

자기손상을 스스로 나타내는 콘크리트 개발

Development of Self-Diagnosis Concrete for Damage

윤요현* 김이성* 김화중**
Yoon, Yo-Hyun Kim, Ie-Sung Kim, Wha-Jung

Abstract

The purpose Performance degradation of concrete structures is generally caused by the deteriorations, such as surface collapse, pop-out, crack, and so on. It may result in serious defects of the concrete structures. Thus it is very important to detect and repair the defects of concrete structures within a proper time to assure the structural safety. However, the defects due to the deteriorations are usually difficult to find by visual inspection. A sensor is developed in this study, which may give early indications for degradation of concrete structures and show the locations of the damage. Cracks can be detected by the liquid in a small glass capsules which are embedded in the concrete structures. This paper discusses the applicability of that was developed smart concrete.

1. 서 론

1.1 연구의 목적

지속적인 경제성장으로 경제적, 사회적, 문화적 생활 수준이 더욱 향상되어 지구환경과피, 생태계과피 등의 지구 환경문제에 대한 의식 및 안전의식이 고조되고 국민들의 삶의 질 향상을 위한 질 높은 요구도가 증대되고 있다.

이에 현재 가장 많이 사용되고 있는 건축재료인 콘크리트에 자기손상자현(自現), 공기정화, 조습(The Properties of Humidity Controlling)의 고기능성을 부가함으로 자기손상을 예측하고 실내외 공간의 공기정화작용, 실내공간의 조습(調濕)작용으로 환경부하를 저감할 수 있을 것이다. 따라서 환경문제에 대한 질 높은 요구에 부응하기 위한 환경대응 스마트 콘크리트 개발의 필요성이 매우 크다.

콘크리트 재료는 압축강도가 높고 유지관리가 비교적 용이한 건설재료이며, 사회기반 구조와 건축구조물을 만드는데 주요재료로써 사용되고 있으며, 여러 가지 새로운 사회적 요구에 대응하여 종래에 콘크리트에 구비된 강도성능과 시공성은 더욱 향상시키고 단점을 극복하고 여러 가지 기술이 개발되어 오늘날에 이르고 있다.

그러나 콘크리트의 품질상 여러 가지 요인에 의해 발생하는 균열에 의한 열화의 촉진은 피할 수 없는 것으로 받아들여져 왔다. 이런 열화를 수복하는 것은 말할 나위도 없고 검사하는 일도 불가능한 경우라 생각되어져 큰 사회 문제가 될 가능성을 포함하고 있다.

또한 매년 증가되는 노후 및 성능저하구조물의 성능저하상태점검, 해체여부 판정 또는 보수·보강 대책수립 등을 위한 진단기술 필요성 역시 절실해지고 있다.

* 경북대 대학원 박사과정

** 경북대 건축공학과 교수, 공학박사

따라서 본 실험은 이런 콘크리트의 내구성 저하 및 외력에 의한 성능저하를 감지하여 콘크리트의 열화에 의한 수명을 연장시키기 위한 기초적 연구의 일환으로써 자기손상을 나타내는 콘크리트 개발을 목표로 하였다.

자기손상을 나타내는 수법으로 균열을 즉각적으로 나타내는 액체를 유리관에 내포해 콘크리트속에 매설하는 것에 의해 감지하는 기능을 부여함으로써, 외력에 의한 균열발생을 감지하여 보수시기를 알려주고 또한, 유리관내에 보수제를 주입하여 균열발생시 유리관에 내포되어 있는 보수제가 스스로 균열을 보수하여 구조물을 보강하게 하는 콘크리트 개발을 목적으로 하는 인텔리전트 콘크리트의 가능성에 대해 검토한 기초적 연구의 결과를 이다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구의 1차실험계획은 유리관 센서에 의한 콘크리트의 손상을 자가진단하는 콘크리트를 만들기 위한 기초단계로서 모형시험체를 10×10×40cm로 계획하였다. 우선 센서의 형태에 따른 균열발생을 나타내는 위치와 분포를 검토하고, 이러한 휨시험체의 연성파괴 및 취성파괴에 따른 유리관 센서의 거동을 검토하고자 하였다. 시험체에 투입하는 콘크리트는 설계강도 240kgf/cm²이며, 다짐으로 인해 미리 매입된 유리관의 파괴를 예방하기 위해 슬럼프 18cm 정도의 콘크리트를 사용하였다. 다시 말하면, 휨시험을 하여 콘크리트의 인장측에서 먼저 미세한 균열이 발생한 직후의 변형에서, 콘크리트보다 변형능력이 적은 유리관센서가 먼저 파괴하도록 유도하여 유리관에 내포된 혼합물이 흘러나와 균열을 감지하는 것으로 목표로 설정하고 시험체를 계획하였다.

표 1 시험개요

시 험 체	배합조건			시험체 조건				
	단위수 량	W/C	S/A	철근 유무	센서 형태		센서 매입위치	
					순수 유리관	시멘트 결합재	중앙	측면
N-G-C	175	48	43	-	○	-	○	-
R-G-C				○	-	○	-	
N-B-CS				-	○	○	○	
R-B-CS				○	○	○	○	

주) N : 철근 무, R : 철근 유, G : 순수유리관, B : 시멘트 결합재 CS : 중앙부, 측면

2. 시험체 개요

2.1 매입위치

1차 실험에서 계획된 시험체의 개요도가 그림 1~그림 4에 나타나 있다. 센서의 형태 및 철근의 보강, 그리고 센서의 매입 위치에 따라 구별된다.



그림 1 순수 유리관센서 매입 형태

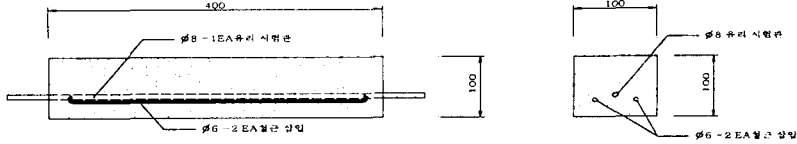


그림 2 순수 유리관센서와 철근이 보강된 시험체

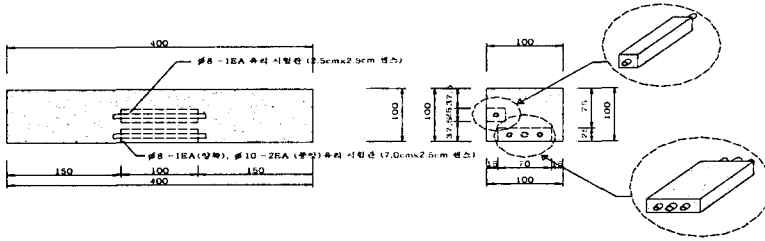


그림 3 시멘트 결합재 센서와 중앙부 및 측면 매입

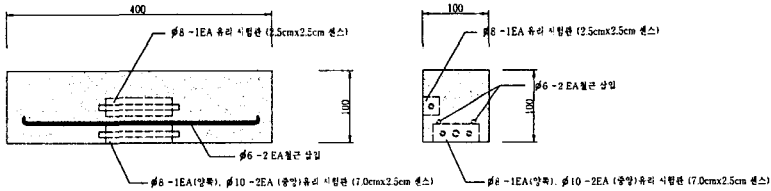


그림 4 시멘트 결합재 센서와 철근 보강, 중앙부 및 측면 매입

본 실험에 사용된 재료에 대한 물성을 표3와 그림 5에 나타내었다.

표 2 사용재료

사용재료	특징
시멘트	보통포틀랜드 시멘트, 비중 : 3.15, 분말도 : $3,260\text{cm}^2/\text{g}$
잔골재	낙동강모래, 비중 : 2.56, 최대치수 : 2.5mm
굵은골재	칠곡산 켄자갈, 비중 : 2.6, 최대치수 : 13mm
유리관	ø4, ø6, ø8 파이렉스 유리
내포액	알코올과 붉은색 잉크 혼합물, K사의 이액형보수제 (에폭시 수지, 경화제), 일액형보수제

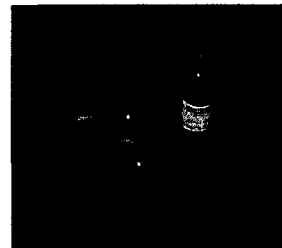


그림 5 유리관 센서 재료

1차 실험에서는 센서를 삽입하지 않은 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ 의 무근콘크리트 및 6mm 철근을 시험체 하단부에 매입한 콘크리트 시험체를 제작하여 휨응력을 파악하였다. 그리고 나서, 균열 유무를 파악할 수 있는 붉은색 잉크와 알코올의 혼합물이 내포된 유리관센서와 시멘트 결합

재 센서를 제작하여, 10×10×40cm의 시험체에 매입한 후 콘크리트를 타설하여 양생시킨다. 이 때에 제작된 시험체와 그 측정 장면을 그림 6, 7에 나타내었다.

2차실험에서는 파이렉스 유리관(ø4, ø6, ø8)을 이용하여 이중유리관형태의 유리관센서를 제작하고 외측 유리관에는 경화제 주입후 봉입하고 내측유리관에는 구조용보수제로 사용되는 에폭시수지를 주입후 봉입하였다. 균열감지를 용이하도록 하기위해 붉은색 잉크를 혼합하여 제작하였고 제작된 유리관센서는 그림 8에 나타내었다.유리관센서는 콘크리트 타설시 직접 매설할 경우 파손의 가능성이 매우 높으므로 먼저 유리관센서를 시멘트 페이스트를 이용하여 일정한 크기로 제작한 후 일정강도를 가진 상태에서 콘크리트 시험체에 매설하는 방법을 사용하였다. 이중관형태의 유리관센서는 1×1×10cm, 1.5×1.5×10cm 의 두가지 크기로 제작하였으며, 두 유리관이 일체로 거동하여야하므로 외측유리관과 내측유리관과의 접착은 에폭시본드를 사용하였다.

제작된 센서는 자체의 물리적 특성을 고찰하고 콘크리트 시험체와의 부착을 고려하여 매설하였다.



그림 6 제작된 시험체

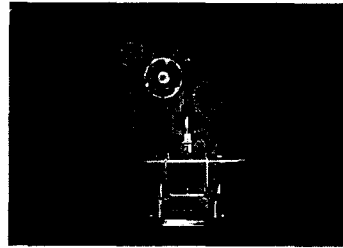


그림 7 시험 장면

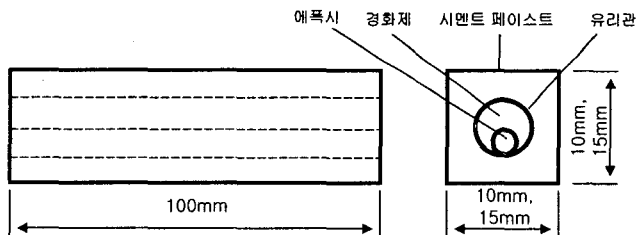


그림 8 이중유리관 센서

2.2. 실험 결과 및 분석

(1) 무근콘크리트 시험체의 휨시험

그림 9는 제작된 시험체의 휨 시험에서의 하중-처짐관계를 나타내었다. 무근 콘크리트의 경우 최대내력의 95%정도의 콘크리트의 변형과 동시에 센서의 파괴가 일어났다. 또한 센서의 매입에 따른 전체 내력의 저하는 발생하지 않았다.

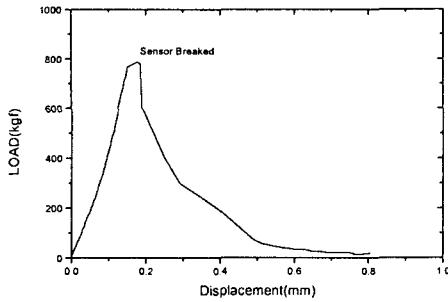


그림 9 무근 시험체의 하중-처짐관계

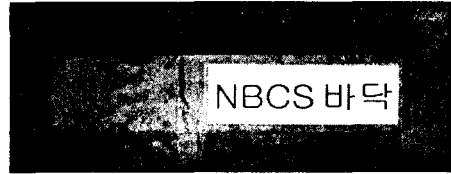


그림 10 센서의 바닥 매입에 따른
무근 시험체 파괴상태

이중유리관센서의 균열감지는 경화제와 혼합된 붉은색 잉크의 관찰을 통하여 가능하였고 센서 균열시 보수제로 사용된 에폭시수지와 경화제가 균열사이로 일부 혼합되어 흐름을 관찰 할 수 있었다. 하지만 통상 사용되는 이액형 보수제는 주재와 경화제의 교반시 화학반응에 의해 경화가 진행되므로 이액형 보수제를 센서내부에 주입할 경우 교반이 불가능하므로 보수제로서의 기능을 다 할 수 없었다.

(2) 센서 매입 위치별 자기손상 특성

그림 10은 센서의 매입위치에 따른 휨 시험결과와 자기 손상을 나타내고 있다. 전반적으로 시험체의 바닥과 측면부에 매입된 센서는 휨과괴시 즉각적으로 반응하여 균열부 주변의 색상이 붉은 색으로 변하고 있다. 이는 철근 콘크리트조부재의 휨과괴 뿐만 아니라 전단과괴가 일어나는 위치에 사용할 경우에도 같은 결과가 나올 것으로 기대된다.

(3) 이중유리관센서의 특성

이중유리관센서는 그림8과 같은 형태로 제작되어 콘크리트 시험체에 매설되므로 시험체 자체 강도와 비교하여 동등이상의 물리적 성능을 보유하여야한다. 제작에 사용되는 시멘트 페이스트의 물시멘트비는 25%, 30%, 35%로 설정하였고 각인자에 따른 물리적 특성은 콘크리트 시험체보다 훨씬 상회하는 수준을 나타내었다.

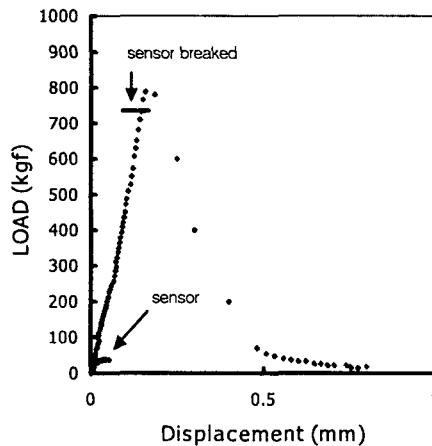


그림 11 센서 매설시험체

실험에서의 결과와 같이 센서의 매입에 따른 무근시험체의 전체 내력 저하는 발생하지 않으며 시험체와 같이 유리관 센서를 매입했을 때 내력이 약간 증진되는 결과를 보였다.

3. 결 론

자기손상을 나타내는 콘크리트의 개발을 위해 실험에 사용된 센서의 형태 및 위치에 따른 특성을 실험한 결과는 다음과 같다.

- (1) 유리관센서가 매입된 콘크리트는 외력을 받았을 때 초기균열발생 시점에서 자기손상을 감지할 수 있다.
- (2) 센서의 매입위치별로는 시험체의 휨균열이 발생하는 바닥 및 측면부에서도 센서가 반응을 보였으며 철근 콘크리트의 전단구간에서도 자기손상을 감지할 수 있을 것으로 사료된다.
- (3) 센서의 형태별로는 미리 성형된 고강도의 시멘트 결합재 센서를 이용할 경우 인장축의 휨균열에 대한 보강효과와 더불어 철근 콘크리트보에서의 스페이서 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.
- (4) 진단액체로 사용되는 잉크 및 알코올의 대체재로서, 콘크리트의 중성화시험에 사용되는 페놀프탈레인 용액을 진단액체로 사용할 경우 콘크리트의 중성화의 상태를 파악할 수 있을 것을 사료된다.

자기손상을 감지하여 자기보수기능을 가진 센서의 개발을 위한 이중유리관의 특성을 실험한 결과는 다음과 같다.

- (1) 이중유리관을 이용한 센서가 매입된 콘크리트는 휨균열이 발생하는 지점의 자기손상을 감지 할 수 있다.
- (2) 센서의 물리적 특성을 시험체와 비교하여 동등이상을 상회하는 수준으로 제작하여 센서 매입에 따른 구조에 강도저하는 없는 것으로 사료된다.
- (3) 자기손상을 감지하여 자기보수를 위한 센서에 사용가능한 보수제로써 이액형보수제는 교반의 난이로 인하여 사용이 어려울 것으로 사료되며 별도의 보수제 개발이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 과학재단 지정 스마트 사회기반시설 연구센터의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 연구비 지원을 한 관계기관에 감사드립니다.

참고문헌

1. 三橋博三(2000) インテリジェントコンクリート—その展開と可能性, セメント・コンクリート, No641, Jul
2. 三橋博三 外 1人(2000) 止水性能の自己修復機能を有する高耐久性インテリジェントコンクリートの開発に関する研究, 日本建築學會技術報告集, No10
3. 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, コンクリート工學論文集, Vol 11, No2, pp21-28.