

Global Report

반투명 콘크리트의 거동에 관한 연구

1. 개요
2. 소개
3. 관련문헌 검토
4. 반투명 콘크리트의 기능적 원리
5. 사용재료
6. 실험계획
7. 시험결과 비교
8. 결론

1. 개요

인공적인 에너지원에 의존하는 것이 획기적으로 증가하는 시대가 되었다. 따라서 반투명 콘크리트의 필요성도 절실한 상태이다. 반투명 콘크리트는 자연광이든 어떤 빛이든 투과시키는 것이 가능하다. 이에 따라 반투명 콘크리트는 건축물의 조명용 전기소모를 줄여주며 건축물의 보다 높은 LEED 등급 취득을 용이하게 만든다. 그러나 반투명 콘크리트는 모든 건설요건을 만족시키지 않는 한 건설재로 사용될 수 없다. 이를 위해 반투명 콘크리트의 압축강도 확인을 위한 실험연구를 수행하였다. 기존의 반투명 콘크리트의 경우 시멘트, 모래, 자갈과 번갈아 층을 이룬 플라스틱 광섬유를 사용하여 만들었다. 이번 연구에서 실제 건설용 반투명 콘크리트를 사용할 가능성을 확인하기 위하여 기존의 반투명 콘크리트의 압축강도를 비교하는 한 실험연구가 실시되었다. 기존 반투명 콘크리트의 경우 광섬유 사용이 압축강도를 감소시키는 결과를 낳았으나 강섬유와 왕겨를 첨가함으로써 반투명 콘크리트의 압축강도가 약간 증가되었다.

2. 소개

콘크리트는 건설공사에 사용되는 기본적인 건설재 중 하나이다. 콘크리트는 시멘트와 재(ash), 세골재, 조골재, 물과 같은 건축재로 이루어져 있다. 분석작업과 혁신을 통해 식물이 자랄 수 있는 베타오 유기 콘크리트(betao organic concrete), 박테리아를 이용하여 콘크리트 균열을 자가 치유하는 콘크리트(self healing bacterial concrete), 구부러질 수 있는 밴더블 콘크리트(bendable concrete)와 같은 최신 콘크리트가 개발되었다. 오늘날 기후변화 등으로 인해 에너지 보존은 세계의 중요한 이슈가 되었다. 향후 건축물과 건설작업에 의한 에너지 소비를 감소시키기 위하여 에너지 소비량을 줄일 수 있는 새로운 건설재의 개발이 많은 연구자들의 주목을 끌게 되었다. 반투명 콘크리트도 그러한 재료 중 하나이다. 콘크리트는 모든 형태의 건설과정에 필요한 가장 기본적인 재료 중 하나이다. 반투명 콘크리트는 빛을 투과시킬 수 있는 혁신적인 콘크리트이다.

3. 관련문헌 검토

2013년 Shen Juan과 Zhou zhi는 반투명이면서 스마트 센싱(smart sensing)의 우수한 특성을 기반으로 한 스마트 반투명 콘크리트 개발에 관한 연구를 수행하였다. 스마트 건설 분야에 이와 같은 기법의 적용과 이점으로 인해 스마트 반투명 콘크리트는 조명용 전력소모를 감소시키며 구조물의 응력을 감지할 수 있는 광섬유가 사용된다. 또한 이 반투명 콘크리트는 건축물의 멋진 외관을 위한 건축용으로도 사용된다. 반투명 콘크리트는 최상의 건축외관을 위해 사용될 수 있는 것이다. 빛의 세기가 적절하게 도달하지 못하는 곳에도 사용될 수 있다. 그러나 고도의 관리감독이 요구되며 광섬유 사용으로 소요비용이 비싸진다는 일부 단점들도 있다.

2013년 Kashiyani Bhavin K., Raina Varsha, Pitroda Jayeshkumar, Shah Bhavnaben K. 등은 투광성 콘크리트(Light transmitting concrete)에 대한 다양한 구성재, 제조과정, 시공, 용도, 장단점 등에 대한 연구를

수행하였다. 투광성 콘크리트는 콘크리트와 4~5%의 광섬유를 혼합하여 만들었다. 광섬유의 두께는 2마이크로미터에서 2mm 정도로 투광성 콘크리트를 만들기 위하여 플라스틱 광섬유(POF)와 콘크리트 층을 교대로 층을 이루어 작업되었다. 이 투광성 콘크리트는 광섬유 내에 빛이 통과할 때 내부 전반사(total internal reflection)의 원리를 이용한 것이다.

2013년 Bhushan Padma, Johnsan D. 등은 콘크리트와 플라스틱 광섬유를 사용하여 반투명 콘크리트 블록을 제작하였다. 그들은 건물의 벽, 천정을 미적으로 아름답게 만들고 과속방지턱의 조명, 인도의 바닥에 적용하거나 건축물의 다양한 내외관의 장식용으로 쓰일 수 있는 콘크리트 블록을 연구하였다. 플라스틱 광섬유는 복사를 일으키지 않으며 무선자기 간섭(radio magnetic interference), 무선 주파수 및 소음 등에 의해 영향을 받지 않는 등의 여러 가지 장점을 가지고 있다. 플라스틱 광섬유는 훨씬 강하고 프라이버시가 뛰어나므로 유리를 대체할 수 있는 최고의 제품이다.

2013년 Nagdive Neha R. 그리고 Bhole D. Shekhar는 광섬유를 사용하여 반투명 콘크리트를 제조하였다. 몰드를 준비하기 위해 먼저 공작용 폴리머 점토를 바닥에 둥글게 펼쳐 깔고 난 후 몰드로 사용하기 위해 스프레이 페인트 링을 사용하여 점토를 고정시켰다. 그 후 광섬유를 하나씩 몰드에 놓은 다음 그 위에 콘크리트를 천천히 부었다. 24시간 후 폴리머 점토를 당겨 플라스틱 링을 제거하였다. 콘크리트를 건조시킨 후 여분의 광섬유는 잘라내었다. 샌드페이퍼가 광택을 내기 위해 사용되었으며 이런 식으로 콘크리트를 준비하면 빛이 투과될 수 있다는 것이 관찰되었다.

4. 반투명 콘크리트의 기능적 원리

투명 콘크리트 또는 반투명 콘크리트는 “나노 광학(Nano-Optics)”을 기반으로 작업한 것이다. 광섬유는 미세한 구멍들이 서로 엇갈려 정확히 겹쳐질 때 가장 많은 빛을 통과시킨다. 콘크리트 속의 광섬유는 조리개와 같이 작용하여 콘크리트 전체에 걸쳐 빛을 전달한다.

4.1 내부 전반사

광학적으로 투과될 수 없는 매체를 통과하는 빛으로 임계각 이상의 입사각을 가진 빛이 경계면에서 모두 반사되는 현상을 내부 전반사라 한다. 이러한 반응은 광섬유에서 코어 속의 빛을 가두는데 사용된다. 빛은 광섬유 코어 속에서 이동하며 코어와 클래딩 사이의 경계면에서 앞뒤로 리바운드 한다. 그 빛은 임계각 보다 큰 각도로 경계면에 부딪쳐야 하기 때문에 확실한 각도 범위 내로 광섬유에 들어온 빛 만이 누설되지 않고 광섬유에서 이동할 수 있다. 이러한 각도의 범위를 섬유의 수용뿔(acceptance cone)이라 불린다. 이 수용뿔의 비율은 광섬유의 코어와 클래딩 사이의 굴절률 차이와 함수관계이다.

5. 사용재료

반투명 콘크리트의 제조에 사용된 재료에는 시멘트, 세골재, 조골재, 광섬유, 왕겨 및 강섬유 등이다. 이번 실

험 계획에 사용된 재료의 특성은 다음과 같다.

5.1 시멘트

IS: 8112-1989 기준에 따른 보통 포틀랜드 시멘트 그레이드 43급이 사용되었다. 시멘트는 IS: 4031- 1988 기준에 따라 시험이 실시되었다. 시멘트의 색상은 옅은 푸른색을 띤 회색으로 균일한 색상을 가지고 있었다. 사용된 시멘트와 관련 유동성은 29%, 비중은 3.15, 초기응결시간 30분, 최종응결시간은 600분이었다.

5.2 골재

세골재는 IS 1.18mm 체로 걸러지는 강사가 사용되었으며 유기물 등과 같은 어떤 불순물도 포함되지 않았다. 세골재의 물리적 특성 중 비중은 2.63, 조립률(Fineness modulus)은 2.404, 흡수율은 1.7이었다. 이번 실험에 사용된 조골재는 4.75mm 체에 100% 남고 10mm 체를 통과하는 골재이었다.

5.3 플라스틱 광섬유

광섬유는 압출된 유리 또는 플라스틱으로 만들어진 구부릴 수 있고 투명한 섬유로서 인간의 머리카락 보다 약간 두껍다. 광섬유는 섬유의 양단 사이에 빛을 전달할 수 있다. 광섬유는 내부 전반사 기술에 의해 축방향으로 빛을 전달하는 원통형의 유전체 도파관(dielectric waveguide - 비조절 도파관)이다. 광섬유는 클래딩 층으로 둘러싼 코어로 이루어져 있으며 유전체로 구성되어 있다. 코어에 필요한 굴절률이 클래딩의 굴절률 보다 크다면 코어 쪽으로의 광신호가 억제된다. 플라스틱 광섬유는 자연광이나 인공광 어떤 형태의 광원도 통과 시키는 것이 가능하다. 콘크리트에 광섬유가 사용될 때 이 섬유들은 콘크리트의 한쪽 면에서 다른 쪽 면으로 빛을 통과시킨다. 빛이 코어를 통과할 때 플라스틱 광섬유 내에서 신호 손실은 거의 없거나 전혀 없다. 시료 준비에 사용된 플라스틱 광섬유의 직경은 0.5mm 이었다.

5.4 왕겨

왕겨는 실리카 함량이 높기 때문에 미세한 실리카는 아주 단단한 콘크리트를 만든다. 왕겨를 연소하여 왕겨재를 만든다. 이 왕겨재는 약 85~90%의 실리카를 함유한다. 또한 이 왕겨재는 아주 우수한 단열재이다. 왕겨재의 미세분말은 토건 구조물의 미세한 균열을 봉입하는데 아주 유용하게 쓰이기도 하는데 미세균열이 있는 곳에서 기존의 시멘트 몰탈에 비해 더 깊게 침투될 수 있다.

5.5 강섬유

강섬유는 일반적으로 주어진 단면에 전체적으로 분포되어야 한다. 강섬유는 충격이나 점진적인 하중증가에 따른 저항력이 개선되며 재료의 취성에 대한 내성도 증가시킨다. 강섬유는 보통 용적비 1% 미만으로 콘크리트에 첨가되며 플라스틱 수축균열을 감소시키는데 유용한 것으로 밝혀졌다. 이번 실험에서 우리는 중량비로

0.125%의 강섬유를 사용하였다.

6. 실험계획

6.1 투광성 콘크리트 형틀 준비

이번 연구에서 규격 15cm x 15cm x 15cm의 목재 형틀이 천공된 목재 널판과 함께 준비되었다. 여러 가지 비율의 플라스틱 광섬유(P.O.F)가 설치되는 큐브를 준비하기 위해 다양한 수의 구멍이 뚫린 목재널판이 목재 형틀에 부착되었다. 구멍의 직경과 간격은 큐브의 광섬유 비율에 따라 달라진다.

6.2 투광성 콘크리트 시편의 준비

규격 15cm x 15cm x 15cm 크기의 큐브 제작을 위해 물시멘트비 0.45로 시멘트 : 모래 : 자갈의 배합비가 1 : 1.5 : 3인 콘크리트가 사용되었다. 다양한 비율(0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 3.5, 4.0%)의 광섬유가 강도를 조사하기 위해 사용되었다. 형틀 내에 콘크리트가 타설되었고 테이블 진동기를 이용하여 다짐작업이 실시되었다. 진동기를 사용하여 형틀 내부 광섬유 사이에 공극이 남지 않도록 완벽하게 콘크리트가 채워졌다. 큐브는 테이블 진동기 위에서 적절히 다짐작업이 이루어졌으며 큐브 내의 광섬유 직경은 0.5mm 이었다.

6.3 반투명 콘크리트의 압축강도 시험

다양한 비율(0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 3.5, 4.0%)의 광섬유를 투입한 규격 15cm x 15cm x 15cm 크기의 큐브가 준비되었다. 각각의 광섬유 비율과 배합비를 가진 시편에 대해 세개씩의 시편이 준비되었다. 큐브 콘크리트 타설 후 7일간 양생이 이루어졌다. 큐브는 재령 28일 상태에서 압축강도 시험기(용량 3000KN)로 시험을 실시하였다.

7. 시험결과 비교

7.1 기존 반투명 콘크리트의 압축강도

물시멘트비 0.45로 시멘트, 모래, 자갈의 배합비가 1 : 1.5 : 3인 투광성 콘크리트의 재령 28일 강도는 표 5에 표시하였다.

7.2 왕겨와 강섬유를 혼입한 반투명 콘크리트의 압축강도

물시멘트비 0.45로 시멘트, 모래, 자갈의 배합비가 1 : 1.5 : 3인 왕겨와 강섬유를 혼입한 투광성 콘크리트

의 재령 28일 강도는 표 6에 표시하였다.

P.O.F 비율	재령 28일 압축강도
0%	25.26
0.25%	25.13
0.5%	25.33
0.75%	25.24
1%	24.58
1.5%	25.48
2%	26.03
2.5%	24.34
3%	23.80
3.5%	23.26
4%	21.10

〈표 5 - 기존 투광성 콘크리트〉

P.O.F 비율	재령 28일 압축강도
0%	26.10
0.25%	24.90
0.5%	25.00
0.75%	25.80
1%	25.30
1.5%	26.20
2%	26.80
2.5%	25.80
3%	24.60
3.5%	23.40
4%	22.30

〈표 6 - 왕겨, 광섬유를 혼입한 투광성 콘크리트〉

8. 결론

이번 실험연구를 통해 투광성 콘크리트는 아주 장점이 많은 건설재라는 결론을 내리게 되었다. 이 투광성 콘크리트는 건축물의 에너지 효율성을 증가시키기 때문에 친환경 건축물에 사용될 수 있다. 미래 토건분야의 건설재임이 틀림없고 그 용도는 시간이 갈수록 증가될 것이다. 이 실험연구를 통한 결과를 바탕으로 아래와 같은 결론을 내릴 수 있다.

8.1 투광성 콘크리트는 플라스틱 광섬유가 콘크리트 내부에 적절히 배치되어야 하며 투광성 콘크리트의 적절한 제작을 보장할 수 있도록 콘크리트 타설 중 특별한 주의가 필요함에 따라 그 제작에 숙련된 인력을 필요로 한다.

8.2 우리가 광섬유의 비율을 증가할 경우 기존 반투명 콘크리트 큐브의 압축강도는 감소하였지만 왕겨와 광섬유를 첨가함으로써 큐브의 압축강도는 증가하였다.

8.3 플라스틱 광섬유가 사용되고 제작 중 관리가 요구됨에 따라 투광성 콘크리트의 제작비용도 고가이다. 그러나 투광성 콘크리트가 친환경적이고 에너지 효율적이며 미관이 뛰어나고 지속가능하므로 그 유용성으로 인해 이와 같은 고가의 비용문제가 온전히 정당화된다.

8.4 투광성 콘크리트는 친환경 건축물을 시공하는 건설재임으로 이 콘크리트를 사용함으로써 보다 높은 에너지 효율등급의 건축물이 보장될 수 있다.