

외부벽판과 연결부재를 구조요소로 취급한 경우 철골구조물의 내진성능에 관한 연구

Study on Seismic Performance of Steel Structure with Precast Concrete Cladding Panel and Connector Considered as Structural Components

변 지 석†

Byeon Ji-Seok

(논문접수일 : 2007년 9월 3일 ; 심사종료일 : 2008년 4월 14일)

요 지

본 연구는 일반 철골구조물에서 사용되는 구조용 프리캐스트 콘크리트 외부벽판과 그 연결부재로 인하여 건물 전체의 내진성능을 조사하였고, 벽판의 높이 변화에 따른 건물 전체의 횡방향 강성 변화량을 파악하였다. 외부벽판과 연결부재를 구조 부재로 간주할 경우 수동형 제진장치와 같이 지진에너지를 소산할 뿐 아니라 추가로 전체 건물의 횡방향 강성을 제공하는 것을 확인하였다. 이력거동 성능을 가진 연결부재를 비선형 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 조사한 결과, 건물의 내진성능 향상에 연결부재가 가장 중요한 역할을 하는 것으로 확인되었다.

핵심용어 : 프리캐스트 콘크리트 외부벽체, 연결부재, 제진장치, 내진성능, 아바쿠스 프로그램

Abstract

The purpose of this study is to investigate the seismic performance of both exterior precast concrete cladding panels and their connections on steel frame, when these cladding systems are considered as the structural components. The degrees of their participation of lateral stiffness to the main building are evaluated in terms of different heights of the cladding panels. Considering the cladding system as an integrated building provides additional lateral stiffness, as well as a mechanism for energy dissipation and this system can be used as one of an advanced passive seismic control system. Hysteresis behaviors of connectors are modeled and integrated into a nonlinear finite element analysis program, ABAQUS. The results show that connections play the most important role in structural cladding system and they improve seismic performance of overall building response.

Keywords : *precast concrete cladding, connector, passive seismic control system, seismic performance, ABAQUS*

1. 서 론

외부벽판(cladding)은 현대 건축물에서 건물의 독창성과 디자인을 구현하기 위해 가장 흔히 사용되는 외장재이다. 이러한 벽판은 일반적으로 비구조물(non-structural component)로 취급되어 건물구조 계산에는 그 역할이 고려되지 않고 있다. 하지만, 이미 선행된 외벽관련 연구에서 발표된 것과 같이, 비록 비구조물로 취급된 이러한 프리캐스트 외부벽판은 건물의 동적 거동에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

Henry(1980), Henry 등(1986)과 Stein(1983)은 철근 콘크리트 구조물에서 프리캐스트 외부벽판이 건물의 기둥에 부착되었을 때 미치는 구조적 영향을 연구하였으며, 이후 Henry 등(1989)은 이러한 구조성능을 향상시키는 외벽을 Box-Frame이라는 모델로 발전시켜, 이를 구조 해석시 포함시킬 것을 제안하였다. 또한, Goodno 등(1986)과 Pinelli (1991)는 저층의 철골구조물에서 건물과 외벽의 상호작용으로 인하여 발생하는 건물의 강성의 변화를 연구하였으며, 이후 Pinelli 등(1994)은 에너지소산기능을 가진 외벽연결재의 수치모델을 개발하여 처음으로 소개하였다. 또한, Smith,

† 책임저자, 정회원 · 삼성에버랜드(주) 방재사업팀 차장
Tel: 02-3458-3157 ; Fax: 02-3458-3039
E-mail: byeon02451@yahoo.com

• 이 논문에 대한 토론을 2008년 6월 30일까지 본 학회에 보내주시
면 2008년 8월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

Gaiotti(1989)는 모멘트 저항 골조건물에서의 콘크리트 외벽에 작용하는 정적 바람하중에 관한 실험 연구결과를 발표하여, 지진뿐만 아니라 강풍에도 외벽벽판이 건물의 거동을 향상시킬 수 있음을 입증하였다.

Pinelli, Craig, Goodno(1995)는 그들이 설계한 연성 크래딩 시스템은 다른 수동형 에너지흡수장치와 마찬가지로 건물에 전달된 지진동 에너지를 이 시스템에서 소산시켜 층간변위를 약 25%감소시키는 것으로 나타났으며, 더욱이 Craig, Goodno, Hsu(1996)는 수동과 능동을 겸비한 혼합형 장치를 개발하여 약 85%의 층간변위를 줄이는 시스템을 개발하였다.

본 연구는 두 가지의 연구목적이 있다. 먼저, 철골구조물에서 외부벽판과 연결부재를 구조체로 취급하였을 때 전체 건물의 내진성능 향상과 외부벽판 높이 변화에 따른 전체 건물의 횡방향 강성을 살펴보았다. 실험한 연결부재들의 재질 및 특성은 미국 건축 내진설계기준(UBC, 1991)에 근거하여 설계되었으며, 외부벽판 높이에 따른 최상층 변위를 도표화하여 구조실무자들이 설계시 쉽게 적용할 수 있도록 하였다.

다음은 수치해석을 통한 연결부재의 설계모델링 작업이다. 가장 효과적인 에너지 분산과 건물 전체가 항복강도에 도달하기 전에 연성 연결부재가 먼저 항복강도에 도달하여 지진 에너지를 다량 소모함으로써(일종의 퓨즈작용), 전체 건물의 피해를 최소화 할 수 있는 연결부재를 설계하였다.

일반적으로 건물을 제어하기 위하여 그림 1과 같이 건물의 주기를 변화시키거나 감쇠기능을 추가할 경우 건물의 내진성능은 향상될 수 있으며, 본 연구에서는 외부벽판과 연결부재를 사용할 경우 건물의 내진 성능 변화를 살펴보았다.

비선형 유한요소법 프로그램인 ABAQUS(1996)를 이용하여 추가 감쇠기능과 에너지 분산기능을 가진 연결부재의 이력거동(hysteresis behavior)을 묘사하고, 등가 정적 전

단력 해석법과 비선형 동적 시간-이력해석법을 실행시켜 전체 건물의 횡방향 강성 변화 및 건물의 동적 특성 변화를 파악하였다.

2. 구조적 기능을 가진 외벽의 수치해석 모델

외벽시스템의 구조적 성능을 조사하기 위해 전체 건물을 세 부분 : 1) 철골구조물(bare frame), 2) 프리캐스트 콘크리트 외부벽판(precast concrete cladding panel), 3) 연결부재(connector)로 분리하였다. 연결부재는 철골구조물의 기둥이나 보와 외부벽판을 연결하는 비선형 철물부재로 정의하였다.

2.1 모멘트-저항 철골 구조물

본 연구의 대상 구조물은 일반 형태의 저층(3층), 중층(8층), 고층(12층) 철골구조물이다. 대상 건물들은 UBC(1991) 내진설계 규준에 근거하고, strong-column과 weak-beam 개념을 적용하여 설계하였다.

내진 설계시 가정된 사항들로는, 중요도 계수는 일반 사무실용도인 1.0, 건물이 위치한 지진 지역 계수는 4, 지반조건은 단단한 지반인 S2로 설정하였다. 좌우 대칭 형태인 건물의 평면은, 너비 29.2M와 폭 21.9M이며, 기둥의 간격은 각 7.3M로 구성되었다.

ABAQUS를 이용한 구조해석을 위해 이들 철골구조물의 부재는 B23(cubical interpolation beam)이라는 비선형 요소로 정의하였으며, 모든 기둥과 보의 재질은 A573-Grade50이 사용되었다. 또한, 이들 철골부재의 탄성계수는 2.1×10^6 kgf/cm², 포아송 계수는 0.3이 각각 사용되었다.

2.2 외부 벽판

각 층 높이의 25%, 50%, 75%, 100%되는 프리캐스트 콘크리트 외부벽판이 철골구조물 4면을 둘러싸는 것으로 설계하였다. 특히, 이 연구를 위해 모든 연결부재는 수평과 수직 모두 동일한 힘-변위의 관계를 가지며, 뒤틀림 저항(torsion)은 없는 것으로 가정하였다. 또한, 그림 2에 나타난 것처럼, 벽판의 모든 하중은 벽판의 밑 부분에 위치한 연결부재들이 담당하며, 윗부분의 연결부재는 비탄성 재료의 성질을 가진 것으로 에너지 소산능력 역할을 담당하는 것으로 가정하였다.

프리캐스트 콘크리트 외벽은 CP4(4-절점 비선형 plane stress)인 ABAQUS 프로그램의 부재 요소로 정의하였으며,

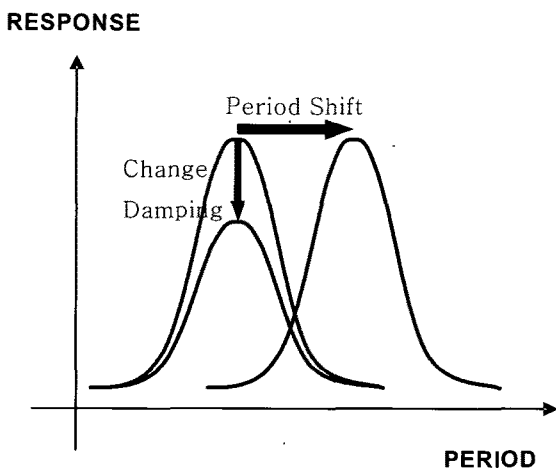


그림 1 구조물 제어 방법

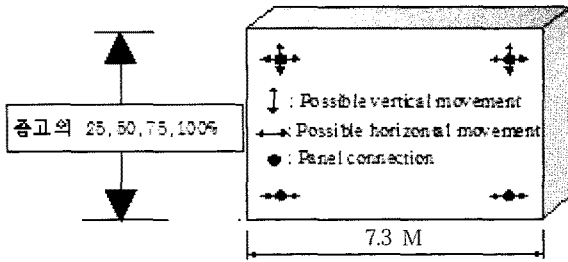


그림 2 외부벽판과 연결부재의 설계

높이가 다른 외벽에 일률적으로 적용되었다. 이들 외벽들의 재료특성은 탄성계수 $2.7 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$, 포와송계수 0.15로 가정하였다.

2.3 연결부재

본 연구에서 가장 중요한 역할을 하는 연결부재의 설계 개념은 그림 3과 같이 지진 발생때 연결부재가 우선적으로 건물의 거동에 대응하여 기둥 및 보와 같은 철골구조물의 주요 부재들의 피해를 줄이려는 것이다. 즉 연결부재들이 지진 에너지를 효과적으로 흡수하고, 주 건물의 주요부재들이 탄성범위에 있게 하여 전체 건물의 피해를 최소화 시킬 수 있는 역할을 하게 하는 것이다.

현재 사용 중인 연결부재의 에너지 소산 방법으로는 1) 마찰에너지를 발생시키는 마찰 기기 사용법, 2) 강도와 강성이 서로 다른 재질들을 이용한 복합소재 사용법, 3) 철재의 탄성한계 후 비탄성성질 이용법 등이 있으며, 본 연구에서는 비탄성 연결부재를 사용하여 해석하였다.

비선형 재료특성을 가진 연결부재를 ABAQUS 프로그램을 통한 해석을 하기 위해 비탄성 이력모델(inelastic hysteresis model)로 가정하였고, 연성 연결(flexible joint) 요소인 JOINTC를 사용하여, 실제의 연결부재 특성을 구현하였다. 이 요소는 각 양쪽의 절점에서 상하, 좌우, 그리고 비틀림 변위를 가지는 6개 자유변위와 특히, 각 절점에서 서로 다른 인장력과 압축력을 가질 수 있어 본 연구에 사용되었다.

연결부재의 특성을 임의로 10, 20, 30, 50, 100Kips/inch를 선택하여 해석한 연구(Byeon, 1998) 결과는 연결부재들이 전체 건물의 저항에 많은 영향을 미치며, 각 층의 층간 변위를 크게 줄임을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 실제 건물에서 사용하는 연결부재들의 특성을 확인한 뒤, 그 연결부재들의 역할을 연구하였다. 두 종류의 연결부재 모델을 선정하였으며, 실제 사용된 재료특성 수치는 표 1과 같다.

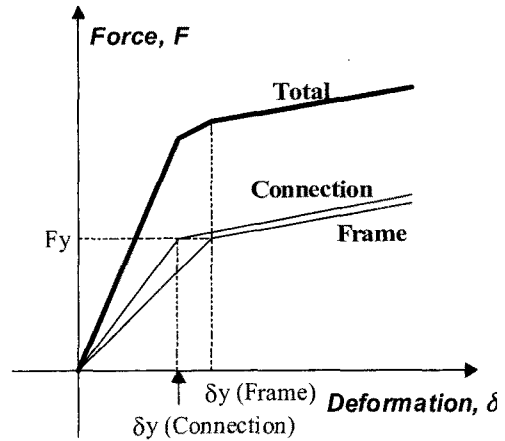


그림 3 연결부재의 설계 개념

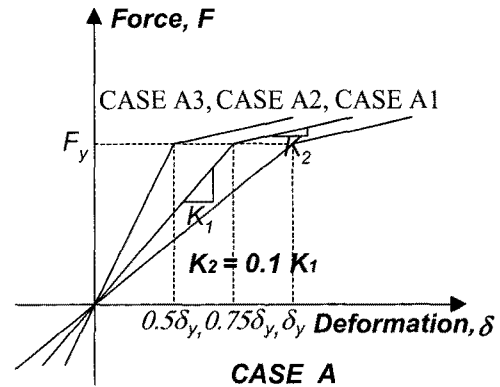


그림 4a 연결부재(CASE A)의 힘-변위 상관관계

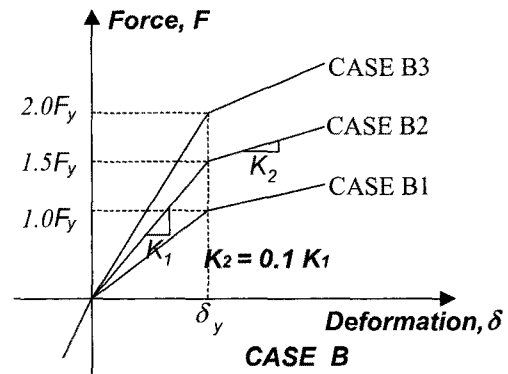


그림 4b 연결부재(CASE B)의 힘-변위 상관관계

허용 강도 (F_y)와 허용 변위 (δ_y)는 UBC(1991)의 내진설계 기준에 의하여 결정하였으며, 지진 수평하중과 허용 층간변위를 각각 만족시키는 조건에서 설계하였다. 먼저, 본 실험의 기준이 될 연결부재의 강도(K_R)의 결정은 현재의 내진 설계 기준에서 요구하는 층별의 전단력 ($V = F_y$)과 철골 구조물의 허용변형 범위(δ)에 의하여 결정하였으며, 이들의 관계는 식 (1)과 같다.

표 1 연결 부재의 재료 성질 값

CASE	K_1	K_2	δ_y (cm)		F_y (Kg)	
			1층	기타층	1층	기타층
3A-1	4.084	0.408	1.143	0.914	4.668	3.735
3A-2	5.446	0.545	0.857	0.686	4.668	3.735
3A-3	8.169	0.817	0.572	0.457	4.668	3.735
8A-1	7.322	0.732	1.143	0.914	8.369	6.695
8A-2	9.762	0.976	0.857	0.686	8.369	6.695
8A-3	14.643	1.464	0.572	0.457	8.369	6.695
20A-1	12.619	1.262	1.143	0.914	14.424	11.539
20A-2	16.825	1.683	0.857	0.686	14.424	11.539
20A-3	25.238	2.524	0.572	0.457	14.424	11.539
3B-1	4.084	0.408	1.143	0.914	4.668	3.735
3B-2	6.127	0.613	1.143	0.914	7.003	5.602
3B-3	8.169	0.817	1.143	0.914	9.337	7.470
8B-1	7.322	0.732	1.143	0.914	8.369	6.695
8B-2	10.983	1.098	1.143	0.914	12.553	10.042
8B-3	14.644	1.464	1.143	0.914	16.736	13.390
20B-1	12.619	1.262	1.143	0.914	14.424	11.539
20B-2	18.929	1.893	1.143	0.914	21.635	17.308
20B-3	25.238	2.524	1.143	0.914	28.847	23.076

$$K_R = F_y / \delta_y \quad (1)$$

건물 각 층에 모두 N 개의 비선형 연결부재가 있다고 가정하면, 각 연결부재의 강도는 식 (2)에 의하여 결정된다.

$$k = K_R / N \quad (2)$$

본 연구에 사용된 연결부재의 설계 개념은 그림 4a와 4b와 같다. CASE-A의 경우는 연결부재의 허용 강도를 층별 전단력으로 유지하면서 연결부의 항복변위를 건물 항복변형의 50%, 75%, 100%로 시켜 보았고, CASE-B의 경우는 허용 변형 범위를 일정하게 유지하면서 층별의 전단력을 100%, 150%, 200%로 증가시켰다. 연결부재의 비선형 구간은 강도(K_2)는 선형구간 강도(K_1)의 10%($K_2 = 0.1 * K_1$)로 일정하게 가정하였다.

3. 등가 정적 전단력 해석

본 장에서는 UBC(1991) 기준에 따른 등가 정적 전단력 해석법을 실행하여 철골 모멘트-저항골조의 외부벽판과 연결부재의 구조적 기능을 조사하였다.

우선 철골-콘크리트 외벽 건물에서, 외벽의 무게가 전체 건물 무게에 차지하는 비율이 매우 크며, 전체 건물 무게는 밀면 전단력 계산시 매우 중요하다. 따라서 내진설계시 기준이 되는 전단응력은 외벽의 높이에 따라 정하여 진다.

등가 정적 전단력 해석의 결과로, 특성이 다른 연결부재 Case A와 B의 경우 3층, 8층, 20층 건물의 측면변위 감소

표 2 건물의 고유 진동 주기

STORY	판넬높이 (%)	고유 주기(초)		감소율(%)
		Mass Frame	Cladding Frame	
3	0.25	0.758	0.740	2.37%
	0.50	0.768	0.680	11.46%
	0.75	0.778	0.593	23.78%
	1.00	0.788	0.528	32.99%
8	0.25	1.384	1.346	2.75%
	0.50	1.415	1.252	11.52%
	0.75	1.444	1.121	22.37%
	1.00	1.473	1.017	30.96%
20	0.25	2.430	2.384	1.89%
	0.50	2.493	2.299	7.78%
	0.75	2.554	2.159	15.47%
	1.00	2.613	2.039	21.97%

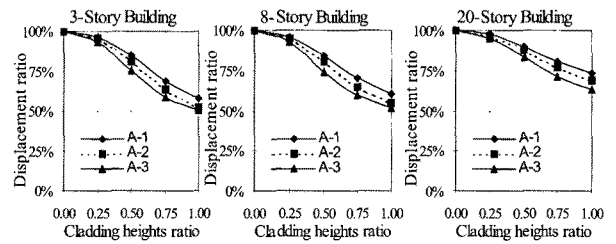


그림 5 측면 변위의 감소율(CASE-A)

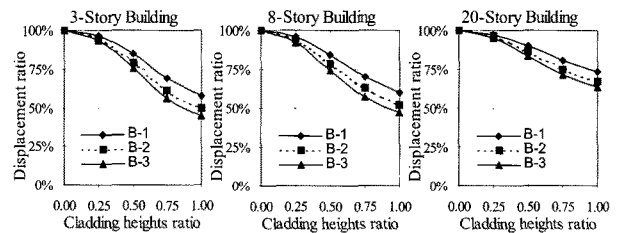


그림 6 측면 변위의 감소율(CASE-B)

율을 벽판높이 비율(벽판높이 대비 층고높이)에 따라 나타낸 것이 그림 5와 그림 6이다. 벽판의 높이가 층고높이와 같을 때(벽판 비율 1.0) 3층, 8층 건물의 경우 CASE-A와 B 경우 모두 약 50%이상의 측면 변위가 저감되었고, 20층 건물의 경우 40%이상 저감되었다.

또한, 벽판과 연결부재의 구조적 기능을 파악할 수 있는 건물 고유주기를 조사하기 위해 동일 건물을 다음의 세 종류로 구별하였다. 먼저, 철골구조물 자체인 1) Bare Frame, 2) Mass Frame: 외부벽판 무게만을 고려한 비구조적 기능을 가짐, 3) Cladding Frame: 외부벽판 무게와 함께 구조적 기능을 고려한 건물로 분류하여 조사하였다.

즉, Mass Frame은 벽판 무게에 의한 고정하중 변화를 고려한 것이고, Cladding Frame은 고정 하중 변화 및 건물 전체의 저항 시스템의 변화를 고려한 것이다. Bare Frame

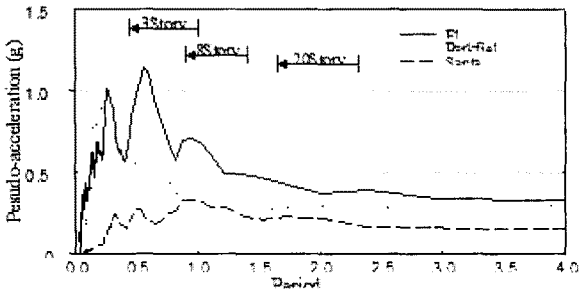


그림 7 다른 주기를 가진 지진의 Response Spectra

의 고유주기는 3층의 경우 0.760초, 8층은 1.422초, 20층은 2.510초로 세 종류 건물의 하중 변화 및 저항 시스템의 변화에 따른 건물 진동주기 결과인 표 2와 비교할 수 있다. Mass 건물의 경우 높이가 큰 판넬일수록 무게가 늘어남으로 고유주기는 증가하고, 반면 Cladding Frame의 경우는 연결재의 강도가 판넬무게로 인한 고유주기변화보다 영향을 많이 줌으로 고유주기는 감소함을 알 수 있다.

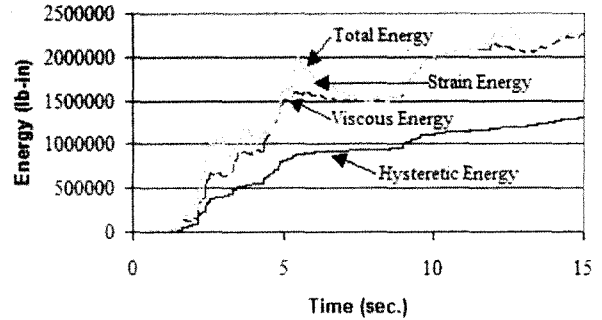
특히, 100% 층고 높이 벽판을 가진 3층 건물의 경우 Cladding Frame은 Bare Frame의 고유주기보다 33%나 작다. 이러한 차이에도 불구하고 현재까지 구조설계자는 벽판과 연결부재의 역할을 무시하고 있어, 향후 내진 설계시 그 영향에 대한 고려가 절실히 요구된다.

4. 비선형 동적 시간 이력 해석

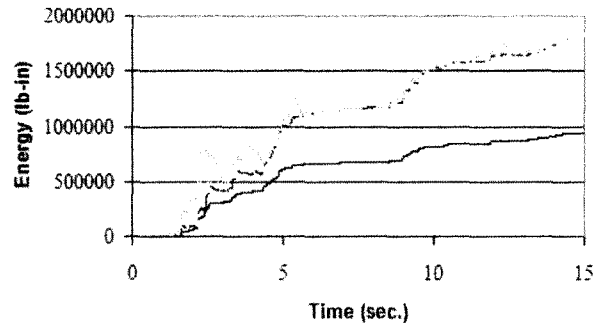
외부벽판과 연결부재의 동적특성을 파악하기 위해 Mass Frame과 Cladding Frame에 대한 비선형 시간 이력 해석 기법을 수행하였다.

각 빌딩은 2차원 요소인 평면 프레임으로 가정하고 지진은 과거 지진 데이터들 중 서로 동적 특성이 다른 1940년 El Centro지진, 1952년 Santa Barbara지진, 그리고 1966년 Parkfield지진을 선택하였다.

이들 지진의 지배 주기의 영역(dominant period range)



(a) Mass Frame



(b) Cladding Frame with CASE A-1

그림 8 에너지-시간 이력

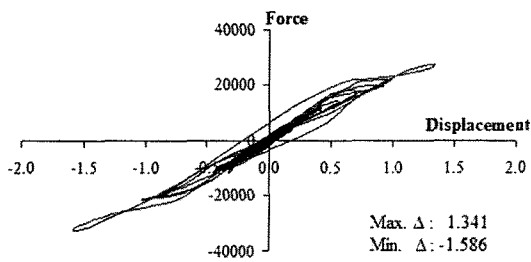
은 그림 7과 같이 Parkfield지진의 경우는 0.2~0.3초이고, El Centro지진은 0.5~0.7초, Santa Barbara지진은 0.7~1.2초로 서로 상이하고 저층, 중층, 고층 건물의 1차 모드 주기 범위와 비교하여 나타내었다.

이들 건물의 진동주기와 지진의 진동주기는 서로 밀접한 상관관계를 가지고 있으며, 만약 이들의 진동 주기가 가까우면 공진현상으로 인하여 건물의 응답은 증폭된다.

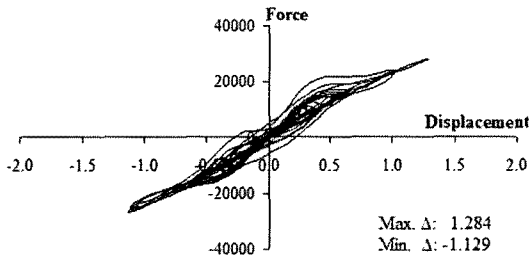
시간 이력 해석에 대한 결과는 모든 지진에 대하여 건물 최상층의 최대 변위가 1차 모드에서 일어났으며, 벽판과 연결부재로 인한 추가된 건물 강성때문에 Cladding Frame의 동적특성이 크게 변화하여 건물의 진동 주기가 최고 33% 감소하였다.

표 3 El Centro 지진에 의한 기둥 전단응력 (단위 : kips)

STORY	Panel Height (hc)	CASE A-1		CASE A-2		CASE A-3		CASE B-2		CASE B-3	
		S. F.	%	S. F.	%	S. F.	%	S. F.	%	S. F.	%
3	0.25	8.780	0.0	8.781	0.0	8.751	0.1	8.791	0.2	8.812	0.3
	0.50	8.631	2.0	8.762	0.1	9.062	-3.2	8.313	5.2	7.769	11.2
	0.75	7.753	12.2	7.588	14.2	6.601	24.9	5.572	37.2	6.392	27.3
	1.00	5.027	43.5	3.978	55.4	4.862	44.9	4.561	47.9	3.782	56.9
8	0.25	5.564	6.2	5.434	8.3	5.251	11.1	5.388	8.3	5.251	11.1
	0.50	4.385	27.3	4.231	29.4	3.634	38.8	4.286	27.8	4.412	25.8
	0.75	3.598	41.2	2.930	50.9	2.513	59.2	3.454	43.9	5.303	13.2
	1.00	2.261	63.3	2.092	65.8	2.719	56.3	4.072	33.8	4.210	32.5
20	0.25	4.199	1.2	4.172	2.1	4.104	4.1	4.156	2.1	4.111	3.2
	0.50	3.658	12.4	3.119	26.1	3.012	28.3	3.312	21.3	3.023	28.4
	0.75	2.791	31.1	2.882	28.8	3.221	21.2	2.941	28.3	3.109	22.8
	1.00	2.572	33.1	3.143	19.4	3.142	19.3	2.769	28.2	2.962	23.4

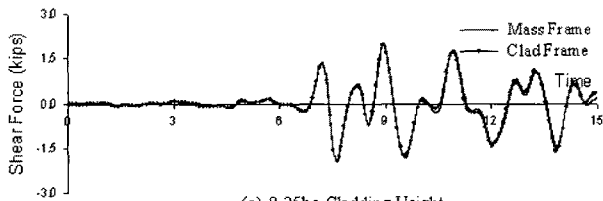


(a) CASE A-1

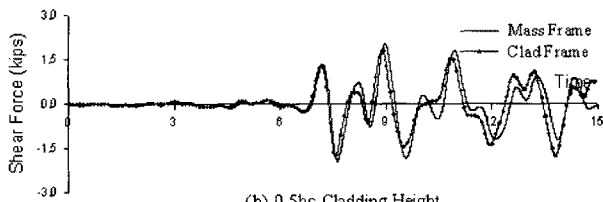


(b) CASE A-3

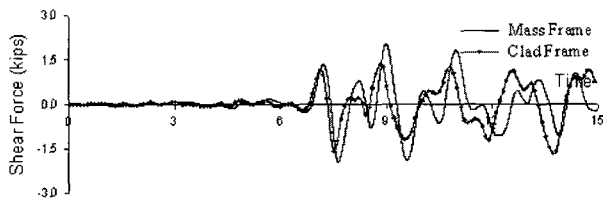
그림 9 연결부재의 이력거동



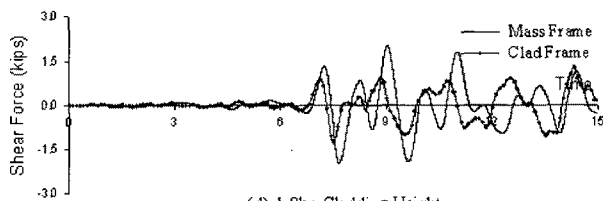
(a) 0.25hc Cladding Height



(b) 0.5hc Cladding Height



(c) 0.75hc Cladding Height



(d) 1.0hc Cladding Height

그림 10 20층 건물의 층전단력 비교: Santa Barbara 지진

또한 표 3에 나타난 것과 같이 최상층 기둥의 전단력을 살펴보면 El Centro지진의 경우 저층, 중층, 고층 철골구조물

모두 Cladding Frame의 전단력이 Mass Frame보다 작았으며 최고 66% 감소됨을 확인 할 수 있었다.

El Centro지진으로 인한 Mass Frame과 Cladding Frame의 에너지-시간 이력을 살펴보면 15초 경과시 전체 에너지가 2,250,000lb-inch에서 1,800,000lb-inch로 20% 감소하였다(그림 8).

Parkfield 지진에 대하여 3층 높이 Cladding Frame의 최상층 연결재의 이력거동은 그림 9와 같고 연결부재 강도가 클수록 최대변위는 감소하였다.

그림 10은 Santa Barbara지진에 대한 20층 건물의 15초간의 시간 이력 응답을 나타낸 것으로, 비구조체로 취급한 Mass Frame과 구조체로 취급한 Cladding Frame의 층전단 응력을 비교하였다. Cladding Frame의 경우 층전단 응력은 벽판 높이가 증가함에 따라 Mass Frame보다 최고 55%까지 감소되는 것을 확인하였다.

5. 결 론

본 연구의 결론은 다음과 같다.

① 건물 외벽을 장식하고 있는 cladding과 연결부재는 일반적으로 비구조체로 취급되고 있으나, 본 연구결과 이들로 인한 전체 건물의 정적, 동적 특성이 현저히 변화하는 것을 알 수 있었다. 특히 연결부재의 역할은 전체 건물의 응답을 크게 변화시켰다.

② 일반적으로 프리캐스트 콘크리트 벽판의 높이가 높을수록 전체 건물의 변위를 저감되는 것을 등가 정적 전단력해석법과 비선형 시간 이력 해석법을 통하여 확인하였다.

③ 또한 Cladding 벽판의 높이가 커질수록 건물의 주요 구조요소들, 특히 기둥의 전단력이 현저히 저하되는 것을 알 수 있었다.

본 연구는 가장 발전된 수동형 내진 제어 방법 중의 하나로써 외부벽판과 연결부재가 건물의 통합된 구조물로 작용할 때, 이들의 추가적인 수평저항력 증가 및 에너지 분산으로 인하여 건물의 변형을 효과적으로 감소시킴을 보여주었다.

참 고 문 헌

- ABAQUS (1996) Hibbitt, Karlsson, and Sorensen, Inc., Pawtucket, RI, USA.
- Byeon, J.S. (1998) Seismic Behavior of Steel Frames with Exterior Cladding Panels, *Proceedings, Korea-US. Technical Conference on Strategic Technologies*,

- Tyson's Corner Marriott Hotel, Vienna, VA., pp.352~359.
- Goodno, B., Pinelli, J.P.** (1986) The Role of Cladding in Seismic Response of Low-rise Buildings in the Southeastern U.S., *Proceedings, The 3rd U.S. National Conference in Earthquake Engineering*, Charleston, S.C., Vol. II, pp.883 ~894.
- Henry, R.M.** (1980) Cladding-Frame Interaction of a Reinforced Concrete Building, Ph.D. Thesis, Department of Civil and Urban Engineering, University of Pennsylvania, PA.
- Henry, R.M., Roll, F.** (1986) Cladding-Frame Interaction, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 11(2), pp.815~834.
- Henry, R.M., Goodspeed, C.H., Calvin, D.L.** (1989) A Simplified Box-Frame Model for Structural Cladding Panels, *Proceedings, Architectural Precast Concrete Cladding Its Contribution to Lateral Resistance of Buildings*, PCI, Chicago, IL., pp.62~79.
- Pinelli, J.P.** (1991) Development of Energy Dissipating Cladding Connections for Passive Control of Building Seismic Responses, Ph.D. Thesis, School of Civil Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia.
- Pinelli, J.P., Craig, J.I., Goodno, B.J.** (1994) Design Criterion for Energy Dissipating Cladding Connections, *Fifth U.S. Nat'l Conf. on Eq. Engrg.*, Chicago, Illinois, pp.1003~1012.
- Pinelli, J.P., Craig, J.I., Goodno, B.J.** (1995) Energy-Based Seismic Design of Ductile Cladding Systems, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 121(3), pp.567~578.
- Craig, J.I., Goodno, B.J., Hsu, C.C.** (1996) Design of optimal passive/active hybrid control systems for earthquake structural control, *Proceedings of Eleventh World Conference on Earthquake Engineering*.
- Smith, S.B., Gaiotti, R.** (1989) Effects of Precast Concrete Cladding on Static Wind Load Response of a Moment Resisting Frame Structure, *Proceedings, Architectural Precast Concrete Cladding Its Contribution to Lateral Resistance of Buildings*, PCI, Chicago, IL., pp.97~109.
- Stein, C.** (1983) A Comparative Study of the Effects of Cladding Panel Modeling on a Structure's Static and Dynamic Behavior, Thesis, University of New Hampshire.
- Uniform Building Code** (1991) International Conference of Building Officials, Whittier, CA.