

크로스 스티치를 응용한 스마트 콘크리트의 개발

Development of the Smart Concrete Appling Cross Stitch

김 이 성* 김 화 중**
Kim, Ie-Sung Kim, Wha-Jung

Abstract

If a research trend present in and outside the country is often seen, the structure measurement method of having used PZT and the optical fiber (FBG) will be the actual condition which has accomplished the stock. In order to manage such cracks, time, efforts and expense are required. Such a method has many difficulties in application of a structure by the difficult problem of the measurement range, and the expensive sensor price. Progressive cracks were generated by fracture of glass pipe sensor. Moreover, the experiment which can detect damage propriety by external Light Emitting Diode by damaging a glass pipe by load change with the application of switch using strain gage of a glass pipe was conducted.

1. 서론

1.1 연구의 목적

구조물의 손상을 감지하는 방법은 비파괴 방법을 이용한 방법과 구조물의 일부분을 축소하여 실험으로 감지하는 방법이 있다. 이러한 방법들 중 가장 많이 적용되고 있는 방법은 스트레인게이지를 이용한 방법이 주를 이루고 있다. 그러나 현재에는 압전소자(PZT)와 광섬유(FBG) 및 전기저항을 이용한 구조물 계측방법이 주를 이루고 있는 실정이다. 압전소자(PZT)와 광섬유(FBG)는 계측범위의 난제와 고가의 센서 가격으로 인하여 구조물의 적용에 많은 어려움이 있다. 전기저항을 측정하기 위한 방법은 구조물의 일부인 부재의 내부 상태 즉 적용 철근의 종류나 부재의 크기에 의해 저항의 변화가 다르다. 또한 전자회로를 이용한 구조물의 계측적용은 콘크리트 타설시 발생할 수 있는 회로내부의 수분의 침투로 인한 내부합선으로 인하여 원래의 기능을 수행하지 못하는 단점이 있다. 따라서 콘크리트 내부조건에 비교적 강한 리드 저항을 이용하여 저항을 측정하고 또한 부가적으로 균열에 의해 반응하여 손상 시점을 감지해주는 LED를 사용하여 저항과 하중-변위관계를 비교 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 리드 저항과 LED를 이용한 기초적인 회로를 통해 부재의 내력상태와 보수작용시점을 계측하기 위한 기초적 연구이다.

* 정회원, 경북대학교 건축학부 박사과정.

** 정회원, 경북대학교 건축학부 정교수, 공학박사

1.2 연구의 방법 및 절차

스마트 튜브센서와 이형철근 D13을 이용하여 15×15×55cm의 휨 시험체를 제작하였다. 적용 시험체로써는 철근 대신 하이브리드센서를 적용한 무근 시험체와 D13을 이용한 철근콘크리트 시험체를 시험하였으며 스마트 튜브센서는 $\phi 10$ 를 사용하였으며 센서의 외부는 0.001mm의 보강피복을 적용하였으며 내부 물질로 시안화 아크릴레이트(Acrylonitrile)를 이용하였다. 철근의 경우 항복 후 내력발휘를 하지 못하지만 이러한 하이브리드 센서의 경우 균열에 의해 내부의 유리관 튜브가 파괴하게 되면 내부의 보수재가 보강피복의 엠보싱부분의 공극을 보수하게 되며 하이브리드센서 주위에 발생 할 수 있는 균열을 보수하게 유도하였다. 휨 시험체의 중앙부에는 리드저항을 센서로 적용하였다.

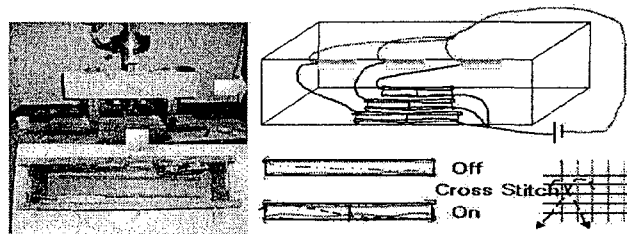


그림 1 시험체 개요

2. 시험체 개요

2.1 매입위치

휨시험체의 중앙부에 유리관 6, 8, 10cm를 이용한 크로스 시티치를 삽입하여 중앙부 휨 균열에 대해 반응하도록 유도하였다. 전단 센서로는 폴포화폴리에스테로 피복한 센서와 시멘트 페이스트를 피복한 센서를 적용하였으며 Midas를 이용한 2차원해석을 통해 센서의 위치를 예측하였다.

휨시험체에서는 시험체가 최대하중을 받게 되면 전기적 회로에 의해 LED에 의한 손상자현을 할 수 있도록 시험체 양단에 LED를 부착하였다. LED를 점등하기 위하여 외부전원 3V를 사용하였다. 시험체 내부의 유리관 튜브는 최대 내력 95%에서 취성파괴되기 때문에 이를 이용하여 스위치를 구상하였다. 또한 전단센서는 시공상 폼타이를 설치할 수 있도록 하였으며 센서 내부는 크로스 시티치를 적용하였다.

표 1. 사용재료

사용재료	특징
시멘트	보통포틀랜드 시멘트
잔골재	낙동강모래, 최대치수 : 2.5mm
굵은골재	편자갈, 비중 : 2.6, 최대치수 : 13mm
유리관	$\phi 10$ 파이렉스 유리
내포액	일액형보수제(Acrylonitrile)
보강피복	SS41 $\phi 0.01$
철근	D13
볼포화 폴리에스테르	FH-102HS
리드 저항	150Ohm

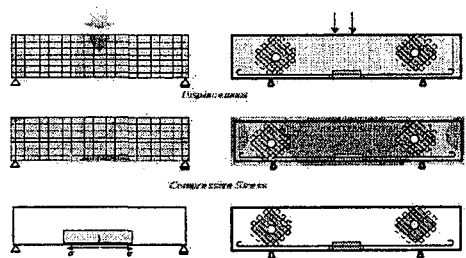


그림 2 2차원 해석에 의한 센서의 배치

기존 스위치의 종류로는 손잡이의 상하운동을 이용한 텀블러 스위치와 손으로 눌러서 사용하는 압력에 의한 누름 스위치, 손잡이를 돌려 가면서 회로개폐 하는 전환 스위치 등이 있으나 이들 스위치의 경우 콘크리트 내부에 적용상 문제가 많다. 따라서 콘크리트와 비교적 가까운 취성재료인 유리관을 이용하여 그 내부에 3개의 나전선을 이용하여 유리관 파손시 크로스스티치 (cross stitch) 현상이 발생하도록 유도하였다. 이는 서양자수에서 X실을 교차시켜 십자모양으로 놓는 기법으로 먼저 왼쪽 아래에서 오른쪽 위로 놓은 다음 다시 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 놓도록 하여 하나의 십자형을 만들고 이를 반복하여 수놓아 간다. 유리관 튜브에 적용된 내부 나선의 합선은 유리관내 왼쪽위의 나전선이 오른쪽 아래의 선과 가로지르도록 유도하여 합선을 유도하였다. 결국 3개의 선은 중앙부의 가선에 의해 합선된다. 크로스스티치 (cross stitch)는 가로 두실과 교차되는 두실에 의해 완성되며, 본 연구에서는 이중 교차되는 한 선만을 응용하였다.

2.2 실험 결과와 분석

(1) 스마트센서를 적용한 무근 휨시험체의 전기저항 측정 및 LED 강약비교

스마트센서를 적용하여 무근 시험체에서의 LED와 저항고저를 하중변위와 비교검토 하였다. 크로스스티치에서의 나전선의 간격은 휨시험체에서의 예상 변위를 간격으로 제작 되었다. 따라서 균열의 증진이 필수로 유리관 내부의 스위치의 간격은 좁혀지게 되며 초기 균열이 시작되어 최대내력 70%에 도달하면 LED는 불완전 합선에 의해 점등되게 되며 95%에 도달하게 되면 완전 점등이 되게 된다. LED의 완전 점등이 되는 시점의 전기저항은 2.5m Ohm으로 리드저항센서의 저항 최대와 LED의 점등 그리고 하중변위곡선의 최대 시점이 일치함을 나타내고 있다. 따라서 직접적인 리드저항의 고저를 LED를 사용하여 균열의 발생시점과 중극파괴를 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

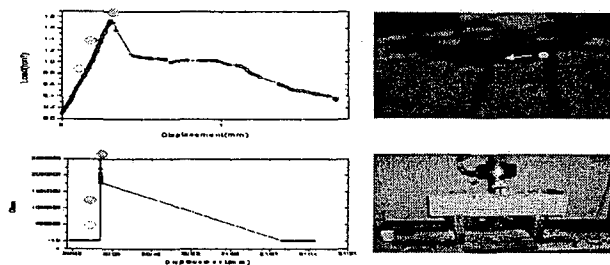


그림 3 무근시험체의 하중-변위와 저항의 LED 점등위치

(2) LED와 리드 저항을 응용한 철근 D13를 적용한 전단 시험체의 전기저항 측정

전단센서를 15×15×55cm의 시험체에 내포해 실험한 경우, 초기 균열시 시멘트페이스트를 피복한 센서의 경우 LED가 점등되었으나 균열이 센서를 통과한 후 LED는 소등되었다. 이는 센서내부의 나선이 균열에 의해 손상을 받았기 때문으로 사료된다. 반면 불포화 폴리에스테르를 피복한 경우 보강의 효과를 나타냈다. 그림 5에서 균열이 진전되지 않은 부분이 불포화폴리에스테르를 전단센서로 적용한 부분을 나타낸다. 또한, 시험체의 중앙부에 유리관 6, 8, 10cm를 이용한 크로스스티치 스위치를 이용하여 시험체의 초기 균열시 어떠한 변화가 발생하는지에 대해 검토하였다. 실험결과 유리관 길이가 긴 스위치에서부터 LED에 점등이 발생되었으며 시멘트 페이스트를 통과하는 시점인 1.5tonf에서 LED가 점등되었다. 2.5tonf에서는 전단균열이 완전히 통과되어 LED가 소등되었다. 불포화 폴리에스테르

을 피복한 센서의 경우 부재가 항복할 때까지 LED의 점등이 유지되었다. 리드저항은 철근에 부착하여 시험하였으며 적용된 리드센서는 1500 Ω 로 측정하였다. 무근시험체가 비해 저항의 고저가 균일함을 알 수 있었으나 LED의 변화에 의해 중국파괴시험시의 위치를 파악할 수 있었다.

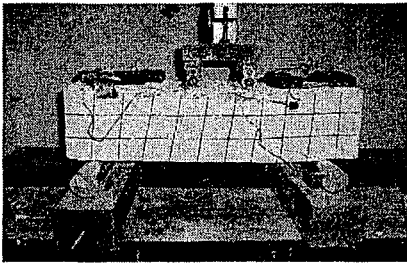


그림 5 전단시험체의 하중재하 실험

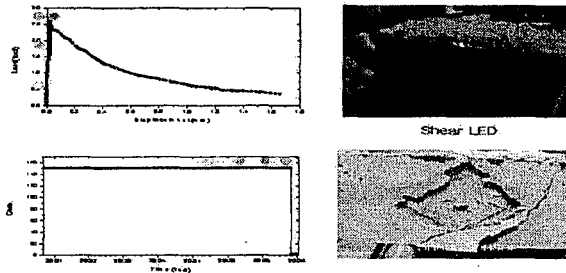


그림 6 철근 시험체의 하중-변위와 저항의 LED 점등위치

3. 결 론

크로스 스티치를 응용한 스마트 콘크리트의 개발을 위해 실험에 사용된 센서의 형태 및 위치에 따른 특성을 실험한 결과는 다음과 같다.

- (1) 전기저항과 LED를 이용한 경우 매입된 콘크리트는 외력을 받았을 때 최대하중 시점을 감지할 수 있다.
- (2) 휨시험체 실험에서 균열의 증진이 필수로 유리관 내부의 스위치의 간격은 좁혀지게 되며 초기 균열이 시작되어 최대내력 70%에 도달하면 LED는 불완전 합선에 의해 점등되게 되며 95%에 도달하게 되면 완전 점등을 알 수 있었다. LED의 완전 점등이 되는 시점에서 리드저항센서의 저항 최대와 LED의 점등 그리고 하중변위곡선의 최대 시점이 일치함을 나타내고 있다.
- (3) D13 이형철근을 이용한 전단 실험결과, 초기 균열시 시멘트페이스트를 피복한 센서의 경우 LED가 점등되었으나 균열이 센서를 통과한 후 LED는 소등되었다. 이는 센서내부의 나선이 균열에 의해 손상을 받았기 때문으로 사료된다. 반면 불포화 폴리에스테르 센서를 피복한 경우 시험체의 중국파괴시 LED의 점등이 유지되었으며 이로써 보강의 효과를 나타낸 것으로 사료된다.
- (4) 크로스 스티치를 응용한 유리관 튜브 스위치실험 결과, 저항과 LED를 직접 연결하여 하중 변위 및 구조물의 손상예측을 할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구는 2003년 과학 재단 지정, 스마트 사회기반 연구센터의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임.

참고문헌

1. H.L.KWOK, Electronic Materials, THOMSON, 1997, pp.158-173
2. 三橋博三 外 3人(2000) 強度の自己修復機能を有するインテリジェントコンクリートの開発に関する基礎的研究, 콘크리트工学論文集, Vol 11, No 2, pp21-28.
3. Surendra P. Shah, Stuart E. Swartz, Chengsheng Ouyang, Fracture Mechanics of Concrete, JOHN WILEY & SONS, INC, 1995, pp.388-396