

콘크리트 휨 부재에서의 탄성과 분리를 이용한 손상 추정법 개발

Development of Damage Estimation Method using Divided Elastic Waves in Flexible Concrete Element

고 관 호* 김 성 현* 김 이 성** 김 화 중***
Ko, Kwan-Ho Kim, Sung-Hyun Kim, Ie-Sung Kim, Wha-Jung

요 약

콘크리트에서의 손상 검증법은 비파괴 시험법을 주로 이용한다. 이러한 비파괴시험법은 다양한 센서를 이용하지만, 대부분의 손상을 검사하는 방법은 육안으로 확인한다. 비파괴 시험법에서 가속도계를 이용하여 철근 콘크리트 부재 내부의 불규칙한 균열 손상을 측정하기에는 철근의 방향성과 경계조건으로 어려움이 많다.

본 연구에서는 3축 가속도센서를 이용하고 탄성파를 가진하여, 콘크리트 부재 내부에 철근의 배치방향에 따른 영향 검토와 강도가 저하된 부재의 손상을 검토하기 위한 기초적 연구이다.

Abstract

Methods of damage detection are used non-destructive test in concrete structures. These are using various sensors, but the most of damage detections are used a visual angle of human. Problems of crack damage detection are occurred to directions and boundary conditions of steel bars using accelerometer in concrete element.

In this study, fundamental studies for estimation using 3 axial type of accelerometer and electric resistance property of thermocouple sensors are discussed estimation to effect of arranged steel bars and damage from low strength when they are oscillated elastic wave in concrete specimen.

키워드 : 탄성파, 가속도계, 균열, 푸리에변환

keywords : Elastic Wave, Accelerometer, Crack, Fourier Transform

1. 서 론

비파괴시험법(Non-destructive Test)은 항공 및 기계분야, 건설분야 등에서 재료의 안정성 및 신뢰성 평가를 위해 널리 이용되고 있는 중이다. 비파괴 시

험법의 원리는 물체의 매질을 통과하는 파(Wave)가 재료강성 및 구성에 의해 속도차가 발생하기 때문에 회절하는 파(Mirror Wave)의 특성분석이나 가진원 파 센서를 통과하는 파의 속도를 이용하여 손상의 위치를 예측하는 것이다.

그러나, 이러한 원리는 단일재료로 구성된 철골 등의 부재 손상을 검증하는 방법으로는 유리하지만 합성재료 즉, 철근 콘크리트의 경우 체적파(Body Wave)인 P파(Primary Wave)와 S파(Secondary Wave)는 철근의 방향성과 콘크리트와 철근의 경계면으로 인하여 반사 및 굴절(Refraction) 현상을 일으키게 되므로 계

* 경북대학교 건설공학부 석사과정
Tel: 053-950-5596, E-mail : syman901@knu.ac.kr,
meddugu@nate.net
** 정회원 • 경북대학교 건설공학부 연구교수, 공학박사
Tel: 053-950-4766, E-mail : macgang@knu.ac.kr
*** 경북대학교 건설공학부 교수, 공학박사
Tel: 053-950-5596, E-mail : kimwj@knu.ac.kr

측 신뢰성을 저하시키게 된다.

본 연구에서는 이러한 문제를 검토하기 위해 3축 가속도계를 이용하여 탄성 가진력이 발생하였을 때 콘크리트 내부에 발생하는 전달파를 철근이 길이 방향으로 내포되었을 때, 단변방향으로 배치되었을 때, 전체 배근되었을 때를 고속푸리에 변환을 이용하여 주파수 특성을 분석하고, 강성이 저하된 철근 콘크리트 보와 그렇지 않은 보에 대하여 탄성파로 가진되어 발생한 파형을 3축으로 분리비교 검토하였다.

2. 파형 분석법

고전적인 푸리에변환(Fourier Transform)은 간단하게 전달파형의 시간특성과 주파수 특성을 서로 변환시켜 주는 방법이며, 정형(Stationary) 신호의 분석 방법으로 이용되고 있다.

이러한 파형분석법의 장점이자 단점은 모든 주파수 대역에 대하여 동일한 크기의 필터를 사용한다는 것이다. 따라서, 불규칙적인 파에 대한 분석으로는 부족한 면도 있지만 탄성파의 가진력에 대한 센서의 측정범위의 한계 및 탄성가진으로 발생된 표면파(Surface Wave)와 체적파(Body Wave)의 중첩 문제를 해결한다면, 모든 전달파형은 각기 다른 여러개의 주파수성분을 포함한 신호의 중첩으로 되어있기 때문에, 푸리에 변환을 이용하여 시간영역에서 주파수 영역으로 변환하게 되면 진폭(Amplitude)과 주파수(Frequency)성분을 분석할 수 있다.

그러나, 사인파(Sin Wave)가 기본파형이므로 주파수의 함수로 바꾸었을 때 시간 정보가 사라진다는 단점이 있기 때문에, 어떤 주파수의 성분이 많은지는 알 수 있지만 그 성분이 시간적으로 어떤 위치에서 많이 나타나는지는 알 수 없는 단점이 있다.

또 다른 분석법으로 비정형(NonStationary) 신호의 분석법으로 이용되고 있는 웨이브렛 변환이 있다. 이 분석법은 연속 신호와 이산 신호의 경우에 모두 적용될 수 있으며, 고주파 대역에서는 폭이 좁은 해상도를, 저주파 대역에서는 폭이 넓은 해상도를 사용한다는 것이다. 웨이브렛 해석은 다른 말로 상대 대역폭 불변 해석(Constant Relative Bandwidth Analysis)이라고도 정의하며, 주파수 대역의 변화 폭은 항상 주파수 값에 비례하는 특성이 있다.

임의의 신호를 FFT로 분석하면 진폭(Amplitude)과

주파수(Frequency)의 2차원 그래프로 나타내어지지 만 웨이브렛(Wavelet)으로 분석하면 크기(Scale)와 위치(Translation) 그리고 진폭(Amplitude)축의 3차원 그래프로 나타내어진다.

웨이브렛 변환(Wavelet Transform)은 수학적으로 증명된 임의의 파형을 기본파형으로 사용할 수 있으며, 단점으로는 분석하려는 신호에 적합한 파형을 기본파형으로 사용할 경우, 분석의 정확도가 높아지지만 파형을 선택하는 과정에서 분석자의 의지가 개입한다 점이다. 이러한 신호분석법은 잡음제거나 신호 압축에 주로 사용되며, 푸리에 변환을 발전시킨 방법이라 할 수 있다^{1),2),3)}.

따라서, 본 연구에서는 콘크리트 휨시험체에 대해 단순, 직접적인 진단을 위해 탄성파를 가진하였을 때, 가진된 3축 파형에 대해 푸리에 변환을 이용하였다.

3. 연구 방법

100×100×400mm의 콘크리트 휨시험체를 제작하였다. 휨 시험체는 무근콘크리트와 400mm 길이 방향으로 2개의 이형 철근을 배치한 경우, 휨시험체의 단변방향으로 1/3의 간격으로 3개의 이형철근을 배치한 경우에 대하여 55g의 철구슬을 중공관을 이용하여 자유 낙하하였을 때, 발생하는 파형을 압전소자(PZT)와 3축 가속도계로 비교하였다.

또한, 강성에 대한 비교를 위하여, 일정 화재하중(Fire Load)을 작용시켜 손상된 철근 콘크리트 보와 작용시키지 않은 철근 콘크리트 보에 대한 주파수 응답을 비교하였다.

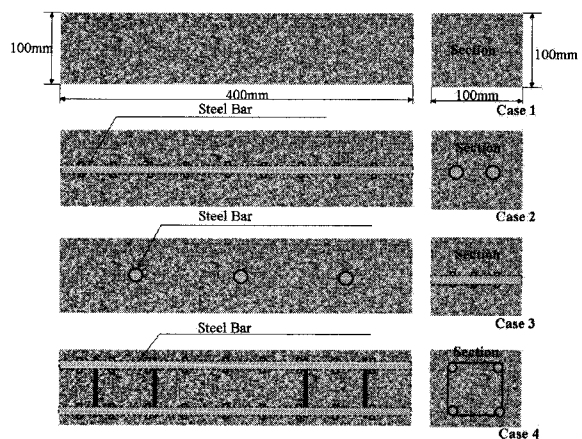


그림 2. 휨시험체 개요

탄성과 가진을 측정하기 위한 센서로 일본 Sanyo 사의 Ni-MH AAA 2700mAh 충전지로 3V전원을 인가한 Star Micronics사의 ACB302 3축 마이크로 가속도계, 일본의 MURATA 사의 압전부저(Piezo-electric Speaker)를 사용하였다.

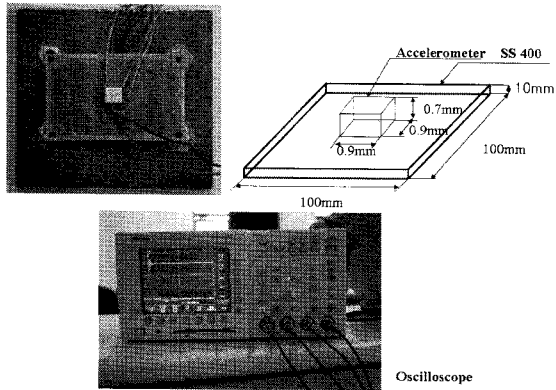


그림 3. 센서 및 계측기 개요

파형 측정은 Tektronix사의 TDS 3034B 오실로스코프를 이용하였다.

4. 이형철근의 배치에 따른 주파수 응답 분석

4.1 압전소자를 이용한 실험 및 분석

공진 주파수특성이 $6.5 \pm 0.5 \text{kHz}$ 인 코인형 압전소자를 부착하고 300mm의 높이에서 쇠구슬을 자유낙하하였을 때, 발생하는 압전소자의 주파수 응답 특성을 비교하였다.

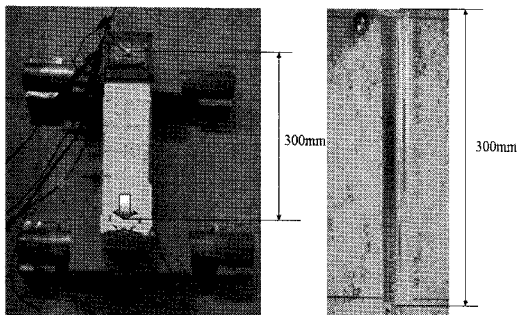


그림 4. 가진의 높이 및 센서와의 거리

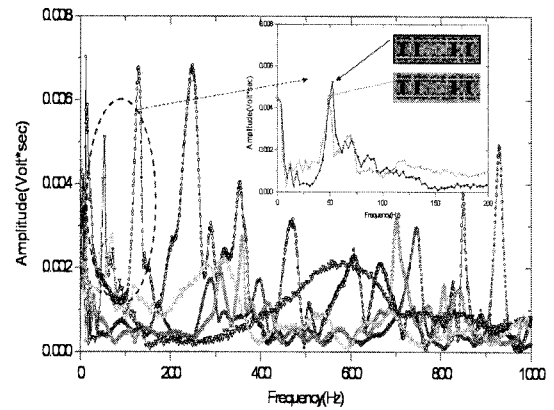


그림 5. 압전소자를 이용한 주파수 응답 분석

실험결과, 각각의 휨 시험체 주파수 응답비교에서 무근콘크리트 내부에 철근이 부재의 길이방향과 부재의 단면방향으로 배치된 경우 진폭(Amplitude)이 저감되는 것으로 나타났지만, 주파수 영역에서의 비교분석은 어려운 것으로 나타났다. 하지만, 화재하중으로 손상을 입은 철근 콘크리트 보는 그렇지 않은 경우에 비해 진폭이 $1 \times 10^{-3} \text{ (Volt*sec)}$ 저감되는 것으로 나타났으며, 주파수 대역은 10(Hz) 저감되는 것으로 나타나 퓨리에 변환으로 손상을 추정할 수 있는 것으로 나타났다.

4.2 3축 가속도계를 이용한 실험 및 분석

300mm의 높이에서 쇠구슬을 자유낙하하였을 때, 발생하는 3축가속도계의 부재 길이방향인 x축에 대한 주파수 응답 특성을 비교하였다.

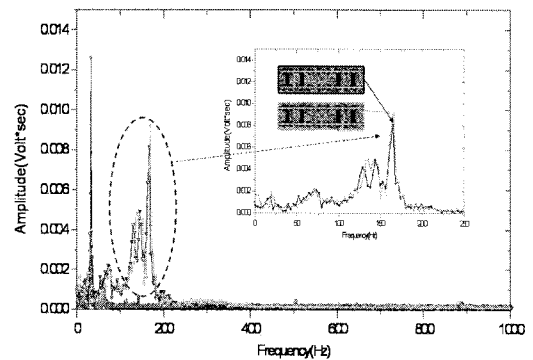


그림 6. 3축 가속도계의 X축 신호에 대한 주파수 응답 분석

실험결과, 콘크리트 휨 시험체 내부에 철근이 길이 방향으로 배치되어 있는 경우 같은 주파수 영역에서

진폭이 4.8×10^3 (Volt*sec) 증가하였으며, 철근이 부재의 단변방향으로 배치되어 있는 경우, 같은 주파수 영역에서 진폭이 3.8×10^3 (Volt*sec) 저감되는 것으로 나타났다.

화재하중으로 손상을 입은 철근 콘크리트 보는 그렇지 않은 경우에 비해 180(Hz) 주파수 대역에서 진폭이 1.2×10^3 (Volt*sec) 증가되는 것으로 나타나, 푸리에 변환으로 손상을 추정하기에는 어려운 것으로 나타났다.

300mm의 높이에서 쇠구슬을 자유낙하하였을 때, 발생하는 3축가속도계의 부재 길이방향인 Y축에 대한 주파수 응답 특성을 비교하였다.

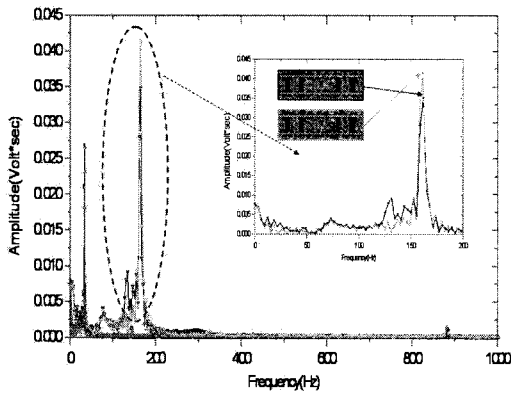


그림 7. 3축 가속도계의 Y축 신호에 대한 주파수 응답 분석

실험결과, 콘크리트 휨 시험체 내부에 철근이 부재의 단변방향으로 배치되어 있는 경우, x축 전달파보다 Y축 전달파가 진폭의 크기가 증가되는 것으로 나타났으며, 이러한 원인은 길이방향의 전달파보다 부재의 단변방향으로 전달되는 파의 속도가 빠르기 때문으로 사료된다. 철근이 부재의 길이방향으로 배치되어 있는 경우는 무근 콘크리트일 경우와 같은 주파수 영역에서 진폭의 변화가 미미하게 발생하였으며, 철근이 부재의 단변방향으로 배치되어 있는 경우, 같은 주파수 영역에서 진폭이 3.8×10^3 (Volt*sec) 감소하는 것으로 나타났다.

화재하중으로 손상을 입은 철근 콘크리트 보는 그렇지 않은 경우에 비해 160(Hz) 주파수 대역에서 진폭이 5×10^3 (Volt*sec) 증가되는 것으로 나타나, 푸리에 변환으로 손상을 추정하기에는 어려운 것으로 나

타났다.

300mm의 높이에서 쇠구슬을 자유낙하하였을 때, 발생하는 3축가속도계의 부재 길이방향인 Z축에 대한 주파수 응답 특성을 비교하였다.

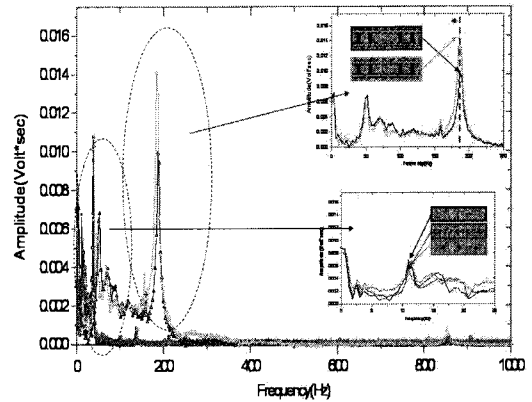


그림 8. 3축 가속도계의 Z축 신호에 대한 주파수 응답 분석

3축 가속도계의 Z축 신호에 대한 주파수 응답 분석 실험결과, 12Hz와 38Hz 주파수 영역에서 철근의 배근 방향성에 따른 미소한 진폭과 주파수 변화가 나타나는 것으로 나타났다. 이는 압전소자와 3축 가속도계의 X, Y축에 대한 주파수 응답 비교에서 나타나지 않는 응답이었으며, 화재하중으로 손상을 입은 철근콘크리트 휨 부재에 대한 탄성과 가진에 따른 주파수 응답특성을 비교하였다. 응답 비교결과, 화재하중으로 손상을 입은 철근 콘크리트 보는 그렇지 않은 경우에 비해 진폭이 5.7×10^3 (Volt*sec) 증가되는 것으로 나타났으며, 180(Hz) 주파수 대역에서 강성저하로 인하여 주파수 대역이 10Hz 저감되는 것으로 나타나 푸리에 변환으로 손상을 추정할 수 있는 것으로 나타났다.

5. 결 론

콘크리트 휨 부재에서의 탄성과 분리를 이용한 손상 추정법 개발에 대한 결론은 다음과 같다.

1) 콘크리트 휨 부재에서 탄성 가진파를 압전소자로 분석할 경우, 표면파와 체적파가 중첩되어 철근의 방향성에 따른 비교는 어려웠으나, 화재하중으로 손상을 입은 부재의 손상을 푸리에 변환을 이용한 주

파수 응답 해석으로 분석이 가능한 것으로 나타났다.

2) 압전소자를 이용하여 콘크리트 휨 부재의 손상 여부를 진폭의 변화로 비교하기 어려웠으나, 3축 가속도계를 이용하면 표면파와 체적파의 분리가 가능하기 때문에 진폭과 주파수 특성을 이용하여 손상을 추정할 수 있는 것으로 나타났다.

3) 압전소자는 푸리에 변환을 이용하여 탄성파로 가진되어 중첩된 파의 영향분석을 하기에는 어려운 것으로 나타났으나, 기전력형(起電力型) 센서⁴⁾이기 때문에 별도의 전원이 필요하지 않는 장점이 있음으로 웨이브렛 변환을 이용한 이러한 문제점을 저감할 수 있는 것으로 사료되며, 손상된 부재에 대한 단순하고 직접적인 진단을 위해 사용되는 푸리에 변환으로 분석할 경우 3축 가속도계는 유용한 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 2008년도 과학 재단 지정, 스마트 사회기반 연구센터의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Emmanuel C. Ifeachor, Barrie W. Jervis, "Digital Signal Processing", *Prentice Hall*, 2002, pp.317-341
2. Gene F. Franklin, J. Dvid Powell, Abbas Emami-naeini, "Feedback Control of Dynamic Systems", *Prentice-Hall*, pp. 368-468, 2003.
3. MATLAB (Version 6) Users Manual. *The MathWorks*, 2006.
4. H.L.KWOK, "Electronic Materials", *THOMSON*, pp. 158-173, 1997.
5. James D. Livingston, "Electronic Properties of Engineering Materials", *Wiley MIT*, pp. 107-228, 1999.
6. Vinay K. Ingle, John G. Proakis, "Digital Signal Processing using MATLAB", *Brooks/Cole*, pp. 116-227, 2000.