

〈論 文〉

세탁기용 강제 현가시스템의 동특성 해석을 위한 전산 시뮬레이션

Computer Simulation for Dynamic Analysis of Rigid Body Suspension System for Waching Machine

정경렬* · 이종범** · 임무생*** · 윤종만****
Kyung Ryul Chung, Jong Bum Lee, Moo Saeng Im, Jong Man Yun

〈1992년 8월 31일 접수 : 1993년 2월 24일 심사완료〉

ABSTRACT

In this study, we identify the structural dynamic characteristics of the rigid body suspension system of waching machine containing rotating system, and consider the methods for the reduction of noise and vibration due to the structural problems. The structural dynamic characteristics of the suspension system have been studied by the computer simulation, in which the commercial software package, "DYMES(Dynamics of Mechanical System)" is used. The behaviour of the supporter by the rotating system has been parametrically studied by computer simulation, and the force and torque which are transferred to the fixed body through the suspension bar also has been calculated. The possibility to decide the position and the stability of the rigid body suspension system for waching machine is demonstrated based on various simulation results.

1. 서 론

최근 기계구조물의 진동문제가 중요시 되면서 진동의 원인 규명 및 대책에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 일상생활에 널리 사용되고 있는 기계구조물의 진동에 관한 문제는 기기의 성능뿐만 아니라 그 품질을 좌우하는 중요한 요소가 되고 있으며 그 중요성은 더욱 심화되어 가는 실정이다. 이와같은 기계구조물의 품질을 향상시켜 대내외적인 경쟁력을 강화하기 위해서 진동의 원인을 규명하고 나아가 그

대책을 수립할 필요가 있다.

본 연구에서는 가정용 세탁기에서 볼 수 있는 회전체를 갖는 현가시스템의 구조적 동특성을 이해하고, 구조적 문제에 의해서 야기되는 진동 저감대책을 강구하고자 한다. 현가시스템의 구조적 동특성은 상용 팩키지를 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 해석하였다. 현가시스템에서 진동특성은 suspension bar의 부착위치와 길이, 각 강체의 무게와 관성특성의 영향을 받으므로 이를 설계변수화 하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 회전체의 회전에 의한 현가시스템의 거동 및 이로 인하여 suspension bar를 통하여 고정대에 전달되는 힘과 토크를 구한다. 강체의 거동과 고정대가 받는 힘 및 토크를 예측함으로써 강체로 이루어진 현가시스템의 효과적인 설치, 안정성 및 진동저감을 고려한 강체의 무게 및 관성특성, 그리고 suspension bar의 강성과 감쇠비 등의 설계에 유용한 자료를 제공할 수 있게 된다.

*정회원, 생산기술연구원

**생산기술연구원

***대우전자 세탁기연구소

****정회원, 대우전자 세탁기연구소

2. 시뮬레이션 방법 및 기하학적 모델링

본 논문의 연구대상인 세탁기용 강체 현가시스템의 구조적인 동특성 해석을 위하여 EMRC사의 DYMES(Dynamics of Mechanical System)를 활용하였다. DYMES에서는 기계시스템의 동특성 해석을 위한 여러가지 모듈을 제공하고 있으며, 강체 현가시스템의 기하학적 모델을 작성하는데도 DYMES의 이용을 전제로 하였다.

2.1 DYMES의 특징

DYMES를 활용할 수 있는 기계시스템의 기본적인 가정(basic assumption)은 다음과 같다.

첫째, 강체(rigid body)로 구성된 시스템이어야 한다.

둘째, 조인트(joint)에서는 마찰을 무시한다.

셋째, 작용력은 구속력(constraint force) 또는 외부에서 가해지는 가진력(applied force)이다.

넷째, 구속조건은 모두 독립적이어야 한다.

다섯째, 구속조건은 모두 항등식으로 표현되어야 한다.

여섯째, 시스템의 자유도는 시뮬레이션 수행도중 변하지 않아야 한다.

이와 같은 여섯가지 가정을 충족시키는 기계시스템을 multi-body 시스템이라 할 수 있고 DYMES는 이와 같은 multi-Body 시스템의 동특성 해석을 효과적으로 수행할 수 있다. 강체로 가정할 수 있는 body요소와 이들 사이의 연결상태는 여러가지 형태의 조인트 및 힘요소를 활용하여 시스템을 모델링하고 이 모델에 가해지는 각종 외력에 대한 시스템의 움직임을 시뮬레이션 할 수 있다. 본 논문에서 활용한 DYMES 모듈(PC-Version)의 조인트 형식은 다음과 같다. 먼저 기본 조인트 모듈은 두 강체사이의 직접적인 기계적 연결에 의한 조인트이다. 기본 조인트 모듈은 다음과 같다.

- SPHE(Spherical Joint)
- UNIV(Universal Joint)
- CYLI(Cylindrical Joint)
- REVO(Revolute Joint)
- TRAN(Translational Joint)
- BRAC(Bracket Joint)
- GEAR(Gear Joint)

- BELT(Belt Joint)
- RACK(Rack and Pinion Joint)
- PLAN(Planar Joint)
- SLID(Slider Joint)

복합조인트 모듈은 두개의 기본조인트 모듈과 그 사이의 질량이 없는 강체연결부로 연결된다. 기본조인트 모듈보다 조인트와 강체의 수를 줄임으로써 문제의 크기를 점진적으로 줄일 수 있으므로 기본조인트만 가지고 모델링하는 것보다 효과적이며 다음과 같다.

- SPSP(Spherical-Spherical Joint)
- RESP(Revolute-Spherical Joint)
- RECY(Revolute-Cylindrical Joint)
- RERE(Revolute-Revolute Joint)
- TRSP(Translational-Spherical Joint)
- TRRE(Translational-Revolute Joint)

내부힘 모듈은 두강체사이에 적용할 수 있으며, 기계적 시스템의 내부적인 힘의 거동을 다음과 같이 묘사한다.

- TSDA(Translational Spring-Damper-Actuator)
- RSDA(Rotational Spring-Damper-Actuator)
- Bushing

시스템의 해석을 수행하는데 있어서 사용 가능한 좌표계는 세가지 형태로 구분되어 있어, 관심대상이 되는 body의 움직임을 효과적으로 해석할 수 있도록 하고 있다.

- GRF(Global Reference Frame)
- BRF(Body Reference Frame)
- JRF(Joint Reference Frame)

강체 하나를 즉, 단순한 경우를 해석한다면 방향, 위치, 고정점, 거리, 차이 등과 같은 단순한 구속모듈(Constraints Modules)로서 가능하고, 강체와 강체가 기계적인 연결로 되어 있으면 Spherical, Universal, Cylindrical, Revolute, Translational, Bracket, Gear, Belt 조인트 등과 같이 두개의 강체사이를 묘사할 수 있는 모듈이 충분히 제공되어 있어 두 강체 사이의 상대적인 운동과 반력 등과 같은 다양한 결과를 얻을 수 있다.

2.2 기하학적 모델링

강체로 이루어진 회전체를 갖는 현가시스템의 구조적 특성을 DYMES(PC-Version)을 이용해서 해석

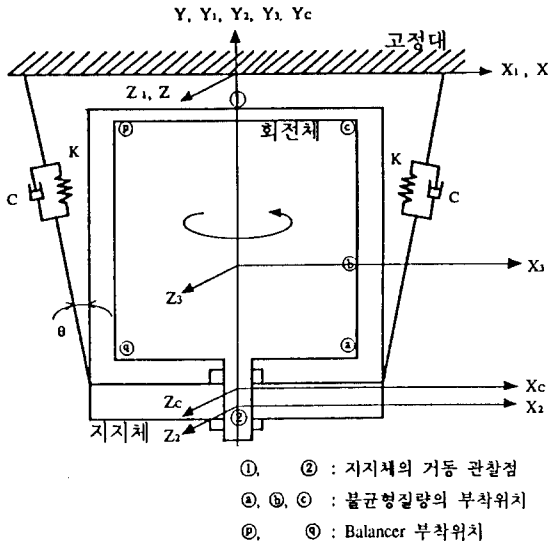


Fig. 1 현가시스템의 기하학적 모델링

하기 위해 현가시스템의 기하학적 모델을 Fig. 1과 같이 설정하였다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 현가시스템의 전면에서 볼때 우측방향을 X축, X축과 직각을 이루면서 전면으로 향하는 방향을 Z축으로 설정하였고, 이 두 X, Z축과 직각을 이루면서 위로 향하는 방향을 Y축으로 설정하고, 원점이 고정대의 무게중심과 일치하도록 전체 좌표계를 정하였다. 지지체와 회전체에 대한 부분 좌표계는 X, Y 및 Z축 좌표계와 동일하고, 부분 좌표계의 중심위치만 각 강체의 무게중심에 따라 바뀌도록 하였다. 본 연구에서는 강체로 이루어진 현가시스템의 거동에 대한 분석이 주요한 목적이므로 기하학적 모델을 단순화시켰다. 고정대와 지지체의 밀면 사이를 지지하는 네개의 Suspension bar는 DYMES에 적용 가능한 스프링과 감쇠기(TSDA) 모듈을 이용하였다. 지지체와 회전체사이의 연결부위는 Revolute(REVO) 조인트 모듈을 이용하였다. 회전체의 무게 및 불균형 질량에 의한 원심력등의 외력에 의해 야기되는 힘이 지지체에 전달되기 때문에 힘의 전달이 가능한 이 모듈을 이용하여야 하고 본 연구의 해석대상인 동특성을 충분히 분석할 수 있어야 한다는 두 가지 전체 조건하에서 결정되었다. Fig. 1에서 X_c, Y_c, Z_c는 시스템의 무게중심점의 좌표계이다.

3. 컴퓨터 시뮬레이션

3.1 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 준비사항

본 연구에서는 현가시스템의 동적 거동을 컴퓨터

를 이용하여 해석하기 위해서 필요한 데이터는 다음과 같다. 기본 데이터는 기존의 가정용 세탁기 모델을 참고하여 선정하였다.

• 지지체와 회전체의 질량 및 관성특성

지지체 및 회전체로 이루어진 강체 현가시스템의 동특성에 매우 중요한 역할을 하는 물리량으로서 실험에 의해서 직접 측정하는 방법과 구체적인 설계도면을 보유하고 있을 때 CAD 패키지를 이용하여 계산하는 방법이 있다. 본 논문에서는 저울을 이용하여 무게를 측정하였고 회전진자 원리를 이용하여 관성특성을 구했다.

• Suspension bar의 강성, 감쇠계수 및 길이

세탁기용 강체 현가시스템에서 사용된 suspension bar는 강봉과 고무 및 스프링으로 이루어져 있다. 고무 및 스프링의 교체로 인해 suspension bar의 감쇠계수 및 강성계수를 변경할 수 있다. 강성계수 및 감쇠계수를 구하는 방법은 실험적인 방법과 이론적인 방법이 있다. 본 논문에서 사용한 실험방법은 네개의 스프링 및 고무를 강관위에 정사각형 형태로 세운 후 네개의 스프링에 동일한 힘이 작용되도록 일정 무게를 올려 놓는다. 그리고 임팩트 햄머와 가속도계 센서를 이용하여 스프링 및 고무의 전달함수를 구한후 강성계수 및 감쇠계를 구할 수 있다. 실험에서 구한 Suspension bar의 강성계수와 감쇠계수는 다음과 같다.

- 강성계수 : 1893(N/m)
- 감쇠계수 : 204.4(N · s/m)
- 길 이 : 0.57(m)

• Suspension bar 부착위치의 좌표값

Suspension bar는 지지체의 하단과 고정대에 부착되어 있는데 이들의 위치를 부분 좌표계에 대한 좌표값을 측정자를 이용하여 구했다.

• 밸런서(Balancer) 효과를 분석하기 위한 원심력 산출 및 부착위치 변경에 따른 밸런싱 질량의 작용점

세탁기용 강체 현가시스템에서는 불균형 질량에 의한 진동을 감소시키기 위한 Liquid Balancer가 부착되어 있는데 이의 효과를 검토하기 위해 다음과 같은 요인을 분석하였다.

◎ Liquid Balancer에 의한 원심력 산출

불균형질량에 의해 회전체가 진동을 하게 되는데 정상상태에 이르면 회전체의 회전중심이 기하학적 중심에서 벗어나게 되고 이로 인해 Liquid Balancer

의 염수가 한쪽으로 몰리게 되어 불균형질량에 의한 영향을 저감시켜주게 된다. 이때 불균형질량의 위치와 회전체 및 지지체 무게가 쳐지는 방향이 서로 반대방향이 된다. 이는 회전체 및 지지체로 이루어진 강체 현가시스템(회전체, 지지체 및 Suspension bar가 이루고 있는 현가시스템)의 감쇠고유진동수가 회전체의 회전수보다 훨씬 작기 때문이다. 따라서 불균형질량의 위치와 염수가 몰리는 방향이 회전중심을 두고 서로 반대가 되어 밸런싱효과를 내게 된다.

Fig. 2에서 한쪽으로 모여진 염수에 의한 원심력을 산출해 보기로 한다. 즉 미분요소(경계 칠한부분)의 회전반경은 R 이 되고 미분요소의 질량은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$dm = \rho \cdot h \cdot r \cdot d\phi \cdot dr \quad (1)$$

여기서 h : Liquid Balancer의 높이
 r : Liquid Balancer의 반경
 ρ : 염수밀도

따라서 미분요소에 의한 원심력은

$$df = dm \cdot R \cdot \omega^2 \quad (2)$$

이 된다. 식(2) 및 Fig. 2의 Liquid Balancer가 기하학적인 대칭(X 축에 관한)인 면을 고려하면 원심력의 통합은

$$f(e) = 2\rho\omega^2 \int_{r_i}^{r_o} \int_{\theta(r)}^{\pi} r(e - r\cos\phi) d\phi dr \quad (3)$$

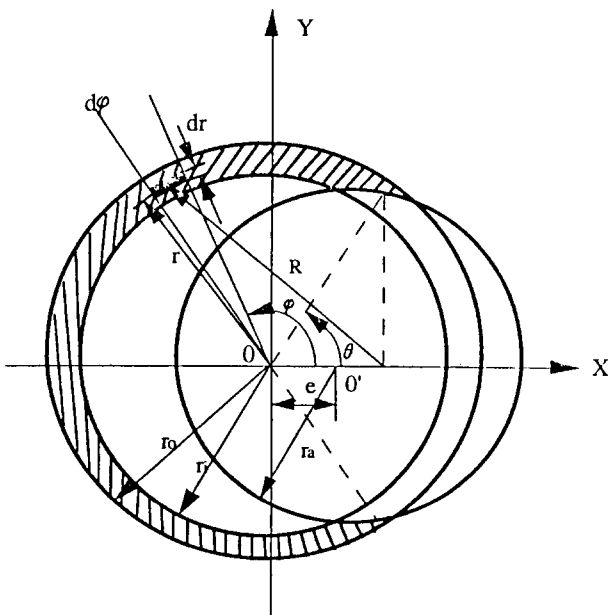


Fig. 2 정상상태에서 진동변위와 염수분포

가 된다. 여기서 $\theta(r)$ 은 염수량에 따라 결정되는 값(각도)이다.

Fig. 2는 Liquid Balancer의 변화에 따른 원심력의 변화를 진동변위에 대한 값을 시뮬레이션 한 결과를 보여주고 있다.

◎ Liquid Balancer의 영향을 고려한 시뮬레이션

DYMES 모듈을 이용하여 Liquid Balancer의 영향을 고려하는데 있어서는 근본적으로 문제점이 있다. DYMES 모듈을 이용하여 Liquid Balancer의 효과를 고려할 수 있는 항목이 없기 때문에 단계적인 과정을 거쳐야만 가능하다.

- 가. Liquid Balancer가 없는 상태에서의 시뮬레이션을 통한 Liquid Balancer 부착높이의 정상상태 진동변위 산출
- 나. 해당 변위에 해당하는 Liquid Balancer에 의한 원심력 결정
- 다. Liquid Balancer에 의한 원심력을 고려한 시뮬레이션 수행

◎ 문제점(Liquid Balancer 효과 시뮬레이션)

DYMES를 이용하여 상기한 바와같이 Liquid Balancer의 영향을 고려하게 되면 정상상태의 경우에 대한 가정이기 때문에 정상상태 응답치 성분만이 원하는 값이 되고 과도상태의 데이터는 무의미한 값이다.

Fig. 3은 염수량이 50%인 경우에 대한 진동변위에 따른 원심력의 크기를 보여주고 있다. Liquid Balancer의 염수량이 50%보다 작거나 크게 되면 염수에 의한 효과를 떨어지게 된다. 이는 진동변위에 따른 염수의 변위의 반대방향으로의 쏠림이 상대적으로 적게 발생하기 때문이다.

밸런서의 부착위치의 효과를 비교하기 위해서 밸

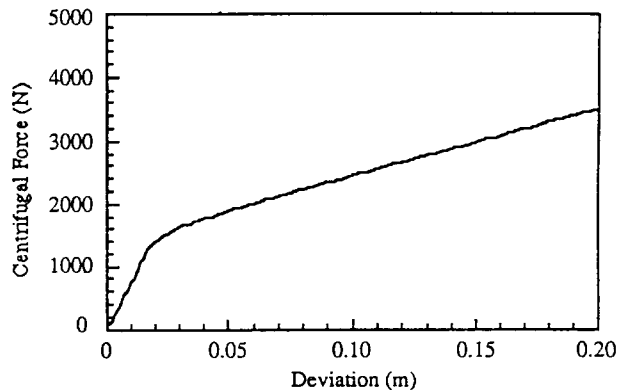


Fig. 3 염수량이 50%인 경우 원심력의 크기

런서(Liquid Balancer)의 부착위치를 기초 모델과 같이 회전체의 상단에 있는 경우와 회전체의 하단에 있는 경우 그리고 회전체의 상단과 하단에 동시에 설치된 경우에 대해서 그 효과를 비교하여 보았다.

• 불균형질량 특성

회전체 및 지지체로 이루어진 현가시스템의 수학적 모델의 기본적인 변수와 더불어 동적거동에 영향이 큰 아래와 같은 시뮬레이션 조건을 결정하였다.

• 불균형질량의 효과를 고려하기 위한 불균형질량의 크기(구)

아래와 같이 선정한 이유는 불균형질량은 가정용 세탁기의 탈수행정시의 세탁물의 무게와 발생할 수 있는 불균형질량의 무게를 고려하여 0.5kg으로 선정하였다.

기본 설계변수의 경우 불균형질량은 Fig. 1의 점 a)에 위치한다.

- 질 량 : 0.5(kg)
- 반지름 : 0.02(m)
- 관성특성(I_{xx} , I_{yy} , I_{zz}) : $8.0E-5(kg \cdot m^2)$

• 회전체의 가속조건

DYMES를 이용한 동특성 시뮬레이션의 목적은 탈수시 회전체 및 지지체의 동적거동을 이해하기 위한 것이기 때문에 초기가속 및 정상상태를 동시에 포함한 탈수행정의 경우에 대해서 시뮬레이션을 수행하고자 한다.

총 시뮬레이션 시간은 DYMES의 PC-Version을 이용한 관계로 많은 데이터 처리문제 때문에 기본적으로 5.0초로 하여 초기 2.0초 동안의 균일한 가속 구간 및 후반 3.0초 동안의 등속구간으로 구분하였다. 실제로 가정용 세탁기의 탈수행정은 약 70.0초 동안 가속 및 등속의 여러단계를 거쳐 정상상태인 등속구간에 접어든다. 등속구간에서 회전체의 회전속도를 시계방향의 780rpm으로 고정하였다.

3.2 시뮬레이션 결과 및 분석

전술한 바와 같이 시뮬레이션은 PC-Version DYMES 모듈을 이용하였다. 정지상태에서 가속구간을 거쳐서 등속구간으로 회전체의 회전이 진행된다면 이때 현가시스템의 동적거동은 과도특성 및 정상상태 특성이 동시에 나타나게 된다. 현가시스템의 고유 진동특성은 일반적으로 Suspension bar의 부착 위치, 길이 및 동특성과 지지체와 회전체의 무게 및 관성특성의 영향을 받는다. 시뮬레이션을 통하여 얻어 볼 수 있는 결과는 회전체의 회전에 따른 현가시

스템의 거동 및 이로 인한 suspension bar를 통한 고정대로의 전달력 및 토크이다.

(1) 시뮬레이션 설계변수

회전체를 갖는 강체를 지지하고 있는 현가시스템의 진동특성에 중요한 영향을 미칠것으로 예측되는 설계변수를 Table 6에서 보여주고 있는 바와 같이 선정하였다. 현가시스템의 기본모델의 설계변수는 기존 가정용 세탁기를 참고로 하여 결정하였고, 이는 Table 1, 2, 3, 4, 5에서 보여주고 있다. 이 기본설계변수를 중심으로 설계변수에 변화를 주었을때의 동특성을 분석해 보았다. 각 설계변수의 변화에 대한 동특성을 관찰하는데 연구의 주안점을 두었기 때문에 Liquid Balancer를 제거한 상태에서의 설계변수의 변화를 주었다. 실제 Liquid Balancer가 붙어있는 1조식 가정용 세탁기의 경우 suspension bar의 설치각도(θ), 부착위치, 길이, 강성계수 및 감쇠

Table 1 지지체와 회전체의 무게 및 관성

측저값 대상	질량 (kg)	관성 (kg·m ²)		
		I_{xx}	I_{yy}	I_{zz}
지지체	18.2	0.54	0.34	0.54
회전체	4.85	0.21	0.16	0.21

Table 2 Suspension bar 부착위치 좌표값

부착부위	좌표값(m) 구분	X	Y	Z
		고정대 부분	1	0.227
	2	0.227	0.0	-0.227
	3	-0.227	0.0	-0.227
	4	-0.227	0.0	0.227
지지체 부분	1	0.168	0.045	0.168
	2	0.168	0.045	-0.168
	3	-0.168	0.045	-0.168
	4	-0.168	0.045	0.168

Table 3 Liquid Balancer의 제원

구 분	크 기
외경(r_o)	0.220(m)
내경(r_i)	0.187(m)
높이(h)	0.063(m)
염수밀도(ρ)	1187(kg/m ³)

정격회전수(Liquid Balancer) : 81.68(rad/sec)

Table 4 Liquid Balancer의 부착위치

좌표값(m) 경우	X	Y	Z
1	-0.203	0.31	0.0
2	-0.203	-0.1	0.0
3	-0.203	0.31	0.0
	-0.203	-0.1	0.0

Table 5 회전체의 가속모드

구 분	가속구간(0~2sec)	등속구간(2~5sec)
회전수	0~780	780.

Table 6 현가시스템의 시뮬레이션 설계변수

설 계 변 수	단 위
Suspension bar의 설치 각도	degree
Suspension bar의 감쇠비	N · s/m
Suspension bar의 강성계수	N/m
Suspension bar의 부착위치	좌표값
Suspension bar의 길이	m
Balancer의 부착위치	좌표값

계수값을 변화시키면 Balancer의 특성이 달라지므로 설계변수의 변경은 신중히 결정하여야 한다. 즉, 선정된 설계변수값을 변경하면서 현가시스템의 동적거동 및 고정대에 전달되는 전달력 및 토크를 구하여 이들의 변화를 관찰하였다.

(2) 기본설계변수의 경우 현가시스템의 거동

Fig. 1의 점 ①은 지지체 상단의 거동관찰점으로써 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 수평방향의 거동은 초기단계(2초까지)에서는 회전체의 회전수가 점점 증가하게 되는데 응답치를 보면 진동주파수가 점점 커지는 것을 볼 수가 있다. 응답치를 살펴 보면 회전체의 회전수(780rpm)와 동일한 주파수 성분을 갖는 것보다 훨씬 낮은 성분의 응답치가 섞여 있는 것을 볼 수 있는데, 전자의 경우가 정상상태 응답치성분이고 후자의 경우가 과도상태 응답치성분이 된다. 과도상태 응답치성분의 지배적인 주파수는 현가시스템의 고유진동수와 같고, 과도상태 응답치의 감쇠율도 해당되는 지배적인 모우드의 감쇠비의 영향을 받으며 초기에는 과도특성 성분이 현가시스템의 거동을 지배하지만 등속구간에 접어들어 시간이 흐르면

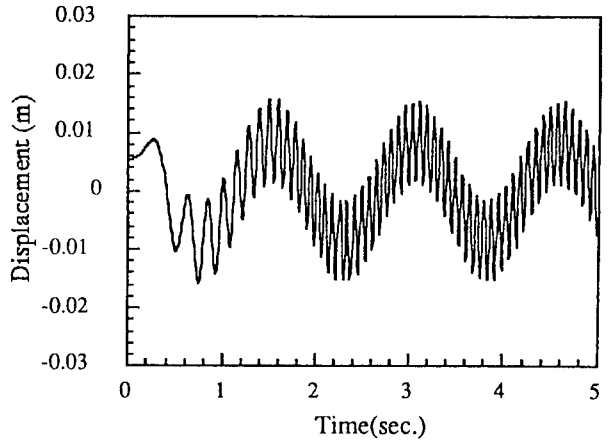


Fig. 4 기본 설계변수의 경우 지지체 상단의 수평방향 변위

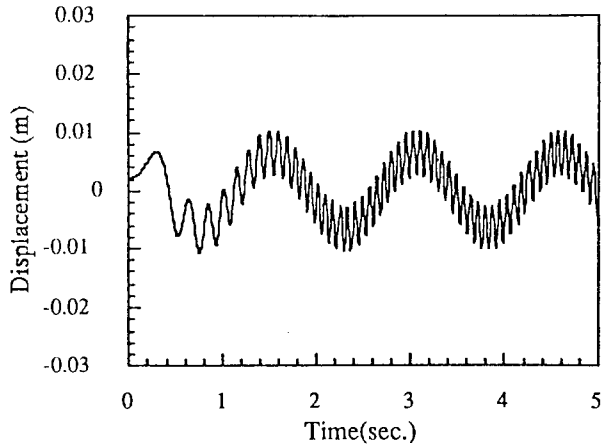


Fig. 5 기본 설계변수의 경우 지지체 하단의 수평방향 변위

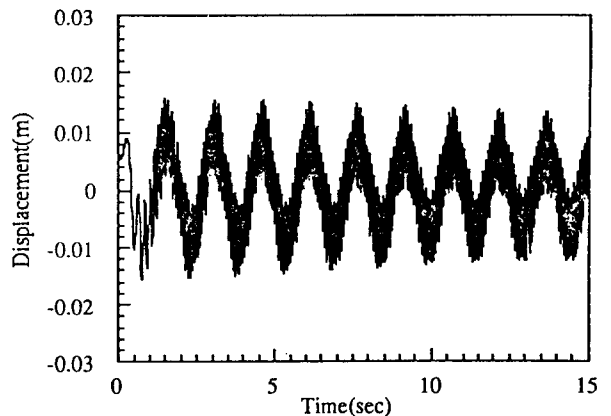


Fig. 6 기본 설계변수의 경우 지지체 상단에서의 수평방향 변위(시간 15sec.)

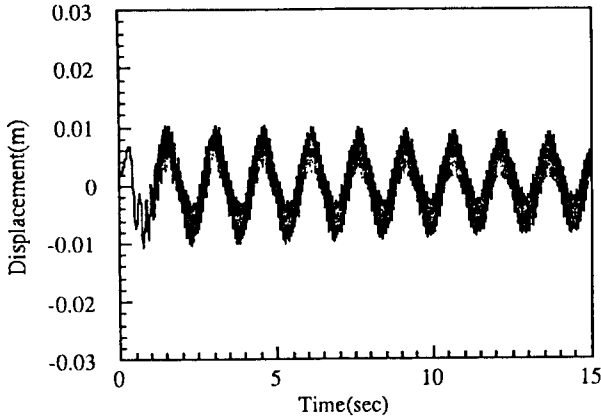


Fig. 7 기본 설계변수의 경우 지지체 하단에서의 수평 방향 변위(시간 15sec.)

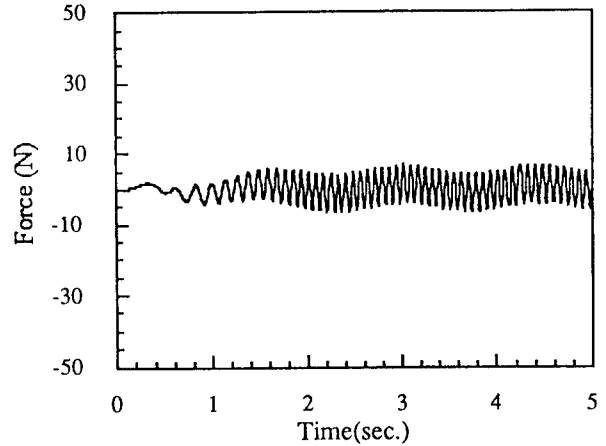


Fig. 8 기본 설계변수의 경우 고정대로 전달되는 수평 방향의 힘

점차로 감소되어 소멸된다.

정상상태 응답치는 등속구간에 접어들면 일정한 주파수를 갖고 그 크기가 변화하지 않는 것을 볼 수 있다. 실제 시간이 흘러 정상상태에 이르면 과도상태 성분이 소멸되고 정상상태 응답치만이 남게 되고 이 응답치의 크기가 정상상태에서의 현가시스템의 진동의 크기를 나타낸다. 지지체 하단의 경우 거동 관찰점은 Fig. 1의 점 ②이며, Fig. 5에서 보면 알 수 있듯이 일반적인 특징은 전술한 상단에서의 수평 방향 변위의 경우와 유사하지만 정상상태 응답치의 크기가 지지체 상단의 경우보다 작다. 시간을 15초 까지 연장한 경우 Fig. 6과 Fig. 7을 보면 과도상태 응답성분의 소멸을 확인할 수 있다.

(3) 기본 설계변수의 경우 고정대로 전달되는 힘과 토크

Suspension bar를 통하여 고정대에 전달되는 X, Y, Z축 방향의 힘과 토크는 고정대 중심에 원점을 두고 전체좌표계와 방향이 같은 직각좌표계에 대해서 구했으며 Fig. 8과 Fig. 9에서 이를 보여 주고 있다. 수평방향의 힘은 정상상태 성분의 값에 비해 미미하지만 과도특성 성분이 나타나고 이는 심한 경우 고정대의 안정성에 영향을 주기도 한다. 토크는 정상상태 응답성분이 지배적인 것을 알 수 있는데 이는 정상상태에서 진동의 원인이 된다. 이와같이 현가시스템의 거동과 이로 인해 고정대가 받는 힘 및 토크를 예측함으로써 회전체 및 지지체로 이루어진 현가시스템의 설계 등에 데이터를 제공할 수 있게 된다.

(4) Suspension bar의 설치각도 변경에 따른 특성
Suspension bar의 설치각도를 증감시킬 경우 Fig.

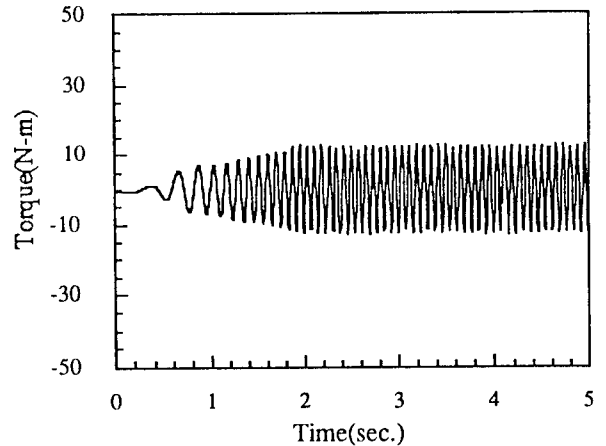


Fig. 9 기본 설계변수의 경우 고정대로 전달되는 수평 방향의 토크

10에 나타나 있듯이 설치각도를 증가시키면 지지체의 상단 및 하단의 변위는 거의 변화하지 않는 것을 알 수 있다. 그리고 고정대에 전달되는 수평방향의 토크는 설치각도를 증가시키면 감소하는 경향을 보여주지만, 수평방향의 힘은 증가하는 경향을 보여준다. 여기서, 수평방향 힘 성분의 현저한 증가 및 감소는 설치각도(θ)의 Sine값에 따라 그 값의 크기가 결정되기 때문이다.

(5) Suspension bar의 감쇠비 변경에 따른 특성

Suspension bar의 감쇠비를 기본 설계변수의 경우보다 25,50%씩 증감시켜 보았을 때 Fig. 11에 나타난 바와 같이 감쇠비를 증가 혹은 감소시키면 지지체의 상단 및 하단의 변위는 거의 변화하지 않는 것을 알 수 있다. 반면 감쇠비를 증가시키면 고정대에

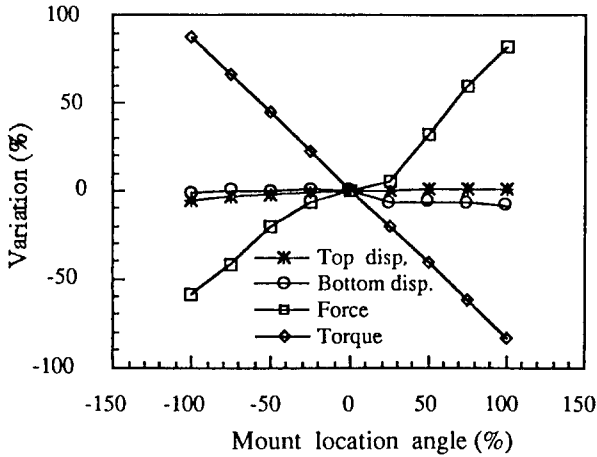


Fig. 10 Suspension bar의 설치각도 변경에 따른 지지체의 거동

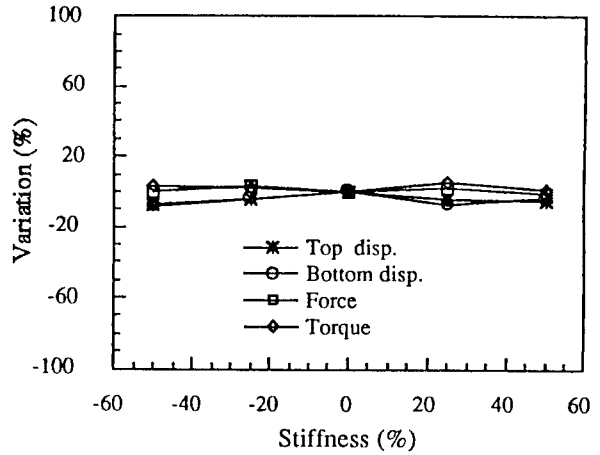


Fig. 12 Suspension bar의 강성계수 변경에 따른 지지체의 거동

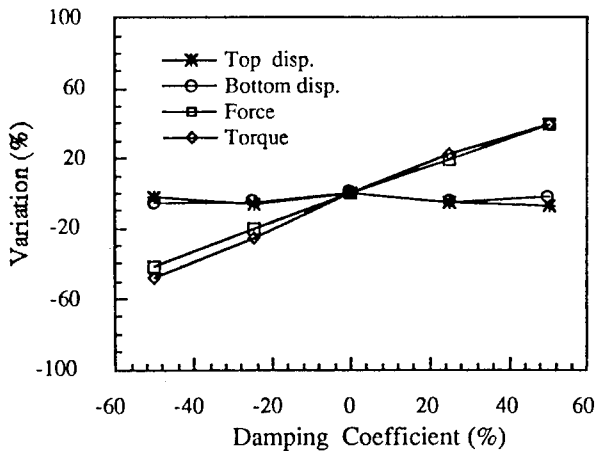


Fig. 11 Suspension bar의 감쇠비 변경에 따른 지지체의 거동

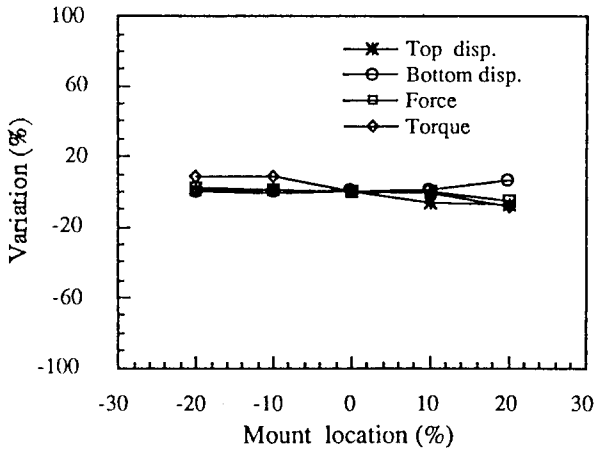


Fig. 13 Suspension bar의 부착위치 변경에 따른 지지체의 거동

전달되는 힘과 토크는 증가하는 경향을 보여준다.

(6) Suspension bar의 강성계수 변경에 따른 특성
 Suspension bar의 강성계수를 기본 설계변수의 경우 보다 25,50%씩 증감시켜 보았을때 Fig. 12에서 볼 수 있듯이 강성계수를 증가시키면 지지체 상단 및 하단의 수평방향의 변위와 고정대에 전달되는 힘과 토크는 거의 변화하지 않는 경향을 보여준다.

(7) Suspension bar의 부착위치 변경에 따른 특성
 Suspension bar의 지지체에의 부착위치를 기본설계변수의 좌표값을 양 혹은 음의 수직방향(Y축)으로 변경하면서 시뮬레이션을 수행하면 Fig. 13과 같이 지지체에의 부착위치를 높이면 지지체 상단의 수평방향 변위는 감소하고 하단의 경우는 미소하게 증

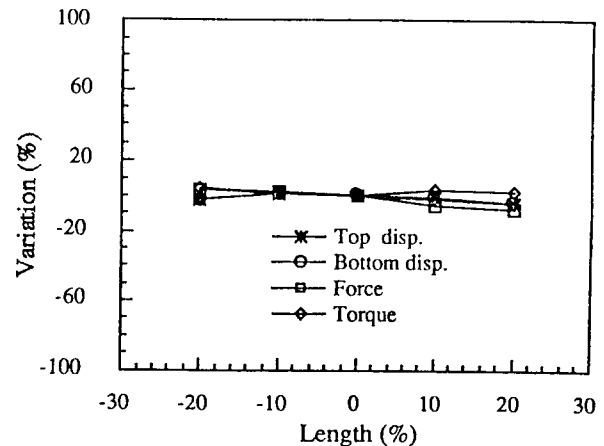


Fig. 14 Suspension bar의 길이 변경에 따른 지지체의 거동

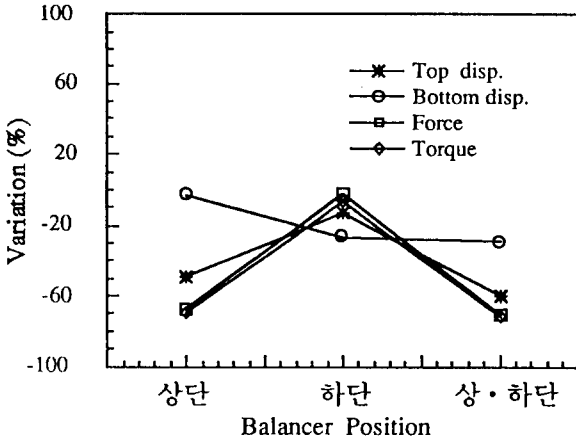


Fig. 15 불균형질량이 회전체의 하단에 위치한 경우 밸런서의 부착위치에 따른 지지체의 거동

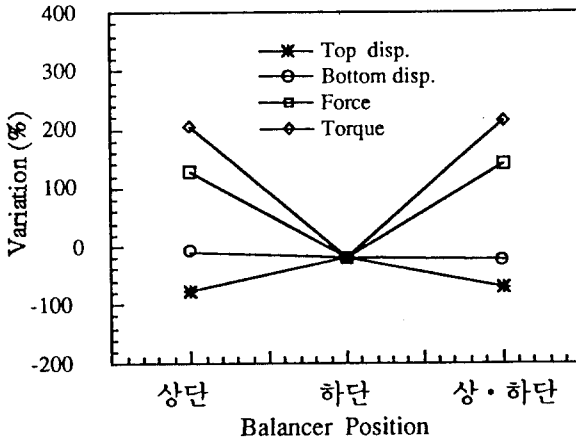


Fig. 16 불균형질량이 회전체의 무게중심축과 같은 높이에 위치한 경우 밸런서의 부착위치에 따른 지지체의 거동

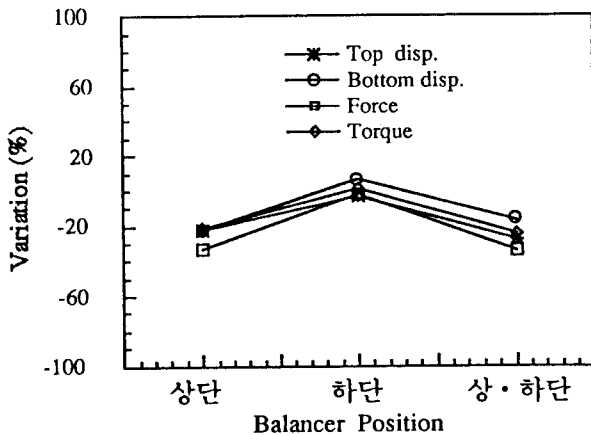


Fig. 17 불균형질량이 회전체의 하단에 위치한 경우 밸런서의 부착위치에 따른 지지체의 거동

가한다. 그리고 고정대에 전달되는 토크는 감소하는 경향을 확인하였다.

(8) Suspension bar의 길이 변경에 따른 특성

Suspension bar의 길이를 10,20%씩 증감시켜 보았다. Fig. 14를 보면 길이를 증가시키면 지지체의 상단 및 하단의 수평방향의 변위와 고정대에 전달되는 힘과 토크는 거의 변화하지 않는다.

(9) 밸런서(balancer)의 부착위치의 변경에 따른 특성

불균형질량의 위치를 Fig. 1의 점 ㉔로 하고, 밸런서의 부착위치를 Fig. 1의 점 ㉕, 점 ㉖, 그리고 두개의 밸런서를 점 ㉕와 ㉖에 동시에 부착하는 방법 등으로 변화시킨 경우와 불균형질량의 위치를 Fig. 1의 점 ㉔로 하고, 밸런서의 부착위치를 Fig. 1의 점 ㉕, 점 ㉖, 그리고 두개의 밸런서를 점 ㉕와 ㉖에 동시에 부착하는 방법 등으로 변화시킨 경우, 그리고 불균형질량의 위치를 Fig. 1의 점 ㉓로 하고, 밸런서의 부착위치를 Fig. 1의 점 ㉕, 점 ㉖, 그리고 두개의 밸런서를 점 ㉕와 ㉖에 동시에 부착하는 방법 등으로 변화시킨 경우 Fig. 15,16,17에 있듯이 불균형질량이 회전체의 하단과, 회전체의 무게중심축과 동일한 위치, 그리고 회전체의 상단에 부착되어 있는 경우 밸런서는 회전체의 상단 혹은 상·하단에 설치하면 지지체 상단 및 하단의 수평방향 변위는 대폭 감소하는 경향을 보이고, 고정대에 전달되는 힘과 토크의 감소경향을 보여준다.

4. 동특성 개선안

설계변수를 변경시킨 경우에 현가시스템의 거동과 suspension bar에 의해 고정대에 전달되는 힘과 토크를 기본 설계변수의 경우와 비교 관찰한 결과를 토대로 다음과 같은 설계 개선안을 고려해 보았다. 첫째는 suspension bar의 감쇠비를 감소시키는 경우

Table 7 기본설계변수값과 개선된 설계변수값

설계변수	구분	기본설계변수	개선된설계변수	비고
Suspension bar의 감쇠비	구분	204.4	102.2	50% 감소
	단위	(N · s/m)	(N · s/m)	
Suspension bar의 부착위치	구분	0.045	0.1887	76.2% 증가
	단위	(m)	(m)	
밸런서의 부착위치	회전체의 상단	회전체의 상·하단	상단에서 상·하단으로 변경	

이고, 둘째는 suspension bar의 지지체의 부착위치를 기본 설계변수의 경우보다 Y축 좌표값을 상승시키는 방법이며, 셋째는 밸런서를 회전체의 상·하단에 부착하는 경우이다. 위의 세가지 경우를 종합하여 기본 설계변수값에 의한 동특성을 개선하는 방향

으로 변경된 설계값으로 선정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 개선된 설계변수값은 Table 7에 실었다.

위의 개선된 설계변수값을 이용해 시뮬레이션하였을 때의 결과는 다음과 같다.

(1) 개선된 설계변수의 경우 현가시스템의 거동

Fig. 18,19 및 Table 8에서 볼 수 있듯이 개선된 시스템의 경우 지지체의 상단과 하단에서의 수평방향과 과도 및 정상상태 변위는 대폭 감소하는 경향을 보인다.

(2) 개선된 설계변수의 경우 고정대로 전달되는 힘과 토크

Fig. 20,21 및 Table 8에 나타나 있는 바와같이 수평방향의 힘 성분 및 토크성분의 감소경향을 관찰할 수 있었다. 고정대에 전달되는 힘과 토크를 감소시

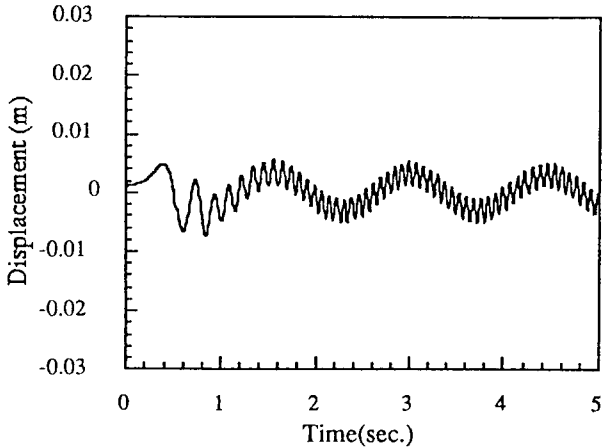


Fig. 18 개선된 설계변수의 경우 지지체 상단의 수평방향 변위

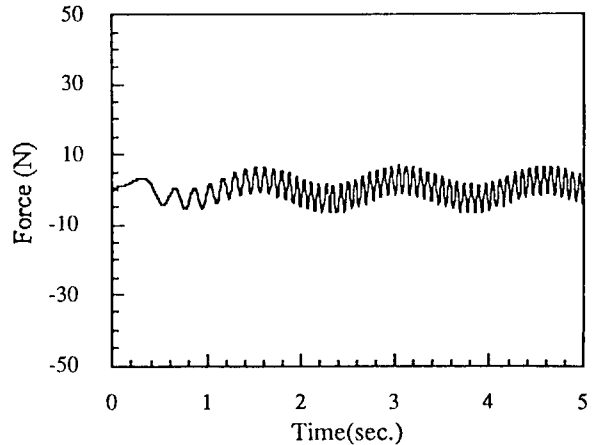


Fig. 20 개선된 설계변수의 경우 고정대로 전달되는 수평방향의 힘

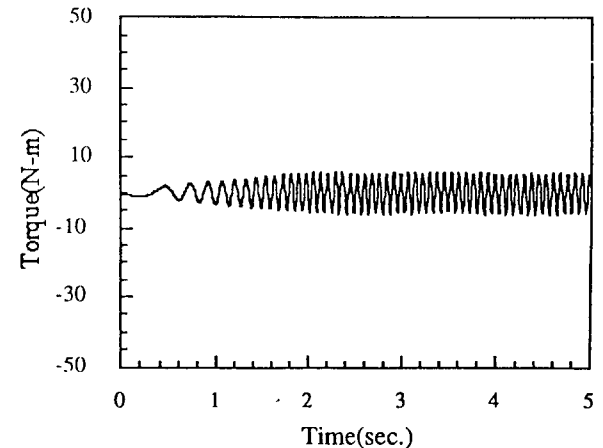


Fig. 21 개선된 설계변수의 경우 고정대로 전달되는 수평방향의 토크

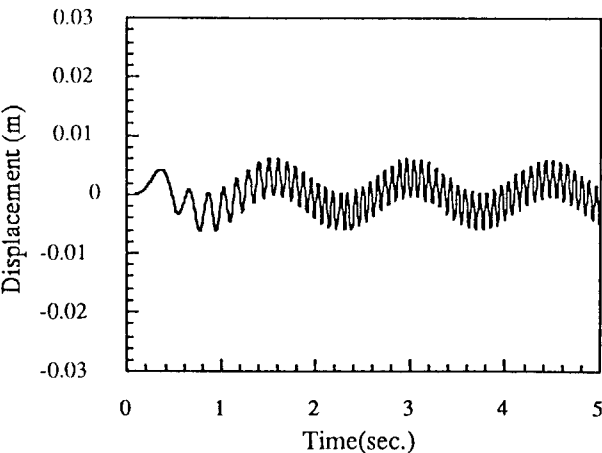


Fig. 19 개선된 설계변수의 경우 지지체 하단의 수평방향 변위

Table 8 기본설계변수와 개선된 설계변수의 비교 (정상상태 응답치 성분 비교)

대상 \ 구분	상단변위 (m)	하단변위 (m)	힘 (N)	토크 (N·m)
기본 설계변수	8.23×10^{-3}	4.59×10^{-3}	5.78	12.70
개선된 설계변수	2.31×10^{-3}	3.36×10^{-3}	4.47	6.14

킴으로써 현가시스템의 구조적 동특성에 의한 진동 요인을 부분적으로 해결할 수 있게 된다.

즉, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 현가시스템의 수평방향 거동과 이로 인해 고정대에 전달되는 힘과 토크를 저감시킬 수 있는 가능성을 확인하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 현가시스템의 진동원인을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 규명하고 이를 통하여 설계 개선책 및 진동 저감대책을 마련하였다. 현가시스템의 구조적 동특성을 해석하기 위하여 각 부품의 부착위치와 물성치등을 설계변수화 하였고, 이를 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하면 현가시스템의 진동변위와 동시에 고정대에 전달되는 힘과 토크를 예측함으로써 고정대의 진동에 영향을 미치는 인자를 조사하였다. 이에 지배적인 영향을 미치는 설계변수를 변화시킴으로써 진동 저감을 고려한 최적설계가 가능함을 확인하였다.

참 고 문 헌

(1) User's Manual for DYMES, EMRC 1990.

(2) J. H. Ginsberg and J. G., "Dynamics", John Wiley & Sons, 1977.

(3) R. F. Steidel, Jr., "An Introduction to Mechanical Vibrations", Second Edition, John Wiley & Sons, 1980.

(4) S. H. Crandal and W. D. Mark, "Random Vibration in Mechanical Systems", Academic Press Inc., 1963.

(5) G. H. Martin, "Kinematics & Dynamics of Machines", McGraw-Hill Book Co., 1982.

(6) A. J. Ward-Smith, "The Fluid Dynamics of Flow in Pipes and Ducts", Oxford Univ. Press, 1980.

(7) W.W.S. Wei, "Time Series Analysis in Univariate and Multivariate Methods", Addison-Wesley Publishing Co., Inc., 1990.

(8) 이종원의 4인, "모우드 解析-理論·測定技術 및 應用", 한국과학기술원 산학협동 공개강좌, 1988.

(9) "세탁기 진동 및 소음 경감", 한국과학기술원 연구 보고서, 1990.

(10) "회전기계용 소음 설계 소프트웨어 개발", 과학기술처 연구보고서, KAITECH-90-1-ST