

관성 추정기를 이용한 드럼 세탁기의 부하추정 알고리즘

黃春煥*, 李楨孝**, 金庚啟***, 李元喆****, 金暎烈§, 元忠淵†

The Load Estimation Algorithm of the Drum Washing Machine using an Inertia Estimator

Chun-Hwan Hwang, Jung-Hyo Lee, Kyung-Min Kim, Won-Cheol Lee,
Young-Real Kim and Chung-Yuen Won

요 약

일반적으로 드럼 세탁기의 구동 효율은 주로 세탁 시간에 영향을 받는다. 이러한 세탁 시간은 세탁물의 양과 종류에 따라 결정된다. 비록 세탁물의 종류는 사용자에게 쉽게 입력이 가능하지만 세탁물의 양은 사용자가 입력하기 힘들다. 이 때문에 세탁물의 양을 추정하는 구간이 존재하며 추정된 세탁물의 양에 따라 세탁 행정의 시간이 결정된다. 따라서 본 논문은 정확한 세탁물의 양을 측정하기 위해 관성 추정기를 사용한 부하 추정 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 실제 세탁기에 적용이 가능하도록 저가형 위치 센서를 사용하는 PMSM 구동회로를 통해 실험하였다. 그리고 실제 세탁 부하 조건과 일치하도록 드럼 세탁기에 세탁물을 인가하여 부하추정을 실험하였다.

ABSTRACT

Generally, the operating efficiency of the washing machine is mostly affected by the washing time. The washing time is determined by the amount and the type of the laundry. Although the type of the laundry is easily inputted by the user, but the amount of the laundry is difficult to do. For this reason, the specific process is existed for the estimation of the laundry and the time of the washing mode is determined by the estimated laundry. Therefore, this paper proposes the washing load estimation algorithm by the inertia estimator. The proposed algorithm is implemented on the PMSM drive using the low cost position sensor for practical washing machine application. The proposed algorithm is verified by the drum washing machine for the practical load condition test.

Key Words : Inertia estimator, Inertia identification, Drum washing machine

1. 서 론

드럼 세탁기의 구동 효율은 여러 가지 요인에 의해서 결정된다. 이러한 요인들은 세탁물의 상태를 분석하여 세탁 행정을 통해 해결 한다. 각각의 세탁 행정들은 세탁 시간을 결정하며 세탁물의 양과 종류에 따라 변한다.

따라서 세탁기의 효율적인 구동을 위해 세탁물의 양과 종류를 정확하게 아는 것이 중요하다. 비록 세탁물의 종류는 사용자에게 쉽게 입력이 가능하지만 세탁물의 양은 사용자가 입력하기 힘들다. 이 때문에 세

†교신저자 : 정희원, 성균관대 정보통신공학부 교수

E-mail : won@yurim.skku.ac.kr

*정희원, 헥스파워시스템(주) 기술지원팀

**정희원, 성균관대 대학원 전자전기컴퓨터공학부 박사과정

***학생회원, 성균관대 대학원 전자전기컴퓨터공학부 석사과정

****정희원, 성균관대 대학원 전자전기컴퓨터공학부 박사과정

§정희원, 안양대 전기전자공학과 교수

접수일자 : 2008. 8. 15 1차 심사 : 2008. 10. 7

2차 심사 : 2008. 11. 7 3차 심사 : 2008. 12. 29

심사완료 : 2009. 3. 7

탁물의 양을 추정하는 구간이 존재하며 추정된 세탁물의 양에 따라 세탁 행정 시간이 결정된다.^[1]

기존의 세탁물의 양을 감지하는 방법으로는 먼저 세탁기에 급수가 이루어지면, 세탁물이 물을 흡수함으로써 초기에 급수되었던 수위가 감소하는 현상을 이용하는 방법이 있다. 이를 보상하기 위한 재 급수가 계속 이루어지는데, 재 급수가 이어지는 횟수를 파악하여 세탁물의 양을 판단한다.^[2] 이는 급수 시간이 오래 걸리고 세탁물의 종류에 따라 세탁물의 양을 감지하는데 있어 오차가 큰 단점이 있다. 다른 방법으로는, 모터의 회전 속도가 설정된 속도에 이르면 그때의 듀티값을 추출하여 세탁물의 양을 산출하는 방법이 있다. 전동기가 일정한 회전 속도에 도달할 때의 듀티값을 프로세서에 저장된 룩업 테이블에 적용하여 세탁물의 양을 추정하는 것을 특징으로 한다.^[3] 하지만 이 방법은 저장할 메모리 소자가 따로 필요한 단점이 있다.

본 논문에서는 포랑을 감지하기 위해 세탁물의 관성 모멘트를 추정한다. 하지만 드럼 세탁기의 세탁물은 일정 속도 이하에서 낙하운동을 하기 때문에 세탁물의 관성 모멘트가 변하는 특징이 있다. 이러한 변화하는 관성 모멘트를 이용하여 세탁물의 양을 추정할 시엔 또 다른 복잡한 처리과정이 필요하다는 단점이 있다.

따라서 본 논문은 먼저 원심력에 의해 세탁물의 관성 모멘트가 일정해지는 속도를 계산하였다. 그 후 전동기의 기계방정식을 이용하여 세탁물의 관성 모멘트를 추정하고 추정된 관성 모멘트를 이용하여 세탁부하량을 얻었다. 또한 세탁부하량에 따라 세탁시간을 조정하여 소비전력을 측정하였다.

2. 세탁물의 관성 모멘트를 일정하게 하기 위한 속도계산

세탁을 할 때에 세탁물은 회전날개에 의해 들어 올려진 후 일정 높이에서 낙하하는 힘에 의해 세탁이 된다. 이러한 드럼 세탁기의 동작 특성 때문에 세탁물의 관성은 계속적으로 변하게 된다.^[7]

그림 1은 세탁기의 드럼이 회전할 때, 드럼 내부의 세탁물이 받는 힘을 표현한 것이다. 드럼 세탁기가 회전 하면 세탁물은 드럼의 원심력 F_w 에 의해 세탁조에 붙어 올라가고 일정 높이에 다다르면 중력의 원심력 반대 방향의 힘 F_{gw} 에 의해 떨어진다.

만약 세탁물을 드럼의 바닥으로 떨어지게 하는 힘인 중력의 원심력 반대 방향 힘 F_{gw} 이 세탁물을 드럼의 벽에 밀착시키는 힘인 원심력 F_w 보다 작다면 세탁물은

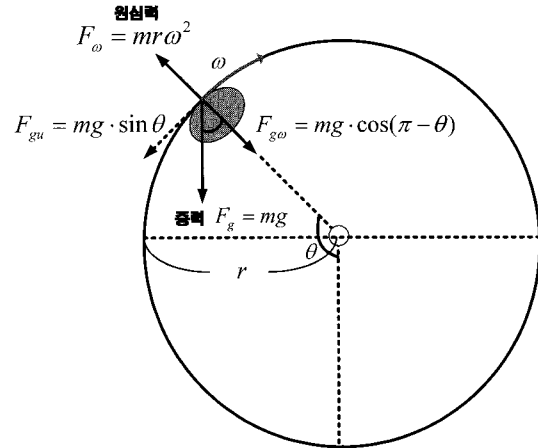


그림 1 드럼의 회전시 세탁물이 받는 힘
Fig. 1 The forces that applied on laundry when the drum is rotating

낙하하지 않는다.

세탁물에 중력의 원심력 반대 방향 힘 F_{gw} 가 최대로 작용할 때는 세탁물이 드럼의 천정에 위치 할 때이다. 만약 이 때의 원심력이 중력보다 크다면 세탁물은 낙하하지 않고, 드럼의 표면에 밀착하여 회전하게 된다. 이 때 부하에 작용하는 힘은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$mr\omega^2 \geq mg \cdot \cos(\pi - \theta) \tag{1}$$

F_{gw} 가 최대로 작용하는 경우는 식 (1)에서 $\cos(\pi - \theta)$ 가 1인 경우이며, 따라서 세탁물이 낙하하지 않는 속도는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\omega [\text{rad/s}] \geq \sqrt{\frac{g}{r}} \tag{2}$$

식 (2)에서 구한 각속도는 식 (3)을 이용해 전동기의 기계 각속도로 바꿀 수 있다.

$$\omega_m [\text{rpm}] = \frac{60}{2\pi} \times \omega [\text{rad/s}] \tag{3}$$

세탁물이 낙하되지 않는 속도를 식 (3)을 이용하여 계산하면 58[rpm]이다. 하지만 근사적으로 해석된 모델링은 세탁물과 세탁조 사이의 마찰계수와 같이 고려하기 힘든 요인들을 고려하지 않기 때문에, 일정한 세탁물의 관성 모멘트를 얻으려면 계산된 속도보다 빠른 속도로 회전시켜야 한다. 본 논문은 편심의 영향이

적고 세탁물이 세탁조에 붙어서 회전하는 100[rpm]으로 정하였다.

3. 세탁부하 관성 모멘트 추정 방법

세탁물의 양을 추정하는 구간은 전체 세탁행정 중에서 가장 먼저 이루어지며 정확한 포랑 감지를 위해 세탁기에 물을 주입하지 않는 상태에서 추정한다.

전동기를 세탁물이 낙하하지 않는 속도인 100[rpm]으로 회전 시키면 원심력에 의해 세탁물이 드럼의 외곽에 밀착되어 관성이 일정하게 유지된다.

그림 2는 본 논문에서 적용한 관성 모멘트 추정 방법이다. 관성 모멘트는 식 (4)의 전동기의 기계 방정식으로부터 유도되고 속도 변화에 따라 그림 2의 (a)와 같이 3개의 영역으로 구분한다.

$$T_e = J \frac{d\omega_r}{dt} + B\omega_r + T_L \quad (4)$$

그림 2의 (b)는 Mode I에서의 전동기 제어 블록도를 나타낸다. Mode I에서는 전동기를 100[rpm]으로 회전시켜 관성 모멘트를 일정하게 유지시킨다. 전동기의 토크 상수는 식 (5)와 같으며, 전동기는 d축 인덕턴스와 q축 인덕턴스의 크기가 같은 표면부착형 영구자석 동기 전동기(Surface mounted Permanent Magnet Synchronous Motor : SPMSM)이므로 발생토크는 식 (6)과 같다. 이 때, ϕ_f 는 전동기의 쇄교자속 성분을 나타낸다.

전동기의 속도 제어기와 전류 제어기가 원활히 동작하여 전동기의 속도 변동이 거의 없다면 관성 모멘트에 의한 토크 성분은 무시할 수 있으므로 부하토크는 식 (7)과 같이 표현할 수 있다. 한편 Mode I에서 측정된 부하토크는 Mode III에서 관성 모멘트를 추정하는데 사용된다.

$$K_T = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \phi_f \quad (5)$$

$$T_e(t_1) = K_T \times i_{qs1}^r(t_1) \quad (6)$$

$$T_e(t_1) = T_L(t_1) \quad (7)$$

그림 2의 (c)는 Mode II에서의 전동기 제어 블록도를 나타낸다. Mode II는 전동기가 100[rpm]으로 회전하고

있는 상태에서, 증가된 토크 지령을 인가하여 속도를 변화시키는 구간이다. Mode I에서 발생하는 토크의 2배의 토크 지령을 일정시간동안 인가하면 그에 따라 전동기 회전 속도가 상승하게 된다. 이때 Mode II의 i_{qr2}^* 값은 Mode I의 i_{qr1}^* 의 값에 의해 제한된다.

그림 2의 (d)는 Mode III에서의 전동기 제어 블록도를 나타낸다. Mode III에서의 발생토크는 상승된 속도에 따른 q축 전류 지령의 변동에 따라 식 (8)과 같이 표현할 수 있다. Mode I과 마찬가지로 전동기의 속도 변동에 의한 토크를 무시하면 부하토크는 식 (9)와 같이 표현할 수 있다.

$$T_e(t_2) = K_T \times i_{qs3}^r(t_2) \quad (8)$$

$$T_e(t_2) = T_L(t_2) \quad (9)$$

Mode I에서의 부하토크와 Mode III에서의 부하토크를 이용하여 Mode II에서의 평균부하토크를 구하면 식 (10)과 같다.

$$\overline{T_L} = \frac{T_L(t_2) + T_L(t_1)}{2} \quad (10)$$

식 (11)은 모드 별로 구한 각각의 변수들을 전동기의 기계방정식에 대입한 식이다. 여기서 T_e^* 는 Mode II에서 전동기에 인가된 토크이며, B 는 마찰 계수이다.

$$T_e^* = J \frac{d\omega_r}{dt} + B\omega_r + \overline{T_L} \quad (11)$$

한편, 전동기 속도의 미분 성분 $\frac{d\omega_r}{dt}$ 는 속도 변화 $\Delta\omega_r$ 를 시간 Δt 로 나눈 것이며 이는 Mode II에 의해 변동된 속도와 Mode II의 동작 시간을 의미한다. 여기서 마찰 계수 B 의 값을 0으로 가정하면 식 (11)은 식 (12)로 변환이 가능하며, 이를 세탁부하의 관성 모멘트 J 에 관한 수식으로 정리하면 식 (13)과 같다.

$$T_e^* - \overline{T_L} = J \frac{d\omega_r}{dt} = J \frac{\omega_{r2} - \omega_{r1}}{t_2 - t_1} \quad (12)$$

$$J = \frac{(T_e^* - \overline{T_L}) \times (t_2 - t_1)}{\omega_{r2} - \omega_{r1}} \quad (13)$$

4. 세탁물의 질량 추정 방법

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. 이것은 그림 3과 같이 표현할 수 있다. 그림 3의 세탁물에 의한 관성 모멘트 $J_{laundry}$ 는 세탁부하의 관성 모멘트 J 와 드럼의 관성 모멘트 J_{drum} 의 차로 나타낼 수 있다. 그리고 세탁물은 100[rpm] 구동 시 세탁조의 날개 길이를 벗어나지 않게 밀착이 되는 것으로 가정하였다.

$$J_{laundry} = J - J_{drum} \tag{14}$$

일반적으로 공간상에 질량이 연속적으로 분포하고 있다고 가정하면 관성 모멘트는 식 (15)와 식 (16)으로 표현된다.

$$J_{laundry} = \sum_i^N m_i r_i^2 \tag{15}$$

$$J_{laundry} = \int r^2 dm \tag{16}$$

식 (16)의 dm 은 (r, θ) 극좌표계로 표현이 가능하며 다음과 같은 수식으로 변환된다.

$$dm = \sigma r dr d\theta \tag{17}$$

식 (17)을 식 (16)에 대입하면, 두께를 가지고 있는 속이 빈 원통의 모양의 관성 모멘트를 구할 수 있다. 이 때 추정되는 관성 모멘트는 식 (18)과 같이 계산된다.

$$J_{laundry} = \frac{1}{2}(r_2^2 + r_3^2)\pi(r_2^2 - r_3^2)\sigma \tag{18}$$

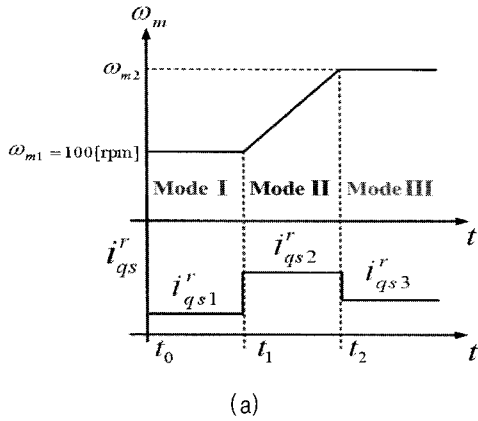
가정된 세탁물의 부피는 세탁물이 존재하는 공간과 비어있는 공간으로 나눌 수 있다. 빈 공간은 세탁조의 반지름 r_2 와 r_3 사이의 전체 질량 밀도 σ 로서 표현되며, 이는 식 (19)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma = D\rho_1 + (1 - D)\rho_2 \quad (0 \leq D < 1) \tag{19}$$

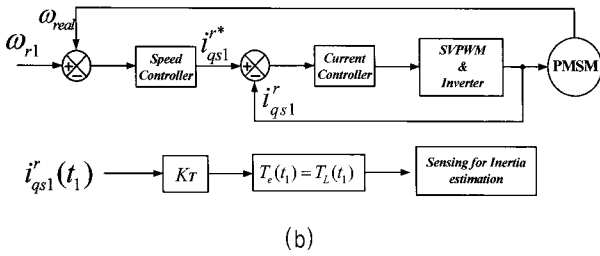
D : 세탁물이 존재하는 부분의 비율

ρ_1 : 세탁물이 있는 곳에서의 밀도

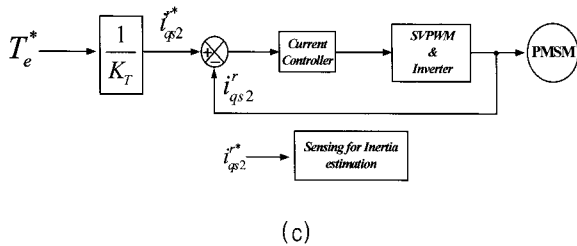
ρ_2 : 세탁물이 없는 곳에서의 밀도



Mode I



Mode II



Mode III

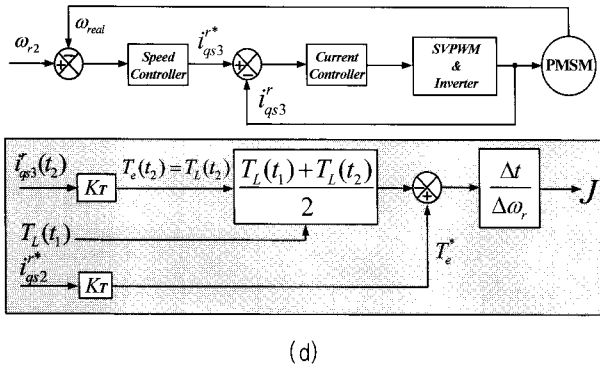


그림 2 세탁 부하 관성 추정 알고리즘 (a)각 모드별 속도 및 q축 전류 그래프, (b) 모드 I, (c) 모드 II, (d) 모드 III
 Fig. 2 Inertia estimation algorithm of the washing load (a) The Speed graph and q-axis current in each mode, (b) Mode I, (c) Mode II, (d) Mode III

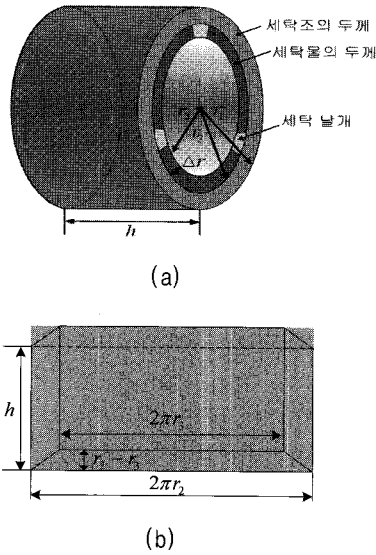


그림 3 100[rpm] 회전 시 세탁물의 부피 (a) 100[rpm] 회전 시 가정된 세탁물의 부피, (b) 세탁물의 펼쳐진 부피
 Fig. 3 The volume of laundry at 100[rpm] operation (a) Laundry shape attach to drum at 100[rpm], (b) The spread volume of the laundry shape

식 (18)을 σ 에 관해 정리하면 식 (20)과 같다.

$$\sigma = \frac{2J_{laundry}}{(r_2^2 + r_3^2)\pi(r_2^2 - r_3^2)} \quad (20)$$

식 (20)을 식 (19)에 대입하여 ρ_2 에 관해 정리하면 식 (21)과 같다.

$$\rho_2 = -\frac{D}{(1-D)}\rho_1 + \frac{2J_{laundry}}{(1-D)(r_2^2 + r_3^2)\pi(r_2^2 - r_3^2)} \quad (21)$$

식 (21)의 ρ_2 는 세탁물이 없는 곳의 밀도이므로 $\rho_2 \cong 0$ 으로 근사할 수 있다.

이를 통해 식 (21)을 전체면적에서 세탁물이 존재하는 부분의 비율 D 에 관해 정리를 하면, 식 (22)와 같이 표현할 수 있다.

$$D = \frac{2J_{laundry}}{(r_2^2 + r_3^2)\pi(r_2^2 - r_3^2)\rho_1} \quad (22)$$

식 (22)에서 얻은 D 를 식 (18)에 대입하면 전체 세

탁물의 질량 밀도 σ 를 얻을 수 있다.

한편, 추정된 세탁물의 질량 m 은 부피 v 와 전체 질량 밀도 σ 의 곱으로 식 (23)과 같이 나타낼 수 있다.

$$m = v \times \sigma \quad (23)$$

그림 3의 (b)는 가정된 세탁물의 부피를 펼친 그림이다. 식 (23)을 이용하여 그림 3의 (b)와 같은 부피의 질량을 식 (24)로 표현할 수 있다. 하지만 실제 세탁물은 세탁조에 인가된 형태가 그림 3의 (a)와 다르므로 이에 대해 상수 K 를 곱하여 보정하여 준다. 이 때 K 는 세탁기의 드럼 내부에 세탁물의 존재하는 비율 D 와 세탁물의 종류에 따른 보정계수 α 에 의해 결정된다. K 값은 마이크로프로세서의 연산량을 줄이기 위해, 추정된 관성 모멘트에 따라 표 1과 같이 정해진 값을 적용한다.

$$m = \pi \times (r_2^2 - r_3^2) \times h \times \rho_1 \times K \quad (24)$$

$$K = D \times \alpha \quad (25)$$

표 1 추정된 관성 모멘트에 따른 K 값
 Table 1 The K value by estimated moment of inertia

$J_{laundry} [kg \cdot m^2]$	K
$0.39 < J_{laundry} < 0.43$	8.3
$0.43 < J_{laundry} < 0.47$	6.2
$0.47 < J_{laundry} < 0.55$	5.3
$0.55 < J_{laundry}$	5.1

5. 세탁 시간 결정

세탁물의 종류는 면직포로 하였고, 세탁물의 타도는 0.5, 급수 시간과 포폴림 행정에 걸리는 시간은 무시하였다. 그림 4의 파란색 그래프는 기존의 세탁량에 따른 세탁시간을 표현한 것이고, 붉은 점은 1 [kg] 단위로 세탁시간을 결정하기 위한 기준점이다.

그림 4의 그래프를 보면 기존의 방법은 2[kg] ~ 4[kg], 5[kg] ~ 8[kg], 9[kg] ~ 11[kg]의 세 구간으로 세탁시간을 결정한다. 이는 기존의 방법이 정확한 세탁량을 추정하지 못하므로 추정오차를 고려하여 세탁시간을 결정하기 때문이다. 따라서 정확한 세탁물의 양에 따라 적절

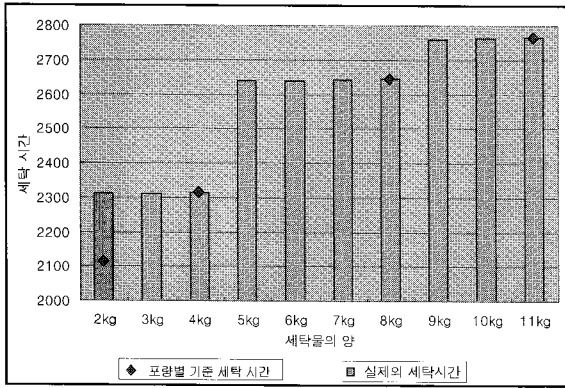


그림 4 세탁물의 양에 따른 기존의 세탁 시간과 1[kg] 단위의 세탁 시간을 결정하기 위한 기준점

Fig. 4 The conventional washing time and the reference point for washing time decision unit per 1[kg]

한 세탁시간을 인가하지 못하며, 특히 적은 양의 세탁물을 필요이상으로 오랜 시간 세탁하게 된다. 이는 불필요한 세탁시간으로 인해 과도한 전력을 소비하는 단점을 갖는다.

그림 5는 그림 4의 붉은 점으로 표시된 4개의 기준 세탁시간 데이터를 이용하여 선형 보간법으로 각 1[kg]의 질량에 따른 세탁시간을 계산한 곡선이다.^[8] 이는 식 (26)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 m_{n+1} 과 m_n 은 질량 m 이 속해있는 영역의 극한 값이다.

$$t_{wash} = \frac{t_{n+1} - t_n}{m_{n+1} - m_n} \times m + \left\{ \frac{(t_{n+1} + t_n) - \left(\frac{t_{n+1} - t_n}{m_{n+1} - m_n} \right) \times (m_{n+1} + m_n)}{2} \right\} \quad (26)$$

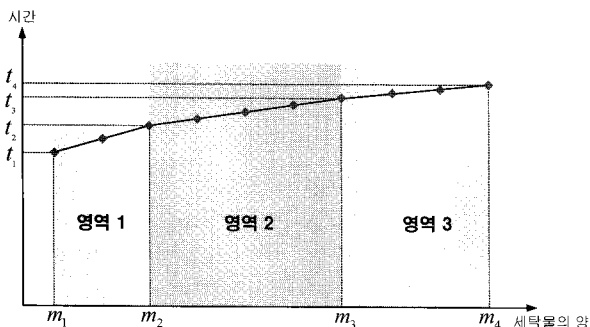


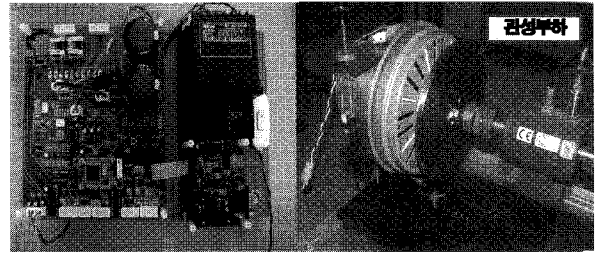
그림 5 세탁물의 양에 따라 계산된 세탁 시간 그래프
Fig. 5 The calculated washing time graph according to the laundry mass

식 (24)를 이용하여 추정된 세탁물의 질량 m 을 식 (26)에 대입하면 1[kg] 단위로 세탁물의 양에 따른 세탁시간을 얻을 수 있다.

6. 실험 결과

그림 6의 (a)는 실험을 위해 제작된 1.8[kW]급 인버터 외관을 보여준다.

전력용 반도체 소자는 Mitsubishi사의 PS11036 IPM(Intelligent Power Module)을 사용 하였다. 이 IPM은 단상 풀 브리지 다이오드 정류기와 인버터의 구성을 위한 IGBT 소자를 하나의 모듈에 내장하고 있다.



(a) (b)

그림 6 (a) 실험에서 사용한 인버터 (b) 관성 부하 추정을 위한 실험 세트

Fig. 6 (a) The inverter using in experiment (b) The experimental set up for the flywheel inertia load estimation

표 2 실험에 사용한 전동기의 제정수
Table 2 The motor parameters using in experiment

항 목	값	항 목	값
상저항	3.72[Ω]	정격전압	310[V]
d축 인덕턴스	31.947[mH]	정격전류	6[A]
q축 인덕턴스	31.947[mH]	극수	24[P]
관성 모멘트	0.05[kg · m ²]	정격속도	400[rpm]
		정격토크	20[N · m]
정격출력	1.8[kW]	마찰계수	0

표 3 관성 부하의 제정수
Table 3 The inertia load parameter

항 목	값
관성 부하의 반지름	0.1315[m]
관성 부하의 질량	4.433[kg]
관성 부하의 관성 모멘트	0.03532[kg · m ²]

드럼 세탁기용 SPMSM 구동용 인버터에서 제어알고리즘을 수행하기 위한 CPU는 TI(Texas Instrument)사의 고성능 32비트 소자인 TMS320F2811을 사용하였다.

그림 6의 (b)는 드럼 세탁기용 SPMSM에 관성 부하가 연결된 사진이다. 실험에 사용된 드럼 세탁기용 SPMSM의 제정수는 표 2와 같고, 관성 부하의 제정수는 표 3에 나타내었다. 실험에 사용된 전동기는 회전자 바깥쪽에 설계된 외전형이며 관성 부하는 Flywheel 형으로 제작하였다.

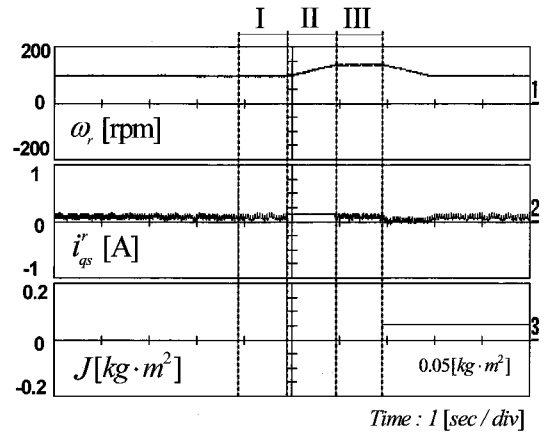
본 논문에서는 관성 모멘트 추정 방법을 테스트하기 위해 관성 모멘트 값이 정해져 있는 관성부하를 이용하여 그 값을 정확히 추정하는지 실험 하였다.

그림 7은 관성 부하 세트를 이용하여 실험한 결과이다. 3장에서 설명한 세탁부하 관성 추정 방법을 각 모드 별로 1초씩 수행하므로, 관성 추정을 완전히 끝내는데 3초의 시간이 소요된다. 그림 7의 (a)는 관성 부하를 연결하지 않고, 전동기 자체의 관성 모멘트를 추정한 실험 결과이다. 또한 그림 7의 (b)는 전동기에 관성 부하를 연결하여 관성 추정 실험을 한 결과이다. 그림 7의 (b)에서 추정된 관성 모멘트는 전동기의 관성 모멘트와 관성 부하의 관성 모멘트를 합한 값이다. 따라서 그림 7의 (b)에서 얻은 관성 모멘트에서 (a)의 결과를 빼면 관성 부하만의 관성 모멘트를 구할 수 있다.

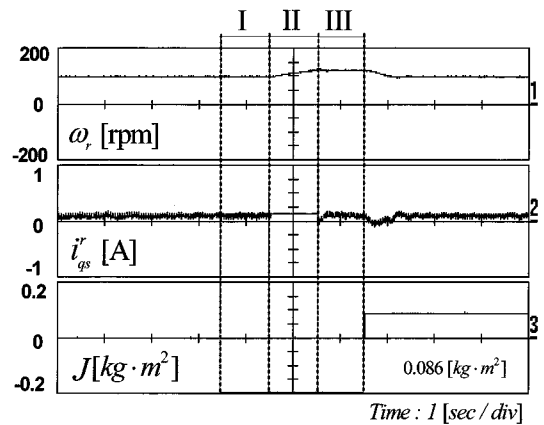
그림 7의 (a)에서 추정된 관성 모멘트는 $0.05 [kg \cdot m^2]$ 이며 그림 7의 (b)에서 추정된 관성 모멘트는 $0.086 [kg \cdot m^2]$ 이다. 따라서 그림 7에서 추정된 관성 부하의 관성 모멘트는 $0.036 [kg \cdot m^2]$ 이다. 여러번의 실험결과를 통하여 추정값과 공칭값의 오차는 $0.001 [kg \cdot m^2]$ 을 넘지 않는 것을 확인하였다.

다음으로 관성 부하 대신 실제 드럼 세탁기에 세탁물을 인가하여 질량과 관성 모멘트를 정확히 추정하는지 실험하였다. 그림 8은 실제 실험에 사용된 드럼 세탁기의 사진이다. 드럼 세탁기는 대우일렉트로닉스사의 정격 $11 [kg]$ 용량의 세탁기를 사용하였으며 세탁기의 드럼 크기는 표 4와 같다.

그림 9는 실제 드럼세탁기와 세탁부하를 이용하여 관성 모멘트를 추정한 실험결과이다. 실험에 사용된 세탁물은 면직포를 이용하였고, 사용한 면직포의 밀도 ρ_1 는 $1.5 [g/cm^3]$ 이다. 그림 9의 (a)는 세탁기에 세탁물을 넣지 않고 관성 모멘트 추정 실험을 한 결과이다. 이때 추정되는 관성 모멘트는 세탁기 드럼에 의한 관성 모멘트와 모터 자체의 관성 모멘트의 합이다. 그림 9의 (b), (c), (d)는 각각 $3 [kg]$, $7 [kg]$, $11 [kg]$ 의 세탁물을 넣고 관성 추정 실험의 결과이다.



(a)



(b)

그림 7 관성 부하 세트를 이용한 실험
(a) 무부하 실험, (b) 관성 부하 연결 후 실험
Fig. 7 The experiment using inertia load set
(a) No load experiment, (b) Experimental waveform for the flywheel moment of inertia estimation

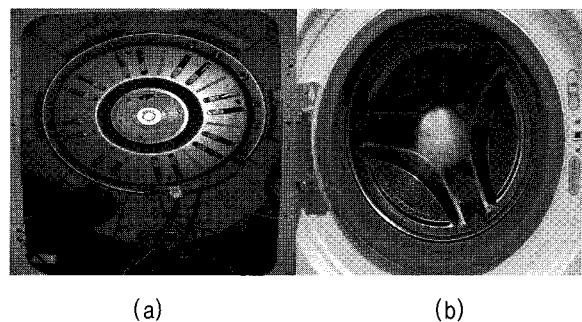


그림 8 (a) 드럼 세탁기의 뒷면 (b) 드럼 세탁기의 내부
Fig. 8 (a) The back side of the drum washing machine (b) Inside of the drum washing machine

표 4 실험에서 사용한 세탁기의 드럼 크기
Table 4 The drum size of the washing machine using in experiment

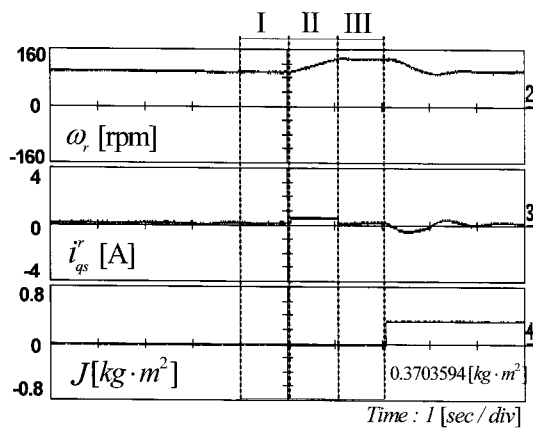
항 목	크 기
세탁조의 내부 반지름	0.265[m]
세탁조의 길이	0.41[m]
세탁날개의 길이	0.05[m]

그림 9의 (b), (c), (d)에서는 그림 9의 (a)에서 무부하로 추정된 관성 모멘트 보다 세탁물을 인가한 만큼 상승된 관성 모멘트가 측정된다. 따라서 그림 9의 (b), (c), (d)에서 추정된 관성 모멘트에 (a)의 실험결과를 빼면 세탁물의 관성 모멘트를 얻을 수 있다.

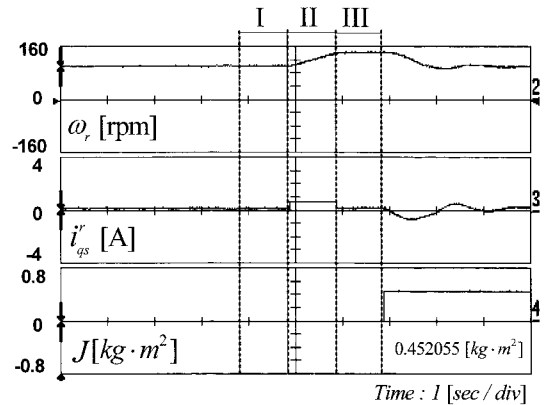
표 5는 인가한 세탁물의 양에 따른 추정된 관성 모멘트와 추정된 세탁물의 양을 나타낸다. 세탁물의 양이 증가함에 따라 추정되는 관성 모멘트와 질량이 증가함을 알 수 있다. 또한 추정 질량과 실제 세탁물의 양 사이의 오차는 1[kg]을 넘지 않는 것을 알 수 있다.

그림 10은 세탁시간을 인가한 세탁물의 양에 따라 1[kg] 단위로 결정하였을 때의 소비전력과, 3단계로 나누어 세탁을 하였을 때의 소비전력을 비교한 그래프이다. 소비전력은 세탁물을 넣고 10회 세탁모드를 구동하여 적산전력계에 나타난 전력의 평균값으로 도시하였다.

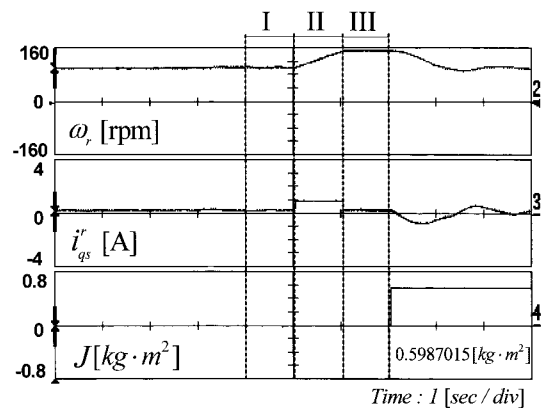
세탁물의 양이 4[kg], 8[kg], 11[kg]일 때 두 방법의 소비전력은 같지만, 그 외의 세탁물의 양에서는 1[kg] 단위로 세탁시간을 조정하였을 때 소비전력이 더 감소하는 것을 알 수 있다. 비록 세탁물의 양에 따른 최적



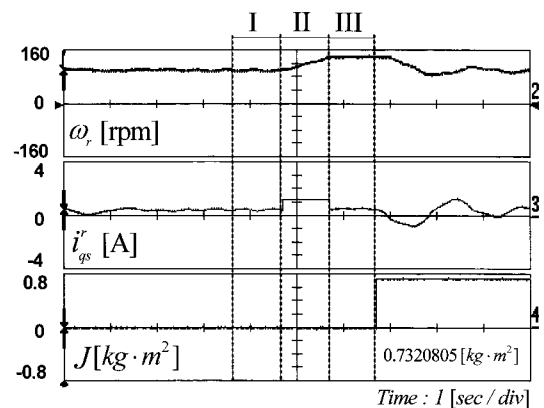
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 9 실제 세탁기와 세탁부하를 이용한 실험
(a) 무부하 실험, (b) 3[kg]의 세탁 부하 실험,
(c) 7[kg] 세탁 부하 실험, (d) 11[kg] 세탁 부하 실험

Fig. 9 Experiments using drum washing machine and laundry load (a) No load experiment, (b) Experimental result at 3[kg] laundry load, (c) Experimental result at 7[kg] laundry load, (d) Experimental result at 11[kg] laundry load

화된 세탁시간을 적용하지는 못하였으나, 정확한 세탁물의 양을 추정함으로써 그에 맞는 세탁시간을 적용할 수 있고, 이를 통해 전체적인 세탁효율을 향상시킬 수 있다.

7. 결 론

본 논문은 관성 추정기를 이용하여 세탁물의 양을 추정하는 방법에 대해 설명하였다. 제안된 추정 방법은 먼저 세탁물의 관성 모멘트가 변하지 않도록 일정 속도 이상으로 회전시킨다. 그 후 전동기의 기계방정식을 이용하여 세탁물의 관성 모멘트를 추정한 후 이를 질량으로 변환하여 세탁물의 양을 추정하였다.

제안된 방법은 전동기에 연결된 관성 부하를 이용하여 관성추정기의 타당성을 증명한 후, 실제 세탁기에 적용하여 세탁물의 양을 측정하였다. 결과적으로, 개선된 세탁부하 추정 방법으로부터 세탁시간을 조정하여 효율을 상승시킬 수 있음을 실험 결과를 통해 나타내었다.

표 5 세탁물의 양에 따른 추정 관성 모멘트와 추정 질량
Table 5 The result of estimated moment of inertia and estimated mass

세탁물 [kg]	추정 관성 모멘트 [$J \cdot kg \cdot m^2$]	추정 질량 [kg]	추정 오차 [kg]
0	0.3703594	0	0
2	0.4112072	2.014654	-0.01465
3	0.452055	3.027805	-0.0278
4	0.497642	3.957523	0.042477
5	0.531252	5.058801	-0.0588
6	0.569821	6.108839	-0.10884
7	0.5987015	6.914216	0.085784
8	0.6336543	8.709131	-0.70913
9	0.668429	9.053274	-0.05327
10	0.699812	9.999476	0.000524
11	0.7320805	10.95838	0.04162

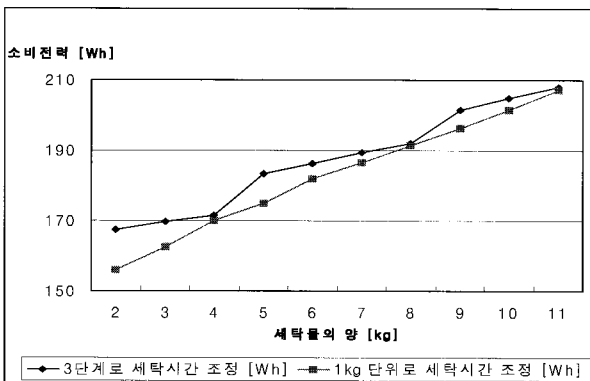


그림 10 측정된 소비전력 비교 그래프
Fig. 10 The comparison graph of measured consumption power

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

참 고 문 헌

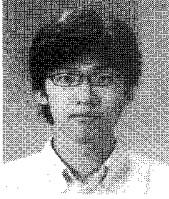
- [1] 김홍성, 한관구, 이육기, 김판돌, “퍼지-신경망 기법을 적용한 세탁기”, *대한전자공학회 학술대회 논문집*, 제1권, pp. 5-16, 1991. Jan.
- [2] 김재겸, 권호철, 손권, 박종아, 최강모, 황진성, 김용태, 김경훈, 손창우, “드럼세탁기의 포량 감지 방법”, 대한민국 특허출원번호 10-2006-0035391, 2006. April.
- [3] 오수영, 김진웅, 서현석, 이태희, 김준우, 우경철, “드럼 세탁기의 포량 감지 방법”, 대한민국 특허출원번호 10-2002-0078289, 2002. Dec.
- [4] 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, No. 3, pp. 379-386, 2006. May.
- [5] Nam-Joon Kim, Hee-Sung Moon, Dong-Seek Hyun, “Inertia identification for the speed observer of the low speed control of induction machines”, *IEEE Transactions on Industry Application*, Vol. 32, No. 6, pp. 1371-1379, 1996. Nov.-Dec.
- [6] 이재왕, 김상훈, “관성능률 추정과 가속도 전향보상을 이용한 유도전동기의 속도제어 성능향상”, *전력전자학회 논문지*, 제6권, 제1호, pp. 90-97, 2001. 2
- [7] 이정효, 이원철, 유재성, 정용채, 원충연, “역학적 특성을 고려한 드럼세탁기 부하 모델링”, *전력전자학회 논문지*, 제12권, 제6호, pp. 491-499, 2007. 12.
- [8] 박광배, “변량분석과 회귀분석”, 학지사, 2003. 4

저 자 소 개



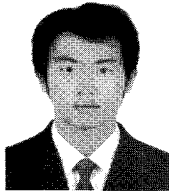
황춘환(黃春煥)

1981년 8월 28일생. 2007년 공주대 전기 전자정보전공 졸업. 2009년 성균관대 대학원 메카트로닉스협동과정 졸업. 2009년~현재 헥스파워시스템(주) 기술지원팀.



이정효(李楨孝)

1982년 9월 20일생. 2006년 건국대 전기공학과 졸업. 2008년 성균관대 대학원 전자전기컴퓨터공학부 졸업(석사). 2008년~현재 성균관대 대학원 전자전기컴퓨터공학부 박사과정.



김경민(金庚旼)

1983년 5월 28일생. 2008년 안양대 전기전자공학과 졸업. 현재 성균관대 대학원 전자전기컴퓨터공학부 석사과정.



이원철(李元喆)

1977년 4월 9일생. 2003년 성균관대 전자컴퓨터공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.



김영렬(金暎烈)

1958년 9월 5일생. 1982년 서울대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1982년~1987년 한국기계연구소 부설 기업기술지원센터 연구원. 1993년~1996년 한국항공우주연구소 선임연구원. 1996년~현재 안양대 전기전자공학과 교수. 현재 당 학회 평의원.



원충연(元忠淵)

1955년 5월 10일생. 1978년 성균관대 전기공학과 졸업. 1980년 서울대 공대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1991년 12월~1992년 12월 미국 테네시 주립대학 전기공학과 방문교수. 1988년~현재 한국철도기술연구원 심사위원. 2006년~현재 한국전력공사 PQ심사위원. 2006년~현재 차세대 첨단도시철도시스템(한국건설교통기술평가원) 기술개발사업 운영위원. 2006년~현재 (주)로템 기술자문위원. 2007년~현재 도시철도기술실무위원회 위원(건설교통부). 2007년~현재 월간 전기설비 편집자문위원. 2007~2008년 당 학회 부회장. 현재 성균관대 정보통신공학부 교수.