

무보강 강판 전단벽의 비선형 해석

A Nonlinear Analysis of Un-stiffened Steel Shear Wall

윤 명 호*
Yoon, Myung-Ho

Abstract

A Steel plate shear wall can be used as one of the lateral force resistant elements in buildings. It have many advantages from a structural point of view such as ductility, energy absorption capacity and initial stiffness etc. In this study to grasp the behavior of steel plate shear wall considering material and geometrical non-linearity, the FEM analyses were carried out using ANSYS(ver. 5.6) program. The analysis results were fully discussed and compared with test results to verify the validity of analysis method.

The object of this study is to find out analytically the elasto-plastic behavior of un-stiffened steel plate shear wall.

키워드 : 강판 전단벽, 비선형 거동, 유한요소해석

Keywords : Steel plate shear wall, nonlinear behavior, FEM analysis

1. 서 론

1970년 이래로 미국과 일본에서는 강판 전단벽 시스템을 도입하여 중요도가 높은 건물들이 설계되고 시공되었다. 이들 건물 중에는 최근에 상대적으로 큰 진도의 지진을 받았는데, 극미하거나 손상이 전혀 없는 매우 우수한 거동을 보였다. 실제 지진하중하에서 강판 전단벽의 거동을 관찰하면서, 반복하중하에서의 강판 전단벽의 거동이 미국, 캐나다, 일본의 연구자들에 의해 고찰되었다. 강판 전단벽의 설계와 시공 기술은 캐나다에서 최초로 기준(CCBFC, 1995)에 포함시켰으나 아직은 강판 전단벽의 거동이나 설계방법 등에 대해서는 많은 연구가 필요하다.

횡하중에 저항하는 강판 전단벽의 몇 가지 장점은 다음과 같다.

- 1) 적정하게 설계된 시스템은 연성능력이 뛰어나고, 상대적으로 뛰어난 에너지 흡수능력을 지닌다. 결과적으로, 강판 전단벽은 매우 효율적이고 경제적인 횡력저항 시스템이다.
- 2) 강판 전단벽 시스템은 초기강성이 상대적으로 높기 때문에 층간변위를 제한하는데 매우 유용하다.
- 3) 철근 콘크리트 전단벽에 비하여 강판 전단벽은 상

당히 가볍기 때문에 감소된 구조물의 자중에 의하여 지진하중이 작아질 뿐만 아니라 기둥과 기초가 부담하는 자중도 작아진다.

4) 공장 생산하여 현장 볼트 체결을 함으로써 비숙련 공에 의해서도 공기가 단축되어 건설 비용을 감소시키고, 현장품질검사와 제어에서도 효율적이다.

5) 건축학적인 관점에서 철근콘크리트 전단벽에 비하여 강판 전단벽의 두께가 얇기 때문에 강판 전단벽은 등가의 철근 콘크리트 전단벽 보다 차지하는 공간이 적어 공간의 활용성을 높일 수 있다.

6) 철근콘크리트 전단벽에 비하여 강판 전단벽은 기존 건물의 지진보강시 시공하는 것이 상당히 쉽고 빠르다.

7) 공장 생산되고 현장 볼트 체결로 시공되는 강판 전단벽 시스템은 강판 전단벽을 전통적인 시스템보다 더욱 더 효율적이게 할 수 있다. 또한, 이 시스템은 콘크리트 시공이 온도가 매우 낮아 비경제적인 한냉지에서 매우 실용적이고, 효율적이다.

본 연구에서는 무보강 강판 전단벽의 재료 및 기하적 비선형을 고려한 거동을 파악하기 위해서 범용 비선형 유한요소해석 프로그램인 ANSYS(ver. 5.6)을 사용하였다. 해석 변수로는 강판 전단벽의 형상비(1:1, 1:1.5), 좌우 엔드플레이트의 두께 등이다.

본 연구의 목적은 비선형 유한요소해석을 이용하여 분석한 후에 실험결과와 비교 분석함으로써 해석의 타당성 및 강판 전단벽의 비탄성 거동을 해석적으로 파악하는데 있다.

* 정회원, 천안공업대학 건축과 교수, 공학박사

※ 본 연구는 2002년 서일대학 교내연구비의 지원을 받아 연구되었음.

2 유한요소해석모델

2.1 일반사항

일반적으로 구조해석 모델은 재료의 구성방정식을 사용하는 미시적 모델(micro- scopic model)과 전체적인 거동을 예측하기 위한 거시적 모델(macrosopic model)로 구분될 수 있다. 미시적 모델은 부분적인 응력과 변형의 상태를 파악하는 경우에 효과적이고, 거시적 모델은 구조물의 간단한 이상화의 방식으로 전체적인 거동의 특성을 평가할 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 구조체의 전체적인 거동뿐만 아니라 부분적인 응력과 변형을 파악하는데 유용하며, 특히 비선형 해석이 가능한 ANSYS(ver. 5.6)을 이용하였다.

2.2 재료의 물성

유한요소해석에 사용된 재료 물성치, 즉 탄성계수(Young's modulus), 프와송비(Poisson's ratio) 등은 기하학적 형상과는 무관한 성질을 나타낸다. 해석 모델링에 요구되는 탄성계수는 재료 실험에서 구한 실험치를 평균한 상수 값으로 적용하였고 프와송비는 일반적으로 해석시 강재에 적용되어지는 상수 값으로 적용하였다.

해석 실험체의 각 부분을 구성하는 강판, 상하 엔드플레이트, 그리고 스티프너에 사용된 물성치는 실험에서 동일한 SS400을 사용하였으며 쿠편실험은 5개를 행하였다. 모든 구성요소에 동일하게 적용된 탄성계수의 값은 $2.05 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 을 적용하였으며 프와송비는 일반적인 강재의 값인 0.3을 대입하였다.

재료의 비선형성을 고려하기 위해 재료 물성치를 다선형 응력도-변형도($\sigma-\epsilon$) 관계를 적용하는 MKIN (Multilinear Kinematic Hardening)으로 입력하였으며 그림 2.1과 같이 재료 실험곡선의 추세를 최대한 근접하도록 $\sigma-\epsilon$ 곡선을 5개의 직선을 이용하여 이상화된 모델을 사용하였다.

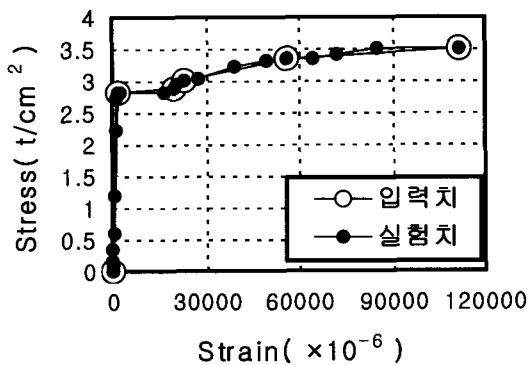


그림 2.1 강재의 $\sigma-\epsilon$ 관계 입력치

2.3 모델링 요소

해석 모델링의 요소는 실험적 연구와 동일하게 강판, 상하 엔드플레이트, 좌우 엔드플레이트, 그리고 스티프너로 분리 구분하여 모델링을 하였다. 실험적 연구의 동일한 조건을 고려하기 위하여 각 부분에 대한 요소를 3차원 입체요소인 SHELL43요소를 사용하였다.

대변형 소성셀(Plastic Large Strain Shell)인 SHELL43 요소는 소성(plasticity), 크리프(creep), 응력경화(stress stiffening), 대변형(large deflection), 그리고 대변형도(large strain capabilities) 등을 고려하며 실험과 동일한 재료적 역학적 특성을 나타낸다. 그림 2.2와 같이 요소를 구성하는 데에는 4개의 절점으로 구성되며 각 절점에는 변위와 회전에 대한 x,y,z 방향의 자유도를 각각 3개씩 갖는다.

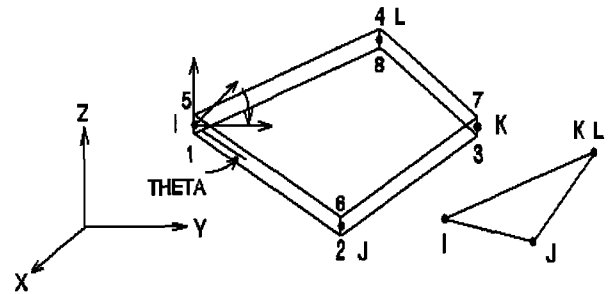


그림 2.2 SHELL43 요소

3 전단항복형 강판의 해석

3.1 해석모델의 개요

본 연구에서 적용된 해석실험체와 비교실험체 일람표를 표 3.1에 표시하였고 실험체의 치수 및 형상은 그림 3.1과 같다.

해석모델에 사용된 실험체는 전단력을 받는 강판, 강판의 상하부를 구속하는 상하 엔드플레이트, 면외변형시 가력방향에 대한 면외거동을 구속을 하는 좌우 엔드플레이트로 구성되어 있다. 해석에 사용된 변수로는 실험과 동일하게 폭·높이비로 하였으며, 좌우 엔드플레이트와 스티프너의 소요강성을 구하기 위하여 해석시 추가된 변수로는 좌우 엔드플레이트의 두께를 변수로 포함하였다. 스티프너의 보강은 5가지(N:무, H:수평, C:십자, D:대각)이나, 본 연구에서는 무보강인 경우만을 대상으로 한다. 폭·높이비는 2종류(D/H=1.0, 1.5)이고 좌우 엔드플레이트 두께변수는 표 3.1에서와 같다.

실험체 또는 해석 모델의 이름은 표3.2와 같은 규칙으로 붙였다.

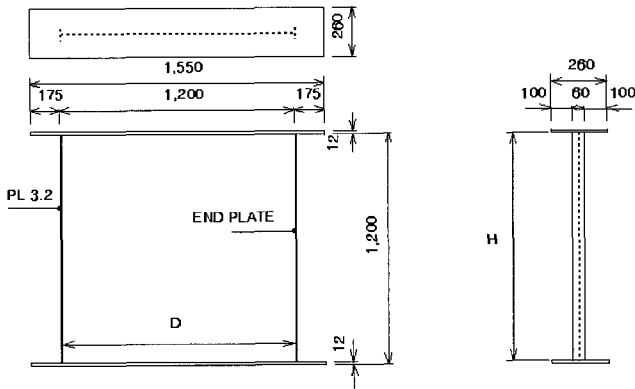
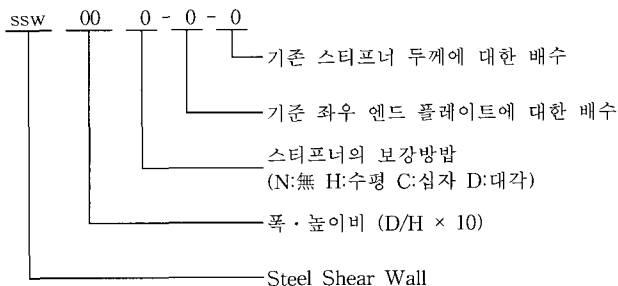


그림 3.1 실험체의 치수 및 형상

표 3.1 해석실험체와 비교실험체 일람표

실험체명	D/H	D (mm)	H (mm)	좌우 End PL. (mm)	스티프너 (mm)	연구 방법
SSW10N	1	1200	1200	1×3.2	無	실험
SSW10N-1-0	1	1200	1200	1×3.2	無	해석
SSW10N-2-0	1	1200	1200	2×3.2	無	해석
SSW10N-3-0	1	1200	1200	3×3.2	無	해석
SSW10N-4-0	1	1200	1200	4×3.2	無	해석
SSW15N	1.5	1800	1200	1×3.2	無	실험
SSW15N-1-0	1.5	1800	1200	1×3.2	無	해석
SSW15N-2-0	1.5	1800	1200	2×3.2	無	해석
SSW15N-3-0	1.5	1800	1200	3×3.2	無	해석
SSW15N-4-0	1.5	1800	1200	4×3.2	無	해석

표 3.2 실험체 또는 해석 모델의 이름



3.2 해석방법 및 절차

유한요소해석은 이상적인 해석 실험체에 비하여 용접부의 열영향 고려, 규격 및 치수의 차이, 그리고 전단벽 강판의 초기변형 등으로 인한 실제 실험체의 제작과정과 실험과정시 발생하는 불안정성 등으로 유발되는 실험적 연구와의 오차를 고려하기 위하여 3차에 걸친 비선형 해석을 실시하였다. 이러한 실험적 연구에서 발생하는 해석

적 연구와의 오차를 고려하지 않는다면 해석적 연구에서는 실제 실험체와 달리 완벽한 이상적인 강판만을 해석하며, 따라서 해석시의 이상적인 강판의 강성은 실제의 실험적 강판에 비하여 횡하중을 받을 때에 매우 큰 강성을 지니게된다. 또한 횡하중이 강판의 면내방향의 중심축을 지나서 가해지므로 강판의 면외변형이 발생하기가 힘들며 횡력에 대한 매우 큰 강성으로 인하여 해석이 탄성구간까지는 해석을 하지만 소성구간에서 수렴하지 못하고 발산하여 해석이 종료되는 결과를 낳는다. 해석결과가 나오더라도 실제 실험적 결과와는 많은 차이를 보이게 된다. 따라서 최대한 실험적 여러 가지 조건을 해석시에 반영할 필요가 있다.

본 연구에서의 유한요소해석의 해석모드와 순서는 1차 소성해석, 고유치 좌굴해석(eigen -value buckling analysis), 그리고 2차 소성해석의 모드와 순서로 구분하여 해석을 진행하였다. 이와 같은 해석의 흐름도를 그림 3.2에 나타내었다.

유한요소해석의 첫 번째 과정으로 좌굴모드를 구하기 위한 고유치 좌굴해석의 선행되는 해석인 1차 소성해석에서는 하중제어기법으로 미소 단위하중을 커플링(Coupling)된 강판상부의 대표되는 점(Master Node)에 적용하였다. 1차 소성해석을 마친 후, 바로 고유치 좌굴해석을 진행하는데 첫 번째 좌굴모드를 구하여 부재의 불안정성을 고려하였다. 여기서 부재의 불안정성을 첫 번째 좌굴모드에 적용한 이유는 일반적인 구조물들은 첫 번째 좌굴모드가 최소하중하에서 발생하는 좌굴모드이기 때문이다. 마지막으로 2차 소성해석에 들어가기 전에 고유치 좌굴해석을 통하여 구한 좌굴정도를 반영하게 되는데 반영계수(Upgeom Factor)를 이용하여 0~1사이의 값을 반영하는데, 0에 근접한 값을 적용할수록 실제와 가까운 데이터를 얻을 수 있으나 해석시 수렴이 안되는 문제가 발생하므로 적절한 값을 선택하여 적용해야 한다. 2차 소성해석에서는 변위제어기법으로 최종변위를 50mm(층간변위로는 0.0417rad)를 면내방향으로 적용하였다.

실험체의 강판두께가 폭과 높이에 비하여 매우 얇은 3.2mm이므로 변형시 발생하는 강판의 면외변형을 고려할 필요가 있으며 면외변형을 고려하기 위하여 2차 소성해석에서 기하 비선형성을 적용하였다. 강판의 면외변형을 방지하기 위하여 강판에 얇은 슬릿이 만들었거나, 또는 강판의 폭과 높이에 비하여 두께가 두껍다면 해석시 기하 비선형성을 고려할 필요는 없으며, 이러한 경우에는 기하 비선형성을 고려여부에 관계없이 해석결과가 거의 동일한 값을 나타낸다. 여기서 기하 비선형성을 고려한다는 의미는 변형시 강판의 면외변형으로 인하여 발생한 강판의 내력감소량을 해석과정에서 제외시킨다는 의미로서 강판의 장력장과 압축장의 형성으로 발생하는 얇은 박강판의 경우에는 기하 비선형성의 고려여부에 따라 결과 값이 상당히 큰 차이를 보이게 된다. 따라서 본 연구

에서는 재료 비선형은 물론이고 기하 비선형성까지 고려해야만 박강판 전단벽 실험체 모델링시에 실제와 가장 근사한 결과를 얻을 수가 있다.

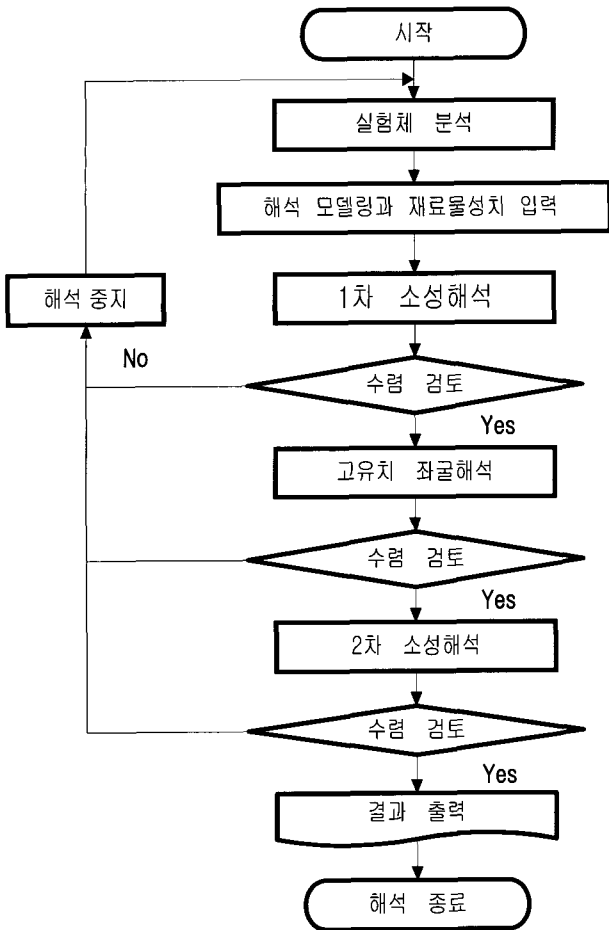


그림 3.2 해석의 흐름

3.3 경계조건과 요소분할

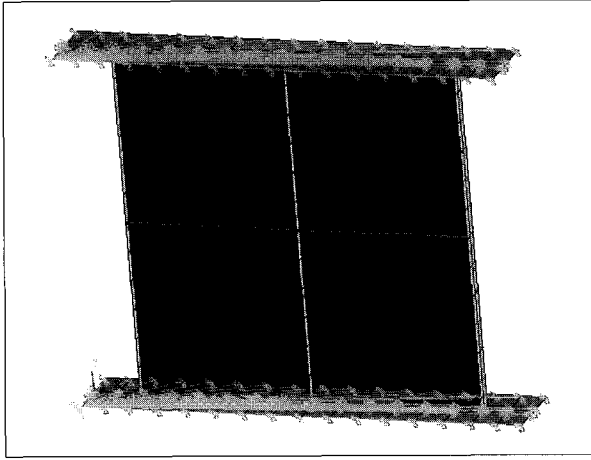
상하부 엔드플레이트의 구속조건을 고려하기 위하여 각각의 상하부 엔드플레이트에 구성된 모든 요소의 절점을 대표하는 하나의 절점으로 치환하여 각각의 상부와 하부 엔드플레이트에 한 개의 마스터 절점이 형성된다. 이러한 마스터 절점은 하중제어기법과 달리 변위제어기법의 2차 소성해석에서는 하중-변위 관계곡선을 알기 위해서 필요하다. 2차 소성해석에서는 하중을 변위제어기법으로 가력하기 때문에 각 변위에 대한 하중값을 하부 엔드플레이트의 마스터 절점의 반력으로서 알 수가 있다. 또한 해석시에 커플링하여 구성된 마스터 절점은 변위, 하중, 그리고 절점의 자유도를 컨트롤하는데 필요하며 변위, 하중, 그리고 자유도값을 대표되는 마스터 절점에만 입력하면 된다. 커플링된 상하부 엔드플레이트는 각각 하나의 다이어그램의 역할을 하게되며 상부 엔드플레이트

는 가력방향으로 이상적인 수평이동을 뜻하며 하부 엔드플레이트는 가력시 강판의 완전 구속을 의미한다.

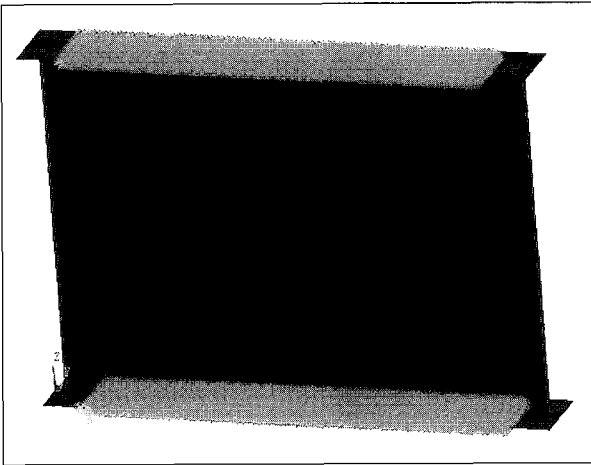
하부 엔드플레이트의 구속조건은 각 1차 소성해석, 고유치 좌굴해석, 그리고 2차 소성해석에서 하부 엔드플레이트의 마스터 절점에 대한 변위와 회전에 대하여 완전 구속을 하여 실험경계조건과 동일하게 하였다. 가력부분이 되는 상부 엔드플레이트는 1차 소성해석과 고유치 좌굴해석에서는 하중방향이 강판의 중심축을 지나가도록 y 변위를 완전 구속하였고, 고유치 좌굴해석에서 좌굴모드를 구하는 위해서는 필히 z방향의 변위를 구속해서는 안되며 구속을 해방해야만 좌굴해석자체가 가능하다. 고유치 좌굴해석에서 z방향의 변위를 해방한 상태에서 좌굴모드를 구한 후에, 2차 소성해석에서는 실험적 연구와 동일하게 y,z방향의 변위를 구속해야한다. 2차 소성해석에서 y방향의 변위를 구속하지 않고 해석을 진행하게 되면 실험적 연구에서 수직 구속장치에 의해 인장력을 받는 동시에 면외좌굴 전단실험이 아니라 수직 구속장치가 없는 순수 면외좌굴 전단실험에 대한 해석이 되며 상당한 오차를 보인다. 여기서 강판은 xz좌표 평면내에 있고 x방향이 가력방향이며 상하 엔드플레이트의 y방향의 변위는 없다.

박강판 전단벽 비선형 유한요소해석 모델의 형상 및 치수는 실험체와 동일한 규격으로 하였으며 해석모델의 절점수를 줄이고 해석시 시간절약을 하기 위하여 실험체의 대칭성을 적용하려했으나 가력시 강판의 면외 변형과 강판의 측면에 보강된 스티프너의 전체적인 거동을 고찰하기 위해서 실험체 전체를 모델링하는 것이 불가피하였다. 비선형 유한요소해석 모델의 요소분할은 100×100(mm)으로, SSW15N계열은 20×50(mm)으로 요소크기를 다르게 적용하였다. 이는 SSW15N계열은 폭·높이비(D/H)가 1인 SSW10계열과 상하 엔드플레이트의 상이한 경계구속조건 때문이다. 상하부 경계조건으로 SSW10계열은 상하 엔드플레이트의 전체를 구속한 반면에 SSW15N계열은 강판과 상하 엔드플레이트가 만나는 강판모서리에서 상하 엔드플레이트의 안쪽으로 100(mm) 떨어진 위치에서부터 경계 구속되었다. 이러한 경계구속의 차이는 항복하중, 좌굴하중, 그리고 강성에 상당한 영향을 미치므로 실험적 연구와 동일한 경계구속조건으로 모델링을 하였다. 또한 상이한 구속조건으로 인하여 유한요소의 크기정도가 강판과 상하 엔드플레이트가 만나는 강판모서리에서 상하 엔드플레이트의 부분에 대한 강성 및 강도에 영향을 미치므로 SSW15N계열의 요소크기를 해석시간과 고려하여 가능한 한 작게 모델링을 하였다. 즉 SSW15N계열이 강판변형시 실험과 동일하게 상하부 엔드플레이트의 양방향 바깥부분의 소성변형을 고려하기 위하여 요소를 매우 작게 구성하였다. 그림 3.3에는 비선형 유한요소해석의 요소분할(Subdivision)과 경계조건을 나타내었다.

4.2 해석 결과-응력분포 및 변형



(a) sws10계열



(b) ssw15계열

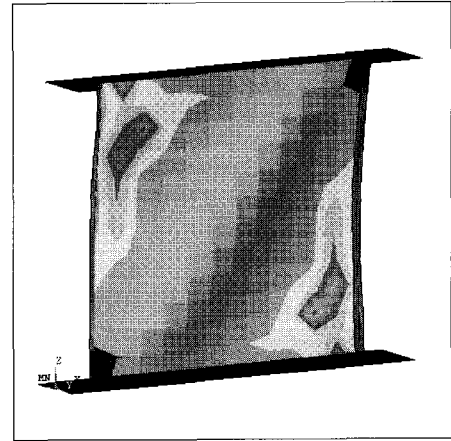
그림 3.3 비선형 유한해석 요소분할과 경계조건

4 해석과 실험의 비교 및 분석

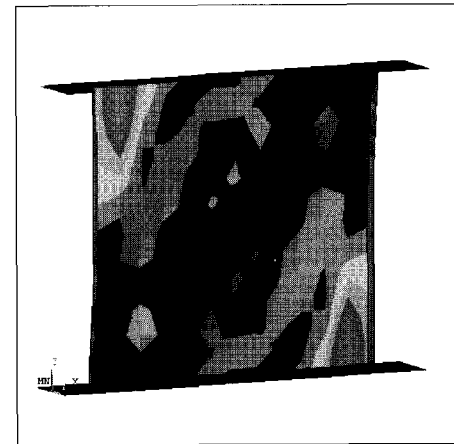
4.1. 비교 및 분석의 개요

박강판 전단벽 시스템은 얇은 강판으로 구성되었기 때문에 변형시 상당한 면외좌굴과 응력집중이 발생한다. 이러한 변형형상과 응력분포는 설계 및 제작시 중요요인이 되므로 여러 변수에 따른 응력분포의 변화를 비교 분석하였다.

실험결과에 대해서 실험기준모델에 대한 해석기준모델에 대해서, 해석기준모델에 대한 구속제한모델에 대해서, 그리고 해석기준모델과 구속제한모델의 각각의 SSW10N, SSW15N 계열에 대한 해석기준모델과 구속제한모델에 대해서 항복하중과 좌굴하중을 비교 분석하였다.

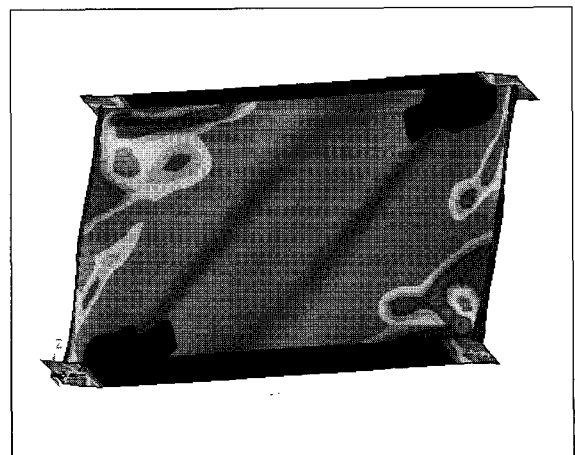


(a) SSW10N-1-0

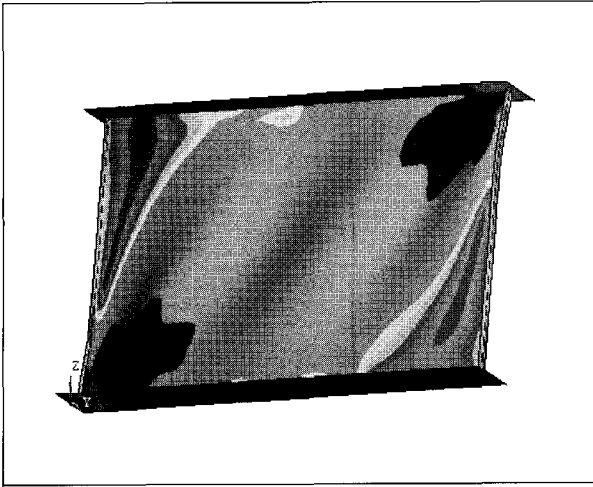


(b) SSW10N-4-0

그림 4.1 SSW10N계열의 응력분포



(a) SSW15N-1-0



(b) SSW15N-4-0

그림 4.2 SSW15N계열의 응력분포

위의 해석 결과는 층간변위가 0.025(rad)일 때의 각 모델별 변형형상과 응력분포이다. 스티프너의 보강이 없는 SSW10N계열과 SSW15N계열은 실험기준모델과 비교를 위한 해석기준모델과 좌우 엔드플레이트의 면외변형의 구속제한 값을 만족하는 구속제한모델의 변형형상과 응력분포를 분석하였다. 여기서 각 모델별 해석기준모델은 SSW10N-1-0이며, 좌우 엔드플레이트만의 구속제한 값을 만족하는 모델은 SSW10N-4-0과 SSW15N-4-0이다.

모든 해석모델의 응력분포는 강판에 작용하는 면외력이 없이 면내방향의 횡력만을 고려하였기 때문에 장력장을 축으로 하여 거의 대칭을 이루었다. 해석기준모델에서 형상비가 1인 SSW10N계열은 대각선으로 강판의 모서리를 잇는 하나의 장력장을 형성한 반면에, 형상비가 2인 SSW15N계열은 강판에 대각선을 이루면서 서로 평행한 2개의 장력장을 형성하였다. 좌우 엔드플레이트만의 면외 변형 구속제한 값을 만족하는 구속제한 모델의 좌굴형상을 그림에서 보고 알 수가 있는 것처럼 강판의 좌우에 보강된 좌우 엔드플레이트의 두께변수는 강판의 장력장의 형태변화에 영향을 주지 않는다.

실험체의 응력집중은 해석기준모델인 SSW10N-1-0모델은 장력장의 강판모서리에서 응력이 집중하였다. 형상비가 1.5인 해석기준모델 SSW15N-1-0모델은 응력집중이 장력장의 축의 모서리에서 약간 강판의 안쪽으로 떨어진 위치에서 응력이 집중함을 보이고 있다. 이러한 원인은 SSW10N계열은 상하 엔드플레이트의 전체를 구속한 반면에 형상비가 1.5인 무보강 SSW15N계열은 상하 엔드플레이트와 좌우 엔드플레이트가 만나는 강판 모서리 부분에서 안쪽으로 100mm 떨어진 위치에서부터 경계 구속되었기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 실험적 연구에서처럼 동일한 SSW15N계열의 상이한 구속조건으로

상하구속 엔드플레이트의 장력장 축의 끝부분에 소성변형의 발생을 볼 수가 있다.

좌우 엔드플레이트의 두께가 두꺼워짐에 따라 형상비가 1이면서 스티프너 무보강인 SSW10N계열은 장력장을 축으로 하여 최대응력(2.8~3.1t/cm²)이 강판에 넓게 분포하였다. 즉 좌우 엔드플레이트의 구속강성이 작은 해석기준모델 SSW10N-1-0모델은 장력장 모서리 끝부분에서 발생하여지만 좌우 엔드플레이트의 구속강성이 큰 구속제한모델 SSW10N-4-0모델에서는 좌우 엔드플레이트의 강판구속으로 인하여 최대응력이 강판전면으로 확대되었으며 이러한 응력분포를 그림 4.1에 나타내었다. 좌우 엔드플레이트의 두께가 두꺼워짐에 따라 형상비가 1.5인 스티프너 무보강인 SSW15N계열은 좌우 엔드플레이트의 강성이 증가하였지만 다른 모델과는 상이한 경계구속조건으로 인하여 해석기준모델 SSW15N-1-0모델에서처럼 장력장 모서리에서 약간 떨어진 부분에서 최대응력이 발생하였고 다만 그 범위가 SSW15N모델보다 더 확대되었으며 그림 4.2에 나타내었다.

4.3 항복하중과 좌굴하중

실험체의 최종변위가 가력방향에 대한 횡변위가 50mm (층간변위로는 0.0416rad)일 때의 실험결과와 해석결과에 대한 실험기준모델과 해석기준모델의 하중-변위관계 비교곡선을 그림 4.3에 나타내었다. 실험기준모델을 기준으로 하여 해석기준모델의 항복하중과 좌굴하중의 비교를 표 4.1에 나타내었다.

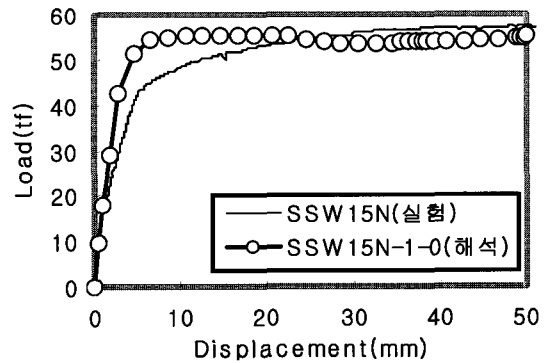


그림 4.3 SSW15N계열 하중-변위관계 비교 곡선

표 4.1 항복하중과 좌굴하중의 비교(1)

실험체명	항복 하중	좌굴 하중	비고
SSW10N	1	1	**는 좌굴현상이 뚜렷하지 않은 모델
SSW10N-1-0	1.14	**1.05	
SSW15N	1	**1	
SSW15N-1-0	1.20	1.16	

표 4.2에는 각 해석기준모델을 기준으로 하여 구속제한 모델의 항복하중과 좌굴하중의 비교를 나타내었다. 형상비가 1인 스티프너 무보강 강판모델인 SSW10N-4-0모델이 17%로 증가하였으며, 그리고 최소증가를 보인 형상비가 1.5인 스티프너 무보강 강판모델인 SSW15N-4-0모델이 7%의 최소증가를 보였다.

표 4.2의 좌굴하중의 비교에서 각 해석기준모델에 대한 구속제한모델의 최대 좌굴하중의 증가율은 형상비가 1인 스티프너 무보강 강판모델인 SSW10N-4-0모델이 13%로 증가하였으며, 그리고 최소증가를 보인 형상비가 1.5인 스티프너 무보강 강판모델인 SSW15N-4-0모델이 7%의 최소증가를 보였다.

표 4.2 항복하중과 좌굴하중의 비교(2)

실험체명	항복 하중	좌굴 하중	비고
SSW10N-1-0	1	**1	**는 좌굴현상이 뚜렷하지 않은 모델
SSW10N-4-0	1.17	**1.13	
SSW15N-1-0	1	1	
SSW15N-4-0	1.07	1.07	

표 4.3 에는 형상비에 따른 비교를 나타내었다.

표 4.3 항복하중과 좌굴하중의 비교(3)

실험체명	항복 하중	좌굴 하중	비고
SSW10N-1-0	1	**1	**는 좌굴현상이 뚜렷하지 않은 모델
SSW15N-1-0	1.34	1.42	

표 4.4는 실험결과와 해석 결과치를 나타낸 것이다.

표 4.2 실험결과와 해석결과 비교

실험체명	항복 하중 Qy(tf)	항복변위 δ_y (mm)	탄성 강성 Ke (tf/mm)	좌굴 하중 Qcr (tf)
SSW10N	28.00	2.72	10.29	37.18
SSW10N-1-0	31.99	2.65	12.10	**38.85
SSW10N-2-0	35.19	2.71	13.00	**41.89
SSW10N-3-0	36.66	2.70	13.58	**43.31
SSW10N-4-0	37.59	2.68	14.02	**43.89
SSW15N	36.00	3.44	10.47	**47.46
SSW15N-1-0	43.06	2.54	16.93	55.31
SSW15N-2-0	44.11	2.24	19.67	57.73
SSW15N-3-0	44.91	2.17	20.74	**58.41
SSW15N-4-0	46.11	2.19	21.07	**58.95

4.4 좌우 엔드플레이트의 내력영향분석

전단항복형 강판전단벽의 단조가력시의 좌우 엔드플레이트의 변수에 따른 각 모델별 복원력 특성에 대한 규명과 박강판 전단벽의 내력에 대한 영향을 비교 분석하기 위하여, 해석에서 좌우 엔드플레이트와 형상비가 1인 스티프너 무보강 강판모델인 SSW10N계열과 형상비가 1.5인 스티프너 무보강 강판모델인 SSW15N계열 각각 4개의 실험체에 하중-변위관계를 그림 4.4~5나타내었다.

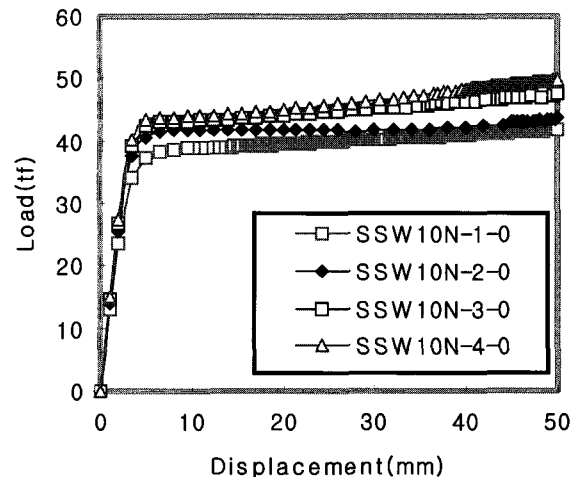


그림 4.4 SSW10N계열의 내력분포 곡선

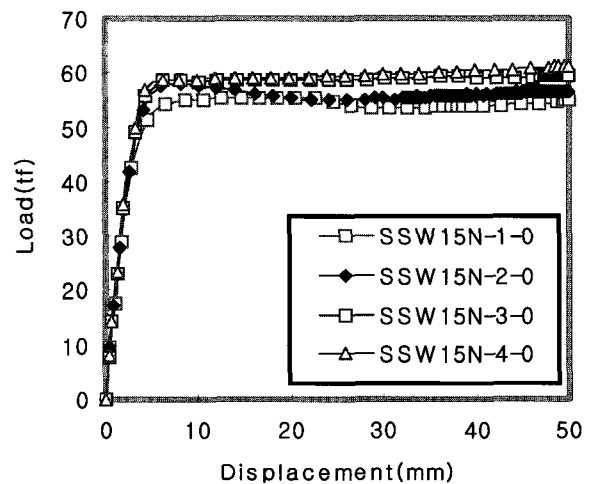


그림 4.5 SSW15N계열의 내력분포 곡선

스티프너의 보강이 없이 좌우 엔드플레이트만으로 강판을 보강한 SSW10N계열과 SSW15N계열의 모델은 좌우 엔드플레이트 두께변수의 증가에 따라 내력의 동일 간격

의 증가를 보이나 큰 폭의 상승은 없으며, 또한 좌우 엔드플레이트의 구속제한 시점, 즉 SSW10N(15N)-3-0모델에서 SSW10N(15N)-4-0모델로 이동하는 과정에서도 큰 내력상승은 없었다. 이러한 원인은 좌우 엔드플레이트만으로는 전단항복형 강관전단벽에 대한 면외변형을 효율적으로 구속을 못하여 발생하는 것으로 판단된다.

5. 결론

무보강 강관 전단벽의 유한요소해석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 실험결과와 해석결과 비교에서 다소 차이를 보이나 해석을 통하여 실험결과를 추정하는 것이 가능하다.
- (2) 박강관 전단벽 실험체 모델링시에 실제와 가장 근사한 결과를 얻기 위해서는 재료 비선형과 기하 비선형성을 고려해야 한다.
- (3) 하중이 면내로 작용하는 박강관 전단벽 해석을 가능하게 하기 위해서는 해석 과정에서 고유치 좌굴해석을 통하여 모델의 불안정성을 고려해야 한다.
- (4) 해석기준모델에서 SSW10N모델, SSW15N모델은 강관의 장력장 모서리에서 응력이 집중하였다.
- (5) 형상비에 따른 항복내력 상승은 형상비 1을 기준으로 하였을 때, 형상비 1.5인 경우 실험에서 29%, 해석에서 34%증가 하였다.
- (6) 형상비에 따른 좌굴내력 상승은 형상비 1을 기준으로 하였을 때, 형상비 1.5인 경우 실험에서 28%, 해석에서 42%증가 하였다.
- (7) 강관 전단벽의 주변 요소들에 의한 구속효과에 관해서 정량적으로 평가하기 위해서는 앞으로 더 많은 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 위지은, 이명호, 오상훈, 허충, 오영식, 윤명호, 문태섭 “전단 항복형 강관 내진 벽의 거동”, 대한건축학회 추계학술발표대회, 2000년 10월.
2. 이용길, 이명호, 오상훈, 윤명호, 문태섭 “유한요소해석을 이용한 전단항복형 강관 내진벽의 거동”, 대한건축학회 춘계학술발표대회, 2001년 4월
3. 김진욱, 이명호, 오상훈, 윤명호, 문태섭 “강관 내진벽의 폭 두께비와 보강 리브에 따른 거동”, 대한건축학회 춘계학술발표대회, 2001년 4월
4. 高橋泰彦 外, “せん断降伏型摺鋼板の復原力特性に関する實驗的研究”, 日本建築學會構造系論文集, p.107-114. 1997년 4월
5. 山中久幸 外, “せん断降伏型制震パネルの構造特性”, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1998년 9월

6. 見村傳明, 秋山 宏, “張力場 形成 鋼板耐震壁 復原力特性”, 日本建築學會論文報告集, 1977년 10월
7. Masayoshi Nakashima, “Strain-Hardening Behavior of Shear Panels Made of Low-Yield Steel”, Journal of Structural Engineering, Vol. 121, No. 12, December, 1995
8. B.Kato and H.Akiyama(1973), “Predictable Properties of Material under Incremental Cyclic Loading”, IABS. Preliminary Publication Lisbon
9. Toko Hitaka, chiaki Matsui and Masaru Chono, “Strength and Behavior of Steel of Steel Bearing Wall with Slits, PSSC, Oct, 1998
10. 손창현(1999), “유한요소해석 입문과 선형해석”, 태성에스엔이
11. 손창현(1999), “비선형 해석(Ansys 5.5)”, 태성에스엔이
12. Ansys Commads Reference, Ansys Electromagnetic Field Analysis Guide, Ansys Theory Reference, Ansys Verification Manual, Ansys Structural Analysis Guide, Ansys Basic Analysis Procedures Guide
13. Bathe, “Finite Element Procedures”, Prentice Hall
14. O.C, Zienkiewicz, R.L. “The Finite Element Method”, Fourth Edition, Volume 1,2. McGraw Hill
15. Charles G. salmon John E.Johnson “STEEL STRUCTURES Design and Behavior”, Fourth Edition,