Global Report

투명성 콘크리트

1. 개요
2. 소개
3. 관련 문헌 검토
4. 재료 및 제조방법
5. 시험결과 및 검토
6. 결론

KAIA 국토교통 과학기술진흥원

작 성 자 | 김 규 남

1. 개요

투명성 콘크리트는 시공된 재료 속에 유리막대가 있어 빛을 투과시키는 특성을 나타내는 현시대에 도입된 새로운 유형의 콘크리트이며 반투명 콘크리트(translucent concrete) 또는 투광성 콘크리트(light transmitting concrete)로도 알려져 있다. 투명성 콘크리트는 자체중량(dead weight) 감소라는 주요 장점과 더불어 저밀도의 열전도율이 낮은 특징으로 기존 콘크리트에 비하여 가벼우며 시공속도가 빠르고 운반 및 취급 비용이 더 저렴하다. 벽체 전반에 걸쳐 빛이 통과되도록 벽두께 만큼 유리막대가 설치되어 있어서 벽체의 한쪽 면에서 반대쪽 면으로 빛이 투과되어진다. 광학유리섬유(또는 광섬유)는 사람의 머리카락 보다 약간 두꺼우며 유리(실리카) 또는 플라스틱으로 만든 유연하고 투명한 섬유이고 도파관(waveguide) 또는 광도파관(light pipe)으로서 양단 사이에서 빛을 투과시키는 기능을 한다. 본 연구의 주요 목적은 모래 및 시멘트와 유리막대를 사용하여 만든 투명 콘크리트 블록을 설계한 후 기존 콘크리트 블록과 유리막대를 1.5cm 간격으로 1%, 2%, 3%, 4%, 5%씩 첨가한 콘크리트 블록에 대해 다양한 물리적 그리고 기술적 특성을 분석하는 것이다. 연구를 통해 유리막대의 혼합비를 최대 3%까지 유지할 경우 재령7일 초기압축강도는 5~10% 증가하고 재령 28일 초기압축강도는 10~15% 증가하는 것으로 결론내릴 수 있었다. 반면에 콘크리트 배합에 유리막대의 혼입비율을 그 이상 증가시키는 경우 점차 초기 및 최종 압축강도 특성은 감소하는 것으로 나타났다.

2. 소개

반투명 경량 콘크리트는 건설 분야, 건축, 장식 및 심지어 가구산업에 이르기까지 다양한 용도를 가진 새로운 재료이다. 오늘날에는 모든 연구가 가능한 최대로 천연자원을 훼손하지 않거나 그 소비를 줄이는 쪽으로 집중되고 있다. 경량 LiTraCon("Lightweight light transmitting concrete")은 건물 외부에서 안쪽으로 또는 건물 내부에서 바깥쪽으로 빛이 투과될 수 있도록 콘크리트 큐브 내에 콘크리트 배합의 중량비 5%까지 투광성 재료가 함유된 경량의 반투명 콘크리트 건축 재료이다. 전 세계적으로 높은 경제성장, 도시화, 인구 증가, 공간 활용 등으로 인해 콘크리트 기술에도 큰 변화를 맞이하게 되었다. 대부분의 대규모 건물들은 고층건물처럼 동일지역에 서로 다닥다닥 붙어서 건설되어 있다. 인접 건축물에 막혀서 건물 내에 자연채광을 끌어 들이는 것이 가장 큰 문제 중 하나로 대두되었다. 건물들이 서로 바짝 붙어 있으면 끌어들일 수 있는 자연채광의 도입에 한계가 있다.

경량 리트라콘(Light LitraCon)으로 만든 벽체는 기존 콘크리트의 강도를 나타내며 유리막대가 벽체 내에 나란히 정열, 배치되어 있어 바깥쪽의 모습이 벽면을 통해 나타나게 된다. 수천 개의 유리막대가 하나의 매트릭스를 이루며 모든 블록의 양면사이에 서로 나란히 배치되어 있는데 보다 밝은 쪽 벽면의 그림자들이 어두운 쪽 벽면에 뚜렷하게 그 윤곽과 색상을 드러내게 된다. 광학유리섬유는 인간의 머리카락 보다 약간 두꺼운 유리(실리카) 또는 플라스틱으로 만든 유연하고 투명한 섬유이며 광학유리섬유는 버퍼코팅(Buffer coating), 클래딩(cladding) 및 코어(core)로 구성된 세 가지 층으로 형성되어 있고 유리막대의 코어를 통해 빛을 투과시킨다.

2.1 광학유리막대의 장점(Benefits of optical glass rods)

유리는 비결정질의 무정형 고체(non-crystalline amorphous solid)로서 투명하고 많은 분야에서 기술적으로나 장식적인 용도로 광범위하게 사용된다. 유리는 아래와 같은 많은 유용한 특성을 가지고 있다.

1) 유리는 투명하며 안을 들여다 볼 수 있는 재료이다.

2) 유리는 튼튼하고 딱딱하며 유리위에 많은 하중을 올려놓을 수 있다.
3) 유리는 불침투성의 재료로 물이나 다른 액체가 통과하지 못하며 그 자체로는 물에 젖거나 얼룩이 지지 않는다.
4) 사용자 친화적인 재료로 유리막대는 내구성이 있으며 자외선이 차단되고 파손되거나 불에 타지 않으며 유지보수도 거의 불필요하다.
5) 유리는 투명하고 강하며 딱딱한 불침투성을 지니고 있어서 물이나 다른 액체가 통과되지 못한다.

3. 관련 문헌 검토

3.1 본문의 관련문헌[1 - "Study of Light Transmittance of Concrete Using Optical Fibers and Glass Rods(광섬유와 유리막대를 사용한 콘크리트의 투광성에 관한 연구)"] : 이 콘크리트 시편은 다양한 비율로 강화한 광섬유로 제작되었으며 기존의 일반적인 콘크리트와 비교하였다. 이 콘크리트에 사용된 재료는 시멘트(그레이드 53), 모래(2.36mm 체 통과), 직경 200마이크론의 광섬유로 세골재와 시멘트의 배합비는 1:2, 물시멘트비는 0.45가 적용되었다. 이 실험 조사결과에 따르면 투광성 콘크리트의 압축강도는 광섬유 보강 시편의 경우 20~23N/mm2에 달하는 것으로 나타났으며 이 결과는 M20 등급의 콘크리트에 대한 압축강도 요건을 만족하는 수준이었고, 또한 우리가 콘크리트의 압축강도에 영향을 주지 않고 콘크리트의 투광성을 확보하는 것이 가능하다는 결론을 내릴 수 있었다.

3.2 본문의 관련문헌[2 - "An Experimenal Study of Light Transmitting Concrete(투광성 콘크리트에 관한 실험적 연구)"] : 현대식 건설기법으로 미적 가치를 증가시키고, 환경 친화적인 방식으로 에너지 소비를 줄이는 건축물을 만드는 것에 대한 조사들이 이루어졌다. 그 주요 목표는 광섬유를 사용하여 대체전력 소비를 줄일 수 있도록 햇빛을 광원으로 사용하는 것이고, 건축구조물의 응력을 감지하기 위한 목적과 동시에 건물에 멋진 미관을 조성할 건축적 목적으로 사용하는 것이다. 이 연구진들은 광섬유가 기존 일반 콘크리트와 비교하여 강도를 떨어뜨리지 않으며 또한 자체 감지특성(self-sensing properties)을 지닌 기능적 재료로서의 활용성과 더불어 에너지를 절약하는 친환경의 개념을 통합할 수 있는 특성을 지닌 것으로 결론을 내렸다.

3.3 본문의 관련문헌[3 - "Research and Development of Plastic Optical Fiber Based Smart Transparent Concrete(플라스틱 광섬유 기반의 스마트 투명성 콘크리트에 관한 연구 및 개발)"] : 콘크리트 재료의 도광 성능(light guiding performance)은 재료 내 POF(플라스틱 광섬유 - Plastic Optical Fiber) 면적비와 표면의 거칠기(surface roughness)에 의해 결정된다. POF 기반의 투명성 콘크리트는 하나의 예술 작품으로 간주될 수 있어서 단순히 건설재료라기 보다는 박물관이나 특별 전시회용으로 사용될 수 있다.

3.4 본문의 관련문헌[4 - " EXPERIMENTAL STUDY OF TRANSLUCENT CONCRETE ON COMPRESSIVE STRENGTH(투명성 콘크리트의 압축강도에 관한 실험적 연구)"] : 어떤 견고한 하나의 벽체가 빛을 투과시킬 수 있는 능력을 부여받게 된다면 그것은 어떤 주택에서 주간에는 전등을 덜 쓰게 된다는 것을 의미하며 또한 해당 건물이 아주 멋진 건축적 특성을 가지고 있어 훌륭한 미적 전경(VIEW)을 제공할 수 있다는 것을 뜻한다. 건축에 투명성 콘크리트의 활용으로 에너지 절약을 이룰 수 있는데 빛을 투과시킬 수 있는 투명성 콘크리트의 특성으로 인해 환경 친화적인 재료이므로 에너지 소비도 감소될 수 있는 것이다. 투명성 콘크리트의 가장 큰 단점은 값이 매우 비싸다는 것인데, 그 이유는 투명성 콘크리트 블록의 제작은 시공 시 광섬유를 사용하기 때문에 시공이 어렵고, 특수 숙련인력이 요구되기

때문이다.

4. 재료 및 제조방법

4.1 재료

a. 그레이드 53 보통 포틀랜드 시멘트
b. IS 표준에 따라 체가름 사이즈 <4.75mm의 모래를 준비
c. 직경 0.5mm의 유리막대를 투명성 콘크리트의 제조용으로 사용

4.2 제조방법

예비시험이 기존의 일반 콘크리트 재료로 이루어졌는데 그 물리적 기술적 특성을 조사하기 위해 IS 표준과 시방서에 따라 실시되었으며 요구되는 규격에 맞는 시편을 얻기 위하여 표준 철제 몰드에 타설한 후 진동다짐을 실시하였다. 몰드는 먼저 청소를 실시한 후 콘크리트를 붓기 전에 모든 면에 오일을 발랐다. 콘크리트는 충분히 교반한 후 단시간인 5분 안에 몰드에 세 번에 나누어 타설하고 테이블에 진동을 주어 다짐작업을 실시하였다. 몰드 밖으로 나온 여분의 콘크리트는 흙손을 사용하여 제거하였으며 상부 표면은 평활하게 마무리하였다.

투명성 콘크리트에 대한 제조과정도 기존의 일반 콘크리트 블록 시편과 같은 방식으로 실시하였으며 단지 다른 것은 목재로 만든 제조용 상자 내에 모래와 시멘트 배합사이에 유리막대가 깔려있다는 것이며 콘크리트를 조금씩 겹쳐가며 타설하고 막대기로 다짐작업을 실시한 것이었다. 투광성 콘크리트는 콘크리트 배합에 중량비로 유리막대를 1%, 2%, 3%, 4% 및 5%를 각각 첨가하여 제조하였으며 투광성 콘크리트 배합은 조골재를 넣지 않고 오로지 세골재로만 만들었다.

유리막대와 콘크리트는 몰드 내에서 약 1.5cm 간격으로 번갈아 주입되었으며 타설 후 경화된 재료는 지정된 두께의 블록이나 작은 판넬로 절단되었으며 최종적으로 그 표면은 반광택에서 고광택 정도의 표면이 얻어질 정도로 연마작업을 실시하였다.

24시간 후 기존의 일반콘크리트 및 투광성 콘크리트 샘플 모두 탈형이 실시되었고 재령 7일, 14일, 21일 및 28일 동안 양생조에 보관되었으며 각각의 재령 단계별로 5가지 샘플 세트가 준비되었다. 양생조의 온도는 섭씨 25도를 유지하였으며 강도시험 결과는 표로 작성이 되었다.

제조방법의 주요 목표는 다음과 같다.

* IS 표준에 따라 실험실 실험을 통해 M25 등급 일반 콘크리트 및 투광성 콘크리트의 압축강도를 산정하는 것.

* IS 표준에 따라 실험실 실험을 통해 M25 등급 일반 콘크리트 및 투광성 콘크리트의 쪼갬인장강도를 산정하는 것.

* IS 표준에 따라 실험실 실험을 통해 M25 등급 일반 콘크리트 및 투광성 콘크리트의 휨강도를 산정하는 것.

콘크리트 재료에 관해 실시한 시험은 다음과 같다.

<시멘트에 관한 시험>

* 사용 시멘트에 대한 시험(Test on cement)
- 시멘트의 분말도 시험(Fineness of cement)
- 시멘트의 반죽질기 시험(Normal Consistency of cement)
- 시멘트의 안정성 시험(Soundness test)
- 비중 시험(Specific gravity)

- 시멘트의 초기응결시험(Initial setting time of cement)
- 시멘트의 최종응결시험(Final setting time of cement)

* 세골재(4.75mm 미만의 규격)에 관한 시험
- 비중 및 흡수율 시험(Specific gravity and Water absorption test)

4.3 기존 일반 콘크리트 샘플에 대한 시험(Test on Plain concrete)>

*** 일반 콘크리트에 대한 시험**

- 슬럼프 시험(Slump test)
- 다짐 시험(Compaction factor)
- 반죽질기 시험(Vee Bee consistometer)
- 콘크리트의 압축강도 시험(Compressive strength of concrete)
- 콘크리트의 쪼갬인장강도 시험(Split tensile strength of concrete)
- 콘크리트의 휨강도 시험(Flexural strength of concrete)

4.4 투명성 콘크리트 샘플에 대한 시험(Test on Plain concrete)>

*** 투광성 콘크리트에 대한 시험**

- 슬럼프 시험(Slump test)
- 다짐 시험(Compaction factor)
- 반죽질기 시험(Vee Bee consistometer)
- 콘크리트의 압축강도 시험(Compressive strength of concrete)
- 콘크리트의 쪼갬인장강도 시험(Split tensile strength of concrete)
- 콘크리트의 휨강도 시험(Flexural strength of concrete)

4.5 배합설계(MIX DESIGN)

M25 등급의 배합설계를 고려하여 각각의 큐브 시편 타설에 요구되는 양을 분석하는데 재료의 배합비는 용적배합비로 실시하였으며 IS 383-1970 및 IS 456-2000 시방에 따라 시멘트:세골재의 용적배합비는 1:1을 적용하였다. 시멘트와 골재 배합은 세골재의 양에 따라 공극율이 최대 35%까지 다양했으며 5개의 시편에 대한 평균값을 위하여 재령 7, 14, 21 및 28일에 대한 압축강도 분석용으로 물시멘트비는 0.5가 적용되었다.

투광성 콘크리트는 콘크리트 배합의 중량비로 1%, 2%, 3%, 4% 및 5%의 유리막대를 첨가하여 제조하였다. 반투명 콘크리트의 배합은 조골재는 사용하지 않고 세골재로만 제작되었다.

유리막대와 콘크리트는 약 1.5cm 간격으로 몰드내부에 주입되었으며 타설된 재료는 지정된 두께의 블록이나 작은 판넬로 절단되었다. 최종적으로 그 표면은 반광택 또는 고광택 정도의 표면을 얻을 수 있을 정도로 연마작업이 실시되었다.

24시간 후 기존의 일반콘크리트 및 반투명 콘크리트 샘플 모두 탈형이 실시되었고 재령 7일, 14일, 21일 및 28일 동안 양생조에 보관되었으며 각각의 재령 단계별로 5가지 샘플 세트가 준비되었다.

5. 시험결과 및 검토

5.1 재령별 일반 콘크리트 배합의 강도 특성

M25 등급의 배합설계를 고려하여 각각의 큐브 시편 타설에 요구되는 양을 분석하는데 재료의 배합비

는 용적배합비로 실시되었으며 IS 383-1970 및 IS 456-2000 시방에 따라 시멘트:세골재의 용적배합비는 1:1이 적용되었다. 압축강도 시험기로 시험을 실시하여 재령 7, 14, 21 및 28일에 대한 강도측정결과를 얻었는데 재령 14일 및 28일의 경우 평균 22.0N/mm2 및 25.7N/mm2으로 시방서에서 규정하고 있는 각각의 허용한계를 초과하는 수준이었다.

5.2 재령별 투명성 콘크리트 배합의 강도 특성

유리막대섬유의 함유량 1%, 2%, 3%, 4% 및 5%에 따른 콘크리트의 강도는 어느 한계까지는 점차 강도가 증가하다가 그 한계를 넘어서면 점차 줄어드는 것으로 나타났다. 유리막대 함유 중량비에 따른 시험 분석결과 투명성 콘크리트 내에 어느 수준의 유리막대섬유 함유 비율까지는 콘크리트의 초기강도가 증가하는 것으로 나타났다. 유리막대 혼합비율 최대 3%까지는 재령 7일의 경우 초기압축강도가 5~10% 증가하였고 재령 28일의 경우 초기압축강도가 10~15% 증가한 반면 콘크리트 배합에 유리막대 비율을 더 이상 증가시키면 초기 및 최종 압축강도는 점차 줄어드는 것으로 나타났다.

순번	유리막대 함유비율(%)	재령 7일 평균 강도(N/mm2)	재령 14일 평균 강도(N/mm2)	재령 21일 평균 강도(N/mm2)	재령 28일 평균 강도(N/mm2)
1	1	14.3	16.0	20.3	24.0
2	2	15.1	17.1	23.2	25.7
3	3	15.9	17.8	24.3	26.4
4	4	14.3	16.2	21.5	24.3
5	5	13.6	15.4	19.9	22.6

<표 8 - 재령별 유리막대 함유 비율별 압축강도 비교표>

6. 결론

1) 압축강도, 쪼갬인장강도 및 휨강도 시험용으로 콘크리트 시험체에 대한 기계적 거동이 재령 7일, 14일, 21일 및 28일 상태에서 조사되었다.

2) 광섬유 혼합비율 3%에 이르기까지는 재령 7일의 경우 초기압축강도가 5~10% 증가하며 재령 28일의 경우 초기압축강도가 10~15% 증가하는 것으로 나타났다.

3) 한편 콘크리트 배합에 광섬유의 함량을 그 이상 증가시키면 초기 및 최종 압축강도는 점차 줄어드는 특성을 나타내었다.

4) 투광성 콘크리트는 환경에 유해한 탄소배출을 줄여주며 고성능 콘크리트의 하나로 취급될 수 있을 것이다.

5) 유리막대로 제작한 투광성 콘크리트의 주 용도는 기둥이나 빔과 같은 구조재용으로 쓰이기보다는 칸막이벽재로 쓰인다.

6) 투광성 콘크리트의 가장 큰 장점은 경량으로 모든 콘크리트 구조물의 자중을 감소시키는 것이며 또한 슬래브, 벽 등의 판넬재로서 건물 실내디자인의 장식용 콘크리트로 사용될 수 있다는 것이다.

7) 위와 같은 연구를 통해 광섬유는 강도와 품질 측면에서 우수한 결과를 나타내는 콘크리트 배합의 5%까지 대체 배합하여 사용될 수 있다는 결론을 내릴 수 있다.