

교차형 와이드 거더를 이용한 아파트구조의 수치해석적 연구

박정현^{1*}

A Numerical Study on the Apartment Structure Using Crossed Wide Girder

Jung-Hyun Park^{1*}

요 약 본 연구는 교차형 와이드 거더를 이용한 건축구조로 최소한의 슬래브 두께로 가능한 최장의 스패ンを 확보할 수 있도록 함으로써, 층고를 높이지 않으면서 실내 공간에 자유롭고 다양한 변화를 가져올 수 있도록 하는 것이다. 즉, 본 연구는 교차형 와이드 거더를 응력분포에 따라 일정 간격으로 연속 배치함으로써, 낮은 층고에서 해당 경계 공간을 무주 공간으로 형성시킬 수 있도록 하는 것이다. 본 연구의 수치적 타당성을 검토하기 위하여 3차원 횡력 설계가 가능한 프로그램인 Midas Gen을 이용하여 기존의 벽체 시스템과 교차형 Wide Girder에 의한 연성골조 시스템을 해석한 결과, 구조적으로 횡변위 및 층간변위와 바닥의 처짐 등이 기존의 벽체시스템과 비교하여 크게 불리하지 않으며, 전체적인 콘크리트 물량이 기존 벽체시스템과 비슷하며 건축적인 가변성을 확보하는데 큰 장점이 있는 것으로 나타났다.

Abstract The study uses the crossed wide girder(waffle slab type) in apartment structural system comparing with existing shear wall system. The crossed wide girder will be able to secure the span of the longest which is possible with minimum slab thickness by not increasing the height. The research sees continuity arranges the crossed wide girder in schedule interval following the stress distribution. Namely, it is to make the interior space with the space without column and wall in the minimum height. In order to check the numerical value of this study which it interpreted the ductile frame system due to the crossed wide girder and existing shear wall system used the Midas Gen is a program which 3-dimension lateral force designs are possible. Analysis results, the crossed wide girder system is not disadvantageously lateral drift, drift ratio and deflection of slab compares with existing shear wall system. Also the whole concrete amount is similar existing shear wall system. The crossed wide girder is advantage which secure a architectal variability.

Key Words : crossed wide girder system, shear wall system, space without column and wall

1. 서론

최근 들어 문화 형태의 변화로 공동주택의 획일적인 내부공간을 자신에게 적합한 공간으로 변화시키려는 욕구가 강해지고 있으며, 이러한 사회적 요구는 시간이 경과할수록 더 강해 질 것으로 예상된다. 이러한 요구를 충족시키기 위해서는 단위 경계벽 공간을 넓은 스패너로 구성되는 기둥이나 내력벽이 없는 무주공간으로 형성시

키는 것이 필요하다. 바닥 구조체(바닥 슬래브+보) 두께를 슬래브의 최소 두께와 슬래브 하부의 최소 설비 공간 내에서 집적할 수 있도록 하고, 동시에 해당 건축물의 단위 경계벽 공간을 무주 공간으로 형성할 수 있도록 하기 위하여 와이드 거더를 서로 교차되도록 구성하고, 이 교차 와이드 거더와 바닥 슬래브가 응력적으로 일체화되어 단위 구조 유니트로 형성한다. 이 단위구조 유니트가 건축물의 형태에 따라 적절한 간격으로 연속 배치되는 것을 특징으로 하는 교차형 와이드 거더를 이용한 건축구조를 제공하는 것이다.[1]

본 연구는 교차형 와이드 거더를 이용한 건축구조에 의하여, 최소한의 바닥 두께로 가능한 최장의 스패너를 확

이 논문은 2006년 배재대학교 교내연구비의 지원에 의하여 연구되었음

¹배재대학교 건축학부

*교신저자: 박정현(pjh3149@pcu.ac.kr)

보할 수 있도록 함으로써, 층고를 높이지 않으면서 실내 공간에 자유롭고 다양한 변화를 가져올 수 있도록 하는 것이다. 즉, 교차형 와이드 거더를 응력분포에 따라 일정 간격으로 연속 배치함으로써, 낮은 층고에서 해당 경계 공간을 무주 공간으로 형성시킬 수 있도록 하기 위한 것으로 단위 경계벽 공간은 우리나라에서 가장 많은 수요를 가진 20~40평형대의 공동주택을 기준으로 하였다.[2],[3]

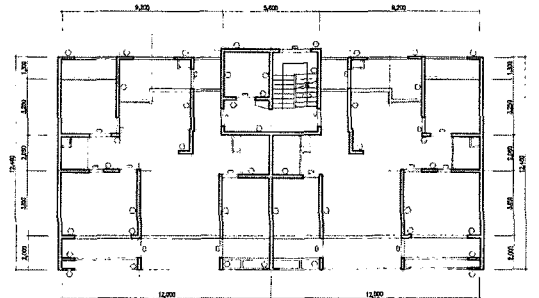
또한 본 연구를 통해서 내부구조 및 용도변경이 자유로운 무주 공간화를 시킬 수 있으며, 1층의 개방성을 확보하는 피로티 설치가 용이하며 내부벽체 제거에 따른 실제 사용 공간을 증가시킬 수 있는 효과가 기대된다.

2. 교차형 와이드 거더를 이용한 아파트 모델

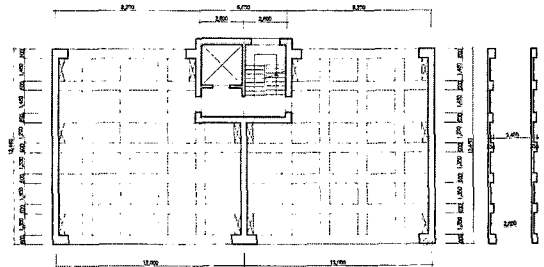
바닥 구조체(바닥슬래브+보)의 최소 두께의 범위는 250~400mm로 하며, 이는 주택건설기준 등에 관한 규정 제14조제3항 및 제4항의 규정에 의한 공동주택 바닥충격음 차단인정 및 관리기준(제26조관련-건설교통부고시 제 2004-71호)의 단면 상세에 규정된 콘크리트 슬래브 두께 150mm 이상과 슬래브 하부의 스프링클러(공동주택 11층 이상시 적용)와 전기배관 등의 설비설치에 필요한 공간 250mm를 고려한 400mm를 상한치로 정하며, 스프링클러 설치 대상이 아닌 10층 이하의 공동주택의 경우 <별표5>표준 바닥구조의 “나. 라멘구조”에서 콘크리트 슬래브를 ”150mm 이상“으로 규정하나, ”가. 벽식구조“에서 규정한 콘크리트 슬래브 ”210mm이상“보다 크게 설정하여 바닥 충격음 차단 성능을 고려한 250mm의 보충을 하한치로 정한다.

교차형 와이드 거더의 배치간격은 1.0m~3.0m 로 한다. 이는 1.0m 이하인 경우 거더의 폭이 커져서 격자시스템의 의미가 없어질 수 있으며, 3.0m 이상인 경우 공동주택 단위세대에 적용시 교차형 와이드 거더 시스템의 구조체 단면이 비교차형 거더 구조(1방향 거더 구조)보다 비경제적으로 구성되므로, 1.0m~3.0m를 기준으로 한다.

구조시스템의 해석은 3-D에 횡력 설계가 가능한 프로그램인 Midas Gen을 이용하였다. 해석 모델은 기존 벽체 시스템, 교차형 와이드 거더에 의한 연성 골조시스템을 각각 모델링 하였다. 기존 벽체시스템은 wall요소, 교차형 와이드 거더에 의한 연성 골조시스템은 beam요소, Wall요소로 모델링 되었다. 모델은 하나의 단위평면을 전체 세대에 동일하게 적용하였고, 부재 크기도 동일하게 모델링 하였는데 비교를 위한 기존 벽식시스템의 전체 벽체두께는 150mm, 슬래브두께는 210mm로 하였다. 교차형 와이드 거더시스템의 수치해석 모델링 변수는 [표 1]과 같으며, 기존의 벽식 구조시스템 및 교차형 와이드 거더시스템에 대한 각각의 단위세대 평면 및 수치해석 모델링 은 [그림 1]과 [그림 2]에 나타내었다[4]



(a) 기존의 벽식구조 시스템



(b) 교차형 와이드 거더에 의한 시스템

그림 1. 단위세대 평면도

표 1. 모델링 변수

구 분	변수
교차형 Wide Girder 에 의한 연성골조 시스템 벽체 및 기둥 두께	250mm, 300mm, 350mm, 400mm, 600mm
교차형 와이드 거더 크기	600mm × 350mm
층고 및 층수	층고 : 2,800mm, 층수 : 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40

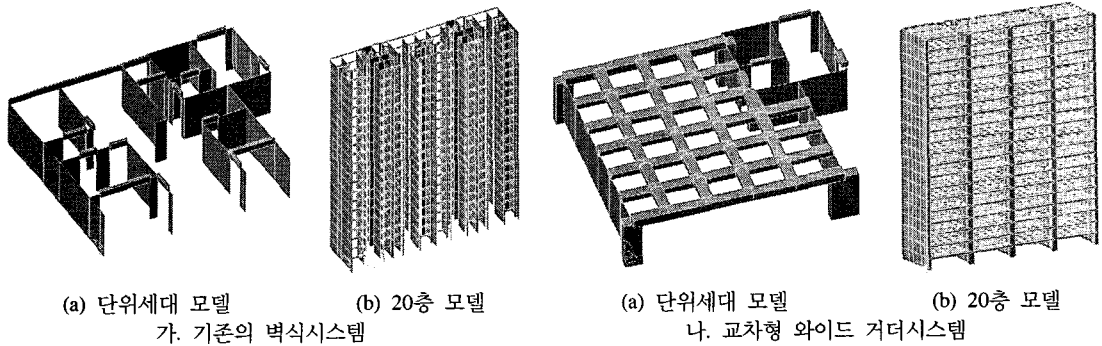


그림 2. 수치해석 모델링

3. 수치해석 결과

본 연구에 대한 구성 및 작용 효과에 대한 비교를 위해서 기존의 공동주택에서 일반적으로 사용되는 방법인 벽식구조시스템(shear wall system)과 본 연구에서 제시하는 상기 구성의 교차형 와이드 거더(crossed wide girder system)에 의한 연성골조 system의 작용 효과를 비교하고 분석한다. 위의 두 가지 시스템을 비교 분석하기 위하여 건축물의 전체 시스템에 중요한 영향을 미치는 전체 횡변위(draft) 및 층간변위(draft ratio) 그리고 각 단위세대 주거의 슬래브 변형(처짐)과 각각의 시스템에서의 콘크리트 중량 차이 등을 비교·분석한다.

3.1 변위(displacement) 비교

건축물에서 횡변위는 주로 풍하중(wind load) 및 지진하중(seismic load)에 의해서 발생하며 구조시스템의 효율적인 적합성을 비교할 경우 가장 먼저 검토되어야 할

내용이다. 본 연구에서는 “건축물 하중기준 및 해석”[5]에 의거하여 벽식 구조시스템과 교차형 와이드 거더에 의한 연성 골조시스템을 비교한다. 건축물에서 변위는 건축물 전체 높이에 대한 횡변위(draft)와 1개 층에 대한 층간변위(draft ratio)를 검토하도록 규준에 명시되어 있다.

전체 횡변위에 대하여는 각 시스템의 풍하중과 지진하중을 비교하며, 층간변위에 대해서는 각 시스템의 지진하중에 대하여 비교한다. 지진하중에 대한 해석을 위해서는 동적 해석법을 사용하였으며, 동적 해석에서의 지진에 의한 지반운동의 영향을 나타내기 위하여 설계용 스펙트럼을 사용하였다.

3.1.1 횡하중에 의해 발생하는 최대변위 비교

규준에 의한 횡변위는 건물 전체 높이의 1/400~1/600 정도로 제한하고 있다. 상기 해석에 의해서 40층 이하에서의 최대변위를 조사한 결과, [표 2]에 기술한 것처럼 횡방향(lateral direction)은 지진하중에 의한 X-방향 변위가

표 2. 횡하중에 의해 발생하는 최대변위(maximum displacement)

구 분		기존의 벽식 구조시스템				교차형 와이드 거더에 의한 연성골조 시스템(벽체 및 기둥 두께 : 250mm)				비 고	
		X변위(A)		Y변위(B)		X변위(C)		Y변위(D)		변위비	
		mm	$\Delta x/H$	mm	$\Delta y/H$	mm	$\Delta x/H$	mm	$\Delta y/H$	X변위 (C/A)	Y변위 (D/B)
5~10층	Wind	1.0	1/29,000	1.2	1/24,167	1.0	1/29,000	0.7	1/41,429	1.00	0.58
	Seismic	12.2	1/2,377	4.3	1/10,116	10.1	1/4,307	3.8	1/11,447	0.83	0.88
11~15층	Wind	3.8	1/11,447	5.2	1/8,365	3.8	1/11,447	3.1	1/14,032	1.00	0.60
	Seismic	31.1	1/1,399	12.4	1/3,508	24.8	1/1,754	6.6	1/6,591	0.80	0.53
16~20층	Wind	10.6	1/5,472	15.3	1/3,791	9.2	1/6,304	9.4	1/6,170	0.87	0.61
	Seismic	60.9	1/952	26.7	1/2,172	57.8	1/1,003	18.1	1/3,204	0.95	0.68
21~25층	Wind	24.2	1/2,996	39.5	1/1,835	19.7	1/3,680	22.8	1/3,180	0.81	0.58
	Seismic	106.1	1/683	48.6	1/1,492	92.4	1/785	33.6	1/2,158	0.87	0.69
26~30층	Wind	50.5	1/1,723	80.4	1/1,082	34.5	1/2,522	47.9	1/1,816	0.68	0.60
	Seismic	169.3	1/514	79.4	1/1,096	134.2	1/648	55.8	1/1,559	0.79	0.70
31~35층	Wind	91.5	1/1,109	147.8	1/687	55.0	1/1,845	90.2	1/1,125	0.60	0.61
	Seismic	253.7	1/400	120.3	1/844	182.6	1/556	85.9	1/1,182	0.72	0.71
36~40층	Wind	154.0	1/753	252.1	1/460	81.8	1/1,418	157.0	1/739	0.53	0.62
	Seismic	362.3	1/320	172.0	1/674	237.4	1/489	124.8	1/929	0.66	0.73

Y-방향 변위에 비하여 크게 나타났다. 따라서 대상 건물들의 X-방향 변위를 비교하면 교차형 와이드 거더에 의한 연성 골조시스템이 기존의 벽식 구조시스템에 비해 60~95%(Y-방향은 58~88%)정도 횡변위 저항에 효율적인 것으로 나타났다. 또한 [표 2]에서는 기술하지 않았지만 41층을 초과할 경우에는 교차형 와이드 거더에 의한 연성 골조시스템이 기존의 벽식 구조시스템보다 기준치를 초과하는 것으로 나타나, 41층을 초과하는 경우에는 벽체 및 기둥 두께를 증가시켜 횡변위 저항에 효율적으로 대응할 수 있도록 하여야 할 것이다.

3.1.2 횡하중에 의한 40층 건물의 최대변위 비교

[표 3]과 같이 40층 건물에 대하여 벽체두께를 변경하면서 교차형 와이드 거더 시스템의 풍하중 및 지진하중에 대한 횡변위를 검토하였다. 기준에 의한 횡변위는 건물 높이의 1/400~1/600 정도로 제한하고 있는데 기존의 벽식 구조시스템은 30층 건물에서 H/400로 제한 값을 초과하여 30층을 초과하는 각각의 시스템간의 비교는 생략

하였다. 벽체 및 기둥두께가 250mm의 횡강성이 큰 교차형 와이드 거더에 의한 연성 골조시스템에서는 지진하중에 대하여 40층 건물에서 H/489로 제한 값을 상회하는 것으로 나타났으나, 벽체 및 기둥 두께 600mm에서 횡변위가 H/500인 것으로 나타났다.

하지만 본 연구에서 제안하는 시스템은 40층 건물에서 벽체 및 기둥 두께를 기준이 되는 250mm에서 증가시키더라도 지진하중에 대하여 횡변위가 크게 개선되지 않는 것으로 나타나 교차형 와이드 거더시스템의 적절한 벽체 및 기둥 두께는 250mm 정도가 구조적으로 적당한 것으로 판단된다.

3.1.3 층간변위(drift ratio) 비교

해석 결과에 의해서 층간변위를 비교한 결과 Y-방향 변위보다 X-방향 변위가 크게 나타났으며, 교차형 와이드 거더에 의한 연성 골조시스템이 기존의 벽식 구조시스템에 비해 74~95%정도 횡변위 저항에 효율적인 것으로 나타났다. 두 해석 모델이 30층에서 제한 값을 초과하

표 3. 횡하중에 의한 40층 건물의 최대변위(maximum displacement)

구 분		교차형 와이드 거더에 의한 연성 골조시스템(40층)			
		X-displacement		Y-displacement	
		mm	$\Delta x/H$	mm	$\Delta y/H$
벽체 및 기둥 두께(600mm)	Wind	64.8	1/1,790	97.9	1/1,185
	Seismic	232.0	1/500	106.5	1/1,089
벽체 및 기둥 두께(400mm)	Wind	73.4	1/1,580	124.8	1/929
	Seismic	234.2	1/495	101.3	1/1,145
벽체 및 기둥 두께(350mm)	Wind	75.6	1/1,534	133.5	1/869
	Seismic	234.4	1/495	117.4	1/988
벽체 및 기둥 두께(300mm)	Wind	78.4	1/1,480	144.2	1/804
	Seismic	235.7	1/492	18.1	1/6,409
벽체 및 기둥 두께(250mm)	Wind	81.8	1/1,418	157.0	1/739
	Seismic	237.4	1/489	124.8	1/929

표 4. 층간변위(drift ratio)

구 분		기존 벽체 시스템				교차형 Wide Girder에 의한 연성골조 시스템				비 고	
		X변위(A)		Y변위(B)		X변위(C)		Y변위(D)		변위비	
		mm	$\Delta x/h$	mm	$\Delta y/h$	mm	$\Delta x/h$	mm	$\Delta y/h$	X변위(C/A)	Y변위(D/B)
5~10층	벽체 및 기둥 두께(250mm)	4.4	0.0015	1.5	0.0005	3.7	0.0013	0.8	0.0003	0.84	0.51
11~15층	벽체 및 기둥 두께(250mm)	10.2	0.0035	3.1	0.0011	8.1	0.0028	1.9	0.0007	0.79	0.62
16~20층	벽체 및 기둥 두께(250mm)	18.5	0.0064	5.4	0.0019	17.5	0.0060	4.0	0.0014	0.95	0.74
21~25층	벽체 및 기둥 두께(250mm)	29.3	0.0101	9.1	0.0031	26.2	0.0090	6.9	0.0024	0.89	0.76
26~30층	벽체 및 기둥 두께(250mm)	40.3	0.0139	14.7	0.0051	36.3	0.0125	11.1	0.0038	0.90	0.76
31~35층	벽체 및 기둥 두께(250mm)	59.5	0.0205	21.8	0.0075	47.2	0.0163	17.0	0.0058	0.79	0.78
36~40층	벽체 및 기둥 두께(250mm)	80.2	0.0277	30.6	0.0106	59.0	0.0203	24.5	0.0084	0.74	0.80

지 않았지만 35층 모델에서는 제한 값을 초과하였다. 횡 변위와 층간변위 측면에서 기존의 벽식 구조시스템은 벽체 두께 및 벽량을 증가시키지 않고서는 30층을 초과하는 것은 구조적으로 문제가 있는 것으로 검토되었다.

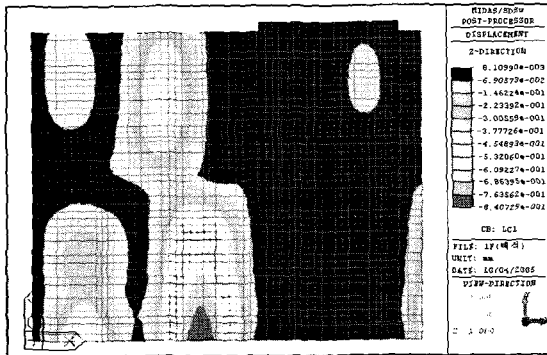
3.2 슬래브의 변형(처짐) 비교

바닥 구조체의 처짐은 구조체의 안전성뿐만 아니라, 거주자의 사용성과도 밀접한 관계가 있다. 본 연구에서는 기존의 벽식 구조시스템과 교차형 와이드 거더에 의한 연성 골조시스템의 단위세대 내에서의 처짐을 비교하기 위하여 [표 5] 및 [그림 3]과 같이 슬래브 모델링 제원 및 Midas SDS의 컴퓨터 해석 결과가 나타나 있다. 해석시 각 단위세대 내에서의 처짐이 허용규준인 1/300~1/360 이내에 들도록 바닥구조체를 설계하여야 한다.[6],[7]

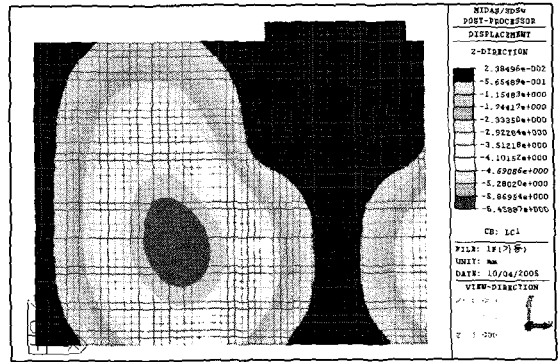
해석 결과에 의해서 슬래브의 처짐을 비교한 결과, 기존의 벽식 구조시스템은 0.8mm로 나타났고, 교차형 와이드 거더에 의한 연성 골조시스템은 6mm의 최대 처짐 값을 보였다. 규준에 의한 처짐은 스패의 1/300~1/360 정도로 제한하고 있으며, 스패에 대한 처짐 값을 산정해 보면, 아래와 같이 교차형 와이드 거더에 의한 연성 골조시스템은 처짐에 대해서도 문제가 없는 것으로 나타났으며, 슬래브 두께를 증가시킨다면, 사용성 면에서는 더욱 향상 될 것으로 판단된다.

표 5. 슬래브 모델링

구 분	슬래브두께 (mm)
기존형 벽체 시스템	210
교차형 Wide Girder에 의한 연성골조 시스템	150



(a) 기존의 벽식구조 시스템



(b) 교차형 와이드 거더에 의한 구조시스템
그림 3. 슬래브 모델링

3.3 콘크리트의 중량 비교

건축물을 설계하고 시공하는데 있어서 가장 중요한 문제는 경제성이라고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 기존의 방식인 벽식 구조시스템과 교차형 와이드 거더에 의한 연성 골조시스템과의 콘크리트 중량을 비교함으로써 경제적인 효율성을 비교분석한다.

위의 [표 6]에서의 중량은 콘크리트 중량만을 계산하였으며 기존 벽식 구조시스템과 비교하여 벽체 및 기둥 두께 250mm인 교차형 와이드 거더에 의한 연성 골조시스템의 중량은 벽식 구조시스템(세대내 내력벽 두께=150mm기준)의 중량의 101.2%가 되는 것으로 나타났으나, 기존의 내력벽 시스템의 일반적인 벽두께는 180mm 이므로, 상대적으로 적은 중량의 값을 갖는다.

4. 결론

3차원 횡력 설계가 가능한 프로그램인 Midas Gen을 이용하여 기존의 벽식 구조시스템과 교차형 와이드 거더에 의한 연성 골조시스템(벽체 및 기둥두께=250mm 적용 시)을 해석한 결과는 다음과 같다.

- 1) 교차형 Wide Girder에 의한 연성골조 시스템을 기존의 벽체시스템과 구조적으로 비교한 결과, 벽체 및 기둥 두께 250mm에서 콘크리트 중량이 기존 벽식 구조시스템과 비슷한 것으로 나타났다.

표 6. 콘크리트 중량 비교

구 분	벽 및 기둥 두께 (250mm)	벽 및 기둥 두께 (300mm)	벽 및 기둥 두께 (350mm)	벽 및 기둥 두께 (400mm)
교차형 Wide Girder에 의한 연성골조 시스템	56,810 kN	59,714 kN	64,569 kN	65,512 kN
기존형 벽체 시스템 (세대내 벽두께=150mm 기준)	56,094 kN			

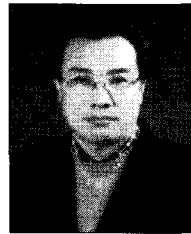
- 2) 횡변위에 대한 제한 규준은 건물 높이의 $H/400 \sim H/600$ 정도이다. 기존의 벽식 구조시스템은 30층 건물에서 1/400을 초과 하였고, 벽체 두께 250mm의 교차형 와이드 거더에 의한 연성 골조시스템에서는 40층 건물에서 1/489의 변위를 보였다.
- 3) 층간 변위의 비교에서는 벽체 및 기둥 두께 250mm의 교차형 와이드 거더에 의한 연성 골조시스템이 기존의 벽식 구조시스템에 비해 74~95%정도 횡변위 저항에 효율적인 것으로 나타났고, 35층 이하에서는 제한 규정값을 충족하였다.
- 4) 규준에 의한 처짐은 스패의 1/300~1/360 정도로 제한하고 있다. 교차형 와이드 거더에 의한 연성 골조시스템의 처짐은 1/2000로 제한 값에 충분한 것으로 나타났다.
- [4] 최정욱, 송진규, 최기봉, “사각형 단면을 갖는 수직부재와 접합되는 슬래브의 탄성 유효폭,” 대한건축학회 논문집 구조계 21권 1호(통권 195호), 2005. 1., pp.31-39
- [5] 대한건축학회, ”건축물구조설계기준,“ 기문당, 2005. 4.
- [6] C. Q. Howard, C. H. Hansen, "Vibration analysis of waffle floors," Computers & Structures 81, 2003, pp. 15-26
- [7] 박지훈, 문병욱, 민경원, “청정실 격자보 구조의 동특성 개선,” 대한건축학회 학술발표대회논문집 제26권 제1호(통권 제50집), 2006. 10., pp. 9-12

참고문헌

- [1] 양지수, 천영수, 주인돈, “판상형 무량판 아파트 시스템 개발 및 적용,” 대한주택공사, 2005. 10
- [2] 이훈, “아파트의 내구성 향상을 위한 가변성 수용,” 대한건축학회논문집 계획계 19권 8호(통권 178호), 2003. 8., pp.13-23
- [3] 정주현, “공동주택의 가변성능 향상을 위한 Support 구조형식 연구,” 대한건축학회논문집 계획계 22권 7호(통권 213호), 2006. 7., pp.19-26

박 정 현(Jung-Hyun Park)

[정회원]



- 1988년 2월 : 홍익대학교 건축학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 홍익대학교 건축학과 (공학석사)
- 2001년 8월 : 홍익대학교 건축학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 배재대학교 건축학부 전임강사

<관심분야>

건축구조물해석, 철근콘크리트재료, 강구조