

# Global Report

## 포트하커트에 폐기물 관리용으로 폐플라스틱병 벽돌 사용에 대한 정량적 분석

1. 개요
2. 소개
3. 재료 및 방법
4. 시험결과 및 검토
5. 결론

## 1. 개요

예전에 나이지리아의 정원도시로 알려졌던 포트하커트는 푸른 채소, 풍경 및 깔끔한 주거문화로 우아함을 뽐내었으나 현재는 쓰레기 도시로 불리고 있다. 거리와 기타 도시 기반시설에 쓰레기를 무분별하게 버린 결과 홍수, 공해 등의 환경문제와 지구 온난화와 같은 기후문제를 일으키고 있다. 생분해되지 않고 내구성이 없는 특징 등을 가지고 있는 플라스틱병이 이러한 폐기물의 대부분으로 확인되면서 배수구와 운하가 막히고 도시의 폐기물 야적처리장이 빠르게 산더미가 되는 결과를 낳았다. 본 논문에서는 이러한 플라스틱병 폐기물을 건축재료로 활용함에 따른 영향과 포트하커트에서 지속 가능한 고품폐기물 관리를 달성하는데 미치는 영향을 확인하고자 한다. 이와 같은 확인 작업은 폐기물처리장에서 제거될 수 있고 지속 가능한 건축재료로 사용될 수 있는 플라스틱 폐기물의 양을 추정하면서 이루어졌다. 도시 전역의 쓰레기통에서 플라스틱병 샘플이 수집되어 측정이 이루어졌으며 1제곱미터의 벽체를 시공할 수 있는 다양한 크기의 플라스틱병의 양을 산정하기 위해 계산작업이 실시되었다. 그후 2칸 침실 방갈로 디자인이 사례 연구용으로 채택되어 건물을 시공하는데 사용될 플라스틱병의 평균적인 양을 결정하였다. 결국 1제곱미터의 벽에는 약 245개의 플라스틱병이 필요하며, 그리고 307.6제곱미터의 벽면적을 가진 2칸 침실 방갈로는 시공하는데 평균 75,534개의 플라스틱병(약 3톤)이 필요할 것이라는 결론을 내리게 되었다. 이 결과는 만약 플라스틱병 주택 혁신이 주택부문에 대규모로 채택된다면 도시에서 긍정적인 영향과 지속 가능한 고품폐기물 관리 관행으로 이어질 것임을 나타낸다. 또한 포트하커트란 도시를 이전의 정원 도시였던 상태로 되돌리기 위한 노력에 기여하도록 도움이 될 것이다.

## 2. 소개

정원도시로 널리 알려진 포트하커트란 도시는 폐기물 관리 문제 뿐 만 아니라 인구 및 경제 활동의 급격한 증가에 직면하게 되었다. 연구진들은 포트하커트가 나이지리아에서 도시화, 인구 증가 및 고품폐기물 발생률이 가장 큰 도시 중 하나로 인식되고 있음을 보여주었다. 세계보건기구(WHO)는 폐기물을 “소유자가 주어진 시간과 공간에서 더 이상 원하지 않고 현재 가치 또는 시장가치가 없다고 생각하는 것”으로 정의한다. 1990년 환경 보호법에서는 폐기품을 유용한 부품이 사용된 후 원래 품목의 잔여물로 간주되는 품목이라고 기술하고 있다. 이것은 산업폐기물, 생활폐기물, 시설폐기물, 의료폐기물, 농업폐기물 등이 될 수 있다.

반면에 고품폐기물 관리는 고품폐기물의 수집, 운송, 처리, 취급 및 처분의 다양한 과정을 질서 있게 집행하는 것을 보장하는 기술의 사용이라고 정의된다. 또한 고품 폐기물 관리는 다음과 같은 것에 대한 제어와 관련된 규율로 설명되기도 한다. 즉, 공중보건, 경제, 공학, 보존, 미학 및 기타 환경적 고려사항의 모범사례 및 원칙에 따라 고품폐기물의 생성, 저장, 이전 및 운송, 처리 및 처분 그리고 공공성에도 반응하기도 한다.

본문 참고문서 [4]에서 Konya는 폐기물 관리를 폐기물에서 자원을 회수하는 하나의 방법으로 간주하기도 하는 폐기물의 수집, 운송, 처리, 모니터링 및 재사용으로 정의하기도 하였다. 여기에는 고체, 액체, 또는 기체를 관리하는 것을 포함할 수 있다.

그러나 폐기물 재활용에는 폐기물의 특성화, 분류, 등급지정, 감소 및 재사용 과정이 포함된다. 도시 고품 폐기물의 관리 전략은 국가마다 다양하지만 매립 시스템, 소각 및 재활용에 국한되지는 않는다. 저개발국은 매립방식을 사용하는 반면에 선진국은 대부분 재활용 방식을 사용한다. 나이지리아에서 폐기물 재활용은 모든 이해 관계자들에 의해 장려되어 왔지만 불행히도 느린 실행과 불충분한 자금지원으로 인해 아직 완전한 인식을 얻지 못하였다. 이와 같이 나이지리아에서 가장 일반적인 처리 방법은 여전히 환경 오염에 아주 취약한 야외 적재 및 매립방법과 현장 소각방식 수준에 머물러 있다. 효과적인 쓰레

기 관리 또는 고형폐기물 관리는 포트하커트란 도시의 큰 문제가 되어왔다. 이것은 폐기물 관리 관행에 대한 관리부실과 비협조적인 접근방식, 건강하지 못한 문화적 태도 및 습관, 도시화 패턴, 급속한 인구 증가, 기계화되지 못한 폐기물 처리 방법과 열악한 자금조달 등을 포함하는 여러 요인 들 때문이다.

급속한 도시인구의 증가, 빈곤, 폐기물 발생의 증가 추세, 비협조적인 산업활동, 소비패턴의 변화 등은 폐기물 처리 및 관리 시스템과 관련하여 확인된 문제들 중 일부이다. 포트하커트는 이러한 문제의 결과로 관리될 수 있는 것보다 더 많은 폐기물을 발생시키며 이러한 상황은 인구, 소득 수준 및 경제발전과 함께 증가하는 경향이 있다.

포트하커트 시에 따르면 매일 약 2백만kg의 고형폐기물이 발생하며 이 발생량의 일부만이 수집된다고 한다. 나머지는 배수로, 수변, 운하 및 불법 투기장 등에서 버려진다고 한다. 이러한 고형폐기물은 쓰레기통 또는 수거 장소에서 수집되어 최종적으로 환경 친화적이지 못한 야외 처리장으로 운반되어 물, 대기 및 토양 오염, 홍수, 지구 온난화 및 눈살 찌푸리게 하는 광경 등을 유발하면서 심각한 환경위험을 초래한다.

또 다른 연구에서도 포트하커트시에서 매일 900-1,350톤의 쓰레기가 발생하는 것으로 추산하였다. 그리고 포트하커트에서 전체적으로 발생하는 고형폐기물의 35%를 차지하는 플라스틱과 종이는 재활용이 가능하고 분해성 쓰레기는 41%, 고철은 15%를 차지하며, 건설폐기물은 4%, 슬러지는 3%, 유통기한이 지난 화학제품 및 의약품은 2%를 차지하는데 이 비율은 중량비를 말한다.

포트하커트시에 따르면 35%를 차지하는 플라스틱과 종이 가운데 석유로 생산되는 플라스틱 페트병이 있다. 이러한 유형의 석유 기반의 플라스틱은 생분해성이 아니다. 이 플라스틱은 300년 동안 용해되지 않고 남아 있으며 지속 가능한 폐기물과 환경오염으로 간주된다. 따라서 플라스틱을 재사용하거나 재활용하는 것은 환경영향 완화에 효과적일 수 있다. 과거에는 우유 및 음료수 등과 같은 일부 식품을 포장할 때 유리를 사용하는 것이 일반적이었다. 유리포장 용기는 같은 용도로 다시 사용하기 위해 공장으로 되돌릴 수 있었다. 그러나 이제는 인간의 처리문화가 변화하면서 유리병은 플라스틱병으로 대체되어왔으며 플라스틱병들은 분해되는데 오랜 시간이 걸리기 때문에 점점 더 쓰레기 매립장의 파괴물질 중 하나가 되어왔다. 플라스틱병 처리의 두 가지 대안은 재활용 및 재사용하는 방안이다.

그러나 대부분의 경우 폐기물을 재활용하려면 다른 사용 가능한 재료 생산용 재료를 처리하기 위해 추가적인 에너지를 필요하게 된다. 그리고 그 과정에 폐수와 대기오염이 발생한다. 따라서 재사용하는 것은 대기오염을 일으키지 않고 추가적인 에너지를 필요로 하지 않기 때문에 재사용하는 것이 최상의 방법으로 남아 있다. 비생분해성 플라스틱 폐기물병을 폐기물관리의 재정적 및 에너지 측면을 감소시킬 수 있는 영역으로 뿐만 아니라 최소한의 환경영향을 초래하는 영역에서 혁신적이고 지속 가능한 건축 재료로 재사용하는 것이다.

병으로 만든 최초의 주택은 미국 네바다주 Tonopah에서 1902년에 William F. Peck에 의해 10,000개의 유리 맥주병을 사용하여 건설되었다. 본문참고문서[13] Twumasi 이후에 보다 새롭고 혁신적인 개념은 주택시공에 유리병 대신 플라스틱병을 사용하는 것이었다. 이 혁신적인 아이디어에는 빈곤한 제3세계 국가를 위해 비용 효율적인 건설 방법을 제공하고, 분해되지 않는 특성으로 인해 플라스틱병을 재사용하는 것과 같은 몇 가지 이유 들이 고려되었다. ECO TEC Environmental Solutions은 온두라스에서 매년 생산되는 플라스틱의 약 80%가 재활용될 수 없다는 사실을 깨닫고 정화활동을 통해 이 문제를 해결할 수 있었다. Eco-Tec Environmental Solution의 설립자인 Andreas Froese는 쓰레기에 대한 혁신적인 해법을 모색하면서 플라스틱병 주택 건설의 혁신을 이루어냈다. 이 단체는 볼리비아, 콜롬비아, 온두라스, 멕시코, 인도, 나이지리아 및 우간다에 주택, 학교, 교회 및 공원을 포함한 50개 이상의 건물을 건설하였다. 또한 나이지리아 카두나주의 Yelwa라는 마을에 아프리카 최초로 플라스틱병 주택을 건설하기도 하였다. 이때 벽돌 대신에 플라스틱병이 사용되었고 끈으로 병을 묶어 고정하였으며 최종마감은 미장으로 마감하였다. 연구에 따르면 플라스틱병 벽돌의 개념은 비용 효과적이고 에너지 효율적이며 상

업용으로 실현 가능한 것으로 나타났다. PET병을 사용하는 것도 기후 생태학적인 것이어서 친환경 건설 방법이라고 한다. 다음과 같은 여러 채의 건물들이 플라스틱병으로 건설되었다. 온두라스에서 8천 개의 병을 사용하여 시공한 생태주택, PET와 와인병을 사용하여 볼리비아에 시공한 Eco-Tec 주택, Tomislav Radovanic이 세르비아에 시공한 페 플라스틱병으로 지은 주택, 대만의 플라스틱병 건물, 아르헨티나 the Iquazu Falls, Misiones 인근에 1,200개의 PET병을 벽체에 사용하여 시공한 친환경 병 주택 등이 해당된다.

나이지리아에 기반을 둔 NGO인 재생가능 에너지 개발협회(The Development Association for Renewable Energies)는 방탄 및 방화성, 내진성이 있으며 일년 내내 화씨 64도의 안락한 실내온도를 유지하는 놀라운 2칸 침실 방갈로를 플라스틱병으로 건설하기도 하였다. 같은 방법을 사용하여 “Bliss Octanoprise International”의 지부인 “My environment my wealth”라는 한 NGO도 나이지리아 폐기물 관리에 기여하고자 2019년 나이지리아 리버스주의 Obio Akpor 지방정부 지역인 okoro nodo Rumuokoro의 모델 초등학교에 위치한 니제르 삼각주에 플라스틱병으로 건설하는 미혼녀 보호소를 설계하고 시공에 착수하였다.

심각한 주택부족 문제가 있지만 포트하커트시의 거리에 플라스틱 병이 굴러다닐 정도로 부족하지 않은 상황에서 도시의 주택부문에 플라스틱병 주택의 친환경 기술을 채택하면 포트하커트의 주택부족 문제와 고형폐기물 관리 이 두 가지 문제에 대한 지속 가능한 해법을 보장할 수 있다. 본 연구의 목적은 포트하커트 시의 폐기물 관리에서 생분해되지 않는 고형폐기물 양에 관한 건물벽체 시공에 페 플라스틱병을 재사용함에 따른 영향을 연구하는 것이다. 본 연구는 공중 쓰레기통, 쓰레기 야적장, 주거지역, 공공장소에 버려지고 일부는 하수구 및 강둑 등에 떠 있는 비분해성 플라스틱 폐기물로 제한된다. 본 연구는 1제곱미터의 벽체 시공에 요구되는 플라스틱병의 양과 소규모 주택 한 채의 시공에 소요되는 양을 확인코자 하는데 이러한 작업은 단일 주거용 건물이 포트하커트의 고형폐기물 야적장에서 버릴 수 있는 플라스틱 폐기물의 양에 대한 아이디어를 제공할 것이다.

## 2.1 플라스틱병 벽돌(친환경 벽돌 - eco brick)

미국의 친환경 설계에 따르면 친환경 건축은 천연자원 고갈 및 이산화탄소 배출과 같은 환경 영향을 완화할 목적으로 건설 및 운영되는 환경적으로 지속 가능한 건축으로 정의된다. 또한 여기에서는 지속 가능한 부지계획, 에너지 효율성, 재생 가능한 자원의 사용과 재활용 및 재사용에 의한 재료와 자원의 보존 그리고 실내공기의 질 등을 다룬다. 지속 가능한 원칙에는 사회적, 경제적 및 환경적인 것 등과 같은 삶의 기본적인 측면을 주로 다루는 이상적인 기준이 있다. 여기에는 거래의 모든 측면과 단계에 커뮤니티가 포함되며 이러한 원칙을 수립하는 것은 주목할 만한 가치가 있다. 건물의 건설에 페플라스틱병과 같은 일부 재생 가능한 자원과 사용하지 않는 폐기물을 사용하면 벽, 지붕, 조경 등과 같은 일부 건축재료로 보통 쓸모없는 것으로 생각하는 비생분해성 플라스틱병을 사용하여 친환경 건축 개발을 달성함으로써 재생 가능한 자원을 보존하고, 환경 및 사회에 도움이 될 수 있다. 이를 통해 시멘트, 블록, 벽돌 등을 생산하기 위해 공장에서 소비되는 에너지가 절약될 것이다.

건설과정에 시멘트 사용의 결과로 인한 이산화탄소 배출은 감소될 것이다. 벽 재료로 플라스틱병을 재사용하는 것도 새로운 제품을 생산하기 위해 가열하거나 파쇄함으로써 플라스틱 폐기물을 재활용하는데 사용되는 에너지를 절약하는데 도움이 될 것이다. 또한 재활용 프로세스를 위해 화석연료를 연소하는 과정에서 배출되는 이산화탄소도 감소될 것이다. 폐기물 매립지는 그 안에 버려지는 비분해성 폐기물의 양을 줄여 환경을 보존함으로써 절약되고 수명이 늘어날 것이다.

## 3. 재료 및 방법

본 연구에 사용된 재료에는 다음과 같은 것들이 있다. 플라스틱 페트병 샘플, 150mm Whitworth 디지털 스테인레스 버니어 캘리퍼, 총 116.74제곱미터의 바닥면적을 커버하는 2칸 침실 방갈로 샘플 그리고 데이터와 시험결과 분석용 마이크로소프트 엑셀 소프트웨어 등이다. 플라스틱병은 포트하커트 시에서 3군데 다른 곳으로 상위 3개 기관 내 쇼핑지역 주변의 쓰레기통에서 수거되었다. 즉, 리버스 주립 대학교, 포트하커트 대학교 및 포트하커트 폴리테크닉이 그곳이다. 수집된 병을 분석한 결과 포트하커트에서 가장 많이 사용되는 플라스틱병으로 12가지 유형이 다음과 같이 확인되었다. beta malt (33cl), coke (35cl), sprite (35cl), smooov chapman (35cl), fanta (35cl), arctic blue table water (50cl), enna table water(50cl), lasien table water(50cl), mirinda (50cl), pepsi (50cl), coke (60cl), 및 eva table water(75cl)병 등 모두 12가지이다. 연구에 사용된 병의 선택 범위는 가장 일반적으로 소비되는 청량음료와 식수 플라스틱병만으로 제한하였다. 그리고 본 연구를 위해 선택된 12개 종류는 쓰레기통에서 발견된 각 플라스틱병의 종류와 종류별 수량은 물리적 관찰을 통해 선택되었고 이들 12종류의 병들은 방문했던 3개 상위 기관 모두에서 풍부하게 존재하였다. 수요율이 가장 큰 제품을 결정하기 위해 쇼핑센터의 일부 상점 소유자를 인터뷰하였으며, 이로서 이 선택이 합당하다는 확인을 하였다.

전형적인 2칸 침실 방갈로 설계는 벽체 높이와 전체 벽둘레 길이를 측정 후 곱하여 시공에 요구되는 총면적을 산정하는데 활용된다. 그런 다음 개구부(문, 창문, 보 등)의 면적을 차감하여 건물 벽체의 예상면적에 근접시켰다. 건물 내 순 벽체 면적은 307.60제곱미터로 산출되었다. 모든 수집된 플라스틱병의 직경과 높이를 측정하기 위하여 디지털 버니어 캘리퍼가 사용되었다. 길이 방향 접착방식(stretcher bonding system)을 사용하여 벽체를 시공하기 위해 사용될 때 각 플라스틱병으로 덮혀지게 될 단위 표 면적을 계산하는데 직경이 사용된다. 플라스틱병의 높이는 벽체의 예상 두께를 나타낸다. 본문 그림 9와 표 1 및 표 2에 표시한 바와 같이 기타 필요한 데이터를 결정하기 위해 마이크로소프트 엑셀 소프트웨어의 관련 통계 도구를 사용하여 추가적인 계산 작업들이 이루어졌다.

#### 4. 시험결과 및 검토

결과를 확인하는데 필요한 측정 및 계산이 완료된 후 얻어진 데이터는 본문 표 1&2와 그림 9에 바차트로 작성되어 있다.

본문 그림 9에는 다양한 종류의 플라스틱병 종류와 1제곱미터 벽체를 시공하는데 필요한 플라스틱병 수량 간의 관계를 보여주는 결과를 그림으로 나타내었다. 1제곱미터의 벽체 시공에 평균 245개의 플라스틱병이 필요하다고 추론되었는데 그 결과도 다음에 표시한 것처럼 본문 표 2에 표시하였다. 용량 33cl beta mal병은 1제곱미터 당 277개 필요, 용량 35cl coke병은 277개 필요, 용량 35cl sprite병은 270개 필요, 용량 35cl smooov chapman병은 270개 필요, 용량 35cl fanta병은 256개 필요, 용량 50cl arctic blue table water병은 243개 필요, 용량 50cl enn table water병은 243개 필요, 용량 50cl lasien table water병은 238개 필요, 용량 50cl mirinda병은 232개 필요, 용량 50cl pepsi병은 227개 필요, 용량 60cl coke병은 208개 필요 그리고 용량 75cl eva table water병은 200개의 플라스틱병이 필요한 것으로 본문 표2에 표시되어 있다. 차트에는 또한 플라스틱병의 용량과 직경이 크면 클수록 벽체 단위 제곱미터 당 요구되는 병의 수량이 작아지는 것으로 나와 있다.

본문 표 1에서는 벽체에 놓아 사용될 때 각각의 플라스틱병에 의해 덮혀지는 실제 면적을 결정하기 위한 계산 및 가정의 분석을 보여주는 통계 데이터도 나타내었다.

한편 본문 표 2는 예상결과를 보여주는 통계 자료이다. 각 플라스틱병 크기에 대해 1제곱미터의 벽체를 시공하는데 필요한 샘플 플라스틱병 예상 숫자가 표시되어 있다(본문 표 2의 H열). 이 표에서는 또한 307.6제곱미터와 116.74제곱미터의 바닥면적을 커버하는 2칸 침실 방갈로용 벽체를 시공하는데 요구되는 병의 숫자도 나와 있다. 본문 표 2의 1열에서 각각의 병 규격에 대한 결과가 나와 있는데 1제곱

미터의 벽체를 시공하는데 평균 245개의 플라스틱병이 요구되는 반면에 2칸 침실 방갈로를 시공하는데 요구되는 플라스틱병은 75,534개이다. 만약 이 시공방법이 채택되는 경우 포트하커트에서 75,534개의 플라스틱병(플라스틱병 3톤에 해당)이 사라질 수 있다고 봐도 되겠지요?

## 5. 결론

발견, 실험 및 관찰을 통해 우리는 대도시 포트하커트의 폐기물 관리문제에 관한 상당한 긍정적인 영향이 있을 것이라고 추론할 수 있으며 지속 가능한 친환경 플라스틱병 주택기술이 건축 시공에 채택되어야 한다고 생각한다. 1제곱미터에 불과한 벽체 하나가 평균 245개의 플라스틱병을 소진할 것이고 사례 연구에 사용된 307.6제곱미터의 벽을 커버하는 2칸 침실 방갈로 설계에 평균 75,534개의 플라스틱병이 사용될 것이다. 이 플라스틱병들은 거리와 배수로에 버려져 운하에 홍수를 일으키게 하였을 것이고 수백년 동안 유용한 공간을 점령하면서 쓰레기 더미로 남아 있었을 것이며 쓰레기 더미가 자주 가득 차게 하는 원인이 되었을 것이다. 따라서 우리는 지속 가능한 폐기물 관리와 포트하커트 시의 주택 부족 문제를 해결하는 하나의 전략으로서 친환경 벽돌 시공 아이디어가 포트하커트의 주택 프로젝트를 위해 정부와 부동산 개발자가 채택할 것을 권장한다. 플라스틱 폐기물의 부적절한 취급과 관련된 문제들은 크게 줄어든 것이다.

이 기술에 플라스틱병을 재사용하는 것을 포함하고 있기 때문에 이 도시는 재활용에 비해 플라스틱 폐기물을 관리하는 데 에너지 낭비를 최소화하거나 전혀 초래하지 않음으로써 이득을 얻게 된다. 공장에서의 재활용, 시멘트 생산 등으로 인한 이산화탄소 배출이 줄어들 것이며 물과 공기 오염도 줄어들 것이다. 따라서 우리는 벽체 시공용 건축재료로 플라스틱병 벽돌을 사용하는 것이 포트하커트 시의 폐기물 관리문제를 긍정적으로 개선할 수 있고 보다 환경 친화적이고 비용 효율적이며 에너지 효율적이고 지속 가능한 폐기물 관리 시스템을 보장할 수 있다는 결론을 내릴 수 있다.

**<원문제목>** Quantitative analysis of the impact of using plastic bottle brick for wall construction on solid waste management in Port Harcourt

**<원문출처>** Biodiversity international journal