

경량 복합패널의 면내 전단 성능 평가

황문영¹, 강수민^{1*}, 이병연², 김성태³

¹충북대학교 건축공학과, ²충북대학교 건축학과, ³(주)엑시아머티리얼스

Evaluation on In-plane Shear Strength of Lightweight Composite Panels

Moon-Young Hwang¹, Su-Min Kang^{1*}, Byung-yun Lee², Sung-Tae Kim³

¹Department of Architectural Engineering, Chungbuk National University

²Department of Architecture, Chungbuk National University

³Axia Materials CO., LTD.

요약 국내에서의 지진과 같은 자연재해의 발생횟수가 증가하고 있다. 이에 따라 재해, 재난 환경에 적합한 임시거주공간 혹은 피난시설의 필요성이 증대되고 있다. 본 연구에서는 경량 복합패널을 이용하여 기존 피난시설과는 차별화된 구조주거를 제작하고자 하였다. 이를 위해 경량 복합패널에 대한 구조적 성능을 검증하고자 하였으며, 패널에 대한 성능 시험 방법 중 ASTM E72 기준에 따른 면내 전단 강도 실험을 진행하였다. 실험 결과, 각 실험체가 면내 하중을 받을 때의 최대하중을 알아내었다. 모든 실험체는 가력 부분의 패널이 찢어지면서 실험이 종료되었다. 실험체의 초기 강성은 계산을 통해 예측한 강성과 일치하였다. 하지만 패널의 특성인 국부적인 찌그러짐과 찢어짐으로 인해 강성저하와 최종파괴가 발생하였다. 개구부가 있는 실험체들은 개구부의 위치와 형태에 따라 기본 실험체와 강성과 강도에서 차이를 보였다. 또한 모든 실험 결과를 종합하여 패널이 받는 최대하중과 힘을 받는 면적이 비례한다는 것을 확인하였다. 이를 통해 실험체들의 극한전단응력을 계산하였으며, 평균 극한전단응력을 산정하였다. 경량 복합패널의 평균 극한전단응력은 0.047N/mm^2 이며, 이 값을 통해 패널의 면적에 따른 허용하중을 합리적으로 예측할 수 있는 근거를 제시하였다.

Abstract The number of natural disasters in Korea, such as earthquakes, is increasing. As a result, there is growing need for temporary residences or shelters for disaster conditions. The aim of this study was to produce post-disaster refugees housing differentiated from existing shelters using lightweight composite panels. To accomplish this, the structural performance of lightweight composite panels was validated, and an in-plane shear strength test was conducted according to the ASTM E72 criteria among the performance test methods for panels. As a result of the experiment, the maximum load for each specimen under an in-plane shear load was determined. All the experiments ended with the tear of the panel's skin section. The initial stiffness of the specimens was consistent with that predicted by the calculations. On the other hand, local crushing and tearing, as well as the characteristics of the panel, resulted in a decrease in stiffness and final failure. Specimens with an opening showed a difference in stiffness and strength from the basic experiment. The maximum load and the effective area were found to be proportional. Through this process, the allowable shear stress of the specimens was calculated and the average allowable shear stress was determined. The average ultimate shear stress of the lightweight composite panels was found to be 0.047N/mm^2 , which provides a criterion of judgement that could be used to expect the allowable load of lightweight composite panels.

Keywords : In-plane shear strength, Lightweight composite panel, Post-disaster refugees housing, Temporary residence, Structural performance

본 연구는 2017년 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(17CTAP-C129718-01)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Su-Min Kang(Chungbuk National Univ.)

Tel: +82-43-261-2436 email: kangsm@cbnu.ac.kr

Received October 12, 2018

Revised (1st November 15, 2018, 2nd December 11, 2018)

Accepted January 4, 2019

Published January 31, 2019

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

국내에서의 지진 발생횟수가 증가하고 있다. Fig. 1에 나타나 있는 국내 지진 발생 현황을 보면 2016년 규모 2.0 이상 국내 지진발생횟수는 254회 2017년에는 224회로 예년 평균 지진발생횟수인 31.9회 보다 약 7배 이상 발생빈도가 높게 나타났다[1]. 2017년에 발생한 국내 지진 중 가장 큰 규모의 지진은 11월 15일 경북 포항시 남송리에서 발생한 규모 5.4의 지진으로서, 1978년 기상청의 계기지진 관측 이래 2016년 5.8 규모의 경주 지진에 이어 두 번째로 큰 규모의 지진으로 기록되었으며 부상자 135명 및 672억원의 재산피해를 발생시켰다[1]. 이처럼 이제 대한민국도 지진에 대해 안전지대라고 할 수 없다. 이에 따라 재해, 재난환경에 적합한 임시거주공간 혹은 피난시설의 필요성이 증대되고 있다.

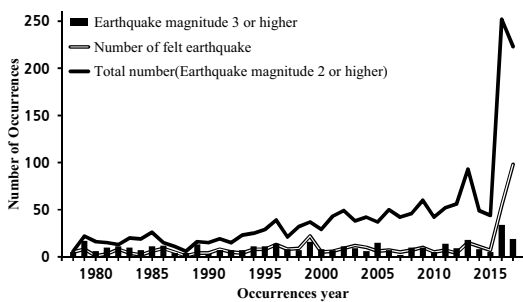


Fig. 1. Earthquake occurrence trend in Korea(1978-2017)[1]

하지만 기존에 이재민에게 제공되었던 임시거주시설들은 컨테이너 혹은 샌드위치 패널로 만들어진 형태로, 이러한 시설들은 외기와 맞닿는 부분에서의 단열효과가 부족하여 누수나 결로가 발생하거나 구조적 검증이 되지 않은 자재들을 사용하여 거주자의 거주성이 현저히 떨어진다. 본 연구에서는 기존의 임시거주시설과는 차별화된 구조주거를 제작하고자 경량 복합패널을 이용하였다.

경량 복합패널은 Fig. 2와 같이 내부 코어가 EPS(Expanded Polystyrene)로 구성되며 외부에 PU Glue(Polyurethane Glue)[2]를 이용하여 고강성의 섬유강화 복합소재 스킨이 부착되는 형태로 이루어진 자재이다. 섬유강화 복합소재는 기존의 복합소재와는 달리 섬유를 직조하는 방식으로 제조되어 높은 강성을 가진다. 또한 생산 공정 중이나 최종제품에서 VOC(Volatile

organic compound, 휘발성 유기 화합물)등의 유해 물질 발생이 전혀 없는 소재이다. 따라서 본 연구에서 사용하는 경량 복합소재는 제조과정에서 친환경적일 뿐만 아니라 경량 소재를 사용하여 시공성이 우수할 것으로 예상된다. 또한 코어부의 EPS 사용으로 뛰어난 단열성이 기대되며 외부 섬유강화 복합소재의 사용으로 구조적 성능 확보도 수월할 것으로 기대된다[3].

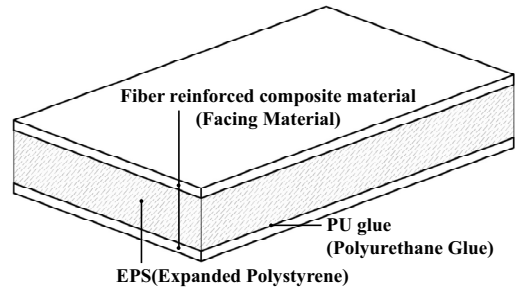


Fig. 2. Panel configuration[3]

구조체로 사용하기 위한 단열재와 결합된 패널에 대한 연구는 국외에 구조용 단열패널(SIPs, Structural Insulated Panels)의 구조 성능에 관한 연구[4]와 관련 문헌[5]이 있으며, 국내에서는 조립식 목구조 주택의 에너지 절약형 설계, 시공을 위해 전단벽체로 구성된 구조용 단열패널의 면내 전단, 압축력을 받는 정적가력에 관한 연구[6]와 구조용 단열패널에 대한 정적가력과 반복가력 성능 평가에 관한 연구[7]가 있다. 관련 연구로는 임시거주시설에 대한 연구[8]와 포항 지진에 따른 임시주거시설의 현황과 개선방안에 대한 연구[9], 그리고 합성소재를 이용한 패널에 대한 구조성능에 대한 연구[10]가 있다. 경량 복합패널에 대한 선행 연구로는 경량 복합패널의 분포압 강도 성능 평가에 관한 연구[11]가 있다. 선행 연구에서는 패널에 대한 면외 방향 휨 가력 실험을 통해 단일 경량 복합패널의 두께 및 길이에 따른 분포압 강도를 산정하였다. 본 연구는 이에 대한 후속 연구로서 경량 복합패널의 풍하중, 지진하중과 같은 횡하중에 대한 저항성능을 파악하기 위하여 면내 가력 실험을 통해 패널의 면내 전단 성능을 평가하고자 하였다.

1.2 연구 방법 및 범위

경량 복합패널의 중량은 매우 작기 때문에 재난환경에 제공되는 구조주거에서 크게 고려해야 되는 것은 풍

하중, 지진하중과 같은 횡하중이다. 경량 복합패널을 이용하여 구호주거 시스템을 구성하면 벽체의 면내 전단 성능으로 횡하중에 대해 지지하게 되기 때문에 경량 복합패널의 면내 전단 성능이 매우 중요하다. 따라서 벽체의 면내 전단 성능을 파악하기 위하여 경량 복합패널을 직접 제작하고, 실험 변수에 따른 경량 복합패널의 면내 전단 실험을 진행하여 파괴하중과 파괴모드에 대해 분석하였다.

2. 실험계획

2.1 재료 물성 및 실험방법

경량 복합패널에 사용된 재료에 대한 물성은 Table 1에 나타나 있다. 패널의 단면은 Fig. 3과 같다. 스킨재의 경량 복합패널 실험체 제작에 적용된 코어는 EPS(Expanded Polystyrene)로서 밀도는 25kg/m^3 이며 두께는 100mm이다. 스킨재는 공칭두께 0.8mm인 섬유 강화 복합소재를 사용하였다.

Table 1. Material properties for structural components[3]

	Test Method	Composites Skin (0.8mm)	Expanded Polystyrene (EPS)
Tensile Strength (MPa)	ISO 527	320	0.137
Elastic Modulus (MPa)		20×10^3	2.34
Shear Strength (MPa)	ASTM D3518	100	0.20
Shear Modulus (MPa)		8.54×10^3	3.3
Poisson's Ratio		0.17	-
Compressive Strength (MPa)		-	0.124
Density (kg/m ³)		1700	25

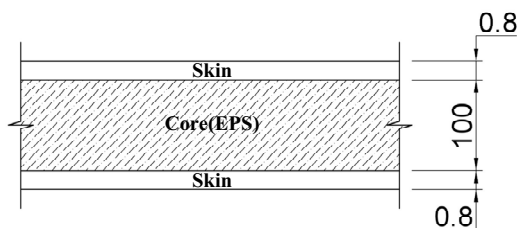


Fig. 3. Specimens section

경량 복합패널 실험을 위해 검토된 국내의 표준 시험 기준은 ASTM E72[12]와 KS F 2273[13]이다. ASTM E72[12]와 KS F 2273[13]은 모두 패널에 대한 구조시험 방법에 관한 기준들이다. 기본적인 구성과 시험방법은 두 기준이 동일하나 KS F 2273[13]에서는 정해진 패널 규격이 없고, ASTM E72[12]에서는 실험 패널의 규격을 $8 \times 8\text{ft}(2440 \times 2440\text{mm})$ 로 정하고 있다. 따라서 본 연구에서는 상기 표준 기준들을 참고하여 패널에 대한 면내 전단 강도 실험을 진행하였으며, ASTM E72[12]의 규격에 따라 기본 실험체의 크기를 결정하였다.

2.2 면내전단강도 실험체 결정

면내전단강도 실험체는 Fig. 4와 Fig. 5에 나타나 있는 구호주거 구성을 바탕으로 결정되었다.

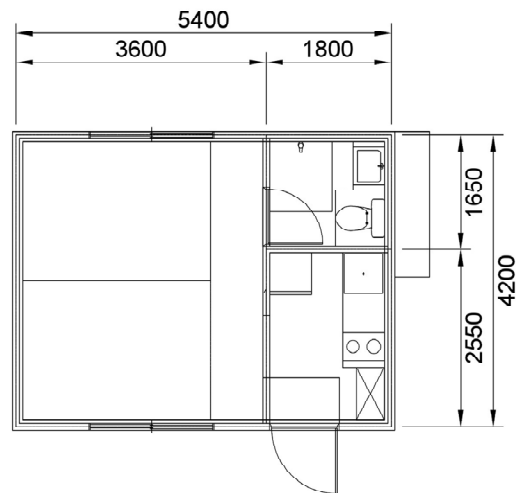


Fig. 4. Floor plan of post-disaster refugees housing

재난환경에서 이재민에게 적합한 환경을 제공할 수 있는 평면을 구성하였으며[14] 이에 따라 구호주거를 구성하는 경량 복합패널의 면내전단강도를 측정하기 위해 Table 2와 같이 실험체를 결정하였다.

실험체 1은 기본 실험체이다. 건축구조용 패널의 강도시험 방법인 ASTM E72[12]에서 제시하는 패널 표준 크기에 맞추어 실험체 크기를 $2440 \times 2440\text{mm}$ 로 결정하였다. 하부 고정용 볼트를 이용하여 체결하였으며 560mm 간격으로 볼트 5개를 체결하였다.

실험체 2와 실험체 3은 패널의 크기는 $2440 \times 2440\text{mm}$ 으로 기본 실험체인 실험체 1과 동일하며 Fig.6에 나타

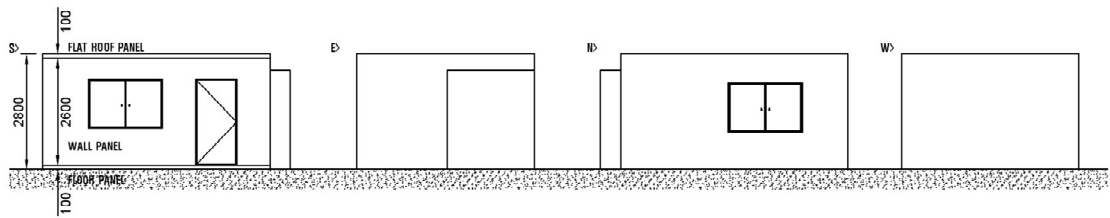
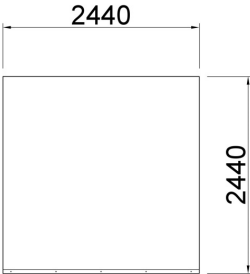
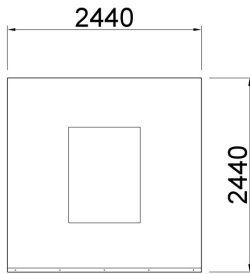
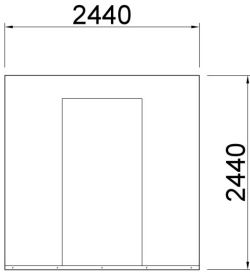
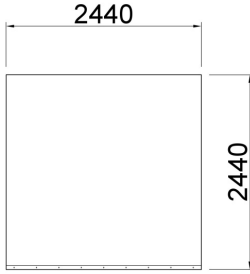
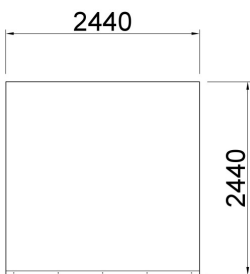
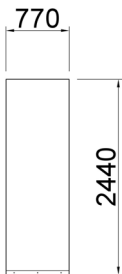


Fig. 5. Elevation of post-disaster refugees housing

Table 2. Experimental variable

Specimen 1			Specimen 2		
	Size(mm)	2440×2440		Size(mm)	2440×2440
	Opening(mm)	-		Opening(mm)	900×1200
	Number of bolts(ea)	5		Number of bolts(ea)	5
	Bolting interval(mm)	560		Bolting interval(mm)	560
	Remarks	-		Remarks	-
Specimen 3			Specimen 4		
	Size(mm)	2440×2440		Size(mm)	2440×2440
	Opening(mm)	1000×2100		Opening(mm)	-
	Number of bolts(ea)	5		Number of bolts(ea)	9
	Bolting interval(mm)	560		Bolting interval(mm)	280
	Remarks	-		Remarks	-
Specimen 5			Specimen 6		
	Size(mm)	2440×2440		Size(mm)	770×2440
	Opening(mm)	-		Opening(mm)	-
	Number of bolts(ea)	5		Number of bolts(ea)	3
	Bolting interval(mm)	560		Bolting interval(mm)	290
	Remarks	No hold down No stopper		Remarks	-

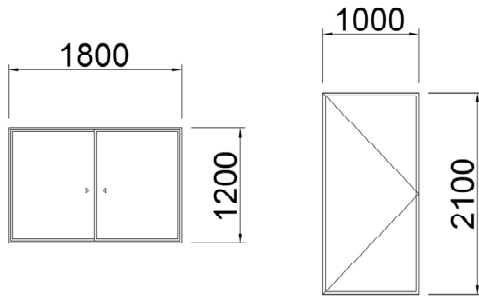


Fig. 6. Opening of post-disaster refugees housing

나 있는 개구부를 적용한 실험체이다. Fig. 6은 Fig. 4의 구호주거 평면에 적용한 개구부를 나타낸 것이다. 실험체 2는 기본 실험체 크기를 고려하여 창문의 절반의 크기로 개구부를 두었으며, 실험체 3은 문의 크기로 개구부를 뚫어 제작하였다. 하단 고정 볼트는 기본 실험체와 같이 560mm 간격으로 5개를 체결하였다.

실험체 4와 실험체 5의 크기는 2440×2440mm로 기본 실험체와 크기는 동일하며 개구부가 없는 실험체이다. 실험체 4는 실험체 하부 접합 부위의 볼트 간격을 280mm로 줄이고 볼트 개수를 9개로 늘려 하부 접합을 더 견고하게 한 실험체이다. 그리고 실험체 5는 실험체가 들리는 것을 제어하는 Hold-down과 뒤로 밀리는 변위를 제어하는 Stopper를 제거하여 실험체만의 성능을 보기 위한 실험체이다.

마지막으로 실험체 6은 크기가 770×2440mm로 개구부가 있는 실험체에서 개구부를 제외한 나머지 부분의 성능을 알아보기 위한 실험체이다. 하단 고정은 290mm 간격으로 3개의 볼트를 체결하였다.

2.3 면내전단강도 실험방법

면내전단강도 실험방법은 주로 ASTM E72[12]에 따라 수행하였으며 실험세팅은 Fig. 7과 같다. 실험체의 상부를 가력 하였으며 하부는 볼트로 고정하였다. 가력방향 외의 변위를 제어하기 위해 양 옆으로 철물을 설치하였고 하부에서 밀리는 변위를 제어하기 위해 실험체 하부에 철물을 설치하였다. 또한 실험체를 가력하는 동안 들리는 것을 잡아줄 수 있도록 상부에 고정 철물을 설치하였다.

실험체 하단은 Fig. 8에 나타난 것처럼 실험실 바닥과 단단하게 고정된 L형 강판에 구멍을 뚫어 볼트를 관통하여 고정하였다. 그리고 실험체 하단부 볼트 접합 부위

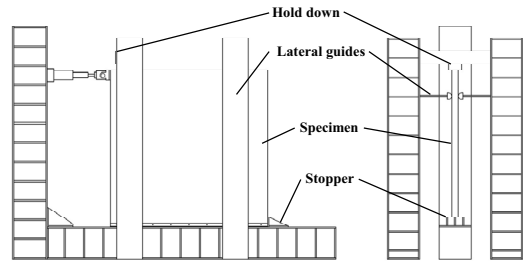


Fig. 7. Specimen setting

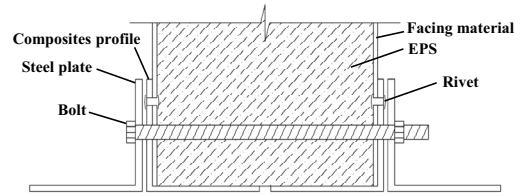


Fig. 8. Bottom joint detail

에서 찢어지는 것을 방지하기 위하여 추가로 L형 프로파일을 패널 양 옆에 덧대어 부착하였다.

3. 실험결과 분석

3.1 실험체 강성 예측

실험을 진행하기 이전에 실험체를 구성하는 재료들의 물성을 바탕으로 실험체에 대한 강성을 예측하였다. 실험체 강성을 계산하기 위해 실험체에 대한 휨 응력과 전단 응력에 대한 강성을 각각 계산하였다. 이 때, 작용하는 힘은 P 지만 휨 응력에 대해서 작용하는 힘을 P_a , 전단 응력에 대해서 작용하는 힘을 P_b 로 구분하여 표기하였다.

실험체는 단순히 보면 길이가 l 인 캔틸레버와 같다고 볼 수 있다. 이 때, 작용하는 힘 P_a 와 이로 인해 발생하는 변위 δ_a 와의 관계는 식 (1)과 같다.

$$\delta_a = \frac{l^3}{3EI} P_a \quad (1)$$

여기서, δ_a = 휨에 의해 발생한 변위

l = 실험체 높이

P_a = 가력 하중

E = 탄성계수

I = 단면2차모멘트

다음으로 전단 응력에 대한 강성을 계산하기 위해 전단 응력과 전단 변형 그리고 전단력의 관계를 이용하였다. 전단 응력, 전단 변형, 전단력의 관계는 (2), (3)과 같다.

$$\tau = \frac{V}{A} \quad \tau = G\gamma \quad (2)$$

여기서, τ = 평균전단응력

V = 전단력

A = 단면적

G = 전단탄성계수

γ = 전단변형률

$$\delta = \gamma h \quad (3)$$

여기서, δ = 전단 변형

γ = 전단변형률

h = 변형 전 길이

식 (2), (3)을 종합하여 전단 응력에 대해 작용하는 힘 P_b 와 이로 인해 발생하는 전단 변형 δ_b 와의 관계를 아래 식 (4)와 같이 정리할 수 있다.

$$\delta_b = \frac{h}{GA} P_b \quad (4)$$

여기서, δ_b = 전단력에 의해 발생한 변위

h = 실험체 높이

P_b = 가력 하중

G = 전단탄성계수

A = 단면적

식 (1)과 (4)에서 P_a 와 P_b 는 동일한 값이며 두 변형량을 더한 값이 실험체의 총 변형량이다. 실험체의 총 변형량은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \delta_{total} &= \delta_a + \delta_b = \frac{l^3}{3EI} P_a + \frac{h}{GA} P_b \\ &= \left(\frac{l^3}{3EI} + \frac{h}{GA} \right) P \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, δ_{total} = 총 변위

식 (5)를 힘에 대한 식으로 다시 정리하면 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다. 힘과 변위를 제외한 나머지 식을 K 로 정리하였을 때, 이 K 가 실험체의 강성이라고 할 수

있다.

$$\begin{aligned} P &= \left\{ \frac{1}{\left(\frac{l^3}{3EI} + \frac{h}{GA} \right)} \right\} \delta_{total} \\ &= K \times \delta_{total} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, K = 강성

식 (6)에 따라 실험체의 강성을 예측하여 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Specimen stiffness

	Specimen	Stiffness(N/mm)
①	Specimen 1~5	5045.41
②	Specimen 3	1365.88
③	Specimen 6	237.56

실험체들은 실험체 개구부의 유무와 고정 방식이 다르지만 강성 계산에 사용되는 상부 면적은 모두 동일하기 때문에 동일한 강성으로 계산되었다. 실험체 2와 실험체 3은 개구부가 존재한다. 여기서 실험체 2는 개구부가 작아서 강성의 저하가 없었으나 실험체 3은 개구부가 크기 때문에 개구부가 존재하는 부분의 벽체 강성을 무시한 경우를 별도로 표기하였다(Table 3.② 참조).

3.2 실험 수행 및 결과분석

3.2.1 가력 방법

면내전단강도 실험 세팅은 Fig. 9와 같다. 앞에서의 Fig. 7과 동일하게 실험을 진행하였다. 실험은 변위제어 방식으로 진행되었으며 액츄에이터를 이용하여 분당 3mm의 속도로 가력하였다.

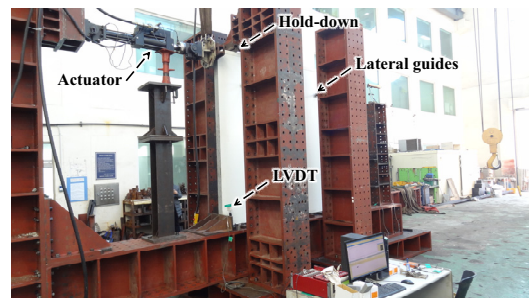


Fig. 9. In-plane shear strength setup

Fig. 10은 LVDT 설치 위치를 보여준다. Fig. 10에서 볼 수 있는 것처럼 총 4개의 LVDT를 설치하였으며, 각각의 LVDT는 화살표 방향으로의 변위를 측정하였다. 실험결과와 하중-변위 그래프에서의 변위 값은 실험이 진행되는 동안 실험체가 뜨는 변위와 회전하게 되는 변위를 뺀 값으로 아래 식 (7)과 같이 구한 값을 사용하였다.

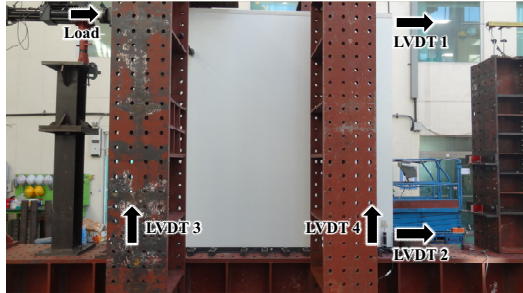


Fig. 10. LVDT installation location

$$\Delta = \Delta_1 - \Delta_2 - \{(\Delta_3 - \Delta_4) \times h/l_w\} \quad (7)$$

여기서, Δ = 실제 변위

$\Delta_{1,2,3,4}$ = LVDT1, 2, 3, 4에서 각각 측정된 변위

h = 벽체 높이

l_w = 벽체 폭

3.2.2 실험 결과

3.2.2.1 실험체 1

Fig. 11은 실험체 1의 하중-변위 그래프이다. 실험체 1은 크기가 2440×2440mm이며 두께는 100mm인 실험체이다. 실험체 하단의 볼트 접합 개수는 5개이다.

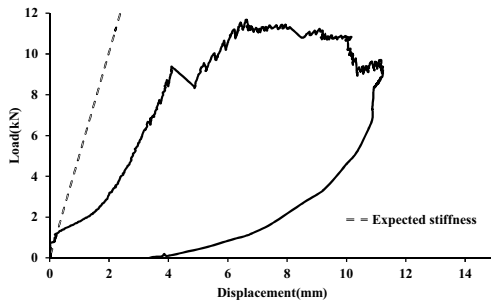


Fig. 11. Load-displacement of specimen 1

Fig. 11에서 점선으로 나타내고 있는 것이 앞에서 계산한 Table 3의 실험체 예상 강성이다. 초기에는 일치하지만 실험이 진행되면서 패널 가력부위에서 발생한 국부적인 찌그러짐으로 인하여 강성과 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 실험은 패널의 가력부위에서 스킨 부분이 찢어지면서 종료되었다. 5mm 부근에서 하중이 떨어지는 것을 확인할 수 있는데 이는 가력 부위에서 국부적인 파괴가 처음으로 발생한 시점이다. 실험체 1이 받은 최대하중은 11.67kN이며, 이때의 변위는 6.64mm이다.

3.2.2.2 실험체 2

Fig. 12는 실험체 2의 하중-변위 그래프이다. 실험체 2는 크기가 2440×2440mm이며 두께는 100mm인 실험체이다. 실험체 하단의 볼트 접합 개수는 5개이며, 900×1200mm의 개구부가 있는 실험체이다.

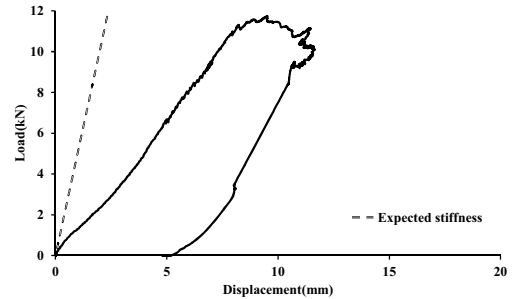


Fig. 12. Load-displacement of specimen 2

Fig. 12에서 점선으로 나타내고 있는 것이 실험체의 예상 강성이다. 초기의 강성은 일치하며 실험이 진행되면서 국부적인 찌그러짐으로 인해 차이가 발생하였다. 실험체 2는 개구부가 작은 경우로 개구부 상단의 패널은 실험체의 강성에 큰 영향이 없었다. 실험은 패널의 가력부위에서 스킨 부분이 찢어지면서 종료되었다. 실험체 2가 받은 최대하중은 11.73kN이며, 이때의 변위는 9.53mm이다.

3.2.2.3 실험체 3

Fig. 13은 실험체 3의 하중-변위 그래프이다. 실험체 3은 크기가 2440×2440mm이며 두께는 100mm인 실험체이다. 실험체 하단의 볼트 접합 개수는 5개이며, 1000×2100mm의 개구부가 있는 실험체이다.

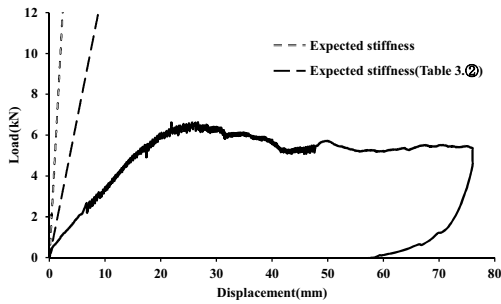


Fig. 13. Load-displacement of specimen 3

Fig. 13에 두 가지의 강성을 나타내었는데, 초기의 강성은 전체 패널에 대해 계산한 강성보다 개구부가 존재하는 부분의 패널 강성을 무시하고 계산한 강성(Table 3. ②)에 더 가까운 것을 확인할 수 있다. 이는 개구부가 커지게 되면서 개구부 상단 패널이 강성에 기여하지 못했기 때문으로 보여 진다. 또한 초기에 강성이 일치한 이후 강성이 저하되는데 이는 개구부로 인하여 전체적인 변형이 발생하기 때문인 것으로 보인다. 실험은 패널의 가력부위에서 스킨 부분이 찢어지면서 종료되었다. 실험체 3이 받은 최대하중은 6.63kN이며, 이때의 변위는 21.91mm이다.

3.2.2.4 실험체 4

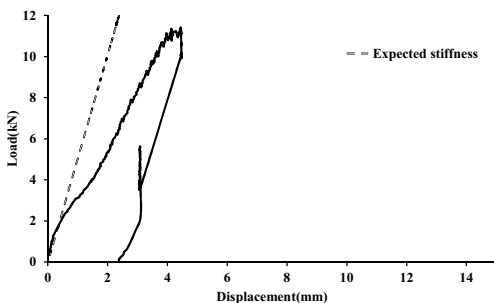


Fig. 14. Load-displacement of specimen 4

Fig. 14는 실험체 4의 하중-변위 그래프이다. 실험체 4는 크기가 2440×2440mm이며 두께는 100mm인 실험체이다. 실험체 하단의 볼트 집합 개수는 9개이다. Fig. 14에서 점선으로 나타내고 있는 것이 실험체의 예상 강성이다. 초기에는 일치하지만 뒤로 갈수록 국부적인 찌그러짐으로 인하여 강성과 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 실험은 패널의 가력부위에서 스킨 부분이 찢어

지면서 종료되었다. 국부적인 찢어짐으로 인한 파괴이며, 하단의 볼트 개수를 증가시킨 것이 실험체의 성능에 기여하지는 않았다. 실험체 4가 받은 최대하중은 11.41kN이며, 이때의 변위는 4.44mm이다.

3.2.2.5 실험체 5

Fig. 15는 실험체 5의 하중-변위 그래프이다. 실험체 5는 크기가 2440×2440mm이며 두께는 100mm인 실험체이다. 실험체 하단의 볼트 집합 개수는 5개이며 다른 실험체와 다르게 실험체가 뜨는 것을 막아주는 Hold-down과 뒤로 밀리는 것을 막아주는 Stopper를 제거한 실험체이다.

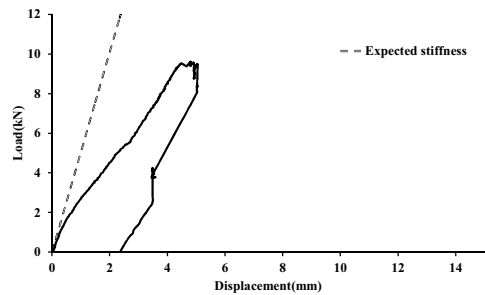


Fig. 15. Load-displacement of specimen 5

Fig. 15에서 점선으로 나타내고 있는 것이 실험체의 예상 강성이다. 초기에는 일치하지만 뒤로 갈수록 국부적인 찌그러짐으로 인하여 강성과 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 실험은 패널의 가력부위에서 스킨 부분이 찢어지면서 종료되었다. 실험체 5가 받은 최대하중은 9.61kN이며, 이때의 변위는 4.81mm이다.

3.2.2.6 실험체 6

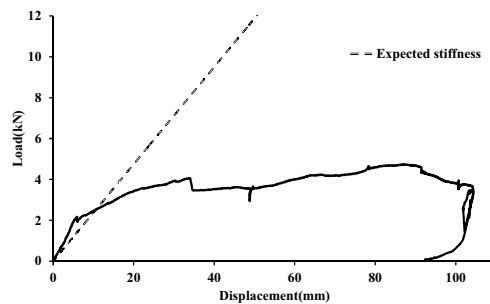


Fig. 16. Load-displacement of specimen 6

Fig. 16은 실험체 6의 하중-변위 그래프이다. 실험체 6은 크기가 770×2440mm이며 두께는 100mm인 실험체이다. 실험체 하단의 볼트 집합 개수는 3개이다. 실험체 6은 개구부가 있는 실험체에서 개구부를 제외한 양단 패널의 성능을 확인하기 위한 실험체이다.

Fig. 16에서 점선으로 나타내고 있는 것이 실험체의 예상 강성이다. 초기에는 일치하지만 뒤로 갈수록 국부적인 찌그러짐으로 인하여 강성과 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 실험은 패널의 가력부위에서 스킨 부분이 찢어지면서 종료되었다. 실험체 6이 받은 최대하중은 4.07kN이며, 이때의 변위는 33.82mm이다. 실험이 진행되면서 최대하중과 변위가 더 증가하였지만 이것은 변형이 이루어진 이후의 서스펜션 거동이 진행된 것으로 보이며, 이러한 거동은 실제 구조물에서 안정적으로 발현되기 어렵기 때문에 초기에 하중이 급격히 감소된 시점의 하중이 실험체가 받은 최대하중이라고 정의하였다.

3.2.2.7 실험 결과 종합

실험 결과를 종합하면 모든 실험체의 초기 강성은 예측이 가능하나 강성 저하가 발생하였으며 이는 Fig. 17과 같은 패널의 국부적인 찌그러짐과 찢어짐 때문이다. 또한 하단의 볼트 집합은 견고했으며 볼트 개수를 증가하여도 성능은 증가하지 않았다.

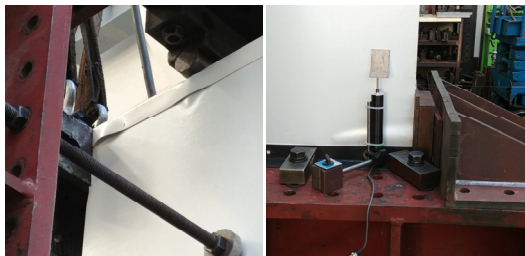


Fig. 17. Damage pattern of specimens

3.2.3 실험체별 비교 분석

3.2.3.1 실험체 1, 2, 3

Fig. 18은 실험체 1, 2, 3의 하중-변위 그래프를 함께 나타낸 것이다. 이 실험체들은 모두 크기는 같으나 실험체 2는 900×1200mm의 개구부가 있으며, 실험체 3은 1000×2100mm의 개구부가 있는 실험체이다. 세 개의 실험체는 모두 실험체 가력부위에서 스킨이 찢어지면서 실험이 종료되었다. 결과를 비교하면 실험체 1과 실험체

2의 최대 강도와 전체적인 강성은 유사하며 이를 통해 개구부가 작은 경우에는 영향이 없음을 확인하였다. 실험체 3의 강성과 강도는 실험체 1, 2와 비교하여 큰 차이를 보이는데, 이는 실험체 3의 개구부가 실험체 2의 개구부보다 더 커지면서 개구부 상단의 패널이 더 얇아지게 되어 강성뿐 아니라 강도에도 기여하지 못한 것으로 보인다.

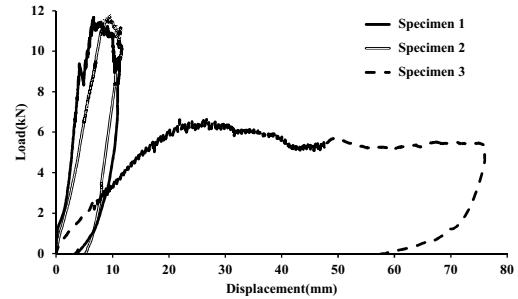


Fig. 18. Comparisons of experiment 1, 2, 3

3.2.3.2 실험체 1, 4, 5

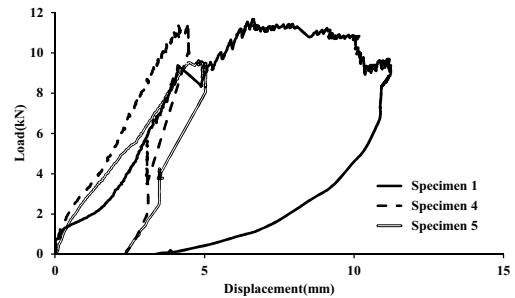


Fig. 19. Comparisons of experiment 1, 4, 5

Fig. 19는 실험체 1, 4, 5의 하중-변위 그래프를 함께 나타낸 것이다. 이 실험체들은 모두 크기는 같으나 실험체 4는 실험체 1의 세팅에서 하단의 볼트 집합 개수를 5개에서 9개로 증가시킨 실험체이며, 실험체 5는 실험체 1의 세팅에서 Hold-down과 Stopper를 제거한 실험체이다. 세 개의 실험체는 모두 실험체 가력부위에서 스킨이 찢어지면서 실험이 종료되었다. 실험체 1과 실험체 4의 최대 강도는 비슷하나 전체적인 강성은 실험체 4가 더 크며, 변형은 실험체 1이 더 많이 발생한 것을 확인할 수 있다. 이와 비교하여 실험체 5는 실험체 세팅에서 Hold-down과 Stopper를 제거하였기 때문에 실험체가

가력방향 외 방향으로 회전하게 되면서 실험체 1과 실험체 4에 비하여 최대 강도가 더 작아진 것을 확인할 수 있다.

3.2.3.3 실험체 1, 6

Fig. 20은 실험체 1, 6의 하중-변위 그래프를 함께 나타낸 것이다. 실험체 1의 크기는 2440×2440mm이며, 실험체 6의 크기는 770×2440mm이다. 실험체 1의 최대 강도는 11.67kN이며, 실험체 6의 최대 강도는 4.07kN이다. 따라서 실험체 1의 크기는 실험체 6의 크기의 약 3배 크기이며, 강도 또한 약 3배의 차이를 나타내었다.

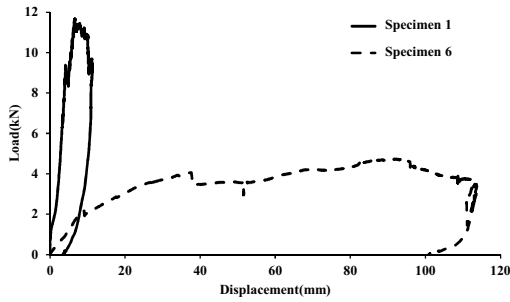


Fig. 20. Comparisons of experiment 1, 6

3.2.4 경량 복합패널의 극한전단응력 제한

모든 실험결과를 종합해 보면 실험체의 파괴하중에 기여하는 패널의 면적이 패널의 파괴하중과 비례한다고 할 수 있다. 이를 정량적으로 확인하기 위해 패널에 파괴하중 P_{max} 가 작용할 때 전단응력에 기여한 패널의 면적을 A 라고 한다면 패널의 극한전단응력을 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau_{ult} = \frac{P_{max}}{A} \quad (8)$$

여기서, τ_{ult} = 패널의 극한전단응력

P_{max} = 패널의 파괴하중

A = 전단응력에 기여한 패널 면적

식 (8)을 통해 실험체별 파괴하중과 전단응력에 기여한 패널 면적 그리고 극한전단응력을 산정하여 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Specimen stiffness

Specimen	Maximum Load (P , N)	Effective area (A , mm ²)	Ultimate shear stress (τ_{allow} , N/mm ²)
Specimen 1	11,670	244,000	0.048
Specimen 2	11,730	244,000	0.048
Specimen 3	6,630	144,000	0.046
Specimen 4	11,410	244,000	0.047
Specimen 5	9,610	244,000	0.039
Specimen 6	4,070	77,000	0.053
		Average	0.047

Table 4의 실험체별 극한전단응력을 보면, 모든 실험체가 0.039~0.053N/mm²으로 유사한 값을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 또한 경량 복합패널의 극한전단응력의 평균은 0.047N/mm²이며 이는 오차가 매우 작아 유효한 값이라고 말할 수 있다. 따라서 이 값을 통해 패널의 허용 하중을 합리적으로 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 기존의 임시거주시설보다 안전하고 거주성이 뛰어난 구호주거를 제작하기 위해 시공성, 단열성이 우수한 경량 복합패널을 이용하고자 이에 대한 구조적 성능을 검증하였다. 특히 재난구호주거로서 역할을 할 수 있도록 풍하중 및 지진하중에 저항할 수 있는 면내 전단 강도를 알아보려고 하였다. 이를 위해 경량 복합패널에 대한 면내전단강도 실험을 진행하였으며 주요 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 실험 결과 모든 실험체는 가력 부분의 패널이 찢어지면서 실험이 종료되었다. 실험체의 초기 강성은 어느 정도 예측이 가능하였으나 패널의 특성상 국부적인 찌그러짐과 찢어짐 등에 의한 강성 저하는 예측이 어려웠다.
- 2) 실험체 1, 2, 3은 실험체에 개구부를 두었을 때의 성능을 알아보기 위한 실험체들이다. 개구부가 900×1200mm인 실험체 2는 개구부가 없는 실험체 1의 강성과 강도가 크게 다르지 않았다. 하지만 개구부가 1000×2100mm인 실험체 3은 강성과 강도가 모두 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 개구부의 크기가 실험체 2보다 더 커지게 되면서

개구부 상단의 패널이 더 얇아졌기 때문이다. 따라서 구호주거에서 개구부가 크게 들어가거나 패널이 세장하게 되는 부위의 구조 성능은 무시하는 것이 바람직하다고 할 수 있으며 이러한 부분에는 추가적인 보강이 필요하고 국부적인 변형이 발생하는 것을 방지하기 위한 방안이 필요하다.

- 3) 실험체 1, 4, 5는 모두 크기는 같으나 실험 세팅이 다른 실험체이다. 실험체 4는 실험체 하단을 더 단단히 고정하였으며, 실험체 5는 Hold-down과 Stopper를 제거한 실험체이다. 이를 통해 패널의 하단을 더 단단히 고정할수록 강도는 달라지지 않으나 강성이 증가하며 변형이 줄어드는 것을 확인하였다. 또한 회전이나 밀리는 변형을 잡아주지 않는다면 강도가 저하되는 것을 확인하였다. 따라서 패널을 설치할 때 실험체가 회전되거나 밀리는 것을 막을 수 있도록 단단히 고정시켜야 한다는 것을 확인하였다.
- 4) 모든 실험결과를 종합하여 패널의 최대하중과 그 하중이 작용하는 면적이 비례한다는 것을 확인하였다. 힘과 면적의 관계를 이용하여 각 실험체의 극한전단응력을 계산하였으며, 모든 실험체의 극한전단응력이 큰 차이 없이 일정한 값으로 계산되는 것을 확인하였다. 모든 실험체의 평균 극한전단응력은 0.047N/mm^2 이며, 이를 통해 패널의 허용하중을 합리적으로 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

위와 같이 경량복합패널의 면내 전단 실험 결과를 토대로 경량 복합패널의 면내 전단 강도를 파악할 수 있었다. 또한 경량 복합패널의 평균 극한전단응력을 통해 패널의 길이에 따른 허용하중을 유추할 수 있는 자료를 얻을 수 있었다.

References

- [1] Korea Meteorological Administration, Earthquakes Occurring in Korea, 2017, http://www.weather.go.kr/weather/earthquake_volcano/do_mestictrend.jsp, (accessed Oct. 2018)
- [2] Ashland Inc., Technical Datasheet Ashland Specialty Ingredients ISOGRIPTM SP 3030D Adhesive, Ashland Inc. 2010.
- [3] Axia Materials Co., Ltd., Structural Properties of LitePan® Panel, p.10-12, Axia Materials Co., Ltd., 2015.
- [4] B. Yeh, T. Williamson, E. Keith, Development of Structural Insulated Panel Standards, ASCE, Structures Congress 2008, 2008.
- [5] U.S. Department of Housing and Urban Development, Prescriptive Method for Structural Insulated Panels(SIPs) Used in wall systems in residential construction, pp. 1-40, Office of Policy Development and Research, 2007.
- [6] H. Nah, H. Lee, C. Lee, S. Hwang, H. Jo, S. Choi, "Evaluation on Structural Performance of Structural Insulated Panels in Wall Application", J. Korean Soc. Adv. Comp. Strus., Vol. 3, No. 2, pp. 19-27, 2012. DOI: <https://doi.org/10.11004/kosacs.2012.3.2.019>
- [7] H. Nah, H. Lee, S. Choi, "Performance Evaluation on Static Loading and Cyclic Loading for Structural Insulated Panels", J. Korean Soc. Adv. Comp. Strus., Vol. 4, No. 1, pp. 33-39, 2013. DOI: <https://doi.org/10.11004/kosacs.2013.4.1.033>
- [8] Yu-Ra. Choi, Mi-Kyung. Kim, "Developing Planning Guidelines for Temporary Shelters for Disaster Victims Bases on Habitability : An Experts Survey", Crisisonomy, Vol. 14, No. 2, pp. 19-32, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14251/crisisonomy.2018.14.2.19>
- [9] Kyeong-Hui. Kim, Seung-Yeon. Kim, Ye-Seol. Han, Mi-Kyung. Kim, "Actual Status and Improvement of Temporary Shelter for Disaster Victims Due to the Earthquake In Pohang-Focusing on the Field Survey of Pohang Hunghae Indoor Gymnasium", Journal of the Korean Institute of Interior Design, Vol. 20, No. 1, pp. 208-211, 2018.
- [10] Hee-Beom. Park, Jong-Sup. Park, Jae-Yoon. Kang, Woo-Tai. Jung, "An Experimental Study on the Behavior of Real Size Curved FRP Panel Using Composite Materials", J. Korean Soc. Adv. Comp. Strus., Vol. 9, No. 2, pp. 43-49, 2018. DOI: <https://doi.org/10.11004/kosacs.2018.9.2.043>
- [11] Su-min. Kang, Moon-young. Hwang, Sung-tae. Kim, Young-jun. Cho, Byung-yun. Lee, "Evaluation on Transverse Load Performance of Lightweight Composite Panels", Journal of the Korea Academia-Industrial, Vol. 19, No. 1, pp. 146-157, 2018.
- [12] ASTM International, Test Methods of Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction, ASTM E72, ASTM Books of Standards, 2017.
- [13] Korea Agency for Technology and Standards, KS F 2273 Methods of performance test for building construction panels, pp.23-26, 2009.
- [14] Industry university cooperation foundation of Chungbuk national university, A Basic Study on the Multi-Purpose Housing System with Light Weight Structure Type and Disaster Response, p.35-36, Chungbuk national university, 2017.

황 문 영(Moon-Young Hwang)

[준회원]



- 2014년 2월 : 충북대학교 건축공학과
- 2017년 2월 ~ 현재 : 충북대학교 건축공학과 석사과정

<관심분야>
건축구조

김 성 태(Sung-Tae Kim)

[정회원]



- 1900년 2월 : 서울대학교 섬유고분자공학과
- 1992년 2월 : 서울대학교 섬유고분자공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 서울대학교 섬유고분자공학과 (공학박사)
- 2008년 5월 ~ 현재 : (주)엑시아머 테리얼스 이사

<관심분야>
복합재료, 건축

강 수 민(Su-Min Kang)

[정회원]

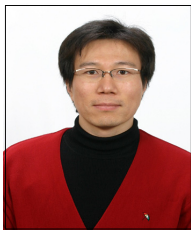


- 2000년 2월 : 서울대학교 건축학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 서울대학교 건축학과 (공학박사)
- 2004년 4월 ~ 2014년 2월 : 대림산업 기술연구원 차장
- 2014년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 건축공학과 조교수

<관심분야>
건축구조, 내진설계

이 병 연(Byungyun Lee)

[정회원]



- 1999년 2월 : 서울대학교 공과대학 건축학과 (공학석사)
- 2009년 8월 : 서울대학교 공과대학 건축학과 (공학박사)
- 2004년 11월 ~ 2007년 8월 : 정림건축 팀장
- 2010년 9월 ~ 현재 : 충북대학교 건축학과 교수

<관심분야>
친환경건축, 지속가능도시