

관성 추정기를 이용한 드럼 세탁기의 최적 세탁시간 조절 알고리즘

황춘환*, 이정효*, 김경민*, 공태웅*, 이원철*, 원충연*, 김영렬**
성균관대학교*, 안양대학교**

Optimal Washing Time Control Algorithm of the Drum Washing Machine Using an Inertia Estimator

Chun-Hwan Hwang*, Jung-Hyo Lee*, Kyung-Min Kim*, Tae-Woong Kong*, Woncheol Lee*,
Chung-Yuen Won*, Young Real Kim**
Sungkyunkwan University*, Anyang University**

ABSTRACT

Conventional drum washing machine is divided by amount of laundry on 3 step. Because that, this method is arisen in case of washing smaller amount of laundry than each weight during same time. In other words, power is wasted by unnecessary washing time. In this paper, exact quantity of laundry is obtained by using inertia estimator considering features of drum washing machine, unnecessary washing time is decreased by selection proper washing time, thus the algorithm that increase efficiency by reducing power consumption is proposed.

1. 서론

드럼 세탁기의 세탁시간의 결정에 있어서 세탁물의 양은 중요한 요소다. 기존의 드럼 세탁기는 포량에 따라 세탁시간을 세 부분으로 나눈다. 이는 세탁시간을 결정할 때 포량을 파악하는데 있어 추정오차를 고려하기 때문이다.

기존의 포량 감지법으로는 세탁기에 급수가 이루어지면, 세탁물이 물을 흡수함으로써 초기에 급수되었던 수위가 감소하게 된다. 이를 보상하기 위한 재급수가 계속 이루어지는데, 재급수가 이어지는 횟수를 파악하여 포량을 판단한다.^[1] 이는 급수 시간이 오래 걸리고 세탁물의 종류에 따라 포량감지에 오차가 큰 단점이 있다. 또한 속도가 감소하면서 부하 변동에 따른 관성이 계속적으로 바뀌는 영역이 발생되기 때문에^[2] 기존의 관측기를 이용한 관성 추정을 적용하기 어렵다.^{[3][4]}

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 전동기를 빠르게 회전시켜 원심력에 의해 부하의 관성을 일정하게 유지시킨다. 이 상태에서 토크지령을 상승시켜 속도의 변화량을 측정하여 세탁물의 관성을 추정한다. 또한 추정된 관성으로부터 세탁물의 무게를 계산하여 이에 따라 세탁 시간을 조정하는 알고리즘을 제시하였다.

2. 관성 추정 방법

세탁할 때에 세탁물은 회전날개에 의해 들어 올려지고 중력에 의해 낙하하는 힘에 의해 세탁이 된다. 이러한 드럼 세탁기의 동작 특성 때문에 세탁물의 관성은 계속적으로 변화된다.

전동기를 100[rpm]으로 회전 시키면 원심력에 의해 세탁물이 드럼의 외곽에 밀착되어 관성이 일정하게 유지됨으로써 문제를 해결할 수 있다.

그림 1은 본 논문에서 적용한 관성 추정 방법이다. 관성 모멘트는 식 (1)의 전동기의 기계 방정식으로부터 유도되고 속도

변화에 따라 3개의 영역으로 구분 한다.

$$T_e = J \frac{d\omega_r}{dt} + B\omega_r + T_L \quad (1)$$

그림 1의 (b)는 전동기를 100[rpm]으로 회전시켜 관성이 일정한 영역이다. 이때 q축 전류는 $i_{qs}^{r*} = i_{qs}^r$ 이 되고, 발생 토크는 식 (2)와 같이 q축 전류 i_{qs}^r 와 토크 상수 K_T 의 곱으로 나타내어진다. 부하 토크는 속도 변화량이 없으므로 식 (3)과 같다.

$$T_e = K_T \times i_{qs}^r \quad (2)$$

$$T_e(t_1) = T_L(t_1) \quad (3)$$

그림 1의 (c)는 전동기가 100[rpm]으로 회전하고 있는 상태에서 토크 지령이 인가되어 속도가 변화하는 구간이다. Mode I에서 인가되는 토크 지령보다 큰 기준 토크를 일정구간동안 인가하면 그에 따라 전동기 회전 속도가 상승하게 된다.

그림 1의 (d)는 변화된 q축 전류지령과 실제 전류가 같아져서 더 이상 속도 상승이 없는 영역이다. 또한 속도 제어기에 의해 ω_{r2} 의 속도로 일정하게 회전하게 된다.

$$T_e = K_T \times i_{qs}^{r*} \quad (4)$$

$$T_e(t_2) = T_L(t_2) \quad (5)$$

Mode II에서의 평균부하토크는 식(6)과 같다.

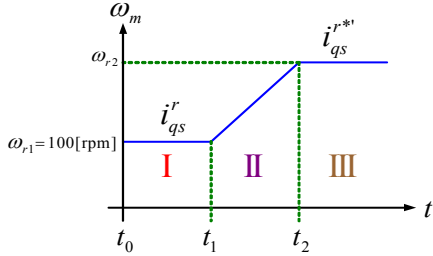
$$\overline{T_L} = \frac{T_L(t_2) + T_L(t_1)}{2} \quad (6)$$

Mode III가 끝나면 식 (1)과 식 (6)을 이용하여 관성 모멘트를 추정할 수 있다. 여기서 마찰 계수 B의 값을 0으로 가정하면 수식 (7)은 수식 (9)와 같이 변환이 가능하다.

$$T_e^{s*} = J \frac{d\omega_r}{dt} + B\omega_r + \overline{T_L} \quad (7)$$

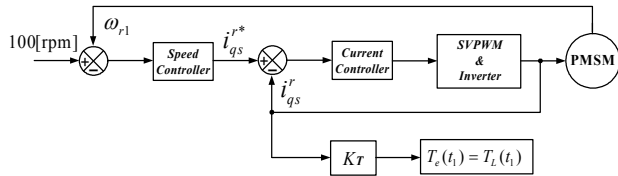
$$T_e^{*'} - \overline{T}_L = J \frac{d\omega_r}{dt} = J \frac{\omega_{r2} - \omega_{r1}}{t_2 - t_1} \quad (8)$$

$$\therefore J = \frac{(T_e^{*'} - \overline{T}_L) \cdot (t_2 - t_1)}{\omega_{r2} - \omega_{r1}} \quad (9)$$



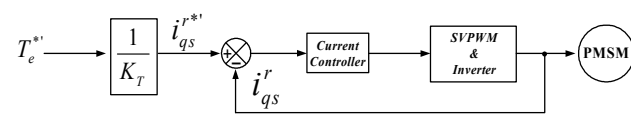
(a) 각 모드별 속도

Mode I



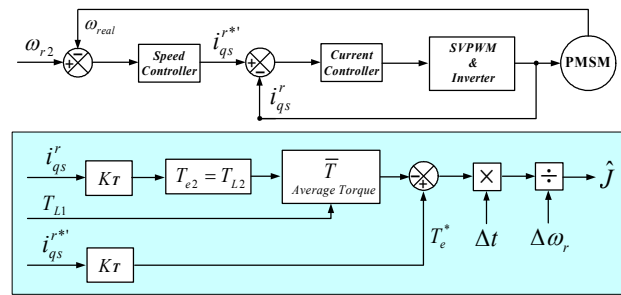
(b) Mode I

Mode II



(c) Mode II

Mode III



(d) Mode III

그림 1 세탁 부하 관성 추정 알고리즘

3. 추정된 관성 모멘트를 질량으로의 환산

물체의 관성 모멘트는 물체의 형태, 즉 회전축에 대한 질량의 분포에 따라 결정된다. 질량이 축과 멀리 떨어져 있을수록 관성 모멘트는 커진다.

전동기를 100[rpm] 정도로 빠르게 회전을 시키면 세탁물은 세탁기 드럼의 외곽에 완전 밀착하게 되고, 관성 모멘트는 일정한 값이 된다. 이는 그림 2와 같이 표현할 수 있다.

그림 2의 관성 모멘트는 식 (10)과 같이 구할 수 있다. J_{drum} 은 세탁조의 관성 모멘트이고, 무부하 상태에서 추정된 관성 모멘트이다. 그리고 세탁물은 100[rpm] 구동 시 세탁조의 날개 길이를 벗어나지 않게 밀착이 되는 것으로 가정한다.

$$J = \frac{1}{2}m(r_2^2 + r_3^2) + J_{drum} \quad (10)$$

또한 질량 m 은 부피 v 와 밀도 ρ 의 곱으로 식(9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$m = v \times \rho \quad (11)$$

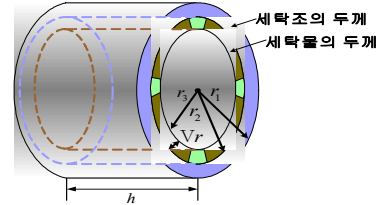


그림 2 100 [rpm] 회전 시 세탁물의 형태

그림 2의 세탁물의 질량을 구하기 위해 식(11)과 같이 부피를 이용하여 질량을 계산 할 수 있다. 이는 식(12)과 같다.

$$m = \pi \times (r_2^2 - r_3^2) \times h \times \rho \times K \quad (12)$$

(12)

식 (12)에서 실제 부하는 세탁조에 인가된 형태가 가정과 다르므로 이에 대한 상수 K 를 곱하여 보정하여 준다.

4. 세탁시간의 결정

세탁물의 탁도 및 종류가 일정하다고 가정할 때, 그림 3은 기존 세탁기의 세탁량에 따른 세탁시간과, 최적 세탁 시간에 대한 그래프이다. (본 자료는 대우 일렉트로닉스에서 제공 받은 것이다.)

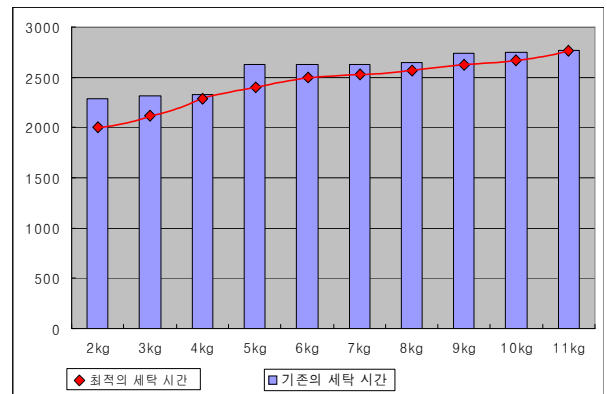


그림 3 기존의 세탁시간과 최적의 세탁시간

그림 3의 그래프를 보면 세탁시간이 2kg~ 4kg, 5kg~ 8kg, 9kg~ 11kg의 범위에서 세탁 시간이 고정되며, 세 개의 영역에 따라 세탁 시간이 변동된다. 이는 포량에 따라 적절한 세탁시간을 인가하지 못하며, 특히 적은양의 포량을 필요이상으로 오랜 시간 세탁하게 된다. 이는 불필요한 세탁시간으로 인해 쓸모없이 전력을 소모하는 단점을 갖는다.

실선으로 표시된 곡선은 탁도와 세탁물의 종류가 일정할 때에 최적의 세탁시간을 나타낸 곡선이다. 이는 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{wash} = 0.98m^3 - 28.125m^2 + 306.25m + 1492.143$$

(13)

식 (12)에서 계산한 포량 m 을 식 (13)에 대입하면 포량에 따른 최적의 세탁시간을 계산 할 수 있다.

5. 실험

그림 4는 실험에서 사용한 인버터와 관성 부하 세트이다. 실험을 통하여 본 논문에서 적용한 관성 추정 알고리즘을 확인 하였다.

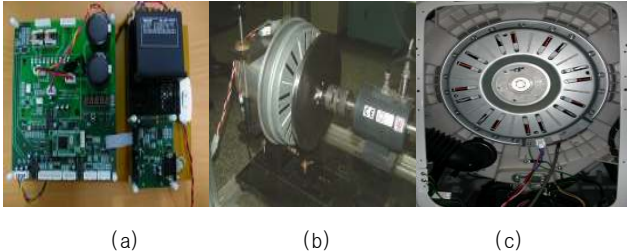


그림 4 (a) 실험에 사용한 인버터 (b) 관성 부하 세트 (c) 세탁기용 외전형 전동기

표 1은 본 논문에서 실험한 세탁기용 영구자석형 동기전동기의 전동기 제정수와 관성 추정 알고리즘의 확인을 위한 관성 부하실험에서 사용한 관성부하의 관성모멘트 값이다.

표 1. 실험에 사용한 모터 제정수 및 관성부하 관성 모멘트

상저항 (R_s)	3.72 [Ω]	정격전압 (V_{rat})	310 [V]
d축 인덕턴스 (L_d)	31.947 [mH]	정격전류 (I_{rat})	6 [A]
q축 인덕턴스 (L_q)	31.947 [mH]	극수 (Pole)	24 [P]
관성 모멘트 (J)	0.05 [$kg \cdot m^2$]	정격속도 (ω_{rat})	400 [rpm]
관성부하 관성모멘트 (J_{Load})	0.035 [$kg \cdot m^2$]	정격토크 (T_{rat})	20 [N · m]
정격출력 (P_{rat})	1.8 [kW]	마찰계수 (B_m)	0

그림 5는 세탁모드 구동 시 속도와 전류 파형이다. 45 [rpm]으로 정회전 운전을 18초 동안 한 후에 6초간 정지하고 역회전 운전을 18초 동안 한다. 다음의 세탁모드 동작은 추정된 부하에 따라 세탁시간이 조정된다.

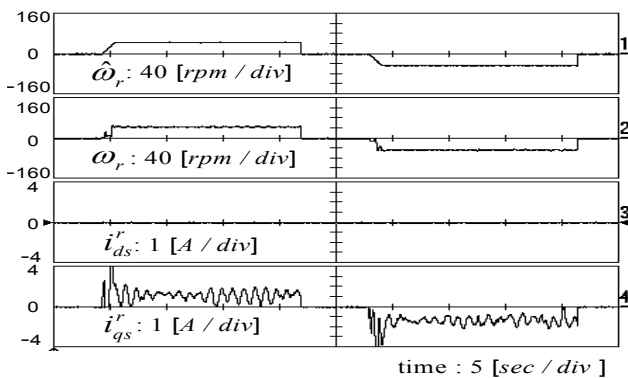


그림 5 세탁모드에서의 속도 및 전류 파형

그림 6의 (a)는 전동기를 무부하로 운전 하여 전동기 자체의 관성 모멘트를 추정한 파형이다. 그림 6의 (b)는 관성 부하를 연결한 후 전동기를 구동하여 관성 모멘트를 추정한 파형이다. 그림

6의 (b)에서 관성 부하의 관성 모멘트와 모터의 관성 모멘트를 합한 관성 모멘트를 추정하는 것을 확인할 수 있다.

그림 7은 실제 세탁기에 대한 관성 추정 파형이다. 그림 7의 (a)는 세탁기에 세탁물을 넣지 않고 관성 추정 실험을 하였다. 이때 추정되는 관성은 세탁기의 드럼에 의한 관성 모멘트와 모터 자체의 관성 모멘트의 합이다. 그림 7의 (b)는 3kg의 세탁물을 넣고 관성 추정 실험을 한 파형이다. 그림7(a)에서 추정된 관성모멘트보다 세탁물의 양만큼 큰 관성 모멘트가 추정됨을 확인할 수 있다.

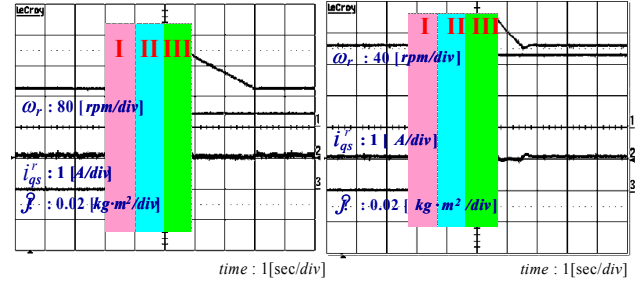


그림 6 (a) 무부하에서의 관성추정 (b)관성부하 연결 후 관성추정

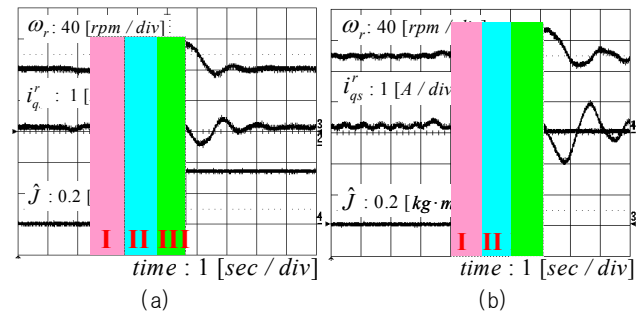


그림 7 (a) 실제 세탁기를 이용한 무부하 관성 추정 (b) 실제 세탁기를 이용한 관성 추정 (세탁량 3kg)

6. 결론

본 논문에서 사용된 관성 추정 알고리즘은 세탁기의 부하 특성을 고려하여 적용된 것이며, 적용된 알고리즘은 전동기에 관성부하를 연결한 후, 실험을 통하여 확인 하였다. 추정된 관성을 통하여 조금 더 정밀하게 세탁 시간을 조절할 수 있으며, 이를 통해 불필요한 세탁시간을 줄여 효율을 상승시킬 수 있다.

본 논문은 에너지관리공단 에너지 자원기술개발사업의 연구비 지원을 받아 수행한 연구 결과입니다.

참고 문헌

- [1] 공개특허 10-2006-0061319, 드럼세탁기의 포량 감지방법, 엘지전자 주식회사, 출원번호 10-2006-0035391, 출원일자 2006년 4월 19일
- [2] 이정효, 이원철, 유재성, 정용재, 원충연, "역학적 특성을 고려한 드럼세탁기 부하 모델링", 전력전자학회 논문지, 제12권 6호, pp.491-499, 2007, 12.
- [3] J.-W. Choi, S.-C. Lee and H.-G. Kim, "Inertia identification algorithm for high-performance speed control of electric motors", Electric Power Applications, IEE Proceedings, Vol. 153, Issue. 3, pp. 379-386, 2006, 1 May.
- [4] Nam-Joon Kim, Hee-Sung Moon, Dong-Seek Hyun, "Inertia identification for the speed observer of the low speed control of induction machines", Industry Application, IEEE Transactions, Volume 32, Issue 6, pp.1371-1379, 1996, Nov./Dec.