

## AC서보모터와 Air실린더를 이용한 프레스 취출용

### 자동화 시스템 특성시험에 관한 연구

김재열\* 유 신\*\* 장종훈\*\*\*

#### A Study on the Characteristics Test of Automation System

#### Using AC servo motor and Air cylinder for press Load/Unload

\* 조선대학교 정밀기계공학과 수송기계부품공장자동화 연구센터

\*\* 조선대학교 기계공학과 대학원

\*\*\* 조선대학교 정밀기계공학과 대학원

#### Abstract

In this study of maked Autmation system is moving linear transfer system for mainly forming of small electronic unit and other at press line. This system for loading and unloading a workpiece has been installed in a press in order to load and unload a workpiece from a press die. Main Control method be used PLC. It took data of input from each sensor and send signal of output to actuator by sequence program

also, we try to Characteristics test of this system has good condition when operating with raser measurmant

#### I. 서론

현재 중·소형 프레스 라인에서의 금형품의 적재 및 추출공정등은 모두 수작업으로 진행되고 있으며 이로인해 발생하는 문제로써 작업효율성의 저하, 3D기피현상으로 인한 노동력부재 및 인건비 상승 그리고 산업재해 발생률이 높다는 점등 때문에 작업자 및 경영자 모두에게 큰피해를 주고 있는 것이 사실이다. 외국은 물론 우리나라에서의 자동화 기술의 진보로 이 같은 애로작업을 대신할 수 있는 시스템이 많이 개발되어 왔으며 많은 분야에서 사용되고 있으나 그러한 자동화 기술을 응용하기엔 아직도 많은 비용이 들기 때문에 대기업을 위시한 일부 큰 기업에 한해서 사용되고 있는 것 또한 사실이다. 앞서 말한바와 같이 프레스 생산업체들은 중소기업인 경우가 많

은 관계로 자동화 기기를 설치하기위한 비용을 대기란 무척 어려운 일일 것이다. 이러한 전체적인 문제점들을 해결하기 위해서 본연구에서는 기존의 loader와 Unloader기기를 더욱 단순화하여 기기단가를 낮추면서도 정밀도나 속도면에서 뒤지지 않는 중·소형자동화 시스템의 하나인 소형 프레스 피딩 자동화 시스템을 개발하였다.

본 연구에서 개발된 기기는 작업공간을 최대한으로 이용 공간의 효율성을 높이기 위해 프레스기기의 뒷부분에 장착하였으며 Unload와 Load작업이 동시에 일직선상에서 이루어지게 하여 작업시간 및 작업효율성을 극대화 하였다. 그리고 작업물을 Unload 및 Load 해줄 진공흡착핸드는 흡착기가 좌우 및 앞뒤로의 변화가 가능해 일반적인 금형의 형태는 물론 다양한 형태의 작업물에도 적용이 가능한 범용의 Un/Loader를 개발하였다.

본 기기는 PLC(Programable Logic Controller)를 이용 액추에이터로부터 나오는 데이터를 각각의 엔코더와 리드스위치 및 근접스위치로부터 입력받아 미리 설정된 프로그램의 시퀀스제어에 의해 각각 서보드라이브를 통한 AC모터의 구동으로 좌우직선위치 및 속도를 제어하였고 전자밸브를 통한 Air실린더의 작동으로 상하직선위치 및 속도를 제어하였다 또한 전자밸브와 진공이젝터를 이용 진공흡착기에 진공을 주어 작업물의 흡탈착을 가능하도록 하였다. 마지막으로 이렇게 개발된 기기의 안정성 및 효율성 검증을 위해 Un/Loader 자동화 시스템의 실제 제어위치 및 속도등을 레이저 측정장비 및 측정 소프트웨어를 이용 특성실험을 하였다.

#### II. Un/Loader 기기의 설계

생산라인에서 프레스 작업물의 장착 및 반송을 위해서 사용되는 하드웨어적인 시스템들을 크게

세가지 구동 부분으로 설정하였다. 나누어진 각 부분은 LM가이드위에 설치된 블록을 이동시키기 위한 서보모터와 블록에 설치된 흡착기의 상하 이동을 위한 에어실린더 그리고 작업물의 흡탈착을 위한 진공기기등으로 각각 선정 및 설계를 하였다.

### 1. 서보모터 구동부

#### 1) 좌우 직선운동부 설계

본 시스템의 구동부중 하나인 수평직선운동을 하는 X축방향의 슬라이드 기구는 길이 2000mm,의 긴 스트로크와 고정밀도의 속도, 위치결정 및 동기운전을 목적으로 하기 때문에 동력전달이 확실하고 구조상의 복잡함을 피하며 슬라이드의 슬립을 피하기 위하여 타이밍 벨트 구동방식을 사용하였다. X축 구동부에서 사용되는 액츄에이터는 AC서보모터로써 MSM시리즈이며 모델명은 MSM012A1E이다. 전용드라이버와 1축모션 콘트롤러를 통해 모터의 위치와 속도 그리고 토크를 제어하며 모터 구동부 시스템의 구성도는 아래와 같다

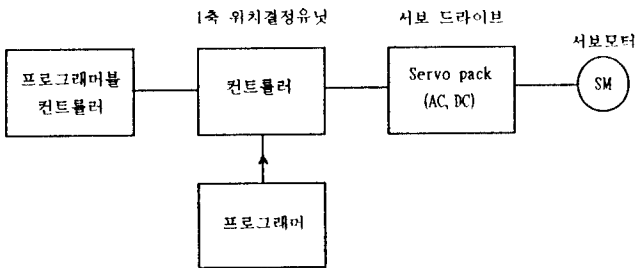


그림1. 수평직선구동시스템의 구성도

LM 가이드와 흡착기 고정테이블의 굽힘응력은 허용 처짐보다 커지면 이동테이블의 마찰 증가로 제어시스템에 왜란으로 작용하므로 엄격하게 제한을 두어야 한다.

슬라이드 기구의 굽힘 계산식은 다음과 같다.

$$\delta_1 = \frac{P_a^3}{6EI} \left(2 - \frac{3a}{L}\right) = 8P_a^3 \left(2 - \frac{3a}{L}\right) C$$

$$\delta_{max} = \frac{P_a^3}{24EI} \left(2 + \frac{3b}{a}\right) = 2P_a^3 \left(2 + \frac{3b}{a}\right) C$$

E : 종탄성계수(Kgf · mm<sup>2</sup>) P : 집중하중(Kgf)

L : 길이 (mm) I : 단면2차모멘트(mm<sup>4</sup>)

C : 2.49 × 10<sup>-11</sup>

최대 처짐각 β는 다음식과 같다.

$$\beta = \frac{P_a^2 b}{2EI \cdot L} = \frac{24P_a^2 b C}{L}$$

위식으로 계산된 최대처짐각은 1.06 × 10<sup>-5</sup>(rad)이다. 일반적으로 굽힘에 의한 처짐의 제한치로 보는 슬라이드 기구의 최대처짐각이 1/1000(rad)보다 훨씬 작은 값이므로 기구의 굽힘력은 충분하다고 본다.

### 2. 에어실린더 구동부

#### 1) 상하 직선운동 기구설계

반송기구의 무게(약 40Kg)에 따른 실린더의 충분한 발생토크 여유율을 두어 선정하고 설계한 고정브라켓을 이용 Profile과 실린더를 결합하였다. Compressor를 통해 공기압을 공급하고 Aircombi

nation(TAC4000)을 이용하여 공기압을 5기압으로 설정하였다. 공기압의 공급과 배출등의 방향 제어는 전자밸브를 이용하도록 하였다. 공압실린더는 리드스위치를 부착한 브레이크 에어실린더(TCBA2L50-45)를 사용하였다. 다음은 선정상 고려할 포인트로 실린더튜브내경(출력특성), 실린더스트로크(좌굴에 의한 한계, 가로하중에 의한 한계, 힘에 의한 한계, 쿠션특성), 지지형식 등이 있는데, 출력특성에는 아래와 같은 이론출력이 있다

$$\text{로드 출측} : F_a = \pi/4 \times D^2 \times P \quad (\text{Kgf})$$

$$\text{로드 인입측} : F_b = \pi/4 \times (D^2 - d^2) \times P \quad (\text{Kgf})$$

여기서 F<sub>a</sub>F<sub>b</sub> : 이론출력 실린더력 (Kgf)

D : 실린더 튜브의 내경 (cm)

d : 실린더 로드경 (cm)

실린더의 실제 출력은 실린더의 피스톤 패킹이나 베어링등의 마찰저항력에 의한 손실분을 감한 힘으로써 아래와 같이 전개된다.

$$\text{로드 출측} : F_1 = \mu_1 \times F_a \quad (\text{Kgf})$$

$$\text{로드 인입측} : F_2 = \mu_2 \times F_b \quad (\text{Kgf})$$

여기서 F<sub>1</sub>F<sub>2</sub> : 실린더 출력 (Kgf)

μ<sub>1</sub>μ<sub>2</sub> : 실린더 추력계수

F<sub>a</sub>F<sub>b</sub> : 실린더력 (Kgf)

실린더를 상하로 사용할 경우 한계를 넘어 롱스트로크로 사용하면 피스톤 로드와 선단에 걸리는 하중에 의하여 피스톤 로드와 좌굴해 버리기 때문에 이 같은 한계 스트로크 또한 고려하여야 한다.

### 3. 진공 흡착 기구설계

본 실험기구에 적용된 방식은 워크대상물이 평면적이며 비자성물이므로 진공흡입식을 채택하

였다. 작업물의 중량은 1Kg이내이며 진공솔레노이드 밸브를 이용하여 흡착기로 작업물을 탈착하는 공기흡입방식이다. 그리고 블록에 가변Arm을 부착하여 앞 또는 뒤로의 위치 이동이 가능하게 하여 일정 범위 한도내에서 작업물의 위치가 바뀌어도 조정이 가능토록 하였고 스프링에 의한 가동식 구조로 물품의 높이가 일정치 않아 발생되는 흡착미스를 방지했다.

1) 진공흡착핸드

진공흡착핸드는 구조가 간단하고 값이 싸기 때문에 마그네트 핸드와는 달리 대상물에 흡착 가능한 표면이 있으면 철강 이외의 비철금속, 비금속에 도 널리 사용되고 있다.

① 진공 패드

진공 패드(척)는 고무를 컵 모양으로 만들고 컵속의 공기를 뽑아 부압 진공으로 만들어 대상물을 흡착하는 것이다.

2) 진공의 발생

진공패드에 부압을 발생시키기 위해서는 공기 이젝터나 진공펌프가 필요하다.

① 공기 이젝터

분무기와 비슷한 원리인 압축공기가 가지고 있는 압력 에너지를 속도 에너지로 변환하여 벤츄리 효과로 부압을 발생시키는 원리를 이용한 것이다. 압축기내에서 공급되는 압축공기(약 5 ~ 6kgf/cm<sup>2</sup>G)를 이용하여 진공을 생성하며, 공기 이젝터의 사용범위는 약 -600 ~ -700mmHg 정도이다. 공기이젝터로 유입되는 공기유통의 개폐로 진공을 해제 혹은 설정하는 방법으로 제어하였다.

② 진공흡착 패드의 설계

흡착 부하 F<sub>L</sub>는

$$F_L = W + m\alpha_{max} = mg(1 + \beta) = w(1 + \beta)$$

여기서 F<sub>L</sub> : 흡착 부하

W : 대상물의 중량

mα<sub>max</sub> : 대상물의 최대 수직 관성력

(mα<sub>max</sub>를 대상물의 최대수직관성력의 합으로 생각하면 α<sub>max</sub>=β<sub>g</sub>으로 놓을 수 있다)

한편, 진공 패드의 최대 이론 흡착력 F<sub>t</sub>는

$$F_t = 1.033 \times A \times \frac{P}{760} \times n \quad [kgf]$$

여기서 F<sub>t</sub> : 최대 이론 흡착력

P : 진공도 [mmHg]

A : 패드의 유효 단면적 [cm<sup>2</sup>]

n : 패드수

(1기압=1.033kgf · cm<sup>2</sup>=760mmHg)

안전 흡착력 F는 f를 안전률로 하면 고무의 경우, 유효 단면적 A에 대응하는 유효 직경은 패드 바깥 지름의 약 85% 정도이다. F는 F<sub>L</sub>보다도 커야만 한다. 안전률은 3으로 놓았다. 이 경우 동작중 작업물의 탈락위험성은 거의 없는 것으로 나타났다. 흡착 완료까지의 경과 시간은

$$t = \frac{V}{S} \log_n \frac{P_0}{P}$$

여기서 t : 흡착 완료까지의 시간

V : 패드와 배관내 용적,

P : V중의 압력

P<sub>0</sub> : P의 초기 압력

S : 배기속도

실제로 0.2 ~ 5초 정도로, 사이클 타임이 문제가 되었으나 배관 등 진공이 되는 부분의 용적 V를 가능한 한 작게 함으로써 사이클 타임을 줄일 수 있게 된다는 것을 알 수 있었다.

III 제어 시스템

1. 센서부

프레스취출용 자동화기기의 조작을 효율적으로 제어하고 숙련된 정보기능을 부여하기 위하여 센서(sensor)사용이 꼭 필요하다. 센서는 고정밀도 및 고 신뢰도를 요구하는 위치결정과 경로 정보 등의 제어도 가능하게 한다.

1) 좌우이동 검출 센서

(1) 리밋 스위치

대표적인 기계식 센서로써 마이크로 스위치를 기본으로 한 센서이다. 위의 마이크로 스위치는 3개가 좌우이송구간에 장착되며 그중2개는 메카니컬기구 파괴방지용으로 1개는 원점리셋스위치로 이용 된다. 그림3 는 마이크로 스위치의 장착 위치를 간략하게 나타내고 있다.

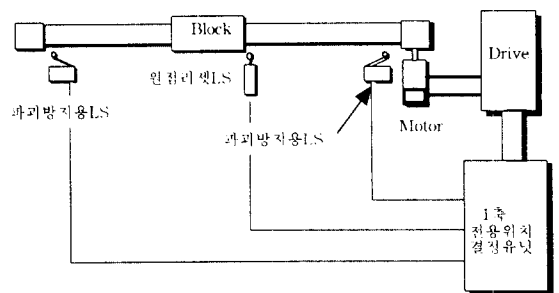


그림2 리밋 스위치 장착 개략도

## (2) 인코더

AC서보모터와 함께 장착된 옵티컬 인코더는 인크리멘탈 타입인데 인크리멘탈 타입은 절대각도를 직접 검출할 수는 없는데 이동각도의 증대, 감소를 검출할 수가 있다는 특징이 있다.

근사 정현파 출력신호는 출력신호를 미분함으로써 0회전 부근의 회전속도 신호를 모을 수가 있다. 근사 정현파 출력신호의 출력방식은 평형형 라인드라이버 출력방식을 이용 전용의 라인 리시버를 사용하여 출력신호를 처리하는 방식으로 비교적 간단한 회로로서 출력신호 전송시의 노이즈 성분을 수축 회로에서 제거할 수 있으므로 신뢰성도 높고 신호 전송거리가 긴 경우에 사용된다.

## 2) 상하 왕복운동시 검출 센서

### (1) 자기스위치

자기센서는 자석의 변위나 자성체의 변위만에 대해서 검출이 가능하지만 비교적 간단하다는 점과 정밀도가 양호하다는 점에서 많이 사용되고 있다. 본 실험에서 사용되는 스위치는 실린더 로드에서 자기를 심어 그 위치를 파악하는 리드스위치로써 실린더의 스트로크 상단엔드와 하단엔드 위치에 장착하였다. 실린더의 작동시 로드가 운동을 하여 양단 엔드지점에 도달하면 로드에서 심어진 자석의 자기적 특성으로 리드스위치가 작동하게 되어 신호를 발생한다.

## 3) 흡탈착시 흡탈착유무 검출 센서

### (1) 근접스위치

여기서 사용되는 센서는 고주파 발진형 근접 switch이다. 발진 코일에 고주파 전류를 흘려 놓으면 자성체가 근접했을 때, 자성체 속에 자기유도에 의한 와전류가 흐른다. 이 와전류의 영향을 검출하여 ON·OFF 하는 근접 스위치가 고주파 발진형의 센서이다 코일의 임피던스의 변화를 검출하는 방법과 검출 권선을 설치하여 자속의 변화에서 전압 출력을 얻는 방법의 두 가지 방법이 있다. 이 원리를 이용하여 일정한 거리에 근접했을 때, ON·OFF하는 근접 스위치로 할 수 있다.

동작방법은 근접 S/W의 검출에 대해서 검출체를 수직으로 접근시키는 것이므로 검출거리 즉 동작거리의 복귀거리는 검출면과 동작 검출체와의 거리를 표현한다.

## 2 제어부

시스템의 제어를 위해서 PLC 및 위치전용콘트롤러를 이용 각종 부착센서로부터의 입력값과 모터드라이브와 실린더의 출력값을 시퀀스적으로 통괄 제어처리한다.

### 1) 서보모터 제어

서보모터가 필요로 하는 제어기능은 다음 3가지 요소로 분류하였다.

#### ① 위치제어

위치제어에는 지정된 위치에 빨리, 안정된 이동을 하는 PTP 위치결정제어방식을 채택하였다. 이를 위해서는 구동계에 위치검출기인 인코더를 부착해서 피드백 되는 위치가 스케줄된 지령위치와 일치하도록 위치루프를 구성해서 제어한다. 본 실험에서는 편차 카운터 방식을 사용하였다.

#### ② 속도제어

이동속도나 회전속도를 시간 또는 다른 변수에 따라서 제어한다. 이를 위해서는 구동계에 검출기를 부착 피드백속도가 스케줄된 지령 속도에 일치하는 속도 루프계를 구성해서 제어한다.

#### ③ 토크제어

힘이나 에너지를 시간 또는 다른 변수에 따라서 제어한다. 일반적으로 토크의 검출이나 피드백 제어는 하지 않고 서보모터의 전류·토크변환의 직선성을 이용해서, 전류제어로 대응한다.

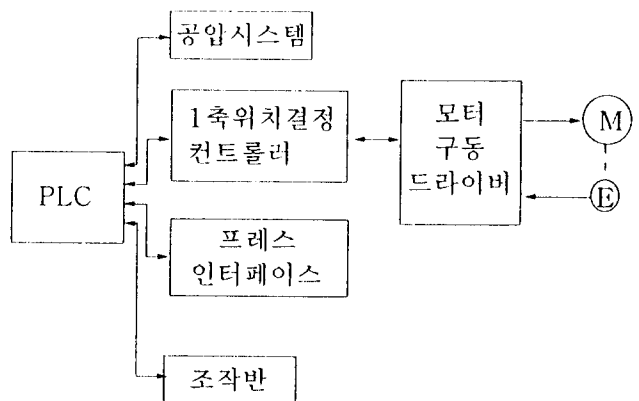


그림 3 SYSTEM LAY OUT

### 2) 에어실린더 제어

전자밸브변환에 의한 시퀀스제어로 된 공기압 제어는 에어실린더의 출력·속도·위치제어가 가능하다.

#### ① 출력제어

공기압실린더의 경우 공기의 압축성이 크기 때문에 힘과 위치를 동시에 제어하는 것은 곤란하

다. 다만 피작업물의 움직임에 따라 이동하더라도 일정 출력을 계속 유지하는 제어특성이 필요하다.

② 속도제어

피작업물의 이동을 일반적인 시퀀스제어로 할 경우 별환 밸브에 신호를 보내고 소정의 위치에 정지하기까지의 시간과 왕복운동의 총시간 및 정지가속도에 의한 실린더의 흔들림이 정지 후 정정할 때까지의 시간을 포함한 작동시간이 제어 대상이 된다.

③ 위치제어

실린더 구동에 의한 피작업물 이동 후의 위치결정은 위치정밀도의 차이에 따라 일반적인 왕복동양단의 위치결정과 중간점의 위치결정으로 나뉘어지는데 여기에서는 스트로크엔드에서 엔드까지의 왕복양단의 위치결정제어로써 행한다.

(1) 실린더의 왕복제어

공기압 제어에서는 아래와 같이 그림에 나타나 있다.

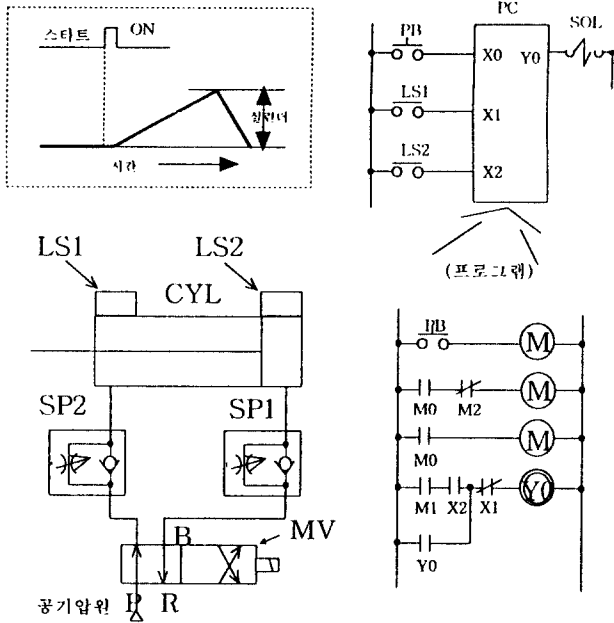


그림 4 공기압 제어회로

3) 진공기기의 제어

Compressor에서 공급되는 압축공기(약 5 ~ 6kgf/cm<sup>2</sup>G)를 공기가젝터로 유입시켜 진공을 발생시키며 공기공급을 전자밸브를 이용하여 개폐하는 방식으로 흡착기내에 진공을 해제 혹은 설정하는 방법으로 제어하였다.

그림 3에 흡착패드 공기압 회로를 나타내었다.

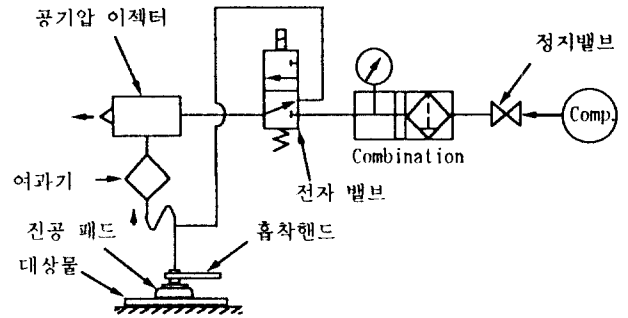
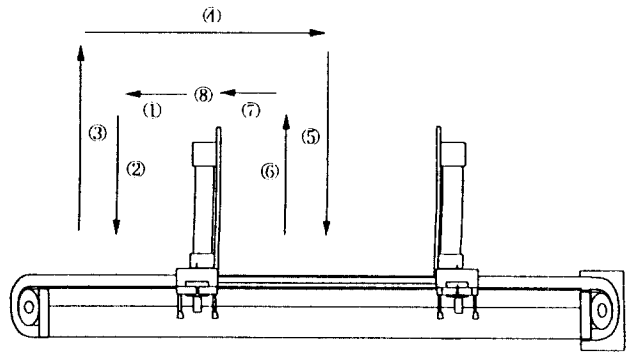


그림 5 흡착기의 공기압 제어도

다음은 프레스 취출용 자동화 시스템 전체 동작 순서에 관해 간략하게 나타내었다.



- ① 좌로 이동 1/2피치
- ② 하강 (흡착)
- ③ 상승
- ④ 우로 이동 1피치
- ⑤ 하강 (탈착)
- ⑥ 상승
- ⑦ 좌로 이동 1/2피치
- ⑧ 원점에서 프레스로 기동 신호

그림6 전체 시스템의 동작순서

IV. 실험방법

1. 실험장치의 구성

설계, 제작한 프레스 취출용 자동화 시스템의 일반특성을 알아보기 위하여 시스템의 반복위치정밀도를 측정하여야 한다. 위치정밀도 측정장비는 최대 5mV용량의 RENISHAW사의 헤륨네온레이저를 이용하였다.

1) 반복 위치결정정도 측정실험

위치결정측정방법은 Laser Beam이 Prism을 통과하여 둘로 나누어져 하나의 Beam은 Block위에 설치된 Mirror에 반사되고 다른 하나는 Prism에 연결된 Mirror에 반사되어 각각의 정지위치마다의 변위를 RENISHAW사의 변위측정프로그램을 이용 위치결정정도를 구했다.

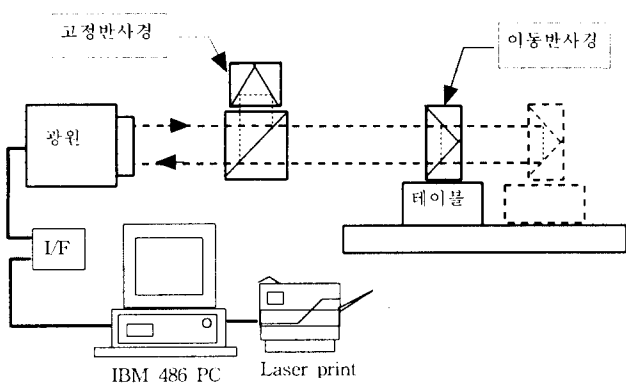


그림 7 레이저 정밀측정시스템의 개략도

### V 실험결과 및 고찰

본 논문에서 사용된 Unloader System은 운동학적으로 각각의 축이 1자유도만 가지도록 설계되었지만, 기계요소의 가공 및 조립의 부정확도에 의하여 오차성분(Roll, Yaw, Pitch) 존재할 것으로 사료되며 이러한 오차 성분은 시스템의 성능을 저하시키는 원인이 된다.

따라서 본 논문에서는 부품선정과 가공, 조립 단계에서 계측장비를 이용한 오차를 최소화하려고 노력하였다. 실험결과 각 축의 동작횟수를 증가 시킴에 따라 이송오차가 서서히 증가하고 동작속도가 증가할수록 이송오차가 급격히 증가함을 알 수 있었다. 즉, 일정한 부하하중이 작용할 때 동작횟수보다는 동작속도에 따른 영향에 민감하다는 것을 알 수 있었다.

따라서 동작속도와 이송오차를 분석하여 최적 동작속도를 24m/min으로 결정 하였으며 최적동작 속도일 때 모터 회전수는 1550PPM이고 위치결정 시간은 3.25sec가 소요되었다.

본 논문에서 설계된 자동화 System은 약80회의 동작후 원점보정을 하게되면 반복위치정밀도는 0.036mm 이내에서 동작하게 된다.

### VI. 결론

본 연구에서 개발된 기기는 생산공정에서 직접 활용 가능한 서보모터와 에어실린더를 이용한 2축 위치·속도 결정용 자동화 시스템이며 PLC를 이용한 반복 시퀀스제어로서 전체 시스템을 통괄 제어하도록 하였다. 각 축의 위치결정은 X축방향으로는 위치결정유닛과 Y축방향으로는 리드스위치의 센싱을 이용한 PTP방식으로 제어하였다. 속도 제어는 모터전용드라이버의 파라미터(주파수 및 펄스수)설정과 실린더행정의 각 조건의 고속화로 제어하였으며 그결과는 다음과 같다.

1. 프레스 취출용 자동화 시스템의 속도 측정을 통해 작업물이 5Kgf이내 일 때 수평직선부의 최적 동작 속도는 20mm/s으로 결정하였고 수직운동부에서는 200mm/s.로 결정하였다.
2. 반복위치결정 실험에서 본 시스템의 위치 분해능은 0.005mm 이고, 부하하중 5Kgf이내에서 최적동작 속도로 실험하였을 경우  $\pm 0.025$ mm의 고정도의 반복위치정밀도를 가진다.
3. 본 프레스 취출용 자동화 시스템의 특성실험을 통해 PLC를 이용한 시퀀스제어와 각 센서부와 구동부간의 안정성 및 신뢰성이 입증되었다.
4. 이상의 결과로 본 프레스 취출용 자동화 시스템은 산업체의 각종 자동화 설비는 물론 다중제어를 통한 중·소형 공장자동화 시스템에 응용될 수 있을 것으로 생각되어진다.

### VII 참고문헌

1. Groover M. P. "Automation, Production Systems & Computer Integrated Manugacturing." Prentice Hall International, 1987
2. H.Asada, "Dynamic Analysis and Design of Robot Manipulators Using Intertia Ellipsoids." IEEE, 1984, pp48
3. Hiroyasu, Fanakubo, "Actuators for Control.", Gordon and Breach Science Publish, pp.148-158, 1991
4. 박승만 역, "PC 시퀀스제어활용" 성안당, 1995
5. Katsuhiko Ogata, "Modern Control Engineering" Prentice Hall International, 1997
6. Richard C. Dorf, "Modern Control Systems" Addison-Wesley, 1991
7. R. H. Park, "Two-Reaction Theory of Synchronous Machines-I," AIEE Trans., Vol.48, PP. 716-721, June 1920
8. 안재봉 저, "PLC 응용 기술 핸드북". 도서출판 기술, 1994
9. 자동화 기술편집부. "자동위치 정하기 도집" 기전연구사. p27-87. 1991
10. L. J. Penkowski and K. E. Pruzinsky, "Fundamentals of a Pulse Width Modulated Power Circuit." IEEE Trans. Ind. Appl., Vol IA-8, pp. 584-593, Sept. -Oct. 1972