

역학적 특성을 고려한 드럼세탁기 부하 모델링

李楨孝^{*}, 李元喆^{**}, 柳在成^{**}, 鄭龍采^{***}, 元忠淵[†]

Load Modeling of the Drum Washing Machine Considering the Mechanical Characteristics

Jung-Hyo Lee, Won-Chul Lee, Jae-Sung Yu, Yong-Chae Jung and Chung-Yuen Won

요 약

전동기 구동에 있어서 부하 특성의 변화는 가장 중요하게 고려해야 할 것 중 하나이다. 일반적으로 부하의 변동은 전동기에 흐르는 전류의 크기를 변화시키므로 그 변동의 크기에 따라 적절한 드라이브를 설계해야 할 필요가 있다. 하지만 물의 흐름과 역방향 부하토크 때문에 드럼 세탁기의 부하 변동은 불규칙하며 크다. 이러한 부하 패턴을 고려한 드럼 세탁기의 구동 드라이브를 설계하기 위하여 세탁기 부하의 변동을 물리적 해석을 통해서 모델링하고자 한다.

ABSTRACT

The variation of a load characteristic in the motor drive is one of the most important consideration. Because the current flowing into the motor generally varies according to the load variation, it needs to design the motor drive circuit properly in accordance with the load variation. However, the load variation of the drum washing machine is irregular and large due to the water flow and reverse load torque. Therefore, to design the motor drive circuit considering this load pattern, simulation results shows the load pattern modeling of the drum washing machine based on the physical analysis in this paper.

Key Words : Motor drive circuit, Drum washing machine, Load pattern modeling

1. 서 론

세탁기는 세탁 방식에 따라 와류식, 교반식, 드럼식의 세 가지 타입으로 구분할 수 있다. 드럼식은 세탁 시간이 길고 세탁력이 떨어진다는 단점이 있지만 옷감

의 손상이 적고 무엇보다 물 사용량이 적어서 다른 세탁 방식보다 환경 친화적이라고 할 수 있다.^[2]

드럼 세탁기의 세탁 방식은 원통이 회전을 함에 따라 세탁물을 끌어올렸다가 떨어지는 기계력으로 세탁한다. 그러므로 드럼 세탁기는 세탁물을 세탁할 때 발생하는 부하의 변동이 크기 때문에 전동기 구동회로에 있어서 과전류를 고려한 회로 설계를 해야 한다.^[1,2]

이를 고려한 드럼 세탁기 구동 시스템의 시뮬레이션은 단순히 부하의 무게에 의해 결정되지 않는다는 점, 회전 방향이 변함에 따라 그에 따른 과도 상태가 존재하는 점 등의 어려움이 있다. 이러한 드럼 세탁기의

[†]교신저자 : 정회원, 성균관대 정보통신공학부 교수
E-mail : daumin@naver.com

^{*}정회원, 성균관대 대학원 정보통신공학부 석사과정

^{**}정회원, 성균관대 대학원 정보통신공학부 박사과정

^{***}정회원, 남서울대 전자공학과 부교수

접수일자 : 2007. 8. 16 1차 심사 : 2007. 9. 1

2차 심사 : 2007. 9. 29 심사완료 : 2007. 10. 22

세탁 부하의 특징에 대해 간단히 열거하면 다음과 같다.

1. 부하의 변동은 회전속도에 따라 주기성을 띤다.
2. 전동기의 회전방향이 변화할 때 세탁물의 관성에 의해 과도 상태 토크가 발생한다.
3. 세탁물이 낙하 운동을 할 때에 부하의 크기가 위치에 따라 변한다.

드럼 세탁기 부하는 위에서 열거한 토크가 중력, 마찰력, 원심력 등의 영향으로 변동한다.^[5] 각각의 세탁 목적에 따라서 드럼 세탁기의 세탁은 크게 세탁물을 세탁하는 세탁모드, 세탁물에 있는 세제를 제거하는 행굼모드, 그리고 탈수모드로 나눈다.

세탁모드, 행굼모드, 탈수모드는 각각의 세탁 목적이 다르므로 부하의 크기 및 변동도 각각 다르다. 그 중에서 세탁모드는 물의 양이 적어서 회전에 의한 부하 변동이 심하다.^[4] 따라서 본 논문은 세탁모드의 부하 변동에 대해 물리적으로 해석하고 그 결과를 바탕으로 부하 모델링을 하여, 기존의 일정 부하 패턴을 인가하였을 때 전동기에 흐르는 전류와 역학적 특성을 고려한 부하를 인가하였을 때의 전류 흐름을 Matlab/Simulink 시뮬레이션을 통하여 비교한다.

2. 세탁 부하의 원리

세탁 부하는 세탁 방식에 따라 다음과 같이 세 가지 모드로 나눌 수 있다.

1. 세탁 모드
2. 행굼 모드
3. 탈수 모드

각각의 모드는 세탁물의 상태와 처리에 따라 분류된다. 따라서 각각의 모드는 각기 다른 부하 토크를 갖게 된다.

2.1 세탁 모드

그림 1의 세탁 모드는 세탁물을 세척하는 모드로서 회전 드럼이 약 45rpm 으로 회전한다.

세탁 모드는 세탁 날개에 의해 올라간 세탁물이 떨어지면서 생기는 충격에 의해 세탁하며, 세탁물이 떨어지는 순간 급격한 부하 변동이 생긴다. 따라서 이러한 부하 변동은 세탁물이 떨어지는 위치에 따라 다르게 나타난다.

한편 세탁 모드는 급수량을 최소 수위로 결정하기 때문에, 물의 영향에 의한 부하의 크기는 행굼 모드에 비해 적다.

또한 세탁 부하의 주기에 영향을 미치는 마찰력은 젖은 세탁물에 의한 높은 접촉력으로 인해 마찰 계수가 높으며, 그로 인해 저속에서도 높은 위치에서부터 낙하를 시작한다.

세탁모드에서 세탁물의 낙하형태는 드럼 내부의 세탁 날개(Baffle)에 의해 세탁물이 들어 올려지고, 들어올려진 세탁물이 중력에 의한 자유 낙하 운동으로 드럼 벽면에 충돌하는 궤적이 된다.(A점)

따라서 낙하 궤적이 길어지면 길어질수록 부하토크가 최소화된 구간이 길어진다.

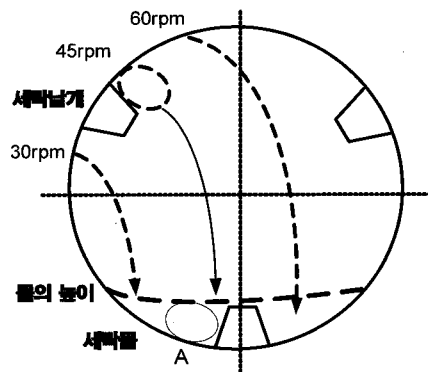


그림 1 속도에 따른 세탁모드에서의 낙하 궤적
Fig. 1 Falling motion path of the laundry in washing mode

2.2 행굼 모드

행굼모드는 세탁물에 침투한 세액과 세제를 제거하는 모드이다. 행굼모드의 속도는 45rpm 으로 세탁모드와 같지만 세탁모드와 다르게 세탁조의 급수량이 가장 많다.

따라서 행굼모드의 물의 양은 세탁모드와 다른 부하 패턴을 만든다. 세탁 모드에 비해서 물의 양이 많기 때문에 부하 전체의 크기는 증가하지만, 물의 부하 변동은 적기 때문에 변동 폭은 세탁모드에 비하여 작다. 또한 세탁물이 물속에 있는 시간이 세탁모드에 비해 길어지고 세탁물의 낙하는 세탁조와의 충돌하지 않고 수면과 충돌하게 된다.

그림 2는 속도에 따른 행굼모드에서의 낙하궤적이다. 세탁모드와 회전속도는 비슷하지만 낙하 궤적은 세탁 모드와 비교해서 짧다.(B점) 따라서 부하의 변동은 세탁 모드와 비교해서 작다.

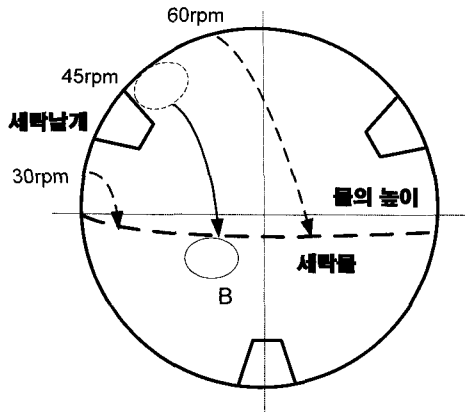


그림 2 속도에 따른 행굼모드에서의 낙하궤적
Fig. 2 Falling motion path of the laundry in rinse mode

2.3 탈수 모드

탈수모드는 세탁모드나 행굼모드와 달리 약 1200rpm 정도의 고속 운전을 한다.

이러한 고속 운전에 의해 세탁물은 세탁조에 붙어서 회전하며 이 때 발생하는 원심력에 의해 세탁물 내부의 수분을 제거하게 된다.

세탁물 내에 있는 때나, 세제를 제거해야 하는 세탁 모드나 행굼 모드는 비교적 저속에서 높은 토크를 필요로 한다. 하지만 탈수 모드는 세탁물 내에 있는 수분을 제거해야 하기 때문에 높은 토크를 필요로 하지 않는다.

그림 3은 탈수 모드에서 필요한 토크와 속도, 그리고 세탁 모드에서 필요한 토크와 속도를 표현하였다.

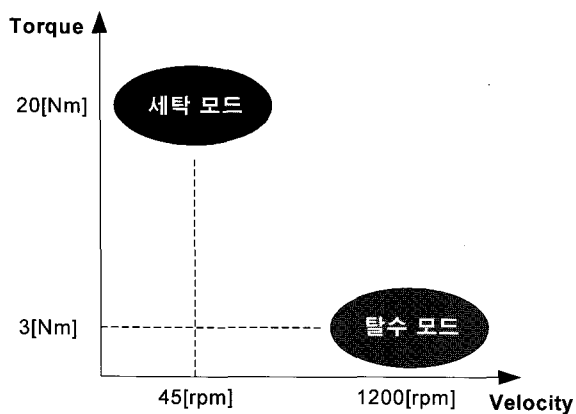


그림 3 드럼 세탁기의 부하특성
Fig. 3 Load characteristics of washing machine

그림 3에서 탈수 모드는 저토크, 고속도로 구동하기

때문에 부하의 크기가 작다. 따라서 탈수 모드에서 인버터에서 출력되는 전류의 크기는 초기 구동 상태를 제외하고 세탁모드나 행굼모드와 비교할 때 보다 작다.

탈수 모드에서 부하에 주로 작용하는 힘은 원심력이다. 때문에 탈수 모드에서는 전동기 중심인 축에 부하가 주로 분포하게 되고 세탁물의 무게에 의해 중심이 흔들리는 편심이 발생하게 된다. 편심에 의한 부하 토크는 근사적으로 정현적인 특성을 갖지만 드럼의 마찰력과 부하의 쓸림 현상 등 여러 가지 힘이 작용하기 때문에, 탈수 모드의 시뮬레이션과 실제 부하 토크는 차이가 크다.^[3]

3. 드럼 세탁기 부하의 역학적 특성

3.1 낙하 운동

드럼 세탁기가 정속도로 회전할 때 세탁물의 낙하 운동에 대한 역학적 특성이 나타난다.^[5]

드럼 세탁기의 정속회전 시 세탁물은 드럼 내부의 세탁 날개에 의해 들어 올려 진다.

이 때, 들러진 세탁물에 작용하는 힘은 크게 원심력과 중력, 그리고 마찰력으로 구분되며, 중력은 다시 구심력 방향 성분과 역회전방향 성분으로 나누어진다.

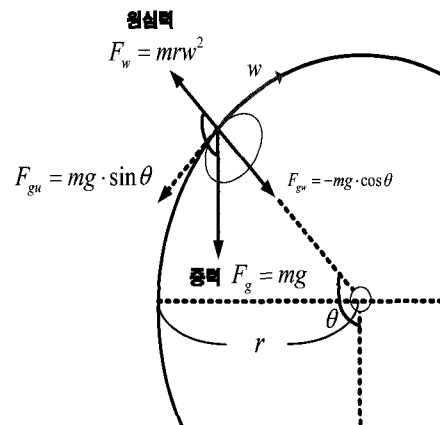


그림 4 일정한 속도에서 세탁물에 작용하는 힘
Fig. 4 Forces of the laundry at constant velocity

이러한 힘의 역학 관계에서 낙하 운동이 일어날 조건은 식 (1)과 같다.

$$F_w + f_{baffle} = F_{gv} \tag{1}$$

여기서 F_w 는 원심력, F_{gw} 는 중력의 구심력 방향의 힘, f_{baffle} 는 세탁날개의 마찰력을 나타낸다.

낙하 시작 시점은 식 (1)에서 표현한 것과 같이 원심력과 세탁날개의 마찰력이 중력의 구심력 방향의 힘과 같아질 때이다. 여기서 세탁날개의 마찰력을 무시하고 드럼의 반지름을 고려하면 식 (1)은 식 (2)와 같이 근사된다.

$$mr\omega^2 + mg \cos \theta = 0 \tag{2}$$

식 (2)를 통해 회전속도별 낙하 시작 각도를 근사적으로 계산하면 식 (3)과 같다.

$$\theta = \cos^{-1} \left(-\frac{r\omega^2}{g} \right) \tag{3}$$

한편 θ 는 각속도와 시간의 곱이므로 이를 통해 낙하 운동을 시작하는 시간을 알 수 있다.^[5]

식 (3)을 통해 일정속도에서 부하가 낙하를 시작하는 시간은 다음과 같이 구한다.

$$t_0 = \frac{\cos^{-1} \left(-\frac{r\omega^2}{g} \right)}{\omega} \tag{4}$$

부하의 낙하가 드럼의 호와 같은 포물선을 그리며 θ 가 0인 곳으로 낙하를 한다고 가정하면 부하의 낙하 시간은 다음과 같이 정한다.

$$t_1 = \sqrt{\frac{2r\theta}{g}} \tag{5}$$

이러한 역학적 특성을 토크로 표현하기 위해 관성 모멘트를 다음과 같이 계산하였다. 세탁기 부하는 원통에 균일하게 분포한다고 가정하며 반지름 절반의 원통을 회전한다고 가정한다.

본 논문에서는 부하의 질량에 대한 관성 모멘트에 중력 가속도를 곱한 것을 부하량으로 정의한다.

$$\begin{aligned} M_k &= \int_{0.5r}^r r^2 dm \cdot g \tag{6} \\ &= \frac{1}{2} m (r^2 - (0.5r)^2) \cdot g \end{aligned}$$

따라서 일정속도에서 세탁물이 인가되는 시간과 세

탁물이 낙하하는 시간으로 부하를 표현하면 식 (7)의 주기함수적인 패턴으로 표현된다.

이러한 세탁물의 부하 패턴은 4절의 시뮬레이션 파형으로 확인할 수 있다.

$$T(t) = M \sum_{k=0}^{\infty} (u(t - kT_0) - u(t - t_0 - kT_0)) \tag{7}$$

$$(T_0 = t_0 + t_1)$$

M : 세탁물의 부하량

3.2 부하크기의 변동

드럼 세탁기 부하의 크기는 세탁물의 위치에 따라 그 크기가 변동한다. 따라서 이러한 위치에 따른 토크의 변동을 수식적으로 표현할 필요가 있다. 마찰력에 의해 부하가 드럼에 접촉해 있다고 한다면 중력에 의한 역회전방향의 토크가 부하에 인가된다.

$$T_{var} = rF_{gu} \tag{8}$$

부하 크기의 변동은 세탁물이 세탁조에서 떨어지지 않는다면 세탁조의 90도의 위치에 있을 때, 부하 토크는 최대가 된다.

3.3 과도 상태에서의 부하

정지해 있는 부하는 최대 정지 마찰력이 작용하기 때문에 정상상태보다 큰 부하 토크가 발생한다. 따라서 정지상태의 부하를 움직이기 위한 과도상태가 존재하며, 부하가 회전에 의해 중심축이 이동할 때까지 이러한 토크는 지속된다.

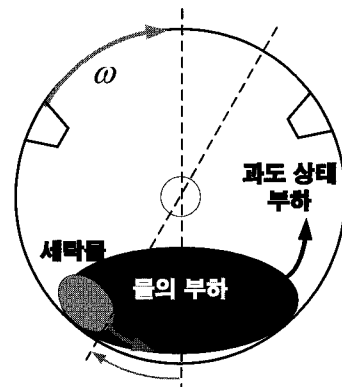


그림 5 과도상태 1에서의 부하
Fig. 5 Load at the transient state 1

과도상태 1은 정지해 있던 세탁조가 방향을 바꾸는 순간에 발생한다. 이러한 토크는 세탁조 내에 있는 세탁물과 물의 관성에 의해 급격한 부하토크로 나타난다. 이 때 발생하는 부하 토크는 세탁 부하와 세탁조 사이의 최대정지마찰계수와 운동마찰계수에 의해 결정된다. 본 논문에서 최대정지마찰계수는 운동마찰계수의 1.8배로 가정한다.^[4]

$$F_{frmax} = \mu_{stiction}N \tag{9}$$

$$(\mu_{stiction} = (1 + 0.8e^{-\frac{t}{\tau}})\mu_{coulomb})$$

N : 수직항력

최대 정지 마찰계수는 임계감쇠의 형태를 띤다.^[7] 두 부하의 움직임이 동시에 이루어진다고 가정하면 과도상태 1의 토크 $T_{tr1}(t)$ 는 다음과 같은 수식으로 주어진다.

$$T_{tr1}(t) = \mu_{stiction}(M + M_{water}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \tag{10}$$

τ : 감쇠정수 M_{water} : 물의 부하량

감쇠 정수는 물이 회전하는 드럼에 의해 중심이 이동하는 시간으로 결정되며 물리적인 해석으로는 값을 정하기 어렵고 실험적으로 정하게 된다.^[6]

과도상태 2에서는 물의 불안정한 상태에서 갑작스런 부하 변동으로 물에 의한 역방향 부하 토크가 인가된 상태이다.

역방향 부하 토크의 발생 원인은 물의 점성으로 인한 세탁물의 인력에 의해 작용한다. 세탁물이 원심력에 의해 물의 높이 이상으로 올라갈 경우 물의 부하는 부하점이 두 개가 되고 한 점은 관성에 의한 부하 토크를, 다른 점은 점성에 의한 부하 토크를 발생시킨다. 그림 6에서 이와 같은 과도 상태 시 역방향 부하 토크에 대한 특성을 표현하였다.

$$T_{tr2}(t) = -\mu_{viscous}M_{water} \cdot e^{-\frac{t}{\tau'}} \tag{11}$$

τ' : 역방향 부하에 대한 감쇠정수
 $\mu_{viscous}$: 물과 세탁물 사이의 점성계수

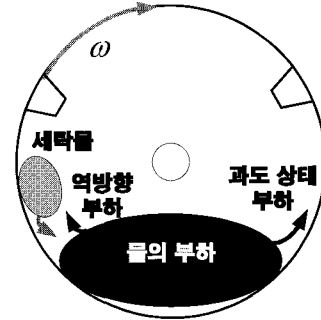


그림 6 과도상태 2에서의 부하
 Fig. 6 Load at the transient state 2

4. 시뮬레이션

역학적 특성을 고려한 세탁 모드의 부하 토크를 시뮬레이션 하기 위해서 표 1과 같은 세탁부하의 파라미터를 사용하였다. 세탁 부하의 Matlab/Simulink 시뮬레이션 블록도를 그림 7과 같이 구성하였다.

표 1 시뮬레이션에서 사용된 세탁부하 파라미터
 Table 1 Parameters of the washing load for the simulation

세탁물의 중량	4 [N·m]
물의 중량	1.6 [N·m]
세탁기의 속도	45 [rpm]
드럼의 반지름	33 [cm]
운동마찰계수	0.64
감쇄정수	5.1×10^{-2}
점성계수	0.4

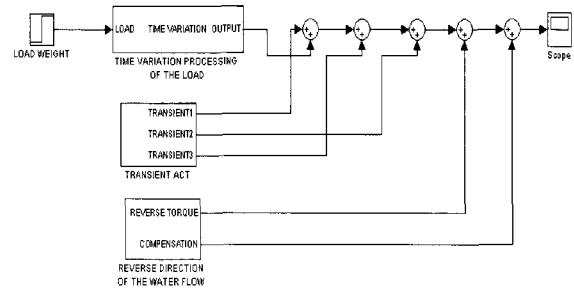


그림 7 드럼세탁기 부하 모델링 시뮬레이션 블록도
 Fig. 7 Block diagram of the drum washing machine load modeling simulation

앞에서 설명한 3.1절의 낙하 운동은 그림 8의 부하 패턴으로 표현되며, 3.2절의 부하변동은 그림 9로 나타

낼 수 있다.

또한 3.3절에서 설명한 과도상태의 부하는 그림 10과 그림 11로 표현할 수 있다.

따라서 그림 7과 같이 3장에서 설명한 부하의 역학적 특성들을 모두 고려하면 드럼 세탁기의 실제 부하토크는 식 (12)와 같다.

또한 식 (12)로 표현된 부하토크의 시뮬레이션 파형은 그림 12와 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{total}(t) = T(t) + T_{var}(t) + T_{tr1}(t) + T_{tr2}(t) \quad (12)$$

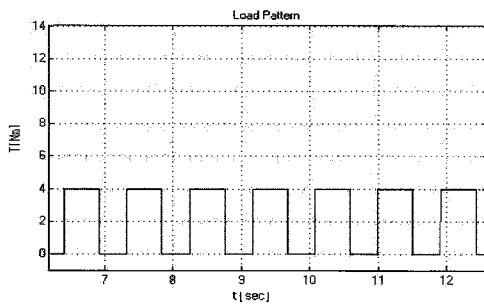


그림 8 낙하 운동에 따른 부하패턴
Fig. 8 Load pattern by falling motion

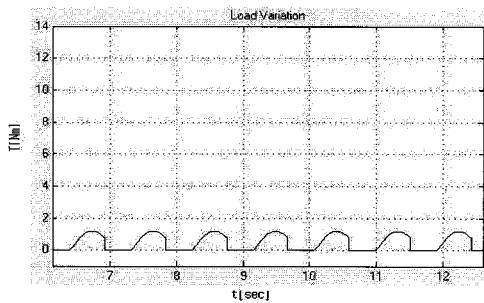


그림 9 부하변동에 대한 부하 토크
Fig. 9 Load torque by the variation

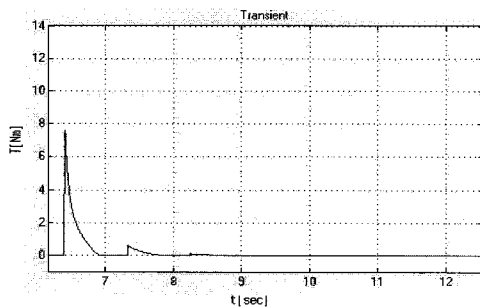


그림 10 과도상태에 대한 부하토크
Fig. 10 Load torque at the transient

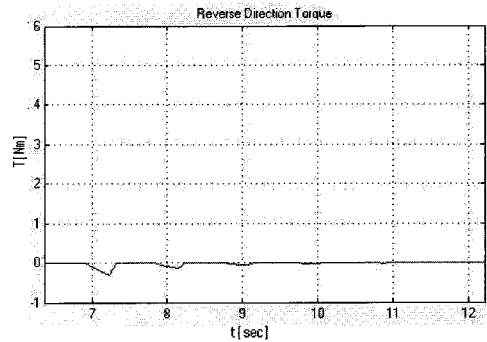


그림 11 물에 의한 역방향 부하토크
Fig. 11 Reverse direction torque by the water

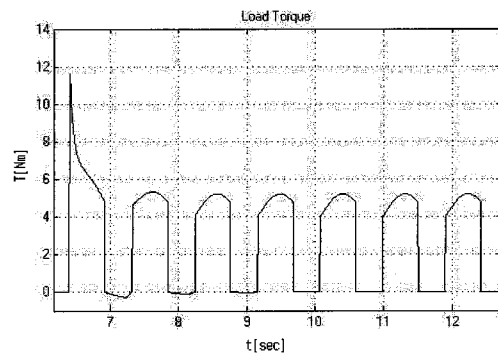


그림 12 드럼 세탁기 부하토크
Fig. 12 Load torque of the drum washing machine

이러한 부하 토크의 변동이 전동기 구동에 어떠한 영향을 끼치는지 알아보기 위해 표 2와 같은 파라미터를 가진 BLDC 전동기를 사용하여 시뮬레이션 하였다. 이 때, 마찰계수는 고려하지 않았다.

표 2 BLDC 모터의 시뮬레이션 파라미터
Table 2 Parameter of the BLDC motor

상 저항	0.75 [Ω]
상 인덕턴스	3.05 [mH]
역기전력 상수	0.215 [V/(rad/sec)]
토크 상수	0.215 [N·m/A]
관성 모멘트	8.26*10 ⁻⁵ [kg·m ²]
정격 전압	310[V]
정격 출력	1.2[kW]
극 수	24 [pole]

그림 13은 Matlab/Simulink로 구현한 BLDC 모터의 제어 블록도 이다. 본 논문에서 사용된 BLDC 모터 시뮬레이션은 허용 폭을 기준 전류의 5%로 제한한 히스테리시스 전류제어를 사용하였다.

블록도에서 실제속도는 속도제어기를 거쳐 모터에 인가해야할 기준 전류로 나타나며 이 기준전류와 실제 전류의 차이는 인버터 스위치에 인가해야할 전압의 진폭(V_a^*, V_b^*, V_c^*)으로 주어진다.

한편, 비교해야할 실제 전류와 인가해야 할 스위치의 상을 결정하기 위해서는 회전자 위치정보가 필요하므로 회전자 위치정보를 알 수 있는 홀센서 출력(H_a, H_b, H_c)을 검출한다.

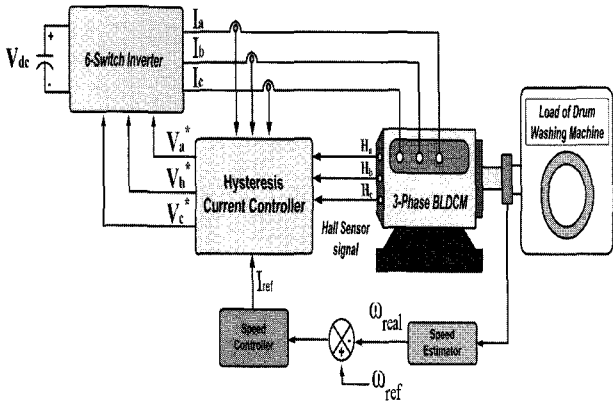


그림 13 BLDC 모터 시뮬레이션 제어 블록도
Fig. 13 Control block of the BLDC motor simulation

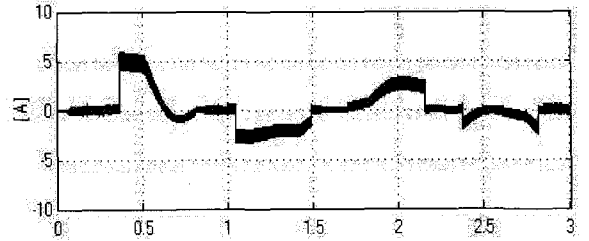
한편 전동기의 발생 토크는 식 (13)으로 표현할 수 있으며 이를 식 (14)의 전동기의 기계방정식에 부하토크를 적용하여 시뮬레이션 하였다.

$$T_e = e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c \quad (13)$$

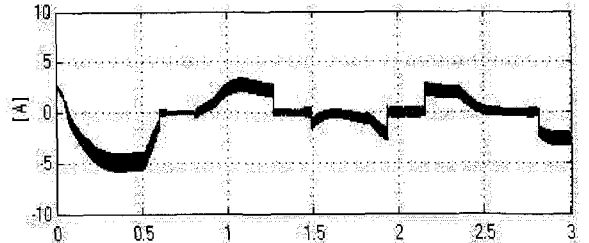
$$T_e = T_{total}(t) + J \frac{d\omega}{dt} + B\omega \quad (14)$$

그림 14는 일정부하 패턴만을 고려한 세탁 부하를 인가했을 때의 상전류 파형과 속도파형이다. 부하의 크기는 세탁물의 무게인 $4[N \cdot m]$ 로 하였다. 그림 15는 역학적 특성을 고려한 세탁 부하를 인가하였을 때의 상전류 파형과 속도 파형이다. 세탁물 부하는 일정 부하패턴을 연결했을 때와 동일하게 하였다.

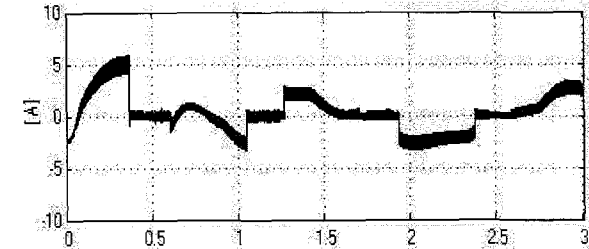
일정부하 패턴을 인가하였을 때의 최대 전류는 $5.48[A]$ 이다. 그러나 역학적 특성을 고려한 부하를 인가했을 때는 $6.62[A]$ 로 과도 상태가 없는 기존의 부하 패턴보다 더 많은 전류가 흐름을 알 수 있다.



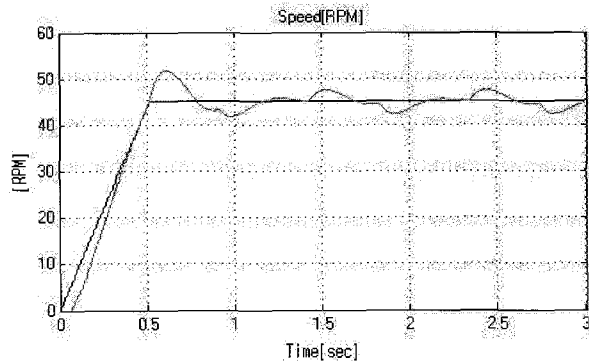
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 14 일정부하 패턴을 인가했을 경우의 상전류 파형과 속도 파형

- (a) A상 상전류
- (b) B상 상전류
- (c) C상 상전류
- (d) 속도

Fig. 14 Three phase current waveform and speed variation in case of the constant pattern load

- (a) A phase current
- (b) B phase current
- (c) C phase current
- (d) speed

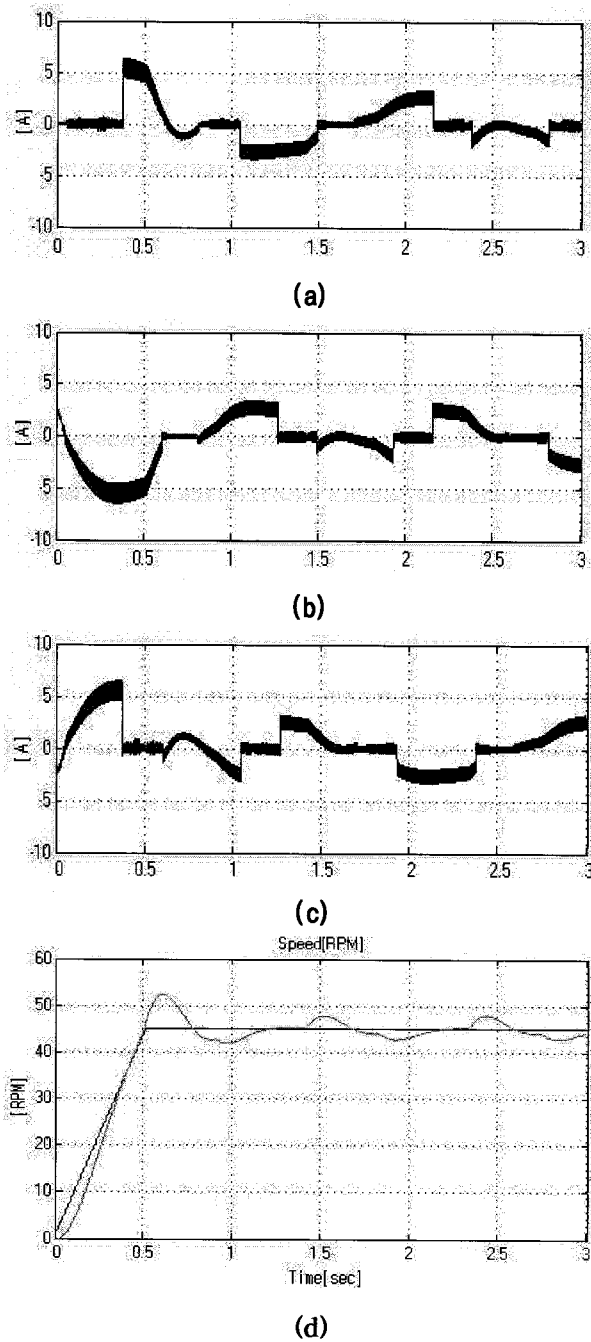


그림 15 역학적 특성을 고려한 부하를 인가했을 경우의 3상 상전류 파형과 속도 파형
 (a) A상 상전류 (b) B상 상전류
 (c) C상 상전류 (d) 속도

Fig. 15 Three phase current waveform and speed variation in case of the proposed load
 (a) A phase current (b) B phase current
 (c) C phase current (d) speed

5. 결론

전동기 구동에 있어 부하의 변동은 그 크기에 따라 전류의 크기도 변하기 때문에, 이러한 변동에도 충분히 전류를 출력할 수 있도록 구동회로를 설계해야 한다. 하지만 드럼 세탁기 부하 형태는 그 변동이 매우 불규칙하다.

따라서 드럼 세탁기의 구동 회로를 효율적으로 설계하기 위해 이러한 부하의 변동을 물리적으로 해석하여 모델링 하였다. 그리고 히스테리시스 전류 제어를 사용한 BLDC 전동기에 일정부하 패턴을 인가하였을 때의 전류 파형과 역학적 특성을 고려한 부하 패턴을 인가하였을 때의 전류 파형을 비교하였다.

비록 최대 전류 크기는 초기 지령 속도가 작고 시뮬레이션에서 사용한 전동기의 극수가 크기 때문에 그 차이가 크지 않다. 그러나 극수가 적은 벨트 방식의 전동기를 사용하는 경우나 초기 속도 제어에 문제가 발생할 경우에는 제안된 역학적 특성에 대한 부하 토크의 고려가 필요하다.

본 논문은 에너지관리공단 에너지자원기술개발사업의 연구비 지원을 받아 수행한 연구 결과입니다.

참고 문헌

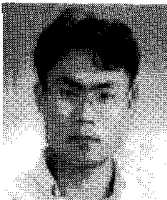
- [1] T. J. E. Miller, "Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives", Clarendon Press, Oxford, 1989.
- [2] 김동원, 조관열, "세탁기의 기술 개발 동향," 전력전자학회지, 제 5권, 제5호, pp.12-15, 2000, Oct.
- [3] 김승한, 최덕현, 황운봉, 김영수, 정보선, 강동우 "공리적 설계(Axiomatic Design)를 이용한 드럼 세탁기의 진동 해석 모델링", 한국정밀공학회, pp. 514-519, 1994, Oct.
- [4] Harmer K. Mellor P.H. Howe D., "An energy efficient brushless drive system for a domestic washing machine", Power Electronics and Variable-Speed Drives, Fifth International Conference, pp. 514-519, 1994, Oct.
- [5] 손 권, "드럼 세탁기의 세탁 정속 및 탈수 편심제어 알고리즘", 부산대학교 대학원 지능기계시스템전공 공학석사 학위 논문, 2002. 2.
- [6] Harris B. "University Physics", John Wiley & Sons, 1998.
- [7] Ned Mohan, "Electric Drives", MNPERE Minneapolis, 2002.

저 자 소 개



이정호(李楨孝)

1982년 9월 20일생. 2006년 건국대 전기 공학과 졸업. 현재 성균관대 대학원 정보통신공학부 석사과정.



이원철(李元喆)

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



유재성(李元喆)

1975년 9월 2일생. 2002년 서울산업대 전기공학과 졸업. 2004년 성균관대 대학원 에너지시스템공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.



정용채(鄭龍采)

1966년 2월 28일생. 1989년 한양대 전자공학과 졸업. 1991년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1995년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사). 1995년~1999년 LG전자 홈어플라이언스연구소 선임연구원. 1999년~현재 남서울대 전자공학과 부교수. 당 학회 편집위원.



원충연(元忠淵)

1955년 5월 10일생. 1978년 성균관대 전기공학과 졸업. 1980년 서울대 공대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1991년~1992년 12월 미국 테네시 주립대학 전기공학과 방문교수. 1988년~현재 성균관대 정보통신공학부 교수. 현재 당 학회 부회장.