

이중골조형식 고층건물 커플링보의 실용설계

윤태호¹, 김진상^{2*}

¹창원대학교 건축학부, ²인제대학교 건축학과

Practical Design Method for Coupling Beams of Tall Buildings with Dual Frame System

Tae-Ho Yoon¹ and Jin-Sang Kim^{2*}

¹School of Architecture, Changwon National University

²Department of Architecture, Inje University

요약 본 연구는 고층건물의 횡변위 구조형식으로 널리 사용되는 전단벽-커플링보 구조시스템에서 커플링보의 실용적인 구조설계법에 관한 것이다. 커플링보의 부재력은 부재의 위치에 따라 매우 큰 차이를 보이며, 건물높이의 25%~40% 구간에서 가장 높게 발생하였다. 벽체두께 100mm 변화에 따른 커플링보의 부재력증가는 약 3~4% 정도로 분석되었으며, 벽체의 콘크리트 강도가 기존 300MPa에서 400MPa로 변경되었을 경우 커플링보의 부재력은 약 3%정도 저하되는 것으로 나타났다. 커플링보의 초기 부재력은 요구되는 부재력의 2배 이상 초과하는 것으로 검토되어, 약 80%정도 강성저감되었을 때 요구 설계 값에 도달하였다. 강성감소에 따른 부재력 감소비는 저층에서 더 큰 것으로 나타나 강성 감소를 전층에 일괄 적용할 필요성은 없는 것으로 분석되었다. 또한 강성감소에 따른 부재력 감소비를 적용한다면 해석 전 요구 설계조건을 반영하여 강성저하 범위를 수치적으로 예측 할 수 있을 것으로 예상된다.

Abstract In this study, practical design method of coupling beams is proposed. The member forces varies according to the location of the members and the members at 25%~40% of building height shows large member forces. The 100mm increase of wall thickness causes 3~4% variation of member forces and the 100MPa increase of concrete strength decrease approximately 3% of member forces. The required strength of coupling beams is twice the resistant strength and 80% reduction of coupling beam stiffness is necessary to fulfill the design criteria. The stiffness reduction of coupling beams is not necessary over the entire stories and the strength reduction range can be estimated considering design requirements.

Key Words : Coupling beam, lateral drift, shear wall, stiffness reduction, practical design

1. 서론

고층 건물의 구조계획에서 풍하중과 지진하중에 대한 횡변위의 합리적인 제어는 가장 중요한 설계요소 중의 하나이다. 다양한 구조시스템이 고층 건물의 횡변위를 제어하기 위해 제안되어 사용되고 있는데 이 중 철근 콘크리트 전단벽 시스템은 고층건물 횡력저항 구조시스템으로 매우 효율적인 대안으로 사용되어지고 있다[1].

이러한 철근 콘크리트 전단벽시스템에서 횡하중을 지지하는 전단벽들은 길이가 짧고 춤이 큰 커플링보(coupling beam)에 의하여 연결되어 병렬전단벽구조(couple shear wall)를 이루게 되며, 커플링보는 건축물에 작용하는 횡하중에 대하여 양측의 전단벽을 연결하여 벽체간 하중의 전달과 더불어 두 개의 벽체가 일체로 거동하도록 하여 강성을 증대시키며, 커플링보 내에는 힘모멘트와 전단내력으로 하중을 지지하게 된다[2].

본 논문은 2012학년도 인제대학교 학술연구구성비 보조에 의한 것임.

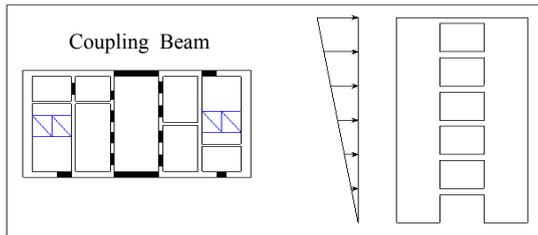
*Corresponding Author : Jin-Sang Kim(Inje Univ.)

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

Received December 2, 2013 Revised December 18, 2013 Accepted January 9, 2014

병렬전단벽구조에서 커플링보는 주로 구조물의 코어 내·외부를 관통하는 출입구 위에 각 층 바닥슬래브와 연결되어 설치된다. 즉 커플링보는 벽식구조 또는 코어구조에서 벽체간 연결을 위한 부재로서, 개구부로 단속된 양측 벽체간의 Coupled Action을 보장하는 구조요소이다 (Fig. 1참조). 커플링보는 RC System, SRC/Steel System 등 다양한 구성재료와 형식이 사용되고 있다[3].

고층건물에서의 커플링보는 부재의 길이와 폭이 건축 계획적 요인에 의하여 제한된다[4]. 즉 커플링보의 길이는 벽체사이의 간격에 의해 결정되며, 폭은 벽체의 두께와 연장선상에 있도록 제한되고, 층높이 또한 층고와 개구부의 높이에 의하여 한정되므로 대개 단면크기가 작은 보가 된다. 하지만 커플링보는 횡력을 지지하는 전단벽체를 연결하여 하중의 전달과 횡변위 저항에 중요한 부재로서 탄성해석에 의해 설계하기에는 매우 큰 내력이 요구되어, 현실적으로 불가능하게 되는 경우가 종종 발생한다[5].



[Fig. 1] Coupled shear wall system

본 연구에서는 전단벽-커플링보 구조시스템 건물의 커플링보의 설계 시 시공성과 소성변형을 고려한 실용적인 커플링보의 설계방법을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 커플링보의 거동 및 설계기준

커플링보는 횡력의 작용 시 큰 전단변형을 요구하게 된다. 그러므로 RC 커플링 보는 횡력 작용시 갑작스런 취성파괴가 일어나지 않고, 충분한 연성능력을 확보하는 디테일에 대한 연구가 주로 이루어 졌다. Table 1은 RC 커플링보의 ACI 기준을 나타낸다. 스패-보춤비(L/d)가 2보다 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[6-8].

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<3.0이면 특별한 상세가 요구되고 있다[6]. 일반적인 보 배근의 커플링보가 휨파괴에 의한 거동을 하려면 전단응력이 $0.25 \sqrt{f'_c}$ 이하 이어야 한다. 보의 전단응력이 $0.3 \sqrt{f'_c} \sim 0.5 \sqrt{f'_c}$ 의 범위에서 벽체면과의 미끄럼 전단이 발생한다.

[Table 1] ACI Code of RC coupling beam

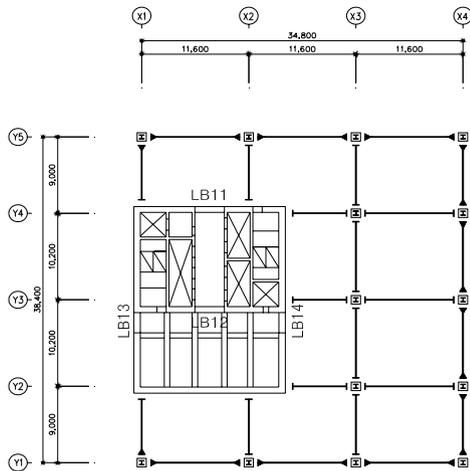
criteria		detail	design criteria
L/d	shear stress		
$L/d \geq 4$	$v \leq (a_c \sqrt{f'_c} + \rho_n f_y)$ $0.067 \leq a_c \leq 0.25$ $\rho_n \geq 0.0025$	normal detail	same as beam design
$L/d \leq 4$	$v \leq 0.83 \sqrt{f'_c}$	diagonal or normal detail	
$L/d \leq 2$	$v \geq 0.33 \sqrt{f'_c}$ $v \leq 0.83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

3. 해석모델

3.1 해석모델 개요

본 연구에서 사용한 해석모델은 철골모멘트골조와 철근콘크리트 전단벽으로 구성된 이중골조시스템으로서 Fig. 2와 같이 좌측에 계단실과 엘리베이터 코어를 배치한 40층(166m) 규모의 건물이다. 평면의 형태는 X축 방향으로 3개의 베이를 가지고, Y 축방향으로 4개의 베이를 가지며, 철근콘크리트 코어는 편심코어이다[4].

기둥의 간격은 X방향이 11,600mm이고, Y방향이 9,000mm와 10,200mm로 이루어져 있다. 건물의 외주부에서 외부기둥과 거더는 모멘트접합으로 이루어져 있으며, 건물의 내부의 기둥과 거더는 전단접합으로 설계되었다. 콘크리트 코어와 철골 거더의 접합은 전단접합이다.



[Fig. 2] Structural plan

건물의 주요 구조체를 이루는 강재는 SM490을 사용하였으며, 슬래브와 보에 사용된 콘크리트 강도는 30MPa 이고, 철근은 HD25이상은 500MPa, HD22이하는 400MPa의 항복강도를 가지는 철근을 사용하였다(Table 2 참조).

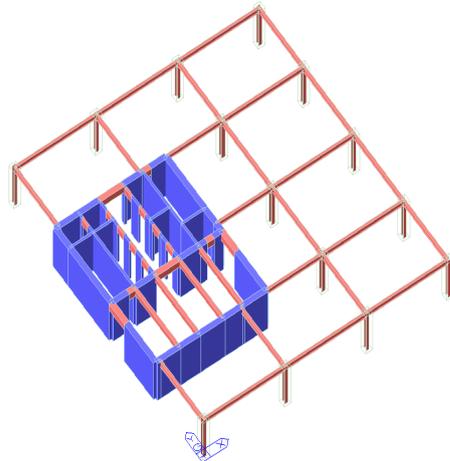
[Table 2] Material properties

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

해석모델은 벽체와 기둥의 콘크리트 강도와 벽체두께의 영향을 분석하기 위하여 다양화하여 Table 3과 같이 6가지로 분류하였다. 해석프로그램으로는 MIDAS GEN[9]을 이용하였고, 이를 통한 해석결과로부터 각각의 해석모델들의 최상층 횡변위를 허용기준과 비교하여 검토하였다. 최상층 횡변위의 허용범위로는 CEN EC 3/1에서 규정하고 있는 횡변위 허용 범위(H/400 ~ H/500)를 기준으로 비교하고 분석하였으며, 이를 통하여 대상 건물의 설계에 적합한 커플링보의 강성감소 및 실용적인 설계법을 연구하였다.

[Table 3] Structural models

name	specified strength(wall, olumn) fck(N/mm ²)	wall thickness(mm)
Model 1	30	600
Model 2	35	600
Model 3	30	700
Model 4	35	700
Model 5	30	800
Model 6	35	800



[Fig. 3] Structural plan modelling

3.2 설계하중

해석에 적용되는 하중은 건물바다 구조, 마감재, 각종 설비, 용도, 지역 등에 따라 달라지므로 다양한 요소를 고려하여야 하지만, 본 연구에서는 해석의 단순화 및 연구의 목적에 부합하는 결과를 얻기 위하여 Table 4와 같이 대표적인 하중만 적용하였다[10].

[Table 4] Design loads (unit : kN/m²)

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
wind load	Vo = 30.0m/s Iw = 1.1, Gr = 2.2		
earthquake load	S=0.11, site coefficient = Sc, IE = 1.1 design category = D, R = 5.0		

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. 본 연

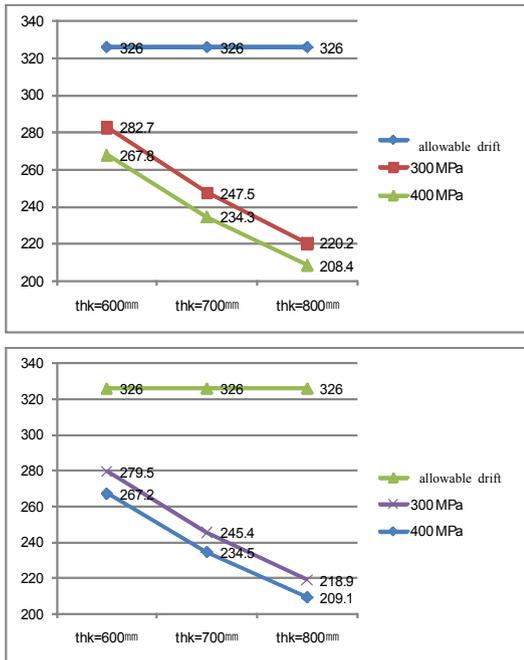
구에서는 수평변위의 제한 값을 CEN EC 3/1에서 규정하고 있는 H/500 기준으로 검토하였다. 본 논문에 적용되는 최상층 횡변위 허용값은 326.0mm(H/500)이다.

4. 해석결과 및 실용설계

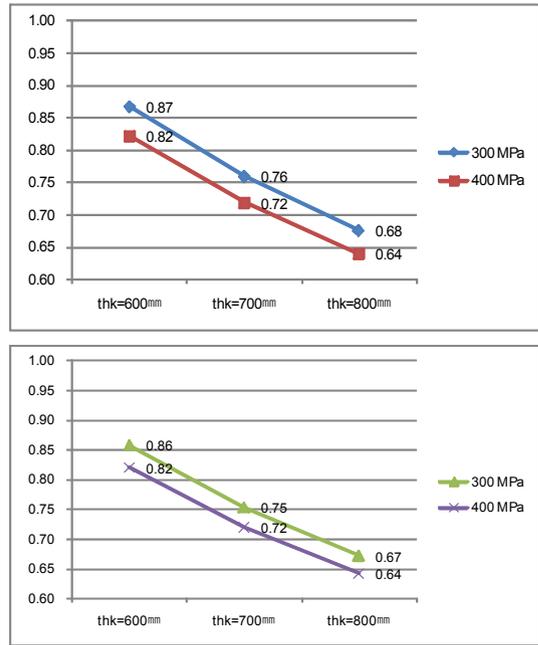
이중골조시스템에서 코어벽체의 콘크리트 강도와 벽체 두께의 변화에 따른 최상층의 횡변위 변동을 분석하고, 각 경우에 대하여 커플링보의 휨모멘트와 전단력의 변화를 분석하였다.

4.1 코어벽체의 콘크리트강도 및 두께 변화에 따른 거동 분석

Fig. 4에 나타난 바와 같이 횡변위는 벽체두께가100mm 두꺼워질 때 발생변위 대비 약 8%~10%의 변화가 발생하였으며, 횡변위발생량은 허용 횡변위의 68%~87%정도로서 설계기준에 적합함을 확인하였다. 콘크리트 강도 변화에 따른 횡변위는 변화정도는 변위발생 값의 약 4%(12mm)의 강성감소 효과가 있는 것으로 분석되었다. Fig. 5는 횡변위비를 나타낸다.



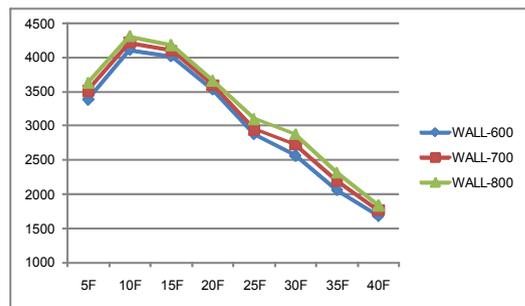
[Fig. 4] Drift of X, Y-direction (unit : mm)



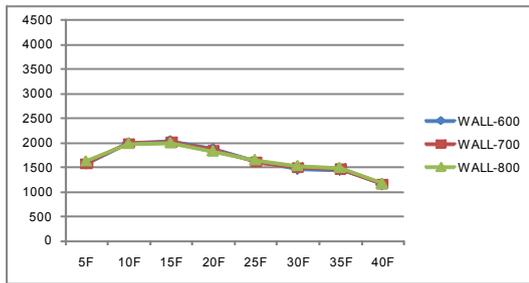
[Fig. 5] Drift ratios of X, Y-direction

Fig. 6에 나타난 바와 같이 커플링보의 부재력은 LB11, LB14부재에서 다른 LB12, LB13부재보다 2배 이상의 모멘트 및 전단력이 작용하는 것으로 분석되었으며, 커플링보의 부재력(μ , ν)은 6개 모델 모두 40층 건물에서 10층~15층을 전후한 구간 즉 높이로는 163m 중 35m~59m 구간에서 가장 높게 발생하고 있음을 확인 할 수 있었다.

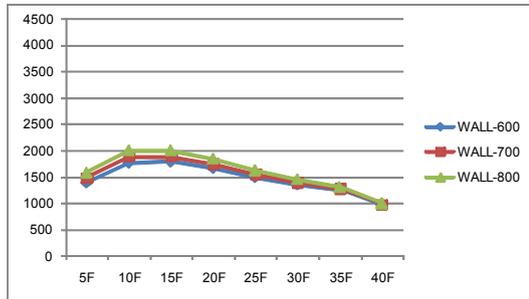
벽체두께가 증가 할수록 코어내부의 커플링보의 부재력은 점차 증가하는 것으로 확인되었다. 벽체두께 100mm 변화에 따라 커플링보의 부재력증가는 약 3~4% 정도 인 것으로 분석되었으며, 벽체의 콘크리트 강도가 기존 300MPa에서 400MPa로 변경되었을 경우 커플링보의 부재력은 약 3%정도 저하되는 것으로 나타났다.



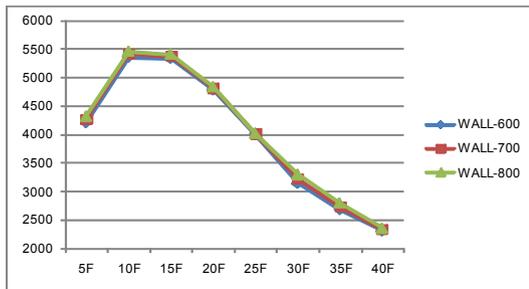
(a) LB11



(b) LB12



(c) LB13



(d) LB14

[Fig. 6] Moments of coupling beams

4.2 커플링보의 실용설계

해석 Model 6개안 모두 LB11, LB14 커플링보에 발생하는 작용외력이(4,500kN / 5,500kN) 요구내력(2,800kN)을 초과함으로 인해 설계 및 해석이 가능하도록 인위적인 강성저하가 요구된다. 따라서 건물전체의 안전성이나 사용성 제한 등에 큰 문제가 없다면 커플링 보 부재의 유효강성을 낮추어 커플링보에 작용하는 작용력을 저감시킴으로서 커플링보의 유효강성 저감의 범위 및 부재별 요구 설계조건에 만족할 때까지 Table 5와 같이 반복해석을 실시하였다. 그 결과 MODE5와 같이 LB11과 LB14에서는 강성을 20%, LB12에서는 80%로 감소시켜 설계조건을 만족하였다.

[Table 5] stiffness reduction models

MODE 1	ALL	stiffness 100%
MODE 2	LB11, LB14	stiffness 80%
MODE 3	LB11, LB14	stiffness 60%
MODE 4	LB11, LB14/LB12	stiffness 40%/ 90%
MODE 5	LB11, LB14/LB12	stiffness 20% / 80%

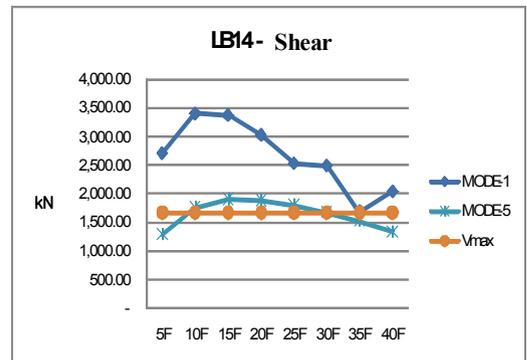
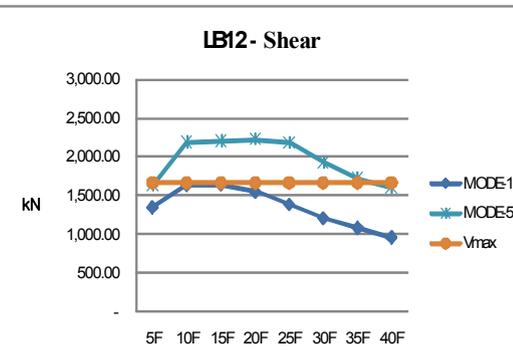
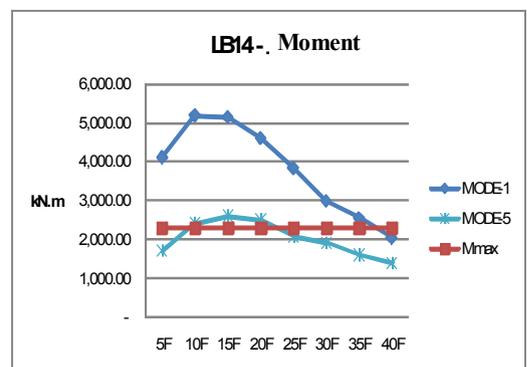
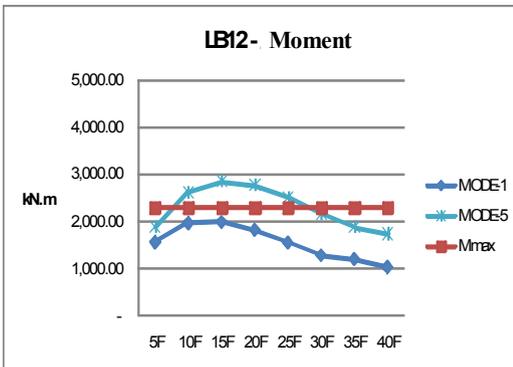
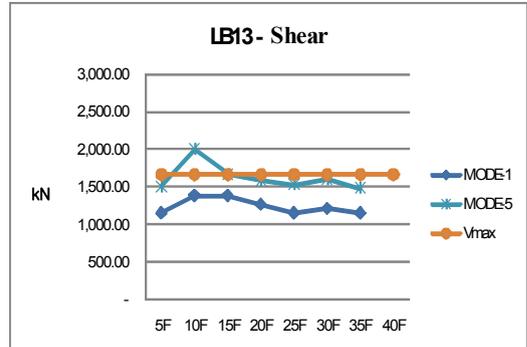
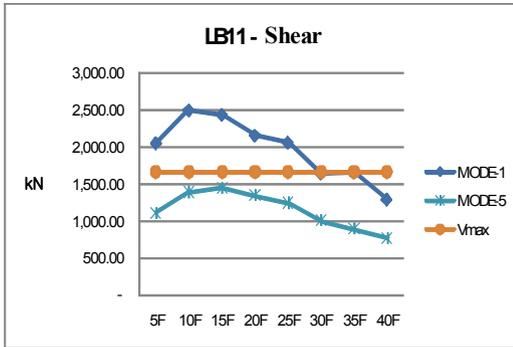
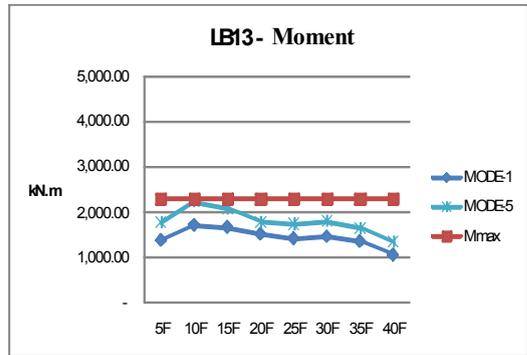
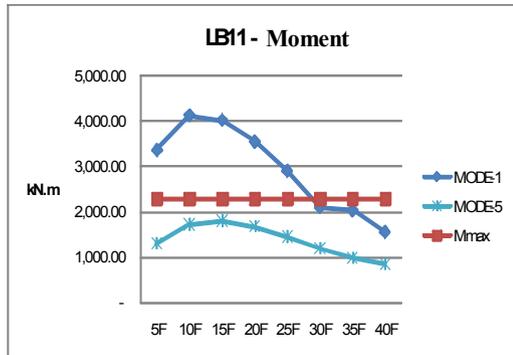
Fig. 7에 나타난 바와 같이 LB11 커플링보의 설계요구 조건에 만족하는 모델은 강성감소비는 80%이며, 모멘트 감소비는 41%~60%로 감소비가 대체로 일치하는 것으로 분석되었다. 즉 커플링보의 강성을 80% 줄였을 때 모멘트는 최초모멘트의 41%~60%로 나타났다. 강성감소에 따른 모멘트 감소비는 저층에서 더 큰 것으로 나타나 강성 감소를 전층에 일괄 적용할 필요성은 없는 것으로 파악되었다. 전단력 감소비는 55%~62%로 분석되었으며, 전단력에 대한 감소비 차이는 건물의 장변비와 관련성이 있을 것으로 예측된다.

LB12 커플링보는 강성감소없이 MODE 1에서 설계요구조건에 만족하는 것으로 검토되었으나, LB11, LB14부재의 강성 감소분의 흡수로 인해 LB12 부재는 부재력이 증가하는 것으로 분석되었다. 모멘트의 증가비율은 23%~63%로 증가비가 대체로 일치하고 있음이 분석되었다. 전단력 증가비는 5%~48%의 범위로 나타났다.

LB13은 코어의 외측 중앙부에 위치한 보 부재로서 최초 해석시 부재력은 설계요구조건에 만족하는 것으로 검토되어 부재의 강성저하가 필요치 않았으나, LB11, LB14 부재의 강성저하 분을 흡수하여 점차 모멘트가 증가하고 있는 것으로 검토되었다.

LB13 커플링보는 강성감소없이 설계요구조건에 만족하는 것으로 검토되었으나, LB11, LB14부재의 강성 감소분의 흡수로 인해 LB13 부재는 부재력이 점차 증가하는 것으로 분석되었다. LB14 커플링보의 설계요구조건에 만족하는 강성감소비는 85%이며, 모멘트 감소비는 43%~69%로 나타났으며, 전단력 감소비는 1%~71%로 변동성이 크게 나타났다. 따라서 모멘트 감소비는 타 모델링에 적용하여 커플링보의 강성감소에 따른 모멘트 값을 예측할 수 있을 것으로 분석되었다.

강성감소에 따른 부재력 감소비는 저층에서 더 큰 것으로 나타나 강성 감소를 전층에 일괄 적용할 필요성은 없는 것으로 파악되었다. 또한 강성감소에 따른 부재력 감소비를 적용한다면 해석 전 요구 설계조건을 반영하여 강성저하 범위를 수치적으로 예상 할 수 있을 것으로 추측된다.



[Fig. 7] Practical design strengths of coupling beam

5. 결론

본 연구에서는 병렬전단벽 시스템에서 커플링보에 대한 최적설계방안을 제안하고, 커플링보가 가진 여러 구조적 영향인자들 중 벽체의 두께변화, 콘크리트의 강도변화, 커플링보의 강성저감 등 각각의 영향요소와 기여정도를 비교 검토하였다.

- 1) 커플링보의 부재력은 LB11, LB14부재에서 다른 LB12, LB13부재보다 2배 이상의 모멘트 및 전단력이 작용하는 것으로 분석되었으며, 커플링보의 부재력은 6개 모델 모두 40층 건물에서 10층~15층을 전후한 구간 즉 건물높이의 25%~40% 구간에서 가장 높게 발생하고 있음을 확인 할 수 있었다.
- 2) 벽체두께가 증가할수록 코어내부의 커플링보의 부재력은 점차 증가하는 것으로 확인되었다. 벽체두께 100mm 변화에 따라 커플링보의 부재력증가는 약 3~4% 정도 인 것으로 분석되었으며, 벽체의 콘크리트 강도가 기존 300MPa에서 400MPa로 변경되었을 경우 커플링보의 부재력은 약 3%정도저하되는 것으로 나타났다.
- 3) 커플링보의 초기 부재력은 요구되는 부재력의 2배 이상 초과하는 것으로 검토되어, 강성을 인위적으로 저감시켜 요구되는 설계 값에 도달하도록 해석을 실시한 결과 초기 발생수준의 약 80%정도 저감되었을 때 요구 설계 값에 도달하였다.
- 4) 강성감소에 따른 부재력 감소비는 저층에서 더 큰 것으로 나타나 강성 감소를 전층에 일괄 적용할 필요성은 없는 것으로 파악되었다. 또한 강성감소에 따른 부재력 감소비를 적용한다면 해석 전 요구 설계조건을 반영하여 강성저하 범위를 수치적으로 예측 할 수 있을 것으로 예상된다.
- 5) 해석결과 설계요구 조건에 만족하는 강성 감소비는 80%이며, 모멘트 감소비는 40%~60%로 분석되었다. LB11, LB14부재의 강성 감소분의 흡수로 인해 LB12, LB13 부재는 부재력이 증가하는 것으로 나타났다으며, 증가비율은 20%~60% 정도로서 설계가능범위에 포함되는 것으로 분석된다.

References

[1] Waon-Ho Yi, Hyun-Do Yun, Jae-Hyun Yi, 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] Jae-Hyung Joo, "Applicability of SRC Coupling Beam in Tall Buildings", Yeonse University, 2006
- [4] Jin-Sang Kim, "The Effects of Coupling Beam on Lateral Drift of High-rise Buildings", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol1.1 No.12, pp.5931-5937, 2011
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.12.5931>
- [5] Ji-Yeon Yang, "Behavior and Design of Steel-Concrete Composite Coupling Beam", Seoul National University, 2002
- [6] Paulay, T. Binney, "Diagonally Reinforced Coupling Beams of Shear Wall", Publication No. 42, ACI, Detroit, Michigan, pp. 579-589, 1974
- [7] 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
- [8] 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
- [9] MIDAS/Gen V7.4.1 Users Manual. MIDAS Information Technology Co., LTD, 2011
- [10] Architectural Institute of Korea, Korean Building Code, 2009

윤 태 호(Tae-Ho Yoon)

[정회원]



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

<관심분야>
내진설계

김진상(Jin-Sang Kim)

[정회원]



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

<관심분야>

건축구조 시스템, 내진설계