

세탁기 저진동 저소음에 관한 실험적 연구

° 오상경* , 김중래* , 오병재** , 임성하***

Experimental Study on the Vibration and Noise Reduction of the Washing Machine

° OH, SANG-KYOUNG , KIM, JUNG-RAE , OH, BYUNG-JAE , LIM, SUNG-HA

ABSTRACT

This paper describes the experimental analysis of the vibration and noise reduction for the washing machine of the home appliances.

For the washing machine, the customers always feel electrical and mechanical noise and vibration. First of all, when the dehydration process is working, the washing machine has nonlinear problems and boundary conditions are varied with time. Therefore these problems are very complicated and difficult to analyze.

We verify the sources of the noise and vibration and consider the countermeasure to reduce the noise and vibration level of the washing machine.

1. 서 론

최근 전자 제품 메이커들이 기능적 첨단 기술을 개발하는 데 주력하여온 결과, 기능적인 측면에서는 선진국과 동일 수준의 제품 생산 능력을 갖고 있다. 세탁기를 개발하는 데 있어서 세탁기 기본 기능에 대한 향상은 거의 한계에 도달한 상황이므로, 세탁기의 기본 성능을 향상시키는 연구외에 소비자의 전자동 세탁기에 대한 저진동, 정음화에 관한 욕구가 점차 높아짐에 따라 이에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 세탁기의 진동 소음문제는 세탁, 탈수 기능에서 모두 발생될 수 있다. 특히 탈수시 발생하는 진동은 세탁포의 본포 상태(편심 질량)에 따라 대단히 민감한 응답을 나타내며, 발생한 진동을 저감시키기 위해서는 진동계를 개선하는 방법으로 검토할 수 있지만 실제로는 수동적인 방법으로 제어하기에는 한계가 있기 때문에, 탈수시 회전에 의해 발생하는 원심력에 의한 불균형력(unbalanced force)을 동적으로 흡수하는 액체밸런스(liquid balancer)를 이용하고 있다. 따라서 불균형력을 극복할 수 있는 액체밸런서의 극기력운 세탁기에 있어서 매우 중요한 설계 요소가 된다. 액체 밸런서는 세탁조(spin - basket)가

고유 진동수 이상으로 회전할때 밸런스 안에 들어있는 액체가 불균형력을 유발시키는 편심 질량의 반대 방향에 편심되는 성질을 이용, 불균형력을 흡수하여 진동을 저감시키게 된다. 세탁조가 회전할때 발생된 진동은 현가시스템(suspension system)의 스프링과 현가개를 통하여 세탁기 몸체에 전달되고, 전달된 몸체 진동은 세탁기 다리(adjust leg - frame leg)를 통하여 바닥에 전달된다. 이와 같은 세탁기의 진동 특성은 매우 복잡하고 경계 조건이 다양하게 변하기 때문에 해석이 대단히 어렵다. 또한 소음 문제에 있어서 탈수시 발생하는 소음을 분류해 보면 세탁조의 회전에 의한 소음, 세탁물의 본포 상태에 따른 소음, 모터의 전기적 소음 및 기계적 소음과 기어 소음 등이 있다. 세탁기에서는 이와 같은 소음들이 한데 어우러져 복잡한 특성을 나타내기 때문에 매우 복잡하며, 세탁기 소음의 원인을 정확히 분석하지 않으면 정음화 대책안을 세우기가 어렵다. 특히 세탁기 소음은 저주파대역의 소음 특성이 전체 소음 레벨에 미치는 영향이 크기 때문에 소음의 원인 분석이 핵심 기술이 된다.

본 연구에서는 세탁기의 진동 소음 문제물 주파수

특성을 이용하여 원인 분석을 하고, 저진동 정음화 대책에 관한 실험적 연구 결과에 대해 고찰을 하고자 한다.

2. 세탁기의 진동 문제 검토

세탁기의 진동은 세탁조의 동적 특성과 밀접한 관계를 갖고 있으며, 특히 세탁조 현가 시스템의 설계 파라미터와 액체 밸런서의 역할에 따라 진동 응답이 민감하게 작용하기 때문에 여기서는 액체 밸런서와 현가 시스템의 진동 특성에 대하여 검토해 보고자 한다.

2.1 액체 밸런서의 영향

세탁포의 불균형 분포 상태에 의해 발생하는 불균형력을 동적으로 흡수하는 액체 밸런서의 불균형 상쇄 능력은 세탁기 진동 제어에 우선적으로 가장 중요한 설계 파라미터이다. 전자동 세탁기는 세탁에서부터 탈수까지 모든 행정을 자동적으로 수행하기 때문에 세탁조 안에서 세탁물의 편심이 발생할 경우 세탁조의 진동이 크게 발생하여 과대 진동 현상을 유발하게 된다. 액체 밸런서는 탈수 행정시 편심된 질량에 의하여 무게 중심점이 이동된 양에 따라 액체 밸런서안에 들어 있는 소금물의 적당량이 이동함으로써 편심 질량의 반대 방향에 액체가 이동하여 편심 질량에 의해 발생하는 원심력을 상쇄시켜 줌으로써 진동을 저감시킬 수 있다. 이때 액체 밸런서 안에 액체의 동작을 적절히 억제하기 위한 수 개의 리브(rib)가 형성되어 있고 세탁조가 회전함에 따라 액체가 원심력을 받아 회전수가 3 - 5Hz에 도달하게 되면 FIG.1과 같이 액체 밸런서 내부에 수직 원통 액면의 액체 띠(liquid-band)가 형성된다. 세탁조안에 편심 질량이 발생하게 되면

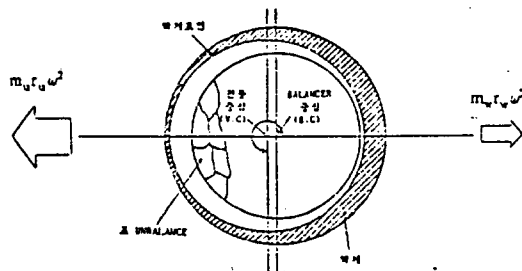


Fig.1 회전 중의 세탁포와 액체와의 관계

액체밸런서 중심 (B.C)에서 임의의 거리에 위치한 진동중심 (V.C)으로 회전 중심이 이동되어 회전운동을 한다.(FIG.1 참조) 이때 편심질량에 의해 발생된 원심력과 액체밸런서에 의해 형성된 상쇄력을 표현하면 다음과 같다.

$$m_u r_u \omega^2 = m_w r_w \omega^2 \quad (1)$$

이때 가진 주파수 ω 는 세탁조의 고유 진동수 ω_n 보다 클 때이다.

FIG.2 는 현가 시스템의 진동 실험장치 구성도를 제시했고 액체 밸런서안의 소금물 양과 진동과의 관계 및 농도효과에 대한 실험 결과가 FIG.3에 나타나 있다. 세탁기 진동에서 세탁조 안에 편심 질량이 어떠한 형상, 어느 위치에 존재하느냐에 따라서 세탁기가 탈수를 시작하는 기동시와 회전 속도가 정상의 회전수에 도달한 상태의 정상 상태 및 탈수 과정이 끝나는 정지시의 세탁조 상하 및 좌우 진동에 대한 등 진동 곡선 (equi-vibration contour)을 FIG. 4 와 FIG. 5에 각각 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 편심 질량이 클수록 진동이 크고, 편심 질량이 세탁조의 상부에 위치할수록 진동이 크며, 현가 시스템의 상하 진동보다 반경 방향으로의 진동이 크게 작용되고 있음을 알 수 있다. 또한 편심 질량이 세탁조의 상단부에 위치할수록 기동시와 정지시에 상단부 진동 폭이 큼을 알 수 있다. 그리고 액체 밸런서의 높이에 따른 세탁조의 진동 측정 결과를 FIG. 6에 나타내었으며, 액체 밸런서의 개선 전과 개선 후의 시간변화에 따른 진동 현상의 변화를 FIG. 7 과 FIG. 8 에 각각 보이고 있다. 또한 FIG. 9에 도시된 액체 밸런서 안에 있는 리브(rib)의 형상에 따른 현가 시스템의 진동 측정 결과는 FIG. 10 과 같다.

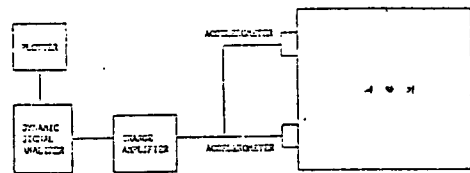


Fig.2 실험 장치

2.2 현가 스프링 계

세탁기 탈수 진동 현상에 가장 중요한 부품인 현가 스프링 계에서 스프링과 댐퍼 역할을 함께 할 수 있는 현가 시스템에 대하여 개폐 계의 진동 제어력을 유도 할 수 있는 구조(air damper)의 히스테리시스 댐핑 력의 영향에 대하여 관찰하였다. 이와같은 현가 시스템은 세탁기의 과대 진동을 저감시킬 수 있는 구조로서 탈수시 진동 현상과 히스테리시스 감쇄력을 측정할 결과를 FIG. 11에 나타내었다. 또한 FIG. 12는 고무롤 이용하여 내부에 압축 공기를 밀봉시킨 공기 스프링의 진동 특성에 관한 실험 결과이다.

2.3 세탁기 다리

세탁기의 진동 현상은 크게 2 가지로 구분된다. 첫째, 세탁 탈수시 정상적인 운전 중일때 발생하는 진동과 둘째, 세탁포의 불균형 상태에 의한 세탁기의 과대 진동 현상이다. 일반적으로 세탁시 진동 소음보다 탈수시의 진동 소음이 더욱 심각하기 때문에 탈수시의 진동을 제어하여 몸체 진동 저감과 바닥 진동 전달을 저감시키기 위하여 세탁기 다리와 고무 경도와의 관계에 대해 실험한 결과를 TABLE 1 에 보이고, 고무 경도에 따른 탈수시 진동 현상을 FIG. 13에 나타내었다.

3. 세탁기의 소음 문제 검토

세탁기 소음 문제는 세탁시 발생하는 기어 소음과 탈수시 발생하는 세탁조 회전예 의한 소음, 세탁포 불균형에 의해 발생하는 소음, 모터의 전기적, 기계적 소음 등이 있다. 세탁기를 운전할 때에는 이와같은 소음들이 한데 어우러져 한 음장을 이루고, 특히 세탁기의 진동이 비선형 진동 특성을 갖고 있기 때문에 소음 특성 또한 매우 복잡하다.

3.1 모터의 기계적 소음 검토

세탁기의 탈수시에 발생하는 소음은 모터 전동음인 60 Hz의 2 배수 주파수 특성을 포함해서 저주파 영역의 소음 주파수 특성을 나타낸다. 그러므로 세탁조가 심부하일 때 현가 시스템에 매달린 외곽 구조물

(tub)의 진동 크기에 따라 소음 발생 정도 차이가 일치하는 특성을 갖고 있다. 세탁기에서 발생하는 저주파 영역의 울림소리 근원을 검토해보면, 세탁기 내부의 상,하부 편심 질량 본포가 서로 180 도 위상 차이가 있을 때와 위상이 0 도인 경우의 터브 상하 진동현상과 공진음의 시간변화 특성은 각각 FIG.14 , FIG. 15와 같고, 편심 질량의 위상이 서로 180도 차이가 있는 경우에 대해서 모터 축의 스트로우크 (shaft end play)가 존재할 경우와 존재하지 않는 경우, 터브의 변위와 모터 축 변위를 측정하면 각각 FIG. 16과 FIG. 17에서 보는 바와 같다. 이들 상호관계를 검토해보면, 터브 하단부에 설치되어 있는 모터는 터브의 진동형과 동일 강체 운동을 하지 않고 터브가 위로 올라가면 모터 축은 아래 방향으로 진동하면서 모터 베어링에 충격을 가하고 이때 발생된 충격 진동이 터브를 가진해서 터브의 고체 전달음 (structure born noise)에 의해 울림소리가 발생됨을 알 수 있다. 이와같은 경우 모터 축 스트로우크가 1.5 mm, 0.5 mm 및 0 mm일 때에 소음 주파수 특성과 소음 레벨에 관한 실험 측정 결과는 FIG. 18과 FIG. 19에 각각 나타나 있다.

3.2 모터 설치 조건

전자동 세탁기의 구동 방식은 V 벨트 구동 방법을 채택하고 있다. 따라서 기어 상자(shaft assembly) 축과 모터 축과의 축간 거리 변화에 따른 진동이 소음을 유발하고 있다. 따라서 모터 설치대에서 고체 전달음이 발생하는 현상을 방지하기 위해서는 모터의 진동이 터브에 전달되지 않도록 진동 절연을 해야 한다. 그러므로 고무 절연층을 사용하면 절연층을 통하여 진동을 흡수하는 잇점을 얻을 수 있으나 강성이 약해지는 단점이 있다. 절연 고무의 경도에 따른 모터와 설치계의 진동 모우드를 TABLE 2에 나타내었고, 고무 절연 설치계의 주파수 응답 함수 (frequency response function)를 FIG. 20에 보이고 있으며, 이때의 소음 주파수 특성을 FIG. 21에서 볼 수 있다.

3.3 차음판 효과 검토

세탁기에서 발생하는 소음중 세탁시 소음은 모터 전동기음, 기어 소음, 모터 웬 소음(fan noise) 및 물 소리 등으로 구분할 수 있으며, 탈수 소음은 터브 울림 소음과 세탁조가 회전시 발생하는 바람 소리로 구분할 수 있다. 이때 주파수 특성을 측정해 보면 3000 Hz 이하에서 넓게 분포되어있다. 이와같은 소음을 차단하기 위해서는 세탁기 하단부에 차음판을 설치하여 음이 아래로 방사되는 고주파 소음을 저감시킬 수 있다.

4. 종합 적용 검토

세탁기 진동 소음을 저감시켜 저진동 정음화 세탁기 설계 파라미터를 구하기 위한 대책을 종합적으로 적용 시켜서 누적 실험한 결과, 초기 상태의 탈수시 소음에 비해서 약 9 dB(A) 정도 소음이 감소하였으며, 특히 공기 스프링을 헨가 스프링 계에 적용하면 소음의 약 4.5dB(A) 추가 감소가 가능함을 알 수 있다. (FIG.22 참조)

5. 결론

세탁기 진동 소음 특성에 관하여 실험적으로 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 모터 축의 스트로우크는 크기에 관계없이 헨가 시스템이 회전할 경우 서로 상반되는 상대 운동을 함으로써 진동에 의한 고체 전달음을 유발시킨다.
2. 세탁기 진동 절연 방법은 방진 고무의 경도에 민감하게 나타나며, 공기 스프링의 적절한 고유 진동수를 결정하면 세탁기 진동, 소음을 효과적으로 저감시킬 수 있다.
3. 고주파 특성의 소음은 차음판을 이용하여 밖으로 방사됨을 차단할 수 있다.

참고 문헌

1. 세탁기 진동 소음 개선, 삼성전자 연구 보고서, 1989, pp 1 - 111
2. 세탁기 정음화 요소 개발, 삼성전자 연구 보고서, 1990, pp 1 - 170
3. B.S.Bagepalli, " Dynamic Modeling of Washing Machine Suspension System ", ASME / D, 1937, pp 13 - 18

4. 翼 尚 生, " 全自動洗たく機の振動系とバランス ", 東芝レビュー, 35卷 8號, 1980, pp. 739 - 742

TABLE 1 개선된 LEG의 경도에 따른 진동

MAX./ MIN.	UNIT : mm		
ADJUST LEG FRAME LEG	경도 A	경도 B	경도 C
경도 A	0.68 0.37	0.56 0.44	0.85 0.55
경도 B	0.99 0.32	0.91 0.34	1.17 0.47
경도 C	0.81 0.52	0.62 0.48	0.88 0.73

TABLE 2 MOTOR & MOUNTING 계의 진동 MODE

	UNIT : Hz			
경도 A	87.5	146.3	-	365.0
경도 B	91.3	174.0	201.9	368.0
경도 C	115.0	180.0	221.9	378.1

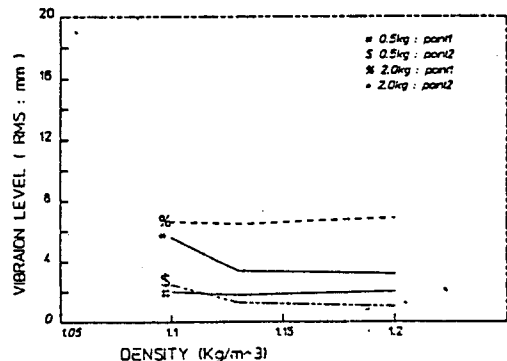
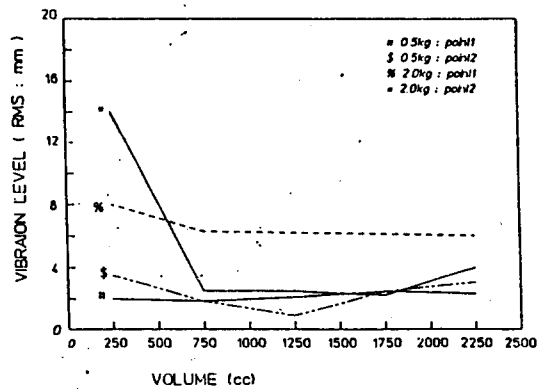


Fig.3 소급물량과 진동관계 및 농도효과

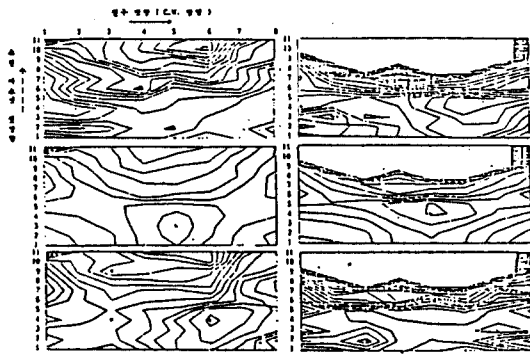


Fig.4 편심질량 위치에 따른 상하 진동의 등진동곡선
(A)Mu=0.5Kg (B)Mu=1.0Kg

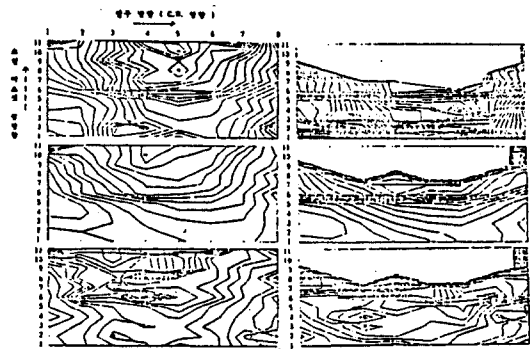


Fig.5 편심질량 위치에 따른 좌우 진동의 등진동곡선
(A)Mu=0.5Kg (B)Mu=1.0Kg

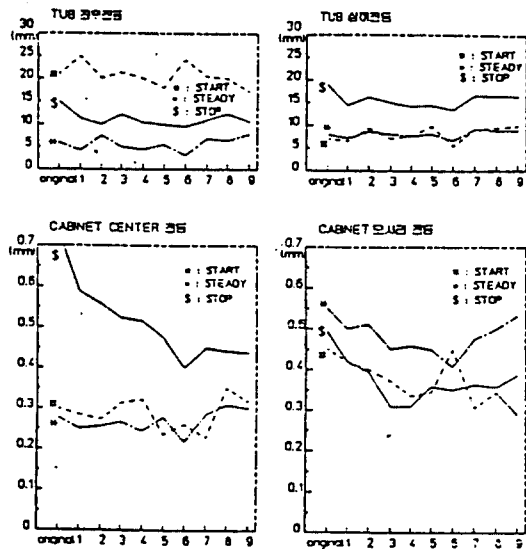


Fig.6 액체 밸란서의 회전수에 따른 진동

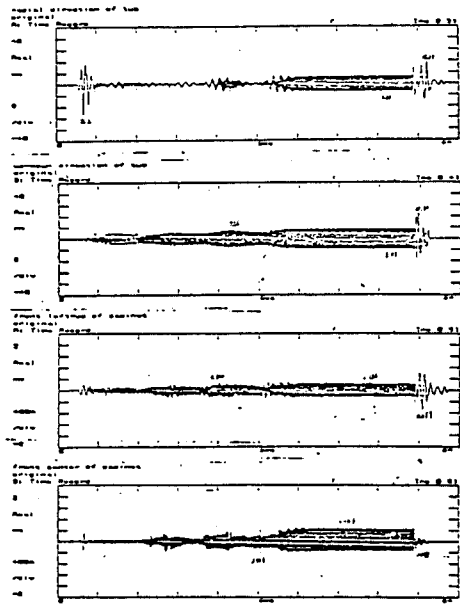


Fig.7 개선전 액체 밸란서의 진동

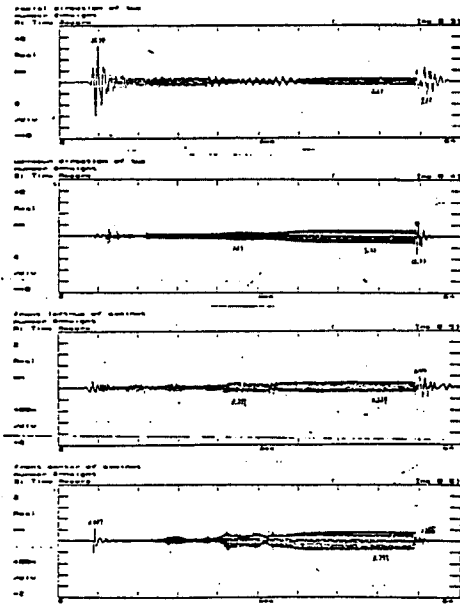


Fig.8 개선후 액체 밸란서의 진동

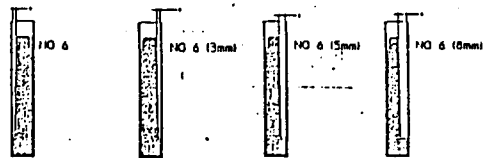


Fig.9 리브의 형상

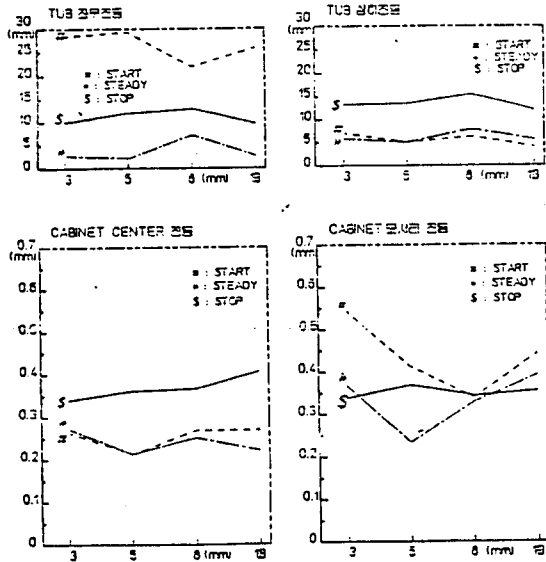


Fig.10 액체 밸런서 리브형태에 따른 진동

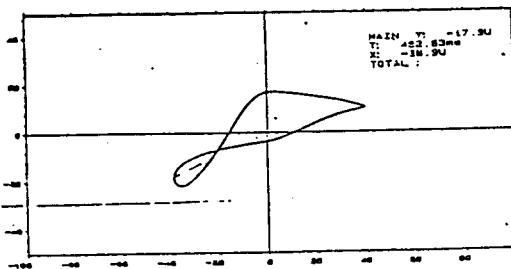
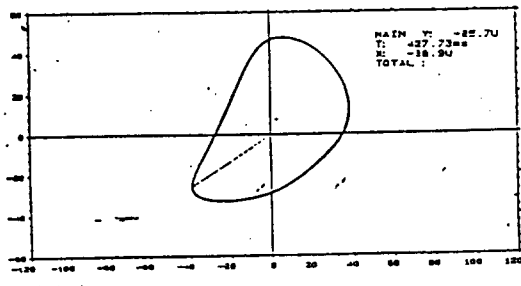
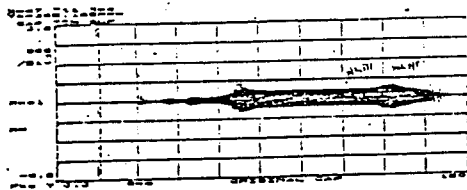


Fig.11 에어 덤퍼의 히스테리시스 댐핑특성

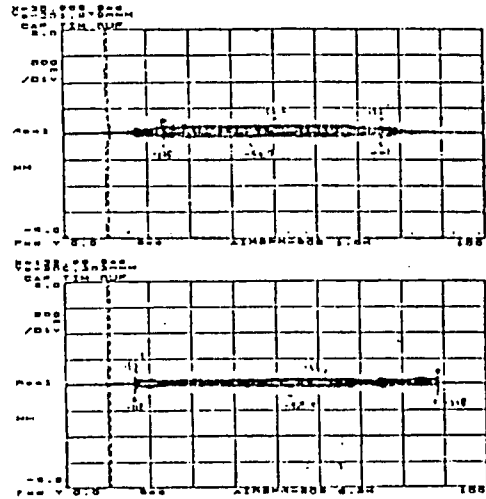


Fig.12 공기 스프링을 이용한 세탁기의 진동

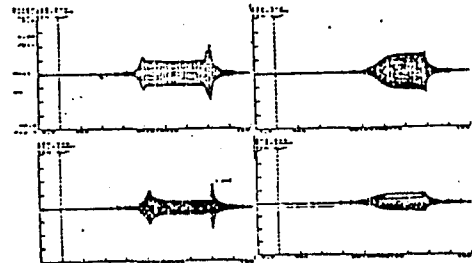


Fig.13 세탁기 다리의 고무재질 및 경도에 따른 세탁기 진동

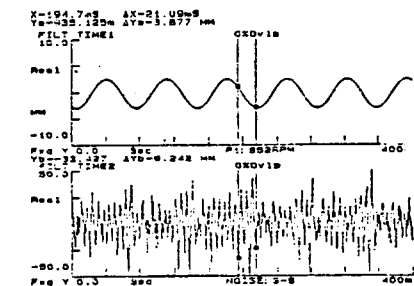


Fig.14 터브의 변위와 공진음 특성(위상 180도)

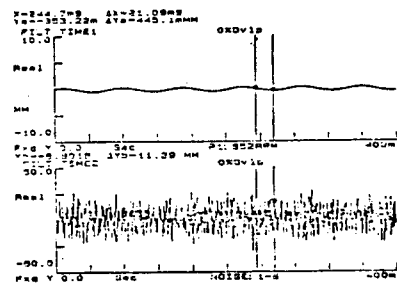


Fig.15 터브의 변위와 공진음 특성(위상 0도)

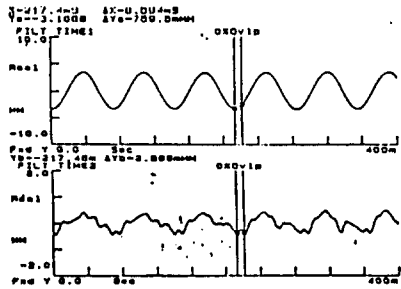


Fig.16 터브의 변위와 모터속의 스트로우크 관계 (S=1.5mm)

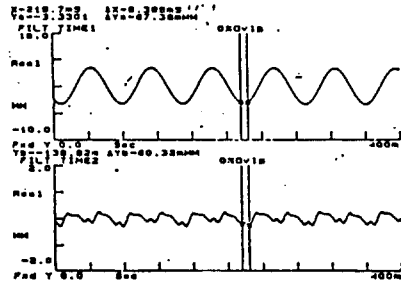


Fig.17 터브의 변위와 모터속의 스트로우크 관계 (S=0mm)

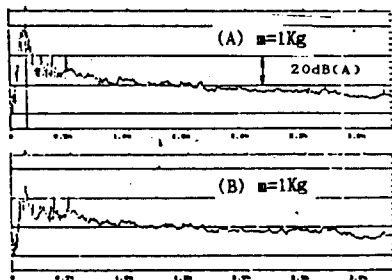


Fig.18 모터 속의 스트로우크 변화에 따른 탈수의 소음 특성 (A:S=1.5mm, B:S=0.0mm)

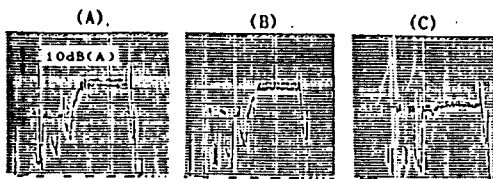


Fig.19 모터속의 스트로크 변화에 따른 세탁기 소음 (A:S=1.5mm, B:S=0.5mm, C:S=0.0mm)

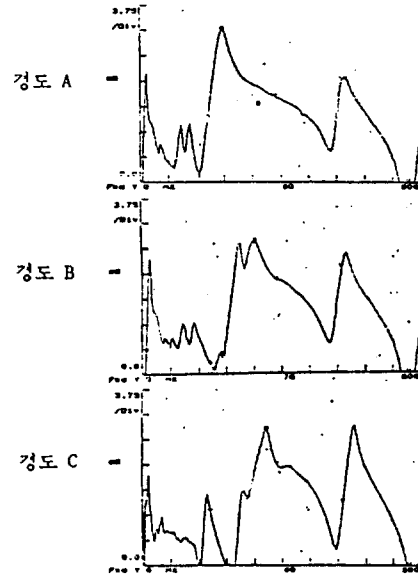


Fig.20 모터와 고무 절연체의 FRF

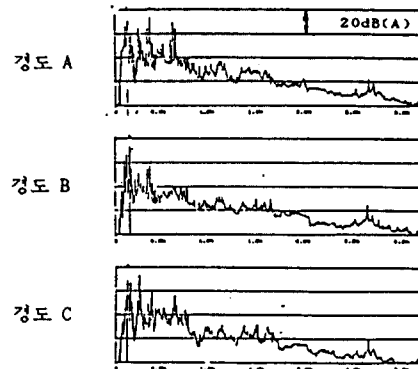


Fig.21 모터절연 고무경도에 따른 소음특성

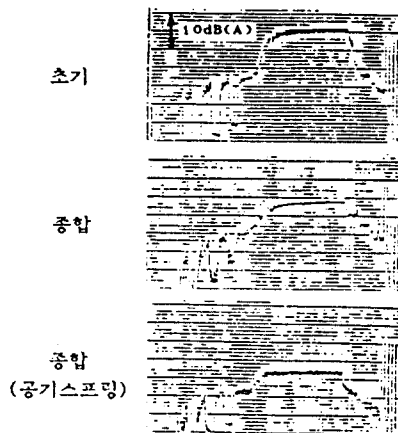


Fig.22 소음 저감 대책 적용한 세탁기 탈수시 소음