

# 현가형 펄세이터 세탁기와 드럼형 세탁기의 동특성 해석 및 비교 분석

## A Study on the Dynamic Behavior and Comparative Analysis of a Suspension Type Pulsator/Drum Type Washing Machine

최진영\*·이종민\*\*·이주상\*\*·박노철\*\*·박영필\*\*\*

Jin-Young Choi, Jong-Min Lee, Joo-Sang Lee, No-Cheol Park, Young-Pil Park

Key Words : Washing Machine(세탁기), Dynamic Behavior(동적 거동), Vibration Analysis(진동 해석),

### ABSTRACT

Vibration problems are an intrinsic characteristic in a washing machine owing to rotation working mechanism. Therefore, a right comprehension of working principle and the analysis on dynamic behavior of a washing machine is essential to design anti-vibration or vibration reduction. In this paper, we choose two kinds of a washing machine: a suspension type pulsator/drum type washing machine. Each the structure and working principle of a washing machine is discussed briefly and the dynamic behavior of it is investigated, then, the vibration detection problems of transient or excessive vibration is treated in each category. Some vibration experimented results in a washing machine are presented also.

### 기호설명

- $m$ : 세탁기의 총 질량
- $m_u$ : 언발란스 질량
- $r$ : 회전 중심에서 언발란스 질량까지의 거리
- $I_\theta$ : 회전 관성 모멘트
- $l_{up}$ : 운동 중심에서 상부까지의 거리
- $\omega$ : 회전각속도

## 1. 서론

생활가전의 대표 품목의 하나인 세탁기는 작동 원리상 회전을 수반하기 때문에 본질적으로 소음과 진동 문제를 항상 수반하게 된다. 이러한 소음 및 진동은 세탁기의 구조 및 동적 거동에 영향을 받으므로, 세탁기의 구조 및 동적 거동의 올바른 이해는 작동 중 발생하는 소음 및 진동의 예측 및 과도 진동의 검출 그리고 진동 및 소음 저감 방안 등에 대한 중요한 요소가 된다. 따라서 세탁기의 동적인 특징 해석은 매우 중요하며, 간략화 모델링을 통하여 동적인 경향 분석을 행하는 것은 초기 설계 및 개선 방향 등의 설정에 있어 필수적이

다. 현재 사용되는 세탁기는 세탁조(spin basket)의 회전 방향에 따라 수직형(top loading)과 수평형(front loading)으로 구분 되고, 다시 수직형에서 펄세이터(pulsator)형과 에지테이터(agitator)형으로 분류할 수 있다. 현재 시장에서 인기를 끌고 있는 드럼(drum)형 방식은 수평형에 속하게 된다<sup>(1)</sup>.

본 논문에서는 여러 종류의 세탁기 중에서 현재 국내 시장에서 주류를 이루고 있는 현가(suspension)형 펄세이터 세탁기와 드럼형 세탁기에 대한 동역학적 거동 및 진동 특성에 대하여 논하였다. 기존의 많은 연구들이 펄세이터 세탁기나 드럼형 세탁기의 동특성 및 과도 진동 저감을 위한 액체 발란서(liquid balancer)나 불 베어링 발란서 등에 많은 연구들이 행하여 졌지만<sup>(1,2,3,4,5)</sup>, 탈수 시 문제가 되는 과도 진동 검출 방안에 대한 언급은 거의 없었다. 따라서 본 논문에서는 기존 연구와 차별화를 두어 동특성과 관련한 과도 진동의 특징 및 검출방법에 대하여 논하고, 이와 관련하여 현가형 펄세이터 방식의 세탁기에서 실측한 결과 및 과도 진동 검출 방안에 대하여 언급하였다.

## 2. 세탁기의 원리 및 종류

세탁기의 원리는 직관적으로 알 수 있듯이 세탁물과 세제 그리고 물의 혼합물을 모터의 회전에 의한 기계적 방법을 통하여 세탁물로부터 오염물

\*연세대학교 대학원 정보저장공학협동과정

E-mail : mithra@vibcon.yonsei.ac.kr

Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 365-8460

\*\* 연세대학교 대학원 기계공학과

\*\*\* 연세대학교 기계공학부

을 제거하는 방법이다. 세탁기의 형태는 앞서 언급한 바와 같이 크게 3 가지이며 현재 국내 시장의 절대 다수를 차지하고 있는 펄세이터방식과 근래 각광 받고 있는 드럼형, 그리고 마지막으로 주로 구미(歐美)에서 많이 사용되는 에지테이터 방식으로 분류할 수 있다. 각 세탁기는 서로 다른 구동 특징을 지니며 각 특징을 정리하면 다음과 같다. 먼저 에지테이터 형의 경우 세탁조 밑에 달린 회전날개에 의해 물살이 생겨 그 힘으로 세탁되는 방식으로 주로 한국, 일본에서 주로 사용된다. 다음으로 에지테이터 방식은 세탁조 한가운데 뿔이 있어, 세탁조 중앙 회전날개가 붙은 세탁봉의 회전에 의한 왕복 운동을 이용하여 세탁을 행한다. 마지막으로 드럼형 세탁기의 경우, 세탁조가 회전하며 세탁물이 위에서 밑으로 떨어지는 낙차를 이용하는 방식이다. 각 방법은 장단점을 비교하면 Table.1 과 같다.

**Table 1 Characteristics of a washing machine type**

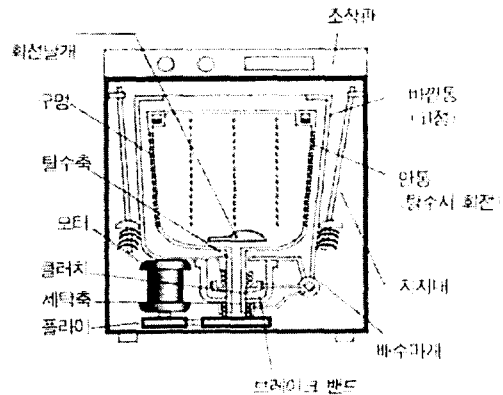
Pulsator	장점	구조가 간단하기 때문에 고장이 적으며, 값도 싸다. 또한 소음도 적은 편이며 찬물을 사용해도 세척력이 우수하다.
	단점	회전날개에 의해 생긴 물살의 힘으로 세탁하기 때문에 세탁물이 잘 상하고, 세탁 중 옷이 엉킬 수 있다.
Agitator	장점	옷감의 손상이 적고 한번에 많은 세탁을 할 수 있으며, 잘 엉키지 않는다. 세탁력 또한 무난한 편이다.
	단점	소음이 다소 큰 편이다. 회전날개 식 보다는 세탁시간이 길고, 세척력 또한 떨어진다.
Drum	장점	세탁물의 손상이 가장 적으며 엉킴이 덜하다. 탈수율이 높으며, 물 사용량 또한 적다.
	장점	옆으로 누운 세탁조가 회전하면 생기는 진동 소음을 막기 위한 장치 때문에 제조가격 자체가 비싸다. 가장 세탁시간이 길며, 대형화시키기 어렵다. 더운물로 세탁하기 때문에 전기료가 많이 나오는 편이다.

### 3. 현가형 펄세이터 세탁기의 구조 및 동특성 해석

#### 3.1 현가형 펄세이터 세탁기의 구조

펄세이터 방식의 세탁기의 구조는 하부 지지형

(7) 과 현가에 의한 상부 지지형이 있으나 근래에 서스펜션 지지에 의한 상부 지지 형태의 현가형 펄세이터 장식이 주류를 이루므로 이를 본 논문에서 취급하기로 한다. Fig.1 과 Fig.2 는 현가형 펄세이터 세탁기의 전체적인 개략도와 동적 해석을 위한 간략화된 모델을 각각 보여준다. 먼저 Fig. 1 에서 볼 수 있듯이 세탁조 내에 세탁물이 투입되고 이 외부를 외조(tub)가 감싸고 있으며, 이 외조를 강성과 감쇠를 가지는 현가에 의하여 세탁기의 외부 몸체에 연결된다. 세탁 시에는 100~200 rpm 에서의 모터의 정.역회전을 통하여 세탁을 행하고, 탈수 시에는 세탁기의 크기 및 종류에 따라 다르지만 대략적으로 600~800 rpm 근방에서 한 방향으로 회전을 하여 탈수 행정을 하게 된다. 탈수 행정시 가장 문제가 되는 점은, 세탁물의 세탁조 내부에 한쪽으로 쏠린 상태에서 상대적으로 높은 rpm 으로 회전함에 따라 발생하는 원심력으로 이로 인하여 과도 진동이 발생하게 된다 (4,8,9). 현가형 펄세이터 세탁기의 과도 진동을 검출하는 방법은 다양하게 있지만, 일반적으로 체커(checker)라는 일종의 기계적 스위치를 세탁기 외부 프레임에 부착하여 과도 진동이 발생시 터브와의 접촉을 통하여 과도 진동을 검출한다.



**Fig. 1 Overview of a suspension pulsator washing machine**

#### 3.2 현가형 펄세이터 세탁기의 동특성 해석

현가형 펄세이터의 동적인 해석을 위하여 모델을 단순화 하면 Fig.2 와 같다. 엄밀히 말해서 세탁조 및 외부 프레임이 대칭이 아니지만, 이들의 차이가 작으므로 대칭으로 간주하며 간략화 하면 해석에 필요한 자유도를 줄일 수 있다. 터브가 상부의 현가 서스펜션에 의하여 지지 받는 구조를 지닌 세탁기의 경우 발생하는 진동 모드는 크게 3

가지로 분류할 수 있다. 각 세탁기의 사양에 따라 다르지만 일반적으로 1Hz 근방의 펜들럼과 같이 흔들리는 모드, 2Hz 근방의 질량-감쇠-강성의 등가 모델로 정의할 수 있는 y 방향으로의 전형적 1 자유도 진동 모드, 그리고 모멘트와 관련되는 3-4Hz의 rocking 모드 이 세가지로 분류할 수 있다. 펄세이터 방식의 경우 세탁과 탈수 시 회전 속도 변동이 있고 세탁물의 상태에 따라 전체 질량 및 질량 분포가 달라지므로 진동 특성이 이 영향을 받게 된다. 특히 기하학적인 관계로부터 알 수 있듯이 과도 진동과 관련되는 펜들럼 모드와 로킹(rocking) 모드는 터브가 외부 프레임과 접촉하는 메커니즘과 밀접하게 연관된다. 따라서 이를 해결하기 위한 방안으로 사용 제품에서는 공진주파수대를 빨리 지나도록 모터의 회전 속도 rpm 을 조정하는 한편<sup>(5)</sup>, 액체 발란서를 이용하여 편심 질량에 대한 진동의 성분을 저감<sup>(3)</sup> 하는 방법을 채택하고 있다.

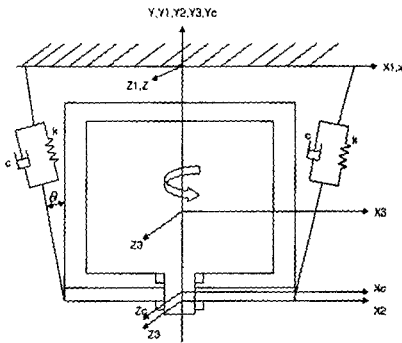


Fig. 2 Dynamic model of a suspension type washing machine

종적인 거동을 보다 세부적으로 살펴보기 위하여, 시스템을 z 축에 대하여 대칭이고 수평 방향의 횡진동 운동과 회전 운동이 연성되지 않는다고 가정하면, 정상상태의 거동은 다음과 같이 표현된다.

$$m\ddot{x} + C_x\dot{x} + K_x x = m_u r \omega^2 \quad (1)$$

이 때 회전에 의한 변위를  $X_\theta$  라 하면, 터브 상부의 횡방향의 총 변위  $X_{top}$  는 다음과 같이 표현된다.

$$X_{top} = X + X_\theta = \frac{m_u r \omega^2}{\sqrt{(k_x - m\omega^2)^2 + C_x^2 \omega^2}} + \Phi I_{up} \quad (2)$$

여기서  $\Phi$  는 다음과 같다.

$$\Phi = m_u r I_u / I_\theta \quad (3)$$

유도된 식을 통하여 정상 상태의 거동을 예측할 수 있으나, 과도 진동 상태의 경우는 보다 복잡한

관계를 가지므로 해석에 보다 유의하여야 하며, 위 식의 경우 액체 발란서 등에 보상은 식에 포함하지 않았다.

탈수 시 작동 특성을 보면 바로 정상상태의 rpm 으로 모터 회전 속도를 제어하지 않고 일정 구간동안 모터의 속도의 증감과 가감을 번갈아 행한다. 이 이유는 초기 세탁물의 경우 수분을 많이 포함한 상태이므로 고배속으로 회전하게 되면 편심 질량에 의한 효과가 크므로 탈수 과정을 통하여 세탁물 내의 수분을 제거하는 고정을 거치게 된다. Fig.3 은 waterfall 기법을 이용하여 현가형 펄세이터 세탁기의 실측한 결과를 보여준다.

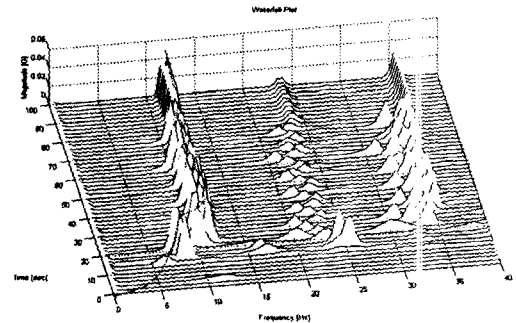


Fig. 3 The rotation speed history in frequency domain

## 4. 드럼형 세탁기의 구조 및 동특성 해석

### 4.1 드럼형 세탁기의 구조

드럼형 세탁기의 구조도 여러 가지 종류가 있지만 가장 일반적인 형태는 드럼의 상부를 강성이 있는 스프링으로 지지하고 하단은 감쇠부를 설치하는 방법이다. 이러한 구조적 특징으로 인하여 세탁물 및 터브가 세탁기의 지지면을 기준으로 볼 때, 대칭적인 현가형 펄세이터 세탁기와 달리 드럼형 세탁기의 경우 본질적으로 무게 불균형을 항상 가지게 된다. 따라서 드럼형 세탁기의 경우 무게 불균형에 사할을 고려하여 구조를 현가형 세탁보다 강하게 하므로 무게가 무겁고, 무게 불균형에 의한 소음과 진동이 큰 특징이 있다. 현가형 세탁기에서 무게 불균형의 보상 방법을 위하여 액체 발란서가 사용되듯이, 드럼형 세탁기의 경우도 역시 액체 발란서나 볼 발란서를 사용하게 된다. 편심 질량이 현가형 보다 큰 시스템이므로 발란서량이 보다 크게 요구되므로 발란서 성능이 우수해야 한다.

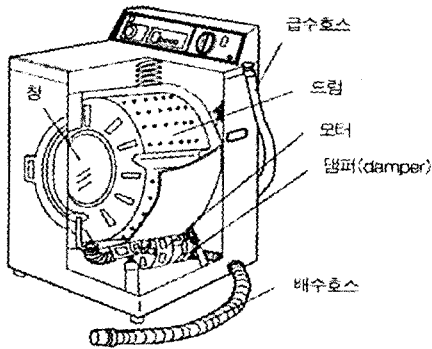


Fig. 4 Overview of a drum type washing machine

#### 4.2 드럼형 세탁기의 동특성 해석

드럼형 세탁기의 동적인 모델을 간단화 하면 3 차원 로터 모델로 등가 시킬 수 있다. 해석의 편이를 위해 설정된 y 축에 대하여 대칭이라고 가정하면 x-y 2 차원의 문제로 등가화 할 수 있다.

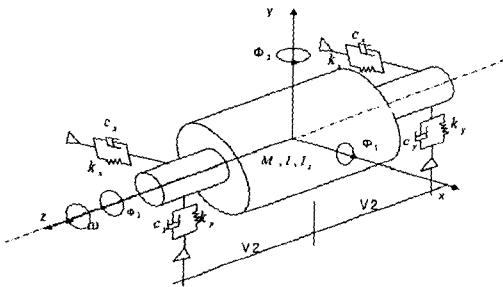


Fig. 5 Dynamic model of a drum type washing machine

드럼형 세탁기를 로터 모델로 등가화 시켜 해석한 자세한 사항은 참고 문헌 (6)에서 자세히 다루고 있다. 드럼형의 경우 드럼이 고정되므로 운동 중 발생하는 변위 및 진동이 드럼 자체의 진동이나 변위 또는 지지부로 직접적으로 전달하는 특징이 있다. 또한 드럼형의 경우 편심 질량이 일정 방향이 있는 상태에서 운전하므로 이에 대한 보상이 필요하며 이를 위하여 발란서를 사용하게 되는 데 현가형과 다른 동적인 특징을 가지게 된다. 현가형의 경우 편심 질량이 하부에 위치하고 발란서가 상부에 위치하여 회전으로 인한 모멘트 평형이 이루어지지만, 드럼형의 경우 세탁물의 무게 불균형이 지면에 평행하게 하부에 집중되는 형태이므로 발란서 설치시 모멘트 평형을 위하여 앞 부분과 뒤 부분 양측에 설치하는 것이 일반적인 방법이다 (2.5.10).

## 5. 이상 진동 검출을 위한 방안

### 5.1 세탁기 진동의 특징

세탁기에서 진동이 발생하는 경우는 세탁 행정과 탈수 행정 두 가지가 있으며, 이를 정성적으로 분류하면 (i) transient mode 와 (ii) steady-state mode 두 가지로 분류할 수 있다. 특히 문제가 되는 부분은 탈수 모드에서 세탁물의 수분이 많이 함유한 상태에서 있는 transient mode 로 이 상태에서 주로 문제가 되는 과도 진동이 발생하게 된다. 과도 진동이 발생하게 되면 현가형 세탁기의 경우 터브가 세탁기의 외부 프레임을 치는 현상이 발생하며, 드럼형의 경우는 세탁물 투입구와 드럼이 일치하는 관계로 드럼과 본체 프레임과의 충돌 가능성은 적지만 진동과 소음이 심하게 발생하게 된다.

일단 세탁기의 마이컴이 과도 진동이 발생한 것을 감지하면, 세탁물을 다시 흔들어서 질량 불균형을 감소시켜 다시 탈수 행정을 하게 된다.

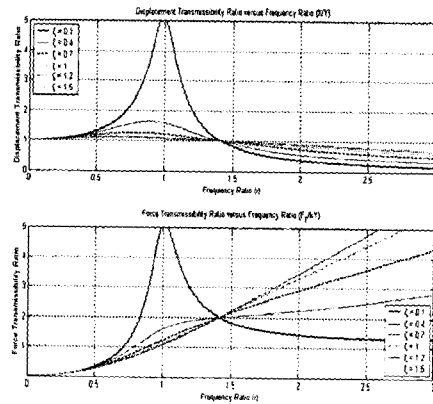


Fig. 6 Displacement/force transmissibility according to damping ratio

편심 질량에 의하여 발생하는 진동은 현가형 세탁기의 경우 서스펜션을 통하여 그리고 드럼형 세탁기의 경우는 상부의 강성 스프링과 하부의 댐퍼를 통하여 에너지를 전달하게 된다. 소음을 제외한 에너지 전달 형태를 살펴보면 크게 가속도와 변위의 형태로 전달되며, Fig.6 에서 보이듯 고정된 감쇠비를 가지는 경우 발생하는 외란의 주파수 대역에 따라 전달률(transmissibility)이 달라지므로 주파수 대역에 따른 다른 감쇠비를 가지는 비선형 감쇠 (10)가 일반적으로 세탁기에 적용된다.

전달되는 에너지에 의하여 세탁기 프레임이 가진다면, 전면과 측면 그리고 후부의 프레임은 이

가진에 의하여 진동하게 된다. 따라서 프레임의 고유 진동수는 세탁 또는 탈수 시의 주파수 대역과 다른 대역을 선정하는 것이 좋으며, 이것을 의한 디자인은 주로 한정된 재료를 이용하므로 강성의 변형을 주는 방법을 주로 이용한다. Fig.7은 모달 해석을 통하여 실측한 현가형 펠세이터 세탁기의 측면의 모드를 보여주고 있다. 이 경우 세탁물이 없는 free load 상태에서 실측한 결과이며, 실제 세탁물이 투입된 경우 상부 지지 점의 하중이 작용하여 강성 증대 효과를 가져오므로 고유 진동수의 증가가 예상된다.

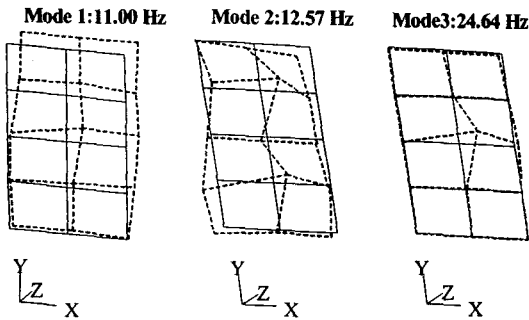


Fig. 7 Mode shape in a suspension type washing machine: side plate

## 5.2 과도 진동 검출의 방안

과도 진동의 경우 짧은 시간 내에 일어나므로 이를 검출하기 쉽지가 않다. 과도 진동의 검출 및 보상의 방법은 크게 자동 검출-보상형(self detection & compensation)과 검출 후 보상형(detection then compensation)으로 분류할 수 있으며, 전자는 액체 발란서나 불 발란서 등이 속하게 된다. 진동이 자동으로 보상된다고 해도 너무 과도한 진동의 경우는 시스템을 불안정하게 하거나 고장의 원인이 되며, 또한 사용자로 하여금 불쾌감을 일으키므로 반드시 적절한 과도 진동 검출 메커니즘이 있어야 한다. 현재 상용 세탁기의 과도 진동 검출 방법으로 다양하게 제안되어 왔으나 이를 정성적으로 분류하면 기계적인 물리량(변위, 속도, 가속도)을 이용하는 방법과 전기적인 물리량(모터 신호 입력 등)을 이용하는 방법이 있다.

현가형 전자동 세탁기의 동적 특성을 분석하여 보면 현에 의한 지지이므로 내부 터브의 변위가 외부 프레임으로 전달될 때 현가 시스템을 걸치면서 전달되는 가속도나 변위가 작아지는 특징이 있다. 즉 터브 자체의 강체 진동이나 여러 진동 모드를 통하여 에너지를 소산하고, 현가 시스템을 통하여 진동 절연이 발생하므로 그 크기가 작아진

다. 따라서 현가형 세탁기의 경우, 터브의 변위를 기계적인 방법에 의하여 검출하는 checker를 이용하는 방법이 일반적이다. 그러나 이 방법의 터브와 checker 사이의 간격 조절이 필요하고 상호 접촉이 일어나기 전에는 어떠한 정보도 제공하지 못한다는 단점이 있다. Fig.8은 과도 진동이 발생하였을 때 외부 프레임에 횡방향으로 전달되는 진동량을 측정한 예로서, 실험 조건에 따라 다르겠지만 일반적으로 1G 미만의 값을 가지는 것으로 평가되었다. 결과를 해석하여 보면 5Hz 근방에서 과도 진동이 발생하는 것으로 보아 rocking 모드와 관련된 것으로 보이며, 보다 세부적인 연구를 통하여 확인하여야 할 것이다.

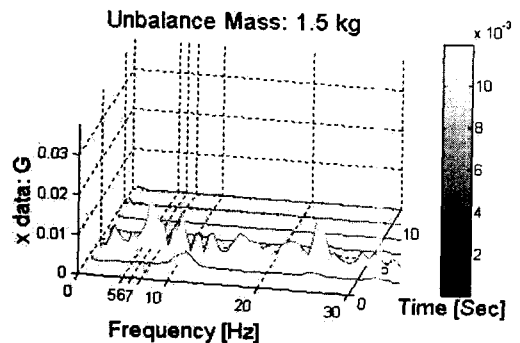


Fig. 8 Transient vibration in a washing machine's frame: lateral direction

이 외에도 현가형 시스템의 움직임에 따라, 하부의 모터부에 강구(鋼球)를 기울어진 홈을 따라 움직이게 하고 이 이동량을 검출하는 방법도 제시되었다. 그러나 이 방법의 경우, 과도 진동이 발생하는 모드(병진 또는 회전)에 대한 정확한 해석이 선행되어야 한다<sup>(12)</sup>.

다음으로 드럼형 세탁기의 경우, tub가 허용범위 내에서 자유롭게 흔들리는 것과 달리 스프링과 댐퍼에 의하여 강하게 구속되므로 진동의 전달 경로가 보다 명확하다. 즉 과도 진동과 터브의 진동 및 변위와 밀접한 관련을 가지게 되므로, 과도 진동의 검출을 가속도나 변위를 실측함으로써 가능하다. 가속도의 측정은 질량을 가지는 구조물의 공진을 이용하며, 변위의 경우 변위를 검출할 수 있는 R-C 공진구조나 다른 검출 메커니즘을 사용한다. 이 외에도 과도 진동이 발생하게 되면 모터의 토크의 변동이 심해지면서 입력 전압값의 리플(ripple) 하는데 이를 이용하여 과도 진동을 검출하는 방법<sup>(13)</sup> 등이 제시 되기도 하였다.

과도 진동 검출을 위해서는 우선적으로 동적 특

정에 따라 어떤 물리량이 과도 진동과 밀접한 관계를 가지고 있는가에 대한 이해가 있어야 한다. 이와 더불어 구현의 신뢰도 및 가격 그리고 지적 재산권 문제와 같은 사항도 종합적으로 고려되어야 할 것이다.

## 6. 결 론

이상을 통하여 현가형 펄세이터 세탁기와 드럼형 세탁기의 구조 및 동적인 특징에 대하여 논하였고, 몇 가지의 특징은 실측한 결과를 제시하였다. 다음으로 그 동안의 선행 연구에서 소홀히 했던 진동 검출 방안에 대하여 간략히 정리하였다. 회전체에서 발생하는 소음 및 진동을 올바르게 보상하거나 검출하기 위해서는 먼저 시스템에 대한 올바른 이해가 있어야 하며, 특히 플랜트 대상계의 불확실성이 큰 세탁기의 경우는 보다 중요한 문제가 된다. 진동의 관점에서 볼 때 세탁기 시스템은 매우 흥미 있는 대상이며 이에 대한 보다 심도 있는 연구가 행하여져야 할 것이다.

## 참고문헌

(1) 김동원, 조관열, 2000, "세탁기의 기술개발 동향", 전력전자학회지, 제 5 권, 제 5 호, pp. 12~15.  
 (2) 이준영, 조성오, 김태식, 박윤서, 1998, "불 자동균형장치를 채용한 드럼세탁기의 모델링 및 동적 거동 해석", 한국소음진동공학회지, 제 8 권, 제 4 호, pp.670~682.

(3) 정경렬, 이종범, 임무생, 윤종만, 1993, "세탁기용 강제 현가시스템의 동특성 해석을 위한 진산 시뮬레이션", 한국소음진동공학회지, 제 3 권, 제 1 호, pp.65~75.  
 (4) 오상경, 김중래, 오병재, 임성하, 1990, "세탁기 저진동 저소음에 관한 실험적 연구", 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, pp. 71~77.  
 (5) 박정수, 김형균, 1997, "드럼식 세탁기의 진동/소음 저감 대책", 한국소음진동공학회지, 제 7 권, 제 6 호, pp. 881~887.  
 (6) 폴 위즈마, 웨이지아 카오, 박 찬우, 박정수, 김형균, 1997, "세탁기의 진동 감소를 위한 밸런서 개발", 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp.602~607.  
 (7) 최상현, 김주호, 한동철, 한창소, 1995, "스너버에서의 마찰을 고려한 하루지형 세탁기의 동특성 연구", 한국소음진동공학회지, 제 5 권, 제 1 호, pp.85~94.  
 (8) S.BAE, J.M. Lee, Y.J. Kang, J.S. Kang, and J. R. Yun, 2002, "Dynamic Analysis of an Automatic Washing Machine a Hydraulic Balancer", Journal of Sound and Vibration, Vol.257, No.1, pp.3~18.  
 (9) Conrad, D. C., and Soedel, W., 1995, "On the Problem of Oscillatory Walk of Automatic Washing Machines", Journal of Sound and Vibration, Vol.188, No.3, pp.301~314.  
 (10) Papadopoulos, E., and Papadimitriou, I., 2001, "Modeling, Design and Control of a Portable Washing Machine during the Spinning Cycle", IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics Proceedings, pp.899~904.  
 (10) Thomson, W. T., Dahleh M. D., 1993, Theory of Vibration with Applications, Prentice Hall, Singapore, Chap. 3.  
 (11) Vande Harr et al, 2000, "Accelerometer for optimizing speed of clothes washer", US Patent No. 6134926.  
 (12) P.J., Lee et al., 2002, "Sensor for detecting both water level and vibration in washing machine", US Patent No. 6336348.  
 (13) K.H., Joo, 2001, "Unbalance detecting device and method of washing machine", US Patent No. 6240586.