

## 자유질량체를 갖는 충격식 흡진기의 특성에 관한 실험적 연구

양 보 석\*, 김 종 완\*\*, 김 원 철\*\*\*

### An Experimental Study on the Characteristics of Impact Vibration Absorber with Free Mass

Bo-Suk Yang\*, Jong-Wan Kim\*\*, Won-Chul Kim\*\*\*

#### ABSTRACT

In this paper, an impact vibration absorber that reduces the high vibration amplitude of a vibrating system is studied. This absorber consists of a free mass allowed to impact on to the secondary leaf spring so that the vibration energy is dissipated by conversion into noise and heat. The experimental parameters are weight of the free mass and impact clearance. According to the measured results, the high vibration in resonance region is reduced more effectively by the impact clearance ratio than by the mass ratio.

#### 기호설명

<p>d : clearance of free mass, (mm)</p> <p>d<sub>0</sub> : static displacement of free mass, (mm)</p> <p>D : clearance ratio, (=d/d<sub>0</sub>)</p> <p>M : mass of primary system, (kg)</p> <p>m : mass of free mass, (kg)</p>	<p>X<sub>0</sub> : static displacement of primary system, (mm)</p> <p>X : displacement of primary system, (mm)</p> <p>μ : mass ratio, (=m/M)</p> <p>ω : exciting frequency of the system, (rad/s)</p> <p>ω<sub>n</sub> : natural frequency of the system, (rad/s)</p>
---	---

### 1. 서 론

과도한 진동은 기계의 성능 및 수명에 악영향을 끼치며, 나아가 기계 및 부품의 파괴까지 유발하게 되는 치명적인 원인이 되므로, 그 방지 및 예방법이 오래 전부터 주요한 과제로 되어 각종 방법이 연구되어 왔다. 특히 최근 기계의 고속화, 대형화 및 경량화의 추

세에 따라 더욱 그 대책이 시급한 실정이다. 또한 기계가 부득이 과도한 진동을 일으키는 공진영역에서 운전될 경우나 이를 통과하여 운전될 경우 과도한 진동을 피하기 위해서는 이미 제작된 기계의 구조변경으로 강성과 질량의 변화가 필요하지만 경제적 이유와 실질적으로 구조변경이 불가능한 경우가 많다.

충격식 흡진기에 관한 종래의 연구로서 Lieber와

\* 정회원, 부산수산대학교 공과대학 기계공학과

\*\* Eagle Industry Co., LTD.

\*\*\* 동영수산전문대학 기관학과

Jensen<sup>1</sup>은 1945년에 최초로 구형의 자유질량체를 용기 내부에 설치하고, 이때 주진동계와 자유질량체의 상호 충돌에 의한 단순 자유진동을 연구하였고, Vigness<sup>2</sup>는 강제진동계를 이론적으로 고찰한 반면 Mc Goldrick<sup>3</sup>은 충격흡진기의 부착으로 공진영역에서 미소한 진폭감소를 실험적으로 고찰하였다. Egle<sup>4</sup>은 한 사이클 동안에 2회의 충돌이 발생한다는 가정하에 이론적으로 충격흡진기가 부착된 단순 진동자의 변위에 대한 2개의 가능 정상해를 결정하고, 이 해에 대한 매우 단순한 안정 판별선도를 구하였다. 이후 많은 학자들에 의해 일련의 연구가 수행되었으나 이들 연구는 공진영역에서의 과도한 진동진폭을 근본적으로 억제시킬 수 없었다.

따라서 본 연구에서는 설치가 용이한 외부에 가능한 작고 단순한 자유질량체를 부착하여 공진영역 부근에서 자유질량체의 충돌에 의한 에너지를 흡수하여 공진영역에서 진동진폭을 최대한 감소시키는 새로운 형태의 충격식 흡진기를 제안하고 이에 의한 진동계의 진동 감쇠효과를 실험적으로 연구하였고, 흡진기로서의 사용 가능성을 검토하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

본 연구에 사용된 실험장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 주진동계의 강성으로 4개의 연장판을 사용하였고, 주진동계의 하단에 편심거리 0.075mm의 원판이 부착된 가변전동기(0~3600rpm, DC 서보 모터)를 설치

하여 전동기 회전시 편심원판에 의해 발생하는 불평형력에 의한 원심식 가진력으로 주진동계를 가진하였다. 자유질량체는 주진동계 상단에 원판형상의 부진동계를 설치하여 상하 질량체간의 간격을 조정할 수 있도록 제작하였다. 본 실험에서는 그 간격을 0mm에서 3mm까지 0.5mm씩 변화시키고, 자유질량체 무게를 200g에서 550g까지 50g씩 증가시켜 틸새비(D)와 질량비( $\mu$ )의 변화에 따른 진동특성을 고찰하였다. 또한 자유질량체가 연속운동만을 할 수 있도록 구속하기 위해 주진동계에 고정된 안내봉을 설치하였다. 그리고 측정을 위해 주진동계와 자유질량체에 와전류형 비접촉식 변위계를 설치하고 변위계의 출력신호를 2채널 주파수분석기(FFT Analyzer)에서 분석하여 진동진폭 특성과 시간응답파형을 분석, 검토하고 X-Y기록기에 의해 기록하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 진동진폭특성

Fig. 2는 공진영역 부근에서 자유질량체의 질량비(D)와 틸새비( $\mu$ )를 변화시켰을 때, 주진동계의 진폭특성을 나타낸 것이다. (a)는 질량비( $\mu$ )가 0.015일때로서 충격 틸새가 없는 경우(D=0), 진동수비가 1인 공진점에서 진폭비는 약 6.0이나, 자유질량체사이의 틸새비(D)가 8.33일 때 공진점에서 진폭비는 0.724로 감소하였다. 틸새비가 16.66과 25.0일 때 진폭비는 각각 0.6 및 0.532로 감소하여, 자유질량체와 부진동계의 스프링과의

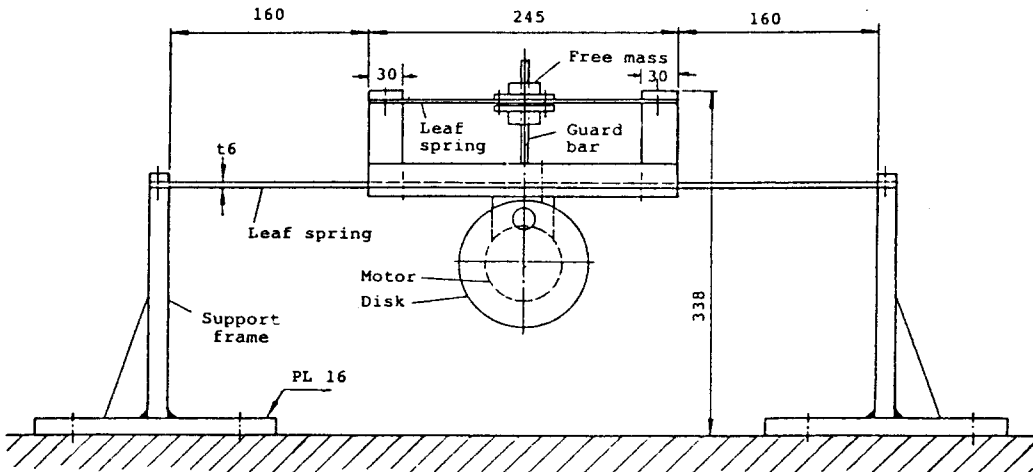


Fig. 1 Experiment apparatus

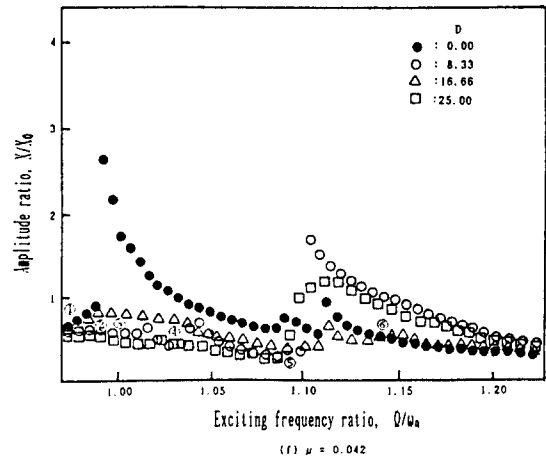
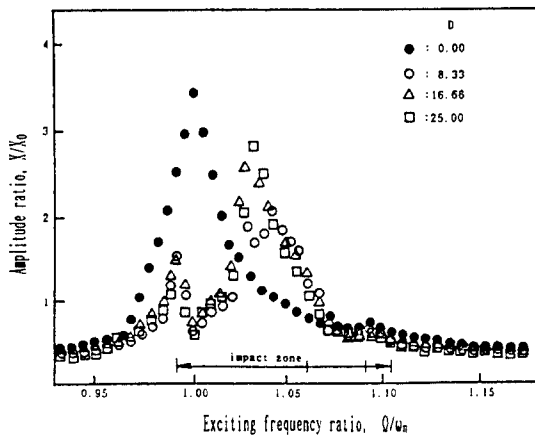
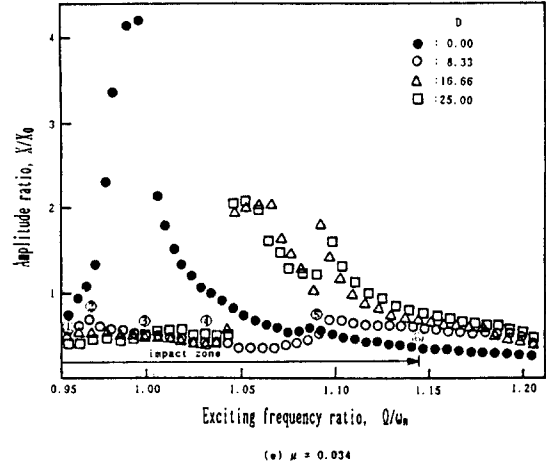
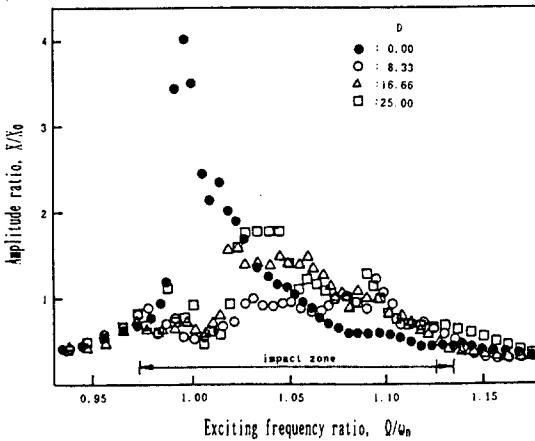
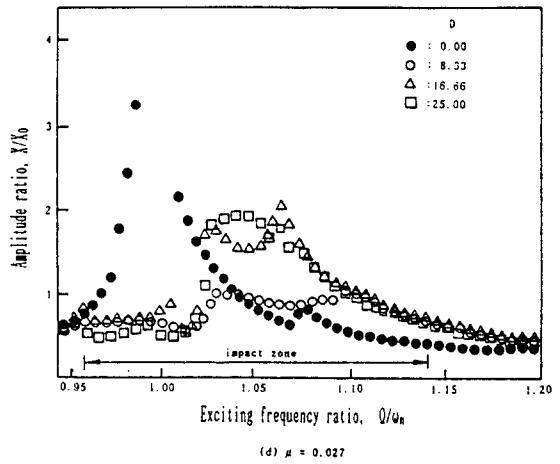
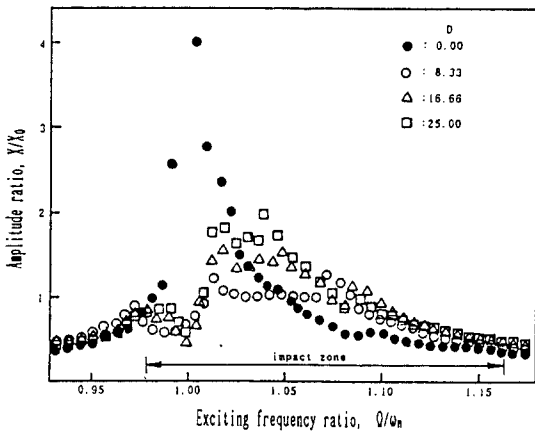


Fig. 2 Effect of impact clearance on vibration amplitude

충돌로 인한 진폭감소 효과가 공진점 부근에서 특히 현저하였다. 특히 틸새비와 관계없이 진동수비가 0.98인 점에서 자유질량체의 충돌이 처음으로 발생하여, 진폭이 전체적으로 계의 고유진동수에서 감소하였다가, 제1공진점 통과 후 진폭은 다시 성장하여 제2공진점 부근에서 다시 자유질량체의 상하 충돌이 과도하게 발생하였다. 제2공진점에서도 동흡진기의 제2피크치와 같은 뚜렷한 피크치를 생성하지 않고, 진동진폭은 최대한 억제 되었으며, 특히 D가 8.66인 경우에 그 효과가 현저하였다. 충격틈새비가 16.66에서 25.0으로 증가할 수록 제2공진영역은 좁아지고 진폭 또한 다소 증가하는 경향을 보인다. 이러한 현상은 충격틈새비가 증가할 수록 자유질량체의 상하 충돌 회수가 적어지므로 충돌에 의한 에너지의 소모가 적게 되기 때문인 것으로 생각된다. (b)는 질량비가 0.019인 경우로, 진폭 곡선의 전체적인 경향은 (a)와 유사하다. 진동수비가 0.98에서 충돌이 발생하며, 틸새비가 0.0일 때 공진점에서 진폭비가 4.28정도인 것이 틸새비가 8.33, 16.66 및 25.0으로 증가됨에 따라 진폭비는 각각 0.548, 0.72 및 0.55로 현저히 감소하였다가 다시 제2공진영역에서 다시 자유질량체가 과도한 양면충돌로 인해 진동진폭은 감소하였다.

그리고 그 영역은 충격틈새가 적을 수록 넓어져 진폭 감소 효과가 양호하게 나타났다. 이후 자유질량체의 충돌현상은 진동수비가 1.12인 31.5Hz 까지 계속 되다가 정상상태로 되었다. (c)는 질량비가 0.023인 경우로 충격틈새비가 0.0일 때 제1공진점에서 진폭비가 3.46의 진폭이 충격틈새비가 8.33, 16.66 및 25.0으로 증가함에 따라 자유질량체의 충돌로 인해 진폭비는 0.63, 0.74 및 0.68로 낮아졌다가 다시 제2공진점으로 진폭이 성장하여 과도한 충돌을 발생한 다음 충격틈새비가 8.33일 때는 30.875Hz, 16.66일 때는 30.5Hz, 25.0일 때는 29.625Hz 까지 자유질량체가 충돌을 일으키고, 그후 감소되어 정상상태로 되었다. 따라서 자유질량체의 무게가 증가함에 따라 제1공진점과 제2공진점이 멀어지며 과도한 충돌의 발생영역이 좁게 되어 진폭크기가 증가하며 진폭억제 효과가 적게됨을 알 수 있다. (d)는 질량비가 0.027의 경우로써 충격틈새비가 0.0일 때 제1공진영역에서 진폭비가 6.4(1.6mm) 정도의 과도한 진동진폭이 발생하였으나, 충격틈새비가 8.33, 16.66 및 25.0으로 증가함에 따라 감소된 진폭비는 0.65, 0.81 및 0.15로써 진폭비가 1이하로 되는 진폭감소효과를 얻었다. 가진주파수의 증가에 따라 주진동계는 다시 진폭

이 성장하였으나, 이때 자유질량체의 충돌이 발생함에 따라 진폭 성장을 다시 최대한 억제시키고 있다. 이는 충격틈새가 좁을 수록 충돌이 발생하는 영역이 넓고, 진폭감쇠효과도 월등히 좋음을 보이고 있다. (e) 질량비가 0.034일 때 진동진폭곡선으로 진폭감쇠효과가 탁월하게 나타난 충격틈새비가 8.33, 16.44 및 25.0을 비교한 것이다. 자유질량체의 충격틈새비가 0.0(고정)인 경우 공진점인 27.25Hz에서 진폭비는 5.6(1.4mm) 정도의 과도한 진동진폭이 충격 틸새비가 4.17일때(⑤) 가장 진폭감쇠 효과가 탁월하여, 제1공진영역에서 공진 피크(peak)가 나타나지 않을 만큼 효과가 양호하였고, 제2공진영역에서는 약간 성장하였지만 역시 공진피크가 뚜렷하게 나타나지 않고 있다. 이러한 현상 즉 공진영역에서 피크가 나타나지 않는 것은 본 연구의 충격식 흡진기의 메카니즘이 진동계의 흡진작용에 적용가능함을 증명해 주고 있다. 충격틈새비가 16.66와 25.0인 경우는 제1공진점에서는 자유질량체의 적절한 충돌에 의해 공진 피크가 나타나지 않고 있지만, 제2공진영역에서는 주진동계 진폭이 성장하여 진폭비가 2.0정도의 공진피크치가 나타나고 있다. 그 후 가진 주파수의 증가에 따라 진동수비가 1.14인 31.125Hz에서 자유질량체의 충돌현상은 완전히 사라지고, 계는 정상상태로 되었다. (f)은 질량비가 0.042일 때 충격틈새가 8.33, 16.66 및 25.0으로 증가함에 따라 진폭은 약 0.8이하로, 제1진폭영역에서는 계의 공진피크의 성장을 볼 수 없고, 특히 25.0일 때 제1공진영역에서 가장 계가 안정하고, 제2공진영역에서는 충격틈새비가 16.66일 때 공진피크가 거의 나타나지 않고 있다. 따라서 본 실험에서 살펴본 바와 같이 충격식 흡진기의 설치로 인해 공진영역 부근에서 과도한 진동을 효과적으로 억제할 수 있어, 공진영역에서 운전되거나 공진영역을 통과하여 운전되는 기계에 효과적으로 이용될 수 있다.

### 3.2 파형응답과 주파수분석

Fig. 3과 4는 공진점에서 충돌로 인한 진폭감소가 현저한  $\mu=0.015$ ,  $D=8.33$ 일 때, 시간 응답파형과 주파수 분석의 일례를 나타낸 것이다. Fig. 3에서 주진동계의 변위가 어느 정도 성장하게 되면 부진동계도 따라 성장하게 되고 따라서 자유질량체가 충돌을 일으키게 된다. 이 때의 충돌이 반복되는 주기는 0.5sec 즉, 2Hz에 해당되며, Fig. 4의 주파수 분석에서 잘 나타나고 있다. 그리고 충돌 지속 시간은 약 0.25sec로 지속

되고, 충돌시 주기는 가진력의 주기와 거의 같은 0.0358sec이다.

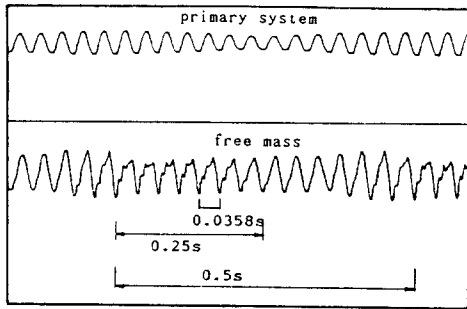
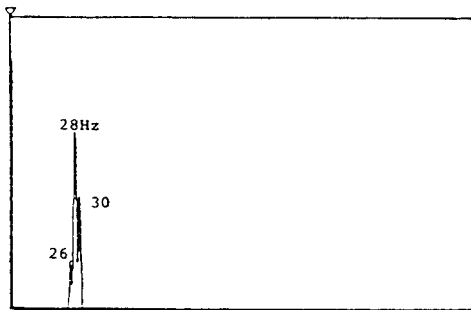
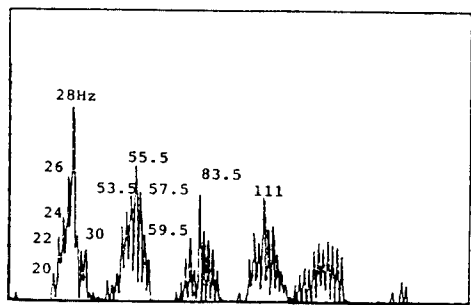


Fig. 3 Timewise traces for main system and free mass



(a) primary system



(b) free mass

Fig. 4 A response spectrum for primary system and free mass ( $\mu=0.015$ ,  $D=8.33$ )

Fig. 5는 충돌이 반복되는 주기 동안의 주진동계의 진폭변화를 나타낸 것으로 주진동계의 진폭이 성장하여 어느 한계에 도달하면 자유질량체는 위상차를 가지고 충돌하므로써 주진동계의 에너지를 소모시켜 계의 진폭은 감소하게 된다. 이러한 현상은 주진동계의 진폭이

임의 상한치에 도달하여 자유질량체로 하여금 충돌을 일으키게 하고 주진동계의 에너지를 소실시켜 계의 진폭은 감소하며 임의 하한치까지 도달하면 자유질량체는 충돌없이 계와 함께 진동하게 되어, 주진동계의 진폭이 다시 성장하고, 상한치에 도달하면 다시 충돌이 발생하는 주기적인 운동이 이루어 짐을 볼 수 있다.

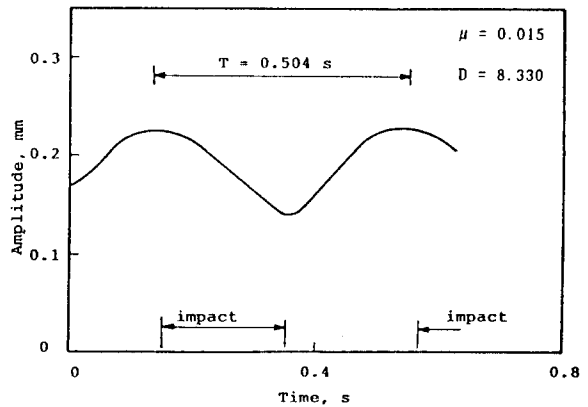


Fig. 5 Effect of impact on vibration amplitude ( $f=28$  Hz)

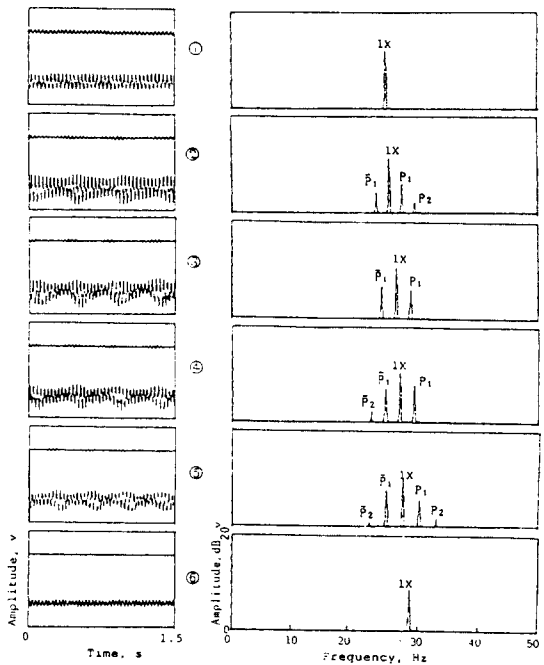


Fig. 6 Timewise traces and frequency spectrum of primary system and free mass ( $\mu=0.034$ ,  $D=4.17$ )

Fig. 6은 Fig. 2(e)에서 진폭감소 효과가 좋은  $D=4.17$  일 때 ①~⑥의 가진 진동수에 시간응답파형과 주파수분석의 결과를 비교한 것이다. 충돌에 의한  $P_1$ 과  $\bar{P}_1$ ,  $P_2$ 와  $\bar{P}_2$ 가 동기성분(1X)에 대해 대칭적으로 발생한다. 여기서 시간응답파형은 위가 주진동계, 아래가 자유질량체의 변위를 나타내고 있다. 시간응답파형에서 보는 것과 같이 자유질량체의 과도한 운동으로 인해 주진동계의 변위운동은 상대적으로 감소하고 있음을 알 수 있다. Fig. 7은 Fig. 2(e)에서  $D=4.17$  일 때, 가진 주파수에 따른 주진동계의 진동주파수를 도시한 것으로, 충돌에 의해 발생한  $\bar{P}_1$ ,  $\bar{P}_2$ 와  $P_1$ ,  $P_2$ 의 성분은 제1공진 영역에서만 존재하였다. 또한 각 성분들의 차는  $2.5\text{Hz}$ 로 동기성분과 근접되어 맥놀이(beat)현상의 결과이었다.

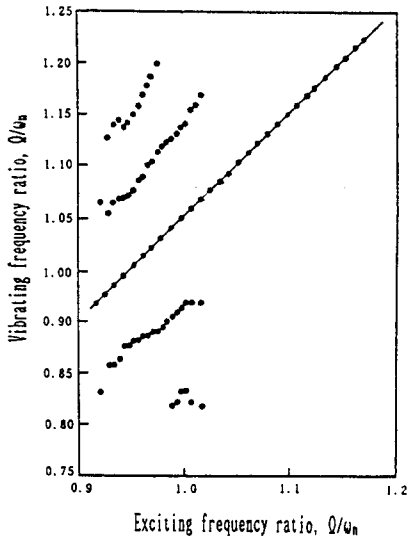


Fig. 7 Spectral characteristics of primary system ( $\mu=0.034$ ,  $D=4.17$ )

### 3.3 위상차

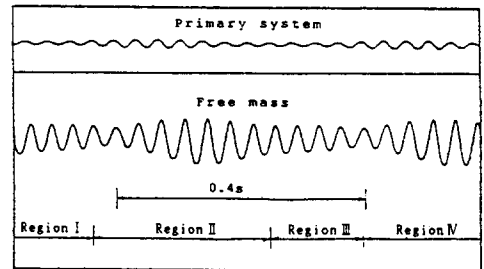
주진동계와 자유질량체의 진동에 대한 위상차의 영향을 고찰하기 위해, 진폭감소효과가 탁월한 질량비 0.034, 틸새비 4.17일 때의 공진점에서 시간의 변화에 따른 주진동계와 자유질량체의 시간응답 파형과 위상차를 Fig. 8에 도시하였다. 영역 I에서는 시간의 경과에 따라 위상차가 점차 작아지므로써 영역 II에서 주진동계는 다시 진폭이 성장하고, 이때 위상차는 다시 커지므로써 진폭은 다시 감소하였다가 위상차가 작아지면

다시 성장하는 운동을 주기적으로 계속하고 있음을 알 수 있다.

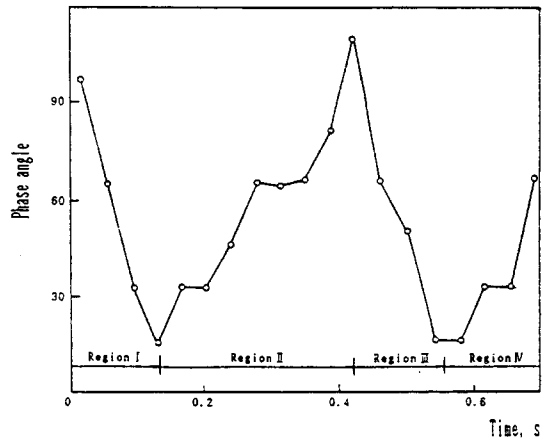
### 3.4 충격틈새와 진폭감소효과

Fig. 9는 공진영역에서 자유질량체의 무게와 충격틈새의 변화에 따른 진폭비의 변화를 비교한 것으로 자유질량체가 주진동계에 고정된 경우 ( $D=0$ ), 질량비가 0.015에서 0.042로 증가함에 따라 진폭비는 6.0, 4.28 및 3.52등의 과도한 진폭은 충격틈새가 주어짐으로써 급격히 감소하여 질량비에 관계없이 전체적으로 진폭비는 1.0이하로 되었다.

그중에서도 질량비가 클수록 진폭비가 최대로 되는 조건은 충격틈새가 적을 때이며, 충격틈새가 클 때는 질량비가 작을 수록 진폭은 감소효과가 탁월하였다. Fig. 10은 질량비에 따른 최적 틸새비를 나타낸 것으로 질량비가 증가할수록 최적 틸새비가 다소 작아짐을 보여 주고 있다.



(a) Timewise traces



(b) Phase difference

Fig. 8 Phase difference between primary system and free mass ( $\mu=0.034$ ,  $D=4.17$ )

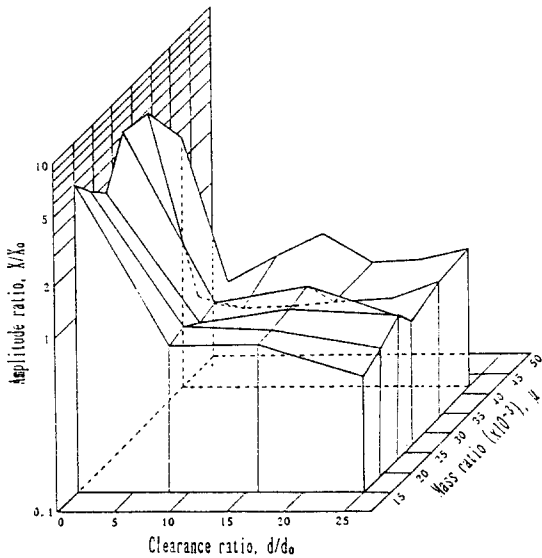


Fig. 9 Vibration amplitude versus impact clearance for various amount of mass

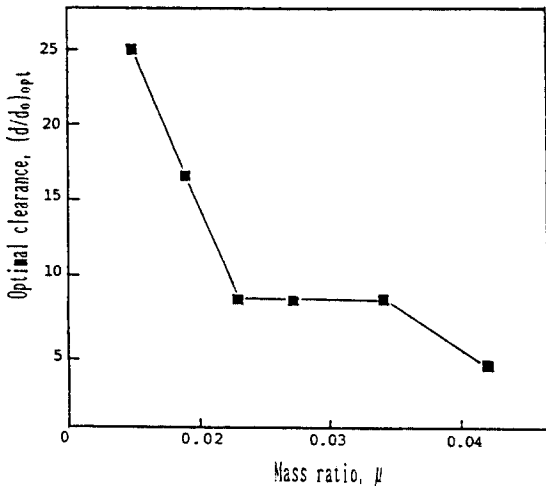


Fig. 10 Values of the optimum impact clearance ratio for the impact vibration absorber

#### 4. 결 론

자유질량체의 상하충돌로 인한 계의 진동감소 특성을 실험적으로 고찰하였으며, 그 결과들을 요약하면 다음과 같다.

1. 자유질량체의 상하 충격작용이 계의 공진점에서 현

저한 진동감폭감소가 있으며 일종의 흡진기로서 사용할 수 있음이 실험적으로 확인되었다. 질량비에 관계없이 충격튠새가 주어짐으로써 계의 공진영역에서 진폭감소효과가 탁월하였다.

2. 질량비가 증가할 수록 제1 및 2공진점에서 진폭은 크게된 후, 질량비가 0.023이후 에서는 다시 감소하며, 이때의 공진영역의 폭은 질량비에 반비례하며 진폭은 감소한다.
3. 질량비가 0.034이고, 튠새가 4.17인 경우, 전 운전구간에서 가장 좋은 진폭감소 효과를 보이며, 공진영역에서 공진피크가 거의 발생하지 않았다.
4. 질량비와 충격튠새비를 적절히 조절함으로써 계의 진동진폭을 최대한 억제할 수 있다.

#### 참고문헌

1. Lieber, P. and Jensen, D.P. (1945) : An Acceleration Damper Development, Design and Some Application, Trans. ASME, Vol. 67, pp. 523-530
2. Vigness, I. (1954) : Bouncing and Rotation Excited by Vibration, Naval Research Laboratory Report 4358, Washington, D.C. May
3. McGoldrick, R.T (1952) : Experiments with an impact Vibration Damper, David Taylor Model Basin Report No. 816, pp. 12
4. Egle, D.M. (1962) : An Investigation of an Impact Vibration Absorber, MS Thesis, Tulane University, New Orleans, La.
5. Hunt, J.B. and Nissen, J.C. (1982) : The Broad Dynamic Vibration Absorber, Trans. ASME, Vol. 83, No. 4, pp. 573-578
6. Harris, C.M. and Crede, C.E. (1962) : Shock and Vibration Handbook, 6, Mc Graw Hill
7. Raynesford, J.D. (1975) : Use Dynamic Absorbers to Reduce Vibration, Hydrocarbon Process, 54, pp. 167-171
8. 양보석, 김종완(1989) : 충격식 동흡진기의 개발 및 응용에 관한 연구, 한국어업기술학회지 제25권 제1호, pp. 24-28.