

Global Report

친환경 콘크리트용으로 재활용골재와 포졸란의 사용 가능성

1. 개요
2. 소개
3. 재료의 특성
4. 방법론
5. 시험결과 및 검토
6. 결론

1. 개요

콘크리트는 건설업계에서 가장 널리 사용되는 자원 중 하나이지만 천연자원을 소비하여 자연을 파괴하고 환경에 심각한 영향을 미치기 때문에 환경 친화적이지 못한 것으로 평가받고 있다. 시멘트 생산과정 중에 발생하는 엄청난 양의 이산화탄소 배출, 천연골재의 심각한 감소 및 건설 및 철거 폐기물의 처리 등을 대표적인 예로 들 수 있다. 이에 친환경 콘크리트가 지속가능한 건설을 위한 하나의 해법을 제공할 것으로 판단된다. 다양한 대체재 또는 재활용재료를 사용하려는 시도들이 전 세계적으로 친환경 콘크리트 제조에 좋은 지표들을 제공하고 있다. 본 연구에서는 수단(Sudan)에서 친환경 콘크리트를 제조하기 위해 재활용 골재 및 현지에서 구할 수 있는 천연 포졸란의 잠재적 유용성을 시험하였다. (1)표준 배합 (2)조골재 100%를 대체하는 재활용 골재를 사용한 배합 (3)100% 재활용 골재 및 10% 포졸란 (4)100% 재활용 골재 및 20%포졸란 (5)100% 재활용 골재 및 30% 포졸란 등 5가지 시나리오에 대해 조사가 이루어졌다. 생 콘크리트 및 경화된 콘크리트 혼합물에 대해 시공연도, 내구성 및 재령 7일과 28일의 압축강도 등이 각각 조사되었다. 다양한 시나리오에 대한 다양한 결과들이 도출되었으나 최적의 결과는 100% 재활용 골재와 10%의 포졸란을 함유한 배합에서 달성되었다. 이러한 결과들은 친환경 콘크리트를 제조함에 있어서 재활용 골재와 현지 포졸란의 잠재적 유용성에 대한 합리적인 지표를 제공하는데 전망이 좋은 것으로 판단되었다. 따라서 재활용 골재 또는 포졸란의 다양한 비율의 배합을 고려한 배합 설계를 반복하여 시도하는 것이 권장된다.

2. 소개

세계 환경개발위원회(The World Commission on Environment and development)는 “현세대의 니즈에 부합하기 위하여 미래세대의 역량을 훼손하지 않으면서 현세대의 니즈를 충족시키는 것”으로 지속가능성을 정의하고 있다. 건설업계에서의 지속가능성은 시공분야 뿐만 아니라 설계분야와 관련이 있으며 효율적이고 생태학적 원칙에 따른 이용 가능한 자원을 사용하는 건전한 건축 환경을 조성하고 이를 책임감이 있게 관리함으로써 성취될 수 있을 것이다. 콘크리트는 건설 분야에서 가장 널리 사용되는 자원 중 하나이다. 자갈 또는 채석으로 만들어지는 조골재, 세골재(모래), 물, 시멘트 및 혼화재 등 이 모든 콘크리트의 구성재는 거의 천연재료이고 주변에서 이용 가능한 것이지만, 이러한 이용가능성은 한계가 있기 때문에 보존될 필요성이 있다. 이러한 이유로 천연자원을 보존하는 것은 전 세계적인 관심사가 되었다. 각종 문헌에 인용된 최근 개발현황에 따르면, 건설자재들은 점차 생태학적 특성에 의해 결정되는 것으로 판단되고 있다. 많은 연구를 통해 콘크리트는 자연을 파괴하고 환경에 심각한 영향을 미치기 때문에 환경 친화적이지 않다는 사실을 지적해왔다. 1톤의 시멘트를 생산할 때, 약 0.9톤의 이산화탄소가 발생하는 것으로 보고되었다. 콘크리트 생산과 동등한 비율로 암석광산에서 채굴되는 골재로 인하여 자연적으로 발생하는 골재의 양이 크게 감소되었으며, 최근 통계자료에 따르면 연간 1,200만 에서 1,400만 톤으로 예상되는 건설 및 철거 폐기물 처리와 관련된 또 다른 문제를 야기하는 것으로 드러났다. 이러한 부정적인 영향과 관련된 환경문제들은 많은 국가들의 연구자들이 해당 자원고갈을 방지하기 위한 대응 움직임을 태동시키도록 하였다. 친환경 콘크리트는 지속가능한 건설로 이끄는 해결책으로 생각되고 있다. 친환경 콘크리트란 “그 구성재 중 최소 한 가지 이상의 재료를 폐기물을 활용하는 콘크리트 또는 그 제조과정이 환경파괴를 야기하지 않는 콘크리트”로 정의되고 있다.

친환경 콘크리트를 생산하기 위하여 수많은 기술과 재료 취급 계획들이 사용가능성 또는 일부 재료의 재사용 가능성에 대한 적합성을 확인하기 위해 제안되고 시험이 이루어졌다. 다양한 재료의 사용에 포함되었던 과거 우수한 시도들 중에는 포틀랜드 시멘트를 사용하지 않는 콘크리트를 제조하기 위하여 지오폴리머 등과 같은 재료를 다른 재료와 혼합하는 등의 방안이 있었다.

플라이애시, 메타카오린(metakaolin), 고로슬래그, 목재에서 나온 재, 석회석 분말, 실리카흄, 왕겨재

및 슬리포즈(Slipozz)와 같은 다양한 시멘트질 재료로 시멘트를 부분 대체한다는 또 다른 시도들이 있었다. 또한 재활용 재료를 사용하는 것도 천연자원을 보존하고 천연자원의 고갈을 감소시키는 가능한 해결책 중 하나가 될 것으로 간주되었다. 이전의 연구에서 언급된 사례들에는 골재의 부분 대체재로서 사용연한이 끝난 유리제품의 재사용과 금속주조과정의 부산물인 주물사(foundry sand)의 사용 등이 포함되었다. 목재를 연소시킨 후 남는 잔류물도 세골재 또는 시멘트를 부분 대체하는 하나의 재료로서 시도된 적이 있었다.

건설 분야에서 이러한 지속가능한 해결책의 사례로 세계 2차 대전 후 대규모로 건설폐기물의 재활용이 처음으로 시도되었다. 그 이후로 재활용 건설 폐기물이 다양한 사용범위를 가질 수 있다는 여러 연구들이 수행되어졌다. 조골재 대체방안으로 재활용 골재를 사용하는 것이 널리 활용되게 되었다. 재료공급원, 생산과정, 물리적 및 기계적 특성 등에 따라 골재는 인공골재, 재활용골재 및 순환골재 등으로 분류될 수 있다.

쇄석골재(Crushed aggregate)는 채석장 암석, 큰 둥근돌(boulders), 큰 자갈 또는 대형골재를 파쇄하여 제조된다. 그러나 가공비용의 증가와 더불어 천연골재 공급부족은 낡은 건축물에서 나오는 다양한 재생 재료(reclaimed materials)의 사용을 촉진시키게 되었다. 최근에 재활용 및 지속가능성과 같은 개념들이 이러한 문제에 대응하기 위하여 활발히 등장하게 되었으며 폐 콘크리트에서 얻어지는 재활용 또는 분쇄되어 회수된 콘크리트 골재를 보다 더 많이 활용하는데 많은 관심이 집중되고 있다.

재활용 콘크리트 골재(RCA)를 주제로 한 문헌 검토 결과 최근에 RCA를 사용하여 천연골재를 대체재로 하는 것에 관해 집중적인 연구가 수행된 것으로 나타났다. 콘크리트 구조물 철거로 추출된 골재가 비교적 낮은 강도를 가지고 있고 덜 중요한 곳에 쓰인다는 사실에도 불구하고 Muneera와 Rupa는 재활용 골재가 환경보호 및 경제적인 측면에서 유용할 수 있다는 사실을 강조하였다. 반면에 Choudhary와 Kumar는 건설 및 철거 폐기물에서 채취된 재활용 골재가 콘크리트의 기본 골재에 대한 대체재로 건설 분야에 사용가능성이 높다고 발표하였다. 다른 연구결과에서는 재활용 골재가 사용될 경우 콘크리트의 특성에 몇 가지 변화가 있음을 보여주었다. Verian 등의 연구결과, RCA는 천연골재에 비하여 비중이 낮고 흡수율 값이 상대적으로 높으며 생 콘크리트의 작업성에 영향을 줄 수 있는 것으로 나타났다. 그들의 연구결과 다양한 RCA의 경우 흡수율 값은 3.3~9.25%이고 비중은 2.1~2.6인 것으로 보고되었다.

그러나 문제는 RCA로 만들어지는 콘크리트의 제조 및 RCA의 제조공정에 대한 “품질관리 기준과 기술 사양”의 적용성에 있는 것으로 보인다. Muneera와 Rupa는 발표하였다. 이전 연구의 결과를 보면 전 세계적으로 RCA 잠재적 유용성에 대한 인식이 증가하고 인센티브가 있는 것으로 나타났다.

수단에서 건설 분야에 사용되는 천연골재는 수도인 하르툼 주변에 위치한 특정 채석장에서 일반적으로 사용된다. 다양한 등급의 천연 자갈들을 둥근 것, 길쭉한 것, 각이 진 것 등 다양한 형태로 이용가능하다. 건설 분야에 사용될 경우 이러한 골재들은 일부 프로젝트의 요건에 부합할 수도 또는 그렇지 않을 수도 있으므로 기술적 특성을 향상시키기 위해 일부 개선작업이 요구될 수도 있다. 또한 하르툼에 여러 장소에 있는 부실한 기초 위에 지지되고 있는 낡은 콘크리트는 채움재(random fill) 또는 보조기층재로만 사용될 수 있는 것으로 확인되었다. 친환경 콘크리트에 대한 지속가능한 제안에 관한 문헌 검토결과 수단의 경우 그 잠재적 제조에 관해 어떤 실천 가능한 연구결과도 없는 것으로 확인되었다. 이전의 연구결과 현 상황이 제안된 재료 또는 기술에 의해 친환경 콘크리트를 생산할 수 있는 좋은 기회인 것으로 판단되기 때문에 수단의 건설업계도 환경 친화적인 콘크리트를 생산하기 위해 현지의 천연재료의 일부를 활용하거나 또는 부산물을 이용하여 편익을 얻을 수 있다고 생각하게 되었다. 이러한 초기의 시도에는 재활용 골재의 사용과 현지에서 이용 가능한 천연 포졸란의 사용이 채택되었으므로 수단에서 친환경 콘크리트 제조를 향한 잠재적인 사용가능성을 연구하게 되었다.

이 연구 결과는 RCA의 성분과 특성, RCA를 함유하는 생 콘크리트 또는 경화 콘크리트의 물리적 특성, RCA를 함유하는 콘크리트의 기계적 거동과 시공연도, 내구성 및 강도에 대한 고려사항 등을 조사하여

얻은 결과들을 보여준다.

3. 재료의 특성

3.1 시멘트 : 보통포틀랜드시멘트(OPC)가 사용되었으며 BS코드 (8112-1996)기준에 따라 시험이 이루어졌고 그 시험결과 는 다음과 같다.

특성	시험결과	표준값
표준질기(Nomal Consistency)	32.5%	26% 이상이고 33% 이하여야 함
초기응결시간(Initial Setting Time)	2시간 25분	60분 이상이어야 함
최종응결시간(Final Setting Time)	3시간 30분	600분 이하이어야 함
분말도(Fineness)	2%	10% 이하이어야 함
(Stability Size)	2mm	10mm 이하이어야 함

3.2 골재

3.2.1 천연조골재용

체 규격 (mm)	잔류중량 (kg)	잔류비율 (%)	축적 잔류량 (%)	통과량 (%)	소요량 (%)
20	0	0	0	100	100
12.5	0.9	15	15	85	85-100
10	2.1	35	50	50	40-85
4.75	2.8	46.7	97.7	2.3	0-10

3.2.2 재활용 조골재용

체 규격 (mm)	잔류중량 (kg)	잔류비율 (%)	축적 잔류량 (%)	통과량 (%)	소요량 (%)
20	0	0	0	100	100
12.5	0.75	12.5	12.5	87.5	85-100
10	2.0	33.3	45.8	54.2	40-85
4.75	3.0	50.0	95.8	4.2	0-10

3.3 RCA 및 NCA의 특성

특성	NCA	RCA
비중	2.76	2.66
흡수율	0.44	0.98

3.4 세골재

체 규격 (mm)	잔류중량 (kg)	잔류비율 (%)	축적 잔류량 (%)	통과량 (%)
4.75	8.1	8.1	8.1	91.9
2.36	60	6	14.1	85.9
1.4	121.5	12.15	26.25	73.74
1.18	142	14.2	40.45	59.55
0.600	192	19.2	59.65	40.35
0.300	168	16.8	76.45	23.55
0.150	187	18.7	95.15	4.85
Pan	48.5	4.85	-	-

4. 방법론

4.1 콘크리트 배합의 개발 : 연구진들은 영국 건축연구소(British Building Research Center) 기준에 따라 5가지 콘크리트 배합에 대해 재료를 설계 및 계산하였다. 목표 압축강도 값은 25N/mm²였으며 슬럼프 값은 60-180mm 범위였고 검토 시나리오는 다음과 같다.

1. 표준 콘크리트 배합설계
2. RCA로 100% 대체한 콘크리트 배합
3. 시멘트 중량의 10%를 포졸란으로 대체하고 골재를 RCA로 100% 대체한 콘크리트 배합
4. 시멘트 중량의 20%를 포졸란으로 대체하고 골재를 RCA로 100% 대체한 콘크리트 배합
5. 시멘트 중량의 30%를 포졸란으로 대체하고 골재를 RCA로 100% 대체한 콘크리트 배합

4.2 시험체의 제조 : 콘크리트 배합용 모든 소요 재료는 실험실에서 준비되었으며, 시험체 제조에는 150x150x150틀이 사용되었다.

5. 시험결과 및 검토

5.1 슬럼프 시험 : 모든 슬럼프 시험결과는 본문 그림에 표시하였으며, RCA 100% 사용한 시나리오의 경우 시공연도는 감소되었고 포졸란을 10, 20, 30% 첨가한 경우 시공연도는 증가되었다. 시험결과 (100RCA+포졸란20)의 경우 최상의 배합비인 것으로 나타났다.

5.2 압축강도 시험 : 시험결과 재령 7일 및 28일의 압축강도가 일관성이 있게 발현되었다. 최상의 결과는 대체골재 100%와 포졸란 10% 함유한 배합에서 달성되었다.

5.3 내구성 시험 : 내구성 시험결과는 천연골재가 재활용 골재로 100% 대체될 경우 가장 내구성이 떨어지는 것으로 드러났으며 다양한 비율의 포졸란이 배합에 첨가될 경우 내구성이 증가되는 것이 입증되었다. 조골재가 RCA로 완전히 대체되고 10%의 포졸란이 첨가될 경우 최적의 결과가 달성되었다.

6. 결론

본 연구에서 얻어진 시험결과들은 콘크리트 배합에 현지의 포졸란과 재활용 골재를 사용할 경우의 잠재적 유용성에 대한 합리적인 지표들을 제공하는 것으로 판단되었다. 다양한 비율의 포졸란과 다양한 배합의 조합에 대한 추가적인 확인을 위해 더 많은 시험들이 필요로 할 수 있다. 따라서 다양한 비율의 재활용 골재 또는 포졸란을 고려한 배합설계를 반복하여 시도하는 것이 권장된다.

<원문제목> The Potential Usefulness of Recycled Aggregates and Pozzolana in Producing Green Concrete in Sudan

<원문출처> International Journal of Structural and Civil Engineering Research