

고층건물의 횡변위에 대한 커플링보의 효과

김진상^{1*}

¹인제대학교 건축학과

The Effects of Coupling Beam on Lateral Drift of High-rise Buildings

Jin-Sang Kim^{1*}

¹Department of Architecture, Inje University

요약 본 연구에서는 고층건물의 횡변위 구조형식으로 널리 사용되는 전단벽-커플링보 구조시스템에서 커플링보가 건물의 횡변위에 미치는 영향을 분석하였다. 기본해석모델로는 벽체와 기둥의 콘크리트 강도와 벽체두께에 따라 6가지 모델을 선택하였다. 이 모델을 기본으로 하여 커플링보의 강성을 변화시켜 해석을 수행하였다. 해석프로그램으로는 MIDAS GEN을 이용하였다. 해석결과로부터 각각의 해석모델들의 최상층 횡변위와 CEN EC 3/1에서 규정하고 있는 횡변위 허용 범위(H/400~H/500)를 비교하고 분석함으로써 커플링보의 횡변위 제어능력을 평가 하였다. x방향 횡변위는 허용 횡변위(H/500)의 68%~87%정도로서 벽체두께 100mm 증가에 따라 약 8%~10%의 횡변위 감소가 있음을 확인하였고, 콘크리트 강도가 5MPa 증가함에 따라 횡변위는 약 4%의 감소 효과가 있는 것으로 분석되었으며, 두 경우 모두 x, y방향에 대하여 유사한 결과가 나타난 것으로 확인되었다. 커플링보 강성저하에 따른 횡변위 비율은 허용변위 기준인 H/500를 기준하여 분석결과 최초 강성 20% 저하 시 횡변위는 3%정도의 변위 증가가 나타났으며, 추가 20% 저하 시 5%~8%의 변위가 발생되었다.

Abstract The effects of coupling beam, which is generally used in high-rise building structure system as shear wall-coupling beam, on the lateral drift of high-rise buildings are studied in this paper. Six different analytical models, which are combination of two inputs, such as concrete strength and wall thickness, are selected and analyzed on lateral drifts with different stiffness of coupling beams. MIDAS GEN was used for analysis. Calculated lateral drifts were compared with allowable limits(H/400~H/500) proposed by standard CEN EC 3/1, in order to analyze the control evaluation of coupling beams. Calculated x-direction displacements were 68~87 percent of allowable limit(H/500). With increase of wall thickness(100mm) and concrete strength(5Mpa), eight to ten percent and four percent of x and y-direction displacement were decreased individually. About three percent of lateral displacement was increased with 20 percent decrease of coupling beam stiffness and additional 20 percent decrease resulted in additional five to eight percent increase.

Key Words : Shear Wall, Coupling Beam, Lateral Drift, Concrete Strength, Wall Thickness, Stiffness Reduction

1. 서론

고층 건물의 구조설계에서 횡변위의 적절한 제어는 매우 중요한 설계목표이다. 횡변위 제어를 위한 구조계획에서 철근 콘크리트 전단벽 시스템은 매우 효과적인 대안으로 사용되어지고 있다[1].

이러한 전단벽 시스템에서 전단벽의 연결부는 길이가 짧고 춤이 큰 커플링보에 의하여 연결되어지며, 커플링보는 건축물에 작용하는 횡하중에 대하여 휨모멘트와 전단내력으로 하중을 지지하게 된다[2].

건축적 측면에서 인방보라고도 하며, 주로 구조물의 코어 내·외부를 관통하는 출입구 위에 각 층 바닥과 연결

본 논문은 2010학년도 인제대학교 학술연구조성비 보조에 의한 것임.

*교신저자 : 김진상(archkjs@inje.ac.kr)

접수일 11년 09월 29일

수정일 11년 12월 05일

게재확정일 11년 12월 13일

되어 설치된다. 즉 커플링보는 벽식구조 또는 코어구조에서 벽체간 연결을 위한 부재로서, 개구부로 단속된 양측 벽체간의 Coupled Action을 보장하는 구조이다[3].

커플링보로는 일반적으로 RC System, SRC/Steel System 등이 사용되고 있다[4]. 고층건물에서의 커플링보에 주어진 단면은 벽두께와 층고의 제한 등으로 작용력에 비해 RC로 설계하기에는 턱없이 모자라게 되는 경우가 많이 발생한다. 이에 대해 전체 안전성이나 사용성 제한 등에 큰 문제가 없다면 부재의 유효강성을 낮추어 커플링보에 작용하는 작용력을 저감시키기도 하지만, 일반적으로 60층 이상 초고층 구조물에서는 커플링보의 유효강성을 일정수준 이상 낮추면 구조물 전체의 안전성이나 사용성 제한을 벗어나기 때문에 전단벽의 물량을 증가시키거나, 별도의 아웃리거가 추가되어야 하는 문제가 발생하게 된다[5].

실제로 구조해석 시 커플링 보에는 과다한 응력이 집중되어 설계 자체가 불가능한 경우까지도 발생하는데, 일반적으로 콘크리트의 균열 등을 고려하여 부재의 강성을 인위적으로 저감시켜 집중되는 응력을 완화, 시공성을 고려한 설계가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 전단벽-커플링보 구조시스템 건물의 커플링보 강성과 횡변위의 상관관계를 분석하여 횡변위 제어설계를 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

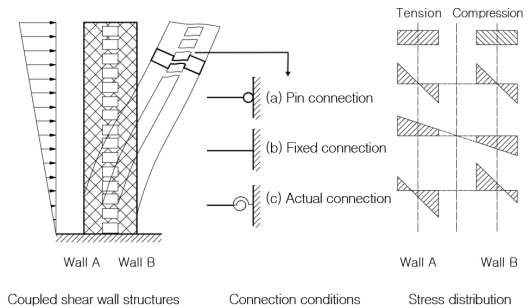
2. 커플링보의 해석이론

2.1 커플링 효과

병렬 전단벽 시스템의 거동은 커플링보의 역할에 따라 시스템 전체의 거동에 큰 영향을 받는다. 그림 1은 기초를 고정단으로 가정한 병렬전단벽 시스템의 거동을 나타낸다. 그림 1(a)와 같이 벽(Wall A)과 벽(Wall B)이 핀(Pin Connection)으로 연결되어 있다면, 각각의 벽체는 캔틸레버 거동을 하면서 외부 모멘트에 저항할 것이다. 따라서 벽체의 응력은 각각의 벽체에서 선형으로 분포하고, 응력의 중립축은 각 벽체의 중심에 위치한다.

이와 대조적으로 그림 1(b)와 같이 벽(Wall A)과 벽(Wall B)의 단부가 강접(fixed Connection)으로 연결되어 있다면, 시스템 전체가 하나의 캔틸레버로 거동하면서 외부 모멘트에 저항할 것이다. 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 그림 1(c)와 같이 전술한 두 가지 경우 사이에서

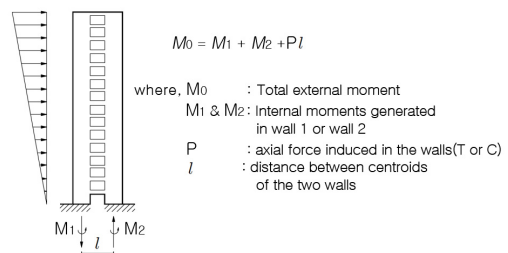
거동할 것이다[6].



[그림 1] 접합부에 따른 병렬전단벽 시스템의 거동
[Fig. 1] Behavior of coupled beam system

2.2 병렬 전단벽의 횡력 저항

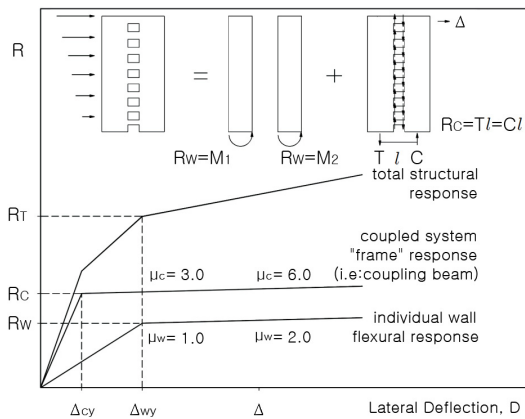
전단벽 구조물에서 수평 단면의 가장 큰 목적은 휨이나 전도모멘트와 같은 외부 횡하중에 저항하는 것이다. 전단벽과 비교하여 커플링 시스템의 강성이 커지면, 보에서 유도된 전단력은 더 커지게 되고 이러한 결과로 전단벽의 축 하중은 더 커지게 된다[7,8]. 그림 2에 나타낸 내부 모멘트(M_1 , M_2) 사이의 상호작용은 전단벽과 전단벽을 연결하는 커플링보의 강도와 강성에 의존한다. 오직 내부 모멘트 M_1 과 M_2 에 의한 저항보다 내부 모멘트와 더불어 내부 힘(T or C)과 큰 우력길이(lever arm, l)에 의해 지배되는 외부 모멘트의 합에 의해 저항하는 것이 더 효과적임이 명백하다.



[그림 2] 병렬 전단벽의 커플링 효과
[Fig. 2] Coupling effect of coupled shear wall

커플링보는 전단벽의 연성도보다 큰 연성도를 나타낸다. 즉, 병렬 전단벽 시스템이 최적의 성능을 나타내기 위해서는 커플링보의 충분한 강성 및 강도를 가져야 할 뿐만 아니라 에너지 소산 메커니즘이 커플링보와 각 전단벽의 기초부에서 소성힌지가 발생하여 소산되는 형태로 나타내기 위해 충분한 연성도를 가져야 한다. 이러한 메커니

좁은 연성 모멘트 저항 골조에 대한 강 기둥 - 약 보 (strong column-weak girder) 설계개념과 비슷하다[9]. 그림 3은 병렬 전단벽 시스템을 이상화한 응답을 각 전단벽의 휨 응답의 합과 보의 커플링 작용에 의한 프레임 응답을 통하여 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 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 시스템에 작용하는 횡력에 대하여 시스템 전체의 거동에 중요한 역할을 담당한다.

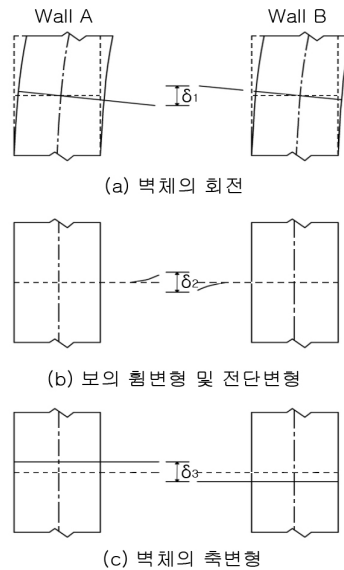


[그림 3] 병렬전단벽 시스템 거동의 이상화
[Fig. 3] Idealization of coupled shear wall system behavior

2.3 커플링보의 변형성분

병렬 전단벽 시스템에서 커플링보에 발생하는 변형성분은 그림 4와 같다. 그림에서 보는바와 같이 커플링보의 변위는 3가지를 고려할 수 있다.

첫 번째는 그림 4(a)에 나타난 바와 같이 철근콘크리트 벽체의 회전으로 인하여 발생하는 커플링보의 변위이고, 두 번째는 그림 4(b)와 같이 횡력에 의해 커플링보에서 발생하는 전단력에 의한 커플링보의 휨변형 및 전단 변형을 나타낸다. 마지막으로 그림 4(c)에 나타난 바와 같이 철근콘크리트 벽체자중과 횡력에 의해 발생하는 축력인 인장과 압축에 의해 발생하는 커플링보의 변위이다. 이러한 변위를 계산하는데 있어서 커플링보의 접합부는 고정단으로 가정한다.

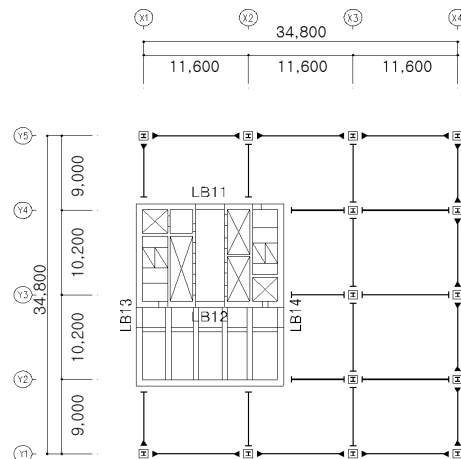


[그림 4] 커플링보의 상대 변위
[Fig. 4] Relative displacement of coupled beam

3. 해석모델

3.1 해석모델 개요

본 연구에서는 국내 고층건물에서 일반적으로 많이 적용되고 철골모멘트골조 + 전단벽(이중골조) 형태의 모델을 대상으로 연구를 수행하였다. 본 연구에서 사용한 해석모델은 그림 5와 같이 좌측에 코어를 배치한 정방형의 평면을 가지는 40층(높이 166m) 규모의 철골조 구조물이다.



[그림 5] 연구대상 건물의 기준층 구조평면도
[Fig. 5] Structural plan

대상 건물의 횡변위 시스템은 코어 시스템이며, 코어 벽체는 커플링보로 각각 연결되어 있다. 사용된 구조재료는 표 1과 같고, 벽체와 기둥의 콘크리트 강도와 벽체두께에 따라 해석모델을 표 2와 같이 6가지로 분류하였다. 해석프로그램으로는 구조설계실무에서 널리 사용되는 MIDAS GEN[11]을 사용하였고, 커플링보는 general beam 요소로 모델링하여 휨거동과 전단거동을 정확히 묘사하도록 하였다. 이를 통한 해석결과로부터 각각의 해석 모델들의 최상층 횡변위와 CEN EC 3/1에서 규정하고 있는 횡변위 허용 범위(H/400~H/500)를 비교하고 분석하여 커플링보의 횡변위 제어능력을 평가 하였다.

[표 1] 구조재료의 특성

[Table 1] Material properties

재 료	설계기준강도		층구분
콘크리트	S1 a b, Beam	fck=30N/mm ²	2F~ROOF
강 재	Fy=325N/mm ² (SM490)		기둥, 보
철 근	fy=500N/mm ² (HD25이상) fy=400N/mm ² (HD22이하)		
기둥단면	1,000 × 1,000		1F~40F

[표 2] 구조해석 모델

[Table 2] Structural models

모델명	벽체,기둥 설계기준강도 fck(N/mm ²)	벽체두께(mm)
M1	30	600
M2	35	600
M3	30	700
M4	35	700
M5	30	800
M6	35	800

3.2 설계하중 산정

모델에 적용되는 하중은 실의용도와 마감의 종류에 따라 상세히 구분되어야 하지만 본 연구에서는 해석의 편의를 위해 아래 표와 같이 대표적인 하중만 적용하였다 [10].

[표 3] 설계하중

[Table 3] Design loads

(단위 : kN/m²)

용도	관매	업무	지붕
층	2F ~ 4F	5F ~ 40F	Roof
고정하중	4.8	4.8	6.0
적재하중	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 0.11, 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 볼래깅, 마감재의 손상, 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.

본 연구에서는 수평변위의 제한 값을 CEN EC 3/1에서 규정하고 있는 H/400~H/500이하를 기준으로 검토하였다. 본 논문에 적용되는 최상층 횡변위 허용범위는 H/400(407.5mm)~H/500(326.0mm)이다.

4. 해석결과 및 분석

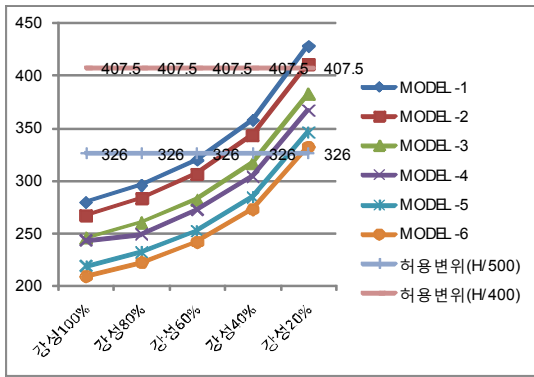
커플링보의 강성감소에 따라 구조물 횡변위 정도를 분석하여 변위의 한계를 초과하지 않는 범위내에서 커플링보의 강성저하 범위를 분석하였다.

4.1 커플링보 강성저하에 따른 횡변위

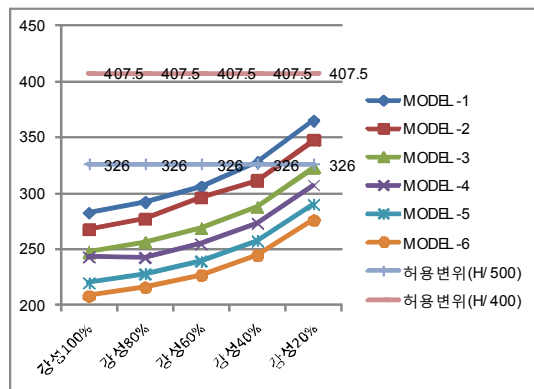
각 Model별 커플링보 강성저하에 따른 횡변위 값을 표 4에 나타내었다. 커플링보 강성을 약 40% 저하시켰을 때부터 허용 횡변위 (H/500=326mm)를 초과하는 것으로 분석되었다(그림 6, 7 참조).

[표 4] 커플링보 강성 변화에 따른 횡변위(mm)
[Table 4] Drift of analysis models (mm)

해석 모델	측 방향	커플링보의 강성 비율				
		100%	80%	60%	40%	20%
M1	DX	282.7	292.5	306.1	327.8	365.0
	DY	279.5	295.9	319.8	357.6	428.0
M2	DX	267.8	277.3	296.0	311.6	347.4
	DY	267.2	283.3	306.5	343.2	410.9
M3	DX	247.5	256.3	268.6	287.6	323.1
	DY	245.4	260.3	281.9	316.7	382.4
M4	DX	243.3	242.9	254.9	273.3	307.4
	DY	243.5	249.1	272.2	303.9	367.1
M5	DX	220.2	228.2	239.4	257.7	290.2
	DY	218.9	232.4	252.3	284.5	346.2
M6	DX	208.4	216.2	227.1	244.9	276.1
	DY	209.1	222.4	241.8	273.0	332.3



[그림 6] 커플링보 변화에 따른 X방향 횡변위(mm)
[Fig. 6] X-displacements of analysis models



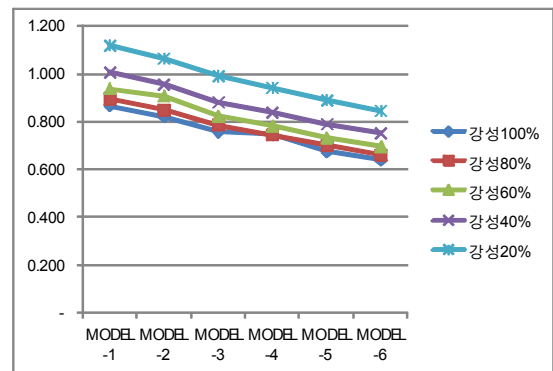
[그림 7] 커플링보 변화에 따른 Y 횡변위(mm)
[Fig. 7] Y-displacements of analysis models

4.2 커플링보 강성저하에 따른 횡변위 비

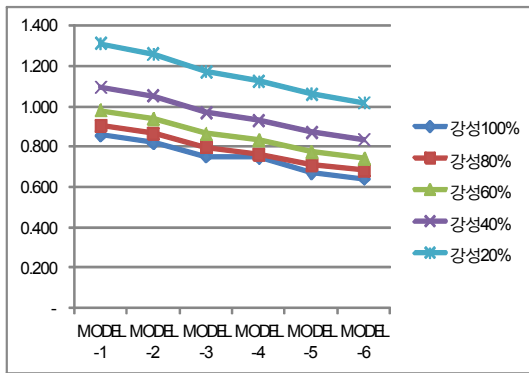
표 5에 각 Model별 커플링보 강성저하에 따른 횡변위 비율을 나타내었다. 비율은 허용변위 기준인 H/500=326 mm를 기준하여 강성저하에 따른 모델별, 코어벽체 두께별, 강성저하에 따른 횡변위 비율을 나타내었으며, 분석 결과 최초 강성 20% 저하 시 횡변위는 3%정도의 변위가 나타났으며, 추가 20% 저하 시 5%~8%의 변위가 발생되었다(그림 8,9 참조).

[표 5] 커플링보 강성 변화에 따른 횡변위 비
[Table 5] Drift ratio of analysis models

해석 모델	측 방향	커플링보의 강성 비율				
		100%	80%	60%	40%	20%
M1	DX	0.867	0.897	0.939	1.006	1.120
	DY	0.857	0.908	0.981	1.097	1.313
M2	DX	0.821	0.851	0.908	0.956	1.066
	DY	0.820	0.869	0.940	1.053	1.260
M3	DX	0.759	0.786	0.824	0.882	0.991
	DY	0.753	0.798	0.865	0.971	1.173
M4	DX	0.746	0.745	0.782	0.838	0.943
	DY	0.747	0.764	0.835	0.932	1.126
M5	DX	0.675	0.700	0.734	0.790	0.890
	DY	0.671	0.713	0.774	0.873	1.062
M6	DX	0.639	0.663	0.697	0.751	0.847
	DY	0.641	0.682	0.742	0.837	1.019



[그림 8] 커플링보 변화에 따른 X방향 횡변위 비
[Fig. 8] X-displacement ratios of analysis models



[그림 9] 커플링보 변화에 따른 Y방향 횡변위 비율
[Fig. 9] Y-displacement ratios of analysis models

5. 결론

본 연구에서는 고층건물의 횡변위 구조형식으로 널리 사용되는 전단벽-커플링보 구조시스템에서 전단벽의 강도, 강성과 커플링보의 강성변화가 건물의 횡변위에 미치는 영향을 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) X방향 횡변위는 허용 횡변위(H/500)의 68%~87% 정도로서 벽체두께 100mm 증가에 따라 약 8%~10%의 횡변위 감소가 있음을 확인하였다. Y방향 횡변위는 허용 횡변위(H/500)의 67%~86%정도로서 벽체두께 100mm 증가에 따라 발생변위 대비 약 8%~10%의 횡변위 감소가 있음을 확인하였다. 즉 X,Y방향 모두 유사한 결과가 나타난 것으로 확인되었다.
- 2) 콘크리트 강도에 따른 횡변위는 변위발생 값의 약 4%의 감소 효과가 있는 것으로 분석되었다. 따라서 횡변위 제어를 위해서는 콘크리트 강도의 증가보다는 벽체두께의 증가가 더 효과적인 것으로 분석되었다.
- 3) 커플링보 강성저하에 따른 횡변위 비율은 허용변위 기준인 H/500=326mm를 기준하여 분석결과 최초 강성 20% 저하 시 횡변위는 3%정도의 변위 증가가 나타났으며, 추가 20% 저하 시 5%~8%의 변위가 발생되었다.
- 4) 병렬전단벽 구조시스템에서 커플링보의 강성감소는 구조물 전체의 횡변위 증가에 직접적이며 비례적인 관계를 가지며, 이는 벽체두께나 콘크리트강도에 상관없이 일관되게 나타난다.

본 연구는 고층건물의 횡변위와 커플링 보의 상관관계

를 분석하였으나, 건물의 형상과 층고 등의 다양한 건물 모델 그리고 시공사레 분석을 통해 커플링 보의 규격화 또는 재료에 따른 정형화 방안에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] Waon-Ho Yi, et al., "Hysteretic Behavior of Steel Coupling Beam and RC Coupled Shear Wall Joing", Proceedings of Architectural Institute of Korea, Vol.20 No.1, pp.201-204, 2000
- [2] Hyun-Do Yun, et al., "Behavior characteristics of Coupled Shear Wall on Effects of coupling Beam Details", Architectural Institute of Korea, Vol.20 No.6, 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, et al., "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. 579-589
- [10] "Concrete Structure Design Code", pp.64-65, Korean Concrete Institute, 1999
- [11] MIDAS/Gen V7.4.1 Users Manual. MIDAS Information Technology Co., LTD

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