



## 파형 GFRP 전단연결재의 폭 및 너비에 따른 중단열 벽체의 면내전단거동

장석준<sup>1)</sup> · 오태식<sup>2)</sup> · 유영찬<sup>3)</sup> · 김호룡<sup>3)</sup> · 윤현도<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>충남대학교 건축공학과 <sup>2)</sup>계룡건설 <sup>3)</sup>한국건설기술연구원

### Effects of Corrugated GFRP Shear Connector Width and Pitch on In-plane Shear Behavior of Insulated Concrete Sandwich Wall Panels (CSWP)

Seok-Joon Jang,<sup>1)</sup> Tae-Sik Oh,<sup>2)</sup> Young-Chan You,<sup>3)</sup> Ho-Royng Kim,<sup>3)</sup> and Hyun-Do Yun<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Architectural Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

<sup>2)</sup>Kyeryong Construction Industrial, Daejeon 302-852, Korea

<sup>3)</sup>Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-807, Korea

**ABSTRACT** This paper describes the experimental results of insulated concrete sandwich wall panels (CSWP) with corrugated glass fiber-reinforced polymer (GFRP) shear connectors under in-plane shear loading. Corrugated GFRP shear connectors were used to improve the thermal property of insulated CSWP and to achieve composite action between the interior and exterior concrete wall panels. Test specimens were consist of three concrete panels with two insulation layers between concrete panels and middle concrete panels was loaded in the direction of gravity. To evaluate the effects of insulation types (extruded polystyrene, XPS and expanded polystyrene, EPS), shear connector pitch (300 and 400 mm) and width (10 and 15 mm) on in-plane shear behavior of insulated CSWP, failure mode and shear flow-average relative slip relationship of specimens were investigated. Test results indicate that the bond stress between concrete panel and insulation is considerable initially. Especially in case of insulated CSWP without shear connector, initial stiffness of CSWP with XPS is superior to that of CSWP with EPS. The shear connector's contribution to in-plane shear performance of insulated CSWP depends on the type of insulation.

**Keywords** : insulated concrete sandwich wall panels (CSWP), in-plane shear behavior, shear connector, glass fiber reinforced polymer (GFRP), thermal property

### 1. 서 론

최근 사회적으로 소비에너지 저감을 통한 저탄소·녹색성장에 대한 요구가 증가하고 있다. 2009년에 발표된 녹색성장위원회 대통령 보고 자료<sup>1)</sup>에 따르면, 2025년까지 제로 에너지 하우스를 목표로 건축물 부분에서도 에너지 저감대책이 논의되고 있다. 건축물의 에너지 손실 비율을 보면, 내/외부 온도차에 의한 에너지 손실로 인해 외벽이 차지하는 비율이 40%로 가장 높게 나타났다.<sup>2)</sup> 따라서 제로 에너지 하우스의 실질적 구현을 위해서는 건물외피를 통한 불필요한 열손실의 최소화가 필수적으로 요구된다.

한국건설기술연구원의 보고서<sup>3)</sup>에 따르면 기존의 대다수 공동주택에서 사용되었던 내단열 공법의 경우 단열재를 벽체 내부에 시공하는 공법으로 시공이 용이하고 공사비가 저렴하지만, 단열재의 불연속 구간이 발생하였으며, 이를 통한 열교현상에 의해 단열성능이 감소하는 문제점이 발생하였다. 이러한 단점을 보완하기 위해 제안된 외단열 공법은 단열재의 불연속구간을 최소화 하여 단열성능을 향상 시킬 수 있지만, 가연성 외벽으로 인한 내화성 문제와 외기에 노출된 단열재의 내구성 문제가 발생한다. 또한 고층건물에 적용 시 단열재 부착시공과 관리·유지보수의 어려움이 있다.

중단열 공법은 두 개의 콘크리트 벽체와 중앙부의 단열재로 구성된 외단열 공법의 일종으로 높은 단열성능과, 내화성능, 내구성능을 가지는 장점이 있다. 특히 고층건물에 적용할 경우 프리캐스트를 통한 시공성의 증진 및 화재·부식에 대한 높은 저항성 등의 장점이 있다. 일반적으로 중단열 벽체는 단열재와 콘크리트의 부착력의 미

\*Corresponding author E-mail : wiseroad@cnu.ac.kr

Received October 7, 2013, Revised April 14, 2014,

Accepted April 27, 2014

©2014 by Korea Concrete Institute

비로 인하여 내/외측 벽체의 합성거동을 위한 전단연결재가 보강된다. 전단연결재의 보강으로 인한 중단열 벽체의 합성거동 수준에 따라 비 합성형 벽체, 부분 합성형 벽체, 완전 합성형 벽체로 설계되며,<sup>4,5)</sup> 비 합성형 벽체로 설계할 경우 벽체두께 및 철근의 보강량 증가로 인해 소요비용과 자중이 증가하는 문제점이 발생한다. 따라서 중단열 벽체의 합성거동을 위한 전단연결재의 보강이 필수적으로 요구된다. 이 논문은 현재 한국건설기술연구원과 충남대학교가 진행 중인 “단열성능이 향상된 중단열 콘크리트 외벽시스템 개발”에 관련된 성과로써, 기존의 전단연결재에 비해 단열성능이 향상된 파형 유리섬유복합체 (glass fiber reinforced polymer, GFRP) 전단연결재의 구조 성능을 검증하고 변수별 영향을 알아보기 위하여 실시되었으며, 실험 결과를 통해 개발된 파형 GFRP 전단연결재의 면내전단 흐름강도 산정기법 제안을 목적으로 한다.

## 2. 중단열 벽체의 구성

일반적으로 중단열 벽체는 두 개의 콘크리트 벽체 사이에 단열재로 구성되어있으며, 내·외부 벽체를 연결하는 전단연결재가 보강된다. 건물 외벽으로 중단열 벽체가 적용될 경우 풍하중에 의하여 외측벽체에는 압축력이 작용하고, 내측벽체에는 인장력이 작용하게 된다. Fig. 1과 같이 중단열 벽체의 풍하중 저항요소는 단열재와 콘크리트의 부착력과 완전 부착에 의한 단열재의 전단저항, 전단연결재의 전단흐름강도, 벽체자체의 휨 내력에 의해 결정된다.

### 2.1 단열재

이 연구에서는 국내에서 사용되는 표면처리 압출법 보온판(extruded polystyrene with surface treatment, XPSS) 단열재와 비드법 보온판(expanded polystyrene, EPS) 단열재를 사용하였다. 유영찬 등<sup>6)</sup>의 연구에 따르면 EPS 단열재를 사용한 중단열 벽체의 경우 단열재와 콘크리트의 높은 부착력에 의해 파괴 시 완전부착에 의한 단열재의

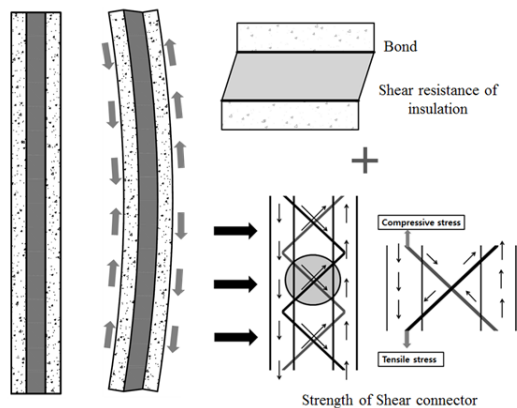


Fig. 1 Structural performance of insulated CSWP

전단균열이 발생하였다. 또한 부착력의 기여분이 커서 전단연결재의 보강정도에 따른 중단열 벽체의 합성거동의 차이가 미소한 것으로 나타났다. 반면, XPS 단열재를 사용한 경우에는 파괴 시 단열재와 콘크리트의 부착면 미끄러짐 현상만 발생하였으며, 전단연결재의 보강정도에 따라 중단열 벽체의 합성거동 수준이 큰 차이를 나타내었다. XPS 단열재의 부착력 증진을 위해 거친표면처리와 10 mm의 요철을 형성한 XPSS 단열재의 경우 윤희도 등<sup>7)</sup>의 연구 결과에 나타난 바와 같이 단열재와 콘크리트의 부착력을 향상시키며, 벽체의 합성거동 수준을 높이는 것으로 나타났다.

### 2.2 파형 GFRP 전단연결재

초기 중단열 벽체의 전단연결재는 단열재를 천공한 콘크리트, 강재를 이용한 트러스 및 타이 등 다양한 형태의 전단연결재가 사용되었다.<sup>8,9)</sup> 이러한 전단연결재의 보강은 중단열 벽체의 합성거동에 효과적인 것으로 나타났지만, 단열재에 비해 높은 열전도율을 가지기 때문에 전단연결재 부분을 통한 열교현상이 발생하여 단열성능이 감소되는 문제점이 발생하였다. Salmon et al.<sup>10)</sup> 의해 제안된 합성소재 재질의 전단연결재는 낮은 열전도율로 인하여 단열성능이 향상되며, 합성거동 수준 또한 우수한 것으로 나타났다. Fig. 2는 한국건설기술연구원에서<sup>3)</sup> 실시한 전단연결재 재료에 따른 중단열 벽체의 열류량 해석결과를 나타낸 것으로 합성소재를 사용한 중단열 벽체의 열류량이 크게 감소하는 것으로 나타났다.

이 연구에서는 국내 H사에서 제작한 파형 GFRP 전단연결재를 사용하였으며, 제작된 전단연결재를 Fig. 3에

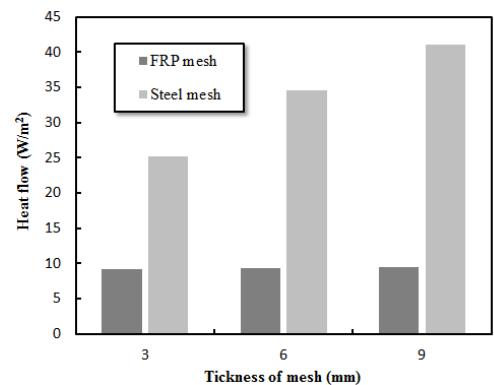


Fig. 2 Effects of shear connector material on heat flow of insulated CSWP<sup>3)</sup>

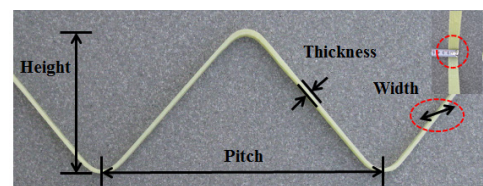


Fig. 3 Shape of corrugated GFRP shear connector

**Table 1** Types of corrugated GFRP shear connector

Connector type	Pitch (mm)	Height (mm)	Width (mm)	$f_t^{(1)}$ (MPa)
300-10	300	150	10	424.8 ( $\pm 12.1$ ) <sup>(2)</sup>
300-15	300	150	15	425.1 ( $\pm 11.9$ ) <sup>(2)</sup>
400-20	400	200	20	466.6 ( $\pm 15.4$ ) <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>GFRP tensile strength <sup>(2)</sup>standard deviation

**Table 2** Mix proportions of concrete

$f_{ck}^{(1)}$ (MPa)	W/C (%)	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )			
		W	C	S	G
30	42.1	171	406	817	942

<sup>(1)</sup>Specific compressive strength

나타내었다. 파형 GFRP 전단연결재의 형상은 장석준 등<sup>11)</sup>의 연구의 결과를 토대로 하여 전단연결재와 전단면이 이루는 각도를 45도로 설정하였으며, 두께는 5 mm로 설정하였다. 이 연구에서는 Table 1과 같이 너비와 높이, 폭을 변수로 하여 3종류로 계획하였으며, 각 전단연결재 시편에 대한 인장강도 시험 결과 3종류 모두 목표 강도 400 MPa를 상회하는 결과를 나타내었다. 300-15 전단연결재의 경우 300-10 전단연결재에 비하여 폭만 증가한 형태로 계획되었으며, 400-20 전단연결재의 경우 폭과 너비를 함께 증가시켜 300-15와 단위길이(m)당 보강되는 단면적이 동일하도록 계획하였다.

### 2.3 콘크리트

사용된 콘크리트의 배합을 Table 2에 나타내었으며, 설계기준압축강도 30 MPa, 목표 슬럼프 150 mm의 일반 레디믹스트 콘크리트를 사용하였다. 압축공시체 실험은 KS F 2403<sup>12)</sup> 규준에 준하여 2000 kN용량의 만능재료시험기를 사용하여 실시하였다. 압축강도시험을 통해 콘크리트가 목표압축강도에 도달하였을 경우 실험을 실시하였다.

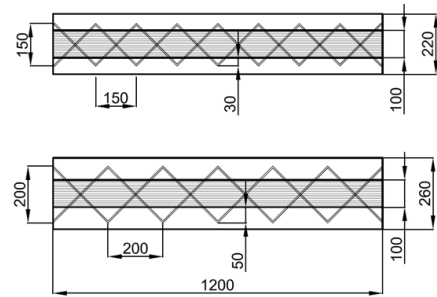
## 3. 실험

### 3.1 실험계획

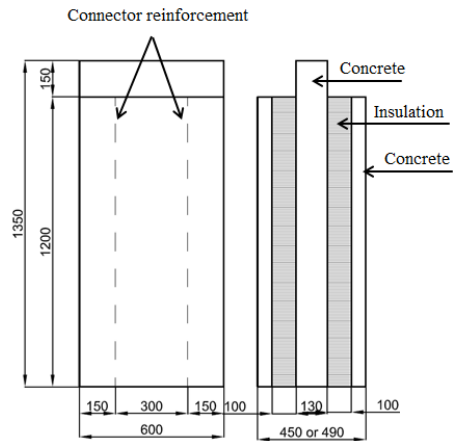
파형 GFRP 전단연결재 종류에 따른 중단열 벽체의 전단거동을 평가하기 위하여 Table 3과 같이 단열재종류에 따라 크게 2가지 실험체군, 총 8개의 실험체를 계획하였다. 주요변수는 단열재 및 전단연결재의 종류로 계획하였으며, 실험의 신뢰성 확보를 위하여 타입 당 각 2~3개의 실험체를 제작하였다. 사전연구<sup>11)</sup>에서는 파형 전단연결재의 폭이 커질 경우 매립깊이가 확보되지 못해 상부에서 인발현상이 발생하였다. 따라서 이 연구에서는 폭 20 mm의 경우 매립깊이를 50 mm로 계획하였으며, 전단

**Table 3** Summarize of insulated CSWP specimens

Specimen	Insulation type	Shear connector	Embedment length (mm)	Number (EA)
XPSS	XPSS	-	-	3
XPSS 10-30		300-10	30	3
XPSS 15-30		300-15	30	2
XPSS 20-50		400-20	50	3
EPS	EPS	-	-	3
EPS 10-30		300-10	30	3
EPS 15-30		300-15	30	2
EPS 20-50		400-20	50	3



(a) Reinforcement details of corrugated connector



(b) Configuration of specimen

**Fig. 4** Details and configuration of CSWP specimens (unit: mm)

연결재의 높이를 증가시켜 매립깊이를 확보하였다.

### 3.2 실험체

중단열 벽체의 면내 전단거동을 평가하기 위하여 Fig. 4와 같이 실험체를 계획하였다. 중단열 벽체의 구조성능 평가를 위해서는 풍하중 및 지진하중에 의해 발생할 수 있는 휨 및 전단에 대한 실험을 실시해야 한다. 패널에 대한 휨 성능 평가의 경우 실험 특성상 축소 모델링이 불가능하여 비용 및 소요시간이 크게 요구된다. 따라서 이 연구는 아직 검증되지 않은 파형 GFRP 전단연결재의 실

험을 효과적으로 수행하기 위해서 ICC-ES제안에<sup>13)</sup> 따라 직접전단 실험체를 계획하였다. 실험체는 가력의 형태와 지점부 형성을 위하여 두 개의 중단열 벽체로 구성된 2면 전단실험체로, 중앙부 벽체는 가력을 위해 두부를 150 mm 높게 계획하였다.

단열재 두께는 국내의 단열기준을 근거로 하여 100 mm로 계획하였으며 좌/우측 콘크리트는 벽체는 Fig. 4(a)에 나타난 바와 같이 매립깊이에 따라 60, 80 mm로 각각 계획하였다. 벽체의 배근 상세는 중앙부 벽체의 경우 SD400급 D13 이형철근을 100 mm간격으로 격자 배근하였고, 내/외측 벽체의 경우 SD400급 D6 용접철망(100×100 mm)을 배근하였다. 전단연결재의 보강은 300 mm 간격으로 하였으며, 2열 배치를 기본으로 하여 4개소에 파형 GFRP 전단연결재를 보강하였다.

기존의 프리캐스트 중단열 벽체에서는 수평타설을 주로 하고 있지만, 이 연구에서는 중단열 벽체의 현장타설을 고려하여 수직타설을 실시하였다. 이를 위하여 단열재를 선 가공하고 전단연결재를 보강한 뒤, 거푸집에 단열재를 고정하였다. 중단열 벽체의 수직타설은 사전연구<sup>7)</sup>에서 나타난 바와 같이 수평타설 시 발생하는 기포의 문제점을 보완하여 단열재의 부착응력을 높이고, 중단열 벽체의 전단내력을 향상시킬 수 있다.

### 3.3 실험방법

Fig. 5는 중단열 벽체의 면내전단실험 방법을 나타낸 것이다. 이 실험 방법은 중단열 벽체 이면 전단실험체에 직접전단을 가함으로써, 실제 벽체에서 휨 응력이 작용시 발생하는 전단흐름을 유발하는 방법이다. 그림에 나타난 바와 같이 반력프레임(reaction frame)에 고정된 1000 kN 용량의 유압가력장치를 사용하여 변위 제어 방식으로 중앙부 벽체를 가력 하였으며, 좌/우측 벽체 아래에 지점부

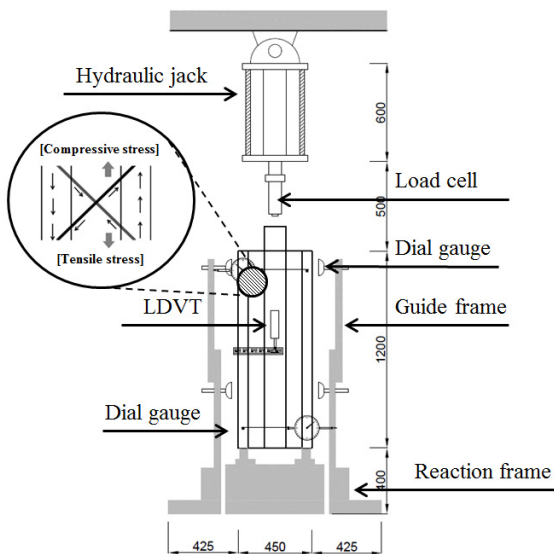


Fig. 5 Set-up for in-plane shear loading (unit: mm)

를 형성하였다. 또한 실험 중 파괴 면이 한쪽으로 집중되면서 벽체가 전도되는 현상을 방지하기 위하여 가이드 프레임(guide frame)을 설치하였다. 실험측정은 상부 로드 셀(load cell)을 통하여 하중을 측정하였고, 중앙부 벽체의 변위계와 좌/우측 벽체의 알루미늄프레임(aluminium frame)을 이용하여 상대미끄러짐을 측정하였다. 또한 상·하부의 다이얼게이지(dial gauge)를 통하여 직접전단 하에서 발생할 수 있는 압축 및 인장 변위를 측정하였다.

## 4. 실험 결과 및 분석

### 4.1 단열재의 종류에 따른 영향

#### 4.1.1 단열재의 부착응력

이 연구에서는 단열재의 부착응력 및 단열재 종류에 따른 중단열 벽체의 면내전단거동을 평가하기 위하여 전단연결재가 보강되지 않은 실험체를 계획하였다. Fig. 6은 전단연결재 무보강 실험체의 전단흐름-상대미끄러짐 관계를 나타낸 것으로 각 실험체의 거동과 평균그래프를 나타내었다. 전단흐름강도의 경우 300×1200 mm의 단위 패널 부착면적에 대하여 단위길이(m)당 전단강도로 산정하였다. 그림에 나타난 바와 같이 XPSS 단열재를 사용한 중단열 벽체가 EPS 단열재를 사용한 중단열 벽체에 비해 높은 전단흐름강도를 나타내었으며, 강성 또한 크게 나타났다. XPSS 단열재를 사용한 중단열 벽체의 파괴양상은 최종파괴 시 급격한 미끄러짐현상을 보이며, 파괴 후 부착면에 단열재가 10 mm 흠 주위에만 미소하게 남아있었다.

반면, EPS 단열재를 사용한 중단열 벽체의 경우 높은 부착력을 나타나며 완전부착에 의해 단열재가 전단저항하면서 단열재의 찢어짐 현상과 부착면의 미끄러짐이 함께 발생하였고, 파괴 후 부착면 전 구간에 걸쳐 단열재가 남아있었다. 따라서 전단연결재의 보강 없이도 XPSS 단

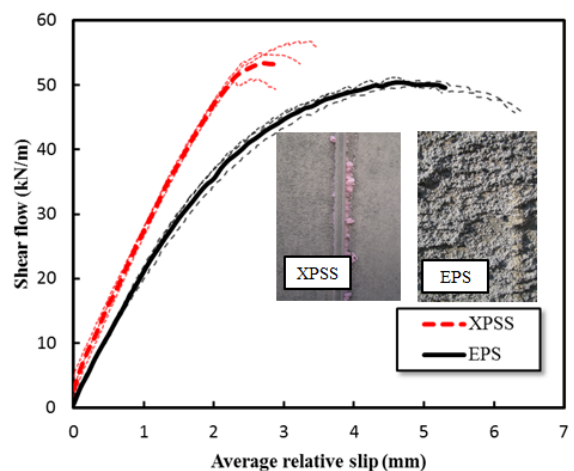


Fig. 6 In-plane shear behavior of CWSP specimens without shear connectors



열재를 사용한 중단열 벽체에 비해 다소 연성적 파괴거동을 나타낸 것으로 판단된다.

#### 4.1.2 중단열 벽체에서 단열재의 영향

Fig. 7은 전단연결재가 보강된 중단열 벽체의 단열재 종류에 따른 최대전단흐름 강도의 변화를 나타낸 것으로, 무보강 실험체와 달리 EPS 단열재를 사용한 중단열 벽체가 높은 전단흐름강도를 나타내었다. 이는 XPSS 단열재는 전단연결재가 파단 직후 전단면의 급격한 미끄러짐과 함께 부착력을 상실하기 때문으로 판단되며, EPS 단열재의 경우 전단연결재의 파단 후에도 면내전단력에 저항하며 부착력을 유지하였다. 파괴양상에서도 EPS 단열재에 다수의 전단균열이 발생하였다.

#### 4.2 파형 GFRP 전단연결재의 폭에 따른 영향

파형 GFRP 전단연결재로 보강된 중단열 벽체의 파괴양상은 최대 내력전·후 전단연결재의 파단과 함께 급격한 내력저하를 나타내며, 단열재의 전단균열 및 콘크리트와 단열재의 부착력 상실이 발생하였다. 실험이 진행됨에 따라 전단연결재의 파단이 안정화 된 후, 매립깊이가 충분하지 않은 경우 실험체 상부부터 전단연결재의 인발현상이 발생하며 최종 파괴되었다.

Fig. 8(a) 파형 GFRP 전단연결재의 폭에 따른 중단열 벽체의 전단흐름강도-상대미끄러짐 관계를 각 실험체의 평균 그래프로 나타낸 것이다. 전단연결재의 폭이 두꺼워짐에 따라 초기강성이 증가하는 특성을 나타내었고, EPS 단열재를 사용한 중단열 벽체가 XPSS 단열재를 사용한 중단열 벽체에 비해 강성이 높게 나타났다. XPSS 단열재를 사용한 중단열 벽체의 경우 예상한 바와 같이 전단연결재의 폭이 증가함에 따라 초기강성 및 최대 전단흐름강도가 증가하는 양상을 나타내었다. 반면, EPS 단열재를 사용한 중단열 벽체의 경우 전단연결재 폭의 증가에 따른 전단흐름강도의 증가가 미소한 것으로 나타났다. Table 3은 실험 결과를 요약하여 나타낸 것으로, 표에 나타난 바와 같이 전단연결재의 폭이 증가함에 따라

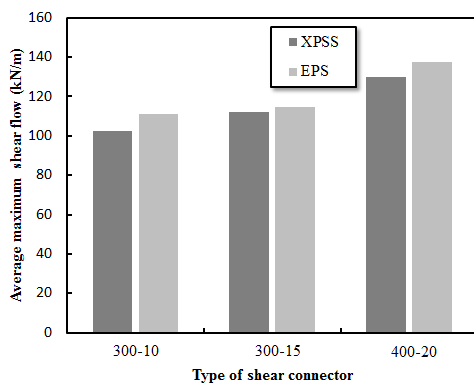
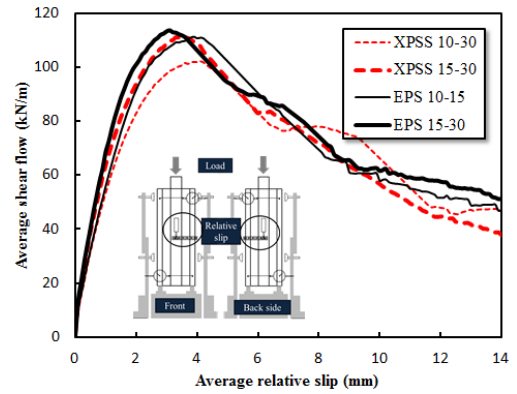
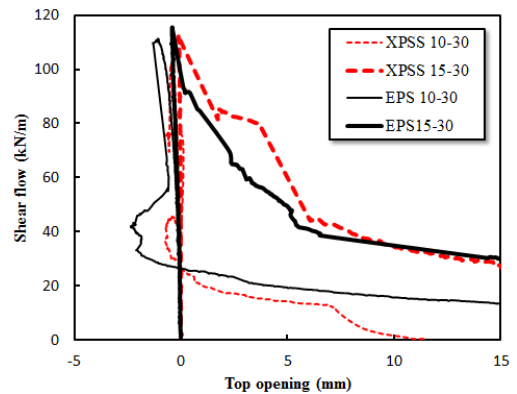


Fig. 7 Effects of insulation type on maximum shear flow of CWSP specimens



(a) Shear flow-relative slip curves



(b) Shear flow-top opening curves

Fig. 8 Effects of width of corrugated GFRP shear connector

Table 3 Summaries of test results

Specimen	Maximum shear flow (kN/m)		Relative slip (mm)		
	Shear flow	Average	LVDT-R	LVDT-L	Average
XPSS	55.00	54.23 (±2.47)	2.93	2.38	2.66
	56.76		3.53	2.91	3.22
	50.91		2.90	2.20	2.55
XPSS 10-30	102.08	102.63 (±1.07)	4.08	3.16	3.62
	101.68		4.69	3.47	4.08
	104.13		4.12	3.98	4.05
XPSS 15-30	112.56	112.29 (±0.40)	4.09	2.85	3.47
	111.88		3.90	3.40	3.65
XPSS 20-50	128.29	130.05 (±2.69)	2.94	2.75	2.85
	133.86		4.00	3.82	3.91
	128.01		3.99	2.38	3.19
EPS	51.18	50.57 (±0.56)	4.11	5.00	4.56
	49.82		4.22	5.36	4.79
	50.70		4.69	5.17	4.93
EPS 10-30	111.34	111.05 (±0.50)	4.04	3.78	3.91
	110.32		3.88	3.93	3.91
	111.41		4.12	3.98	4.05
EPS 15-30	115.56	114.74 (±0.82)	2.81	3.47	3.14
	113.93		3.61	3.31	3.46
EPS 20-50	138.76	137.31 (±1.68)	2.99	2.79	2.89
	134.95		3.56	2.33	2.95
	137.74		3.81	3.11	3.46

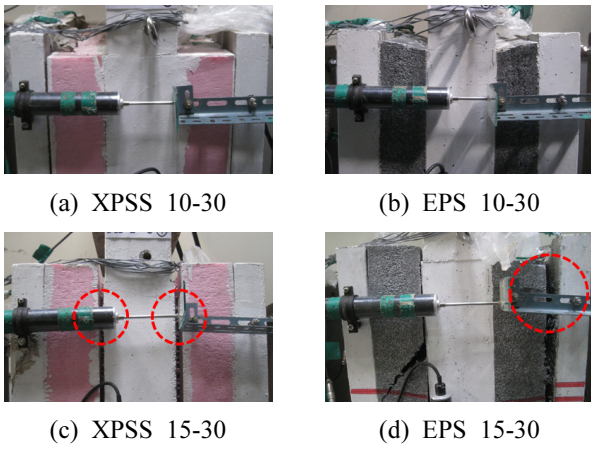


Fig. 9 Failure modes of CSWP specimens

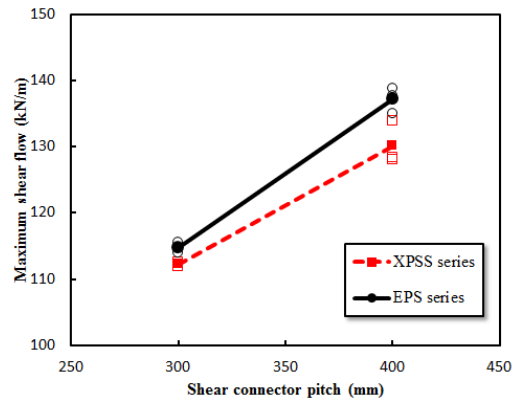
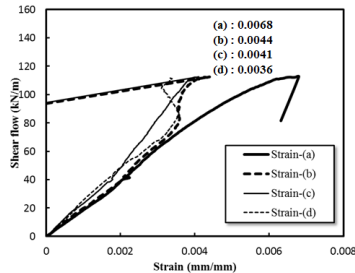
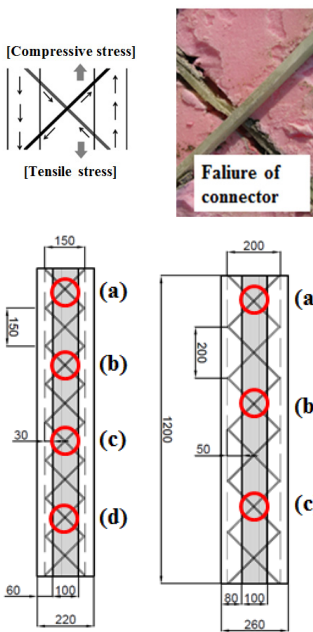
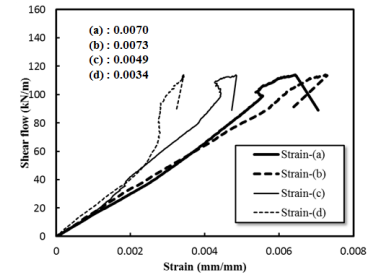


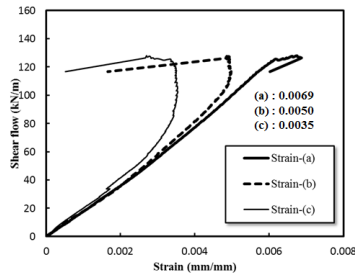
Fig. 10 Effects of shear connector pitch on maximum shear flow strength



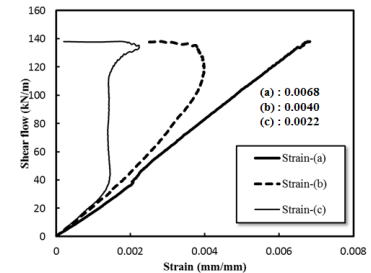
(a) XPSS 10-30



(b) EPS 10-30



(c) XPSS 15-30



(d) EPS 15-30

Fig. 11 Shear flow-GFRP connector strain relationship of CSWP specimens

최대전단흐름강도 시 변위가 감소하는 양상을 나타내었다.

Fig. 8(b)는 직접인장 하에서 실험체 상부에 발생하는 변위와 전단흐름강도의 관계를 나타낸 것으로, 최대하중 전까지는 벌어짐이 미소한 것으로 나타났으나, 전단연결재 파단 이후에 증가하는 양상을 나타내었다. 폭 15 mm의 전단연결재를 보강한 경우 Fig. 9(c), (d)와 같이 상부의 전단연결재의 인발현상이 발생하면서 급격한 증가를 보였다. 폭 30 mm의 전단연결재의 경우 Fig. 9(a), (b)에 나타난 바와 같이 상부의 인발현상이 제어되었고, 전단연결재 파단 이후 단열재의 전단변형에 의한 상부 압축변형 발생하였으며, Fig. 8(b)에 나타난 바와 같이 상대적으로 단열재강성이 낮은 EPS 단열재에서 높은 변형이 발생하였다.

### 4.3 파형 GFRP 전단연결재의 너비에 따른 영향

이 연구에서는 파형 GFRP 전단연결재의 너비에 따른

영향을 분석하기 위하여, 보강단면적이 같고 폭과 너비가 다른 파형 300-15, 400-20 전단연결재 보강 중단열 벽체에 대한 실험을 실시하였다. 이전연구의 실험 결과<sup>11)</sup>를 근거로 하여 폭과 너비의 비는 2:1로 고정하여 전단면과 연결재의 각도를 45도로 고정하였다. Fig. 10은 전단연결재 너비에 따른 최대 전단흐름강도를 나타낸 것으로 동일한 보강면적에서 너비가 증가함에 따라 최대 전단흐름강도가 증가하는 양상을 나타내었다. 이는 매립깊이 확보에 따른 안정적 파괴와 제작과정 중 400-20 전단연결재가 높은 인장강도를 나타내었기 때문으로 판단된다.

직접전단하에서 파형 GFRP 전단연결재의 파단은 이전 연구 결과<sup>11)</sup> Fig. 11에 나타난 바와 같이 휨과 압축이 형성되는 방향의 전단연결재가 파단 되었으며, 이 연구에서는 파단이 예상되는 전단연결재 부위에 그림에 나타난 바와 같이 위치별로 철근게이지를 부착하였다. Fig. 11(a)~(d)는 실험체별 최초 전단연결재 파단 시의 변형률과 전단흐름강도의 관계를 나타낸 것으로, 전단연결재의 파단

## 5. 결 론

은 위치에 관계없이 동시에 발생하였으며 전단연결재의 파단 시 변형률은 상부에서 가장 높게 나타났다. 실험체 하부로 갈수록 변형률이 감소하는 양상을 나타내었으며, 따라서 상부전단연결재의 경우 최대인장강도까지 성능을 발휘한 것으로 판단되지만 중앙부와 하부의 전단연결재의 경우 인장강도 이전에 파단된 것으로 사료된다.

### 4.4 파형 GFRP 전단연결재의 전단흐름강도

파형 GFRP 전단연결재의 전단흐름강도  $q_n$ 는 식 (1)에 따라 산정할 수 있으며,<sup>11)</sup> 파단 시 발생하는 전단연결재의 변형률을 근거로 하여 0.75의 감소율을 산정하였다.

$$q_n = t_c \times w_c \times f_f / L_p \times \cos \alpha \quad (1)$$

여기서,  $t_c$ 는 전단연결재의 두께(mm),  $w_c$ (mm)는 전단연결재의 폭,  $f_f$ (MPa)는 GFRP의 인장강도,  $L_p$ 는 너비(mm),  $\alpha$ 는 전단연결재와 전단면이 이루는 각도를 나타낸다. Fig. 12는 제안된 식과 실험 결과를 무차원화하여 나타낸 것으로 300-10 전단연결재가 보강된 실험체의 경우 제안된 식을 1.3배 이상 상회하는 결과를 나타내었다. 이는 단열재의 부착응력의 영향 때문으로 판단된다. 윤현도<sup>7)</sup>의 연구에서는 단열재와 콘크리트의 부착응력에 대한 연구를 진행하였으며, 타설방법과 콘크리트의 공기량 등 다양한 형태의 영향을 받는 것으로 나타났으며 편차 또한 큰 것으로 나타났다. 또한 4.1.2절에서 논한 바와 같이 단열재의 부착응력은 파괴 메카니즘에 따라 기여분이 상이하게 나타났다. 따라서 단열재의 부착응력을 정량화하는 것은 어려운 것으로 판단된다. 300-15, 400-20 전단연결재가 보강된 실험체의 경우 실험값이 예측식을 만족하는 것으로 나타났으며, 최대강도 시 변위가 작아 단열재의 기여도가 낮은 것으로 판단된다.

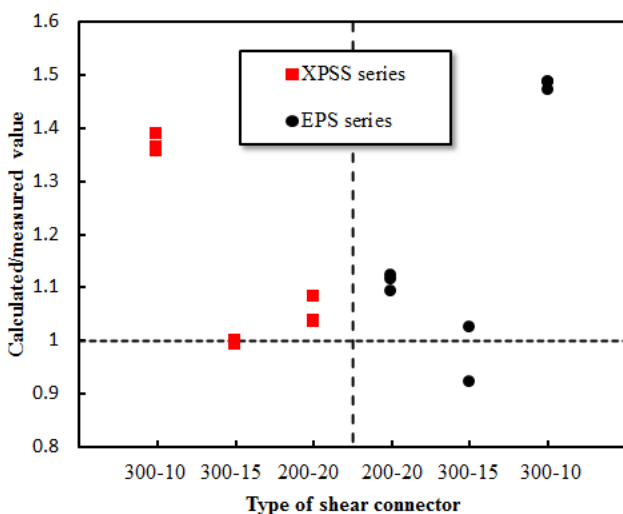


Fig. 12 Comparison of measured with predicted shear-flow strengths

이 연구는 파형 GFRP 전단연결재로 보강된 중단열 벽체의 전단연결재 형상에 따른 면내전단 거동을 평가하기 위하여 실시되었으며, 전단연결재의 역학적 특성을 고려하여 전단흐름강도 평가식을 제안하였다. 실험을 통해 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 전단연결재가 보강되지 않은 중단열 벽체의 실험 결과 XPSS 단열재를 사용하였을 경우 EPS 단열재를 사용한 중단열 벽체에 비해 높은 면내전단강도를 나타내었으나, 전단연결재가 보강된 중단열 벽체에서는 EPS 단열재의 면내전단강도 기여분이 큰 것으로 나타났다.
- 2) XPSS 단열재를 사용한 중단열 벽체의 경우 파형 전단연결재의 폭이 증가함에 따라 전단흐름강도가 증가하는 특성을 나타내었으며, EPS 단열재를 사용한 중단열 벽체의 경우 폭이 증가함에 따른 전단흐름강도 변화가 미소한 것으로 나타났다. 이는 EPS 단열재의 부착력 기여분이 높기 때문으로 판단된다.
- 3) 파형 전단연결재의 너비가 증가함에 따라 전단흐름강도가 소폭 향상되었으나, 이는 인장강도 증가에 대한 영향으로 판단되며, 보강면적이 동일한 경우 너비의 변화가 전단흐름강도에 미치는 영향은 미소한 것으로 판단된다.
- 4) 전단연결재의 파단 변형률을 분석한 결과, 상부의 전단연결재에 비해 하부의 전단연결재의 변형률이 낮은 특성을 나타내었으며, 이를 근거로 전단연결재의 전단흐름강도의 감소율을 0.75로 제안하였다. 제안된 식은 파형 GFRP 전단연결재의 전단흐름강도를 잘 예측하였지만, 파단시 상대변위에 기인한 단열재의 부착기여분 산정에 관한 추가적 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 연구는 국토해양부와 한국건설기술 평가원의 “단열 성능이 향상된 중단열 외벽시스템 개발”과 교육과학기술부와 한국연구재단의 “지역혁신 인력양성사업” (2011-06-대-06-053) 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## References

1. Committee on Green Growth, 2009.
2. Korea Institute of Construction Technology, 07 Louisville Energy Alliance Trade Show, 2009.
3. Korea Institute of Construction Technology, Development of Insulated Concrete Sandwich Panel with Improve Insulation Performance (R&D /10CHUD-C057023-01), 2011, pp. 1-18.
4. PCI Committee on Precast Sandwich Wall Panels,

- “State-of-the-Art of Precast/Prestressed Sandwich Wall Panels,” *PCI Journal*, Vol. 42, No. 2, 1997, pp. 32-48, 92-134.
5. PCI Committee on Precast Sandwich Wall Panels, “State-of-the-Art of Precast/Prestressed Sandwich Wall Panels Second Edition,” *PCI Journal*, Vol. 56, No. 2, 2011, pp. 131-176.
  6. You, Y. C., Kim, J. H., Kim, H. R., and Choi, K. S., “Flexural Behavior of Insulated Concrete Sandwich Wall Panels Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer Shear Grid by Using Different Types of Insulation,” *AIK Structure Journal*, Vol. 27, No. 11, 2011, pp. 61-70.
  7. Oh, T. S., Jang, S. J., Lee, K. M., and Yun, H. D., “Insulation Type Effect on the Direct Shear Behavior of Concrete Sandwich Panel (CSP) with Non-Shear Connectors,” *Advanced Materials Research*, Vol. 663, 2013, pp. 154-158.
  8. Bush, T. D. and Stine, G. L. “Flexural Behavior of Composite Precast Concrete Sandwich Panels with Continuous Truss Connectors,” *PCI Journal*, Vol. 39, No. 2, 1994, pp. 112-1218.
  9. Pessiki, S. and Mlynarczyk, A., “Experimental Evaluation of the Composite Behavior of Precast Concrete Sandwich Wall Panes,” *PCI Journal*, Vol. 48, No. 2, 2003, pp. 54-71.
  10. Salmon, D. C., Einea, A., Tadros, M. K., and Culp, T. D., “Full-Scale Testing of Precast Concrete Sandwich Panels,” *ACI Structure Journal*, Vol. 94, No. 32, 1997, pp. 354-362.
  11. Jang, S. J., You, Y. C., Kim, H. R., and Yun, H. D., “Effect of Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) Shear Connector’s Shape on Inplane Shear Strength of Insulated Concrete Sandwich Panels,” *KSMI Journal*, Vol. 17, No. 4, 2013, pp. 9-17.
  12. Korea Standards Association, “KS F 2405. Standard Test Method for Compressive Strength of Concrete, 2005, pp. 1-6.
  13. A Subsidiary of the International Code Council Evaluation Service, “Acceptance Criteria for Semi-Continuous Fiber-Reinforced Grid Connectors Used in Combination with Rigid Insulation in Concrete Sandwich Panel Construction,” 2010, pp. 1-10.

**요 약** 이 연구는 파형 GFRP 전단연결재가 보강된 중단열 벽체의 면내전단거동을 알아보기 위하여 실시되었다. 기존의 중단열 벽체의 단열성능 향상과 내/외측 벽체의 합성거동을 위하여 파형 GFRP 전단연결재를 보강하였다. 실험체는 2개의 단열재로 구분된 3개의 콘크리트 벽체로 구성되어 있으며, 중앙부 벽체에 수직방향의 전단력을 가하였다. 주요변수는 단열재의 종류 (압출법 보온판 및 비드법 보온판) 및 보강된 전단연결재의 너비(300 및 400 mm)과 폭(10 및 15 mm)를 변수로 설정하였으며, 실험체의 파괴양상 및 전단흐름강도-평균상대변위 관계 대한 분석을 실시하였다. 실험 결과 콘크리트와 단열재의 부착응력은 중단열 벽체의 초기거동에 상당한 영향이 있는 것으로 판단되며, 전단연결재가 보강되지 않은 경우 XPSS를 사용한 중단열 벽체의 강성 및 강성이 EPS 단열재의 경우보다 높게 나타났다. 전단연결재의 보강효과는 단열재에 따라 상이하게 나타났으며, 전단연결재의 보강상세에 단열재의 역학적 특성을 고려해야 할 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 중단열 벽체, 면내전단거동, 전단연결재, 유리섬유복합체, 단열성능