

## 세탁기 브레이크 밴드소음 고장분석 사례

이재혁, 함선일, 박상득  
삼성전자 CS경영센터 전문기술그룹  
E-mail : jae-hyuk.lee@samsung.com

### Abstract

세탁기의 Shaft Ass'y는 모터로부터 동력을 전달 받아 세탁 및 탈수행정의 제어 기능을 수행하는 세탁기의 핵심부품으로 사용 중 브레이크 밴드소음을 유발하여 소비자의 불만족 요소로 작용하고 있다. 그러나 드럼과 브레이크 패드의 정확한 마찰소음 현상 규명이 안되어 불량 개선에 많은 어려움이 있다. 이를 해결하고자 소음, 진동, 소재 분석 및 ESPI(Electronic Speckle Pattern Interferometry) 분석을 통해 고장원인을 규명하였다. 특히 ESPI는 비접촉, Full Field 정밀 변형 가시화 장치로 Shaft Ass'y의 동작 중 공진소음 발생 부위를 변형 가시화를 통해 정확하게 찾을 수 있었다. 밴드소음 원인은 브레이크 Lever의 공진에 의해 발생하였고 브레이크 밴드 패드의 접촉면적 불균일로 인한 국부적 마찰력 증대가 소음원으로 작용하였다. 밴드소음의 정확한 고장 메커니즘 규명을 통해 개선안을 도출하여 적용하였고 밴드소음 개선효과를 얻을 수 있었다.

### 1. 서론

전자동 세탁기는 탈수 및 세탁 제어를 위해 Fig. 1에서와 같이 Shaft Ass'y를 이용하고 있다. 탈수 운전 시에는 브레이크가 필요 없지만 세탁 운전 시에는 브레이크를 이용 동작 제어를 수행한다. 이런 전자동 세탁기의 구조로 인해 세탁기 사용 중

드럼과 브레이크 밴드 사이에 마찰이 발생하고 실사용 조건에서 여러 다양한 사용환경 조건 및 제조결함에 의해 비정상적인 마찰소음이 발생한다. 만일 이 소음이 비정상적인 큰 소음으로 발생 시 소비자는 제품에 대한 불만족하게 되고 이로 인해 제품 품질 및 신뢰성이 저하되게 된다. 일반적으로 브레이크 밴드 마찰소음은 발생 환경이 다양하고 오랜 사용 후 발생빈도가 높으므로 고장원인을 파악하여 개선하는데 많은 어려움이 있었다.

본 연구에서는 ESPI 기술을 이용하여 Shaft Ass'y에서 발생하는 브레이크 밴드소음의 원인을 규명하고 소음을 개선하기 위한 방법을 제안하고자 한다.



Fig. 1 Shaft Ass'y

### 2. Double Pulse ESPI 이론

Double Pulse ESPI는 레이저의 간섭성을 이용한 비접촉, Full Field 정밀 변형 측정 장비로 레이저 간섭에 의해 얻어진 Phase Shift Image를 이용하여 변형

을 측정한다. Double Pulse ESPI에서 사용되는 Phase Shift 목적은 간섭계에서 Object Beam과 Reference Beam 사이의 위상차이의 부호화 값을 정확하게 얻는 것으로 다음과 같은 공식에 의해 계산되어 진다.

$$I_{res} = I_{object} + I_{reference} + 2\sqrt{I_{object} \cdot I_{reference}} \cdot \cos(\phi)$$

$I_{res}$  = resulting intensity which can be measured

$I_{object}$  = intensity of the object beam

$I_{reference}$  = intensity of the reference beam

$\phi$  = phase difference between object beam and reference beam

### 3. 실험결과

실험실에서 밴드소음을 검출 분석 가능하도록 Shaft Ass'y 구동 시험장치에 장착한 후 소음, 진동, 변형 측정 및 재료 분석을 통해 고장 메커니즘을 규명하였다.

#### 3.1 소음 측정

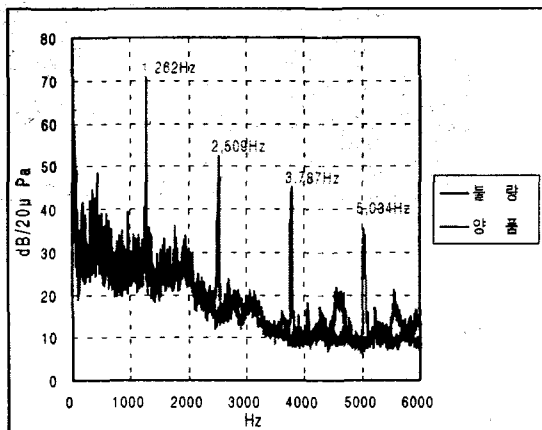


Fig. 2 밴드소음 주파수 분석

밴드소음 재현 시료에 대해 주파수 분석을 한 결과 Fig.2와 같이 1,262Hz에서 공진에 의한 밴드소음 발생하였고 모터 동작 시간, 대기온도, 습도 등의 환경 조건과 측정시료에 따라 주파수가 1,200 ~1,500Hz에서 가변 하는 특성을 나타냈고 소음 크기도 차이가 발생하였다. 이는 마찰원인 밴드패드의 진동 특성이 주위 환경 및 사용조건에 따라 쉽게 변경될 수 있다는 것을 나타낸다.



Fig 3 진동 측정 부위

정확한 Shaft Ass'y의 공진 소음 기여도 분석을 위해 정상시료와 소음시료에 대해 Fig. 3의 5개 부위에 대해 진동을 측정하여 Shaft Ass'y의 어느 부분에서 소음이 크게 발생하는지를 측정하였다. 진동 측정결과 Fig. 3의 1, 2, 5 부위의 진폭이 정상 시료 대비 크게 증가하는 것으로 측정되었다. Fig. 4 측정 결과에서 보면 정상시료에 비해 소음발생 시료의 진동 진폭이 100 배 이상 증가되는 것을 검출하였다. 밴드소음 원인은 브레이크 Lever와 Lever 끝단 공진에 의해 발생하는 과도한 진동에 의한 것으로 확인되었다.

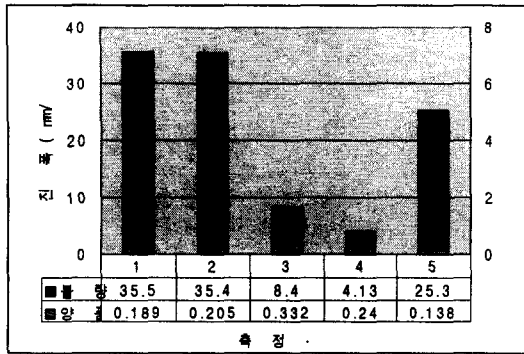


Fig. 4 정상/소음 시료 진동진폭 비교

### 3.2 ESPI 변형 측정

Shaft Ass' y의 정확한 소음원인 분석을 위해 Pulse ESPI를 이용하여 정상시료와 밴드소음 시료의 동작 중 진동을 가시화하여 분석을 실시하였다. 정확한 진동거동 측정을 위해 Fig. 5와 같이 최대 변위 순간을 Trigger하여 진동을 측정하였다.

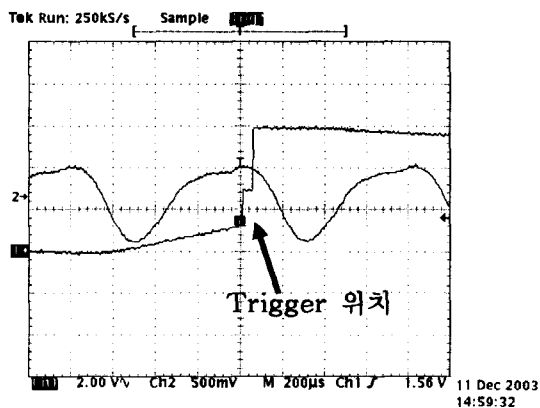


Fig. 5 ESPI Trigger 측정방법

ESPI 측정결과 소음발생이 없는 정상시료의 경우에는 Fig. 6과 같이 변형이 발생하지 않았지만 소음 불량시료는 Fig. 7과 같이 브레이크 Lever 끝단에서 진동이 가장 크게 발생하였고 브레이크 Lever와 브레이크 밴드에도 변형이 발생하는 것을 측정하였다. Shaft Ass' y의 진동 기여도를 보면 Lever 끝단이 가장 큰 것으로 나타났고 다음이 Lever에서 발생하였고 이 결과

는 Fig.3의 LDV(Laser Doppler Vibrometer)를 이용한 진동과 같은 결과를 나타내고 있다. Fig. 4에서 보면 소음시료의 1과 2의 진동 진폭이 거의 비슷한 것으로 나타났는데 ESPI를 이용하여 측정결과 Lever의 뒤틀림 변형에 의한 것으로 확인할 수 있었다. Fig.7의 드럼과 브레이크 패드의 변형을 보면 사선의 뒤틀림 변형을 관찰할 수 있는데 이는 드럼과 브레이크 밴드패드의 마찰력이 불균일 하여 국부적 과도한 마찰력에 의해 발생하는 것으로 판단되며 이것이 소음 Source로 미세한 진동을 유발하고 밴드패드의 특정 주파수가Lever 공진주파수와 일치할 때 공진을 유발하여 밴드소음이 발생하는 것으로 관찰되었다. 진동 및 ESPI 측정을 통해 Shaft Ass' y의 전체적인 공진 거동을 알 수 있었다.

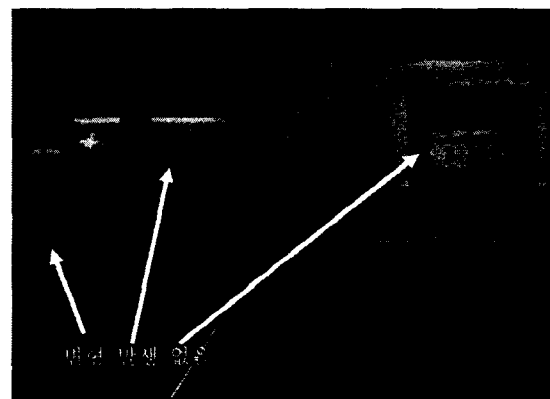


Fig. 6 정상시료 진동 가시화 결과

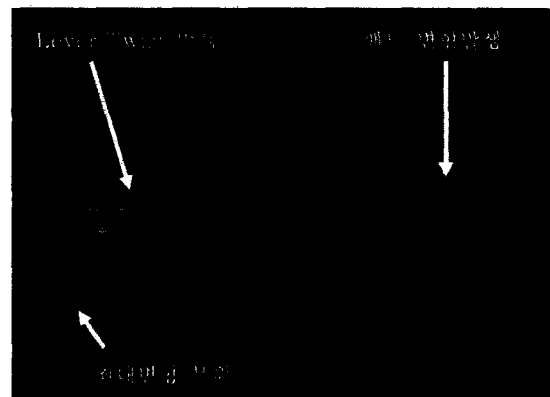


Fig. 7 소음시료 진동 가시화 결과

브레이크 Lever 공진을 유발하는 원인 규명을 위해 Shaft Ass'y 브레이크 밴드패드를 3개 부분으로 나누어서 드럼을 CCW 동작 중 ESPI를 이용한 변형분석을 실시하였다. ( Fig. 7에서 보이는 브레이크 밴드를 우측 면으로 정함) 브레이크 밴드패드의 변형특성 분석결과 Fig. 8의 우측 면과 Fig. 10의 좌측 면에서 브레이크 밴드의 뒤틀림 변형이 크게 발생하였고 Fig. 9의 뒷면은 균일한 좌우 변형이 발생하였다. 특히 좌측면 우측 상단의 뒤틀림 변형이 우측 면에 비해 심하게 발생하는 것을 관찰할 수 있다. 이는 우측 면은 드럼과 접촉이 시작되는 부위고 좌측 면은 드럼과 접촉이 끝나는 부위로 밴드패드 불균일한 마찰력에 의해 쉽게 뒤틀림 변형이 가능하고 뒷면은 드럼과 안정적으로 접촉되어 마찰이 발생하므로 마찰력을 균일하여 변형발생이 적은 것으로 판단된다. 특히 뒤틀림 변형이 가장 큰 좌측면은 드럼과의 마찰이 끝나는 부위로 지속적인 드럼과의 마찰로 온도상승이 발생하고 국부적 마찰력의 과도하게 증가하여 뒤틀림 변형이 큰 것으로 판단된다. 이런 현상이 지속적으로 발생 시 드럼과 패드의 온도상승 및 패드 재질 특성변화에 의한 손상이 발생하고 궁극적으로 소음 유발 Source로 작용한다.

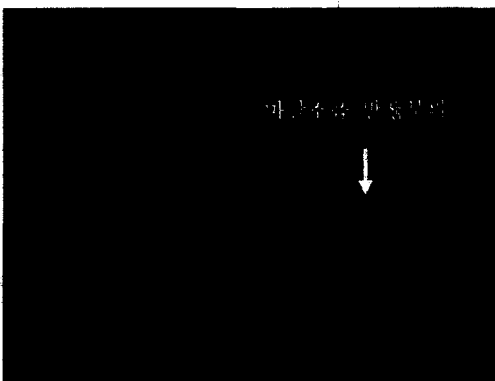


Fig 8 우측면 밴드 변형측정 결과



Fig 9 뒷면 밴드 변형측정 결과

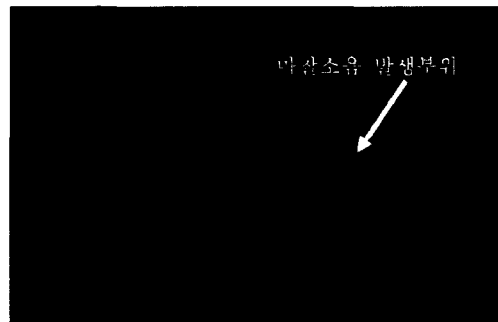


Fig 10 좌측면 밴드 변형측정 결과

### 3.3 재료분석

밴드소음은 밴드패드의 손상에 의한 재질 특성 변화가 Source로 작용하여 브레이크 Lever가 공진을 유발하여 증폭되므로 밴드소음의 정확한 원인분석을 위해서는 밴드패드 재료 특성 분석이 필수적이다. 이를 위해 정상시료와 소음시료의 밴드패드 재료 구조분석을 실시하였다. 재질 표면 구조분석 결과 정상패드 표면은 Fig. 11과 같이 입자상태로 되어 있고 Ti, As, Sr, W, Pb의 마찰재 성분이 검출되었지만 소음발생 시료의 경우에는 Fig. 12와 같이 표면이 탄화 손상되어 매끈하고 패드 표면 Crack이 발생하였고 마찰재 성분이 검출되지 않았다. 이와 같이 소음발생 시료의 브레이크 패드는 지속적인 과도한 국부적 마찰력으로 인해 마찰재 표면 손상으로 특성이 변경되어 밴드소음을 유발하는 Source로 작용하는 것으로 관

찰되었다.



Fig. 11 정상시료 브레이크 패드 표면

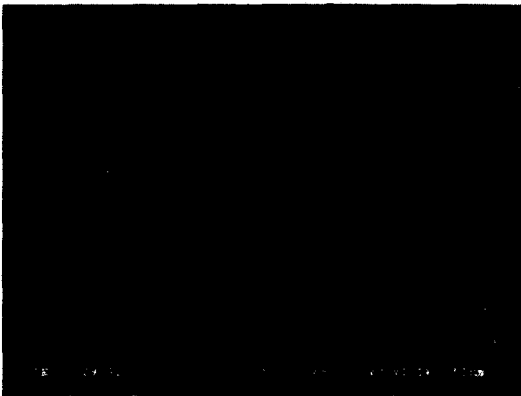


Fig. 12 소음시료 브레이크 패드 표면

#### 4. 결론

Shaft Ass'y 밴드소음은 형상, 재료, 온도, 환경조건 등 여러 인자들이 복합적으로 작용하여 발생하고 재현성도 불균일하여 정확하게 고장원인을 규명하여 개선하는데 많은 어려움이 있었다. 특히, 공진발생 부위인 Lever 형상을 변경하여 공진주파수 변경을 통해 공진을 회피하여 개선하더라도 밴드 마찰 진동 주파수가 1,200~1,500Hz로 광대역이므로 다시 공진이 발생하는 경향이 있다. 그러므로 Lever 공진회피를 통한 개선보다는 소음발생 Source인 브레이크 밴드에서 개선안을 도출하는 것이 효과적이다. 브레이크 밴드소음의 고장 메커니즘은 브레이크 밴드패드의 좌우측면에서 마

찰 면적이 불균일하여 국부적으로 큰 마찰력이 발생하고 이것이 지속적으로 발생 시 밴드패드 마찰재의 영구 손상을 유발하고 손상된 마찰재 부위에서 발생한 미세한 진동이 브레이크 Lever의 공진을 유발하여 소음이 발생하는 것으로 나타났다. Shaft Ass'y의 밴드소음 방지를 위해서는 밴드의 마찰이 균일하게 발생시켜 국부적으로 과도한 마찰력이 발생하지 않도록 하는 것이다. 이를 위해 브레이크 밴드의 형상을 개선하고 과도한 마찰력이 작용하지 않도록 적절하게 브레이크 Torque를 조절하여 밴드소음을 개선할 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] Steinbichler Optotechnik GmbH, Double Pulse ESPI operation manual, 2003
- [2] R. Jones and C. Wykes, Holographic and Speckle Interferometry, Cambridge University Press, London, 1983
- [3] .K. Rastogi, Holographic Interferometry. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1994