

전동기 점성마찰계수 특성에 관한 연구

변윤섭, 목재균, 김영철**
 철도연, 충북대**

The study on characteristics of viscosity friction coefficient for a motor

Yeun-Sub Byun, Jei-kyun Mok, Young-Chol Kim**
 Korea Railroad Research Institute, Chungbuk National Univ**

Abstract - Electric motors are widely used from precision industry to home appliance. For the precision control of the motors, if it is possible, we need the information of the correct motor parameters. In the motor torque equation, the motor inertia moment and the viscosity friction coefficient are regarded as constant. However the viscosity friction coefficient is not constant in the real system. In this paper, we show that the viscosity friction coefficient has the nonlinear property through the real test and we present the nonlinear function for the viscosity friction coefficient.

ω_m : 전동기 기계적인 회전각속도 [rad/sec],
 J_m : 관성 [kgm²],
 B : 점성마찰계수 [kgm/sec]

계수들 중 J_m 은 회전체의 무게 및 형태가 변하지 않는 한 상수이다. B 또한 일반적으로 상수라 가정한다[2]. 하지만 시험결과를 살펴보는 이 계수가 과도상태에서 큰 비선형성을 보이고 있고 그 값에 있어서도 큰 변동 범위를 갖는다는 것을 알 수 있다.

1. 서 론

전동기는 산업현장의 다양한 분야에서 여러 종류와 형태로 활용되고 있다. 정밀가공 분야에서부터 일반가전까지 다양한 용도로 사용된다. 전동기의 정밀제어를 위해서는 전동기에 대해 잘 정의된 모델식과 그와 관련된 각 계수에 대한 정확한 정보가 요구된다. 본 논문에서는 전동기의 모델상수 중 점성마찰계수에 대해 알아본다. 일반적으로 전동기를 모델링할 경우 관성계수와 점성마찰계수를 상수항으로 모델링한다. 관성계수의 경우 질량과 형태가 변하지 않는 한 일정한 값을 갖는다. 하지만 점성마찰계수는 속도영역에 따라 큰 변동을 보인다. 시험을 통하여 점성마찰계수의 비선형 특성을 보인다. 또한 시험을 통하여 얻은 비선형계수를 활용한 전동기의 모델의 시뮬레이션 결과와 실제 실험치와의 비교를 통하여 예측된 모델이 전동기 특성을 잘 반영하고 있음을 보인다.

2.2 점착특성

점성마찰계수(B)만을 측정하기 위해서 식 (1)로 부터 전동기 구동조건을 결정한다. 전동기는 무부하 상태이고 전동기의 속도를 일정하게 제어한다면 식(1)은 식 (2)와 같이 정의 할 수 있다.

$$T_m = B\omega_m \tag{2}$$

따라서 점성마찰계수(B)는 식(3) 으로 정리할 수 있다. 전동기 토크와 속도를 안다면 점성마찰계수를 추정할 수 있다.

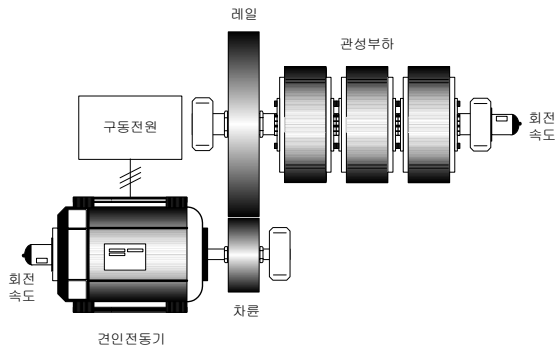
$$\hat{B} = T_m/\omega_m \tag{3}$$

위 조건하에 저속에서 고속까지 속도를 변경하면서 여러 속도영역에서 마찰계수를 추정하였다.

2. 본 론

2.1 전동기의 모델링

전동기가 어떤 목적으로 사용될 때 항상 부하의 역할을 하는 대상체와 연결된다. 그림 1은 시험체의 구동장치로 사용되는 예이다.



〈그림 1〉 전동기 구동 시험기

전동기의 토크방정식의 일반관계식은 식 (1)과 같다 [1].

$$T_m = J_m \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m + T_L \tag{1}$$

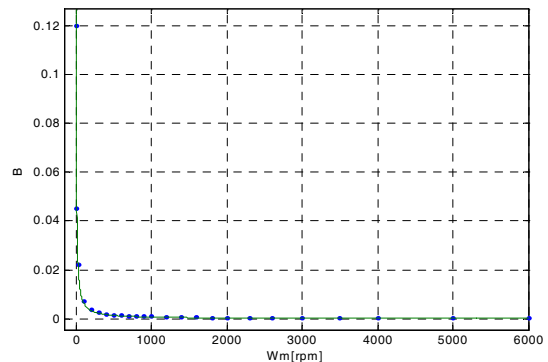
여기서 T_m : 전동기 토크 [Nm],
 T_L : 전동기 부하 [Nm],

w_rpm=[3 10 30 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1200
 1400 1600 1800 2000 2300 2600 3000 3500 4000 5000 6000];
 B=[0.12 0.05 0.024 0.00825 0.0042 0.0028 0.0022 0.00185 0.00165 0.00146
 0.00132 0.00122 0.00112 0.00102 0.00082 0.000685 0.00053 0.000425
 0.000365 0.000305 0.00032 0.00027 0.000245 0.00024 0.00022];

curve fitting

$$B = 0.21 / (1.8 + 0.24 * w_{rpm} * \exp(0.00001 * w_{rpm})) \tag{4}$$

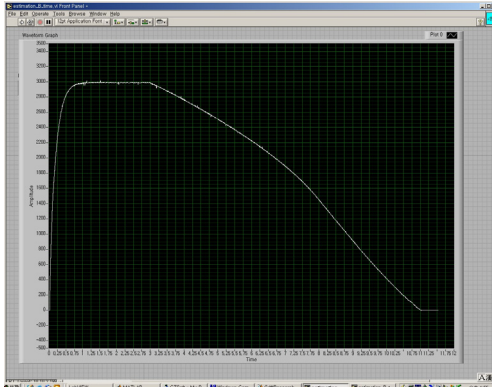
이 측정결과를 그려보면 그림 2와 같다. 점성마찰계수는 저속에서의 값은 고속에서의 값과 비교했을 비교적 큰 값을 갖고 고속으로 영역으로 갈수록 점차 일정 값에 수렴하는 결과를 보여 주고 있다.



〈그림 2〉 회전속도대 점성마찰계수 특성

2.2 무부하 관성 및 점성 마찰특성

무부하 조건에서 전동기의 관성과 점성마찰계수(B)의 특성을 시험하기 위해서 초기 일정속도(3000[rpm])까지 제어 후 구동토크를 제거하면 관성과 점성마찰에 의한 저항성분에 의해 전동기속도가 0으로 감소한다. 이 시험에 대한 시험결과가 그림 3에 보여준다.



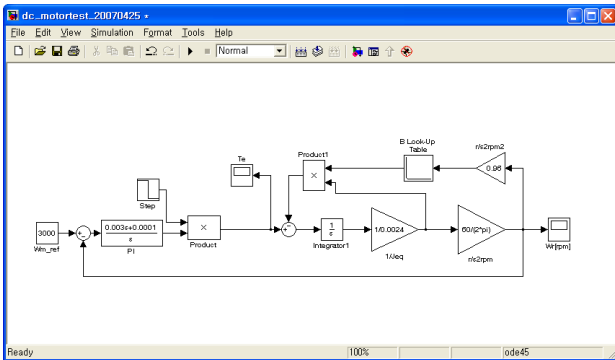
〈그림 3〉 전동기 관성과 점성마찰계수 특성

일정속도제어를 수행하여 1초 만에 3000[rpm]에 도달하고 3초 경과후 토크지령을 제거하였다. 그 후 회전 속도가 감소하여 약 11초에 0[rpm] 속도에 도달하는 결과를 보여주고 있다. 속도의 감소기울기가 1600[rpm] 부근에서 더 급격히 커진 결과로 보아 점성 마찰계수가 증가한다고 추정할 수 있다.

2.3 계측 상수를 이용한 시뮬레이션

2.3.1 모의시험기 구성

전동기 설계사양과 측정된 전동기의 계수 표 1을 활용한 시뮬레이션 계수로 사용하여 모의실험을 수행하고 그 결과를 확인하였다. 식 1에 근거한 전동기 모델을 실제 전동기 제어에 사용한 환경으로 모델링하였다. 실험에 사용한 PI제어의 제어게인을 사용하여 구성하였고 구동 3초 후 전동기 구동토크를 제거하였다. 그림 4는 Matlab/Simulink[3]의 모의실험 구성 블록이다.

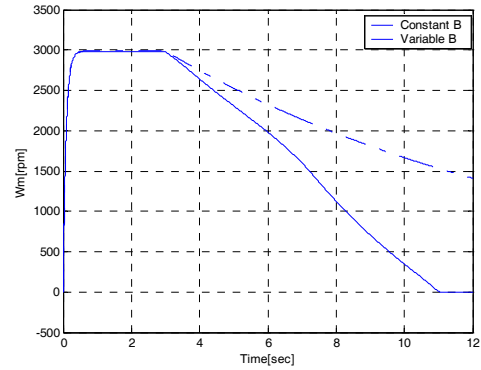


〈그림 4〉 전동기 모델링 및 속도제어

그림 5는 점성마찰계수(B)에 대한 시뮬레이션 결과다. 점선의 결과는 점성마찰계수(B)를 고속에서의 수렴근사 값인 상수 0.0002로하여 수행한 결과 이다. 실선은 전동기 실험치에서 구한 값들을 테이블화 하여 속도에 따른 변수로 구성하여 수행한 결과다. 두 결과는 아주 상이한 결과를 보여주고 있고 변수 테이블을 활용하여 모의실험한 결과는 실제 측정된 그림 3의 결과와 근사한 가감속 특성결과를 보여주고 있다. 점성계수가 실제와 유사하게 추정되었다는 것을 확인할 수 있다.

2.3.4 시험기 구성

제어시스템은 NI의 PXI 8186 Embedded controller에 탑재된 Motion controller PXI 7350, Multifunction I/O 6040E이를 입출력장치로 사용하고 유도전동기는 LEROY SOMER LSMV80L, 인버터는 Control Techniques의 SP1202을 사용하였다. 사용된 프로그램은 NI의 LabVIEW를 이용하여 프로그램 되었다. 표 1은



〈그림 5〉 시뮬레이션 결과(상수 B, 변수 B)

시험에 사용된 3상 유도전동기의 사양 및 상수이다.



〈표 1〉 유도전동기 사양 및 상수

항목	축소모델
정격출력	0.75[kW]
정격전압 (V_{rate})	230/400[V]
정격전류	6.1/3.4[A]
정격주파수 (f_{rate})	50[Hz]
정격속도	1435[rpm]
정격토크	5[N·m]
극수 (P)	4극
모터관성 (J_m)	0.0024[kg·m ²]

〈그림 6〉 전동기구동 시험기

3. 결 론

전동기의 정밀한 제어를 위해서는 전동기의 수식화 모델과 그 전동기 정확한 계수정보를 필요로 하는 경우가 많다. 기존에 점성마찰계수는 통상적으로 상수로 취급하여 적용시켜왔다. 하지만 실험을 통하여 추정된 결과는 비선형성이 강하고 특히 저속 영역에서는 특히 변동범위가 넓었다. 이에 대한결과를 실제 실험과 모의실험을 통하여 확인하였다. 특히 저속영역에서 정밀한 제어를 위해서 중요하게 취급되어야할 전동기 계수임을 알 수 있었다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] Benjamin C. Kuo "Automatic Control System" Prentice-Hall, 1991
- [2] Atsuo Kawamura, Keiichi Takeuchi, Takemasa Furuya. "Measurement of the Tractive Force and the New Adhesion Control by the Newly Developed Tractive Force Measurement Equipment", PCC-Osaka, pp.879-884, 2002
- [3] SIMULINK User's Guide, The MATH WORK, Inc. 1993