



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0091602
(43) 공개일자 2009년08월28일

(51) Int. Cl.

G01M 1/16 (2006.01) G01M 1/02 (2006.01)

G01M 1/00 (2006.01) G01M 7/02 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0016962

(22) 출원일자 2008년02월25일

심사청구일자 2008년02월25일

(71) 출원인

경상대학교산학협력단

경상남도 진주시 가좌동 900

(72) 발명자

이건명

경남 진주시 주악동 한보은빛마을 105동 404호

(74) 대리인

권오식, 박창희, 김종관

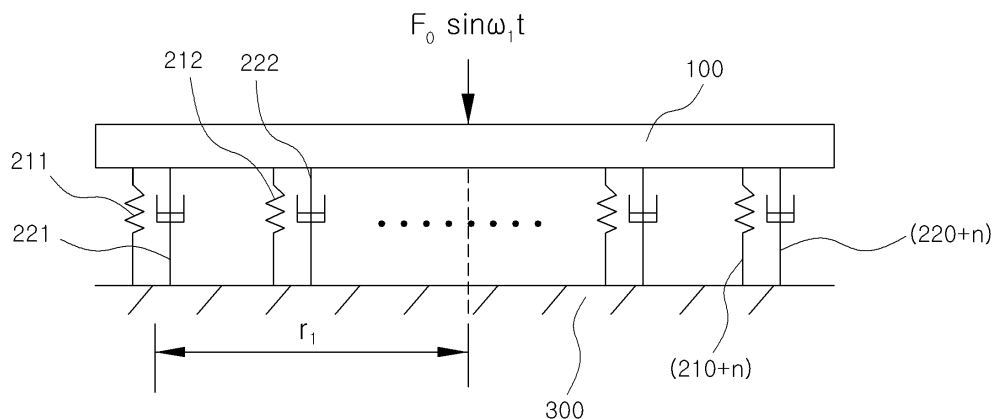
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 가변 댐퍼 구비 모멘트 가진기, 가변 댐퍼를 이용한 모멘트가진 방법 및 이방법을 실행하기 위한 프로그램이 저장된기록매체

(57) 요약

본 발명은 빌딩, 탑, 다리과 같이 고유진동수가 낮은 대형 구조물의 동적 거동을 실험적으로 고찰하기 위한 가진기에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 가진기를 이동시키지 않고 구조물에 저주파 모멘트를 작용시킬 수 있는 모멘트 가진기, 모멘트 가진 방법 및 이러한 모멘트 가진 방법을 수행하기 위한 프로그램이 저장된 기록매체에 관한 것이다.

대표도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

평판(plate);

상기 평판(plate)의 질량 중심에 진폭 F_0 , 주파수 f_1 의 가진력을 가하는 가진력 발생기;

상기 평판(plate)이 구조물에 소정 거리 이격되어 설치되도록 상기 평판(plate)의 2 이상의 지점에 각각 한 쌍을 이루며 부착되는 스프링 및 가변 댐퍼;

상기 모든 스프링의 스프링상수가 감쇠없이 k 로 일정한 상태에서 임의의 순간에 상기 모든 가변 댐퍼의 감쇠계수의 합이 일정하도록, 상기 모든 가변 댐퍼의 감쇠계수를 f_2 의 주파수로 변화시키는 감쇠계수 조절기;를 포함하되,

상기 평판(plate)의 회전모드의 고유진동수 f_{nr} 은 $f_{nr}=f_1-f_2$ 인 것을 특징으로 하는 가변 댐퍼 구비 모멘트 가진기.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 감쇠계수 조절기의 작동에 따라 상기 각 지점의 가변 댐퍼가 갖게 되는 감쇠계수의 파형은 상호 위상만을 달리한 동일한 파형인 것을 특징으로 하는 가변 댐퍼 구비 모멘트 가진 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 각 지점의 가변 댐퍼가 갖게 되는 감쇠계수의 파형은 사인파(sine pulse)인 것을 특징으로 하는 가변 댐퍼 구비 모멘트 가진기.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 스프링 및 가변 댐퍼는 2 쌍이고,

상기 스프링 및 가변 댐퍼는 상기 평판(plate)의 질량 중심으로부터 길이방향을 따라 상호 대칭되는 위치에 부착되는 것을 특징으로 하는 가변 댐퍼 구비 모멘트 가진기.

청구항 5

길이방향을 따라 2 이상의 지점에 각각 한 쌍을 이루며 스프링 및 가변 댐퍼가 부착되어 구조물에 소정 거리

이격되어 설치되는 평판(plate)의 질량 중심에 주파수 f_1 의 가진력을 가하는 가진력 부가단계;

상기 모든 스프링의 스프링상수가 감쇠없이 k 로 일정한 상태에서 임의의 순간에 상기 모든 가변 댐퍼의 감쇠계수의 합이 일정하도록, 상기 모든 가변 댐퍼의 감쇠계수를 f_2 의 주파수로 변화시키는 감쇠계수 조절단계;를 포함하되,

상기 평판(plate)의 회전모드의 고유진동수 f_{nr} 은 $f_{nr} = f_1 - f_2$ 이 되도록 하는 것을 특징으로 하는 가변 댐퍼를 이용한 모멘트 가진 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 감쇠계수 조절단계는 상기 각 지점의 가변 댐퍼가 갖게 되는 감쇠계수의 파형이 상호 위상만을 달리한 동일한 파형이 되도록 하는 것을 특징으로 하는 가변 댐퍼를 이용한 모멘트 가진 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 감쇠계수 조절단계는 상기 각 지점의 가변 댐퍼가 갖게 되는 감쇠계수의 파형이 사인파(sine pulse)가 되도록 하는 것을 특징으로 하는 가변 댐퍼를 이용한 모멘트 가진 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 스프링 및 가변 댐퍼는 2 쌍이고,

상기 스프링 및 가변 댐퍼는 상기 평판(plate)의 질량 중심으로부터 길이방향을 따라 상호 대칭되는 위치에 부착되는 것을 특징으로 하는 가변 댐퍼를 이용한 모멘트 가진 방법.

청구항 9

제5항 내지 제8항 중 어느 한 항의 가변 댐퍼를 이용한 모멘트 가진 방법을 실행하기 위한 프로그램이 저장된 기록매체.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

- <1> 본 발명은 빌딩, 탑, 다리와 같이 고유진동수가 낮은 대형 구조물의 동적 거동을 실험적으로 고찰하기 위한 가진기에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 가진기를 이동시키지 않고 구조물에 저주파 모멘트를 작용시킬 수 있는 모멘트 가진기, 모멘트 가진 방법 및 이러한 모멘트 가진 방법을 수행하기 위한 프로그램이 저장된 기록매체에 관한 것이다.

배경 기술

- <2> 빌딩, 탑, 다리와 같이 고유진동수가 낮은 대형 구조물의 동적 거동을 실험적으로 고찰하기 위하여 이들 구조물에 저주파수의 가진력을 제공하는 가진기가 필요하다. 이러한 가진기로 불평형질량(out-of-balance mass)을 이용한 가진기와 서보 유압 가진기가 주로 사용되고 있다.
- <3> 한편 저주파수의 가진력 제공을 위한 새로운 형태의 가진기가 제안되었으며 이 가진기는 가진주파수 이동(Force Frequency Shifting)현상을 이용하고 있다.

- <4> 이 가진기는 도1에 도시된 바와 같이 구조물에 가진력 $F_0 \sin \omega_1 t$ 가 작용하고, 이 가진력의 작용점이 $s = s_0 + r \sin \omega_2 t$ 와 같이 구조물을 따라 앞뒤로 이동하면 이 구조물에는 두 개의 주파수 ω_1 과 ω_2 의 차 $\omega_1 - \omega_2$ 와 합 $\omega_1 + \omega_2$ 의 주파수를 갖는 일반화 힘(generalized force)이 작용하여 구조물

을 가진하게 된다. 따라서 일반적인 불평형질량 가진기를 사용하여 이 가진기를 앞뒤로 움직이고, 두 개의 주파수를 조절함으로써 원하는 저주파수의 가진력을 얻을 수 있다. 그러나 이 방법은 가진기를 가진력의 방향과 직교하는 방향으로 왕복 운동시켜야 하는 불편한 점이 있다.

<5> 따라서, 가진기를 좌우로 이동시키지 않고 가진주파수 이동현상을 구현할 수 있는 가진기의 필요성이 대두되었다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

<6> 본 발명은 가변 댐퍼를 구비함으로써 가진기를 좌우로 이동시키지 않고 구조물에 저주파 모멘트를 작용시킬 수 있는 가변 댐퍼 구비 모멘트 가진기를 제공하고자 한다.

<7> 또한, 본 발명은 가변 댐퍼를 구비한 가진기를 이용하여 구조물에 저주파 모멘트를 작용시킬 수 있는 가변 댐퍼를 이용한 모멘트 가진 방법 및 이 방법을 실행하기 위한 프로그램이 저장된 기록매체를 제공하고자 한다.

과제 해결수단

<8> 본 발명은 평판(plate); 상기 평판(plate)의 질량 중심에 진폭 F_0 , 주파수 f_1 의 가진력을 가하는 가진력 발생기; 상기 평판(plate)이 구조물에 소정 거리 이격되어 설치되도록 상기 평판(plate)의 2 이상의 지점에 각각 한 쌍을 이루며 부착되는 스프링 및 가변 댐퍼; 상기 모든 스프링의 스프링상수가 감쇠없이 k 로 일정한 상태에서 임의의 순간에 상기 모든 가변 댐퍼의 감쇠계수의 합이 일정하도록, 상기 모든 가변 댐퍼의 감쇠계수를 f_2 의 주파수로 변화시키는 감쇠계수 조절기;를 포함하되, 상기 평판(plate)의 회전모드의 고유진동수 f_{nr} 은 $f_{nr}=f_1-f_2$ 인 것을 특징으로 하는 가변 댐퍼 구비 모멘트 가진기에 관한 것이다.

<9> 본 발명은 상기 감쇠계수 조절기의 작동에 따라 상기 각 지점의 가변 댐퍼가 갖게 되는 감쇠계수의 파형은 상호 위상만을 달리한 동일한 파형일 수 있는데, 상기 각 지점의 가변 댐퍼가 갖게 되는 감쇠계수의 파형은 사인파(sine pulse)일 수 있으며, 상기 스프링 및 가변 댐퍼는 2 쌍이고, 상기 스프링 및 가변 댐퍼는 상기 평판(plate)의 질량 중심으로부터 길이방향을 따라 상호 대칭되는 위치에 부착될 수 있다.

<10> 본 발명은 길이방향을 따라 2 이상의 지점에 각각 한 쌍을 이루며 스프링 및 가변 댐퍼가 부착되어 구조물에 소정 거리 이격되어 설치되는 평판(plate)의 질량 중심에 주파수 f_1 의 가진력을 가하는 가진력 부가단계; 상기 모든 스프링의 스프링상수가 감쇠없이 k 로 일정한 상태에서 임의의 순간에 상기 모든 가변 댐퍼의 감쇠계수의 합이 일정하도록, 상기 모든 가변 댐퍼의 감쇠계수를 f_2 의 주파수로 변화시키는 감쇠계수 조절단계;를 포함하되, 상기 평판(plate)의 회전모드의 고유진동수 f_{nr} 은 $f_{nr}=f_1-f_2$ 이 되도록 하는 것을 특징으로 하는 가변 댐퍼를 이용한 모멘트 가진 방법에 관한 것이다.

<11> 본 발명에 있어서, 상기 감쇠계수 조절단계는 상기 각 지점의 가변 댐퍼가 갖게 되는 감쇠계수의 파형이 상호 위상만을 달리한 동일한 파형이 되도록 할 수 있는데, 상기 각 지점의 가변 댐퍼가 갖게 되는 감쇠계수의 파형이 사인파(sine pulse)가 되도록 할 수 있다. 이 경우 상기 스프링 및 가변 댐퍼는 2 쌍이고, 상기 스프링 및 가변 댐퍼는 상기 평판(plate)의 질량 중심으로부터 길이방향을 따라 상호 대칭되는 위치에 부착될 수 있다.

<12> 한편, 본 발명은 상기 어느 하나의 가변 댐퍼를 이용한 모멘트 가진 방법을 실행하기 위한 프로그램이 저장된 기록매체에 관한 것이다.

효 과

<13> 본 발명은 가변 댐퍼를 이용함으로써 가진기를 좌우로 이동시키지 않고도 간편하게 구조물에 저주파 모멘트를 작용시킬 수 있는 장점이 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<14> 이하, 도면을 참조하며 본 발명에 대하여 상세히 설명한다.

<15> 도2는 본 발명에 따른 가변 댐퍼 구비 모멘트 가진기의 개략도이다.

<16> 도2를 참조하면 본 발명은 평판(plate)(100), 스프링(211, 212, ..., 210+n), 가변 댐퍼(221, 222, ..., 220+n), 가진력 발생기(도면 미도시) 및 감쇠계수 조절기(도면 미도시)를 구비한다.

<17> 도2를 참조하면 평판(plate)(100)은 길이 방향으로 일정한 질량 관성 모멘트를 갖는다. 따라서 평판(plate)(100)은 일정한 두께 및 너비를 갖는 판일 수 있다.(삭제)

<18> 도2를 참조하면 가진력 발생기(도면 미도시)는 평판(plate)(100)의 질량 중심에 진폭 F_0 , 주파수 f_1 의 가진력을 가하도록 조작된다. 따라서 가진력 발생기(도면 미도시)가 평판(plate)(100)의 질량 중심에 가하는 가진력은 $F_0 \sin \omega_1 t$ 일 수 있다.

<19> 도2를 참조하면 스프링(211, 212, ..., 210+n) 및 가변 댐퍼(221, 222, ..., 220+n)는 평판(plate)(100)이 구조물(300)에 소정 거리 이격되어 설치되도록 평판(plate)(100)의 2 이상의 지점에 각각 한 쌍을 이루며 부착된다. 도2에는 한 쌍을 이루는 스프링(211, 212, ..., 210+n)과 가변 댐퍼(221, 222, ..., 220+n)가 소정 거리 이격되어 설치되는 것으로 도시되어 있으나, 이는 도시를 위한 편의일 뿐 본 발명에 있어서 한 쌍을 이루는 스프링(211, 212, ..., 210+n)과 가변 댐퍼(221, 222, ..., 220+n)는 각각 평판(plate)(100)의 동일 지점에 부착된다. 한편, 각 쌍을 이루는 스프링(211, 212, ..., 210+n)과 가변 댐퍼(221, 222, ..., 220+n)는 평판(plate)(100)의 질량 중심으로부터 좌우 대칭이 되도록 부착될 수 될 수 있으며, 각 쌍을 이루는 스프링(211, 212, ..., 210+n)과 가변 댐퍼(221, 222, ..., 220+n)가 부착되는 각 지점 사이의 거리는 동일할 수 있다. 가변 댐퍼(221, 222, ..., 220+n)는 자기 유변유체(Magneto Rheological Fluid: MR Fluid)를 활용한 댐퍼를 사용한다.

<20> 도2를 참조하면 평판(plate)(100)에 부착되는 모든 스프링(211, 212, ..., 210+n)의 스프링상수는 감쇠없이 k 로 일정한 상태를 유지한다.

<21> 한편, 감쇠계수 조절기(도면 미도시)는 모든 가변 댐퍼(221, 222, ..., 220+n)의 감쇠계수를 시간에 따라 변화시킨다. 감쇠계수 조절기(도면 미도시)는 임의의 순간에 모든 가변 댐퍼(221, 222, ..., 220+n)의 감쇠계수의 합이

일정하도록, 모든 가변 댐퍼(221, 222, ..., 220+n)의 감쇠계수를 f_2 의 주파수로 변화시킨다.

<22> 한편, 감쇠계수 조절기(도면 미도시)는 각 지점의 가변 댐퍼(221, 222, ..., 220+n)가 갖게 되는 감쇠계수의 파형이 상호 위상만을 달리한 동일한 파형이 되도록 변화시키는데, 이때 각 지점의 가변 댐퍼(221, 222, ..., 220+n)가 갖게 되는 감쇠계수의 파형이 사인파(sine pulse)가 되도록 할 수 있다. 즉, 감쇠계수 조절기(도면 미

도시)는 각 지점의 가변 댐퍼(221, 222, ..., 220+n)가 f_2 의 주파수로 사인파(sine pulse) 모양의 감쇠계수를 갖도록 할 수 있다.

<23> 한편, 도2를 참조하여 평판(plate)(100)을 변형없는 강체로 가정하고 평판(plate)에 대한 운동방정식을 유도하면 아래의 수학식1 및 수학식2가 얻어진다.

수학식 1

$$m\ddot{x} + \sum_i c_i \dot{x} + \sum_i c_i r_i \dot{\theta} + \sum_i k_i x + \sum_i k_i r_i \theta = F_0 \sin \omega_1 t$$

<24>

수학식 2

$$J\ddot{\theta} + \sum_i c_i r_i \dot{x} + \sum_i c_i r_i^2 \dot{\theta} + \sum_i k_i r_i x + \sum_i k_i r_i^2 \theta = 0$$

<25>

<26> 수학식1 및 수학식2에서 $m, J, x, \theta, F_0, k_i, c_i, r_i$ 는 각각 평판(plate)(100)의 질량, 관성모멘트, 평판(plate)(100) 질량 중심의 수직 변위, 평판(plate)(100)의 회전 변위, 가진력의 진폭, i 번째 스프링과 가변 댐퍼의 스프링상수와 감쇠계수, i 번째 스프링과 가변 댐퍼의 평판(plate)(100)의 질량 중심으로부터의 거리를 나타낸다.

<27> 한편, 모든 스프링(211, 212, ..., 210+n)의 스프링상수는 감쇠없이 k 로 일정하므로, 평판(plate)(100)의 운동방정식은 비연성화(decoupled)되고, 두 개의 고유진동수의 각속도는 각각 병진모드와 회전모드의 고유진동수의 각속도, ω_{nd} 와 ω_{nr} 이 되며 이들 고유진동수의 각속도는 아래의 수학식3과 같이 구하여진다.

수학식 3

$$\omega_{nd} = \sqrt{nk/m}$$

<28>

$$\omega_{nr} = \sqrt{\frac{k \sum_i r_i^2}{J}}$$

<29>

<30> 여기서, nk 의 n 은 평판(plate)(100)에 부착된 스프링의 개수이다.

<31> 한편, 본 발명은 가진력 발생기(도면 미도시) 또는 감쇠계수 조절기(도면 미도시)를 조절하여 평판(plate)(100)의 회전모드의 고유진동수 f_{nr} 은 $f_{nr} = f_1 - f_2$ 이 되도록 한다.

<32> $f_{nr} = f_1 - f_2$ 이 되는 경우 평판(plate)(100)은 하나의 주파수 $f_{nr} = f_1 - f_2$ 로 요동운동을 하게 되고, 이 운동은 스프링(211, 212, ..., 210+n)과 가변 댐퍼(221, 222, ..., 220+n)를 통하여 구조물(300)에 모멘트를 작용시킨다. 따라서, k, r_i, J, f_1, f_2 를 조절함으로써 구조물(300)에 매우 작은 수파수의 모멘트를 가할 수 있다.

<33> 이하, 실시예1에서 스프링 및 가변 댐퍼가 2개인 모멘트 가진기를 예를 들어 평판(plate)(100)의 회전모드의 고유진동수 f_{nr} 은 $f_{nr} = f_1 - f_2$ 이 되는 경우 평판(plate)(100)은 하나의 주파수 $f_{nr} = f_1 - f_2$ 로 요동운동을 하게 됨을 설명한다.

<34> 실시예1

- <35> 도3은 실시예1의 개략도를, 도4는 도3의 가변 댐퍼의 감쇠계수 변화 상태 그래프를, 도5는 도3의 평판 중심 변위의 주파수 스펙트럼 그래프를, 도6은 도3의 평판의 회전각 변위의 주파수 스펙트럼 그래프를, 도7은 (f_1-f_2) 가 회전모드의 고유 주파수와 일치하는 경우 도3의 평판의 회전각 변위의 주파수 스펙트럼 그래프를, 도8은 f_2 에 따른 도3의 평판의 회전각 변위의 최대 주파수 성분 변화상태 그래프를 나타낸다.
- <36> 도3을 참조하면 실시예1은 평판(plate)(1100), 스프링(1211, 1212), 가변 댐퍼(1221, 1222), 가진력 발생기(도면 미도시) 및 감쇠계수 조절기(도면 미도시)를 구비한다.
- <37> 도4를 참조하면 감쇠계수 조절기(도면 미도시)는 2개의 가변 댐퍼(1221, 1222)의 감쇠계수를 동일한 사인파(sine pulse) 모양으로 변화시키되, 상호 180° 의 위상차를 이루도록 변화시킨다.
- <38> 도3의 평판(plate)(1100)의 운동을 해석하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 수학식1 및 수학식2의 운동방정식을 실시예1에 적용하여 얻어진 식을 Matlab을 사용하여 풀어서 평판(1100) 중심의 수직변위 x 와 회전변위 θ 를 구하고, 이 시간데이터를 Fourier 변환하여 주파수성분을 구하였다. 사용된 시스템의 매개변수들은 $m=30$ kg, $J=100$ kgm², $k=3.5 \times 10^4$ N/m, $c_{1max}=c_{2max}=c_{max}=1 \times 10^3$ Ns/m, $r_1=r_2=1/3$ m, $f_1=\omega_1/2\pi=12$ Hz, $F_0=1000$ N이었고, $f_2=\omega_2/2\pi$ 를 변화시켜가며 수치 해석을 반복하였다. 여기서, c_{1max} , c_{2max} 는 각각 c_1 , c_2 의 최대값을 나타내고, f_2 는 가변 댐퍼(1221, 1222)의 주파수로서 만약 $f_2=10$ Hz라면 가변 댐퍼(1221, 1222)의 감쇠계수 c_1 및 c_2 가 각각 초당 10번씩 변화함을 의미한다.
- <39> 도5와 도6은 각각 $f_2=9$ Hz일 때의 x 와 θ 의 주파수성분을 보이고 있다.
- <40> 도5를 참조하면 x 의 주파수성분은 6Hz와 12Hz에서 피크를 보이고 있는데 이 주파수는 각각 $2f_2-f_1$ 과 f_1 에 해당한다. 이 때 $f_{nr}=\omega_{nr}/2\pi$ 은 회전모드의 고유진동수를 의미하며 주어진 매개변수에 대하여 1.40 Hz의 값을 갖는다. 이 성분 중 f_1 성분이 가장 우세하였다.
- <41> 도6을 참조하면 θ 의 주파수성분은 1.38, 3, 15, 21 Hz에서 피크를 보이고 있는데 이 주파수는 각각 f_{nr} , f_1-f_2 , $3f_2-f_1$, f_1+f_2 에 해당하며 이 중 f_{nr} 성분과 f_1-f_2 성분이 우세하였다.
- <42> f_2 를 변화시켜가며 x 와 θ 의 주파수성분을 구하였을 때 앞에서 관찰한 현상은 변화하지 않았다. 특별한 경우로 f_1-f_2 와 회전모드의 고유진동수 f_{nr} 이 일치하는 경우 θ 의 주파수성분은 도7에 도시된 바와 같이 두 개의 피크가 합쳐져서 하나로 되고, 다른 주파수성분은 거의 나타나지 않았다. 즉 도7을 참조하면 f_1-f_2 와 회전모드의 고유진동수 f_{nr} 이 일치하는 경우 θ 는 거의 한 주파수성분만을 갖는다.

<43> f_2 를 변화시켜가며 Θ 의 최대 주파수성분을 구하고, 이를 도8에 나타내었다. 도8을 참조하면 Θ 의 최대 주파수성분은 $f_2=10.6$ Hz 부근에서 급격히 증가하여 f_1-f_2 가 회전모드의 고유진동수 f_{nr} 과 일치할 때 최대가 된다. 한편 f_2 가 f_1 과 같은 12 Hz에서는 Θ 의 진폭이 시간이 지남에 따라 점점 작아져 영에 수렴한다. 이로 말미암아 $f_2=12$ Hz에서 Θ 의 최대 주파수성분이 매우 작게 나타난다. 한편 f_2 가 f_1 보다 클 때에도 그 차가 회전모드의 고유진동수와 일치할 때에는 Θ 의 최대 주파수성분이 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다.

<44> 아래에서는 시뮬레이션에 의해서 밝혀진 x 와 Θ 의 주요 주파수성분의 발생 원인에 대하여 알아본다.

<45> 도3에 도시된 실시예1의 경우 $k_1=k_2=k$, $r_1=-r_2=r$ 이고, 스프링 및 가변 댐퍼는 2 쌍이므로, 수학적식1 및 수학적식2로부터 아래의 수학적식4 및 수학적식5를 얻는다.

수학적식 4

<46>
$$m\ddot{x} + (c_1 + c_2)\dot{x} + (c_1 - c_2)r\dot{\theta} + 2kx = F_0 \sin \omega_1 t$$

수학적식 5

<47>
$$J\ddot{\theta} + (c_1 - c_2)r\dot{x} + (c_1 + c_2)r^2\dot{\theta} + 2kr^2\theta = 0$$

<48> 그리고 c_1 , c_2 가 도4와 같이 변화하며 그 최대값이 c 이면 $c_1 = \frac{c}{2} + \frac{c}{2} \sin \omega_2 t$, $c_2 = \frac{c}{2} - \frac{c}{2} \sin \omega_2 t$ 이므로 $c_1 + c_2$ 는 c 와 같고, $c_1 - c_2$ 는 $c \sin \omega_2 t$ 가 되므로 수학적식4 및 수학적식5로부터 아래의 수학적식6 및 수학적식7을 얻을 수 있다.

수학적식 6

<49>
$$m\ddot{x} + c\dot{x} + cr(\sin \omega_2 t)\dot{\theta} + 2kx = F_0 \sin \omega_1 t$$

수학적식 7

<50>
$$J\ddot{\theta} + cr(\sin \omega_2 t)\dot{x} + cr^2\dot{\theta} + 2kr^2\theta = 0$$

<51> 도3을 참조하면 평행판(plate)(1100)의 질량 중심에 $F_0 \sin \omega_1 t$ 의 힘이 작용하므로 평행판(plate)(1100) 중심의 수직변위 x 는 ω_1 의 주파수성분을 가지리라는 것을 쉽게 예측할 수 있다. 따라서

아래의 수학식8을 얻을 수 있다.

수학식 8

$$x = a_1 \sin \omega_1 t + b_1 \cos \omega_1 t$$

<52>

여기서, a_1 , b_1 은 상수이다.

<53>

한편, 삼각함수 관계식으로부터 아래의 수학식9 및 수학식10을 얻을 수 있다.

<54>

수학식 9

$$\sin \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)]$$

<55>

수학식 10

$$\sin \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} [\sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta)]$$

<56>

따라서, 수학식8을 수학식7에 대입한 다음, 수학식9 및 수학식10을 이용하면 수학식7의 $\dot{x}$ 를 포함하는 항은 아래의 수학식11과 같이 나타난다.

<57>

수학식 11

$$\begin{aligned} cr(\sin \omega_2 t) \dot{x} = & \frac{1}{2} cr a_1 \omega_1 [\sin(\omega_1 + \omega_2)t - \sin(\omega_1 - \omega_2)t] \\ & - \frac{1}{2} cr b_1 \omega_1 [\cos(\omega_1 - \omega_2)t - \cos(\omega_1 + \omega_2)t] \end{aligned}$$

<58>

따라서, 수학식11의 $\omega_1 - \omega_2$, $\omega_1 + \omega_2$ 성분을 상쇄하기 위하여 θ 는 이들 성분을 가져야 한다.

<59>

위의 결과로부터 아래의 수학식12를 얻는다.

<60>

수학식 12

$$\begin{aligned} \theta = & d_1 \sin(\omega_1 + \omega_2)t + e_1 \cos(\omega_1 + \omega_2)t \\ & + d_2 \sin(\omega_1 - \omega_2)t + e_2 \cos(\omega_1 - \omega_2)t \end{aligned}$$

<61>

여기서, d_1 , e_1 , d_2 , e_2 는 상수이다.

<62>

수학식12를 수학식6에 대입하면 위에서와 같은 방법으로 ω_1 , $\omega_1 + 2\omega_2$, $2\omega_2 - \omega_1$ 성분이 발생하므로 이를 상쇄하기 위하여 x 는 이들 성분을 가져야 한다.

<63>

<64> 따라서, 이들 성분을 가지는 $\mathbf{x}$ 를 수학식12와 유사한 식으로 나타내고, 이를 다시 수학식7에 대입하면 Θ 는 $\omega_1 - \omega_2$, $\omega_1 + \omega_2$, $3\omega_2 - \omega_1$, $\omega_1 + 3\omega_2$ 성분을 가지는 것을 알 수 있다.

<65> Θ 가 ω_{nr} 성분을 갖는다는 것이 확인되면 이를 수학식6에 대입하여 위에서와 같은 방법으로 $\mathbf{x}$ 가 $\omega_2 - \omega_{nr}$, $\omega_2 + \omega_{nr}$ 성분을 가짐을 증명할 수 있다. 수학식7에서 $J\ddot{\theta} + 2kr^2\dot{\theta} = 0$ 의 해가 ω_{nr} 성분이다. 만약 수학식7에서 $\dot{\mathbf{x}}$ 을 포함하는 항의 성분이 매우 작고, 또 $cr^2\dot{\theta}$ 항이 다른 항에 비하여 크기가 작다고 가정하면 ω_{nr} 성분은 Θ 의 한 성분이 될 수 있다. 실제로 앞에서 수행한 시뮬레이션에서 $f_2 = 9$ Hz일 때 $cr^2\dot{\theta}$ 항의 rms값은 모든 항들 중에서 가장 작았으며, 다른 항들의 rms값의 23% 이하이었다. 이상으로써 $\mathbf{x}$ 와 Θ 의 주요 주파수성분의 발생 원인을 이론적으로 설명하였다.

<66> 즉, 실시예1에 따르면 가진력 발생기(도면 미도시)에 의한 가진력의 주파수가 f_1 이고, 가변 댐퍼(1221, 1222)의 변화 주파수가 f_2 일 때, 평판(plate)(1100)의 수직변위 $\mathbf{x}$ 의 주파수성분은 f_1 성분이 가장 우세하며 그 크기는 f_2 의 값에 무관하게 거의 일정하였다. 다음으로 $2f_2 - f_1$ 성분이 강하였다.

<67> 평판(plate)(1100)의 회전변위 Θ 의 주파수성분은 회전모드의 고유진동수인 f_{nr} 성분과 $f_1 - f_2$ 성분이 우세하였다. 회전모드의 고유진동수 f_{nr} 와 $f_1 - f_2$ 가 일치하면 회전변위 Θ 는 이 주파수에서 큰 주파수 성분을 갖고, 다른 주파수성분은 매우 미약하였다. 그리고 회전변위 Θ 의 최대 주파수성분은 이 주파수에서 최대가 되어 판의 운동은 거의 한 주파수로 큰 폭으로 요동하는 운동이 된다.

<68> 실시예2

<69> 실시예2는 본 발명에 따른 가변 댐퍼를 이용한 모멘트 가진 방법에 관한 것이다. 즉, 실시예2는 상기한 본 발명에 따른 가변 댐퍼 구비 모멘트 가진기를 이용한 모멘트 가진 방법에 관한 것이다. 도9는 실시예2의 흐름도를 나타낸다.

<70> 도9를 참조하면 실시예2는 가진력 부가단계(S100)와 감쇠계수 조절단계(S200)를 갖는다.

<71> 도9, 도2 및 도3을 참조하면 가진력 부가단계(S100)에서는 길이방향을 따라 2 이상의 지점에 각각 한 쌍을 이루며 스프링(211, 212, ..., 210+n) 및 가변 댐퍼(221, 222, ..., 220+n)가 부착되어 구조물(300)에 소정 거리 이격되어 설치되는 평판(plate)(100)의 질량 중심에 주파수 f_1 의 가진력을 가하게 된다. 스프링(211, 212, ..., 210+n)의 스프링상수는 감쇠없이 항상 k 로 일정한 상태를 유지하며, 한 쌍의 스프링(211, 212, ..., 210+n) 및 가변 댐퍼(221, 222, ..., 220+n)는 동일 지점에 부착된다.

<72> 도9 및 도4를 참조하면 감쇠계수 조절단계(S200)에서는 모든 스프링(211, 212, ..., 210+n)의 스프링상수가 감

쇠없이 k 로 일정한 상태에서 임의의 순간에 모든 가변 댐퍼(221, 222, ..., 220+n)의 감쇠계수의 합이 일정하도록, f_2 의 주파수로 모든 가변 댐퍼(221, 222, ..., 220+n)의 감쇠계수를 변화시킨다.

<73> 한편, 감쇠계수 조절단계(S200)는 가변 댐퍼(221, 222, ..., 220+n)가 갖게 되는 감쇠계수의 파형이 상호 위상만을 달리한 동일한 파형이 되도록 모든 가변 댐퍼(221, 222, ..., 220+n)의 감쇠계수를 변화시키는데, 이때 각 지점의 가변 댐퍼(221, 222, ..., 220+n)가 갖게 되는 감쇠계수의 파형이 사인파(sine pulse)가 되도록 할 수 있다.

<74> 한편, 가진력 부가단계(S100)와 감쇠계수 조절단계(S200)는 평판(plate)(100)의 회전모드의 고유진동수 f_{nr} 은 $f_{nr} = f_1 - f_2$ 이 되도록 수행된다.

<75> 실시예3

<76> 실시예3은 실시예2의 모멘트 가진 방법을 실행하기 위한 프로그램이 저장된 기록매체에 관한 것이다.

<77> 실시예3은 평판, 스프링 및 가변 댐퍼가 주어진 경우 이에 맞추어 가진력 발생기 및 감쇠계수 조절기를 작동시킴으로써 실시예2를 수행할 수 있는 프로그램이 저장된 기록매체에 관한 것이다.

도면의 간단한 설명

<78> 도1은 종래의 불평형질량 가진기의 개략도.

<79> 도2는 본 발명에 따른 가변 댐퍼 구비 모멘트 가진기의 개략도.

<80> 도3은 실시예1의 개략도.

<81> 도4는 도3의 가변 댐퍼의 감쇠계수 변화 상태 그래프.

<82> 도5는 도3의 평판 중심 변위의 주파수 스펙트럼 그래프.

<83> 도6은 도3의 평판의 회전각 변위의 주파수 스펙트럼 그래프.

<84> 도7은 $(f_1 - f_2)$ 가 회전모드의 고유 주파수와 일치하는 경우 도3의 평판의 회전각 변위의 주파수 스펙트럼 그래프.

<85> 도8은 f_2 에 따른 도3의 평판의 회전각 변위의 최대 주파수 성분 변화상태 그래프.

<86> <도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>

<87> 100:평판

<88> 211, 212, ..., 210+n:스프링 221, 222, ..., 220+n:가변 댐퍼

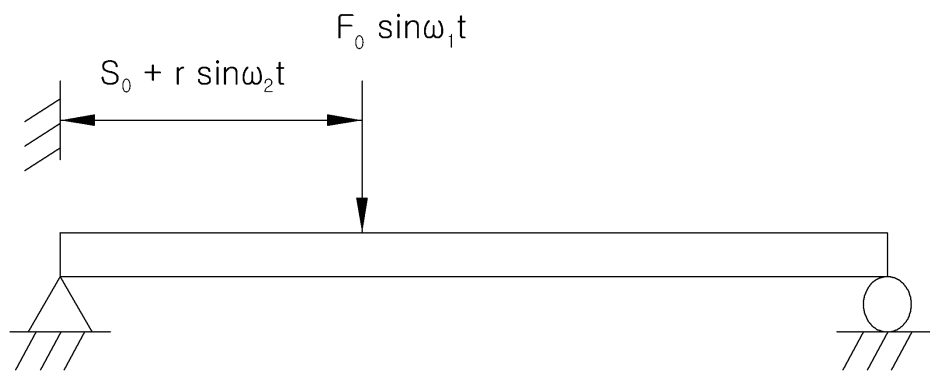
<89> 300:구조물

<90> 1100:평판

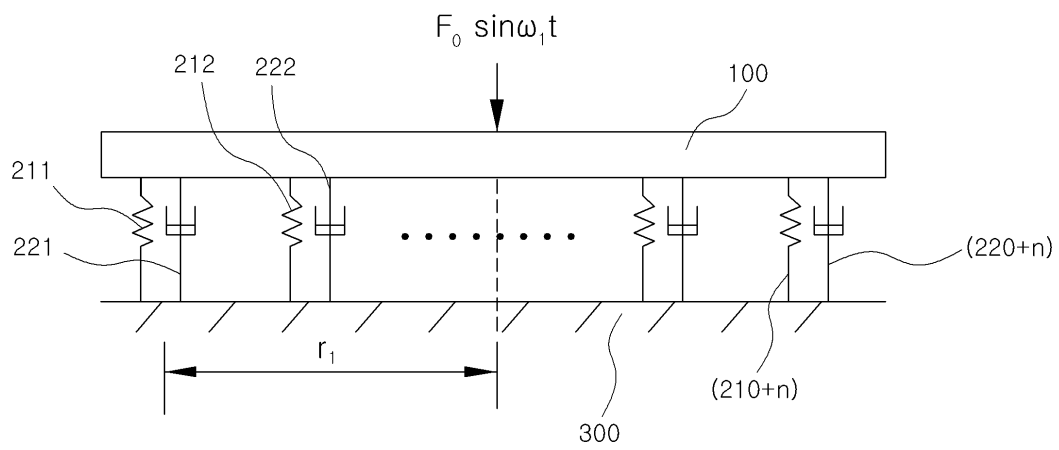
<91> 1211, 1212:스프링 1221, 222:가변 댐퍼

도면

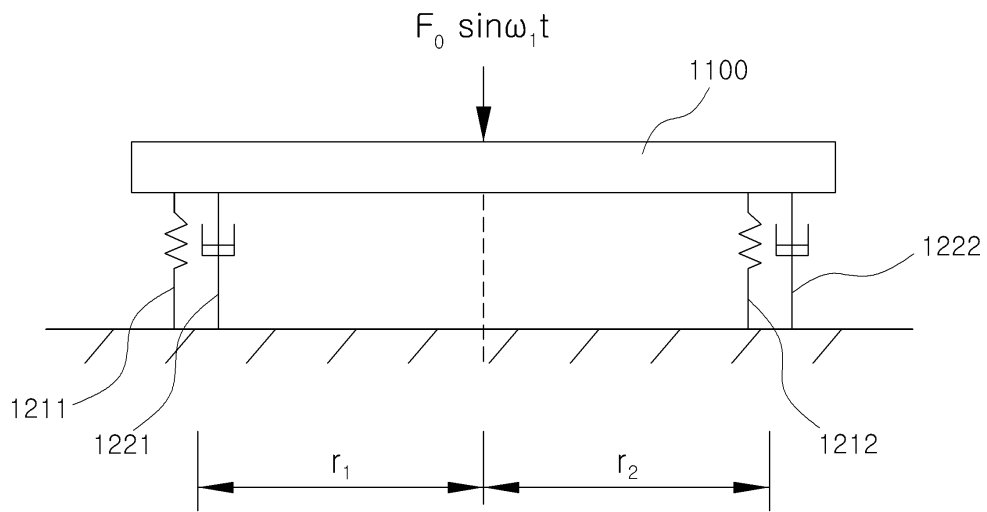
도면1



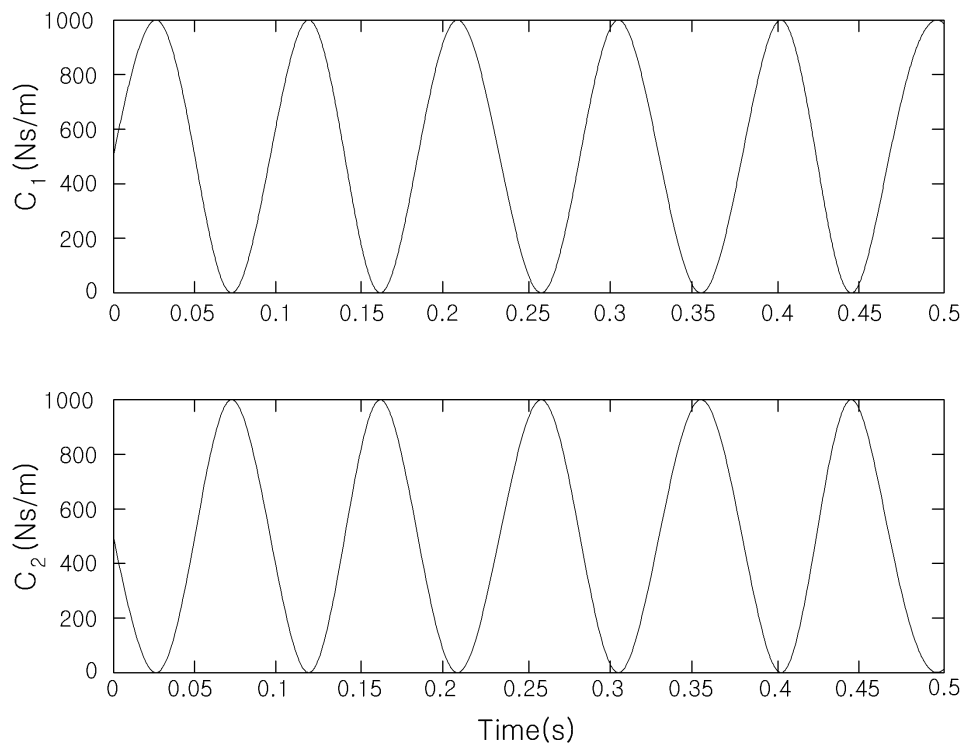
도면2



도면3

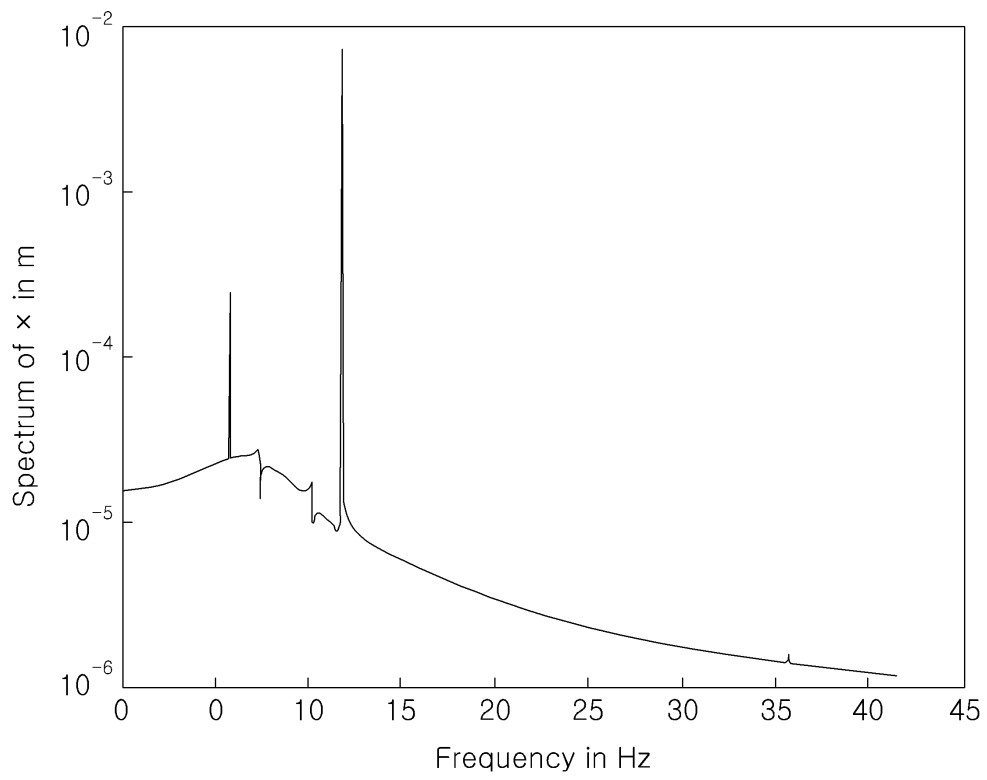


도면4

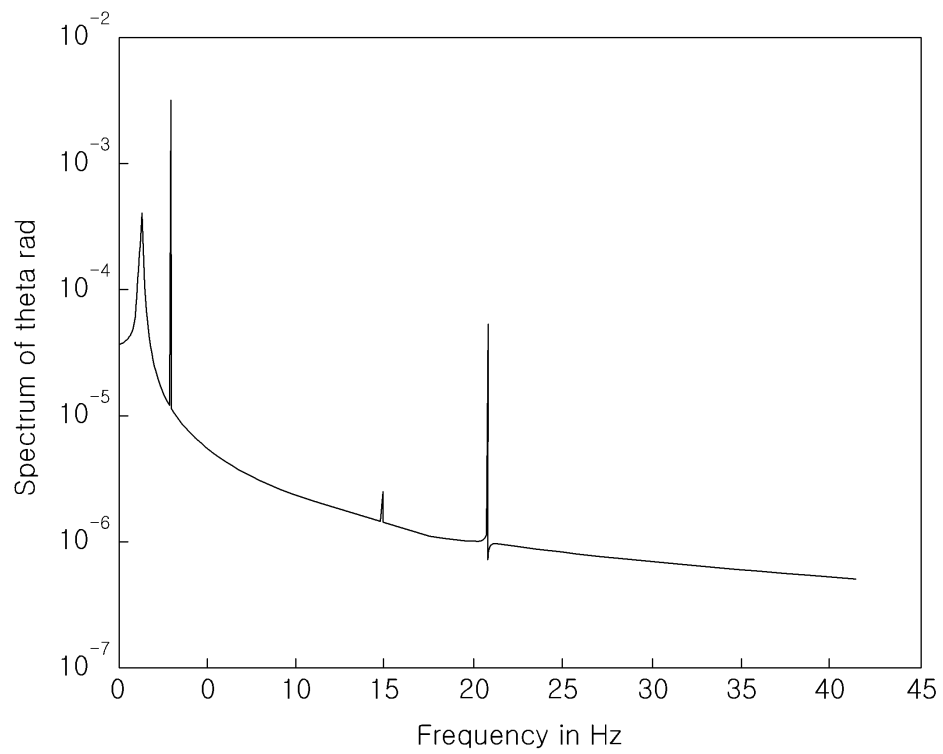


Variation of the damping constants for a two-spring-demper system

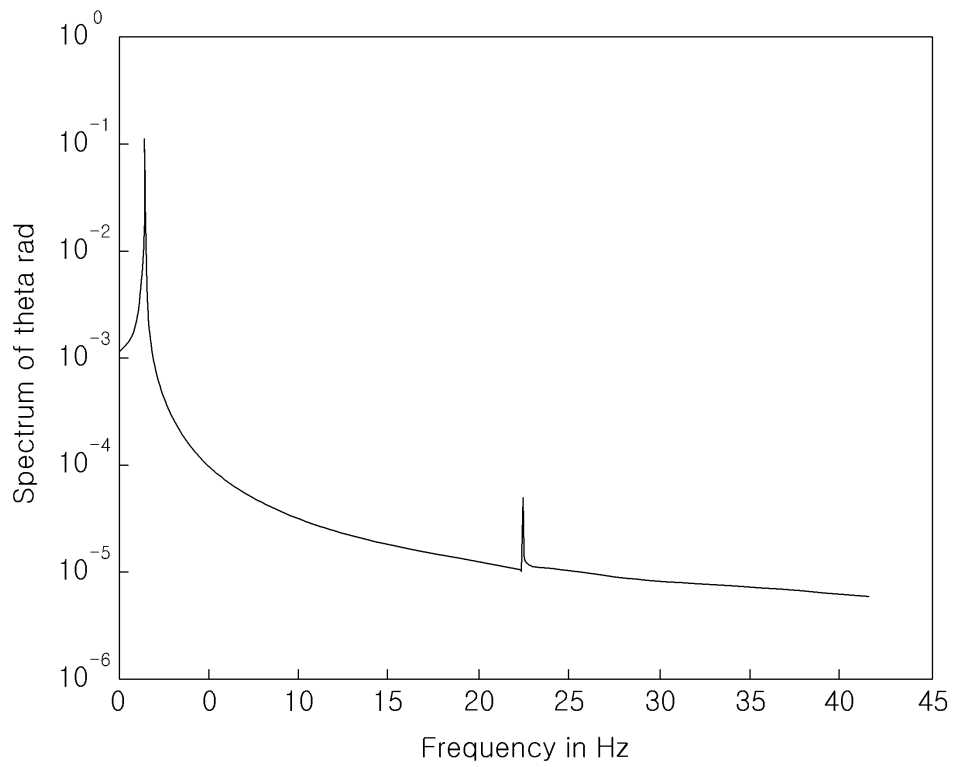
도면5



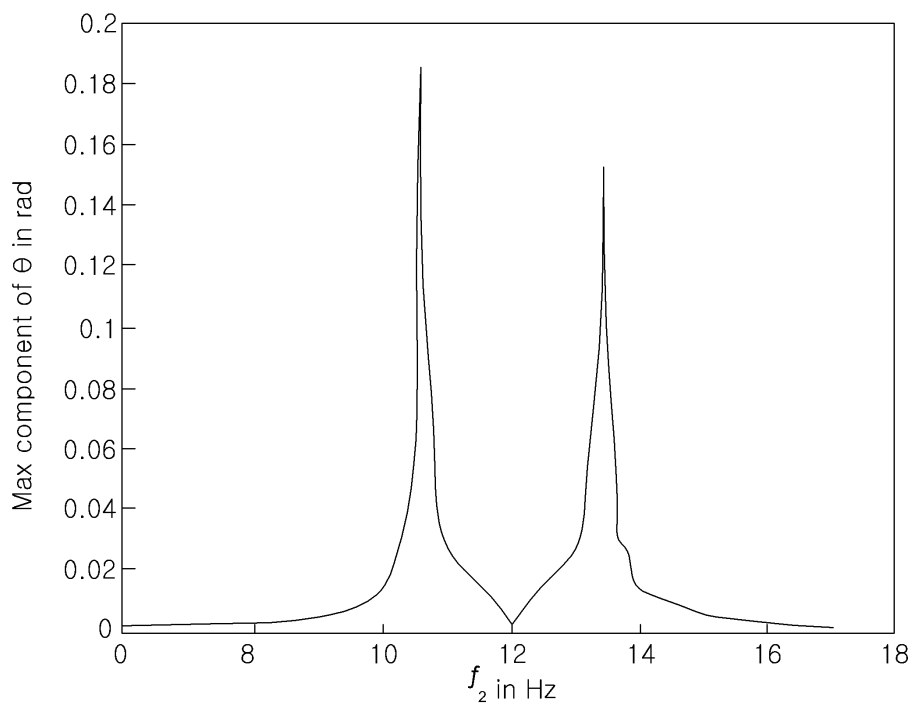
도면6



도면7



도면8



Variation of the maximum frequency component of the angular displacement with frequency f_2

도면9

