

# 대역통과 필터를 이용한 세탁기의 언밸런스 감지 알고리즘

김학준\*, 조관열\*, 김학원, 남명준

\*한국교통대학교 제어계측공학과

## Unbalance Detection Algorithm of Washer Using Band-Pass Filter

Hack Jun Kim\*, Kwan Yuhl Cho\*, Hag Wone Kim\*Myung Joon Nam\*

\*Korea National University of Transportation

### ABSTRACT

세탁기의 탈수 행정 시, 터브 내 세탁포가 고르게 분포되어 있지 않으면 세탁포가 한쪽방향으로 쏠려 터브가 크게 흔들리는 언밸런스 현상이 발생하게 된다. 이런 언밸런스 현상은 전동기 및 세탁기에 기구적인 손상을 발생시키기 때문에 즉시 감지하여 탈수 행정을 중지시키도록 해야 한다.

본 논문에서는, 세탁기의 언밸런스 현상이 발생 시 나타나는 전동기의 기계적인 주파수를 갖는 전류 리플을 가변 밴드패스 필터를 이용하여 측정한다. 측정된 전류 리플을 바탕으로 언밸런스 현상을 감지하는 알고리즘을 제안한다.

### 1. 서론

세탁기는 주요 생활가전 제품으로 최근 고효율화 및 대용량화의 추세로 성장하고 있으며, 위해 여러 기업에서는 고효율의 전동기를 사용한 제품들을 출시하고 있다. 영구자석 동기전동기(Permanent synchronous motor) 효율이 높고, 큰 토크를 발생할 수 있으며, 전력 밀도가 높아 대용량화에 유리한 전동기이다. 세탁기의 고효율 및 대용량에 대응하기 위해서는 세탁 시 고 토크 및 탈수 시 높은 속도의 구동이 필요하며 이를 위해서는 세탁기의 언밸런스(Unbalance) 검출 및 진동 감지 알고리즘이 요구된다. 세탁기의 탈수 행정 시 터브 내 세탁물이 고르게 분포 되지 않으면, 세탁포의 쏠림으로 인해 터브가 심하게 흔들리는 언밸런스 현상이 나타난다. 이러한 언밸런스 현상은 탈수 시 고속운전을 어렵게 하고, 심한 경우에는 전동기 및 세탁기에 기구적인 손상을 발생 시키게 된다. 이를 미연에 방지하기 위해 언밸런스 검출은 필수적으로 사용되고 있다. 기존에 사용하고 있는 언밸런스 감지 방법 중 하나는 세탁기 내부에 별도의 스위치를 설치하여 터브가 심하게 흔들려 스위치를 누르게 되면 언밸런스로 감지하여 탈수 행정을 멈추게 한다.<sup>[1]</sup> 하지만 이와 같은 방법은 세탁기의 단가상승과 언밸런스 감지의 신뢰성에 대한 문제를 갖고 있다. 또 다른 방법으로는 전동기에 일정한 토크 명령을 주어 가속운전 시 터브의 흔들림에 따른 전동기의 속도 변동 량으로 언밸런스를 감지한다.<sup>[2]</sup> 그러나 이 방법은 특정한 구간에서만 언밸런스 감지를 하고 있기 때문에 감지구간 전과 후에 언밸런스가 발생하면 늦게 감지를 하거나 감지를 못하는 경우가 발생하게 된다.

본 논문에서는 세탁기의 언밸런스 상태를 효율적으로 검출하고 언밸런스 상태 감지에 대한 신뢰성을 높이기 위하여 세탁기의 모든 동작 범위에서 언밸런스를 감지 할 수 있는 알고리즘을 제

안한다. 제안된 알고리즘은 언밸런스가 있을 경우 기계적인토크 리플이 발생한다는 점을 착안하여 가변 밴드패스 필터를 이용하여 토크리플의 크기를 검출한다.

### 2. 대역통과 필터를 이용한 언밸런스 감지

#### 2.1 언밸런스 감지 알고리즘

탈수 행정 시 언밸런스가 있을 경우 터브의 흔들림으로 인해 터브의 속도 및 토크에 리플이 발생하게 된다. 속도의 리플은 터브의 관성에 의해 감쇄가 되므로 토크 리플의 크기로 언밸런스 검출을 한다. 세탁기에 사용되고 있는 표면 부착형 영구자석 동기전동기는 마그네틱 토크만 존재하므로 토크 리플은 q축 전류 리플로 나타난다.

$$\begin{aligned} T_e &= J \frac{d}{dt} \omega_m + B_m \omega_m + T_{L\_ave} + T_{UB} \cos(\theta_{tub} + \alpha) \\ &= T_{ave} + \Delta T = k_t (i_{q\_ave} + \Delta i_q) \end{aligned} \quad (1)$$
$$\Delta i_q = \frac{T_{UB}}{k_t} \cos(\theta_{tub} + \alpha)$$

여기서,  $T_{UB}$ 는 언밸런스에 의한 부하토크 이고  $\alpha$ 는 터브와 전동기가 이루는 각도 이다. 그림 1 (a)는 탈수 행정 시 속도패턴을 보여준다. 3초 동안 가속운전을 하고 2초 동안 정속운전을 반복하는 패턴이다. 패턴은 임의로 주었다. 언밸런스가 있을 경우 그림 1 (b)에서 보이는 것과 같이 터브의 흔들림이 부하 토크로 발생하여 전동기의 리플 및 q축 전류의 리플로 나타난다.

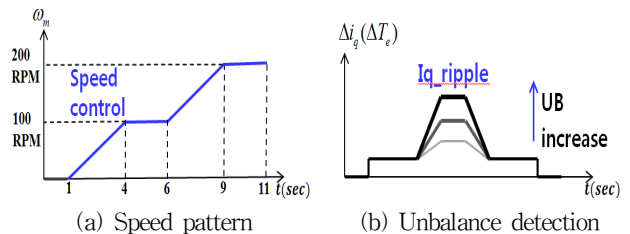


Fig. 1 Unbalance detection algorithm

#### 2.2 대역통과 필터

세탁기의 탈수 행정 과정에서 언밸런스가 발생 시 전동기의 전류는 세탁기 터브의 회전주파수에 해당되는 전류리플이 발생하게 된다. 터브의 회전주파수를 갖는 전류리플을 검출하기 위

한 2차 밴드패스 필터의 전달함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G_{BPF}(s) = \frac{\beta s}{s^2 + \beta s + \omega_c^2} \quad (2)$$

여기서  $\beta$ 는 대역폭,  $\omega_c$ 는 중심 주파수를 나타낸다. 본 논문에서는 가변 밴드패스 필터를 이용하기 때문에 중심주파수 ( $\omega_c$ )를 전동기의 기계주파수( $f_m$ )와 동기화 시켰다.

식 (2)에서 대역폭( $\beta$ )에 따른 주파수 응답 특성은 그림 2와 같다. 식 (2)를 Backward Transform 기법을 사용하여 이산화 방정식으로 나타내면 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$G_{BPF}(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1}}{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} \quad (3)$$

여기서  $a_0 = 1 + \beta T_s + \omega_c^2 T_s^2$ ,  $a_1 = -2 - \beta T_s$ ,  $a_2 = 1$ ,  $b_0 = \beta T_s$ ,  $b_1 = -\beta T_s$ ,  $T_s$ 는 샘플링 주기이다.

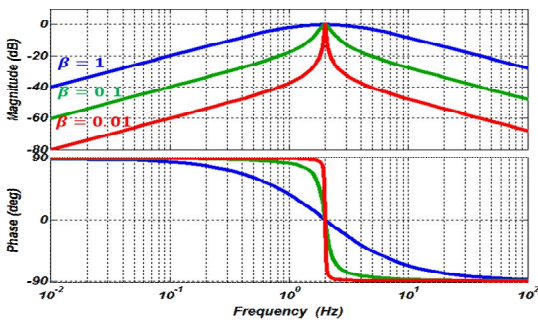


Fig. 2 Bode diagram of BPF

### 2.3 모의해석 결과

모의 해석 시 사용된 영구자석 동기전동기의 파라미터는 표 1과 같다. 모터는 그림 1 (a)와 같은 속도패턴으로 구동하였고, 부하토크는 1Nm, 스위칭 주파수는 16kHz, 전류제어기 대역폭은 200Hz로 설정해주었다.

Table. 1 Parameter of SPMSM

Parameters	Value
Number of poles	48
Phase resistance ( $R_s$ )	5.47 $\Omega$
d axis inductance ( $L_d$ )	35.49 mH
Magnet flux ( $\lambda_f$ )	0.114 Vsec
PWM_frequency	16 kHz
Moment of inertia (Jm)	0.001 $kgm^2$
Moment of inertia (Jtub)	0.4 $kgm^2$
Bandwidth of current control	200 Hz

그림3은 언밸런스 검출 다이어그램이다. 세탁기 탈수 행정 경우 그림4와 같이 속도가 변화 할 때 영구자석 동기전동기의 속도를 가변 밴드패스 필터에 동기화 하여 가속구간 및 등속구간에서 언밸런스 상황 시 전류리플을 검출한다. 그림4에서  $T_L=1[Nm]$ ,

$T_{UB}=0.2[Nm]$ ,  $I_{q,avg}=0.2[A]$ 이다.  $\Delta\omega_c$ 은 속도 증가에 따라 크기가 증가한다. 따라서 속도리플 검출은 어려움이 있다.  $T_{UB}$  언밸런스는 부하토크로 나타나기 때문에 언밸런스가 발생 했을 때 가변 밴드패스 필터로 전류리플을 검출하는 시뮬레이션 파형이다. 시뮬레이션 결과 가속구간, 등속구간 모든 영역에서 언밸런스에 의한 전류리플을 감지하였다. 또한 가변 밴드패스 필터에 전동기  $\Delta\omega_c$ 를 동기화했기 때문에 속도가 변화해도 전류리플의 크기 검출도 된다.

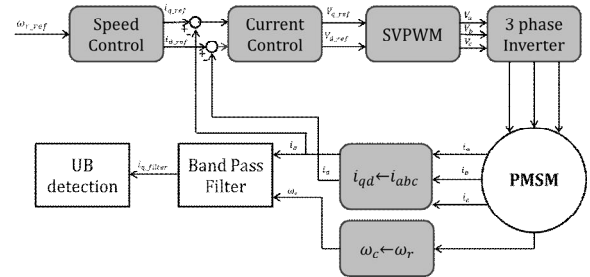


Fig. 3 Unbalance detection diagram

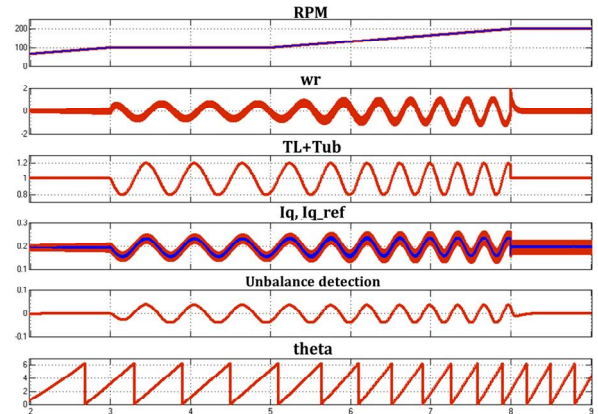


Fig. 4 Unbalance detection simulation

### 3. 결론

본 논문에서는 세탁기가 탈수 행정 시 세탁 포에 의해서 발생 되는 언밸런스를 가변 밴드패스 필터를 이용하여 전동기의 변화하는 속도에서도 언밸런스를 감지하는 알고리즘을 제안 하였다. 모의해석을 통해 전동기의 언밸런스 능동적으로 감지함을 확인 하였고, 향후 실험을 통해 검증할 예정이다.

이 논문은 2014년 동부문화재단의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

### 참고 문헌

- [1] A. Yörükoglu and E. Altug, "Determining the M and angular position of the unbalanced load in horizontal washing machines," International Conference on, Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 118-123, July 2008.
- [2] E. K. Farrington, B. M. Sharp, V. M. Vukorpa and A. Mason, Balancer for an automatic washer, US6783675, January 2000.