

GFRP 전단연결재로 보강된 콘크리트 중단열 외벽시스템 개발

An Insulated Concrete Sandwich Wall Panel System Reinforced with GFRP Shear Connectors

김준희
JunHee Kim
한국건설기술연구원 수석연구원

유영찬
Young-Chan You
한국건설기술연구원 연구위원

1. 녹색성장과 그린 외벽시스템의 필요성

건물의 에너지소비 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 외피를 통한 열손실이며, <그림 1>에서 보여주는 것과 같이 대체로 건물의 냉·난방 부하의 40% 이상을 차지한다고 파악되고 있다. 이에 따라 독일로 대표되는 유럽에서 냉·난방 에너지 절감을 목표로 하는 패시브 건축의 기본 개념은 단열이며, 이는 제로 에너지 건축의 가장 중요한 요소이다. 국내 주거용 건물 대부분이 내단열 공법을 취하고 있기에 필연적으로 열교부위와 이를 통한 열손실이 발생하고 있다. 현행 단열기준법의 성능기준(단열재 두께 기준)을 30%~50% 향상시켜도 현재의 내단열 공법을 적용한 외피구조는 온돌 난방설비의 전열 특성에 기인하여 부위별로 열교현상과 열손실이 발생한다. 한편, 제로에너지·제로카본 빌딩 구현을 위한 요소기술의 하나로 제안되고 있는 외단열 구조는 높은 단열 성능에 의한 에너지 절감효과를 기대할 수 있으나 시공 상의 어려움 및 내구성 측면에서의 문제점을 내포하고 있다. 따라서 단열재로 구획되는 내·외부 콘크리트 패널을 열전도율이 매우 낮은 FRP 전단연결재로 일체화함으로써 단열성능 및 구조성능을 동시에 향상시키는 것을 특징으로 하는 ‘중단열 콘크리트 외벽시스템’의 개발은 건축부문에서의 에너지절약을 위한 가장 기본적인 핵심기술로서 친환경·고효율 건물외피 시스템의 실현을 위한 기술적 중요성이 매우 높다고 판단된다. <사진 1>는 중단열 벽체의 형상과 단면의 예이며, 본 고에서는 중단열 벽체의 구조적인 특징에 초점을 맞춰 기술하고자 한다.



그림 1. 건물의 에너지 부하



사진 1. 중단열 벽체의 형상 및 단면 예

2. 중단열 콘크리트 벽체의 합성거동과 전단연결재

중단열 벽체는 역학적으로 두개의 벽체가 각각 독립적으로 거동하는 비합성형 벽체, 두개의 벽체가 완전히 합성되어 단일부재로 거동하는 합성형 벽체 및 합성력의 정도에 따라 부분합성의 3가지로 구분할 수 있으나 부분합성 벽체는 설계상 정량화할 수 없는 한계로 인하여 중단열 벽체는 통상적으로 합성형 또는 비합성형으로 설계한다. 완전 합성형 벽체에서 벽체 연결재는 힘으로부터 발생하는 수평전단력에 저항할 수 있도록 설계되어야 하는 반면에 비합성 벽체로 설계되는 경우에 벽체 연결재는 수평전단력 전달을 최소화하는 방향으로 형상/배치됨으로써 두 벽체가 독립적으로 거동하도록 하여야 한다. 그러나 선행연구^{1~4)}에 의하면 중단열 벽체는 부분합성 거동을 보이며, 부분합성 정도는 전단연결재의 종류와 하중이력에 의존하여 변한다고 보고된 바 있다.

2.1 GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastic) 그리드형 전단연결재

FRP는 전통적인 구조재료인 강재에 비해 인장강도가 매우 높을 뿐만 아니라 비전기 전도성, 경량성 및 부식에 대한 저항성 등의 뛰어난 장점을 갖고 있다. 특히 FRP는 연속생산이 가능하고 취급이 용이하여 시공성이 우수할 뿐만 아니라 다양한 형태로 제작·시공될 수 있어 기하학적 형상과 무관하게 적용될 수 있는 특징이 있다. 중단열 콘크리트 벽체에 사용되는 전단연결재로서 FRP 소재는 <표 1>에서 보이는 것과 같이 비중이 1.4~2 정도로 강의 1/4 정도로 매우 가벼우며, 강도는 강의 2~10배 정도 높다. 또한 열전도율은 강의 1/180 밖에 되지 않아 기존 중단열 시스템에서 단열층을 관통하는 강재 스티드에 의한 열교현상 및

열교현상을 방지할 수 있으며, 기계적 강도가 좋은 동시에 내구성도 매우 우수한 장점이 있다. <사진 2>는 중단열 벽체에 사용되는 GFRP 그리드형 전단연결재의 제작과정이다.

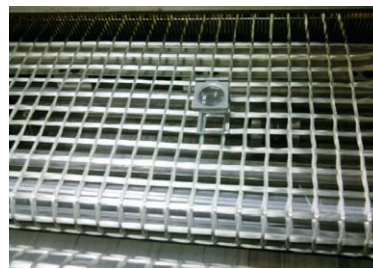
2.2 전단흐름강도에 기반한 GFRP 전단연결재 설계

중단열 벽체에 가해지는 풍하중에 의하여 벽체에 모멘트가 발생하고, 발생된 모멘트에 의하여 콘크리트와 단열재면에 전단흐름이 발생한다. 내/외측 콘크리트 패널이 합성거동으로 저항하기 위해서는 전단연결재가 적절히 설계되어 발생된 전단흐름을 적절히 전달해야 한다. 따라서 GFRP 전달연결재는 전단연결재의 전단흐름 강도가 풍하중에 의해 발생하는 요구 전단흐름 강도 보다 크도록 설계되어야 한다.

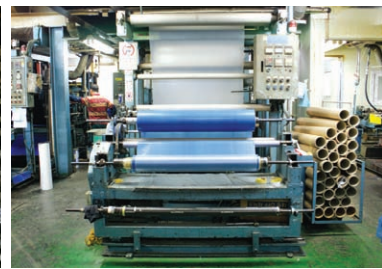
풍하중에 의한 벽체에 발생하는 최대 전단력을 V_u 라 하면, 요구 전단흐름 강도(q_u , kN/mm)는 단면 1

표 1. 재료별 물리적 특성

재료	비중	비열 (cal/g°C)	열전도율 (kcal/mh°C)	선팽창계수 (10-5°C)
FRP	1.2~2.1	0.30	0.24	0.7~6
철	7.8	0.11	65	1.2
알루미늄	2.7	0.22	191	2.4



(a) 원사 제직



(b) 수지 함침



(c) 후경화



(d) 절단

사진 2. GFRP 그리드 전단연결재 제작과정

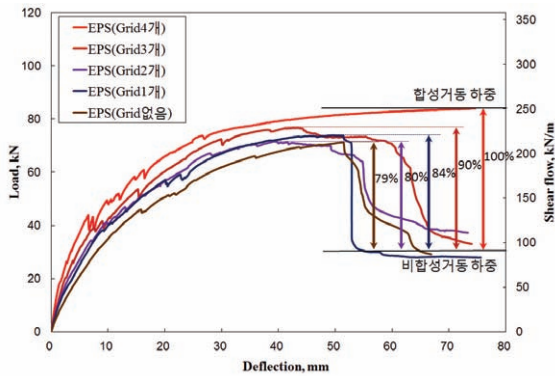


그림 3. 비드법 보온판(EPS) 단열재를 적용한 실험체의 하중-처짐 곡선

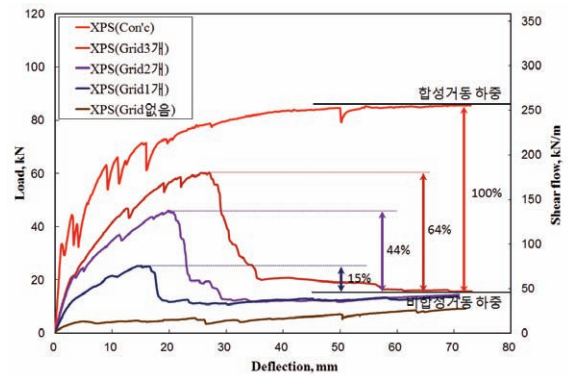


그림 4. 압출법 보온판(XPS) 단열재를 적용한 실험체의 하중-변위 곡선

차 모멘트(Q , mm^3)와 단면 2차모멘트(I , mm^4)로 다음과 같이 표현된다.

$$q_u = \frac{V_u Q}{I} \dots\dots\dots (1)$$

이에 대하여 전단연결재 한 개의 전단흐름 강도(q_n)와 강도저감계수(ϕ)를 적용하여 필요한 전단연결재의 개수(N)는 다음과 같이 계산된다.

$$N = \frac{q_u}{\phi q_n} \dots\dots\dots (2)$$

3. 콘크리트 중단열 벽체의 휨 거동

〈그림 3〉은 압출법 보온판(XPS) 단열재를 적용한 중단열 벽체의 휨거동을 보여주는 것이며, 전단연결재를 많이 사용할수록 휨 저항성능이 비례적으로 증가하는 것으로 나타났다. 또한 전단연결재가 파단될 때까지 내/외측의 콘크리트 패널이 하중에 대하여 합성적으로 거동함이 관찰되었고, 전단연결재의 개수가 증가할수록 이러한 전단연결재의 파단변위도 증가하는 것으로 나타났다.

한편, 〈그림 4〉는 비드법 보온판(EPS) 단열재를 적용한 중단열 벽체의 휨거동을 보여주는 것이며, 전단연결재(FRP 그리드)의 개수가 증가함에 따라 초기 강성의 증가는 관찰되었지만, 전단연결재의 개수에 따른 휨 저항성능의 차이는 확연하게 나타나지

않았다. 압출법 보온판(XPS)을 적용한 중단열 벽체의 거동과는 달리 최대하중과 균열하중이 전단연결재 사용량과는 무관하게 나타났다. 또한 EPS0~3 실험체에 있어서 전단연결재가 파단되는 시점도 유사하게 관찰되었다. 이는 EPS 단열재의 높은 흡수율과 거친 표면이 콘크리트와의 접착력을 증가시켜 전단연결재가 파단된 이후에도 표면바리가 일어나지 않았으며, 이러한 높은 부착성능은 전단연결재의 전단저항 성능과 함께 단열재의 전단 저항성능이 중단열 벽체의 휨 저항성능에 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다.

단열재의 종류에 따라 면내전단성능을 비교하면 다음과 같다. EPS 단열재는 XPS 단열재보다 콘크리트와 부착력이 월등한 것으로 나타났고, 이로 인하여 면내전단강도가 약 2배 이상 발현되었다. 따라서 XPS 단열재를 중단열 벽체에 적용하기 위해서는 표면을 거칠게 하여 부착력을 높일 필요가 있을 것으로 사료된다.

4. 맺음말

녹색성장이라는 세계적인 화두에 맞추어 국내에서도 건축물의 에너지소비량을 줄이기 위해 많은 노력이 진행되고 있다. 그중에서도 건물외피를 통한 불필요한 열손실을 제로화하는 첨단 그린 벽체 요소기술이 선행되어야 하는 것은 지극히 당연하며, 이러한 에너지 요구를 만족시키면서 동시에 구

조적인 성능도 높은 중단열 벽체는 좋은 해결책이 될 수 있다.

콘크리트 중단열 벽체에 보강된 전단연결재의 사용량은 전단흐름강도에 따라 결정될 수 있었으며, 실험을 통하여 그 실효성은 검증되었다. 단 설계 전단흐름강도는 미국 ACI 422에서 제안된 단위패널 실험을 통하여 구하였으나 국내에는 이에 상응하는 기준이나 지침이 없어 생산자의 실험 데이터에 의존할 수밖에 없는 것이 현실이다. 또한 중단열 벽체는 단열재의 종류에 따라 휨 성능의 차이가 나타났으며, 중단열 벽체 설계식의 완성도를 높이기 위해서는 콘크리트와 단열재의 부착력에 영향을 주는 인자와 단열재의 강도·강성 등 역학적인 특성에 대한 다수의 실험 및 평가데이터가 필요할 것으로 보인다. 본 고에서는 중단열 벽체의 전단흐름강도를 이용한 설계법과 구조적 성능에 대하여 기술하였다. 이에 벽체간 그리고 구조체와의 접합부 등 상세 디테일 등을 포함하여 하나의 완성된 그린 벽체시스템으로의 개발에 기여할 수 있기를 기대한다. □

담당 편집위원 : 최경규(숭실대학교) kkchoi@ssu.ac.kr

참고문헌

1. PCI Committee On Precast Sandwich Wall Panels, State-of-the-Art of Precast/Prestressed Sandwich Wall Panels, *PCI Journal*, 1997, Vol. 42, No.2, pp.92 ~ 134.
2. PCI Committee On Precast Sandwich Wall Panels, State-of-the-Art of Precast/Prestressed Sandwich Wall Panels, *PCI Journal*, 1997, Vol. 42, No.3, pp.32 ~ 48.
3. Hassan, T. K. and Rizkalla, S. H., Analysis and Design Guidelines of Precast, Prestressed Concrete, Composite load-bearing Sandwich Wall Panels Reinforced with CFRP Grid, *PCI Journal*, Spring, 2010.
4. 유영찬, 김준희, 김호룡, 최기선, '유리 섬유복합체(GFRP) 전단연결재로 보강된 중단열 콘크리트 월패널의 단열재 종류에 따른 휨 거동 분석', 대한건축학회 논문집, 2011, Vol. 27, No.11, pp. 61 ~ 70.



김준희 박사는 일리노이 주립대학교 토목공학과에서 철골 보-기둥 접합부와 하이브리드 모델링기법에 관한 연구로 박사학위를 취득하였고, 미국 Mid-America Earthquake 센터에서 연구원으로 근무하였다. 2010년부터 한국건설기술연구원에서 수석연구원으로 재직하고 있으며, 주 관심 연구 분야는 지진공학, 정보기반 모델링기법, 합성구조물이다.

junheekim@kict.re.kr



유영찬 박사는 한양대학교 건축공학과에서 고강도콘크리트 보-기둥 접합부에 관한 연구로 박사학위를 취득하였고, 현재까지 한국건설기술연구원 미래건축연구실에서 건축구조에 관한 연구를 수행하였다. 주 관심분야는 콘크리트 부재의 구조성능 향상에 관한 것으로 세부적으로는 내진설계, 면/제진구조, 신소재/FRP에 의한 콘크리트 부재 보강 등이며, 최근에는 건축물의 에너지 절감과 연계한 단열벽체 복합구조를 연구하고 있다.

ycyou@kict.re.kr