

## 3축 가속도계를 이용한 철근 콘크리트 보에서의 손상평가

### Estimation of Damage Using Accelerometer of 3 Axial in Reinforcement Concrete

김 이 성\*  
Kim, Ie-Sung

박 강 근\*\*  
Park, Kang-Geun

김 태 곤\*\*\*  
Kim, Tae-Gon

김 동 혁\*\*\*\*  
Kim, Dong-Hyeok

김 화 중\*\*\*\*\*  
Kim, Wha-Jung

#### 요 약

철근 콘크리트 구조물에서 발생하는 균열에 의한 손상은 과도한 하중이나 사용성에 의해 발생한다. 이러한 손상을 검사하는 방법으로 육안으로 확인하거나 비파괴 시험법을 주로 이용하고 있다. 후자의 경우, 콘크리트 내부 철근의 배근 방향성에 의해 균열에 의한 손상인지 판별하기 어려운 문제가 발생하게 되며, 비파괴시험(Non-destructive Test)에 사용되는 대부분의 센서(Sensor)는 1축 가속도 센서이기 때문에 중첩된 전달파를 분석하기에는 어렵다. 따라서, 이를 해결하기 위해 중공 유리관을 이용하였고 콘크리트 보 내부에 매입하여 철근이 매입되어 있는 경우에 대하여 3축 가속도계를 이용하여 탄성파로 가진 하였을 경우에 발생하는 파(Wave)를 비교 분석하였다.

#### Abstract

The R.C Building will be superannuated as time passes by heavy load and serviceability. Methods of damage detection are used a visual angle of human or non-destructive test in the R.C Building. In case of the latter, Problems of damage detection are occurred to directions of steel bar. Elastic waves are difficult to assaying test using 1 axial type of accelerometer in reinforced concrete. In this study, fundamental studies for estimations using 3 axial type of accelerometer are discussed oscillator of elastic waves when embedded glass tube pipe or steel bar in flexible concrete specimens.

키워드 : 유리관, 탄성파, 가속도계

Keywords : Glass Tube Pipe, Elastic Wave, Accelerometer

## 1. 서 론

철근 콘크리트 구조물은 외력에 의해 혹은 사용 내구연한에 의해 균열손상이 발생하며, 이러한 원인은 균열의 발생이다. 발생한 모든 균열이 건축 구조물의 급격한 붕괴를 초래하지는 않지만, 사용상의 안전성문제를 발생시킨다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해 비파괴시험법을 이용하여 구조물에 손상을 주지 않고 안전성 및 손상을 검토하고 있으며, 이러한 기술은 비약적으로 발전하고 있는 중이다. 비파괴시험 시 신뢰성에 영향을 주는 요인은 철근 콘크리트 내부에서 인장력을 분담하고 있는 철

근의 배근 방향성으로 인하여 발생하는 내부 파형의 변화문제이다. 비파괴 시험법에서 초음파를 이용하여 비파괴시험을 할 경우는 가진력에 영향을 받고, 탄성파로 가진할 경우 충격파의 특성에 따라 표면파와 체적파(P, S Wave)가 중첩되는 문제가 발생하게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해 콘크리트 휨시험체 내부에 철근을 배치한 경우와 같은 위치에 중공 유리관을 배치한 경우에 대하여 탄성파로 가진할 경우 발생하는 전달파의 속도차와 주파수 분석비교로 철근 콘크리트 부재내부에 위치한 철근의 영향을 분석하고자 하는 기초적 연구를 계획하였다.

\* 정회원 · 경북대학교, 건설공학부 연구교수, 공학박사  
\*\* 교신저자, 정회원 · 부산대학교 산업건축학과 교수, 공학박사  
Tel: 055-350-5345 E-mail: sampgk@pusan.ac.kr  
\*\*\* 경북전문대학 실내건축학과 교수, 공학박사  
\*\*\*\* 한국인프라금융자문(주) 부회장, 공학박사  
\*\*\*\*\* 경북대학교, 건설공학부 교수, 공학박사

## 2. 기존연구

철근 콘크리트 보에 대한 비파괴시험법의 최근 국외 연구동향을 살펴보면, Allen G. Davis(2004)는

대만 고속 철도 프로젝트에서 비파괴 시험방법을 연구하였으며, 충격 공진시험법을 이용하여, 포스트 텐션(Post-tension)상태의 콘크리트 거더(Girder)를 임팩트 해머와 초음파 탐촉자를 이용하여 시험하는 방법에 대해 연구를 하였다.<sup>1)</sup>

Christoph Kohl와 Doreen Streicher(2006)의 연구는 철근 콘크리트 교량구조물에서 발생하는 처짐을 레이더와 초음파 충격을 이용하여 측정하는 방법과 소프트웨어 개발에 대한 연구를 하였다.<sup>2)</sup> 기존의 연구는 철근 콘크리트 구조물에서 콘크리트 부재의 부분적인 비파괴 시험을 하였으나, 초음파 반향법을 이용하여 구조물의 처짐을 측정할 수 있는 연구를 하였다.

Brian Hobbs와 Mohamed Tchoketch Kebir(2007)의 연구는 철근 콘크리트 구조물에서 초음파 충격속도와 임팩트 해머를 이용하여 콘크리트 부재의 압축강도를 예측하는 연구를 하였으며, 이러한 결과값으로 콘크리트의 압축강도와 재령일을 예측하였다.<sup>3)</sup>

I.M. Nazmul과 T. Matsumoto(2008)의 연구는 철근 콘크리트 보에서의 균열확장에 따른 변위로 발생하는 응력변화에 대하여 연구하였으며, 수치해석법과 변형계이지(Strain Gauge) 측정법을 이용하였다.<sup>4)</sup> 철근 콘크리트 보에서 발생하는 균열의 증진은 이미지 센서를 이용하여 실험과 해석을 수행하였다.

철근 콘크리트 보의 비파괴시험법에 대한 국내의 연구로는, 이문환(2007)이 콘크리트 내부 철근 부식도와 비파괴시험법의 개선방안에 대해 연구하였으며, 청정지역에서 7년을 폭로시킨 시험체에 대해 철근 부식도를 조사하고, 측정시간을 단축시키는 방법과 자연전위 측정값을 재현여부를 검토한 연구였다.<sup>5)</sup>

윤현도(2007)는 CFRP로 보강된 철근 콘크리트 보의 AE 신호특성 및 이를 활용한 정량적 손상 평가에 대한 연구를 하였다. 초음파 방출기법(Acoustic Emission)을 이용하여 CFRP로 보강된 RC보의 결함을 실시간으로 분석한 방법이었다.<sup>6)</sup>

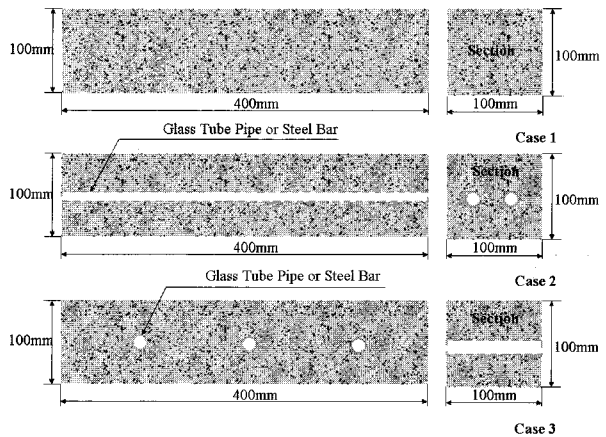
조영상(2007)은 지하투과레이더 탐사를 이용하여 콘크리트 슬래브의 내부진단에 대한 연구를 하였다. 이 연구에 사용된 지하투과레이더(Ground Penetrating Radar)법은 가진원을 레이더로 이용하였다. 매질 내 전파시켜 물리적 성질이 다른 매질의 경계면에서 반

사하는 성질을 이용한 비파괴 검사법으로 조사 자료가 영상 처리가 되기 때문에 객관적이고 신뢰성 있는 성과물의 제시가 가능하다고 하였다.<sup>7)</sup>

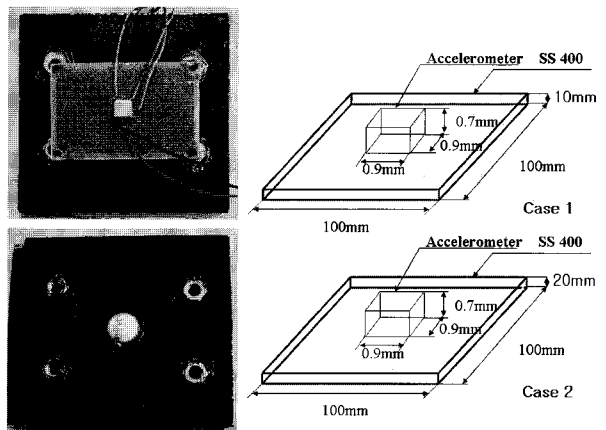
철근 콘크리트 보의 비파괴시험법에 대한 대부분의 국내의 연구는 주로 가진파를 투과하여 회절하는 파나 혹은 물질의 매질 통과시간 차를 이용하여 부재의 처짐이나 강도, 균열 손상에 대해 연구를 수행 중에 있지만, 철근 콘크리트 내부의 철근에 영향을 대한 비교분석은 이루어지지 않고 있는 실정이다.

### 3. 연구방법

100×100×400mm의 콘크리트 휨시험체를 제작하였다. 휨 시험체는 무근 콘크리트와 400mm 길이 방향으로 2개의 중공 파이프를 배치한 경우, 2개의 이형 철근을 배치한 경우에 대하여 각각 28, 55, 95g의 철구슬을 중공관을 이용하여 자유 낙



〈그림 1〉 휨 시험체에서의 이형 철근과 중공 유리관의 배치



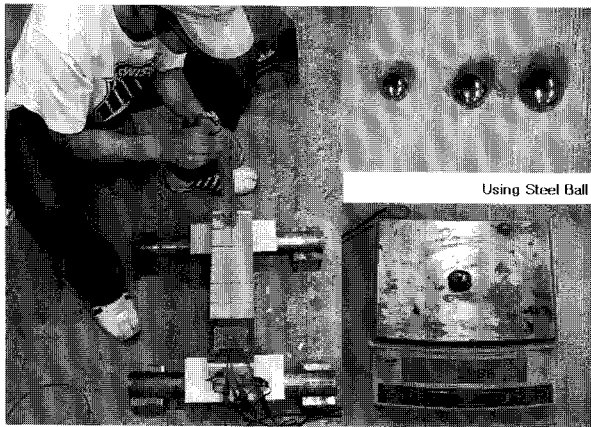
〈그림 2〉 가진력 측정센서의 개요

하하였을 때, 발생하는 전달파의 결과값을 압전소자 (PZT)와 3축 가속도계에서 산출하여 비교하였다.

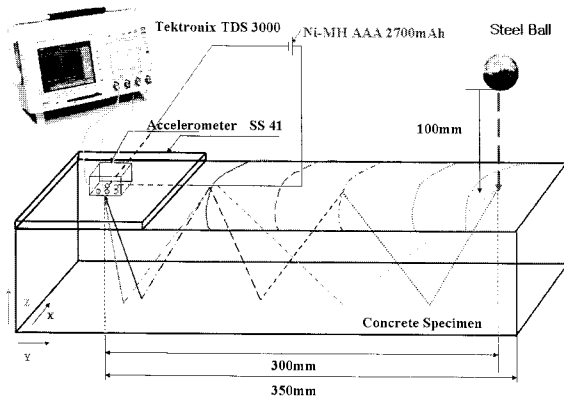
또한, 콘크리트 휨시험체 내부에 발생한 균열과 철근배근의 영향을 비교를 위하여, 휨시험체의 단변 방향으로 1/3의 간격으로 3개의 중공유리관을 배치하였고, 이를 3개의 이형철근을 배치한 경우와 무근 콘크리트에서 전달파의 결과값과 비교하였다.

측정에 사용된 압전소자는 일본 MURATA 사의 압전부저(Piezo-electric Speaker)를 사용하였으며, 3축 가속도계는 자동차의 에어백 가동센서로 이용되는 일본 Star Micronics사의 ACB302 가속도계를 이용하였다.

쇠구슬의 낙하로 인하여 발생한 탄성파가 철근 콘크리트 휨시험체를 통과할 때 발생된 전달파를 검출하기 위해 사용된 가진력 측정센서로 상용 압전부저와 3축 가속도센서를 이용하였다. <그림 2>에서와 같이 가속도센서 아래에 압전소자가 위치하도록 제작하였으며, 휨시험체와 부착을 위한 지지판



<그림 3> 쇠구슬의 자유낙하를 이용한 탄성가진 시험



<그림 4> 측정 개요

<표 1> 압전소자의 제원

Resonant Frequency	6.5±0.5kHz
Resonant Impedance	250Ω max
Electric Capacity	12000±30%
Operating Temperature	-20°C~+70°C

<표 2> 3축 가속도계의 제원

Acceleration Range	± 19.6m/s <sup>2</sup> [± 2G]
Rated Voltage	3.0 VDC
Supply Voltage (Vcc)	2.7 to 5.5 VDC
Frequency Response	DC to 15 Hz
Sensitivity (Vcc = 3.0V)	10.2mV (m/s <sup>2</sup> ) [100mV/G]
Linearity	2.5 %
Transverse Sensitivity	4 %
Offset Voltage	1.5V (Vcc/2)
Current Consumption (Vcc = 3.0V)	0.1 mA
Operating Temperature	-20 to +70degree C
Storage Temperature	-40 to +85degree C
Dimension (W×D×H)	9.0×9.0×7.0mm
Mass	1.3g

<표 3> 오실로스코프의 제원

Analog Bandwidth	100 - 300MHz
Sampling Rate	Sin(x)/x Interpolation of Max 2.5GS/s
Waveform Capture Rate	3,600 wfms/s
Coupling	AC/DC/GND
Sensitivity (/div)	Vertical 1 mV to 10 V
Max. Input Voltage	150 VRMS CAT I on all models (300 V CAT II with standard 10X probe)
Vertical Accuracy	±2%
Position Range	± 5 div
Input Impedance	1 MΩ in parallel with 13 pF or 50 Ω
Time Base Range	2ns to 10s/div
Time Base Accuracy	20ppm
Maximum Record	10K
Trigger Source	±CH I, ±CH II, ±CH III, ±CH IV
Interface	RS-232, GPIB, VGA

으로 일정무게의 철판을 이용하였다. 이는 기존의 상용 가속도계의 경우 하우스(Housing)의 무게가 가벼워 시험체와의 부착이 제대로 되지 않을 경우에 측정문제가 발생하기 때문이다. 쇠구슬의 낙하 높이는 100mm로 자유낙하 중 쇠구슬의 이탈을 방지하기 위하여 PVC 중공관을 이용하였다.

압전소자는 기전력형(起電力型) 센서로 별도의 전원이 필요하지 않지만, 3축 가속도의 경우 별도의 전원이 필요하며, 장기 측정상 전원 부족이 발생되면 신호 대 잡음비(Signal Versus Noise)가 증가하므로 일본 Sanyo사의 Ni-MH AAA 2700mAh 충전지를 사용하였다.

압전소자의 전압측정은 Tektronix사의 TDS 3034B 오실로스코프를 이용하여 측정하였다.

#### 4. 충격파에 따른 주파수 응답

충격은 매우 짧은 시간 동안 매우 큰 힘을 의미한다. Paul Dirac은 이러한 매우 큰 힘을 수학적 충격  $\delta(t)$ 로 나타낼 수 있으며, 만약  $f(t)$ 가  $t=\tau$ 에서 연속적일 때 다음과 같은 특성을 가진다고 가정하였다<sup>8)</sup>.

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)\delta(t-\tau)d\tau = f(t) \quad (1)$$

$\delta$ 는 매우 짧고 강하여  $\delta$ 가 일어나는 점 이외에는  $f$ 가 발생하지 않으며, 적분은 합의 극한이기 때문에 식(1)은 충격의 합으로 함수  $f$ 를 나타낸다고 가정할 수 있다. 만약 충격함수  $f$ 를  $u$ 로 치환하면 식(1)에서 입력 함수  $u(t)$ 를 강도  $u(t-\tau)$ 인 충격의 합으로 나타내었으며, 실험상 임의의 입력에 대한 응답을 유추하기 위해서 단위충격에 의한 응답을 구할 필요가 있으며, 선형계에서 충격응답은  $h(t, \tau)$ 로 나타낸다. 이는 시간  $\tau$ 에서 가해진 시간  $t$ 때의 응답이다. 전체응답에 대한 식은 다음과 같다.

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} u(\tau)h(t, \tau)d\tau \quad (2)$$

선형계이며, 상수이면 시간  $\tau$ 에서 가해진 입력

에 대한 시간  $t$ 때의 응답은 오직 충격이 가해진 시간과 응답이 측정된 시간과 차이에만 의존하기 때문에 충격응답은  $h(t-\tau)$ 이기 때문에 다음의 식으로 볼 수 있다.

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} u(\tau)h(t-\tau)d\tau \quad (3)$$

식(3)을 컨벌루션 적분(Convolution Integral)이라 부르며, 이를 est형태의 지수 시간함수 입력을  $H(s)$ est의 형태로 만든다.  $H(s)$ 는 선형계 시스템 전달함수(Transfer Function)이며, 상수  $s=\sigma+j\omega$ 와 같은 복소수이다. 위의 식에서  $u(t)=est$  라면

$$\begin{aligned} y(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)u(t-\tau)d\tau \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)e^{s(t-\tau)}d\tau \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)e^{st}e^{-s\tau}d\tau \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)e^{-s\tau}d\tau e^{st} \\ &= H(s)e^{st} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,  $t < 0$ 에 대하여  $h(t)=0$ 이면

$$H(s) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)e^{-s\tau}d\tau \quad (5)$$

지수 응답을 이용하는 가장 보편적인 방법은 사인곡선(Sin Wave)에 대한 응답인 주파수 응답(Frequency Response)을 구하는 것이며, 오일러(Euler)관계식에 의하여,

$$A\cos(\omega t) = \frac{A}{2}(e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}) \quad (6)$$

식 (4)에서  $s=j\omega$  라면,  $u(t)=ej\omega t$ 에 대한 응답은 다음과 같다.

$$y(t) = H(j\omega)e^{j\omega t} \quad (7)$$

따라서,  $u(t)=e-j\omega t$ 에 대한 응답은 다음과 같다.

$$y(t) = H(-j\omega)e^{j\omega t} \quad (8)$$

코사인 신호(Cosin Signal)을 만드는 이 두 지수의 합에 대한 응답은 개별적인 응답들의 합이므로 다음과 같다.

$$y(t) = \frac{A}{2} [H(j\omega)e^{j\omega t} + H(-j\omega)e^{-j\omega t}] \quad (9)$$

전달함수  $H(j\omega)$ 는 극좌표로 나타내거나 아래의 식

$$H(j\omega) = M(\omega)e^{j\phi(\omega)} \quad (10)$$

또는,

$$H = Me^{j\phi} \quad (11)$$

여기서,  $M$ 은 크기비(Amplitude Ratio),  $\phi$ 는 위상각(Angle of Phase),  $\omega$ 는 입력 주파수 이 치환을 이용하여 식(9)을 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} y(t) &= \frac{A}{2} M(e^{j(\omega t + \phi)} + e^{-j(\omega t + \phi)}) \\ &= AM\cos(\omega t + \phi) \end{aligned} \quad (12)$$

여기서,  $M = |H(j\omega)|, \phi = \angle H(j\omega)$

전달함수  $H(s)$ 로 표현되는 선형계 시스템에 크기가  $A$ 인 정현파를 입력하면, 크기가  $M$ 이고 위상이  $\phi$ 만큼 변화하여 같은 주파수를 갖는 사인곡선이 출력된다.

그러면, 만일 가진되고 있는 시스템이 비선형 혹은 시간변형 시스템일 경우, 출력은 입력 주파수와 다른 주파수들을 포함하여 중첩되는 문제가 발생하게 된다.<sup>8)</sup>

따라서, 이를 분석하기 위해 본 연구에서는 압전소자와 3축 가속도계를 이용하였다. 압전소자가 z축의 파형을 나타내므로<sup>9)</sup> 탄성파를 가진하였을 때, 발생하는 파형을 무근 콘크리트일 경우와 콘크리트 내부에 균열손상이 발생한 것으로 가정한 중공 유리관이 내포되었을 경우와 이형철근이 내포되었을 경우에 대해 비교분석하였다.

콘크리트 휨 시험체 내부에 이형 철근과 중공 유리관의 배치에 따른 파형 분석을 위하여 3축 가속도계를 이용하여 실험하였다.

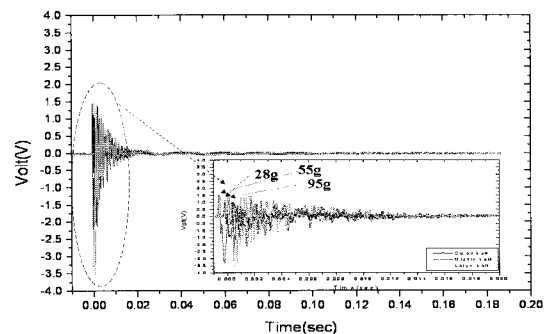
## 5. 콘크리트 휨시험에서의 실험 및 분석

### 5.1 압전소자를 이용한 실험 및 분석

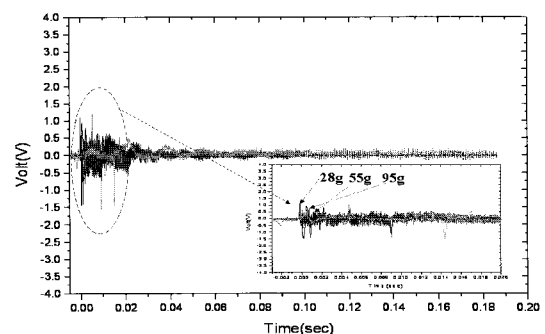
<그림 2>에서와 같이 콘크리트 내부에 철근과 공극이 있는 경우에 28, 55, 95g의 철구슬을 중공관으로 자유 낙하하였을 때의 신호분석 비교실험을 위해 손상을 입지 않은 콘크리트 보에 가속도계 센서의 압전소자로 고정판의 두께 영향을 비교분석하였다.

<그림 5>에서와 같이 철구슬의 무게를 달리하여 콘크리트 보 시험체에 낙하하여도 시험체에서 발생된 파형의 왜곡이 발생하지 않았다. 압전소자는 공진주파수 저감이 크게 발생하는 센서이기 때문에 대역폭(Band Width)이 크게 발생하지 않는다. 대역폭이 증대된다는 것은 압전소자가 부재 두께방향으로 통과하는 파에 대해 출력함으로 표면파와 체적파가 중첩된 경우로 사료될 수 있다.

<그림 6>은 압전소자와 3축 가속도계로 이루어진 탄성과 가진력 측정센서의 고정판 두께가 20mm일 때 실험결과이다. 철구슬의 무게가 증가하여도 압전소자의 전압이 증가하지 않는 것으로 나타났으며,



<그림 5> 센서 고정판의 두께가 10mm일 때의 신호 파형



<그림 6> 센서 고정판의 두께가 20mm 때의 신호 파형

대역폭(Band Width)이 크게 발생하는 것으로 나타났다. 따라서, 쇠구슬로 탄성파를 가진하였을 때, 센서의 신호파형에 센서를 고정하기 위한 판의 두께의 영향이 적은 10mm의 고정판을 이용하여 손상분석 실험을 하였다.

### 5.2 3축 가속도계를 이용한 실험 및 분석

3축 가속도계를 이용하여 탄성파가 가진되었을 때, 이를 나타내어주는 압전소자의 신호방향성을 분석하였다. 분석기법으로 데카르트 좌표계인 X, Y, Z축에서 발생하는 파형 중 가장 빠른 파형이 먼저 도달하는 것으로 추정하였다. 탄성파 가진방법으로 철구슬의 무게를 이용하여 동일한 높이에서 낙하하였다.

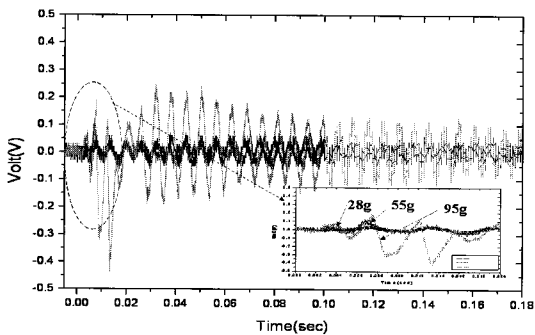
콘크리트 보 시험체의 폭방향인 X축 방향으로 탄성파를 가진하여 실험한 결과, 철구슬이 28g일 때 15msec, 철구슬이 55g일 때 7msec, 철구슬이 95g일 때 4msec로 속도차가 발생하였다. 철구슬의 무게가 증가될수록 파형이 먼저 도달하는 것보다는 자유 낙하시점과 도달시점, 계측기의 측정시점으로 발생

하는 오차로 나타났다.

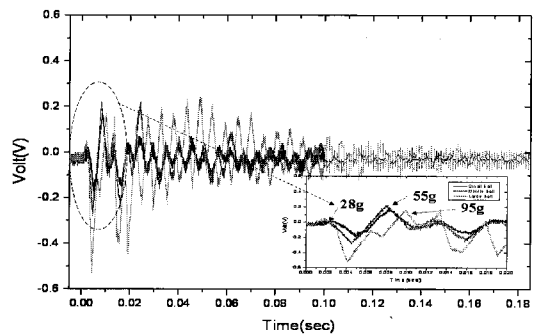
콘크리트 보 시험체의 폭방향인 Y축 방향으로 탄성파를 가진하여 실험한 결과, 철구슬이 28g일 때 6msec, 철구슬이 55g일 때 6msec, 철구슬이 95g일 때 4msec로 속도 차이가 발생하였다. 다음은 Z축에 대한 비교이다.

Z축 방향으로 가진 실험결과, 철구슬이 28g일 때 3msec, 철구슬이 55g일 때 2msec, 철구슬이 95g일 때 1.5msec로 속도 차이가 발생하였다. 철구슬의 중량에 관계없이 Z축의 전달파형이 X와 Y축의 전달파형보다 빠른 것으로 나타났다. 각 축에 대한 중량별 속도차이를 비교하면 다음 그림과 같다.

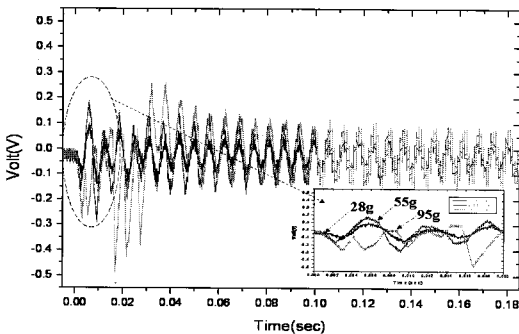
따라서, Z축에 대하여 손상을 입지 않은 무근 콘크리트 보와 시험체 내부에 중공유리관이 내포되어 있는 경우, 철근이 내포되어 있는 경우에 대하여 탄성파 가진에 의한 전달파형을 분석하였다. 그림 10은 쇠구슬의 중량에 따른 콘크리트 보 부재를 통과하는 전달파의 속도차를 비교하고 있다. 3축 가속도계의 X축은 보의 폭 방향이며, Y축은 길이방향, Z축은 두께방향을 나타낸다. 쇠구슬의 무게가 증가할



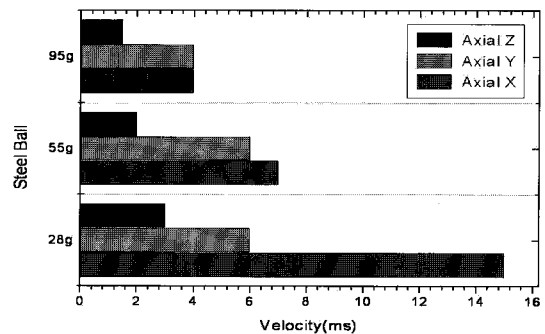
〈그림 7〉 28, 55, 95g의 철구슬을 100mm에서 자유 낙하였을 때, 3축 가속도계의 X축 전달파형



〈그림 9〉 28, 55, 95g의 철구슬을 100mm에서 자유 낙하였을 때, 3축 가속도계의 Z축 전달파형



〈그림 8〉 28, 55, 95g의 철구슬을 100mm에서 자유 낙하였을 때, 3축 가속도계의 Y축 전달파형



〈그림 10〉 X, Y, Z축에 대한 속도차 비교

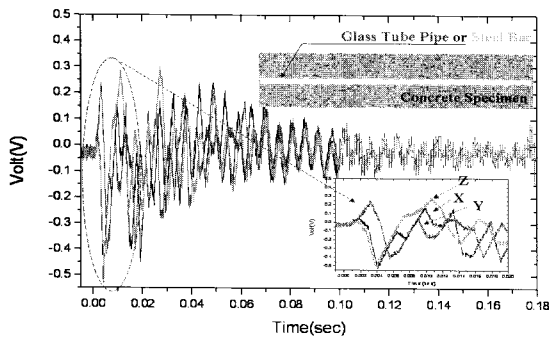
수축 X축과 Y축의 속도차가 나타나지 않는 것으로 나타났다. 이는 보 시험체에 비해 가진력이 증가하면 보 표면과 폭으로 전달되는 파의 속도가 증가되고 가진력이 저하되면 보 표면과 폭으로 전달되는 파의 속도가 감소되는 것으로 나타나 이들 쇄구슬 중 비교가 가능한 55g의 쇄구슬을 이용하여 실험하였다.

### 5.3 콘크리트 보 내부에 중공 유리관이 있는 경우와 철근이 내포되어 있는 경우의 비교분석

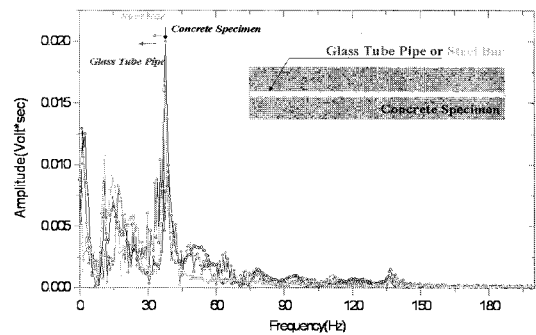
55g의 쇄구슬을 중공관으로 100mm 높이에서 자유 낙하하였을 때, 3축 가속도계의 신호를 무근 콘크리트 보 시험체와 부재의 길이방향으로 중공유리관과 이형철근이 내포되어 있는 경우, 부재의 단변(폭)방향으로 중공유리관과 이형철근이 내포되어 있는 경우를 비교하였다.

콘크리트 시험체에 부재 길이의 장변방향으로 중공유리관과 이형철근이 내포되어 있는 경우에 대한 비교 실험결과, 전달파의 속도는 중공유리관이 내포된 경우가 3.5ms으로 가장 늦게 전달되었다. 이형철근이 내포된 경우는 무근 콘크리트에서의 전달파 속도차이가 발생하지 않았다. 콘크리트 보 시험체에 부재 길이의 단변방향으로 중공유리관과 이형철근이 내포되어 있는 경우에 대한 비교 실험결과, 전달파의 속도는 이형철근이 내포된 경우가 3ms으로 가장 늦게 전달되었다. 중공 유리관이 내포된 경우는 2.5ms, 무근콘크리트의 경우는 1.5ms으로 전달파 속도가 나타났다. 이를 검증하기 위해 전달파형에 대해 고속푸리에 변환을 하였으며<sup>10,11)</sup>, 분석결과 중공 유리관과 이형철근이 부재의 길이방향으로 내포되어 있는 경우가 진폭과 주파수대역이 무근 콘크리트에서의 영역특성보다 저감되는 것으로 나타났다.

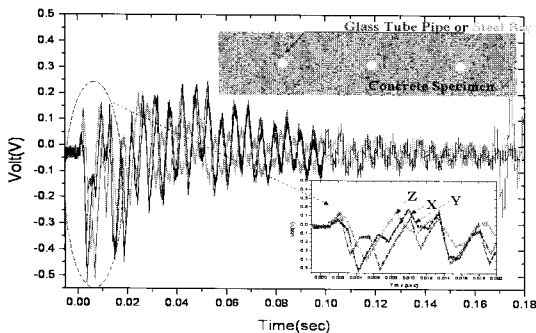
중공 유리관과 이형철근이 부재의 단변방향으로



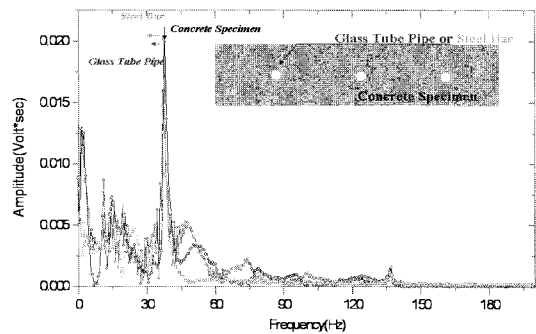
〈그림 11〉 콘크리트 시험체에 부재 길이의 길이방향으로 중공유리관과 이형철근이 내포되어 있는 경우 신호분석



〈그림 13〉 콘크리트 시험체에 부재 길이의 장변방향으로 중공유리관과 이형철근이 내포되어 있는 경우 주파수 특성분석



〈그림 12〉 콘크리트 시험체에 부재 길이의 폭방향으로 중공유리관과 이형철근이 내포되어 있는 경우 신호분석



〈그림 14〉 콘크리트 시험체에 부재 길이의 단변방향으로 중공유리관과 이형철근이 내포되어 있는 경우 주파수 특성분석

내포되어 있는 경우의 진폭과 주파수 특성분석 결과, 철근이 콘크리트 시험체의 폭방향으로 부재 내부에 내포되어 있는 경우가 진폭과 주파수 대역이 무근 콘크리트에서의 영역특성보다 저감되는 것으로 나타났다. 중공 유리관이 내포되어 있는 경우에는 진폭의 변화는 발생되지 않았지만 강성저하로 주파수 대역의 저감이 발생하였다.

## 6. 결 론

3축 가속도계를 이용한 철근 콘크리트 보에서의 손상평가에 대한 결론은 다음과 같다.

- 1) 콘크리트 휨 시험체에 대한 손상평가를 위해 사용되고 있는 센서의 하우징(Housing) 바닥 두께가 증가되거나 탄성 가진력이 증가되면 콘크리트 휨 부재의 손상을 파악하기 위한 전달파형 특성분석에 영향을 주는 것으로 나타났다.
- 2) 콘크리트 휨시험체 내부에 중공유리관이 내포되어 있는 경우와 무근 콘크리트 보의 비교에서 손상 검증시 부재의 단변 및 길이방향성에 대한 영향이 발생하지 않았으나, 이형 철근이 부재의 단변방향으로 내포된 경우가 중공 유리관이 내포된 경우보다 전달파의 속도가 지연되어 콘크리트 보부재의 손상검토 시 주근의 방향성이 영향을 주는 것으로 나타났다.
- 3) 철근 콘크리트 휨 시험체 내부의 손상을 탄성파의 가진하고 전달파를 고속푸리에 변환을 이용하여 콘크리트 보 내부의 손상을 검토할 경우, 보 내부의 균열손상이 띠철근이 배근된 단변방향으로 발생한 경우에 대해 진폭 및 주파수 특성을 비교할 때 철근의 방향성 영향을 고려해야하는 것으로 나타났다.

## 감사의 글

1. 본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비 지원(과제번호#06 건설핵심 B03)에 의해 수행되었습니다.

2. 이 연구는 2008년도 한국과학재단 지정, 스마트 사회기반 연구센터의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호 : R11-2002-101-01002-0

## 참고문헌

1. Allen G. Davis, "Rapid non-destructive test method at the Taiwan High-Speed Rail Project", Concrete Technology, 2004, pp.30-35.
2. Christoph Kohl, Doreen Streicher, "Results of Reconstructed and Fused NDT-data Measured in the Laboratory and On-site at Bridges", Cement and Concrete Composites, Volume 28, Issue 4, April 2006, pp.402-413
3. Brian Hobbs, Mohamed Tchoketch Kebir, "Non-destructive Testing Techniques for the Forensic Engineering Investigation of Reinforced Concrete Buildings", Forensic Science International, Volume 167, Issues 2-3, 11 April 2007, pp.167-172.
4. I.M. Nazmul, T. Matsumoto, "High Resolution COD Image Analysis for Health Monitoring of Reinforced Concrete Structures Through Inverse Analysis", International Journal of Solids and Structures, Volume 45, Issue 1, 1 January 2008, pp.159-174.
5. 이문환, 문종욱, "재령 7년의 콘크리트 내부 철근 부식도와 비파괴 시험법의 개선 방안 연구", 대한건축학회논문집 구조계, 제23권, 제12호, 2007, pp.69-80.
6. 이영호, 윤현도, 서수연, "CFRP로 보강된 RC보의 AE 신호특성 및 이를 활용한 정량적 손상평가", 대한건축학회논문집 구조계, 제23권, 제11호, 2007, pp.27-34.
7. 홍성욱, 조영상, "지하투과레이더 탐사를 이용한 콘크리트 슬래브의 내부진단에 관한 기초적 연구", 대한건축학회논문집 구조계, 제23권, 제10호, 2007, pp.51-58
8. Genne F. Franklin, J. David Powell, "Feedback Control of Dynamic Systems", Pearson Prentice Hall, 2003, pp.97-392.



9. 윤승현, 김이성, 박강근 "이동 가진원에 따른 철근 콘크리트 판에서의 진동 평가", 한국공간구조공학회, 제7권, 제6호, 2007, pp.83-90.
10. Emmanuel C. Ifeachor, Barrie W. Jervis, "Digital Signal Processing", Prentice Hall, 2002, pp.317-341.
11. MATLAB (Version 6) Users Manual. The

MathWorks, 2006.

접수일자 : 2008년 3월 28일  
심사완료일자 : 2008년 6월 4일  
게재확정일자 : 2008년 10월 10일