

Global Report

친환경 건축자재 헴크리트의 물리적 및 기계적 특성

1. 개요
2. 소개
3. 방법론
4. 헴프
5. 헴크리트
6. 결론

1. 개요

1.1 배경 : 건설 부문에서 과도한 전 세계적 에너지 소비와 온실가스 배출을 유발하고 있는 상황에서 다른 한편으로는 환경친화적인 재료들이 주목을 끌고 있다. 환경 영향이 적은 재생 가능한 식물 기반의 바이오 재료들은 환경오염을 막고 천연자원을 보존하는데 있어서 아주 유용하다. 헴크리트(Hempcrete)는 단열성과 흡습성이 있을 뿐만 아니라 환경 친화적인 건설 재료로 쓰인다.

1.2 연구목적 : 본 논문은 헴크리트의 환경적 영향과 시공 방법을 이해하는 것과 관련된 헴크리트 연구 검토 결과를 제시하고자 한다. 또한 이 재료의 생애주기를 통해 일어나는 이점과 혁신사항 들도 연구 조사하고자 한다.

1.3 방법 : 이와 같은 목적 달성을 위해 밀도(density), 열전도율(thermal conductivity), 투습도(vapor permeability), 습윤 거동(hygrometric behavior), 내구성(durability), 흡음성(acoustic absorption), 기계적 특성(mechanical properties) 및 생애주기 분석(life cycle analysis) 등을 확인하기 위해 헴크리트에 대한 실험적 연구를 모든 측면에서 상호 비교 분석하였다. 또한 헴크리트의 장점을 설명하기 위해 접착성(binder characteristics), 헴프 시브(대마 줄기를 잘게 썰어 말린 것) 비율(hemp shiv proportions), 수분 함량, 양생 조건 및 시험결과들에 초점이 맞추어 졌다.

1.4 시험결과 : 헴크리트는 공극율과 투습도가 크며 중정도의 저밀도(medium-low density), 낮은 열전도율, 영률(Young's modulus) 및 압축강도를 가지고 있는 것으로 시험결과 밝혀졌다.

1.5 결론 : 검토된 연구결과를 바탕으로 헴크리트는 탁월한 단열성과 습윤 거동(hygrometric behaviour)을 가지고 있는 장점이 많은 건축 재료라 할 수 있다. 헴프는 건설 분야에서 쓰일 수 있는 환경 친화적이고 경제적인 식물성 원료이다.

2. 소개

건축부문은 가장 큰 주요 에너지 소비부문 중 하나이며 대기 중에 상당한 오염물 배출원이다. 대기 중의 온실가스는 역사상 전례가 없는 속도로 지구의 기후변화를 가속화 시키고 있다. 온실가스 배출은 지구온난화에 크게 영향을 미친다. 건축 및 건설 부문은 전 세계 에너지 사용량의 32%와 온실가스 배출의 19%를 차지하고 있다. 이러한 이유로 환경 친화적인 건축 재료의 생산과 사용은 나날이 더 중요해지고 있다. 최근 수년 동안 재생 가능한 에너지원의 사용과 온실가스 배출을 감소시키는 것은 전 세계적인 목표가 되어왔다.

지구 온난화 및 기후변화와 같은 환경문제들은 건축물의 설계, 시공 및 사용 기준에 영향을 미친다. 에너지 효율성과 친환경 건축 기준은 환경 친화적인 시공 방법을 위한 수요를 증가시킨다. 전 세계적인 우선순위 차원에서 기후변화의 영향을 완화하려는 노력들은 교토 의정서 및 파리 협정의 틀 내에서 온실가스 배출을 감소시키는데 초점이 맞추어져 왔다. 따라서 환경 친화적인 건축물의 설계에 있어서 건설 재료의 생애주기 분석과 전체적인 환경 영향을 고려하는 것은 점점 더 중요해지고 있다. 천연 자원의 보존과 지속가능성에 관한 환경 차원의 관심은 연구자들이 수익성 뿐만 아니라 환경영향이 적고 장기적인 지역사회 혜택에 기여하는 환경 친화적인 복합재료에 관한 연구를 하도록 동기를 부여하는 중요한 원천이 되어왔다. 지속 가능한 재료를 가지고 공사하면 생산 비용이 절감되고 정책 수립에 부응하도

록 도움을 주며 우리의 유산이 보존된다.

환경 친화적인 건설 재료와 방법들은 환경 영향으로 인한 기대와 재생 가능한 자원을 충족시켰다. 식물 기반의 생태계 재료들은 그 단열성, 습윤 거동 및 흡수 특성 등으로 인해 건설 분야에 자주 사용되고 있다. 그 높은 단열 및 보온성으로 인해 식물 기반의 재료들은 비구조용 콘크리트 배합의 경우 골재로 사용될 수 있다.

건물 외피는 건물의 습도 거동, 에너지 효율성, 안락성 및 실내공기의 질에 영향을 미친다. 흡습성(hygroscopic property)은 그 재료의 열전도율, 열용량, 흡수 곡선 및 투습도에 따라 달라진다. 적은 에너지를 소비하는 건축물에 흡습성 재료를 사용하는 것이 가능하다는 사실은 입증되어 왔다. 적절한 구조적 성능과 단열성을 결합한 혁신적인 에너지 절약적인 재료를 조사하기 위한 다양한 노력들이 이루어져 왔다. 흡습성 건축 재료에 대한 Künzel's 연구[본문 참고문서 16] 이후 많은 연구자들은 다공질 흡습성 재료의 흡습성 평가와 모델링에 중점을 두었다.

헴크리트라 불리는 헴프 기반의 콘크리트는 환경 영향이 적고 높은 습도 거동을 하는 전통적인 재료들과 비교하여 건설 부문에 장점이 많은 재료이다. 헴크리트는 수 많은 환경적 장점을 제공한다. 헴프가 살아있는 동안 흡수하는 이산화탄소의 양은 헴크리트를 생산, 운반 및 시공하는 단계에서 발생하는 이산화탄소의 양 보다 훨씬 많다. Ingrao et al.[본문 참고문서 19]에 의해 연구된 최근 검토 결과 헴크리트는 투습성과 단열성에 유용하며 또한 건축물에 헴크리트를 사용하면 건축물의 생애주기에 걸쳐 환경적 영향이 감소 될 수 있는 것으로 결론을 내렸다. 결과적으로 헴크리트는 환경 및 건설 기회 모두를 제공하여 지속 가능한 해법을 확산시키는 데 도움이 될 수 있다.

3. 방법론

헴프와 헴크리트 용어가 관련문헌 검색어로 사용되었다. 본 문헌 검토를 위해 지난 10여 년 간 발행된 논문들이 선택되었으며 일부 더 오래된 연구결과들도 모든 측면에서의 헴크리트를 조사하기 위해 포함되었다. 이 작업은 주제에 대한 자원의 관련성을 조사하기 위해 철저하게 이루어졌다. 이번 검토를 위해 스캔된 저널, 서적, 보고서 등은 Science Direct, Springer Link 및 Taylor & Francis 등의 데이터베이스에서 획득하였다. 관련 문헌을 평가하기 위해 다음과 같은 질문에 대한 해답을 구하였다.:

- 헴프란 무엇인가?
- 헴프의 특성은 어떠한가?
- 헴크리트란 무엇인가?
- 헴크리트는 어떻게 생산되는가?
- 헴크리트의 적용분야는 어떠한가?
- 환경에 대한 헴크리트의 장점은 무엇인가?
- 헴크리트의 물리적 및 기계적 특성은 어떠한가?
- 헴크리트의 가격은 어떠한가?

4. 헴프

헴프는 전 세계적으로 사용되는 용도가 광범위한 섬유와 원료이며 씨에서 나오는 기름을 쓰는 식물이

다. 헴프는 크기가 최소 2m 정도 자라나며 특히 산업용으로 재배하는 다목적 식물이다. 헴프는 수천 년 동안 종이, 섬유 및 로프 제조에 사용되어왔으며, 오늘날에는 자동차, 가구 및 건설용으로도 사용된다. 중국에서 발견된 고고학적 유물에 의하면 4000년에서 6000년 이전에 재배된 최초의 식물임이 밝혀졌다.

헴프는 광범위한 가용성과, 물과 거름이 적게 필요한 것으로 알려져 있다. 또한 세계에서 가장 빨리 성장하는 식물 중 하나로도 알려져 있다. 4개월 만에 최소한의 물과 거름으로 키가 4미터에 달한다고 한다. 헴프는 가뭄에 강하고 최소한의 거름만 요구되며 모든 지형에서 효율적으로 재배될 수 있다. 헴프는 섭씨 영하 6도까지 견딜 수 있으며, 가장 빨리 성장하는 온도는 섭씨 15도에서 27도 범위라고 한다. 성장기에 연간 강수량이 200~300mm 정도면 충분하지만 헴프 재배는 배수가 잘되는 천연 및 알칼리성 토양에서 매우 효율적이다.

단백질 함량이 낮기 때문에 곤충과 나방에 의해 피해를 입지 않으며, 따라서 환경에 유해한 농약 사용이 불필요하다. 헴프는 튼튼하고 긴 섬유질로 둘러싸인 목질의 코어를 가지고 있으며, 쉬브(shiv)와 섬유질을 얻기 위해 가공 처리된다. 씨앗과 쉬브는 상업적 가치가 있지만 헴프의 가장 가치가 있는 부분은 섬유질이다. 쉬브는 헴프 줄기 무게의 40~60%를 차지하며 동물 침대 또는 생체복합재의 골재로 사용될 수 있다. 유럽에서 헴프를 가장 많이 생산하는 국가는 프랑스, 독일, 영국 및 네덜란드이다. 생산량은 공급에 따라 달라지지만 해마다 다르기도 하다. 프랑스에서 2009년 11,300 헥타르의 면적에서 헴프가 재배되었지만 이 숫자는 2011년에 5,400 헥타르로 줄어들었다. 중국은 세계에서 가장 많이 헴프를 생산하는 국가이다. 전 세계적으로 2017년에 아시아에서 52.4%, 유럽에서 40.6% 및 미국에서 7%가 생산되었다.

4.1 터키에서의 헴프 생산

몇몇 지방에서 헴프 경작과 관련한 최초의 공식적인 투자는 1946년에 Kastamonu Taşköprü에 위치한 Sümerbank에 의해 설립된 헴프 공장이었다. 그러나 그 공장이 제때에 완전한 효율로 운영될 수 없다는 사실로 인해 1951년 문을 닫았다. 두 번째 시도는 Kastamonu에서 설립된 헴프 생산공장이다. 하지만 이윤이 적어서 헴프보다 가격이 더 저렴한 황마(jute)가 수입되었다. 헴프 생산은 1984년에 Taşköprü에 공장을 설립하여 1976년 이즈미트에 설립된 Seka가 소유한 한 공장을 위해 종이를 생산할 수 있게 되면서 재개될 수 있었다. 1988년 민영화된 이 공장은 2004년에 매각되었다. 헴프는 1967년 368,373톤으로 세계에서 가장 많은 생산량을 보였지만 2017년 총 헴프 생산량은 59,817톤 이었다. 터키에서 1961년~2017년에 헴프 생산량은 1980년에 14,000톤으로 가장 많이 생산되었으며, 이후 점차 생산량이 감소되다가 2002년에 950톤, 2004년에 30톤에 달하더니 2017년에 생산량은 고작 8톤 정도의 생산량에 불과한 실정이다. 오늘날 헴프 재배는 공업용 헴프 재배를 목적으로 2016년 제정된 법령에 따라 19개 지역에서 이루어지고 있다.

4.2 헴프의 주 용도

헴프는 농업, 섬유, 재활용, 자동차, 가구, 식품, 음료, 종이, 건축재료 및 개인 위생용품 등과 같은 다양한 분야에서 25,000개의 제품에 사용되고 있다. 헴프의 섬유질 재료는 원사 및 직물 생산, 카펫, 양탄자 및 주택 장식용과 자동차 산업에 사용되는 복합재로 사용되며 한편 헴프의 쉬브는 동물 침구, 종이 제조와 오일 흡수재료로 사용된다. 씨앗과 종자유는 식음료 산업과 비누 생산에 사용된다. 헴프의 목질 코어를 5~25mm 크기의 쉬브로 잘라 석회, 시멘트 및 물과 같은 바인더와 혼합하면 헴크리트라고 불리는 큰 단열성을 가진 생태복합재가 얻어진다. 헴크리트는 벽, 바닥 및 지붕 용도로 다양한 구성과

다양한 방법으로 생산될 수 있다. 벽체 용도의 경우 조립식 또는 스프레이 방식이 채택될 수 있으나 압축강도가 충분하지 않기 때문에 일정한 틀 안에서 그 재료를 사용하는 것이 요구된다.

5. 헴크리트

헴크리트는 아주 다양한 비율로 쉬브라 불리는 식물성 기반의 골재와 바인더를 결합하여 만든 복합재이다. 헴프 쉬브의 다공성 구조는 변형성, 흡음성 및 습윤 전달능력(hygrothermal transferability)을 제공한다. 초기에는 바인더로서 시멘트를 사용하는 것으로 가정했지만 최근 연구에서는 헴크리트의 성능을 개선하기 위하여 석회 및 포졸라나와 같은 다른 바인더를 사용하려 하고 있다. 시멘트 또는 석회로 생산된 헴크리트는 구성요소 비율과 벽, 바닥 또는 지붕에 사용하는가에 따라 기존 콘크리트에 비해 훨씬 더 우수한 습윤 거동을 제공한다.

헴크리트의 적절한 배합설계는 건물의 용도에 따라 다르다. 지붕 단열재로 쉬브를 엮어 내는데 소량의 바인더가 사용된다. 그러나 벽체에서는 보다 큰 기계적 특성이 예상되기 때문에 벽체용으로는 좀 더 많은 양의 바인더가 요구된다. 바닥에 사용할 경우 가장 큰 기계적 특성을 얻기 위해 가장 많은 비율의 바인더가 사용된다.

헴크리트는 기존 콘크리트와 유사하게 3가지 다양한 방법으로 생산될 수 있다. 즉 조립식 블록으로 생산하거나 현장에서 몰딩하거나 스프레이로 만드는 방법이 있다. 각각의 방법은 장단점을 가지고 있다. 현장에서 몰딩하는 방법은 오랜 건조 시간이 필요하다. 스프레이 하는 방법은 빠른 방법으로 짧은 건조 시간이 요하지만 밀도가 낮은 편이다. 반면에 조립식 생산 방식이 가장 빠른 방법이다.

독특하고 다양한 크기의 공극, 쉬브의 미세 기공, 매트릭스 내 쉬브들 사이에 혼합물 매트릭스 내의 공기와 큰 공극(macropores)에 의해 형성된 중기공은 헴크리트의 놀랄만한 물리적 특성이라 할 수 있다. 매크로 및 중기공의 존재는 $50\sim100\text{kgm}^{-3}$ 의 밀도를 가진 쉬브를 압축하기 어렵다는 것과 작은 다짐 능력(low compaction ability)과 관련이 있다. 헴크리트의 공극율은 약 80%인 것으로 고려되고 있다.

단열성 및 흡습성의 장점에도 불구하고 헴크리트는 수분 흡수성이 큰 단점이 있다. 혼합물에 과도한 물을 사용하는 것은 경화 및 건조 시간이 길어지게 됨으로 현대적인 건설공사엔 적합하지 않다. 또한 헴크리트의 다공성 구조와 강력한 모세관 효과로 그 중량의 5배까지 물을 흡수한다. 물을 과도하게 사용하면 건조 시간이 최대 몇 개월까지 증가하는데, 이는 산업적인 차원에서 허용되는 시간이 아니다. 쉬브와 페이스트 사이에 물 교환이 존재한다는 점을 감안한다면 혼합수를 최적화하는 것은 불가능하다. 실험연구 수행으로 헴크리트의 밀도는 혼합 비율에 따라 300 및 600 kgm^{-3} 사이로 확인했다. 65%의 가장 적은 공극율을 가진 헴크리트는 섭씨 23도, 상대습도(RH) 50%에서 $0.07\sim0.2\text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 의 열전도율을 가진다. 흡음 계수는 0.5~0.9 정도로 측정되었다.

5.1 물리적 및 기계적 특성

헴크리트의 물리적 특성은 상대적으로 낮은 열전도율, 중저밀도, 아주 높은 비열, 강력한 단열성 및 열용량(thermal mass)인데 이러한 특성은 건축물에 안락함을 제공하고 갑작스런 열변화를 방지한다. 열교(heat bridge)부족과 기밀성은 열 손실을 막아준다. 재료에 투습도를 제공하는 흡습 기능은 건물 내의 습도가 미기후의 안락함(comfort of microclimate)상태가 되도록 보장한다. 바인더 타입, 양생 조건, 제조방법 및 몰딩과 같은 다양한 매개변수들이 헴크리트의 기계적 특성에 영향을 미친다. 헴크리트에 대

한 바인더 타입, 쉬브/바인더 비율, 물/결합재 비율, 양생조건, 물리적 및 기계적 실험연구 결과 등이 본문 표2에 게시되어 있다. 헴크리트의 다양한 특성을 볼수 있도록 서로 다른 바인더, 서로 다른 쉬브 비율과 서로 다른 양생 조건으로 수행되었기 때문에 이러한 실험연구가 선택되었다.

5.1.1 흡습성과 열전도율(Hygric Property and Heat Conductivity)

건축물의 에너지 효율은 건물 외피에 사용되는 그 재료의 열·습기 거동(hygrothermal behavior)에 따라 달라진다. 낮은 기계적 특성에도 불구하고 헴크리트는 큰 다공성과 저밀도로 매우 우수한 단열 및 흡습성을 제공하는 환경 친화적인 재료이다. 우수한 단열 및 흡습성은 쉬브 에어로겔 구조의 매우 큰 다공성에 기인한다. 헴크리트의 큰 다공성은 기공이 서로 연결되어 있기 때문에 열 전달을 가능하게 한다.

Evrard and Herde[본문 참고문서 60 참조]는 헴크리트의 소량의 습기 그 재료의 열적 성능에 긍정적인 영향을 미치고 액체와 습기 사이에 상 변화를 고려하여 급격한 온도변화 시 급속한 열흐름을 느리게 한다는 논문을 발표하였다. Dhakal et al.[본문 참고문서 56 참조]는 헴크리트는 열관성성이 크기 때문에 단시간 내에 가열이 가능하고, 주변온도가 낮아지면 오랫동안 그 온도를 유지하는 것을 확인하였다. Collet et al. [본문 참고문서 14참조]는 헴크리트 투수성은 약 $2.5 \times 10^{-11} \text{ kgm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$ 이고 보습계수(moisture buffer value)는 2.15 gm-2%RH라고 발표하였다. Minguela [61]은 고온 헴프 쉬브를 추가한 후에 흙블록(earth blocks)의 열전도율이 크게 감소했음을 관찰하였다. Piot et al. [8]은 물을 흡수하는 외부 코팅이나 플라스터(plaster)를 사용하면 헴프 벽체의 열전도율이 증가한다고 보고하였다. 물흡수 코팅을 사용하는 또 다른 위험성은 코팅 바로 아래 부분에 곰팡이가 자라는 것이다.

6. 결론

본 연구의 검토 결과들을 고려할 때 헴크리트는 환경, 지구온난화 및 기후변화에 긍정적인 영향을 미칠 뿐만 아니라 건축물에 안락함을 제공하는 것으로 판단된다. 탁월한 습윤 거동은 실내공기의 질과 안락한 실내 미기후를 동시에 이루어 낸다. 헴크리트는 낮은 열전도율, 저밀도, 저강도, 높은 흡수율 및 큰 수분완충능력(high moisture buffer)을 나타낸다. 연구자들의 관심이 증가하면서 보다 많은 실용적인 지식의 습득으로 헴크리트를 더 유용하게 만들고 있다. 헴크리트는 벽, 지붕 및 바닥 등 건물 외피에 사용될 수 있도록 보장되고 있다. 헴크리트의 생산에 수분 함유량은 표준화될 수 없지만 예상치 못한 결과를 회피하기 위해 사용 장소에 따라 적절한 배합비율이 산정되어야만 한다. 터키에서 헴크리트의 생산과 사용은 지금까지는 부적절했다. 건축물에 헴크리트 사용을 촉진하기 위하여 관련 규정이 제정되어야 하며 건설업체들에게도 권장책이 마련되어야 한다. 산업용으로 쓸모가 많은 헴프 공장은 새로운 상품의 제조와 신기술 개발에 기여할 것이다. 헴프는 극한의 사막기후 이외의 환경이나 고산 지역에서 재배가 적합한 식물이다. 그러나 헴프의 최적 성장조건은 유기질이 풍부한 배수가 잘되는 토양의 온대기후 조건이다. 따라서 헴프 농업은 확산되어야 한다. 또한 헴프 식물은 세계 곳곳에서 경작될 수 있다.

건축물 건설에 헴크리트 사용을 촉진하기 위하여 관련 규정이 제정되어야 하며 건설업체 들에게도 장려되어야 한다. 향후 헴프관련 연구가 증가하고 신제품 및 신기술의 개발에 그 연구결과 적용이 증가할 것으로 기대가 된다.

<원문제목> Physical and Mechanical Properties of Hempcrete

<원문출처> The Open Waste Management Journal