

상부전단벽과 하부골조로 구성된 복합구조의 설계 실무현황 분석

A Review of Current Design Practice for the Hybrid Structures with Upper Shear-Wall and Lower Frame Systems

이 한 선^{*} 김 상 연^{**} 고 동 우^{***}
Lee, Han Seon Kim, Sang Yeun Ko, Dong Woo

ABSTRACT

The state of the current design practice in designing the so-called hybrid structures with the upper shear-wall and lower frame systems are reviewed through the investigation of the 43 design examples. In particular, the trend in the design of the transfer system between upper wall and lower frame systems are analyzed with respect to the depth, the length and the number of spans of transfer deep girders and the number of upper stories. Finally the most critical portions in this conventional transfer system, which should be studied in depth in the future, are pointed out to improve the current design and analysis practice.

1. 서론

오늘날 도시적 측면과 건축계획적 관점에서 부족한 대지를 효율적으로 활용하고 도심의 교통난과 주거환경을 개선하기 위한 방안으로 주상복합, 오피스텔 등과 같은 복합용도의 건축물이 많이 건설되고 있으며, 또한 기존의 전단벽식 고층 아파트의 하부를 개방공간으로 하거나 지하층을 주차장으로 활용하는 사례가 증가하고 있다.

이러한 건축물들은 상부는 주거용으로 사용되어 주로 전단벽식구조를 적용하고, 하부는 개방 공간이 필요한 상업시설이나 주차장 등으로 사용되어 보-기둥 골조구조를 적용하는 것이 보편적이다. 이와 같은 상부 전단벽+하부 골조로 구성된 복합구조시스템에서는 상부의 전단벽과 하부의 골조를 연결하는 전이층(transfer system)에 대한 구조해석 및 설계가 매우 중요하다. 그러나, 국내외를 막론하고 복합구조의 전이층에 대한 설계기법이 제대로 정립되어 있지 못한 실정으로, 이에 따라 설계·시공시에 많은 문제점들이 노출되고 있다.

따라서 이와 같은 복합구조(상부전단벽+하부골조)시스템에 대한 실험과 연구로 설계기법을 정립하고 실무에서 유용하게 활용토록 할 필요성이 크다고 본다. 이러한 맥락에서 본 연구에서는 기존의 국내 복합구조 건축물의 설계자료들을 수집하고 구조설계 현황을 분석하여, 해석기법과 실험 등의 관련 연구에 대한 기초자료를 제시하고자 한다.

* 정회원, 고려대학교 건축공학과 부교수

** 정회원, 고려대학교 건축공학과 박사과정, 주택연구소 선임연구원

*** 정회원, 고려대학교 건축공학과 박사과정

2. 복합구조의 실무현황

2.1 연구방법 및 내용

상부 전단벽과 하부 보-기둥 골조로 구성된 복합구조의 구조설계 실무현황을 파악하기 위해 구조(설계)사무소와 건설회사 및 시공현장을 방문하여 40여 건의 실무자료들을 수집하였다. 수집한 자료들로부터 복합구조의 전형적인 유형을 관찰하고 전이층의 부재의 특성과 관련하여 몇 가지 항목을 분류하여 기존의 실무현황을 파악하고 이를 토대로 전이층의 연구를 위한 자료들을 도출해 내고자 한다.

2.2 복합구조의 구조계획

전이층을 포함하고 있는 복합구조 건축물들은 그 외부형태나 구조평면계획 및 입면계획이 비교적 다양하게 나타나고 있다. 가장 많은 경우가 역시 평면이 일자(一字)형으로 된 복합건물로 상부는 주거부분이고 하부는 상가와 주차장 등으로 사용된다. 그밖에 평면을 보면 L자형, T자형, C자형, P자형 및 U자형(중정형) 등으로 다양하게 나타나며, 이러한 평면형상들은 복합구조 건축물이 도심지의 협소한 대지에서 건설되는 경우가 많으므로 그 대지의 형상이나 주변건물 및 면한 도로와의 관계 등에 따라 영향을 받는 것으로 보인다. 단면을 살펴보면 하부 층은 상업시설이나 주차장으로 넓은 공간을 가지고 있으며 상부 주거부분은 주로 계단실을 중심으로 한 주거단위일 경우 좁은 폭으로 구성되거나 중복도형 또는 중정형으로 구성되고, 오피스텔의 경우에는 중복도형으로 된 경우가 많으며 그밖에 타워형이나 중정형으로 된 경우도 있다. 주상복합 건물의 한 예가 그림 1에 나타나 있다.

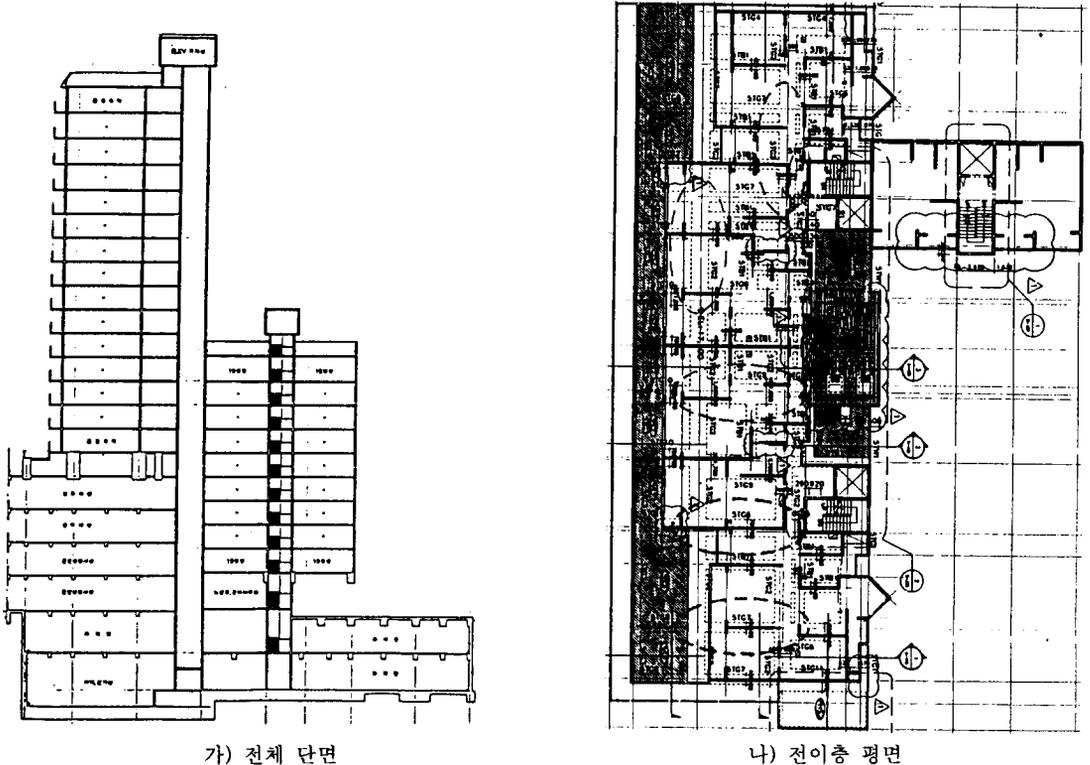


그림 1 복합구조 건축물의 한 예

표 1 복합구조 건축물 사례

건물명	층수 ^{*1} (상부/하부)	스팬수	경간(m)	전이보 (D*B)	배근(중양부)	기둥	비고
A 아파트	15/1 (지하1)	3	4.1	1200×500	7-HD25 10-HD25	800×500	일(一)자형
S(재) 아파트	17/4 (지하2)	2	5.5	2000×600	12-HD25 12-HD25	900×900	T자형
AS 아파트	15/4 (지하2)	4	7.0	2000×800	9-HD25 18-HD25	1300×900	L자형
J 호텔	12/4 (지하2)	2	8.0	1800×900	8-HD25 18-HD25	1000×1000	일자형 (곡선형)
K 빌라트	9/1 (지하1)	3	7.5	2300×900	9-HD25 20-HD25	900×1000	일자형
S 주상복합	13/5 (지하3)	3	7.5	2100×800	18-HD25 18-HD25	800×900	일자형
K 주상복합	10/8 (지하3)	2	7.8	2000×900	10-HD25 20-HD25	1200×1200	일자형
K 아파트	15/1 (지하1)	1	3.0	800×400	7-HD22 7-HD22	800×400	일자형
SH 주상복합	20/6 (지하3)	4	8.0	3600×1000 SRC보	26-HD32 30-HD32	800×800	타워형
Y 오피스텔	17/9 (지하6)	1	10.5	2100×1000	6-HD29 20-HD32	1200×1200	타워형
C 주상복합	12/4 (지하2)	2	8.3	1900×800	7-HD29 9-HD29	800×800	ㄷ자형
R 주상복합	6/6 (지하4)	3	7.0	1400×600	8-HD22 16-HD22	1000×800	T자형
D 주상복합	15/8 (지하4)	3	8.7	3000×300 SRC 트러스	SRC SRC	1000×1000	L자형
SA 주상복합	17/7 (지하3)	1	9.4	3000×1200	18-HD29 42-HD29	1500×900	L자형
T 하우스	7/3 (지하2)	2	7.8	1800×1800	25-HD25 49-HD25	1800×800	P자형
H 주상복합	15/7 (지하2)	3	6.9	3000×1400	22-HD25 30-HD25	1200×800	T자형
Y 주상복합	15/4 (지하1)	2	7.5	3000×800	12-HD25 40-HD25	1300×1300	ㄷ자형
D 타워	19/6 (지하4)	3	8.1	2000×1200	12-HD32 20-HD32	1200×1200	일자형
J 주상복합	25/9 (지하5)	2	7.6	5000×1200	14-HD29 32-HD29	1800×1200	타워형
I 다운	14/6 (지하5)	1	9.5	2600×800 (1500×600)	7-HD29 10-HD29	2000×700	증정형
T 빌라	32/6 (지하2)	1	9.3	3600×1000 SRC	10-HD25 10-HD25	1300×1300	타워형
H 복합 (B농)	28/6 (지하3)	2	6.5	2800×700	11-HD32 10-HD32	1000×700	일자형

*1. 전이보가 있는 층을 기준으로 한 층수로 전이층의 상부층수 및 하부층수(U/L)를 나타내고, 괄호안(지하x)은 지하층의 층수를 나타냄.

2.3 복합구조의 문제점

구조계획적인 측면에서 전단벽과 골조로 이루어진 복합건축물들은 두 가지 이상의 용도로 공간이 구성되어 있어서, 그 용도에 맞는 구조시스템을 채용해야 하므로 두 가지 이상의 구조시스템이 적절하게 조합되어 하나의 통일된 구조시스템으로 그 기능을 충분히 발휘해야 한다. 그러나 일반적으로 주상 복합 건물의 구조시스템은 전단변형에 의해 저항하는 하층부의 골조구조와 휨변형에 의해 횡력에 저항하는 상층부의 벽식구조로 구성되며, 이러한 복합구조(상부 전단벽+하부 골조)의 특이한 구조형식은 내진설계기준과 해석기법의 적용에 있어 불분명한 사항을 내포하게 된다.

이러한 사항에 대한 충분한 연구와 검증이 없이 복합구조 건축물들을 관례에 따라 지속적으로 설계한다는 것은 언제 발생할지 모르는 지진 등의 재해에 대한 적절한 대비라고는 볼 수 없을 뿐만 아니라 미확인된 사항에 대한 과다 안전설계는 자원의 낭비로 이어지고 구조부재 크기의 증가에 따라 내부 활용공간이 축소되는 결과를 낳게 된다.

따라서 이와 같은 복합구조 시스템을 대상으로 연직하중 뿐 만 아니라 지진 등의 횡하중에 대한 충분한 실험과 연구를 통해 구조해석과 설계기법을 정립할 필요가 있다.

2.4 구조설계 실무사례 현황

2.4.1 전이층의 특성 분석

복합구조 건축물에 대해 수집한 설계도서(구조도면 혹은 구조계산서)에 의하여 전이층을 중심으로 한 주요항목에 대해 분류한 자료의 일부가 표 1에 나타나 있다.

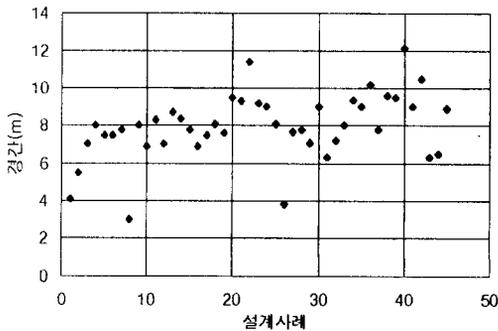


그림 2 전이보의 경간 길이(span length)의 분포

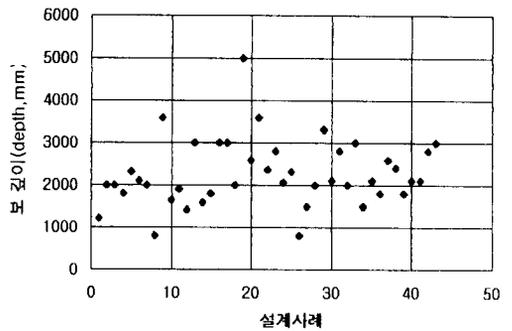


그림 3 전이보 깊이(depth)의 분포

수집한 43건의 설계사례를 횡좌표로 하고 이에 대한 조사대상 각 변수를 수직좌표로 하여 나타낸 것이 그림 2에서 그림 4이다. 전이층에서 상부벽체들을 지지하고 있는 전이보의 경간(span)수는 표 1에서 나타난 바와 같이 1-경간, 2-경간 및 3-경간이 주로 적용되지만 1-경간과 2-경간이 많은 것으로 나타났다. 전이보의 경간 길이(span length)는 그림 2에서와 같이 지하층을 활용하는 아파트의 경우인 3.0m에서 상가의 평면공간의 활용을 위해 기둥간격을 최대한 넓힌 경우인 12.1m에 이르기까지 다양하게 나타나고 있으며, 대부

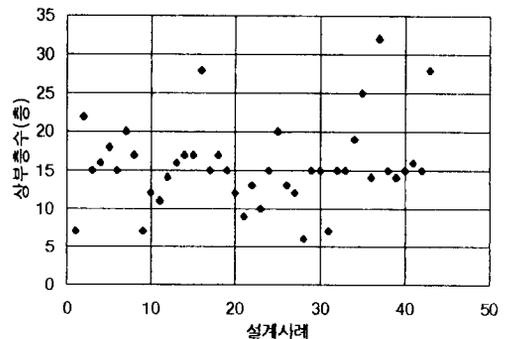


그림 4 전이보 상부의 층수

분이 6.0m에서 10.0m사이이고 8.0m를 중심으로 분포되어 있다.

복합구조 전이보의 깊이(depth)의 분포는 그림 3에서 나타내고 있는데, 대부분(80% 이상)이 1.5m에서 3.0m사이에 있고, 2.0m 부근이 가장 많은 빈도를 보이고 있다. 그리고 전이층이 지지하고 있는 상부의 층수를 고찰해 보면 그림 4에서 나타내는 바와 같이 15개층이 가장 많은 빈도이고 주로 10개층에서 20개층 사이에 분포되어 있고, 작게는 6개층에서부터 최대 33개층 까지 다양하다. 전이보의 깊이(depth)와 상부 층수 및 경간 길이(span length)와의 관계를 그림 5와 그림 6에서 나타내고 있다. 전반적으로 상부 층수나 경간 길이에 비례해서 전이보의 깊이가 증가하는 경향을 보이고 있지만 상부층수는 15층의 경우 800-3300mm까지 다양한 깊이가 사용된 것과 경간길이는 8m를 중심으로 집중되어 있는 것을 발견할 수 있다.

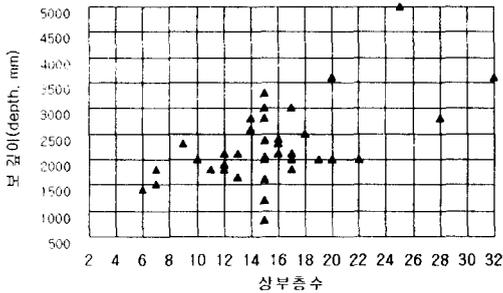


그림 5 전이보 깊이(depth)와 상부층수와의 관계

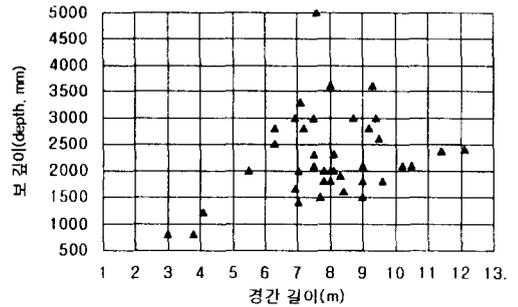


그림 6 전이보 깊이(depth)와 경간 길이와의 관계

2.4.2 전단벽의 배치유형 분석

전이보 위에 놓인 전단벽의 유형은 그림 7과 같이 매우 다양한 배치 양상을 나타내고 있다. 주거부분 세대간벽의 경우와 같이 전단벽이 전이보 위를 완전히 채우고 있는 기본적인 유형과, 전단벽이 출입구 등과 같은 개구부를 포함하여 전이보 위의 한쪽 일부가 개방되어 있는 유형과 양쪽 부분이 개방된 유형, 전이보 위의 중앙부에 전단벽이 개방된 유형 그리고 전단벽이 전이보 위에 교차하며 걸쳐져 집중하중으로 작용하는 유형 등이 나타났다.

이 중 전이보 위를 전단벽이 모두 채우고 있는 경우는 전이보와 전단벽이 일체로 형성되어 주로 아치작용(Arch-action)에 의해서 상부하중을 하부기둥으로 전달하게 되며 표 1의 대부분의 경우에서 보이고 있는 2-3m 정도가 되는 전이보의 깊이(depth)는 불필요할 것으로 보인다. 그러나 전이보 위에 일부가 개방된 상태로 전단벽이 놓여 있는 경우는 전이보 자체가 깊은보로 거동해야 하고 전단벽이 배치된 유형 또한 다양하므로 이에 대한 자세한 검토가 필요하다고 본다.

2.4.3 구조해석 유형 분석

복합구조에서 나타나는 전이보는 그 깊이(depth)가 평균 2m 이상으로 대부분이 아치작용과 보작용의 조합으로 하중에 저항하는 깊은보(deep beam)이다. 깊은보는 그 대부분의 영역이 응력교란이 큰 D-영역으로 보이론의 주요가정인 베르누이(Bernoulli)의 변형률의 평면유지법칙을 벗어나게 된다. 따라서 깊은보인 전이보의 해석과 설계는 기존의 보이론에 따른 해석은 타당하지 않으며, 유한요소 해석에 의하거나 D-영역에 대한 새로운 해석법인 스텐렛-타이 모델(strut-and-tie model) 해석에 따르는 것이 바람직하다.

그러나 구조설계 실무에서 수집된 자료를 살펴보면 위와 같은 해석법에 의하여 설계하는 경우는 극

히 드물었다. 복합구조 설계실무의 많은 경우에 있어 전이보의 설계는 보이론에 근거한 구조해석프로그램의 보조소를 사용하여 해석한 결과를 사용하고 있으며, 이 경우도 대부분이 2차원(2-dimensional)적인 모델링에 의하여 해석을 하고 있었다. 일부의 경우에 전이보에 대해 유한요소법에 의한 해석결과를 따르거나, 또는 외국문헌⁶⁾에서 제안한 근사법을 따라 설계하는 경우도 있었으나, 상부전단벽에 대한 고려가 미흡하거나, 개구부가 없는 전단벽만을 대상으로 하는 등의 제한이 있다.

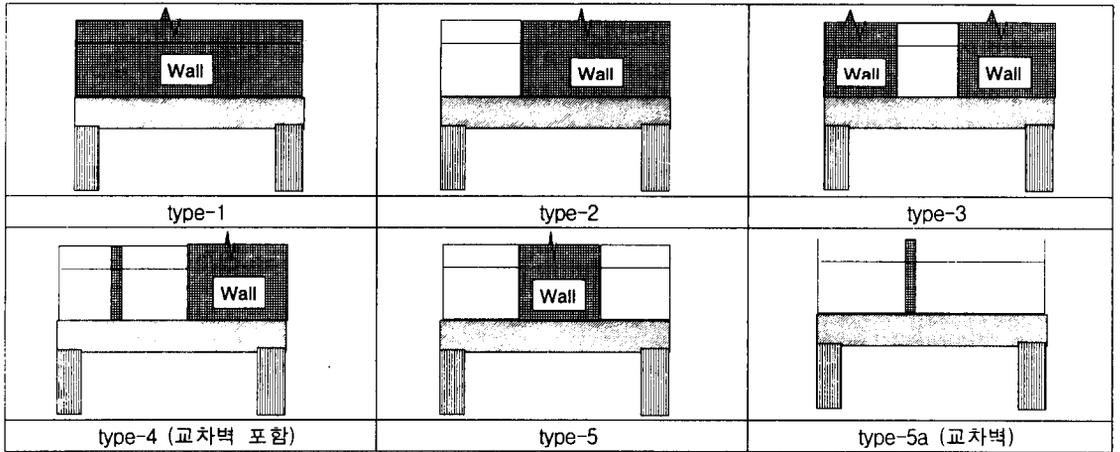


그림 7 전이보 상하의 전단벽과 기둥 배치 유형

3. 결론

상부 전단벽과 하부 골조로 구성된 복합구조의 실무현황을 고찰한 결과, 다음과 같은 결론에 도달되었다.

- 1) 복합구조의 구조평면과 단면 유형은 매우 다양한 것으로 나타났으며, 전이보 위의 상부층수는 평균 약 15개층, 전이보의 깊이(depth)는 평균 약 2200mm, 경간의 길이는 평균 약 8.0m로 나타났다.
- 2) 전단벽과 골조가 연결된 부분의 부재를 관찰하면 전이보 위에 놓인 전단벽의 배치는 크게 5가지 유형으로 분류할 수 있으며, 이러한 다양한 경우들에 대한 보다 효율적인 해석 및 설계 방법의 개발이 필요한 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 1998년도 건교부 국책과제 “복합구조(상부 전단벽+하부 골조)의 내진설계기법 연구”의 일환으로 수행된 연구로 이에 감사드리며, 더불어 실무자로 수집에 적극 협조해 주신 구조설계사무소와 건설회사 및 시공현장의 관계자들에게 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. 이한선 외, “주상복합건물의 구조시스템 개발에 관한 연구”, 영남대 공업기술연구소, 1995
2. 김종호, “하부 라멘구조를 갖는 벽식복합건물의 구조계획에 관한 연구”, 서울대 석사학위논문, 1994
3. 정하선 외, “아파트 건물의 구조형식에 관한 연구- 초고층아파트를 중심으로”, 대한주택공사, 1990
4. 황현식, “주상복합건물의 효율적인 구조해석”, 성균관대 석사학위논문, 1995
5. 김상연 외, “아파트 지하층을 주차장으로 활용하기 위한 골조형식 연구”, 대한주택공사, 1998
6. R Narayanan, “Concrete Framed Structures”, Elsevier Applied Science Publishers, 1986, P193-216