



산업화된 현대 흙건축 자재를 위한 표준시험법 고찰 및 제안

Suggestion of Standardized Test Types for Industrially Manufactured Earth Building Material

이은주* · 권오진**

Eunjuo Lee* · Ojin Kwon**

* Corresponding author, Research Professor, Dept. of Architecture and Architectural Engineering, Yonsei Univ., Korea (juljoo@gmail.com)

** Coauthor, Researcher, Dept. of Architecture and Architectural Engineering, Yonsei Univ., Korea (orizzang78@naver.com)

ABSTRACT

Purpose: Although no normative basis for earthen architecture has been established in Korea so far, this study aims to serve as a starting point for a long journey to obtain the legitimacy of earthen architecture by contributing to the establishment of standardized test types for earthen architecture. **Method:** In this research, 131 test methods for performance and quality of earth building among 24 earth building codes and normative documents (with additional 120 related regulations) being implemented in 11 countries and regions were categorized by the quantitative parameters revealing the properties of contemporary earth building, and were scrutinized. **Result:** First, it is imperative to define the properties and parameters to be verified, taking account the own feature of earth building materials and elements. In Korea, the properties of moisture as well as structural stability should be included due to its climatic characteristics. Next, it is necessary to select an appropriate parameters for verifying the performance of respective construction technique and material, and to apply or to develop an appropriate test method accordingly. Conventional test methods can no longer keep pace with the development of earthen architecture. In addition, it needs to consider whether and how to continue the field test, since it is no more effective in mass production system. Finally, it's time to consider how to use stabilizer. This is more about the earth building industry than the standardized test methods. In any case, it is the essence how earthen architecture can be more prolific without losing the initial purpose.

KEYWORD

현대 흙건축
흙건축 자재
흙건축법
표준시험법

Contemporary Earthen Architecture
Earth Building Material
Earth Building Code
Standardized Test Method

ACCEPTANCE INFO

Received Nov. 17, 2022
Final revision Dec. 5, 2022
Accepted Dec. 6, 2022

© 2022. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

흙은 인류가 본격적인 농경을 시작하고 반영구적인 구조물을 지어 정착해 살기 시작하던 무렵부터 목재와 함께 가장 오랫동안 사용해온 건축재료이다. 도시화, 산업화가 진행되면서 더 높고 장대한 구조물을 추구하게 된 이래 흙은 현대 건축 내에서 역할이 위축되었으나 전 세계적으로는 꾸준히 사용되어왔다.

1980년대 프랑스에서 다시 흙으로 현대 건축을 시작하던 시점에는 흙의 큰 축열 용량을 활용해서 건축물의 에너지 이용 효율을 높이는 것이 가장 큰 관심사였는데[1], 이후에는 건축물을 포함한 모든 산업계가 원재료 채취, 자재 및 제품 생산, 사용, 폐기, 재활용에 이르는 전체 수명주기 동안 환경 전반에 미치는 부정적 영향을 줄이는 것이 중요해졌다. 따라서, 흙으로 만든 건축재료가 현대 건축을 대표하는 시멘트, 철, 유리 등과는 대조적으로 전체 수명주기에 걸쳐 내재 에너지(embodied energy), 지구온난화영향(Global Warming Potential) 등이 작은, 지속가능성이 탁월한 건축 자재라는 사실(Hamard et al., 2016[2]; Melia et al., 2014[3]; Venkatarama Reddy & Prasanna Kumar, 2010[4])에 다시 주목하지 않을 수 없다.

문명 이전부터 여러 지역에서 건물을 지을 장소 또는 그 인근에 상존하는 흙을 바로 사용해서 풍토적이고 경험적인 방식으로 건물을 지어왔다. 이로 인해 재래의 흙건축을 정서적으로는 친근하게 수용하는 반면에, 기술적으로는 후진적이라고 인식하는 경향이 있다. 이는 현대 사회에서도 흙건축이 유효할 것인지에 대한 회의로 이어진다. 그러나, 현대 흙건축은 여타 현대 건축과 마찬가지로 자연에서 원료를 선별하고 채취해서 전문 생산시설에서 여러 종류의 산업재로 제작하고 건설 현장으로 이송하여 전문 기술로 건설한다. 그러므로 흙건축이 현대 건축으로서 적절한 성능을 발휘하는 건축 자재이자 안정된 구조물인지를 보다 분명하게 입증하려면 이를 확인할 수 있는 객관적이고 일관된 기준이 필요하다. 현재 20개 국가 및 지역 단위에서 약 40종의 흙건축 관련 규범 및 법규를 제정하여 흙건축 자재와 구조체의 품질 기준을 규정하고 검증하는 제도를 시행하고 있는데, 한국에서는 이와 같은 규범이 전무하다.

본 연구는 산업적으로 생산하는 현대 흙건축 자재 및 흙건축 구조체의 성능과 품질을 검증하는 객관적이고 표준화된 시험법을 검토하고 고찰하여, 향후 우리 사회의 특성과 현황을 합당하게 반영할 수 있는 흙건축 자재 시험법을 도입하는 기반을 마련하는 것을 목표로 한다. 이는 이미 산업화된 현대 흙건축 자재의 신뢰도를 일반적인 수준에서 높이는 것에 머무르지 않고, 나아가 현행 법제도 수준에서 인정할 수 있는 적법한 흙건축

규범을 수립하고 궁극적으로는 법제화하는 데 이르는 연속 과정의 시작 단계에 해당한다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 여러 국가 및 지역 단위에서 실제로 시행되고 있는 흙건축 관련 법규 및 규범 중에서 영어로 공표된 것들을 우선으로, 유일하게 흙건축 자재 산업 표준을 도입한 독일의 법규를 더하여 총 11개 국가 및 지역의 흙건축 관련 법규 및 규범 24종을 대상으로 했다. 이를 통해 각 법규에서 다르게 사용하고 있는 현대 흙건축 자재와 공법 관련 용어와 개념을 일치시켰다.

다음 단계로 전체 흙건축법 내용 중에서 생산된 흙건축 자재, 흙건축 자재로 시공한 흙건축 부재(주로 벽체)의 품질을 확인하는 시험법을 규정한 내용을 집중하여 분석했다. 이를 위해서는 흙건축을 직접 규정하는 24종의 법규 및 규범뿐 아니라 각 시험법의 상세 내용[5-63]을 직·간접적으로 구성하는 유관 법규(예: 흙건축 시험체 제작용 형틀의 규격을 참고한 콘크리트 관련 ISO 규정)까지 약 120여 종을 더 참고했다. 먼저 총 131가지에 달하는 표준시험법을 범주화했는데, 각 시험의 목적과 대상이 건축물의 수명주기 상에서 위치하는 단계(life cycle phase), 주요하게 검증하는 흙건축 자재와 부재의 속성(property), 그리고 이를 드러내는 구체적인 기준 척도 또는 매개변수(parameter)를 기준으로 전체 시험의 분석체계를 구성했다. 나아가, 같은 범주로 분류된 표준시험법의 구체적인 시험방법을 분석했고 시험의 방법과 결과값을 바탕으로 각 법규에서 정하고 있는 성능 기준의 특성을 밝혀서 국가별 지역별 흙건축 법규의 특성을 논의했다.

마지막으로, 국내 건축법에서 시행하고 있는 유사한 표준시험법의 종류와 내용을 파악하고, 앞서 밝힌 여러 국가의 흙건축 자재와 부재의 표준시험법과 비교하여 현행 국내 법규와의 접목 가능성을 검토하여 제안했다(Fig. 1.).

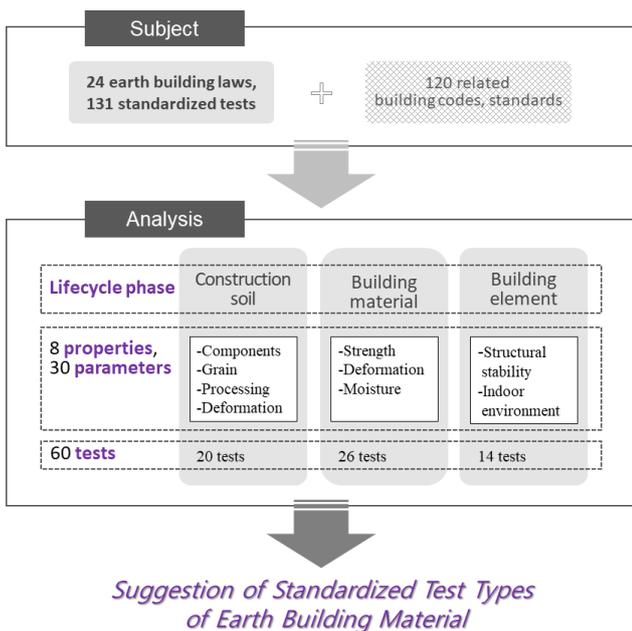


Fig. 1. Research flow

2. 문헌 고찰

2.1. 흙건축 법규의 도입 현황

본 연구는 20개 국가 및 지역 단위에서 실효적으로 시행하고 있는 약 40종의 흙건축 관련 법규 및 규범 중에서, 영어로 공표된 아프리카연합(ARSO), 케냐, 나이지리아, 짐바브웨 (이상 아프리카), 인도, 스리랑카, 네팔(이상 아시아), 오스트레일리아, 뉴질랜드(이상 오스트레일리아), 미국(이상 아메리카)의 법규 및 규범에 최근 흙건축 자재 산업 표준을 연달아 제정한 독일(이상 유럽)의 법규를 더해서 총 11개 국가 및 지역에서 시행 중인 24종의 흙건축 법규 및 규범을 분

Table 1. Subject earth building codes

Country/Region	Earth building code or normative document	Introduction	Type
ARSO	Compressed Earth Blocks Standards Compressed Earth Blocks: Manual of Production	1998	S
		1985	ND
Australia	HB 195 The Australian Earth Building Handbook Building with Earth Bricks & Rammed Earth in Australia CSIRO Bulletin 5 Earth-Wall Construction	2002	ND
		2004	ND
		1952	ND
Germany	Lehmbau Regeln [64] DIN 18945 Lehmstein DIN 18946 Lehmmauermörtel DIN 18947 Lehmputzmörtel DIN 18948 Lehmplatten	1999	S
		2013	S
		2013	S
		2013	S
		2020	S
India	IS 1725 Stabilized Soil Blocks Used in General Building Construction IS 2110 Code of Practice for In Situ Construction of Walls in Buildings with Soil-Cement	1960	S
		1980	S
Kenya	KS02 1070 Specifications for Stabilised Soil Blocks	1990	N
Nepal	NBC 202 Nepal National Building Code	1994	BC
New Zealand	NZS 4299 Earth Building Not Requiring Specific Design NZS 4298 Materials and Workmanship for Earth Buildings NZS 4297 Engineering Design of Earth Buildings	1998	S
		1998	S
		1998	S
Nigeria	National Building Code 10.23~25 NIS 693 Standard for Stabilized Earth Bricks	1991	BC
		1991	S
Sri Lanka	SLS 1382 Specification for Compressed Stabilized Earth Blocks	1984	S
USA	ASTM E2392/E2392M-10 Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems 2021 IBC International Building Code 14.7.4 NMAC New Mexico Earthen Building Materials Code	2005	S
		1982	BC
		2009	BC
Zimbabwe	SAZS 724 Rammed Earth Structures. Code of Practice THC0 3	2001	S

S: standard, authorized and published by national organization; BC: part of a building code published by national organization; ND: normative document published by a specialized organization without acceptance by an authorized organization

석했다. 이들은 국가 기관에서 공표하여 흙건축 전반에 의무 적용하는 독립된 흙건축 법규, 또는 기존 건축 법규에 흙건축 대상 조항이 포함된 표준(standard)이며, 일부는 공인된 법규 이전 단계로 전문가 기구에서 발행하여 기술적으로 법규에 준하는 규범 문서(normative document)의 지위를 가진다(Table 1.).

이들 법규 및 규범은 1990~2001년 사이에 가장 많이 도입되었는데, 아프리카연합을 비롯하여 아프리카의 케냐, 나이지리아, 짐바브웨, 그리고 뉴질랜드, 독일, 네덜란드 시기에 총 10종의 흙건축법을 도입했다. 그 외에도, 서로 인접한 인도와 스리랑카가 상대적으로 이른 시기인 1980년대에, 역시 인접한 뉴질랜드와 오스트레일리아가 가까운 시기인 1999~2004년에 연달아 흙건축 법규 및 규범을 도입한 것이 눈에 띈다. 독일은 1999년 독립된 흙건축법을 도입한 이래 최근 10년 사이에 흙건축 자재 산업 표준(DIN) 4종을 연달아 제정했다.

2.2. 현대 흙건축의 주요 자재 및 공법

지역, 기후 문화 등에 따라 다양하게 발전했던 재래 흙건축과 비교하면 현대 흙건축을 규정하는 각 국가 및 지역의 법규에서 다루고 있는 흙건축 자재와 공법은 크게 차이가 없다고 할 수 있다. 그러나 구체적인 용어와 이를 기술하는 내용이 일치하지 않거나 혼용하고 있으므로 본 연구에서는 Lee(2021)[64]의 내용을 참고하여 다음과 같이 정의했다:

- 건축토: 자연 상태의 흙 또는 토양(soil) 중에서 흙건축에 사용하기 적합한지 선별하여 취한 흙.
- 점토(clay): 문서에 따라 “clay”를 흙 또는 토양의 대표 명칭으로 사용하고 있으나, 본 연구에서는 흙에 포함된 다양한 크기의 입자 중 가장 작은 입자¹⁾이자 흙의 응집력을 좌우하는 결합재 역할을 하는 세립자로 한정. 점토를 많이 함유한 흙은 “점성토(clay-rich soil)”.
- 흙블록(earth block, EB): 일반 건축 자재인 불에 구운 소성벽돌(brick)과 구별되는, 흙을 성형하여 불에 굽지 않고 건조한 모듈형 흙건축 자재. “adobe²⁾”, “mud brick”, “earth brick”, “soil block” 등을 통칭.
- 압축흙블록(compressed earth block, CEB): 성형 과정에서 힘(타격, 진동, 압출, 압축 등)을 가해 만든 흙블록. 수동 압축기에서 출몰한 “cinva block(주로 오스트레일리아, 뉴질랜드)”, 기계식 압축장비로 생산한 “pressed soil block”, “pressed brick” 등을 통칭(Fig. 2.).
- 블록 조적체(block masonry): 블록을 몰탈로 접착하여 쌓은 기둥 또는 벽 형태의 건축 부재. “blockwork”, “brick wall” 통칭(Fig. 3.).
- 흙몰탈(earth mortar, EM): 물을 섞어 반죽 상태로 만든 비정형 흙건축 자재(Fig. 4.). 흙블록의 단 사이에 채워 블록을 접착(조적용 흙몰탈(earth masonry mortar, EMM)하거나, 바탕재의

표면에 일정 두께로 부착해 층을 형성(미장용 흙몰탈(earth plaster mortar, EPM)). “render”는 미장용 흙몰탈.

현대에 이르기까지 흙건축의 주요 기술, 즉 공법은 주로 내력벽체를 구축하는 것으로 재래의 흙건축과 크게 다르지 않다. 흙건축법을 상대적으로 일찍 도입한 아시아의 인도와 스리랑카, 그리고 아프리카의 아프리카 연합, 케냐, 나이지리아의 흙건축법은 거의 흙블록을 중심으로 하는 반면, 흙건축법 도입이 활발했던 2000년 전후의 뉴질랜드, 오스트레일리아, 독일의 법규와 규범은 흙다짐, 흙미장, 흙쌓기 등 과거로부터 이어진 대부분의 흙건축 공법을 모두 다루고 있다. 나아가, 가장 최근인 2020년 독일에서 도입한 흙건축 산업재 표준은 내력벽과 무관한 흙판재에 대한 것이어서, 현대 흙건축에서 재래의 흙건축 공법을 대부분 현대화하고 자재의 활용 범위를 확대·발전시키고 있다는 것을 알 수 있다. 여러 흙건축 법규에서 다루고 있는 주요 흙건축 기술 및 공법은 다음과 같다:

- 흙조적(earth masonry, EBM): 기존 건축자재 조적과 마찬가지로 흙블록을 흙몰탈로 접착하며 쌓아서 내력벽 구축.
- 흙다짐(rammed earth, RE): 거푸집에 선별한 건축토를 일정량씩 채우며 도구로 다져서 층을 쌓아 내력벽 구축(Fig. 5.).
- 흙타설(poured earth, PE): 거푸집을 설치하고 물과 배합한 흙을 부어 내력벽을 구축. 콘크리트 타설과 동일.
- 흙미장(earth plaster mortar, EPM): 건축토를 물과 배합하여 반죽 상태로 만든 후, 바탕재의 표면에 특정 두께로 부착하여 층을 형성해서 표면을 마무리.
- 흙도장(earth paint, ET): 흙을 얇게 도포하는 마감재.
- 흙판재(earth panel, EP): 건축토에 섬유질, 경량재료 등을 첨가하여 판재로 성형한 흙건축 자재를, 건식으로 시공하여 흙미장을 대체하거나 실내 마감재로 사용(Fig. 6.).
- 흙쌓기(cob, C): 거푸집 없이 몽친 흙덩이를 쌓아 올려서 내력벽을 구축. 벽의 아래쪽을 두텁게 해서 벽의 구조적 안정성 확보. 현대에는 거의 사용하지 않음.
- 흙목조(half-timber construction): 목재로 뼈대를 세우고 구조재들 사이를 목재틀과 흙, 흙블록, 흙채움 등으로 채워서 내력벽을 구축. 현대에는 거의 사용하지 않음.
- 강화(stabilization): 최종 흙건축 자재 또는 부재의 물리적 강도를 높이기 위해 선별한 건축토에 다른 재료(석회, 시멘트 등)를 섞는 것. 강화 압축흙블록(stabilized compressed earth block, CSEB), 강화 흙다짐(stabilized rammed earth, SRE) 등으로 약어 표시. soil cement, stabilized soil 등 역시 강화 재료를 섞은 흙을 지칭.



Fig. 2. Compressed earth block Fig. 3. Insulated earth masonry Fig. 4. Earth mortar



Fig. 5. Rammed earth Fig. 6. Earth panel

3. 흙건축의 표준시험법 고찰

3.1. 흙건축을 검증하는 속성과 기준척도

흙건축이 현대 건축으로서 손색이 없는 적절한 성능을 발휘하는 건축 자재이자 안정된 구조물인지를 보다 분명하게 입증하려면 이를 확인할 수 있는 객관적이고 일관된 기준이 필요하다. 앞서 검토한 법규 및 규범들은 흙건축 자재를 생산하고 이를 사용하여 지은 흙건축물의 성능을 검증하는 표준시험법 총 131건을 포함하고 있다.

본 연구에서는 흙건축법마다 제각각 명명한 개별 시험의 명칭을 떠나서 각 시험의 구체적인 방법과 절차를 검토하여 그에 따라 시험법을 분류했다. 이를 위해서는 흙건축을 직접 규정하는 24종의 법규 및 규범뿐 아니라 각 시험법의 상세 내용에 직·간접적으로 연관된 법규 약 120여 종(예: 흙건축 시험체 제작용 형틀의 규격을 참고한 콘크리트 관련 ISO 규정)까지 면밀하게 검토했다. 우선, 각 시험을 시행하는 시점을 원재료인 흙이 건축물이 되기까지 건축물의 수명주기 상에서의 단계(life cycle phase)인 건축토(construction soil), 건축 자재(building material), 건축 부재(building element) 단계에 따라 분류했다[65]. 다음으로, 각 시험에서 검증하는 최종 기준척도(parameter)에 초점을 맞추었다. 시험의 명칭이 전혀 다르거나 완전히 같더라도 해당 시험의 목적, 대상, 시험 방법과 절차를 근거로 검증하고자 하는 기준척도를 확인하여 유사한 시험법을 한데 묶었다. 이에 따라 점토 함량(clay contents), 밀도(density), 내침식성(erosion resistance) 등 총 30개 항목으로 모든 기준척도의 종류를 압축했다. 마지막으로, 각 기준척도를 통해 평가하는 건축물의 본질적인 속성(properties)과 관련지어 기준척도들을 다시 범주화해서, 최종적으로 성분(components), 입자(grain), 가공(processing), 변형(deformation), 강도(strength), 수분(moisture), 구조 안정성(structural stability), 실내 환경(indoor environment)의 8개 속성으로 구분했다(Table 2.).

위와 같은 체계를 적용하여, 11개 국가 및 지역의 흙건축 법규 및 규범 24종에 포함된 131가지 표준시험법을 시험의 명칭이 아닌 수행 방법과 절차에 따라 재분류했고, 이는 Table 3.과 같이 3단계의 흙건축 생애 단계, 8개 속성, 30개 척도, 60종 시험으로 나타낼 수 있다.

3.2. 흙건축 표준시험법 개요

이 131건의 표준시험법을 국가별로 살펴보면, 연달아 흙건축 자재의 산업 표준법(DIN 18945~18948)을 도입한 독일의 법규에서 25가지로 가장 많은 종류의 표준시험법을 규정하고 있는 반면, 나이지리아의 법규는 흙블록 시험법 3가지만을 규정하고 있다. 흙건축의 생애 단계 측면에서 검토했을 때, 건축토 단계에 대한 시험법이 33%, 건축자재 단계 47%, 건축부재 단계가 20%로, 건축자재 단계에 대한 시험법이 가장 많은 것을 알 수 있다. 세부적으로는 케냐, 나이지리아의 법규는 건축토 단계의 시험법을 포함하지 않고, 아프리카연합, 스리랑카의 법규는 건축토 단계의 시험법 비중이 상대적으로 더 크다. 인도, 케냐, 나이지리아, 뉴질

Table 2. Overview of standardized tests

Phase	Property	Total (%)	Field test (%)
		131	40 (30)
Construction soil	Subtotal	43 (33)	25 (58)
	Components	17 (13)	
	Grain	7 (5)	
	Processing	16 (12)	
Building material	Deformation	3 (2)	
	Subtotal	61 (47)	10 (16)
	Strength	48 (37)	
Building element	Deformation	3 (2)	
	Moisture	10 (8)	
	Subtotal	27 (20)	5 (19)
Building element	Structural stability	24 (18)	
	Indoor environment	3 (2)	

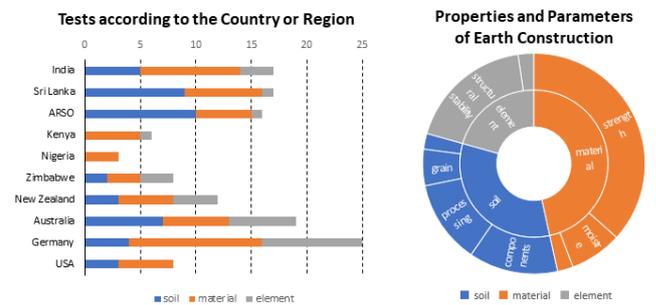


Fig. 7. Overview of standardized tests

랜드, 독일, 미국 등 대부분 법규는 건축자재 단계의 시험법이 가장 많고, 독일 법규 이외에는 전반적으로 건축부재 단계의 시험법이 적다.

검증 속성 측면은, 총 8개 속성 중 강도(strength)에 대한 시험법이 전체 131건 중 48건(37%)으로 가장 많고, 다음으로 구조 안정성(structural stability)에 대한 시험법이 24건(18%)을 차지한다. 강도 관련 시험법의 비중이 가장 큰 것은 모든 국가 및 지역에서 같으나, 다른 국가와 달리 스리랑카, 아프리카연합의 법규에서는 흙의 구성성분(components) 관련 시험의 비중이 구조 안정성보다 크다(Table 2., Fig. 7.).

한편, 전체 표준시험법의 30%에 해당하는 40건의 시험법이 현장에서 시행하는 시험이라는 사실에 주목할 필요가 있다. 독일 흙건축 법규에서만 모든 시험을 실험실 시험으로 규정하고 그 이외 모든 국가 및 지역의 법규는 현장 시험을 포함하는데, 특히 건축토 단계 시험법 전체 43건 중 25건이 현장 시험으로 58%에 달한다. 반면, 건축 자재 및 부재 단계의 현장 시험은 상대적으로 훨씬 적어서, 뉴질랜드, 오스트레일리아, 짐바브웨의 법규 및 규범에서만 건축 자재 및 부재 단계의 현장 시험을 몇 가지 포함한다. 특히 오스트레일리아 규범은 전체 19건의 시험법 중 10건이 현장 시험이고 같은 시험을 현장과 실험실에서 시행하는 것을 모두 인정하는 시험도 3건이 있어서 현장 시험을 적용하는 범위가 가장 넓다. 또한, 뉴질랜드 법규는 흙블록의 쪼갬인장강도(splitting tensile strength) 현장 시험을 통과하면 실험실 시험인 압축강도와 휨인장강도 시험을 면제하기도 한다.

3.3. 흙건축의 표준시험법

흙건축법마다 제각각 명명한 개별 시험의 목적, 대상, 시험을 수행하는 방법과 절차를 면밀하게 검토하여 검증하고자 하는 기준척도에 따라 재분류하고, 유사한 시험법들을 한데 묶으면 총 131건의 시험법을 29개 척도별 60종 시험으로 나타낼 수 있다(Table 3.). Table 3.의 “시험 방법(test method)”은 개별 시험의 당초 명칭이 아닌 각 시험법의 내용 또는 특징을 간단하게 기술한 것이다. 이를 8개 속성별로 자세히 살펴보면 다음과 같다.

1) 성분(components), 가공(processing)

자연토의 성분(components)을 가려서 고른 건축토를 가공(processing)하는 시험법에는 유독 현장 시험이 많다. 특히 자연토에 유기물이 함유된 정도, 점토와 물의 적정 함량을 확인하는 8종의 시험(관능, 유기물, 비스킷, 공 찌그러뜨리기, 블록 파괴, 블록 균열, 공 낙하, 시가/물/리본 시험)은 만지고 냄새 맡는 감각에 의존하는 것을 비롯하여 흙을 물과 섞은 후 모치거나 말아서 누르고 쪼개고 떨어뜨리는 경험적인 방식이다. 이런 시험법은 정량화된 판단 기준을 제시하지 못함에도 불구하고 시약으로 점토 함량을 확인(아프리카연합)하거나 염류 함량을 측정(독일)하는 시험법을 규정한 사례가 오히려 드물다는 점이 두드러진다. 인도 법규에서는 시멘트와 역청을 강화제로 추가한 흙 배합물, 독일 법규에서는 섬유질을 추가한 흙물탈의 함수량을 측정하는 실험실 시험을 포함하며, 스리랑카와 아프리카연합의 법규에서는 액상한계, 소성 한계를 측정하는 ISO 시험을 포함한다.

2) 입자(grain)

입자와 관련해서는 두 종류의 시험, 즉 입자의 크기와 분포도를 동시에 측정하는 체 가름 시험과 입자의 크기에 따라 물에 가라앉는 속도가 다른 것을 이용하여 입도분포만 확인하는 침강시험(실험실, 현장)을 시행한다.

스리랑카, 아프리카연합, 독일 법규에서는 입자의 크기와 분포를 습윤 체 가름으로 확인하는데, 아프리카연합은 통일분류법(USCS) 기준을, 스리랑카와 독일은 ISO 기준을 따른다. 스리랑카 법규에서는 강화 압축흙블록(CSEB) 생산에 적합한 입도분포 비율을 지정하며, 독일 법규에서는 일반 입도 요건을 상세하게 범주화하여 제시하나 흙건축 자재 또는 공법의 종류에 따라 적절한 입도분포를 규정하지는 않는다. 스리랑카, 아프리카연합, 오스트레일리아에서 침강시험을 현장 시험으로 시행하며, 아프리카연합은 실험실용 침강시험을 별도로 또 포함한다. 오스트레일리아의 침강시험은 공법(EB, CEB, RE, PE) 별 적정 입도분포를 명시하는 것뿐 아니라 강화 재료(시멘트, 석회, 역청, 섬유)에 따라서도 입도분포 비율을 지정하고 있어서, 허용하는 강화 재료의 종류 또한 알 수 있다.

3) 강도(strength)

강도 속성을 검증하는 척도는 외관, 규격, 밀도, 압축강도, 인장강도(휨, 조깅), 표면 경도, 표면 인장강도, 접착강도, 접착전단강도, 형틀 강도의 11개에 달한다. 기준척도의 종류가 많은 것은 그만큼 여러 가지 측면에서 강도 속성을 검증한다는 것을 뜻한다.

① 외관, 규격. 눈으로 흙물탈의 외관(인도) 또는 조깅 흙블록의 단

면(뉴질랜드)을 살피는 시험법도 있으나, 인도, 스리랑카, 아프리카연합, 케냐, 나이지리아와 같이 일찌감치 흙블록을 법제화한 국가들과 독일의 법규는 흙블록의 외부 치수와 중공, 흙판재(독일 법규만)의 규격을 확인하는 시험을 규정하고 있다. 이들 시험 모두에서 치수 측정 및 결과값 산출 방식, 허용편차를 제시하는 것은 공통이며, 이후 단계에서 차이가 있다. 인도, 스리랑카, 케냐, 독일의 법규에서는 흙블록의 공칭 규격을 지정하고, 나아가 독일의 법규는 용도에 따른 흙블록의 사용등급을 설정하고 사용등급별 중공의 크기와 중공 내외측 살의 두께를 제시한다. 아프리카연합의 법규에서도 용도별 흙블록의 사용등급을 설정하고 있으나 규격과 관련짓지는 않는다.

② 밀도. 밀도 시험은 표본 또는 시험체를 건조하지 않고 밀도를 산출하는 용적밀도 시험, 또는 건조한 후 산출하는 건조밀도 시험, 최적 함수량을 확인하는 3종의 시험이 있다. 최적 함수량 시험은 같은 양의 흙에 물의 양을 달리하여 압축하고 밀도 변화를 기록하다가 최대 밀도에 도달했을 때의 함수량을 산출한다. 밀도 시험은 포함하는 법규 및 규범(인도, 스리랑카, 아프리카연합, 케냐, 짐바브웨, 오스트레일리아, 독일, 미국)마다 거의 같은 방식으로 시행한다. 모두 흙블록과 흙다짐에 시행하며, 오스트레일리아는 흙타설에도 시행한다. 독일의 법규에서는 흙블록, 흙물탈, 흙판재에 용도별 건조밀도 등급을 지정했다.

③ 압축강도. 흙건축 표준 시험에서 가장 중심이 되는 압축강도 시험은 짐바브웨를 제외한 10개 국가 및 지역의 법규에 다 포함되어 있다. 모두 흙건축 자재를 대상으로 시행하며, 오스트레일리아의 규범에서만 흙건축 부재, 즉 벽체도 시행 대상으로 따로 규정한다. 시험 방법은 크게 2종으로 구분할 수 있는데, 흙건축 공법을 막론하고 직육면체 시험체를 표집 또는 제작해서 파괴될 때까지 압축하는 방식을 10개 국가 및 지역에서 시행하며, 강화 흙다짐(SRE)용 흙 배합물을 다져서 만든 원통형 시험체를 압축하는 방식은 인도와 미국에서만 추가로 포함한다. 직육면체 시험체를 압축하는 시험은 다시 건조 및 습윤 압축강도로 구분할 수 있다. 대부분 국가에서 건조 압축강도 시험을 기본 시험으로 규정하고 있으며, 스리랑카, 아프리카연합, 케냐, 오스트레일리아의 법규 및 규범은 습윤 압축시험을 추가 또는 병행한다. 인도 법규는 특징적으로 습윤 압축강도 시험만을 표준시험법으로 규정한다. 그런데, 시험의 세부 내용은 국가 및 지역에 따라 차이가 상당하다. 특히 표본 또는 시험체 표집 단계에서 표본 집단과 표본의 수량 기준, 표본 또는 시험체의 규격이 국가 및 지역, 시험 대상, 공법에 따라 제각각(예: 스리랑카, 강화 압축흙블록 3000개당 표본 3개; 뉴질랜드, 흙벽 450㎡마다 200mm 정육면체 시험체 5개 이상)이다. 이에 비하면 시험 절차는 상대적으로 유사하다: 시험체의 함수량을 건조(항량) 또는 습윤(수분 포화) 상



Fig. 8. Wet compressive strength test for earth block

태로 조절한 다음, 단층 또는 다층으로 쌓아서 상하부의 내력 표면을 고르고, 재하 장비에 배치해서 시험체가 파괴될 때까지 일정한 속도로 하중을 가한다. 그러나 역시 표본 또는 시험체 절단 여부, 쌓는 여부·방식, 내력 표면 피복 여부·재료·방식뿐만 아니라 균일재하 하중도 모두 달리 규정하고 있다(예: 아프리카연합 0.15~0.25MPa/s, 독일 50N/s, 뉴질랜드 350~700kN/min). 실험 결과를 활용하는 방식은 더 다양하다: 압축강도 기준을 세분화하여 건축 자재의 등급을 설정하거나(독일: EB, EMM, EPM; 아프리카연합: 내력용/치장용, 건조/습윤; 스리랑카: 건조/습윤), 공법 또는 건조/습윤 압축강도별 최솟값을 제시하거나(뉴질랜드, 오스트레일리아, 케냐, 나이지리아, 미국), 그냥 압축강도 최솟값만을 제시(인도, 짐바브웨)하기도 한다.

④ 인장강도(휨, 조깅). 인장강도 시험은 크게 3종으로, 개별 표본 또는 시험체를 대상으로 시행하는 휨인장강도, 조깅인장강도 시험과 흙자재로 만든 부재(벽체) 시험체를 대상으로 하는 휨인장강도 시험으로 구분할 수 있다. 개별 표본 또는 시험체 대상 휨강도 시험은 스리랑카, 케냐, 뉴질랜드, 오스트레일리아, 독일, 미국의 법규에서 표본 또는 시험체의 양 끝을 받치고 가운데를 눌러서 부러뜨리는 거의 동일한 방식(Fig. 9a.)으로 규정된 반면, 조깅강도 시험은 아프리카연합의 법규에는 장비로 상하부에서 중앙을 압축해 조깅은 실험실 시험, 뉴질랜드, 오스트레일리아의 법규 또는 규범에는 일정 높이에서 대각선으로 떨어뜨려 조깅은 현장 시험으로 규정되어 있다. 흙벽체 대상 휨강도 시험은 오스트레일리아(모든 공법에)와 뉴질랜드(RE 벽체에)에서만 시행하는데, 낮은 기동 모양으로 제작한 시험체의 윗쪽을 장비로 당겨 부러뜨리는 시험이다(Fig. 9b.). 역시 표집 기준과 균일재하 하중은 제각각이며, 법규마다 시험의 결과값을 허용 최솟값으로 제시하는 점은 같으나 값 자체는 일관성을 찾기 어렵다. 독일 법규에서는 흙물탈과 흙판재의 휨강도 등급을 지정한다.

⑤형틀 강도. 한편, 짐바브웨의 법규에서는 흙다짐용 형틀의 강도 시험법을 규정하는데, 형틀의 측판을 눌러놓고 하중을 가해 휘는 정도를 관찰한다.

⑥ 표면 경도, 표면 인장강도. 이 두 척도를 검증하는 시험은 독일의 흙판재 산업 표준법에만 포함되어 있다. 표면 경도 시험은 흙판재

의 표면에 쇠공을 떨어뜨려 생긴 자국의 지름으로 일반 흙판재와 경질 흙판재의 기준값을 각각 제시하고, 표면 인장강도 시험은 원판을 흙판재에 붙여서 일정하게 잡아당겼을 때 흙판재가 부러지는 하중의 평균을 기준값으로 제시한다.

한편, 짐바브웨의 법규에서 “압축강도 시험(compressive strength test)”이라는 명칭으로 흙다짐벽의 표면을 용수철이 내장된 도구로 누르는 현장 시험을 규정하는데, 이는 표면 경도를 확인하는 시험에 해당한다.

⑦ 접착강도, 접착전단강도. 이 두 척도를 검증하는 시험은 독일의 흙물탈 산업 표준법에만 포함되어 있다. 접착강도 시험은 바탕면에 시공한 미장용 흙물탈 표면에 원판을 붙여서 일정하게 잡아당겼을 때 물탈이 파괴되거나 떨어져 나오는 하중의 평균을, 접착전단강도 시험은 흙물탈로 접착한 흙블록을 접착면에 평행하게 밀어서 물탈이 떨어지는 하중을 산출하는 방식이다.

4) 수분(moisture)

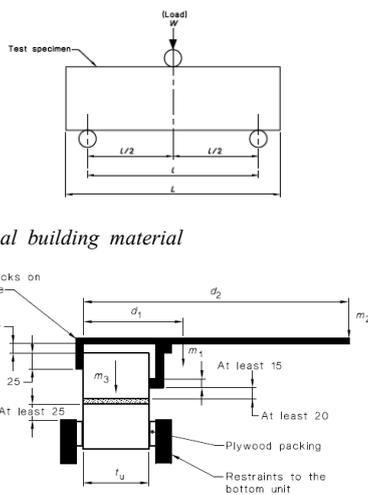
수분 관련 시험법은 4종으로, 표본 또는 시험체를 물에 완전히 담가 포화시켰다가 흡수량을 측정(인도, 스리랑카, 케냐, 나이지리아, 오스트레일리아, 미국)하거나, 흙블록 표본의 아래만 얇은 물에 담그거나 접촉하여 모세관을 통해 수분을 빨아들인 정도를 판단하는 시험(아프리카연합, 독일)이 있는데, 모세관 흡수 시험은 주로 흙블록(EB, CEB, CSEB)에만 적용한다. 독일 법규에만 포함된 표본 또는 시험체를 습한 공기 중에 존치하여 흡착한 수분의 양을 측정하는 시험은 흙블록, 미장용 흙물탈, 흙판재에, 시험체에 젖은 형겅을 붙여 흡수로 인한 변화를 확인하는 시험은 흙판재에만 적용한다. 또한 독일 법규에서는 흙블록의 사용등급별 모세관 흡수 기준과 흙물탈, 흙판재에 대한 수증기 흡착 및 내습 등급을 지정하고 있다.

5) 변형(deformation)

변형 관련 기준척도는 하중과 관련이 없는 수분 변형 2종과 부하 변형 1종을 포함한다. 건축토가 건조 과정에서 수축하는 길이를 확인하는 선형수축 시험을 뉴질랜드, 오스트레일리아, 독일의 법규 및 규범에서, 건축 자재가 수분 포화 상태에서 팽창하는 길이를 확인하는 선형팽창 시험을 인도, 스리랑카의 법규에서 찾아볼 수 있다. 이에 더하여, 독일 법규에서는 건축 자재가 하중을 견딜 때 수직 응력과 압축의 관계를 나타내는 E계수를 산정하는 시험을 시행한다. 뉴질랜드와 오스트레일리아에서는 선형수축 시험을 흙블록, 흙물탈, 흙다짐, 흙타설 등의 공법에 사용할 일반 건축도 시험으로 적용하는데 비해 독일에서는 흙물탈과 흙판재에 적용하며, 나머지 시험들을 시행하는 국가의 법규에서는 흙블록에만 적용하는 것을 알 수 있다. 또한 시험 내용과 별개로 법규마다 시험 결과를 활용하는 방식이 같지 않다. 같은 선형수축 시험도 독일과 뉴질랜드는 공법 또는 용도별 최대 허용값을 제시하는 데 반해 오스트레일리아는 수축률에 따라 강화 재료인 시멘트를 섞는 비율을 판단한다.

6) 구조 안정성(structural stability)

흙건축 부재의 압축 및 인장 강도 척도를 검증하는 시험은 강도(strength) 속성에서 먼저 다루었고, 그 외에 마모(사용), 침식(물), 기후(온도), 화재를 견디는 정도를 나타내는 기준척도 4종을 검증하는 시험법은 다음과 같다.



a) Test for individual building material

b) Test for building element

Fig. 9. Flexural tensile strength tests

Table 3. Standardized test methods for earth material & element in earth building codes & normative documents

Life cycle phase	Property	Parameter	Test method	Asia			Africa			Australia		Europe	America	
				India	Sri Lanka	ARSO	Kenya	Nigeria	Zimbabwe	New Zealand	Australia	Germany	USA	
Construction Soil	Components	(In)Organic matter: composition	Sensory		●	●					●			
			Organic matter			◎				●	●		◎	
	Clay contents	Methylene Blue	pH		◎									
			Biscuit		●	●								
			Ball squeeze	●							●		●	
			Block crush	●									●	
	Fissure			●									●	
	Grain	Grain size distribution	Jar		●	●						●		
			Sedimentation			◎								
Processing	Moisture content	Grading		◎	◎							◎		
		Wet sieving												
Processing	Ball drop	Stabilized soil 1	◎	●	◎			●	●	●				
		Stabilized soil 2	◎											
		Mortar										◎		
Plasticity, consistency	Cigar/Roll/Ribbon	Liquid Limit		●	●							●		
		Plastic Limit		◎	◎									
				◎										
Deformation	Linear shrinkage	Linear shrinkage							◎	◎	◎			
Building material	Strength	Appearance	Visual inspection	◎							●			
			Section inspection											
		Dimension	Block	Block cavity	◎	◎	◎	◎	◎				◎	
				Panel										◎
		Density	Bulk density	Dry density	◎	◎		◎			●		◎	
				OMC	◎ ²		◎							◎
		Compressive strength	Dry	Wet	◎	◎*	◎*	◎*	◎		◎	◎*	◎	◎
				Stabilized soil	◎									◎
		Surface hardness	Rammed wall	Panel							●			
Surface tensile strength	Panel										◎			
Splitting tensile strength	Block drop			◎						●	●			
Flexural tensile strength	Loading machine		◎			◎				●	◎	◎		
	Lever, brick								◎	●				
Adhesion strength	Mortar										◎			
Adhesive shear strength	Mortar, masonry										◎			
Formwork Strength	Formwork								●					
Deformation	Swelling	Saturation	◎	◎										
		E-modulus										◎		
Moisture	Absorption	Moisture	◎	◎		◎	◎				◎	◎		
		Capillary ab.			◎							◎		
		Vapor adsorption										◎		

Table 3. Standardized test methods for earth material & element in earth building codes & normative documents (Continued)

Life cycle phase	Property	Parameter	Test method	Asia		Africa				Australia		Europe	America	
				India	Sri Lanka	ARSO	Kenya	Nigeria	Zimbabwe	New Zealand	Australia	Germany	USA	
Building element	Structural stability	Compressive strength	Wall								⊙			
		Flexural tensile strength	Wall bending							⊙	●			
		Abrasion resist.	Wire brushing	⊙		⊙	⊙		⊙			⊙		
		Erosion resist.	Accelerated Spray Geelong Swinburne Dip Contact		⊙				⊙	⊙	●	●	⊙	
		Weather resist.	Freeze & thaw Wet & dry	⊙									⊙	
		Fire resist.**	Fire resistance	⊙						⊙	⊙	⊙		
	Indoor environment	Sound insul.**	Sound reduction										⊙	
Indoor CO ₂ **		CO ₂ Concentration										⊙		
Radionuclide activity**		Activity										⊙		

Note 1. ⊙: laboratory test; ●: field test; ●: both field and laboratory test;

Note 2. OMT: Optimum Moisture Content; ⊙²: 2 types of test

Note 3. *: both dry and wet compressive strength tests are included; **: general test, i.e. not specific to earth building materials & elements

Note 4. property of deformation, parameters of compressive and flexural tensile strength are repeated in deferent phases

① 내마모. 흙건축 부재가 마모를 견디는 정도는 강모솔로 시험체 표면을 일정하게 긁은 후 손실 질량을 확인한다(Fig. 10.). 인도, 아프리카연합, 케냐의 법규는 흙블록에 적용하여 손실 질량 또는 시험체 대비 손실률의 최댓값을 기준으로 제시하나 짐바브웨와 독일의 법규에서는 미장용 흙물탈만을 대상으로 손실량을 검증한다.

② 내침식. 수분의 영향으로 인한 흙건축 부재의 침식을 검증하는 기준척도로, 5종의 시험을 찾아볼 수 있다. 스리랑카, 짐바브웨, 뉴질랜드, 오스트레일리아의 법규 및 규범에서 흙블록과 흙다짐에 주로 적용하는 가속침식 시험은 시험체에 일정 압력으로 1시간 동안 물을 분사하여 파인 깊이를 측정한다(Fig. 11.). 스리랑카와 오스트레일리아는 최댓값을 기준으로 제시하고, 짐바브웨와 뉴질랜드는 침식지수를 설정하여 지수별 허용 침식 깊이를 규정한다. 짐바브웨, 뉴질랜드, 오스트레일리아의 법규 및 규범에서 모든 공법에 적용하는 지롱(Geelong) 시험은 표본 또는 시험체를 비스듬하게 걸쳐놓고 일정 높이에서 일정 시간 동안 물을 떨어뜨린 후 파인 깊이를 측정하는 시험으로, 모두 침식지수를 설정하여 동일한 기준으로 지수별 허용 침식 깊이를 규정한다. 오스트레일리아에서만 시행하는, 지롱 시험과 유사한 현장 시험인 스윈번(Swinburne) 가속침식 시험은 흙블록에만 시행하며 파인 깊이를 4단계로 구분한다. 또한, 독일의 흙건축 법규만 포함하는 담금 및 접촉 시험은 흙블록에만 적용하는데, 흙블록의 일부를 일정 시간 동안 물에 담근 후 질량 손실 비율을 산출하거나, 표면에 젖은 형깊을 붙여서 외관의 변화를 판정하여 흙블록의 사용등급별로 허용 결괏값을 지정한다.

③ 내후. 독일의 법규에서는 흙블록 표면에 젖은 형깊을 붙인 채로 얼렸다 녹였다를 주기적으로 반복하여 균열이 발생하는 주기의 횟수를 흙블록의 사용등급별로 지정하는 서리(frost) 시험을 시행한다. 인도의 법규에서는 흙다짐용 시험체를 습윤-건조 또는 동결-용

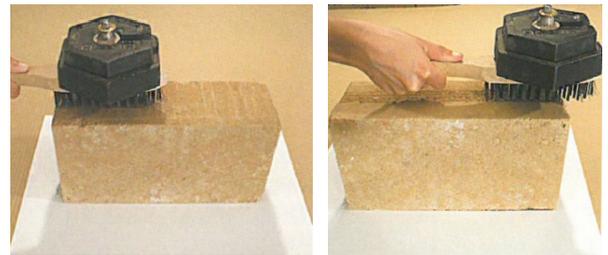


Fig. 10. Abrasion test

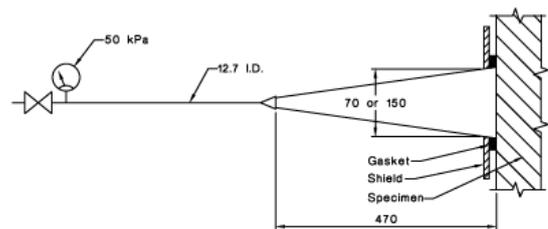


Fig. 11. Accelerated erosion test

해를 각각 12주기 반복하는데 각 주기마다 일정 횟수로 긁어낸 흙의 손실 총량을 비율로 산출하는 시험을 규정한다.

④ 내화. 뉴질랜드, 오스트레일리아, 독일의 법규 및 규범에서는 모든 산업재를 대상으로 하는 내화 시험을 흙건축 자재와 부재에도 의무화하고 있다.

7) 실내 환경(indoor environment)

독일의 법규는 흙건축을 포함한 모든 건축물의 실내 공간에 대해 차음 성능과 실내 이산화탄소 농도, 모든 건축 자재에 방사능농도 지수를 측정하도록 규정하고 있다.

3.4. 논의

① **공법별 차이.** 흙건축 공법과 기준척도별 시험의 관계를 살펴보면, 흙건축 공법에 따라 주요하게 적용하는 시험이 같지 않다. 모든 법규 및 규범이 건축도를 선별하는 단계에서는 시험 방법 또는 절차가 다르더라도 공법과 무관하게 유기물을 가려내고 점토가 적당히 함유되었는지, 건축도를 가공하기에 알맞은 양의 물을 첨가했는지 확인하는 시험을 행하도록 규정하며, 건축 자재 단계에서는 공통적으로 압축강도가 가장 핵심 기준척도이다. 그러나 그 외의 척도와 시험은 각 흙건축 공법마다 똑같이 중요하지 않다. 특히 다양한 크기의 입자를 섞어 내부 공극을 가능한 한 촘촘히 채우는 것(최밀 충전)이 중요한 흙다짐, 흙타설 공법에는 오히려 입자의 크기, 입도분포를 확인하는 시험을 시행하도록 규정한 법규가 없는 대신 함수량, 최적 함수량, 밀도 시험으로 이를 확인하도록 한다. 또한 내력벽을 구축하여 흙건축의 외장을 이루는 흙블록, 흙다짐, 흙타설 공법에 대해서는 물과 온도의 영향을 견디는 시험을 규정하고, 건물 사용자들이 주로 접하는 내장재에 해당하는 흙블록, 흙미장, 흙판재에 대해서는 공통적으로 마모 시험을 행하도록 규정하며, 실내 공간의 수증기를 흡착하는 정도를 시험하도록 한다.

② **국가별 차이.** 시험법을 적용하는 국가별 특징 또한 눈에 띈다. 뉴질랜드와 오스트리아의 법규 및 규범은 단일 시험을 가급적 여러 공법에 적용하도록 규정하는 반면, 독일의 법규는 전체 25종의 시험 중 밀도, 압축강도, 휨강도, 수증기 흡착 시험 외에는 거의 공법과 자재별로 특화된 시험을 적용하도록 규정한다. 또한, 국가별로 수분 또는 습기 속성과 관련된 기준척도를 확인하는 시험에서 흥미로운 차이가 드러난다. 인도의 법규는 유일하게 습윤 압축강도만을 시험하며, 수분 포화 시 선형팽창, 완전히 물에 담근 상황에서의 수분 흡수율, 습윤-건조, 동결-융해 시험을 모두 시행하도록 규정하는데, 건조 압축강도, 외벽에 대한 물 분사와 점적 시험(Geelong test)만을 규정하는 뉴질랜드 법규와 대비가 된다. 다시 말하면, 인도는 흙건축물이 물에 잠기고 큰 기온의 변화를 겪는 상황을, 뉴질랜드는 비바람을 맞는 상황을 대비하는 차이를 보이는 것인데, 이는 두 국가의 기후 차이를 반영한 것이라 볼 수 있다. 한편, 서로 다른 국가들 간에 흙건축 법규 또는 일반 건축법을 교차 참조하고 있는 것을 알 수 있다. 뉴질랜드의 흙블록 조적체 휨강도 시험(bond wrench test)은 오스트레일리아의 건축법 중 소성벽돌 조적체 관련 조항을 참조한다고 명시하고 있으며, 아프리카연합의 법규는 프랑스의 흙블록 규범을 그대로 적용하고 있다.

③ **현장 시험.** 도입 시기가 이른 법규일수록 흙블록 조적을 주요하게 다루고 특히 건축도 단계를 대상으로 하는 경험적 현장 시험이 많은 반면, 법규 및 규범을 도입한 시기가 늦고 다양한 공법을 다룰수록 건축자재 단계를 대상으로 하는 실험실 시험이 많다. 다만, 오스트레일리아의 흙건축 규범에서 제시하는 시험의 상당수가 현장 시험인 것은 예외적이다. 흙건축은 기계식 생산시설과 건설 현장 모두에서 자재를 생산할 수 있는 고유한 특징이 있다. 따라서 현장에서 생산한 흙건축 자재의 적합성은 현장에서 시행하는 간이 시험으로 확인할 수밖에 없다. 이는 자연토를 취해 건축도로 바로 사용하는 재래 흙건축의 전통을 전승한 것이라고 볼 수 있

다. 특히 건축도 대상 현장 시험이 정량화된 판단 기준을 제시하지 못함에도 불구하고 유효하게 다루고 있는 것은 현장에서 대략의 빠른 판단을 하는 데 여전히 유용하며, 현장 시험으로 확인하는 내용들이 매우 정밀한 검증이 필요한 것이 아니기 때문이다. 그러나 산업적으로, 즉 기계 설비를 이용하여 생산하는 흙건축 자재는 표준화된 실험실 시험을 적용해야 품질의 신뢰도와 일관성을 확보할 수 있다.

④ **독일의 산업 표준(DIN).** 본 연구의 대상 법규 및 규범 중 독일의 흙건축 산업재 표준은 유일하게 흙판재를 다루고 있다. 흙판재는 전문 시설에서 생산한 전형적인 산업재로, 흙다짐을 산업적으로 개량한 흙타설 공법과 함께 흙건축이 현대화되는 과정을 드러내는 자재이다. 전통 흙건축의 기술을 전승 및 발전시킨 사례가 아니므로, 흙판재의 품질을 검증하는 시험의 상당수가 새로 개발된 시험법이다. 반면, 독일 법규에는 흙다짐과 흙타설의 산업 표준이 없다. 독일의 흙건축법(Lehmbau Regeln)이 여타 어느 국가 및 지역의 흙건축 법보다 과거와 현재의 흙건축 기술을 폭넓게 다루고 있는 것으로 미루어 순차적으로 준비하는 과정에 있다고 이해할 수도 있으나, 흙다짐과 흙타설 공법이 흙건축 기술 중 가장 최소한의 가공으로 자연토를 건축도로 사용하는 기술인 만큼 이를 산업재로 다루려면 다른 방식의 접근이 필요하기 때문이다. 즉, 이 두 공법은 흙판재와 마찬가지로 생산시설에서 사전 제작한 조립식 건축 부재의 형태로 산업화하는 방향으로 진화하고 있다. 이 경우 흙판재와 마찬가지로 전혀 다른 새로운 시험법 개발이 필요하다.

⑤ **강화(stabilization).** 인도, 스리랑카, 케냐, 나이지리아의 법규는 강화 재료를 혼합하는 것을 기본으로 전제한다. 특히 인도의 법규에서는 순수 건축토용 시험과 시멘트를 섞은 흙 배합물용 시험을 구분하여 규정한 사례가 가장 많은 것으로 미루어 보아 시멘트를 강화 재료로 빈번하게 사용한다고 볼 수 있다. 각 법규의 내용을 통해 인도는 시멘트와 역청, 오스트레일리아는 시멘트, 석회, 섬유질, 역청, 독일은 섬유질, 미국은 시멘트를 강화 재료로 많이 사용하는 것을 알 수 있다. 그러나, 흙건축에 주목하는 중요한 가치가 지속가능성이라는 것을 환기할 때, 강화 재료 사용에는 세심한 주의가 필요하다. 재료에 따라 건설 초기에 빠르게 흙건축 자재의 강도를 높이지만 장기적으로는 다른 흙건축 자재와 융합하지 않아 구조물 전체의 안정성에 도움이 되지 않거나, 유지 관리에 어려움을 초래하고, 나아가 폐기물 단계에서 분해가 잘 안 되는 등 부정적인 결과를 초래할 수 있기 때문이다.

4. 현행 국내 제도와의 접점 모색

4.1. 국내 흙건축 자재와 KS 표준시험법

현재 국내 건축법에서 흙건축에 직접 적용할 수 있는 사항은 전무하다. 따라서, 국내 생산 흙건축 자재((강화) 압축흙블록, 흙물탈, 흙타설재, 흙도료 등)는 콘크리트 블록 표준(KS F 4004, KS F 4419) 또는 비소성 제품 국제표준(KS Q ISO 9001: 2015) 등에 준해 제품 인증을 받았다[66]. 성능과 품질에 대해서는 건축도 단계에서 화학성분, 입도 분포(KS F 2302) 시험을, 흙건축 자재 단

Table 4. Korean tests for earth building

Phase	Property	Parameter	EB	RE/PE	EM/ET	EP	
Soil	Components	Harmful content	●○	●○	●○	●○	
	Grain	Grain size distribution	●○	●○	●○	●○	
		Grading	●○	●○	●○	●○	
	Processing	Moisture content			●○	●○	
Deformation	Shrinkage & expansion			●○	●○		
Material	Strength	Dimension	●○			●○	
		Density	●○	●○	●○	●○	
		Compressive strength	●○	●○	●○	●○	
		Flexural strength	●○	●○		●○	
		Adhesive strength			●○		
	Moisture	Absorption	●○	●○	●○		
		Capillary Absorption	●○	●○			
		Vapor Adsorption	●○	●○	●○	●○	
	Element	Structural stability	Wall compressive str.	●○	●○		
			Wall flexural str.	●○			
Abrasion resistance					●○	●○	
Weather resist. (f&t)			●○	●○			

●○: test needs to be introduced or developed , ○: borrowed test

계에서 수분 흡수(KS F 2609), 압축강도(KS F 2405), 휨강도(KS F 2408), 내후(KS F 2332)(이상 블록류), 수축&팽창(KS F 2586), 압축강도(KS L 5105), 인장강도(KS L 5104)(이상 몰탈류) 척도를 시험한다. 이는 토목 분야와 건축 분야의 시멘트 또는 콘크리트 건축 자재 대상 KS 표준시험[67, 68]을 차용한 것으로, 시험 결과를 판정하는 기준도 그대로 적용한다. 한편, 국내 흙건축 자재에는 강화 재료로 주로 석회, 식물섬유, 시멘트(고로슬래그 포함)를 첨가한다.

4.2. 논의

현재 국내 흙건축 자재의 품질 시험은 흙건축 고유의 특성을 고려하여 기준척도를 검토하고 그에 합당한 시험 절차, 결과값을 활용한 용도 및 성능 별 기준을 논의한 바가 없으므로, 앞서 살펴본 흙건축 관련 시험법을 바탕으로 국내에 필요한 내용을 도출해보는 과정이 필요하다. Table 4.는 현재 시행 중인 차용 시험법과 향후 개발 및 도입해야 할 시험법을 공법 및 자재별로 보여준다.

가장 많이 보완해야 할 속성은 수분과 건축 부재의 구조 안정성이다. 수분은 곧 변형을 일으키고 부재의 내구성에 영향을 미치므로 이 두 가지는 밀접하게 연결된다. 또한, 흩다짐 또는 흩타설 공법, 곧 출시를 준비 중인 흙판재 대상 시험까지를 포함했다. 구체적인 시험법과 결과값을 규정하고 활용하는 방식은 각 관련 분야와 긴밀한 논의를 거쳐 진행할 수 있다.

5. 결론

흙건축이 가진 환경적 강점은 현대 건축으로서의 적합성과 맞물려야만 실용적 가치를 발현할 수 있고, 그러려면 흙건축이 현재의 제도적 기준에서 인정할 수 있는 건축 자재이자 안정된 구조물인지를 보다 객관적으로 입증해야 한다. 본 연구는 이에 필요한 규범적 토대가 존재하지 않는 국내의 상황에서, 중국에는 흙건축의 법제화에

지 도달해야 하는 짧지 않은 경로의 출발점에 해당한다.

본 연구는 11개 국가 및 지역에서 시행하는 24종의 흙건축 법규 및 규범, 또한 관련된 120여 종의 주변 법규에서 규정하고 있는 흙건축의 성능과 품질 관련 시험법을 건축물의 속성, 그리고 이를 정량적으로 드러내는 기준척도에 근거해 범주화하여 분석했다. 향후 국내에서 흙건축 자재에 특성화된 시험법을 수립하려면, 현재 토목 및 일반 건축 분야의 표준시험법을 차용하고 있는 현황까지 고려하여 다음과 같은 측면을 검토해야 한다.

우선, 흙건축 자재 고유의 특성을 반영하여 시험으로 확인할 속성과 기준척도를 규정해야 한다. 콘크리트, 시멘트와 달리 흙은 물과 가역적으로 반응하므로, 하중 못지않게 수분이 구조체에 변형을 일으킬 수 있는 특성을 가진다. 그러므로, 앞서 기후 차이로 인해 인도와 뉴질랜드에서 시행하는 시험의 종류가 달랐던 바와 같이, 연교차가 크고³⁾ 여름철 강수 집중도가 높은 한국 기후의 특징을 반영해서 모세관 흡수, 수증기 흡착, 침식(동결-융해) 등 수분과 관련된 시험법을 도입하는 것이 필요하다. 그리고, 이는 필연적으로 부재, 즉 벽체의 구조적 안정성과 연결되므로, 개별 자재 이상으로 구조물을 구성한 이후 부재의 강도와 내구성을 확인하는 시험법에 주목해야 하는 근거가 된다(Table 4.).

다음으로, 각 흙건축 공법과 자재별로 성능을 검증하는데 효과적인 기준척도를 선별하고 그에 따른 적절한 시험법을 적용, 또는 새로 개발해야 한다. 독일의 흙판재 산업 표준 사례에서 알 수 있듯이 현대 흙건축은 전통 공법 외에도 타설, 분사, 경량화, 3D 프린팅과 같은 새로운 기법으로 내력·비내력 벽체, 실내 마감재를 생산하며 새로운 단열 기법, 난방 설비, 건식 공법 등 현대의 여러 가지 건축 공법과 결합하면서 점점 더 다채로운 용도로 적용 범위를 확장하고 있다(Lee, 2021[1]). 따라서, 흙건축 공법과 자재마다 성능과 품질을 검증하는데 주요한 척도와 관련 시험법이 똑같을 수 없다. 기존의 시험법만으로는 더 이상 흙건축의 발전에 발맞출 수 없다는 의미이다. 여기에서 더 나아가 시험의 결과값 활용이 용이하도록 기준값별로 범주화하거나 자재별 필요 성능을 등급으로 지정하는 것이 시험 결과와 표준의 효용을 높일 수 있다.

또한, 현장 시험의 존속 여부 또는 활용 방식을 고민해야 한다. 기계식 설비로 대량 생산하는 것을 전제로 하는 산업화된 현대 흙건축에서는 현장 시험의 결과를 근거로 성능과 품질을 검증하는 상황 자체가 드물며, 있다 하더라도 중요한 판단에는 적용할 수 없다. 다만, 여전히 흙건축에는 수작업의 전통이 남아있고, 전통 흙건축의 기법을 전승하는 의미가 있으므로, 현장 시험은 실험실 시험 이전 단계의 간이 약식 시험으로만, 또는 법규 또는 규범이 아닌 자가 건축자용 일반 지침 또는 교육 활동의 일부로 소개하는 것으로 활용하는 것이 마땅하다.

마지막으로, 강화 재료(stabilizer) 사용에 대한 기본 원칙이 필요하다. 이는 표준시험법보다는 흙건축 산업 전반의 전제에 해당한다. 모순적으로 가장 산업화된 형태의 독일 흙건축법에서는 모든 흙건축 자재 및 부재를 강화하지 않는 것을 전제로 하며, 미장용 흙몰탈과 흙판재에 식물 섬유를 섞는 것만을 다루고 있다. 이는 흙건축의 생태적 가치를 놓지 않겠다는 의지로 이해된다. 그러나, 국내 흙건축에 똑같은 기준을 적용할 수 있는지는 보다 면밀한 검토가 필요하다.

다. 흙은 형성되는 과정에서 기후, 시대, 식생, 원물질, 지형, 인간활동 등에 의해 촉발되는 물리적, 화학적, 생물학적 과정의 영향을 지속적으로 받아[65] 구성성분이 무척 다양하므로, 현대 건축에 부합하는 성능을 내기 위한 강화 재료의 사용 여부, 종류, 사용량 등에 단일한 원칙을 적용하기가 매우 어렵다. 어느 경우라도 흙건축에 주목하게 된 본질, 즉 흙건축의 생태적 가치에 어긋나지 않으면서 흙건축의 효용을 더 확대할수 있는 방안을 숙고하여 원칙을 수립하는 것이 중요하다.

표준시험법을 규정한다는 것은 흙건축을 보다 더 체계적인 방식으로 관리하는 틀을 마련하는 것이며, 이는 법 제도의 범위 안으로 진입하는 발판이 될 것이다. 결과적으로 현대 흙건축의 기술적 진보에서 더 나아가, 사회적으로 그 가치를 공인하는 과정에 해당한다고 할 수 있다. 본 연구를 통해 이를 향한 방향으로의 의미있는 진보를 이룰 것으로 기대한다.

5.1. 연구의 한계

본 연구의 최종 단계는 국내에서 시험으로 검증해야 할 흙건축 자재와 부재의 속성과 그에 따른 기준척도를 제안하는 수준에서 머물렀다. 흔히 많은 국가의 흙건축법이 다른 국가와 지역의 법과 규범을 참고한 것처럼 검토했던 표준시험법 중 우리 사회에 그대로 도입할 만한 내용을 추출하여 제안하는 방식을 취하지 않은 이유는, 선행해야 할 보다 근본적인 사항 - 예를 들면, 흙건축 자재를 사용해서 지을 수 있는 건축물의 용도와 규모, 규정 대상으로 삼을 산업 생산 흙건축 자재의 종류, 더불어 결론의 마지막 대목에서 언급한 허용할 강화 재료의 종류, 사용 범위 등 - 에 대한 논의를 지금까지 국내에서 진행한 바 없고, 또한 흙판재의 인장강도와 같은 일부 척도에 대해서는 새로운 시험법 개발이 꼭 필요한 국면에서 먼저 구체적인 시험 방법과 절차를 논하기에는 무리가 따르기 때문이다. 따라서, 본 연구는 향후 흙건축 법규 또는 규범 수립을 위한 보다 포괄적인 논의를 진행한 이후로 개별 표준시험법의 완전한 수립을 유보할 수밖에 없는 한계를 가진다.

Acknowledgement

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2019R1C1C1010524).

본 연구는 2022년 한국생태환경건축학회 춘계학술대회에서 발표한 내용을 확장, 발전시킨 연구임.

References

[1] 이은주, 전문가, 이용자 관점에서 실증적으로 고찰한 현대 흙건축의 실현 가능한 지속성, KIEAE Journal, 21(6), 2021.12, pp.121-130. // (E. Lee, Empirically examined sustainable feasibility of modern earthen architecture from the perspectives of experts and occupants, KIEAE Journal, 21(6), 2021.12, pp.121-130.)

[2] Hamard, E. et al., Cob, a vernacular earth construction process in the context of modern sustainable building, Building Environment, 106, 2016, pp.103-119.

[3] Melia P. et al., Environmental impacts of natural and conventional building materials: a case study on earth plasters. Journal of Cleaner

Production, 80, 2014, pp.179-186.

[4] Venkatarama R., B.V., Prasanna K., P., Embodied energy in cement stabilised rammed earth walls, Engy & Bldg., 42, 2010, pp.380-385.

[5] African Regional Organization for Standardization (ARSO). (1998). Compressed Earth Blocks Standards, Brussels, CDI & CRATerre-EAG

[6] African Regional Organization for Standardization (ARSO), Compressed Earth Block Testing Procedures, Brussels: CDE & CRATerre-EAG, 2000.

[7] American Society for Testing and Materials International, ASTM D1632-96 Standard Practice for Making and Curing Soil-Cement Compression and Flexure Test Specimens in the Laboratory, West Conshohocken: ASTM International, 2000.

[8] American Society for Testing and Materials International, ASTM D1633-00 Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders, West Conshohocken: ASTM International, 2000.

[9] American Society for Testing and Materials International, ASTM D2216-19 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass, West Conshohocken: ASTM International, 2000.

[10] American Society for Testing and Materials International, ASTM D558-96 Standard Test Methods for Moisture-Density Relations of Soil-Cement Mixtures, West Conshohocken: ASTM International, 2000.

[11] American Society for Testing and Materials International, ASTM D559/D559M-15 Standard Test Methods for Wetting and Drying Compacted Soil-Cement Mixtures, West Conshohocken: ASTM International, 2000.

[12] American Society for Testing and Materials International, ASTM D698-07 Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort, West Conshohocken: ASTM International, 2000.

[13] American Society for Testing and Materials International, ASTM C67-05 Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile, West Conshohocken: ASTM International, 2000.

[14] American Society for Testing and Materials International, ASTM E2392/E2392M-10 Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems, West Conshohocken: ASTM International, 2016.

[15] American Society for Testing and Materials International, ASTM E4 Standard Practices for Force Calibration and Verification of Testing Machines, West Conshohocken: ASTM International, 2021.

[16] Bureau of Indian Standards, IS 2809 Glossary of Terms and Symbols Relating to Soil Engineering, New Delhi: BIS, 1972.

[17] Bureau of Indian Standards, IS 5454 Methods for Sampling of Clay Building Bricks, New Delhi: BIS, 1979.

[18] Bureau of Indian Standards, IS 2110 Code of Practice for In Situ Construction of Walls in Buildings with Soil-Cement, New Delhi: BIS, 1981.

[19] Bureau of Indian Standards, IS 13827 Improving Earthquake Resistance of Earthen Buildings—Guideline, New Delhi: BIS, 1993.

[20] Bureau of Indian Standards, IS 2720 Methods of Test for Soils, New Delhi: BIS, 1993.

[21] Bureau of Indian Standards, IS 3495 Methods of Tests of Burnt Clay Building Bricks, New Delhi: BIS, 1998.

[22] Bureau of Indian Standards, IS 4332 Methods of Test for Stabilized soilst, New Delhi: BIS, 2004.

[23] Bureau of Indian Standards, IS 10074 Specification for Compaction Mould Assembly for Light and Heavy Compaction Test for Soils, New Delhi: BIS, 2006.

[24] Bureau of Indian Standards, IS 1725 Stabilized Soil Blocks Used in General Building Construction—Specification, New Delhi: BIS, 2013.

[25] Construction Industries Division of the Regulation and Licensing Department, NMAC 14.7.4 New Mexico Earthen Building Materials Code, Santafe: CID of R&L, 2011.

[26] CRATerre-EAG, Earth Construction, A Comprehensive Guide, Rugby: CRATerre-EAG, 1994.

[27] CSIRO Australia, CSIRO Bulletin 5 Earth-Wall Construction, North Ryde: CSIRO Australia, 1995.

[28] Deutsches Institut für Normung e.V., DIN 4102-1 Fire Behaviour of Building Materials and Elements, Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V., 1998.

[29] Deutsches Institut für Normung e.V., DIN 18945 Lehmstein-Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung, Berlin:

- Deutsches Institut für Normung e.V, 2018.
- [30] Deutsches Institut für Normung e.V, DIN 18946 Lehmmauermörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung, Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V, 2018.
- [31] Deutsches Institut für Normung e.V, DIN 18947 Lehmputzmörtel – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung, Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V, 2018.
- [32] Deutsches Institut für Normung e.V, DIN 18948 Lehmplatten – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung, Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V, 2018.
- [33] Earth Building Association of Australia, Building with Earth Bricks & Rammed Earth in Australia, EBAA, 2004.
- [34] ENTPE & CRATerre-EAG, Compressed Earth Blocks: Materials Identification Tests and Mechanical Tests, Lyon: ENTPE & CRATerre-EAG, 1998.
- [35] European Committee for Standardization, DIN EN 310 Wood-Based Panels - Determination of Modulus of Elasticity in Bending and Bending of Strength, London: BSI Standards Publication, 1993.
- [36] European Committee for Standardization, EN 326-1 Wood-based panels - Sampling, cutting and inspection, Brussel: ESC, 1994.
- [37] European Committee for Standardization, EN 1015 Methods of Test for Mortar for Masonry, Brussel: ESC, 1999.
- [38] European Committee for Standardization, EN 1052 Methods of Test for Masonry, Brussel: ESC, 2007.
- [39] European Committee for Standardization, DIN EN 520 Gypsum Plasterboards - Definitions, Requirements and Test Methods, Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V, 2009.
- [40] European Committee for Standardization, EN 325 Wood-Based Panels - Determination of Dimensions of Test Pieces, Brussel: ESC, 2012.
- [41] European Committee for Standardization, DIN EN 13139 Aggregates for Mortar, London: BSI Standards Publication, 2013.
- [42] European Committee for Standardization, EN 196-1 Methods of Testing Cement, Brussel: ESC, 2016.
- [43] European Committee for Standardization, DIN EN 13501-1 Fir Classification of Construction Products and Building Elements, London: BSI Standards Publication, 2018.
- [44] International Code Council, Inc., IBC 2021, Country Club Hills: ICC Publications, 2021.
- [45] International Conference of Building Officials, Uniform Building Code, California: ICBO, 2000.
- [46] International Organization for Standardization, ISO 14040 Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework, Geneva: ISO, 2006.
- [47] International Organization for Standardization, DIN EN ISO 7500-1 Metallic materials — Calibration and Verification of Static Uniaxial Testing Machines, Geneva: ISO, 2018.
- [48] International Organization for Standardization, ISO 17892 Geotechnical Investigation and Testing - Laboratory Testing of Soil, Geneva: ISO, 2020.
- [49] International Organization for Standardization, ISO 10390 Soil, Treated Biowaste and Sludge-Determination of pH, Geneva: ISO, 2021.
- [50] Kenya Bureau of Standards (KEBS), KS 02-1070 Specifications for Stabilised Soil Blocks, Nairobi: KEBS, 1993.
- [51] Masonry Standards Joint Committee, Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures, Masonry Standards Joint Committee, 2011.
- [52] Southern African Development Community Cooperation in Standardizations (SADCSTAN), SADTAN TC 1/SC 5/CD SAZS 724 Rammed Earth Structures, Harare: SADCSTAN, 2001.
- [53] Sri Lanka Standards Institution, SLS 1382 Sri Lanka Standard Specification for Compressed Stabilized Earth Blocks, Colombo: SI, 2009.
- [54] Standards Australia, AS 1289 Methods of Testing Soils for Engineering Purposes, Strathfield: Standards Australia International, 2000.
- [55] Standards Australia, HB 195: The Australian Earth Building Handbook, Sydney: Standards Australia International, 2002.
- [56] Standards Australia, AS 1530_Methods for Fire Tests on Building Materials, Components and Structures Part4: Fire-Resistance Test of Elements of Construction, Sydney: Standards Australia, 2005.
- [57] Standards Australia, AS 3700 Masonry Structures, Sydney: Standards Australia, 2015.
- [58] Standards New Zealand, NZS 4297 Engineering Design of Earth Buildings, Wellington: Standards New Zealand, 1998.
- [59] Standards New Zealand, NZS 4299 Earth Building Not Requiring Specific Design, Wellington: Standards New Zealand, 1999.
- [60] Standards New Zealand, NZS 4298 Materials and Workmanship for Earth Buildings, Wellington: Standards New Zealand, 2000.
- [61] Standards New Zealand, NZS 4210 Masonry Construction: Materials and Workmanship, Wellington: Standards New Zealand, 2001.
- [62] Standards Organisation of Nigeria (SON), NIS 693 Nigerian Industrial Standard Standard for Stabilized Earth Bricks, Abuja: SON, 2007.
- [63] Vincent Rigassi, Compressed Earth Blocks: Manual of Production, Eschborn: Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien, 1995.
- [64] Franz Volhard & Ulrich Röhlen, Lehmbau Regeln, Wiesbaden:Vieweg und Teubner GWV Fachverlage GmbH, 2009.
- [65] 이은주, 흙건축: 흙으로 하는 생태적 계획 및 건설, 서울: 도서출판 CIR, 2021. // (E. Lee, Sustainable Building with Earth, Seoul: CIR Publication, 2021.)
- [66] Claymax, http://www.claymax.biz/bbs/board.php?bo_table=certi, 2022.11.07.
- [67] Korean Standards & Cordifications, <https://www.standard.go.kr/KSCI/standardIntro/getStandardSearchList.do>, 2022.11.07.
- [68] 황혜주 외 11인, 흙집 제대로 짓기, 서울: 도서출판 CIR, 2014. // (H. Hwang et al., authors, Building Earth House, Properly, Seoul: CIR Publication, 2014.)
- [69] Wikipedia, <https://ko.wikipedia.org/wiki>, 2022.11.07.
- [70] Mokpo City, http://www.mokpo.go.kr/stat/mokpo_stat/climate, 2022.11.07.

- 1) 건축-토목 분야 USCS 기준 $d < 0.075\text{mm}$.
- 2) “adobe”는 더 좁은 의미로는 전통 흙건축에서 흙을 (손으로) 빚어 햇볕에 말린 흙블록을 뜻하나, clay와 마찬가지로 관행적으로 불에 굽지 않은 흙블록을 대표하기도 한다.
- 3) 위도가 비슷한 두 도시의 기후를 비교해 볼 때, 프랑스 론 알프 지역의 중심도시 리옹은 평균 강수량 831.9mm, 연평균 기온 12.5°C, 월평균 최고기온 27.7°C 최저기온 -0.1°C이며[69], 한국 전라남도의 중심도시 목포는 평균 강수량 1200.3mm, 연평균 기온 14.4°C, 월평균 최고기온 30.1°C 최저기온 -1.5°C이다[70]. 다시 말하면, 연평균 기온의 차이는 1.9°C인데도 불구하고 목포가 월평균 최고기온이 높은 것은 물론, 월평균 최저기온도 더 낮아서 연교차는 3.8°C로 더 크다.