

스텝 모터의 고성능 위치제어를 위한 하이브리드 운전 기법에 관한 연구

김현근, 진성민, 이상희, 이수형, 김준석
인천대학교

A study on the hybrid driving strategy for high performance position control of step motor

Hyun Geun Kim, Sung Min Jin, Sang Hee Lee, Su Hyoung Lee, Jun Seok Kim
Incheon National University

ABSTRACT

마이크로 스텝제어를 적용한 스텝 모터는 가격대비 성능이 다른 전동기에 비하여 우수하기 때문에 다양한 산업분야에 광범위하게 사용된다. 큰 감속비를 갖는 응용분야에서는 1000 [rpm]이상의 고속운전이 필요한 경우가 빈번하게 발생하며 이 경우 마이크로 스텝제어가 현실적으로 불가능하다. 본 논문에서는 고속운전이 가능한 고정밀 위치제어용 스텝 모터 제어 알고리즘에 대한 연구를 진행한다. S커브 형태의 위치 프로파일을 적용한 고성능 위치 제어를 위해 마이크로 스텝제어를 적용하여 위치제어를 수행하며 고속 이동시에는 기본 스텝제어로 제어방식을 전환하는 하이브리드 운전 기법을 제안한다.

1. 서론

스텝 모터는 구조적인 특성상 정지 시 큰 토크를 가지며, 입력펄스 당 스텝 각만큼 움직이므로 개루프 제어를 통해 위치제어가 비교적 쉬운 장점을 가진다. 이러한 장점으로 가격대비 성능이 다른 전동기에 비하여 우수하기 때문에 다양한 산업 분야에 광범위하게 사용되고 있다^{1, 2}.

가장 많이 쓰이는 스텝 모터의 제어 방법으로는 스텝 모터의 기본 스텝 각을 미세스텝으로 나누어 각 상전류를 정현파로 제어하는 마이크로 스텝제어 방법을 사용하고 있다. 감속비가 수십 대 1 이상의 큰 감속비를 갖는 응용분야에서는 1000 [rpm]이상의 고속운전이 필요한 경우가 빈번하게 발생한다. 이 경우 속도에 비례하여 역기전력의 크기가 인버터의 공급전압을 상회하며, 샘플링 수의 감소로 인하여 정현파 전류제어가 불가능해져 마이크로 스텝제어가 현실적으로 불가능하다.

본 논문에서는 고속운전이 가능한 고성능 위치제어용 하이브리드 운전 기법을 제안한다. S커브 형태의 위치 프로파일을 적용한 고성능 위치제어를 위해 마이크로 스텝제어를 적용하여 위치제어를 수행하며 고속운전 시에는 기본 스텝제어로 제어방식을 전환한다. 제안하는 방법은 기존의 마이크로 스텝제어 방법만을 사용할 때보다 스텝 모터의 운전속도 영역을 넓혀 위치제어 성능을 향상시킨다. 제안하는 제어 방법의 성능을 검증하기 위해 PSIM을 이용하여 시뮬레이션 결과를 제시한다.

2. 본론

2.1 스텝 모터의 위치제어

고성능 위치제어를 위해 그림 1과 같이 속도제어루프를 제거하여 위치제어루프의 동특성을 속도제어루프 수준으로 향상

시킨 통합형 위치제어루프를 사용한다. 위치제어기는 일반적으로 사용되는 PID(Proportional Integral Differential) 제어를 사용한다.

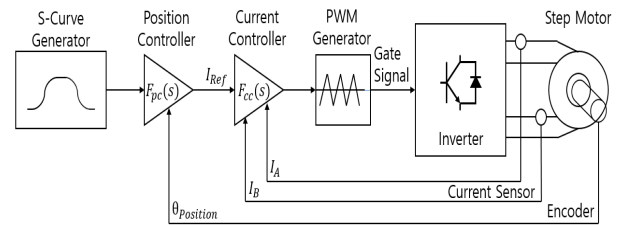


그림 1 속도제어루프를 생략한 통합형 위치제어루프

2.2 하이브리드 운전 기법

마이크로 스텝제어는 정현파 전류를 출력하는 방식이므로 전류제어가 원활할 경우 정밀한 토크제어가 가능하다는 장점이 있다. 그러나 통상적으로 1000 [rpm]이상의 고속영역에서는 유한한 DC전원으로 인하여 전류제어에 제한이 인가되며 아울러 출력전류의 높은 주파수로 인하여 원활한 전류제어가 이루어지지 못하는 단점이 있다. 한편, 4채배형 기본 스텝제어의 경우 전류형태가 구형파이므로 토크의 맥동이 심한 단점이 있으나 전압제한이 부가되는 고속운전에서 최대한의 전류가 투입되므로 마이크로 스텝제어에 비해 조금 더 높은 평균토크를 출력할 수 있고 이로 인해 보다 높은 고속운전이 가능한 장점이 있다.

본 연구에서는 고속운전이 가능한 고성능 위치제어 시스템을 구성하기 위하여 정밀한 토크제어가 요구되는 저속영역에서는 마이크로 스텝형태의 전류제어방식을 사용하며 고속영역에서는 4채배형 기본 스텝제어를 수행하는 하이브리드 운전 기법을 적용하였다.

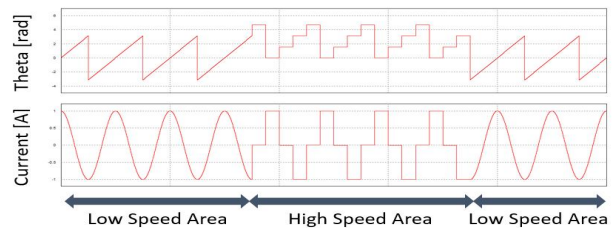


그림 2 하이브리드 운전 시 전기각 및 전류 파형

스텝 모터의 경우 회전자 축의 위치와 회전자 자속위치가 동일하기 때문에 위치 센서를 사용하여 기계각 θ_m 을 얻고 극

쌍극(Pole Pair)를 곱하여 자속에 대한 전기각 θ_e 를 구한다. 이미 알고 있는 마이크로 스텝제어의 한계속도 ω_{set} 를 기준으로 실제 기계 각속도 ω_m 를 비교하여 한계속도 이상의 고속운전 시 식(1)과 같이 θ_e 의 90°마다 각을 고정시켜 스텝 형태의 새로운 θ_e' 를 생성한다. 생성된 θ_e' 는 그림 2와 같다.

$$\begin{cases} \theta_e' = \frac{\pi}{2} & \left(0 < \theta_e < \frac{\pi}{2}\right) \\ \theta_e' = \pi & \left(\frac{\pi}{2} < \theta_e < \pi\right) \\ \theta_e' = \frac{3\pi}{2} & \left(-\pi < \theta_e < -\frac{\pi}{2}\right) \\ \theta_e' = 0 & \left(-\frac{\pi}{2} < \theta_e < 0\right) \end{cases} \quad (\omega_m > \omega_{set}) \quad (1)$$

생성된 θ_e' 를 동기각으로 사용하여 스텝 모터의 2상 시스템을 동기좌표계로 변환하고 동기좌표계상에서 구형파 형태의 전류제어를 수행함으로써 고속운전을 가능하게 한다.

3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안한 제어방법의 성능을 입증하기 위해 속도제어를 사용하여 마이크로 스텝제어와 기본 스텝제어의 고속운전을 비교하는 시뮬레이션을 하였다. 사용한 시뮬레이션 툴은 PSIM을 사용하였고, 시뮬레이션에 사용된 스텝 모터 파라미터는 표 1과 같다. 전류제어 주기는 $100\mu s$, 속도제어 주기는 $500\mu s$ 로 설정하였으며 PWM 스위칭 주파수는 $10kHz$ 를 사용하였다. 제어기에 사용되는 위치 센서는 $40000[ppr]$ 의 분해능을 가지는 엔코더를 사용하였다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 스텝 모터 파라미터

상 수 [상]	2
상 저항 $R [\Omega]$	0.32
상 인덕턴스 $L [mH]$	2.69
토크 상수 $K_T [Nm/A]$	0.25
회전자 관성모멘트 $J_m [kg \cdot m^2]$	1.4×10^{-4}
점착 계수 $B_m [Nm/(rad/s)]$	3×10^{-3}

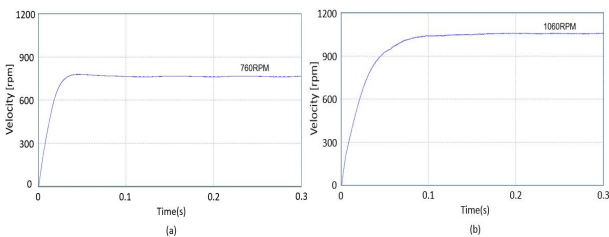


그림 3 속도명령이 2000[rpm]일 경우 속도제어 (a) 마이크로 스텝제어 (b) 기본 스텝제어

그림 3은 속도명령이 2000[rpm]일 때 마이크로 스텝제어와 기본 스텝제어를 사용했을 때 각각의 속도제어 성능을 보여주는 시뮬레이션 결과이다. 그림 3(a)를 보면 알 수 있듯이 마이크로 스텝제어를 사용했을 때 속도는 760[rpm]으로 속도 명령인 2000[rpm]의 절반에도 못 미쳐 실제 고속운전 영역에서는 사용하기 어렵다. 그림 3(b)를 보면 기본 스텝제어를 사용했을 경우 1060[rpm]으로 속도가 수렴하며, 마이크로 스텝제어를 했을 때보다 15%(300[rpm]) 속도가 증가했다. 이는 고

속운전 시 기본 스텝제어가 마이크로 스텝제어보다 더 뛰어난 성능을 나타냄을 알 수 있다.

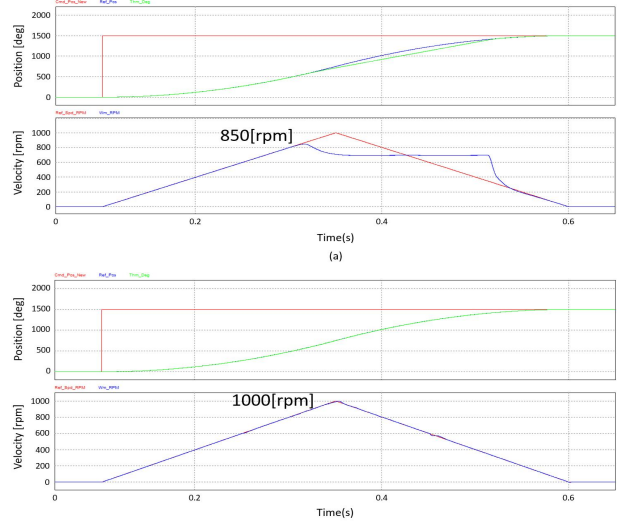


그림 4 위치명령이 1500[deg]일 경우 위치제어 (a) 마이크로 스텝제어 (b) 하이브리드 운전 기법

그림 4는 S커브 형태의 위치명령이 1500[deg]일 경우 위치제어를 나타낸다. 그림 4(a)의 경우 마이크로 스텝제어를 사용했을 때 최대 850[rpm]에서 더 이상 증가하지 않아 위치 오차를 가지며 제어하는 것을 볼 수 있다. 그림 4(b)의 경우 본 논문에서 제안한 하이브리드 운전 기법을 사용했을 때 요구되는 1000[rpm]의 속도로 증가하여 위치 오차 없이 위치제어가 수행되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 하이브리드 운전 기법을 위치제어에 적용하면 위치제어 성능이 향상된다.

4. 결론

마이크로 스텝제어를 적용한 스텝 모터는 다양한 산업분야에 광범위하게 사용되고 있다. 큰 감속비를 갖는 응용분야에서는 1000[rpm]이상의 고속운전이 필요한 경우가 빈번하게 발생하며 이 경우 마이크로 스텝제어가 현실적으로 불가능하여 고속운전이 어렵다. 본 논문에서는 1000[rpm]이상의 고속운전이 요구되는 응용분야에서도 고성능 위치제어를 위해 저속에서는 마이크로 스텝제어로, 고속에서는 기본 스텝제어로 제어 방법을 전환하는 하이브리드 운전 기법을 제안하였다. 제안된 제어방법은 기존 마이크로 스텝제어방법만을 사용했을 때보다 15% 운전속도 영역을 넓혀 전체적으로 위치제어의 성능을 향상시켰다.

이 논문은 중소기업청에서 시행한 WC300프로젝트 기술개발지원사업(주관 : SPG) 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

참고 문헌

- [1] 김창환, "스텝모터의 PLL 타입 위치제어", 대한전자공학회 전자공학회논문지, 제49권, SC편, 제4호, pp.69-77, 2012. 7
- [2] 황정호, 김양배, 정찬수, "전류제어기를 이용한 스텝모터의 마이크로스텝 고속구동", 대한전기학회, 정보 및 제어 논문집, pp.79-80, 2010. 4