

가변구조 제어를 이용한 초음파 전동기의 위치제어에 관한 연구
홍순일, 김홍석 부경대학교

A Study on Position Control of Ultrasonic Motor Using
Variable Structure Control System

Soon-Il Hong, Hong-Seok Kim

Dept of Electrical Eng, Pukyong National University

Abstract - 초음파는 초음파 가공이나 초음파 세척기 등에 많이 이용되고 최근 액추에트로로서 초음파 전동기가 주목을 받고 있다. 압전 혹은 자기비틀림 효과를 이용하여 얻는 초음파 진동기는 전기-기계 변환효율이 다른 수단에 비하여 매우 높으므로 이것을 이용하여 얻는 초음파 진동은 왕복운동에서 직선 혹은 회전운동으로 변환시키는 연구가 행해지고 있다.

본 연구에서는 진행과 방식의 초음파 전동기를 중심으로 그 회전 원리를 이해하고 모델링 하였다. 외란에 대하여 강인한 제어방식으로 알려져 있는 가변구조제어의 이론을 이해하고 회전형 진행과 방식의 초음파 전동기를 이용한 가변구조 제어에 의한 서보계를 설계한다. 이때 제어방법은 속도패턴을 미리 정하여 두고 그 패턴에 따라 슬라이딩 모드를 사용하여 속도를 제어하여 위치를 제어하는 것이다. 초음파 전동기의 가변구조제어에 의한 위치제어를 컴퓨터 시뮬레이션으로 검토하고 제어 파라미터를 결정하였다. 그리고 인터페이스 보드를 제작하고 컴퓨터와 전동기를 접속하여 실제 제어 알고리즘을 이용하여 초음파 전동기의 제어 실험을 행하였다.

1. 서론

최근 전자기술의 발달에 따라 자동차의 최적운전에 컴퓨터가 도입되어 응용되고 있으며 자동화 시스템의 액추에이터에 직류전동기나, 스텝핑 전동기가 사용되고 있으나 속도성이나 정확성에 문제점이 있다. 따라서 본 연구의 목적은 초음파 전동기를 이용하여 정밀한 위치제어에 적합한 제어 시스템의 구성과 제어방법을 연구 검토하는 것이다.

초음파 전동기의 기본특성은 직류 전동기와 같고 회전특성은 부하에 대하여 수특성을 나타내고 있으며 또 비선형적인 특성을 가지고 있다. 따라서, 일반적으로 행하는 P제어와 PI제어로서는 제어가 어렵다고 생각되므로 비선형적인 대상을 제어하는데 유효한 방법으로 알려져 있는 가변구조제어이론을 이용하여 제어를 행하였다. [1-4] 본 연구에서는 초음파전동기의 회전원리를 회전형 진행과방식을 중심으로 해석하고, 비선형적인 대상을 제어하는데 유효하게 되어 있는 가변구조제어이론을 이해한다. 초음파전동기는 실제적으로는 비선형이지만 간단히 하기 위해 선형으로 가정하여 모델화를 한다. 그리고 가변구조제어이론을 사용하여 제어계를 설계하고 위치제어의 컴퓨터 시뮬레이션을 행하여 제어방식에 대해서 검토하였다.

2. 초음파 전동기의 가변구조제어

VSS제어는 선형제어 이론과 비교하여 외란에 대하여 강인성 있으므로 VSS이론에 기초하여 초음파 전동기의 위치제어를 행한다. 초음파전동기의 토크는 전압과 회전수의 함수이므로 이것을 Taylor전개하면

$$T = \frac{\partial T}{\partial N} N + \frac{\partial T}{\partial V} (V - V_0) \quad (1)$$

로 되고 여기서

$$a = \frac{\partial T}{\partial N}, \quad b = \frac{\partial T}{\partial V}$$

로 두면, 식(1)은

$$T = aN + b(V - V_0) \quad (2)$$

로된다. 이식에 대한 초음파전동기의 블록선도는 그림 2와 같다.

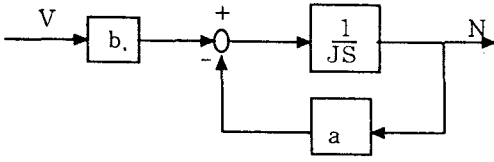


그림 1. 초음파전동기의 block도

이것을 상태변수 방정식으로 나타내면

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -px_2 - qu \end{cases} \quad (3)$$

단, $p = \frac{a}{J}$, $q = \frac{b}{J}$ 로 된다.

예측한 속도패턴은 가속도부, 가속변화부, 등속도부, 감속변화부, 감속도부등으로 되고 각 구간에서 거리와 속도를 관계를 수식으로 나타내었다. 설정한 속도 패턴에 따라 가변구조 제어를 하기 위해서는 다음의 제어법칙이 성립한다.

$$u = \phi_1 x_1 + \phi_2 x_2 + K_f \text{sgn}(s) \quad (4)$$

여기서 $s = s_i$ 는 슬라이딩 커브이고

$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ 이고

$$\text{sgn}(s) = \begin{cases} +1 & \text{if } s > 0 \\ -1 & \text{if } s < 0 \end{cases}$$

$$\phi_1 = \begin{cases} \alpha_1 & \text{if } sx_1 > 0 \\ \beta_1 & \text{if } sx_1 < 0 \end{cases}, \phi_2 = \begin{cases} \gamma_1 & \text{if } sx_2 > 0 \\ \xi_1 & \text{if } sx_2 < 0 \end{cases}$$

이다. 식(4)에서 제1항은 위치 피드백에 관한 항이고 제2항은 속도 피드백에 관한 것이며 제3항은 부호변환 부로서 반발력이나 마찰력에 의한 영향을 억제하기 위해 사용되는 항이다. 가변구조 제어를 위해서는 각각의 이득 정수가 슬라이딩 모드의 존재조건 식(5)를 만족하여야 한다.

$$\lim_{s \rightarrow 0} ss' < 0 \quad (5)$$

식 (5)를 만족하는 각각의 슬라이딩커브의 식은 주어진 속도패턴에서 유도되고 각 파라미터 변수는 다음과 같다.

표 1 시스템 파라미터 값

	α	β	γ	ξ	K_f
S1	-0.001	0.001	-0.2	0.01	-0.0
S2	0.01	-0.01	0.0045	-0.0055	0.0
S3	0.025	-0.045	-0.0055	0.005	0.0
S4	-0.01	0.005	-0.008	-0.001	-0.0
S5	-0.03	0.01	-0.06	-0.001	-0.0
S6	0.01	-0.02	0.02	-0.002	0.01

주어진 속도 패턴에 따라 제어하기 위해서는 시령값이 변화하기 때문에 조작량을 시령값의 범위 내에서 보정할 필요가 있고 보정한 조작량을 나타내는 식은 아래와 같다.

$$u = \bar{\gamma}_i \phi_1 X_1 + \phi_2 X_2 + K_f \text{sgn}(s) + G_V (V_* - V) + K_r \sum (V_* - V) \quad (6)$$

3. 시뮬레이션 결과 및 그 검토

그림 2. 4는 표 1의 시스템 파라미터 값에 대하여 위치지령 10[rad], 샘플링 타임 5 [ms], 1[ms]로 하고 외란을 가하지 않은 상태에서 시뮬레이션 결과이다. 그림 3. 5는 같은 조건에서 샘플링 타임 5[ms], 1[ms] 저속시에 외란 토오크를 가한 때의 시뮬레이션 결과이다. 초음파전동기는 마찰구동형의 전동기이기 때문에 저속시에는 매우 큰 제동이 걸린다고 생각되기 때문에 저속시에 외란 토오크를 가하여 이것을 보완한다.

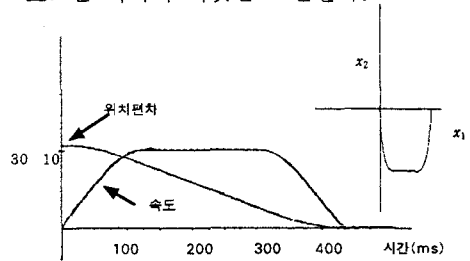


그림 2. 시뮬레이션 결과 1.
(θ^* : 10[rad], T_s : 5[ms], T_L : 0[gfcm])

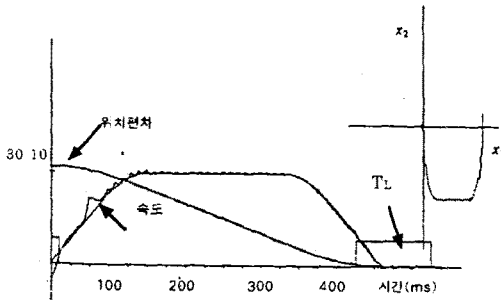


그림 3. 시뮬레이션 결과2

($\theta^*: 10[\text{rad}]$, $T_s: 5[\text{ms}]$, $T_L: 200[\text{gfc}]$)

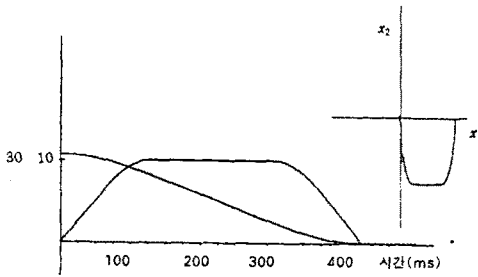


그림 4. 시뮬레이션 결과3

($\theta^*: 10[\text{rad}]$, $T_s: 1[\text{ms}]$, $T_L: 0[\text{gfc}]$)

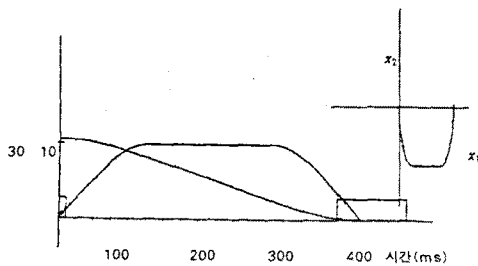


그림 5. 시뮬레이션 결과4

($\theta^*: 10[\text{rad}]$, $T_s: 1[\text{ms}]$, $T_L: 200[\text{gfc}]$)

외란 토크를 가했을 때와 가하지 않았을 때 응답 특성의 변화는 거의 동일하게 제어되고 있음을 알 수 있고 이 결과에서 제어계는 외란에

대하여 강인한 제어성을 발휘하고 있음이 증명되었다.

또한 다소의 채트링 현상(chattering)이 보이지만 이것은 샘플링 주기를 5ms로 크게 하였기 때문이라 생각된다 여기서 실제로 샘플링 주기를 1ms로 해서 시뮬레이션을 하여 보면 이러한 채트링 현상은 나타나지 않게 된다.

4. 결론

초음파전동기의 원리를 이해하고 수학적으로 모델링 하였다. 이 모델링에 기초하여 가변구조 제어에 의한 시스템을 구성하고 설계하였다. 그리고 시뮬레이션 실험을 행하여 초음파 전동기는 비선형 적인 특성을 가지고 있음을 이해할 수 있었고 저속에서 속도제어가 곤란한 것도 실험을 통하여 이해를 했다. 그리고 초음파 전동기는 토오크가 상당히 크다는 것을 이해할 수 있었고 가변구조 제어를 행하므로 외란에 대하여 강인성을 나타내었다.

금후의 과제로서는 초음파모터에 의한 실제의 특성 가깝게 모델화를 행하고 시뮬레이션을 행할 필요가 있다.

[참고문헌]

1. 伊勢悠紀彦 "超音波モータ", 日本音響學會誌, no.43, pp. 184-188, (1987).
2. 上羽貞行 "回轉型 超音波モータ" 日本音響學會誌, no.44, pp. 519-524, (1989)
3. VADIM I.UTKIN " Variable Structure Systems With Sliding Mode", IEEE Trans. Automatic Control, Vol.AC-22, pp.212-22, 1977
4. H. HASHIMOTO, K.MARUYAMA, F.HARASHIMA : "A Microprocessor-Based Robo Manipulator Control with Sliding Mode", IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol .IE34, pp11-18, 1987