

Global Report

플라스틱 광섬유 기반의 스마트 투명 콘크리트 연구 개발

1. 개요
2. 소개
3. POF 기반 스마트 투명콘크리트의 물리적
메커니즘
4. 에폭시 수지 기반 블록의 타당성 연구
5. POF 및 FBG를 사용한 스마트 투명
콘크리트 블록
6. 결론

1. 개요

인프라 구축을 위한 두 가지 핵심 사안에는 에너지 절약과 안전평가라는 명제가 있다. 이 보고서에서는 투명하고 스마트한 감지능을 갖추고 플라스틱 광섬유(POF - Plastic Optical Fiber)와 광섬유 브래그 격자(FBG - Fiber Bragg Grating)를 사용하는 기발한 스마트 투명 콘크리트 개발에 대해 다루고자 한다. 실험결과 광섬유는 콘크리트와 쉽게 결합되며 플라스틱 광섬유(POF)는 안정적인 광투과율을 제공할 수 있는 것을 보여주고 있다. 또한 광섬유 브래그 격자(FBG)는 변형 및 온도를 감지하는 용도로 사용될 수 있다. 한편 이 보고서에서는 콘크리트 시편에 POF를 도입했을 때의 기계적 영향에 대해서도 다루고자 한다. 스마트 투명 콘크리트는 친환경 에너지 절약 건설재료 그리고 장기적 구조물 건전성 모니터링(SHM - Structural Health Monitoring)을 위한 스마트 인트린식(intrinsic) 센서로 간주될 수 있기 때문에 토건 인프라 분야에 쓰일 수 있는 용도로 유망한 기술이다.

2. 소개

경제발전과 공간 활용 요건으로 인해 고층 건물과 마천루들은 전 세계적으로 특히 인구가 많은 나라에서 도심지역에 거의 건설된다. 이러한 건축물들은 사람들이 활동을 할 수 있도록 인공 조명 만으로 조성된 독립된 생활공간이다. 예를 들어 중국은 전 세계 건축 에너지의 25%를 소비하는데 그 중 13%의 에너지는 조명용 에너지에 사용된다. 현재 친환경 건축물은 실내 온도조절용 에너지 절약에 큰 중점을 두고 있다. 그러나 조명 분야의 경우 관련되는 해결책을 제공하는 연구는 거의 없는 실정이다. 건설재료 가운데 광학과 관련된 재료의 고유 특성에 관한 연구는 아직도 초보 단계이다. 반전자기 간섭 기능, 작은 크기로 분산된 부식방지 특성 등과 같은 탁월한 도광 및 감지기능 장점들로 인해 광섬유는 통신 및 센서 분야에서 널리 채택되어 왔다. 이 광섬유는 가장 우수한 센서 재료 중 하나로 간주되고 있으며 1990년대 이후 널리 사용되어 왔다. 헝가리 건축가 아론 로손치(Aron Losonczy)는 2002년 광 투과성 콘크리트에 대한 아이디어를 처음 소개하였으며 2003년에 리트라콘(LiTraCon)이라는 이름의 투명 콘크리트 블록을 세계 최초로 성공적으로 생산했다. 그러나 그의 투명성 콘크리트는 스마트 감지 성능은 갖추진 못했었다.

본 보고서에서는 POF의 도광능력과 FBG의 감지능을 각각 활용하기 위하여 시멘트 몰탈에 구멍을 뚫어 POF와 FBG를 가지고 기발한 스마트 투명 콘크리트 건설 재료 제조가 시도되었다. 그 제조 목적은 조명의 전력 소비를 줄이기 위해 광원으로 햇빛을 사용하는 것이었다. 한편 FBG에 의해 제공되는 안정적인 감지능력은 콘크리트의 내부변형을 감지할 수 있는 잠재력을 가능하게 한다. 또한 POF가 주입된 콘크리트의 기계적 성능을 연구하기 위한 실험이 수행되었다.

3. POF 기반 스마트 투명콘크리트의 물리적 메커니즘

POF는 코팅에서 보다 코어 속에서 그 굴절률이 더 크기 때문에 특정 파장에서 빛을 투과시키는 탁월한 매체이다. 그와 같이 빛은 전반사의 형태로 POF를 통해 투과될 수 있는 것이다. POF는 일반적인 SiO₂ 기반의 광섬유에 비해 더 큰 코어 크기와 더 많은 수의 구멍을 가지고 있기 때문에 POF는 60도의 입사각에서 빛을 흡수할 수 있으며 보다 우수한 도광 시스템도 제공한다. POF는 열악한 환경에서 보다 큰 연성과 우수한 유연성이라는 장점을 가지고 있다. POF 속에서 투과되는 빛은 진폭(amplitude), 상(phase), 편광상태(polarized state) 및 주파수가 온도, 압력, 응력, 변형, 전기장 및 자기장과 같은 다양한 물리적 매개변수의 영향을 받는 전자기파 형태이다. 이러한 파장의 성능 변화를 분석함으로써 외

부의 물리적 조건이 추정될 수 있다. 이러한 센서 들은 고 정밀, 준 분산 모니터링(quasi-distributed monitoring), 구조용으로 비교적 소규모이고 안정적이며 반전자기 간섭, 부식방지, 취급 용이성 및 견고성 등 비교할 수 없는 장점들을 제공하며 기존의 저항변형 게이지가 설치된 후 변형 측정값과 상대적으로 비교하여 어느 정도 절대적인 측정값 측정을 위해 사용될 수 있다. 위와 같은 특징들에 비추어 볼 때, 콘크리트 또는 스마트 투명 콘크리트 내부에서 시멘트와의 적정한 비율로 섬유 격자를 함께 쓰는 POF는 장기적 구조물 건전성 모니터링(SHM)을 위해 투명한 외관과 구조적 평가 역량 모드를 갖춘 개발한 건설 재료로 쓰이게 될 것이다.

4. 에폭시 수지 기반 블록의 타당성 연구

콘크리트 재료의 도광 성능은 어떤 단면에서 내부 POF면적 비율과 표면 거칠기에 의해 완벽하게 결정된다. 이러한 이유로 실험의 첫 단계로서 복잡성을 감소시키기 위하여 시멘트 대신에 에폭시 수지가 사용되었다. 에폭시 수지는 투명하기 때문에 카본 블랙이 콘크리트의 불 투명도를 시뮬레이션하기 위해 사용되었다. 즉 검출되는 빛은 POF에 기인해야하기 때문이다. POF가 차지하는 면적이 4%인 에폭시 수지 블록이 본문 <그림 2>에 나타난 바와 같이 제작되었다.

POF 기반 콘크리트의 목적은 가시광선을 투과시키기 위한 것이다. 따라서 가시광선 및 적외선(파장 400nm ~ 1100nm로 다양함) 모두가 투명 블록의 투광성과 열전도성을 테스트하기 위해 사용되었다. 정량적 분석을 위해 본문 <그림 3>에 표시한 바와 같이 Newport 835 Optical Power Meter 장비가 사용되었다. 광 투과에 대한 결과는 본문 <그림 4>에 제시되어 있다. 가시광선 및 적외선의 광 투과 평균 비율은 0.520%에서 0.535% 정도로 약간 다른 것이 관찰될 수 있다. 이 결과는 투명 블록이 광학 활동을 위해 가시광선을 안정적으로 투과시킬 수 있을 뿐 만 아니라 열에너지도 전달할 수 있음을 의미한다. 조명 및 열 기반의 에너지 소모도 줄일 수 있다. 본문 <그림 4>에 표시된 시험 결과는 시멘트 기반의 POF 투명 블록을 개발하는 것이 가능하다는 것을 입증한다.

5. POF 및 FBG를 사용한 스마트 투명 콘크리트 블록

5.1 스마트 투명 블록의 제작

규격이 100x100x100mm인 4개의 몰탈 시편이 모래:시멘트:물 1:2:0.44의 비율로 각각 제조되었다. 각 몰탈 시편에 POF 함유는 3.14%, 3.80%, 4.52% 및 5.3%의 비율로 다양하게 제조되었다.

5.2 스마트 투명 블록의 투광성

스마트 투명 블록의 투광성은 에폭시 수지 기반의 블록에 사용되는 것과 유사하게 본문 <그림 6>에 표시된 바와 같이 시험이 이루어졌다. 기록된 데이터는 본문 <그림 7>에 표시되어 있다. 투명 콘크리트 블록의 투광성 분포측면에서 투광율은 POF 함유율이 크면 클수록 높아지며 콘크리트 속의 POF 특정 비율에 따라 안정적인 것으로 조사되었다.

5.3 스마트 투명 블록의 기계적 성능

투명 콘크리트 블록의 강도에 관한 POF의 영향을 조사하기 위하여 본문 <그림 8>과 같이 각 시편에 대한 압축강도 시험이 이루어졌다. 그 시험 결과는 본문 <표 1>에 표시되어 있다. 표에 따르면 용적비로 POF 함유비율이 5% 미만일 때 콘크리트 블록의 압축강도에 10% 미만의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

5.4 스마트 투명 블록의 감지성능

POF와 함께 FBG를 스마트 투명 블록에 내장하여 블록에 자체 감지 기능을 제공할 수 있다. 시험 결과는 본문 <그림 9>에 표시되어 있다. FBG는 $2,050\mu\epsilon$ 정도로 큰 변형을 모니터링 하는데 효과적이다. 이 데이터는 기존의 저항 변형 게이지의 결과와 거의 일치한다. 이러한 실험은 표면에 부착하여 사용하는 기존의 저항 변형 게이지로 측정하지 못하는 시편 내부의 내부 변형이 섬유 격자에 의해 모니터링 될 수 있다는 것을 나타낸다.

6. 결론

POF와 FBG를 사용하여 스마트 투명 콘크리트라는 이름의 기발한 건설 재료가 개발되었다. 그 투광성, 기계적 특성 및 자체 감지 성능이 면밀히 조사되었으며 도광 가능성에 대해 언급된 가설도 확인되었다. 콘크리트 속에 배치된 FBG는 콘크리트 시편에 압력을 가하면 내부 변형을 감지할 수 있으며 내부 섬유 격자의 변화되는 정도는 전기저항 변형게이지 시험에서 나타난 것과 일치한다. 이러한 연구와 실험결과들은 구조 안전성 평가에서 이 시스템의 정보에 대해 확실한 증거를 제공하는 것이다. 에너지 절약 측면과 관련하여 POF 기반의 콘크리트는 조명용으로 일광의 사용을 가능하게 한다. 특히 비상사태의 경우 투명 콘크리트는 초고층 건물에 주간 정전사태 발생 시 어느 정도 안도감을 주게 될 것이며 보다 안전하고 효율적인 대피를 가능하게 할 것이다. 또한 스마트 투명 콘크리트는 심미적으로도 즐거움을 선사한다. POF 기반의 투명 콘크리트는 단순한 건설재료라기 보다는 박물관이나 특정 전시회 등에 사용될 수 있는 하나의 예술품으로 간주될 수 있다.

<원문제목> Research and development of plastic optical fiber based smart transparent concrete

<원문출처> ResearchGate