

Global Report

건설용으로 폐플라스틱병 사용에 대한 조사연구

1. 개요
2. 소개
3. 방법론
4. 플라스틱 폐기물의 영향
5. 건설용으로 폐플라스틱병 사용에 관한 연구
6. 결론

1. 개요

이 연구의 비전은 건설 부문에서 폐 플라스틱병을 활용하는데 초점을 맞추고 있다. 이 연구 검토 보고서는 가나를 포함한 대부분의 개발도상국의 주택 적자문제를 해결하고 천연 건설자재의 고갈을 막기 위한 노력의 일환으로 폐 플라스틱병을 건축자재로 활용하는데 중점을 두고 있다. 가나에서 플라스틱병은 사용 후 폐기물로 버려지므로 도시 곳곳에 흩어져 배수구가 막히고 결국 우리의 생태계를 위협하게 된다. 플라스틱 폐기물의 이러한 영향으로 가나를 포함하는 개발도상국은 우리 환경 속에서 플라스틱 폐기물의 급격히 늘어나는 양을 줄이기 위한 보다 지속 가능한 방법을 모색해야 한다. 위와 같은 관점에서 본 논문은 가나를 포함한 대부분의 개발도상국의 주택 적자문제를 해결하고 천연자원(자갈, 모래)의 고갈을 줄이기 위한 노력으로 건축재료로 폐 플라스틱병의 재활용에 초점을 맞추고 있는데 이것은 매우 중요한 것이다. 이 논문에서는 건설용으로 벽돌처럼 폐 플라스틱병에 흙, 모래, 고체폐기물을 채워서 이를 벽돌 또는 블록으로서 몰탈로 접착시켜 조적 벽체를 만들거나 또는 조적 재료의 대체재로 병을 채워서 사용하는 방법 등과 같이 건설용으로 폐 플라스틱병을 활용하는 노력들이 시도되었다. 요약하면 다양한 시험 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다. (1) 폐 플라스틱병은 대부분의 기존 건축 재료에 비해 구입 비용이 저렴하며 플라스틱병을 포함하는 콘크리트 또는 벽돌은 요구되는 기존 재료의 총량을 줄여 주며 비용도 절감시키는 것으로 나타났다. (2) 플라스틱병으로 시공된 벽체를 가진 건물은 실내온도를 유지하고 에너지 절약 및 인공 열제어 시스템 제공비용에 기여하기 때문에 건축에 폐 플라스틱병을 사용하면 환경 친화성과 에너지 절약에 이바지하게 되는 것이다.

2. 소개

이 연구의 비전은 건설 부문에서 폐 플라스틱병 사용을 활성화하는데 초점을 맞추고 있다. 이 검토 논문은 가나를 포함한 대부분의 개발도상국의 주택부문 적자문제를 해결하고 천연자원 건설 재료의 고갈 문제를 줄이기 위한 노력의 일환으로 폐 플라스틱병을 건축재료로 재활용하는데 중점을 두고 있다.

본문 참고문서 [1] Zaman 및 Lehmann의 보고서(2011년)에 따르면 전 세계 표면적의 불과 2%를 차지하는 도시에서 전 세계 폐기물의 약 70%를 생성한다고 한다. 이것은 농촌 지역에 비하여 도시지역에서 더 많은 폐기물이 발생한다는 것을 알 수 있다. 본문 참고문서[2] Wilson(2007년)에 따르면 사람들이 산업혁명으로 인해 농촌 생활에서 도시로 이주하기 시작한 16세기 경부터 시작되어 폐기물 양이 엄청나게 급증했다는 관점을 가지게 되었다고 한다. 더 나아가 본문 참고문서 [3]에서 Williams(2005년)은 유리, 금속과 같은 물체들이 도시 폐기물 유통에 대량으로 대두되었다고 주장한다. 같은 맥락으로 본문 참고문서 [4]에서 Tchobanoglous 등의 연구결과(1993년) 대부분의 국가들이 사망률을 나타내는 전염병의 발생을 줄이기 위해 효과적인 폐기물 관리와 지속적인 노력을 기하고 있기 때문에 도시의 많은 인구가 지금까지 쓰레기를 버리고 폐기물 처리장이 생겨난 것이라고 주장하고 있다. 그럼에도 불구하고 19세기에는 공중보건을 지키려는 목적으로 사려깊은 방법으로 쓰레기를 처리하는 공무원들을 마주하게 되었다(본문참고 문서 [4] 참조). 그 외에도 본문 참고문서[5]에서 Rajput 등은 생산과 소비의 급격한 증가로 대부분의 도시 사회가 고형폐기물을 발생시키면서도 반입은 거부하는 상황을 초래하게 하였다고 한다. 연구자들에 따르면 이러한 상황은 제도적으로 생겨난 폐기물과 산업폐기물, 상업 폐기물 및 생활 폐기물로 구성된 다양한 출처에서 생성되는 폐기물의 양을 엄청나게 증가시키는데 크게 기여했다고 한다. 더욱이 일반적인 도시환경에서 발생할 수 있는 폐기물들에는 각종 찌꺼기, 쓰레기(포장재), 낙엽과 뒤섞인 건설 및 철거 폐기물, 특히 유해 폐기물 등이 있다. 본문 참고문서 [6]에서 Oteng-Ababio(2014년)의 연구결과 가나의 수도 아크라의 2030년 무렵에는 약 4,419 톤의 폐기물을 발생시킬 것이라고 한

다. 이 논문에서는 만약 SWIM(지속가능한 폐기물 관리) 정책이 실행되지 않는다면 인류와 환경에 위협이 될 것이라고 한다. 결과적으로 대법원 위원회 보고서(Supreme Court Committee Report-1999)에 의하면 많은 인도 도시 환경의 서비스 수준이 매우 열악하여 공중보건 및 환경 품질에 위협이 될 수 있음을 피력하고 있다. 그러나 본문 참고문서[6]에서 Oteng-Ababio는 효율적인 폐기물 수거, 분리, 운송, 재사용, 재활용, 저장, 처리 및 폐기물 처리를 보장하게 될 SWM 정책들이 주어진 도시지역에서 건강과 환경 안전을 증진할 것으로 주목된다고 하고 있다.

3. 방법론

이 연구에서는 건설 부문에 사용되는 폐 플라스틱병의 활용을 목표로 하는 관련 문헌을 검토하기 위해 정성적 함량분석 접근법을 채택하고자 한다. 이렇게 하면 우리 연구원이 건설 부문에서 폐 플라스틱병의 사용 가능성을 확인할 수 있다. 본문 참고문서[34]에서 Mayring(2000)이 요약한 바와 같이 이러한 유형의 연구 접근법은 성급한 정량적 방법을 회피하며 내용분석 준칙에 따라 의사소통 프레임워크에 포함된 텍스트에 대한 경험적, 절차적으로 꼼꼼하게 분석하는 방법이라고 정의되고 있다. 간단히 말하면 정성적 콘텐츠 분석의 목표는 문서만에 국한되지 않고 인터뷰 기록, 담화, 관찰적 프로토콜 등 모든 방식의 문서화되는 의사소통이 될 수 있다. 유사사례로 본문 참고문서[35]에서 Krippendorff는 내용분석법(content analysis)이란 어떤 원형의 의미를 하나의 텍스트에서 다른 상태나 속성에 대한 명확한 추론을 얻기 위한 효율적이고 반복적용이 가능한 방법을 의미한다고 덧붙였다. 위에 내용을 요약하면 정성적 내용분석법이란 본질적으로 저자 또는 연구자의 관점이 아니라 본문과 상징적인 것을 체계적으로 읽고 추론하는 것을 의미한다.

4. 플라스틱 폐기물의 영향

본문 참고문서 [37]에서 Clunies-Ross(2019)의 보고내용에 따르면 매년 수억 톤의 불필요한 플라스틱 재료가 쌓이게 된다고 한다. 이것은 본문 참고문서 [30]에서 2015년에 3억 톤 이상의 플라스틱이 폐기되었다는 Geyer 등의 보고내용에서도 확인되고 있다. 이러한 통계치에 비추어 포장용 플라스틱이 폐기물의 약 절반 정도를 차지하는 것이다. 위에 언급했던 저자들의 경험적 연구에 따르면 전 세계적으로 관리되는 폐기물 흐름을 통해 폐기되는 플라스틱은 대부분 매립지로 보내지거나 재활용 또는 소각되는 것으로 나타난다. 본문 참고문서 [38]의 Barnes 등에 의해 수행된 연구에 따르면 제조된 플라스틱의 주요 흐름은 여전히 존재하고 있는 것으로 나타난다. 본문 참고문서 [24]에서, Kershaw에 따르면 이러한 현상과 관련하여 조사자들이 이러한 문제의 복잡성과 규모를 이해하기 시작한 것은 불과 15년 전 부터라고 한다. 본문 참고문서 [39]에서 Derraik(2002)는 전형적인 시나리오를 인용하면서 우리들의 자연 환경 속으로 유실되는 플라스틱은 토양의 구조를 바꿈으로서 생태학적 영향을 미칠 수 있으며 그로 인해 그곳에 있는 식물과 미생물이 혼란스럽게 될 수 있다고 하였다. 결과적으로 플라스틱 오염은 서식지에 악영향을 미쳐 생물 다양성을 감소시킬 수 있다. 따라서 이러한 상황은 건강과 안녕에 부정적인 영향을 미칠 수 있는 것이다. 본문 참고문서 [40]에서 Gall과 Thompson(2015)에 따르면 이러한 위협은 환경 속에 지속적인 플라스틱 유입이 이루어지면 계속될 것이며 더욱 악화될 수 있을 것이라고 한다. 본문 참고문서 [25]에서 Edmondson과 Gilbert는 바닷새와 해양 동물에 미치는 영향을 가장 잘 이해할 수 있다는 입장을 견지하고 있다. 2016년 뉴질랜드 환경통계부의 데이터에 따르면 뉴질랜드 일부 해양 조류와 포유류를 포함하여 여러 종이 영향을 받았으며 비정상적이며 멸종위기에 처해있음을 확인하였다. 본문 참고문서 [41]에서 Williams(2006)의 연구는 플라스틱 폐기물의 존재는 생명력과 환경에 부정적인 영향을 미칠 수 있음을 보여주고 있다. 앞서 언급한 내용의 의미는 이러한 상황이 문화적 건강과

안녕에 심각한 영향을 미칠 수 있음을 분명히 하는 것이다. 본문 참고문서 [42]에서 Gregory(2013)의 연구결과에서도 명백히 드러난 것처럼 플라스틱 오염은 어우러진 자연환경 속의 동물들을 위험에 빠뜨릴 수 있다는 것이다. 이것은 종종 동물이 이동하고, 포식자를 탈출하고, 먹고 효과적으로 번식하는 능력에 부정적인 영향을 미치게 되는 것이다. 이것은 대부분의 경우 그러한 동물이 어우러진 자연환경 속에서 벗어날 수 없으면 죽을 수 밖에 없다는 것이 전제가 된다. 이러한 전 세계적인 문제는 해양 포유류, 거북이 및 새를 포함한 많은 종에 영향을 미칠 가능성이 있다.

5. 건설용으로 폐플라스틱병 사용에 관한 연구

본문 참고문서[44]에서 2019년 Chaurasia씨는 벽돌, 세라믹과 콘크리트 블록과 함께 만든 폐 플라스틱 병 판넬의 거동을 비교하는데 중점을 두고 건물에서 도시의 플라스틱 폐기물을 사용하는 이점을 확인하기 위한 한 연구를 수행하였다. 안정적이고 친환경적이며 저렴한 시공을 보장하기 위해 흙, 플라스틱 쓰레기통, 시멘트, 나일론 가운 물 등을 기본 재료로 하여 폐플라스틱을 이용한 벽체와 지붕을 시공하였다. 또한 원형으로 내경 1m, 높이 1.45m 그리고 두께 27cm인 화장실 건물을 시공하였다. 또한 이 연구에는 동일한 기본 재료를 사용하여 4.0m x 4.0m 규격으로 2개의 벽체식 하늘정원(hanging garden walls) 시공도 포함되었다. 전체적으로 이 프로젝트에는 직경 70mm, 길이 270mm인 총 825개의 폐 플라스틱 병이 사용되었다. 한편 이 연구범위에는 압축강도, 흡수율, 중량 및 용적과 관련한 특성을 확인하기 위하여 폐 플라스틱병에 흙을 채운 시험도 실시되었다. 관련 시험 결과는 본문 표1에 제시되어 있다.

본문 표1의 결과를 기반으로 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- **흡수율** : 흙으로 채워진 폐 플라스틱병의 흡수율이 0%라는 특성으로 인하여 많은 장점을 가진 다양한 건설 재료로 만들 수 있다는 것이다. 예를 들어, 콘크리트에 포함시키면 비용 절감과 더불어 흡수성을 개선하는데 요구되는 첨가제의 양을 줄이는 데에도 기여한다. 또한 이러한 콘크리트는 특히 플라스틱병에 채워지는 흙이 잘 말라 있을 때 동해피해(동결융해)를 막는데 도움이 될 수 있다. 한편 이 재활용 재료로 시공되는 벽체로 구성된 실내의 흡수율 특성을 개선하고 단열 및 방음 특성이 향상될 수 있다.
- **중량** : 중량과 관련해서는 그 구조체의 목적에 따라 상황이 달라질 수 있다. 경량 구조인 경우에는 폐 플라스틱병에 채우는 흙 대신에 톱밥, 야자열매 껍질로 대체하거나 또는 빈 용기로 사용될 수 있다. 그러나 중력식 옹벽(gravity retaining walls)과 같이 중량을 필요로 하는 구조물의 경우에는 흙을 채우는 대신에 시멘트 몰탈, 물, 콘크리트, 습윤 모래 등을 채울 수 있다.
- **용적** : 연구 데이터에 따르면 흙을 채운 폐 플라스틱 병은 벽체의 총 부피 0.6391m^3 중 96.2%인 0.615m^3 를 차지하는데 이것은 1리터짜리 병 615개에 해당하며 나머지 몰탈이 3.8%의 용적을 차지한다. 이로 인하여 폐 플라스틱병과 채움용 흙을 구하는데 드는 비용이 훨씬 적게 들기 때문에 많은 비용을 절감하는 것으로 나타났다.

본문 참고문서[45]에서 Dhage-Niranjan 등이 실시한 또 다른 연구(2018년)에서 기존의 벽돌 대체품으로 플라스틱 페트병이 사용되었다. 사용된 방법을 언급하자면 호텔, 상점 및 폐기물 수거장에서 수집된 폐 플라스틱병에 지역에서 나는 채 기름한 흙을 채우고 다짐 기구로 다짐하여 밀봉하는 방법이었다. 흙을 채운 폐 플라스틱병의 비용과 구조적 강도를 확인하고 소성 점토벽돌과 혼합하였다. 결론적으로 다음과 같이 요약할 수 있었다.

- 조적용으로 사용하는 폐 페트병에는 양생시간이 필요하지 않았다.

- 기존방식대로 벽돌을 소성하는 과정에 대기 중에 배출되는 이산화탄소는 폐 페트병 조적재를 사용하면 발생하지 않는다.
- 페트병은 썩는데 300년 이상 걸리므로 표준벽돌보다 더 내구성이 있다.
- 폐 페트병은 구입비용이 더 저렴하기 때문에 페트병 조적재는 표준 벽돌에 비해 더 경제적이다.

페트병 조적재의 압축강도는 표준 벽돌과 거의 동등했으므로 내부 칸막이용이나 구조용 외부 벽재 모두에 사용하기 이상적이다.

본문 참고문서 [46]에서 Safinia와 Aakalbani(2016년)는 폐 플라스틱병을 콘크리트 블록의 대체재로 활용 가능성이 있는지를 조사할 목적으로 콘크리트 블록 내에 폐 플라스틱병을 사용하는 연구를 수행하였다. 200x200x400mm 크기의 기존 속빈 콘크리트 블록을 시장에서 구입하여 압축강도 시험을 실시하였다. 또한 플라스틱 병을 수직으로 위치시킨 같은 크기의 콘크리트 블록을 ASTM C140요건에 따라 제작 후 재령 7일, 14일 및 28일 시험을 각각 실시하였다. 기존의 속빈 콘크리트 블록의 경우 중량 20.08kg으로 평균 28일 압축강도는 6.38MPa 이었으며 반면에 플라스틱병이 매립된 블록의 경우 중량 24.85kg으로 10.03MPa의 압축강도를 나타내었다. 연구결과 콘크리트 블록에 폐 플라스틱병을 사용하면 플라스틱 폐기물의 대체용도를 찾아야 하는 문제를 해결할 뿐만 아니라 중량과 강도측면에서 조적재의 특성을 개선하는 것으로 밝혀졌다.

본문 참고문서 [47]에서 Mokhtar씨 등은 대기중에 이산화탄소의 배출량을 감소시키기 위한 대안으로 온실 구조용 벽재로 플라스틱 병을 사용하는 것에 관한 연구를 수행하였다. 이 연구에서는 폐 플라스틱 병 채움재료로 모래가 사용되었고 다짐기구로 다짐작업을 실시하였다. 실내외 온도를 포함하여 압축강도와 관련한 특성 등이 기존의 소성 벽돌과 비교되고 확인되었다. 플라스틱 조적재의 경우 최대 압축강도가 38.34N/mm^2 로 기록되었는데 표준 점토 벽돌의 최대 압축강도 8.58N/mm^2 에 비해 3-4배 큰 것으로 확인되었다. 또한 플라스틱병 조적재와 점토 벽돌을 각각 사용하여 에코 하우스를 건설하였다. 에코 하우스에서 기록된 실내외 온도는 유사한 결과를 나타내었다. 결론적으로 이 연구를 통해 강도와 온도 특성에 관한 비교 결과를 기반으로 폐 플라스틱병 조적재가 기존의 점토 벽돌을 대체할 수 있는 능력이 있음을 확인하게 되었다.

본문 참고문서 [48]에서 Mansour과 Ali(2015년)는 지속 가능한 대체 건축재료로서 플라스틱병을 재사용하는 것에 관한 연구를 실시하였다. 실험에서 폐 페트병 블록이 준비되었고 시멘트 몰탈로 접착시공하였다. 폐기물 병은 먼저 건조 모래, 습윤 모래 및 공기를 채운 것 등으로 3종류의 블록 샘플을 준비하였는데 구조용 및 단열 조사용으로 쓰이게 되었다. 실험결과는 본문 표2에 표시되었다.

본문 표2에 제시된 결과에서 도출된 추론 결과 다른 유형의 재료를 채운 병에 비하여 공기를 채운 플라스틱병 블록이 강도는 약간 더 크고 단열성도 더 우수한 것으로 입증되었다. 또한 폐 페트병은 건축 재료로 사용될 가능성이 있으며 폐기물 처리 부담을 해소하는데 기여할 수 있는 것으로 연구결과 확인되었다. 그런데 공기를 채운 플라스틱병 블록을 사용하면 실내에 인공 열제어 시스템을 적용한 경우 에너지비용을 크게 절약하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

6. 결론

건설 부문에 폐 페트병을 사용하는 것은 아무리 강조해도 지나치지 않다. 플라스틱의 광범위한 용도 확장으로 인한 과도한 의존은 다른 어떤 재료에 비해 그 증가세를 더하고 있어서 건설 부문에 폐 페트병을 사용하는 것은 보다 더 지속 가능한 재료가 되게 하는 것이다. 물리적 및 구조적 특성에 따라 플라스틱은 대부분 일회용으로 만들어져 대량으로 낭비하게 된다. 2018년 UNEP 보고서에 따르면 전 세계적으로 발생하는 폐기물의 약 50%를 차지한다고 한다. 또한 플라스틱은 분해되는데 약 300년이 걸리

는 것으로 알려져 있다. 따라서 플라스틱은 다음과 같은 부작용으로 인하여 많은 주의가 요구되는 환경 오염물질로서 이 플라스틱을 지속 가능한 폐기물로 만들어야 한다..

즉, 세부적인 부작용에는

- 지구온난화를 유발하는 난방 및 연소로 인한 이산화탄소 배출,
- 인류와 수산양식에 유해함,
- 플라스틱의 경량성으로 인해 도시와 수역에 오염을 일으켜서 쉽게 대기 중에 그리고 강과 하천에 유입이 됨,
- 플라스틱으로 배수구가 막히면 물이 정체되어 결국 모기가 번식하게 됨 등이 있다.

플라스틱 폐기물로부터 이러한 부담을 줄이거나 없애려는 노력에는 현재 최선의 선택으로 알려져 있는 플라스틱 폐기물을 다른 용도로 재활용하는 지속 가능한 처리방법을 찾는 것이 있다. 건설업계에서는 플라스틱이 경량물질이고, 구득이 용이하며, 취득 비용이 저렴하고, 대부분의 건축 자재 보다 수명이 길어 잠재적인 건설 재료로 쓰일 가능성이 있는 등 플라스틱 폐기물의 현재 상태에 대한 많이 보고된 장점들에 대해 큰 관심을 기울여왔다. 본 보고서는 건설 부문에 폐 플라스틱병의 사용을 중심으로 작성되었다. 이전 연구결과를 검토하여 관찰된 결과물을 요약하면 아래와 같다.

- **비용 절약** : 가나와 대부분의 개발도상국에서 플라스틱 폐기물병은 모래와 채석과 같은 기존 대부분의 건설 재료에 비하여 구입비용이 상대적으로 저렴하다. 또한 플라스틱병이 포함되는 콘크리트와 벽돌은 요구되는 기존 재료의 총량을 감소시켜 비용도 절감하는 것으로 알려져 있다.
- **환경 친화성** : 한편 건설 부문에서 폐 플라스틱병을 사용하면 건축물의 환경 친화성과 에너지 절감에도 기여한다. 플라스틱병으로 만든 벽이 있는 건물은 실온을 유지하며 인공 열 제어 시스템을 제공하는데 드는 비용과 에너지 절감에 기여하는 것으로 보고되고 있다.

이 보고서를 통해 얻어진 결과물을 통해 실질적인 추론을 하자면 우리들의 자연환경 속에 있는 폐 플라스틱과 관련된 위협과 난제가 분명히 존재한다는 것이다. 이를 위해 많은 연구자들은 인류와 자연환경에 도움이 되도록 폐 플라스틱을 재활용하는 다양한 방법들을 모색해 왔다. 이로 인해 건설 및 건축 부문과 같은 분야에서 폐 플라스틱 이용이 이어져 온 것이다. 또한 검토 결과 플라스틱병은 잠재적인 건설 재료 또는 부재로 머물러 있는 것으로 드러났다. 따라서 가장 중요한 것은 플라스틱병을 다양한 형태로 설계 시공하는 방법들을 융합시키는 방법에 관한 추가적인 연구가 그 잠재력을 극대화하는데 필요로 하는 것이다.

<원문제목> Exploration of Waste Plastic Bottles Use in Construction

<원문출처> Civil Engineering Journal