

철근 콘크리트 보에서의 다기능 센서를 이용한 손상 추정법 개발

Development of Damage Estimation Method using Sensor of Multiple Function in RC Beam

김 이 성* 박 강 근** 김 화 중***
Kim, Ie-Sung Park, Kang-Geon Kim, Wha-Jung

요약

콘크리트는 균열손상으로 인하여 구조적 품질이 저하되며 결국, 이는 구조물에 심각한 영향을 준다. 이러한 손상을 검사하는 방법으로 육안으로 확인하거나 비파괴 시험법을 주로 이용하고 있으며, 비파괴시험법은 다양한 센서를 이용한다. 이러한 대부분의 센서는 1축에 대한 측정을 하기 때문에 방향성이 불규칙한 균열 손상을 측정하기에는 어려움이 많다. 또한, 화재가 발생하면 이러한 센서는 사용할 수가 없다. 화재발생시 사용할 수 있는 센서는 열전대이며, 이러한 센서는 온도측정을 위해 사용되므로 화재손상으로 발생된 주요 부재 및 구조물의 변형을 측정할 수 없다.

본 연구는 3축 가속도센서와 열전대 센서의 전기 저항적 특성을 이용하여, 외력 및 화재발생으로 구조물의 손상 전과 손상 후의 안전성을 검토할 수 있는 다기능센서를 개발하기 위한 기초적 연구이다.

Abstract

Performance degradation of concrete structures is generally caused by structural deteriorations, such as cracks. It may result in serious defects of concrete structures. Methods of damage detection are used a visual angle of human or non-destructive test, and they are using various sensors. Problems of crack damage detection are occurred to directions of cracks by using 1 axial type of accelerometer in concrete element. In addition, these sensors are not used to occurring fire in RC building. Thermocouple sensors are able to using measurement of temperature in fire, and then deformations of main element and structures are not used.

In this study, fundamental studies for development of multiple function sensor using 3 axial type of accelerometer and electric resistance property of thermocouple sensors are discussed estimation to stability of structures when happened form active load or fire, and so on.

키워드 : 균열, 가속도계, 열전대, 전기저항

keywords : Crack, Accelerometer, Thermocouple, Electric Resistance

1. 서 론

구조물은 외력의 영향으로 발생하는 손상과 함께 화재로 인하여 발생하는 손상으로 안전성을 위협받고 있다. 외력으로 발생하는 손상에 대하여 스마트

재료 및 구조를 이용한 방법 등으로 많은 연구개발이 이루어지고 있다. 하지만 철근 콘크리트 구조물에서 화재가 발생할 경우, 주요 부재 및 구조물의 안전성을 검토하기 위한 방법은 부족한 점이 많다. 비파괴 시험법에서 이용되고 있는 센서류는 주요 부재와 구조물이 화재가 발생하지 않은 정상상태나 화재가 진압된 경우에 대해 이용되고 있다. 이러한 부분은 화재시 혹은 화재진압 후 소방관과 관리자의 안전성을 확보하는데, 중요한 요인으로 작용하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 무근과 철근 콘크리트 보를

* 정회원 • 경북대학교, 건설공학부 연구교수, 공학박사

Tel:053-950-4766, e-mail:macgang@knu.ac.kr

** 부산대학교 산업건축학과 교수, 공학박사

Tel:055-350-5345, e-mail:samgk@pusan.ac.kr

*** 경북대학교, 건설공학부 교수, 공학박사

Tel:053-950-5596, e-mail:kimwj@knu.ac.kr

이용하여 상사성 원리에 의해 축소된 공간 내에서 화재하중을 재하하여 열원으로 변형된 보의 손상을 화재발생 전과 화재 발생 중, 화재가 진압된 경우로 나누어 3축 가속도계를 이용한 손상추정 분석과 열전대 센서의 전기 저항적 특성을 응용한 유리관 센서를 이용한 다기능 센서를 개발하기 위한 기초적 연구이다.

2. 열전대 센서의 특성

열전대의 효과로는 Seebeck Effect, Peltier Effect, Thomson Effect 등이 있으며, 제베크효과(Seebeck Effect)는 2종의 다른 금속선 또는 반도체의 양끝을 접합하고, 그 양끝을 상이한 온도로 유지시킬 때 회로에 전류가 흐르는 현상을 말한다. 펠티에효과(Peltier Effect)는 서로 다른 종류의 두 도체의 접점에서 전류가 흐를 때 접점에서 줄열 외에 발열 또는 흡열이 일어나는 현상을 말한다. 톰슨효과(Thomson Effect)는 도체 막대의 양 끝을 서로 다른 온도로 유지하면서 전류를 통할 때 줄열 이외에 발열이나 흡열이 일어나는 현상을 말한다.

이러한 현상 중 펠티에효과 (Peltier Effect)를 역 이용하여 발열 및 흡열이 발생하게 되면 전류의 양이 증가하게 되어 결국 도선의 저항의 변화가 발생하게 된다.¹⁾

$$T(\epsilon_A - \epsilon_B) = \pi_{AB} \quad (1)$$

T: 절대온도, A, B: 도체 A, B에 대한 양(量), ϵ : 절대열전능(絶對熱電能), π : 두 물질 A, B에 관계되는 물질상수

이러한 원리를 합금으로 금속의 성질이 계량된 전기퓨즈와 결합하게 되면 화재발생 전 도선저항의 크기와 화재 후의 도선저항크기의 변화를 측정함으로써 무근 및 철근 콘크리트 보의 손상을 예측할 수 있으며, 화재하중 작용시에는 화재하중에 의한 도선의 신장으로 발생하는 저항의 증가와 전류량의 증가와 무근 및 철근콘크리트 보의 변형 등으로 발생한 퓨즈의 할렬로 주요 부재 및 구조물의 손상을 검증할 수 있으므로 이에 대해 쇠구슬을 이용한 탄성과 가진과 3축가속도계를 이용한 비파괴 시험법과 비교검토하였다.

3. 연구방법

100×100×400mm의 무근 및 철근 콘크리트 휨시험체를 제작하여 부재의 내력이 최대가 되는 부분에 유리관 퓨즈 센서를 내포하였다. 센서의 위치는 범용 유한 요소해석프로그램인 Midas를 이용하였다.²⁾

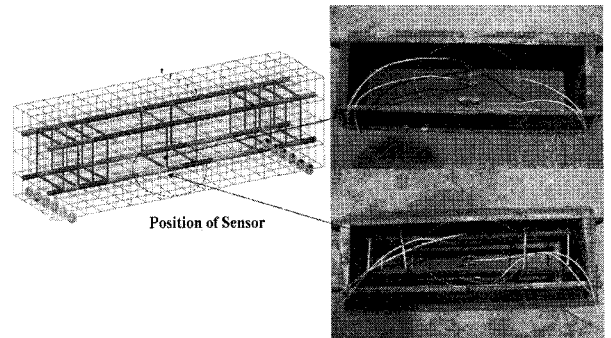


그림 2. 유리관 퓨즈 센서의 매입 위치

모델의 크기가 가로 6m, 세로 4m, 높이 7m, 정면이 가로 1.8m, 높이 4.2m의 개구부가 있는 단실을 제작하여 무근 및 철근 콘크리트 보를 배치하여 화재하중을 251.4J/m² 을 작용시켰다.

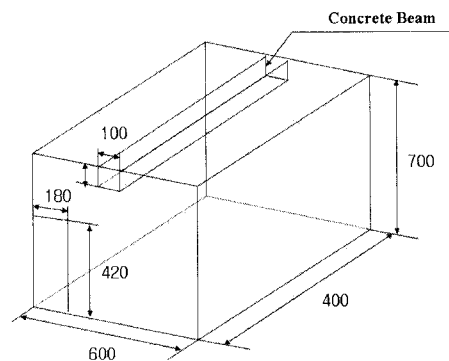


그림 3. 휨 시험체에 화재하중을 작용시키기 위한 단실

온도의 측정센서로는 K-type ϕ -0.60mm(Range: -200℃~1370℃) 열전대를 사용하였으며, 데이터 측정에는 National Instrumentstm (SCXI-1000, SCXI-1303)를 사용하였다. 실험에 사용된 유리관 퓨즈의 크기와 용량은 ϕ 3.2×15.2(1A), ϕ 6.4×31.8(2A), ϕ 12.8×63.6(3A)이다. 유리관 퓨즈의 전기저항을 측정하기 위해 Fluke사의 123 Scopemeter를 이용하였다.

4. 화재하중으로 손상된 보의 강도추정

화재하중으로 손상된 무근 콘크리트 및 철근 콘크리트 보의 손상을 추정하기 위해 55g의 쇠구슬을 300mm의 높이에서 자유낙하하였다.

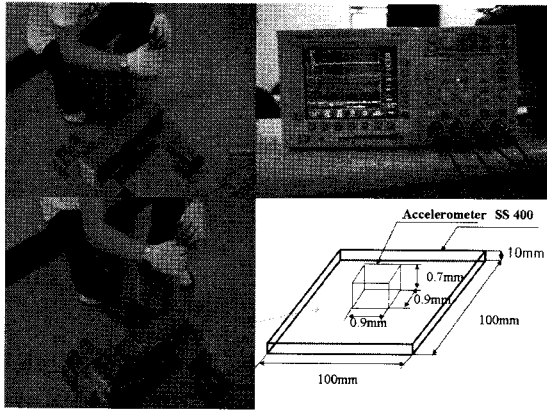


그림 4. 쇠구슬을 이용한 탄성과 가진

쇠구슬을 이용한 탄성파로 무근 콘크리트 휨 시험체에서의 Z축에 대한 속도차를 비교한 결과, 화재하중이 작용되었을 때, 1.5ms의 속도차가 발생하였다. 이는 화재하중의 작용으로 무근 콘크리트 보 시험체에 균열이 발생되었기 때문으로 나타났다.

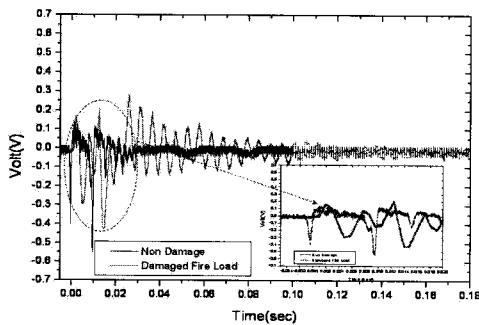


그림 5. 화재하중으로 손상된 무근 휨시험체의 탄성파 가진을 통한 속도차 비교

이를 고속푸리에 변환(FFT)을 이용하여 주파수 응답에 대하여 비교하였다³⁾. 비교결과, 화재하중으로 균열 손상을 입은 무근 콘크리트 보는 진폭의 증가와 강성저하로 인하여 주파수 영역의 이동이 발생하였다.

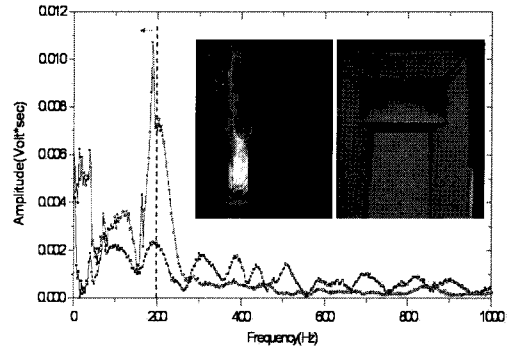


그림 6. 화재손상을 입은 무근 휨콘크리트 시험체에서의 주파수 특성 비교

철근 콘크리트 휨 시험체에서의 Z축에 대한 속도차를 비교한 결과, 화재하중이 작용되었을 때, 1ms의 속도차가 발생하였다. 이는 화재하중의 작용으로 철근 콘크리트 보 시험체에 균열이 발생되었기 때문으로 나타났다.

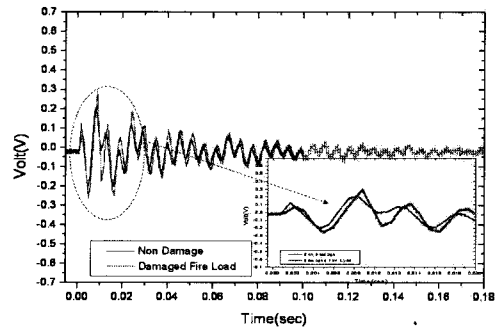


그림 7. 화재하중으로 손상된 철근 휨시험체의 탄성파 가진을 통한 속도차 비교

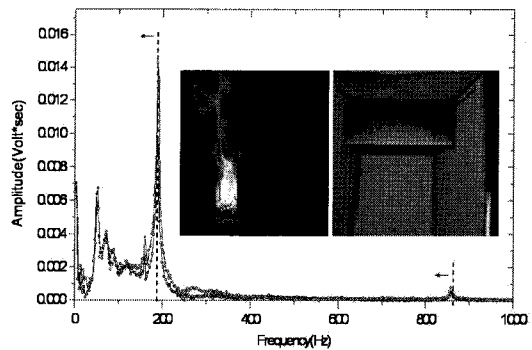


그림 8. 화재손상을 입은 철근 휨콘크리트 시험체에서의 주파수 특성 비교

이를 고속퓨리에 변환을 이용하여 주파수 응답에 대하여 비교하였다. 비교결과, 화재하중으로 균열 손상을 입은 철근 콘크리트 보는 진폭의 증가와 강성 저하로 인하여 주파수 영역의 이동이 발생하였다.

5. 유리관 퓨즈를 이용한 단순 손상 검증법

가속도계를 이용한 손상추정법은 비파괴 시험법에서 널리 사용되고 있는 방법이지만 콘크리트 시험체 내부의 보강 철근의 위치와 센서의 부착방법, 그리고 계측자의 능력에 따른 문제점이 발생하게 된다.

또한, 화재하중 작용시 주요 철근 콘크리트 부재의 손상을 검증할 수 있는 센서의 개발은 미진한 상태이다. 따라서, 이를 위하여 유리관 퓨즈의 간단한 원리를 적용하였다⁴⁾.



그림 9. 유리관 퓨즈를 이용한 기초 손상실험

균열 손상이 발생하지 않은 휨 시험체에 내포된 유리관 퓨즈의 저항은 일정하지만, 외력으로 균열이 발생하면 시험체 내부의 유리관 센서는 파괴되고 Hook's Law에 의해 유리관 퓨즈 내부의 합금 나전선은 신장에 의해 저항이 증가하다가 할렬되어 내부저항은 무한대가 된다. 또한, 펠티에효과 (Peltier Effect)에 의해¹⁾, 유리관 퓨즈와 열전대(Thermocouple)를 연결하면 화재하중으로 발생된 열원으로 유리관 퓨즈에는 과전류가 흐르게 되어 할렬되거나 열원으로 신장된 부재의 변형으로 유리관 퓨즈는 파손된다. 이러한 유리관 퓨즈의 상태는 주요 부재의 상태를 나타내게 된다.

이를 위하여 화재하중을 작용하기 전의 유리관 퓨즈의 전기저항과 화재하중을 작용한 후의 전기저항을 비교하였다. 무근 콘크리트의 경우, 화재하중으로 인한 부재의 변형도가 낮아서 저항의 값이 증가하였지만, 철근 콘크리트의 경우 저항이 무한대가 되었다.

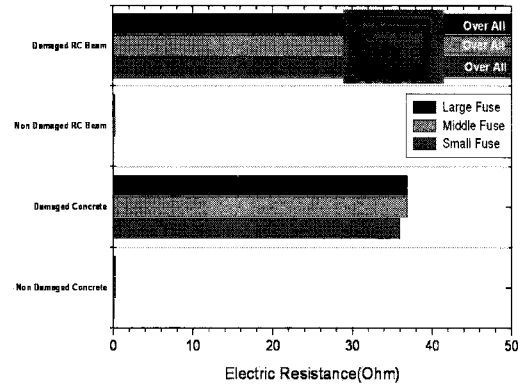


그림 10. 화재하중으로 손상을 입은 무근 및 철근콘크리트 보의 전기저항 변화를 이용한 손상비교

이러한 실험결과로, 탄성파의 가진을 통한 비파괴 시험을 하지 않고 저항의 변화로 손상을 예측할 수 있는 것으로 나타났다.

유리관 퓨즈센서를 무근 및 철근 콘크리트 내부에 매입한 후 축소모형을 제작하여 화재하중을 20분간 작용시켰을 때의 온도변화를 검토하였다.

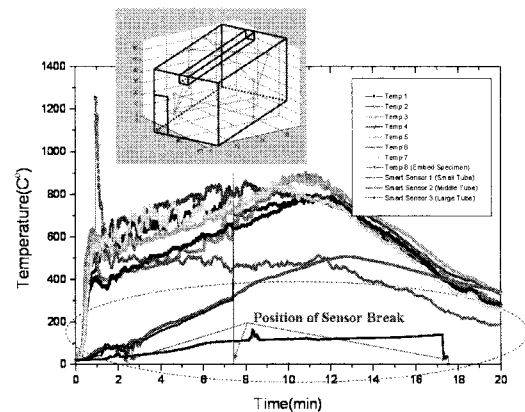


그림 11. 화재하중 작용시 무근 콘크리트 내부의 센서 거동 검토

무근 콘크리트의 경우 실험결과, 화재하중 작용시 $\phi 3.2 \times 15.2(1A)$ 의 퓨즈는 2.5분경에서 동작을 정지하였으며, $\phi 6.4 \times 31.8(2A)$ 의 퓨즈는 7.5분경에서, $\phi 12.8 \times 63.6(3A)$ 의 퓨즈는 17.5분경에서 동작이 정지되었다. 축소 모형 내부의 최대온도 변화와 유리관 퓨즈 센서의 동작정지 시점을 파악하기 위해 Mathworks사의 Matlab ver 6.5를 이용하였다⁵⁾.

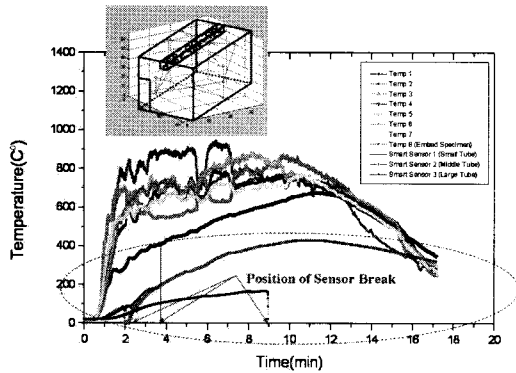


그림 12. 화재하중 작용시 철근 콘크리트 내부의 센서 거동 검토

철근 콘크리트의 경우 실험결과, 화재하중 작용시 $\phi 3.2 \times 15.2(1A)$ 의 퓨즈는 2분경에서 동작을 정지하였으며, $\phi 6.4 \times 31.8(2A)$ 의 퓨즈는 3.8분경에서, $\phi 12.8 \times 63.6(3A)$ 의 퓨즈는 8.8분경에서 동작이 정지되었다. 센서동작 시점을 비교하면 다음 그림과 같다.

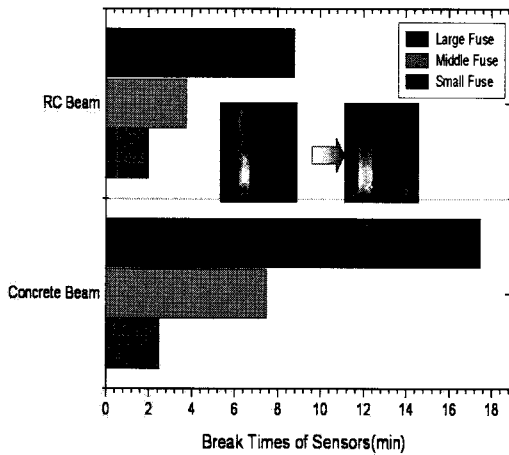


그림 13. 무근 및 철근 콘크리트 보에서의 센서 정지시간 비교

비교결과, 철근이 내포된 콘크리트 보의 경우 화재하중으로 발생한 열원으로 철근이 신장됨으로 센서의 동작 시점이 무근 콘크리트에 비해 단축되는 것으로 나타났다.

6. 결 론

철근 콘크리트 보에서의 다기능 센서를 이용한 손상 추정법 개발에 대한 결론은 다음과 같다.

1) 화재하중으로 손상을 입은 무근 및 철근 콘크리트 휨 시험체의 3축가속도계를 이용하여 주파수 응답특성 비교를 할 경우 손상을 검증 할 수 있는 것으로 나타났다.

2) 열전대와 유리관 퓨즈로 구성된 다기능 센서는 화재하중 작용 전과 후를 전기저항의 값을 비교함으로써 간단하게 손상을 추정 할 수 있는 것으로 나타났다.

3) 화재하중이 작용되고 있을 때, 사용되는 열전대 센서는 단순히 온도를 측정할 수 있지만, 유리관 퓨즈 센서와 복합할 경우 센서의 동작 정지시점으로 균열손상이 발생된 것을 검토할 수 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 BK21 미래지향 글로벌 방재 전문인력 양성사업단사업인 삼성물산 산학연지원 연구결과임.

본 연구는 건설교통부 첨단도시 기술개발 사업의 연구비 지원(#'06 R&D B03)에 의해 수행 되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. H.L.KWOK, "Electronic Materials", THOMSON, pp. 158-173, 1997.
2. MIDAS Gen Users Manual. POSCO Engineering & Construction Co. Ltd, 2000
3. Emmanuel C. Ifeachor, Barrie W. Jervis, "Digital Signal Processing", Prentice Hall, 2002, pp.317-341.
4. 김화중, 김이성, 김병용, 고관호, "LED와 전기 저항적 특성을 적용한 스마트 콘크리트의 개발", 한국콘크리트학회 춘계학술발표대회 논문집, 2008
5. MATLAB (Version 6) Users Manual. The MathWorks, 2006.