Global Report

지속가능한 대책으로서의 친환경 콘크리트

1. 개요
2. 소개
3. 환경 문제
4. 지속가능한 건설 해법
5. 적합성과 지속가능성
6. 결론

KAIA 국토교통 과학기술진흥원

작 성 자 | 김 규 남

1. 개요

전 세계적으로 부동산은 매우 빠르게 성장하고 있으며 건설공사로 엄청난 양의 건설 재료의 수요가 예상되고 그 중에서도 콘크리트는 핵심 재료이다. 콘크리트를 만들기 위해 어마어마한 규모의 천연자원이 소비되고 있으며 환경문제에도 의문점이 생기고 있다. 이러한 환경 문제를 극복하기 위해 산업계에서 나오는 폐 재료의 재활용 및 재사용이 널리 보급되고 있다. 따라서 오염이 없이 경제적으로 더욱 오래 지속될 수 있는 효율적이고 환경 친화적인 콘크리트를 개발해야 할 필요성이 시급한 실정이다. 이 보고서에서는 친환경 콘크리트의 장단점에 대한 몇 가지 혁신적인 아이디어와 함께 관련 기사 및 연구결과를 검토코자 한다.

2. 소개

친환경 콘크리트를 녹색 콘크리트라고 표현하는데 여기서 녹색이라는 말은 콘크리트의 색상하고는 관련이 없다. 친환경 콘크리트는 기본적으로 콘크리트 원료 제조과정에서 발생하는 다양한 차원의 오염으로부터 환경을 보호하기 위해 주어진 개념이다. 친환경 콘크리트의 개념은 미래세대의 니즈를 훼손하지 않고 다양한 천연자원을 절약하는 것에서 유래되었고 내구성, 저 비용성을 갖추고 폐기물 처리 공간을 고려하며, 시간 및 돈을 낭비하지 않고 폐 재료의 재활용과 재사용 등을 적용한 개념에서 기원한 것이다. 이 개념은 부동산이 매우 빠르게 성장하고 있는 인도와 같은 개발도상국에서 다양한 오염수준을 예방할 수 있는 유일한 해결책인 지속가능한 건설을 목표로 하는 것이다. 지속가능한 건설과 개발에서 중요한 역할을 하는 친환경 콘크리트는 대중화 되고 있을 뿐만 아니라 현시대에 절실히 필요한 것이다. 토건분야의 엔지니어들과 건축가들은 지속가능한 건설 재료에 그 어느 때보다 많은 관심을 가지고 있다. 기존 콘크리트에 대해 생각해 볼 때 그 주요 구성재가 시멘트라는 것을 발견하게 되는데 전 세계적인 시멘트 생산은 온실가스 및 지구온난화의 원인인 이산화탄소 총 배출량의 6%를 차지하고 있다.

인도는 1인당 시멘트 최대 소비국이며 시멘트 생산은 세계에서 3번째로 가장 큰 국가이다. 연구자들에 따르면 시멘트 1톤의 생산과정에서 1톤의 이산화탄소가 방출되는데 일부 다른 시멘트 계 재료로 시멘트 일부를 대체하거나 또는 콘크리트를 재사용함으로서 최소화될 수 있다고 하며 그렇게 개발된 콘크리트를 친환경 콘크리트로 부를 수 있다고 한다. 석분, 분쇄 콘크리트(crushed concrete), 대리석 폐기물과 같은 친환경 골재로 불리는 일부 무기 잔류물은 친환경 시멘트, 즉 기존 시멘트를 플라이애시, 마이크로 필러(micro fillers) 또는 다량의 마이크로 실리카와 같은 재료로 대체된 바인딩 재료와 혼합될 수 있으며 비용효과적일 뿐만 아니라 내구성도 있는 친환경 콘크리트를 만드는데 사용될 수 있다.

3. 환경 문제

시멘트 생산량 약 0.9톤으로 온실가스가 되는 이산화탄소 1톤을 방출하는데, 온실가스는 지구온난화의 주범이다. 콘크리트의 다양한 구성재 중에는 채광된 암석 골재가 있는데 이는 천연자원 감소의 원인이 되고 있다. 건설과 철거 폐기물 처리는 요즈음 큰 문제가 되었다. 이 폐기물 처리로 농경지가 감소되고 토양이 황폐화되며 토지가 잠식되고 있어 다음 세대를 위협하는 원인이 되고 있다.

시멘트의 제조 시 많은 시멘트 먼지는 공기오염을 일으키고 그 먼지가 식물의 잎에 내려앉으면 식물의 성장이 멈출 뿐만 아니라 살아있는 생명체의 폐에 계속해서 들어가면 폐를 뻣뻣하게 하여 유연성을 잃게 만들고 많은 질병의 근본 원인이 될 수 있다. 다양한 산업 및 해체 폐기물이 쌓여서 언덕으로 변하

고 다양한 용도로 쓰일 수 있는 토지들이 이렇게 잠식당하면서, 오늘날 환경문제로 대두되고 있다.

콘크리트 산업은 매년 전 세계적으로 1조 갤런의 물을 사용하는데 이것은 식수가 부족한 지역에서는 큰 문제이다.

4. 지속가능한 건설 해법

친환경 콘크리트는 위에서 언급한 환경문제를 없애주는 유일한 해결책이며 따라서 환경영향을 최소화하고 경제적이고 환경 친화적인 콘크리트로 만들어 주는 친환경 콘크리트를 건설에 사용하는 것은 지속가능한 건설이라 부를 수 있을 것이다. 콘크리트 구조물을 해체함으로서 발생된 콘크리트 폐기물은 우리 주변에 영향을 감소시킬 수 있는 환경 친화적인 친환경 콘크리트를 만드는데 재사용될 수 있다. 친환경 콘크리트에 관한 다음과 같은 세부내용들은 플라스틱 폐기물, (재활용) 폐 콘크리트, 플라이애시, 채석장 및 대리석 폐분 등의 효과적인 사용에 적용될 수 있는 재료와 재료의 조합에 관해 모든 것을 명확하게 할 것이다. 플라이애시는 온실가스 배출 및 나쁜 영향들도 줄인다.

Tafheem, Z et al은 2011년 친환경 콘크리트에 관한 개괄적인 상태를 발표하였는데, 친환경 콘크리트는 환경영향을 감소시키고, 낮은 에너지 비용, 온실가스 배출 감소 및 낮은 유지비용이 발생하는 것을 강조하였다. 또한 자원절약에 관한 한 포틀랜드 시멘트 클링커의 부분 대체재로 사용되는 산업 부산물과 사용 후 폐기물(post consumer wastes)의 재사용은 콘크리트를 보다 내구성이 있고 환경 친화적인 재료로 만드는 것이라고 하였다.

친환경 콘크리트는 이산화탄소 배출을 감소시키는 주요 대안이다. 친환경 콘크리트는 에너지를 절약하고 낭비를 줄이며 저렴하게 사용할 수 있는 최고의 대안이다. 친환경 콘크리트의 강도 및 내구성과 같은 기계적 특성은 일반 콘크리트 보다 훨씬 더 좋다는 것을 알게 되었다(Garg, C. & Jain, A. 2014). 천연자원의 지속가능한 이용은 현시대에 가장 시급히 필요한 것이 되었다. 따라서 혁신적이고 효율적인 조치들을 취하는 것이 건설산업에 필수적이다. 따라서 지속가능한 개발을 위해 사용되는 재료는 산업체에서 나오는 폐 제품, 재활용 제품으로 구성되어야만 한다. 따라서 친환경 콘크리트는 위의 모든 요소들을 고려하여 이러한 필요성을 충족시킬 수 있는 재료이어야 한다. 친환경 콘크리트의 제조에는 콘크리트에서 사용되는 시멘트 비중이 14~20%정도로 감소되어야 하며, 생태 친화적인 환경조성에 기여할 수 있도록 대리석 폐분, 채석장 석분, 나무재(wood ash) 등의 사용이 포함된다. 콘크리트의 공정이 향상되고 개선됨에 따라 배출물을 줄이고 오염을 줄이며 콘크리트의 기계적 특성을 향상시키기 위해서 친환경 콘크리트 제조는 가장 우수하고 효과적인 방법이다. 친환경 콘크리트의 기술과 현대화는 건설 분야에서 매우 효과적인 것으로 입증되었다. 따라서 친환경 콘크리트의 다양성과 다양한 용도로의 쓰임은 환경보호에 크게 기여할 것이다.

기존 일반 콘크리트를 만드는 것은 시멘트의 생성과정에서 주로 배출되는 유해한 이산화탄소 가스배출로 해로운 것이 사실이다. 따라서 어떤 수단을 동원해서라도 그 배출을 줄이려는 노력이 필요하게 되었다. 플라이애시, 다양한 분야의 폐기물과 무어름(moorum-일종의 석분), 고로슬래그 등과 같은 재활용재를 사용하여 이러한 배출물을 감소시키기 위한 다양한 종류의 콘크리트가 개발되고 있다. 이러한 폐기물은 값이 싸고 에너지를 절약하며 쉽게 구할 수 있고 환경에 영향도 덜 미친다. 시멘트 생산으로 인한 오염에 대처하기 위해 친환경 콘크리트가 어느 정도 시멘트의 사용을 상쇄할 수 있는 기술적인 방법임이 입증되었다. 그러므로 친환경 콘크리트를 사용하여 온실가스, 이산화탄소와 같은 배출물이 줄어들

수 있으며 그런 결과로 환경에 부정적인 영향을 미치는 콘크리트가 감소된다(Nagarkar, V. et al 2017). 건설 분야에 사용되는 수없이 많은 엄청난 양의 재료가 존재하지만 엔지니어들과 건축가들은 친환경적일 뿐만 아니라 지속가능한 재료를 선택하기 위해 끊임없이 노력하고 있다. 따라서 그들은 친환경 콘크리트를 통하여 미래 수요를 충족시키기 위해 건설 분야에 산업폐기물과 재활용 제품 사용을 목표로 삼고 있으며 천연자원의 사용을 제한하고 있다. 기존 일반 콘크리트 대신에 친환경 콘크리트를 사용할 필요성도 더 커지게 되었다(Jain, N. et al 2015).

세계적으로 콘크리트만큼 널리 사용되는 건설 재료는 없다. 콘크리트 제조과정에 사용되는 구성재에는 이산화탄소와 온실가스와 같은 독성이 강한 가스를 방출하는 시멘트가 있다. 이런 이유로 저자는 환경에 대한 영향과 천연자원의 사용을 감소시킬 수 있도록 폐 재료(재활용재)와 기타 자원을 사용하여 만드는 콘크리트로서 바로 이 친환경 콘크리트를 다루고자 한다. 그러나 유념해야 할 일은 폐 재활용 재료(시멘트 및 골재)를 사용함으로서 콘크리트의 특성이 기존의 콘크리트와 어떻게 달라지느냐 하는 것이다. 또 다른 문제는 친환경 콘크리트 생산의 모든 이점과 장애요인들이 적절히 이해되고 해결되었는지 여부이다(Jin, R. and Chen, Q. 2013).

2015년 Jain, N., et al은 지속가능한 해결방안으로 폐 골재를 사용한 그레이드 M30 친환경 콘크리트를 개발했다. 연구진은 재활용 조골재를 사용하는 콘크리트의 물리적, 기계적 특성을 개선하기 위해 재활용 조골재로 천연조골재를 50~100% 대체하고 다양한 물시멘트비에 따른 특성을 관리기준 콘크리트와 비교 및 그 영향을 검토하였다. 세척된 재활용 조골재 사용의 경우 경화된 콘크리트의 모든 기술적 특성의 개선이 관찰되었다. 100% 세척된 재활용 골재를 함유하는 재령 28일 콘크리트의 압축강도는 천연골재로 만든 콘크리트에 비해 7% 정도 약간 낮은 수준이었다. 콘크리트의 내구성을 평가하기 위해 흡수율, 탄산염 및 염화칼슘 침투 시험이 이루어졌다. 연구된 모든 콘크리트 배합에서 콘크리트는 염화물 이온 침투의 경우 적절한 침투성이 있는 것으로 확인되었고 탄산염은 관찰되지 않았다.

본 저자는 이전에 발표된 논문에 따라 친환경 콘크리트를 생산하기 위해 폐 재료를 사용함에 따른 이점을 먼저 기술하고자 한다. 미국 건설 분야의 친환경 콘크리트를 생산하는 현재의 상태를 본 논문에 설명하였다. 제시된 데이터는 친환경 콘크리트에 관한 지식을 제공한다(Jin, R., Chen, Q. 2013).

현재 재활용 및 폐 재료 사용이 나날이 증가하고 있으며 신 재료 생산에 폐 재료를 사용하는 것은 아주 매력적인 과제가 되어왔다. 천연자원이 나날이 고갈됨에 따라 다른 대체 재료로 만들기 위해 폐 재료를 사용하는 것이 매우 절실하게 되었다. 건설 산업의 예를 들자면 해체된 구조물이나 건물에서 나오는 폐기물이 재활용 및 재사용될 수 있다. 지난 수년 동안 재활용 골재를 더 많이 사용하기 위한 많은 노력과 연구가 이루어졌다. 연구진은 신규 구조물이나 건물의 건설공사에 재활용 조골재의 사용이 콘크리트 배합재료를 어느 정도 강화하는 것으로 기술하였다. 문헌을 검토한 결과 분쇄 콘크리트(crushed concrete), 해체된 콘크리트(골재) 및 잔해가 건설공사에 재사용될 수 있다는 연구결과도 나왔다. 연구의 주요 목적은 M45급 콘크리트 폐기물에서 채취한 다양한 유형의 골재를 사용하여 만든 콘크리트의 강도를 확인하는 것이었다. 하지만 친환경 콘크리트의 경우 재활용 폐 골재의 조합비율은 40%까지 차이가 나는 것으로 알려져 있다(Prof. Chetna, M. Vyas et al 2013).

시멘트의 제조는 전 세계적으로 발생되는 이산화탄소의 8~10%를 방출한다. 석회석과 점토가 고온으로 가열되고 분쇄되면서 온실가스인 이산화탄소가 배출되는 것이다. 친환경 콘크리트는 재활용 폐 재료를 사용하여 만드는 일종의 환경 친화적인 콘크리트이다. 많은 연구진들이 시멘트의 제조과정에서 발생

하는 환경에 관한 영향과 많은 에너지 소비를 해결하고 자연의 생태적 균형을 유지하는 여러가지 해결책을 제시하였다. 그러한 해결책들은 또한 콘크리트 배합뿐만 아니라 시멘트의 형성에 나노입자의 사용을 포함하며, 플라이애시(100%), 천연 포졸란, 폐 재료(재활용) 및 CNT's 집적화에 의한 나노입자는 콘크리트의 특성을 향상시키고 보다 청정한 기술을 제공할 것이다.

기존 일반 콘크리트는 엄청난 양의 이산화탄소 배출로 환경에 나쁜 영향을 미치는 반면에 이를 대체할 수 있는 친환경 콘크리트는 고로 슬래그, 실리카 흄, 플라이애시와 같은 산업체 폐 부산물을 사용하여 생산된다. 이렇게 폐 재료를 사용하여 만든 콘크리트는 기존 일반 콘크리트와 비교하여 오염물질을 덜 배출한다. 시멘트 제조로 환경에 무서운 해를 끼치는 과도한 양의 이산화탄소가 배출됨으로 시멘트의 사용을 제한하면 우리는 이산화탄소 배출량을 줄이는 것은 물론 산업 및 농업 폐기물 처리 비용을 절약할 수 있으며 환경오염을 방지할 수 있다(Mr. Nagarkar, V. 2017).
2015년 Jain, N.et al은 지속가능한 개발을 위해 재활용 조골재를 사용하는 친환경 콘크리트(M30급)의 발전을 연구하였다. 연구진은 재활용 조골재 품질이 떨어지는데 세척을 하면 재활용 조골재 표면의 부실한 몰탈의 제거로 인해 물리적 및 기계적 특성에 진전이 있다는 것을 알게 되었다. 100% 세척 재활용 골재를 함유하는 재령 28일의 경화된 콘크리트의 압축강도는 천연골재로 만든 콘크리트의 압축강도에 비하여 7% 정도 약간 떨어지는 강도를 나타내었다. 콘크리트의 내구성을 평가하기 위하여 흡수율, 탄산염 및 염화칼슘 침투시험도 이루어졌다. 콘크리트는 염소이온에 적절한 침투성이 있는 것으로 확인되었다.

2016년 Aiyewalehinmi E.O 및 Adeoye T.E는 건설 폐 재료의 약 15%~20%가 매립이나 야적되는 것으로 추정했다. 그들은 물시멘트비 0.5, 0.55, 0.6 및 0.65의 다양한 배합으로 총 96개의 콘크리트 큐브를 제작, 양생 후 파괴시험을 실시하였다. 그 결과 그들은 물시멘트비가 낮을 때 재령 28일의 경우 재활용 골재를 사용한 콘크리트의 압축강도가 16.89N/mm2 이었고 신규골재를 사용한 콘크리트의 경우 19.93N/mm2인 것을 확인하였다. 반면에 물시멘트비가 높은 경우 재활용 골재는 18.07N/mm2, 신규골재는 18.37N/mm2로 거의 차이가 없는 것을 알게 되었다. 연구진은 재활용 골재의 경우 물시멘트비가 클 때에는 신규 골재를 쓴 콘크리트의 압축강도와 같은 강도를 발현할 수 있는 것으로 조사를 완료하였다.

5. 적합성과 지속가능성

건축물의 사하중 감소, 핸들링 능력 향상, 내습성, 내열 및 내화성, 방음성, 공사의 신속성, 이산화탄소 배출의 감소, 친환경성, 유지관리 노력 저감성 및 우수한 작업성 측면에서 친환경 콘크리트야 말로 인도에서 가장 적합하고 획기적인 재료라고 판단된다. 그러나 소홀히 다루거나 적절한 관리가 이루어지지 않는다면 친환경 콘크리트로 만든 건축물은 수명이 단축되고 수분을 흡수하며 휨강도가 저하될 수 있다.

6. 결론

본 연구 검토를 통해 기존 시멘트의 강도에 영향을 주지 않으면서 기존 시멘트의 부분 구성재로 사용될 수 있는 많은 폐 재료가 있지만 아직은 환경적 요소와 관련하여 최적화 과정에서 그 품질을 훼손하지 않도록 고려된 모든 영향 매개변수를 가지고 수명주기 분석에 대한 자세한 연구가 필요하다. 따라서 건설목적으로 폐 재료를 사용하는 것과 폐 재료의 처리와 관련된 문제를 제거하는 것은 일종의 지속가

능한 환경관리이며, 우리의 천연자원을 절약함으로서 미래세대의 다양한 니즈를 가슴깊이 새기는 것이다.

<원문제목> Green Concrete - A Sustainable Solution
<원문출처> International Journal of Computational Engineering Research (IJCER)