

고정형 터브를 적용한 드럼세탁기에서의 구동부 진동 저감

Vibration Minimization in Drum-type Washing Machine with Fixed-tub Structure

김근주† · 서현석* · 장재원* · 전시문**
K.J. Kim, H.S. Seo, J.W. Chang and S. Jeon

1. 서론

최근 생활수준의 향상으로 가정 내에서 사용되고 있는 가전제품(home appliance)의 성능에 대한 소비자들의 요구가 과거에 비해 급속하게 다양화되고 고급화되고 있다. 세탁기 역시 세탁성능은 물론 대용량화, 저진동 및 저소음에 대한 소비자들의 기대치가 높아지면서 이에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있는 추세이다.^[1] 특히, 드럼형(drum-type) 세탁기는 세탁물의 손상이 비교적 적고 물 사용량이 교반식(agitator-type)이나 와권식(pulsator-type) 세탁기에 비해 적어 에너지 절감 등에 강점이 있으므로, 우리 나라 뿐만 아니라 전세계적으로 점유율이 확대되고 있는 추세이며 이에 대한 전세계 가전업계의 경쟁이 치열한 상황이다. 한편, 최근 들어 드럼세탁기가 주거공간 내에 설치되는 비율이 늘고 있는 추세인 반면에 주거공간 내에서 세탁기 설치를 위해 필요한 기존 외형비(form factor)는 유지해야 하므로 업계의 세탁용량 확대에 대한 노력에 어려움이 있어왔다. 또한, 주거공간 내에 설치된 세탁기의 탈수행정(dehydration course) 시 진동 문제는 더욱 심각하게 인지되므로 가전업계는 최근 이러한 문제들을 해결하기 위하여 많은 인력과 자원을 투입하고 있다.

본 논문에서는 기존의 이동형 터브(moving-tub)가 적용된 드럼형 세탁기의 세탁용량 한계를 해결하기 위하여 제안된 고정형 터브(fixed-tub)가 적용된 드럼형 세탁기의 구동부 진동 최소화에 대한 연구를 수행하였다. 세탁물에 의한 질량 불균형을 최소화하고자 볼 밸런서(ball balancer)를 설계하고, 볼 밸런서의 안정성(stability)을 보장하기 위한 시스템 강성설계를 해석적/실험적 방법을 통해 수행하였다. 또한 구동부의 진동이 캐비닛을 포함한 지지 구조물로 전달되는 것을 최소화하도록 개스킷(gasket) 강성을 최적화하였다.

† 교신저자 : LG 전자 HA 연구소 워싱시스템그룹
E-mail : keunjoo.kim@lge.com
Tel : (010) 6211-5364, Fax : (02) 6915-1096
* LG 전자 HA 연구소 워싱시스템그룹
** LG 전자 HA 연구소

2. 본론

2.1 고정형 터브를 적용한 드럼세탁기

Fig.1 에는 기존의 이동형 터브 방식을 적용한 드럼세탁기와 본 논문에서 제안된 고정형 터브 방식의 드럼세탁기에 대한 구조 구성도가 간략하게 나타나 있다.

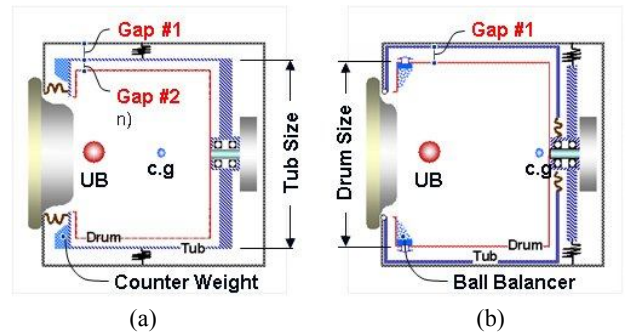


Fig.1 Schematic diagrams for (a) conventional moving-tub (b) proposed fixed-tub washing machine

그림에서와 같이 고정형 터브를 적용할 경우 기존 방식의 드럼세탁기에서 반드시 필요하였던 여유 공간(gap#2)을 제거할 수 있으므로 세탁용량의 확대가 가능하게 되는 것이다. 반면, 기존 방식에서 진동저감을 위해 사용되던 중량물(counter weight)을 제안된 구동부에 적용하는 것이 어렵게 되므로 구동부의 진동을 볼 밸런서나 유체 밸런서와 같은 보조장치를 통해 최소화하는 것이 무엇보다 중요하게 된다.

2.2 볼 밸런서

볼 밸런서는 회전하는 구조물에서 내/외적 요인에 의해 발생할 수 있는 질량 불균형을 상쇄함으로써 대상이 되는 구조물의 진동을 최소화하는 기계장치이다.^[2] 볼 밸런서의 구조는 밸런싱을 위한 다수의 강구(steel ball)와 강구의 이동 경로가 되는 외부 케이스로 구성이 된다. 따라서 볼 밸런서의 밸런싱 용량(capacity)을 결정하는 주요 인자(factor)는 강구의 지름과 개수가 된다. Fig.2 에는 이러한 인자들의 조합을 통해 얻어질 수 있는 이론적인 밸런서의 용량이 나타나 있다.

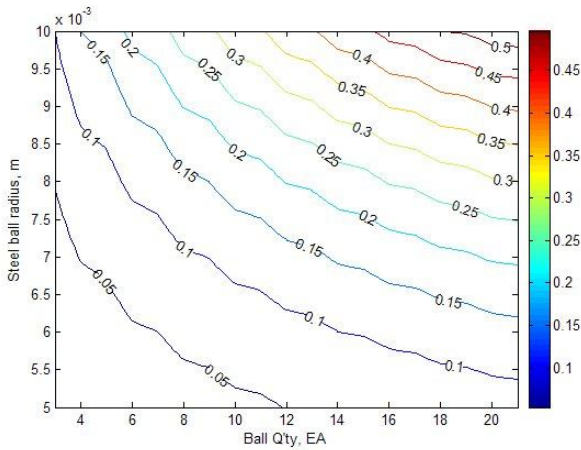
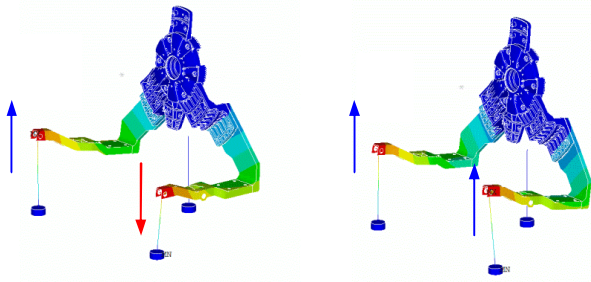


Fig.2 Contour plot for balancing capacity (units in kg)

한편, 볼 밸런서의 경우 구동부의 공진영역을 지나면서 밸런서 내의 강구들이 세탁물에 의한 질량 불균형과 반대 위상(out-of-phase)을 유지하며 불균형력을 상쇄하는 힘을 생성하여 진동을 최소화하게 되는데, 이 때 드럼의 회전속도가 고속으로 증가하게 되면 구동부의 연성모드(flexible mode)에 의한 영향으로 인하여 질량 불균형과의 위상이 다시 일치(in-phase)하여 구동부의 불균형 응답의 크기가 갑자기 급격하게 증가하여 제품 파손 등의 문제가 발생할 수 있다. 이와 같은 밸런서의 불안정성을 막기 위해서는 구동부의 강성을 증가시킬 필요가 있는데 본 연구에서는 Fig.3 과 같이 유한요소해석을 통해 밸런서의 안정성을 보장하고자 하였다.



(a) 1st mode shape (b) 2nd mode shape
Fig.3 Finite element analysis for flexible mode

해석결과를 보면 1 차 연성모드의 공진 주파수가 드럼세탁기의 일반적인 탈수 최고속도에 비해 매우 높은 편으로 밸런서의 안정성을 보장할 수 있다고 하겠다.

2.3 개스킷 강성 설계

본 논문에서 제안한 고정형 터브를 가진 드럼세탁기의 경우 드럼을 포함한 구동부의 진동은 개스킷을 통해 터브와 캐비닛으로 전달되게 되고 결국 제품의 진동으로 나타나게 된다. 따라서 개스킷의 동적 특

성, 특히 강성은 제품 진동에 큰 영향을 미치는 인자라고 할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 이러한 개스킷의 강성에 대한 최적화를 통해 소비자가 느끼는 제품의 진동을 최소화하도록 하였다. Fig.4 에는 설계된 개스킷의 단면과 유한요소해석을 통해 얻어진 개스킷의 변형 형상이 나타나 있다.

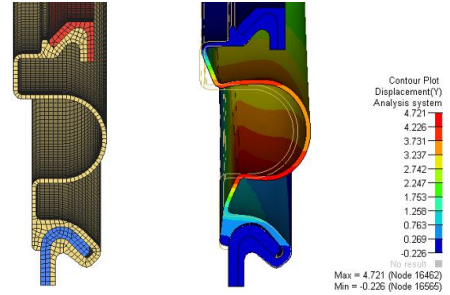


Fig.4 Cross-sectional view of designed gasket and its predicted deformation

이러한 해석을 이용하여 개스킷의 다양한 형상에 대해 변화하는 강성을 예측하고 최적화함으로써 구동부의 진동이 캐비닛으로 전달되는 것을 최소화할 수 있었다.

3. 결론

본 논문에서는 기존의 이동형 터브를 내장한 드럼세탁기의 세탁용량 한계를 해결하고자 제안된 고정형 터브 방식의 드럼세탁기 진동을 최소화하였다. 먼저 세탁물에 의해 발생하는 질량 불균형을 상쇄하여 구동부의 불균형 응답을 최소화할 수 있도록 볼 밸런서를 설계하였으며, 볼 밸런서의 안정성을 보장할 수 있도록 구동부의 강성 보강을 통해 연성모드를 충분히 높게 하였다. 그리고 구동부에 의한 진동이 터브와 캐비닛을 포함한 지지부로 전달되는 것을 절연하고자 개스킷을 설계하고 개스킷 강성에 대한 분석을 통해 최적화를 수행하였다. 이러한 설계 및 해석방법은 고정형 터브를 적용한 다양한 드럼세탁기 모델에 적용될 수 있으며, 체계화된 프로세스를 통해 개발기간을 단축할 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. S. Bae, J.M. Lee, Y.J. Kang, J.S. Kang and J.R. Yun, 2002, "Dynamic Analysis of an Automatic Washing Machine with a Hydraulic Balancer," J. Sound and Vib. 257(1), pp.3-18.
2. J. Chung and D.S. Ro, 1999, "Dynamic Analysis of an Automatic Dynamic Balancer for Rotating Mechanisms," J. Sound and Vib. 228(5), pp.1035-1056.