

경량 복합패널을 활용한 구호주거의 횡하중 저항성능 및 냉난방조명 에너지성능 평가

황문영¹, 이병연^{2*}, 강수민¹, 김성태³

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

Evaluation of Lateral Load Resistance and Heating/Cooling/Lighting Energy Performance of a Post-disaster Refugees Housing Using Lightweight composite Panels

Moon-Young Hwang¹, Byung-Yun Lee^{2*}, Su-Min Kang¹, Sung-Tae Kim³

¹Department of Architectural Engineering, Chungbuk National University

²Department of Architecture, Chungbuk National University

³Axia Materials CO., LTD.

요약 2016년 경주 지진에 이어 2017년 포항 지진까지 발생한 대한민국은 더 이상 지진에 대해 안전지대라고 할 수 없다. 이에 따라 재난환경에 적합한 피난시설의 필요성이 증대되고 있다. 본 연구에서는 경량 복합패널을 이용하여 기존 피난시설의 단점들을 보완할 수 있는 구호주거를 제작하고자 하였다. 이를 위해 경량 복합패널로 구성된 구호주거에 대한 구조 성능과 에너지성능을 평가하고자 하였다. 구호주거의 구조 성능을 평가하기 위해 경량 복합패널로 제작한 시스템에 대한 횡하중 가력 실험을 진행하였다. 실험체는 접합 방식을 변수로 하여 2가지로 구성하였다. 또한 KBC 2016에 따라 실험체에 대한 지진하중과 풍하중을 산정하여 실험 결과와 비교하였다. 에너지성능은 냉난방 및 조명에너지 사용량을 최소화하기 위해 기준 패널을 활용한 남측창호 최적화기법을 활용하여 분석하였고, 창면적비, 창 총일사취득을 최적화를 진행하였다. 결과적으로 경량 복합패널로 제작된 실험체는 횡하중에 대해 충분히 안전한 성능을 보일 것으로 판단되며, 창면적비 0.38, 총일사취득율 0.5수준의 최적화 계획을 통한 저에너지 운용이 기대된다.

Abstract Following the earthquake in Gyeongju (2016) and Pohang (2017), South Korea is no longer a safe place for earthquakes. Accordingly, the need for shelters suitable for disaster environments is increasing. In this study, a lightweight composite panel was used to produce post-disaster housing for refugees to compensate for the disadvantages of existing evacuation facilities. For this purpose, an evaluation of structural performance and thermal environment for post-disaster housing for refugees composed of lightweight composite panels was performed. To assess the structural performance, a lateral loading test was conducted on a system made of lightweight composite panels. The specimens consisted of two types, which differed according to the bonding method, as a variable. In addition, the seismic and wind loads were calculated in accordance with KBC 2016 and compared with the experimental results. Regarding the energy performance, optimization of south-facing window planning and window-wall ratio and solar heat gain coefficient were analyzed to minimize heating, cooling, and lighting energy. As a result, the specimens composed of lightweight composite panels will perform sufficiently safely for lateral loads and the optimized window planning will lead to a low-energy operation.

Keywords : Post-Disaster Refugees Housing, Lightweight Composite Panel, Lateral Load, Optimization, Energy Performance

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

*Corresponding Author : Byung-Yun Lee(Chungbuk National Univ.)

Tel: +82-43-261-2433 email: ecoville@cbnu.ac.kr

Received December 26, 2018

Revised January 30, 2019

Accepted March 8, 2019

Published March 31, 2019

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

2016년 규모 5.8 경주 지진에 이어 2017년에는 포항에서 규모 5.4의 지진이 발생하였다[1]. 대한민국도 더 이상 지진에 대해 안전지대라고 할 수 없다. 이에 따라 재해, 재난환경에 적합한 임시거주공간 혹은 피난시설의 필요성이 증대되고 있다. 하지만 현재 일반적으로 이재민들에게 제공되는 구호주거는 컨테이너의 형태이거나 샌드위치 패널을 이용해 만든 임시시설이다. 이러한 형태의 구호주거는 외기와 맞닿는 부분에서의 열손실이 많이 발생하여 건축물의 단열효과가 떨어지게 되며 누수, 결로 등이 발생하여 거주자의 거주성이 현저히 떨어진다. 또한 여기에 사용되는 컨테이너나 샌드위치 패널은 구조적 검증이 되지 않아서 구조체 역할이 아닌 주로 표면을 보호하는 기능만을 가지고 있다.

본 연구에서는 기존에 이재민들에게 제공되는 임시거주시설의 단점을 해결하고자 하였으며, 이를 위해 무게가 가벼워서 시공성이 뛰어나며, 단열 효과가 좋은 경량 복합패널을 이용해 새로운 구호주거를 제작하고자 하였다. 이에 따라 본 연구에서는 경량 복합패널로 구성된 시스템에 대해 횡하중에 대한 구조성능과 프로토타입 유닛의 환경성능 최적화를 분석하였다.

1.1.2 경량 복합패널 구성 및 물성

경량 복합패널은 Fig. 1과 같이 내부가 EPS (Expanded Polystyrene)로 구성되며 이를 고강성의 섬유강화 복합소재 스킨이 위 아래로 덮고 있는 형태로 구성된다. 코어와 스킨의 사이는 PU. Glue(Polyurethane Glue)를 이용하여 부착된다[2].

섬유강화 복합소재는 고분자 소재를 파우더로 만들어 탄소섬유, 아라미드섬유, 유리섬유 등의 섬유강화재에 분산도포한 후 열과 압력으로 함침시키는 방식으로 제조된다. 기존의 복합소재와는 달리 섬유를 직조하는 방식으로 제조되므로 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 높은 강성을 기대할 수 있을 것으로 보여진다. 또한 코어부의 EPS 사용으로 뛰어난 단열성이 기대된다[3].

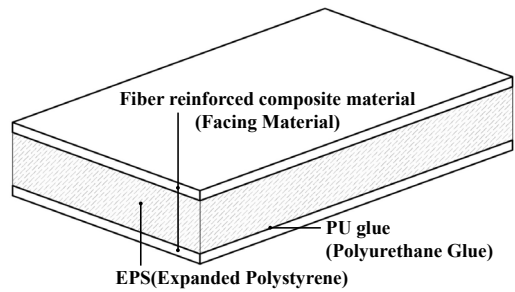


Fig. 1. Panel configuration[4]

경량 복합패널에 사용된 재료에 대한 물성은 Table 1에 나타나 있다. 스킨재의 경량 복합패널 실험체 제작에 적용된 코어는 EPS로서 밀도는 25 kg/m^3 이며 두께는 100 mm이다. 스킨재는 공칭두께 0.8 mm인 섬유강화 복합소재를 사용하였다.

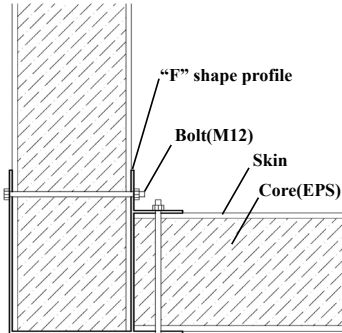
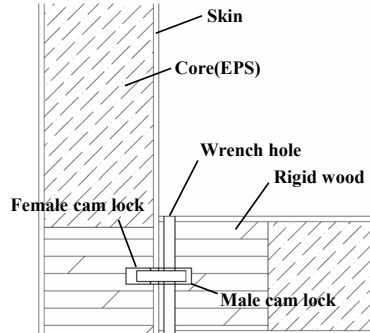
Table 1. Material properties for structural components[3]

	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

1.2 연구 방법 및 범위

단열재와 결합된 패널을 구조체로 사용하기 위한 구조성능 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.

Table 2. Experimental variables

Specimen	"F" specimen	Cam lock specimen
Size	2300×2500×2400 mm	2300×2500×2400 mm
Connection Detail		

경량 구호주거 개발을 위해 본 연구에서 사용된 경량 복합패널의 구조성능 평가에 관한 선행 연구로는 경량 복합패널의 분포압 강도 성능 평가에 관한 연구[8]가 있다. 선행 연구[8]에서는 경량 복합패널에 대한 면의 방향 휨 가력 실험을 통한 단일 경량 복합패널의 두께 및 길이 에 따른 분포압 강도를 평가하였다. 본 연구에서는 상기 선행연구[8]의 후속연구로, 경량 복합패널로 구성된 실제 시스템의 구조적 성능(휨력저항성능)과 열환경 성능(냉난방조명 에너지성능)을 평가하고자 하였다. 구조 성능에 대해 평가하기 위해 경량 복합패널을 직접 제작하고, 접합 방법을 실험 변수로 하여 횡하중 가력 실험을 진행하였다. 또한 실험을 통해 확인한 파괴하중과 파괴 모드를 통해 경량 복합패널을 활용한 구호주거의 구조 성능을 파악하고자 하였다.

또한 본 연구에서는 경량복합패널로 제작된 구호주거의 열환경을 최적화하기 위한 최적화-에너지분석 연동 연구를 수행하였다. 건축물 에너지 성능 최적화 방식은 변수들의 민감도 분석 방식을 통한 최적대안 도출, 유전 알고리즘을 포함한 최적화방식이 활용되고 있다[9]. 본 연구에서는 변수 변화에 따른 에너지 절감 효과를 보다 명시적으로 확인이 가능한 [10, 11] 민감도 분석을 통해 분석하여 구호주거 성능을 검증하고자 하였다.

2. 구조성능 평가

2.1 구조 성능 평가 실험체

경량 복합패널로 구성된 실험체는 Fig. 2와 같이 코어의 EPS가 100 mm, 스킨은 0.8 mm인 패널을 이용하여

제작되었다.

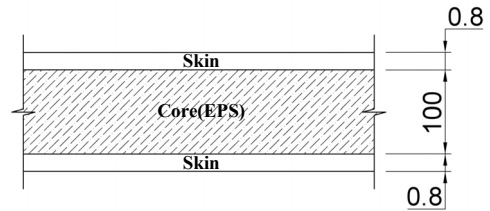


Fig. 2. Specimens section

실험체는 모두 Fig. 3과 같이 크기가 2500 × 2300 × 2400 mm이며 아래가 뚫린 직육면체이다.

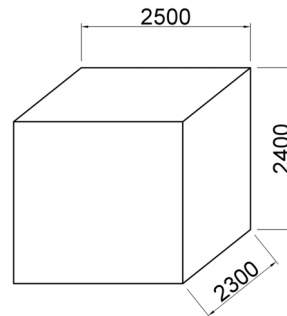


Fig. 3. Specimen size

행정안전부에서 발행한 재해구호계획 수립지침에 따르면 임시거주시설의 수용면적은 1인당 3.3 m³ 이상을 원칙으로 한다[12]. 하지만 본 실험에서는 실험실의 여건을 고려하여 실험 가능한 최대한의 크기로 실험체의 크기를 결정하였으며 이는 대략 2인을 수용할 수 있는 규모라고 할 수 있다.

실험체는 총 2개이며, 패널의 접합 방법을 변수로 하여 실험을 진행하였다. 두 실험체의 접합부 상세는

Table 2에 나타내었으며 두 상재 모두 경량복합패널의 시공성을 고려하여 결정하였다.

F 실험체는 패널들이 F자 모양의 프로파일을 이용하여 접합되며, 프로파일은 실험체에 볼트를 이용하여 고정하였다. 볼트는 접합개소에 각 4개씩 체결하였으며 지붕 패널을 설치할 때에는 벽체 패널과 조립되는 부분에 각 2개의 볼트(M12)를 체결하였다. 따라서 총 24개의 볼트를 사용하여 결합하였다.

캠락(Camlock) 실험체는 패널들이 캠락을 이용하여 접합되는 실험체이다. 실험에 사용된 캠락은 Fig. 4와 같다. 래치(R2-0267-02)와 리셉터클(R2-0268-02)을 사용하였으며[13] 실험체의 코어인 EPS에 설치하는 것이 제한되어, 단단한 목재(100×100×2400 mm)를 고정하고 목재 안에 캠락을 설치하는 방식으로 제작되었다.

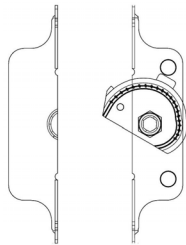


Fig. 4. Camlock(R2-0267-02, R2-0268-02)[13]

Fig. 5는 캠락 실험체의 접합 방법과 접합부에 대한 상세를 나타내고 있다. Fig. 5에서 볼 수 있는 것처럼 패널 단부에 단단한 나무를 설치하고 내부에 캠락을 심는 방식으로 제작 되었으며 패널을 접합할 때에는 미리 뚫어놓은 렌치 구멍을 통해 고정하였다. 캠락은 접합면마다 2개소에 설치하여 총 16개의 캠락으로 결합하였다.

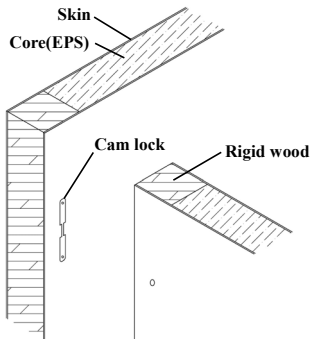
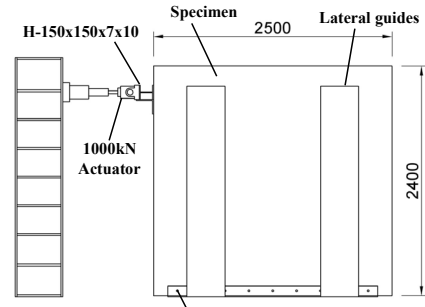


Fig. 5. Cam lock connection method

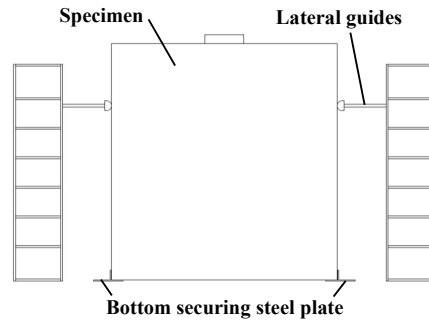
2.2 구조 성능 평가 실험방법

경량 복합패널로 구성된 시스템에 대한 횡력 가력 실험을 위해 Fig. 6과 같이 실험을 계획하였다.

실험체는 액추에이터(1000 kN)을 사용하여 H형강(H-150x150x7x10)을 통해 가력되며, 양 옆으로는 면 외 방향으로의 변위를 잡아주는 가이드를 설치하였다.



(a) Side view



(b) Bottom view

Fig. 6. Specimen setting detail

실험체는 아래가 뚫려 있는 직육면체 형태이며, 실험체 양쪽 하단은 제단한 철물을 이용해 실험실 바닥과 단단하게 고정하였다. Fig. 7에 실험체와 실험실 바닥을 고정한 모습을 나타내었다.

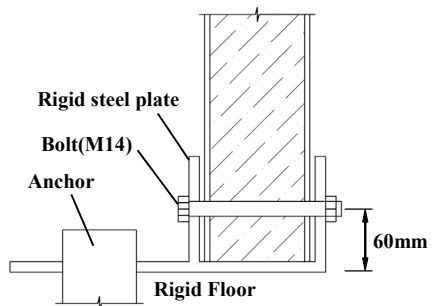


Fig. 7. Fixing detail of specimen

기존에 실험실 바닥에 뚫려 있는 앵커 구멍과 제작한 철물을 앵커를 이용해 고정하였으며, 철물과 실험체는 볼트를 관통하여 체결하였다. 관통볼트는 시공성을 고려하여 250 mm 간격으로 9개를 양쪽으로 체결하였다.

실험 세팅은 Fig. 8과 같다. 앞에서의 Fig. 6의 상세를 따라 세팅되었다. 실험 간 변위를 측정하기 위해 상단 양쪽에 LVDT를 설치하였으며, 결과에 사용된 변위 값은 두 개의 LVDT에서 측정된 상부 변위의 평균값이다.

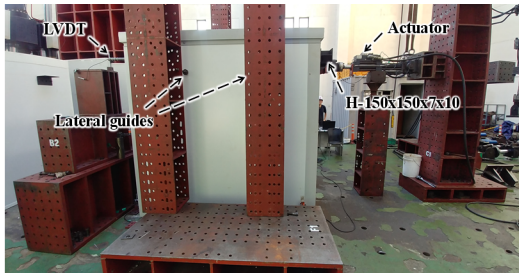


Fig. 8. Specimen setup

2.3 횡하중 가력 실험 결과

Fig. 9는 F 실험체의 하중-변위 그래프이다. F 실험체는 패널을 F자형 프로파일을 이용해 접합한 실험체이며, 크기는 2500x2400x2300 mm인 실험체이다.

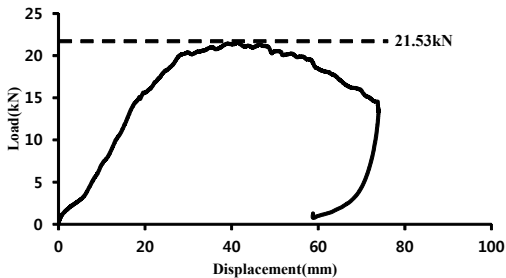


Fig. 9. Load-displacement of "F" specimen



Fig. 10. Failure at bottom of "F" specimen

실험결과 실험체가 받은 최대하중은 21.53 kN이며,

이 때 실험체에 발생한 변위는 73.91 mm이다. 실험체의 하단 고정 부분에서 볼트로 체결된 부분이 찢겨져 나가면서 실험은 종료되었다. Fig. 10은 실험이 종료된 후의 실험체 하단 모습이다.

Fig. 11은 캠락 실험체의 하중-변위 그래프이다. 캠락 실험체는 패널을 캠락을 이용해 접합한 실험체이며, 크기는 2500x2400x2300 mm인 실험체이다. 실험결과 실험체가 받은 최대하중은 23.33 kN이며, 이 때 실험체에 발생한 변위는 66.17 mm이다. 실험체의 하단 고정 부분에서 볼트로 체결된 부분이 찢겨져 나가면서 실험은 종료되었다. Fig. 12는 실험이 종료된 후의 실험체 하단 모습이다.

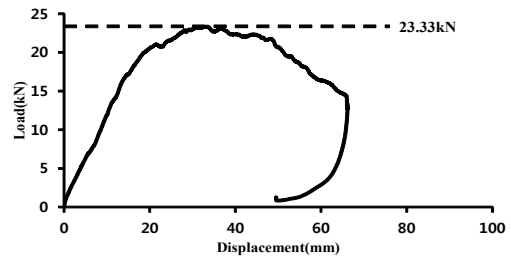


Fig. 11. Load-displacement of cam lock specimen



Fig. 12. Failure at bottom of cam lock specimen

2.4 실험체 횡하중 산정

본 연구의 목적은 경량 복합패널로 구성된 시스템에 대한 횡하중 저항 성능을 평가하는 것이며, 이에 따라 실험체에 발생하는 횡하중을 산정하였다. 본 연구에서는 재난환경에 적합한 구조주거를 제공하는 것이므로 재난 환경에서 발생할 수 있는 풍하중과 지진하중을 각각의 실험체에 따라 산정하였다.

2.4.1 풍하중 산정

각 실험체에 대한 풍하중은 KBC 2016[14] 기준에 따

라 산정하였다. KBC 2016[14]에서는 작은 규모 건축물을 대상으로 한 간편법에 따른 풍하중 산정법을 제공하고 있다. 간편법을 적용할 수 있는 조건은 다음과 같다.

- 1) $H \leq 20$ m
- 2) $H/\sqrt{BD} \leq 1.0$ 또는 $H/\sqrt{A_f} \leq 1.0$
- 3) 형상이 정형적이고, 단면은 대칭에 가까워야 함

여기서, H = 건축물의 기준높이(m)

B = 건축물의 대표폭(m)

D = 건축물의 깊이(m)

A_f = 건축물의 기준층 바닥면적(m^2)

실험체는 위의 조건을 만족하기 때문에 작은 규모 건축물을 대상으로 하는 간편법을 이용하여 풍하중을 산정할 수 있다. 간편법은 식 (1)과 같다.

$$W_{SF} = 0.25 V_0^2 H^{0.44} C_e C_f A \quad (1)$$

여기서, W_{SF} = 간편법에 따른 풍하중(N)

V_0 = 기본풍속(m/s)

H = 건축물의 기준높이(m)

C_e = 건설지 주변의 지표면 상황에 따라 정하는 환경계수로 통상 1.0을 사용하고, 장애물이 없는 평탄지인 경우에는 1.5, 해안가인 경우에는 2.0으로 한다.

C_f = $C_{pe1} - C_{pe2}$ = 풍력계수

A = 유효수압면적(m^2)

식 (1)에서 기본풍속 V_0 는 우리나라에서 제주도과 울릉도를 제외하고 가장 큰 부산지역의 풍속인 38 m/s로 계산하였으며, 환경계수 C_e 는 해안가를 제외하여 1.5로 계산하였다.

2.4.2 지진하중 산정

각 실험체에 대한 지진하중은 KBC 2016[14] 중 등가정적해석법에 따라 산정하였다. 등가정적해석법에 따른 밑면전단력은 식 (2)를 통해 산정된다. 산정 과정에서 지진구역계수는 지진이 큰 곳으로 가정하여 0.22g로 결정하였으며, 지반 또한 구호주거의 안전성 확보를 위해 지

진하중을 크게 보고자 S_d 지반으로 결정하였다.

$$V = C_s W \quad (2)$$

여기서, C_s = 식 (3)에 따라 산정한 지진응답계수

W = 고정하중(유효 건물 중량)

식 (2)에서 지진응답계수 C_s 는 식 (3)을 통해 산정할 수 있다.

$$C_s = \frac{S_{D1}}{\left[\frac{R}{I_E}\right] T} \geq \frac{S_{DS}}{\left[\frac{R}{I_E}\right]} \geq 0.01 \quad (3)$$

여기서, C_s = 지진응답계수

I_E = 건축물의 중요도계수

R = 반응수정계수

S_{DS} = 단주기 설계스펙트럼가속도

S_{D1} = 주기 1초에서의 설계스펙트럼가속도

T = 식 (4)에 따른 건축물의 고유주기

식 (3)에서의 건축물의 고유주기 T 는 근사고유주기를 구하는 식 (4)에 의해 계산할 수 있다.

$$T_a = C_T h_n^{3/4} \quad (4)$$

여기서, T_a = 근사고유주기

$C_T = 0.085$: 철골모멘트골조

$= 0.073$: 철근콘크리트 모멘트골조

$= 0.049$: 그 외 다른 모든 건축물

h_n = 건축물의 밑면으로부터 최상층까지의 전체높이(m)

2.5 실험체 횡하중 종합

산정한 실험체 별 횡하중은 Table 3과 같다. 지게차를 이용해 2개의 실험체의 중량을 측정하였다. 각 실험체의 지진하중은 이 중량을 반영한 값이다.

Table 3. Lateral loads at specimens

Specimen	Wind load	Seismic load
"F" specimen	4.83 kN	1.47 kN
Cam lock specimen	4.83 kN	2.03 kN

산정한 횡하중은 각 실험체가 실험을 통해 받은 최대 하중(F 실험체 최대하중 21.53 kN, 캄락 실험체 최대하중 23.33 kN)에 비해 매우 작은 값을 확인할 수 있다. 경량 복합패널로 구성된 실험체이기 때문에 질량이 작기 때문에 산정한 횡하중에서 풍하중이 지진하중보다 더 큰 것을 확인할 수 있다. 결론적으로 경량 복합패널을 이용해 제작되는 재난 구호주거는 지진하중 보다는 풍하중에 더 큰 영향을 받으나, 패널의 횡하중 저항성능은 풍하중보다 더 큰 것을 확인할 수 있다. 또한 패널의 하단 고정 방식을 개선하여 더 단단하게 고정할 수 있다면 보다 더 큰 성능을 발휘할 것으로 판단된다. 따라서 제안된 접합 상세를 사용하여 시공된 경량복합패널 실험체는 국내에서 발생 가능한 횡하중(풍하중, 지진하중)에 충분히 저항 가능할 것으로 판단된다.

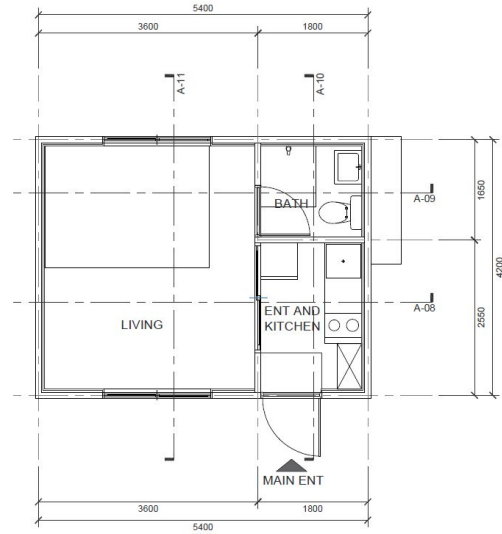


Fig. 13. Prototype Plan of Proposed Refuge House

3. 에너지성능 최적화 분석

3.1 최적화 설정 조건

3.1.1 최적화 대상 구호주거 유닛

2장에 사용된 동일한 경량 복합패널로 최소 주거 면적 기준을 만족하는 실험체의 열환경을 확보하고자 개구부 최적화 평가를 진행하고 이를 통해 경량형 구호주거의 표준 프로토타입을 구성하였다. 구호주거는 성인 2인을 기준으로 가로 3.6 m, 세로 4.2 m 주거공간과 현관/주방 및 욕실을 부가적으로 제공하는 총 면적 22.68 m² 유닛으로 남측 전면에 주 출입구와 채광창을 갖는 것으로 계획하였다(Fig. 13, 14).



Fig. 14. Prototype Elevation of Proposed Refuge House

3.1.2 최적화 프로세스 및 입력변수

유닛의 형상 및 환경설정조건들은 디자인빌더(Design Builder)[15]에서 입력하여 월별 환경성능 및 에너지사용량을 일차적으로 점검하고 확인하여 에너지플러스 입력 파일을 생성하였다. 최적화 알고리즘으로 입력 파일의 입력변수조합을 생성하고 결과를 분석하기 위하여 최적화 전문프로그램인 모드프론티어(Mode Frontier)[16]를 활용하여 에너지플러스시뮬레이션 엔진과 연계 자동 구동하였다.

유닛에서 최적화 대상은 난방에너지, 냉방에너지, 조명에너지를 합산한 총에너지요구량을 기준으로 주요 변수는 남측 창 개구부의 면적과 남측창 총일사취득율 선정하여 최적화를 실시하였다(Fig. 15).

남측개구부의 경우 사생활을 보호할 수 있는 창호 설치 최소 높이가 80 cm 상단으로 설치되어 가로로 확대되는 가정으로 최소 0.02, 최대 0.55의 범위로 설정하였고, 총일사취득율은 0.2에서 0.55사이 범위로 설정하였다. 실험군설정을 위해서 건축물최적화분석에서 최근 활용빈도가 높아지고 있는[9] Uniform Latic Hypercube 방식에 의한 총 800 케이스의 실험군을 설정하고 시뮬레이션을 진행하였다.

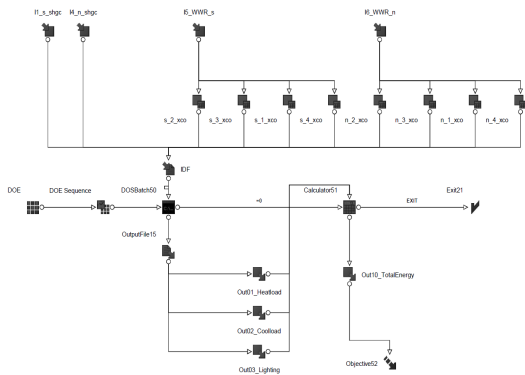


Fig. 15. Flow Chart of Optimization for Refuge House

기본 외벽은 구조성능 실험에 사용된 100mm 두께의 경량복합패널을 사용하였으며, 주요 변수와 함께 시뮬레이션에 입력된 외피, 실내발열, 설비운전 관련 고정변수들은 Table 4와 같다.

냉난방설정온도는 20-26℃이며, 조명운전은 자연채광량에 따라 조명을 적절하게 제어한다는 가정하에 실내조도 300lux를 목표로 선형 디밍제어를 실시하는 것으로 가정하였다.

Table 4. Input Range of Control Variables

Elements	Variables(Unit)	Input Data
External Wall	U-value(W/m2K)	0.343
Floor	U-value(W/m2K)	0.343
Roof	U-value(W/m2K)	0.343
Occupancy	number of person	2
	schedule	24h
Lighting	target lux	300
	W/m2	7.5W
	Dimming Control	on
Equipment	W	3.58
Heating setpoint	Celsius	20
Cooling setpoint	Celsius	26
Infiltration	1/h	0.15
Fresh air	liter/person	10

3.2 에너지 최적화 결과

3.2.1 입력변수 및 목적변수 상관관계

최적화를 위한 주요 입력변수인 남측 창면적비, 총일사취득율과 난방, 냉방, 조명 에너지를 포함한 전체 에너지 요구량간의 상관관계를 분석하였다(Fig. 16).

강한 상관관계를 갖는 절대값 0.7이상의 결과는 총에너지-난방에너지(0.946)이고, 일정한 상관관계를 갖는 절대값 0.4-0.7 범위 값은 총에너지-조명에너지(-0.663), 난방에너지-조명에너지(-0.631), 냉방에너지-창면적비(0.618), 냉방에너지-창호총일사취득율(0.463), 냉방에너지-조명에너지(-0.441), 총에너지-창호총일사취득율(-0.417)의 상관관계를 나타내었다(Fig. 16).

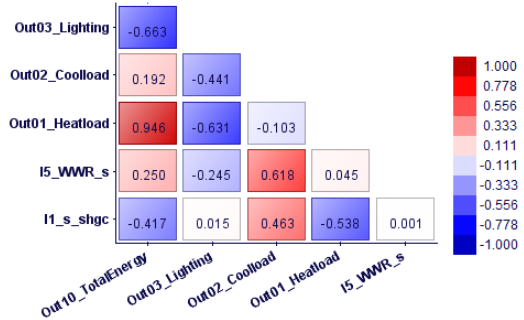


Fig. 16. Pearson Correlation Chart among Variables

이와 같은 상관관계를 토대로 구난주택의 총에너지에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 난방에너지이며, 난방에너지와 음의 상관관계를 보이는 총일사취득율을 가급적 높은 수준으로 확보하는 것이 가장 요구되는 전략이다. 다음 순으로 냉방-조명에너지를 최적화하여 절감하기 위한 적정 창면적비 선정이 필요할 것으로 판단된다.

3.2.2 최적화 입력변수설정 및 에너지요구량

800개의 시험군의 분석결과 총에너지 요구량은 2,245 kW-2,514 kW의 범위를 갖고 있었으며, 총에너지요구량에 가장 밀접한 상관관계를 갖는 난방에너지요구량은 1,856 kW-2,191 kW 범위를 나타내었다. 총에너지사용량의 하위 5%에 해당하는 케이스를 선정하여 굵은 색상 선으로 표기한 병렬 좌표분석(Fig. 17)을 보면, 에너지 최적화 전략은 창호 총일사취득율 0.52 이상, 창면적비 0.47 수준으로 확보하는 방안과 개구부를 통한 구조성능 저하를 최소화할 수 있는 창호 총일사 취득율 0.5 수준, 창면적비 0.38 수준으로 확보하는 방안으로 제안이 가능할 것으로 판단된다.

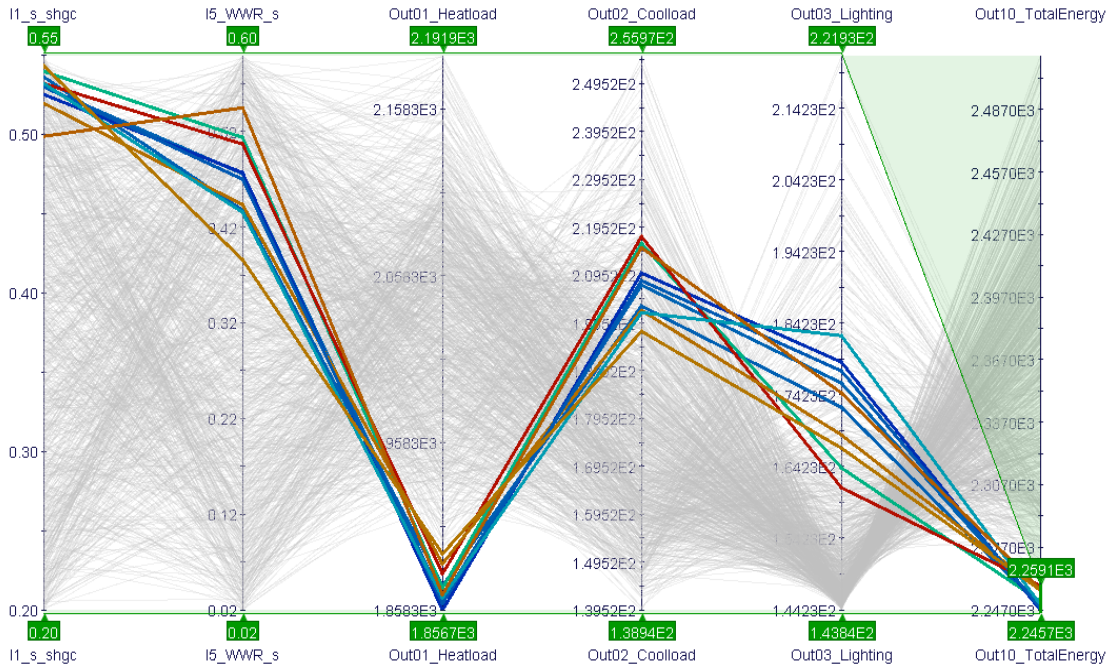


Fig. 17. Parrallel Coordinates Chart among Variables

4. 결론

본 연구에서는 기존의 임시거주시설보다 안전하고 거주성이 뛰어난 구호주거를 제작하기 위해 시공성, 단열성이 우수한 경량 복합패널을 이용하고자 이에 대한 구조적 성능을 평가하였다. 특히 패널들을 접합하여 하나의 구조체가 되었을 때 재난환경에서 풍하중과 지진하중에 대한 저항 성능을 알아보고자 하였다. 이를 위해 경량 복합패널로 구성된 시스템에 대한 횡하중 가력 실험 및 에너지성능 최적화를 통한 유닛 계획을 진행하였으며 주요 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 실험 결과 모든 실험체는 하단 고정 부분에서 볼트로 접합된 부위가 찢겨져 나가면서 실험이 종료되었다. 실험체에 대한 횡하중을 각각 산정하였다. 횡하중은 재난환경에서 가장 크게 작용하는 풍하중과 지진하중에 대해서 산정하였다. 중량이 작은 구조체 이므로 지진하중 보다는 풍하중에 크게 영향을 받는 것을 확인하였다.
- 2) 실험결과 각 실험체가 받는 최대하중은 산정된 횡하중 보다 큰 것을 확인하였다. 결과적으로 경량

복합패널을 이용하여 재난 구호주거를 제작하여도 안전하다고 볼 수 있다. 또한 패널의 하단부를 더 견고하게 고정할 수 있는 방안을 고안한다면 횡하중에 대해 더 나은 성능을 나타낼 수 있을 것으로 기대된다.

- 3) F 실험체는 캠락 실험체에 비해 최대하중이 약 2kN이 크게 나타났으며, 강성 또한 캠락 실험체에 비해 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 캠락으로 결합하기 위해 실험체를 구성하는 패널 양단에 설치된 목재가 횡력이 가력되는 동안 구조체로서의 역할을 했기 때문이라고 판단된다. 두 실험체 모두 횡하중에 대해서는 안전하다고 평가되나 더 안정적으로 설계를 하기 위해서는 캠락 방식이 적합하다고 볼 수 있다. 하지만 성능의 차이가 크지 않기 때문에 경량 복합패널의 장점을 살려 경량의 구조체로 설계하기에는 F자형 프로파일을 사용하는 것이 적합하다고 볼 수 있다.
- 4) 총에너지요구량은 난방에너지요구량과 매우 큰 상관관계를 보이고, 조명에너지와도 상관관계를 갖는 것으로 분석되었다. 그러므로 총에너지요구량을 최소화하는 전략은 높은 창호 총일사취득율로

난방에너지를 최소화하고, 추후 창면적비 조정을 통한 조명에너지 절감전략이 필요한 것으로 분석되었다.

- 5) 총에너지요구량 하위 5%에 해당하는 최적사례들에 대한 분석결과 총일사취득율을 0.5 이상으로 확보하고, 창면적비를 0.38에서 0.47범위에서 확보하는 방안이 효과적인 전략으로 제시되었다.

위와 같이 경량 복합패널로 구성된 패널 구조체에 대한 횡력 가력 실험을 진행하였으며, 접합 방식에 따른 횡하중 저항 성능을 확인할 수 있었다. 구조성능 평가에 사용된 동일한 경량 복합패널로 최소 주거 면적 기준을 만족하는 실험체의 에너지성능을 최적화하는 개구부 계획을 진행하였다.

본 연구를 통하여 최대 2년 이하 존치기간을 가정하고 있는 구호주택의 구조적, 환경적 성능기준을 수립하기 위한 기초자료로서의 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 추후 구호주택의 구조성능평가를 위한 하중 기준, 구조성능기준, 환경운용기준 등의 정립과 함께 비용대비 성능 효율을 분석하여 경제적이고 품질이 높은 가설건축물로서의 구호주택 기준 정립의 추가 연구가 진행될 필요가 있다고 판단된다.

References

[1] Korea Meteorological Administration, Earthquakes Occurring in Korea, 2017, http://www.weather.go.kr/weather/earthquake_volcano/domestictrend.jsp, (accessed Dec. 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] S. M. Kang, M. Y. Hwang, S. T. Kim, Y. J. Cho, B. Y. Lee, "Evaluation on Transverse Load Performance of Lightweight Composite Panels", Journal of the Korea Academia-Industrial, Vol. 19, No. 1, pp. 146-157, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.1.146>

[9] Ralph Evins, "A review of computational optimisation methods applied to sustainable building design", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 22, pp.230-245, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.004>

[10] Timothy L. Hemsath, Kaveh Alagheband Bandhosseini, "Sensitivity analysis evaluating basic building geometry's effect on energy use", Renewable Energy, Vol. 76, pp. 526-538, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.044>

[11] Xi Chen, Hongxing Yang, Weilong Zhang, "A comprehensive sensitivity study of major passive design parameters for the public rental housing development in Hong Kong", Energy, Vol.93. pp. 1804-1818, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.061>

[12] Ministry of the Interior and Safety, Guidelines for Establishing Disaster Relief Plans, p.49-56, Ministry of the Interior and Safety, 2018.

[13] Southco, R2/R5-Cover up butt-Joint panel retaining latch, Southco, 2018, <https://www.southco.com/ko-kr/product/class.html?cid=7425&404%3bhttp%3a%2f%2fww.southco.com%3a80%2f2>, (accessed Dec. 2018)

[14] Architectural Institute of Korea, KBC 2016, Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, p.76-190, 2016.

[15] DesignBuilder Software Ltd, Design Builder V.5.5, <https://www.designbuilder.co.uk/>, (accessed Dec. 2018)

[16] Esteco, Mode Frontier, <https://www.esteco.com/modefrontier/>, (accessed Dec. 2018)

황 문 영(Moon-Young Hwang)

[정회원]

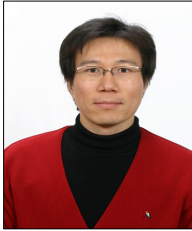


- 2014년 2월 : 충북대학교 건축공학과
- 2017년 2월 ~ 현재 : 충북대학교 건축공학과 석사과정

<관심분야>
건축구조

이 병 연(Byung-Yun Lee)

[정회원]



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

<관심분야>

친환경건축, 지속가능도시

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

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)엑시아 머티리얼스 이사

<관심분야>

복합재료, 건축