

## 스텝 모터에 의한 X-Y 평면 구동 제어 시스템 개발

이사영, °김봉희, 박성대, 김흥철, 김원철, 홍일선, 우천희, 오봉환, 이복구  
명지전문대학

### DEVELOPMENT OF X-Y PLANE DRIVING CONTROL SYSTEM BY STEPPING MOTOR

SY LEE, BH KIM, SD PARK, HC KIM, WC KIM, IS HONG, CH WOO, BW OH, BK LEE  
MYONGJI COLLEGE

**Abstract** - A PWM inverter using power FET is developed to switch the excitation current of 5 phase hybrid stepping motor for the use of driving X, Y table. A micro processor based controller is also developed to control the excitation current switching of X, Y axis stepping motor as well as synchronizing operation of Z-axis servo motor. The developed driving control system is applied to the industrial embroidery sewing machine.

#### 1. 서 론

스텝모터는 고정자 권선에 직류전류를 가해서 발생하는 전자력으로 회전자를 흡인하여 회전력을 발생시키고, 또한 전류를 가하는 고정자 권선을 펄스신호의 개수와 주파수에 따라 순차적으로 절환하는 것에 의해 정해진 각도(step 각도)씩 디지털적으로 회전시켜 가는 특수한 전동기이다. 스텝모터는 구조상 전자軟鋼동으로 만들어진 齒車狀의 회전자를 고정자 권선에서 만들어지는 전자력으로 끌어 당겨서 돌리는 가변 리력탄스형(VR형)과 회전자로 영구자석을 이용해 고정자 권선에서 만들어지는 전자력으로 끌어당겨서 돌리는 영구자석형(PM형), 그리고 이 두 가지를 복합시킨 하이브리드형(HB형)이 있다.

스텝모터의 구동을 위하여 직류전원을 고정자권선에 가한 여자를 소정의 순서로 바꾸는 구동장치에 입력펄스신호를 가한다. 입력신호가 차례차례로 가해지면 입력신호가 있을 때마다 일정한 각도만큼 스텝 상으로 회전, 정지를 반복하면서 회전하여 간다. 입력신호는 일반적으로 펄스로 가해지기 때문에 출력속도의 총 회전각도는 입력 펄스 수에 비례하여, 회전속도는 입력펄스의 반복 주파수에 비례하는 것으로 된다. 입력이 없을 때는 그 정지위치를 유지하며 기동정지를 급속으로 할 수 있다.

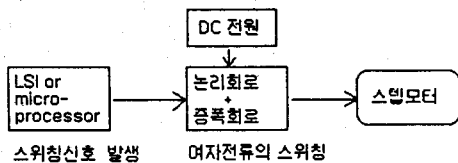


그림 1. 스텝모터의 구동 시스템

스텝모터의 구동 시스템은 그림 1과 같이 구성된다. 신호회로는 펄스를 발진시켜 주파수를 바꾸거나, 정지하거나, 역전신호를 내거나 한다. 논리회로는 각 여자권선에 신호펄스를 상수, 여자방식에 의해 분배한다. 그리고 그것을 받아서 스텝모터를 여자하는 데에 필요한 전류로 증폭하는 것이 증폭회로이다. 따라서 모터의 특성은 구

동회로에 의해 크게 변한다.

회전자를 전자력으로 흡인하여 회전력을 발생시키기 위해서 고정자 권선을 여자하는데, 여자하는 상의 수에 따라서 1상여자, 2상여자, 1-2상여자, 3상여자, 4상여자, 5상여자, 및 이를 혼용하는 방식이 있다.

스텝모터의 기동방식으로는 고속응답을 위하여 모터 R-L 직렬 회로의 시정수를 짧게 하기 위한 저항 연결법과, 구동전원 제어법, slow-up/down법, 탈조 위험을 완하기 위한 페루프 구동법, 스무스한 기동정지를 위한 마이크로스텝 구동법이 사용되고 있다. [1]

본 논문에서는 고출력 하이브리드 형 5상 스텝모터를 이용하여 자수용 공업미싱에 사용되는 X, Y 평면을 구동하기 위한 제어시스템의 개발과정을 소개하고자 한다.

#### 2. 구동제어 시스템 개발 사례

##### 2.1 자수용 공업 미싱의 개요

컴퓨터 자수기는 옷감에 놓는 수를 디자인하여 컴퓨터에 기록한 뒤, 컴퓨터의 지령에 의하여 X, Y, Z축 모터를 구동하여 자동으로 수를 놓는 장치이다. 자수기의 구성은 의류상의 수를 자수카드(Embroidery CAD)로 제작하여 수의 제작공정을 지령하는 컴퓨터, X, Y축 스텝모터 및 구동기, Z축 써보모터 및 구동기, 이를 제어하는 제어기, 전원공급장치 및 기타 솔레노이드, 센서, 엔코더 등의 전장품으로 구성되어 있다.

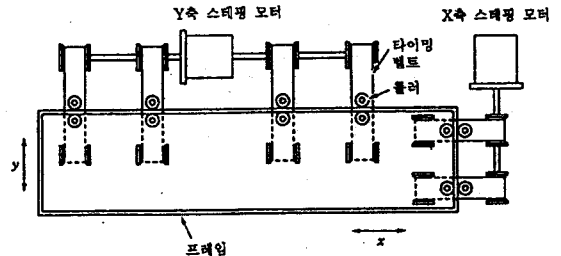


그림 2. 자수용 공업미싱

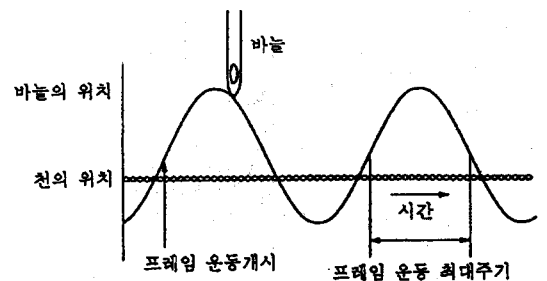


그림 3. 주축모터와 스텝모터의 동기 운전

스텝 모터는 고 토크, 오픈루프제어에서의 정확한 위치 결정, 및 짧은 거리의 고속 응답의 장점을 가지고 있어 자주용 공업미싱에 응용하기 적당하다. 2개의 스텝핑 모터가 천에 둘러싸여 있는 프레임의 위치 결정을 위해 X, Y 테이블을 구동하는 원리가 그림2에 보여져 있다. 자수기의 1개의 헤드에는 여러 개의 바늘이 있어 최대 12색의 실을 선택할 수 있다. 실을 선택하기 위해 전역 모터를 이용하여 헤드를 슬라이드 시킨다.

Z축의 주축모터에는 광학식 인코더가 붙어 있고 그 신호는 X, Y 축 프레임의 동기운전 신호로 사용한다. 주축과 프레임의 이동관계는 그림3에 있는 것과 같이 바늘이 천에서 떨어져 있는 동안 스텝모터에 의해 프레임이 움직이도록 한다. 주축의 1사이클에 대해 프레임이 움직이는 거리를 스티치 거리(stitch length)라 하는 데 0.1mm에서 12.7mm까지 조정할 수 있다.

스텝모터와 정역 모터에 의한 색 선택의 동작 시퀀스는 컴퓨터 메모리에 기억시키고 그것을 컴퓨터 지령에 의해 X,Y축을 이동시키고, 색 선택 모터를 정역전하여 다른 색의 실을 선택하면서 동시에 같은 모양을 자수한다. [1].

### 2.2 스텝모터 선정

가변리턴스 형이나 영구자석형 모터보다 동특성이 우수하고 고토크를 제공하는 5상 다단식 하이브리드형 모터를 사용한다. [2, 3] 2상이나, 5상모터의 오픈루프제어 원주를 적당한 정수로 분할할 수 있다는 이점이 있으며 500분할 (0.72deg/step) 혹은 1000분할(0.36de 인 경우에는 5상모터가 편리하다.

### 2.3 여자 방식

5상모터의 결선 방식은 펜타곤 결선과 스타결선의 방식이 있다. 여자 방식은 직류전원의 스위칭 방식에 따라 펜타곤 4상여자와 펜타곤 5상여자 방식을 사용한다. 결선별 여자 시퀀스는 그림4와 같다.

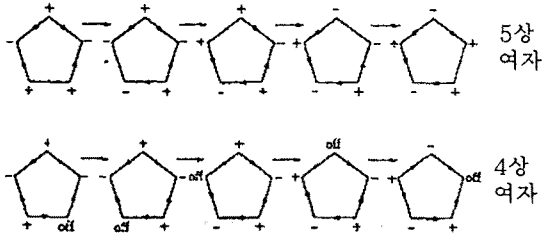


그림 4. 5상 스텝모터의 여자 방식.

### 2.3 구동제어 시스템

권선에 전류가 흐르기 때문에 고주파 시에는 전류가 충분히 상승하지 않는 사이에 영으로 되어 출력 토크가 감소한다. 그래서 주파수가 높게 됨에 따라 구동전압을 올려서 상승을 빠르게 하던지 또는 전원을 고압에서 저압으로 바꾸어 상승시키던지 혹은 충분히 높은 전압을 고주파스위칭에 의해 펄스폭 제어를 행하여 전압을 제어하는 방법을 사용한다.

스타트 특성 영역내에서 구동한 모터를 서서히 주파수를 올려서 고속 구동시켜 응답영역을 넓게 사용하는 방법이다. 가속시를 slow - up, 감속시를 slow - down으로 부른다. 회전자의 가속이 시간에 맞도록 주파수를 변화시켜야 한다. 너무 빠르면 동기 이탈을 일으켜 정지하거나 펄스 수와 회전각이 일치하지 않게 된다. 부하이나샤에 의해 그 시간은 다르다. 주파수의 변화는 디지털적으로 변화시킨다.

### 2.4 마이크로 스텝 구동

기계적 구조로 정해진 1스텝 각도를 전기적으로 더욱이 미세하게 분할해서 구동하는 방법으로 모터 축의 진동, 기동, 정지시의 over shoot양을 적게 하기 위해서 이용된다. 각 상의 여자전류를 변화시키면 회전자의 위치는 이동한다. 이 현상을 이용하여 각상에 흐르는 전류치를 미리 프로그램해 놓아 펄스신호로 전류치를 바꾸면 미소 각도의 스텝이 가능하게 되고, 회전이 부드럽게 된다. [4]

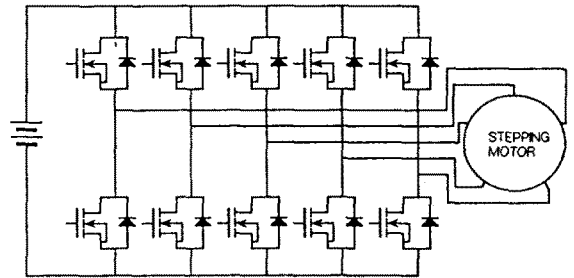


그림 5. 5상 스텝 모터용 브리지 회로

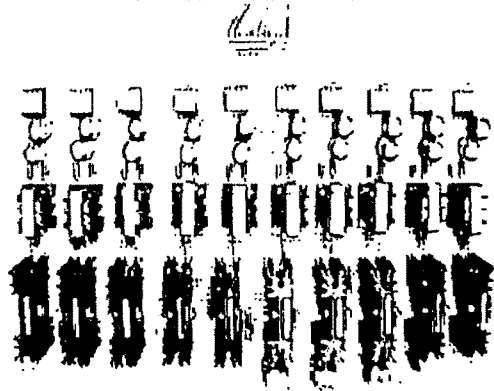


그림 6. 제작된 스텝모터용 드라이버

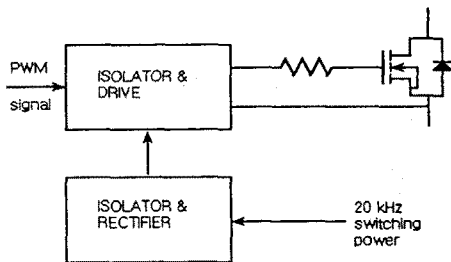
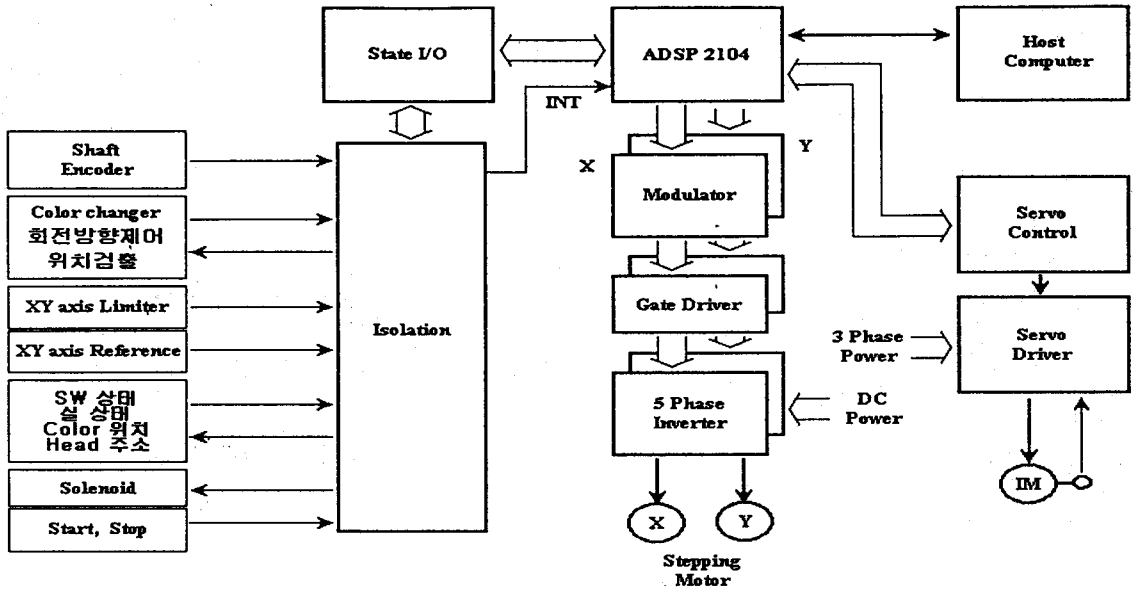


그림 7. FET 구동회로

### 2.5 드라이버 회로

자수용 공업미싱과 같이 고속으로 정밀한 위치이동을 요하는 경우 높은 주파수에서 탈출토크를 높여야 한다. 저 손실이면서 전류의 상승시간을 개선하는 데 우수한 PWM(Pulse Width Modulation) 구동을 사용한다.

그림 5와 같이 5상 스텝모터를 5상의 PWM 인버터에 의하여 구동한다. 주 회로는 전력용 FET에 의하여 구성되어 있으며 이를 구동하기 위하여 그림 5와 같은 게이트 회로를 사용한다. Photo coupler에 의하여 제어기와 전력회로를 절연하고 FET의 게이트를 제어하는 신호를 만든다. 각각의 FET는 전위가 달라야 하므로 20kHz의 구형파를 출력하는 전원장치를 사용한다. 각 게이트는



변압기에 의한 절연된 20kHz를 정류한 전원이 공급된다.

그림 8. 미싱자수기용 X, Y, Z축 구동제어시스템의 구성

브리지 구동에서는 캐스캐이드 접속된 2개의 트랜지스터가 스위칭 에러로 인해 발생하는 소자의 파손 가능성을 시퀀서의 마이크로프로세서 프로그램 작성시 고려한다. 한쪽 트랜지스터가 ON되는 시간보다도 다른쪽 트랜지스터가 OFF되는 시간이 충분히 짧지 않으면 2개의 트랜지스터는 단락되므로 이것을 방지하도록 한다. 트랜지스터에 병렬로 접속된 다이오드는 트랜지스터가 OFF될 때 발생하는 급격한 전압상승을 억제하기 위한 것이다.

### 2.6 개발된 자수용 미싱의 요소별 기능

개발된 자수용 공업미싱의 상호 연결 관계는 그림 8과 같으며 요소별 기능은 다음과 같다.

- 전동기 : 5상 스텝핑 모터를 채택하여 큰 토크와 부드러운 운전상태를 얻는다.
- 스텝제어기 : 5상 인버터에 의하여 미세스텝을 얻는다. 이동거리에 따른 기동, 가속, 제동, 정지 운전과 속도 제어를 하게 된다. 따라서 인버터는 전력용 FET 또는 IGBT로 구성하며 20kHz의 PWM 변조를 한다. 그림 8에서와 같이 각각의 축에 PWM 변조기에 의한 펄스파형으로 5상 인버터를 구동한다. ADSP 2104는 Host 컴퓨터로부터 전송된 X, Y 축에 대한 이동거리, 주축모터의 속도에 의하여 스텝핑 모터를 구동해야 하는 기간과 이에 따르는 구동패턴을 연산하여 스텝핑 모터를 움직이게 된다.
- 써보 Driver : 바늘질의 속도를 제어하며 호스트 컴퓨터에서 전송된 데이터로 써보전동기를 제어한다.
- Main Shaft Encoder : 바늘대침의 위치를 검지하며, 호스트와의 전송시점, 솔레노이드의 구동시점 및 XY 테이블의 구동시점들에 대한 정보로 사용한다. 1회전에 1 Pulse는 기준위치 펄스로 사용한다.
- Color Changer : 자수하고자 하는 색의 실을 선택한다. 위치선택은 콘덴서 기동형 단상유도전동기이며 결선

의 절환에 의하여 회전방향을 제어한다. 회전축에 직결되어 있는 로터리 스위치에 의하여 정위치를 제어한다.

- X, Y 축 신호 : 제한된 위치에서 리미트스위치에 의한 신호를 얻는다. XY 테이블의 기준위치를 알 수 있도록 기준위치의 신호도 입력한다.
- 헤드 회로 : Color 위치, 헤드의 주소 입력신호에 의한 실의 상태표시, 기능스위치의 신호입력을 한다.
- 솔레노이드 : 점프와 실을 끊는 작업에 대한 구동장치이다.
- Start, Stop : 장치의 운전과 정지 스위치이다.

### 3. 결 론

스텝 모터는 고 토크, 오픈루프제어에서의 정확한 위치 결정, 및 짧은 거리의 고속 응답의 장점을 가지고 있어 자수용 공업미싱에 응용하기 적당하다.

본 논문에서는 X, Y 축 평면 구동용 5상 하이브리드 스텝모터의 여자 전류를 스위칭하기 위하여 전력용 FET를 주 회로로 사용한 PWM inverter를 개발하고, X, Y 축 모터의 스위칭 제어와 Z 축 써보모터를 동기 운전하기 위한 마이크로프로세서 제어기의 개발 과정을 소개하였다. 개발된 제어시스템은 공업용 미싱 자수기의 X, Y, Z축 구동제어 시스템에 응용하였다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] T. Kenjo, A. Sugawara, "스텝핑 모터와 마이컴 제어", 진사, pp. 17-93, pp. 257-331, 1997
- [2] G. Heine, "Five-Phase Stepping Motor", US Patent 104, 1975
- [3] G. Heine, "Control Methodology of 5-phase PM St Motors", Proc. Sixth Annual Symposium on Incremental Motion Control Systems and Devices, Department of Electrical Engineering, Univ. of Illinois, pp. 313-330.
- [4] T. Kenjo and H. Takahashi, "Speed Ripple Character of Hybrid Stepping Motors Driven in the Ministep Mode", Proc. International Conference on Stepping Motor Systems, University of Leeds, England, pp. 87-93, 1997