

# 주상복합구조의 전이보 상세설계기법 연구

## A Study for Transfer Girder Details of the Upper-Wall and Lower-Frame Structures

이 한 선\*  
Lee, Han Seon

김 상 연\*\*  
Kim, Sang Yeun

고 동 우\*\*\*  
Ko, Dong Woo

---

### ABSTRACT

Hybrid building structure, which comprise both the residential and commercial spaces in a building, are composed of upper shear-walls and lower frames. In these hybrid structures, the structural analysis and design of transfer systems which link upper-wall and lower-frame are crucial. The available structural design methods for the transfer girder are performed by taking a prototype structure, and the details of transfer girder based on these design methods are presented and compared with regard to the dimensions and amount of reinforcements.

---

### 1. 서론

근래에 들어 여러 가지 요인으로 주상 복합용도의 건축물들이 많이 건설되고 있으며, 이러한 건축물들은 일반적으로 주거용인 상층부는 벽식(shear wall)구조, 하층부는 보 기둥 골조(frame)구조로 구성되어 있다. 이와 같은 주상복합구조(상부벽식+하부골조)에서는 상부의 전단벽과 하부의 골조를 연결하는 전이층(transfer system)에 대한 구조해석 및 설계가 매우 중요하다. 그러나 실무현황을 조사한 바에 따르면 복합구조의 전이층에 대한 정확한 해석 및 설계기법이 제대로 정립되어 있지 못하며, 특히 전이보의 지나친 크기와 중량으로 인해 설계·시공시에 많은 문제점들이 노출되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 주상복합구조의 실무자료를 토대로 연구 대상을 선정하고 이 대상구조물의 해석과 설계를 통해 실무현황분석에서 도출된 문제점들의 해결방안을 모색하는 차원에서 전이보의 여러 가지 설계기법에 따른 배근상세를 제시하고자 한다.

---

\* 정회원, 고려대학교 건축공학과 부교수

\*\* 정회원, 고려대학교 박사과정, 대한주택공사 선임연구원

\*\*\* 정회원, 고려대학교 건축공학과 박사과정

## 2. 연구목적 및 방법

실무현황분석<sup>1)</sup>에서 나타난 주상복합구조의 구조설계와 시공에 있어서 실무자들이 봉착하고 있는 가장 큰 문제점과 어려움은 전이층 부재의 깊이(depth)가 매우 깊다는 것이다. 구조설계 실무에 있어서는 전이보의 해석 및 설계법이 미비함으로 인한 과대 안전설계와 상부 전단벽의 누적중량을 받는 전이보의 큰 전단력으로 인해 부재의 크기가 지나치게 과대해지며, 따라서 시공시에도 거푸집작업, 철근 배근 및 콘크리트 치기 등에 많은 어려움이 상존하고 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 전이보의 크기를 줄이는 방안을 강구하는 것이 우선적인 과제이며, 이에 따라 본 연구에서 전이보의 설계법과 배근상세의 변경을 통하여 전이보의 크기를 줄이고자 시도하였다.

이를 위해서 주상복합구조의 실무 현황을 조사하여 복합구조의 전형적인 유형을 제시한 자료<sup>1),2)</sup>를 토대로 주상복합구조의 모델을 선정하여 구조시스템의 해석과 부재설계를 수행하였으며, 특히 전이층 상부 전단벽의 배치가 전이보의 거동에 영향을 크게 미치므로 2가지 유형으로 분류하여 전이보를 설계한다. 전이보의 설계는 (1) 기존의 실무에서 사용하는 설계기준(ACI)을 따라 설계를 하고, (2) 선형 보이론의 적용이 어려운 D-영역이 지배적인 전이보의 설계기법으로서 스티럿-타이 모델에 따라 전이보를 설계하며, (3) 전이보의 설계에 결정적인 과대 전단력을 수용하기 위해 배근상세를 달리한 X-형 대각 전단보강근을 사용하여 설계를 하였다. 이들 각 설계법과 배근상세에 대해 전이보 부재의 크기와 철근량 등을 비교하여 보았다.

## 3. 주상복합구조의 연구모델 선정

### 3.1 실무자료에 따른 주상복합구조의 모델 선정

본 연구에 앞서 최근 국내에서 설계 시공되고 있는 주상복합구조의 실무현황을 조사한 바에 따르면 전이층이 지지하는 상부 주거부분은 평균 약 15개 층으로 나타났고, 전이보의 층은 평균 2.2 m 정도였으며, 전이보의 주된 경간은 약 8 m 정도가 평균치로 나타났다<sup>1)</sup>. 이 값들을 토대로 연구 모델을 선정한 것이 그림 1과 같다. 이 모델은 전이층 상부에 15개 층의 벽식구조 주거부분을 배치하고 하부 골조는 2개 층이며 주요 전이보의 경간이 7.8 m 이고 2경간으로 이루어져 있다. 전이보 상부에 배치된 전단벽 유형은 다양하나<sup>1)</sup> 하중전달이 불연속적이고 불리한 배치형태를 가진 두 가지 유형을 선택하여 모델에 반영하였으며, 그림 1과 같이 상부 벽체간에 복도 정도의 개구부를 갖는 유형과 그림 1의 개구부가 더 커져서 전이보 상부의 절반만 전단벽이 배치된 유형으로 나뉜다.

이 두 가지 모델에 대해 일반 실무에서와 같이 건축물전용 해석 프로그램으로 전이보를 보요소로 모델링하여 해석을 수행하였으나, 해석결과 전이층 부재에 나타나는 결과 값을 그대로 설계에 적용하기에는 신뢰성이 미흡하였다.

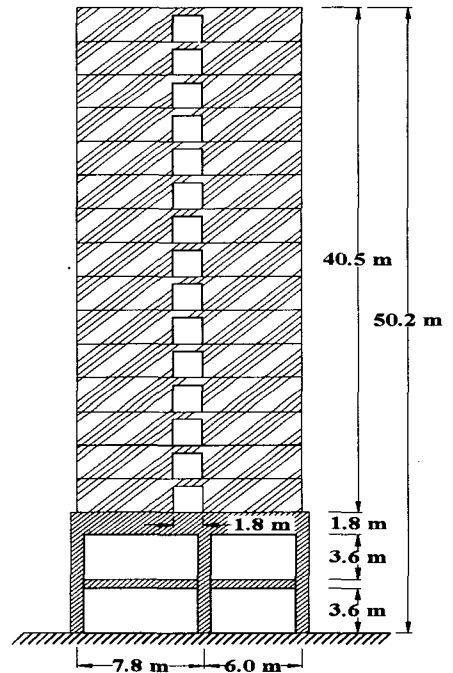


그림 1 주상복합구조 모델

따라서 상부 누적하중을 작용시켜 전이보만 따로 해석하고 각 설계법에 따라 부재 설계를 수행하였다.

#### 4. 전이보의 설계

##### 4.1 ACI 설계법을 이용한 전이보 설계

ACI 기준에 따른 설계에서는 대상구조물의 전이보를 그림 3의 a)와 같은 하중과 지지조건으로 해석하여 b)의 전단력 및 c)의 모멘트 값을 사용하여 설계를 수행하였다. 이 경우 전이보의 큰 전단력(그림 3b)이 지배인자이므로, 단면산정은 설계기준의 깊은보의 전단강도식  $V_n = 2.12\sqrt{f'_c} b_w d$  (kgf) [ACI 기준 :  $V_n = 8\sqrt{f'_c} b_w d$  (lb)]을 사용하여 d값(199cm)을 구하고 피복두께와 복층배근을 고려하여 보의 전체깊이(215cm)를 산정하였다. 배근 설계는 보의 각 위치별 모멘트의 크기에 따라 상하부 주근을 배근하고 규준의 정착길이를 확보하여 정착하였고, 전단력의 크기에 따라 구간을 나누어 전단보강근을 배근하였다. 이 중 상부벽체가 긴 경우에 대한 배근 상세를 그림 4에 나타낸다.

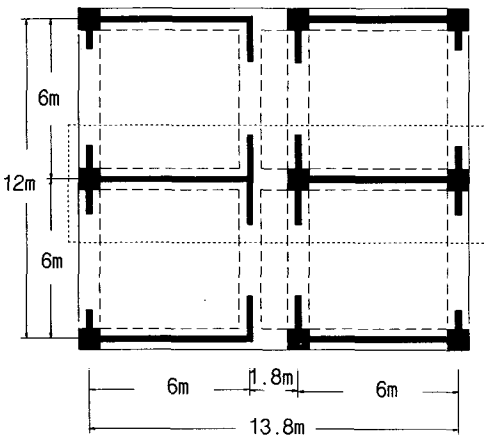


그림 2 주상복합구조 모델 평면

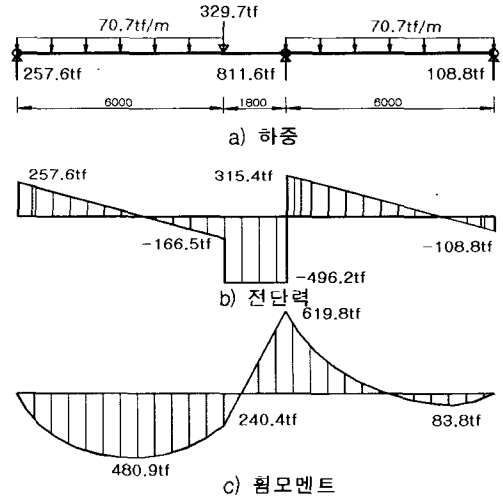


그림 3 전이보의 하중조건과 전단력, 휨모멘트 분포

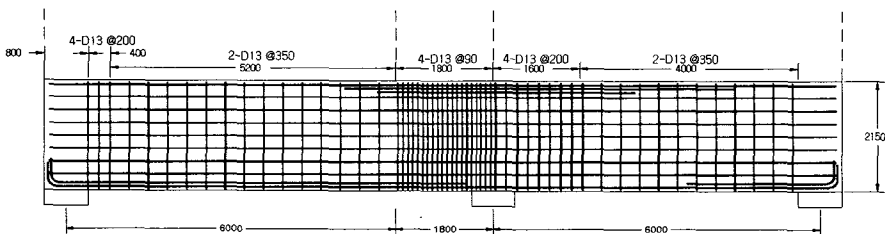


그림 4 ACI설계법(ACI-1)에 의한 전이보 배근상세 (단위 : mm)

## 4.2 스트럿-타이모델에 의한 전이보 설계

여기서 사용한 스트럿-타이 모델은 MacGregor의 방법<sup>4)</sup>을 응용하여 설계되었으며, 그 절차는 다음과 같다. ①우선 D-영역을 고려해 일정높이로 상부 전단벽을 포함하여 탄성 유한요소 해석을 수행하여, ②부재내의 인장, 압축 주응력 분포를 구한 후, ③주응력의 흐름을 고려하고 분포하중을 집중하중으로 치환하여 스트럿과 타이를 배치한다. ④트리스 해석을 통해 스트럿과 타이의 부재력을 계산하고, ⑤절점의 강도를 검토한 후, ⑥스트럿의 강도를 검토하고, ⑦타이의 부재력에 따라 철근을 배근한다.

상부벽체가 긴 경우는 유한요소해석에 따르면 상부에 벽체를 포함하여 해석한 경우와 벽체를 고려하지 않았을 때 전이보 부분의 응력계적이 다르게 나타났기 때문에, 그림 5와 같이 벽체를 포함하여 스트럿-타이 모델을 구성하였다. 대부분의 하중은 압축 스트럿을 통해 직접 하중점에서 지지점으로 전달되도록 구성되었으며, 전단지배구간에서 벽체모서리부분(D)의 집중하중의 일부분(약 60%)은 직접 스트럿을 통해 B지점으로 전달되고, 나머지 하중(약 40%)은 수직타이를 거쳐 B지점으로 간접 전달되도록 구성되었다. 인장타이의 힘을 만족하도록 주근과 전단철근을 배근하였고, 이에 대한 배근상세는 그림 7과 같다.

상부벽체가 짧은 경우의 유한요소해석결과 상부에 벽체를 포함하여 모델링 한 경우와 벽체를 고려하지 않았을 때 전이보

부분의 응력계적이 유사하게 나타났다. 따라서 스트럿-타이 모델을 구성할 때 벽체를 고려하지 않고 전이보에 직접 하중을 가하여 스트럿-타이 모델을 작성하였다. 여기서는 전이보의 깊이를 기존 설계법과 같게 한 경우(1.8m)와 같이 전단철근의 수를 증가시켜 전이보의 깊이를 줄인 경우(1.35m)의 두가지로 설계하였다. 상부 벽체가 짧은 경우는 그림 6과 같이 전단지배구간의 하중점과 지지점 사이 거리가 길어 하중작용점에서 대부분의 압축 스트럿이 직접 지지점으로 연결되지 않고 수직 타이를 거쳐서 간접적으로 전달되며, 이에 따라 앞의 경우와 달리 더 많은 양의 수직전단근이 배근되었다.

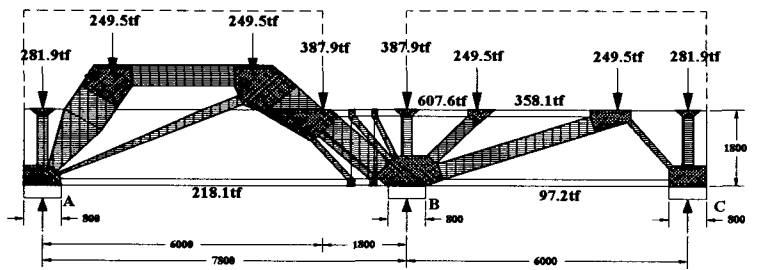


그림 5 상부 벽체가 긴 경우의 스트럿-타이 모델 (단위 : mm)

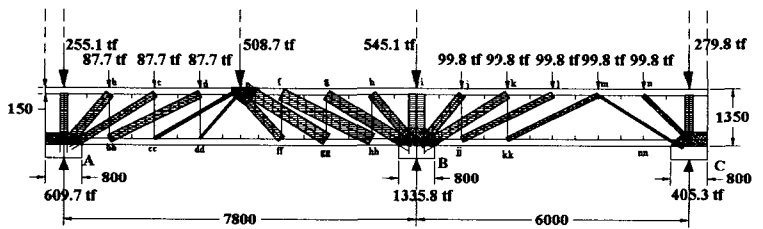


그림 6 상부벽체가 짧은 경우의 스트럿-타이 모델 (단위 : mm)

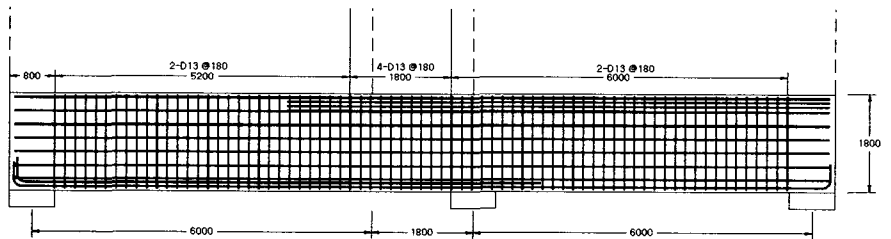


그림 7 스트럿-타이 모델(STM-1)에 의한 전이보 배근상세 (단위 : mm)

### 4.3 대각전단보강근(X-형 배근)에 의한 전이보 설계

X-형 대각전단보강근에 의한 방법은 전단력이 크게 작용하는 연결보(Coupling Beam)와 같은 부재의 설계에 선진외국에서 익히 적용하던 설계법<sup>(5,6)</sup>으로, 부재에 작용하는 전단력을 그림 8과 같이 대각선방향의 철근틀(cage)이 인장과 압축을 받음으로써 전단에 저항하는 방식이다.

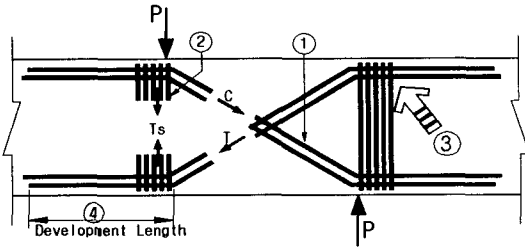


그림 8 X-형 대각전단보강근의 거동

설계상의 요구조건은 그림 8의 해당위치에서 보듯이 ① 압축을 받는 철근틀이 압축력에 좌굴되지 않도록 철근 강도를 가지고 후프를 사용할 것, ② 대각방향 힘에 의해 철근틀이 밖으로 벌어지는 것을 방지하는 타이를 배근할 것, ③ 콘크리트가 압축파괴를 일으키지 않도록 충분한 압축강도를 가질 것, ④ 철근틀이 받는 인장력에 대한 충분한 정착길이 확보 등이다.

이에 따라 설계시 (1) 대각전단보강근의 전단설계 :  $V_u \leq \phi 2A_s f_y \sin \theta$ 에서  $A_s \geq V_u / (2\phi f_y \sin \theta)$ , (2) 대각전단보강근 철근틀(cage)의 정착길이:  $l_d^* = 1.5 l_d$  및 (3) 철근틀의 띠철근 간격  $s \leq 100mm$  등을 고려하였다. (여기서,  $A_s$ =철근틀의 주근단면적,  $f_y$ =철근의 설계기준항복강도,  $\theta$ =대각전단보강근의 경사각도,  $\phi$ =강도감소계수, 및  $l_d$ =규준의 정착길이이다.) 대각전단보강근을 사용한 설계결과는 그림 9와 같다.

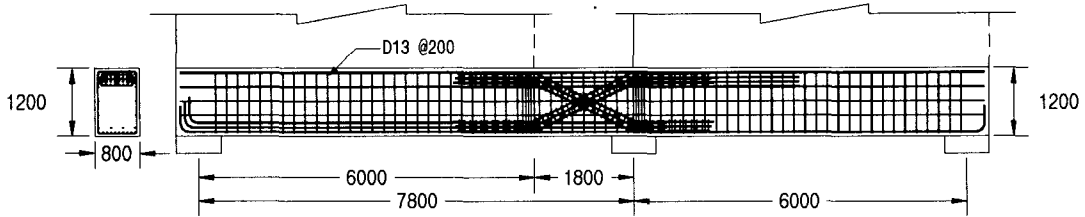


그림 9 대각전단보강근(X-2)에 의한 전이보 배근상세 (단위 : mm)

### 5. 전이보 설계법에 따른 결과 비교

전이보의 과대 깊이를 줄이기 위해 설계기법과 배근상세를 달리하여 설계한 결과와 기존설계(ACI방법)와의 비교를 표1에 나타내고 있다. 상부 벽체가 긴 경우에 대해 전단철근을 X-형 대각전단보강근으로 설계를 한 결과 기존의 설계방식(ACI)에서 2.15 m이었던 전이보의 깊이를 1.2 m까지로 낮추어 설계하였으며, 스티럿-타이 모델로 설계한 결과 전이보의 깊이를 1.8 m까지 낮추어 설계할 수 있었다. 상부 벽체가 짧은 경우에 대해 스티럿-타이 모델로 설계한 결과 기존설계(ACI방법)에서 1.8 m 인 전이보의 깊이를 1.35 m로 낮추어 설계하였으며, 이 경우는 상부벽체가 긴 경우에 비해 전이보의 전단 지배구간이 세장하여 대각전단보강근은 적용하지 않았다. 새로운 설계기법과 배근상세를 적용한 경우, 전체적으로 전이보의 깊이가 줄어든 만큼, 콘크리트 물량이 감소되므로 시공상의 어려움도 크게 개선될 것으로 보인다. 철근량은 보의 깊이가 줄어들수록 조금씩 증가하는 경향을 보이며, X-형 대각전단보강근을 사용한 경우가 철근틀 사용으로 타 경우보다 철근량이 많이 소요되었고, 특히 이 경우는

현장시공시 사전에 철근들을 선조립하여 해당 위치에 배치해야 하므로 시공에 정밀함이 요구된다.

표 1 전이보의 설계결과 비교

| 구 분           | 설계명   | 설계법          | 깊이 (m) | ACI 와 깊이 비교 | 주근 갯수(D25) |    | 수직전단 철근비 | 철근량 (tonf) |
|---------------|-------|--------------|--------|-------------|------------|----|----------|------------|
|               |       |              |        |             | 하부         | 상부 |          |            |
| 상부벽체가 긴 경우    | ACI-1 | ACI 기준 설계    | 2.15   | 1.0         | 14         | 18 | 0.0074   | 1.05       |
|               | STM-1 | Strut-Tie 모델 | 1.8    | 0.84        | 12         | 30 | 0.0039   | 1.12       |
|               | X-1   | X-형 대각전단보강근  | 1.5    | 0.70        | 15         | 32 | 0.0018   | 1.71       |
|               | X-2   | X-형 대각전단보강근  | 1.2    | 0.56        | 18         | 40 | 0.0019   | 1.84       |
| 상부벽체가 짧은 경우   | ACI-2 | ACI 기준 설계    | 1.8    | 1.0         | 34         | 26 | 0.0065   | 1.97       |
|               | STM-2 | Strut-Tie 모델 | 1.8    | 1.0         | 30         | 26 | 0.0041   | 1.76       |
|               | STM-3 | Strut-Tie 모델 | 1.35   | 0.75        | 42         | 35 | 0.0065   | 2.12       |
| 상부벽체가 전부 찬 경우 | STM-4 | Strut-Tie 모델 | 1.8    | -           | 6          | 30 | 0.0074   | 0.95       |

## 6. 결론

- (1) ACI 방법으로 설계한 경우 모델 구조체의 전이보의 깊이가 2.15m이고 보의 크기에 영향을 주는 주요인은 큰 전단력이다.
- (2) 상부벽체가 긴 경우, 전단철근을 X-형 대각전단보강근으로 설계한 결과 전이보의 깊이를 최대 약 44% 줄일 수 있었고, 스티럿-타이 모델로 설계한 결과 전이보의 깊이를 약 16% 줄일 수 있었다.
- (3) 상부벽체가 짧은 경우, 스티럿-타이 모델로 설계한 결과 보 깊이를 최대 25% 줄일 수 있었다.
- (4) 기존설계법에 비해 줄어든 단면크기로 인한 휨강성의 저하를 효율적으로 처리하여 사용성 확보에 무리만 없다면, X-형 대각전단보강근을 사용한 배근상세와 스티럿-타이모델 설계는, 하나의 대안으로 사용 가능한 것으로 보이며, 그 신뢰성은 실험연구를 통해 검증할 필요가 있다.

## 감사의 글

본 연구는 건교부 국책과제 “복합구조(상부 전단벽+하부 골조)의 내진설계기법 연구”의 일환으로 수행된 연구로 건설교통부와 대한주택공사, 쌍용건설(주), 코오롱건설(주), (주)형상구조안전의 연구지원에 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. 이한선, 김상연, 고동우 “상부 전단벽과 하부 골조로 구성된 복합구조의 설계 실무현황 분석”, 한국 콘크리트학회 1999년도 봄학술발표회 논문집, P223 - 228, 1999.5
2. 이한선 외, “복합구조(전단벽+골조)의 내진설계기법 연구”, 건교부 '98연구개발사업 보고서, 1999.12
3. 이한선, 김상연 외, “주상복합구조의 전이보 상세에 따른 성능과 파괴모드”, 한국콘크리트학회 2000년도 가을 학술발표회 논문집, 2000.11
4. J G MacGregor, "Reinforced Concrete Mechanics and Design" ch18, Prentice Hall, 1997
5. Eurocode 8 "Design provisions for earthquake resistance of structures" part 1.3, BSI, 1996
6. R.Park & T. Paulay "Reinforced Concrete Structures" ch 12, John Wiley & Sons, 1975