

Global Report

플라이애시, 석분, 대리석분말 등 산업폐기물을 사용하는 친환경 콘크리트

1. 개요
2. 소개
3. 관련문헌
4. 사용재료
5. 시험결과
6. 결론

1. 개요

친환경 콘크리트란 콘크리트를 보다 지속가능하도록 만들기 위하여 콘크리트에 환경 친화적인 재료를 사용하는 개념이다. 이 친환경 콘크리트를 녹색 콘크리트(green concrete)라고 부르는데 콘크리트의 색상이 녹색이라는 말과 혼동해서는 안 된다. 모든 유형의 구조물에서 재료를 선택할 수 있는 폭은 넓다. 플라이애시는 반응성이 큰 재료는 아니어서 플라이애시로 시멘트를 부분 대체할 경우 수화열이 감소될 수 있다. 대리석 분말, 석분(quarry dust) 등과 같은 산업 폐기물을 콘크리트에 사용하면 천연자원 및 에너지를 감소시킬 수 있고 환경오염을 방지할 수 있다. 따라서 산업 폐기물의 재사용을 통해 우리는 환경에 미치는 영향을 감소시킬 수 있고 산업 폐기물의 처리문제도 감소시킬 수 있다. 친환경 콘크리트와 일반 콘크리트의 시편들이 재령 7일, 14일 및 28일에 압축강도 시험과 쪼갬 인장강도 시험을 실시함으로써 상호 비교될 수 있었다. M25급 콘크리트에서 시멘트의 50%가 플라이애시로 대체되었고 모래는 50%의 석분과 50%의 대리석분말로 각각 대체되었다.

2. 소개

친환경 콘크리트는 폐기물을 시멘트의 부분 대체재로 사용할 수 있고 폐기물을 버리는 비용을 막을 수 있으며 콘크리트 제조 시 에너지 소비도 더 낮기 때문에 생산가도 저렴하고 많은 양을 생산할 수 있다. 이러한 폐기물들은 콘크리트의 친환경성을 개선하며 친환경 건축 자재로서 적합한 것이다. 무기질의 부산물은 콘크리트의 친환경 골재로 보다 효율적으로 사용될 수 있으며 환경은 폐기물 투기로부터 보호될 수 있다. 폐 대리석 분말, 석분 및 플라이애시는 지속가능한 건설재로 친환경 콘크리트를 만드는데 사용될 수 있는 재료들이다. 친환경 콘크리트 기술은 우리가 미래에 사용할 수 있고 미래세대를 위한 천연재료를 절약할 수 있을 뿐만 아니라 우리가 건설에 폐기물을 사용한다면 천연재료가 지속가능한 재료가 될 수 있을 것이며, 그와 관련한 비용도 줄어든 것이다.

연구의 목표는 1) 친환경 콘크리트의 압축강도와 쪼갬 인장강도를 연구 분석하는 것이고 2) 기존 콘크리트와 친환경 콘크리트를 비교 확인하는 것이다. 본 연구에서 대리석 분말, 플라이애시 및 석분 등과 같은 산업 폐기물이 친환경 콘크리트에 사용되며 보다 저렴한 비용으로 콘크리트 재료를 사용하는 이점을 가진 폐기물을 분석하고자 한다. 시멘트를 대체하지 않고 이러한 재료를 사용하면 평방 밀리미터당 1N 정도의 낮은 강도를 나타내며 시멘트의 25%를 플라이애시로 대체하는 경우 평방 밀리미터당 5N 정도의 강도를 나타내었다.

3. 관련문헌

2014년 Garg 및 Jain은 효율적이고 환경 친화적인 건설재인 친환경 콘크리트를 연구하였다. 이 연구를 통해 콘크리트 골재로 플라이애시, 석분, 대리석 분말/부스러기, 플라스틱 폐기물 및 재활용 콘크리트 그리고 파벽돌 부스러기 등과 같은 부산물 사용의 타당성을 제시하였다. 제조 및 재활용 골재 범위의 한계와 알려진 장점들에 초점을 맞추어 결론을 내렸다. 미래에 친환경 콘크리트와 같은 콘크리트 제품을 사용하는 것은 환경적으로 이산화탄소의 배출과 환경영향을 감소시키는 것뿐 만 아니라 제조비용도 경제성을 도모할 수 있다.

2013년 Dhoka는 대리석 분말, 석분 및 종이펄프 등 산업 폐기물을 사용하는 친환경 콘크리트에 관한 연구를 수행하였다. 이 친환경 콘크리트는 적절한 비율의 대리석 분말, 석분 등의 산업 폐기물을 사용하여 준비되었다. 다양한 친환경 콘크리트와 그에 따른 성능은 미래 니즈를 다방면에서 만족시킬 것이다.

2013년 Wangchuk et.al.은 지속가능한 건설을 위한 친환경 콘크리트에 대하여 연구하였다. 이 친환경 콘크리트는 천연자원 및 에너지 소비와 환경오염을 감소시키기 위하여 산업 폐기물을 사용하는 것이 특징이다. 일반 콘크리트에 소요되는 재료를 대체하는 것이 친환경 콘크리트를 보다 환경 친화적인 콘크리트로 만드는 것이다. 폐 대리석분말(Marble sludge powder), 석산골재(quarry rocks), 콘크리트 쇄석(crushed concrete) 및 플라이애시 등은 친환경 콘크리트를 만들고 지속가능한 건설을 위해 사용되는 재료의 일부이다. 친환경 콘크리트 기술을 통해 우리는 미래의 사용 또는 매래 세대를 위해 천연자원을 절약할 수 있으며 상당 기간 천연자원을 지탱할 수 있다.

2013년 Desai et.al.은 환경적으로 필요한 친환경 콘크리트에 대한 연구를 수행하였다. 친환경 콘크리트는 천연자원 및 에너지 소비와 환경오염을 감소시키도록 산업 폐기물을 사용할 수 있게 한다. 폐 대리석 분말은 콘크리트의 공극 충전재로 사용될 수 있으며 콘크리트속의 총 공극함량을 감소시키는데 도움이 된다. 전국의 많은 곳에 있는 천연모래의 입도는 적절하지 않으며 지나치게 많은 실트분을 가지고 있는 경우가 많다. 반면에 석산골재는 실트분이나 유기 불순물을 함유하고 있지 않으며 요건에 따라 바람직한 골재 입도(gradation)와 조립도(fineness)에 부합할 수 있도록 생산될 수 있다. 따라서 이것은 콘크리트의 강도 증진에 기여한다는 결론을 내릴 수 있다. 친환경 콘크리트를 사용하는 것은 환경오염을 감소시키고 열악한 여건 속에서 콘크리트의 내구성을 개선할 수 있는 효과적인 방법이다.

4. 사용재료

4.1 시멘트

시멘트는 1991년 IS: 1489(PART-1)에 따르는 포틀랜드 포졸라나 시멘트(PCC)로서 가장 일반적으로 사용되는 시멘트를 사용하였다.

4.2 굵은 골재

12.5~20mm 크기의 체를 통과하는 굵은 쇄석골재로서 연속입도(continuous grading)를 나타내는 일반적인 골재가 사용되었으며 골재 비중은 2.4이었다.

4.3 석분(Quarry Dust)

콘크리트를 만드는데 가장 널리 사용되는 세골재는 강바닥에서 채취한 천연모래이다. 그러나 콘크리트를 제조

하는데 쓰일 수 있는 모래의 이용가능성은 거의 바닥에 이른 상태인데 강바닥에서 마구잡이로 채취하는 비과학적인 방법 때문이며 지하수위의 저하 및 교량교각의 침하 등은 이미 혼한 문제가 되고 있다. 현재의 시나리오에 따르면 콘크리트를 만드는데 쓰이는 강모래의 대체재를 찾아야 하는 것이다. 채석작업 과정에 나오는 부산물인 석분은 특히 콘크리트 제조용 세골재로 사용될 수 있어 최근에 주목을 받고 있는 재료들 중 하나이다. 콘크리트 제조에 있어서 석분은 천연모래의 부분 또는 완전 대체재로 사용될 가능성이 있다. 게다가 폐기물인 석분을 활용하면 콘크리트 제조비용을 감소시킬 수 있을 것이다.

4.4 폐 대리석 분말(Marble Powder)

대리석은 고대로부터 건축재로서 흔히 사용되어왔다. 아주 고운 가루형태의 대리석 공장의 폐기물의 처리는 오늘날 전 세계적으로 환경 문제 중 하나이다. 그러나 이러한 폐기물은 물탈이나 콘크리트의 일부 특성을 개선하면서 성공적이고 경제적으로 활용될 수 있다. 폐 대리석 분말은 중금속을 함유하고 있는 산업 폐기물이다. 300 μ m 크기의 체를 통과하는 입자가 90% 정도인 분말도를 가지고 있으며 대리석을 가공하는 대리석 공장에서 수집되었다. 콘크리트 배합에 사용된 폐 대리석 분말은 IS-150 micron 체에 잔류한 것이었다.

4.5 물

친환경 콘크리트 제조에 사용된 물은 식음수로서 일반적인 수돗물이었다.

4.6 플라이애시

미분탄(pulverized coal)이 열을 발생하며 연소할 때 그 잔류물의 80%는 플라이애시이며 20%는 바텀애시(bottom ash)이다. 인도의 화력발전소에서 나오는 플라이애시는 색상이 밝은 회색으로 시멘트 분말과 같은 외관을 가지고 있다. 포틀랜드 포졸라나 시멘트(PCC)를 대체하여 콘크리트에 플라이애시를 사용하면 시멘트와 에너지 소비를 상당량 절약할 수 있을 뿐만 아니라 비용도 절감하게 될 것이다. 플라이애시를 사용하면 많은 장점들이 있다. 플라이애시로 시멘트를 100% 대체하는 것은 이론적으로는 가능하다. 그러나 80% 이상 수준으로 대체하면 일반적으로 화학적인 액티베이터(활성제)를 필요로 한다. 연구결과 플라이애시로 시멘트를 대체하는 수준은 약 30% 정도인 것으로 확인되었다. 또한 플라이애시는 내구성 등과 같은 콘크리트의 특성을 개선할 수 있다. 플라이애시는 수화열이 덜 발생하기 때문에 특히 매스콘크리트용으로 아주 적합하다. 콘크리트에 적절한 비율로 플라이애시를 사용하면 많은 기술적 이점을 가지게 되며 생 콘크리트 및 경화후 콘크리트 모두에서 콘크리트의 성능을 개선한다. 콘크리트에 플라이애시를 사용하면 콘크리트의 유동성을 개선하며 경화후 콘크리트의 강도와 내구성을 개선한다. 일반적으로 플라이애시가 콘크리트에 제공하는 장점은 배합수를 감소시키며 시공연도를 개선하는 특징 등이 있다.

4.7 배합설계

M25급 콘크리트의 표준 배합비

재료(kg)	배합 1) (M26)	배합 2 (A+B)	배합 3
시멘트	380	190	0
플라이애시	0	190	380
세골재	523.7	0	0
굵은골재	1138.83	1138.83	1138.83
페 대리석 분말	0	401.5	401.5
석분	0	473.2	473.2
물(lit.)	190	190	190
몰시멘트비	0.5	0.5	0.5
(비 고)	A=페 대리석 분말, B=석분		

4.8 실험 방법론

4.8.1 압축강도

콘크리트 큐브는 IS: 516: 1964 기준에 따라 150 x 150 x 150mm 규격으로 제작되었다. 타설 24시간 후 탈형을 하였고 상온에서 양생되도록 하였다. 압축강도 시험은 IS: 516-1959 기준에 따라 압축강도 시험기를 가지고 수행하였다. 시편에 대한 최대 압축강도는 하중 증가로 시편이 파괴에 이를 때의 하중을 기록하였다. 3개 시편에 대한 압축강도 값의 평균값을 대푯값으로 채택하였다. 압축강도는 큐브 시편 단면적으로 최대 압축강도 값을 나누어 계산하였다.

4.8.2 쏘갠 인장강도

콘크리트의 인장강도는 압축강도의 10~18% 정도에 이른다. 쏘갠 인장강도는 직접적으로 인장하중을 가하는 시험에 의해 측정될 수 있다. 큐브 제작시 테이블 진동기로 기계적인 다짐작업이 이루어졌다. 그러나 시험편에 직접적인 인장력을 가하는 것은 다소 어렵다. 이러한 이유로 콘크리트의 인장강도는 보통 쏘갠 시험과 같이 간접적인 인장력 시험에 의해 측정이 된다. 콘크리트 시편에 대한 쏘갠 인장강도 시험은 재령 28일 상태에서 확인되었다. 양생 후 시편은 2000KN 용량의 교정시험을 마친 압축강도 시험기를 사용하여 쏘갠 인장강도 시험이 실시되어야 한다. 큐브에 하중을 가하는 속도는 분당 10N/mm²이다.

5. 시험결과

5.1 일반 콘크리트와 친환경 콘크리트 큐브에 대한 시험결과는 다음과 같다.

5.1.1 압축강도

압축강도는 IS 516-1959 기준에 따라 여러 시편을 가지고 실시되었다. 시편은 표면이 건조된 상태에서 시험이 이루어졌으며 2000톤의 용량을 가진 유니버설 시험기가 사용되었다. 시멘트의 50%를 산업 폐기물을 사용한 콘크리트를 재령 7일, 14일 및 28일 상온에서 건조 양생하였고 이에 대한 압축강도 시험결과는 아래

표와 같다.

구 분		7일	14일	28일
일반 콘크리트	1	21.8	24.92	27.11
	2	21.36	23.39	28.90
	3	20.49	24.28	28.12
	평균	21.21	24.29	28.04
친환경 콘크리트	1	19.73	20.53	23.12
	2	17.63	20.80	22.17
	3	17.65	20.20	23.79
	평균	18.33	20.51	23.02

〈압축강도 시험결과(N/mm²)〉

5.1.2 쏘갠 인장강도

쏘갠 인장강도는 IS- 516- 1959에 표시된 지침에 따라 다양한 시편을 가지고 측정되었다. 원통형 시편에 대한 시험은 표면 건조 상태에서 재령 7일, 14일 및 28일 상태에서 이루어졌으며 유니버설 시험기를 이용하였다. 시험결과는 아래 표에 표시하였다.

구 분		7일	14일	28일
일반 콘크리트	1	1.23	1.59	1.65
	2	1.14	1.24	1.66
	3	1.27	1.33	1.58
	평균	1.21	1.38	1.63
친환경 콘크리트	1	0.64	0.77	1.27
	2	0.66	0.80	1.14
	3	0.65	0.84	1.20
	평균	0.65	0.80	1.20

〈쏘갠 인장강도 시험결과(N/mm²)〉

6. 결론

6.1 친환경 콘크리트의 흡수율은 일반 콘크리트에 비하여 약간 더 크다.

6.2 친환경 콘크리트의 쏘갠 인장강도와 압축강도는 일반 콘크리트와 거의 같으며 저렴하므로 이 친환경 콘크리트는 서민주택 건설용으로 보다 경제적으로 쓰일 수 있다.

6.3 전체 세굴재양의 50%를 폐 대리석 분말과 석분으로 각각 대체한 친환경 콘크리트의 강도와 품질은 우수한 결과를 나타내었다. 폐 대리석 분말의 양을 50% 이상 증가시키면 콘크리트의 시공연도가 개선된다.

6.4 친환경 콘크리트는 콘크리트의 유동성을 증가시켰다.

6.5 소요 비용 측면을 검토한 결과, 일반 콘크리트에 비하여 친환경 콘크리트가 더 저렴한 것으로 나타났다.