The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT)
Vol. 5, No. 3, pp.305-310, August 31, 2019. pISSN 2384-0358, eISSN 2384-0366

http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2019.5.3.305
JCCT 2019-8-38

단자유도계의 자유진동응답을 이용한 점성 및 마찰감쇠의 식별

Identification of Viscous and Friction Damping Using Free Vibration Response to SDOF System

이성경*, 이웅구**

Sung-Kyung Lee*, Woong-Gu Lee**

요 약 본 연구에서는 단자유도계 구조물의 자유진동응답으로부터 점성감쇠와 마찰감쇠의 영향을 정확히 식별하는 방법을 제시하였다. 제안방법을 검증하기 위해서 우선, 감쇠항으로써 점성감쇠와 마찰감쇠를 동시에 고려한 단자유도계의 변위 및 가속도 자유진동응답에 대해서 기술하였다. 다음으로, 서로 인접하는 두 개의 변위 또는 가속도 피크응답의 진폭을 이용하여 점성감쇠 및 마찰감쇠를 식별하는 관계식을 유도하였다. 마지막으로, 단자유도계에 대한 수치해석을 수행하여 유도된 관계식으로부터 점성감쇠와 마찰감쇠를 식별하는 방법을 검증하였다.
주요어 : 자유진동응답, 점성감쇠, 마찰감쇠, 피크응답의 진폭

Abstract : This paper proposes the method of exactly identifying both viscous and friction damping from free vibration response to SDOF structure. Both displacement and acceleration free vibration responses to SDOF system, in which both viscous and friction damping are considered as its damping mechanism, are discussed to verify the proposed method. The relationship for identifying both viscous and friction damping is derived from two consecutive amplitudes of displacement or acceleration peak response. The proposed method is verified through the numerical simulation for an assumed SDOF system consisting of mass, both viscous and friction damping and spring components.
Key words : Free Vibration Response, Viscous Damping, Friction Damping, Amplitude of Peak Response

Ⅰ. 서 론

일반적으로 단자유도 진동계의 감쇠항으로써 점성감쇠를 우선적으로 고려할 수 있지만, 외력이 작용하지 않는 한 시간의 경과에 따라 운동을 멈추는 구조물의 진동현상을 규명하기 위해서는 마찰감쇠도 추가적인 감쇠항으로 고려하는 것이 더욱 현실적일 것이다. 지난 20여년 동안에 구조물의 자유진동응답으로부터 점성감쇠와 마찰감쇠를 파악하는 연구들이 수행되었으며, 이러한 연구들에서는 세 개의 연속적인 피크응답으로부터 점성감쇠와 마찰감쇠를 식별하는 방법이 제안되었다[1]-[4]. 이러한 연구들과 달리 본 연구에서는 두 개의 연속적인 피크응답의 진폭으로부터 점성감쇠와 마찰감쇠를 식별하는 방법을 제시하였으며, 기존의 연구에서 간략히 소개되어 있지만[5], 본 연구에서는 제안방법의 유도과정을 더욱 상세히 기술하고 수치해석적으

*정회원, 전주비전대학교 건축과 (제1저자)
**정회원, 인천재능대학교 실내건축과 (교신저자)
접수일: 2019년 4월 15일, 수정완료일: 2019년 5월 11일
게재확정일: 2019년 6월 14일
Received: April 15, 2019 / Revised: May 11, 2019
Accepted: June 14, 2019
**Corresponding Author: mylee5277@naver.com
Dept. of Interior Architecture, JEI Univ, Korea

로 검증하였다. 본 연구에서는 제안방법을 검증하기 위해서 우선 질량, 점성감쇠와 마찰감쇠 그리고 스프링 요소로 구성된 단자유도계의 변위와 가속도 자유진동 응답에 대해서 기술하였다. 다음으로, 서로 인접하는 두 개의 변위 또는 가속도 피크응답의 진폭과 점성 및 마찰감쇠와의 상관관계를 유도하였다. 마지막으로, 단자유도계에 대한 수치해석을 수행하여 유도된 관계식으로부터 점성감쇠와 마찰감쇠를 정확히 식별하는 방법을 검증하였다.

II. 단자유도계의 자유진동

1. 운동방정식

본 연구에서는 그림 1과 같이 질량, 강성 그리고, 감쇠요소로써 점성감쇠와 마찰계수 μ에 의해 마찰감쇠 효과가 발생하는 단자유도계를 고려한다.

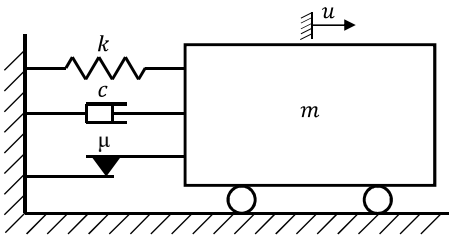


그림 1. 점성감쇠와 마찰감쇠가 동시에 작용하는 단자유도계
Figure 1. SDOF system with viscous and friction damping

그림 1과 같은 단자유도계 모델의 운동방정식은 다음 식과 같이 표현된다.

$$m\ddot{u}+c\dot{u}+ku\pm f=0 \tag{1}$$

여기서, m, c, k는 각각 단자유도계의 질량, 점성감쇠계수 및 강성을 나타내며, u는 질량의 변위를 나타낸다. 또한, 마찰력은 $f=\mu mg$로 단자유도계의 자중에 의한 마찰저항으로 표현된다.

식 (1)의 질량 m으로 나누면, 다음 식과 같다.

$$\ddot{u}+2\xi\omega_0\dot{u}+\omega_0^2u\pm f/m=0 \tag{2}$$

여기서, $\xi=c/2\sqrt{mk}$와 $\omega_0=\sqrt{k/m}$은 각각 점성감쇠에 의한 임계감쇠비 즉, 점성감쇠비와 비감쇠 진동계의 고유진동수를 나타낸다.

마찰은 질량체의 운동방향과 반대로 작용하기 때문에 운동방향에 따라서 마찰력의 부호가 바뀌게 되고, 마찰력 f에 의한 강성 k의 정적변형 $u_f=f/k$이라고 하면, 식 (2)은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\ddot{u}+2\xi\omega_0\dot{u}+\omega_0^2\{u+u_f\}=0 \quad (\dot{u}>0) \tag{3a}$$

$$\ddot{u}+2\xi\omega_0\dot{u}+\omega_0^2\{u-u_f\}=0 \quad (\dot{u}<0) \tag{3b}$$

2. 자유진동 변위 및 가속도 응답

식 (3)의 일반해는 다음 식과 같이 점성감쇠에 의한 감쇠진동 부분과 마찰에 의한 정적변형 부분의 합의 형태로 나타난다.

$$u_n=e^{-\xi\omega_0t}(A_n\cos\omega_dt+B_n\sin\omega_dt)-u_f(\dot{u}_n>0) \tag{4a}$$

$$u_n=e^{-\xi\omega_0t}(A_n\cos\omega_dt+B_n\sin\omega_dt)+u_f(\dot{u}_n<0) \tag{4b}$$

여기서, $\omega_d=\omega_0\sqrt{1-\xi^2}$는 점성감쇠 진동계의 고유진동수를 나타내며, 아래첨자 'n'은 반주기마다 반복되는 운동방향에 따른 마찰력의 부호변화를 구간별로 구분하기 위한 것이다. A_n과 B_n은 각 구간별로 초기조건에 의해서 결정되는 상수로써 이전구간의 종점변위와 해당구간의 시점변위가 일치하는 변위조건과 운동방향이 바뀌는 순간 즉, 각 구간의 시점과 종점의 속도는 0이라는 조건에 의해서 결정된다.

질량 m이 왼쪽에서 오른쪽으로 운동하는 반주기 구간에서는 속도가 양수가 되어 식 (4a)가 적용되고, 오른쪽에서 왼쪽으로 운동하는 반주기 구간에서의 속도는 음수가 되어 식 (4b)가 적용된다. 이와 같은 운동의 방향에 따른 부호변화를 고려하면, 다음 식과 같이 급수를 포함하는 자유진동 변위응답에 대한 일반식이 유도된다.

$$u_n=e^{-\xi\omega_0t}(A_n\cos\omega_dt+B_n\sin\omega_dt)-(-1)^n\cdot u_f, \quad \text{for } (n-1)\pi\le\ \omega_dt\le\ n\pi \tag{5a}$$

$$A_n=(u_0-u_f)-2u_f\left(\sum_{M=0}^{n-1}e^{\frac{M\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}}-1\right), \tag{5b}$$

$$B_n=\frac{\xi A_n}{\sqrt{1-\xi^2}}, \text{ for } n\ge\ 1$$

자유진동 가속도응답은 변위응답에 대한 일반식 (5a)를 2차 미분하여 구할 수 있다. 식 (5a)를 2차 미분하면 다음 식과 같으며, 각 구간별 상수 A_n과 B_n를 나타내는 식 (5b)는 시간 t에 대한 함수가 아닌 일정한 값이기 때문에 본 절에서도 동일하게 적용된다.

$$\ddot{u}_n=e^{-\xi\omega_0t}[\{(\xi^2\omega_0^2-\omega_d^2)A_n-2\xi\omega_0\omega_dB_n\}\cos(\omega_dt) +\{(\xi^2\omega_0^2-\omega_d^2)B_n+2\xi\omega_0\omega_dA_n\}\sin(\omega_dt)], \quad \text{for } (n-1)\pi\le\ \omega_dt\le\ n\pi \tag{6}$$

III. 점성 및 마찰감쇠의 식별

1. 자유진동 변위응답

구조물의 진동은 일반적으로 센서의 구입과 설치가 용이하고 미세한 크기의 진동도 계측할 수 있기 때문에 주로 가속도계를 사용한다. 따라서, 자유진동 변위응답보다는 가속도응답을 이용하여 점성 및 마찰감쇠를 식별하는 방법이 실제 구조물의 적용에 더욱 유효하기 때문에, 본 절에서는 자유진동 가속도응답에 일반식을 유도한다. 자유진동 변위응답을 이용하여 점성과 마찰감쇠를 식별하기 위한 수식을 유도하기 위해서, 자유진동 변위응답에 대한 일반식 (5)로부터 각 구간별 피크응답에 대한 일반식을 구하면 다음 식과 같이 나타난다.

$$u_n^p = (-1)^n \cdot \left[(u_0 - u_k) e^{-\frac{n\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}} - 2u_k \left(\sum_{M=0}^{n-1} e^{-\frac{M\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}} - 1 \right) - u_k \right], \text{ for } n \geqq 1 \tag{7}$$

참고문헌 [1]에서는 식 (7)을 이용한 세 개의 연속적인 변위피크응답으로부터 점성감쇠와 마찰감쇠를 식별할 수 있는 수식을 유도하였다. 본 연구에서는 최종적인 감쇠식별 수식을 더욱 간략하게 표현하기 위해서 식 (7)으로부터 인접한 두 피크응답 사이의 거리를 나타내는 피크응답의 진폭에 대한 일반식을 구한다.

$$\delta_n = (u_0 - u_k)(1 + e^{-\frac{\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}}), \text{ for } n = 1 \tag{8a}$$

$$\delta_n = (u_0 - u_k) \sum_{M=n-1}^{n} e^{-\frac{M\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}} - 2u_k \left[2 \sum_{M=0}^{n-2} e^{-\frac{M\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}} + e^{-\frac{(n-1)\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}} - 1 \right], \text{ for } n \geqq 2 \tag{8b}$$

식 (8)로부터 서로 인접한 2개의 i번째의 피크응답의 진폭 δi와 i+1번째의 피크응답의 진폭 δi+1 사이에 다음 식과 같은 1차의 선형관계를 유도할 수 있다.

$$\delta_i = e^{\frac{\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \cdot \delta_{i+1} + 2u_k (1 + e^{\frac{\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}}) \tag{9}$$

그림 2는 자유진동 변위에 대한 피크응답과 피크응답의 진폭 사이의 관계를 나타내고 있으며, 그림 3은 식 (9)를 그래프로 표현한 것이다. i+1번째와 i번째 변위진폭 데이터를 두 열로 나열한 후 각각 횡축(x)과 종축(y)의 직교좌표 상에서 직선식으로 보간하면 ($y = \tilde{a}x + \tilde{b}$), 직선식의 기울기($\tilde{a}$)와 종축의 절편 값($\tilde{b}$)으로부터 각각 점성감쇠에 의한 임계감쇠비와 마찰감쇠에 의한 정적변형을 결정할 수 있다. $u_f = f/k$에 마찰력 $f = \mu mg$를 대입하고, 감쇠시스템의 고유진동수 계측값을 이용하면 최종적인 점성감쇠비와 마찰계수의 식별은 다음 식과 같다.

$$\tilde{\xi} = \sqrt{\frac{\{\ln(\tilde{a})\}^2}{\{\ln(\tilde{a})\}^2 + \pi^2}} \tag{10a}$$

$$\tilde{\mu} = \frac{\tilde{\omega}_d^2 \cdot \tilde{b}}{2g(1-\tilde{\xi}^2)(1 + e^{\pi\tilde{\xi}/\sqrt{1-\tilde{\xi}^2}})} \tag{10b}$$

여기서, $\tilde{a}, \tilde{b}, \tilde{\omega}_d, \tilde{\xi}, \tilde{\mu}$는 각각 직선보간식의 기울기와 y절편, 감쇠시스템의 고유진동수 계측값, 점성감쇠에 의한 임계감쇠비의 식별값 그리고, 마찰계수의 식별값을 의미한다.

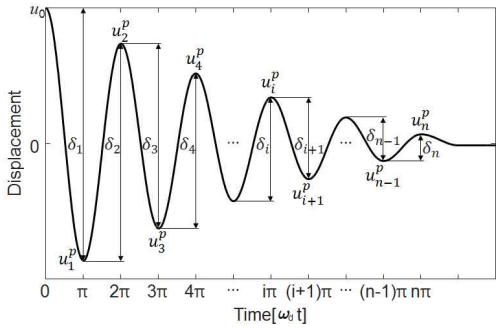


그림 2. 자유진동 변위응답
Figure 2. Free vibration displacement response

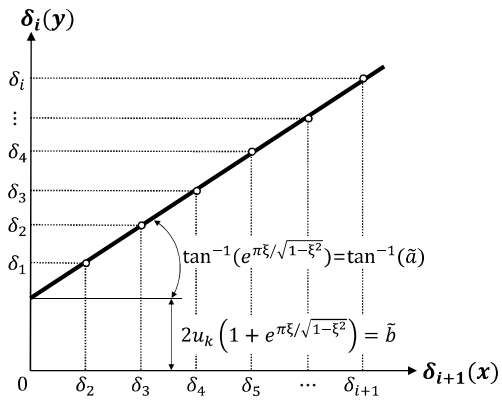


그림 3. 변위응답에 의한 선형보간
Figure 3. Linear interpolation by displacement response

2. 자유진동 가속도응답

자유진동 가속도응답을 이용하여 점성과 마찰감쇠를 식별하기 위한 수식을 유도하기 위해서, 자유진동 가속도응답에 대한 일반식 (6)으로부터 각 구간별 피크응답

에 대한 일반식을 구하면 다음 식과 같이 표현된다.

$$\ddot{u}_n^p = (-1)^n\left(\xi^2\omega_0^2+\omega_d^2\right)[2u_k(\sum_{M=0}^{n-1} e^{-\frac{M\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}}-1) \quad (11)$$

$$-\left(u_0-u_k\right)e^{-\frac{n\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}}],\ \text{for}\ n \geqq 1$$

참고문헌 [3]에서는 식 (11)을 이용하여 적어도 네 개의 연속적인 가속도피크응답으로부터 점성감쇠와 마찰감쇠를 식별할 수 있는 수식을 유도하였다. 본 연구에서는 최종적인 감쇠식별 수식을 더욱 간단하게 표현하기 위해서 식 (11)으로부터 인접한 두 피크응답 사이의 거리를 나타내는 피크응답의 진폭에 대한 일반식을 구한다.

$$\ddot{\delta}_n = (u_0-u_k)(\xi^2\omega_0^2+\omega_d^2)(e^{-\frac{\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}}+1), \quad (12a)$$
$$\text{for}\ n=1$$

$$\ddot{\delta}_n = (\xi^2\omega_0^2+\omega_d^2)[(u_0-u_k)\sum_{M=n-1}^{n} e^{-\frac{M\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \quad (12b)$$
$$-2a(2\sum_{M=0}^{n-2} e^{-\frac{M\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}}+e^{-\frac{(n-1)\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}}-2)],$$
$$\text{for}\ n \geq 2$$

식 (12)로부터 서로 인접한 2개의 i번째의 가속도피크응답의 진폭 $\ddot{\delta}_i$와 i+1번째의 가속도피크응답의 진폭 $\ddot{\delta}_{i+1}$사이에 다음 식과 같은 1차의 선형관계를 유도할 수 있다.

$$\ddot{\delta}_i = e^{\frac{\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}}\cdot\ddot{\delta}_{i+1}+4u_k\omega_d^2\cdot\left(1+\frac{\xi^2}{1-\xi^2}\right) \quad (13)$$

그림 4는 자유진동 가속도에 대한 피크응답과 피크응답의 진폭 사이의 관계를 나타내고 있으며, 그림 5는 식 (13)을 그래프로 표현한 것이다. i+1번째와 i번째 가속도진폭 데이터를 두 열로 나열한 후 각각 횡축(x)과 종축(y)의 직교좌표 상에서 직선식으로 보간하면 ($y=\tilde{a}x+\tilde{b}$), 직선식의 기울기($\tilde{a}$)와 종축의 절편 값($\tilde{b}$)으로부터 각각 점성감쇠에 의한 임계감쇠비와 마찰감쇠에 의한 정적변형을 결정할 수 있다. $u_f=f/k$에 마찰력 $f=\mu mg$를 대입하고, 감쇠시스템의 고유진동수 계측값를 이용하면 식별되는 점성감쇠비와 마찰계수는 다음 식과 같다.

$$\tilde{\xi}=\sqrt{\frac{\{\ln(\tilde{a})\}^2}{\{\ln(\tilde{a})\}^2+\pi^2}}, \quad \tilde{\mu}=\frac{\tilde{b}}{4g} \quad (14)$$

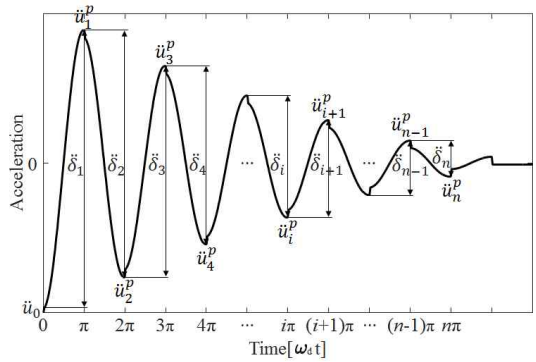


그림 4. 자유진동 가속도응답
Figure 4. Free vibration acceleration response

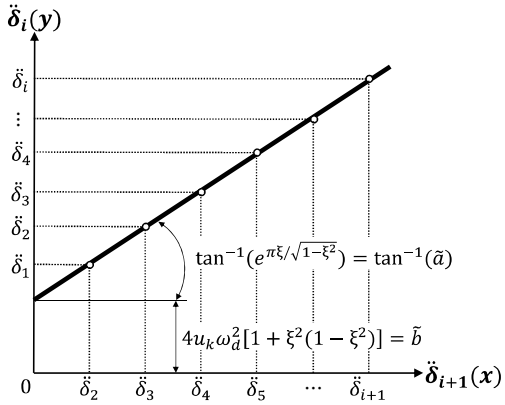


그림 5. 가속도응답에 의한 선형보간
Figure 5. Linear interpolation by acceleration response

Ⅳ. 수치해석에 의한 검증

표 1은 제안방법을 검증하기 위해서 단자유도계 모델의 해석파라미터를 나타내며, 특히, 자유진동응답에 나타나는 마찰감쇠의 영향을 파악하기 위해서 점성감쇠비는 3%로 서로 동일하게 설정하고 마찰계수를 0~10%까지 3단계로 변화시켜서 수치해석을 수행하였다. 또한, 가정된 단자유도계에 자유진동을 발생시키기 위한 초기변위와 속도는 각각 $u_0=0.5$[m]와 $\dot{u}_0=0$ [m/s]로 설정하였다.

표 1. 해석 파라미터
Table 1. Simulation Parameters

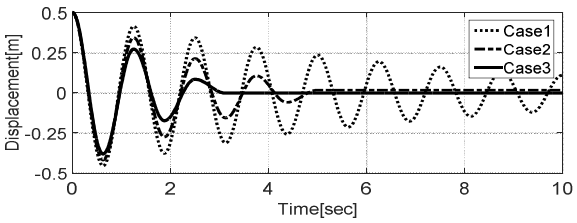
Cases	Mass [ton]	Natural frequency [Hz]	Viscous damping [%]	Friction coefficient [%]
Case 1	100	0.8	3	0
Case 2	100	0.8	3	5
Case 3	100	0.8	3	10

그림 6은 각각의 경우에 대해서 변위와 가속도 자유진동응답을 비교한 것이다. 마찰감쇠는 무시되고 점성감쇠만 작용하는 'Case 1'에서는 진동이 지속되고, 'Case 2'와 'Case 3'는 마찰감쇠의 영향이 커질수록 각각 5초와 3초 부근에서 진동이 멈추는 것을 확인할 수 있다. 또한, 마찰계수가 커질수록 가속도응답의 피크에서 불연속 현상이 더욱 뚜렷하게 발생하는 것을 알 수 있다.

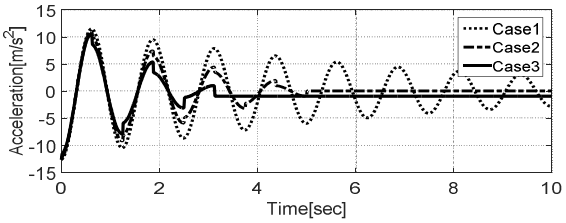
표 2와 표 3은 표 1의 변수들을 각각 식 (7)~(8) 및 식 (11)~(12)에 대입하여 변위와 가속도에 대한 자유진동 피크응답과 피크응답의 진폭을 계산한 값들로써, 본 연구에서 제안하는 식 (10)과 식 (14)와 같은 점성감쇠비와 마찰계수를 식별하기 위한 데이터로 사용하였다.

그림 7은 표 2와 표 3의 수치들을 일대일 대응시켜서 1차의 직선으로 선형보간한 그래프로써, 점성감쇠비는 세 경우 모두 동일하고 마찰계수만 서로 다르기 때문에 직선의 기울기는 서로 같고 y절편만 서로 다른 평행이동한 형태로 나타나며, 특히, 점성감쇠만 작용하는 'Case 1'에서는 y절편이 0이기 때문에 직교좌표계의 원점을 통과하는 것을 알 수 있다.

표 4는 그림 7과 같이 선형보간한 직선의 기울기와 y절편의 값들을 산정한 결과와 식 (10) 및 식 (14)와 같은 관계를 이용하여 직선의 기울기 값으로부터 산정한 점성감쇠비와 y절편 값으로부터 산정한 마찰계수를 보여주는 것으로, 변위 또는 가속도의 자유진동 데이터를 이용하여 표 1과 같이 가정한 점성감쇠비와 마찰계수를 정확히 식별할 수 있는 것을 알 수 있다.



(a) Displacement response



(b) Acceleration response

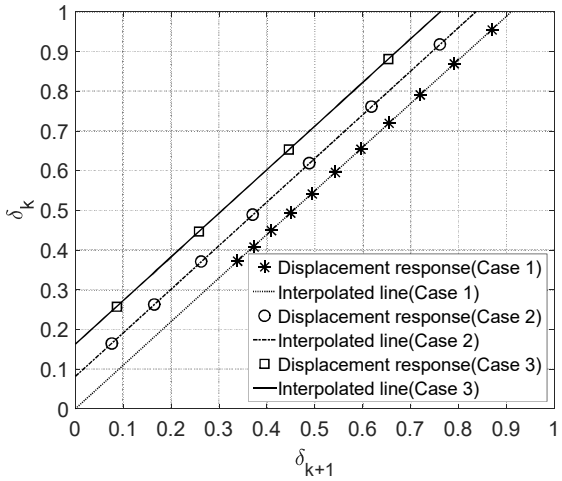
그림 6. 자유진동응답 해석결과
Figure 6. Simulation results for free vibration response

표 2. 해석 결과 (변위응답)
Table 2. Simulation Results (Displacement response)

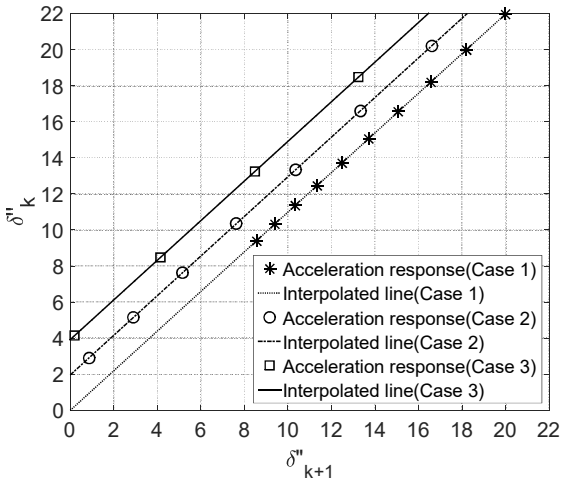
Cases	Peak response[m]		Amplitude of peak response[m]			
	u_n^p		δ_{i+1}		δ_i	
Case 1	u_0	0.500	δ_2	0.869	δ_1	0.955
	u_1^p	-0.455	δ_3	0.791	δ_2	0.869
	u_2^p	0.414	δ_4	0.720	δ_3	0.791
	u_3^p	-0.377	δ_5	0.655	δ_4	0.720
	u_4^p	0.343	δ_6	0.596	δ_5	0.655
	u_5^p	-0.312	δ_7	0.542	δ_6	0.596
Case 2	u_0	0.500	δ_2	0.761	δ_1	0.918
	u_1^p	-0.418	δ_3	0.619	δ_2	0.761
	u_2^p	0.343	δ_4	0.489	δ_3	0.619
	u_3^p	-0.275	δ_5	0.371	δ_4	0.489
	u_4^p	0.213	δ_6	0.263	δ_5	0.371
	u_5^p	-0.157	δ_7	0.165	δ_6	0.263
Case 3	u_0	0.500	δ_2	0.653	δ_1	0.881
	u_1^p	-0.381	δ_3	0.446	δ_2	0.653
	u_2^p	0.272	δ_4	0.258	δ_3	0.446
	u_3^p	-0.174	δ_5	0.086	δ_4	0.258
	u_4^p	0.084	δ_6	·	δ_5	0.086
	u_5^p	-0.002	δ_7	·	δ_6	·

표 3. 해석 결과 (가속도응답)
Table 3. Simulation Results (Acceleration response)

Cases	Peak response[m/s^2]		Amplitude of peak response[m/s^2]			
	$\ddot{u}_n^p$		$\ddot{\delta}_{i+1}$		$\ddot{\delta}_i$	
Case 1	$\ddot{u}_0$	-12.633	$\ddot{\delta}_2$	21.958	$\ddot{\delta}_1$	·
	$\ddot{u}_1^p$	11.496	$\ddot{\delta}_3$	19.982	$\ddot{\delta}_2$	21.958
	$\ddot{u}_2^p$	-10.462	$\ddot{\delta}_4$	18.184	$\ddot{\delta}_3$	19.982
	$\ddot{u}_3^p$	9.521	$\ddot{\delta}_5$	16.548	$\ddot{\delta}_4$	18.184
	$\ddot{u}_4^p$	-8.664	$\ddot{\delta}_6$	15.059	$\ddot{\delta}_5$	16.548
	$\ddot{u}_5^p$	7.884	$\ddot{\delta}_7$	13.704	$\ddot{\delta}_6$	15.059
Case 2	$\ddot{u}_0$	-12.633	$\ddot{\delta}_2$	20.213	$\ddot{\delta}_1$	·
	$\ddot{u}_1^p$	11.050	$\ddot{\delta}_3$	16.609	$\ddot{\delta}_2$	20.213
	$\ddot{u}_2^p$	-9.163	$\ddot{\delta}_4$	13.329	$\ddot{\delta}_3$	16.609
	$\ddot{u}_3^p$	7.446	$\ddot{\delta}_5$	10.344	$\ddot{\delta}_4$	13.329
	$\ddot{u}_4^p$	-5.883	$\ddot{\delta}_6$	7.628	$\ddot{\delta}_5$	10.344
	$\ddot{u}_5^p$	4.461	$\ddot{\delta}_7$	5.156	$\ddot{\delta}_6$	7.628
Case 3	$\ddot{u}_0$	-12.633	$\ddot{\delta}_2$	18.468	$\ddot{\delta}_1$	·
	$\ddot{u}_1^p$	10.604	$\ddot{\delta}_3$	13.235	$\ddot{\delta}_2$	18.468
	$\ddot{u}_2^p$	-7.864	$\ddot{\delta}_4$	8.473	$\ddot{\delta}_3$	13.235
	$\ddot{u}_3^p$	5.371	$\ddot{\delta}_5$	4.140	$\ddot{\delta}_4$	8.473
	$\ddot{u}_4^p$	-3.102	$\ddot{\delta}_6$	0.196	$\ddot{\delta}_5$	4.140
	$\ddot{u}_5^p$	1.038	$\ddot{\delta}_7$	·	$\ddot{\delta}_6$	·



(a) Displacement response



(b) Acceleration response

그림 7. 선형보간 결과

Figure 7. Linear interpolation Results

표 4. 선형보간 및 식별 결과

Table 4. Linear Interpolation and Identification Results

Cases	Displacement Interpolation		Acceleration Interpolation		Identification Results	
	$\tilde{a}$	$\tilde{b}$	$\tilde{a}$	$\tilde{b}$	Viscous Damp. [%]	Friction Coef. [%]
Case 1	1.099	0.000	1.099	0.000	3.0	0.0
Case 2	1.099	0.081	1.099	1.962	3.0	5.0
Case 3	1.099	0.163	1.099	3.924	3.0	10.0

V. 결 론

본 연구에서는 단자유도계의 자유진동응답을 이용하여 점성감쇠와 마찰감쇠의 영향을 정확히 식별하는 방법을 제시하고 수치해석적으로 검증하였다.

질량, 점성감쇠와 마찰감쇠 그리고 스프링 요소로 구성된 단자유도계의 변위와 가속도 자유진동응답에 대한 일반식을 멱급수의 형태로 기술하였다. 이를 이용하여 피크응답과 피크응답에 대한 진폭을 유도하였으며, 또한, 서로 인접하는 두 개의 피크응답의 진폭사이에 성립하는 1차의 선형보간식을 제안하고 선형보간식의 기울기와 y절편으로부터 점성감쇠비와 마찰계수를 식별할 수 있는 수식을 유도하였다. 점성감쇠와 마찰감쇠를 포함하는 단자유도계에 대한 수치해석 예제를 통하여 초기에 가정한 점성감쇠비와 마찰계수 들이 제안된 방법에 의해서 식별된 값들과 정확히 일치하는 것을 확인함으로써, 제안된 방법의 유효성을 검증하였다.

References

[1] B. F. Feeny and J. W. Liang, “A Decrement Method for The Simultaneous Estimation of Coulomb and Viscous Friction”, Journal of Sound and Vibration, Vol.195, No.1, pp.149-154, 1996.

[2] J. W. Liang and B. F. Feeny, “Identifying Coulomb and Viscous Friction from Free-Vibration Decrements”, Nonlinear Dynamics, Vol.16, pp.337-347, 1998.

[3] J. W. Liang, “Identifying Coulomb and Viscous Friction from Free-Vibration Acceleration Decrements”, Journal of Sound and Vibration, Vol.282, pp.1208-1220, 2005.

[4] W. C. H. Slemp, W. L. Hallauer, Jr. and R. K. Kapania, “Estimation of Viscous and Coulomb Damping from Free-Vibration Data by A Least-Squares Curve-Fitting Analysis”, Smart Structures and Systems, Vol.4, No.3, pp.279-290, 2008.

[5] S. K. Lee, S. J. Joo, Y. S. Park and S. H. Song, “A Study on the Simultaneous Estimation of Viscous and Friction Damping”, Proceedings of Annual Autumn Conference of the Architectural Institute of Korea, Vol.36, No.2, pp.825-826, 2016.