



현대적 흙다짐 공법을 위한 성능 기반 전문시방서의 기준체계 제안

Suggestion of a Prototype Performance-based Technical Specifications for Contemporary Rammed Earth Construction Method

이은주*

Eunjoon Lee*

* Research Professor, Dept. of Architecture & Architectural Engineering, Yonsei Univ., South Korea (julijoo@yonsei.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: This study aimed to develop a prototype technical specifications for rammed earth method among many contemporary earthen construction methods. **Method:** format and content system of domestic and foreign specifications were reviewed, and the contents of rammed earth work specifications written in US, UK, Australia, and Germany were analyzed. And then, rammed earth construction processes of both in-situ and precast rammed earth works were identified with the advice of contractor and manufacturer. So prototype performance-based technical specification for contemporary rammed earth work was suggested, which was also verified by experts. **Result:** First, it suggests a way to improve and standardize the quality of rammed earth work that has been empirically performed. It followed the system of current legitimate construction standards, so it can be used as a guide specification when creating construction specifications. Second, it is the starting pistol for standardizing industrialized earthen construction technology. By filing up technical specifications for each earthen construction method one by one, it can lead to a comprehensive earthen construction technical guidelines. Third, it reveals the realistic challenges in domestic earth construction field, including lack of production system of ready-mixed construction soil.

KEYWORD

생태건축
환경친화적 시공
현대 흙건축
흙다짐
전문시방서

Ecological Architecture
Environment-friendly Construction
Contemporary Earthen Architecture
Rammed Earth
Technical Specification

ACCEPTANCE INFO

Received May. 20, 2024
Final revision received Jun. 10, 2024
Accepted Jun. 14, 2024

© 2024. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

시대, 지역, 문명과 무관하게 인류가 건축재료로 가장 널리 사용했던 흙은 산업화 과정에서 새롭게 주목받은 시멘트, 강철, 유리 등의 현대건축 재료에 비해 한동안 공학적 기술 발전이 지연되었고 산업화 체제에 맞게 전환되는 과정도 늦어졌다. 그러나, 기후 위기가 문명사회의 최대 위협으로 인식되면서, 가장 근원적인 생태건축이자 탁월한 지속가능성과 환경성능을 가진 흙건축[1-4]에 다시 주목해야만 하는 필연에 직면했다.

건축을 포함한 산업 기술은 대량생산을 전제로 발전했다. 현대건축 또한 이를 바탕으로 더 크고 더 높은 건축물을 지을 수 있었는데, 이는 항상 신뢰할 수 있는 방식, 즉, 언제, 어디서, 누가 지어도 안정적이고 견고한 결과물을 생산할 수 있는 건설기준을 정립하여 공유했기에 가능했다. 현대 흙건축 또한 재래 흙건축에서 나아가 산업적 건축기술로 활용되려면 반드시 현행 법제도가 인정하는 형식의 흙건축 건설기준, 즉 시방서를 마련해야 한다.

본 연구는 국내에서 지금까지 시도한 바가 없는, 현행 건설기술 진흥법의 시방서 체계에 부합하는 현대 흙건축 공사용 전문시방서를 개발하는 것을 목적으로 한다. 또한 많은 시방서가 특정 재료, 형상, 치

수 등을 규정하는 사양 기반으로 작성되었으나, CIB(International Council for Research and Innovation in Building and Construction), 미국의 NIST(National Institute of Standard and Technology), 유럽의 CEN(European Committee for Standardization) 등을 중심으로 성능 기반의 체계로 변화하기 위한 연구가 진행 중이며, 국내에서도 콘크리트 분야의 산업표준규격(KS)에서 요구 성능을 제시하는 방향으로 변화하고 있으므로[5] 흙건축의 시방서는 건축부재의 성능을 중심으로 제안하고자 한다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 여러 가지 현대 흙건축 공법(Table 1.) 중 흙다짐 공법에 한정하여 전문시방서(technical specifications) 기준체계를 제안했다. 국내외를 막론하고 현대 흙건축에 대한 논의에서 산업 표준 또는 시방에 대한 내용은 전무하다. 따라서 본 연구에서는 기존 연구의 검토 외에 현대 흙건축 공법 자체에 대한 이해에서 출발하여 시방서를 수립하는 논의를 발전시키고자 했다. 따라서, 연구 방법으로 우선 국내의 시방서의 구성 및 내용 체계를 검토하고, 이미 흙건축을 현대 건축기술로 수용하여 법제화했거나 관련 규범 또는 산업표준을 도입한 국가들의 흙다짐 시방서(미국[6], 영국[7], 호주[8, 9], 독일[10]) 내용을 분석했다. 다음으로 실제 흙다짐 건설공정을 파악했는데, 전문 시공자와 흙다짐 패널 생산업체 관계자의 자문을 받으며 건축부지에 직접 시공하는 현장시공(in-situ)과, 부지 외의 장소에

서(off-site) 흙다짐 부재를 만들어서 최종 건축부지로 옮겨서 설치하는 사전제작(precast) 방식을 각각 참관하여 조사했다. 이를 바탕으로 성능과 사양 모두를 포함하는 현대 흙다짐 공법의 전문시방서 초안을 제안했고, 역시 현업과 학계 전문가들의 자문을 통해 검증과정을 거쳤다.

2. 문헌고찰: 현대적 흙건축과 흙다짐 공법

전통 흙건축은 건축행위를 하는 장소와 그 주변에서 흙을 취해서 흙쌓기, 흙다짐, 흙조적, 심벽(흙목조) 등의 방식으로 주로 구조체를 지탱하는 내력벽을 세우는 데 치중했으나, 현대 흙건축은 이 기술들을 계승하되, 일반 건축자재와 마찬가지로 전문 생산자가 사전에 선별, 가공, 생산한 흙자재를 역시 전문 시공자가 법제도가 인정하는 기술표준에 근거하여 시공을 하는 점에서 근본적인 차이가 있다. 또한 현대 흙건축은 타설, 분사, 경량화 등과 같은 새로운 기법으로 내력벽 뿐만 아니라 비내력벽과 실내 마감재를 다양하게 개발하여 적용하고 있으며, 새로운 단열 기법, 난방 설비, 건식 공법 등 현대의 여러 건축 기법과 결합하여 점점 더 적용 범위를 확장하고 있다[1].

현대 흙건축에서 재래 흙건축 공법을 대부분 현대화하고 자재의 활용범위를 확대·발전시키고 있는 것을 여러 국가의 흙건축 법규에서 다루고 있는 주요 현대 흙건축 기술 및 공법을 중심으로 살펴보면 다음과 같다[12]:

- 흙조적(earth masonry, EM): 시멘트 몰탈로 벽돌 또는 블록을 쌓는 일반적인 조적과 같은 방식으로 흙블록을 흙몰탈로 접착하며 쌓아서 비내력벽 또는 내력벽 구축
- 흙다짐(rammed earth, RE): 거푸집에 건축토를 일정량씩 채우며 도구로 다져서 층을 쌓아 내력벽을 구축한 후 거푸집을 해체
- 흙타설(poured earth, PE): 거푸집에 흙다짐보다 무게 배합한 흙 혼합물을 붓고 굳혀서 내력벽을 구축한 후 거푸집을 해체. cast earth 포함. 콘크리트 타설과 동일
- 건식흙판공법(earth panel, EPN): 규격 흙판재를 목재·철재로 구

성한 경량골조 벽·천장의 표면에, 또는 기존 벽면 위에 부착하여 벽체 또는 천장 형성. 흙미장 대체 가능. 석고보드를 이용한 건식 시공과 동일.

- 흙미장(earth plaster mortar, EPM): 건축토를 물과 섞어 반죽 상태로 만든 후, 바탕재의 표면에 특정 두께로 부착하여 층을 형성하고 표면을 정리.
- 흙분사(earth spray, ESM): 흙몰탈을 장비를 이용해서 분사하여 수직·수평면에 일정 두께로 부착시킨 후 표면을 정리하는 공법. 흙미장을 대체하거나, 최종 두께와 철근강화 여부에 따라 내력벽 구축도 가능.
- 흙도장(earth paint, EP): 얇게 흙 도포. coating, wash 포함.
- 흙채움(earth infill, EI): 전통 흙목조(half-timber construction) 공법과 같이, 구조체를 포함하여 부재 사이를 흙으로 채우는 기법을 통칭. 현대에는 경량화하여 단열, 건식흡판 채움, 영구거푸집 채움, 천장 채움 등에 활용.

이들 중에서 흙다짐은 전통 흙건축 공법 중에서도 현대 건축물이 요구받는 내력벽 성능을 낼 수 있는[4, 11] 동시에, 고유의 미학적 특징으로 인해 현대 건축가들이 주목하는 대표적인 흙건축 공법이다. Fig. 1.에서 볼 수 있듯이 대규모 내력 외벽부터 실내 칸막이벽에 이르기까지 활용범위가 매우 넓다. 또한, 현대 흙다짐 공법은 산업화 과정을 거치면서 분화와 발전을 거듭하고 있다. 전통 방식에 가깝게는 건축부지에서(in-situ) 철근콘크리트 공사처럼 형틀을 세운 후 흙을 넣고 다진다. 더 현대화된 방식은 전문 생산시설에서(off-site) 흙다짐 부재를 사전제작하여(precast) 건축부지로 옮겨 조립·설치한다. 이로써, 내력벽 뿐만 아니라 마감재로도 흙다짐의 활용범위를 확대하고 있다. 나아가 흙다짐은 흙타설 공법으로 발전했는데, 흙의 연경도(consistency)를 조절하여 형틀에 흙자재를 장비로 대량 투입하는 방식이다. 최종 결과물은 다짐층이 선명하게 드러나는 흙다짐 벽과 차이가 있으나 작업 효율이 크고 더 다양한 형태의 구조체를 지을 수 있다는 측면에서 흙다짐을 현대적으로 진일보시킨 공법이라고 볼 수 있다.

Table 1. Modern earth construction methods

Category		Earth construction methods
Loadbearing	Monolithic	Rammed Poured**, Sprayed** Cob*
	Modular	Earth clumps* Earth block
Non-loadbearing	Infill	Straw clay Light clay** (Light-)earth block
	Self-supporting	Multilayer with earth**
		Clay panel** (partition)
	Finish	Clay panel** (lining)
		Earth plaster
Earth paint**		

Extracted from 「Sustainable Building with Earth」 by H. Schröder[11]

* traditional construction method only,

** modern construction method only



(a) NK'MIP desert cultural centre, (b) Earth sauna, Bad-Schinznach, Osoyoos BC, Canada, 2006[13] Switzerland, 2011[14]

Fig. 1. Modern rammed earth buildings

3. 국내외 시방서의 구성체계

3.1. 국내 건설기준 및 시방서의 구성체계

1) 국내 건설기준

건설기술 진흥법 제 44조에 따르면, “설계 및 시공 기준(이하 건설기준)”을 설계기준, 시공기준 및 표준시방서 등, 그 밖에 건설공사의 관리에 필요한 사항의 3가지로 규정하며, 이 중 시공기준을 표준시방서(standard specification)(시행령 65조 6항), 전문시방서(technical specification)(시행령 65조 7항), 공사시방서(project specification)(시행규칙 제 40조 1항 3호)의 3단계로 정의와 용도를 구분한다[15]. 이러한 위계는 1998년 건설기술관리법(현 건설기술진흥법) 시행규칙 개정으로 정립되었는데, 건설사업 계약 시에는 공사시방서만을 적용하되, 해당 공사의 특성에 맞게 표준시방서와 전문시방서에서 필요한 내용을 발췌, 수정, 보완하여 작성하도록 했다[16]. 즉, 표준시방서와 전문시방서는 개별 건설사업 공사시방서의 가이드시방서 역할을 한다.

공사의 공통사항을 규정하는 표준시방서는 1967년 처음 제정된 이래 2016년 전면 개정된 국가건설기준 코드체계(이하 설계기준(KDS)과 시공기준(KCS)으로 구분되며, 총 21종을 국토교통부에서 지속적으로 보완, 개정하고 있다. 전문시방서는 발주기관별 자체 시방서로, 표준시방서의 내용을 추가·변경한 것이다[17]. 현재 국내 전문시방서는 고속도로공사, 철도건설공사, 한국농어촌공사, 수자원공사 등에서 제정한 총 9종인데, 건축공사에 대표적으로 활용하는 것은 서울시(SMCS, 2011), LH(한국토지주택공사)(LHCS, 2020)의 전문시방서이다[18].

2) 국내 시방서의 구성체계

국내 시방서의 분류체계는 미국(CSI)과 캐나다(CSC)의 건설시방협회가 1972년 공동으로 개발한 마스터 포맷(MasterFormat)을 기본체계로 하고 있다. 세부 분류기준은 완전히 같지 않으나 최대 8자리까지 코드를 부여하는 것이 동일하다[17]. 현재 표준시방서 체계(KCS) 중 “공통편”의 대분류 항목인 “구조재료공사”의 구성체계를 살펴보면, 그 하위를 “콘크리트공사”와 “강구조공사” 2건으로 중분류했고, 콘크리트공사 25건, 강구조공사 9건으로 하위 공종을 소분류했다. 또한, 서울시 전문시방서(SMCS)의 체계는 대분류, 중분류까지는 표준시방서와 같으나 소분류 단계의 공종을 38건으로 더 자세하게 분류한 것을 알 수 있다[18].

최하위 공종의 내용체계는, 역시 CSI 및 CSC의 섹션 포맷(SectionFormat)과 똑같이 “일반사항”, “자재”, “시공”으로 구성된다. 3단계 시방서 모두 전체 구성 및 내용의 체계는 같으나, 표준시방서는 주로 “일반사항”과 “자재”의 공통사항을 다루고, 전문시방서, 공사시방서일수록 “자재”와 “시공” 내용을 자세하게 다룬다. 예를 들어, 일반콘크리트 공사의 표준시방서와 전문시방서 내용을 비교했을 때, 표준시방서는 재료 계량과 배합, 최종 성능시험 등을 포함하지 않은 반면, 전문시방서는 “일반사항” 중 내구성 요건과 “자재” 전체를 전혀 포함하지 않았다[18].

3.2. 국외 건설기준 및 흙다짐 공법 관련 시방서

1) 국외 건설기준의 구성체계

본 연구에서 검토한 미국, 영국, 호주, 뉴질랜드, 독일 시방서의 특징은, 국가 또는 발주기관에서 시방서를 발행하나 대표적 시방서는 전문가 집단인 협회, 학회, 센터, 전문기업 등 민간기관에서 발행한다는 것이다[17]. 즉, 각 기관에서 발행하는 시방서가 표준시방서인 동시에 전문시방서이며, 일찌감치 이를 가이드시방서로 활용하여 각 건설사업의 특성에 맞게 발췌, 수정, 보완하는 방식으로 공사시방서를 작성해왔다. 시방서의 분류체계는 국가마다 차이가 있다. 미국은 건설시방협회(CSI, Construction Specifications Institute)가 캐나다와 함께 개발한 마스터 포맷(MasterFormat)을 적용하여 최대 4단계 8자리 코드로 공종을 분류한다. 영국은 1987년 건설정보위원회(CPIC, Construction Project Information Committee)에서 출간한 CAWS(Common Arrangement of Work Sections) 체계를 적용하여 3단계 4자리(영문 1자리 + 숫자 3자리) 코드로 분류한다[19]. 호주와 뉴질랜드의 체계 또한 영국의 CAWS를 변용한 것으로, 호주는 정부와 민간 전문가가 함께하는 기관인 국가건설시방서기구(NATSPEC, National Building Specification)가 개발한 NatSpec Format을 기준으로 3단계 4자리의 체계를 적용한다[20]. 뉴질랜드는 전문기업인 CIL(Construction Information Limited's)가 주관하는 CBI(Co-ordinated Building Information) 시스템을 이용하여 4단계 최대 4자리의 분류코드로 공종을 분류한다[21]. 독일은 독일표준화협회(DIN, Deutsches Institut für Normung)에서 산업표준을 주관하는데, 산업표준과 시방서가 섞인 특성을 띤다. 최대 6자리의 코드로 공종을 분류하는데, 최하위 공종 세분류를 추가할 때 코드 끝에 “-”를 붙여 표시한다(예: DIN 18516-3) [22].

분류체계와 달리 내용체계는 독일을 제외한 모든 국가들의 시방서가 거의 유사하다. “일반사항(general)”, “자재(product)”, “시공(execution)”으로 구성되어 있는데, 뉴질랜드의 내용체계에는 앞의 3가지 이외에 “선별(selections)”을 추가로 포함한다. 독일은 다른 국가 시방서의 “일반사항”에서 해당하는 내용을 독일 건설계약표준약관(VOB)의 C편 건설계약기술시방서(ATV, Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen)에서 규정하고 공종별 DIN에서 관련 내용을 발췌, 수정해 포함한다.

국외 시방서 내용 중 주목할 만한 것은, 성능 시방의 활용이 보편적이며, 계약사항에 따라 자격이 있는 전문가의 검토를 거쳐 성능 기준을 반영하도록 “Performance/Design Criteria” 항목을 별도로 두어 규정하고 있다는 사실이다. 성능 요구요건은 주로 “일반사항”에서 기술하며 성능을 확인하는 내용도 포함한다[17].

2) 국외 흙다짐 공법 관련 시방서

본 연구에서 분석한 미국, 영국, 호주, 독일의 흙다짐 건축시방서는 앞서 검토한 시방서 구성 및 내용 체계를 따른 것과 그렇지 않은 것이 혼재한다. 흙건축 전문업체(미국의 SIREWALL[6], 호주의 Earth Structures(이하 호주a)[8], Rammed Earth Enterprises(이하 호주b)[9], 독일의 Claytec[10])의 자체 시방서이거나, 흙건축 전문가가 작성한 기술지침(영국의 「Rammed earth: design and

construction guidelines」[7])으로, 해당 국가들에서 전문가 집단이 작성한 시방서를 표준 또는 전문시방서로 활용하는 것을 감안하여 그 내용을 중심으로 참고했다. 한편, 사전제작 흙다짐 공법을 다른 시방서는 찾아볼 수 없었다.

“일반사항”의 내용은, 일반적인 시방서 형식을 취하고 있는 미국, 영국, 호주a 모두 공사 범위, 제출서류를 포함하며, 흙다짐 벽체의 성능 기준을 제시하거나 인증된 시험을 실시하여 품질, 즉 성능을 확인할 것을 명시한다. 호주의 두 시방서가 서로 다른 전문기관에서 발행한 규범(HB 195, CSIRO Bulletin 5)을 참고하고 있는 것이 두드러진다. 흙다짐 공법 관련 규범이 없는 미국과 영국[12]의 시방서는 콘크리트용 시험법을 적용하도록 했고, 독일은 흙건축법(Lehmbau Regeln)을 참고하도록 했다.

“자재/제품” 내용에서, 미국, 영국, 호주a는 시험을 통해 다짐용 건축토의 물성(입도분포, 압축강도, 용적밀도, 함수량, 건조수축도 등)을 확인하도록 했고, 독일은 흙건축법에서 규정한 건축토의 구체적인 사양을 제시한 후 확인 시험에 대한 언급이 없는 것이 다르다. 또한 미국과 호주a의 시방서는 시멘트를 결합재로 섞는 것을 전제하며, 화학 발수제도 추가한다. 다짐 시 단열재를 함께 시공하도록 사양과 방법을 설명한 점도 공통적이다. 독일 시방서에서 최종 결과물의 색상, 무늬, 질감에 합의하는 목적으로 공사 개시 전에 견본 벽체

를 만들 것을 권장하는 점이 눈에 띈다.

“시공”¹⁾ 내용 중, 물과 가역 반응하는 흙의 특성 때문에 특히 중요한 벽체 하부 차수층 구성을 모든 시방서에서 다루었는데, 호주a 외에는 모두 화학 방수제를 사용하도록 했으나, 지면과 외부에서 미치는 물에 대한 내용은 영국과 호주a에서만 볼 수 있다. 흙벽의 횡력 저항을 돕는 테두리보·상부재는 영국과 독일에서만 언급했고, 개구부 위 인방을 호주b만 다룬 것은 예외적이다. 게다가 미국과 호주a는 철근 배근을 기본 전제로 여기는 반면 독일은 지오그리드를 매입하는 방식으로 다르게 접근했다. 한편, 흙다짐 시공에서 필수인 형틀에 대해서는 영국만 비교적 상세하게 기술했고, 독일은 형틀이 견뎌야 하는 내부 표면압력을 명시했다. 모든 시방서에서 형틀 해체 후 흙다짐벽의 표면 처리를 다뤘는데, 영국은 기계적 결합에 대한 구체적인 기준을 명기했고, 호주a, 호주b는 표면 방수용 피복을 강조했다. 독일 시방서는 다짐벽의 최종 표면을 흙다짐 노출, 흙다짐 위 흙미장, 흙다짐 위 색상·무늬·질감 표현 등으로 매우 세분해서 기술했다. 독일 시방서에서만 유일하게 흙다짐 바닥을 다루었으며, 호주b만 지붕 설치를 위한 보강을 언급했다. 호주b만 흙다짐 벽체의 내화 등급과 에너지등급을 다루는 것 또한 특징적이다. 흙다짐벽은 기본적으로 벽체의 성능을 중심으로 기술하고 있으나 호주a와 호주b는 벽체의 두께를 명시했다.

Table 2. Rammed earth work specifications from different countries

	USA SIREWALL[6]	UK 「Rammed earth: design and construction guidelines」[7]	Australia(a) Earth Structures[8]	Australia(b) Rammed Earth Enterprises[9]	Germany Claytec[10]
1. General	<ul style="list-style-type: none"> Section includes References Submittals for review Submittals for information Quality assurance* 	<ul style="list-style-type: none"> Scope Submissions Tests* Notice to inspect 	<ul style="list-style-type: none"> Scope References Related Work Quality Assurance* Submissions Laboratory testing of materials* 	<ul style="list-style-type: none"> References 	<ul style="list-style-type: none"> Norms and rules
2. Material /Product	<ul style="list-style-type: none"> Rammed earth materials Rammed earth mix* Admixtures Insulation Accessories Formwork 	<ul style="list-style-type: none"> In-situ rammed earth mix and supply* Testing and certification of materials 	<ul style="list-style-type: none"> Materials* 		<ul style="list-style-type: none"> Material* Sample wall
3. Execution	<ul style="list-style-type: none"> Examination Preparation Placing rammed earth Curing and protection Field quality control Patching Defective rammed earth 	<ul style="list-style-type: none"> Formwork Placement and compaction Movement joints in rammed earth Drying and protection Worked finishes in rammed earth Fixings, fittings and embedded items in rammed earth Completion and maintenance 	<ul style="list-style-type: none"> Examination Damp proof course Formwork Stabiliser pins Vertical steel reinforcing Insulation Placement and finish Construction joints Chamfers Construction tolerance Electrical services Anchors and fixing Sealing(coating) Protection Cleaning Completion 	<ul style="list-style-type: none"> Wall thicknesses Structural steel General details Openings Control/Articulation joints Corner chamfer details Electrical and plumbing Roof tie-down system Fixing details Permeability Fire rating Energy efficiency, Thermal insulation/thermal bridging 	<ul style="list-style-type: none"> Moisture barrier Revealed/plastered wall Lordbearing/non-lordbearing wall Color and pattern Openings Lateral support Reinforcing(geogrid) Doors & windows Anchors and fixture Surface finish Services Waterproof finish Weather protection Historical repair Rammed earth floors

* performance related sub-sections

4. 흙다짐 공법의 건설공정

4.1. 현장시공(in-situ) 흙다짐 공사

현대 흙건축에서 흙다짐벽을 공사할 때는 전문 생산자가 유기물 함량, 입도분포, 건조밀도, 함수량 등을 조절해 개량한 일관된 품질의 건축토를 사용한다. 여전히 건축 부지 인근의 흙을 쓰는 사례도 있으나, 본 연구에서는 현대적 공법을 중심으로 다루었다.

1) 준비

본격적인 흙다짐 벽체 시공 전에 건물의 기초를 설치하고 차수층을 시공한 후 흙재료에 물과 첨가물을 다음과 같이 섞는다:

- 건축물 기초: 건축 부지를 정리(整地)한 후 철근콘크리트(RC)로 줄기초 또는 온통기초를 설치함. 기초 또는 바닥 슬래브의 윗면이 주변의 지표면 또는 포장 등 최종 마감면보다 높도록 함
- 차수층: 기초 위에 흙다짐 벽이 위치할 곳을 따라 벽체 두께보다 넓게 방수재를 시공하여 기초를 타고 젖어오르는(모세관 흡수) 수분을 차단하는 층을 형성함. 사용하는 방수재의 유형과 무관하게 차수층이 뚫어지거나 이음부가 벌어지지 않도록 함
- 재료 배합: 운송된 흙자재에 결합재, (필요 시) 섬유골재, (필요 시) 안료, 물을 섞음. 결합재의 함량은 건축물과 벽체의 역할에 따라 목표하는 최종 압축강도를 낼 수 있는 양을 미리 계산해서 현장에서는 정량을 투입. 흙자재의 응집성과 벽면 내구성을 증대하고자 추가하는 섬유질의 골재도 적정량을 배합. 안료 역시 의도하는 최종 색상을 낼 수 있는 안료의 종류와 배합비를 사전에 확인한 후 현장에서 혼합하나, 무작위 다양성을 표현하고자 의도적으로 현장에서 임의로 섞기도 함. 모든 재료를 혼합한 흙 배합물이 최적 밀도를 낼 수 있는 적정 함수량을 정량 투입하되, 배합물을 덩어리로 뭉쳐서 떨어뜨리는 현장 간이 낙하시험 등을 통해 육안으로도 확인함. 모든 재료를 균일하게 혼합하는 것이 중요하며, 장비 용량과 다짐 작업 진행 속도를 고려해 당해 작업일에 소진할 분량만큼 배합함



Fig. 2. Execution procedure of in-situ rammed earth wall

2) 형틀 설치

흙다짐벽의 전체 외관을 결정하는 형틀을 세우고 (필요한 경우) 철근을 배근하는 단계로, 단열재와 흙다짐벽의 세부요소(개구부, 모서리, 줄눈, 배관·배선용 관로 및 관통로 등)를 형성하는 각종 삽입물을 형틀 안에 다음과 같이 매입한다:

- 형틀 설치: 지정 치수에 맞고 수직·수평이 정확하며, 다지는 과정의 압력을 견디도록 지지대와 철물을 적절하게 사용하여 충분히 견고하게 설치하는 것이 가장 중요. RC기초와 연결하여 수직철근, (필요 시) 수평철근을 배근하는데, 충분한 피복두께를 확보해야 함. 형틀의 한쪽 면을 전체 높이로 먼저 설치하고 나머지는 맨 하단부터 순차적으로 다짐 작업 진행과 함께 설치함. 각 형틀 간 연결부위에서 단차가 생기지 않도록 최대한 완만한 다짐면과 밀착시킴. 형틀 해체 시 흙벽 표면이 떨어져 나가지 않도록 형틀 안쪽 표면에 박리제(剝離劑)를 도포함
- 삽입물 매입: 단열재를 한쪽 벽면에 밀착하거나 가운데에 삽입하며, 설계도면에 포함된 인방 등 기타 구조 요소, 창호, 전기·설비용 관로, 각종 매설물의 치수와 위치를 확인하여 관련 삽입물을 형틀 안에 견고하게 고정함. 정교한 모서리 또는 모서리 빗면 처리, 시공줄눈, 신축줄눈을 위해 매입하는 면목 또는 각재 역시 치수, 위치, 수량을 확인하고 흙을 다지는 동안 위치를 이탈하지 않도록 고정함

3) 흙다짐

흙재료를 일정 높이씩 투입하면서 다지고, 형틀 측판을 추가로 부착하고, 또 흙을 넣고 다지는 과정을 다음과 같이 반복한다:

- 흙재료 투입: 흙재료를 150~200mm 높이로 형틀 안에 느슨하게 투입함. 7°C 이하거나 흙 표면에 얼음(서리, 눈)이 덮혀 녹지 않는 상태에서는 다짐 작업을 하지 않아야 함
- 다지기: 성기게 부어 넣은 흙재료를 목표한 건조밀도에 이를 때까지, 즉 높이가 약 2/3로 줄어들 때까지 수동 다짐대 또는 동력 압축기로 두드림. 형틀이 블록해지거나 흙재료가 누출되지 않는지 계속 살펴야 함. 개구부, 삽입물, 형틀 접합부, 안쪽 모서리 주변을 특별히 세심하게 다져야 하며, 다지는 동안 삽입물들이 제자리를 이탈하지 않도록 유의함. 고르게 다지는 것이 중요. 공사 중에도 일정한 시간과 벽체 물량을 기준으로 시험을 수행하여 최종 벽체의 목표 성능을 점검함

4) 양생 및 마감

현대의 흙다짐벽은 추가 마감 없이 노출하는 경우가 대부분이기 때문에 다음과 같이 공사 후의 양생 및 보양이 매우 중요하다:

- 습윤 양생: 일정한 온도에서 수분 손실을 최소화하며 양생
- 형틀 해체: 벽체를 손상시키지 않고 안전하게 해체 완료
- 보양: 강우·수분 유입 또는 외부 충격으로 인한 피해가 없도록 덮개와 (가설)지붕을 씌운 채로 목표 강도에 근접할 때까지 보양 및 존치함. 이후 취약 부위에 빗물막이, 물끄기 등 추가 필수
- 표면 마감: 탈형 직후 색상, 질감, 평활도 등을 육안으로 확인하고 결함(요철, 얼룩, 균열 등) 부위를 부분적으로 보수함. 경화 완료 후 표면에 발수제를 정기적으로 도포함

4.2. 사전제작(Precast) 흙다짐 공사

사전제작(PC) 흙다짐벽을 시공할 때도 기본적인 흙다짐 부재를 생산하는 과정은 4.1절의 1~4항과 거의 같다. 본 연구가 다른 바와 같이 실내 마감재로 적용할 때는 기초와 차수층 시공은 하지 않으나 PC 흙다짐 공법을 외벽에 적용할 때는 이 역시 동일하다. 따라서 4.2 절에서는 주로 부재 생산 이후의 공정을 설명했다.

1~4) 흙다짐 부재 사전제작

일체식(monolithic)인 현장시공 흙다짐 공사와 달리, 사전제작 흙다짐은 이동과 설치가 쉽도록 상대적으로 작고 일정한 규격의 단위식(modular) 판재 형태로 생산한다(Table 1, 참고).

5) 저장, 취급, 운송

- 저장: 완성한 부재를 저장할 때는 변형 또는 파손이 발생하지 않도록 관리함. 출하 전에 육안으로 부재의 상태를 확인함
- 취급 및 운송: 완성한 부재를 이전하기 쉽도록 사전제작 마지막 단계에서 운송용 팔레트 위에서 흙다짐 판재를 양생함. 파손 위험을 줄이고자 한 단위마다 각각 하부와 모서리에 보호재를, 부재 간 접촉 부위에 완충재를 끼우고, 가급적 세워서 적재함

6) 조립설치 및 보양

- 시공 및 품질관리 계획: 설치 전에 수립하여 관리자가 승인 완료
- 실내 비내력벽 설치: 바닥면과 접하는 최하단에 좌대 역할을 하는 보조재를 배치하여 전체 벽면의 수평 기준을 잡음. 흙다짐 판재를 제 위치에 배치한 후 L자 철물을 판재 상단면의 함몰부와 후면 바탕 벽면에 각각 볼트로 박아서 수직으로 판재를 고정함. 필요에 따라 측단면을 고정할 수 있음. 같은 방식으로 흙다짐판을 옆쪽으로 연결하고 위쪽으로 쌓으면서 고정하여 바탕 벽면 전체에 덧대어 시공함
- 표면 마감: 사전제작 시 경화가 완료된 상태이므로 실내 설치 후 표면경도를 강화하는 고정제를 전체 흙다짐벽에 도포함

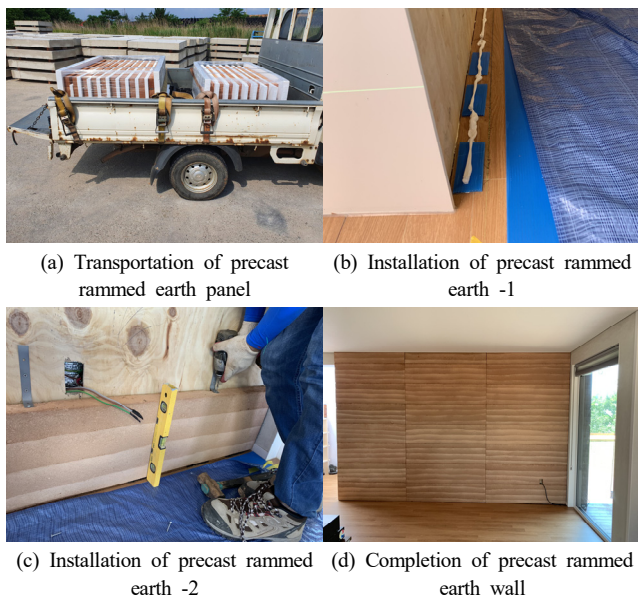


Fig. 3. Execution procedure of precast rammed earth wall

5. 흙다짐 공법의 성능기반 전문시방서

5.1. 흙다짐 공사 전문시방서의 기준체계(prototype) 제안

본 연구는 현대적 흙다짐 공사의 시방서를 국내 기존 건설기준 체계를 바탕으로 구성하여 제안했다(Table 3.). 무엇보다도, 형틀에 재료를 채워 구조체를 형성하고 표면마감을 하지 않는 근본 성격이 노출콘크리트 공사와 일치하므로, 일반 포틀랜드 시멘트 대신 흙재료를 사용하는 것으로 간주하여 콘크리트 공사의 하위 공종으로 상정했다. 그리고, 현장시공 및 사전제작 흙다짐 공사를 각각, 전문시방서 해당 내용으로 시방서의 체계를 구성했다.

따라서, “일반사항” 항목은 표준시방서(일반콘크리트 KCS 14 20 10, 외장용 노출콘크리트 KCS 14 20 60)와 서울시 전문시방서(SMCS 14 20 10)[18]의 공통내용을 발췌하여 따르되, 용어의 상당 부분은 흙건축 내용으로 대체했다. 이 중 전문업체에서 사전에 배합한 콘크리트를 전제로 하는 콘크리트의 성능, 즉 내구성 확보를 위한 물성과 실험실 시험 부분을 서울시 전문시방서의 내구성 평가 원칙(SMCS 14 20 90 05)[18]과 여타 국의 흙건축 관련 규범[11, 12, 23]을 참조하여 현장 배합이 일반적인 흙다짐 공사 해당 내용(건조밀도, 압축강도, 인장강도, 외관, 규격, 표면경도, 내침식성, 내후성(동결융해) 등)으로 대체하여 품질확보 보고서를 작성하는 것으로 성능기반 내용을 갖추도록 했다. 이때, 현장 배합 흙다짐 공사의 내구성과 품질을 확인(Table 3. 중 1.6, 1.7)하는 기준적도인 흙건축 재료 또는 구조체의 인장강도, 외관, 표면경도, 내침식성, 내후성(동결융해)을 검증하는 시험법은 현재 국내 건축자재 표준시험법에는 존재하지 않으므로 호주와 독일의 표준시험법[12]을 준용하도록 했다.

“자재” 항목 안에서 성능과 관련 내용은 다짐용 흙재료에 혼합하는 모든 개별 재료(건축토, 골재, 결합재, 첨가제, 물 등)의 물성(성분, 함유물, 입도분포, 압축강도, 인장강도, 건조수축도 등) 및 사양을 명시(Table 3. 중 2.1)하고, 용도에 따라 이들을 배합하는 비율을 지정(Table 3. 중 2.2)하며, 실험실 및 현장 시험을 통해 성능 기준에 부합하는 것을 확인(Table 3. 중 2.3)하는 것에 집중하여 구성했다. 이때 항목 체계와 일부 시험법을 제외하고는 거의 대부분 내용을 흙재료에 해당하는 것으로 대체해야 했는데, 국내 시방서와 건축 관련 규범에서는 관련된 내용을 찾을 수 없으므로 역시 국의 흙다짐 시방서와 그 내용에서 참조하는 국의 흙다짐 규범, 시험법, 성능기준 등[11, 12, 23]을 준용했다. 특히, 콘크리트와 달리 흙 구조체의 강도 증대에 직접적인 역할을 하는 결합재는 흙건축의 태생적 지속가능성을 훼손하지 않기 위해 독일의 흙건축법에서 규정하는 것과 마찬가지로 호주, 뉴질랜드, 미국 등에서 흔히 사용하는 시멘트 사용을 배제했고, 3.2절에서 언급했던 화학 방수제 또한 같은 사유로 허용하지 않는 것으로 규정했다.

“시공” 항목은 모든 내용을 국외 시방서[6-10]와 실제 흙다짐 공사의 건설공정을 참고하여 구성했다. 국가 또는 업체에 따라 차이가 나는 내용은 국내 전문가들의 자문을 통해 국내 현황에 맞게 발췌 또는 수정했는데, 특히 흙건축에서 필수적인 물과의 관계 및 횡보강과 관련한 내용(기초와 차수층 조성, 방수, 강우 보호, 테두리보 등)을 포함했다. 예를 들면, RC 기초와 흙벽 사이에 조성하는 차수층은 RC 기초의 높이를 지면 위로 충분히 높여서 조성(지면 500mm 이

상)하는 방법과 방수재료 층을 삽입하는 방법을 동시에 적용하도록 했다. 또한 현재 국내 흠다짐 시공에서는 일반적으로 적용하고 있는 얇은 테두리보를 설치하여 흠다짐벽의 횡력 저항을 강화하는 내용, 관행적으로 시공하던 신축줄눈의 설치 간격을 명시적으로 포함시킨 것 등이 그에 해당한다. 이때, 특히 성능을 점검하는 시점, 빈도, 판정기준을 명시하는 것이 중요한 공사 중의 “현장 품질관리”(Table 3. 중 3.18)는 국내외의 콘크리트 공사 현장 품질관리 형식에 준해서 적용하되 시험법과 성능 기준은 역시 현장 배합 흠다짐에 해당하는 내용을 준용했다. 공사 완료 후 품질 확보(Table 3. 중 3.19) 또한 마찬가지로, 산업건축으로서 요구되는 형식에 준하되 내용은 흠다짐 해당 내용으로 대체했다.

한편, 국외 시방서는 국내 표준 또는 전문시방서와 기본적인 항목을 구분하는 내용 체계는 대체로 유사하나 하위 분류 및 세부 내용을 제시하는 방식이 동일하지 않아서 시방서 구성 과정에서 국내 기준에 맞춰 발췌, 편집했다.

Table 3. A prototype technical specifications of rammed earth work referring to domestic and foreign specifications

Sections	Rammed earth work	Reference
General	1.1 Scope	Ⓚ ₁ 1.1
	1.2 References	Ⓚ ₁ 1.2
	1.3 Terminology	Ⓚ ₁ 1.3
	1.4 General requirements	Ⓚ ₁ 1.4
	1.5 Submittals	Ⓚ ₁ , Ⓞ ₁ , 1.5
	1.6 <i>Durability requirements*</i>	Ⓚ ₁ 1.7~1.9, USA, UK, Au(a), [12]
	1.7 <i>Quality assurance*</i>	USA, Au(a)
Products	2.1 <i>Material requirements*</i>	Ⓚ ₁ 2.1~2.4, [11], [12]
	2.2 <i>Mixing*</i>	USA, Au(a), [12]
	2.3 <i>Tests and certifications*</i>	USA, UK, Au(a), [12]
	2.4 Formwork	
Execution	3.1 General requirements	USA, Au(a)
	3.2 Footing & foundation	
	3.3 Moisture barrier & protection	USA, UK, Au(a), G
	3.4 Formwork	UK, Au(a), G
	3.5 Mixing	UK
	3.6 Reinforcement	Au(a), Au(b)
	3.7. Lateral support	UK, G
	3.8 Placement & Compaction	USA, UK, Au(a)
	3.9 Joints	UK, Au(a), Au(b), G
	3.10 Openings: lintels	Au(b), G
	3.11 Services	Au(a), Au(b), G
	3.12 Details	UK, Au(a), Au(b)
	3.13 Curing & (weather) protection	USA, UK, Au(a), G
	3.14 Surface finish	USA, UK, Au(a), G
	3.15 Storage**	Ⓚ _p 3.3, Ⓞ _p 3.3
	3.16 Transportation**	Ⓚ _p 3.2, Ⓞ _p 3.2
	3.17 Installation**	Ⓚ _p 3.4, Ⓞ _p 3.4
	3.18 <i>Execution quality control and tests*</i>	Ⓚ ₁ 3.5, USA 3.5, [12]
	3.19 <i>Performance quality certification*</i>	Ⓚ ₁ 3.5.5, Au(b), [12]
3.20 Equipment	Ⓚ ₁ 3.9	

* performance related sub-sections

** precast rammed earth work only

Ⓚ₁: KCS 14 20 10, Ⓚ₂: KCS 14 20 60; Ⓞ₁: SMCS 14 20 10

Ⓚ_p: KCS 14 20 52; Ⓞ_p: SMCS 14 20 52

USA, UK, Au(a), Au(b), G: specifications in Table 2.

5.2. 검증

본 연구에서 제안하는 전문시방서 기준체계는 전문가들의 자문을 받음으로써 연구결과의 신뢰도를 높이는 과정을 거쳤다. 흠다짐 관련 전문가 총 3명에게 자문을 요청했으며, 심층면담 형식으로 각 자문 건마다 약 2시간에 걸쳐 전문시방서 초안에 대해 집중적인 검토를 수행했다. 자문에 참여한 흠다짐 관련 전문가는 흠다짐 전문 시공자인 건축공학 박사 1인, 흠다짐 판재를 포함한 흠다짐 생산업체의 기술연구소에서 근무하는 건축공학 박사 1인, 흠다짐 전문 건축공학 박사인 대학교원 1인이다.

흠다짐 공사 전문시방서 기준체계에 내용에 반영한 자문 의견으로는 현장시공 흠다짐벽의 배근 설계, 흠다짐벽의 표면 품질 확보를 위해 추가하는 보조 자재의 설치 위치, 동결 우려 작업온도, 탈형 전 존치 기간, 사전제작 흠다짐 부재의 양생 시 존치 방식 등이 있다. 그 중에서도 현대 흠다짐 공사에서는 수직 배근이 필수적이며, 공사수행 적합 기온을 물이 어는 온도인 0°C를 기준으로 판단하는 일반 콘크리트 공사와 달리 7°C를 기준으로 판단한다는 점, 사전제작 흠다짐 판재를 완성 후 운반 및 이동을 고려하여 처음부터 받침판(pallette) 위에서 시공한다는 점이 특징적이라고 할 수 있다.

5.3. 소결 및 연구의 한계

여러차례 언급했듯이, 현행 국내 건축 법규 및 규범에는 현대 흠다짐과 관련해서 참고할 수 있는 기술적 규정이 전무하다. 근본 성격이 비슷한 콘크리트 공사에 적용하는 입도 선별, 압축강도, 건조밀도 등의 표준시험 일부를 차용할 수 있으나, 흠다짐 전문가들 또한 그 외 재료의 물성, 흠다짐 구조체의 품질은 흠다짐에 적합한 고유의 시험방법과 판정 기준이 있어야만 시방서를 온전하게 구성할 수 있다고 입을 모았다. 따라서 본 연구에서는 Lee & Kwon(2022)[12]이 연구했던 이미 흠다짐 법규 및 규범을 제정하여 시행하고 있는 국가들의 흠다짐 표준시험을 준용하여 전문시방서의 기준체계를 구성할 수밖에 없는 한계를 가진다.

이는 공사 중과 후의 품질 관리 및 확인 시험에서도 되풀이된다. 표준시험법의 부재와 별개로, 흠다짐벽의 품질 시험 시점, 빈도, 판정기준은 콘크리트 공사 현장 품질관리 형식에 준해서 수행할 수 있으나, 경화 과정에서 일어나는 화학반응의 양상과 속도가 다르고 초기강도가 발현되는 재령일수가 동일하지 않은 사전배합 콘크리트와 현장배합 흠다짐을 같은 빈도로 시험하고 같은 시점에 판정하는 것은 합당하지 않다. 따라서 공사 중과 후의 품질관리를 위해 흠다짐벽에 적용할 수 있는 국내 기준을 수립하는 것이 반드시 필요하다.

한편, Table 3.의 3.15~17은 사전제작 흠다짐 공법에만 적용되는 것으로, 현장시공 흠다짐공사의 전문시방서에는 포함하지 않는다. 사전제작 흠다짐은 내력벽 여부에 따라 현장 조립·설치 방법을 다르게 해야 하므로 기준 시공법을 정립하여 “시공” 세부 항목 내용을 더 보완해야 할 필요가 있다.

6. 결론

본 연구는 여러 현대 흙건축 공법 중 흙다짐 공법에 대하여 전문시방서(technical specifications)의 원형(原型, prototype)을 구성하여 제안했다. 이는 다음과 같은 의미를 가진다.

첫째, 관행적으로 시행하던 흙다짐 공사의 품질을 향상하고 표준화하는 방향을 제시했다. 기존에 국내에서 작성된 바 없는 현대 흙다짐 공사용 전문시방서의 기준체계로서, 현대 흙건축 기술의 산업화, 표준화를 완성하기 위해 추진해야 하는 다음 단계의 조치이다. 5.3.에서 기술했듯이 선결해야 하는 과제가 남아있는 기준체계이나 현행법에서 요구하는 건설기준의 구성 및 내용 체계를 따랐고, 객관적 판정이 가능한 수법을 사용하여 미리 정한 기준에 적합한지를 판단하는 성능 기반 검증을 포함하므로, 개별 흙다짐 공사의 공사시방서 작성 시 가이드시방서로 활용할 수 있다.

둘째, 이미 산업화된 흙건축 기술의 규범화를 추진하는 출발점에 해당한다. 현대 흙건축은 Table 1.에서 볼 수 있는 공법들 이상으로 변화와 발전을 이어가고 있는데 특히 우리 사회에서는 이를 제도적으로 뒷받침하지 못 해왔다. 흙다짐 공사 전문시방서를 시작으로 그 외의 모든 현대 흙건축 기술에 대해 건설기준을 마련하는 일련의 작업을 이어갈 것인데, 우선 시공법과 생산 과정이 정립된 흙건축 기술과 자재를 중심으로 전문시방서 작성을 축적하면 흙건축 기술 전반에 대한 기술지침서를 수립할 수 있다. 전문가 집단이 주도하는 국외 시방서 사례에서 볼 수 있듯이 이는 결국 흙건축 기술 전반의 규범화로 이어진다.

셋째, 국내 흙건축 분야의 현실적 과제를 구체적으로 드러내는 계기를 제공한다. 국내에서 흙다짐 공사 시 여전히 현장에서 재료를 배합한다는 사실은 시장 규모가 전문 생산업체에서 대량으로 배합을 완료한 상태로 현장에 공급되는 콘크리트와 비교할 수 없는 것이 가장 근본적인 이유이나, 거꾸로 생각하면 건축도를 사전배합하여 공급하는 생산 체제 및 그에 대한 품질관리 기준이 미흡하기 때문에 흙다짐 건축물의 확대가 제한적이라는 것을 반증하기도 한다. 특히 앞서 기술했던 흙다짐 공법에서 출발하여 대량생산에 적합하도록 개량된 흙타설 공법은 시공 방식, 용도, 내구성 측면에서 일반콘크리트 공사와 호환될 수 있는 부분이 상당함에도 불구하고 여전히 적용 범위가 제한적인 것으로 미루어 산업적 건축에서 기술의 표준화 못지않게 생산 체제의 전환 및 개선이 중요하다는 사실을 알 수 있다.

Acknowledgement

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2022R1H1A2092828).

본 연구는 한국생태환경건축학회의 23년도 연구자지원사업의 지원을 받아 수행한 연구임.

References

[1] 이은주, 전문가, 이용자 관점에서 실증적으로 고찰한 현대 흙건축의 실현 가능한 지속성, KIEAE Journal, 제21권 제6호, 2021.12,

pp.121-130. // (E.J. 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] E. Hamard et al., Cob, a vernacular earth construction process in the context of modern sustainable building, Building and Environment, 106, 2016.09, pp.103-119.

[3] P. Melia et al., Environmental impacts of natural and conventional building materials: A case study on earth plasters, Journal of Cleaner Production, 80, 2014.10, pp.179-186.

[4] B.V.V. Reddy, P.P. Kumar, Embodied energy in cement stabilised rammed earth walls, Energy and Buildings, 42(3), 2010.03, pp.380-385.

[5] 이준호, 조동현, 구교진, 커튼월 공사의 성능·사양 연계 시방서 프로토타입, 한국건축시공학회지, 제14권 제5호, 2014.10, pp.433-442. // (J.H. Lee, D.H. Cho, K.J. Koo, Hybrid prototype of performance and prescriptive specifications in curtain wall construction, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 14(5), 2014.10, pp.433-442.)

[6] SIREWALL, Rammed earth specifications, <https://sirewall.com/>, 2024.05.01.

[7] P. Walker et al., Rammed earth: Design and construction guidelines, UK: BREPress, 2005.

[8] Earth Structures, Specifications, <https://www.earthstructuresgroup.com.au/>, 2024.05.01.

[9] Rammed Earth Enterprises, Technical information, <https://www.rammedearthenterprises.com.au/>, 2024.05.01.

[10] ClayTec, Ausschreibungstexten, <https://ausschreiben.de/catalog/claytec/catalogItem/b94edee9-916e-4ee2-a558-2b9e9dd14126?integrationKey=47e9f6d4-016c-4f64-82b6-51ec5f372279>, 2024.05.01.

[11] Horst Schroeder, 흙건축: 흙으로 하는 생태적 계획 및 건설, (이은주 역), 한국: 도서출판 씨아이알, 2021. // (H. Schroeder, Sustainable building with earth, (Translation by E.J. Lee), Korea: CIR Press, 2021.)

[12] 이은주, 권오진, 산업화된 현대 흙건축 자재를 위한 표준시험법 고찰 및 제안, KIEAE Journal, 제22권 제6호, 2022.12, pp.91-102. // (E.J. Lee, O.J. Kwon, Suggestion of standardized test methods for industrially manufactured earth building material, KIEAE Journal, 22(6), 2022.12, pp.91-102.)

[13] NK'MIP Desert Cultural Centre, Official website, <https://www.nkmpdesert.com/>, 2024.05.01.

[14] Lehm Ton Erde, Martin Rauch, Lehmsauna Bad-Schinznach, <https://www.lehmtonerde.at/de/projekte>, 2024.05.01.

[15] Ministry of Government Legislation, Korean law information center, <https://law.go.kr/>, 2024.05.01.

[16] 구재동, 김태송, 표준전문공사시방서의 작성방법 개선방안에 관한 연구, 한국건설관리학회논문집, 제1권 제3호, 2000.09, pp.81-88. // (J.D. Koo, T.S. Kim, A study for development of writing national standard specifications, owner's standard specifications and project standard specifications, Korea Journal of Construction Engineering and Management, 1(3), 2000.09, pp.81-88.)

[17] 이두환 외 3인, 국내 소규모 건축물의 하자 예방을 위한 시방서 개발방향에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제37권 제4호, 2021.04, pp.241-252. // (D.H. Lee et al., A study on the development of small-sized building specification for defect prevention in Korea, Journal of the Architectural Institute of Korea, 37(4), 2021.04, pp.241-252.)

[18] Korea Construction Standards Center, Official website, <https://www.kcs.c.re.kr/>, 2024.05.01.

[19] CPIC, Official website, <https://www.cpic.org.uk/>, 2024.05.01.

[20] NATSPEC, Official website, <https://www.natspec.com.au/>, 2024.05.01.

[21] Masterspec, Write construction specifications online, <https://masterspec.com.au/>, 2024.05.01.

[22] DIN, Deutsches Institut für Normung, <https://www.din.de/en>, 2024.05.01

[23] 이은주, 현대 흙건축 기술의 국내 규범화를 위한 제도적으로 수용된 산업적 현대 흙건축 기술의 비교 고찰, 대한건축학회논문집, 제39권 제11호, 2023.11, pp.27-38. // (E.J. Lee, Comparative analysis of legitimate contemporary earth building technology under the industrial system, considering Korean context, Journal of the Architectural Institute of Korea, 39(11), 2023.11, pp.27-38.)

1) 흙건축 시공 관련 기술 사항을 구조적으로 검토하기 위해 Lee(2023)[23]가 분류했던 현대 흙건축의 주요 기술 유형을 기준으로 분석함.