

## 유리섬유복합체를 사용한 전단연결재 형상에 따른 중단열 벽체의 면내전단내력

### Effect of Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) Shear Connector's Shape on Inplane Shear Strength of Insulated Concrete Sandwich Panels

장석준<sup>1)</sup>      유영찬<sup>2)</sup>      김호룡<sup>3)</sup>      윤현도<sup>4)\*</sup>  
Seok-Joon Jang      Young-Chan You      Ho-Ryong Kim      Hyun-Do Yun

#### Abstract

This paper describes an experimental program to investigate the shear behavior of insulated concrete sandwich panels (CSPs) with different types of GFRP shear connector. The study included testing of 13 insulated CSP specimens with two types of surface conditions for extruded polystyrene (XPS) insulation and various shapes of shear connectors. All specimens were loaded in direct shear by means of push-out and were consist of three concrete panels, two insulation layer and four rows of GFRP shear connectors. Load-relative slip between concrete panel and insulation response of CSP specimens has been established through push-out shear test. Test results indicate that the surface condition of insulation has a significant effect on the bond strength between concrete panel and insulation. The specimen used XPS foam with 10mm deep slot shows higher bond strength than those used XPS foam with meshed surface. Corrugated GFRP shear connectors show equivalent strength to grid GFRP shear connectors. Cross-sectional area and embedded length of shear connector have a notable effect on overall response and inplane shear strength of the CSP specimens.

Keywords : Concrete Sandwich Panel (CSP), Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP), Shear connector, Inplane shear

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경

건축물에서 발생하는 열손실을 최소화하는 요소기술의 하나로 중단열 벽체 (Insulated Concrete Sandwich Panels)가 북미를 중심으로 제안되었다. 중단열 벽체는 두 개의 콘크리트 벽체와 중앙부의 단열재로 구성되어 슬래브와 내벽의 단열재 불연속 구간을 최소화하여 내단열 시스템의 단열성능을 보완하고, 외측에 부착되는 단열재로 인한 외단열 시스템의 화재의 취약성 및 내구성문제를 보완할 수 있다. 하지만, 단열재와 콘크리트의 부착력 미비로 인해 구조적으로 취약한 특성을 나타내며, 하중을 적게 부담하는 단순 건축 마감재로 쓰이거나 풍압에 저항하는 단순 보 형상의 커튼월 등으

로 많이 사용되고 있다. 프리캐스트 및 프리스트레스트 중단열 벽체에 대한 PCI 보고서 (PCI committee, 1997; 2011)에 따르면 중단열 벽체는 하중에 저항시 내/외측 콘크리트 합성 거동여부에 따라 비 합성형 벽체, 부분 합성형 벽체, 완전 합성형 벽체로 구분할 수 있다. 합성거동 수준은 콘크리트와 단열재 사이의 부착력과 전단연결재의 전단전달 능력에 의해 결정되며, 합성수준에 따라 다른 설계방법을 제안하고 있다. 일반적으로 부분 합성형 벽체의 경우 합성거동 수준을 명확히 정의하기 어렵기 때문에 비 합성형 벽체로 설계된다.

벽체의 구조성능 향상을 위해 Fig. 1과 같이 금속재료를 이용한 트러스, 벤트형의 전단연결재와 단열재에 코어를 천공하여 콘크리트를 전단연결재로 보강하는 연구가 이루어졌으며, 벽체의 거동특성 및 설계방법에 대한 연구가 활발하게

1) 정회원, 충남대학교 건축공학과 석사과정  
2) 정회원, 한국건설기술연구원 연구위원, 공학박사  
3) 정회원, 한국건설기술연구원 전임연구원  
4) 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 교신저자

\* Corresponding author : wiseroad@cnu.ac.kr  
• 본 논문에 대한 토의를 2013년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 2013년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

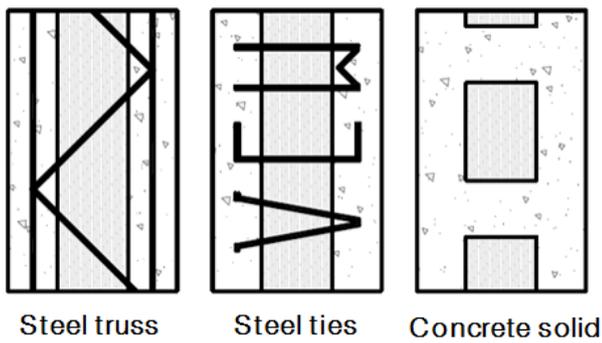


Fig. 1 Typical shape of shear connectors

이루어졌다. 전단연결재의 도입은 중단열 벽체의 구조성능 향상에 효과적인 것으로 나타났으나, 강재와 콘크리트의 높은 열전달율로 인해 부분적인 열교현상이 발생하여 단열성능이 감소되는 문제점이 발생하였다.

최근, 강재와 콘크리트에 비해 낮은 열전달율을 가지는 FRP (Fiber Reinforced Polymer)를 전단연결재로 적용하여 구조성능과 단열성능을 동시에 만족시킬 수 있는 연구가 국내/외적으로 활발히 이루어지고 있다. 본 연구는 현재 한국건설기술연구원에서 수행중인 중단열 콘크리트 벽체 시스템 개발에 관련된 연구로써, 국내에서 독자적으로 개발한 GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) 소재 전단연결재의 구조성능을 검증하고 변수에 대한 영향을 분석하기 위하여 실시되었으며, 실험결과 및 분석을 통해 향후 중단열 벽체의 휨 거동 연구를 위한 기초자료 제공을 연구의 목적으로 한다.

## 1.2 기존연구의 분석

초기 중단열 벽체는 콘크리트와 단열재의 미소한 부착력으로 인해 구조적 적용이 어려웠으며, 이로 인해 다양한 전단연결재가 연구되었다. Bush and Stine (1994)의 연구에서는 트러스 형태의 강재 전단연결재를 적용하였으며, 처짐 관계식을 통해 벽체의 합성거동을 평가하였다. 평가결과 높은 수준의 합성거동 및 합성 휨 강도를 확인하다. 강재를 이용한 또 다른 연구자인 Pessik and Mlynarczyk (2003)는 엠타이 (M-Tie)형 전단연결재를 적용하여 실험을 실시하였다. 강재와 콘크리트를 이용한 전단연결재의 종류를 변수하여 실험을 실시한 결과, 콘크리트 코어를 전단연결재로 사용한 경우 벽체의 합성거동이 완전합성거동과 유사한 경향을 나타내었으며, 강재 엠타이와 콘크리트-단열재의 부착력만 전단연결재로 적용한 경우에는 비 합성거동을 나타내었다. 철과 콘크리트의 높은 열전달율을 문제점으로 제시한 Salmon

et al. (1997)은 트러스 형태의 FRP 전단연결재를 적용하여 기존의 강재 전단연결재 비해 높은 단열성능을 확인하였으며, 부분 합성거동을 확인하였다.

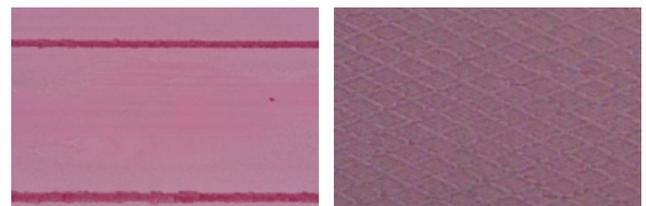
North Carolina 주립대학 (Frankl et al., 2008)의 연구에서는 탄소섬유를 이용한 Grid 형태의 전단연결재가 개발되었으며, 높은 수준의 합성거동과 휨 강도를 확인하였다. 한국건설기술연구원와 광운대학교 (2010)에서 진행된 연구에서는 단열재 종류에 따른 Grid형 GFRP 전단연결재의 전단내력에 관한 연구를 수행했으며, 비드법 보온판 (Expanded polystyrene, EPS) 단열재를 적용한 중단열 벽체의 전단내력이 압출법 보온판 (Extruded polystyrene, XPS) 단열재와 진공단열재 (Vacuum Insulation Panel, VIP)를 적용한 경우 보다 높게 나타났으며, 전단연결재의 매립깊이에 대한 영향을 미소한 것으로 나타났다.

기존의 개발된 Grid형 GFRP 전단연결재의 경우 제작과정 중 직진성을 유지하기 어렵고, 단열재와 조립하여 시공할 수 없기 때문에 현장에서 수직타설의 문제점이 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 Grid형에 비해 직진성이 우수한 파형 전단연결재를 개발하여 제작과정에서 발생하는 오차를 최소화하고, 현장에서 수직 타설이 가능한 중단열 벽체를 제안하였다.

## 2. 사용재료

### 2.1 단열재

단열재의 부착력은 단열재의 종류, 표면상태, 부착면적 등에 따라 결정된다. 본 연구에서는 선행연구의 결과 미소한 부착력을 나타내었던 XPS 단열재에 Photo 1과 같이 거친 표면처리와, 10 mm 흡을 낸 XPSS 단열재와 격자무늬의 표면처리를 통해 부착력을 향상시킨 XPSM 단열재를 적용하여 실험을 실시하였다. 중단열 벽체에서 콘크리트와 단열재의 부착력의 효과를 연구하기 위하여 단열재 표면에 필름을 부착하여, 부착력을 최소화한 비부착 (Nobond) 단열재를 계획하였다.



(a) X PSS (b) X P S M  
Photo 1 Surface condition of XPS Insulations

## 2.2 전단연결재

본 연구에서 Photo 2와 같이 국내에서 개발된 Grid형, 파형 GFRP 전단연결재를 적용하였다. Grid형의 경우 한국건설기술연구원의 연구를 통해 개발된 대각간격 50 mm의 Grid형 전단연결재를 사용하였다. 10개의 strand의 인장실험결과 인장강도는 경사의 경우 평균 6.31 kN (표준편차: 0.39)를 나타내었으며, 위사의 경우 6.40 (표준편차: 0.24)를 나타내었다. 파형 전단연결재는 Photo 2(b)에 나타난 바와같이 피치, 폭, 두께로 구분될 수 있으며, 본 연구에서는 두께를 5 mm로 고정하고 피치와 두께를 변수로 하여 실험을 실시하였다. 기존의 Grid형 전단연결재의 전단흐름강도  $q_n$  (N/mm)은 Eq. (1)에 따라 산정할 수 있다.

$$q_n = NoGS \times f_{st} / L_{grid} \quad (1)$$

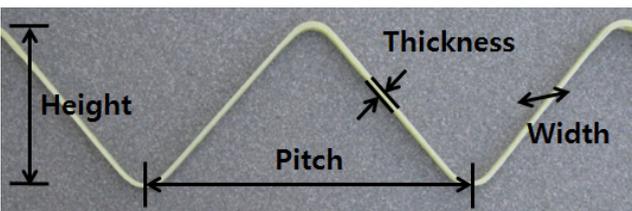
여기서,  $NoGS$ 는 Grid의 strand 유효개수 (m당 동일한 길이 및 방향의 Grid strand 개수),  $f_{st}$ 는 GFRP strand 강도 (N),  $L_{grid}$ 는 Grid의 길이 (mm)를 나타낸다. 파형 전단연결재의 전단흐름강도  $q_n$  (N/mm)은 Eq. (2)에 따라 산정할 수 있다.

$$q_n = L_p / L_{sc} \times t_c \times w_c \times f_{fc} / L_{sc} \quad (2)$$

여기서,  $L_p$ 는 피치길이 (mm),  $L_{sc}$ 는 파형 GFRP 전단연



(a) Grid shear connector



(b) Corrugated shear connector

Photo 2 Shape of GFRP shear connectors

결재의 길이 (mm),  $t_c$ 는 전단연결재의 두께 (mm),  $w_c$  (mm)는 전단연결재의 폭,  $f_{fc}$  (MPa)는 GFRP의 인장강도를 나타낸다.

중단열 벽체의 전단내력은 단열재와 부착응력 ( $\sigma_b$ )과 전단연결재의 전단흐름강도 ( $q_n$ )에 의해 결정된다. 풍하중이 작용 시 발생하는 면내전단내력에 저항하는 중단열 벽체의 전단내력 ( $V_n$ )은 Eq. (3)에 따라 산정할 수 있다. 여기서  $\alpha$ 는 전단면과 전단연결재가 이루는 각도이다.

$$V_n = \sigma_b + q_n \times \cos \alpha \quad (3)$$

본 연구에서는 피치 200, 300 mm의 파형 GFRP 전단연결재를 제안하며, 기존의 개발된 Grid형 GFRP 전단연결재와 동일한 전단흐름강도를 가지는 전단연결재 개발을 위해서 피치 200 mm의 경우 폭 6 mm 피치 300 mm의 경우 폭 9 mm의 파형 전단연결재를 제안하였다. 각 전단연결재의 보강상세를 Fig. 2에 나타내었다. 또한, 파형 GFRP 전단연결재의 폭 증가에 대한 영향을 알아보기 위하여 Table 1과 같이 전단연결재를 계획하였으며, 사용된 재료의 역학적 특성

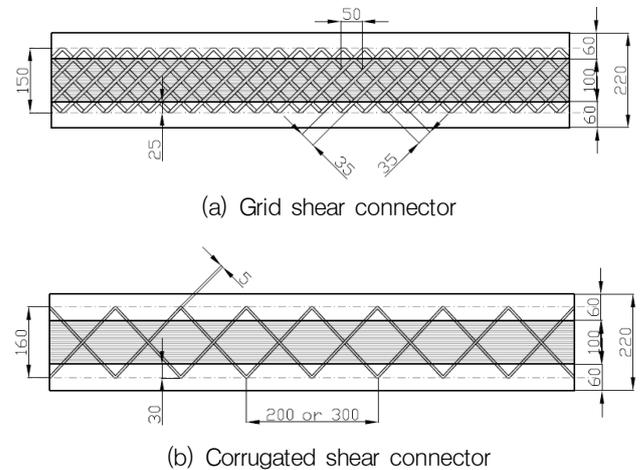


Fig. 2 Reinforcement details of GFRP shear connector

Table 1 Properties of corrugated GFRP shear connector

Shear connector	Pitch [mm]	Height [mm]	Width [mm]	Thickness [mm]	$f_{fc}^*$ [MPa]
6-200	200	160	6	5	417 (6.35)**
12-200			9		
9-300	300		12		
18-300			18		

\*GFRP tensile strength \*\*standard deviation

을 정리하여 나타내었다.

### 2.3 콘크리트

본 연구에서 설계강도 30 MPa, 목표슬럼프 150 mm의 일 반레디믹스트 콘크리트를 사용하였으며, 배합을 Table 2에 나타내었다. KS F 2405 규준에 준하여 압축공시체를 제작 하였으며, 200 kN의 만능재료시험기를 사용하여 시험을 실 시하였다. 재령 28일 압축강도 실험결과 평균 34 MPa의 강 도를 나타내었다.

## 3. 실험

### 3.1 실험계획

과형 GFRP 전단연결재를 보강한 중단열벽체의 전단내력 을 알아보기 위하여 Table 3과 같이 실험을 계획하였다. 단 열재의 표면처리, Grid형과 과형 전단연결재의 종류의 변수 로 하여 실험을 계획하였으며, 폭 12 및 18 mm의 전단연결 재에 대해서는 각 매립깊이 35 및 40 mm에 대한 검증 실험을 실시하였다. 단열재의 두께는 단열성능 실험에 근거하여 100

Table 2 Mix proportions of concrete

Compressive strength [MPa]	W/C	Unit weight [kg/m <sup>3</sup> ]				
		Water	Cement	Sand	Aggregate	Mixture
30	42.1	171	406	817	942	2.44

Table 3 Summaries of insulated CSP specimens

Specimens	Insulation type	Shear connector	Embedment length [mm]	Thickness of insulation [mm]	
XPSS	XPSS	-	-	100	
XPSM	XPSM				
XPSS 6-30	XPSS	6-200	30	100	
XPSS 12-30		12-200	35	90	
XPSS 12-35		9-300	30	100	
XPSS 9-30		18-300	40	80	
XPSS 18-30		Grid 50	25	100	
XPSS 18-40		Nobond	6-200	30	100
XPSS G-50			12-200	35	90
Nobond 6-30			9-300	30	100
Nobond 12-35	18-300		40	80	

mm의 기본으로 산정하였으며, 매립깊이를 변수로 하기위하 여 단열재 두께를 감소시켜 실험을 실시하였다.

### 3.2 실험체

중단열 벽체의 내력평가를 위해서는 벽체에 대한 휨 실험 을 통하여, 풍하중에 의해 발생될 수 있는 휨 및 전단에 대 한 거동을 파악해야한다. 하지만, 휨 실험의 특성상 축소 모 델링이 및 실험 비용, 장소의 제약과 검증되지 않은 전단연 결재의 불확실성을 고려하여 중단열 벽체에 대한 직접전단 실험을 계획하였다. ICC Evaluation Service는 중단열 벽체에 보강되는 Grid형 전단연결재에 대한 검증을 위해 직접전단 실험체를 제안하고 있으며, 본 연구에서는 해당규준에 준하 여 Fig. 3과 같이 폭 600 mm, 높이 1200 mm를 가지는 실험체를 계획하였다. 실제 시공되는 중단열 벽체는 두 개의 콘크리트 벽체와 중앙부의 단열재로 구성이 되지만, 직접전 단실험의 가력부 및 지점부를 형성하기 위하여 300×1200 mm를 단위패널 4개로 구성된 2면 전단실험체를 계획하였 다. 단위패널 중앙부에 전단연결재를 배치하였으며, 과형전 단연결재의 경우 쌍배치를 하였다.

실험체 제작을 위하여 단열재를 절단 후 전단연결재를 보 강하고 거푸집에 고정한 뒤, 콘크리트를 타설하였다. 비부착 단열재 실험체 제작을 위해서 단열재 표면에 아스테이지와 종이를 부착한 후 전단연결재를 보강하여 실험체를 제작하 였다.

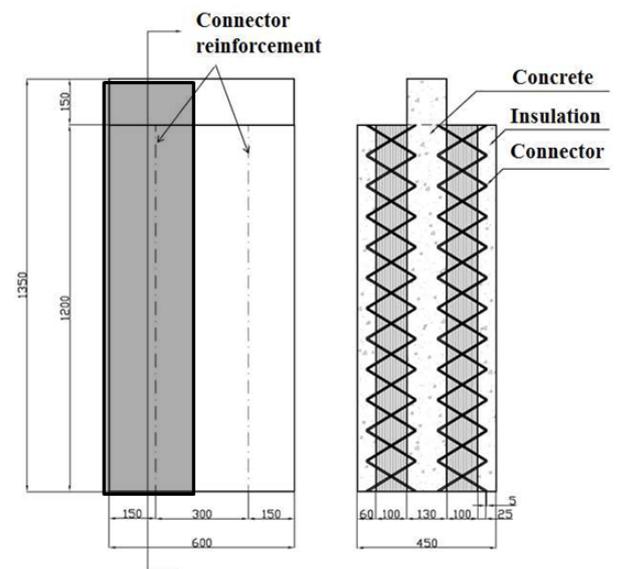


Fig. 3 Configuration and details of specimen [mm]

### 3.3 실험방법

중단열 벽체의 전단내력평가를 위하여 Fig. 4와 같이 실험 방법을 계획하였다. 반력프레임에 실험체를 고정하고 1000 kN 용량의 유압가력장치를 사용하여 가력 하였으며, 전단면의 파괴가 한쪽으로 집중되며 벽체가 전도되는 현상을 방지하기 위하여 가이드프레임을 설치하였다. 지점에 고정된 좌/우측 벽체와 가력부인 중앙부 벽체의 상대슬립을 측정하기 위하여 앵글설치 후 2개의 변위계를 설치하였다.

## 4. 결과 및 분석

### 4.1 단열재의 표면처리

전단연결재가 보강되지 않은 중단열 벽체는 최대하중 이후 취성적인 파괴양상을 나타내었으며, 콘크리트와 단열재의 부착면에 슬립현상이 발생하였다. 단열재의 10 mm의 홈은 콘크리트 벽체의 요철을 발생시켜 단열재와 콘크리트의 부착력과 함께 면내 전단력에 저항하였다.

Fig. 5의 무보강 실험체의 하중-상대슬립 곡선을 나타낸 것으로, XPSS 실험체가 XPSM 실험체에 비해 높은 강성을 나타내었으며, Table 4에 정리한 바와 같이 42 kN 높은 전단내력을 나타내었다. 최대강도 시 상대슬립을 보면 XPSM 실험체의 경우 2.23 mm를 나타내었고, XPSS 실험체의 경

우 2.83 mm를 나타내어 비교적 높은 상대슬립을 나타내었다. 이는 거친 표면처리와 홈처리가 격자무늬 표면처리에 비해 단열재와 콘크리트의 부착력 향상여 기여가 크기 때문으로 판단되며, Photo 3에 나타난 바와 파괴시 단열재와 콘크

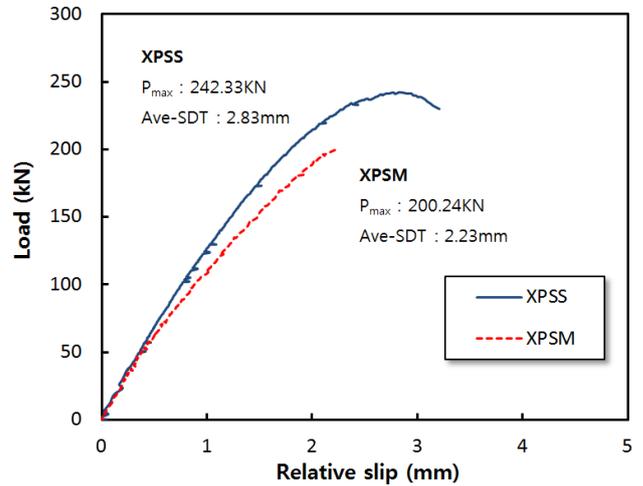


Fig. 5 Effect of insulation surface condition

Table 4 Summaries of test result

Specimens	Maximum load [kN]	Relative slip at peak [mm]	Predictive [kN]	Test/predictive
XPSS	242.38	2.83	-	-
XPSM	200.24	2.23	-	-
XPSS 6-30	332.22	2.01	305.23	1.09
XPSS 12-30	445.24	2.57	610.47	0.73
XPSS 12-35	528.21	2.29	610.47	0.87
XPSS 9-30	388.40	2.20	407.29	0.95
XPSS 18-30	460.60	2.35	814.58	0.57
XPSS 18-40	562.19	1.83	814.58	0.69
XPSS G-50	378.28	2.64	362.04	1.04
Nobond 6-30	222.13	4.39	305.23	0.73
Nobond 12-35	299.22	2.56	610.47	0.49
Nobond 9-30	245.98	1.94	407.29	0.60
Nobond 18-40	369.78	2.59	814.58	0.45

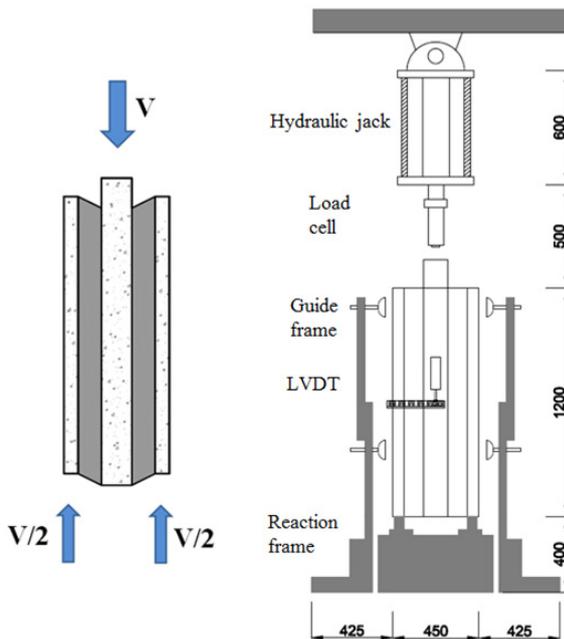


Fig. 4 Set-up for push-out loading [mm]



(a) XPSS (b) XPSM

Photo 3 Interface concrete panel after test

리트 부착면에서 흙 주변부에 단열재가 남아있는 양상을 나타내었다.

#### 4.2 전단연결재 종류에 따른 영향

기존의 개발된 Grid형 GFRP 전단연결재와 본 연구에서 제안된 파형 GFRP 전단연결재를 비교하기 위하여 동일한 내력을 가지는 3 종류의 전단연결재를 계획하였다. 전단연결재의 파단양상을 Photo 4에 나타내었으며, Grid형 전단연결재의 경우 파형 전단연결재에 비해 분산 보강되기 때문에 파괴 시 다소 안정적인 파괴양상을 나타내었다. 전단연결재의 파단은 동일한 방향의 모든 가닥이 끊어질 때까지 진행되었으며, 순수 인장을 받는 전단연결재는 파단되지 않았다. 파형 전단연결재의 경우 부분적으로 매립부의 균열이 발생하였다.

실험체의 하중-상대슬립 곡선을 Fig. 6에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 3 종류의 실험체는 유사한 강성을 나타내었으며, XPSS 9-30 실험체와 XPSS G-50 실험체의 경우 Table 4에 나타난 바와 같이 10 %이내의 최대내력 차이를 나타내었다. XPSS 6-30 실험체의 경우 두 실험체에 비해 상대적으로 낮은 전단내력을 나타내었으며, 이는 최초 전단연결재 파단 시 발생하는 파괴에너지로 인해 동시적으로 모든 전단연결재가 파괴되는 현상으로 인해 하중이 극격하게 감소되었기 때문으로 판단된다. 이에 반해, XPSS 9-30 실험체의 경우 최초 전단연결재의 파단과 함께 강성이 점차 감소하며 다소 안정적인 파괴양상을 나타내었으며, 기존의 Grid형 전단연결재와 동등한 성능을 나타내었다.

#### 4.3 파형 GFRP 전단연결재 폭, 피치에 대한 영향

중단열 벽체에 파형 GFRP 전단연결재를 보강함에 따른 하중-상대슬립 곡선 및 내력증가를 Fig. 7에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 전단연결재 보강에 따라 강성 및 내력증가를 나타내었으며, 피치 300 mm의 파형 전단연결재가 피치 200 mm의 파형 전단연결재에 비해 높은 내력증가를 나타내었다. 이는 전단연결재와 전단면이 이루는 각도차이 때문으로 판단되며, 앞서 기술한 바와 같이 폭 6 mm의 전단연결재의 경우 극격한 파괴로 인해 내력감소가 발생하여 증가량 차이가 다른 실험체에 비해 적은 것으로 판단된다. 따라서 향후 파형 전단연결재를 개발함에 있으며, 높이와 피치를 비율을 1:2로 설정하여 전단면과 이루는 각도가 45도에

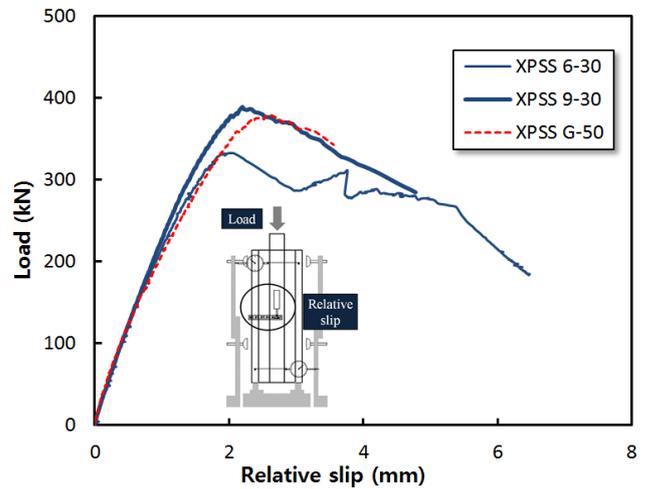


Fig. 6 Effect of shear connector shape



(a) Grid shear connector



(b) Corrugated shear connector

Photo 4 Failure of GFRP shear connector

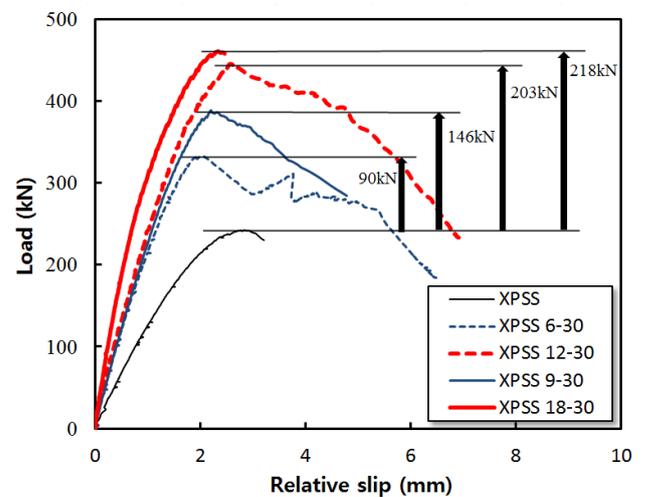


Fig. 7 Effect of Corrugated shear connector type

가깝도록 하는 것이 유리할 것으로 판단된다. Table. 4에 나타난 바와 같이 전단연결재의 폭과 피치에 따라 최대강도 시 상대슬립은 크게 차이를 보이지 않았지만, 동일한 피치에서 폭이 증가함에 따라 미소하게 증가하는 양상을 나타내었다.

Fig. 8은 매립깊이에 따른 하중-상대슬립 곡선의 변화를 나타낸 것으로, 매립깊이가 깊어질수록 전단내력이 증가하는 양상을 나타내었다. 이는 단열재 두께 감소로 인해, 전단연결재의 작용하는 휨 모멘트가 감소되었기 때문으로 판단된다. 직접전단에서의 중단열 벽체의 전단흐름을 Fig. 9에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 전단연결재의 파단은 휨-압축에 의해 발생되므로, 전단연결재의 인장 파단을 기준으로 하고 있는 기준식과 차이를 나타내었다. 따라서 압축 판단을 정확하게 규명할 수 있는 추가적인 실험이 요구된다. 매립깊이가 깊어짐에 따라 전단연결재의 인발현상이 지연되며, 이러한 현상은 최대하중 후 실험체의 하중-상대슬립 관계를 영향을 미치는 것으로 판단된다. Photo 5에 나타난 바와 같이 인발현상은 휨-압축을 받는 전단연결재 파단 이후 인장을 받는 전단연결재로 응력이 집중되면서 발생하는 것으로, 상부에서 급격하게 발생하고 하부로 갈수록 발생정도가 적

어지는 양상을 나타내었다. 폭 18 mm의 경우 매립깊이 30 mm에서 파단 되지 않은 전단연결재의 인발현상이 발생하였으며, 폭 12 mm의 경우에는 발생하지 않았다.

#### 4.4 단열재와 콘크리트 부착력의 영향

단열재의 부착력을 제거함에 따라 전단내력이 감소하는 양상을 나타내었으며, 실험체별 최대내력을 Fig. 10에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 전단연결재의 폭이 증가할

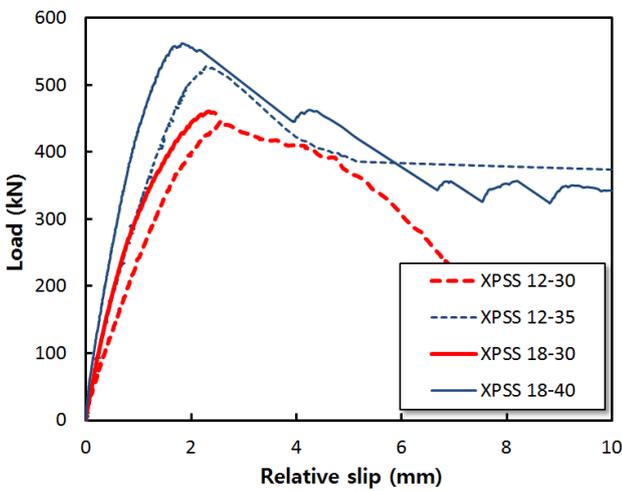


Fig. 8 Effect of connector embedment length

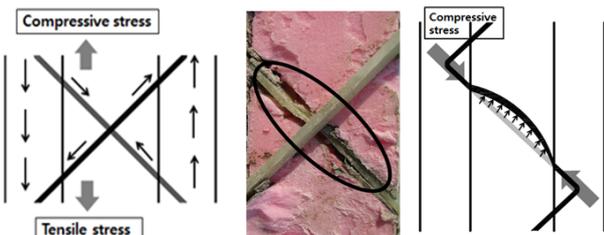


Fig. 9 Shear transform mechanism of shear connector

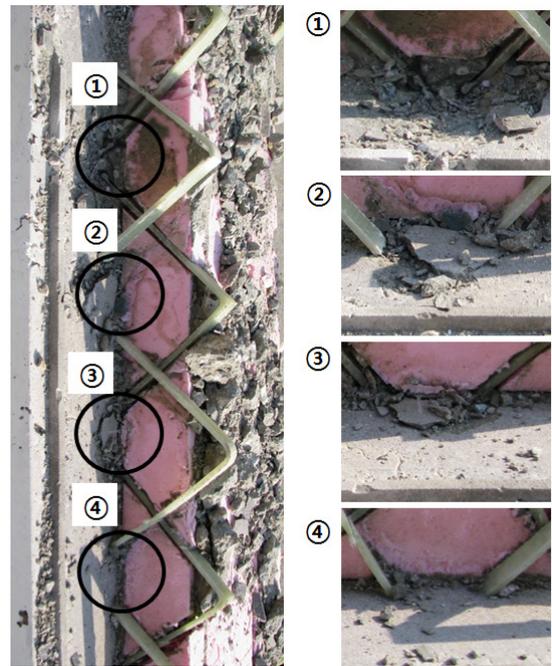


Photo 5 Failure of shear connector embedment

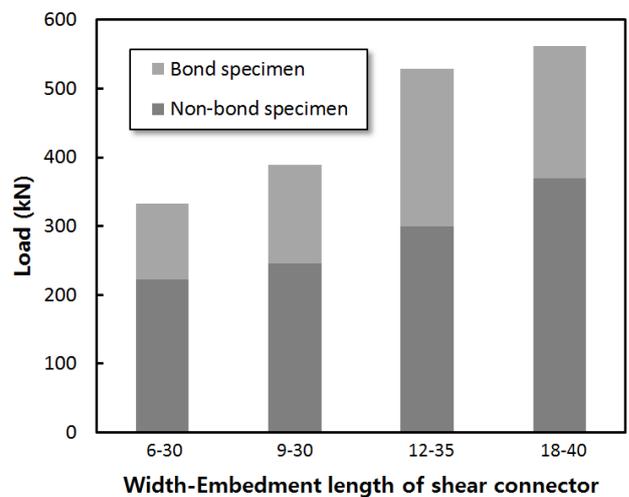


Fig. 10 Effect of bonding between insulation and concrete

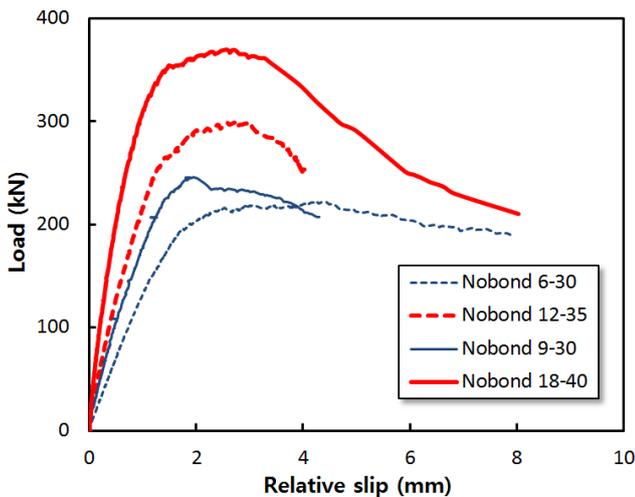


Fig. 11 Load–relative slip relationship of Nobond specimen

수록 단열재의 기여분은 큰 것으로 나타났다. 이는 전단연결재의 최대강도 시 상대슬립과 관계가 있으며, 단열재가 보강되지 않은 실험체의 결과를 근거로 단열재의 부착력은 최대 상대슬립 2.83 mm까지 전단내력의 저항하는 것으로 판단되며, 이전에 전단연결재의 파단이 발생할 경우 부착력을 상실하는 것으로 판단된다. Fig. 11은 비부착 실험체의 하중 상대슬립 곡선을 나타낸 것으로 NoBond 6-30 실험체의 경우 최대하중 이후 파괴지연으로 인해 XPSS 6-30 실험체의 비해 최대강도시 상대슬립이 증가한 것으로 판단된다. 부착력이 있는 실험체와 같이 전단연결재의 폭의 따라 강성이 증가하였으며, Nobond 6-30 실험체와 Nobond 9-30 실험체는 10%이내의 내력차이를 나타내었다. 한편, 매립깊이가 깊어짐에 따라 Nobond 18-40 실험체는 Nobond 12-35 실험체에 비해 높은 내력을 나타내었다.

## 5. 결론

본 연구는 국내에서 독자적으로 개발된 파형 유리섬유복합체 (GFRP) 전단연결재의 구조성능 검증을 위하여 실시되었으며, 각 변수에 대한 영향을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 기존의 XPS 단열재에 거친표면과 10T의 홈으로 표면 처리한 XPSS 단열재가 격자형태의 표면처리를 한 XPSM 단열재에 비해 부착력이 높은 것으로 나타났다.
- (2) 본 연구에서 제안된 파형 GFRP 전단연결재는 기존의 개발된 Grid형 전단연결재와 내력 및 강성 부분에서

동등한 성능을 나타내었으며, 전단연결재의 안정성을 위해서는 9mm 이상의 폭이 필요할 것으로 사료된다.

- (3) 파형 GFRP 전단연결재를 보강함에 따라 강성 및 내력이 증가하는 양상을 나타내었으며, 폭이 증가할수록 강성이 증가하였다. 보강 단면적에 따라 내력증가량이 증가하였으며, 높이와 피치의 비율을 1:2로 하여 전단면과 전단연결재가 이루는 각도를 45도에 가깝게 하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.
- (4) 전단연결재의 매립이 깊어짐에 따라 전단내력이 향상되었으나, 이는 단열재 두께 감소를 인해 전단연결재에 작용하는 휨모멘트 감소 때문으로 판단되며, 전단내력에 직접적인 영향은 없는 것으로 판단된다. 매립깊이가 충분히 확보될수록 전단연결재의 인발현상을 제어할 수 있으며, 안정적인 파괴양상을 나타내었다.
- (5) 단열재의 부착력을 제거함에 따라 전단내력이 감소하는 양상을 나타내었으며, 전단연결재의 파단 상대슬립에 따라 상이한 부착력의 기여분을 나타내었다.

## 감사의 글

본 연구는 충남대학교 2012년도 재직교원 학술연구과제의 지원에 의해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

## References

1. B. Frankl, G. Lucier, S. Rizalla, G. Blaszkak, T. Harmon, "Structural behavior of insulated prestressed concrete sandwich panels reinforced with FRP grid", CICE 2008.
2. D. C. salmon, A. Einea, M. K. Tadros, T. D. Culp, "Full-Scale Testing of Precast Concrete Sandwich Panels", ACI structure journal, Vol. 94, No. 32, 1997, pp.354-362.
3. PCI committee on precast sandwich wall panels, "state-of-the-art of precast/prestressed sandwich wall panels second edition", PCI journal, Spring, 2011, pp.131-176.
4. PCI committee on precast sandwich wall panels, "state-of-the-art of precast/prestressed sandwich wall panels", PCI journal, March-April, 1997, pp.92-134.
5. PCI committee on precast sandwich wall panels, "state-of-the-art of precast/prestressed sandwich wall panels", PCI journal, May-June, 1997, pp.32-48.
6. S. Pessiki, A. Mlynarczyk, "Experimental evaluation of the composite behavior of precast concrete behavior of precast concrete sandwich wall panes", PCI journal, March-April, 2003, pp.54-71.
7. T. D. Bush and G. L. Stine, "Flexural Behavior of Composite Precast Concrete Sandwich Panels with Continuous Truss Connectors", PCI journal, March-April, 1994, pp.112-121.
8. You, Y. C., Kim, J. H., Kim, H. R., Choi, K. S., "Flexural

---

## 요 지

최근, 중단열 벽체의 단열성능 향상을 위해 철과 콘크리트 코어 전단연결재를 열전도율이 낮은 유리섬유복합체 (GFRP)로 전단연결재를 대체하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구는 단열재의 표면처리에 따른 부착력과, GFRP 전단연결재로 보강된 중단열 벽체의 전단내력을 알아보기 위하여 실시되었으며, 각 변수에 따른 영향을 분석함으로써 구조성능에 대한 검증을 실시하였다. 총 13개의 실험체에 대해 직접전단실험을 실시하였으며, 파괴양상 및 하중-상대슬립 관계에 대한 분석을 실시하였다. 실험결과, 기존의 압출법 보온판 (XPS) 단열재에 거친표면처리와 10 mm의 홈을 낸 경우 단열재와 콘크리트사이의 부착력을 향상시킬 수 있으며, 부착력의 기여는 전단연결재의 파단 상대슬립의 영향을 받는 것으로 나타났다. 파형 전단연결재의 폭이 커짐에 따라 강성이 증가하였으며, 보강단면적이 증가함에 따라 최대내력이 증가하였다. 효과적인 보강을 위해서는 파형 전단연결재의 높이와 피치의 비율을 1:2로 산정해야 할 것으로 판단되며, 안정적인 파괴를 위해서는 매립깊이에 대한 검증이 필요할 것으로 사료된다.

**핵심 용어** : 중단열 벽체, 유리섬유복합체, 전단연결재, 면내전단

---