

Global Report

반투명 콘크리트의 역사와 사례 연구

1. 개요
2. 반투명 콘크리트의 발전과정
3. 투광성 콘크리트의 장단점
4. 투광성 콘크리트에 적용되는 원리
5. 광섬유의 종류
6. 사례연구 1
7. 사례연구 2
8. 배합비 기준 검토
9. 결론

1. 개요

투광성 콘크리트는 반투명 콘크리트로도 알려져 있다. 반투명 콘크리트에는 빛을 투과하는 재료가 들어가 있기 때문에 빛을 통과시키는 특성이 있다. 빛이 콘크리트 블록의 한쪽 끝에서 다른 쪽 끝으로 통과된다. 따라서 빛을 전달하는 섬유는 투광성이 극대화될 수 있도록 전반사가 일어나야 한다. 광섬유는 섬유의 구조, 사용되는 섬유의 배열과 규격에 따라 표면에 나타나는 빛의 패턴이 다양하다. 이 보고서에서는 투광성 콘크리트의 발전과정과 다양한 제조방법 및 특정 투광성 콘크리트 판넬에 대해 다루고자 한다. 또한 LiTraCon과 Italcementi Groups에서 만들어지는 투광성 콘크리트 판넬과 블록에 관한 두 가지 사례 연구에 관한 내용도 다루었다. 이 두 회사는 투광성 콘크리트 판넬과 블록을 다양한 방법으로 제작하였다.

2. 반투명 콘크리트의 발전과정

투광성 콘크리트는 독일 Tempeloh의 Paul Liese에 의해 1922년 10월 27일 미국 특허 사무소에 처음 출원되었다. 그의 발명품은 1925년 8월 4일 승인된 특허에 이어 그의 심화연구단계에서 건축물의 벽과 천정에 투명 콘크리트 블록과 투명 콘크리트 판넬이 만들어졌다.

1965년 후반에는 영국 런던의 제임스 로우(James N. Lowe)가 미국 특허청에서 반투명 판넬을 만드는 방법에 대해 특허를 얻었다. 이 방법은 예를 들어 스테인드 그라스의 모자이크 조각이 되거나 콘크리트 형태로 지지되는 반투명 세라믹 재료로 된 교회 창문처럼 사용되는 반투명 콘크리트 판넬에 관한 것이었다.

초기에 유리조각들은 콘크리트 모체에 직접 세팅하였으나 하중을 충분히 견딜 만큼 튼튼한 판넬을 만드는데 어려움이 발생하였고 또한 판넬이 설치되는 벽체에 대형 건물 안팎의 접착력을 확보하는데 어려움이 발생하였다.

1990년대 초반에는 광섬유의 크기와 구조체의 크기에 따라 투광성 콘크리트의 형태가 개발되었다. 나날이 발전하는 발명으로 내구성뿐만 아니라 강도문제도 극복되었다.

오늘날 일부 회사들은 아주 다양한 생산시스템을 사용하여 자체 특허 프로세스와 용도로 제품을 생산하고 있다.

3. 투광성 콘크리트의 장단점

3.1 장점

- 1). 특수 조명 및 색상 효과를 만들기 위해 백색 또는 다채로운 조명효과가 활용될 수 있다. 투광성 콘크리트를 사용하면 설계자는 혁신적인 아이디어를 멋진 현실로 바꿀 수 있다.
- 2). 광섬유 층은 판넬의 바깥쪽에서 안쪽으로 빛을 통과시켜준다.

- 3). 에너지 절약에 긍정적인 기여를 한다.
- 4). 투광성 콘크리트는 동결융해에 대한 내성이 있다.
- 5). 고도의 자외선 방지 판넬을 만들 수 있다.
- 6). 콘크리트 모체에 광섬유가 설치된 콘크리트는 콘크리트의 강도를 그대로 유지할 수 있다.
- 7). 투광성은 콘크리트의 두께와 무관하다.

3.2 단점

- 1). 투광성 콘크리트의 가격은 기존 콘크리트에 비하여 고가이다.
- 2). 시장에서 투광성 콘크리트에 대한 인식부족과 용도의 한계로 인해 소규모로 생산되는 투광성 콘크리트의 가격은 아주 고가이다.

4. 투광성 콘크리트에 적용되는 원리

광섬유는 서로 엇갈리게 배치되어 각각의 광섬유 위에 작은 틈이 있게 될 때 가장 많은 빛을 통과시킨다. 그 원리는 콘크리트 속의 광섬유들이 작은 틈으로 작용하여 콘크리트를 관통하여 빛을 전달하는 것이다. 광섬유는 행렬을 이루며 각각의 투광성 콘크리트 블록의 양면 사이에 나란히 설치되어 있다. 블록의 양면에 있는 광섬유 점들이 빛을 통과하게 되는 것이다. 광섬유가 평행하게 배치되어 있기 때문에 그 블록면의 밝은 쪽의 빛 정보(light information)는 블록면의 어두운 쪽에서는 그대로 인 것처럼 보인다.

이러한 현상의 가장 흥미로운 점은 벽의 반대쪽 면에 음영이 명확히 나타나는 것이다. 또한 그 음영 빛의 색상도 동일하게 유지되는 것이다. 이 새로운 제품은 광섬유와 미세 콘크리트가 조합된 것으로 건축용 블록이나 판넬로 생산될 수 있다.

5. 광섬유의 종류

광섬유의 종류에는 세 가지 기본적인 유형이 있는데 다중 모드 경사형 굴절률 광섬유(multimode graded-index fibre), 다중 모드 스텝 인덱스 광섬유(multimode step-index fibre) 그리고 단일 모드 스텝 인덱스 광섬유(single mode step-index fibres)이다. 다중 모드 광섬유는 한 번에 수백 개의 광 모드를 전파할 수 있지만 단일 모드 광섬유는 한 가지 모드만 전파한다.

경사형 굴절률 광섬유와 스텝 인덱스 광섬유의 차이는 경사형 굴절률 광섬유가 굴절률(refractive index)이 섬유축과의 거리에 따라 변하는 코어를 가지고 있지만 스텝 인덱스 광섬유는 섬유 전체에 동일한 굴절률을 갖는 코어가 있다는 것이다. 단일 모드 광섬유는 명확하게 정해진 경로에서 빛을 전파하기 때문에 혼합모드 분산 효과가 없으므로 광섬유는 다중 모드 광섬유보다 넓은 대역폭에서 작동할 수 있다. 반면에 다중 모드 광섬유는 한번에 많은 광모드를 처리할 수 있기 때문에 많은 분산 효과를 나타낸다. 이 다중 모드 광섬유는 단일 모드 광섬유에 비하여 보다 비용 효과적이고 낮은 대역폭에서 작동하기 때문에 사무실, 빌딩, 대학교 등과 같은 엔터프라이즈 시스템에 일반적으로 사용된다. 이 실험연구에서 광섬유가 설치된 콘크리트 블록을 통과하는 빛의 세기는 광측정용 렉스 단위로 측정된다.

5.1 직사각형 판넬의 광 이론(LIGHT THEORY)

빛이 광섬유에 도달될 때 와이어의 효과성은 가능한 한 빛의 산란 또는 흡수가 거의 없이 먼 거리로 광선을 유도하는 능력에 달려있다. 그것은 광섬유가 와이어 내에서 전반사를 일으켜야 하므로 광섬유에 대한 빛의 전파를 고려할 때 유전매체(dielectric medium)의 굴절률을 고려할 필요가 있다. 광선은 굴절률이 다른 두 유전체 사이의 계면에 입사되면 두 매체 사이에 굴절이 발생한다. 이것은 $N_1 \sin \theta_1 = N_2 \sin \theta_2$ 라고 하는 스넬의 굴절의 법칙으로 가장 잘 설명될 수 있다. 이 방정식은 어떤 특정 각도에서 부분 내부반사가 발생하며 광선내의 다른 각도에서도 전반사가 일어난다는 것을 보여준다.

6. 사례연구 1

헝가리 Pécs에 위치한 Cella Septichora 방문자 센터에 사용된 투광성 콘크리트 LiTraCon

6.1 프로젝트 설명

- * 위치 : 헝가리 Pécs, Szent István tér, 7624
- * 건축가 : Bachmann Architects (H)
- * 면적 : 약 50m²
- * 사용재료 : 유리광섬유(Glass optical fibre), 콘크리트
- * 시설물 : 1. Cella septichora 박물관 2. Sarchophagus 3. Korsos 'pitcher' 묘실(burial chamber) 4. 묘실 5. 19번 묘실 6. 3번 묘실 7. 4번 peter paul 묘실 입구 8. Peter paul 묘실 9. 8각형 묘실
- * 공사기간 : 2005년 ~ 2006년
- * 총 사업비 : 51,360유로(약 3.9cr.)

6.2 프로젝트 상세

Cella Septichora 박물관의 주출입구 문은 10cm 두께의 LiTraCon 클래식 블록으로 만들어졌는데 그 무게는 2톤에 달한다. 이 판넬을 제작하기 위하여 콘크리트가 96%, 유리광섬유가 4%가 사용되었다. 콘크리트 판넬에 사용된 재료의 사양은 아래와 같다.

- * 발명가 및 특허권 소유자 : Aron LOSONCZI
- * 제조자 : 헝가리 Litracon Kft, Tanya 832, H-6640 Csongrad
- * 구성재료 : 96%의 콘크리트와 4%의 광섬유
- * 밀도 : 2,100 - 2,400kg/m³
- * 콘크리트 등급 : M50
- * 블록 최대 규격 : 1,200 x 400mm
- * 블록 두께 : 25 - 500mm
- * 표준 색상 : 회색, 검정색, 백색
- * 마감 : 성형마감에 유광
- * 압축강도 : 50MPa
- * 휨강도 : 7MPa
- * 고객 주문사항 : 고객이 주문한 다양한 블록 규격, 두께 및 색상에 따름

7. 사례 연구 2

엑스포 2010에 출시된 혁신적인 신제품으로 상해 Italcementi Groups의 이태리 전시관에 사용된 투광성 콘크리트

7.1 프로젝트 설명

- * 위치 : 상해 엑스포 공원 C구역 Plot 06, 200124
- * 건축가 : 로마 건축학부 Giampaolo Imbrighi
- * 면적 : 3,600m², 높이 18m
- * 재료 : Italcementi의 투명 시멘트인 i.light®
- * 시설물 : 127의 좌석을 가진 강당, 2개의 식당, 선물가게, 도서관, 사무실 및 라운지, 통로, 조경용 안마당 등
- * 시공 개요 : 정사각형 토대(60 x 60m)위에 직사각형 상자를 올린 형태의 건축물로서 외부 전체면적의 40%에 해당하는 1,887m²에 3,774개의 투명 시멘트 판넬(500 x 1000 x 50mm)이 설치됨.
- * 공사기간 : 2007년 - 2010년
- * 사업비 : 1억 5천만 유로(약 1,125cr.)

7.2 소개

프랑스 건축가 르코르뷔지에는 “건축은 배운자의 오락으로 빛과 함께 어우러져야 제대로 된 것이고 근사하다(Architecture is the learned game, correct and magnificent, of forms assembled in the light.)”라고 말하였다. 상해 엑스포 2010의 이태리 전시관은 i.Light로 만든 최초의 작품이다. 그 첫 번째 시도는 2008년에 Italcementi group의 실험실에서 시작되었는데 투명 시멘트로 알려진 새로운 종류의 시멘트 발명으로 이어졌다. 이로 인해 투광성 콘크리트 개발에 Italcementi group은 큰 성공을 거두었다.

8. 배합비 기준 검토

Italcementi는 “i.Light”이라는 투광성 콘크리트를 제조하는데 광섬유가 아닌 투광성 시멘트를 사용하는 유일한 기업이다. 이 기업은 값비싼 광섬유를 대체할 수 있는 혁신적인 시멘트를 발명하여 발명 특허권을 가지고 있다.

8.1 프로젝트 상세

이 프로젝트는 전체 표면적이 1,887평방미터에 달하며 189톤의 투명 시멘트(건배합 시멘트 “i.Light”)로 만든 3,774개의 투명 판넬을 가지고 있다. 그 투명 효과는 어두울 때 밖에서 보면 더욱 확실해지며 낮에는 햇빛의 정도에 따라 그 변화를 실내에서 보게 될 것이다. 상해에서 처음 사용되었는데 향후 이 자재를 사용하면 내부조명(음영/ 광확산 기술) 등 다양하고 완벽한 기능의 건축 구성요소로 사용될 수 있을 것이다. 시멘트가 투명하게 된 것은 사용된 재료, 즉 시멘트, 혼화재 및 사용수지에 적용된 연결가공기술(articular processing technologies)에 의해 가능하게 되었다.

앞서 언급한 3,774개의 투명 판넬(건축요건으로 인해 투명도가 50% 이하인 반투명의 것임)이 제작된 후 1,887평방미터의 표면을 덮는데 사용되었다. 전체 전시관의 약 40%는 높이 18m로 3,600m²의 정사각형 모양을 하고 있는데 하루 종일 끊임없이 변화하는 빛과 그림자를 만들어 낸다. 상하이에 사용된 판넬 크기는 500 x 1,000 x 50mm이며 투명부분은 이 전시관 전체 표면적의 20%에 달한다. 실험실에서 수행된 시험결과를 기반으로 정적 성능을 비교해 보았는데 3점 굴곡시험결과 이 판넬은 약 2kN의 탄성하중을 견딜 수 있으며 최대 파괴하중은 약 8kN인 것으로 나타났다. 각 판넬의 무게는 약 50kg이었다. 시멘트 및 기타 혼합재 외에도 각 투명 시멘트 판넬은 50개의 플라스틱 수지 체인(chain)을 가지고 있고 Italcementi Group이 특허를 취득한 기술에 따라 삽입되어져있으며 그 체인의 두께는 2-3mm 정도이다.

8.1.1 광섬유 대비 수지로 만든 투명 콘크리트의 장점

- * Italcementi가 만든 투명 콘크리트는 광섬유로 만든 것 보다 10배 정도 값이 저렴하다.
- * 또한 수지는 광섬유 보다 더 큰 시야각(visual angle)을 가지고 있어서 “빛을 포착하는”는 능력이 더 크다. 왜냐하면 표면을 통해 들어오는 빛을 더 많이 하기 때문이다.
- * i.Light 판넬을 만드는데 사용된 기술은 광섬유 보다 큰 입사각을 보장한다.
- * i.Light 제품은 광섬유 제품에 비하여 더 질기다.
- * 마지막으로 Italcementi Group이 개발한 투명 시멘트는 광섬유를 가지고 만든 것 보다 취성이 덜하며 시공 및 활용단계 모두에서 큰 강도를 나타낸다.
- * i.Light 상해 전시관은 표면적의 20%가 투명하도록 설계되었다.

8.1.2 i.Light 판넬의 다양성

- * 수지는 색상을 변화시킬 수 있다.
- * 수지의 모양은 바꿀 수 있다.
- * 판넬의 규격은 다양하게 할 수 있다.
- * 몰탈 색상은 바꿀 수 있다.

8.2 ITALCEMENTI 콘크리트의 특성 및 특징

- * 설계자 : Giampaolo Imbriani
- * 제조업체 : 이태리의 ITALCEMENTI GROUP
- * 규격 : 1000 x 500 x 50mm
- * 중량 : 50kg
- * 콘크리트 등급 : M65
- * 투명도 : 18 - 20%
- * 풍화도 : 옥외에서 1년 정도 노출 경과시 아무런 열화현상 관찰되지 않음
- * 탄성 한계 : 192MPa
- * 피크 시 응력 : 770MPa
- * 시멘트 : 52.5 R 타입 1(급속경화 및 고강도)
- * 압축강도 : 65MPa
- * 휨강도 : 10MPa
- * 탄성 계수 : 39,000MPa
- * 자외선에 대한 내성 : 양호

- * 산 및 알칼리에 대한 화학적 내성 : 양호
- * 빛 전달률(Transmission factor) : 92%
- * 연신율 : 3%
- * 인장탄성계수 : 3,200MPa

9. 결론

반투명 콘크리트의 역사와 발전과정을 살펴본 결과 다양한 방법과 다양한 형태로 사용될 수 있으며 아주 장점이 많은 것으로 드러났다. 두 가지 사례연구와 두 기업(Italcementi Groups, LiTraCon.)의 콘크리트 판넬을 비교해 보았다. Shanghai Italcementi Groups의 이태리 전시관(Italian Pavilion)은 투광성 콘크리트 블록에 필요한 투명 시멘트와 혼화재를 사용하였다. LiTraCon 콘크리트 판넬의 특성이 광섬유나 유리막대를 사용하면서 판넬의 투명성을 제공하며 다양한 용도의 투광성 콘크리트 블록 생산이 가능하게 되었다. LiTraCon 판넬은 M50급 콘크리트를 사용하였는데 이 등급의 콘크리트는 판넬 또는 블록에 사용되는 것이었다. Italcementi group은 높은 등급의 콘크리트인 M65급 콘크리트를 사용하였는데 그에 따라 판넬의 가격이 고가였다. 두 기업은 다양한 성분의 재료와 혼화재를 사용하였으며 두 가지 사례에서도 사용하는 재료가 서로 달랐다. LiTraCon 큐브를 통한 투광성은 큐브의 표면에 사용된 광섬유의 비율에 따라 달랐다. 광섬유의 비율이 증가하면 투광성도 증가되었다. LiTraCon 판넬은 콘크리트 판넬의 비용이 절감되고 강도가 크며 Italcementi Group의 투명 시멘트 제품에 비해 블록의 투명성도 좋았다. 연구 결과 투광성 콘크리트의 미래 용도와 개발 전망이 좋은 것으로 확인되었다.