hendry, A., *Structural Brickwork*, John Wiley & Sons, pp. 176-201.
2. Davies, S. and Ahmed, A., "An approximate method for analyzing composite wall/beams," *Proc. Br. cream. Soc.*, Vol. 27, 1978, pp. 305-20.
3. ACI-ASCE Committee 426, "Shear and diagonal tension," *ACI Journal*, Vol. 50, No 1, 1962. 1, pp. 1-30; No. 2, 1962. 2, pp. 277-340; No. 3, 1962. 3, pp. 353-396.
4. Leonhardt, F., Walther, "Reducing the shear reinforcement in reinforced concrete beams and slabs," *Magazine of Concrete Research*, Vol. 17, No. 53, 1965. 12, pp. 187-198.
5. Dischinger, F., "Contribution to the theory of wall-like girders," *International Association of Bridge Engineering*, Vol. 1, 1932.
6. Olonisakin, A. and Alexander, S., "Mechanism of shear transfer in a reinforced concrete beam," *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 26, 1999, pp. 810-817.
7. Wood, R. and Simms, L., "A tentative design method for the composite action of heavily loaded brick panel walls supported on reinforced concrete beam," BRS CP26/69.
8. Green, D., Macleod, I., and Girardau, R., "Force actions in shear wall support systems in response of multistory buildings to lateral force," *ACI Journal*, Vol. 36, 1973, pp. 241-256.
9. Federal Emergency Management Agency, *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*(FEMA 273), 1997.
10. Ferguson, P., "Diagonal tension in reinforced concrete beams," *ACI Journal*, Vol. 48, No. 2, 1951. 10, 156-1 to 156-3.
11. Macleod, I. and Green, D., "Frame idealization for shear wall support systems", *Structural Engineer*, Vol. 51, No. 2, 1973, pp. 71-74.
12. Park, R. and Paulay, T., *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley & Sons, 1975.
13. Dotsovos, M., "Behavior of beams with shear span-to-depth ratios greater than 2.5," *ACI Journal*, 1986. 11-12, pp. 1026-1034.