

높은 마찰의 수중 매니퓰레이터 모듈의 LuGre 모델을 이용한 마찰 모델 및 보상

홍종인*† · 문예철* · 배장호** · 박정애** · 진상록*** · 김종원** · 서태원*

*한양대학교 기계공학부, **서울대학교 기계항공공학부, ***부산대학교 기계공학부

Friction Model and Compensation Using LuGre Model of High Friction Underwater Manipulator Module

Jongin Hong*†, Yecheol Moon*, Jangho Bae**, Jeongae Bak**, Sangrok Jin***, Jongwon Kin** and Taewon Seo*

* School of Mechanical Engineering, Hanyang Univ.,

** School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul Nat'l Univ.,

*** School of Mechanical Engineering, Pusan Nat'l Univ.

1. 서 론

수중 매니퓰레이터 구동 방식에 따라 유압구동 방식과 전기모터 구동 방식으로 나눌 수 있다. 전기모터 기반의 수중 매니퓰레이터 제작에 있어서 가장 큰 어려움은 모터의 회전축에 대한 방수이다. 이전 수중 매니퓰레이터 연구⁽¹⁾에서는 구동 축 부분의 방수처리를 위해 Fig.1 (b)에서와 같이 Rotary Seal 을 이용하였다. 하지만 마찰에 의한 부하가 크기 때문에 마찰 모델로 이용된 Dahl Model⁽²⁾ 은 Stribeck 영향을 설명하지 못한다.⁽³⁾

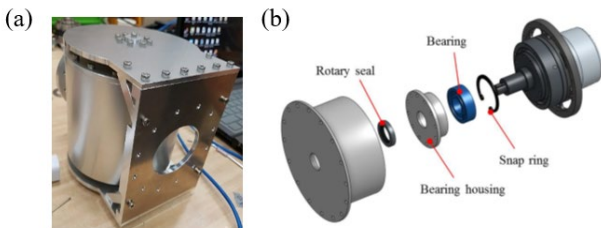


Fig. 1 Underwater manipulator joint module
(a) Joint module (b) Configuration of joint module

본 연구에서는 이전 연구의 마찰 보상에 있어서 정확도 높은 마찰 보상을 위해 LuGre 마찰 모델을 제시한다. LuGre 마찰 모델 매개변수는 Matlab 프로그램을 이용하여 최적화 과정을 거쳐 정하였다. 매니퓰레이터의 관절 마찰이 실제로 얼마나 발생하는지 계산 모델을 작성하고, 최적화 과정을 거친 이론 값을 기반으로 실제 마찰을 얼마나 보상하는지 실험을 통해 확인하였다.

2. LuGre 마찰 모델 이론

LuGre 마찰 모델을 구현하기 위해 두 단계의 과정을 거친다. 먼저, Stribeck curve 를 통해 4 개의 Static Parameter 추정한다. 매개변수를 정하는데 필요한 식은 (1), (2)로 표현되고, 정리된 식은 (3)과 같다.⁽⁴⁾

$$\tau_{\text{fric}} = \sigma_0 z + \sigma_1 \frac{dz}{dt} + \sigma_2 \omega \quad (1)$$

$$\frac{dz}{dt} = \omega - \frac{\sigma_0 |\omega|}{(\tau_c + (\tau_s - \tau_c) e^{-\left(\frac{\omega}{\omega_s}\right)^2})} \quad (2)$$

$$\tau_{\text{fric,ss}} = ((\tau_c + (\tau_s - \tau_c) e^{-\left(\frac{\omega}{\omega_s}\right)^2}) \text{sgn}(\omega) + \sigma_2 \omega \quad (3)$$

추정된 매개 변수를 기반으로 최적화 식(4)를 통해 실험 토크 값과 비교하여 차이를 최소화하는 2 개의 Dynamic Parameter 를 추정한다.

$$\min \sum_{i=1}^4 \int [\tau_{\text{fric}}(\sigma_0, \sigma_1, t) - \hat{\tau}_{\text{fric}}(\sigma_0, \sigma_1, t)]^2 dt \quad (4)$$

3. 실험 및 결과

실험에 사용된 수중 매니퓰레이터 관절 모듈은 Fig. 1 (a)와 같다. LuGre 마찰 모델 변수를 구하기 위해서 먼저 Static Parameter 를 구한다. BLDC 모터의 duty 를 양, 음의 값으로 각각 90, 120, 170, 200, 300 으로 변화시키며 측정한다. 측정된 결과 값과 오차를 최소화 하는 Static Parameter 를 최적화 과정으로 계산한다. 그에 따른 모델의 추정 형태와 실제 실험값을 비교한 것은 Fig. 2 과 같다.

† Presenting Author, dlswhd1108@hanyang.ac.kr

앞서 얻은 Static Parameter 를 가지고 Dynamics Parameter 를 얻는다. 증폭은 200 으로 고정하고 주기는 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 Hz 를 가진 사인파의 토크를 인가한다. 실제로 가해진 측정값과 비교하여 오차를 최소화한다. 그에 따른 모델의 추정 형태와 실제 실험값을 비교한 것은 Fig. 3 와 같다. Table. 1 에서는 실험을 통해 최종 결정된 LuGre 모델의 최적화 매개변수이다.

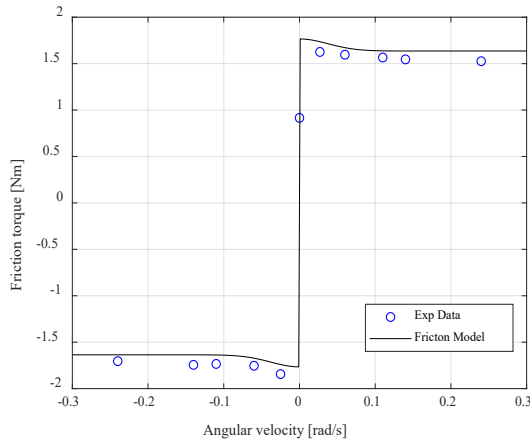


Fig. 2 Static parameter and Experiment result

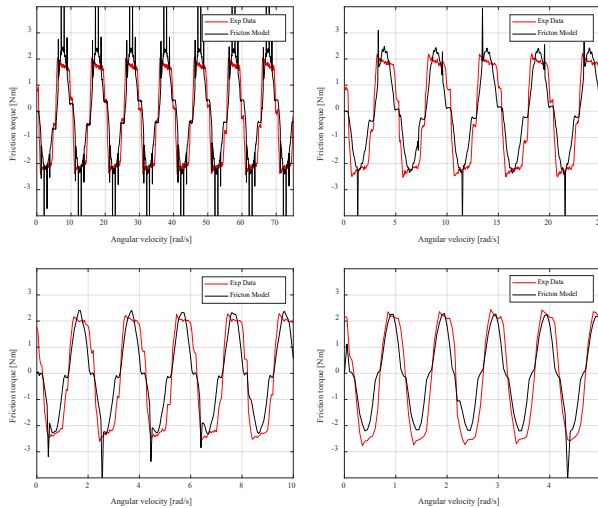


Fig. 3 Dynamic parameter and Experiment result;
(a) Frequency 0.1Hz; (b) Frequency 0.2Hz; (c) Frequency 0.5Hz; (d) Frequency 1.0Hz

Table 1 LuGre friction model parameter

Parameter	Value	Unit
τ_c	1.77	Nm
τ_s	1.63	Nm
ω_s	0.053	rad/s
σ_0	2.31	N/m
σ_1	16.8	Ns
σ_2	2.99×10^{-5}	Ns
τ_{offset}	-0.92	Nm

4. 결 론

수중 매니퓰레이터의 환경적 특성 때문에 관절에 강한 마찰이 존재한다. 이를 LuGre 모델의 매개변수 최적화를 통해서 수중 매니퓰레이터에 사용할 수 있는 마찰 보상 방법을 제시하였다. 실험을 통하여 실제 값과 비슷하게 보정할 수 있다는 것을 보였다. 추가적인 실험을 통해 Dahl 모델과의 성능 비교 및 검증이 필요하다.

참고문헌

- (1) J. Bae, "Cooperative operation of underwater robotic vehicle and dual-arm manipulator," Ph.D. dissertation, Seoul National University, Korea, Seoul, 2019.
- (2) P.R. Dahl "Solid friction damping of mechanical vibrations." AIAA journal, vol. 14, no. 12, pp. 1675-1682, December, 1976.
- (3) Shiping, Liu. and Gang, S. Chen., 2019, "Dynamics and Control of Robotic Manipulators with Contact and Friction", John Wiley & Sons, Hoboken, pp. 115~123.
- (4) C.C.De Wit, "A new model for control of systems with friction," *IEEE Transactions on automatic control*, vol. 40, no. 3, pp. 419-425, March, 1995.