

파형강판벽의 등가 양방향 대각 스트럿 모델을 이용한 기존 건물의 내진성능 평가

Seismic Performance Evaluation of Existing Buildings Using Equivalent Double Diagonal Strut Model for Corrugated Steel Plate Walls

이 창 환*
Lee, Chang-Hwan

손 주 기**
Son, Joo-Ki

Abstract

A corrugated steel plate wall (CSPW) system is advantageous to secure the strength and stiffness required for lateral force resistance because of its high out-of-plane stability. It can also stably dissipate large amounts of energy even after peak strength. In this paper, a preliminary study has been carried out to use the CSPW system in the seismic retrofit of existing reinforced concrete (RC) moment frame buildings. The seismic performance for an example building was evaluated, and then a step-by-step retrofit design procedure for the CSPW was proposed. An equivalent analytical model of the CSPW was also introduced for a practical analysis of the retrofitted building, and the strengthening effect was finally evaluated based on the results of nonlinear analysis.

Keywords : Corrugated steel plate wall, Equivalent diagonal strut, Existing building, Seismic performance evaluation

1. 서론

국내의 내진설계기준은 1988년 처음 제정되었고, 이후 여러 차례 개정을 거치면서 내진설계 대상 건물의 범위가 확대되어 왔다. 그러나 신축 건물만을 적용 대상으로 하기 때문에 준공 당시 내진설계의 적용을 받지 않은 기존 공공시설물에 대한 내진성능 확보를 위해 2008년 3월 지진재해대책법이 제정된 바 있다. 이 법은 2015년부터 지진·화산재해대책법으로 개정되었으며, 현재는 2단계 기본계획(2016~2020년)에 따른 내진보강사업이 추진 중에 있다. 행정안전부는 보도자료¹⁾를 통해 2018년 말 기준 총 187,950개소 중 62.3%에 해당하는 기존 공공시설물의 내진성능을 확보했다고 발표하였다. 그러나 전체 31종 시설물 중 공공건축물과 학교시설의 내진율은 각각 35.1%와 36.7%로 낮게 나타나 내진성능 확

보가 지속적으로 요구되는 실정이다.

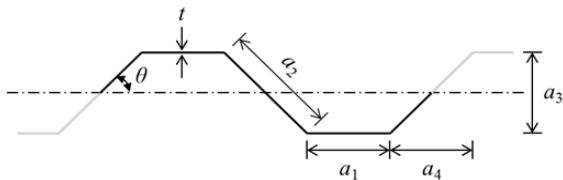
계획적 측면에서 기존 건물의 내진보강은 강도 및 강성 증가, 연성 증가, 하중 저감 등의 방법이 취해지며, 공법의 보편성 여부에 따라 일반 공법과 특수 공법으로 분류된다. 감쇠장치의 경우 특수 공법으로 구분되며, 2016년 개정된 건축구조기준²⁾에 감쇠시스템에 대한 규정이 포함되면서 제진시장 확대의 기반이 마련되었다. 이를 바탕으로 최근 고층 공동주택을 중심으로 한 신축 건물뿐만 아니라 내진보강을 위한 기존 건물에도 적용 범위가 확장되고 있다.

파형강판벽(Corrugated Steel Plate Wall, CSPW)은 <Fig. 1>과 같이 자체적으로 굴곡진 형상을 하고 있어 면의 방향 좌굴에 대한 높은 안정성을 가진다. 이로 인해 평판을 적용한 경우에 비해 얇은 판 두께(t)로 수평력에 요구되는 강도 및 강성을 확보할 수 있다³⁾. 또한 지중이 작기 때문에 지지 구조의 경량화가 가능하며, 최대하중 이후에도 많은 양의 에너지를 소산할 수 있어 감쇠장치로 적용되기에 유리하다. Mo & Perng(2000)은 철근콘크리트(RC) 골조에 파형강판벽을 설치하여 실험적 성능을 평가하였고⁴⁾, Essa, Tremblay & Rogers(2003)는 강재 데크의 면내 다이아프램 성능을 평가하기 위해

* 교신저자, 정회원, 부경대학교 건축공학과 조교수, 공학박사
Department of Architectural Engineering, Pukyong National University
Tel: 051-629-6087 Fax: 051-629-7084
E-mail: chlee@pknu.ac.kr

** 학생회원, 부경대학교 건축공학과, 석사과정
Department of Architectural Engineering, Pukyong National University

강관-골조 및 강관-강관 연결부를 주요 변수로 한 구조 실험을 수행하였다⁵⁾. Yi et al.(2008) 및 Lho et al. (2014)은 전단좌굴 거동에 관한 연구를 수행하였고^{6),7)}, Emami, Mofid & Vafai(2013)는 파형강판의 파 진행 방향을 변수로 하여 실험적 성능을 평가하기도 하였다⁸⁾.



〈Fig. 1〉 Configuration of Corrugated Steel Plate Wall (CSPW)

전술한 바와 같이 파형강판벽과 관련된 다수의 연구가 수행되었으나 시스템의 구조적 거동 특성을 규명하기 위한 내용이 대다수이며, 반복 이력모델은 아직 정립되지 않은 실정이다. 한편 파형강판벽은 골조와의 연결부 상세가 매우 중요하기 때문에 신축 건물에 적용이 용이하지만^{9),10)}, 강진 지역인 일본에서는 기존 RC조 건물의 내진보강을 위한 목적으로도 적용되고 있다^{10),11)}.

이러한 배경으로 본 논문에서는 기존 RC 모멘트골조 건물의 내진보강에 파형강판벽 시스템을 적용하기 위한 예비 연구를 수행하였다. 예제 건물을 대상으로 내진성을 평가한 후 내진설계기준 및 기존 이론에 기반하여 제안된 파형강판벽의 보강설계 절차를 단계적으로 설명한다. 또한 보강된 건물의 구조해석에 실용적으로 적용하기 위해 파형강판벽에 대한 등가 해석모델을 도입하였고, 이를 적용한 비선형해석 수행 결과로부터 보강 효과를 평가한다.

2. 대상 건물 내진성능 검토

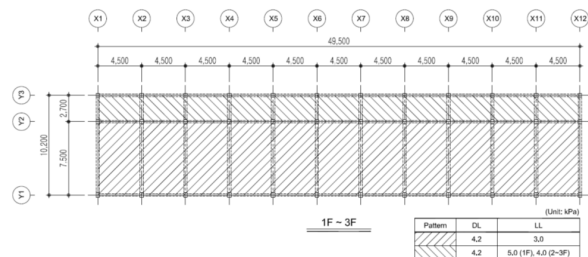
2.1 대상 건물 개요

본 연구에서는 파형강판벽을 적용하기 위하여 80년도 학교교사 표준설계도(건설부 공고 제130호) 중 중교-80-92-나 유형을 대상 건물로 선정하였다. 일반 교실 동 중 신축 이음으로 구분된 영역만을 대상으로 하였으며, 기존 RC 모멘트골조 건물에 대한 적용성 평가를 위해 조적벽의 구조적 기여는 무시하였다.

해당 건물은 지상 3층 규모이며, 각 층의 층고는

3.3m로 일정하다. 장변 방향은 길이가 4.5m로 동일한 11개의 경간으로 구성되며, 단변 방향은 7.5m와 2.7m 길이의 두 경간으로 구성된다(Fig. 2). 콘크리트 슬래브의 두께는 130mm이며, 1~3층과 지붕층의 바닥 고정하중(DL)은 각각 4.2kPa와 4.62kPa로 산정되었다. 또한 비구조 조적벽을 포함한 마감재 상세를 고려하여 6.77~15.93kN/m 범위의 벽체 하중을 해당 위치에 DL로 재하하였다. 바닥 활하중(LL)의 경우 교실 영역 및 지붕층에 대해서는 3.0kPa, 복도 영역에 대해서는 5.0kPa(1층)과 4.0kPa(2~3층)이 적용되었다. 1988년에 준공된 것으로 가정하여 콘크리트의 설계기준압축강도(f_{ck})와 철근의 설계기준항복강도(f_y) 값은 각각 21MPa와 300MPa를 적용하였다.

대상 학교 건물은 긴급대피수용시설로 지정된 것으로 가정하여 중요도(특)로 분류하였고, 건물의 기본 지진력저항시스템은 RC 보통모멘트골조로 구성된다. 지진하중 산정을 위한 상세 조건은 〈Table 1〉에 제시되며, 건축구조기준²⁾에 따라 설계밀면전단력(V)은 2,873kN으로 산정되었다.



〈Fig. 2〉 Loading plan of the building

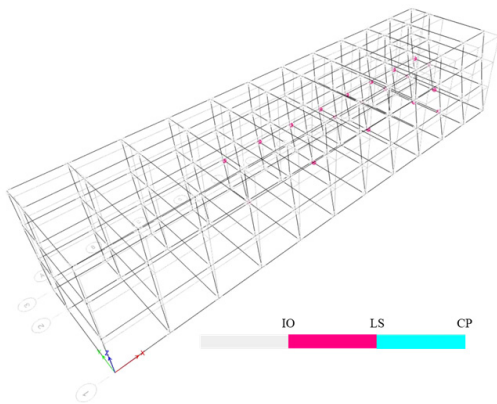
〈Table 1〉 Parameters of seismic load

Parameter	Value
Seismic zone factor	0.176
Site class	S_C
Importance factor (I_E)	1.5
Seismic design category	C
Response modification coefficient (R)	3.0
Overstrength factor (Ω_0)	3.0
Deflection amplification factor (C_d)	2.5

2.2 내진성능 검토

내진등급이 특인 건물의 구조요소에 대한 요구 성능으로서 설계스펙트럼가속도의 1.5배 지진에 대한 인명안전(LS) 만족을 목표로 설정하였다. 파형강판벽이 배치되기에 적합한 단변 방향(Y방향)만을 성능 검토 대상으로 하였으며, 구조해석은 상용 프로그램인 ETABS¹²⁾를 이용하여 수행하였다. 고유치 해석 수행 결과, 정형 구조물의 거동을 보이는 것으로 나타나 비선형정적절차(NSP)에 따른 수평하중은 1차 모드의 형상에 비례하도록 분포시켰으며, +Y 및 -Y 양방향에 대한 개별적 검토를 수행하였다.

구조적 거동은 하중 재하 방향에 따라 상이한 측면이 있었지만 전체적인 양상은 유사하게 나타났다. 성능점에서의 밀면전단력은 양방향에 대해서 각각 2631.6kN(+Y 방향)과 2850.4kN(-Y방향), 수평변위는 75.77mm(+Y방향)와 77.62mm(-Y방향)였다. <Fig. 3>은 +Y방향에 대한 성능점에서의 부재별 성능 수준을 보여준다. 기둥은 모든 위치에서 즉시거주(IO) 성능을 만족하였고, 보의 경우 일부 위치에서 LS에 해당하는 소성힌지가 발생하였지만 모든 부재는 요구되는 성능 수준을 만족하는 것으로 나타났다.



<Fig. 3> Performance level of each member

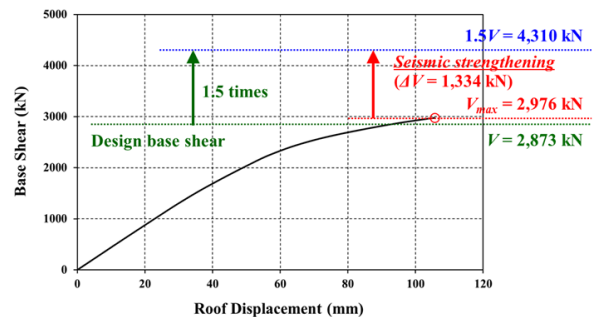
한국시설안전공단 요령¹³⁾을 참조하여 본 건물의 LS에 대한 허용층간변위비는 1.0%로 설정하였다. 대상 건물의 층간변위비 검토 결과는 <Table 2>에 요약되어 있다. 평균값 기준으로는 1층에서, 최대값 기준으로는 1층과 2층에서 허용값을 초과하며 요구되는 성능 수준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

대상 건물은 성능곡선 상에서 +Y방향 기준으로

2,976kN의 최대강도(V_{max})를 기록하였다(Fig. 4). 이는 2.1절에서 검토된 V 값인 2,873kN을 3.6% 초과한 것이지만 건물의 잉여 강도는 매우 작은 것으로 평가되었다. 본 연구에서는 공동주택 성능기반 내진설계 지침¹⁴⁾에 제시된 권고 기준에 따라 건물이 1.5 이상의 초과강도계수(Ω)를 확보하도록 하였다. 보강을 위한 파형강판벽의 기본적인 요구 강도 또한 이 목표 기준에 근거하여 설정하였으며, 상세한 설계 절차는 3장에서 제시된다.

<Table 2> Story drift ratios

Story	+Y Dir. (%)		-Y Dir. (%)	
	Mean	Max.	Mean	Max.
1	1.04	1.30	1.06	1.32
2	0.88	1.09	0.84	1.01
3	0.38	0.50	0.45	0.47



<Fig. 4> Pushover curve (+Y Dir.)

3. 파형강판벽 설계 절차

본 장에서는 앞에서의 검토 결과를 이용하여 대상 건물에 대한 예제 기반의 파형강판벽 보강설계 절차를 제시한다. 각 단계에서 제안된 내용은 일반적인 구조 거동 및 파형강판벽에 대한 기존 이론에 근거하였다. 파형강판벽의 임계응력(τ_{cr})은 전단항복 한계상태 및 3가지 모드의 전단좌굴(국부, 전체 및 연성좌굴) 한계상태를 고려하여 산정하였다⁷⁾.

3.1 단계 1: 보강 위치 결정 및 목표 설계전단력 (V') 산정

<Fig. 4>를 참조하면 Ω 가 1.5 이상이 되기 위해 건

물이 보유해야 하는 최소강도는 4,310kN, V_{max} 는 2,976kN이므로 파형강판벽으로 보강된 건물은 1,334kN 이상의 추가적인 강도(ΔV)를 확보해야 한다. 보강 위치 및 개소는 구조적 대칭성, 파형강판 패널당 내력, 기능적 요인, 인접 골조 및 기초 부하 등을 고려하여 결정될 필요가 있다. 본 설계 예제에서는 이를 바탕으로 평면상 기존 조적벽 위치 3개소에 파형강판벽 보강을 실시하는 것으로 가정하였고, 구체적인 위치는 X1, X7 및 X12열에서 단변 방향 7.5m 경간(Y1과 Y2열 사이)이다. 수직적 연속성을 위해 해당 위치에 전층 보강을 수행하며, 1층을 기준으로 한 강판 패널당 V' 은 식 (1)과 같이 444.7kN으로 계산된다.

$$V' \geq \Delta V/3 = 1,334/3 = 444.7 \text{ kN} \quad (1)$$

3.2 단계 2: 강판 소요 두께(t) 산정

이 예제에서는 파형강판벽이 완전 채움의 형태로 보강되는 것으로 적용하였으며, 보강 위치의 기둥 및 보 크기를 고려하면 파형강판벽의 순길이(l_n)와 순높이(h_n)는 각각 7,050mm와 2,700mm이다. V' 에 대한 강판의 t 는 전단항복에 기반한 식 (2)를 통해 검토할 수 있다.

$$\phi \tau_y l_n t \geq V' \quad (2)$$

본 연구에서는 파형강판벽의 연성적인 거동을 기대하기 위해 설계기준항복강도(F_y)가 160MPa인 저항복점강을 적용하였으며, 이에 대한 전단항복응력(τ_y)은 92.38MPa로 산정된다. 또한 국내에서 보강을 위해 소요되는 t 는 강진 지역인 일본에 비해 일반적으로 작게 되는데, 가공의 용이성을 함께 고려하여 적용 두께의 범위를 1.2~1.6mm로 사전 설정하였다. 이 예제에서 t 는 1.4mm로 식 (2)에서 강도감소계수(ϕ)는 SDI-DDM04¹⁵⁾를 참고하여 0.75로 적용하였다. 이에 기반하면 패널당 설계전단강도(ϕV_n)는 683.8kN으로 산정된다.

3.3 단계 3: 파형강판의 형상 결정

이 예제에서는 파의 경사각(θ)이 45도이고, 파형벽의 깊이(a_3)가 100mm인 단순한 형태를 가정하였다. 평균 길이(a_1)도 100mm로 적용되었으며, 이에 따른 a_2 와 a_4

는 각각 141.4mm와 100mm가 된다. 각 변수는 <Fig. 1>의 형상에서 확인할 수 있다. 또한 파형강판벽에 중력 하중이 전달되는 것을 방지하여 순수전단 거동을 할 수 있도록 파 진행 방향이 수직으로 배치되는 것으로 고려하였다.

3.4 단계 4: 국부좌굴응력($\tau_{cr,l}$) 산정

국부좌굴(Local buckling)에 따른 $\tau_{cr,l}$ 은 식 (3)을 통해 산정할 수 있으며⁶⁾, a 는 a_1 과 a_2 중 큰 값으로 결정된다. E 는 강판의 탄성계수로 200GPa, ν 는 푸아송비로 0.3이 적용되었다. k 는 좌굴계수로 이 예제에서는 패널의 모든 측면이 단순지지된 상태를 가정하여 $5.34 + 4(a/l_n)^2$ 을 적용하였다¹⁶⁾. 이에 따른 $\tau_{cr,l}$ 은 94.62MPa ($\geq \tau_y$)로 산정된다.

$$\tau_{cr,l} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{a} \right)^2 \quad (3)$$

3.5 단계 5: 전체좌굴응력($\tau_{cr,g}$) 산정

전체좌굴(Global buckling)에 따른 $\tau_{cr,g}$ 는 식 (4)를 통해 산정할 수 있으며^{6),8)}, h_w 는 l_n 과 h_n 중 작은 값으로 결정된다. β 는 경계조건에 따라 1.0~1.9 범위이지만 이 예제에서는 1.0으로 가정되었고⁸⁾, η 는 $(a_1 + a_4)/(a_1 + a_2)$ 이다. 이에 따른 $\tau_{cr,g}$ 는 193.14MPa ($\geq \tau_y$)로 산정된다.

$$\tau_{cr,g} = 36\beta E \frac{[\{(a_3/t)^2 + 1\}/6\eta]^{0.75}}{\{12(1-\nu^2)\}^{0.25}} \left(\frac{t}{h_w} \right)^2 \quad (4)$$

3.6 단계 6: 연성좌굴응력($\tau_{cr,i}$) 산정

연성좌굴(Interactive buckling)에 대한 강도예측식은 현재까지 다양하게 제안되고 있지만 주로 $\tau_{cr,l}$, $\tau_{cr,g}$ 및 τ_y 와 관련되어 표현된다⁶⁾. 본 연구에서는 $\tau_{cr,i}$ 산정을 위해 식 (5)의 형태를 적용하였으며, 보수적 접근을 위해 n 은 1.0으로 적용하였다⁸⁾. 이에 따른 $\tau_{cr,i}$ 는 63.51MPa ($< \tau_y$)로 산정된다.

$$\left(\frac{1}{\tau_{cr,i}}\right)^n = \left(\frac{1}{\tau_{cr,l}}\right)^n + \left(\frac{1}{\tau_{cr,g}}\right)^n \quad (5)$$

3.7 단계 7: 설계전단강도(ϕV_n) 재검토

파형강판벽의 임계응력(τ_{cr})은 앞의 단계에서 4가지의 한계상태에 대하여 산정된 τ_y , $\tau_{cr,l}$, $\tau_{cr,g}$ 및 $\tau_{cr,i}$ 중 작은 값으로 결정된다. 이 예제에서는 연성좌굴에 의한 $\tau_{cr,i}$ 가 지배적이었으며, 이에 따라 τ_{cr} 은 63.51MPa로 산정된다. τ_{cr} 을 대입하여 식 (6a) 및 식 (6b)에 따라 설계전단강도를 산정할 수 있으며, 이 예제에서 x 방향에 대한 ϕV_n 은 470.1kN으로 식 (1)에서 산정된 V' 이상이 되어 만족한다.

$$\phi V_x = \phi \tau_{cr} l_n t \quad (6a)$$

$$\phi V_y = \phi \tau_{cr} h_n t \quad (6b)$$

4. 파형강판벽 적용에 따른 보강 효과

4.1 파형강판벽의 등가 해석모델

파형강판벽으로 보강된 건물의 내진성능은 비선형동적절차(NDP)를 통해 평가하는 것이 바람직하지만 축적된 자료가 부족하여 파형강판벽에 대한 반복 이력모델은 아직 정립되지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 NSP에 따른 보강 건물의 성능 평가를 수행하고자 하였다. 본 절에서는 이를 위한 파형강판벽의 등가 해석모델 도출 과정을 기술한다.

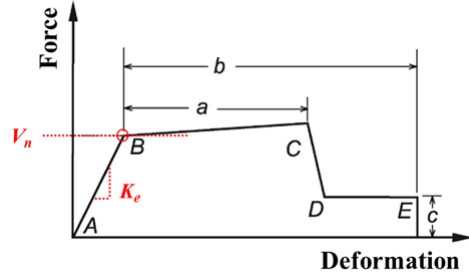
소성인장 부재의 일반적인 힘-변형 관계가 <Fig. 5>에 주어지는데 B점의 강도는 파형강판벽의 공칭전단강도(V_n) 값으로 적용될 수 있다. 이 예제에서 V_n 은 626.8kN이 되며, 식 (6a)에서 ϕ 를 제외한 식을 통해 계산할 수 있다.

탄성강성(K_e)은 SDI-DDM04¹⁵⁾를 참고하여 산정할 수 있다. 전단응력(τ)과 전단변형률(γ)의 관계 및 <Fig. 6>에 주어진 변수를 이용하면 전단탄성계수(G)는 식 (7)로 표현된다. 여기에 t 를 곱한 강성 G' 은 식 (8)과 같이 고쳐 쓸 수 있으며, 이를 다시 정리하면 식 (9)와 같이 K_e 에 대한 관계식을 얻을 수 있다. 이 예제의 경우 K_e 는 244.8kN/mm로 산정된다.

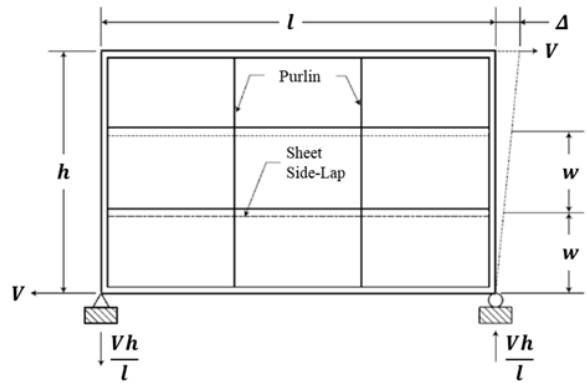
$$G = (\tau/\gamma) = (V/lt)(h/\Delta) \quad (7)$$

$$G' = Gt = (V/l)(h/\Delta) = (Vh/l)/\Delta \quad (8)$$

$$V = K_e \Delta = \{Gt/(h/l)\} \Delta \quad (9)$$

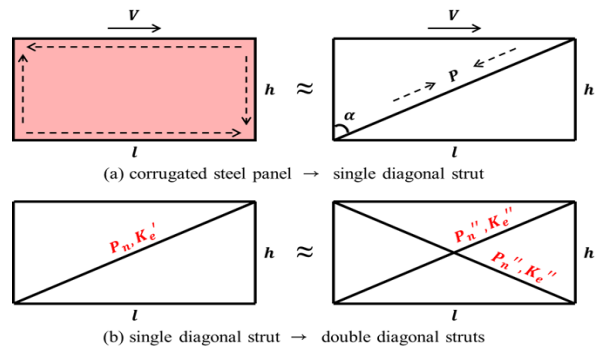


<Fig. 5> Force-Deformation relation



<Fig. 6> Schematic layout for CSPW

파형강판벽은 면외로 굴곡진 형상을 하고 있는 복잡한 형태의 면부재로 NSP에 실용적으로 적용될 수 있도록 양방향 대각 스트럿으로 등가화하였다. 먼저 강판을 단일 대각 스트럿으로 변환하는 과정이 <Fig. 7 (a)>에 주어지며, 스트럿 각도(α)를 통해 단일 스트럿의 공칭축강도(P_n)는 $V_n/\sin\alpha$ 로 계산된다. 적용 위치의 경간(l)과 층고(h)를 반영하면 이 예제에서 P_n 은 684.8kN이다.



<Fig. 7> Equivalent double diagonal struts

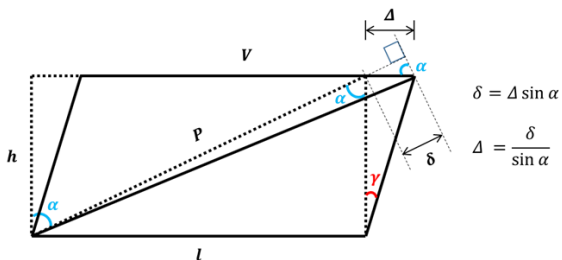
패널의 전단변형(Δ)과 단일 스트럿의 축변형(δ) 사이의 관계는 <Fig. 8>에 주어진다. 패널에 대한 구성 방정식 $V = K_e \Delta$ 를 P 와 δ 로 바꿔 쓰면 식 (10)과 같이 단일 스트럿에 대한 탄성강성(K_e') 관계식을 얻을 수 있으며, 이 예제에서 K_e' 은 292.1kN/mm가 된다. 또한 파형강판벽은 굴곡진 형상에 의해 면외 강성이 크기 때문에 <Fig. 7 (b)>와 같이 인장과 압축에 모두 저항하는 양방향 대각 스트럿으로 등가화할 수 있다. 식 (11) 및 식 (12)에 따라 P_n'' 과 K_e'' 은 각각 342.4kN과 146.1kN/mm로 산정된다.

$$P = K_e' \delta = (K_e / \sin^2 \alpha) \delta \quad (10)$$

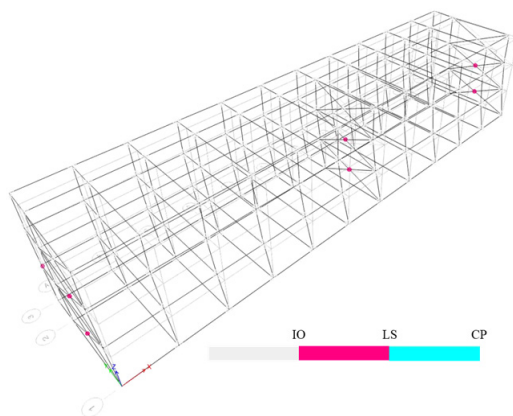
$$P_n'' = P_n / 2 \quad (11)$$

$$K_e'' = K_e' / 2 \quad (12)$$

성능곡선 정의를 위한 추가적인 모델링 파라미터와 허용 기준은 ASCE 41¹⁷⁾에서 강판전단벽(Steel plate shear walls)에 대해 규정된 값을 사용하여 NSP를 수행하였다.



<Fig. 8> Deformation of single diagonal strut system



<Fig. 9> Performance level of each member (Retrofitted)

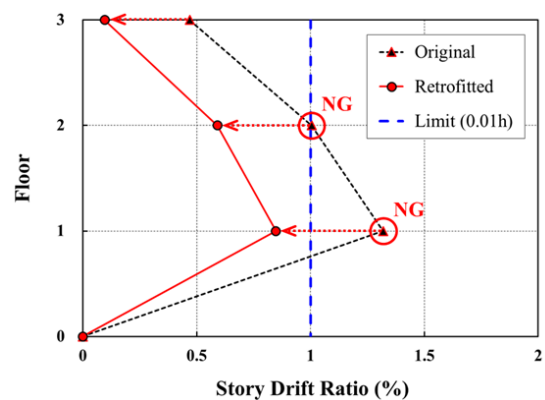
4.2 보강된 건물의 내진성능 검토 및 보강 효과

성능점에서의 밀면전단력은 양방향에 대해서 각각 4401.1kN(+Y방향)과 4163.0kN(-Y방향), 수평변위는 46.37mm(+Y방향)와 37.42mm(-Y방향)였다. <Fig. 9>는 +Y방향에 대한 성능점에서의 부재별 성능 수준을 보여준다. 기둥은 모든 위치에서 탄성적으로 거동하였으며, 보는 일부 위치에서 IO에 해당하는 소성힌지가 발생하였다. 보강 전 결과인 <Fig. 3>과 비교하면 기존 부재의 소성변형량이 크게 감소하였으며, 등가화된 파형강판벽은 목표 성능인 LS를 만족하는 것으로 나타났다.

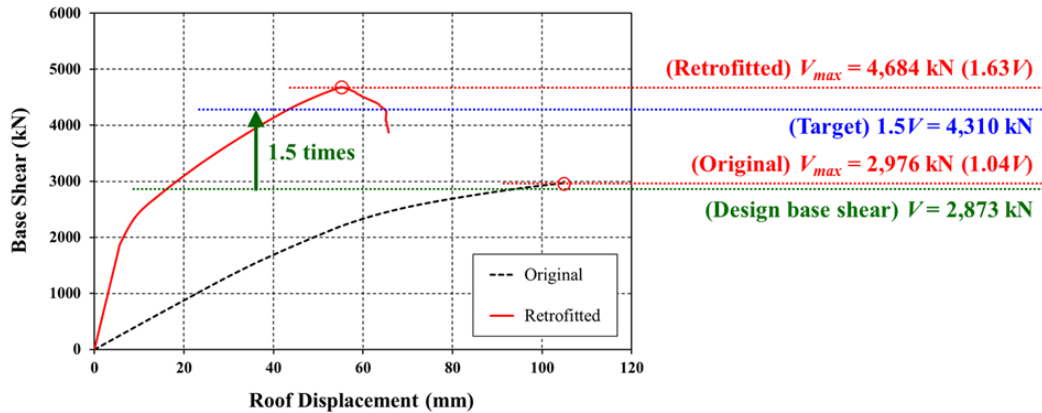
보강된 건물의 층간변위비 검토 결과는 <Table 3>에 요약되며, 보강 전과 후 건물에서 발생한 최대 층간변위비는 <Fig. 10>에 비교되어 있다. 보강 전의 경우 1층과 2층에서 LS에 대한 허용값인 1.0%를 초과하는 층간변위비가 발생하였다. 반면 보강된 건물은 파형강판벽의 기여를 통해 층간변위가 감소하여 모든 층에서 제한 기준을 만족하였다.

<Table 3> Story drift ratios (Retrofitted)

Story	+Y Dir. (%)		-Y Dir. (%)	
	Mean	Max.	Mean	Max.
1	0.76	0.96	0.66	0.85
2	0.52	0.68	0.45	0.59
3	0.12	0.12	0.03	0.10



<Fig. 10> Comparison of maximum story drift ratios (+Y Dir.)



〈Fig. 11〉 Comparison of system redundancy (+Y Dir.)

2.2절에서 언급된 것처럼 보강되지 않은 기존 건물의 경우 V_{max} 가 2,976kN (= 1.04V)으로 목표로 하는 Ω 를 확보하지 못하였다. 그러나 〈Fig. 11〉에서 볼 수 있듯이 파형강판벽 보강을 통해 V_{max} 가 4,684kN으로 증가함으로써 Ω 가 1.63이 되어 건물은 요구되는 잉여 강도 이상을 보유할 수 있게 되었다.

5. 결론

파형강판벽은 면외 방향에 대한 좌굴 안정성이 커서 수평력에 요구되는 강도 및 강성을 확보하기에 유리한 시스템으로 최대하중 이후에도 다량의 에너지를 안정적으로 소산하는 특징을 가진다. 지금까지 파형강판벽과 관련된 여러 연구가 수행되었으나 시스템의 구조적 거동 특성을 규명하기 위한 내용이 주를 이루어 왔으며, 반복 이력모델은 아직 정립되지 않은 실정이다. 이에 따라 본 논문에서는 기존 RC 모멘트골조 건물의 내진보강에 파형강판벽 시스템을 적용하기 위한 예비 연구를 수행하였다.

예제 건물을 대상으로 파형강판벽의 보강설계 절차를 단계적으로 제시하였고, 보강된 건물의 구조해석에 실용적으로 적용하기 위하여 양방향 대각 스트럿으로 등가화된 파형강판벽 해석모델을 제안하였다. 보강 효과를 평가하기 위하여 제안된 방법을 적용하여 비선형해석을 수행한 결과, 보강 건물에서는 소성변형이 파형강판벽에 집중되어 기존 구조 부재의 소성변형량이 크게 감소하였다. 또한 건물의 초과강도는 증가하고, 층간변위비는

감소하는 등 파형강판벽 보강을 통해 기존 RC 모멘트골조 건물의 내진성능이 효과적으로 향상될 수 있음을 확인하였다.

본 논문을 통해 수행된 연구는 향후 파형강판벽을 활용한 기존 건물의 내진보강 설계 시 기초적인 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 추가적인 실험적 연구를 통해 본 논문에서 도출된 설계식의 적용성이 확인될 필요가 있으며, 비선형동적해석 수행을 위해서는 실험연구 결과를 바탕으로 파형강판벽에 대한 반복 이력모델이 수립되어야 한다. 또한 파형강판벽과 골조의 연결부에 대한 상세 도출 및 실험적 검증을 통한 설계식이 마련될 필요가 있다.

감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2018년)에 의하여 연구되었음.

References

1. Ministry of the Interior and Safety (MOIS), "MOIS, Announcement of the Results of Promoting Measures for Seismic Retrofitting", Retrieved from https://www.mois.go.kr/frt/bbs/type010/commonSelectBoardArticle.do?bbsId=BBSMSTR_000000000008&nttId=70403
2. Architectural Institute of Korea (AIK), "Korean Building Code and Commentary", AIK, 2016.

3. Lee, C. H., Chung, K. S., Park, J. S., Woo, W. T., & Chung, K. R. (2018). Preliminary Design Procedure of Corrugated Steel Wall Systems for Seismic Retrofit of Existing Buildings. Proceedings of the 29th Annual Conference, Korean Society of Steel Construction, Republic of Korea, pp.45~46
 4. Mo, Y. L., & Perng, S. F., "Behavior of Framed Shearwalls Made of Corrugated Steel under Lateral Load Reversals", *Advances in Structural Engineering*, Vol.3, No.3, pp.255~262, 2000
 5. Essa, H. S., Tremblay, R., & Rogers, C. A., "Behavior of Roof Deck Diaphragms under Quasistatic Cyclic Loading", *Journal of Structural Engineering*, Vol.129, No.12, pp.1658~1666, 2003
 6. Yi, J., Gil, H., Youm, K., & Lee, H., "Interactive Shear Buckling Behavior of Trapezoidally Corrugated Steel Webs", *Engineering Structures*, Vol.30, No.6, pp.1659~1666, 2008
 7. Lho, S. H., Lee, C. H., Oh, J. T., Ju, Y. K., & Kim, S. D., "Flexural Capacity of Plate Girders with Very Slender Corrugated Webs", *International Journal of Steel Structures*, Vol.14, No.4, pp.731~744, 2014
 8. Emami, F., Mofid, M., & Vafai, A., "Experimental Study on Cyclic Behavior of Trapezoidally Corrugated Steel Shear Walls", *Engineering Structures*, Vol.48, pp.750~762, 2013
 9. Mizutani, K., Hirakawa, K., & Nakashima, M., "Construction of a 300-Meter Vertical City: Abeno Harukas", *International Journal of High-Rise Buildings*, Vol.4, No.3, pp.199~208, 2015
 10. Takenaka Corporation. (2010, August 3). JPubb. Large Rise in the Use of "Corrugated Steel Plate Earthquake-Resisting Wall" for New Building and Renewal Work. Retrieved from <http://www.jpubb.com/en/press/26931/>
 11. Hamada, A., Fukuhara, T., Ikeda, H., & Kondou, N. (2017). Innovative Seismic Retrofit Technique for Existing RC Buildings Using External Corrugated Steel Plate Walls. Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake, Chile, pp.1~11
 12. CSI (Computers & Structures, Inc.), "CSI Analysis Reference Manual", ETABS version 17, CSI, 2017.
 13. Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation (KISTEC), "Guidelines for Seismic Performance Evaluation of Existing Structures (Buildings)", KISTEC, 2013.
 14. Architectural Institute of Korea (AIK), "Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Residential Buildings", AIK, 2017.
 15. Luttrell, L. D., "Diaphragm Design Manual", 4th ed., Steel Deck Institute, 2015.
 16. Bleich, F., "Buckling Strength of Metal Structures", 1st ed., McGraw-Hill, pp.1~508, 1952.
 17. American Society of Civil Engineers (ASCE), "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings", ASCE/SEI 41-13, 2014.
- Received : January 03, 2020
 - Revised : January 13, 2020
 - Accepted : January 13, 2020