

# 진동 실험

(제7주 : 자유진동 실험 - 감쇠)

2018. 10. 23.

# 목 목

1. 감쇠의 종류

2. 점성감쇠 운동

3. 감쇠 계산 방법

4. 감쇠 실험 장치

5. 감쇠 측정 실습

# 감쇠의 종류 (1)

## ❖ 점성 감쇠 (viscous damping)

- 진동해석에 가장 일반적으로 사용되는 감쇠
- 감쇠력은 진동하는 물체의 **속도**에 비례 (  $f = c \dot{x}(t)$  )
- 유체(기름 등) 에 의한 감쇠

## ❖ 쿨롱 (마찰) 감쇠 (Coulomb or friction damping)

- 두 표면 사이의 마찰에 의하여 발생
- 감쇠력 크기는 일정하고, 방향은 진동하는 물체와 반대

# 감쇠의 종류 (2)

## ❖ 이력 감쇠 (hysteretic damping)

- 외력에 의하여 재료가 변형되어 발생하는 에너지의 발산 및 흡수에 의한 감쇠

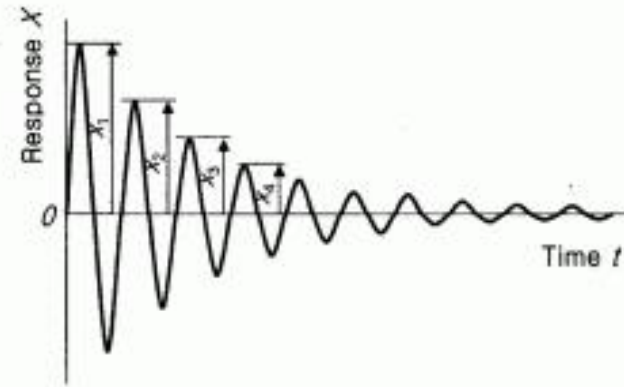
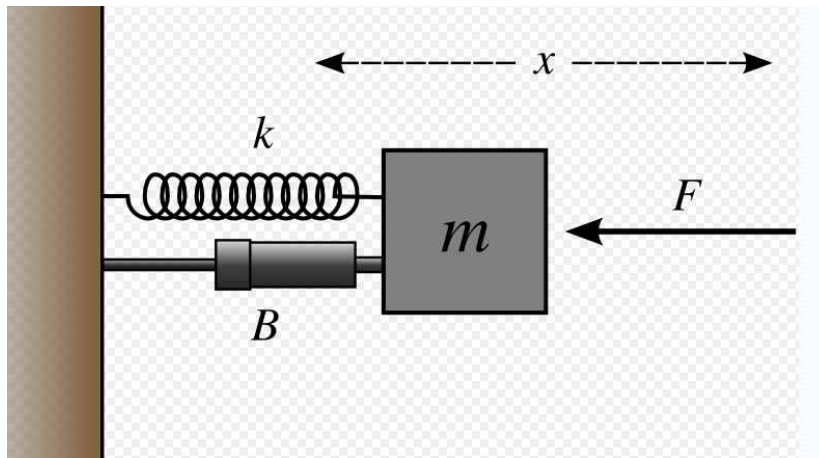
## ❖ 여러 가지 감쇠 모델

Name	Damping Force	$c_{eq}$	Source
Linear viscous damping	$c\dot{x}$	$c$	Slow fluid
Air damping	$a \operatorname{sgn}(\dot{x})\dot{x}^2$	$\frac{8a\omega X}{3\pi}$	Fast fluid
Coulomb damping	$\beta \operatorname{sgn} \dot{x}$	$\frac{4\beta}{\pi\omega X}$	Sliding friction
Displacement-squared damping	$d \operatorname{sgn}(\dot{x})x^2$	$\frac{4dX}{3\pi\omega}$	Material damping
Solid, or structural, damping	$b \operatorname{sgn}(\dot{x}) x $	$\frac{2b}{\pi\omega}$	Internal damping

# 점성감쇠 운동 (1)

## ❖ 1자유도 감쇠 시스템 (기계진동학 1.3절)

- 시스템 및 응답곡선



- 운동방정식

$$m \ddot{x}(t) + c \dot{x}(t) + k x(t) = 0$$

## 점성감쇠 운동 (2)

- 표준형 운동방정식

$$\ddot{x}(t) + 2 \zeta \omega_n \dot{x}(t) + \omega_n^2 x(t) = 0$$

- 감쇠

$$\zeta = \frac{c}{c_{cr}} = \frac{c}{2 \sqrt{k m}} = \frac{c}{2 m \omega_n}$$

$$\lambda = -\zeta \omega_n \pm \omega_n \sqrt{\zeta^2 - 1}$$

## 점성감쇠 운동 (3)

❖ 부족감쇠 운동 (underdamped motion)

$$0 < \zeta < 1$$

▪ 변위

$$x(t) = A e^{-\zeta \omega_n t} \sin(\omega_d t + \phi)$$

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$$

## 점성감쇠 운동 (4)

- ❖ 과도 감쇠 운동 (overdamped motion)

$$\zeta > 1$$

$$x(t) = e^{-\zeta \omega_n t} (a_1 e^{-\omega_n \sqrt{\zeta^2 - 1} t} + a_2 e^{\omega_n \sqrt{\zeta^2 - 1} t})$$

- ❖ 임계 감쇠 운동 (critically-damped motion)

$$\zeta = 1$$

$$x(t) = (a_1 + a_2 t) e^{-\omega_n t}$$



# 감쇠 계산 방법

❖ 대수 감쇠율 (logarithmic decrement, 1.6절)

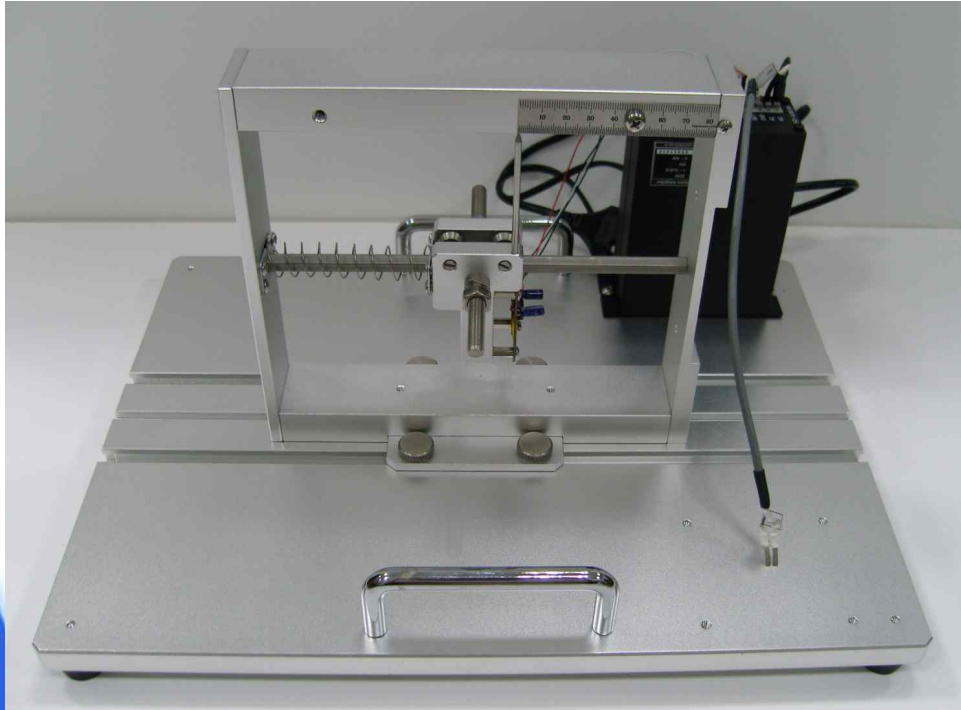
$$\delta = \ln \frac{x(t_1)}{x(t_1 + T)} = \ln e^{\zeta \omega_n T} = \zeta \omega_n T = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}$$

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{4\pi^2 + \delta^2}}$$

$$c = 2m\zeta\omega_n$$

# 자유진동 실험 장치

## ❖ 자유진동 본체



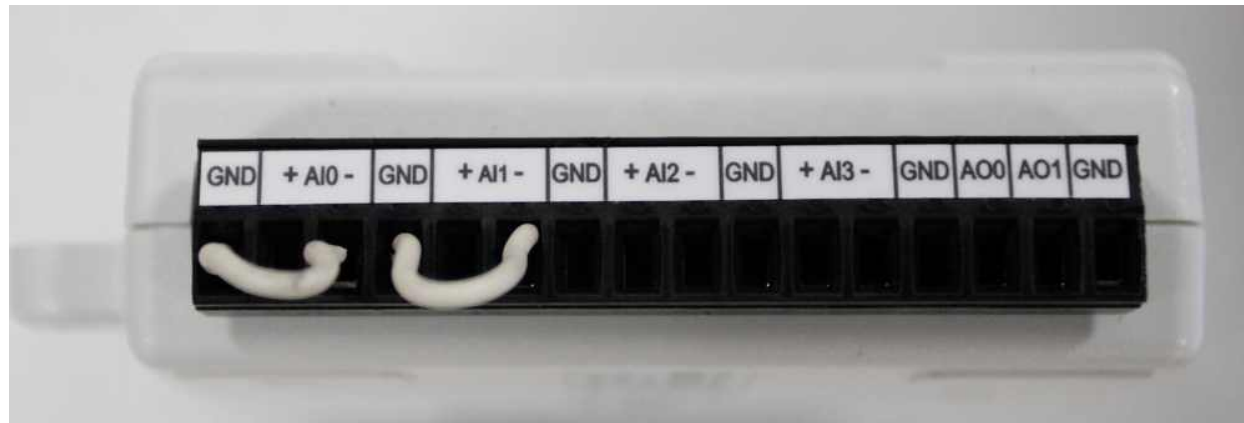
## ❖ 출력신호 연결부 (DAQ블록)



# 감쇠 측정 실습 (1)

## ❖ 실험 방법

- ① 실험 장치를 안전한 곳에 위치시킨다.
- ② DAQ블록에 진동가속도 출력 신호선을 연결한다.

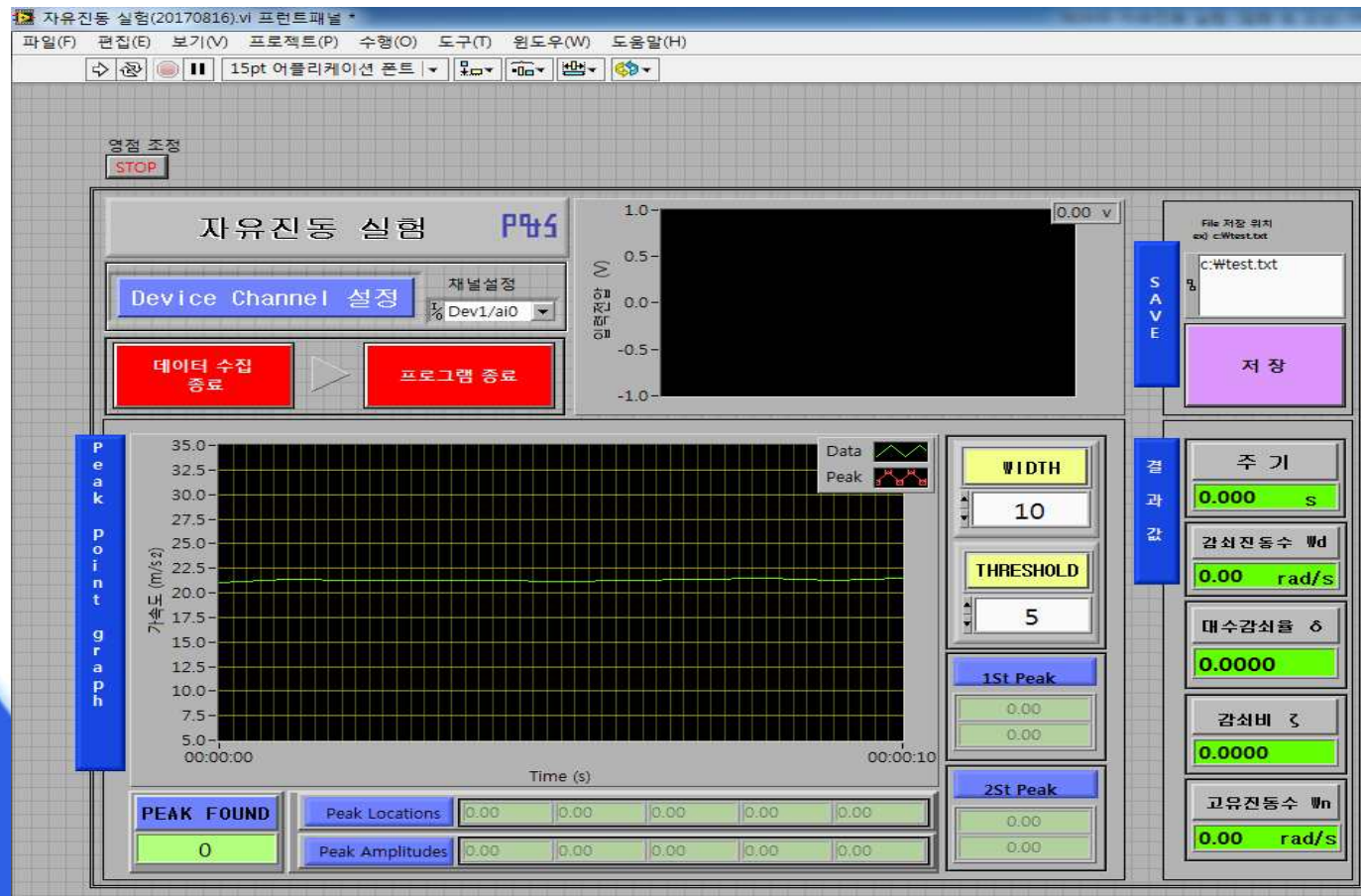


(CH(+)) : +AI0, CH(-) : AI0-

※ 진한 색깔 : DAQ보드

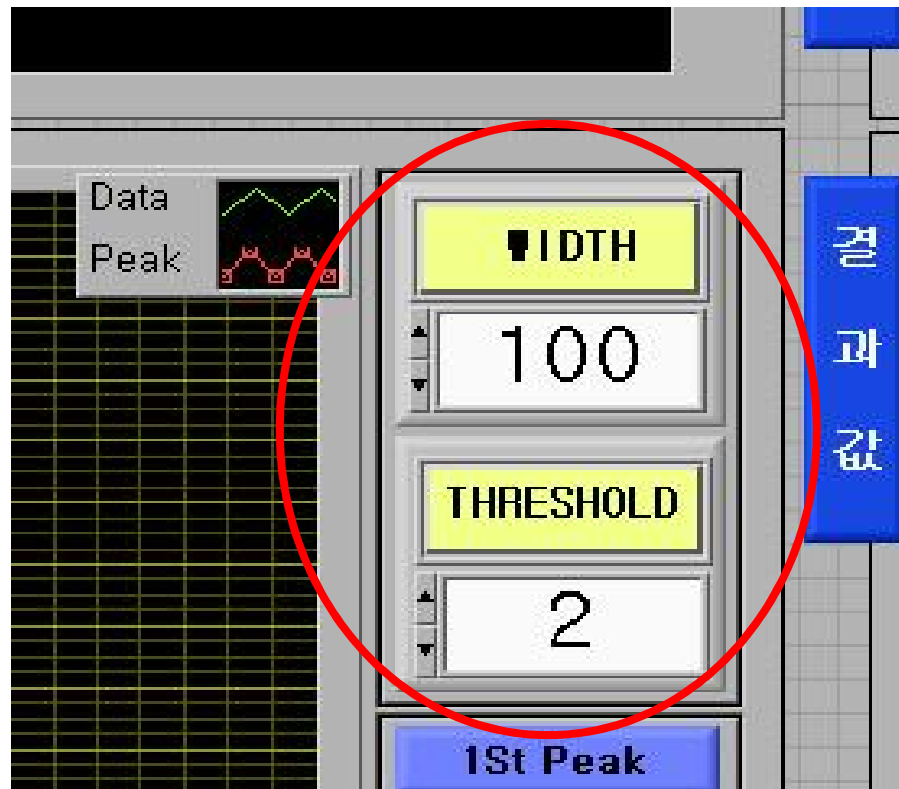
# 감쇠 측정 실습 (2)

- ③ DAQ블록과 컴퓨터를 케이블로 연결하고 실험 장치에 전원을 연결한다.
- ④ 자유진동 실험 LabVIEW 프로그램을 실행한다.



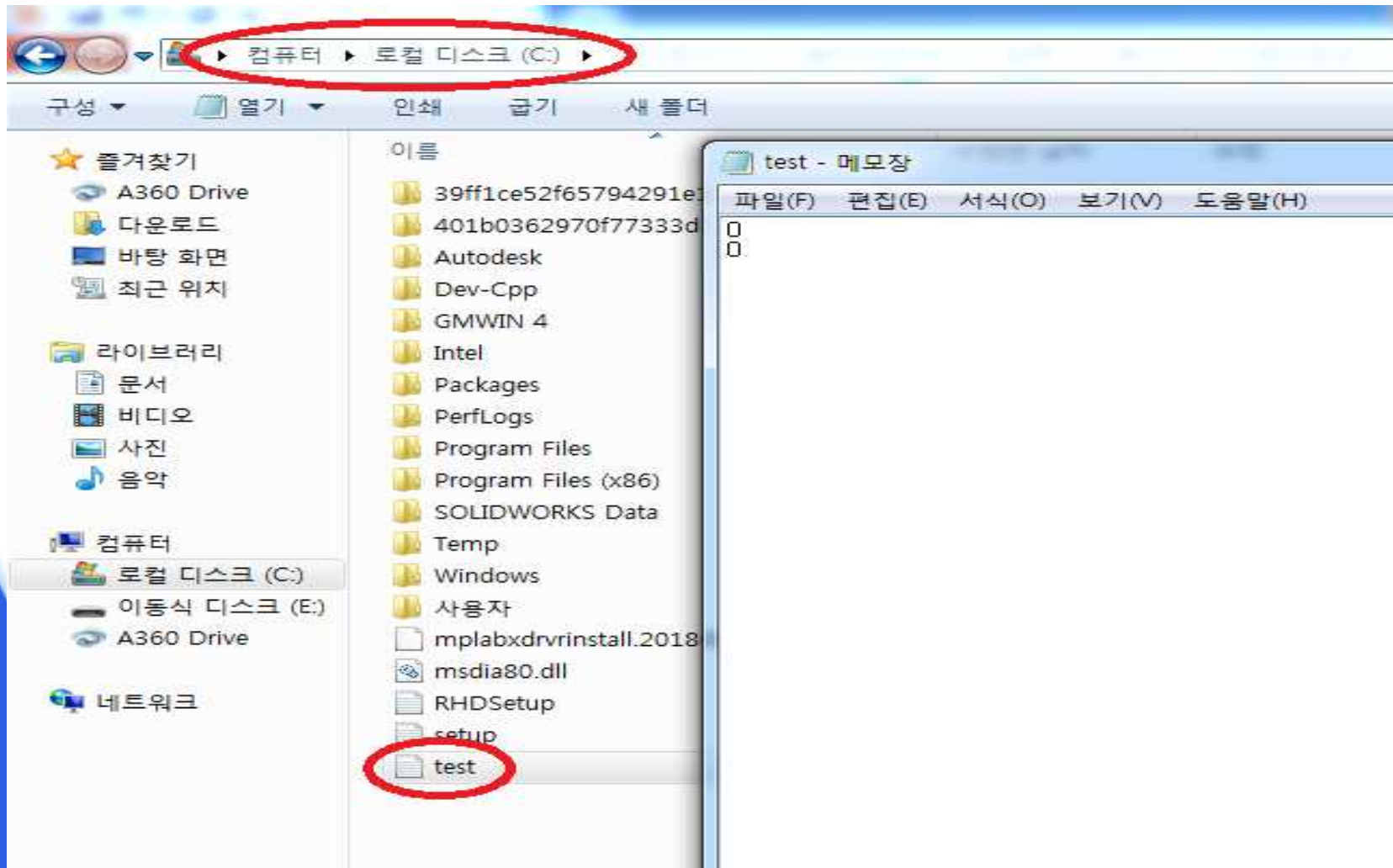
# 감쇠 측정 실습 (3)

- ⑤ 펄스 폭(width)를 10, 최저 측정 전압(threshold)을 5로 설정한다.



# 감쇠 측정 실습 (4)

⑥ C드라이브에 test.txt 파일을 만들고 저장한다. (파일 내용은 0 엔터 0)



영점 조정

STOP

# 자유진동 실험

Phase

Device Channel 설정

채널설정

Dev1/ai0

탐색...

Dev1/ai0

Dev1/ai1

Dev1/ai2

Dev1/ai3

Dev1/ai4

Dev1/ai5

Dev1/ai6

Dev1/ai7

데이터 수집  
종료



프린트



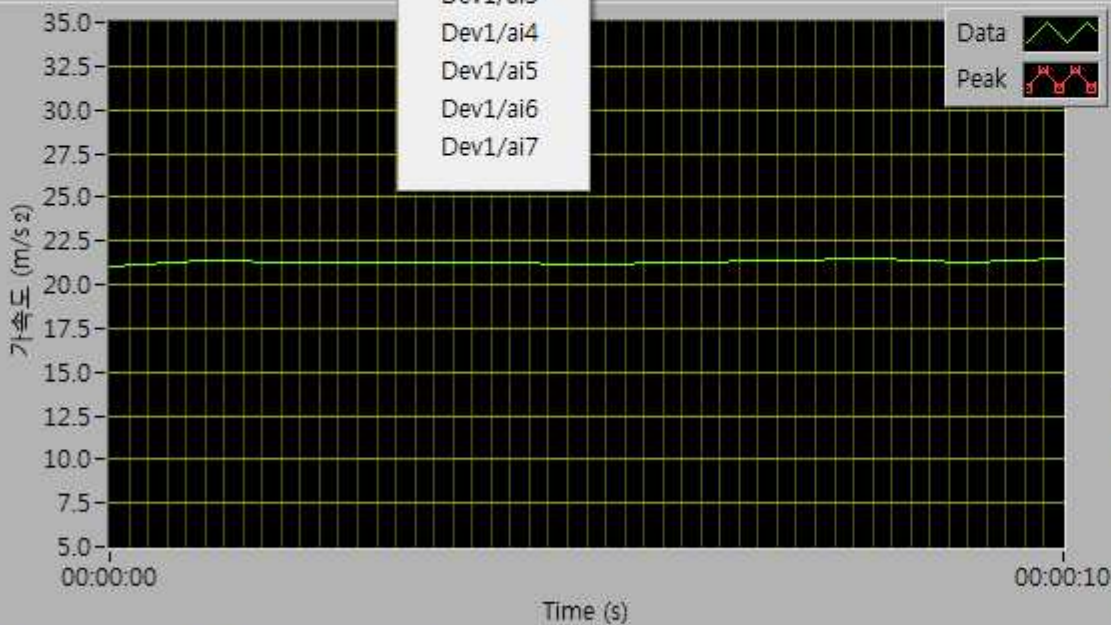
File 저장 위치  
ex) c:\test.txt

c:\test.txt

SAVE

저장

Peak point graph



Data



Peak



WIDTH

10

THRESHOLD

5

1st Peak

0.00

0.00

2st Peak

0.00

0.00

결과 값

주기

0.000 s

감쇠진동수  $\omega_d$

0.00 rad/s

대수감쇠율  $\delta$

0.0000

감쇠비  $\zeta$

0.0000

고유진동수  $\omega_n$

0.00 rad/s

PEAK FOUND

0

Peak Locations

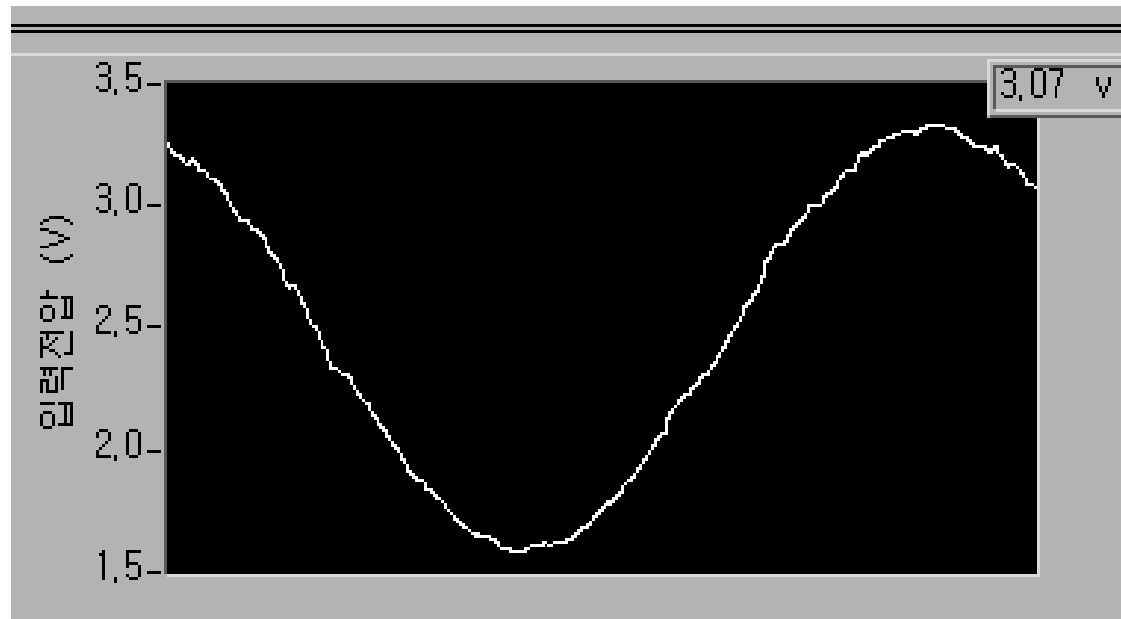
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

Peak Amplitudes

0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

# 감쇠 측정 실습 (5)

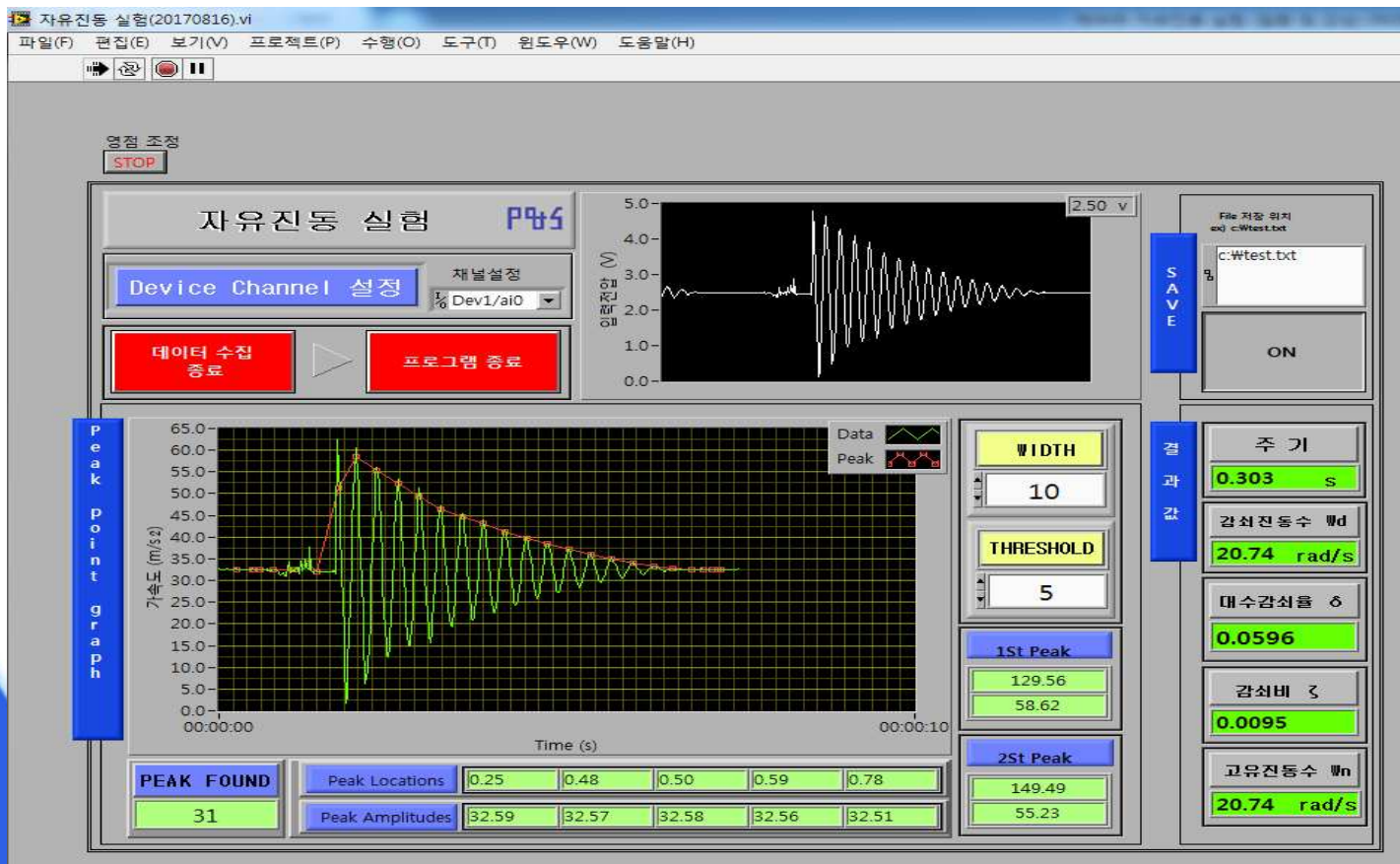
- ⑦ LabVIEW 프로그램의 저장버튼( 저장 )과 실행버튼 (▶)을 클릭한다.
- ⑧ 실험 장치의 질량체를 일정 거리만큼 잡아당겼다가 놓는다.
- ⑨ LabVIEW의 입력전압 창에 sine파 형태의 신호 출력을 확인한다.





# 감쇠 측정 실습 (6)

- ⑩ 진동이 멈추기 직전 [데이터 수집 종료] 버튼을 누른다.
- ⑪ [프로그램 종료] 버튼과 정지 버튼 (🛑)과 [ON] 버튼을 누른다.
- ⑫ 진동 가속도 그래프와 측정값이 나타나는지 확인한다.





영점 조정

STOP

# 자유진동 실험

PMAS

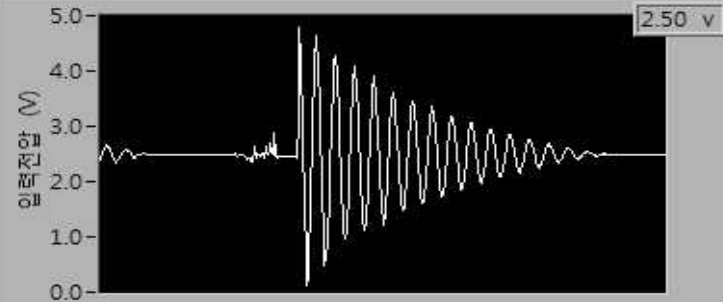
Device Channel 설정

채널설정

% Dev1/ai0

데이터 수집  
종료

프로그램 종료



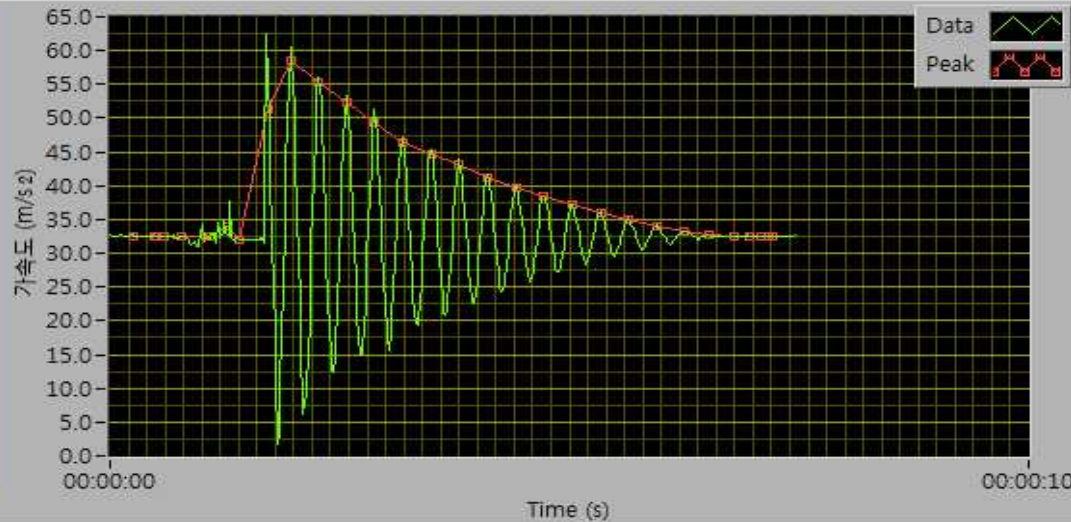
File 저장 위치  
(x) c:\test.txt

c:\test.txt

SAVE

ON

Peak point graph



WIDTH

10

THRESHOLD

5

1st Peak

129.56

58.62

2st Peak

149.49

55.23

결과  
과  
간

주기

0.303 s

감쇠진동수  $\omega_d$

20.74 rad/s

대수감쇠율  $\delta$

0.0596

감쇠비  $\zeta$

0.0095

고유진동수  $\omega_n$

20.74 rad/s

PEAK FOUND

31

Peak Locations

0.25 0.48 0.50 0.59 0.78

Peak Amplitudes

32.59 32.57 32.58 32.56 32.51

# 감쇠 측정 실습 (7)

⑬ 측정된 peak값으로 대수감쇠율을 구한다.

$$\delta = \ln \frac{x(t_1)}{x(t_1 + T)} = \ln e^{\zeta \omega_n T} = \zeta \omega_n T = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}$$

반복 측정한 대수감쇠율의 평균값으로 감쇠비와 감쇠계수를 계산한다.

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{4\pi^2 + \delta^2}}$$

$$c = 2m\zeta\omega_n$$

⑭ 질량을 추가하고 반복 측정한다.

# 감쇠 측정 실습 (8)

- ⑮ Mass Coeff Calculator 프로그램으로 계산한 값과 비교한다.

\frac{(\Delta m \cdot \omega\_{n2}^2)}{(\omega\_{n1}^2 - \omega\_{n2}^2)} 2. 
$$\frac{(\Delta m \cdot \omega_{n1}^2 \cdot \omega_{n2}^2)}{(\omega_{n1}^2 - \omega_{n2}^2)}$$
 3. 
$$2 \cdot \text{초기질량} \cdot \omega_{n2} \cdot \zeta$$

# 요 약

1. 감쇠의 종류

2. 점성감쇠 운동

3. 감쇠 계산 방법

4. 감쇠 실험 장치

5. 감쇠 측정 실습

# 예 고 (1)

## ❖ 중간시험 (제8주)

- 범 위 : 제1주(강의 개요) ~ 제7주 (자유진동 실험)
- 시간 및 장소 : 수업시간, 수업장소
- 준비물 : 필기도구, 계산기