

가정용 BLDC 전동기 세탁기의 운전특성 시뮬레이션

The Simulation Method for the Driving Characteristics of Washing Machine using BLDC Motor

김 회 천* · 정 태 옥†
(Hoe-Cheon Kim · Tae-Uk Jung)

Abstract - This paper studied about the measurement method of the instantaneous dynamic load characteristics. this experimental study, we derived the instantaneous washing load characteristics and inertial moment characteristics according to the amount of laundry and water level. Also, this studied about the dynamic driving characteristics simulation method for the prediction of washing performance based on this load characteristics analysis. For this study, the design parameters of the driving motor are obtained by FEM analysis and the experiment. By using theses motor parameters and load characteristics, the instantaneous driving characteristics simulation is accomplished and it is verified with the experimental result of various driving conditions. The results of this paper would be very useful to the prediction of washing mode operation characteristics, and it can be also utilized to the washer motor control algorithm design for the washing performance improvement.

Key Words : BLDC (Brushless DC) motor, Washing machine, Instantaneous characteristics, Measurement method

1. 서 론

세탁기는 일상생활에서 널리 보급되어 많은 가정에서 사용하며 편의성과 질을 향상시켰다. 세탁기는 세탁 방식에 따라 와류식, 교반식, 드럼식의 세 가지 형태로 구분할 수 있다. 이 세 가지 방식의 세탁능력은 세탁기의 주동력인 전동기의 성능과 특성이 가장 중요하다[1]. 세탁기는 세탁모드, 행굼모드, 탈수모드로 세 가지의 동작모드로 구성되어 있다. 일반적으로, 탈수모드시 고속회전에 의한 영향이 주요하며, 세탁모드 및 행굼모드는 포와 물의 운동특성이 세탁성능에 주요인자로 작용한다. 또한 터브(tub) 안의 포와 물의 상호작용으로 매우 복잡한 유동성을 가지는 특성이 있다[2][3].

최근 많은 나라들은 에너지 수요관리 정책으로 세탁기의 효율 규제가 강화되고 있다. 그러므로 세탁기 제조업체들은 전력과 물의 소비를 줄이고 성능을 향상시킬 수 있는 방안에 매우 관심이 높아지고 있다[3].

본 연구에서는 순시부하 특성을 측정하는 방법에 대한 연구와 시뮬레이션 방안에 대한 기법을 제시하였다. 본 연구에서는 교반식 세탁기를 선정하여 실험을 진행하였다. 세탁기 전동기의 샤프트(Shaft)와 터브 사이에 토크미터를 체결하여 운전시 부하에 따른 토크와 속도의 순시특성 데이터를 확보 하였다. 이 실험방식을 통하여 세탁기 운전시 BLDC 전동기의 전기적 입력특성과 토크 및 속도의 출력특성을 분석할 수 있다. 이에 실험적인 연구를 통하여 성능기준의 포

량과 수위에 따른 부하의 순시특성을 분석하였다.

그리고 분석된 부하특성을 근거로 세탁성능을 예측할 수 있는 시뮬레이터에 관한 연구를 하였다. 전동기의 설계 파라미터를 선정하여 FEA와 실험을 통하여 추출하였으며, 전자적 특성을 분석하였다. 그리고 도출된 각 데이터를 활용하여 순시운전 특성 시뮬레이션을 개발 하였고 다양한 운전조건으로 실험적 결과와 타당성을 증명하였다.

2. BLDC 전동기의 수학적 모델링

2.1 전압방정식

본 논문에서 사용된 BLDC 전동기는 24극 36슬롯의 외전형 형태인 표면부착형 영구자석 BLDC 전동기이다. BLDC 전동기는 직류전동기의 브러시와 정류자에 의한 기계적 정류작용을 반도체의 스위칭 작용으로 대체한 전동기이다. 그림 1은 본 논문에서 사용한 BLDC 전동기를 나타낸다.



그림 1 세탁기용 BLDC 전동기

Fig. 1 BLDC motor for washing machine

그림 2는 48극 표면부착형 영구자석 BLDC 전동기를 2극으로 가정하고 3상에 대한 전동기 모델을 보여준다. BLDC

* 정 회 원 : 경남대 공대 전기공학과 박사과정

† 교신저자, 정회원 : 경남대 전기공학과 교수

E-mail : tujung@kyungnam.ac.kr

접수일자 : 2012년 4월 30일

최종완료 : 2012년 6월 27일

전동기의 해석 모델에서 고정자는 전기기각으로 120° 간격으로 3상 Y결선으로 되어 있다. 각 상은 A, B, C상으로 표현하였고, 고정자 권선은 3상 대칭 평행이라 가정한다.

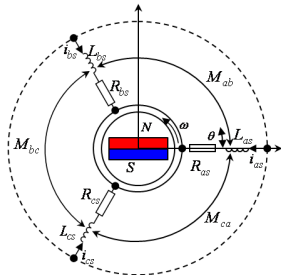


그림 2 BLDC 전동기의 등가모델
Fig. 2 Equivalent model of BLDC motor

A, B, C상 권선의 인덕턴스는 누설 성분 L_s , 상당 유효 인덕턴스 L_m 으로 구분할 수 있다. 표면부착형 전동기에서는 회전자 위치에 따라 인덕턴스가 변하지 않기 때문에 L_s 와 L_m 은 일정하다. 상호 상호인덕턴스 역시 회전자 위치에 따라 변하는 성분이 존재하지 않는다. 식(1)과 식(2)로 표현할 수 있다.

$$L_{as} = L_{bs} = L_{cs} = L_m + L_s \quad (1)$$

$$M_{ab} = M_{bc} = M_{ca} = -0.5L_m \quad (2)$$

각 상에 흐르는 전류를 i_{as} , i_{bs} , i_{cs} 로 정의하고 고정자의 각 상을 채교하는 자속은 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\lambda_{abc} = L_s I_{abc} + \Psi_s \quad (3)$$

여기서, λ_{abc} 는 abc 축의 채교자속, L_s 는 상 인덕턴스, i_{abc} 는 abc 축의 상전류이다.

상 인덕턴스는 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$L_s = \begin{bmatrix} L_{as} & M_{ab} & M_{ca} \\ M_{ab} & L_{bs} & M_{bc} \\ M_{ca} & M_{bc} & L_{cs} \end{bmatrix} \quad (4)$$

고정자의 3상 전압방정식은 각 상의 권선저항이 3상 대칭 구조를 이루고 있다고 가정하며, 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V = \begin{bmatrix} R_s + pL_{as} & pM_{ab} & pM_{ca} \\ pM_{ab} & R_s + pL_{bs} & pM_{bc} \\ pM_{ca} & pM_{bc} & R_s + pL_{cs} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix} - \omega \Psi_f \begin{bmatrix} \sin\theta \\ \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서, L_{as}, L_{bs}, L_{cs} 는 자기 인덕턴스, M_{ab}, M_{bc}, M_{ca} 는 상호 인덕턴스, v_{as}, v_{bs}, v_{cs} 는 각 상의 전기자 전압, ω 는 각속도, R_s 는 전기자 권선저항, $p = \frac{d}{dt}$ 는 미분연산자, Ψ_f 는 영구자석에 의한 전기자 채교자속을 나타낸다.

2.2 토크 출력 방정식

BLDC 전동기의 d-q 동기 좌표계로 변환된 전압방정식은 식(6)과 (7)로 나타낼 수 있다[4].

$$V_d = R_s i_d + L_s \frac{d}{dt} i_d - \omega_r L_s i_q \quad (6)$$

$$V_q = R_s i_q + L_s \frac{d}{dt} i_q + \omega_r L_s i_d + \omega_r \Psi_a \quad (7)$$

BLDC 전동기의 토크식은 영구자석 전동기의 입력특성으로부터 유도할 수 있다.

$$P_e = \frac{3}{2} (v_d i_d + v_q i_q) \quad (8)$$

식(8)은 전압방정식을 이용하여 전류에 관한 방정식으로 변환하면 식(9)로 나타낼 수 있다.

$$P_e = \frac{3}{2} \{ R_s (i_d^2 + i_q^2) + L_s (i_d \pi_d + i_q \pi_q) + \omega \Psi_f i_q \} \quad (9)$$

표면부착형 영구자석 BLDC 전동기의 상 인덕턴스는 회전자 위치에 따라 변하지 않고 일정한 값을 나타내므로 d축 인덕턴스 및 q축 인덕턴스의 크기는 동일하다. d축, q축 자속은 식(10)과 (11)로 나타낼 수 있다.

$$\lambda_d = L_d i_d + \Phi_f i_q \quad (10)$$

$$\lambda_q = L_q i_q$$

d-q 축으로 변환된 전동기의 발생 토크는 식(11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \Psi_f i_q \quad (11)$$

여기서 P는 회전자의 극수를 나타낸다.

회전 시스템에서 발생된 토크는 부하에 맞물려 기계적인 힘으로 변형된다. 따라서 식(12)와 같이 회전시스템의 기계 방정식으로 나타낸다.

$$T_e = T_L + J \frac{d}{dt} \omega_m + B \omega_m \quad (12)$$

여기서, T_L 은 부하토크, J 는 관성모멘트, B 는 마찰계수이다.

3. 세탁기 운전 특성

3.1 세탁기의 동작 및 구성

본 논문에서 사용된 교반식 세탁기는 DD(Direct Drive)방식이 적용되었으며, 교반식 세탁기는 세탁력이 우수하며, 빨래 영김이 적고, 대용량화가 가능하다는 장점을 가지고 있다.



그림 3 세탁기 구동 메커니즘

Fig. 3 Torque transfer mechanism of washing machine

DD방식은 동력전달 구조가 간단하여 동력전달 과정 중 발생하는 토크 손실이 적다. 그러므로 에너지 효율 극대화

및 세탁력을 강화시킬 수 있다. 기존 방식은 기어, 벨트를 이용한 동력으로 세탁운전을 하며, 기계식 브레이크를 사용함으로 세탁기 구조가 복잡하게 된다. 하지만 DD방식은 인버터회로 사용으로 브레이크 기능 및 속도 제어를 할 수 있다. 또한, 전동기의 회전축과 부하축이 일치되어 있다[5].

3.2 세탁기의 운전방식

세탁기의 세탁방식은 세탁모드, 행굼모드, 탈수모드로 세가지로 나눌 수 있다. 각각의 모드는 세탁물의 상태와 처리에 따라 분류되며, 다른 부하토크가 요구된다.

본 논문에서 사용된 세탁기의 세탁모드는 90[rpm]의 속도로 정·역회전을 약 1초간 15[Nm]의 힘으로 반복 수행한다. 그리고 정지해 있는 상태에서는 세탁물의 정지 마찰력과 각속도의 시간변화에 대한 부하토크가 크기 때문에 정상상태보다 큰 부하토크가 발생한다. 추가적으로, 실험에 사용된 세탁기는 세탁모드로 작동하기 전에 세탁액을 용해시키고 포를 풀기위한 알파모드가 추가되어 있다. 그리고 행굼모드는 세탁모드와 동일한 운전방식으로 행해진다. 마지막으로 탈수모드는 세탁모드와 행굼모드와 달리 고속회전으로 원심력에 의해 세탁물 내부의 수분을 제거한다[6].

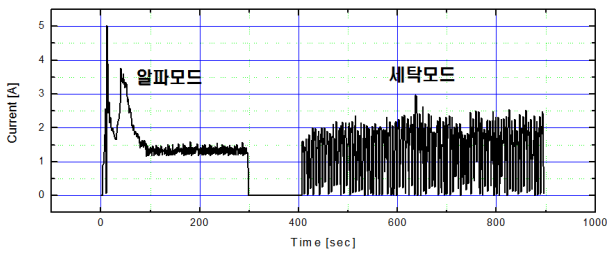


그림 4 전동기의 전류 특성
Fig. 4 Current characteristic of washing machine

3.3 세탁기 전동기의 부하특성

세탁기의 부하의 특징은 부하의 변동은 회전속도에 따라 주기성을 가지며, 전동기의 회전방향이 변할 때 포와 물의 관성에 의해 큰 기동 토크가 요구된다. 그리고 각 모드에서 요구되는 속도-토크의 범위가 다르다[2][6].

세탁기 부하는 일반 전동기 부하에 비해 많은 차이를 갖고 있다. 따라서 세탁기의 부하특성에 대한 특성파악이 요구된다.

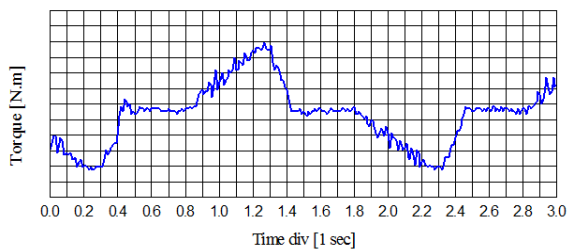


그림 5 세탁운전시 토크 특성
Fig. 5 Torque characteristic driving washing mode

4. 세탁기 부하 운전특성 실험

4.1 세탁기 특성 측정시스템 구성

세탁기의 성능을 향상을 위해 세탁행정에서 부하토크에 관한 관심은 고조되어 있다. 그러나 현재 세탁부하의 특성에 관한 연구범위는 국한되어 있다. 이러한 이유는, 세탁행정시 부하토크를 실시간으로 데이터를 수집하는 측정 시스템 기법이 미비한 상태이며, 또한 구조적으로 측정하기에 까다로운 상태이다. 하지만 본 연구에서는 그림 6과 같은 실험 시스템을 구성하여 세탁기 운전특성 실험을 진행하였다. 세탁기의 회전축과 부하축 사이에 토크메터의 장착하였으며, 순시부하특성 측정이 가능해졌다.

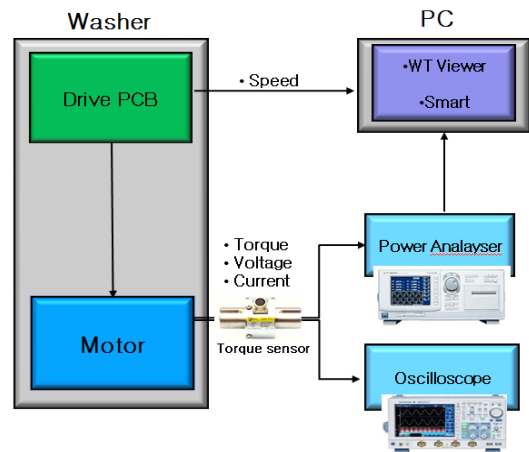


그림 6 측정시스템 구성 개념도
Fig. 6 Concept of measurement system

그림 7은 구성된 측정시스템을 보여준다. 측정시스템은 파워메터 WT1600과 오실로스코프가 주 장비로 사용되었다. 데이터 추출은 WT1600을 지원하는 WT viewer를 활용하여 실험을 진행하였다. 그림 8은 세탁기 초기 동작모드에서 세탁모드 구간까지 측정시스템으로 부터 추출된 결과를 보여준다.

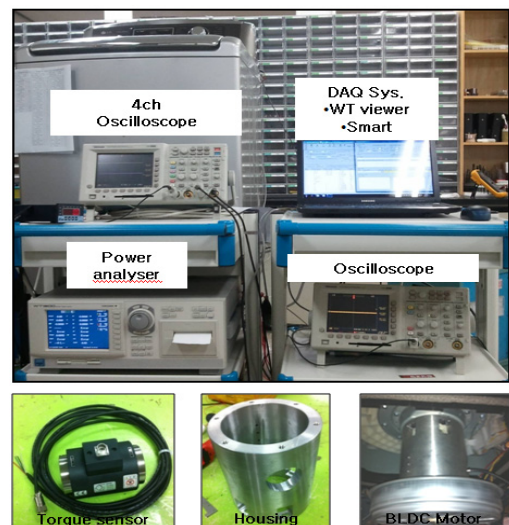


그림 7 측정 시스템 구성
Fig. 7 Configuration Measurement system

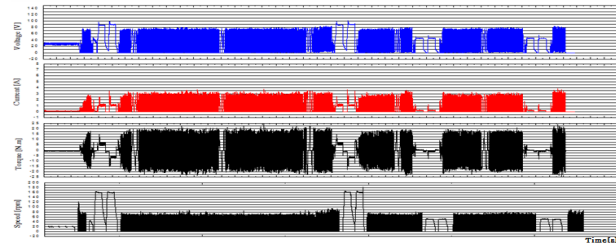


그림 8 측정시스템의 추출 데이터
Fig. 8 Sampling data of measurement system

4.2 세탁기 부하에 따른 구동특성 실험

본 연구에서는 세탁모드 구간의 운전특성에 대한 실험을 중점으로 진행하였다. 세탁부하의 인자는 포량과 수위에 따라 변화된다. 특히, 세탁모드에서는 다른 모드에 비해 저속으로 운전하며, 부하토크 변동이 많이 나타나는 구간이다. 또한, 큰 부하토크가 발생하는 구간으로 BLDC 전동기의 특성 연구가 중요하다. 이러한 이유로, 세탁모드 구간을 중점으로 실험을 진행하였으며, 측정시스템으로 각 부하에 따라 특성 데이터를 추출하여 분석하였다. 표 1은 포량과 수위에 따른 실험의 부하상태와 측정치의 최고치 결과를 나타낸다. 여기서, 성능기준의 포량은 8[lb], 20[lb]를 사용하며, 포량에 따라 수위는 30[l], 40[l], 50[l], 60[l], 80[l], 100[l]의 기준으로 사용된다.

표 1 측정시스템의 부하별 실험결과

Table 1 Measurement result of load variance

Load		Characteristic		
포량	수위	Speed [rpm]	Current [A]	Torque [Nm]
8[lb]	30[l]	80	3.5	20
	40[l]	90	3	17
	50[l]	90	2.5	15
20[lb]	60[l]	70	4	25
	80[l]	100	3	20
	100[l]	100	3	20

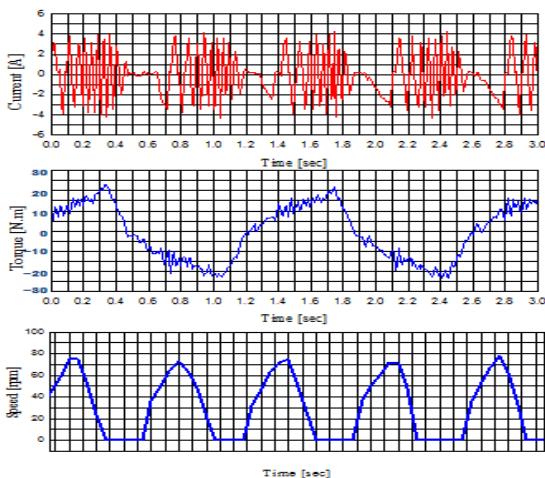


그림 9 순시 부하특성 측정결과 (8[lb], 30[l])
Fig. 9 Instantaneous dynamic load characteristics

또한, 표 1의 실험은 세탁기의 제어코드 변경 없이 동일한 제어코드를 사용하여 실험을 진행하였다. 세탁모드에서 포량 8[lb]에서는 목표속도 90[rpm], 20[lb]에서는 100[rpm]으로 동작하게 되어있다. 측정결과 물의 사용량에 따라 부하토크의 크기가 달라지는 것을 관측할 수 있다. 이 원인은 상당한 물의 양이 포에 흡수되어 물의 양이 적어지기 때문에 포와 돌기판의 마찰이 다르게 발생한다. 그래서 전동기의 부하는 수위가 적을수록 부하가 크게 발생하게 된다. 그림 9는 부하가 8[lb], 30[l]의 경우 측정된 순시결과 파형이다. 그림에서의 결과, 목표속도 90[rpm]에 도달하지 못하는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 방법으로 실험을 통하여 부하특성에 관한 연구를 진행하였다.

4.3 세탁부하 특성

세탁기는 유동성을 가지는 물이 존재하기 때문에 항상 일정한 부하토크를 가지지 않는다. 이는 물속에서 포의 꼬임과 불규칙한 배치로 부하가 일정한 상태로 유지되지 않는다.

유동성 부하를 고려한 세탁모드의 부하토크를 시뮬레이션하기 위해서 부하토크 패턴이 요구된다. 이러한 이유로, 동일한 조건에서 여러 차례의 실험을 진행하여 속도에 대한 부하토크 패턴을 도출하였다. 그림 10은 포 8[lb]의 경우 각 수위별로 부하토크 패턴 측정치와 선형화 결과를 보여준다.

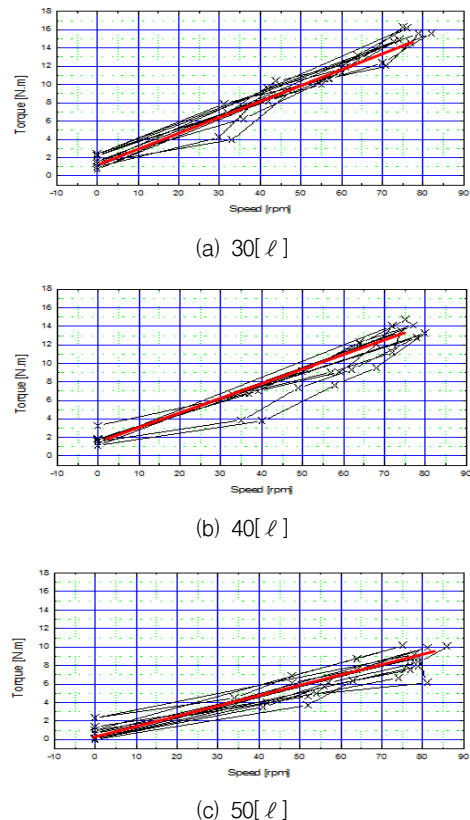


그림 10 부하토크 패턴
Fig. 10 Load torque pattern

그림 10의 8[lb]의 부하토크 패턴 결과를 각 수위별로 아래 각 부하토크 패턴 식을 나타냈다.

$$30[\ell] : T_L = 0.198 \times Speed \quad (13)$$

$$40[\ell] : T_L = 0.176 \times Speed \quad (14)$$

$$50[\ell] : T_L = 0.143 \times Speed \quad (15)$$

포랑 8[1b]에서의 수위별 부하토크 패턴과 동일한 기법으로 수위에 따라 20[1b]의 부하토크 패턴을 도출하였다. 아래의 식들은 20[1b] 경우의 부하토크 패턴 결과를 나타낸다.

$$60[\ell] : T_L = 0.32 \times Speed \quad (16)$$

$$80[\ell] : T_L = 0.22 \times Speed \quad (17)$$

$$100[\ell] : T_L = 0.2 \times Speed \quad (18)$$

5. 시뮬레이션

5.1 시뮬레이션 알고리즘

본 연구에서 적용한 실험기법을 통하여 부하별 특성결과에 대해 프로파일을 구성하였다. 구축된 프로파일 활용으로 세탁 부하에 따른 BLDC 전동기의 특성을 예측할 수 있는 시뮬레이션 기법의 알고리즘을 구성하였다[7]. 알고리즘에 의한 특성연산 결과로 세탁모드시 여러 제어조건에 대한 결과를 미리 예측함으로써 효율적으로 실험에 대응할 수 있다. 그림 11은 본 연구에서 제안한 시뮬레이션 알고리즘을 보여준다.

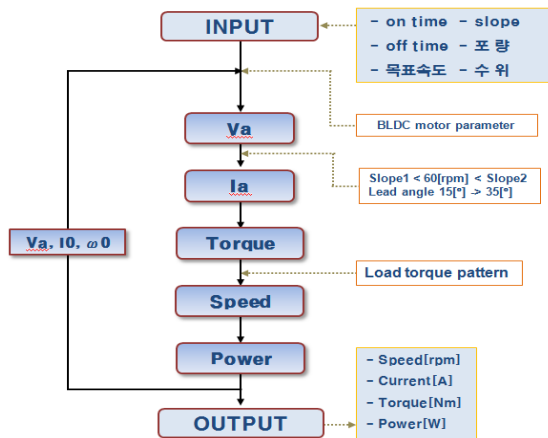


그림 11 시뮬레이션 알고리즘

Fig. 11 Simulation algorithm

표 2 BLDC 전동기의 파라미터
Table 2 Parameter of BLDC motor

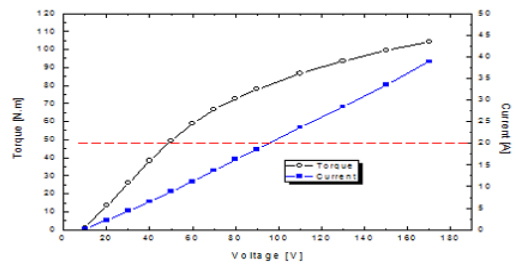
BLDC Motor Parameter			
BEMF constant	Ke	2.26	-
Torque constant	Kt	0.1	-
Pole pair	P	24	-
Moment of inertia	J	0.15	[kg · m ²]
Resistance	Ra	4.3	[Ω]
Inductance	L	0.0187	[mH]
Mutual Inductance	M	0.006	[mH]

제안된 알고리즘의 연산은 BLDC 전동기의 수학적 모델링에서 풀이된 수식이 적용되어 연산된다. 또한, BLDC 전동기

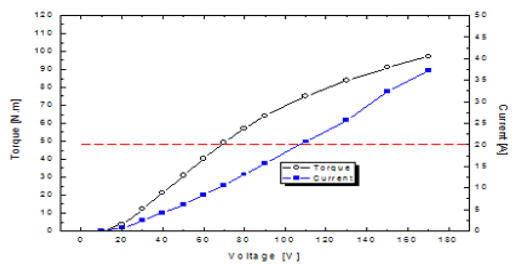
의 파라미터를 선정하여 연산에 필요한 요소를 만족시키며, 동일제어 조건의 세탁모드방식에 타 BLDC 전동기 사용에 따라 시뮬레이션의 활용성 범위를 확대시켰다. 표 2는 본 연구에서 사용된 BLDC 전동기의 선정된 파라미터 값을 나타냈다.

5.2 FEA를 활용한 BLDC 전동기 특성해석

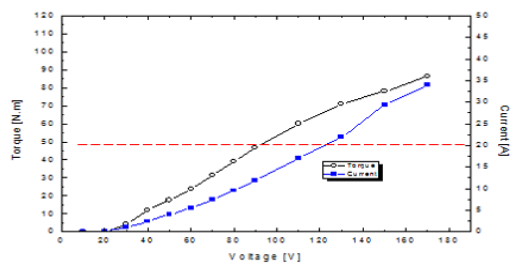
FEA를 활용하여 BLDC 전동기의 파라미터를 도출하였으며, 속도별 전류-토크의 특성을 분석하였다. 이는 부하토크 증가에 따른 전류 및 쇄교자속의 증가에 따라 자기포화 발생이 일어남으로 전류-토크를 비선형적으로 변화시키는 구간이 나타난다[8]. 시뮬레이션에서는 비선형적 특성을 고려하여 연산될 수 없기 때문에 FEA를 활용하여 비선형적 구간을 분석하였다. 그림 12는 속도별 부하특성 해석 결과를



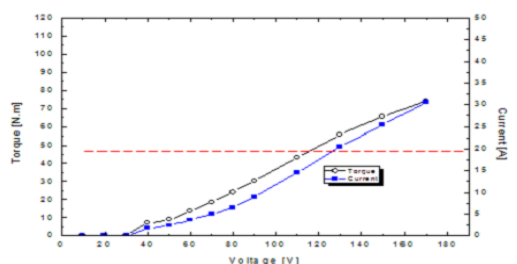
(a) 40[rpm]



(b) 70[rpm]



(c) 100[rpm]



(d) 130[rpm]

그림 12 FEA 결과
Fig. 12 FEA result

보여준다.

그림 12에서 전류변화에 따른 토크 특성의 변화를 확인할 수 있다. 여기서, 20[A] 이상의 큰 전류에서 비선형적 특성을 보이고 있다. 하지만 본 논문에서 사용되어진 BLDC 전동기는 최대 5[A] 이하에서 동작함으로써, 세탁운전은 선형적인 구간의 범위에서 동작한다. 이러한 결과로 시뮬레이션의 결과는 높은 정밀도로 연산될 수 있다.

5.2 세탁모드시 제어특성

세탁기 전압구동 제어방식은 그림 13과 같다. 그림에서 ①은 세탁 행정시 목표속도를 설정하여 도달한 구간을 의미하며, ②는 60[rpm]까지 듀티를 상승시킨다. 그리고 60[rpm]에 도달하면 다시 다른 듀티비의 값을 상승시켜 목표속도까지 제어를 하는 곳이 ③구간이다. 즉, ②와 ③은 각각속도를 설정하는 구간이다. ④는 on time 구간이며, ⑤는 off time 구간을 나타낸다. 이와 같은 구동제어 방식으로 세탁기의 BLDC 전동기를 제어한다.

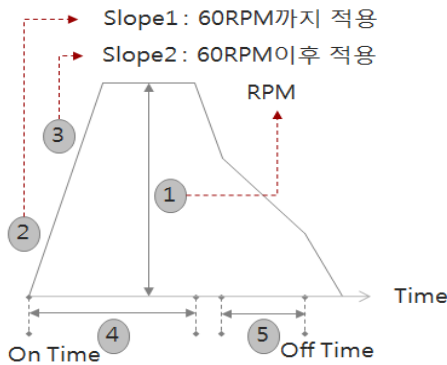


그림 13 구동제어 방식
Fig. 13 Duty control pattern

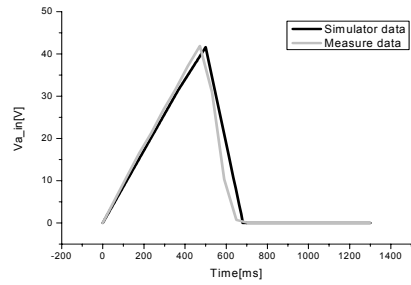
5.3 시뮬레이션 구동제어패턴

본 논문에서 제안한 알고리즘으로 프로그래밍한 시뮬레이터의 구동제어 패턴을 검증하기 위해 측정된 제어패턴과 비교하여 검증을 하였다. 그림 14는 제어패턴의 검증결과를 보여준다.

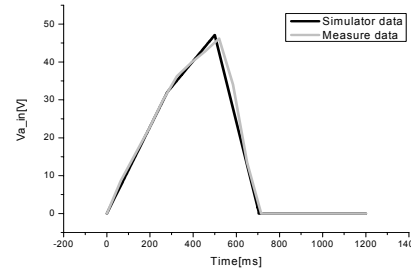
그림 14의 (a)는 slope 1, 2의 조건은 7, 8의 경우로 기울기가 거의 동일하기 때문에 변화 없이 증가하는 것처럼 보이지만, 60[rpm] 이후에 slope2가 8로 동작한다. 그리고 (b)는 5, 9의 경우에서는 60[rpm]에 도달했을 경우 slope2로 제어되므로 구간의 기울기가 변경되는 것을 확인할 수 있다. 또한 slope1의 기울기가 크므로써 7, 8의 경우보다 60[rpm]에 먼저 도달하며 slope2로 제어된다. 목표속도에 7, 8의 경우보다 빠르게 도달할 수 있으며, 더 많은 듀티전압을 활용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이와 같은 검증실험으로 시뮬레이션의 제어패턴이 실제 모델의 제어패턴 방식과 동일하게 동작됨을 입증하였으며, 부하운전시의 특성을 비교할 수 있게 되었다.

5.3 부하운전 시뮬레이션

입증된 전압제어방식의 제어패턴을 사용하여 부하운전에 시뮬레이션의 순시결과를 실험치와 결과비교하여 시뮬레이션의 타당성을 증명하였다.



(a) 가속 기울기 7, 8의 경우



(b) 가속 기울기 5, 9의 경우

그림 14 가속기울기에 따른 듀티전압 특성
Fig. 14 Duty-voltage characteristic according slope

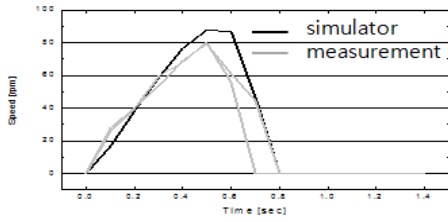
표 3과 같이 임의의 4가지의 조건을 지정하였으며, 동일한 조건으로 시뮬레이션과 세탁기를 구동시켰다. 여기서 각 추출된 순시결과데이터를 추출하여 시뮬레이션의 정밀도를 검증하였다. 여기서 실험치 데이터는 각 3주기를 임의적으로 추출하여 시뮬레이션의 속도, 전류, 토크와 비교하였으며, 그림 15, 16, 17, 18에 각 경우의 결과를 비교하여 나타냈다.

검증결과 시뮬레이터와 측정치 데이터의 결과는 유사한 결과가 도출되고 있음을 확인할 수 있다. 또한 오차를 수반하지만 최고점 도달시의 오차는 5[%]이하로 발생하고 있으며, 오차 발생의 원인으로 사료되는 것은 터브 내의 물의 유동성과 포의 꼬임 현상으로 일정부하 운전상태가 아니며, 운전시 터브침 현상 등을 방지하기 위한 센서가 부착되어 센서동작시 가속을 제어하는 현상이 발생하기 때문에 일정범위 내의 오차가 발생한다. 하지만 시뮬레이션으로 제어조건에 따라 부하 특성을 예측한 상태에서 실험 진행이 가능함을 입증하였으며, 전력과 물의 소비를 줄이면서 시간적 제약을 해소하며 성능개선을 위한 실험이 가능해졌다.

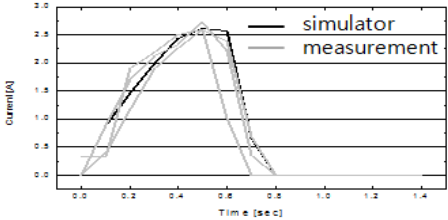
표 3 부하실험의 제어조건 사항

Table 3 Control condition for load experiment

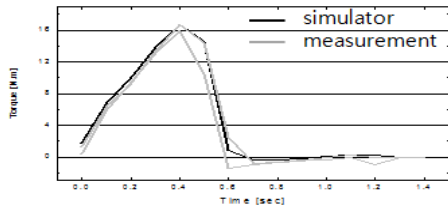
	case1	case2	case3	case4
포량[lb]	8	8	20	20
수위[l]	30	40	80	100
목표속도[rpm]	90	90	100	100
On time[s]	0.6	0.4	0.6	0.6
Off time[s]	0.6	0.3	0.4	0.6
Slope1	7	5	7	5
Slope2	8	9	8	9



(a) Speed [rpm]

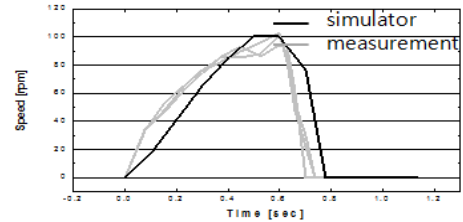


(b) Current [A]

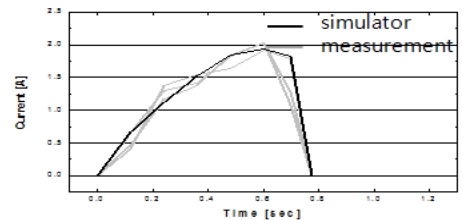


(c) Torque [Nm]

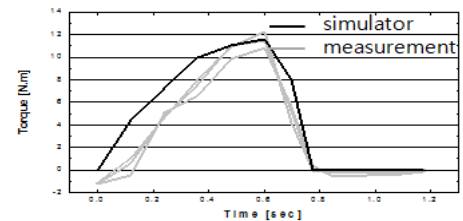
그림 15 Case1 결과
Fig. 15 Case1 result



(a) Speed [rpm]

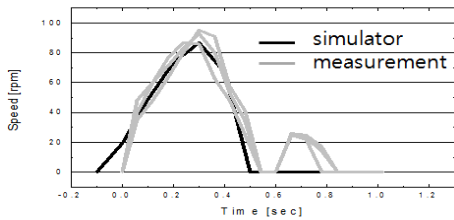


(b) Current [A]

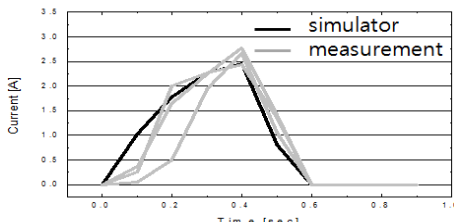


(c) Torque [Nm]

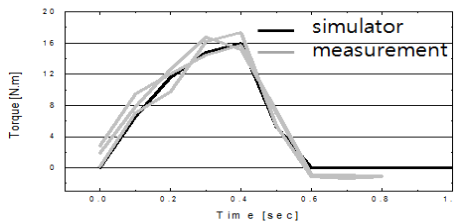
그림 17 Case3 결과
Fig. 17 Case3 result



(a) Speed [rpm]

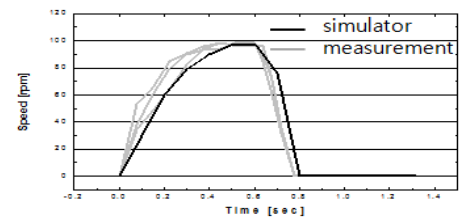


(b) Current [A]

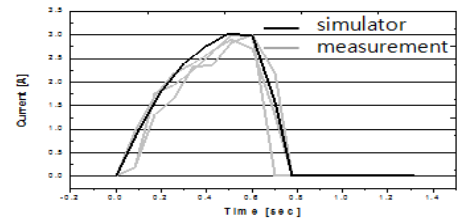


(c) Torque [Nm]

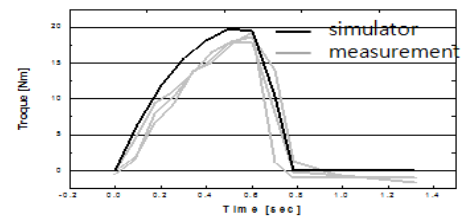
그림 16 Case2 결과
Fig. 16 Case2 result



(a) Speed [rpm]



(b) Current [A]



(c) Torque [Nm]

그림 18 Case4 결과
Fig. 18 Case4 result

6. 결 론

본 논문에서는 세탁기용 BLDC 전동기특성의 실험적 추출기법을 제안하였으며, 추출된 실험결과를 토대로 조건별 부하특성을 예측 가능한 시뮬레이션의 연관성을 연구하였다. 본 연구는 성능기준 포량과 수위에 따른 부하토크 패턴의 특성식을 도출하여 각 부하토크를 일정부하의 조건으로 정의하였다. 그리고 부하토크 패턴을 시뮬레이션에 연동하였으며, 이를 수학적 알고리즘을 구성하여 시뮬레이터의 타당성을 입증하였다. 따라서, 세탁기의 순시특성의 실험적 추출과 시뮬레이션이 가능해짐으로 세탁기의 최적화 운전조건 설정의 접근성이 용이해졌으며, 세탁기 성능개선을 효율적으로 실험 진행이 가능해졌다.

또한 여러 다른 모델의 BLDC 전동기의 파라미터와 터브 용량에 따른 포량과 수위의 부하토크 패턴을 추출하여 시뮬레이션 적용이 가능함으로 세탁기 제조사들의 세탁기 개발에 있어 유용하게 사용될 것으로 사료된다.

감사의 글

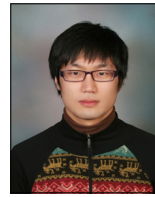
이 연구결과물은 2011학년도 경남대학교 학술진흥 연구비 지원에 의한 것임

참 고 문 헌

- [1] Dong-Won Kim, Kwan-Yuhl Cho, "The Trend of Technical Development for Washing machines", KIPE, v.5, no 5, pp 12-15, Oct, 2000.
- [2] Jung-Hyo Lee, Won-Chul Lee, Jae-sung Yu, Yong-Chae Jung and Chung-yuen Won, "Load modeling of the drum washing machine considering the mechanical characteristics", KIPE, v.12 no. 6, pp 491-499, 2007.
- [3] Rajamani, H.S., McMahan, R.A., "Induction motor drives for domestic appliances ", Industry Applications Magazine, IEEE, pp.21-26, Jun, 1997.
- [4] Kyung-Min Kim, "Vector control of interior permanent magnet synchronous motor for crum washing machine", Unpublished master dissertation ,Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan Univ, 2010.
- [5] Ju Lee, "Design and control of DD(Direct Drive) Motor", HCEM, Electricity/Design Part, 2005.
- [6] Dae-Sung Jung, "Optimal Design of Magnet Shape of Interior Permanent Magnet Synchronous Motor", Unpublished doctoral dissertation, Electrical engineering, Hanyang Univ., 2009.
- [7] BulentzErtan, H., Yalciner, L.B., "Performance calculation of SR motors for optimum design and a washing machine application", Electrical Machines, 18th International Conference, ICEM, 2008.
- [8] Chang-sung Jin, Dae-Sung Jung, K-Chan Kim,

Yon-Do Chun, Hyung-Woo Lee, Ju Lee, "A Study on Improvement Magnetic Torque Characteristics of IPMSM for Direct Drive Washing Machine", IEEE Transactions on Magnetics, VOL. 45, NO.6, JUNE, 2009

저 자 소 개



김 회 천 (金 會 千)

1985년 4월 10일생. 2010년 경남대학교 전기공학과 졸업. 2012년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

Tel : (055)249-2628

E-mail : backas1000@naver.com



정 태 옥 (鄭 泰 旭)

1970년 5월 16일생. 1993년 부산대학교 전기공학 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학 졸업(박사). 1996~2006년 LG전자 DAC연구소 책임연구원. 2006~2007년 한국생산기술연구원 선임 연구원. 2007년~현재 경남대학교 전기공학과 조교수.

Tel : (055)249-2628

E-mail : tujung@kyungnam.ac.kr