

세탁기 탈수 동작 시 불평형 질량에 따른 진동 특성 분석

이대경*, 정지수*, 손정현**,#, 김찬중**, 박진홍***

*부경대학교 스마트로봇융합응용공학과, ** 부경대학교 기계설계공학과, *** (주)LG전자

Vibration Analysis of Washing Machine according to Unbalanced Mass during Dehydration

Dae-Kyung Lee*, Ji-Su Jeong*, Jeong-Hyun Sohn**,#, Chan-Jung Kim**, Jin-Hong Park***

*Dept. of Smart Robot Convergence and Application Engineering, Pukyong National University.,

**Dept. of Mechanical Design Engineering, Pukyong National University.,

***LG Electronics INC.

(Received 27 September 2021; received in revised form 01 November 2021; accepted 04 November 2021)

ABSTRACT

In this study, vibration analysis of washing machine dehydration was carried out using laser sensors. The suspension of the washing machine was attached to a jig developed for this study. In addition, 10 laser sensors were attached to the jig. The channels of each laser sensor are composed of five channels: front, rear, left, right, and upper. Data acquisition equipment was used to obtain sensor data. The measured data were processed using signal processing, and interpolation of the data was performed using MATLAB with robust interpolation. Vibration analysis according to unbalanced mass and sensor attachment points was carried out.

Keywords : Washing Machine(세탁기), Dynamic Behavior(동적거동), Unbalance Mass(불평형 질량), Dehydration(탈수), Vibration Analysis(진동 분석)

1. 서 론

세탁기로 세탁물을 세탁할 때, 탈수 과정이 있게 된다. 탈수가 진행될 때, 세탁물들은 빠른 회전으로 인하여 무작위로 무게가 분포되며, 이는 세탁기의 진동에 영향을 미친다. 탈수 과정이 진행될 시, 세탁기에서는 큰 소음과 주변에 진동으로 인한 떨림이 발생하게 되며, 세탁기의 진동량을

줄이기 위한 여러 가지 연구가 진행되고 있다.

조정수 등^[1]은 유압식 밸런서(Balancer)를 사용하여 최고 부하 세탁기의 진동 특성을 분석하고, 유압 밸런서의 역할을 나타내는 동적 모델을 도입하여 설계 매개 변수를 분석하였다. 손석호^[2] 등은 세탁기의 진동억제역할을 하는 자동 밸런서의 최적의 층 치수와 소금물의 양을 결정하는 연구를 진행하였다. 장진석 등^[3]은 불균형한 액체 질량의 급격한 감소로 탈수 과정 중 세탁기의 진동을 분석하고 진동을 줄일 수 있는 설계 솔루션을 찾는 연구를 진행하였다. 이들 연구에서는 세탁기 거동 시 나타나

Corresponding Author : jhsohn@pknu.ac.kr

Tel: +82-51-629-6166, Fax: +82-51-629-6150

는 구동부 진동량 및 갭(Gap)의 크기를 측정하지 않았다. 진동량 및 갭이 발생하는 원인을 알아보기 위해서는 여러 가지 실험에 따른 분석이 필요하고, 진동량 및 갭의 크기 실측을 위해 레이저 센서를 이용한 세탁기의 거동 계측이 필요하다. 이준재^[4]은 광경로 추적 방식을 이용하여 빔 발생 광학계와 영상 광학계를 설계 및 제작한 뒤 신호처리기와 신호처리 알고리즘을 개발하였다. 장세정 등^[5]은 일차원 CCD(Charged-Coupled Device) 레이저 거리센서를 사용하여 정밀 거리를 측정할 때 Surface 각도에 따라 오차율이 발생함을 증명하고, 오차 보정 방법을 제안함으로써 향후 현장에서 보정식을 유도할 수 있는 이론적 배경을 확립하였다. 김민수^[6] 등은 로터의 회전 정확도 및 진동이 공작물의 품질에 미치는 영향을 연구하였다. 주축 회전체의 언밸런스량을 변수로 하여 언밸런스량과 회전속도의 변화에 따른 공작기계의 진동 특성과 알루미늄 합금 표면 거칠기의 상관관계를 실험적으로 고찰하였다. 해당 연구들은 세탁기 내부의 질량 변화에 따라서 회전 궤도까지는 확인하였지만, 실제 회전체의 진동량을 측정하여 정밀하게 진동특성을 분석하지는 않았다.

본 연구에서는 세탁물의 질량을 고려한 불평형 질량의 크기와 불평형 질량의 부착위치에 따른 구동시험을 수행하여, 이들 조건이 세탁기 구동부 진동량에 미치는 영향을 분석하여 세탁기 탈수과정에서의 진동특성을 분석하고자 한다.

2. 세탁기의 구동부 시스템

2.1 구동부 시스템 구성

세탁기가 구동할 때, 회전과 세탁에 관련된 부품은 크게 5가지로 이루어져 있다. Fig. 1에 나타난 개략도를 참고하면, 상판덮개(Top Cover), 아우터 터브(Outer Tub), 유체밸런서(Fluid Balancer), 이너드럼 (Inner Drum), 서스펜션(Suspension), 모터(Motor)로 이루어져 있다. 유체는 유체밸런서 내에 저장되어 있으며, Fig. 2는 유체가 들어있는 유체 밸런서의 단면을 나타낸 것이다. 유체밸런서는 이너드럼의 상부에 고정되어 있다. 세탁기가 탈수과정을 진행할 때, 베어링의 회전축이 회전을 시작하고, 이와 연결되어있는 이너드럼, 유체밸런서도 함께 회전을 시작

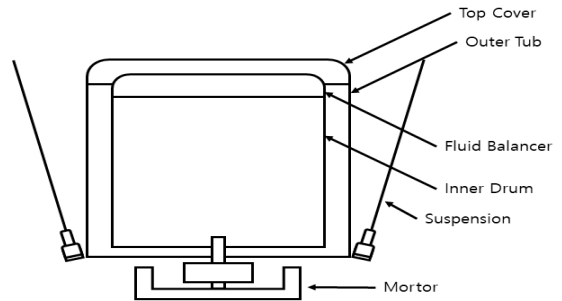


Fig. 1 Washing machine configuration diagram

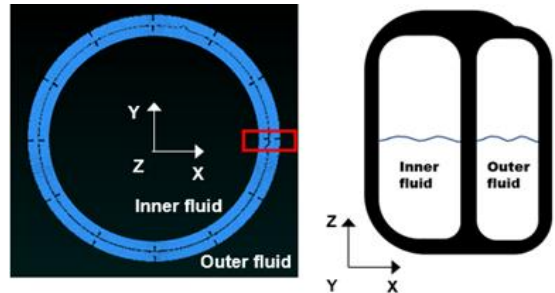


Fig. 2 Fluid balancer sectional view

한다. 회전이 일어나는 부품을 겉에서 감싸고 있는 부품이 아우터 터브, 상판덮개이다. 세탁기 이너드럼의 회전이 일어나면서, 관성에 의하여 아우터터브는 천천히 진동을 시작하게 되며, 이너드럼의 회전속도가 커질수록 아우터 터브의 진동도 점점 커지게 된다. 이러한 진동량의 과도한 증가를 억제하기 위하여 유체 밸런서를 장착하였다.

2.2 측정데이터

본 연구에서는 세탁기 탈수과정에서 세탁물의 불평형 질량과 유체밸런서의 동적거동에 따른 세탁기 구동부의 진동을 분석하고자 시험을 수행하였다. 세탁기 구동부 진동량으로 아우터 터브의 좌우의 변위 크기를 측정하였고, 또한 이너드럼의 변위 크기를 측정하였다. 아우터 터브와 이너드럼 사이의 거리 변화량을 갭으로 정의하였다. Fig. 3에 구동부 진동량과 갭의 크기를 도시하였다. 불평형 질량의 크기 변화, 불평형 질량의 부착 높이 및 각도에 따라 진동량과 갭이 어떻게 영향을 받는지를 분석하였다.

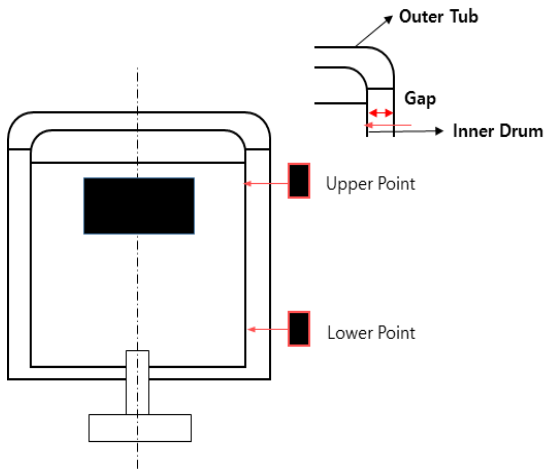


Fig. 3 Magnitude of vibration and gap

3. 구동부 진동시험 조건

3.1 진동 측정용 레이저 센서 지그 제작

본 연구에서는 세탁기 아우터 터브의 진동량을 측정하기 위하여 노면에 고정되는 세탁기 진동 측정용 지그를 설계 및 제작하였다. Fig. 4에서 세탁기 진동용 지그 설치 개략도와 전후, 좌우측 방향을 나타내었다. Fig. 4에서 나타냈듯이, 세탁기를 고정하는 고정용 지그와 세탁기 진동 측정용 지그가 따로 설치되어 있다. 진동량 측정을 위하여 레이저 센서의 고정이 가능하도록 설계가 되었다. 세탁기가 탈수동작을 할 때, 세탁기 고정 지그에 진동이 전달되는데, 레이저 센서가 세탁기 고정 지그의 진동 영향을 받지 않도록 진동량 측정 지그를 설계하였다. 지그에 고정되는 레이저 센서는 레이저의 송신부에서 레이저를 조사하고, 수신부로 레이저가 송신되는 시간에 따라서 거리를 측정하는 방식으로, 아우터 터브와 이너 드럼 사이의 실제 거리를 측정한다. Table 1은 레이저 센서의 정밀도 및 사양 등을 명시한 표이다. 레이저 센서를 이용한 데이터 계측을 위하여 계측장비를 사용하였다. 데이터 측정 시 나타난 노이즈의 제거를 위하여 로버스트 보간법(Robust interpolation)을 사용하여 Gap의 크기를 산출하였다. Gap측정을 위한 측정 시스템 개략도는 Fig. 5와 같다.

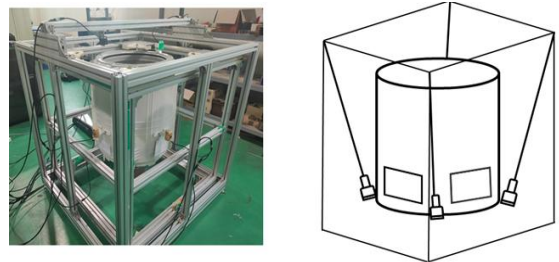


Fig. 4 Experimental setup

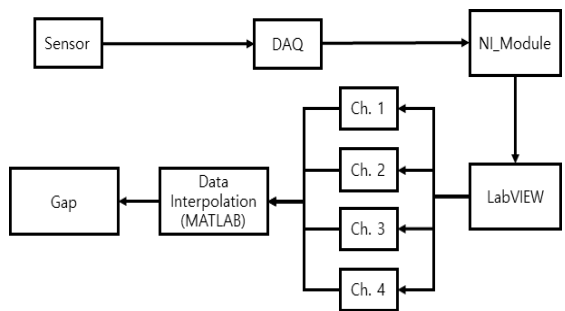


Fig. 5 Schematic diagram of measurement system

Table 1 Laser sensor specification

| | CD22-100VM12 |
|-----------------------------|--------------|
| Center of measurement range | 100mm |
| Measurement range | ±50mm |
| Resolution | 1μm |
| Linearity | 0.1% of F.S. |
| Repeatability | 20μm |

3.2 세탁기 거동 실험 조건

탈수 동작 시, 불평형 세탁물의 질량을 고려하기 위한 고무판 질량을 이너드럼 내부에 부착하였다. 세탁물 질량의 위치를 고려하기 위하여 부착 위치는 상부와 하부로 나누었으며, 상부에서 보았을 때, 세 가지 각도로 부착하였다. Fig. 6에서는 UB(Unbalance Block)의 위치를 θ 로 표시하여 나타내었다. 각도의 위치는 이너드럼에서 180°로 위치해 있는 두 개의 알루미늄 필터 중 용접(Weld)되어 있는 필터의 위치를 기준으로 Case A, B, C로 나타내었으며, Case A는 42°, Case B는 140°, Case C는 270°의 위치에 불평형 질량을 부착하였다.

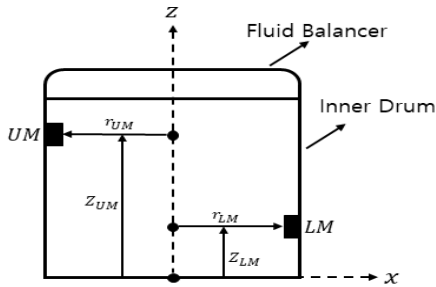


Fig. 6 Mass attachment height

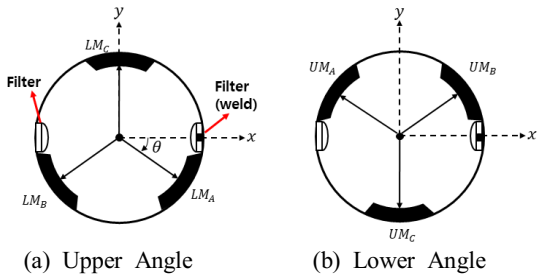


Fig. 7 Mass attachment angle

Table 2 Test conditions

| | Unbalance mass(g) | Attach placement |
|-------|-------------------|------------------|
| Upper | 200, 400 | A, B, C |
| Lower | 800, 1200 | A, B, C |

상부 질량의 부착위치는 하부질량 부착위치의 대각선 상부에 부착하였다. 상부 질량은 UM(Upper Mass)으로 표현하였고, 하부 질량은 LM(Lower Mass)으로 표현하였다. 위치에 따라 LM_A, LM_B, LM_C, UB_A, UB_B, UB_C로 나타내었다. 일반적으로 가벼운 세탁물은 상부, 무거운 세탁물은 하부에 치우치게 되므로 상부에는 200g, 400g의 질량을 부착하였으며 하부에는 800g, 1200g을 부착하였다. 세탁기 구동부 회전속도는 950rpm으로 설정하였다. 불평형 질량의 이너드럼 내 부착 높이는 Fig. 6에 나타내었고, 이너드럼 내 부착 각도는 이너드럼의 필터 위치를 기준으로 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7(a)는 하부 질량 부착 위치를, Fig. 7(b)는 상부 질량 부착 위치를 나타내었다. 자세한 시험 조건은 정리하여 Table. 2에 나타내었다.

4. 구동부 진동 시험

3.2에서 기술한 실험조건에 맞추어 구동부 진동 시험을 수행하였다. 데이터의 신뢰를 위해서 모든 시험은 3회를 시행하였고, 평균값을 정리하여 분석하였다. 세탁기의 거동 시, 정상응답상태에서의 데이터 측정을 위하여 세탁기 거동 70초 이후부터의 데이터를 측정하였으며, 다양한 질량 및 위치에서의 진동특성 분석을 위하여 무부하 상태 및 불평형 질량에 따른 진동특성을 각기 분석하였다.

4.1 무부하 상태의 진동특성

Fig. 8(a)는 세탁기에 불평형 질량이 고려되지 않았을 때의 탈수 거동 초기 동적 응답을 정면 레이저 센서에서 살펴본 것이며, Fig. 8(b)는 전방 하부 센서의 변위를 X축, 좌측 하부 센서의 변위를 Y축으로 설정하고, 이를 표현한 것이다. 해당 그래프는 세탁기의 경우, 초기 작동 시 세탁물의 무게 측정을 위하여 2~3번 정도의 짧은 거동이 있다. 이러한 특성을 배제하기 위하여, 초기작동이 이 끝난 55초부터의 데이터를 측정하였다. 세탁기 회전운동 시, 정적상태에 있던 유체가 회전을 시작하며, 과도응답 구간에 들어서게 된다. 유체밸런서 내에 존재하는 유체가 회전하기 시작하며 이너드럼과의 공진점에 도달하면 유체와 불평형 질량의 무게 중심이 180°각도로 반대에 위치하게 되며 원심력이 서로 반대로 작용하여 진동을 저감시키는 거동이 일어나게 된다.^[7] 초기 약 15초 정도는 과도응답이 지배적임을 알 수 있으며 상대적으로 진동량이 크게 나타남을 알 수 있다.

그 이후에는 유체 밸런서에 의하여 정상 상태(Steady-state)로 안정되어 가는 것을 볼 수 있다. Fig. 8(b)는 세탁기의 수평면에서의 수평운동 양상을 보인 것이다. x축과 y축의 초기에는 과도응답을 보이고 있으며, 시간이 지남에 따라 정상상태에 이르면 운동궤적이 원을 그리는 것을 확인할 수 있다. 이는 세탁기의 이너드럼이 정상상태에 도달하게 되면 일정한 궤적을 그리며 휠링이 지남에 따라 정상상태에 이르면 운동궤적이 원을 그리는 것을 확인할 수 있다. 이는 세탁기의 이너드럼이 정상상태에 도달하게 되면 일정한 궤적을 그

리며 휘링(Whirling) 운동을 하게 됨을 확인할 수 있다.^[8]

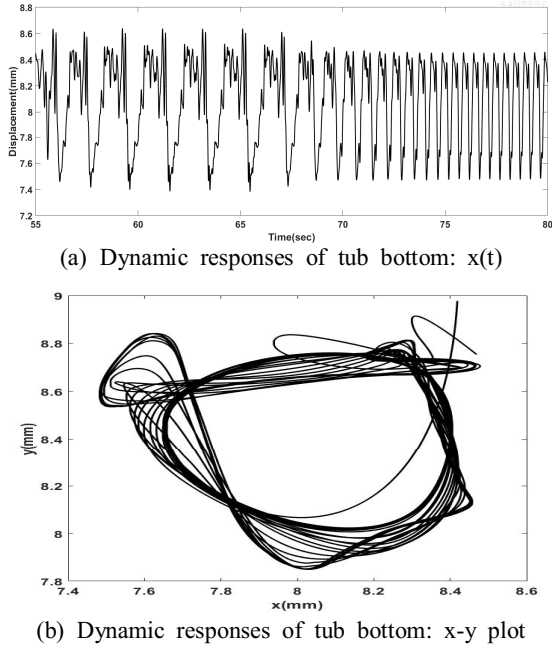
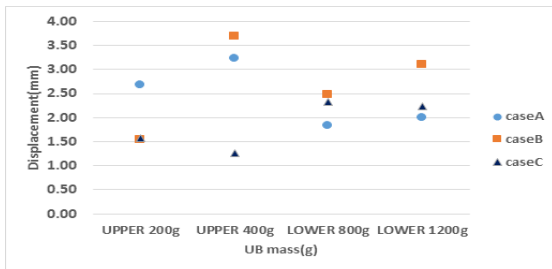


Fig. 8 Dynamic responses of washing machine

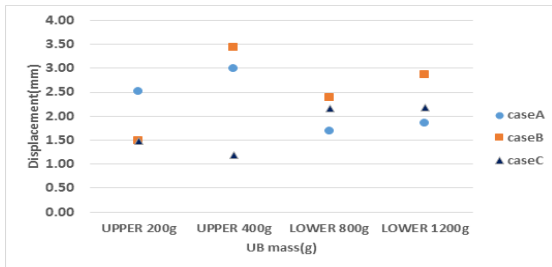
4.2 불평형 질량에 따른 하부진동특성

Fig. 9는 불평형 질량에 따른 하부진동크기를 전후, 좌우방향에 대하여 최대 진동량의 크기를 나타낸 그래프이다. 전후, 좌우의 진동량 크기를 보면, Case A, B, C에 대해서 유사한 경향이 나타남을 확인할 수 있다. 또한, 상부 불평형 질량이 200g에서 400g으로 증가할 때와 하부 불평형 질량이 800g에서 1200g으로 증가할 때, 진동량의 크기가 커지는 것을 확인할 수 있다. 3.2절의 Fig. 6을 보면 상부와 하부에 각각 불평형질량이 부착되게 된다. 이 불평형 질량은 어너드럼에 가해지는 원심력을 증가시켜서 결과적으로 진동량이 증가하게 하는 요인으로 작용한다.

따라서, Fig. 9의 그래프들을 보면, Case A, B는 상부 질량이 증가할 때, 진동의 크기도 함께 증가함을 확인할 수 있다. 이는 Fig. 7을 참고하면, 상부질량의 위치가 필터의 옆에 부착되어 어너드럼의 원심력이 더욱 강하게 걸리게 된다. Case A, B는 이러한 특성에 의하여 질량이 증가하면 진동의 크기도 증가한다. Case C는 Fig. 7의 LM_C , UM_C 와 같이 필터와 필터 사이의 중간에 질량이 위치한다. 불평형질량의 위치가 필터 사이에 위치함에

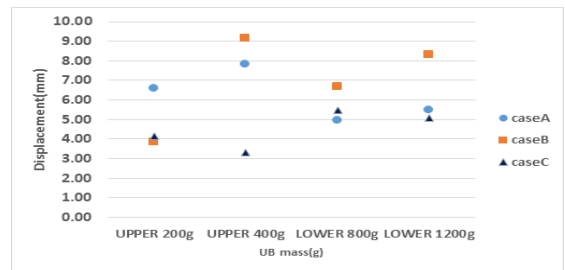


(a) Vibration in the front and back directions

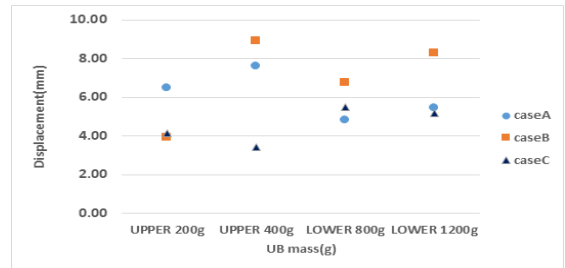


(b) Vibration in the left and right directions

Fig. 9 Vibration at the bottom



(a) Vibration in the front and back directions



(b) Vibration in the left and right directions

Fig. 10 Vibration at the upper point

Table 3 Vibration Specification

| Unbalance Block | Attach Placement | Lower Point Vibration | Upper Point Vibration |
|-----------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| 200g | A, B | Increase | Increase |
| | C | Decrease | Decrease |
| 400g | A, B | Increase | Increase |
| | C | Decrease | Decrease |
| 800g | A, B | Increase | Increase |
| | C | Decrease | Decrease |
| 1200g | A, B | Increase | Increase |
| | C | Decrease | Decrease |

따라 Case A, B에 비하여 불평형 질량이 분산 되게 된다. 이에 따라, 불평형 질량에 의한 원심력을 감소시켜, 불평형 질량은 증가하였으나 진동량은 감소하는 현상이 나타나는 것으로 사료된다. 불평형 질량이 하부에 장착되는 경우, 진동의 크기가 변하기는 하지만 큰 변동이 없는 것으로 나타난다. 세탁기의 질량은 모터가 장착되어있는 이너드럼 하부가 대부분의 질량을 차지한다. 이로 인하여 하부에 장착한 800g, 1200g의 질량으로는 하부 진동량의 변화에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 사료된다.

4.3 불평형 질량에 따른 상부진동특성

불평형 질량의 위치는 4.2절에서 서술한 바와 같이 Case A, B, C에 부착하였으며, Fig. 2에서 UP(Upper Point)에서의 진동크기를 측정하였다. Case A, B에서 상부 불평형 질량이 증가하면, 진동량의 크기도 증가함을 확인할 수 있다. 4.2절에서 서술한바와 같이 필터질량과 불평형 질량이 합쳐져서 이너드럼의 원심력이 증가하여 진동량의 크기가 커지는 것으로 사료되며, Fig. 8(A), (C)와 비슷한 경향을 보이지만 진동 증가량은 더욱 크게 나타나는 것으로 확인되었다. Case C의 경우는 불평형 질량 위치가 필터 사이에 부착됨에 따라 원심력의 감소작용으로 질량이 증가했을 때 진동량은 감소하는 것으로 확인되었다. 하부 불평형 질량을 부착하는 경우, 진동의 크기가 크게 변동이 일어나지 않음이 확인되었다.

5. 결론

본 연구에서는 세탁물의 질량과 위치를 고려하여 다양한 불평형 질량의 크기와 부착위치에 따른 구동시험을 수행하여, 세탁기 구동부 진동량에 미치는 영향을 분석하기 위하여 세탁기 탈수과정에서의 진동특성을 분석하였다.

분석결과를 요약하면, 무부하 상태에서 탈수구동시, 정적상태에 있던 유체가 회전을 시작하며 과도응답구간으로 들어서게 된다. 과도응답구간에서는 유체와 불평형 질량의 원심력이 동일한 방향으로 작용하여 진동량의 크기가 일시적으로 크게 나타난다. 과도응답 구간이 지난 뒤, 정상응답구간에 들어서게 되면 유체와 불평형 질량의 진동이공진점에 도달하게 되고, 유체와 불평형 질량이 180°의 각도로 위치하게 되며 원심력이 각자 반대방향으로 작용한다.⁽⁷⁾ 이러한 진동 특성에 의하여 과도응답구간에서는 일시적으로 진동량의 크기가 정상응답구간에 비해 크게 나타나며 정상응답구간으로 진입함에 따라 점진적으로 진동량의 크기가 작아짐을 알 수 있다. 추가적인 진동 특성 분석을 위하여, 불평형 질량을 이너드럼 내부의 다양한 위치에 부착하여보았다.

이너드럼의 상부에 불평형 질량을 부착하였을 경우, Case A, B에서는 필터의 질량과 불평형 질량이 합쳐짐에 따라 이너드럼의 원심력이 증가한다. 불평형 질량이 증가할수록 원심력도 증가하므로 진동량의 크기는 증가함을 확인할 수 있다. 이너드럼의 하부에 불평형 질량을 부착하였을 경우, 모터가 장착되어 있는 이너드럼 하부가 대부분의 질량을 차지하므로 하부에 불평형 질량 800g, 1200g은 진동량이 감소하는 경향을 보이는 하지만, 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 확인하였다. Table 3은 질량 및 부착위치 조건에 따른 진동분석을 나타낸 것이다. 상부 포인트의 진동특성과 하부 포인트의 진동특성을 함께 타내었으며, A, B위치는 무게가 증가함에 따라 진동량도 증가하였으며, C위치는 무게가 증가함에 따라 진동량이 감소함을 확인하였다.

후 기

“이 논문은 2020년도 LG전자 산학과제 연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

REFERENCES

1. Cho, J. S. and Jeong, H. Y., Kong, K. C., “Analysis of Dynamic Model of a Top-Loading Laundry Machine with a Hydraulic Balancer,” International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 15, No. 8, pp. 1615-1623, 2014.
2. Son, S. H. and Lee, S. B., Choi, D. H., “Experiment-Based Design Optimization of a Washing Machine Liquid Balancer for Vibration Reduction,” International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 13, No. 8, pp. 1433-1438, 2012.
3. Jang, J. S. and Jin, J. H., Jung, H. Y., Park, J. H., Lee, J. W., Yoo, W. S., “Multibody Dynamic Analysis of a Washing Machine with a Rapid Change of Mass during Dehydration,” International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 17, No. 1, pp. 91-97, 2016.
4. Lee, J. J. and Shim, J. C., Jung, K. M., Kwon, K. R., Hwang, S. Y., “Development of Distance Measuring Laser Sensor Using CCD,” KACC 1999, pp. 302-304, 1999.
5. Jang, S. J. and Boo, G. S., Lim, S. H., Lee, S. Y., “Development of a Precision Distance Sensor by Using One-dimensional CCD,” ICCAS 2001, pp. 2,158-2,161, 2001.
6. Kim, M. S. and Kim, J. T., Park, S. W., Jeong, D. U., Choi, S. H., Koo, B. H., Yoon, S. H., “Effect of Unbalance on Vibration and Machining of Al6061 Aluminum Alloy in Precision Rotator,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, , Vol. 20, No. 3, pp. 76-82, 2021.
7. S. Bae, J. M. Lee, Y.J. Kang and J.R. Yun., “Dynamic Analysis of an Automatic Washing Machine with a Hydraulic Balancer,” Journal of Sound and Vibration, Vol 257, NO. 1, pp. 3-18, 2002.
8. Oh, H. J. and Lee, U. S., “Dynamic Modeling and Analysis of the Washing Machine System with an Automatic Balancer,” Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol 28, No. 8, pp. 1212-1220, 2004.