

스틸하우스 전단벽체의 내진성능평가

Evaluation of Seismic Performance on Shear Walls in Steel House

이재석*
Lee, Jae Seok

이승은**
Lee, Seung Eun

홍건호***
Hong, Geon Ho

김원기***
Kim, Won Ki

국문요약

최근의 건축물 내진 설계 추세에 맞추어, 박판의 냉간성형강으로 제작되는 스틸하우스 전단벽체의 내진 성능을 평가하였다. 시험체는 브레이싱의 종류에 따라 변수를 두었다. 반복가력의 결과로는 에너지소산 능력을 살펴봤는데, 브레이싱 부재로 형강을 사용한 시험체가 판재를 사용한 시험체 보다 우수하였다. 또한, 유사동적실험을 통해서 판재를 사용한 전단벽체 보다, 스틸하우스 전단벽체 중 하나인 X-브레이싱 형태와 유사한 X2SPCH의 내진성능이 비교적 우수함이 판명되었다.

주요어 : 유사동적실험, 에너지소산, 내진성능, X-브레이싱 전단벽체

ABSTRACT

This study estimates steel house shear wall's seismic performance depending on trend of seismic design.

As a result of cyclic-test, the capability of energy dissipation about X1SPCH during this test is good enough. The capability of energy dissipation of X3SPCH and X4SPCH was better than that of X1SPCH. The X2SPCH which is similar to real X-braced shear wall has better seismic performance than shear wall braced with structural sheathing materials on pseudo-dynamic test.

Key words : Pseudo-dynamic Test, Energy Dissipation, Seismic Performance, X-bracing shear wall

1. 서론

스틸하우스는 우수한 시공성 및 주요 구조부의 내구성, 보온·단열성, 환경 친화적인 철강재의 사용에 따른 건설재료의 재활용성(Recycling)등의 장점들이 부각되면서 건설 및 연구가 활발하게 진행되어 오고 있다. 스틸하우스는 구조적인 측면에서, 일반구조물의 기둥-보 방식과는 달리, 적용하중을 등분포하중으로 처리하는 내력벽 방식으로 설계하는 것이 일반적이다. 또한 이 부재의 연결이 스크류를 통한 핀접합으로 이루어짐에 따라 횡력에 대한 안정성에 문제가 있을 수 있고, 이에 수평하중에 저항할 수 있도록 가새나 합판 등에 의한 전단벽체를 횡력저항 시스템으로 이용하게 된다.

2. 연구 목적

가새나 합판을 면재로 적용한, 내풍성과 관련한 전단벽체의 전단성능에 관한 평가 연구는, 이미 "취덩재를 사용한 스틸하우스 전단벽체의 전단성능 평가" 연구(2000. 2~7)를 통하여 수행되었으며, 특히 경량강판을 사용한 X형 가새 골조의 거동을 살펴보면, 단조하중의 경우 높은 전단강도(Shear Strength)와 3% 정도의 상당한 전단변형각(Angle of Shear Deformation)이 진행된 후에도 강도저하가 발생하지 않아,

우수한 구조형식으로 평가되었다.⁽¹⁾ 한편, 내진성능평가는, 가새나 합판을 면재로 적용한 전단벽체의 강도 뿐만 아니라, 연성도 및 에너지 소산율을 모두 고려해야 한다.

강도, 연성도, 에너지소산을 모두 고려하는 정확한 구조체의 내진성능 평가를 위한 최근의 실험적인 연구방법으로 준정적 실험기법(quasi-static test), 유사동적 실험기법(pseudodynamic test), 또는 진동대 실험기법(shaking table test)등을 수행할 수 있다. 이러한 내진성능평가 실험 방법들 중, 준정적 실험기법은 하중이력(Load History)또는 변위 이력(Displacement History)을 미리 설정하여 수행하는 방법으로서 비탄성 내지는 비선형을 고려하는 경우에 문제점이 있고, 진동대실험기법은 질량(Mass)에 해당되는 부분이 설치되어 있어야 하며, 축소 모델 시험체를 이용하는 경우에 어려움이 있다. 이 두 가지를 보완한 유사동적실험기법은 다소 오차가 발생할 우려가 있지만 강도, 연성도, 에너지소산 능력, 감쇄효과(Damping Effect)를 모두 고려한 비교적 우수한 방법이라 할 수 있겠다.

따라서, 본 실험적 연구의 목적은 전단벽체의 보다 정확한 내진성능평가에 있으며, 이를 위하여 본 연구에서는 X형 가새로 전단내력을 확보하는 스틸하우스 구조의 내진성능을 유사동적실험기법을 사용하여 실험적으로 평가하는데 있다.

3. 실험 계획 및 방법

3.1 본 연구의 실험계획

실험장치의 주요 구성성분 중 실험에 영향을 미칠 수 있는 장치부분을 ①가력장치부분, ②가력용 보강부재 부분, ③패

* 포항산업과학연구원 경량구조연구팀, 연구원(대표저자 : jslee93@rist.re.kr)

** 포항산업과학연구원 경량구조연구팀, 선임연구원

*** 호서대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

**** 정희원 : 호서대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

본 논문에 대한 토의를 2002년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다. (논문접수일 : 2002. 10. 29 / 심사종료일 : 2002. 11. 15)

널의 면외방향 변위제어부분, ④시험체하단부 지지방법, ⑤ 변위측정 위치 등 5가지로 구분하여 각 부분의 장치 구성을 표준 및 기존의 연구방법을 분석하여 구성하였으며, 실험장치의 전경은 다음의 사진1과 같다.

3.2 본 연구의 실험방법

본 연구의 반복가력 실험방법은 포항산업과학연구원에서 연구하였던 “쉬딩재를 사용한 스틸하우스 전단벽체의 전단 성능 평가” 및 兵田伸 -외 4명이 일본건축학회에서 발표한 “스틸하우스 내력벽의 기준 내력을 구하기 위한 면내전단시험-시험방법”을 참고로 하였으며, 그 방법은 다음과 같다.(사진 1 시험체 설치 전경 참고)

- ① 선행실험한 단조하중 Control 시험체의 하중-전단변형각 곡선에서 항복점 변위를 계산한다.
- ② Control 시험체에 대한 Pilot Test(반복하중 가력)를 거쳐 예상 최대하중 및 변위를 측정해보고, 가력 Cycle을 점검하며, 각 측정장치의 이상유무를 검토한다.
- ③ 실험전 예상극한하중의 10%를 정방향으로 선행 가력한 후 5분간 유지한다. 이 상태에서 모든 장치를 세팅한 후, 하중을 제거하여 5분간 기다린 후 모든 측정계이치를 초기화한다.
- ④ 반복가력시험은 변위제어방식을 사용하며, 각 하중단계별로 하중의 유지시간은 측정이 충분히 이루어질 수 있는 시간을 부여하고, 실험간 모든 이벤트 시간을 기록·유지한다. 변위의 한 증분에 대하여는 5 Cycle을 시험하는 것을 원칙으로 한다.
- ⑤ 단조하중 Control 시험체에서 구한 항복점 변위의 50%, 100%, 200%, 400%, 600%, 800%로 하며, 800% 이후로는 400% 씩의 항복점 변위를 추가하는 방식으로 각 단계별 5 Cycle의 실험을 실시한다.

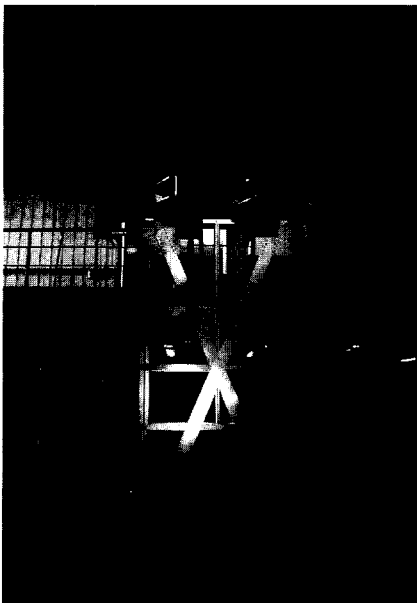


사진 1 시험체 설치 전경

⑥ 실험은 최대하중 도달 후 최대하중의 80%까지 하중이 저하되거나, 80%까지 하중이 저하되기 전에 전단변형각이 1/30 rad. 이상이 되면 실험을 종료하며, 이 때의 변형량을 종국변위로 한다. 실험도중 시험체 면재가 탈락되거나 시험체가 파괴된다면, 그 시점의 강도 및 변위를 종국 강도 및 변위로 한다.

또한, 본 연구의 유사동적 실험방법은 다음과 같다.

- ① 항복 변위의 약 10%를 정방향으로 가력한 후, 그 결과로 각 시험체의 강성 k 값을 산정한다.(단위 : tf/mm, kN/mm)
- ② 선행 하중을 제거하고 5분간 대기한 뒤, 모든 측정 계이치를 초기화 한다.
- ③ 위에서 산정한 강성 k 값과 질량 m 과 Damping값 등을 산정한다. 또한, 입력 지진파의 Scale Factor(Megnification Factor)를 산정하고, Time Increment 등을 지정한다.
- ④ 이상의 모든 값들로 Simulation Mode 용 Input Data를 작성하고 이를 MTS Pseudo-dynamic Program에 입력하여 Simulation Mode를 실행한다.
- ⑤ Simulation Mode가 완료되면, Output Data를 확인하고, 변경되어야 할 사항들을 수정한 후, Real Test에서 사용될 새로운 Input Data를 작성한다.
- ⑥ 유압을 가동하여 가력기를 setting 한 후, Real Test 용 Input Data를 사용하여, 유사동적실험을 실시한다.
- ⑦ 실험완료 후 Output Data를 확인하고, Simulation Mode와 Real Test의 결과를 비교, 분석한다.
- ⑧ 이러한 과정을 계획되어진 시험체 별로, 또한 지진파의 종류와 최대지반가속도의 크기별로 각각 그 변수들을 적용해 가면서 실험을 행한다.

3.3 시험체 현황

본 연구와 반복가력실험과 유사동적실험에 따른 시험체 변수는, 반복가력의 경우 브레이싱 및 면재의 종류에 따라, 유사동적실험의 경우 브레이싱 및 면재의 유무에 따라 위의 표 1과 같이 분류하였고, 시험체의 현황은 그림 1과 같다.

시험체는 브레이싱의 종류에 따라 일반 박판과 립, 경 T형강 세 종류로 나누어진다. 강판은, 각각의 단면적은 동일하되, 한 면에 적용한 것과 양면에 적용한 것이 있으며, 각 종류의 브레이싱들은 거셋플레이트로 스티드와 브레이싱을 연결하였다.

한편, 각 시험체에 일반적으로 시공하는 면재의 성능을 구현하기 위해, 스티드 좌굴 길이의 4등분점 3곳에 보강스트랩을 설치하여 실험하였다. 시험체의 크기는 일반적으로 스틸하우스 주택의 시공에 직접적으로 적용할 수 있는 표준 높이인 2.4m를 기준으로 하였으며, 스티드의 간격은 600mm를 기준으로 벽체의 폭 1.2m인 경우를 실험하여 변화를 분석하였다. 벽체의 고정을 위한 시험체 하단부의 앵커볼트의 간격은 미국 NAHB 스틸하우스 설계요령집의 규정(Table 5.1)에

표 1 시험체 현황

No	시험체 명	내용			비고
		Bracing($A_g=2.2\text{cm}^2$)	면재(양면)	보강 스트랩	
▶ Cyclic Test					
1	X1BPCH	PL-185×1.2	합판9mm, 석고보드12mm	-	
2	X1SPCH	PL-185×1.2	-	좌굴길이의 4등분점	
3	X2BPCH	2PL-110×1.0	합판9mm, 석고보드12mm	-	
4	X2SPCH	2PL-110×1.0	-	좌굴길이의 4등분점	
5	X3SPCH	립C-140×40×12×1.0(140SL10)	-	-	
6	X4SPCH	경C-140×40×40×1.0(140TC10)	-	-	
▶ Pseudodynamic Test					
7	X2PDH-E15	2PL-110×1.0			EI Centro 0.15g
8	X2PDH-K15				Kobe 0.15g
9	X2PDH-E20				EI Centro 0.2g
10	X2PDH-K20				Kobe 0.2g
11	C151PDH-E15	-	합판9mm, 석고보드12mm	-	EI Centro 0.15g

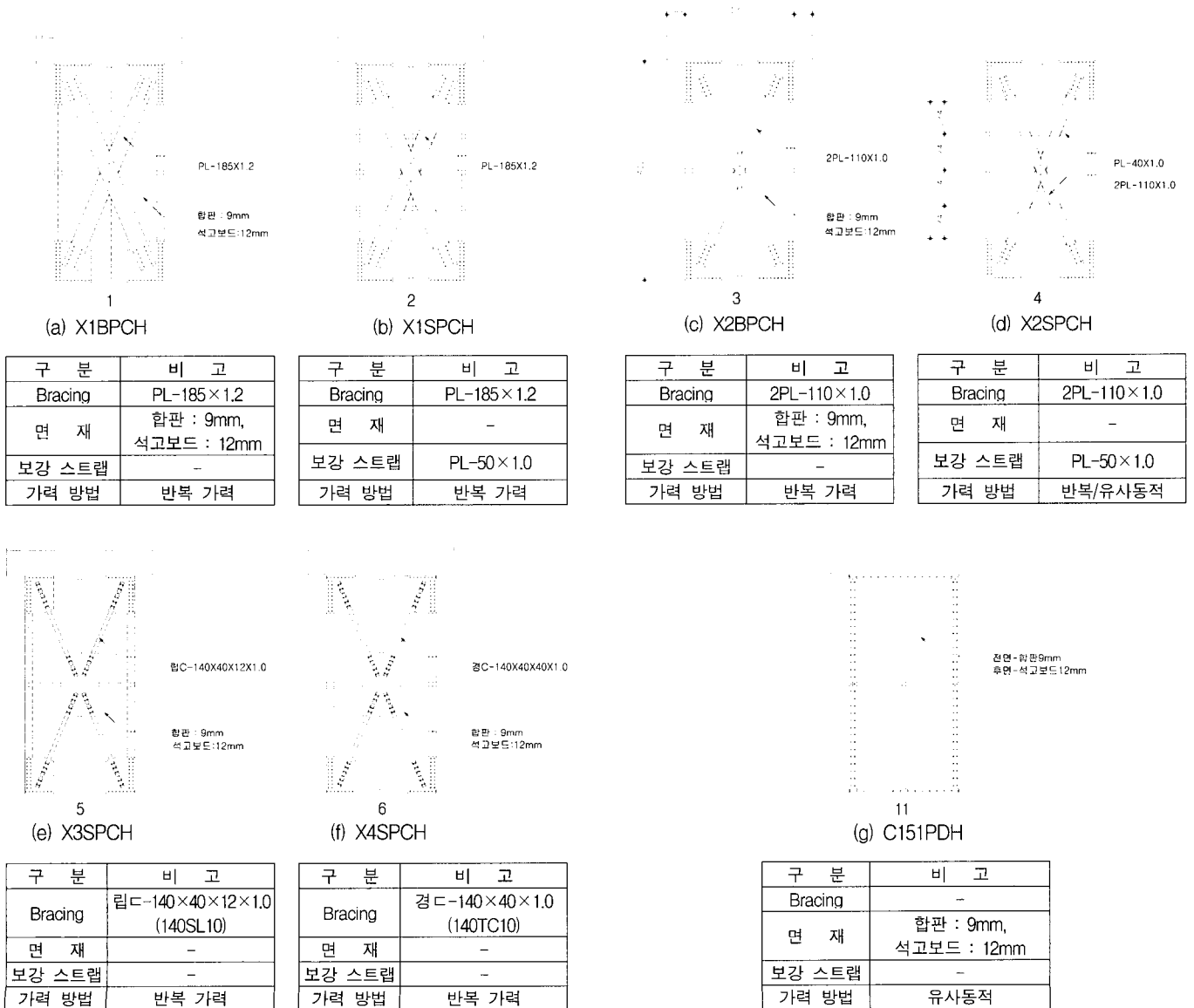


그림 1 시험체 현황

준하여 1.2m 간격의 앵커볼트를 매립하여 사용하였고, 이 때 벽체의 양단부에 설치한 Holdown(기초와 벽체를 결속하는 철물)으로 지지되는 경우를 실험하여 시험체 내력변화를 분석하였다. 또한, 구조용 면재는 일본의 스틸하우스 구조계산 지침에 명시되어 있는 구조용 면재의 기준을 준용하여 구조용합판(Plywood) 9mm이상의 부재로 적용하였으며, 접합나사의 간격은 구조용 면재를 벽체와 일체화시킴으로써 면재의 전단내력을 최대로 발휘할 수 있도록 보장하기 위한 중요한 변수로서, 기존의 연구결과 및 현재 국내 스틸하우스 시공상황 등을 종합하여 외부 150mm, 내부 300mm의 경우에 대하여 실험하였다.

4. 실험 결과

4.1 전단내력 및 하중-전단변형 관계

반복하중이 작용된 경우의 내력값을 비교하여 보면, 시험체가 X브레이싱으로 횡보강된 부재와 마찬가지로 횡저항 구조로서의 사용이 가능함을 알 수 있다.

본 연구의 실험결과에서 시험체의 극한내력이 발생하게 되는 부재의 전단변형각은 대부분 JIS A 1414 규준에서 제시하고 있는 0.02rad. 이상의 값이 나타남으로, JIS 규준을 적용한 내력산정에도 큰 문제가 없을 것으로 판단된다. 한편, 실험시간의 단축을 위하여 3cycle의 가력 후 곡선의 변화가 거의 관찰되지 않는 경우에는 이후의 Cycle을 생략하고 다음 단계의 하중을 가력하도록 하였다. 이와 같은 실험방법은 초기 control시험체를 대상으로 3cycle의 실험과 5cycle의 실험결과가 큰 변화를 보이지 않음에 따라 타당한 것으로 판단되어 실행한 것이다.

다음의 표 2는 실험의 종료시점 및 시험체별 가력 cycle 단계를 정리한 것이다.

표 2 시험체 파괴 시 가력 cycle 단계

시험체명	가력 cycle 단계
X1BPCH*	400% : 48mm
X1SPCH*	400% : 48mm
X2BPCH*	200% : 24mm
X2SPCH	600% : 72mm
X3SPCH	200% : 24mm
X4SPCH	400% : 48mm

※ ‘*’ 표시의 시험체는 해당 단계의 실험 중 상부가력부 보강부재인 300JL22의 Torsion으로 실험을 중단한 시험체를 의미함.

시험체의 가력 cycle 단계는 결과적으로 시험체 파괴 시의 전단변형각의 값과 연계되며, 또한 하중-전단변형각 곡선의 기울기와 함께 시험체의 에너지 흡수능력을 결정하게 됨에 따라 궁극적으로는 벽체의 연성도 결정에 큰 영향을 미치게 된다.

본 실험의 결과를 살펴보면, 대부분의 시험체가 항복변위의 400% cycle의 시험을 완료하고 파괴되는 양상을 나타내었으며, 양면을 강판 브레이싱으로 사용한 X2SPCH의 경우는 비교적 우수한 실험결과를 나타내었다.

X4SPCH 시험체의 경우, 초기의 강성 및 에너지소산능력은 비교적 양호하였으나, 브레이싱부재의 파단으로 시험이 더 이상 진전되지 못하고 종료되어, X2SPCH 시험체의 경우 보다는 연성능력이 다소 작음을 알 수 있었다.(시험체의 파괴양상은 부록의 사진 참조)

시험체별 최대하중 및 변위와 일본의 兵田伸一 등이 제안한 항복하중 및 항복변위에 대한 분석결과를 정리한 것은 표 3과 같은데, 이 결과에 의하면, 항복하중 비는 양면을 강판 브레이싱으로 사용한 X2SPCH가 다른 시험체에 비해 값이 비교적 크게 나왔으며, 소성배율의 경우, X2SPCH, X3SPCH의 값이 비교적 양호한 것으로 나타났다.

그림 2는 각 시험체의 하중-전단변형각 결과를 나타낸 것이다. 여기서, 거의 모든 시험체의 전단변형각 최대치가 0.02rad.을 넘고 있음을 알 수 있으며, 이는 모든 시험체의 실험이 국내 및 국외의 문헌에 나타나 있는 값들과 마찬가지로 비교적 양호함을 알 수 있다.

표 3 벽체의 허용전단강도 비교(단위 : tf)

시험체명	최대전단강도	전단 변형각 0.02rad.	일본 환산식	허용전단강도 I	허용전단강도 II
X1BPCH	3.96	3.96	1.38	1.98	1.58
X1SPCH	2.08	1.9	0.82	1.04	0.83
X2BPCH	4.20	4.01	1.48	2.1	1.68
X2SPCH	2.53	2.5	1.67	1.27	1.01
X3SPCH	3.87	2.95	1.46	1.94	1.55
X4SPCH	3.07	3.05	1.41	1.54	1.23

4.2 허용전단강도

벽체의 허용전단강도는 실제 극한 전단내력의 값에 적절한 안전율을 고려하여 결정하여야 한다.

일본의 兵田伸一 등이 제안한 벽체의 허용전단강도와 미국의 NAHB에서 안전율 2로 제안한 허용전단강도의 값(허용전단강도 I)을 비교하여 보면, 안전율 2를 사용한 NAHB의 제안값이 일본의 제안값보다 전체적으로 내력을 과대평가하는 경향이 있으며, 안전율 2.5로 제안한 허용전단강도(허용전단강도 II)의 경우에는 대체적으로 유사한 값을 나타내었다. 따라서 시험체의 최대내력은 안전율 2.5로 나눈 값을 허용전단응력도로 사용하는 것이 타당하다고 판단되며, 이러한 결과는 표 3과 같다.

4.3 에너지 소산능력

반복가력을 통한 스틸하우스 전단벽 시험체의 내진성능 평가를 위해서는 에너지 소산능력의 평가가 중요하다.

본 연구에서는 에너지 소산능력의 평가방법으로 최대 에너지 소산식과 에너지소산지표를 기준으로 한 에너지 소산율의 비교를 통하여 내진성능을 평가하였다.

에너지 소산능력의 표현과 에너지 소산 지표 및 소산율을 구하는 식은 다음과 같다.

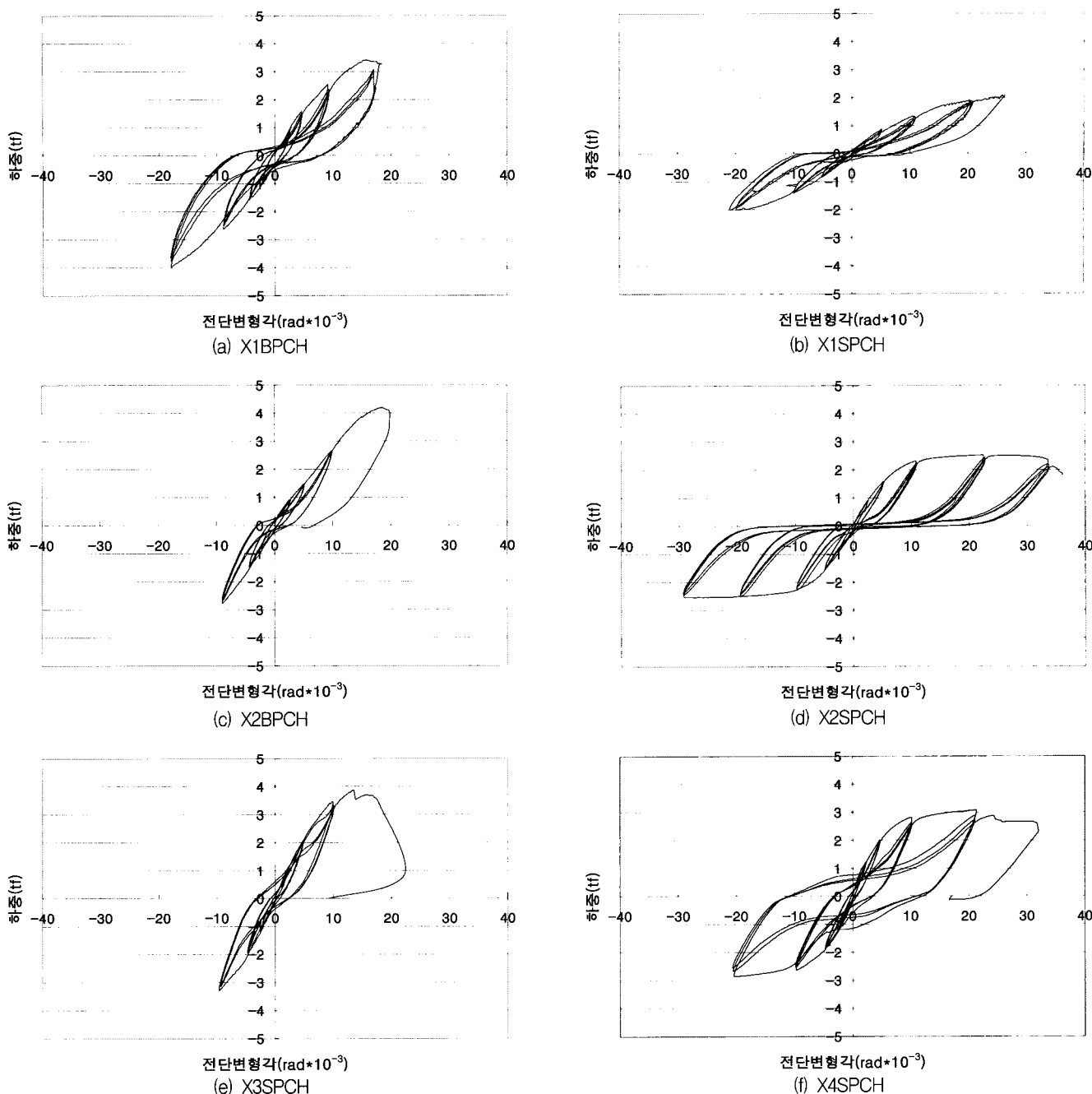


그림 2 시험체의 하중-전단변형각 관계

1) 에너지 소산식

$$E_D = \int_0^m P d\Delta - \frac{P_m \Delta_m}{2}$$

2) 에너지 소산 지표

$$D = \frac{E_D}{0.5P_y \Delta_y}$$

여기서,

P_y : 항복하중을,

Δ_y : 항복변위를 나타낸다.

3) 에너지 소산율

$$\frac{E_D}{D}$$

위의 식에 의해 구한 값의 결과를 정리하면 표 4와 같다. 각각의 값을 보면, 경도 형강을 브레이싱으로 사용한 X3SPCH의 경우가 소산능력이 가장 양호하며, 판재 브레이싱을 사용

표 4 에너지소산능력의 비교

시험체명	항복하중 (tf)	항복변위 (mm)	에너지 소산의 합 (tf-mm)	에너지 소산 지표 (tf-mm)	에너지 소산율
X1BPCH	2.50	20.30	407.7	15.93	25.59
X1SPCH	1.27	22.73	210.51	14.58	14.44
X2BPCH	2.64	20.83	152.22	5.54	27.48
X2SPCH	1.67	12.10	487.73	17.74	27.49
X3SPCH	3.37	21.39	233.96	6.49	36.05
X4SPCH	2.80	22.85	511.64	15.99	32.0

한 X2SPCH의 경우에도 비교적 양호함을 알 수 있다.

4.4 유사동적 실험의 결과

4.4.1 Input Data

본 연구에서 사용된 시험체들 중 소산능력이 가장 좋은 X2SPCH를 주 시험체로 정하고, 현재 스틸하우스 전단벽체로 사용하고 있는 면재가 있는 전단벽체를 참고문헌⁽⁷⁾을 통하여 유사동적실험의 대상으로 삼았다.

또한, 이 실험에 사용될 입력데이터들은 유사동적 선행실험들에 의해 결정하였다.

입력지진파는 가장 널리 사용되며 그 테이타들의 효용성과 경험들이 입증된 El Centro NS 지진파와 또한 최근에 일어난 비교적 많은 피해와 강한 지진력을 가진 것으로 평가된 Kobe EW 지진파를 사용하였다.

전단벽체가 국내의 지진구역 I에 해당하는 값인 0.11g를 충분히 경험할 수 있는지, 또한 그 이상의 값에서 소성변형하여, 충분한 내력을 확보할 수 있는지를 검증하기 위해 El Centro NS 지진파와, Kobe EW 지진파 각각 0.15g, 0.2g 값을 적용하였다.

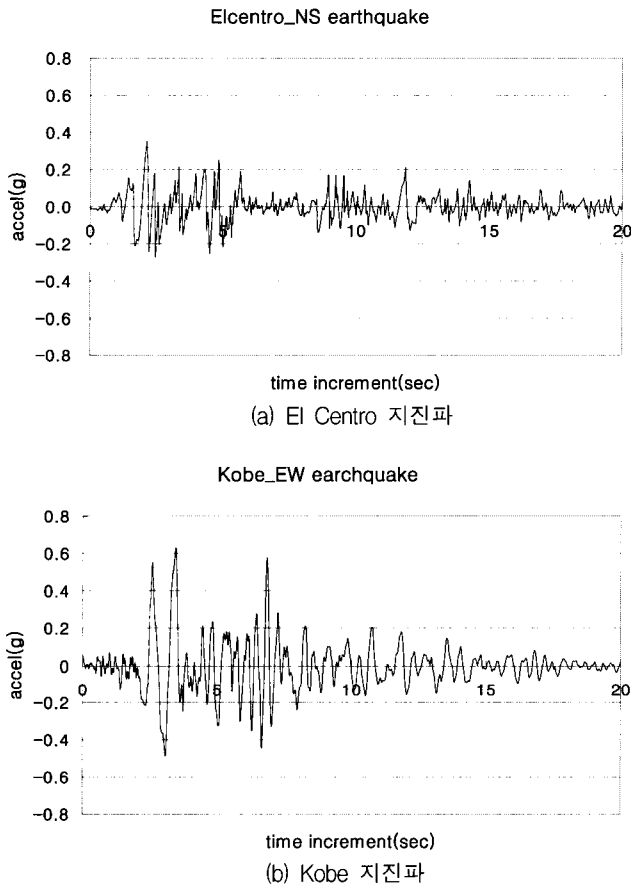


그림 3 입력지진파의 가속도

4.4.2 Output Data

다음의 그림 4는 각 시험체의 real mode의 결과에 대한 하중-변위관계를 나타낸 것이다. 각 시험체의 simulation mode의

결과와 real mode에 의한 가속도값 결과는 참고문헌⁽²⁾를 참조하기 바란다. 그림 4에서 보는 바와 같이 면재를 적용한

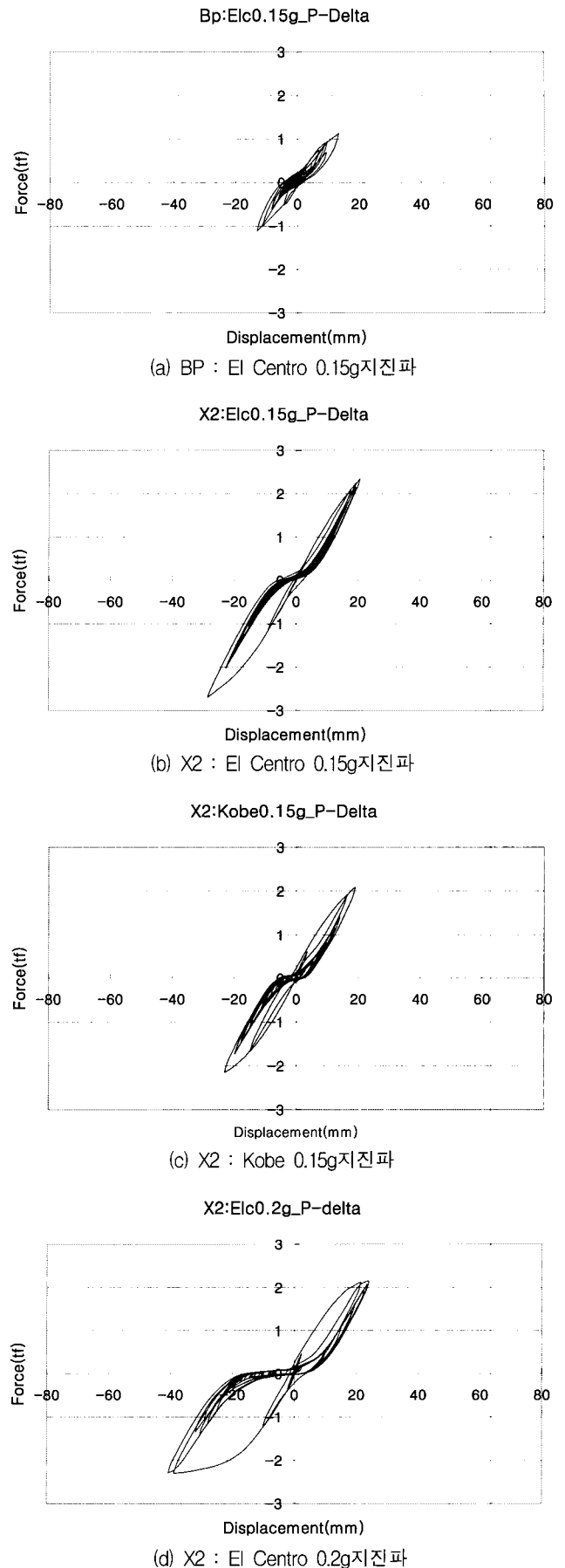
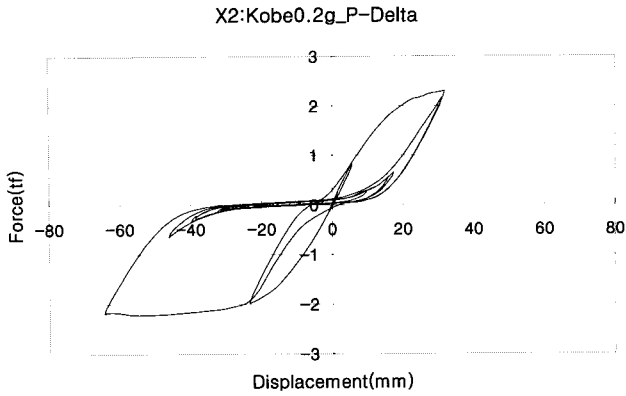


그림 4 유사동적실험 결과 : 힘-변위 관계



(e) X2 : Kobe 0.2g지진파

그림 4 유사동적실험 결과 : 힘-변위 관계(계속)

BP시험체의 경우는 스틸하우스에 사용되는 면재를 적용한 전단벽체의 수가 브레이싱을 적용한 전단벽체의 수보다 많으므로, 이를 적용한 BP시험체는 X2시험체에 비하여 결과값이 상대적으로 적었으며, 각 지진파의 종류에 따른 X2시험체들의 결과값은 BP시험체에 비하여는 상대적으로 컸으나, 국내의 내진규모 I에 해당하는 값인 0.11g를 비롯하여 0.2g까지도 충분히 만족하는 것을 알 수 있었다.

5. 해석

유사동적 실험의 결과 예측 및 비교를 위하여, 실험에 앞서 El centro 지진파와 동일한 조건을 MIDAS GENw으로 모델링 하여 해석하였다. 해석결과와 가속도 값과 실험값을 비교하였으며, 그 결과는 다음의 그림 5와 같다. 그림 5에서 보는 바와 같이 해석값과 실험값의 가속도 Peak치와 각 Peak 점에서의 가속도의 발생 유형이 유사한 것으로 미루어, 실험의 결과를 대체로 만족한다고 볼 수 있겠다.

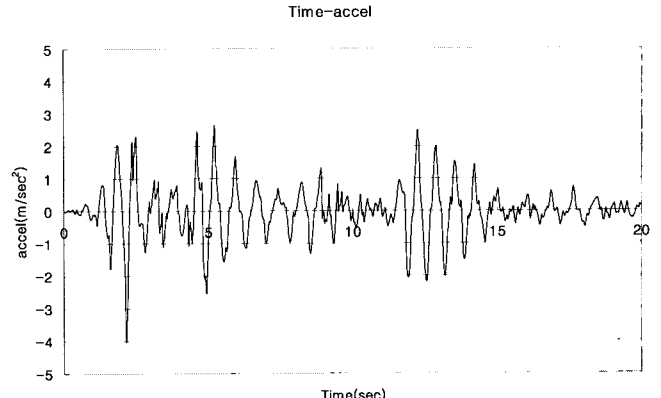
6. 결과의 분석

6.1 반복가력실험

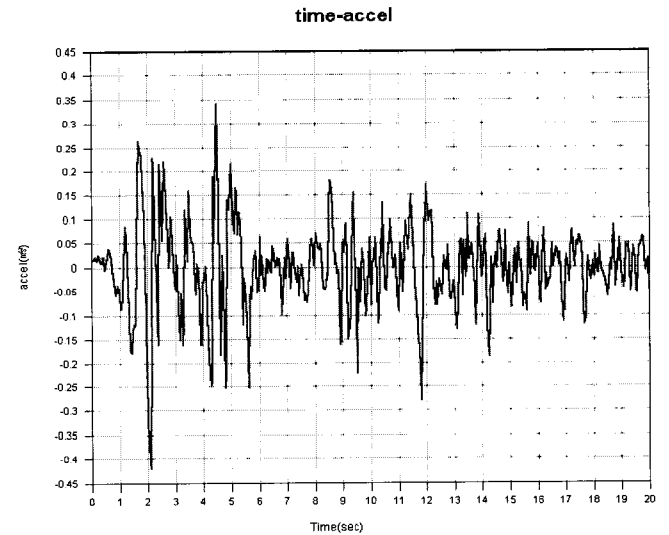
전단벽체의 반복가력실험으로 얻은 하중-전단변형, 하중-변위의 관계로, 스틸하우스 전단벽체의 전단내력 및 연성도, 에너지 소산율 등을 알 수 있다. 전단강도의 경우는 면재를 적용한 종류(X1B-, X2B-)와 스테드(립D형강)를 브레이싱으로 사용한 시험체(X3SPCH)가 비교적 우수한 결과를 나타내었고, 연성도와 에너지 소산율의 경우는, 양면에 브레이싱을 적용한 종류(X2S-)와 스테드, 트랙(경D형강)부재를 브레이싱으로 적용한 경우(X3S-, X4S-)가 비교적 우수한 결과를 나타내었다.

6.2 유사동적실험

유사동적 실험에서는 kobe 0.2g의 지진파를 입력한 경우를 제외하고는 대체로 안전한 탄성의 범주라 할 수 있겠고, 또한 이는 국내의 지진 I 규모를 견딜 수 있는 충분한 내력을



(a) 실험결과



(b) 해석결과

그림 5 실험결과와 해석결과와의 비교(가속도)

확보한 것으로 판단할 수 있다. 결과적으로, 한 면의 강판을 사용한 시험체(X1SPCH)는 인장에 비해 압축에 대한 내력이 부족함으로 내력 및 에너지 소산능력이 비교적 미흡하게 나타남을 알 수 있었다.

7. 결 론

이상에서 보는 바와 같이 스틸하우스 X형 가새(브레이싱) 전단벽체의 반복가력 및 유사동적실험을 통한 내진성능 평가에 대한 실험에서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 허용전단강도는 양면 브레이싱을 적용한 X2SPCH와 경D형강을 사용한 X3SPCH 시험체의 성능이 비교적 우수함을 알 수 있다.
- 2) 에너지 소산능력 및 내진성능면에서는 양면판재 브레이싱의 X2SPCH와 스테드 브레이싱의 X3SPCH 시험체가 우수하였다.
- 3) X-형 가새를 사용한 스틸하우스 전단벽체의 내진성능을 위와 같이 평가하였으며, 실제 스틸하우스에 적용된 전단벽체 등의 내진성능의 평가 및 이에 대한 현장적용이 추후에 연구되어야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 포항산업과학연구원, "쉬딩재를 사용한 스틸하우스 전단벽체의 전단성능 평가", 2000. 7.
2. 포항산업과학연구원, "스틸하우스 전단벽체의 유사동적 실험", 2001. 8.
3. 강재구락부 (일본), "스틸하우스 구조계산지침", 1996.
4. 兵田伸一 외 4, "스틸하우스 내력벽의 기준내력을 구하기 위한 면내전단시험-시험방법", 일본건축학회학술강연집, 1998.
5. Kim, W. K., "Seismic-response analysis and design of composite building structures", PhD. Thesis, Lehigh Univ, 1991.
6. NAHB, "Prescriptive method for residential cold-formed steel framing 3rd Edition", 1998. 1.
7. MTS System Co. "FlexTest™ II m 2.2A program for pseudodynamic testing," TestStar™ by the UCB, 1997.