

설치면 강성에 따른 드럼세탁기의 동특성 및 설계대책

The Influence of the floor rigidity on front-loading washer installation and its vibrational behavior

위 훈* · 정지덕**

Hoon Wee and J. D. Cheong

Key Words : Washing Machine(세탁기), Floor rigidity(바닥 강성), Rigid Body Mode(강체모드)

ABSTRACT

The vibrational behavior of a front load washing machine is heavily influenced by the floor stiffness on which the washing machine is installed. In case the floor stiffness is extremely low like a wooden floor (we call it a "soft floor, S/F"), it is quite probable that a washer's rigid body mode exists in the operating frequency range. In this case, the outer frame vibration level would be very high, but the mitigation scheme is quite limited except the excitation force abatement by acquisition of the optimal inertia in the internal vibratory system and the diaphragm's stiffness with the minimum force transfer.

1. 서론

가전시장의 고급화 추세에 따라 드럼세탁기의 매출 비중이 증가하고 있으며, 이에 따른 제품의 품위 품질에 대한 소비자의 기대 역시 증대되고 있는 실정이다. 그러나, 드럼세탁기(Front Loading Washer)는 종래의 탑로딩(Top Loading)방식보다 고회전 탈수 운전 등 진동 발생요인이 크며, 구조적으로도 진동 억제 측면에서 상대적으로 기술적 난점이 있는 것으로 알려져 있다.⁽¹⁾

경험적으로 드럼세탁기의 진동특성은 설치 바닥면의 강도에 따라 민감하게 변화하는 경향을 보이고 있으나, 설치 바닥 강성을 포함한 세탁기 진동 문제에 관한 문헌은 찾기 어려운 실정이며, 소수의 문헌에서 내부 진동계 설계에 관한 내용을 다루고 있을 뿐이다.⁽²⁾ 드럼 세탁기 생산 연혁이 비교적 짧은 국내 실정으로서는 지금까지 아파트 가옥구조의 콘크리트 고강도 바닥을 중심한 진동 설계가 주로 이루어져 왔으나, 최근 드럼세탁기의 해외 수출이 증가하는 추세에 맞추어 다양한 해외 가옥 구조에서의 설치 환경을 고려하는 설계의 필요성이 대두되고 있다. 특히 목조 가옥의 비중이 큰 미주 시장에서의 저강도 바닥 설치환경에 대응하는 저진동 설계 기술확보가 시급한 실정이다.

본 내용에서는 기존의 콘크리트 구조로 대표되는 고강도 바닥(Hard Floor, 이하 H/F)과 목조 주택의 저강도 바닥(Soft Floor, 이하 S/F) 설치

환경에서 드럼 세탁기의 진동 특성을 비교분석하고, 진동 측면에서 상대적으로 불리한 저강도 바닥 설치 조건에서도 요구되는 진동 수준을 만족하기 위한 주요 인자의 특성을 고찰하였다.

2. 현상 분석

2.1 세탁기의 강체진동모델

Fig. 1은 세탁기의 물성치와 풋(foot)마운트 강성 및 측정된 강체모드의 공진 주파수를 이용하여 바닥면의 강성을 평가하기 위한 강체 진동모델이다. 평면상의 상하 병진 및 회전 운동을 기술하고, 마운트의 강성은 바닥면의 강성(k_f)과 풋마운트의 강성(k_m)간 직렬 요소로 가정하여 바닥면의 강성(k_b)을 추정하였다. H/F의 강성을 무한대로 가정하였을 경우, S/F 바닥의 강성은 세탁기의 풋마운트와 동일한 오더의 크기를 가진다. 따라서 바닥면 강성이 세탁기의 진동특성에 매우 중요한 인자임을 알 수 있다.

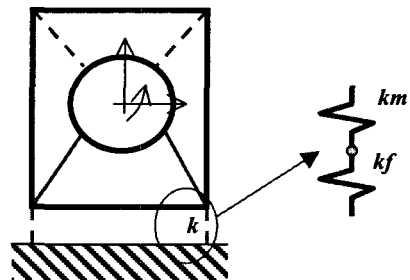


Fig.1 세탁기 강체 진동 모델

* 삼성전자 생활가전연구소
E-mail : hoon.wee@samsung.com
Tel : (031) 218-5058, Fax : (031) 218-5196

** 삼성전자 시스템가전사업부

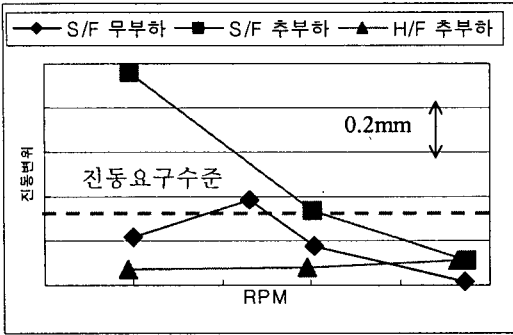


Fig.2 설치면 강성에 따른 진동 수준

2.2 S/F에서의 세탁기 진동 수준

세탁물의 분포에 따라 발생하는 불평형 질량의 회전에 의한 가진력을 모사하기 위하여 회전하는 세탁조 내부에 일정하게 규정된 질량의 추를 부착한 후 세탁기 상단에서의 진동을 측정하였다.

바닥 조건에 따른 진동 수준은 Fig. 2 와 같다. H/F 에서의 진동 수준은 요구수준 대비 매우 양호한 수준이나, S/F 에서의 진동수준은 매우 악화되었으며, 특히 특정 회전수에서의 높은 진동 수준을 보이므로 공진에 의한 것으로 파악된다.

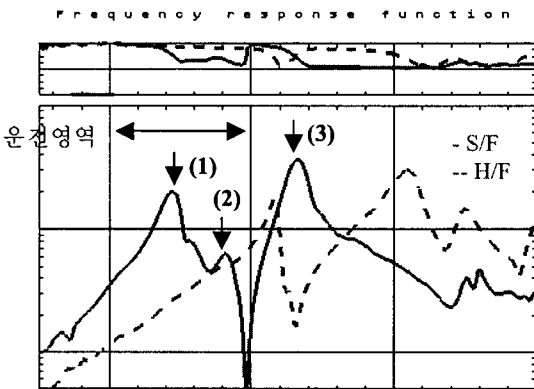


Fig. 3 진동측정점에서의 FRF 특성

2.3 S/F에서의 동특성

S/F 에서의 대상 세탁기의 동특성 파악을 위하여 모달시험을 수행하였으며, 그 결과는 Fig 3.과 같이 탈수 회전 영역 내의 2 개의 공진모드와 근접한 1 개의 공진모드가 존재하며, 각 모드의 거

동을 파악하기 위한 각 모드형상들을 한 개의 측면 케이스 판넬에 대하여 측정하였다.

Fig.4 에 도시한 바와 같이 운전영역 내에서 진동 특성에 가장 큰 영향을 주는 모드는 다음과 같다.



(1) 강체모드 (2) 국소모드 (3) 변형모드
Fig.4 S/F에서의 모드형상

(1) 강체모드 (Rolling Mode)

설치 바닥면 강성과 마운트 강성이 영향인자로서 측정점에서의 좌우방향 진동수준에 지배적인 영향을 미친다.

(2) 판넬 국소 모드

좌우 방향 진동 수준에 영향을 주나 판넬 강성 보강에 의하여 변경이 용이하다.

(3) 변형모드

운전영역에 근접하여 직접적인 영향은 없으나 프레임 강도가 부족함을 시사한다.

(2),(3) 모드는 프레임 강도 보강으로 공진주파수를 운전영역이상으로 이동이 가능하나 (1) 강체모드는 프레임 설계 변경만으로는 한계가 있는 것으로 파악된다.

3. 주요 진동 영향 인자

진동특성 개선을 위하여 각 인자별로 시험을 통한 영향도 평가를 수행하였다. S/F 에서의 외부 케이스(프레임) 진동 특성인자들은 크게 다음과 같은 항목으로 분류가 가능하다.

(1) 가진력 관련

운전주파수 대역에 공진모드가 존재하는 상황에서서는 가진력 자체를 감소시키는 방법으로, 내부 진동계의 진동의 절대 변위에 직접적인 연관이 있는 진동계 관성이다.

(2) 전달력 관련

내부 진동계의 진동은 진동계를 프레임에 지지

하는 현가 스프링 및 하부 댐퍼와 전면의 다이어프램 등이 있으며, 이들 요소의 강성에 의하여 외부 프레임으로 진동계의 진동 에너지가 전달된다.

(3) 프레임 동특성

Fig. 3 과 같이 프레임의 동특성을 결정하는 가장 중요한 요소는 설치 바닥의 강성이나, 이를 제외한 설계인자는 프레임의 강성 및 하부 마운트의 강성이다.

3.1 진동 인자 영향도 평가 시험

(1) 전면 댐퍼의 마찰력 감소

외부 프레임으로 전달되는 진동을 감소하기 위하여 내부 진동계 하부의 댐퍼 마찰력을 25% 감소하였다.

(2) 다이어프램 강성 감소

다이어프램의 두께를 30% 감소하였다.

Fig. 5 는 댐퍼마찰력 및 다이어프램 강성을 감소하여 전달력을 줄인 경우, S/F 에서의 프레임 진동량을 측정된 결과이다. 다이어프램의 영향도가 상대적으로 큼을 알 수 있다.

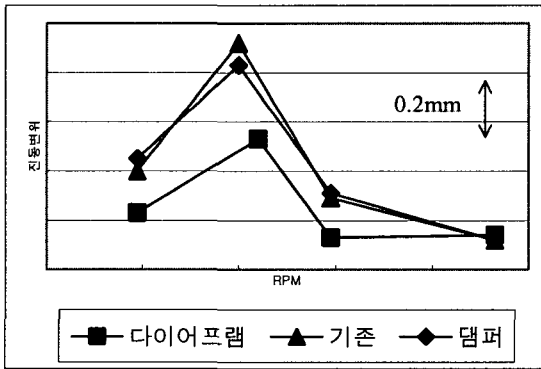


Fig. 5 전달력 감소에 의한 프레임 진동량 변화

(3) 마운트 경도 변경

풋마운트의 경도는 강체모드에 직접적인 영향을 주는 인자이다.

(4) 하부 마운트 프레임 보강

마찬가지로 프레임 하부 판넬의 마운트 취부 부위의 강성을 보강하였다.

Fig. 6 은 풋마운트와 하부 판넬의 보강에 따른 동특성 변화 결과를 보여준다. 마운트 강성의 변화는 강체 모드의 공진 주파수 이동을 가져오나 운전영역 안에서 1~2Hz 정도의 작은 차이만을 보인다.

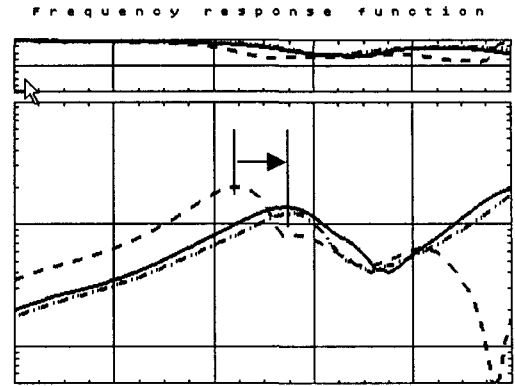


Fig. 6 마운트 강성 보강에 따른 강체모드의 공진주파수 변화

(5) 프레임 두께 변경 및 결합강도 보강

프레임 강판 두께를 25% 증가하고 각 판넬의 결합력을 증대하여 프레임의 구조강도를 증가시키고자 하였다. 그 결과 Fig. 7 과 같이 측면판넬의 국소모드 주파수는 약 10Hz 향상하였으며, 프레임 변형 모드는 사라져서 프레임 강도가 상당히 향상되었음을 알 수 있다. 한편 강체 모드 주파수는 여전히 변함이 없으며, 공진점에서의 크기가 감소한 것을 알 수 있다.

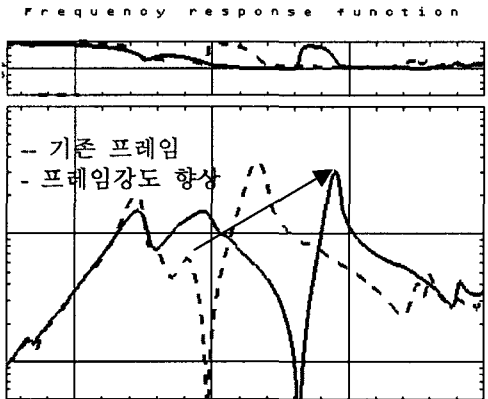


Fig. 7 프레임강도 증가에 따른 동특성 변화

(6) 진동계 관성

일반적으로 세탁조를 포함한 내부 진동계는 불평형 질량에 대한 진동측면에서 강긴성을 유지하기 위하여 통상 평형추(Balancing Weight)를 부착하는 방법으로 일정 이상의 질량을 확보한다. 관성을 증가하는 방법으로써 평형추의 질량을 증가시

켰다. Fig. 8 은 진동계 평형추 질량 60% 증가에 따른 프레임 진동량 감소 (35%) 결과를 보이고 있다.

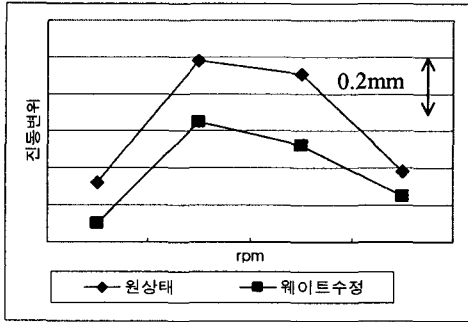


Fig. 8 진동계 관성 증가에 따른 진동량 변화

3.2 각 인자의 영향도 고찰

(1) 가진력 저감

내부 진동계(세탁조 및 평형추)의 진동은 외부 프레임 진동에 직접적인 영향을 미치며 특히 S/F 설치 조건에서 운전 영역 내에 강제모드가 존재하는 경우 공진점에서 가진력을 줄이는 것은 매우 중요하다. 구조적인 측면에서 허용이 불가능한 불평형 질량에 대하여 강건한 운전조건을 확보하기 위해서는 진동계의 관성 또는 질량을 적절하게 확보하는 것이 우선적이다.

(2) 전달력 저감

내부 진동계를 효과적으로 지지하면서 외부 프레임 진동을 억제하기 위하여 적절한 방진 구조를 이루어야 한다. 본문의 결과에서는 댐퍼의 감쇠력 보다는 상대적으로 다이어프램의 강성이 전달력 측면에서 더 영향력 있는 인자임을 나타내고 있다. 따라서 진동 전달력을 최소화 하기 위하여 구조적 안정성의 허용범위 내에서 다이어프램의 유연성을 최대한 확보할 필요가 있다.

(3) 프레임 동특성

S/F 와 같이 설치면의 강성이 충분히 확보되지 않은 조건에서 운전영역내의 공진점이 불가피한 상황이 있다. 그러나 국소변형 모드는 적절한 프레임 강성을 확보함으로써 운전영역 이외로 이동이 가능하다. 또한 강제모드에서도 프레임 강도가 확보되면 국부적인 변형을 방지하여 공진점에서의 진동크기를 감소할 수 있는 결과를 얻었다.

4. 결론

본 연구는 드럼세탁기의 미주 수출이 본격화되면서, 그 설치 조건이 국내와는 다른 유연한 바닥 구조에 대한 드럼세탁기의 진동 저감 연구이다. 드럼세탁기의 진동특성은 설치바닥의 강성에 따라 큰 영향을 받으며, 특히 강성이 작은 S/F의 경우 운전영역 내에 강제진동모드가 발생할 수 있다. 이러한 강제 모드는 바닥 강성을 포함한 세탁기의 마운트 강성의 영향을 받으므로 프레임 설계 변경으로 회피가 매우 어려우며, 마운트 강성 보강에 따른 공진 주파수 이동범위도 매우 작다. 따라서 S/F 설치 조건에서의 진동 저감은 내부 진동계의 가진력 및 전달력의 최소화를 통하여 이루어져야 하며, 이를 구현하기 위하여 내부 진동계 관성 확보를 통하여 진동을 적절한 수준으로 억제하고 다이어프램 등의 부품 강성 최적 설계를 통하여 외부 프레임으로의 진동 전달을 최소화하여야 한다.

참고 문헌

- (1) Conrad, D. C., and Soedel, W., 1995, "On the problem of oscillatory walk of automatic washing machines", *Journal of Sound and Vibration* 188(3), pp. 301-314.
- (2) Turkay, O. S. et al., 1995, "Formulation and Implementation of Parametric Optimization of a washing machine suspension system", 1995, *Mechanical Systems and Signal Processing* 9(4), pp.359 ~ 377.