

홀드다운을 적용한 경골목조 벽체의 전단성능*1

이 인 찬*2 · 박 천 영*2 · 이 전 제*2†

Racking Property of Light-framed Shear Wall with Hold-down Connector*1

In-Chan Lee*2 · Chun-Young Park*2 · Jun-Jae Lee*2†

요 약

건축구조 설계기준이 개정됨에 따라서 목조건축물의 제한 기준이 완화되어 경골 목조건축의 다층 시공이 가능하게 되었다. 건축물의 규모 증가는 건물에 작용하는 하중을 증가시키므로 증가된 작용하중에 맞추어 하중 저항성능을 향상시켜 설계하고 시공해야 한다. 기존에는 경골 목조건축의 전단성능을 향상시키기 위하여 벽량을 보강하는 방법을 적용하였으나 본 연구에서는 홀드다운 접합철물을 사용하는 방법을 적용하였다. 홀드다운은 아직까지 국내에서 보편적이지 않은 접합철물이므로 홀드다운의 국내 적용 적합성을 평가하기 위하여 본 연구를 수행하였다. 홀드다운을 적용한 경골 목조 전단벽에 대하여 정적하중 시험을 통한 전단성능 평가 결과 홀드다운 적용 후에 전단벽의 초기강성, 항복하중 및 기준하중이 향상됨을 확인하였으며, 전단성능 향상에 따라 수평 변위와 전단변형의 증가율이 감소하는 것이 확인되었다. 홀드다운과 스티드의 접합방법에 따른 전단성능의 차이는 크지 않은 것으로 확인하였고, 홀드다운 제품 설계강도가 증가할수록 전단벽의 전단성능도 증가하는 경향이 나타났으나 그 차이가 제품 설계강도 차이에 비하여 크지 않은 것으로 판단되었다. 홀드다운을 설치하는 스티드의 규격에 따라서 89 mm 스티드를 사용한 경우와 38 mm 스티드를 두 겹으로 사용한 경우에 비슷한 성능을 나타내므로 38 mm 부재에 홀드다운을 설치할 경우는 스티드의 두께 보강을 통한 성능 향상이 필요하다고 판단하였다.

ABSTRACT

As the height of the light-framed building increases, the lateral load and overturn-moment are increased and the possibility of the building overturn becomes larger. Because the shear wall

* 1 접수 2007년 3월 2일, 채택 2008년 4월 8일

* 2 Major in Environmental Materials Science, College of Agriculture & Life Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

† 주저자(corresponding author) : 이전제(e-mail: junjae@snu.ac.kr)

resists lateral load in light-framed building, the reinforcement of shear wall is required. In order to reinforce the light-framed shear wall, using lag screw fastener type (B-HD) and using bolt type (S-HD) hold-down connectors were applied for test. And domestic larch lumbers, 38 × 140 mm and 89 × 140 mm, KS 2nd grade, were used for the stud. The North American OSB panels were used for sheathing panel. Static loads, load speed 6 mm/min, were applied on top of the wall. As a result, shear strength of the wall that using hold-down connector was improved sufficiently. And when applying the S-HD type hold-down connector, stud should be reinforced against weakening by drilled hole. As increasing the number of lag screw, the number of bolt and the product allowable strength, the strength of shear wall that using hold-down connector was also increased. When applying hold-down connector to light-framed building using 38 mm stud, it must be reinforced by enlarging the thickness of stud like as 38 mm doubled column.

Keywords: light-frame, shear wall, connector, hold-down, lateral load

1. 서 론

건축구조 설계기준이 개정됨에 따라서 목조건축물의 지붕높이 제한 기준이 종전의 13 m에서 18 m로 완화되고 건축 재료로써 목재의 내화성능이 인정됨에 따라 경골 목조건축의 경우에도 공동주택을 포함한 다층구조의 건축이 시공 가능하게 되었다(건축구조설계기준, 2005). 건축물의 규모 증가는 건물 자체의 고정하중이나 적재하중과 같은 연직하중을 증가시키며, 연직하중의 영향을 받는 지진하중과 바람맞이 면적에 영향을 받는 풍하중 같은 측방하중 또한 증가시킨다. 특히 다층 구조물에 있어서 측방하중에 의한 층간 변형 및 구조물 전체의 변형이 구조물의 안정성에 영향을 주기 때문에(Miranda, 1999) 완화된 높이 기준에 따라서 다층구조의 건축물을 시공할 경우에는 증가된 작용하중을 저항할 수 있도록 설계하고 시공하여 측방하중에 의한 구조물의 변형을 최소화 하도록 해야 한다.

경골 목조건축은 건물에 작용하는 하중을 전단벽이 저항하는 구조이며, 전단벽은 스티드와 덮개 판재로 구성되어 스티드가 연직하중을 지지하고 덮개 판재의 면전단력에 의해 측방하중을 지지하게 된다(장, 2002). 높은 콘크리트 건물의 변형과 파괴에 관한 기준의 연구 결과 전단벽이 측방하중 전달에 필수적인 요소라고 강조되고 있으며(Sindel *et al.*,

1996) 마찬가지로 다층 목조건축에 있어서도 전단벽에 의한 측방하중의 지지 성능이 중요하다 하겠다. 스티드와 덮개 판재에 의한 하중 저항에 있어서 스티드와 덮개 판재 사이의 못 접합에서의 에너지 흡수가 전단벽의 성능에 영향을 미치는 인자이며(Hong, 1999) 전단벽의 측방하중 저항 성능은 벽체 경계 조건에 따라서도 좌우된다(Gad *et al.*, 1999). 그리고 스티드와 덮개 판재의 접합에 있어서 못 접합과 같은 기계적인 방법과 접착제를 사용하는 방법의 차이에 따라서 하중 저항 거동이 달라진다(Rosowsky *et al.*, 1999). 전단벽의 항복은 못과 덮개판재의 항복이 복합적으로 발생하며 못의 항복은 벽체의 하단 바깥쪽 모서리에서 주로 발생하게 되며(He *et al.*, 1999) 전단벽에 개구부가 있을 경우에는 전단성능의 감소가 뚜렷하고, 개구부의 위치는 강도에 영향이 적으며 개구부의 면적이 증가하면 전단강도가 감소하게 된다(He *et al.*, 1999 장; 2000). 따라서 증가된 연직하중에 대하여 스티드의 단면적을 증가시키거나 설치 개수를 증가시키는 방법과 같은 벽량의 보강을 통해 하중 저항성능을 향상시키고, 측방하중의 증가에 대해서는 덮개 판재의 두께를 증가시키거나 못 접합을 증가시키는 방법을 통해 전단저항 성능을 보강하는 방법이 필요하다.

본 연구에서는 경골목조 벽체의 전단성능을 향상시키기 위해서 덮개 판재나 못 접합의 보강을 하는

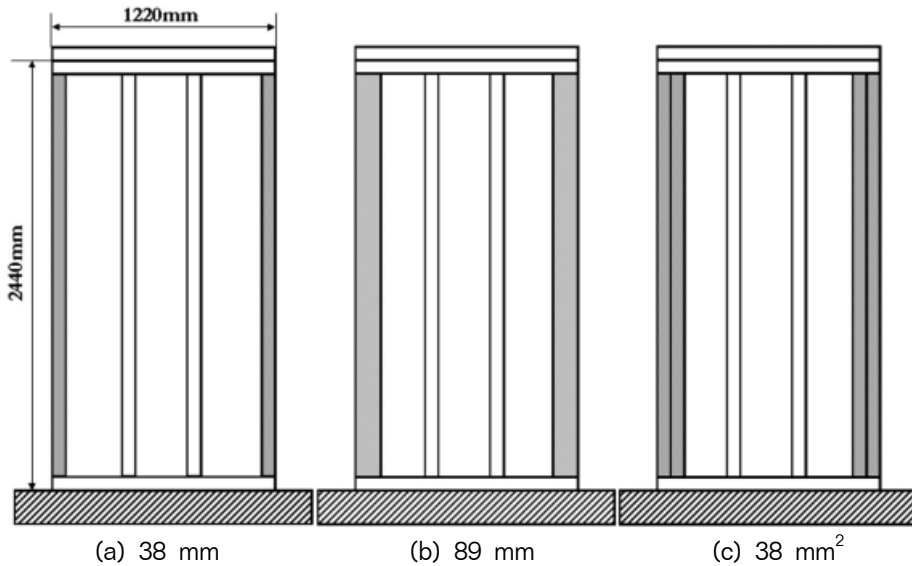


Fig. 1. Shear wall frame as different end-post stud thickness.

기존의 방법이 아닌 홀드다운 철물을 사용하는 방법을 적용하였다. 홀드다운 철물은 일본, 미국 등 외국에서 널리 사용되고 있는 접합철물이지만 국내에서는 아직까지 보편적이지 않으므로 외국과 국내의 건축 시공 방법 차이에 따른 홀드다운의 국내 적용 적합성을 평가하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

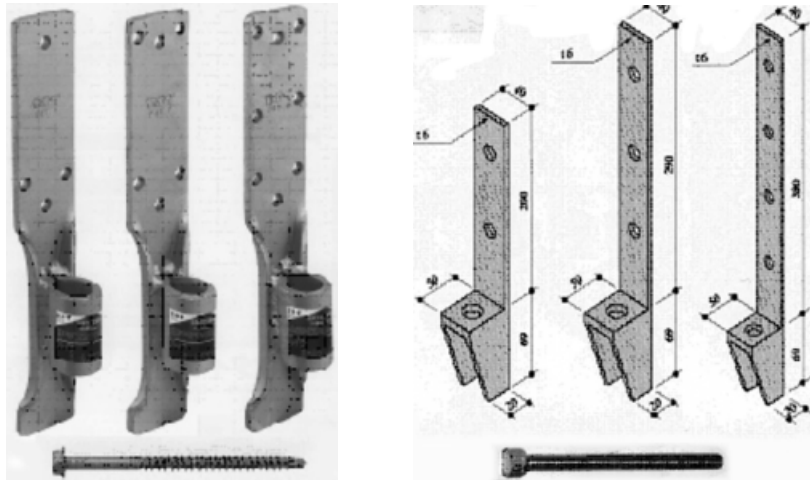
전단벽의 재료로 38×140 mm (2×6 in.) 및 89×140 mm (4×6 in.) 크기의 국산 낙엽송 KS 2등급 구조용 제재목을 스티드로 사용하였다. 국내에서는 주로 38 mm 두께의 스티드를 주로 사용하지만 일본, 미국 등 외국에서는 38 mm 스티드 뿐만 아니라 89 mm 두께의 스티드 역시 많이 사용하며, 특히 본 연구에 사용하는 홀드다운이 89 mm 스티드에 주로 사용되는 일본 제품이므로 38 mm 부재와 89 mm 부재를 함께 적용하여 평가하였다.

덧개용 판재는 두께 11.1 mm의 구조용 OSB를 사

용하였다. 부재의 접합은 스티드 사이에는 16 d 박스못, 스티드와 덧개 판재 사이에는 8 d 박스못을 사용하였고, 덧개 판재의 못 간격은 측면 150 mm, 내부 300 mm로 하였다. 벽체는 끝 면의 스티드의 규격에 따라서 Fig. 1과 같이 세가지 구성으로 제작되었다.

전단벽에 적용할 홀드다운은 일본 K社의 제품으로써 스티드와의 접합방법에 따라서 직경 6 mm 래그스크류를 사용하는 B-HD type 홀드다운과 직경 12 mm 볼트를 사용하는 S-HD type 홀드다운 두 종류를 사용하였으며(Fig. 2) 각각 래그스크류 및 볼트의 접합 개수가 증가함에 따라서 제품의 허용설계 강도가 증가하게 된다. 또한 홀드다운과 벽체 기초부의 접합은 두 가지 모두 직경 16 mm 볼트를 사용하였다.

벽체의 기초는 실험의 편의를 위해 실제 시공현장에서 적용되는 철근 콘크리트 대신 철재 I-beam을 시험장 바닥에 고정시켜 사용하였으며, 기초 및 지반에 의한 변형은 고려하지 않았다. 그러나 실제 건축물이 지어지는 기초 및 지반환경에 따라서 벽체의 거동 및 성능이 달라지므로(S.S. Badie, 1997) 경골



(a) B-HD hold-down and 6 mm lag screw (b) S-HD hold-down and 12 mm bolt
 Fig. 2. Two types of hold-downs and fasteners.

Table 1. Test specimens as end-post thickness and hold-down types

End-post thickness	Control	S-HD (design value)				B-HD (design value)		
89 mm	A (no hold-down)	D (15 KN)	D ^a (10 KN)	D ^b (20 KN)	G (15 KN)	G ^b (25 KN)	G ^a (20 KN)	
38 mm ²	-	-	-	-	H (15 KN)	-	-	
38 mm	-	-	-	-	I (15 KN)	-	-	

목조 건축물의 지반의 변형 등을 고려한 연구 및 고찰이 추가적으로 수행되어야 할 것이다.

Table 1에 스티드의 규격, 홀드다운의 접합방법 및 제품강도 등 변수에 따라 조합된 9가지 시편을 정리하였으며 각각의 시편에 대하여 2번의 반복수를 두어 총 18개의 벽체를 시험하였다. 홀드다운을 설치하는 끝면 스티드의 두께가 89 mm인 벽체를 기본으로 하여 홀드다운을 설치하지 않은 벽체는 A, 볼트 접합 홀드다운(S-HD)을 설치하는 벽체는 D, 래그스크류 접합 홀드다운(B-HD)을 설치하는 벽체는 G라고 시편 이름을 정하였으며 홀드다운의 설계강도가 커짐에 따라서 Da, D, Db 및 G, Ga, Gb로 구분하였다. 설계강도 15 KN의 래그스크류 접합 홀드다운(B-HD)을 사용하는 벽체의 경우에는 끝면 스티드

의 두께에 따라서 38 mm × 2의 경우에는 H, 38 mm의 경우에는 I라고 정하였다.

2.2. 시험방법

Fig. 3과 같이 KS F 2154(경골 목조 전단벽의 전단 시험 방법)에 기초하여 전단벽을 설치하고 벽체의 양 끝 스티드 하단에 홀드다운을 설치하였다. 측방하중의 재하는 정적하중을 6 mm/min의 속도로 벽체 시편의 상부에 작용시켰으며, 초기 접합부와 부재가 안정되도록 하기 위하여 예상 최대변위의 10%, 30% 그리고 최대변위 도달 시점까지 3단계의 정적하중을 작용시켰다. 하중전달장치(Load Actuator)의 로드셀을 통하여 하중을 측정하였고, Fig. 3에 표



(a) Shear wall frame (b) Applied B-HD hold-down (c) Applied S-HD hold-down

Fig. 4. Shear wall frame and applied hold-downs.

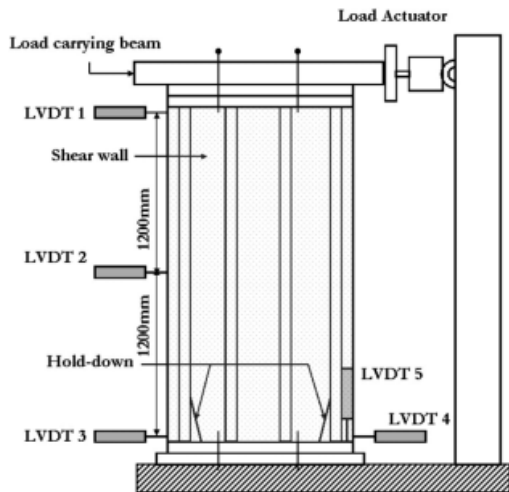


Fig. 3. Test apparatus for shear wall test.

시된 5개의 LVDT를 통해서 변위를 측정하여 데이터 수집장치(System 5000)를 통해 0.5초마다 컴퓨터에 저장하였다. 실제 전단벽 시험 모습과 홀드다운 설치 부위를 Fig. 4에 나타내었다.

하중이 최대에 도달할 때까지 시험해야 하지만 홀드다운을 설치한 벽체의 경우 변위가 크게 증가하여

도 최대하중에 도달했다고 여길 수 있는 하중의 감소가 나타나지 않았기 때문에 변위가 75 mm를 넘어가면 하중을 제거하여 시험을 중단하였으며, 벽체 상단의 변위가 50 mm인 시점의 하중을 최대하중으로 설정하였다. 일반적으로 2.4 m 높이의 전단벽에서 20 mm 정도의 변위를 최대 허용변위로 볼 수 있으므로(장, 2002) 75 mm 변위까지의 시험구간 내에서 50 mm 변위 시점을 기준하중으로 설정하여 해석하여도 의미가 있다고 판단하였다.

시험 결과를 바탕으로 초기강성, 항복하중은 木造軸組工法住宅의 許容應力度設計에 근거하여 구하였고, 전단변형은 KS F2154 (경골 목조 전단벽의 전단 시험 방법)에 근거하여 산출하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 5에 홀드다운 적용 전·후 전단벽의 하중·변형 곡선을 나타내었고, Table 2에는 각 시험편의 초기강성, 항복하중, 기준하중 등의 평균값을 정리하였다. 하중·변형 곡선을 통해 홀드다운을 적용하지 않은 벽체(A1,2)와 그렇지 않은 벽체들 간의 하

Table 2. Strength properties of hold-down applied shear walls

	Specimens (hold-down)	Stiffness (KN/mm)	Yield load (KN)	1/200 rad load (KN)	Standard load (KN)
A	(No hold-down)	0.40	295	380	495
G	(B-HD 15 KN)	0.56	681	676	1262
G ^a	(B-HD 20 KN)	0.57	686	697	1313
G ^b	(B-HD 25 KN)	0.67	735	771	1413
D ^a	(S-HD 10 KN)	0.61	656	689	1308
D	(S-HD 15 KN)	0.63	683	721	1305
D ^b	(S-HD 20 KN)	0.44	631	584	1250

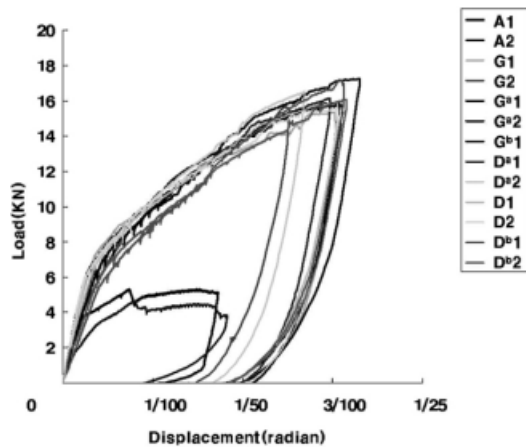


Fig. 5. Load-displacement curves of shear wall tests.

증성능 차이를 시각적으로 확인할 수 있다. 그러나 홀드다운 종류 및 강도에 따른 전단벽의 성능 차이는 하중·변형 곡선만으로는 구분하기 쉽지 않다고 판단되었다.

파괴모드에 있어서는 홀드다운을 적용하지 않은 벽체의 경우에 스티드와 깔도리 사이의 못의 인발파괴와 못의 전단파괴에 의한 덮개판재 부분의 못 머리 함몰이 쉽게 확인되었으나 홀드다운을 적용한 벽체에 있어서는 못의 인발파괴 및 못 머리 함몰이 상대적으로 작게 나타났다. 이는 홀드다운이 하중을 전단에 대한 수직 및 수평 하중을 저항함으로 인해 못 머리가 판재 내부로 함몰되거나 관통되는 파괴

형태가 비교적 적게 나타난 것으로 사료된다. 이러한 홀드 다운의 성능은 전단벽의 변위로 평가되며 다음 부분에서 논의 된다.

3.1. 홀드다운 적용 전·후 전단벽의 성능

3.1.1. 하중 저항 성능

홀드다운 적용 전·후의 하중·변형 곡선을 나타낸 Fig. 5와 전단벽의 성능을 정리한 Table 2의 결과를 살펴보면 전단벽에 홀드다운을 설치한 경우에 초기강성, 항복하중 및 기준하중이 크게 증가한 것을 확인할 수 있다. 제품 강도 15 KN의 홀드다운을 적용한 시편 G, D의 경우에 홀드다운을 적용하지 않은 시편 A에 비하여 초기강성은 40~60% 정도, 항복하중 및 기준하중은 130~160% 정도 각각 증가하였다. 이 결과를 통해 경골 목조 전단벽에 홀드다운을 설치하면 강성 및 하중 저항 성능이 향상되는 것이 확인되었으며, 초기강성보다 하중 저항이 더 크게 향상되는 것은 전단벽이 하중에 대한 비례구간을 벗어난 후에도 홀드다운에 의해서 지속적으로 하중에 대한 저항을 하기 때문으로 판단하였다.

1/200 rad 변형은 일반적으로 2.4 m 높이 전단벽의 허용변위를 엄격하게 적용했을 경우에 해당하는 전단변형으로서 항복하중과 1/200 rad 변형시점의 하중이 비슷하게 나타나는 것을 통하여 허용변위에 도달할 때까지 구조물이 항복하지 않고 유지된다고

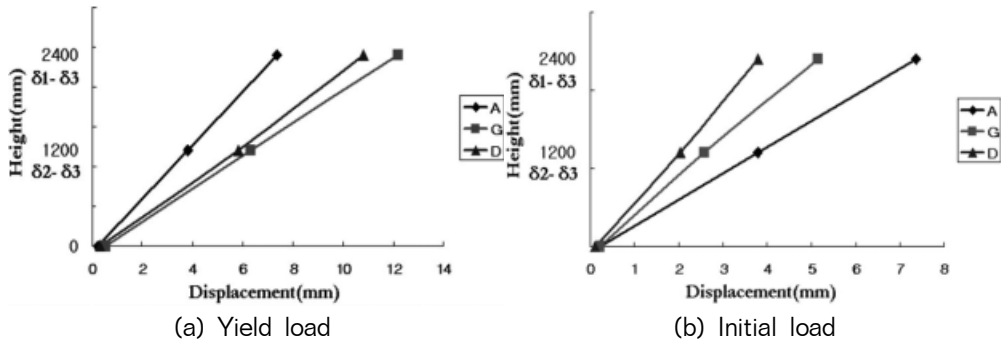


Fig. 6. Relative lateral displacement of the top and middle of shear walls under initial and yield loads.

판단할 수 있다. 그러나 허용변위는 조건에 따라 달라지므로 추가적인 연구 및 고찰이 필요하다.

3.1.2 전단벽 높이에 따른 수평 변위

LVDT를 사용하여 전단벽의 수평 변위를 측정할 결과를 살펴보면 홀드다운을 설치한 경우(G, D)에 홀드다운을 설치하지 않은 경우(A)보다 항복시점의 수평 변위가 크게 나타난 것을 확인할 수 있다(Fig. 6(a)). 이는 홀드다운을 설치한 경우의 벽체의 하중 저항성능이 우수하여 더 오랫동안 변형을 하면서 하중을 지지하기 때문이며, 항복 이전의 초기 동일하중에서의 수평 변위(Fig. 6(b))를 살펴보면 홀드다운을 설치한 경우(G, D)에 수평변위가 더 작게 발생하는 것이 확인되므로 전단벽에 홀드다운을 설치하면 수평 변위량이 감소한다고 평가되며, 이는 홀드다운의 설치로 인해 초기 강성이 커진 것으로 판단된다.

벽체 상부의 LVDT 1로 측정된 변위 δ_1 과 벽체 중간의 LVDT 2로 측정된 변위 δ_2 의 차이를 비율($\delta_1 - \delta_3$)/($\delta_2 - \delta_3$)로 평가해보면 홀드다운을 설치한 경우와 설치하지 않은 경우의 차이를 확인할 수 있다(Fig. 7). 홀드다운을 설치하지 않은 경우(A)에는 초기하중에서 항복 이후 최대하중에 이르기까지 ($\delta_1 - \delta_3$)/($\delta_2 - \delta_3$)비가 일정하게 유지되었지만 홀드다운을 설치한 경우(Ga, Gb, D, Da, Db)에는 δ_1/δ_2 비율이 점차 증가하는 양상을 나타냈으며, 특히 항

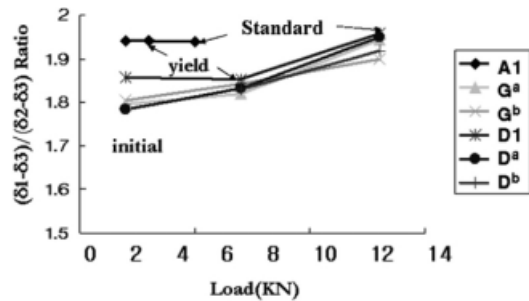


Fig. 7. Displacement ratio of the top and middle of shear wall as load point.

복 이후에 상대적으로 급격히 증가하는 것이 확인되었다. 이것은 홀드다운을 설치한 경우에 전단벽 상부의 변위($\delta_1 - \delta_3$)가 전단벽 중간의 변위($\delta_2 - \delta_3$)보다 크게 증가하였음을 의미하며, 홀드다운에 의한 기초부의 고정효과로 벽체 중간·하부의 변위는 감소하고 하중이 직접 작용하는 벽체 상부에는 변위가 상대적으로 크게 발생하였기 때문으로 판단되었다. 그러나 ($\delta_1 - \delta_3$)/($\delta_2 - \delta_3$) 비율의 값을 보면 2보다 작은 것을 알 수 있다. 이는 홀드다운 설치 여부에 관계없이 벽체의 상·하부의 변형량이 직선적인 관계를 나타내지 않으며, 상부 변형량이 상대적으로 작게 나타난 것으로 판단된다. 또한 홀드다운 설치 전후를 비교하면 수치상으로 작은 차이지만 홀드다운을 설치한 경우에 더 작은 ($\delta_1 - \delta_3$)/($\delta_2 - \delta_3$) 비율을 나타내므로 벽체 상부와 중간의 변위차이가 작은 것으

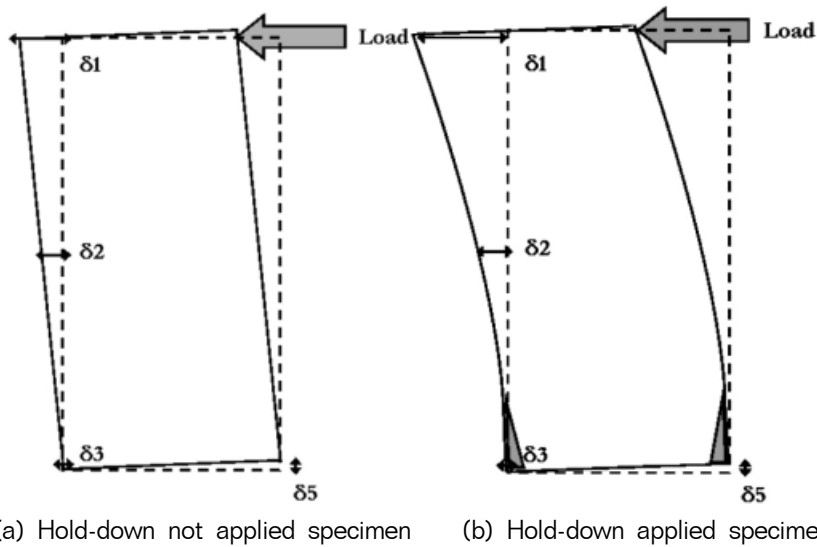


Fig. 8. Lateral displacement of shear walls.

로 나타난다. 이는 기존의 연구와 상반된 결과이며 이에 대한 추가 연구 고찰이 필요하다고 판단된다.

따라서 홀드다운을 설치하지 않은 벽체는 벽체가 전체적으로 회전하며 변형하지만, 홀드다운을 설치한 벽체는 기초부분의 고정효과에 따라서 벽체 상부 변위가 상대적으로 크게 증가함을 보여준다(Fig. 8). 이처럼 홀드다운의 적용 여부에 따라서 벽체의 하중-변형 거동의 차이가 발생하기 때문에 구조물의 해석에 있어서도 차이를 두어 평가해야 할 것으로 판단된다(Miranda and Reyes, 2002).

파괴모드에 있어서도 홀드다운 적용 여부에 따른 차이가 예상되었으나 본 연구에서는 홀드다운을 설치하지 않은 경우에는 스티드와 플레이트 구조재 사이의 못 빠짐에 의한 파괴가 확인되었으나, 홀드다운을 설치한 벽체의 경우에는 뚜렷한 파괴양상을 확인할 수 없었으므로 추가적인 연구를 통해 더 정확한 평가가 필요하다고 하겠다.

3.1.3 전단 변형

하중이 지속됨에 따라서 전단변형이 증가하는 비율을 살펴보면(Fig. 9) 홀드다운을 설치하지 않은

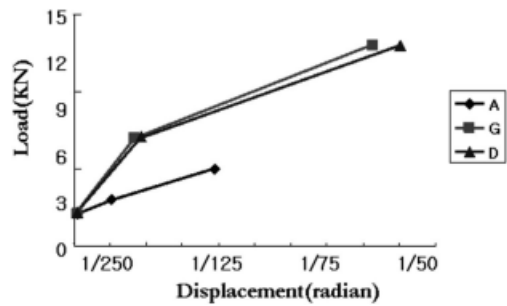


Fig. 9. Shear displacement of shear walls.

경우에는 하중 초기에서부터 항복 이후에 기준하중에 이르기까지 전단변형의 증가율이 비슷하게 유지되는 것을 확인할 수 있다. 그러나 홀드다운을 설치한 경우에는 항복이전에는 전단변형의 증가율이 홀드다운을 설치하지 않은 경우보다 작으며 항복 이후에 증가율이 커져서 홀드다운을 설치하지 않은 경우와 비슷해지는 것이 확인되었다. 따라서 홀드다운의 적용을 통해 수평 변위량(mm)의 절대적인 감소와 함께 벽체의 회전을 의미하는 전단변형(radian)도 감소시킬 수 있다고 판단하였으며 항복 이후에는 홀드다운의 효과가 줄어들어 홀드다운을 적용하지 않

은 벽체와 같은 변형거동을 나타낸다고 평가하였다.

3.2. 홀드다운 접합방법에 따른 전단벽의 성능

홀드다운과 스티드와의 접합방법의 차이에 따라서 래그스크류를 사용하는 B-HD를 적용한 경우와 볼트를 사용하는 S-HD를 적용한 경우의 전단벽 성능 차이를 비교한 결과, 표시된 제품 강도가 15 KN 인 경우에는 S-HD 15 KN을 적용한 경우(D)에 B-HD 15 KN을 적용한 경우(G)보다 초기강성, 항복하중 및 기준하중이 각각 13%, 7%, 3% 정도 높게 나타났다. 또한 제품 강도가 10 KN으로 가장 작은 S-HD 10 KN을 적용하였을 경우(Da)에도 B-HD의 15 KN, 20 KN 제품을 적용한 경우(Ga, Gb)보다 강도 성능이 크게 나타났으므로 B-HD보다 S-HD의 적용이 높은 성능을 나타내었다고 평가 할 수 있다. 하지만 그 차이가 크지 않다고 평가하였으며 홀드다운 종류에 따른 래그스크류와 볼트의 시공 방법의 차이에 더 중점을 두어야 할 것으로 판단되었다.

그러나 S-HD 홀드다운의 제품강도 20 KN을 적용한 경우(Db)에는 접합방법에 관계없이 가장 낮은 성능을 나타냈기 때문에 이 경우에 대하여 제품 강도별 평가에서 더 고찰하였다.

3.3. 홀드다운 제품 강도에 따른 전단벽의 성능

B-HD를 적용한 시편의 경우에 홀드다운의 제품 강도가 증가함에 따라서 B-HD 15 KN (G), 20 KN (Ga), 25 KN (Gb)의 순서로 전단벽의 초기강성, 항복하중 및 기준하중 역시 증가하는 결과가 나타났으나 S-HD의 경우에는 가장 큰 제품 강도인 20 KN의 제품(Db)을 적용했을 때 가장 낮은 강도 성능이 나타났다. S-HD의 경우 스티드에 볼트 구멍을 뚫어 홀드다운을 설치하는 방법이기 때문에, 제품 강도가 클수록 볼트의 개수 증가에 의한 스티드의 단면 손실 역시 증가하여 성능의 저하가 발생할 수 있을 것

으로 판단되었지만 눈에 띄는 파괴모드의 차이를 확인하기 어려웠다. 따라서 볼트 개수 증가에 따른 홀드다운 적용 성능 저하에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단되었다.

홀드다운 제품 강도는 제품 자체의 인장 성능을 나타내는데, 제품에 따라 5 KN씩 20~30% 정도 증가되지만, 전단벽에 적용될 경우 전단벽 성능 향상은 5~10% 정도로 홀드다운 제품 증가 비율에 비해 적게 나타났다. 이는 홀드다운을 설치한 전단벽의 기초부는 벽체 전체의 여러 접합부 및 하중 지지부의 일부분이므로 홀드다운을 설치한 접합부의 성능 증가가 벽체의 전체적인 하중 분배에 의해 감쇄되는 것으로 판단되었으며, 또한 홀드다운 제품 강도는 래그스크류나 볼트와 같이 홀드다운을 스티드에 접합하는 접합철물의 개수에 영향을 받으므로 제품 강도의 증가에 따른 전단벽의 성능은 홀드다운에 사용되는 접합철물의 영향을 받는다고 할 수 있다.

3.4. 스티드 규격에 따른 전단벽의 홀드다운 적용 성능

Table 3에는 B-HD 15 KN 홀드다운을 세 가지 스티드 규격에 적용하였을 경우의 결과를 정리하였다. 홀드다운을 설치하는 벽체의 끝면 스티드의 규격에 따른 성능의 차이를 비교해보면 두께 89 mm 스티드를 적용한 시편(G)에서 초기강성, 항복하중 및 최대하중이 가장 크게 나타났으며 38 mm 스티드를 두 겹으로 설치한 시편(H)의 경우에도 89 mm 스티드의 경우와 거의 비슷한 성능이 나타났다. 반면 38 mm 스티드를 한 겹으로 설치한 시편(I)의 경우에는 시편(G)의 경우에 비하여 초기강성은 12%, 항복하중 및 최대하중은 8% 낮게 나타났으며 특히 다른 시편과는 달리 래그스크류의 파괴가 발생하였다(Fig. 10). 이는 얇은 스티드의 두께에 맞추어 짧은 길이의 래그스크류를 사용하였기 때문으로 평가되며 그 결과 스크류에 의한 홀드다운 접합부 강도 및 전단벽의 성능이 저하되는 것으로 판단되었다. 전단벽의 성능에 영향을 미치는 스티드와 덮개 판재 사이의

Table 3. Strength properties as different end-post thickness of B-HD 15 KN applied shear wall

Specimens (end-post stud thickness)	Stiffness (KN/mm)	Yield load (KN)	1/200 rad load (KN)	Standard load (KN)
G (89 mm)	0.56	6.81	6.76	12.62
H (38 mm ²)	0.56	6.73	6.76	12.46
I (38 mm)	0.49	6.28	6.22	11.55



(a) Failure of applied lag screw



(b) Deflected lag screw

Fig. 10. Lag screw failure after test of specimen I.

못 집합 개수는 스티드 규격에 상관없이 동일하게 설치하였으므로 각 시험체간의 성능차이는 스티드 규격 및 홀드다운에 영향을 받으며, 따라서 국내 경골목조 건축의 주요 부재인 38 mm 스티드에 B-HD 홀드다운을 설치할 경우에는 스티드를 두 겹 이상 겹쳐서 설치하여 래그스크류 파괴에 의한 성능 저하를 방지해야 한다고 판단할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 정적하중 시험을 통해서 홀드다운을 적용한 경골 목조 전단벽의 전단성능을 평가하였다. 그 결과를 종합하면 다음과 같다.

1) 홀드 다운 적용 시 초기 강성은 40~60%, 항복 하중은 130~160% 증가한다.

2) 수평 변위는 경우 홀드 다운을 설치하면 초기에는 작게, 항복 이후에는 크게 나타났다.

3) 홀드 다운을 적용하면 전단 변형 증가율의 경우 항복 이전에는 작고, 항복 이후에는 비슷한 경향을 나타낸다.

4) 집합 방식에 따라, S-HD 15 KN (볼트)의 경우 B-HD 15 KN (래그 스크류)에 비해 초기 강성, 항복 하중 및 기준 하중은 각각 13%, 7%, 3% 크게 나타났다.

5) 홀드 다운 제품 표시강도가 5KN 증가함에 따라 전단벽 적용시 전단벽 성능은 5~10% 증가한다.

6) 스티드 규격에 따라, 89 mm 1개를 설치한 경우와 38 mm 2개를 설치한 경우는 비슷하지만, 38 mm 1개를 설치한 경우는 초기 강성은 12%, 항복 하중은 8% 낮게 나타났다.

이러한 결과를 종합하면, 볼트접합을 하는 S-HD 을 전단벽에 설치하는 경우에 볼트 개수의 증가에 따라서 전단벽의 스티드 단면손실에 의한 성능 저하가 우려되므로 S-HD를 적용하는 경우에 스티드의 단면손실의 영향을 평가해야 할 것으로 판단된다. 또한, 홀드다운을 적용한 경골 목조 전단벽의 전단 성능 향상을 바탕으로 기존의 전단성능 영향 요소인 개구부, 덮개판재의 두께, 못 접합 등과 같은 부분에 대해서 구조적으로 다양한 설계 및 시공이 가능할 것이라고 판단된다. 홀드다운을 설치하는 스티드의 규격에 따라서는 38 mm 스티드를 한 겹으로 설치한 경우(I)에 짧은 래그 스크류에 의한 접합부의 파괴 및 전단벽의 성능의 저하가 발생하므로 38 mm 부재에 홀드다운을 설치할 경우는 스티드의 두께 보강을 통한 접합부의 보강이 필요하다고 판단된다.

홀드다운 접합절물은 건축물의 기초뿐만 아니라 층간에도 적용될 수 있으며 실제로도 적용되고 있다. 따라서 전단벽 기초에 홀드다운을 적용하여 전단벽의 성능 향상을 평가한 본 연구 결과를 바탕으로 홀드다운을 층간에 적용한 경우의 전단벽의 성능 예측 및 평가를 연구할 수 있을 것으로 판단되며 국내 다층 경골 목조건축물의 안정성 확보를 위한 추가적인 연구가 필요하다고 하겠다.

참 고 문 헌

1. KS F 2154 경골 목조 전단벽의 전단 시험 방법. 한국표준협회.
2. Results of Cyclic Load Testing For Shear Resistance of Wood Framed Plywood Shear Walls with USP Lumber Connector Hold-Downs. 1999. EQE International, INC.
3. Badie, S. S., Salmon, D. C., and Beshara, A. W. Analysis of shear wall structures on elastic foundations. 1997. Computers and structures. Vol. 65, No. 2, pp. 213~224
4. Gad, E. F., A. M. Chandler, C. F. Duffield, and Stark, G. Lateral behavior of plasterboard-clad residential steel frames. 1999. Journal of structural engineering. 125(1); pp. 32~39
5. He, M., H. Magnusson, F. Lam, and H. G. L. Prion, Cyclic performance of perforated wood shear walls with oversize OSB panels. 1999. Journal of structural engineering. 125(1); pp. 10~18.
6. Hong, J. Estimation of racking performances of light-framed shear walls using small-scale model tests. 1999. Seoul National University, Korea.
7. Miranda, E. Approximate seismic lateral deformation demands in multistory buildings. 1999. Journal of structural engineering. V.125 No.4, pp. 417~425.
8. Miranda, E. and Reyes, C. J. Approximate lateral drift demands in multistory buildings with non-uniform stiffness. 2002. Journal of structural engineering. 128(7): pp. 840~849.
9. Rosowsky, D. V. and S. D. Schiff, Combined loads on sheathing to framing fasteners in wood construction. 1999. Journal of architectural engineering. 5(2): pp. 37~43
10. Sindel, Z., R. Akbas, and S. S. Tezcan, Drift control and damage in tall buildings. 1996. Engineering structures. 18(12): pp. 957~996.
11. 건축구조설계기준. 대한건축학회. 2005. pp. 41~121, 491~597.
12. 木造軸組工法住宅の許容應力度設計. 平成15(2004). (財)日本住宅木材技術センター. pp. 152.
13. 장상식. 개구부 면적이 전단벽의 전단성능에 미치는 영향. 2000. 한국목재공학회 2000 학술발표논문집, pp. 79~84.
14. 장상식. 전단벽의 전단성능 예측모형. 2002. 목재공학 30(4), pp. 96~105.