

# 압전소자를 이용한 무선 손상자현 스마트 콘크리트의 개발

## Development of the Wireless-Diagnosis Smart Concrete using PZT for Damage

김 이 성\*  
Kim, Ie Sung

이 수 곤\*\*  
Lee, Soo-Gon

김 화 중\*\*\*  
Kim, Wha-Jung

### ABSTRACT

Concrete are brittle materials and they are which come to brittle fracture rapidly by progress of cracks. Therefore, what the time for repairing the damage portion is understands importantly by such cracks. When they happened, the glass pipe similar to concrete was used. Such a glass pipe can insert repair material in an inside, or can use it by switch. They are interested in the crack monitoring of structure using FM radio sensor and PZT sensor. In this study, the monitoring to a crack was studied using FM radio sensor and PZT sensor. Therefore, the purpose of this study is the fundamental research which detects damages of main members using the compound sensor which consisted of the radio sensors of resistance, PZT, and FM system.

## 1. 서론

### 1.1 연구의 목적

현재 이상기후 현상과 지진이 빈번하게 발생되어 구조물에 대한 위험적 요소가 가중되고 있다. 이러한 현상과 사건으로 인하여 새로 건설되는 구조물의 내진설계에 대한 관심이 집중되고 있으나 이미 지어진 구조물에 대한 지진 등의 안전성에 대한 대책과 연구는 미흡한 실정이다. 현재 연구 중인 능동적인 구조물 시스템은 자기손상 감지 및 자기보수의 기능을 첨가함으로써 연구되고 있다. 이들 중 자기 손상감지를 위한 방법으로는 압전소자 및 광섬유센서 등을 주로 사용하고 있다.

이러한 센서는 각각 독립적으로 손상 및 변형을 측정하는 것으로 국한되어 있으며, 일반적인 구조물에 적용하기 위해서는 계측방법이 복잡하다. 또한 구조물을 구성하고 있는 부재의 변형에 대해 압전소자의 임피던스를 측정하거나 광섬유를 통과하는 빛의 진폭, 위상, 혹은 편광 등을 이용하여 물리량의 변화를 감지함으로써 구조물 및 부재의 거동을 측정한다. 이러한 센서류는 수초만에 붕괴를 야기하는 지진력에 대해서는 적용하기가 어렵다. 따라서 이를 해결하기 위한 기초적 연구의 일환으로 시험체에 센서를 부착방법으로 조기

\* 정회원, 경북대학교 건축학부 박사수료, 강사

\*\* 정회원, 전남대학교 건축학부 명예교수, 공학박사

\*\*\* 정회원, 경북대학교 건축학부 정교수, 공학박사

에 손상을 예측하기 위해 상용 무선발신자의 전압을 제어하는 복합센서를 구상하게 되었다. 이러한 방법으로 회로내의 전류는 회로에 걸린 전압에 직접비례하고 회로저항에 반비례하는 원리를 응용하였다. 역압전체인 PZT가 물리적인 힘을 받게 되면 전압을 발생하게 되며, 이러한 영향은 전류의 세기에 영향을 주게 된다. 일정한 전류를 제어하고 있는 저항은 결국 압전소자에서 발생한 전압에 의해 제어력을 잃게 되며 이와 결합된 무선발신자는 신호를 보내게 된다. 이러한 방법을 응용하여 지반가속력에 의한 진동에 대해 감응하는 스마트 콘크리트를 개발하기 위한 기초적 연구이다.

## 1.2 연구의 방법 및 절차

일반으로 압전소자를 이용한 부재 손상예측방법은 부재의 예상 손상 표면에 부착하여, 임피던스의 변화에 의해 감지하는 방법을 이용하고 있다. 이때의 변화는 부재의 손상이력구간에서 비교되어야 하고 별도의 신호처리가 필요하게 되며, 전압의 변화는 급격하게 발생하게 된다. 임피던스의 일반적인 정의는 전류가 흐르기 어려운 정도를 의미하며, 단위는 옴(Ohm)으로 표시하게 된다. 또한 이것은 직류회로(AC)에서는 전류와 전압의 비로 고려할 수 있으며, 이는 전기저항과 같게 되므로 리드저항소자와 압전소자를 결합하기 위하여 직류전압으로 측정하였다. 또한 미소한 변형에 대해 감응하도록 4×4×16cm 휨시험체의 양단면의 중심에 압전소자가 위치하도록 하여 하중재하시 발생하는 전압과 임피던스를 측정하였으며 3점 휨가력을 하여 실험하였다.

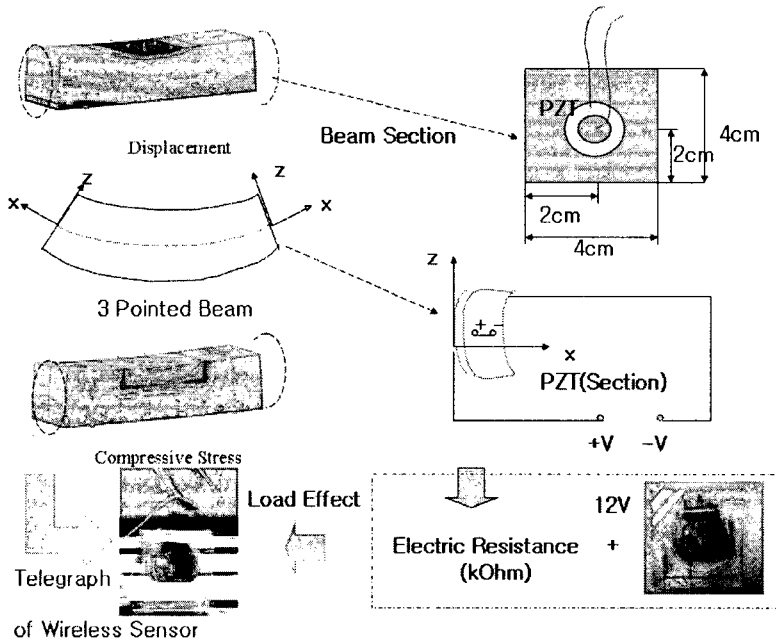


그림 1 시험체 개요

## 2. 시험체 개요

### 2.1 센서의 종류 및 측정위치

일반적으로 휨시험체의 하중재하점에 가까운 위치에 압전소자를 부착할수록 발생 전압은 증가되는 경향을 나타내지만 이때의 압전소자(Element)는 양방향으로 변형이 발생하게 되고 측정되는 전압은 불안정한 값을 나타낸다. 3점 휨 재하실험시 휨시험체의 하단부에서 균열이 발생되지만 이때 발생하는 변형에 의해 압전소자는 부재의 길이방향으로 변형이 증가되게 되며 소자내부의 전기적 강도(Electric Strength)는 불안정한 값을 나타낸다. 따라서 이부분에 무선발신자를 이용한 복합센서(PZT+Electric Resistance+Wireless Sensor)를 부착하게 되면 하중재하시 조기 손상신호 발신을 유도하기 어렵기 때문에 보가 순수굽힘상태(Pure Bending)라 가정하여 휨시험체의 단면 중앙에 부착하여 실험하였다. 시험체 1은 휨시험체의 양단에 압전소자만을 부착한 경우 임피던스와 발생전압을 측정하였으며, 시험체 2는 리드저항과 압전소자를 합성한 센서와 압전소자의 전압과 임피던스를 측정하였고, 시험체 3은 리드저항과 압전소자를 합성한 센서를 양단에 부착하여 무선 발신자와 결합하여 실험하였다.

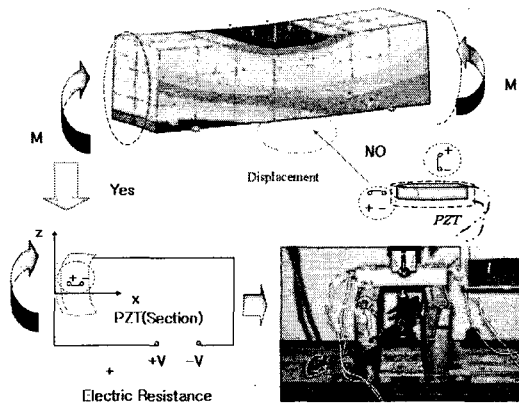


그림 2 FEM에 의한 센서의 배치

### 2.2 실험 결과와 분석

#### (1) 압전센서만을 이용한 시험체에서의 임피던스와 전압의 측정

압전소자와 리드저항을 복합한 무선센서를 이용하기 위하여 일반적인 압전소자를 이용한 부착 실험방법으로 휨시험체의 하중변위와 비교검토했었다. 압전소자만을 이용한 실험결과, 압전소자의 임피던스는 일정 값을 유지하다가 최대하중시 최대가 되었으며, 전압을 측정할 경우 하중 재하시 전압이 증가하다가 감소하는 경향을 나타냈으나 최대하중 이후 전압이 급격히 증가하다가 감소하는 불안정한 경향을 나타내었다.

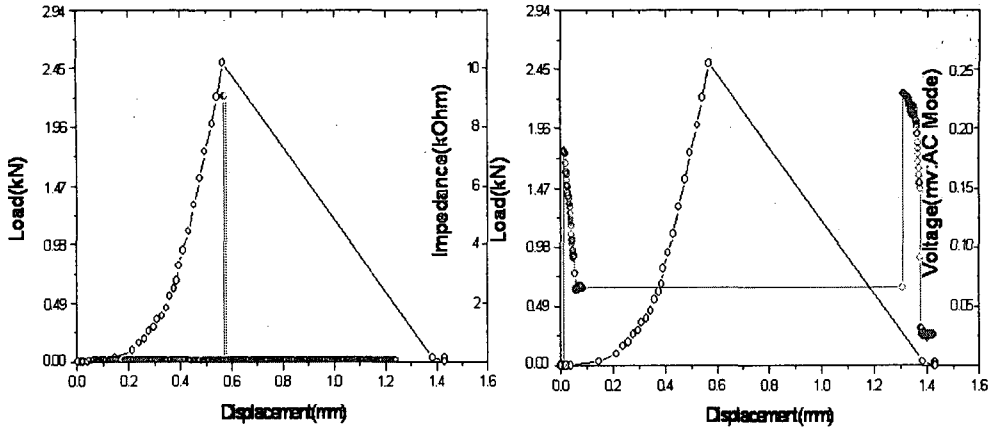


그림 3 휨시험체에 압전소자만을 사용한 경우 하중변위와 임피던스, 전압과의 관계

(2) 압전센서, 압전센서와 리드저항(금속피막형) 복합형센서를 이용한 시험체에서의 임피던스와 전압의 측정

일반적으로 압전소자는 물리적인 힘을 받으면 이를 전기신호로 발생하며, 전기적 신호를 받게 되면 변형이 발생하게 된다. 또한 물리적인 힘을 받을때 발생하는 전기신호 역시 불안정하다. 따라서 이를 안정화하기 위하여 필터회로에 사용되는 금속 피막형 리드저항을 부착하여 전압을 측정하였다. 또한 이때 반대쪽 휨 시험체 단면의 압전소자 임피던스를 측정하였다.

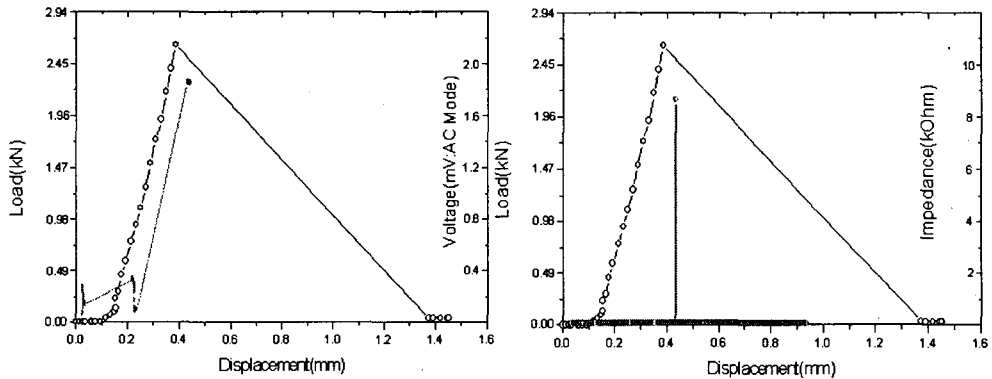


그림 4 휨시험체에 압전소자와 리드저항, 압전소자를 사용한 경우 하중변위와 임피던스, 전압과의 관계

실험결과, 금속피막형 저항을 혼합한 압전소자 전압의 경우, 저항을 혼합하지 않은 경우보다 전압의 증가가 하중재하시 증가하여 최대하중시 전압이 최대가 되었다. 임피던스의 경우 압전소자만을 부착했을 경우와 같이 최대하중시 임피던스가 최대가 되었다. 따라서 전기저항 소자와 압전소자를 복합한 센서는 다른 압전소자의 임피던스에 영향으로 주지 않는 것으로 사료된다.

(3) 압전센서와 리드저항(금속피막형) 복합형 무선센서를 이용한 시험체에서의 임피던스와 전압의 측정 및 무선손상 발신실험

압전소자와 리드저항을 혼합할 경우 비교적 안정한 전압의 변화를 얻을 수 있었으므로, 이 때의 임피던스를 측정하였다. 실험결과 초기 임피던스의 값은 압전소자만으로 측정한 경우보다 높게 나타났으며 최대 하중시 영으로 떨어졌다가 원래의 값을 나타냈다. 임피던스는 전류가 흐르기 어려운 정도를 나타내는 양이므로, 직류회로에서는 전류와 전압의 비가 같게 된다. 따라서 이때의 구성요소는 전기저항과 같게 되므로 임피던스가 증가한 것으로 사료된다.

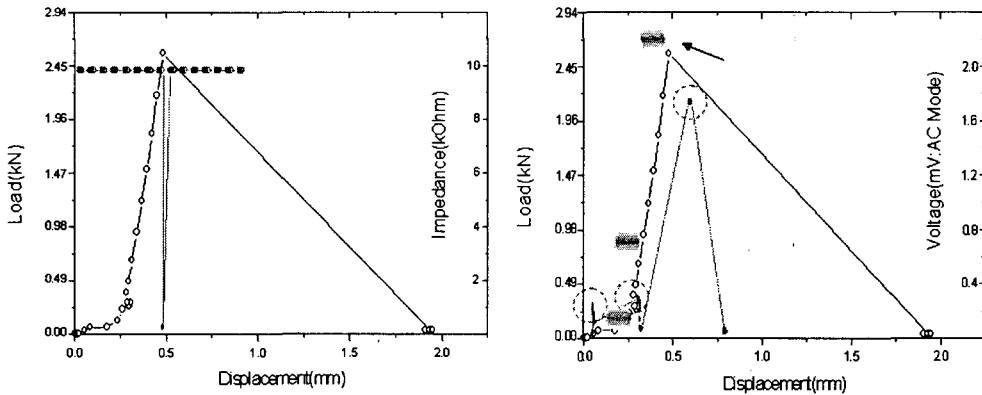


그림 5 휨시험체에 압전소자와 리드저항을 사용한 경우 하중변위와 임피던스, 전압과의 관계

전압의 경우 하중이 증가할수록 증가하였으며 전압이 증가하는 하중 15%, 30%, 최대하중 시점에서 손상신호를 발신하였다. 실험결과 압전소자와 전기저항 소자, 무선발신자를 결합한 복합센서의 경우, 초기에 무선발신자의 LED가 Off되어 있다가 하중재하시 즉 전압이 압전소자에서 발생되어 증가할 때 손상신호를 보내는 것으로 사료된다.

### 3. 결론

압전소자를 이용한 스마트 콘크리트의 개발을 위해 실험에 사용된 센서의 형태 및 위치에 따른 특성을 실험한 결과는 다음과 같다.

- (1) 압전소자를 부착하여 실험한 경우, 콘크리트는 외력을 받았을 때 임피던스의 최대에서 시험체의 최대하중 시점을 감지할 수 있다.
- (2) 압전소자만을 부착하여 실험한 결과, 압전소자의 임피던스는 일정값을 유지하다가 최대하중시 최대가 되었으며, 전압을 측정할 경우 하중 재하시 전압이 증가하다가 감소하는 경향을 나타냈으나 최대하중 이후 전압이 급격히 증가하다가 감소하는 불안정한 경향을 나타내었다. 이는 압전소자가 부재에 하중이 작용했을 때 소자부의 변형이 일정치 않게 때문에 전압이 불안정하게 발생하는 것으로 사료된다.
- (3) 압전센서, 압전센서와 리드저항(금속피막형) 복합형센서를 이용한 시험체에서의 임피던스와 전압의 측정에서 압전센서와 리드저항을 복합한 경우 주변 압전센서의 임피던스에는 영향을 주지 않는 것으로 사료되며, 필터회로에 이용되는 금속피막 저항을 사용한 경우 압전소자의 발생 전압은 하중재하시 증가 되었으

며, 전압의 증가구간에서 무선 손상신호를 발신하였다. 전기저항과 압전소자를 혼합한 경우 부재의 조기 손상을 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

이 연구는 2004년 과학 재단 지정, 스마트 사회기반 연구센터의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임.

#### 참고문헌

1. H.L.KWOK, "Electronic Materials", THOMSON, pp. 158-173, 1997
2. G. Gautschi, "Piezoelectric Sensorics", Springer, pp.1-45, 2002
3. Nellya N. Rogacheva, " The theory of Piezoelectric Shells and Plates, CRC Press, Inc, pp.73-94, 1994
4. Richard W. Hertzberg, "Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Material", JOHN WILEY & SONS, INC, pp. 634-641, 1996
5. MIDAS Gen Users Manual. POSCO Engineering & Construction Co. Ltd, 2000
6. Surendra P. Shah, Stuart E. Swartz, Chengsheng Ouyang, "Fracture Mechanics of Concrete", JOHN WILEY & SONS, INC, pp.388-396, 1995
7. G. Gautschi, "Piezoelectric Sensorics", Springer, pp.1-45, 2002