

목차

1 버스 내부 진동 시스템

2 핸드폰으로 수집한 xyz방향 가속도값

3 진동 대상의 모델링

4 간략한 진동 모델 해석 흐름

(a) 버스에서 측정된 가속도 데이터 확인

(b) 특정 충격에 의한 특정 시스템에서 보이는 진동

(c) 다양한 시스템에서의 측정된 힘에 의한 응답 $x(t)$

(d) 응답 $x(t)$ 로부터 구해지는 $v(t)$

(e) 다양한 시스템의 측정된 힘에 의한 V_{rms}

깃허브 링크 (작성자 본인)

1. 기계 시스템 선정

603버스 내부 진동 (경로: 파리공원 -> 서교동)

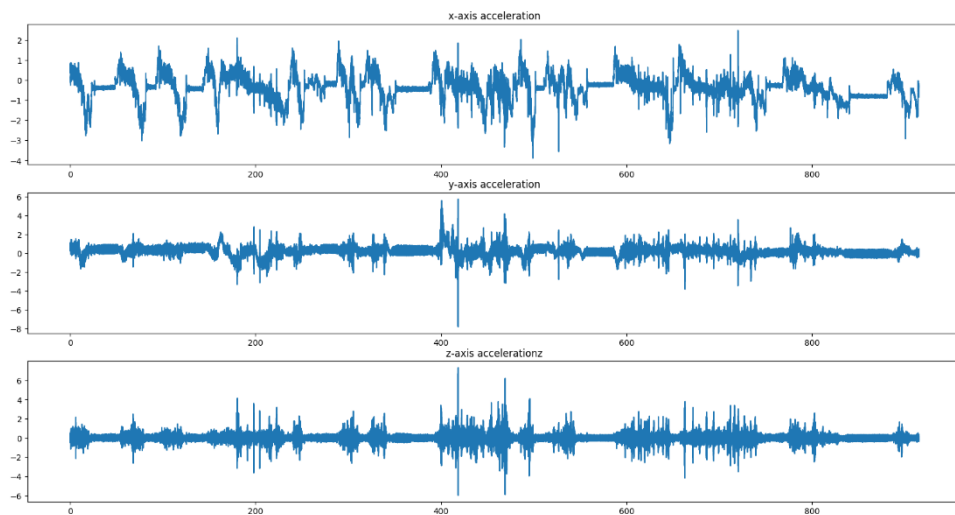
2. 2023년 05월 16일 11시 22분부터 약 15분간 핸드폰 센서를 통해 측정

t : 0초부터 915초까지 0.009초간격으로 측정됨

x : 버스 진행 방향 가속도 값

y : 버스 좌우 방향 가속도 값

z : 버스 상하 방향 가속도 값 - 9.81



3. 진동 측정 대상의 모델링

버스 내부에서 물체가 위의 힘을 받는다고 했을 때 상자안에 spring mass damper 시스템 설치시 여러 k값과 c값에 따른 V_{rms} 비교

다만 이 프로젝트에서는 버스의 물체가 사용자의 기호에 따라 놓이는 방향이 다르기 때문에 가속도의 절대값의 평균이 가장 큰 방향을 모든 방향에서 받는다고 가정하여,

각 방향의 가속도에 대해 abs_mean 값을 구해보았다

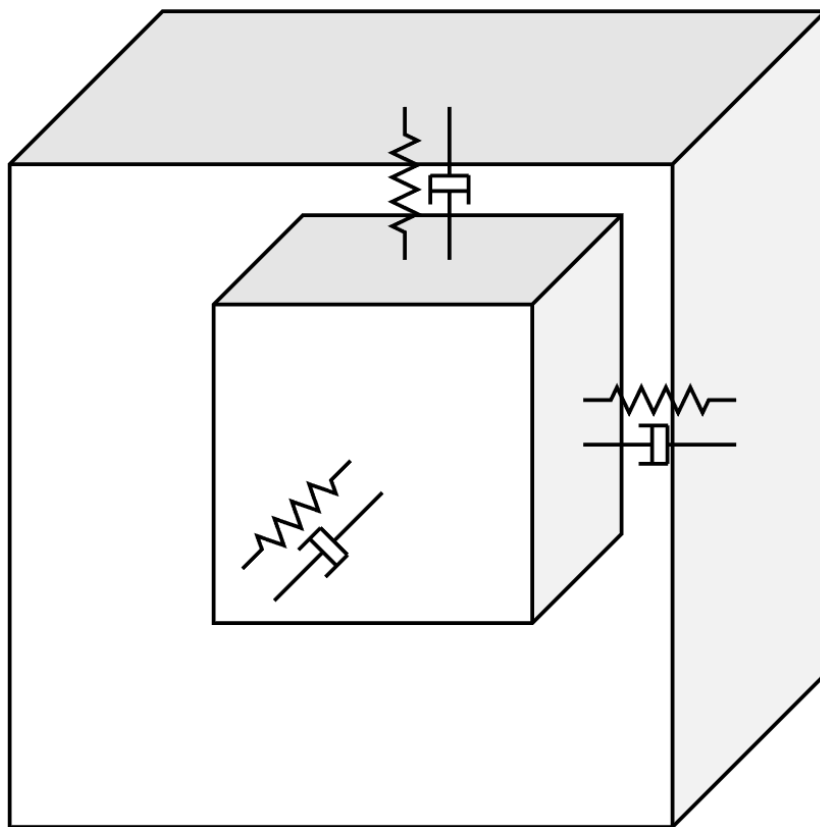
$x_{abs_mean} = 0.5749981817770655$

$y_{abs_mean} = 0.39136066780064305$

$z_{abs_mean} = 0.27057284127283654$

따라서 x방향 가속도 데이터가 모든 방향에 대해서 작용한다고 가정하고,

x방향 가속도가 주어질 때 물체에 손상이 없게 V_{rms} 가 최소가 되는 k , c 값을 구하는것에 초점을 두었다



4. 수치 모델링한 진동 모델 해석

$t = \tau$ 에 dt 동안 힘 F 가 가해지면 식(3.6)에 따라 다음과 같이 해를 구할 수 있다

$$x_n(t) = \begin{bmatrix} 0 & (t < \tau) \\ \frac{Fdt}{mw_d} e^{-\zeta w_n(t-\tau)} \sin(w_d(t-\tau)) & (t > \tau) \end{bmatrix}$$

따라서 $t = 0$ 초 에서 $t = 915$ 초 까지 0.009 초 간격 t 에대한 x 는 다음과 같다

$$x(t) = \sum_{n=1}^{101707} x_n$$

위에서 구한 $x(t)$ 를 수치해석적 방법으로 $v(t)$ 및 v_{rms} 값을 구할수 있다

$$v[i] = \frac{x[i+1] - x[i]}{dt}$$
$$v_{rms} = \sqrt{\frac{\sum(v^2)}{n}}$$

이와 같은 과정을

$w_n = 0.1, 0.2, \dots 0.9, 1, 2, \dots 10, 20, 30, \dots 100$ 일때,

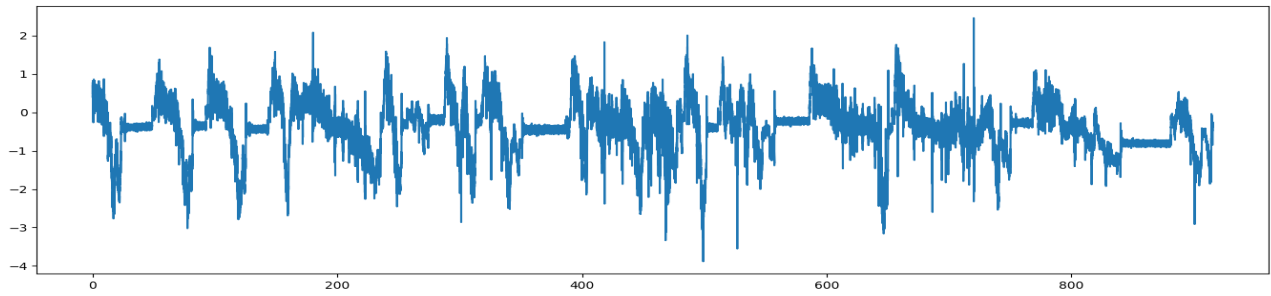
각각의 $\zeta = 0.1, 0.3, 0.5, 0.7$ 에 대한 v_{rms} 값을 계산해 보았다

4-(a) x방향 가속도 해석

x방향 가속도 절대값의 평균 = $0.5749981817770655 \text{ m/s}^2$

x방향 가속도 최대값 = 3.888302 m/s^2

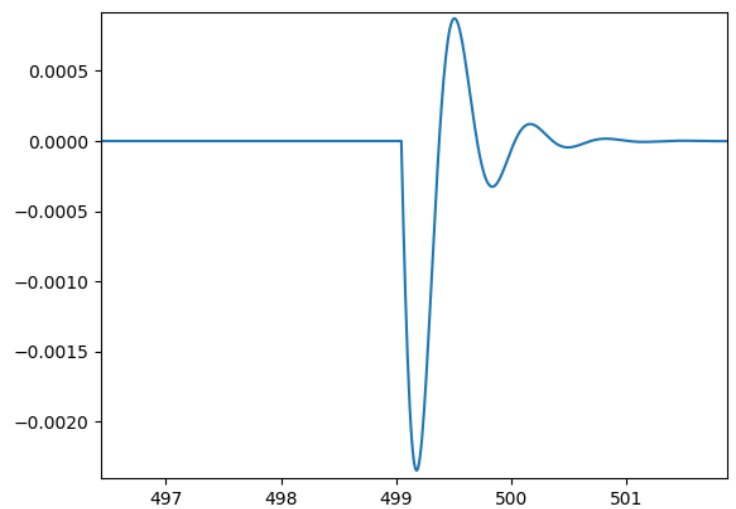
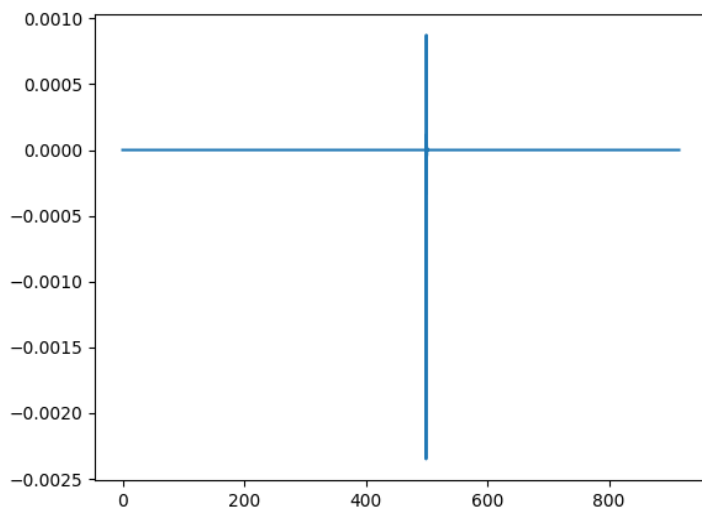
x방향 최대값 가속도 $t = 498 \text{ sec}$



4-(b)

$$x_n(t) = \begin{cases} 0 & (t < \tau) \\ \frac{Fdt}{mw_d} e^{-\zeta w_n(t-\tau)} \sin(w_d(t-\tau)) & (t > \tau) \end{cases}$$

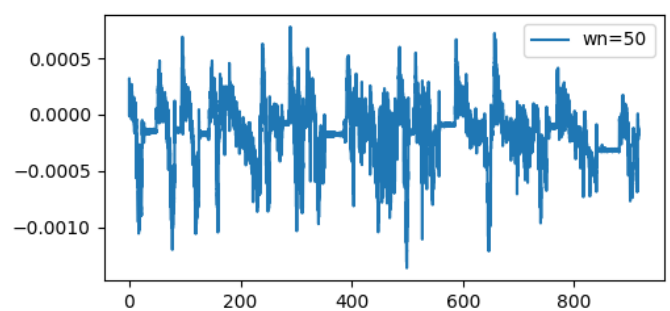
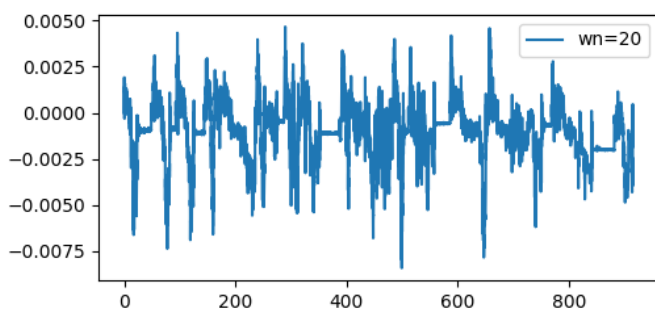
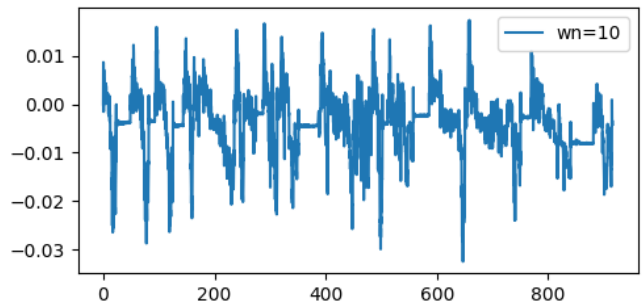
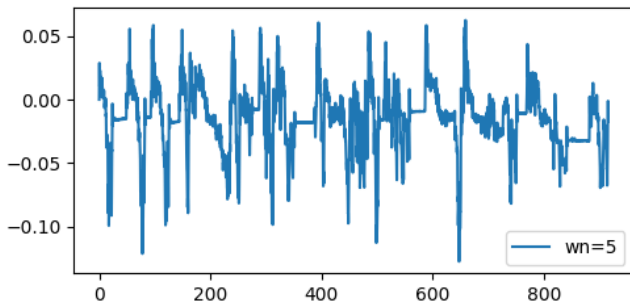
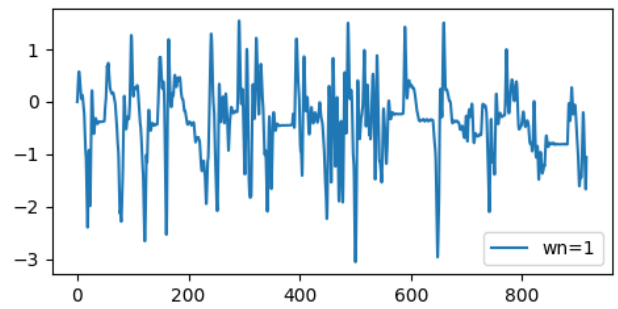
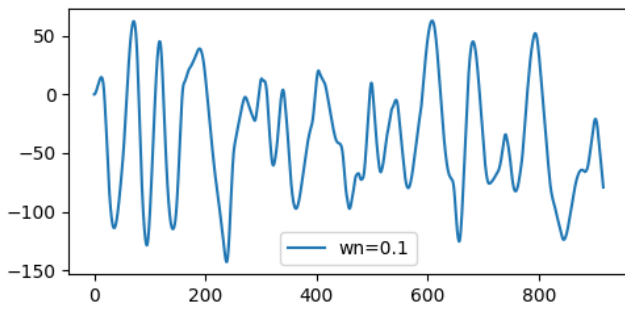
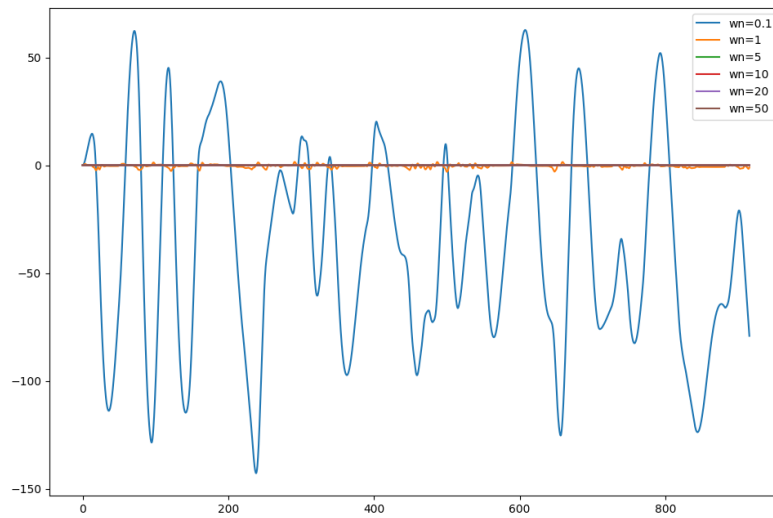
다음은 $\zeta = 0.3$ $w_n = 10$ 일 때 $t = 498$ 에서의 충격에 의한 $x_{\tau=498}(t)$ 이다



4-(c)

$$x(t) = \sum_{n=1}^{101707} x_n$$

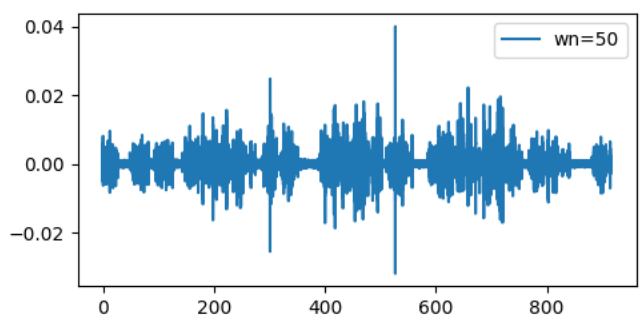
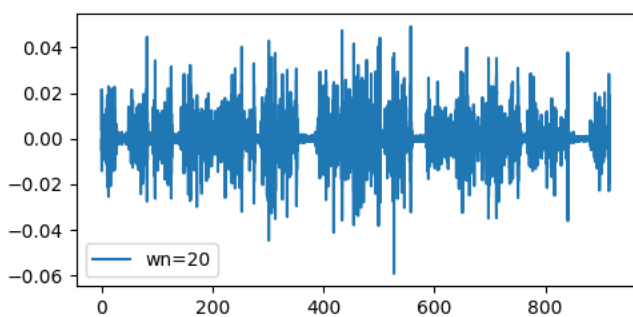
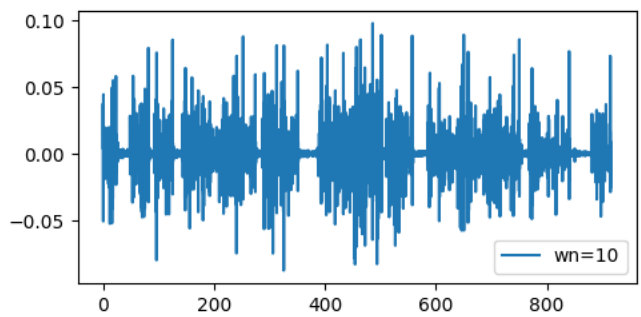
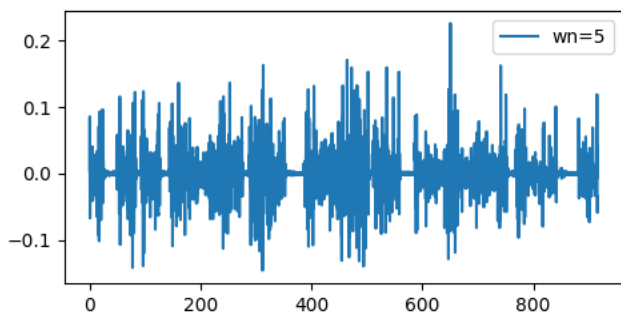
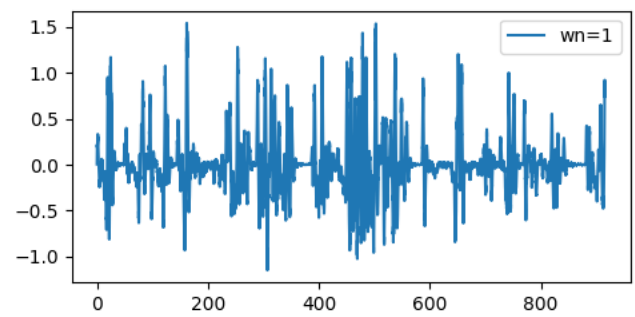
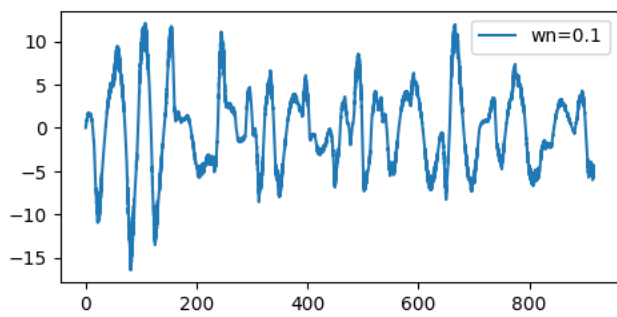
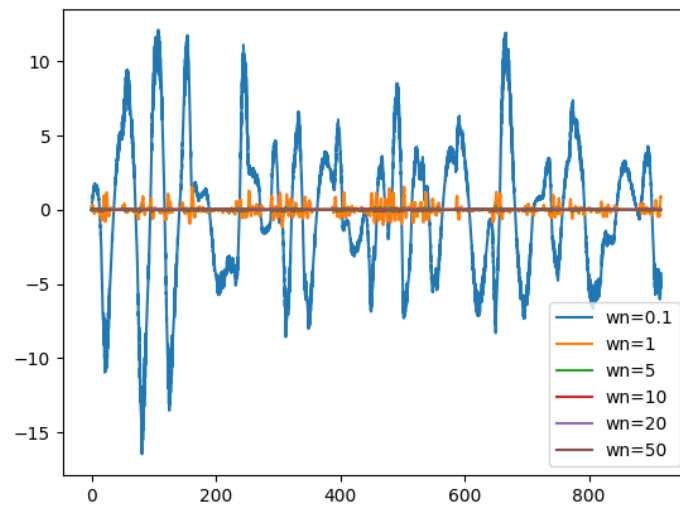
다음은 $\zeta = 0.3$ $w_n = 0.1, 1, 5, 10, 20, 50$ 일 때의 $x(t)$ 이다



4-(d)

$$v[i] = \frac{x[i+1] - x[i]}{dt}$$

다음은 $w_n = 0.1, 10, 50$ 에서의 $v(t)$ 값을 계산해 보았다



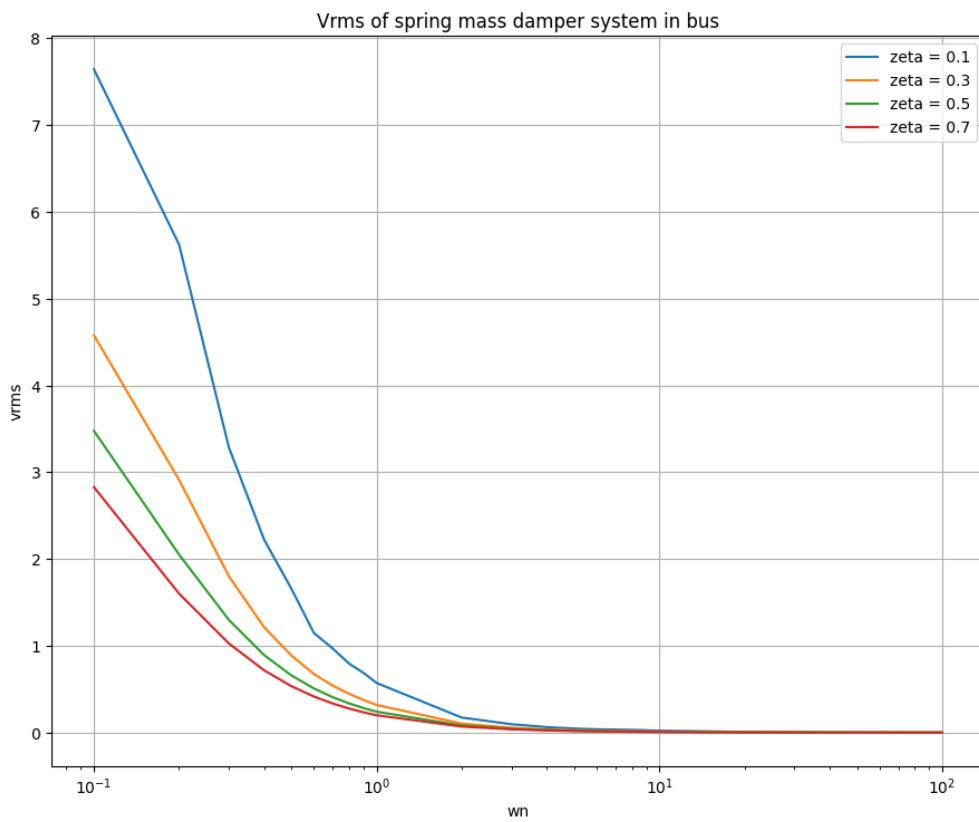
4-(e)

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{\sum(v^2)}{n}}$$

다음은 $w_n = 0.1, 0.2, \dots 0.9, 1, 2, \dots 10, 20, 30, \dots 100$ 일 때,

각각의 $\zeta = 0.1, 0.3, 0.5, 0.7$ 에 대한 v_{rms} 값을 계산해 보았다

다음의 표들을 이용하여 최대 허용 v_{rms} 과 예산을 고려해 w_n 과 ζ 값을 선정할 수 있다.



이 프로젝트에서는 가속도의 모든 시간에 대한 진동을 고려해서 v_{rms} 값이 너무 작게 도출되었다.

이러한 측면에서 특정 충격 이후에서의 진동을 부분적으로 추출하거나 v_{rms} 대신 v_{max} 값이나 a_{max} 값들 다양한 값을 사용하여 실험해본다면 더욱 합리적인 가격에 진동을 완화할 수 있는 솔루션을 얻을 수 있을 것이다.

코드 & raw data

<https://github.com/daynight7/engineering-vibration/blob/master/term-project/term-project.py>