

# 병렬전단벽의 강도와 강성이 커플링보의 설계내력에 미치는 영향

윤태호<sup>1</sup>, 김진상<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>창원대학교 건축학부, <sup>2</sup>인제대학교 건축학과

## Design Strength of Coupled Shear Wall System according to Variation of Strength and Stiffness of Coupled Shear Wall

Tae-Ho Yoon<sup>1</sup>, Jin-Sang Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>School of Architecture, Changwon National University

<sup>2</sup>Department of Architecture, Inje University

**요약** 본 연구에서는 초고층건물의 횡력저항 구조형식으로 널리 사용되는 병렬전단벽-커플링보 구조시스템에서 전단벽의 강도, 강성이 커플링보의 설계 강도에 미치는 영향을 분석하였다. 커플링보에 발생하는 설계내력은 코어벽체의 두께와 콘크리트의 강도가 변화더라도 층별 설계내력은 유사한 경향을 보이고 있으며, 벽체 콘크리트 강도와 두께에 따라 커플링보에 발생하는 외력은 다소 감소하는 경향이 있다. 커플링보의 설계내력은 6개 모델 전부 40층 건물에서, 10층에서 15층의 범위에서 가장 높게 발생하고 있음을 알 수 있다. 즉, 병렬전단벽의 휨변형 변곡점이 형성되는 건물높이의 0.25H~0.375H 위치에서 최대 부재력이 발생한다. 벽체두께가 증가 할수록 코어내부의 커플링보의 발생 외력은 점차 증가하는 것으로 확인되었다. 또한 벽체 두께가 두꺼워질수록 벽체의 콘크리트 강도 증가에 따른 커플링보의 부재력 변화는 적게 나타나는데, 이는 벽체 두께가 두꺼우므로 콘크리트 강도변화의 영향이 적게 미치는 것으로 분석된다. 병렬전단벽의 두께증가는 콘크리트의 강도증가보다 강성변화에 큰 영향을 미치고, 이에 따라 커플링보의 부재력 변화에도 더 큰 영향을 미치는 것으로 분석된다.

**Abstract** In this research, the effects of the strength and stiffness of shear walls on the design strength of coupling beams are studied in the shear wall-coupling beam structural system widely used as the lateral-drift resistant system of high-rise buildings. The results show that the design strength of the coupling beams decreases with decreasing concrete strength and core wall thickness, but the shape remains unchanged. In all six models, the design strength of the coupling beams has the largest value at the 10~15th floors in a 40-story building. In other words, the design strength of the coupling beams has the largest value at 0.25H~0.375H where the inflection point exists. The thicker the walls, the smaller the change in the member forces. The thickness of the coupled shear walls has more influence on the design strength of the coupling beams than the concrete strength.

**Keywords** : Concrete strength, coupling beam, lateral drift, shear wall, stiffness reduction, wall thickness

### 1. 서론

고층 건물의 구조계획 시 전단벽체를 적절하게 배치하면, 구조물에 작용하는 횡하중, 즉 풍하중이나 지진하중에 대하여 매우 효율적으로 저항할 수 있다. 구조물의

높이가 높아질수록 이러한 횡하중이 증가하기 때문에 횡하중에 의한 수평 전단력도 증가하게 된다. 고층건물에 작용하는 횡하중에 의한 수평 전단력에 저항하는 구조로서 가장 널리 사용되는 구조시스템의 하나는 철근콘크리트 전단벽 시스템이다[1].

이 논문은 2015~2016년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었음

\*Corresponding Author : Jin-Sang Kim(Inje Univ.)

Tel: +82-55-320-3556 email: archkjs@inje.ac.kr

Received September 26, 2016

Revised October 5, 2016

Accepted October 7, 2016

Published October 31, 2016

이러한 구조물의 예는 고층 건물의 전단 코어가 있다. 전단 코어에는 엘리베이터실, 계단실, 기계 및 전기설비 덕트가 포함된다. 이러한 벽체들은 개구부를 포함하게 되고 개구부에 의해 분리된 벽체들은 길이가 짧고 춤이 큰 보에 의해 연결된다. 이와 같이 둘이상의 전단벽이 개구부 상부의 보에 의해 연결된 구조시스템을 Fig. 1에 나타난 병렬전단벽 시스템(coupled shear wall system)이라 한다. Fig. 1과 같이 벽체와 벽체사이의 개구부 상부에서 두 벽체를 연결하는 보를 커플링보(coupling beam)라 하고, 커플링보는 횡하중에 대하여 휨과 전단의 영향을 받는다[2].

커플링보는 구조물의 코어 내·외부를 관통하는 출입구 위에 각 층 바닥과 연결되어 설치되며, 인방보(lintel beam)라고도 한다. 즉, 커플링 보는 병렬전단벽구조에서 벽체간 연결부재로서, 개구부로 단절된 양쪽 벽체를 구조적으로 연결하여 일체화 거동을 발생시키는 구조부재이다. 커플링보는 개구부 위치에서 벽체를 연결하므로, 중력하중에는 크게 영향을 받지 않으며, 대부분 횡하중에 의해 구조설계가 지배된다. 바람과 지진의 작용 시 벽체에 유발되는 저항력을 인근 벽체로 전달하여 전체 구조시스템의 횡력저항능력을 확보하는 중요한 구조요소이다[3]. 커플링보는 RC System, SRC/Steel System 등 다양한 구성재료와 형식이 사용되고 있다[4].

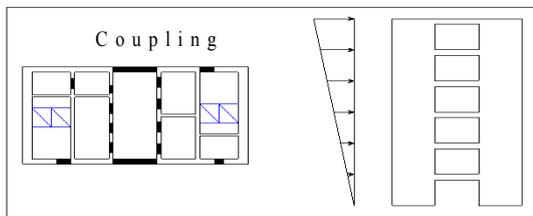


Fig. 1 Coupled shear wall system

고층건물에서의 커플링보는 전단벽체 사이를 연결하는 부재이므로 벽체사이의 간격에 의해 길이가 결정되며, 벽체의 두께와 연장선상에 있도록 그 폭이 제한된다. 춤의 크기 또한 층고와 개구부의 높이에 의하여 한정되므로 일반적으로 작은 단면의 보가 된다. 하지만, 커플링보는 횡력의 대부분을 지지하는 전단벽체를 연결하여 하중의 이동경로를 구성하는 중요 부재로서 매우 큰 내력을 필요로 하게 되며, RC로 설계하기에는 매우 부족한 경우가 많이 발생한다. 이러한 경우 구조물의 안전성이나 사용성 확보 등에 문제가 야기되지 않는다면 커플링

보의 유효강성을 저감시켜 커플링보에 작용하는 설계내력을 감소시키기도 하지만, 일반적으로 초고층 구조물에서는 커플링보의 유효강성을 일정정도 이상 감소시키면 전체 구조물의 안전성이나 사용성에 문제가 발생하기 때문에 전단벽의 강도와 강성을 증가시키거나, 아웃리거와 같은 별도의 횡력저항요소가 추가되어야 하는 문제가 발생하게 된다[5].

실제로 구조설계 시 커플링보에는 과도한 응력이 집중되어 부재설계가 현실적으로 불가능한 경우도 발생하는데, 실무적으로 콘크리트의 균열발생 등을 감안하여 부재의 강성을 인위적으로 감소시켜 응력을 줄여서 시공성을 고려한 설계가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 병렬전단벽 구조시스템에서 병렬전단벽의 강도, 강성이 커플링보의 설계강도에 미치는 영향을 분석하였다.

## 2. 커플링보의 해석이론

### 2.1 철근콘크리트 커플링보

커플링보는 횡력작용 시 큰 전단변형이 발생하게 된다. 그러므로 RC 커플링보는 횡력작용시 갑작스런 취성 파괴가 일어나지 않고, 충분한 연성능력을 확보하는 디테일에 대한 연구가 주를 이룬다. Table. 1은 RC 커플링보의 ACI기준을 나타낸다. 스패-보춤비(L/d)가 2보가 작을 경우 대각철근에 대한 특별한 상세가 반복하중에 대한 연성능력을 증진 시킬 수 있다고 연구되어졌다. 하지만 스패-보춤비가 2.5~5.0의 경우 대각철근은 각도가 낮아서 큰 효과가 없는 것으로 나타났다[6-9].

Table 1. ACI Code of RC coupling beam

criteria		detail	design criteria
L/d	shear stress		
L/d ≥ 4	$v \leq (a_c \sqrt{f_c'} + \rho_n f_y)$ $0.067 \leq a_c \leq 0.25$ $\rho_n \geq 0.0025$	normal detail	same as beam design
L/d ≤ 4	$v \leq 0.83 \sqrt{f_c'}$	diagonal or normal detail	
L/d ≤ 2	$v \geq 0.33 \sqrt{f_c'}$ $v \leq 0.83 \sqrt{f_c'}$	diagonal detail	diagonal rebars resist shear force

$a/d$ (Moment arm/effective depth)의 비가 감소하면 아치작용에 의해 휨거동 보다 전단거동을 하게 된다. 이 경우 일반적인 보 배근을 한 커플링보는 대각선방향 균열로 인하여 상부근과 하부근이 동시에 인장응력이 발생한다.

커플링보는  $v_u > 0.5\sqrt{f'_c}$  이고  $a/d < 3.0$ 이면 특별한 상세가 요구되고 있다. 일반적인 보 배근의 커플링보가 휨과괴에 의한 거동을 하려면 전단응력이  $0.25\sqrt{f'_c}$  이하 이어야 한다.  $0.3\sqrt{f'_c} \sim 0.5\sqrt{f'_c}$  의 전단응력 범위에서는 벽체면과의 미끄럼 전단이 발생한다[6-9].

### 2.2 병렬 전단벽의 횡력 저항

병렬 전단벽 시스템의 거동은 커플링보의 거동에 따라 전체 구조시스템의 거동에 큰 영향을 받는다. Fig. 2는 고정단기초를 가지는 병렬전단벽 시스템의 거동을 나타낸다. Fig. 2(a)와 같이 벽 A와 벽 B가 핀접합으로 연결되어 있다면, 각각의 벽체는 캔틸레버 거동을 하면서 외부 모멘트에 저항하게 된다. 그러므로 벽체의 응력은 개별 벽체마다 선형으로 분포하고, 휨응력의 중심축은 개별 벽체의 중심선에 위치한다.

이와 대조적으로 Fig. 2(b)와 같이 벽 A와 벽 B의 단부가 강접합으로 연결되어 있다면, 좌우 벽체전체가 하나의 캔틸레버구조로 거동하면서 외부 모멘트에 저항하게 된다. 이러한 경우에 응력은 전체 병렬전단벽 시스템에서 선형으로 분포하고, 각 벽체는 “인장벽(tension wall)”과 “압축벽(compression wall)”으로 거동하며 우력을 형성한다. 실제 병렬 전단벽 시스템의 거동은 Fig. 3(c)와 같이 전술한 두 가지 경우 사이에서 거동할 것이다.[10]

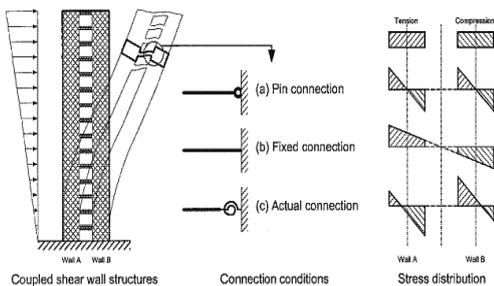


Fig. 2. Coupling effect

커플링보는 전단벽보다 큰 연성도를 요구한다. 즉, 병렬 전단벽 시스템이 최적성능을 나타내기 위해서는 커플

링보는 충분한 강성 및 강도 확보와 함께, 에너지 소산 메커니즘이 커플링보와 각 전단벽의 기초부에서 소성힌지가 발생하여 소산되는 형태로 나타나도록 충분한 연성도를 가져야 한다. 이러한 메커니즘은 연성 모멘트 저항 골조에 대한 강 기둥 - 약 보(strong column-weak girder) 설계개념과 비슷하다[9]. 병렬 전단벽 시스템을 이상화한 응답을 각 전단벽의 휨 응답의 합과 보의 커플링 작용에 의한 프레임 응답으로 나타내면 구조물의 최대강도 이전에 커플링보는 이미 중요한 비탄성 변형을 경험하고, 구조물이 연성적인 거동을 지속함으로써 커플링보의 요구 연성도는 전단벽의 요구 연성도를 초과한다. 이상과 같이 커플링 보는 병렬 전단벽 시스템의 거동에 중요한 역할을 담당한다.

## 3. 해석모델

### 3.1 해석모델 개요[10]

본 연구에서는 국내 고층건물에서 일반적인 철골모멘트골조 + 전단벽(이중골조) 형태의 모델을 대상으로 한다. 본 연구에서 사용한 해석모델은 Fig. 3과 같이 좌측에 코어를 가지는 정방형의 평면을 가지는 40층(166m) 규모의 철골조 구조물이다. Fig. 4는 전체 해석 모델을 나타낸다.

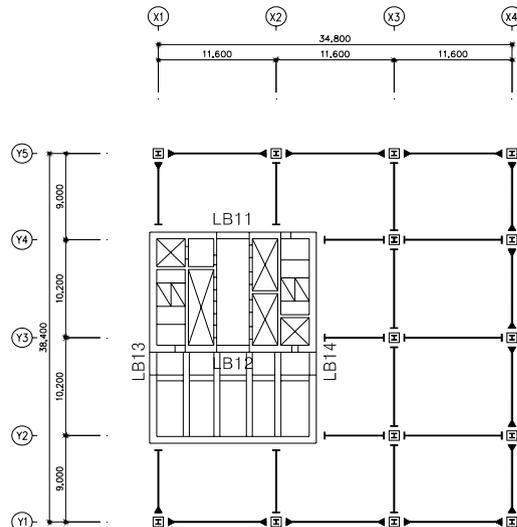


Fig. 3. Structural plan

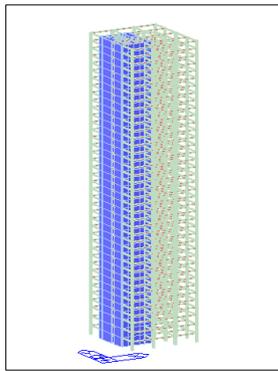


Fig. 4. Model Structure

대상 건물의 횡변위 시스템은 코어 시스템이며, 코어 벽체는 커플링보로 각각 연결되어 있다. 사용된 구조재료는 Table. 2와 같고, 벽체와 기둥의 콘크리트 강도와 벽체두께에 따라 해석모델을 Table. 3과 같이 6가지로 분류하였다.

해석프로그램으로는 MIDAS GEN[11]을 사용하였고, 해석결과로부터 각 해석모델의 최상층 횡변위가 CEN EC 3/1에 규정된 허용 횡변위(H/400 ~H/500)를 만족함을 확인하였다.

Table 2. Material properties

material	specified strength		floor
concrete	Slab, Beam	fck=30N/mm <sup>2</sup>	2F-ROOF
steel	Fy=325N/mm <sup>2</sup> (SM490)		column, beam
rebar	fy=500N/mm <sup>2</sup> (HD25 or more) fy=400N/mm <sup>2</sup> (HD22 or less)		
column section	1,000 × 1,000		1F-40F

Table 3. Structural models

model name	specified strength(wall, column) fck(N/mm <sup>2</sup> )	wall thickness(mm)
M1	30	600
M2	40	600
M3	30	700
M4	40	700
M5	30	800
M6	40	800

### 3.2 설계하중 산정

모델에 적용되는 하중은 실의용도와 마감의 종류에 따라 상세히 구분되어야 하지만 본 연구에서는 해석의 편의를 위해 Table. 4와 같이 대표적인 하중만 적용하였다[12].

Table 4. Design loads (unit : kN/m<sup>2</sup>)

usage	sale	office	roof
floor	2F - 4F	5F - 40F	Roof
dead load	4.8	4.8	6.0
live load	4.0	2.5	2.0

설계기본풍속은 서울기준으로 30.0m/s, 노풍도 A, 중요도 계수 1.1, 가스트영향계수는 2.2로 하였고, 지형에 의한 풍속할증은 없는 것으로 가정하였다.

건물에 작용하는 지진하중은 지역계수 0.22, 지반등급 Sc, 내진 1등급, 중요도계수 1.1, 내진설계범주 D로 하였으며, 반응수정계수는 5.0으로 가정하였다.

### 3.3 수평변위 제한

건물의 구조는 바람이나 지진 등 수평하중에 의한 수평변위로 인하여 생기는 불쾌감, 마감재의 손상, 그리고 구조물의 피해 및 인접건물과 충돌 등을 일으키지 않도록 수평강성을 충분히 확보하여야 한다. 이에 따라 CEN EC 3/1에서는 횡변위 제한 범위를 건물높이의 1/500로 제한하고 있고, 캐나다 기준에서도 상세해석을 하지 않는 한 1/500 이하로 할 것을 규정하고 있다. 층간변위의 제한 값에 대해 국내에서는 지진하중에 의한 층간변위의 제한 값을 층고의 0.015배 이내로 할 것을 규정하고 있으며, CEN EC 3/1에서는 다층골조의 경우, 층고의 1/300으로 제한하고 있다.[10]

본 연구에서는 수평변위의 제한 값을 CEN EC 3/1에 따라 H/400 ~ H/500을 기준으로 검토하였으며, 최상층 횡변위 허용범위는 H/400(407.5mm) ~ H/500(326.0mm)이다.

## 4. 해석결과 및 분석

해석 모델 6가지 안에 대한 구조물의 해석결과 중 커플링보의 층별 부재발생 결과는 Fig. 5~10 과 같다.

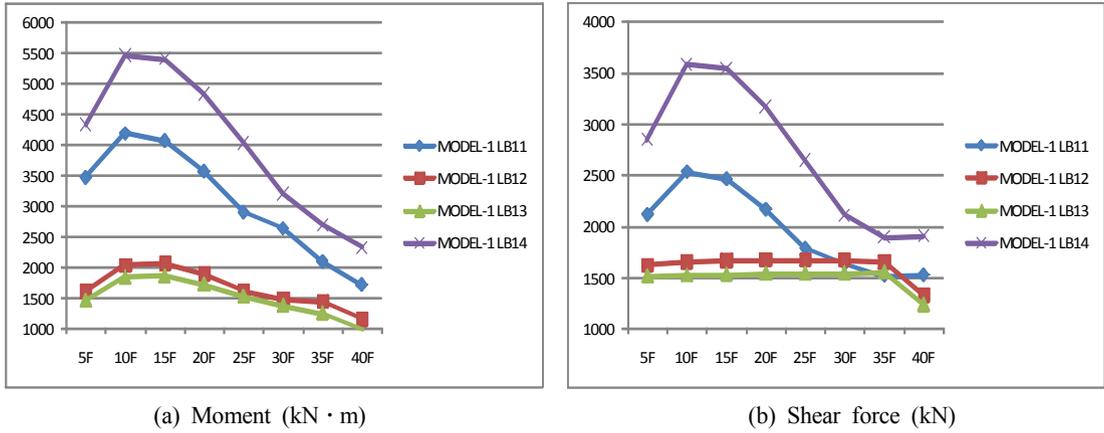


Fig. 5. Design strength of coupling beams-Model 1

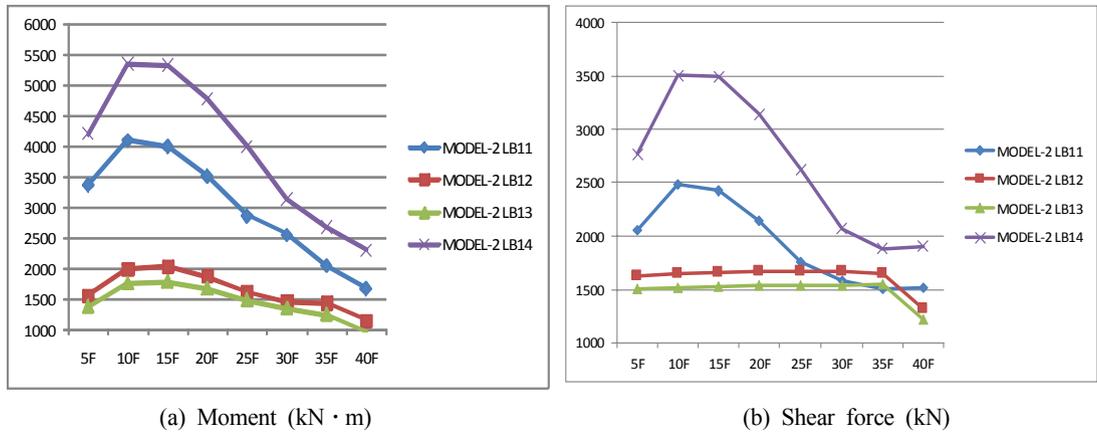


Fig. 6. Design strength of coupling beams-Model 2

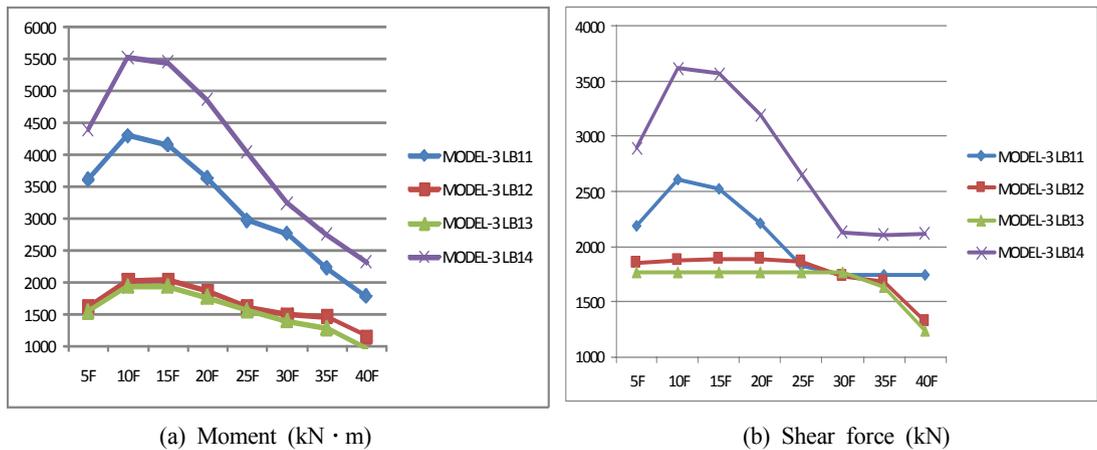


Fig. 7. Design strength of coupling beams-Model 3

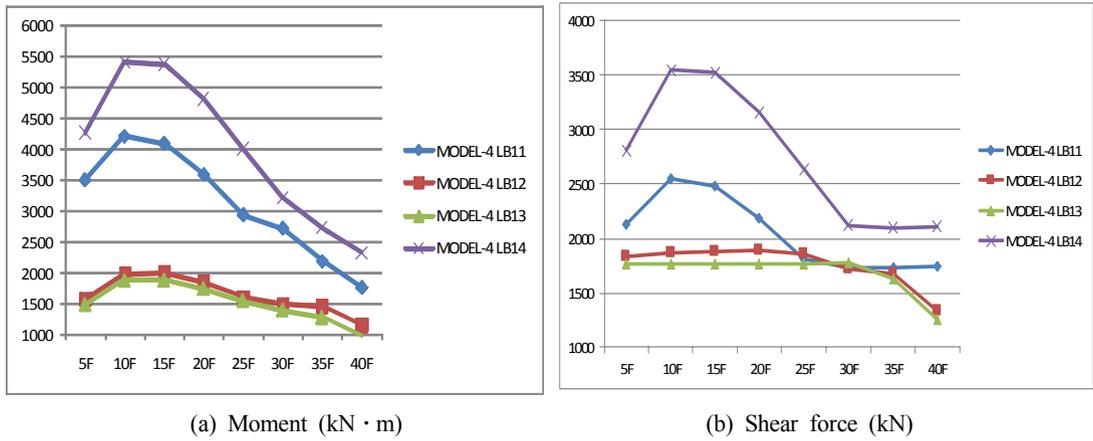


Fig. 8. Design strength of coupling beams-Model 4

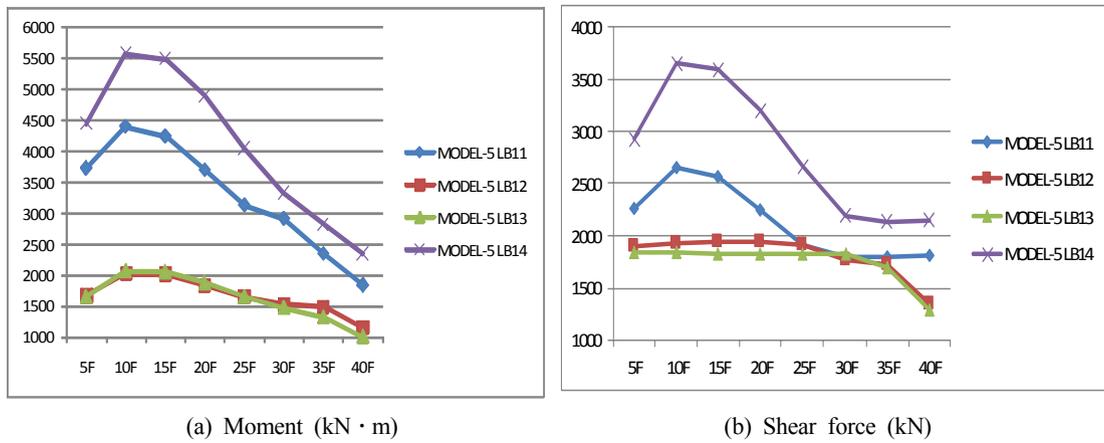


Fig. 9. Design strength of coupling beams-Model 5

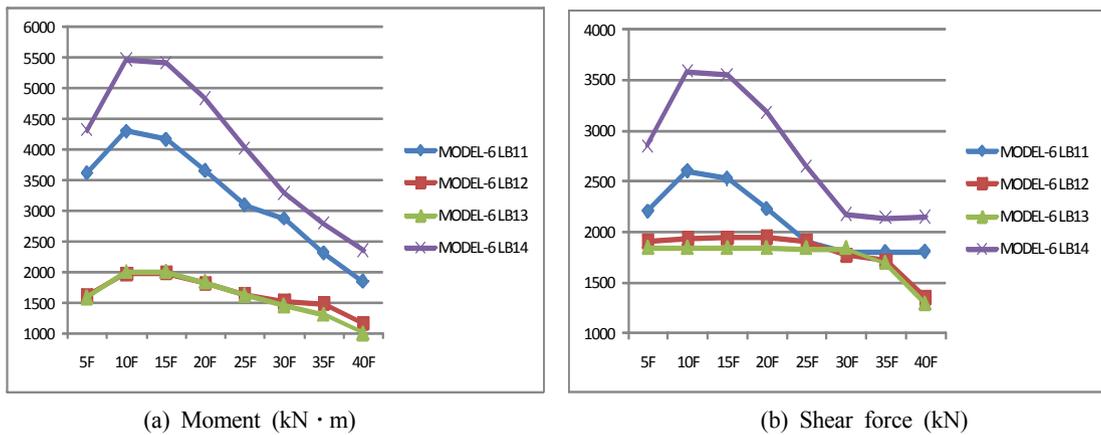


Fig. 10. Design strength of coupling beams-Model 6

부재별(LB11~LB14)로 발생하는 휨모멘트와 전단력의 크기는 코어벽체의 두께, 콘크리트 강도가 다르다 하더라도 해석상에 나타나는 층별 부재력곡선은 형태 및 변화유형이 유사한 것으로 나타났다.

커플링보 LB11, LB14부재에는 LB12, LB13부재와 비교할 때, 2배를 넘는 모멘트와 전단력이 발생하고 있는 것으로 분석되었다. 이는 발생 부재력이 구조물의 강성중심과 연관되어 있음을 의미한다. 즉, 병렬전단벽구조에 횡력 작용시 벽체의 휨거동이 발생하고, 강성중심에 가까운 LB12, LB13은 변형이 작은 중심부에 있어 부재력이 작게 나타난다. 이와는 반대로 LB11, LB14는 변형이 크게 생기는 외곽부에 위치하므로 부재력이 크게 발생한다.

커플링보의 부재력은 10층~15층사이에서 최대로 나타나는데, 이는 Fig. 2에서 보이는 병렬전단벽구조의 횡력에 대한 변형형상과 연관된다. 즉, 병렬전단벽의 휨변형 변곡점이 형성되는 건물높이의 0.25H-0.375H 위치에서 최대 부재력이 발생한다.

모델1과 2(Fig. 5와 Fig. 6 참조)를 비교하여 보면, 벽체의 콘크리트 강도가 33.4% 증가하면 커플링보의 발생 부재력은 1.97~4.25%정도 저하되는 것으로 나타났다. 이러한 콘크리트 강도 증가의 영향은 벽체 두께가 두꺼워지는 모델 3, 4(두께 700mm)와 모델 5, 6(두께 800mm)에서는 작아져 최대 3.2%로 나타난다.

모델5와 6(Fig. 9 와 Fig. 10 참조)을 비교하여 보면 벽체의 콘크리트 강도 증가에 따른 커플링보의 부재력 변화는 적게 나타나는데, 이는 벽체 두께가 두꺼우므로 콘크리트 강도변화의 영향이 적게 미치는 것으로 분석된다.

모델 1, 3, 5의 해석결과를 비교하면, 벽체두께가 증가 할수록 코어내부의 커플링보의 발생외력은 점차 증가하는 것으로 나타난다. 벽체두께가 600mm에서 700mm로 17% 증가하면 커플링보의 부재력증가는 최대 5.3%, 800mm로 33.3% 증가하면 최대 12.3% 증가하는 것으로 분석되었다.

따라서 병렬전단벽의 두께증가는 콘크리트의 강도증가보다 강성변화에 큰 영향을 미치고, 이에 따라 커플링보의 부재력 변화에도 더 큰 영향을 미치는 것으로 분석된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 고층건물의 횡변위 구조형식으로 널리 사용되는 전단벽-커플링보 구조시스템에서 전단벽의 강도, 강성이 커플링보의 설계강도에 미치는 영향을 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 부재별(LB11~LB14)로 발생하는 층별 부재력곡선은 형태 및 변화유형이 유사한 것으로 나타났다.
- 2) 커플링보 중 강성중심에서 먼 위치의 LB11, LB14 부재에서 중심에 가까운 LB12, LB13부재보다 2 배 이상의 휨모멘트 및 전단력이 발생하는 것으로 분석되었다.
- 3) 병렬전단벽의 휨변형 변곡점이 형성되는 건물높이의 0.25H-0.375H 위치에서 최대 부재력이 발생한다.
- 4) 벽체 두께가 두꺼워질수록 벽체의 콘크리트 강도 증가에 따른 커플링보의 부재력 변화는 적게 나타나는데, 이는 벽체 두께가 두꺼우므로 콘크리트 강도변화의 영향이 적게 미치는 것으로 분석된다.
- 5) 병렬전단벽의 두께증가는 콘크리트의 강도증가보다 강성변화에 큰 영향을 미치고, 이에 따라 커플링보의 부재력 변화에도 더 큰 영향을 미치는 것으로 분석된다.

## References

- [1] Waon-Ho Yi, Hyun-Do Yun, Waon-Ho Jeon, Han-Beom Song., "Hysteretic Behavior of Steel Coupling Beam and RC Coupled Shear Wall Joining", Proceedings of Architectural Institute of Korea, vol. 20 no. 1, pp. 201-204, 2000.
- [2] Hyun-Do Yun, Waon-Shin Park, Joo-Hwa Yi, Sun-Kyung Hwang, Beyong-Chan Han, Il-Seung Yang, "Behavior characteristics of Coupled Shear Wall on Effects of coupling Beam Details", Architectural Institute of Korea, vol. 20, no. 6, pp. 19-26, 2004.
- [3] Han-Beom Song, Waon-Ho Yi, "Behavior, Reinforcing Details and Design of Steel Coupling Beams Joint in Coupled Shear Wall Systems", Architectural Institute of Korea, vol. 21 no. 12, pp. 109-118, 2005.
- [4] Jae-Hyung Joo, Applicability of SRC Coupling Beam in Tall Buildings, Yeonse University, 2006.
- [5] Ji-Yeon Yang, Behavior and Design of Steel-Concrete Composite Coupling Beam, Seoul National University, 2002.
- [6] Woan-Ho Yi, Han-Beom Song, "Inelastic Behavior of RC Shear wall and Steel Girder Shear Connection", Architectural Institute of Korea, vol. 21, no. 10, pp.

63-70, 2005.

- [7] Yu-Mi Yi, Cheol-Gyu Jeong, Seong-Hyung Yoo, Seong-Woo Shin., "The Lateral Displacement Control Evaluation by Structural Elements of Shear Wall Structures", Architectural Institute of Korea, vol. 23, no. 10, pp. 10-17, 2007.
- [8] Kent A. Harries, Bahram M. Shahrooz, "Hybrid Coupled Wall System", ACI, 2005.
- [9] Paulay, T. Binney, "Diagonally Reinforced Coupling Beams of Shear Wall", Publication no. 42, ACI, Detroit, Michigan, pp. 579-58, 1974.
- [10] Tae-Ho Yoon, Jin-Sang Kim, "Practical Design Method for Coupling Beams of Tall Buildings with Dual Frame System", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 15, no. 1, pp. 525-532, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.1.525>
- [11] MIDAS Information Technology Co., LTD, MIDAS/Gen V7.4.1 Users Manual, MIDAS Information Technology Co., LTD, 2011.
- [12] Architectural Institute of Korea, Korean Building Code-Structural, pp. 57-62, Architectural Institute of Korea, 2009.

---

**윤 태 호(Tae-Ho Yoon)**

[정회원]



- 1989년 2월 : 서울대학교 건축학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 서울대학교 건축학과 (공학석사)
- 1996년 2월 : 서울대학교 건축학과 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 창원대학교 건축학부 교수

<관심분야>  
내진설계

---

**김 진 상(Jin-Sang Kim)**

[정회원]



- 1987년 2월 : 서울대학교 건축학과 (공학사)
- 1989년 8월 : 서울대학교 건축학과 (공학석사)
- 1997년 8월 : 서울대학교 건축학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 인제대학교 건축학과 교수

<관심분야>  
건축구조 시스템, 내진설계