주거용 조립식 단위공간의 유형별 에너지성능 분석

A Comparative Analysis for the Energy Performance of the Prefabricated Residential Modular Spaces

박종일* · 한승훈**

Park, Jongil* · Han, Seung-Hoon**

* Chungyeon Sustainable Architecture Design Studio, South Korea (li0409@naver.com)

** Corresponding Author, School of Architecture, Chonnam National University, South Korea (hshoon@jnu.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: Prefabricated modular space such as a container construction has recently been interested unlike the conventional construction method, and their scale have expanded from small buildings such as cafes, houses and pensions to shopping centers, complex cultural spaces where shows and exhibitions are possible doing. In this way, the container is in the spotlight as an advantage such as mobility, flexibility, correspondence, economic efficiency, recyclability and so on. However, there are no specific guidelines and standard design methods in aspects of structural calculation, functional insulation and environmental configuration. Therefore, as the first step to resolve these problems, this study has focused on the field of environmental performance of container construction, presented appropriate guidelines and searched ways to improve performances. **Method:** For this study, seven types of the modular building were chosen and compared, and their energy performances have been analyzed using a proven simulation tool. Essential methodology and terminology were examined to estimate and judge their efficiency. **Result:** In conclusion, energy performances depend on specific configuration of combined unit spaces, and design guidelines could be set up for promoting their use in the practical field.

© 2017 KIEAE Journal

KEYWORD

조립식 단위공간
컨테이너 건축
에너지성능
환경성능

Prefabricated Modular Space
Container Architecture
Energy Performance
Environmental Performance

ACCEPTANCE INFO

Received SEP 24, 2017
Final revision received OCT 18, 2017
Accepted OCT 23, 2017

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

현재까지 주거용도에서의 관심사는 3~4인 가구 및 신혼부부를 위한 아파트 위주의 건축이 주를 이루었으나 현재에 들어 1인 가구가 급격한 증가추세를 보이면서 새로운 평면 및 건축시스템이 필요한 상황이다. 또한 건축의 생산과 공급 측면에서 조립식 단위공간, 즉 모듈러 건축이 하나의 대안으로 떠오르면서 마이크로 하우스, 코쿤 하우스, 컨테이너 하우스 등 다양한 접근방식이 제시되고 있는데, 이 중 컨테이너는 공업화 건축의 일종으로 가장 보편적으로 사용되고 있는 조립식 공간 모듈이며, 화물 운송 및 보관에 사용되는 컨테이너를 구조 단위로 하여 건물을 구축하는 것을 말한다.

조립식 단위공간은 다양한 가능성이 잠재되어 있는 반면, 제도·법규·가이드라인 등이 정립되지 않아 구조, 실내환경, 에너지 측면, 유지관리 측면에서 많은 문제점을 야기하고 있는 것이 우리나라의 현실이다. 이러한 내용을 배경으로 이 연구는 최근 지어진 조립식 단위공간 중 컨테이너 건축물을 다양한 관점에서 유형분석한 뒤 에너지성능을 파악하여 시뮬레이션을 통해 실재(實

在)와 근사한 데이터를 축적하고자 한다. 또한 무작위로 지어질 수 있는 조립식 단위공간의 건축에 있어서 에너지 성능 분야의 기준을 제시하고 더 합리적인 의사결정에 도움을 주는 데 그 목적이 있다.

1.2. 연구방법 및 범위

이 연구에서 다루고자 하는 조립식 단위 공간으로서 거주용 컨테이너 건축물의 범위는 공사장의 현장사무실, 불법 가설건축물, 실험용 주택 등은 제외하고 장기 거주 또는 단기 거주 용도의 주택과 호텔, 민박, 게스트하우스, 펜션, 렌트하우스 등 숙박시설을 포함한 거주용 건축물로 제한하였다. 이는 거주용도일 경우 환경조건이 에너지성능에 미치는 영향이 가장 크다는 점을 고려한 것이며, 대표적인 연구방법은 다음과 같다.

첫 째, 국내 거주용 컨테이너 건축물의 개요를 분석하여 현황을 파악한다. 둘째, 조사된 내용을 바탕으로 유형분석을 실시하여 대표유형을 선정한다. 셋 째, 시뮬레이션을 통해 사례 데이터를 축적한다. 현황분석을 통해 얻어진 데이터를 대상으로 시뮬레이션 한 값을 축적하여 차 후 실험데이터와 비교할 수 있도록 한다. 넷 째, '조합방식', '천장·벽체·바닥 구성', '창의 크기 및 구성'에 따라 개별 시뮬레이션 하여 2~3가지의 대표유형 간 분석을 통해 고효율의 대안을 찾는다. 다섯 째, '천장·벽체·바닥 구성'

및 '창의 크기와 구성'을 통제변인으로 하여 최적의 컨테이너 '조합방식'을 제안하며 나아가 다양한 사례의 추이분석을 통해 컨테이너 건축에 적용할 수 있는 단일 성능 기준을 제시한다.

2. 연구배경과 전제

2.1. 조립식 단위공간

국내에서 조립식 단위공간 활용 건축물에 관한 연구는 2000년대 초반부터 나타나기 시작하였으며, 현재까지 연구는 그 활용방안, 실태조사, 활용 재료고찰, 적용 디자인 연구 등으로 살펴볼 수 있다.¹⁾

Table 1. Previous Studies on Modular Spaces

Author	Outlines
Kim, J. (2007)	Defining properties of the container as industrialized modular spaces and suggesting needs of configuration setting of the container unit
Kim, H. (2007)	Proposing application of modular spaces including containers for sustainable interior design in aspects of 3-R concepts
Goo, H. (2007)	Proposing urban playgrounds utilizing modular spaces
Yang, H. (2011)	Suggesting spatial configurations of the modular spaces
Yoo, H. (2012)	Proposing improvement methods of the container house
Moon, Y. (2013)	Investigating examples for student residences as temporary modular spaces for living
Gil, B. (2014)	Utilizing container buildings and proposing the design guidelines
Kim, J. (2015)	Categorizing configurations of the container as modular space
Kim, M. (2015)	Suggesting design guidelines for the modular container by case study for European prefabricated modular spaces
Hong, M. (2015)	Applying BIM (Building Information Modeling) to the modular container and its construction

조립식 단위공간 또는 컨테이너와 관련된 연구는 다수 존재하지만 이를 활용한 건축물과 관련된 선행연구는 30여편 검색되었으며 그 물리적 구성과 건축화 수단 및 유형에 대해 저술하고 있는 것이 대부분이다. 이 연구는 지금까지 시도되지 않은 대표적 조립식 단위공간 모듈인 컨테이너 활용 건축물의 에너지성능 측면에 대해 연구하고 시뮬레이션을 통해 결과 값을 도출하며 나아가 기준을 제시한다는 점에서 다른 연구와의 차별성을 갖는다.

2.2. 컨테이너 건축

조립식 단위공간 활용 건축물의 에너지성능에 관한 연구를 하기 위해서는 기본적으로 그 구조와 조합방식, 재료구성, 시공방식 등에 대한 정보가 필요하며 에너지성능에 직접적인 영향을 미치는 개구부와 에너지성능간의 상관관계, 향과 관련된 건축물의 배치, 벽체를 비롯한 외피의 열관류율, 창호의 일사에너지 투과율 등에 대한 연구를 통해 실험 조건을 구성할 필요가 있다.

2.2.1. 컨테이너의 정의

컨테이너의 사전적 의미를 먼저 살펴보면, 화물 등을 안전하

게 수송하기 위해 만들어진 내구성 있는 철재로 용접한 박스 모양 용기로 규정된다. 국제 표준화 및 각 나라 산업기준에 의한 분류 및 구조 강성에 관한 규정 등 여러 가지가 규정되어 있다. 컨테이너에 관련된 여러 협약에서는 컨테이너를 영구 반복 사용이 가능한 구조와 강도에 대해 규정하고 있다. 그리고 운송도중 재적재할 필요 없이 다양한 운송수단에 옮겨 적재 가능하도록 설계되며, 고정된 모서리 부착부(Corner Fitting)를 가지고 있어야 한다. 또한 컨테이너는 1m² 이상의 용적을 가질 것 등 상세한 요구조건을 규정하고 있다. [8] [9]

2.2.2. 컨테이너의 구조

컨테이너는 크게 구조 및 벽체 부분으로 구분할 수 있는데 구조부분은 상부 모서리 레일(Top Side Rail), 측면 모서리 지주(Corner Post), 하부 모서리 레일(Bottom Side Rail) 등 12개의 모서리로 구성되고 8개의 꼭지점에 모서리 부착부(Corner Fitting)가 그들을 연결하고 있다. 벽체부분은 상부 지붕 패널(Roof Panel), 측면 패널(Sidewall Panel), 벽단부 패널(Endwall Panel), 문(Door Still), 그리고 하부 바닥(Bottom Floor)로 이루어져 있다. [3]

(a) Structural Diagram

(b) Detailed Components

Fig. 1. Structure of the Standard Container as a Modular Space

2.2.3. 컨테이너 활용 건축물

컨테이너 건축이란 컨테이너를 구조체로 사용하여 만들어진

1) 국가과학기술정보 포털 (NDSL, National Discovery for Science Leaders)에서 '컨테이너 건축'이라는 주제로 검색하였으며 총 47개의 논문 중 주제와 맞지 않는 논문은 제외하였음. (중복논문 제외)

건물로서 재료 공급방식에 따라 해운용 컨테이너 건축과, 제작 컨테이너 건축으로 구분할 수 있다. 해운용 컨테이너를 사용한 건축은 실제 무역도구로 사용되던 폐컨테이너를 구조체로 이용함으로써 컨테이너 자체가 가지고 있는 강도와 내구성 등을 유지할 수 있어 친환경적이며 가장 대표적인 방식이다.

제작 컨테이너의 특징은 공장에서 제작된 컨테이너 모듈 유닛을 단 기간 내에 현장에서 조립하는 공법으로 공장 제작 비율이 상대적으로 크기 때문에 기존의 건축공법에 비해 다양한 장점을 가지고 있다. 이러한 두 가지 방법 모두 컨테이너 자체만을 주거 용도로 사용할 수 없기 때문에 일련의 건축화과정을 거치는 것이 필요하다.

3. 조사고찰과 분석설정

3.1. 조사대상

이 연구의 조사대상은 크게 두 가지로 나뉘는데 단위공간 조합방식에 따른 에너지성능 분석을 위해 실제로 지어진 주거용도별 컨테이너 건축 사례를 선정함과 동시에 천장·벽체·바닥 및 창호의 구성에 따른 에너지성능 분석을 위해 컨테이너 시공회사별 데이터를 수집 및 활용하였다.

Table 2. Example for Residential Container

Example Summary				
1 ²⁾		• M.V House • Daejeon, Seosan	11	• Po-Cheon Container Home • Pocheon
2		• Je-Ju Container Home • Jeju-do	12	• Solati Pension • Gyeonggi, Gyeonggi
3		• Geo-Je Beach House • Geoje-do	13	• Gang-Hwa Container Pension • Ganghwa-do
4		• Hong-Cheon House • Hongcheon	14	• Ddeu-Rak ³⁾ • Yangpyung, Gyeonggi
5		• Yong-In House • Yongin	15 ⁴⁾	• Nero And Aro House • Osan
6		• Je-Ju Container House • Jeju-do	16 ⁵⁾	• Dang-Jin Container Home • Dangjin
7		• Yang-Pyung House • Yangpyung	17	• Mi-Ryang Container Home • Miryang
8		• Family Talk Pension • Ansan, Gyeonggi	18 ⁶⁾	• Nemo House • Youngam, Jeollanam-do
9		• Ga-Pyung Pension • Gyeonggi, Gyeonggi	19	• Haewon'S House • Daegjeon
10		• YI Container House • Yongin	20	• Chook Guest House • Jeju-do

Table 2는 단위공간의 복합적 구성으로 구성된 건축사례들을 대표적 구성 유형에 따라 분류하고 조사 및 분석 대상으로 선정된 20개의 주거용 컨테이너 건축을 보여주고 있다. 또한, Table 3에서는 단위공간의 외피를 구성하는 벽체, 천장과 바닥의 재료 구성에 대해 시공회사별 차이점과 대표적 형식을 정리하였다.

Table 3. Configuration Example of Building Materials [6]

No	Name	Ceiling	Wall	Floor
1	D. Company	1.6T Iron Bending Panel 3mm Astron Sheet 50mm Styrofoam Lumber 3.0mm Plywood	1.6T Iron Bending Panel 30mm Styrofoam Lumber (40*40) 3mm Plywood	3.2T Iron Bending Panel 18mm Plywood 30mm Styrofoam OSB Plywood Electrical Hypocaust+PVC Flooring
2	K. Company	1.6T Iron Bending Panel 5mm Astron Sheet 50mm Styrofoam Lumber 3.2mm Plywood	1.6T Iron Bending Panel 5mm Astron Sheet 50mm Styrofoam Lumber (50*50) 3mm Plywood	3.2T Iron Bending Panel 18mm Plywood 30mm Styrofoam OSB Plywood PVC Flooring
3	J. Company	1.8T Iron Bending Panel 5mm Astron Sheet 50mm Styrofoam Lumber 3.0mm Plywood	1.8T Iron Bending Panel 30mm Styrofoam Lumber (30*30) 3mm Plywood	3.2T Iron Bending Panel 18mm Plywood 30mm Styrofoam OSB Plywood PVC Flooring
4	S. Company	1.6T Iron Bending Panel 50mm Styrofoam Lumber (50*50) 2.7mm Plywood	1.4T Iron Bending Panel 30mm Styrofoam Lumber (30*30) 2.7mm Plywood	3.2T Iron Bending Panel 18mm Plywood 30mm Styrofoam OSB Plywood PVC Flooring
5	K. Company	1.6T Iron Bending Panel 50mm Styrofoam Lumber (50*50) 2.7mm Plywood	1.4T Iron Bending Panel 30mm Styrofoam Lumber (30*30) 3mm Plywood	3.2T Iron Bending Panel 18mm Plywood 30mm Styrofoam OSB Plywood PVC Flooring
6	L. Company	1.6T Iron Bending Panel 3mm Astron Sheet 50mm Styrofoam Lumber (40*40) 3.0mm Plywood	1.6T Iron Bending Panel 3mm Astron Sheet 30mm Styrofoam Lumber (30*30) 3mm Plywood	3.2T Iron Bending Panel 18mm Plywood 30mm Styrofoam OSB Plywood PVC Flooring
7	J. Company	1.6T Iron Bending Panel 50mm Styrofoam Lumber (50*50) 2.7mm Plywood	1.6T Iron Bending Panel 40mm Styrofoam Lumber (40*40) 2.7mm Plywood	3.2T Iron Bending Panel 18mm Plywood 30mm Styrofoam OSB Plywood PVC Flooring
8	E. Company	1.6T Iron Bending Panel 50mm Styrofoam Lumber (50*50) 3mm Plywood	1.6T Iron Bending Panel 30mm Styrofoam Lumber (30*30) 3mm Plywood	3.2T Iron Bending Panel 18mm Plywood 30mm Styrofoam OSB Plywood Electrical Hypocaust+PVC Flooring
9	S. Company	1.6T Iron Bending Panel 5mm Astron Sheet 50mm Styrofoam Lumber (30*30) 3.2mm Plywood	1.5T Iron Bending Panel 5mm Astron Sheet 40mm Styrofoam Lumber (40*40) 3.2mm Plywood	3.2T Iron Bending Panel 18mm Plywood 30mm Styrofoam OSB Plywood Electrical Hypocaust+PVC Flooring
10	D. Company	1.6T Iron Bending Panel 50mm Styrofoam Lumber (50*50) 3mm Plywood	1.6T Iron Bending Panel 30mm Styrofoam Lumber (30*30) 3mm Plywood	3.2T Iron Bending Panel 18mm Plywood 30mm Styrofoam OSB Plywood Electrical Hypocaust+PVC Flooring
11	Nemo House	Iron Bending Panel Polyurethane Foam Lumber+Glass-wool Gypsum Board	Iron Bending Panel Polyurethane Foam Lumber+Glass-wool Gypsum Board	Iron Bending Panel XPS Hydronic radiant floor heating system Plywood flooring
12	Nero And Aro House	Iron Bending Panel 50mm Styrofoam Lumber (50*50) 5mm Plywood	Iron Bending Panel 80mm Styrofoam Lumber (38*90) Plywood Gypsum Board	Iron Bending Panel Plywood 30mm Styrofoam OSB Plywood Electricity Film+Linoleum

2) 1-13사례는 신주호 블로그 (<http://blog.naver.com/ilovcamping>) 인용

3) Unibox, 홈페이지(<http://www.gd-unibox.co.kr/>)

4) 견정수 블로그 (<http://blog.naver.com/dkjs0523>)

5) 16-17사례는 이준영 블로그 (<http://blog.naver.com/loveleego>) 인용

6) 18~20사례는 '국내 거주용 컨테이너 건축물의 구축현황과 활성화 방안' 인용

Table 4는 단위공간의 외피 형식과 조합할 수 있는 창호의 대표적 유형과 그 상세 구성에 대해 정리한 것이다. 각 재료의 물성과 열관류율 등 열적 특성들을 이용하여 공간유형별, 재료구성별 에너지성능 추이의 비교 분석이 가능하다.

Table 4. Configuration Example of Window [6]

No	Name	Window	No	Name	Window
1	D. Company	L. Company High Chassis Golden Chassis (1050W*900H) 1.2T Fire Door (900W*2100H)	7	J. Company	PVC High Chassis (1050W*900H) 1.0T Fire Door (900W*2100H)
2	K. Company	L. Company High Chassis (1050W*900H) 1.2T Fire Door (900W*2100H)	8	E. Company	PVC High Chassis (1050W*900H) 1.2T Fire Door (900W*2100H)
3	J. Company	L. Company High Chassis (1050W*900H) 1.2T Fire Door (900W*2100H)	9	S. Company	L. Company High Chassis (1050W*900H) EGI (900W*2100H)
4	S. Company	PVC High Chassis (1070W*960H) 1.0T Fire Door (900W*2100H)	10	D. Company	L. Company High Chassis (1050W*900H) 1.2T Fire Door (900W*2100H)
5	K. Company	PVC High Chassis (1050W*900H) Stainless Steel Fire Door	11	Nemo House	S. Company PVC System Window SWING
6	I. Company	PVC High Chassis (1040W*900H) 1.2T Fire Door (900W*2100H)	12	Nero And Aro House	L. Company High Chassis (1050W*900H) 1.2T Fire Door (900W*2100H)

3.2. 대표유형분석

선정된 사례를 기반으로 컨테이너 조합방식, 재료구성, 창호의 대표유형을 분석한다. 먼저 컨테이너 조합방식의 경우 사용 컨테이너 개수별 분류를 실시하여 가장 많이 나타나는 조합방식을 2가지씩 선정한다. 두 번째로 재료구성은 천장, 벽체, 바닥으로 나누어 각각 2가지의 대표유형을 선정하게 되며 열관류율 값을 기준으로 비교하여 고성능의 유형을 선택한다. 마지막으로 창호의 경우 열관류율과 SHGC (Solar Heat Gain Coefficient) 값을 기반으로 하며 고효율의 벽-창호 비율을 선택한다. 이 때 재료구성과 창호구성의 경우 조합방식 비교를 위한 통제변인으로 사용되는 수이다.

3.2.1. 조합방식 대표유형

컨테이너 1개를 사용하는 경우는 가장 많이 이용되는 40ft 해운용 컨테이너를 대표유형으로 선정하였다. 컨테이너 2개를 사용하는 경우는 사례 1(M.V House), 사례 5(용인 전원주택), 사례 7(양평 2층 주택), 사례 8(패밀리토크 펜션), 사례 12(솔라티 펜션), 사례 15(네로와 아로 하우스) 및 사례 19(해원이네) 총 7건이며, 조합방식은 나열하여 단층으로 구성하는 방법과 적층하여 2층으로 구성하는 방법이 나타났다.

컨테이너 3개를 사용하는 경우는 사례 6(제주 컨테이너주택), 사례 9(가평 대성리 펜션), 사례 13(강화 컨테이너 펜션), 사례 16(당진 컨테이너홈), 사례 18(네모하우스) 및 사례 20(쭈욱 게스트하우스) 총 6건으로서 조합하는 방식은 모두 2층 구성으로 나타났으며 2개의 컨테이너를 결합하여 내부공간을 넓히거나 2

개의 컨테이너를 분리시켜 사이공간을 마당으로 사용하는 방식으로 나타났다.

4개 이상의 컨테이너를 사용하는 경우는 사례 2(제주컨테이너홈, 5개), 사례 3(거제 비치하우스, 5개), 사례 4(홍천 2층 주택, 4개), 사례 10(용인 컨테이너주택, 4개), 사례 11(포천 컨테이너홈, 4개), 사례 14(뜨락, 4개) 및 사례 17(밀양 컨테이너홈, 4개) 총 7건이며 사용 개수에 따라 다양한 조합방식이 나타났다.

Table 5. Representative Type Classification by Combination of Containers

Number of Unit Space	Classification	
1		- Standard -
2
3
4 or more

이상을 종합하여 Table 5와 같은 대표유형이 결정되었다.

- 컨테이너 1개 사용 : 40ft 해운용 컨테이너 기준
- 컨테이너 2개 사용 : 적층 방식 중 단일 축 배열과 2개 축 배열로 분류
- 컨테이너 3개 사용 : 안마당을 만든 형식과 내부 공간을 넓힌 형식으로 분류
- 컨테이너 4개 이상 사용 : 안마당을 만든 형식과 내부 공간을 넓힌 형식으로 분류

3.2.2. 재료구성 대표유형

건축외피의 재료구성적 측면에서 선정된 대표 유형은 Table 6에 나열된 바와 같다. 먼저 벽체는 목재 격자틀과 단열재인 스티로폼이 설치되고, 그 안팎으로 합판과 철재 사이드 패널로 마감되어 총 58.4mm의 두께를 가진다. 천장의 경우, 반자로서 석고보드가 추가되고 지붕 철재 패널을 포함하여 77.2mm로 구성된다. 바닥은 철재 프레임 위에 온수온돌난방 층이 추가되고 합판마루로 마감하여 총 56.2mm 두께의 구성재가 된다. 이와 같은 부재 및 재료의 조합은 현재 컨테이너를 단위공간으로 하는 조립식 건축의 대표적인 구성이다.

Table 6. Properties of Facade Components

	Representative Type	Composition
Wall		<ul style="list-style-type: none"> • Iron Bending Panel • 18mm Plywood • 30mm Styrofoam • Lumber 30*30 • 3mm Plywood • Interior Wall Finish
	<ul style="list-style-type: none"> • Full-thickness : 58.4mm • Thermal Resistance : 1.533m²k/W • Thermal Transmittance : 0.65W/m²k 	
Ceiling		<ul style="list-style-type: none"> • Iron Bending Panel • Polyurethane Foam • 50mm Glass-Wool • Lumber 50*50 • 3mm Gypsum Board • Ceiling Finish
	<ul style="list-style-type: none"> • Full-thickness : 77.2mm • Thermal Resistance : 1.905m²k/W • Thermal Transmittance : 0.52W/m²k 	
Floor		<ul style="list-style-type: none"> • Iron Bending Panel • 50mm XPS • Hydronic Radiant Floor Heating System • Plywood Floor
	<ul style="list-style-type: none"> • Full-thickness : 56.2mm • Thermal Resistance : 1.849m²k/W • Thermal Transmittance : 0.54W/m²k 	

3.2.3. 창호구성 대표유형

건축창호의 재료구성적 측면에서 선정된 대표 유형은 Table 7에 보이는 바와 같다. 유리 및 프레임의 열관류율과 SHGC, 창면적비가 재료 속성을 나타내는 유의미한 값들이며, S. Company에서 제작한 로이 3중 유리인 PVC System Window SWING 모델이 열성능 유지를 위해 쓰이는 비교적 일반적인 컨테이너의 창호인 것으로 파악되었다.

Table 7. Window Configuration

Properties	S. Company (PVC System Window SWING) 6LE+12+6LE
Thermal Transmittance	0.75
Solar Heat Gain Coefficient	0.63
Window Frame Thermal Transmittance	1.2
Window Proportion	40%
Total Thermal Transmittance	1.56

4. 시뮬레이션 분석

컨테이너 조합방식에 따른 비교분석을 위해 컨테이너 1개를

독채로 시뮬레이션 한 결과 값을 기준(시뮬레이션 ㉠)으로 한다. 독립변인은 조합방식의 대표유형㉡(2개 조합 시), 대표유형㉢(3개 조합 시), 대표유형㉣(4개 이상 조합 시)로 설정하고, 이를 제외한 모든 변수인 위치, 향, 면적, 사용인원, 내부발열량, 천장·벽체·바닥의 구성 창호 종류, 크기, 위치 등을 통제하게 된다.

Table 8. Independent Variables for Simulation

	Independent Variable	Area
Simulation ㉠		<ul style="list-style-type: none"> • 40ft Shipping Container 1EA • North : 12,192*2,591 • East : 2,438*2,951 • South : 12,192*2,591 • West : 2,438*2,951 • Roof : 29,724096m² • Inside Area 1 : 12,032*2,350*2,390
Simulation ㉡-1		<ul style="list-style-type: none"> • 20ft Shipping Container 2EA • North : 10m² • East : 19.7m² • South : 16.3m² • West : 22m² • Roof : 23.06m² • Inside Area 1 : 5,898*2,350*2,390 • Inside Area 2 : 5,898*2,350*2,390
Simulation ㉢-2		<ul style="list-style-type: none"> • 20ft Shipping Container 2EA • North : 19.4m² • East : 10.3m² • South : 25.6m² • West : 12.6m² • Roof : 23.1044m² • Inside Area 1 : 5,898*2,350*2,390 • Inside Area 2 : 5,898*2,350*2,390
Simulation ㉣-1		<ul style="list-style-type: none"> • 20ft 2EA + 40ft 1EA • North : 41.6m² • East : 26m² • South : 47.8m² • West : 28.3m² • Roof : 50.4m² • Inside Area 1 : 5,898*2,350*2,390 • Inside Area 2 : 5,898*2,350*2,390 • Inside Area 3 : 12,032*2,350*2,390
Simulation ㉣-2		<ul style="list-style-type: none"> • 20ft 2EA + 40ft 1EA • North : 25.9m² • East : 26m² • South : 32.1m² • West : 28.3m² • Roof : 47.4m² • Inside Area 1 : 5,898*2,350*2,390 • Inside Area 2 : 5,898*2,350*2,390 • Inside Area 3 : 12,032*2,350*2,390
Simulation ㉥-1		<ul style="list-style-type: none"> • 20ft 2EA + 40ft 2EA • North : 32.2m² • East : 26m² • South : 38.4m² • West : 26m² • Roof : 60.3m² • Inside Area 1 : 5,898*2,350*2,390 • Inside Area 2 : 5,898*2,350*2,390 • Inside Area 3 : 12,032*2,350*2,390 • Inside area 4 : 12,032*2,350*2,390
Simulation ㉥-2		<ul style="list-style-type: none"> • 20ft 2EA + 40ft 2EA • North : 35.3m² • East : 23m² • South : 41.5m² • West : 25.3m² • Roof : 59.4m² • Inside Area 1 : 5,898*2,350*2,390 • Inside Area 2 : 5,898*2,350*2,390 • Inside Area 3 : 12,032*2,350*2,390 • Inside area 4 : 12,032*2,350*2,390

이 때, 각 유형별 독립변인은 에너지 성능을 비교하기 위해 같은 면적으로 보정하였으며 통제변인은 3.2.2.와 3.3.3.에서 명시

된 재료 및 창호 구성의 대표유형을 사용한다. 시뮬레이션 수행을 위해 설정된 독립변인, 즉 단위공간의 배열 방식은 Table 8에서 나타난 바와 같이 4가지로 유형화하였으며, 통제변인은 다음 Table 9와 같다.

Table 9. Controlled Variables

Container Structure-Thermal Transmittance (W/m ² K)	
Roof	0.52
Wall	0.65
Floor	0.54
Door	1.18
Window+Frame	1.56
Window, Window frame, Door information	
Window Thermal Transmittance	0.75
Solar Heat Gain Coefficient	0.63
Frame Thermal Transmittance	1.20
Window Proportion	$\frac{Window}{Wall} = 40\%$

4.1. 시뮬레이션 개요

시뮬레이션은 건축물 에너지 분석에 활용되는 DesignBuilder를 사용하였으며, 분석 개요는 Table 10과 같다. 기후 정보는 남부지역의 하나인 광주광역시 데이터를 이용하였으며, 주거용 조립식 건축 대상의 거주자 및 환경정보를 분석에 적용하였다.

Table 10. Outline of Simulation

Weather Information	
Location	Gwangju, Korea
Average Temperature (°C)	20.0
Heating Degree Hour (kKh)	75.5
Direction	Make Wide Side Facing South
Basic Settings	
Building Type	Residential Occupancies
Heat Storage (Wh/m ² K)	60
Heating Temperature (°C)	20
Cooling Temperature (°C)	26
Heating Information	
Number of Residents	2
Internal Heat Gain (W/m ²)	4.38
Ventilation Information	
Product	Test HRV
Heating Efficiency	71%
Cooling Efficiency	71%

Fig. 2. Southward Solar Radiation in Gwangju

Fig. 3. Temperature in Gwangju

4.2. 시뮬레이션 분석

먼저 표준형 컨테이너 단위공간에 대한 에너지요구량 시뮬레이션 분석을 수행하였으며, 그 결과는 Table 11에 정리된 바와 같다. 단위면적(m²)당 에너지요구량은 총 238.81 kWh이며, 난방성능으로 환산하였을 때 16.9리터가 소요되었다.

Table 11. Simulation ㉠

Size and Number of Container	40ft 1EA
Outer Cover area (m ²)	85.4
Available Inside Area (m ²)	28.3

		15%	32%	19%				
난방성능	실효 열손실 (kWh/m ²)	지붕	외벽	바닥	슬입문	창호	환기	열교
		35.5	76.8	45.4	5.7	52.1	25.7	2.6
	실효 열획득 (kWh/m ²)	창호	외피	발열	난방에너지 요구량 (kWh/m ²)			
		56.2	1.5	17.0	169.15			

		5%	1%				
실효 열획득 (kWh/m ²)	창호 일사획득	외피 일사획득	내부발열	제습발열	(제습량)		
	69.0	5.5	17.7	26.8	38.7kg/m ²		
실효 열손실 (kWh/m ²)	지붕	외벽	바닥	슬입문	창호	환기	열교
	5.0	10.7	17.2	0.8	7.3	8.2	0.3
	4%	9%	14%				69.66

Table 12. Simulation ㉡-1

Size and Number of Container	20ft 2EA
Outer Cover area (m ²)	100.4
Available Inside Area (m ²)	27.7

<div>난방성능</div> <div>19.3</div> <div>리터</div>	실효 열손실 (kWh/m ²)	41%	39%	17%				
	지붕 외벽등 바닥등	29.0	106.2	46.6	5.9	53.4	26.1	2.7
	실효 열획득	창호	외피	발열	난방에너지 요구량 (kWh/m ²)			
	58.1	1.8	17.1	192.93				
		5%	1%					

실효 열획득 (kWh/m ²)	창호 일사획득	외피 일사획득	내부발열	제습발열	(제습량)			
	68.9	6.6	17.3	27.2	39.3kg/m ²			
실효 열손실 (kWh/m ²)	지붕	외벽	바닥	슬입문	창호	환기	열교	난방에너지 요구량
	3.6	13.3	16.4	0.7	6.7	7.7	0.3	71.20
		3%	11%	14%				

단위공간 컨테이너 2개의 조합으로 구성된 ㉡군은 두 가지의 대표유형을 대상으로 대조군을 설정하여 시뮬레이션 하였다. 첫

번째 모델은 직각으로 엇갈려 구성된 유형이며, 두 번째 대조군은 평행하게 교차하여 구성된 유형으로서 두 가지 조합에 대해 유사한 결과 값이 도출되었다. 이는 공간 형태가 비교적 단순하고 연결부위의 면적과 체적 또한 일치하였기 때문인 것으로 판단된다. ㉠군의 시뮬레이션 결과는 Table 12와 Table 13에 분석 정리되어있다.

Table 13. Simulation ㉠-2

Size and Number of Container

20ft 2EA

Outer Cover area (m²)

100.3

Available Inside Area (m²)

27.7

<div>난방성능</div> <div>19.3</div> <div>리터</div>	실효 열손실	11%	39%	17%	출입문	창호	환기	열교
	29.0	106.3	46.7	5.9	53.4	26.1	2.7	
	창호	외피	발열	난방에너지 요구량 (kWh/m ²)				
	58.2	2.0	17.2	192.67				
	실효 열획득 (kWh/m ²)							

실효 열획득 (kWh/m ²)	창호 일사획득		외피 일사획득		내부발열		제습발열		(제습량)
	68.8		5.9		17.3		27.2		39.3kg/m ²
실효 열손실	지붕	외벽	바닥	출입문	창호	환기	열교	냉방에너지 요구량	
3.6	13.2	16.3	0.7	6.7	7.7	0.3	70.65		
3%		11%		14%					

단위공간 컨테이너 3개의 조합으로 구성된 ㉡군 또한 두 가지의 대표유형을 대상으로 대조군을 설정하여 시뮬레이션 하였다. 첫 번째 모델은 각각 분리된 공간의 형태로 적층된 구성이며, 두 번째 대조군은 2개의 합병된 공간 위에 1개의 단위공간이 적층된 구성이다. ㉡군의 결과와는 대조적으로 안마당으로 분리된 단위공간 사용은 작은 범위에서나마 에너지 부하를 증가시키고, 공간의 활용 측면에서도 불리할 것으로 판단되었다. 또한, 단위공간 연결부가 많아질수록 열환경 유지에 필요한 부하가 증가하였으며, 특히 난방에너지 요구량의 차이가 큰 것으로 나타났다. ㉡군의 시뮬레이션 결과는 Table 14와 Table 15에 정리되어있다.

Table 14. Simulation ㉡-1

<div>Size and Number of Container</div> <div>Outer Cover area (m²)</div> <div>Available Inside Area (m²)</div>	20ft 2EA 40ft 1EA
	200
	56

<div>난방성능</div> <div>15.4 리터</div>	실효 열손실 (kWh/m ²)	지붕 15% 31.3	외벽 51% 106.4	바닥 11% 23.5	출입문 3.0	창호 27.1	환기 15.5	열교 1.4	
	실효 열획득 (kWh/m ²)	창호 32.5	외피 2.1	발열 19.3	난방에너지 요구량 (kWh/m ²)				
					154.15				
		<div>8% 1%</div>							

실효 열획득 (kWh/m ²)	창호 일사획득 31.9		외피 일사획득 5.8		내부발열 16.1		제습발열 16.5		(제습량) 23.8kg/m ²
실효 열손실 (kWh/m ²)	지붕 3.2	외벽 11.0	바닥 8.0	출입문 0.3	창호 2.8	환기 4.5	열교 0.1	냉방에너지 요구량 40.46	
	5%	16%	11%						

Table 15. Simulation ㉡-2

Size and Number of Container

20ft 2EA
40ft 1EA

Outer Cover area (㎡)

160.1

Available Inside Area (㎡)

56

난방성능		16%		45%		13%			
12.7 리터	실효 열손실 (kWh/㎡)	지붕	외벽등	바닥등	출입문	창호	환기	열교	
	실효 열획득 (kWh/㎡) <td>29.2</td> <td>80.1</td> <td>23.1</td> <td>2.9</td> <td>26.8</td> <td>15.6</td> <td>1.3</td> <td></td>	29.2	80.1	23.1	2.9	26.8	15.6	1.3	
	창호	외피	발열	난방에너지 요구량 (kWh/㎡)					
	31.6	1.5	18.8	127.26					

실효 열획득 (kWh/㎡)	7%		1%							
	창호 일사획득	외피 일사획득	내부발열	제습발열	(제습량)					
33.3	5.4	16.9	16.5	23.8kg/㎡						

실효 열손실 (kWh/㎡)	지붕	외벽	바닥	출입문	창호	환기	열교	냉방에너지 요구량
3.7	10.0	9.0	0.4	3.4	5.0	0.1	40.53	
5%	14%	12%						

단위공간 컨테이너 4개의 조합으로 구성된 ㉢군은 또한 두 가지의 대표유형을 대상으로 대조군을 설정하여 시뮬레이션 하였다. 단위공간의 수와는 무관하게 외피면적을 최대한 줄이는 형태로 조합하였을 경우 에너지 손실량이 가장 적었으며, 컨테이너 개수가 많아질수록 그 차이는 감소한 것으로 나타났다. ㉢군의 시뮬레이션 결과는 Table 16과 Table 17에 정리되어있다.

Table 16. Simulation ㉢-1

Size and Number of Container	20ft 2EA 40ft 2EA
Outer Cover area (㎡)	226.9
Available Inside Area (㎡)	84.3

<div>난방성능</div> <div>10.4 리터</div>	실효 열손실 (kWh/㎡)	17%	50%	10%	출입문	창호	환기	열교
	지붕 외벽등	바닥등	출입문	창호	환기	열교		
	실효 열획득 (kWh/㎡)	창호	외벽	발열	난방에너지 요구량 (kWh/㎡)			
		21.9	1.1	19.6	103.68			

실효 열획득 (kWh/㎡)	창호 일사획득	외피 일사획득	내부발열	제습발열	(제습량)			
	21.8	4.1	16.6	13.2	19.1kg/㎡			
	지붕	외벽	바닥	출입문	창호	환기	열교	냉방에너지 요구량
	3.0	9.0	6.2	0.2	2.2	4.0	0.1	30.98
	5%	16%	11%					

Table 17. Simulation ㉢-2

Size and Number of Container

20ft 2EA
40ft 2EA

Outer Cover area (m²)

214.4

Available Inside Area (m²)

84.3

난방성능	실효 열손실 (kWh/m ²)	지붕	49%	바닥	출입문	창호	환기	열교
10.1 리터	실효 열손실	24.5	70.8	15.3	2.0	17.9	12.0	0.9
	실효 열획득 (kWh/m ²)	창호	외피	발열	난방에너지 요구량 (kWh/m ²)			
		21.8	1.1	19.5	101.08			

실효 열획득 (kWh/m ²)	창호 일사획득	외피 일사획득	내부발열	제습발열	(제습량)			
실효 열손실	21.9	4.0	16.7	13.2	19.1kg/m ²			
실효 열손실 (kWh/m ²)	지붕	외벽	바닥	출입문	창호	환기	열교	냉방에너지 요구량
	3.1	8.9	6.3	0.2	2.3	4.1	0.1	30.97

5. 결론 및 제언

이 연구는 조립식 단위공간으로서 컨테이너 건축의 에너지 성능 기준 제시를 목표로 에너지성능에 영향을 미치는 여러 인자에 대해서 연구하고 사례연구를 통해서 각각의 대표 유형을 선정하고 후 상대적 우열을 평가하여 효과적인 기준을 제시하고자 하였으며, 도출된 결론으로서 각 인자별 분석 결과는 다음과 같다.

첫 째, 컨테이너의 조합방식 측면에서, 먼저 2개의 컨테이너를 조합한 경우 단층형과 복층형으로 나누어 볼 수 있었다. 단층형의 경우 복층형에 비해 에너지 성능이 우수했으며 전체적으로 보았을 때 외피면적을 줄일수록 에너지 손실량이 적었다. 다음으로 컨테이너 조합 개수가 많아질수록 유효실내면적/외피면적의 값이 증가하는 것을 알 수 있으며 이에 따라 난방성능 역시 좋아짐을 알 수 있다.

이는 단위 컨테이너의 조합이 늘어남에 따라 내부공간이 넓어진 것에 기인한 것으로 보인다. ㉠군의 시뮬레이션 결과에서 확인할 수 있듯이 안마당을 만든 유형(㉠-1)이 내부를 넓힌 유형(㉠-2)에 비해 에너지 소비량이 많았지만 컨테이너 조합 특성상 디자인에서 많은 변화를 보이기 어렵기 때문에 그 에너지 성능 차이는 근소하다고 볼 수 있다. 결론적으로 외피면적을 최대한 줄이는 형태로 조합하였을 경우 에너지 손실량이 가장 적었으며, 컨테이너 개수가 많아질수록 그 차이가 감소하였다.

Table 18. Heating Performance of Combining Two Container Types

	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5
Type
Outer Cover Area	66	81.8	80.7	100.3	100.4
Heating Performances	14.6	16.8	17.1	19.3	19.3

Table 19. Heating Performance of Simulation

Type	Available inside area(A)	Outer cover area(B)	A/B	Heating performances (Liter/m ²)
㉠	28.3	85.4	0.3313	16.9
㉠-1	27.7	100.4	0.2758	19.3
㉠-2	27.7	100.3	0.2761	19.3
㉡-1	56	200	0.2800	15.4
㉡-2	56	160.1	0.3497	12.7
㉢-1	84.3	226.9	0.3715	10.4
㉢-2	84.3	214.4	0.3931	10.1

컨테이너의 천장·벽체·바닥의 구성 재료적 측면에 있어 단위 면적당 실효 손실·획득을 살펴보면 난방요구량이 많은 것을 볼 수 있는데 이를 해결하기 위해서는 남측 창 면적을 늘려 일사량을 증가시키는 방법과 단열을 보강하여 열손실을 줄이는 방법이 있다. 현재 컨테이너의 대표유형을 구성하는 천장·벽체·바닥

의 구성은 지역별 권장 열관류율 수치를 만족시키지 못하는 상황이기에 때문에 단열재의 보강이 필요할 것으로 보인다.

컨테이너의 창호구성 측면에서는 남부지역의 경우, 법규 수준의 창호를 적용할 때(창면적비 40% 기준) 건축물 에너지 소요량 관점에서 남향이 가장 유리하며, 북향 > 동향 > 서향 순으로 나타났다. 따라서 동서향 및 남향의 창 면적비는 40% 정도로 설정하는 것이 바람직하며 북향에서는 창면적비 증가에 따른 겨울철 열손실량에 비해 일사 획득량이 더 많아져 전체적으로는 에너지 소요량이 감소하기 때문에 북향의 창면적비는 최대한 늘리는 것이 바람직할 것으로 보인다. 이 연구는 단위공간의 유형과 환경요소별 에너지성능의 상관성 분석에는 미치지 못한 한계가 있으며, 후속 연구를 통해 지속적으로 규명해 나갈 필요가 있다.

Acknowledgements

This research was developed from Master's Thesis by Jongil Park joined as an industrial collaborator and supported by a grant from Land and Transport Technology Promotion Research Program (Implementation of Building Façade Modules Based on Colorful Semi-transparent Solar Cells towards Urban Surroundings) funded by Ministry of Land and Transport Affairs of Korean Government (Project No.: 17CTAP-C129910-01).

Reference

- [1] 신경주, “공공 업무용 건축물에서 수평 차양 장치의 에너지 성능평가와 설계방안에 관한 연구”, 영남대학교 석사학위논문, 2016 / (Shin, K., A Study on the Energy Performance of Horizontal Shading Device Evaluation and Design Plans at Business Public Buildings, Yeungnam University, 2016)
- [2] 최보은, “건축적 에너지 효율화 대안의 에너지 성능평가 및 경제성 분석에 관한 연구”, 영남대학교 석사학위논문, 2016 / (Choi, B., A study on the Economic Analysis and Energy Performance Evaluation of passive ECM List, Yeungnam University, 2016)
- [3] 김진엽, “컨테이너를 활용한 모듈러 건축의 유형분석 연구”, 건국대학교 석사학위논문, 2015 / (Kim, J., A Study on the Type Analysis of the Modular Architecture Based on Container, Konkuk University, 2015)
- [4] 양희정, “컨테이너 건축에서 나타난 공간구축 특성에 관한 연구”, 건국대학교 석사학위논문, 2011 / (Yang, H., A Study on Spatial Characteristics of the Container Construction, Kunkook University, 2011)
- [5] 유해연, “국내 컨테이너 하우징의 실태조사를 통한 개선방향연구 : 수도권 지역의 12개 사례를 중심으로”, 한국주거학회, vol.23, no.6, pp.21-30, 2012 / (Yoo, H., A Study on the Improving Direction of Container Housing through Field Survey - Based on the Analysis of 12 cases in the Urban Area, Korean Housing Association, vol.23, no.6, pp.21-30, 2012)
- [6] 박종일, “컨테이너 건축의 환경성능 개선에 관한 연구”, 전남대학교 석사학위논문, 2017 / (Park, J., Improving the Environmental Performance of Container Construction, Master's Thesis, Chonnam National University, 2017)
- [7] 김미경, “현대 컨테이너 건축에 나타난 공간구축특성 및 적용가능성”, 생활과학연구논총, vol.15, no.2, pp.177-185, 2011 / (Kim, M., The Characteristics of Space Construction for Container Architecture and Its Application, vol.15, no.2, pp.177-185, 2011)
- [8] 한국선급, “해상컨테이너지침”, 2008 / (Korean Maritime Institute, Guidelines for Maritime Containerization, 2008)
- [9] 관세청, “컨테이너에 관한 관세 협약”, 2008 / (Korea Customs Service, Customs Convention on Containers, 2008)