

工場自動化를 위한

工作機械 主軸驅動用 벡터 컨트롤러



The Status of Vector Controlled Spindle Motor Driver Localization for Factory Automation in Korea



成 基 契

金星産電株式會社 專務理事

1. 서 론

선반, Milling Machine, Machining Center 등의 국내 NC공작기계의 수요는 매년 급격히 증가하는 추세에 있다.

최근 5년간의 국내 NC공작기계의 수요를 살펴보면 (표 1 참조), 최근에 그 수요가 급증하기 시작하여 작년(1987년)에는 1,800여대로 금액적으로도 천억원을 넘는 시장을 형성하고 있으나, 실제로 NC공작기계의 핵심이라 할 수 있는 Controller는 국산화가 전무한 상태로 거의 전량을 외국으로 부터의 수입에 의존하고 있는 실정이며, NC Controller 중에서 금액적으로 30~50%에 이르는 Spindle Drive Unit와 Motor의 국산화가 이루어지지 않은 상태에 있었다.

특히, Spindle Motor의 Vector Control 기술은 NC공작기계는 물론 FA(공장자동화)추진을 위한 핵심기술로, 자동차, 항공기 등의 정밀 부품가공분야, Elevator와 같이 정밀한 위치 및

속도제어가 요구되는 분야, 가감속 및 부하변동이 빈번한 일반산업분야에도 적용되기 때문에 더욱 중요한 의미를 가진다.

따라서 여기서는 NC공작기계에 대하여 간단히 설명하고 당사에서 독자적인 기술로 개발에 성공한 공작기계 주축구동용 Vector Controller 「STBRVERT-V」 Series를 소개하고자 한다.

2. NC공작기계

〈표 1〉 국내 NC장치 수요증가 현황

단위 : 대, 억원

연도	1984	1985	1986	1988	1988	
구분						
수	대수	459	578	1,108	1,832	3,000 (예상)
요	금액			620	1,080	
증	가율	-	26%	92%	65%	64%

'87상공부NC장치개발 관련 자료

가. NC공작기계의 종류

NC공작기계에 의해 금속을 가공하는 방법에는 절삭방법, Tool의 형상, Table과 Tool의 상대적인 이동방식 등에 따라 여러가지가 있는데 대표적으로 많이 보급되고 있는 것에 대해 알아 보면 다음과 같다.

(1) NC Drill

공작물에 구멍을 뚫는 공작기계로서, 주축이 Drill을 가지고 회전하며 2~3축 정도의 가동축으로 가공물을 이동시켜 원하는 위치에 구멍 뚫기 가공을 행하는 기계이다(그림 1 참조).

(2) NC 선반

고정된 위치의 주축이 공작물을 가지고 회전하고 2~3축의 가동축에 의해 Tool이 일정 경로를 이동하면서 절삭을 행하는 기계이다(그림 2 참조).

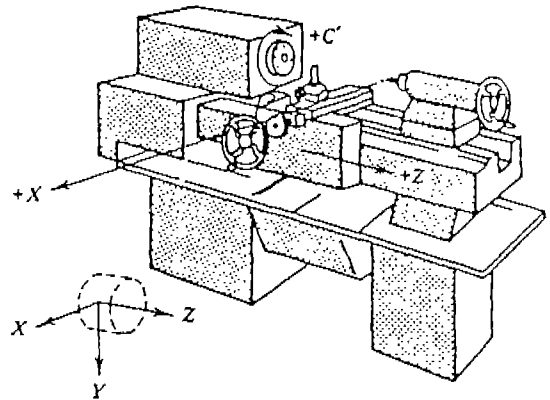
(3) NC Milling

Tool이 고정위치 또는 일정한 이동축상에서 회전하고 공작물이 이동하면서 절삭하는 기계로 Tool의 회전축의 방향에 따라 횡형(Horizontal Type), 입형(Vertical Type)으로 나누어 지는데

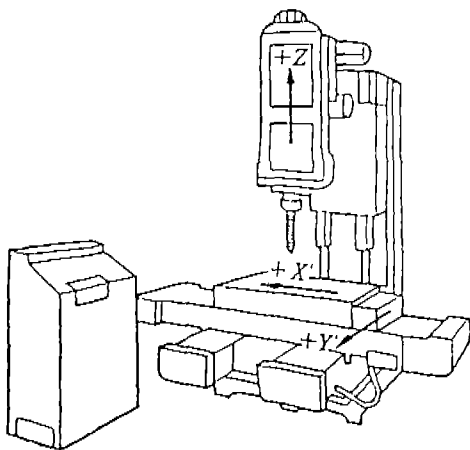
그림 3은 입형을 예로 든 것이다.

나. NC 공작기계 Controller와 Spindle의 역할

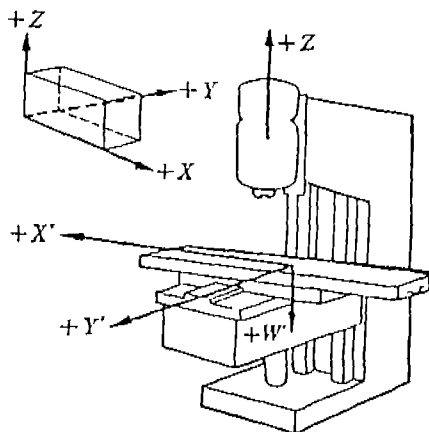
NC선반을 예로 들어 NC공작기계 Controller의 Block을 설명하면(그림 4 참조) 먼저 운전 에 필요한 각종 정보를 수동 Key 또는 기타 방법으로 입력받은 후 정해진 Program대로 매순간마다의 운전지령을 Spindle Drive Unit와 Servo Drive Unit에 보내고 제반 운전상황은 CRT를 통해 화면으로 Display 시킨다.



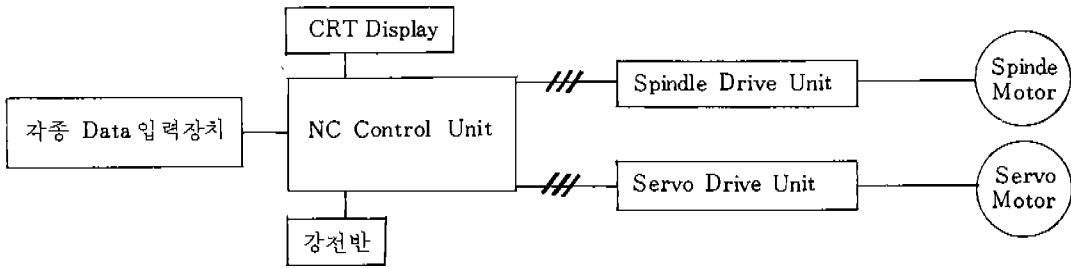
〈그림 2〉 NC 선반의 외형



〈그림 1〉 NC Drill기의 외형



〈그림 3〉 NC Milling의 외형



〈그림 4〉 NC 공작기계 Controller 의 간이 Block도

강전반은 NC제어장치의 운전에 필요한 부수적인 기계조작 및 동작조건을 지정하는 부분이다. Spindle Drive Unit는 피절삭물을 잡고, NC Control Unit로 부터 매순간마다 운전지령을 받아, 절삭이 용이하게 이루어지도록 고속 혹은 저속으로 Spindle Motor를 구동시키고 또 Machining Center 등과 같이 고급NC 기종에서 공구교환을 할 경우에는 자기 Sensor 혹은 Pulse Generator로 부터 Feed-back을 받아 정해진 위치에서 Spindle Motor의 회전을 정지시키는 역할을 담당한다.

Servo Drive Unit는 Servo Motor로 축의 위치와 속도를 제어하여 피절삭물의 형상을 결정한다.

3. Vector 제어란

가. 개 요

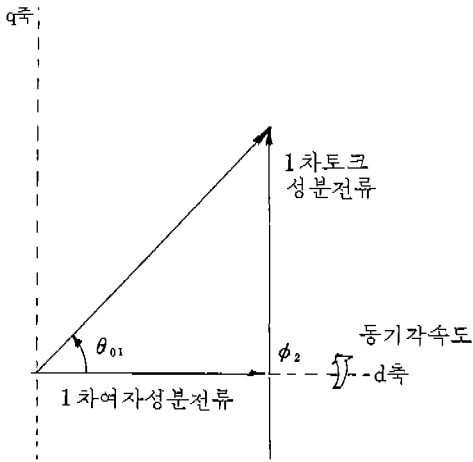
전동기의 토크는 회전자 도체에 흐르는 전류와 도체에 대하여 수직성분인 자속의 곱으로 표현되는데, 직류전동기에서는 정류자와 브러시에 의해 회전자 도체전류에 의한 기자력과 토크 발생 최저각도인 90°를 항상 유지한다. 또, 전기자 전류와 자속은 상호 간섭없이 독립적으로 제어할 수 있으므로 자유롭게 속도와 토크를 제어할 수 있다.

그러나 표 2와 같이 직류전동기는 여러 단점을 내포하고 있으므로 유도전동기에 공급되는 1차전류를 직류전동기의 토크발생 개념에 입각하여 자속성분과 자속에 직교하는 토크 성분으로 분리제어하여 회전자 전류에 의한 기자력과 회전자에 쇄교하는 자속이 항상 직교하도록 제어함으로써 직류전동기와 동등의 제어성능이 얻어지도록 하는 제어방식이 Vector 제어방식이다.

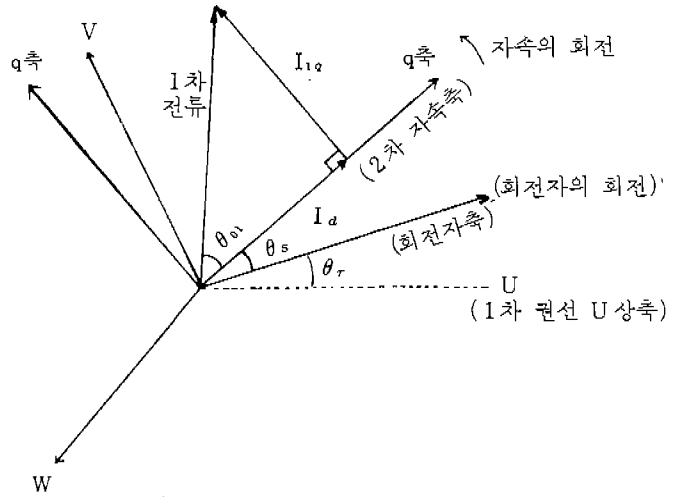
나. 원 리

〈표 2〉 직류전동기와 농형 유도전동기의 비교

종류	직 류 전 동 기	농 형 유 도 전 동 기
내용	1. 정밀한 속도제어 분야에 많이 사용 2. 브러시 때문에 정기보수가 필요함 3. 가격이 비싸다 4. 부피가 크고 무겁다 5. 브러시 Sparking 때문에 방폭용도에 사용불가	1. 구조가 간단하고 견고함 2. 정기보수가 거의 불필요함 3. 가격이 싸다 4. Vector제어방식에 의해 직류전동기와 동등이상의 성능을 가짐



〈그림 5〉 2차 쇄교자속과 전류의 Vector 관계



〈그림 6〉 1차전류기준 VECTOR도

유도전동기의 2차 쇄교자속과 전류의 Vector 관계를 도시하면 그림 5와 같은데 1차 여자성분 전류는 2차 쇄교자속과 동상이며 2차 쇄교자속의 크기에 영향을 주고, 1차 토크 성분 전류는 2차 쇄교자속과 직각이며 출력토크의 크기와 Slip 각속도에 영향을 준다.

즉, 이들 사이에는 식 1, 식 2, 식 3이 성립한다.

$$\phi_2 = \frac{M}{1 + T_2 \cdot S} I_{1a} \quad (1)$$

$$T = \frac{M}{L_2} \phi_2 I_{1q} \quad (2)$$

$$W_s = \frac{M R_2}{L_2 \phi_2} I_{1q} \quad (3)$$

ϕ_2 : 2차 쇄교자속

M : 상호 인덕턴스

T_2 : 2차시정수 (L_2/R_2)

S : 미분연산자

I_{1a} : 1차 여자성분전류

T : 토크

L_2 : 2차자기인덕턴스

I_{1q} : 1차토크성분전류

W_s : Slip 각속도

R_2 : 2차저항

여기서 식 1, 식 2의 2차 쇄교자속 ϕ_2 , 출력토크 T 가 각각 지령치를 만족시키도록 1차 여자성분전류와 1차 토크 성분전류를 각각 제어하는 것이 Vector제어의 기본원리이다.

유도전동기도 직류전동기의 제자전류와 전기자 전류와 같이 1차 여자성분 전류와 1차 토크 성분전류를 각각 분리시켜 제어할 수 있으면 Vector 제어는 쉽게 실현되지만 실제로 제어할 수 있는 전류는 1차의 각 상전류 뿐이므로 동기속도로 회전하는 d-q축 좌표계로 표현된 1차 여자성분전류, 1차 토크 성분전류를 직접 제어 가능한 1차 권선전류의 형태로 변환하는 것이 필요하다. 이 변환은 1차 전류 기준 Vector도를 나타낸 그림 6에서 2차 자속축의 회전위치를 알면 된다.

여기서

θ_r : 1차권선 U상축과 회전자 축과의 사이각

θ_s : 회전자축과 2차자속축과의 사이각

θ_{01} : 여자전류 I_{1a} 와 토크전류 I_{1q} 의 tan 각

이 2차자속축의 회전위치를 얻는 방법에 따라 자속검출방식과 슬립 주파수 제어방식으로 크게 나뉘는데, 자속검출방식은 유도기의 1차축

에 Hall소자를 부착해서 순시 자속치를 검출하거나 1차단자전압과 Search Coil로 검출한 유기전압 등에서 순시 자속치를 구하는 방식이고 슬립주파수 제어방식은 종래부터 사용되어 왔던 슬립주파수 제어를 확장시킨 것으로 그림 6에서 회전자속의 위치 θ_r 은 직접 검출하고, 슬립 각 θ_s 는 연산해서 얻어 더해서 2차 자속축을 구하는 방식인데, 이 중 후자의 방식은 전동기 내부의 특별한 개조없이 사용할 수 있으며, 저속을 포함한 전 영역에서 고성능을 실현할 수 있기 때문에 많이 이용되고 있고, 당사에서도 이 방식을 채용하고 있다.

4. 각 Part 별 소개

Spindle Drive Unit를 각 Part별로 소개하면 다음과 같다.

가. 입력부

NC 또는 PCB내의 SWITCH 등으로부터 Spindle Motor를 운전하는데 필요한 정보를 받는 부분으로, 외부에서 Connector를 통해 입력되는 정보로는 비상정지, 운전준비, 정전, 역전, Orientation, 역전 Orientation, M Gear, L Gear, Torque Limit High, Torque Limit Low, Unclamp, Soft Start Cancel등의 12가지가 있고 PCB상에서 Switch로 입력되는 정보로는 P Gain, I Gain, 임의속도, Torque Limit High Level, Torque Limit Low Level, Spare, 가감속시간, 속도지령의 종류 등이 있다.

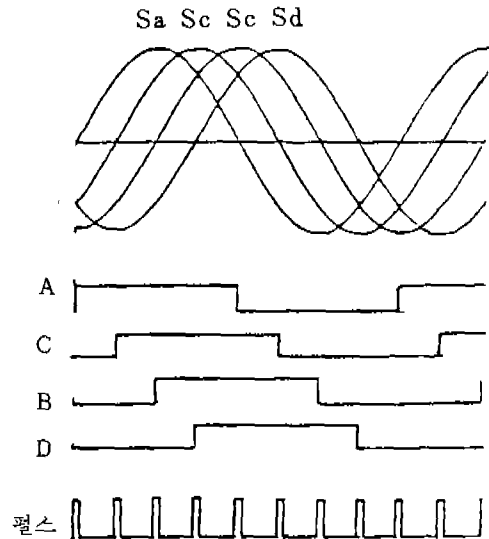
나. 출력부

Spindle Motor와 Spindle Drive Unit의 상태를 외부에 내보내는 부분으로 Relay접점으로 내보내는 정보로는 영속도, 속도도달, 임의속도, Torque 제한중, 고장일괄, Orientation 완료 등의 6가지가 있고 Small Signal Transistor로 내보내는 정보로는 고장내용을 전달하는 4Bits

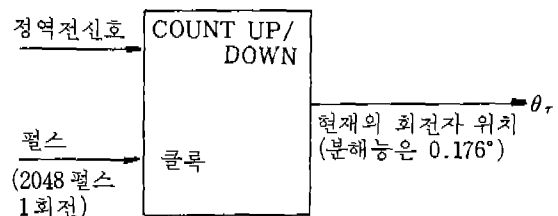
Data가 있으며 Analog DC전압을 단자로 내보내 Speed Meter, Load Meter를 외부에서 접속시킬 수 있게 하였다.

다. 회전속도 및 방향판별부

본 방식에서는 Motor와 일체화된 Pulse Generator에서 1회전당 256개의 사인파가 그림 7의 S_a, S_b 와 같이 90° 의 위상차를 가지며 출력되는데 어 2신호로 Motor 1회전당 2048개의 Pulse를 만들고(특허출원중) 가변 샘플링 방식으로 계산하여 Motor의 실제 회전속도를 산출한다(특허출원중). 또한, 신호B의 상승Edge에



〈그림 7〉 회전속도 및 방향 검출



〈그림 8〉 회전자 위치 검출

서 신호A의 상태로 Motor의 회전방향을 판별한다.

라. 회전자의 위치검출부

앞에서 얻은 Motor의 회전방향과 Pulse를 그림8과 같이 가산 혹은 감산하여 회전자의 절대 위치를 구한다.

마. Vector 연산부

Vector 연산부를 간단히 Block Diagram으로 나타내면 그림9와 같은데, 각 Block들을 설명하면 다음과 같다. 먼저 속도지령과 Motor의 실제 회전수와의 차로부터 실제 필요한 토크와 토크의 방향을 결정하고 Motor의 실제 Flux와 필요한 토크의 관계에서 공급하여야 할 1차 토크 성분 전류의 크기를 결정한다. 다음에 Motor의 실제 회전수에서 필요한 최대 Flux를 결정하고 부하의 변동상태와 회전수의 변동상태로부터 Flux Weakening 정도를 정한 다음 실제 Motor에서 필요로 하는 Flux를 결정한다.

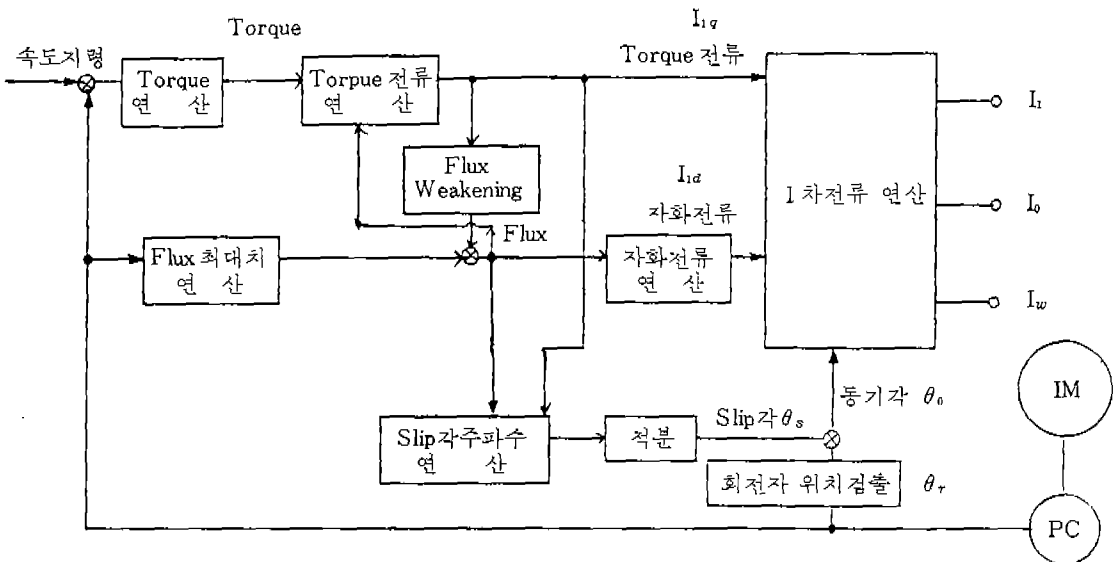
또 이로부터 Motor에 적절한 Flux를 발생시

키기 위한 1차 여자성분 전류의 크기를 결정한다. 1차 토크성분 전류, Flux, Motor 상수 등으로부터 Slip 각속도 ω_s 를 계산하고, 이를 적분해서 Slip 각도 θ_s 를 정한 다음, 현재의 회전자 위치 θ_r 와 합해서 2차 쇄교 자속축을 결정하고, 여기에 1차 여자성분 전류와 1차 토크 성분전류의 tan 각도를 더해 1차전류의 각도를 결정한다.

또 1차전류의 크기는 1차여자전류성분과 1차토크전류성분으로부터 Vector 합에서 구한다. 다음에 이제까지 구한 1차전류의 크기와 각도를 바탕으로 2상(u상, w상) 전류 Reference 신호를 출력시킨다.

바. 2상 3상 변환 및 PWM (펄스폭 변조) 파형발생부

Vector 연산부의 최종출력인 2상(u, w)전류 Reference로부터 다른 한상인 V상전류 Reference를 만들고 각상의 전류 Reference는 실제 Motor에 흐르는 전류와 비교제어된 그림10과 같이 Carrier Wave(3각파)와 비교되어 PWM 파형을 만든다.



〈그림 9〉 Vector 연산 Block Diagram

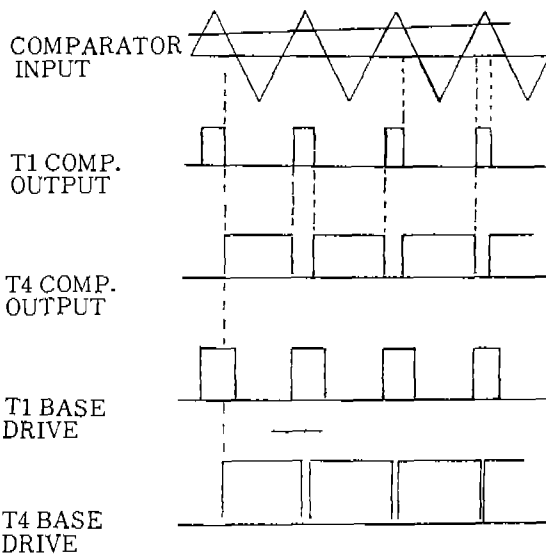
會員社 製品紹介

本協會誌에 새로 「會員社 製品紹介欄」을 新設 하였습니다. 앞으로 이 欄을 통하여 大韓電氣協會 會員社에서 새로 開發했거나 기존제품 중 優秀製品을 널리 소개하여 電氣界 發展에 이바지하고 平素 本協會를 후원해 주시는 會員社의 은혜에 보답코자 하오니 많이 이용해 주시기 바랍니다.

— 製品紹介內容 —

- | | |
|--------|----------------|
| 1. 製品名 | 5. KS·型式 승인 관계 |
| 2. 用途 | 6. 輸出實績 |
| 3. 特徵 | 7. 製品사진 |
| 4. 規格 | 8. 기타 |

※ 원고는 200자 원고지 3枚 내외 (계재로 없음)



〈그림 10〉 PWM 발생

이 PWM파형이 조합되어 3상 즉, 6개의 Power Transistor를 구동시킨다.

사. 전원회생부

Motor의 감속시 DC LINK에 축적되는 Reference Energy를 전원측으로 회생시키기 위하여 Converter부에 Power Transistor Module를 사용하여 Motoring시는 Diode Bridge로 사용하고, Regenerating시는 Power Transistor를 구동하여 DC Link에 축적되는 Regenerative Energy를 전원측으로 회생시킨다.

아. 보호회로부

고장발생시 Spindle Drive Unit의 주회로를 차단하고, 고장일괄신호를 Relay 접점으로 고장

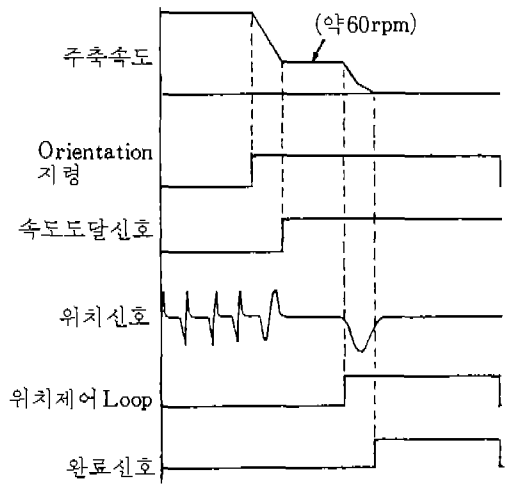
내용을 7 Segments와 4 Bits LED로 외부에 출력시킨다.

보호기능은 모두 12가지로 그 내용을 보면, 시동 지체, 모터 과열, AC Fuse, D. Fuse, Control 전원 Fuse, 과속도, 과부하, 회생과부하, Thermistor 단선, 입력저전압, 과전압, 과전류 등이 있다.

자. Orientation

공구교환 등의 목적으로 주축을 원하는 위치에 정지시킬 필요가 있을 때 사용하는데 그림11과 같이 주축에 발자체를 부착시키고, Sensor의 위치에 따라 사인파를 발생시켜 이 신호를 주축의 위치로 삼아 위치제어한다.

Orientation이 이루어지는 과정을 살펴 보면 그림 12에서와 같이 먼저 외부에서 Orientation 지령이 들어오면 주축은 정해진 저속까지 계속 감소하다가 정해진 저속에 도달하면 외부로 속도도달신호를 내보내고 난후 그림11에서 발자체와 자기 Sensor가 일정한 각도내에 들어오기를 기



<그림 12> Orientation Time Chart

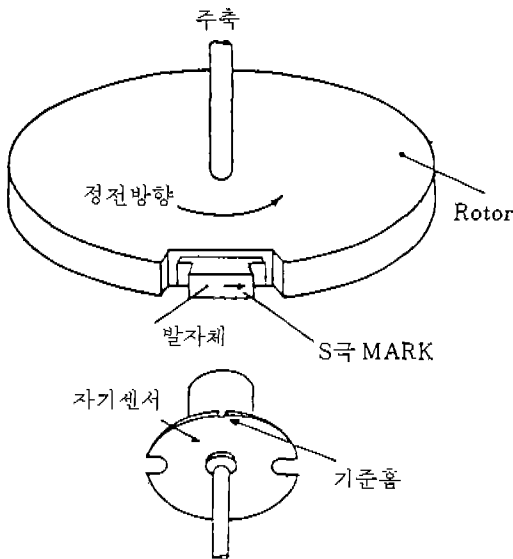
다린다.

일정한 각도내에 들어오면 위치제어 Loop로 들어가서 정확히 발자체와 자기 Sensor가 마주치는 각도에서 정지하고 외부에 Orientation 완료신호를 Relay 접점으로 출력시킨다.

5. 결 론

이상 當社에서 독자적인 기술로 개발에 성공한 공작기계 주축구동용 Spindle Driver에 대하여 간략히 소개하였는데, 공작기계 Maker에서 실시했던 Field Test에서도 양호한 결과를 얻었으므로 향후 많은 보급 및 적용이 기대된다. 그러나 아직 고속회전 정밀 Motor 분야에서 국내 자체제작기술이 부족하므로 이러한 Motor의 국산화 개발의 선행이 시급히 요청되고 있는 실정이다.

앞으로 當社에서는 축적된 기술과 인력을 바탕으로 다점 Orientation을 포함한 고기능의 공작기계 전용 Vector Controller 뿐만 아니라 일반산업용으로도 확대 개발하여 공장자동화에 이바지하고자 한다.



<그림 11> Orientation 구성