
Global Report

지속 가능한 건축재료의 핵심지표 식별

1. 개요
2. 소개
3. 방법론
4. 결과 및 검토
5. 요약 및 결론

1. 개요

이번 연구에서는 지속 가능한 건설 재료를 측정하기 위한 핵심 지표들을 식별코자 한다. 연구에 사용된 방식은 분석용 데이터를 생성하기 위해 5점 리커트 척도방식을 적용한 설문지로 조사하는 것이었다. 지속 가능한 건설 재료에 대한 연구는 환경적, 사회적, 경제적인 이점으로 인하여 점차 증가하고 있다. 분석용 데이터를 만들기 위해 본 연구에서는 5점 리커트 척도기법을 적용한 설문지를 활용하였다. 이를 위해 문헌에서 확인된 3가지 측면(환경, 사회, 경제)의 25개 지표를 체계화한 설문지를 응답자들에게 제시하였고, 응답은 SPSS(the Statistical Package for Social Sciences)를 이용하여 수집 및 분석하였다. 본 논문에서는 지속 가능한 건설 재료를 측정하는데 세 가지 환경적 지표(즉 인체에 독성 여부, 기후 변화 및 고품폐기물)가 있다는 것을 확인하였다. 또한 적응성, 열적 쾌적성과 모두를 위한 주택 공급성이 지속 가능한 건설 재료를 위한 네 가지 핵심 사회적 지표인 것으로 확인하였다. 한편 유지비, 운영비, 초기비용, 장기적 절감 비용 및 수명이 지속 가능한 건설 재료를 측정하기 위한 다섯 가지 핵심 경제적 지표인 것으로 확인하였다. 결론적으로 이 논문에서는 이 12가지 지표가 지속 가능한 건설 재료를 측정하려고 하는 향후 연구에서 고려되어야 할 지표로 제시하고 있다.

2. 소개

건설 재료의 선택은 모든 건축물에 광범위한 경제적, 환경적, 사회적 영향을 미친다. 대부분의 건축물의 총 비용은 사용되는 재료의 유형에 따라 크게 달라진다. 모든 건축물의 에너지 소비는 건축에 사용되는 재료 및 건축설계와 상당한 관계를 가지고 있다. 일부 건물의 적응성(adaptability)은 그 사회적 특성에 따라 사용되는 재료의 유형과 관련이 있는 경우가 있다. 따라서 이러한 상황은 건설 재료를 지속 가능한 발전의 중요한 요소로 만들게 된다. 본문 참고문서 [1]에서 Ness 등의 주장에 따르면 지속 가능한 개발은 최근 몇 년 동안 사회의 많은 측면에 통합되었다고 한다. 이러한 것이 지속 가능한 개발의 개념을 전 세계적으로 많은 산업의 중요한 측면으로 만들어 온 것이다. 본문 참고문서 [3]에서 Mailler의 주장에 따르면 지속 가능성은 환경적, 사회적 및 경제적 요인이 상호 연관되어있는 통합된 개념이라고 한다. 지속 가능한 개발은 거의 모든 연구 및 산업 분야에 적용할 수 있는 하나의 개념이다.

건설 부문에서 지속 가능성은 사회적 적응성과 결합된 거대한 자본의 투입과 환경적 요인으로 인해 큰 관심을 받고 있다. 건축물 건설에 적용되는 건설 재료와 방법은 건설 부문의 지속 가능한 개발 이슈에 큰 영향을 미친다. 지속 가능한 건축물은 이용 가능한 천연자원을 활용하는가와 친환경적인 재료의 선택에 달려있다. 본문 참고문서 [4]에서 Buildabroad의 연구결과에 의하면 환경에 해롭지 않고 건물의 에너지 효율성을 향상시킬 수 있도록 설계되는 재료의 새로운 혁신과 소싱(sourcing)으로 지속 가능한 건설 재료의 이용 가능성은 증가하고 있다고 한다. 지속 가능한 건설 재료란 비용 효과적이고 사회적으로 수용되며 현재와 미래에 제조 및 건축물 건설 과정에서 환경에 부정적인 영향을 줄이는 재료를 말한다. 본문 참고문서 [5]에서 Peach는 지속 가능한 건설 재료에는 양모 벽돌(wool bricks), 태양에너지 지붕 타일(solar tiles), 지속 가능한 콘크리트, 종이 단열재 및 삼중 유리창 등이 포함된다고 언급하였다. 저소득 지역사회에서 흙을 다져 만드는 재료, 흙 다짐 압축 블록 및 흙 블록과 같이 흙을 기반으로 한 기술제품은 일반적으로 지속 가능한 건설 재료로 이용된다.

많은 연구자료(본문 참고문서 6-11 참조)를 통해 흙을 기반으로 한 지속 가능한 건설 재료에 관한 문헌들을 검토하였다. 본문 참고문서 [6]에서 Dano 등은 압축강도, 흡수율 및 휨강도 등과 같은 매개변수를 사용하여 흙 블록 또는 벽돌의 기술적 성능에 대한 안정화제(섬유질 재료 및 바인더)의 영향에 관한 기존 출간된 연구 내용을 검토하였다. 본문 참고문서 [7]에서 Delgado와 Guerrero도 스페인에서 흙을 기반으로 한 건축재료의 사용 현황을 검토하였다. 그들은 다짐 흙 블록에 대한 기존 제조업체, 수행

된 최신 프로젝트 및 연구기관 등을 제시하였으며 또한 국가적 참고 문서로서의 역할을 할 수도 있는 한 쌍의 비규제 지침서도 조사하였다. 본문 참고문서 [8]에서 Hejazi 등은 흙 보강용으로 다양한 종류의 천연 섬유 또는 합성 섬유를 사용하는데 따른 문제점, 이점 및 히스토리와 사용처 등을 검토하였다. 본문 참고문서 [10]에서 Maniatidis 및 Walker는 법규, 재료, 구조 설계, 시공, 품질관리, 기초 및 유지관리 등을 고려하여 흙을 다져 재료를 이용하는 공사에 대해 검토하였다. 본문 참고문서 [11]에서 Pacheco -Torgal 및 Jalali도 과거와 현재에 관한 개요를 포함하여 흙을 이용한 공사와 관련한 여러 가지 환경적 장점들을 검토하였다. 그들은 또한 경제적 문제, 재생 불가능한 자원의 소비, 폐기물 생성, 에너지 소비, 이산화탄소 배출 및 실내 공기의 질에 대한 검토도 실시하였다.

지속 가능한 건설 재료 생산에 폐기물을 사용하는 것은 지난 10년 동안 많은 연구 관심을 불러일으키고 있다. 많은 연구에서 콘크리트 또는 블록 제조에 폐기물을 섞어 생산하는 지속 가능한 건설 재료의 특성들을 조사해왔다. 본문 표 1에서는 이러한 연구의 일부와 지속 가능한 건설 재료의 일부를 간략하게 보여주고 있다.

일부 연구에서 종이, 플라스틱 및 천연 섬유와 같은 폐기물을 사용하여 지속 가능한 콘크리트의 특성을 조사하였던 본문 표 1을 볼 수 있다. 흙을 기반으로 한 건설 재료는 오히려 많은 양의 연구결과를 발견할 수 있었다. 흙을 다져 이용하는 건축재료의 특성을 연구한 것도 많았지만 천연 섬유, 톱밥, 페타이어 고무, 플라스틱 및 동물의 털을 섬유로 활용하는 것과 같은 다양한 폐기물 재료를 가지고 만든 흙 블록과 흙 벽돌에 대한 대규모의 조사결과도 있었다. 이러한 모든 연구자료는 지속 가능한 건설 재료에 관한 문헌에 도움이 되는 것이다.

지속 가능한 건설 재료에 대한 지표를 식별하고 측정하는 것은 지속 가능한 발전의 맥락에서 건설 재료 연구를 자리잡게 하는 것과 관련이 있다. 본문 참고문서 [2]에서 Danso는 지속 가능한 건설 재료를 측정하기 위한 일반적이고 관련이 있는 지표들을 검토하였다. 그러나 건설 재료와 관련하여 가장 중요한 지속 가능한 지표에 관한 정보는 부족한 실정이었다. 따라서 본 연구에서는 지속 가능한 건설 재료를 측정하기 위한 핵심 지표들을 식별하고자 한다.

3. 방법론

이번 연구에 사용된 디자인은 분석용 데이터를 생성하기 위해 설문지에 의존하는 설문조사 방식의 것이었다. 설문지는 건축재료 분야의 전문가 3명을 대상으로 사전 테스트를 한 다음 보다 효율적인 도구를 얻기 위해 수정작업을 하여 작성하였다. 5점 리커트 척도 기법이 지속 가능한 건설 재료에 대한 핵심 지표를 측정하는데 사용되었다. 리커트 척도는 중요하지 않음(1)에서 매우 중요함(5)에 이르는 5개 항목으로 구성되어 있다. 환경적인 것, 사회적인 것 그리고 경제적인 것 등 세 개의 주요 측면이 있다. 환경적 측면은 11개의 지표로 이루어져 있고 사회적 측면은 8개의 지표가 있으며 그리고 경제적 측면에는 6개의 지표가 있어 총 25개의 지표가 존재한다. 이들 지표는 이전 연구(본문 참고문서[2] 참조)에서 채택되었는데 그 연구에서는 지속 가능한 건설 재료를 측정하기 위해 일반적이고 관련이 있는 지표들을 검토하였다. 다양한 측면의 지표들이 본문 그림 1에 표시되어 있는데 이 그림에는 건설 재료의 지속 가능성 평가에 대한 계층도가 표시되어 있다. 또한 설문지에서는 응답자에게 중요하다고 생각하는 지표가 있으면 추가하고 제안도 할 수 있도록 하고 있다. 연구 대상자는 건설 및 건축재료 분야에서 연구 및 출간 경험이 있는 건설업계 전문가 및 학자들이었다. 데이터 수집을 위해 전문가를 선택하기 위해 목적표집 기법(purposive sampling technique)이 채택되었다. 전문가들은 그들의 간행물(기사, 서적 및 보고서)와 그들의 이메일 주소를 통해 알게 되었다. 설문지는 Adobe Acrobat Professional version 11로 작성되었으므로 응답자들에게 첨부파일로 용이하게 이메일로 보낼 수 있었다. 응답자들에게 이메일에서 다운로드하고 선호하는 응답 내용을 클릭하고 저장하여 이메일로 보내줄 것을 요청하였다. 설문

지는 이메일을 통해 건설 전문가들에게 전달되었다. 한달 후 응답하지 않은 사람들에게 알림이 전송되었다. 유효하지 않거나 잘못된 주소로 인해 발생한 오류로 반환된 이메일은 거의 없다는 점은 확인되어야만 한다.

작성된 설문지들이 다운로드 되고 인쇄되어 분류되었다. 수집된 데이터는 SPSS(the Statistical Package for Social Sciences) 버전 22를 사용하여 분석되었다. 설문지의 데이터는 SPSS에 입력되었으며 평균값과 표준편차를 얻기 위해 기술적 통계 방식(descriptive statistics)을 사용하여 분석하였다. 각 측면에 대한 핵심 지표를 결정할 때 가정한 평균값 4.000 이상을 임계점으로 설정하였다. 이는 평균 4.000 이상을 기록한 모든 지표를 핵심 지표로 간주하였으며 지속 가능한 건설 재료를 측정하는 것으로 확인하였음을 의미한다. 이것은 응답자들이 중요함과 매우 중요함 사이의 지표를 선택하였음을 나타낸다.

4. 결과 및 검토

115개의 설문지 수집 건 중에 45개의 설문 응답지가 유용한 것으로 파악되었으며 이는 39%의 응답율을 나타내는 것이다. 또한 설정된 이론적 프레임워크 내에서 지표들을 정밀하게 발현시킴으로서 구성개념 타당도(Construct validity)도 확보되었다. Cronbach alpha 신뢰성 검사(reliability test)결과는 권장수치인 0.7 이상이었다. 본문 표 2에서 볼 수 있듯이 모든 구성이 적용된 항목을 포함하는지에 대한 수치가 권장치인 0.7 보다 큰 것으로 나타났다. 데이터는 기술분석(descriptive analysis)법을 사용하여 분석하였다. 응답자의 응답내용은 (1) 환경적 (2) 사회적 및 (3) 경제적 측면 등 세 가지 측면으로 제시되었다.

4.1 핵심 환경적 지표

본문 표 3에서는 지속 가능한 건설 재료들에 대한 환경적 지표들을 분석한 것을 제시하고 있다. 기술 분석으로 3개 항목이 평균값 4.0 이상을 기록하였는데 이것은 응답자들이 그 항목을 중요 및 아주 중요한 것으로 등급을 매겼다는 것을 의미한다. 환경 측면에 대해 최상위 지표는 평균값 4.267을 기록한 인체에 독성 여부(human toxicity)항목이다. 그 다음 등급을 받은 두 지표는 기후 변화와 고형폐기물 항목으로 평균값 4.0을 기록하였다. 기타 환경적 지표들(생태계 독성, 양수, 광화학산화, 산성화, 화석연료 고갈, 오존층 파괴, 광물자원 추출 및 화물 운송)에 기록된 값은 가정했던 평균값 보다 작게 나왔다.

결과 값을 통해 지속 가능한 건설 재료들에 대한 환경적 지표로 세 가지가 확인되었음을 알 수 있다. 이 지표들은 인체에 독성여부, 기후 변화 및 고형폐기물이다. 인체에 독성 여부는 어떤 특정 물질이 생물체에 피해를 주는 정도를 정량화하는 것을 목표로 한다. 독성에 대한 평가는 공기와 물의 허용농도, 일일 섭취 허용량 그리고 인체 독성에 대한 일일 섭취허용량에 대한 지침을 기반으로 한다. 사회에서 사용되는 많은 화학물질은 리스크 평가를 거치지 않았으며 평가 기술은 여전히 발전상태에 있고 건설 제품 제조업체들도 알아야 할 것들이 있다. 독성과 관련된 문제들은 건설 산업부문에서 많은 논쟁을 불러일으키고 있는데 특히 건설 재료의 제조와 철거 후의 처리문제의 경우 그러하다. 건설 재료의 사용자들은 재료 공급업체의 지침을 주의 깊게 검토해야 하고 관련 규정, 법규 및 기준을 잘 알고 있어야 한다. 또한 건설 재료의 사용자들은 산업별 규정 또는 기준이 준수되도록 하기 위해 재료가 사용되는 상황과 용도도 고려해야만 한다.

기후 변화는 인간의 활동으로 이산화탄소와 같은 온실가스가 방출되어 그로 인해 지구 온도가 변화하는 것을 말한다. 이러한 배출량의 증가가 기후에 눈에 띄는 영향을 미치고 있다는 사실에 현재 과학계의 의견일치가 모아지고 있다. 지구온난화는 기후 교란, 사막화, 해수면 상승 및 질병의 확산을 유발할 것으로 예상되고 있다. 내재된 탄소(Embodied carbon)는 어떤 제품 또는 서비스의 생산과 사용과 관련

하여 이산화탄소 또는 온실가스의 배출량이다. 건설 제품의 경우 이 내재된 탄소란 건설 재료 및 제품의 추출, 생산, 운반, 설치, 유지관리 및 폐기와 관련된 이산화탄소 또는 온실가스의 배출량을 의미한다.

고형 폐기물은 폐기물의 최종 처리로 인한 자원의 손실과 관련된 환경 문제를 나타내며, 에너지 회수 없이 매립 또는 소각 처리되는 모든 폐기물을 나타낸다. 네덜란드의 EcoIndicator30 그리고 스위스의 Ecopoints31과 같은 특성화 방법론(characterisation methodologies)과 특성화 요인은 고형 폐기물의 물량을 기반으로 한다. 건설 재료에서 발생하는 고형 폐기물은 재료의 제조, 재료의 사용 및 철거된 건축물의 처리에 이르기까지 엄청난 규모이다.

4.2 핵심 사회적 지표

지속 가능한 건설재료에 대한 사회적 지표를 분석한 자료는 본문 표4에서 볼 수 있다. 결과를 보면 응답자들은 4개의 지표를 이룬 평균치 4.000 범주 내의 핵심 지표로 평가하였음을 알 수 있다. 적응성(Adaptability)항목이 평균치 4.133으로 최상위의 지표였다. 두 번째 지표는 평균치 4.067로 열적 쾌적성(thermal comfort)이었다. 그 다음 번째 지표들은 둘 다 평균치 4.000으로 지역자원(local resources)과 모두를 위한 주택공급(housing for all)항목이었다. 문화유산, 사회적 가치, 보유 기간의 선택과 안전성, 접근성, 권한 부여 및 참여 그리고 미적 품질과 같은 지표들은 가정했던 평균치 보다 낮은 값을 나타내었다.

적응형 건축물(adaptable buildings)은 공간, 기능 및 구성요소와 관련하여 일련의 진화하는 요구를 수용할 수 있는 능력을 가진 동적 시스템으로 정의되고 있다. 지속 가능성을 보장하기 위해 건설 재료는 기존 건물이든 신축건물이든 적응성이 있는 상태로 건설되어야만 한다. 건축물이 변화하는 니즈에 쉽게 부합할 수 있도록 적응성이 있다면 입주 및 재사용 가능성이 더 커지게 된다. 이러한 변화하는 니즈에 적응성이 없는 건축물은 쓸모없게 되거나 상당한 보수 또는 철거작업이 요구되며 두 옵션 모두 지속 가능한 건축환경을 모색할 수 없을 것이다.

열적 쾌적성이란 열적 여건(온도 및 습도)과 관련하여 만족감을 나타내는 것으로 너무 덥지도 않고 너무 춥지도 않은 상태를 말한다. 건축재료는 모든 건축물의 열적 쾌적함에 크게 영향을 미친다. 적응성이 있는 열적 쾌적성은 온도와 습도에 대한 계절적 기대에 따라 환경에 대한 사람들의 인식이 어떻게 변화하는지를 고려함으로써 인간의 쾌적성 범주에 대한 이해를 확대하게 한다. 지역에서 나는 재료로 지은 주택 특히 흙이나 초가지붕으로 지은 집의 경우 특히 따뜻한 기후 지역에서 서늘한 실내온도를 유지한다는 것은 부인할 수 없는 사실이다. 따라서 건축재료를 선택할 때 열적 쾌적성을 고려하는 것이 중요하다.

지역에서 나는 자원(재료)은 일반적으로 대부분의 지역에서 구할 수 있고 저렴하다. 자연은 인류에게 집을 짓는데 필요한 훌륭한 재료들을 제공해 왔으며 이러한 재료는 가공이나 운반이 거의 필요하지 않으며 그 비용도 저렴하다. 주택 수요를 충족하기 위해 특히 개발도상국에서 주택을 제공할 때 현지에서 생산되고 이용 가능한 재료(모래, 석재, 볏짚류, 점토, 목재, 점토벽돌 및 점토블록)를 식별하고 사용하는 것이 중요하다.

모두를 위한 주택(housing for all)은 모든 개인이 주택을 저렴하게 이용할 수 있도록 보장하는 상황을 기술하는 개념이다. 따라서 모두를 위한 주택은 저렴한거나 저렴한 주택과 관련이 있다. 본문 참고문서 [59]에서 UN 해비타트(Habitat)는 저렴한 주택을 품질과 위치가 적절하고 거주자가 추가적으로 생활비를 충당할 필요가 없으며, 기본적인 인권의 향유를 위협하지 않을 정도의 비용이 필요하지 않는 주택으로 정의하였다. 반면에 저비용 주택(low-cost housing)은 중위 소득 계층이 구입하거나 임대하는데 드는 총 비용이 저렴한 것으로 간주되는 주택개념이다. 모두를 위한 주택에 기여하는 요소에는 재료비, 인건비 및 토지비 등을 포함한다. 건설 재료비용은 개발도상국에서 건축물 비용의 60~70%를 차지한다. 따라서 재료비의 절감은 모두를 위한 주택 활성화에 변함없이 도움이 될 것이다.

4.3 핵심 경제적 지표

지속 가능한 건설 재료에 대한 경제적 지표의 기술분석은 본문 표 5에 나와 있다. 지속 가능한 건설 재료에 대한 핵심 경제적 요소로 다섯 가지 지표가 응답자들에 의해 확인되었다. 이 지표들은 유지관리비, 운영비, 초기비용, 장기적 절감 비용 및 수명 항목으로 응답자들은 평균 4.000 이상의 점수를 부여하였다. 일자리 창출과 관광과 같은 지표들은 평균값이 가정했던 값보다 낮은 것을 확인하였다.

건축물 구성요소에 대한 유지관리비는 문서화된 설계도면과 운영 니즈에 따라 어떤 한 건축물의 성능을 유지하는 과정과 관련된 비용이다. 이 과정 속에는 그 건물의 구성요소를 유지하는데 도움이 되는 일련의 활동들이 포함된다. 본문 참고문서 [62]에서 Sahely 등은 운영 및 유지관리비용과 같은 경제적 지표들은 보다 큰 일련의 지표들의 일부로서 의사결정에 계속해서 중요한 역할을 한다고 의견을 제시하였다. 유지비용에는 건축물의 구성요소에 대한 신뢰성 확보와 고장 방지를 위한 관리비용이 포함된다. 운영비용은 건축물에서 당일 운영 또는 운영에 소요되는 비용을 말한다. 운영비용에는 모기지 상환금, 건물 보험료, 세금, 유지보수비 및 일반관리비용이 포함된다. 초기비용이란 설계 및 시공 과정에서 발생하는 비용을 말한다. 건설 프로젝트의 초기비용에는 계획, 준비, 설계 및 시공과 같은 건설단계에서 이어지는 비용이 포함된다. 초기비용에는 건축물 건설을 위한 재료비 및 토지 구입비도 포함된다.

모든 건축물의 운영비용 절감에 있어서 장기적인 비용 절감이 중요하다. 장기적으로 비용 절감이 되고 유지관리 노력이 적게 드는 건설 재료와 건축 구성요소가 유지관리, 교체 및 개조에 소요되는 투자비용을 감소시킨다. 일부 지속 가능한 재료는 초기비용이 더 많이 필요할 수 있지만 에너지 및 운반비용이 감소될 뿐만 아니라 장기적으로 환경에 이롭기 때문에 장기적으로 비용 절감을 가져다준다.

5. 요약 및 결론

본 논문의 목표는 지속 가능한 건설 재료를 측정하기 위한 핵심 지표들을 확인하는 것이었다. 본 연구에서는 지속 가능한 발전과 관련된 세 가지 주요 측면 즉 환경적, 사회적 및 경제적 측면을 살펴보는 것을 기본으로 하였다. 본 연구에서는 지속 가능한 건설 재료를 측정하기 위한 핵심 지표로서 관련 문헌에서 추출한 25개 지표들 가운데 응답자들이 확인해준 12가지를 채택하였다. 여기에는 지속 가능한 건설 재료를 측정하기 위해 인체에 독성여부, 기후 변화 및 고형폐기물 등 세 가지 핵심 환경적 지표들을 포함한다. 또한 적응성, 열적 쾌적성과 모두를 위한 주택 공급성이 지속 가능한 건설 재료를 위한 네 가지 핵심 사회적 지표인 것으로 확인되었다. 한편 유지비, 운영비, 초기비용, 장기적 절감 비용 및 수명이 지속 가능한 건설 재료를 측정하기 위한 다섯 가지 핵심 경제적 지표인 것으로 확인되었다. 결론적으로 이 논문에서는 이 12가지 지표가 지속 가능한 건설 재료를 측정하려고 하는 향후 연구에서 고려되어야 할 지표로 제시하고 있는 것이다.

<원문제목> Identification of Key Indicators for Sustainable Construction Materials

<원문출처> ResearchGate