

비구조 경량칸막이벽의 내진성능평가를 위한 매크로 모델

Macro Model for Evaluating Seismic Performance of Nonstructural Lightweight Partition Walls

1. 서론

건축물의 구조성능에 직접적인 영향을 미치는 구조요소를 제외한 건축물의 구성요소를 비구조요소라 하며 건축, 기계, 전기 등과 같이 사용목적에 따른 종류가 다양하고, 동일한 요소라 하더라도 적용되는 제품 및 시공방법에 따라 상이한 특성을 나타낸다(최경석 등, 2018). 비구조요소 중 하나인 경량칸막이벽은 지진 발생 시 손상이 쉽게 발생할 수 있는 대표적인 요소이며, 건축물의 바닥슬라브에 설치되어 있어 층간변위 발생 시 면내방향 변형과 관성력으로 인한 면외방향 전도가 발생할 수 있다. 이와 같은 지진으로 인한 비구조 경량칸막이벽의 손상 및 전도는 천장재 등과 같이 인접한 타 비구조요소의 2차적인 지진손상을 유발할 수 있으며, 피난경로에 방해가 되어 직접 또는 간접적인 인명손상으로 이어질 수 있기 때문에 적절한 내진성능을 발휘할 수 있어야 한다(대한건축학회, 2019). 현행 내진설계기준에서는 경량칸막이벽체에 대해서 위치유지 수준에 해당하는 내진성능을 발휘할 수 있게 설계하도록 하고 있으며, 면내 방향으로 건축물의 중요도에 따라 1% 또는 0.5%보다 작은 횡변위비가 발생하는 경량칸막이벽체에 대해서는 위치유지의 내진성능이 달성된 것으로 판단한다(김형준, 2022).

비구조 경량칸막이벽체에 대한 내진성능을 평가하기 위해서는 벽체의 거동을 모사할 수 있는 해석모델이 필요하다. 최근 다수의 연구에서는 서로 다른 상세를 가지는 경량칸막이벽의 손상 및 파괴모드를 파악하기 위한 실험적 연구가 수행되었으며, 실험결과를 모사할 수 있는 다양한 해석방법들이 제시되고 있다(Jenkins *et al.*, 2016). 경량칸막이벽에 대한 정밀한 해석 방법으로 2차원 면요소를 고려한 유한요소해석 방법을 사용할 수 있으나, 다양한 부재들을 결합하여 시공하는 경량칸막이벽의 경우에는 해석시간 증가와 수치해석의 안전성 문제가 발생할 수 있으므로 해석 방법으로 적합하지 않다. 이와 같은 상황을 고려하여 본 고에서는 모델링 및 해석이 상대적으로 간편한 매크로 모델을 활용하여 경량칸막이벽의 면내방향 거동을 해석하는 절차를 소개하고자 하며(Shin and Kim, 2020), 국내에서 일반적으로 시공되는 경량칸막이벽체의 거동을 해석하여 주요 파괴모드와 비교하였다.



신 동 현

부산대학교 건설융합학부 건축공학전공 조교수

2. 비구조 경량칸막이벽의 구성

비구조 경량칸막이벽은 석고보드와 경량철골 부재인 스테드, 상부리너(윗막이)

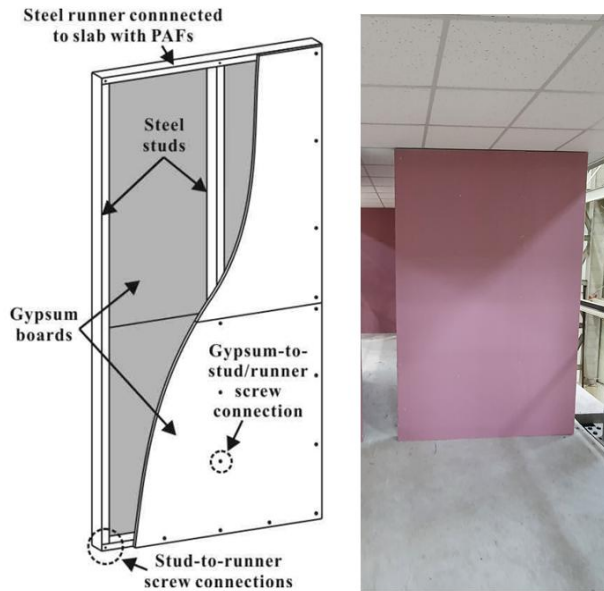


그림 1 비구조 경량칸막이벽의 구성요소

및 하부러너 (밑막이)를 주요 구성요소로 하여 현장에서 나사못 및 고정못을 활용하여 건식으로 설치되는 비구조 벽체를 일컫는다. 그림 1에서는 비구조 경량칸막이벽에 활용되는 부재와 배치를 요약하여 정리하고 있다. 러너는 상부층 슬라브와 하부층 슬라브의 상면에 고정못으로 결합되는 경량철골부재이며, 스티드는 상부 및 하부 트랙의 사이에 끼워 넣어 석고보드를 부착할 수 있도록 하는 수직부재이다. 스티드는 석고보드의 크기에 따라 설치간격이 결정되며, 석고보드의 길이가 900mm이면 450mm간격으로, 석고

보드의 길이가 1200mm이면 600mm간격으로 설치하는 것이 일반적인 시공상세이다. 마감재인 석고보드는 설치되는 칸막이벽의 내화성능을 확보하기 위하여 두겹씩 스티드의 양쪽면에 설치되며, 고정을 위하여 나사못을 스티드의 플랜지와 석고보드에 체결하여 시공하게 된다. 이와 같이 경량칸막이벽은 이질적인 건축재료들이 나사못, 고정못으로 결합되어 구성되는 상세를 가지기 때문에 지진과 같은 횡력이 작용하였을 때 매우 복잡한 구조적 거동 특성을 나타내게 된다.

3. 비구조 경량칸막이벽의 매크로 해석모델

비구조 경량칸막이벽은 지진발생 시 건축물의 층간변위가 발생하게 되면 스티드에 접합되어 있는 석고보드가 강체회전을 하게 된다. 이와 같은 석고보드의 강체 거동으로 인하여 러너와 스티드를 포함한 경량철골조는 전단변형을 하게 되며, 변형이 심화되면 석고보드와 스티드를 연결하는 나사못 접합부에서 손상이 발생하게 된다. 나사못 접합부의 손상은 긴결재인 나사못이 1면 전단에 의하여 기울어짐이 발생한 후 나사못이 석고보드 내부로 파고드는 현상 또는 나사못의 일부 들림 현상이 발생하기 시작하며, 최종적으로는 석고보드와 스티드로부터 나사못이 뽑히게 된다. 많은 수의 나사못 접합부에서 나사못 뽑힘이 발생하게 되면, 석고보드에 대한 고정력이 약해지게 되고 최종적으로는 석고보드의 탈락을 유발하게 된다. 이와 같은 현상은 경

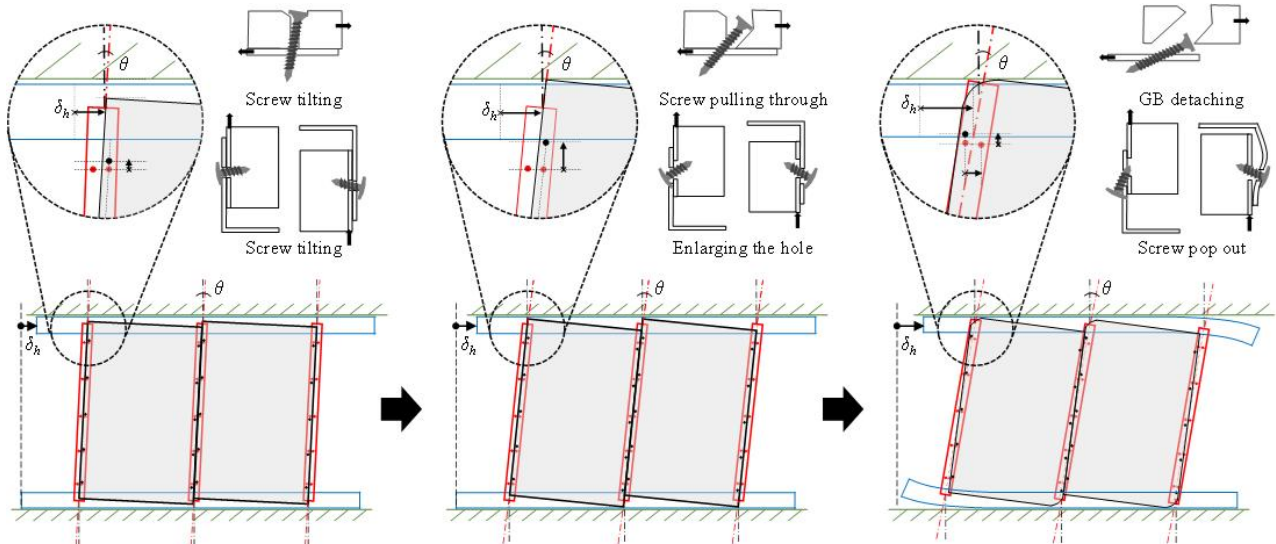


그림 2 비구조 경량칸막이벽의 손상 및 파괴모드

량칸막이벽의 가장자리에서 두드러지게 나타난다.

벽체에 추가적인 변형이 발생하게 되면 석고보드의 강체 회전이 심화되어 모서리부가 슬라브에 맞게 되고 이로 인한 압괴로 모서리부 균열이나 탈락 등의 손상이 발생하게 된다. 지속적으로 변형이 축적되게 되면 스티드도 상부 슬라브에 맞게 되어 압축력이 부재에 가해지게 되며, 경우에 따라서는 스티드의 좌굴이 발생하는 등 소성힌지부가 형성되게 된다. 스티드의 좌굴은 주로 상부 러너에 가까운 위치에서 발생하며, 석고보드와 스티드 및 러너 접합부의 손상이 발생한 이후에 나타나는 손상 매커니즘이다.

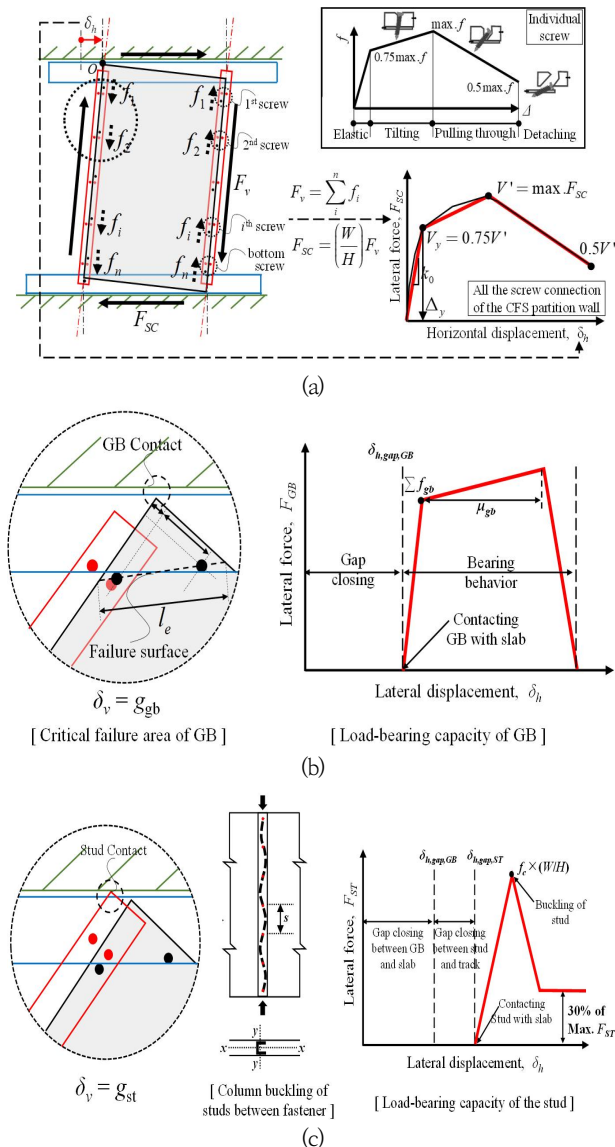


그림 3 손상 및 파괴모드를 고려한 하중-변위관계 작성:

(a) 나사못 접합부, (b) 석고보드, (c) 스티드

경량칸막이벽에 지속적인 변형이 발생하게 되면 러너와 고정못의 접합부에서 손상이 발생하게 된다. 러너와 슬래브를 연결하는 고정못의 뿔침 또는 러너의 찢어짐 등이 이와 같은 손상에 해당한다. 비구조요소인 경량칸막이벽은 러너의 두께가 얇기 때문에 전단력이 작용하는 경우, 고정못으로 접합된 러너의 웹가 찢어질 가능성이 높다. 그림 2에서는 비구조 경량칸막이벽의 손상 및 파괴모드를 발생하는 순서에 따라서 정리하고 있다.

비구조 경량칸막이벽의 지진 시 면내방향 거동은 석고보드를 스티드에 고정시키기 위한 나사못 접합부에 손상이 발생하기 이전까지는 탄성상태로 거동하며, 나사못의 기울어짐 현상과 함께 나사못 접합부의 손상이 동반되면 비선형 거동이 시작된다. 이때 석고보드 모서리부, 스티드의 좌굴 등과 같은 다양한 손상이 발생하게 되면 강성과 강도가 변화하게 된다. 이와 같은 거동을 해석적으로 구현하기 위해서는 우선 손상 및 파괴모드를 고려한 비구조 경량칸막이벽 구성요소의 이력거동을 정의해야 한다. 그림 3에서는 비구조 경량칸막이벽을 구성하는 주요 요소인 나사못 접합부, 석고보드, 스티드에 대한 이력모델을 나타내고 있다. 나사못 접합부의 이력모델은 삼선형으로 작성되며, 손상이 발생하지 않은 초기 탄성구간, 나사못의 기울어짐이 발생하는 구간, 나사못이 뿔치는 구간으로 구분하여 기준에서 제시하는 나사못 접합부의 강도계산 절차에 따라 이를 결정한다. 석고보드의 경우, 비구조 경량칸막이벽의 초기 변형단계에서는 석고보드의 강체거동이 발생하며 손상이 발생하지 않지만 석고보드의 모서리가 상부 슬라브에 맞게 되면 하중전달을 시작하게 된다. 이와 같은 현상을 gap요소로 구현하며 하중전달을 시작하는 시점에서의 지압강도를 계산하여 이력모델을 작성한다. 마지막으로 스티드의 이력거동은 석고보드의 거동과 마찬가지로 스티드가 상부 슬라브에 맞닿아 하중전달을 하는 구간까지를 gap요소로 모델링하며, 이후의 거동은 경량철골에 대한 좌굴강도로부터 정의된다.

비구조 경량칸막이벽을 구성하는 주요요소에 대한 하중-변위관계가 정의되면 그림 4에서 정리하고 있는 바와 같이 각 요소의 거동을 대표하는 전단스프링 3개로 매크로 모델 작성이 수행된다. 스티드와 석고보드 요소를 대표하는 스프링은 맞닿음으로 인한 하중전달이 시작되기 전까지는 힘이 전달되지 않도록 gap요소를 사용한다. 나사못 접합부는 별도의 gap요소를 적용하지 않으며, 반복가력 시의 접합부에서의 슬립현상 등을 구현하기 위하여 핀칭모델을 적

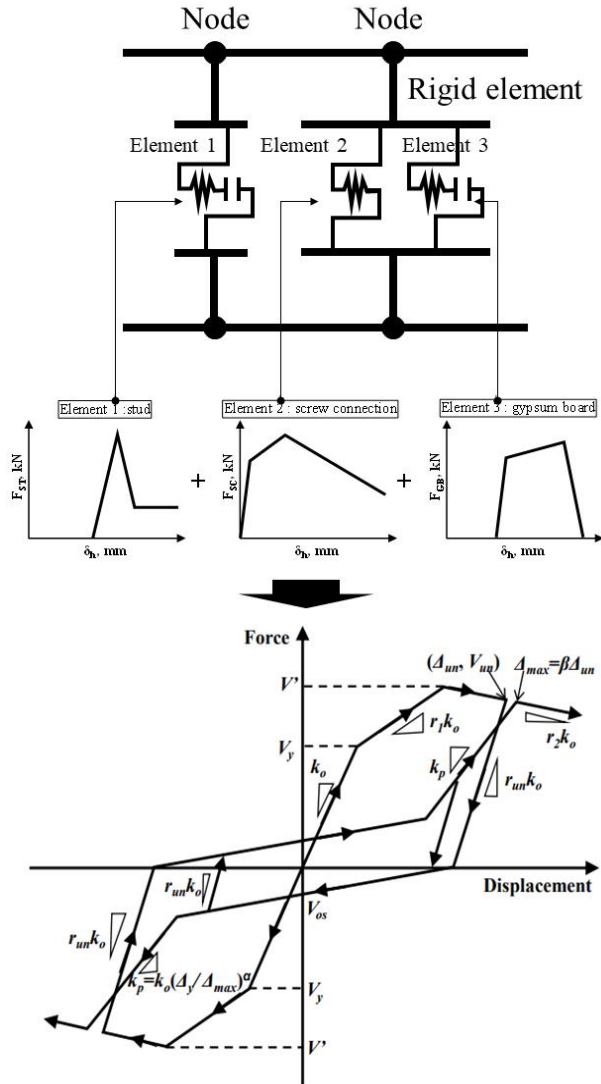


그림 4 반복하중에 대한 비구조 경량칸막이벽의 이력거동 정의

용한다. Wayne-Steward 모델과 같은 핀칭모델을 적용하며 나사못 접합부에서의 슬립이나, 반복가력시 강성 및 강도 저감 현상 등을 모사할 수 있다. 또한 각 구성요소를 대표하는 3개의 스프링은 동일한 변형이 발생할 수 있도록 노드를 공유하여 모델링한다.

이와 같이 정의된 매크로 모델을 활용하여 비구조 경량 칸막이벽의 이력거동을 해석한 결과를 그림 5에서 제시하고 있다. 해석대상이 되는 비구조 경량칸막이벽은 국내에서 다수 활용되는 시공상세로서 스티드를 450mm간격으로 배치하고 석고보드는 900mm 폭을 사용한 경우이다. 나사못은 300mm 간격으로 배치하였으며 고정못은 간격은 600mm이다. 해석모델은 석고보드의 폭을 고려하여 2개의

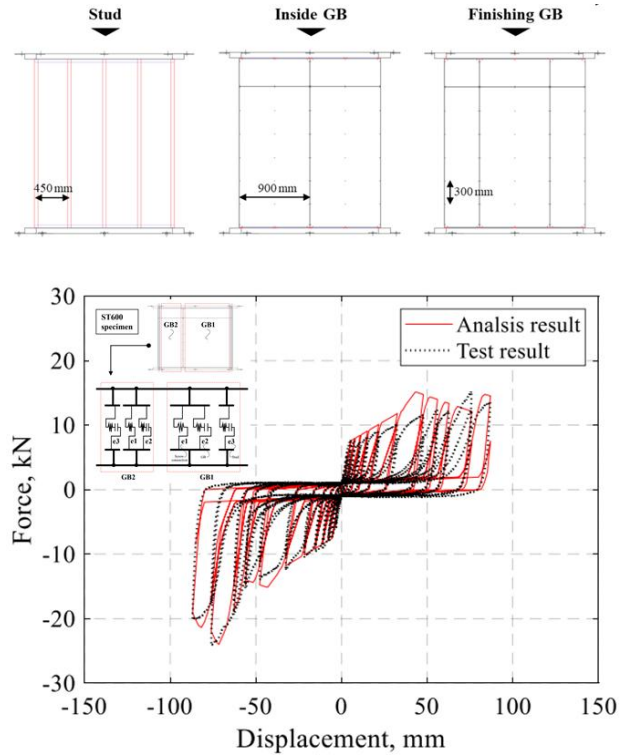


그림 5 매크로 모델을 적용한 비구조 경량칸막이벽의 이력거동 해석

경량칸막이벽으로 모델링하였으며, 총 6개의 스프링요소가 사용되었다. 해석결과는 실험결과와 유사한 이력거동을 나타내었으며, 나사못 접합부의 손상으로 인한 비선형거동, 석고보드 모서리부의 균열 및 탈락으로 인한 강도저감 현상, 스티드의 좌굴로 인한 강도저감 등이 매크로 모델을 활용하여 높은 정확도로 예측하는 것을 확인할 수 있다.

4. 맺음말

본 고에서는 비구조 경량칸막이벽체의 지진 시 주요 손상상태와 파괴 매커니즘에 대해서 정리하고, 이와 같은 현상을 모사할 수 있는 매크로 모델의 작성과정에 대해서 설명하였다. 기존에 활용되고 있는 비구조 경량칸막이벽체에 대한 복잡한 해석모델과 비교하여 주요 구성부재를 대표하는 스프링 요소를 종합하여 구성한 매크로 모델은 해석모델 작성과정에서의 절차 간략화와 해석시간의 감소를 도모할 수 있으며, 높은 정확도로 주요 손상의 발생으로 인한 비구조 경량칸막이벽체의 비선형 거동을 예측하는 것으로 나타났다. 이 기사에서 기술하고 있는 매크로 모델 작성방법은 향후 경량칸막이벽체의 지진취약도 함수작성 등과 같은

해석적 연구에서 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 최경석, 김형준 (2018) 비구조요소인 경량칸막이벽의 내진 성능, 대한건축학회 2018년 추계학술발표대회논문집, 38(2)
2. 김형준 (2022) 경량칸막이벽체에 사용되는 경량철골부재의 내진설계와 이력거동, 한국강구조학회지, 24(2), pp. 27-31.
3. AIK (2019) Seismic Building Design and Commentary (Korean Building Code), KDS 41 17 00: 2019, Korean Building Code Center.
4. Jenkins, C., Soroushian, S., Rahmanishamsi, E., Maragakis, E.M. (2016) Experimental fragility analysis of cold-formed steel-framed partition wall systems, Thin Walled Structure, 103, pp. 115-127.
5. Movahednia, M., Mirhosseini, S.M., Zeighami, E. (2019) Numerical Evaluation of the Behavior of Steel Frames with Gypsum Board Infill Walls, Adv. Civil Eng., 2019, 6846139.
6. Rahmanishamsi, E., Soroushian, S., Maragakis, E.M. (2016) Analytical model for the in-plane seismic performance of cold-formed steel-frame gypsum partition walls, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 45, pp. 619-634.
7. Shin, D.H., Kim, H.J. (2020) Macro-Modelling Approach for the In-Plane Cyclic Response of Cold-Formed Steel Partition Walls, Applied sciences, 10, 8163. 