

<論 文>

## 전기 유압식 모방절삭 기계의 제어성능에 관한 연구

윤 지 섭\*·조 형 석\*

(1983년 9월 17일 접수)

### An Experimental Study on Control System Performance of an Electro-Hydraulic Copying Machine

G. S. Yun and H. S. Cho

#### Abstract

An electro-hydraulic copying system is developed and its performance is experimentally investigated. As compared with a mechanical hydraulic copying system, this system has a basic difference in that; (1) the stylus movement is converted into an electrical signal via a position transducer. (2) the actuator displacement is also measured by a position sensing element, which serves as a feedback signal. Since the system parameters affect the control performance, the response characteristics such as percentage overshoot, rise time, settling time and steady state error are experimentally obtained under variation of these variables. The system parameter include supply pressure, servo amplifier gain and feedback gain. The experimental result shows that the cutting tool follows a stylus input motion to a desirable accuracy. The implication of this result indicates that the developed system can enhance the copying accuracy of the conventionally used mechanical type of hydraulic copying system.

#### 1. 서 론

모방절삭 장치는 복잡한 형상의 가공물을 다량생산할 때 가공능률과 생산성의 향상을 위하여 이미 만들어진 형틀을 따라서 모방가공을 하는 장치이다. 모방절삭장치에는 기계적 방법, 유압식 방법 및 전기 유압식 방법 등이 있으나 주로 유압식 방법과 전기 유압식 방법이 사용되고 있다. 유압식 방법은 고압 유체를 사용함으로써 중절삭을 할 수 있고 유체의 비압축성으로 인한 신속한 응답 속도를 낼 수 있어서 가장 보편적으로 사용되는 방법이나 이 방법은 중량이 커서 소형 선반에 사용하기 어렵고 스타일러스와 형틀간의 마모현

상이 심하여 다량생산에 적합치 않다. 또한 모방절삭 장치에 관한 연구는 주로 유압식 방법에 관하여 기술이 되어 있다. 즉, Kato와 Yamaguchi<sup>(1,2)</sup> 등은 쓰로틀링 밸브(throttling valve)를 사용한 유압식 모방절삭 장치에서 절삭정밀도에 영향을 주는 제단함수 응답(step function response)과 경사함수응답(ramp function response)이 각 밸브 port형상의 변화에 따라 어떻게 변화되는가를 연구하였고 Mansour<sup>(3)</sup> 등은 유체의 누출(leakage)이 안정성에 미치는 영향과 밸브 스푸울과 port가 overlapped되면 절삭 정밀도가 나빠짐을 알아냈으며 Urata<sup>(4)</sup> 등은 길이방향 뿐만 아니라 단면의 형상도 변화하는 가공물을 절삭하는 방법등을 제시하였다. 이와같이 유압식 모방장치에 관한 연구는 활발한 편이었으나 선반에서의 작업조건등의 변

\*정회원, 한국과학기술원 생산공학과

화에 따른 절삭정밀도에 대한 영향등은 거의 언급하지 않았다. 따라서 본 연구에서는 유압식 방법보다 절삭정밀도가 높고 전기신호를 사용함으로써 인한 조작과 증폭이 간단하고 특성 개선을 위한 계의 보상(system compensation)을 할 수 있는 전기 유압식 모방장치를 설계, 제작하여 그 성능을 실험적으로 해석하였다.

따라서 실험에서는 가공물의 표면조도와 절삭정밀도에 영향을 주는 변수의 변화에 따른 계단 입력 및 경사 입력에 대한 응답을 해석한 뒤에 직접 선반에서 템플레이트를 걸어놓고 전기 유압식 모방절삭 장치를 작동시켜 그 특성을 해석하였다.

여기서 변수로는 서어보 앰프 게인( $K_A$ ), 피이드 백 게인( $K_F$ ), 공급압력( $p_s$ ) 및 공구의 이송속도( $v_f$ ) 등이 된다. 이와같은 실험결과를 Kato<sup>(1),(2)</sup> 등에 의해 사용된 쓰로틀링 밸브(throttling valve)를 사용한 유압식 모방절삭장치의 계단함수응답 특성과 비교해 보았다.

## 2. 모방절삭 실험장치

전기 유압식 모방절삭장치의 작동원리는 다음과 같다. Fig. 1에서 보는 바와같이 스타일러스는 형틀의 변위를 측정하여 변위 측정장치(DCDT)에 의하여 전압 신호로 바꾼다. 일단 전압으로 바뀌어진 신호는 서어보 증폭기(servo amplifier)를 통해서 서어보 밸브에 입력전류를 넣어주어 구동장치(actuator)가 작동하게 된다. 이때 절삭공구의 위치를 정확히 제어하기 위해서 절삭 공구의 현재의 위치를 귀환(feedback)시켜서 스타일러스의 위치(원하는 형상)와 비교하게 된다. 비교된 전압은 오차신호로 바뀌어져서 서어보 증폭기를 통하여 다시 제어전류로 형성되는데 이것은 서어보 밸브를 작동시켜서 결국 정확한 절삭공구의 위치를 제어하게 된다. 여기서 공구를 피스톤의 끝에 붙여줌으로

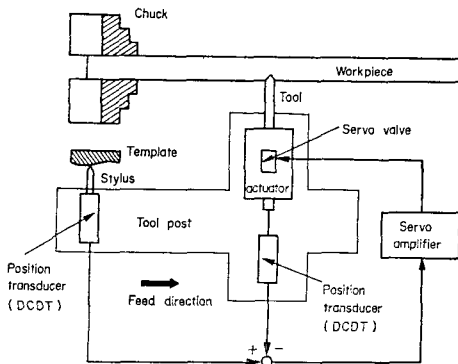


Fig. 1 Schematic diagram of the electro-hydraulic copying system

써 공구가 형틀의 모델과 같은 양 만큼의 변위를 절삭하게 된다.

전기 유압식 모방절삭 장치에 필요한 각 실험장치의 제작을 간단히 설명하면 다음과 같다.

### 2.1. 구동장치

전기 유압식 모방절삭 장치에 사용되는 구동장치는 다음과 같은 점들을 만족해야 한다<sup>(5),(6),(7)</sup>. 즉 구동장치의 출력은 절삭저항의 배분력보다 커야하며 또한 절삭저항의 주분력, 횡분력등을 이겨내게 하기 위한 공구 슬라이딩 장치<sup>(7)</sup>(tool sliding device)를 만들어 주어야 한다. 이외에 구동장치의 고유진동수는 모방절삭에서 필요로 하는 제어주파수 영역보다 높아야 한다. 구동장치의 고유진동수는 다음과 같은 식으로 표시된다<sup>(8)</sup>.

$$\omega_n = \frac{4A_p B_s}{(x+2b)M_s} \quad (1)$$

여기서  $A_p$ : 피스톤 램 면적

$B_s$ : 유체의 압축률

$x$ : 피스톤의 최대 스트로크

$b$ : Dead length(서어보 밸브와 구동장치 연결부분의 길이)

$M_s$ : 피스톤 질량

식 (1)에서 알 수 있듯이 고유진동수를 크게 하기 위해서는 첫째, 피스톤 램의 면적을 크게 해야 한다. 그러나 피스톤 램의 면적을 너무 크게 하면 전체 유압시스템의 용량이 너무 크게 된다. 둘째, 유체의 압축율을 크게 한다. 이를 위해서 유체속의 공기를 철저히 제거하고 유압회로에 냉각기를 부착시켜서 유체의 온도를 낮추어 주어야 한다. 셋째, 피스톤의 질량을 적게 하기 위하여 피스톤의 재질을 강(steel) 대신 열처리된 알루미늄(A17075)을 사용한다. 넷째, Dead volume을 적게 하기 위하여 구동장치와 서어보 밸브는 연결블록을 사용하되 그 두께를 필수록 적게한다. 다섯째, 피스톤의 스트로크를 적게 해야 하나 적어도 가공물(혹은 템플레이트)의 최대굴곡 정도보다는 크게 설계해야 한다.

### 2.2. 템플레이트

템플레이트는 실험목적에 위하여 Fig. 2에서 보인 바와 같이 정현파(sinusoidal) 형상의 것과 경사(ramp) 형상을 갖는 것을 제작하였고 재질은 쉽게 마모되지 않도록 강철(S45C)을 사용하였다.

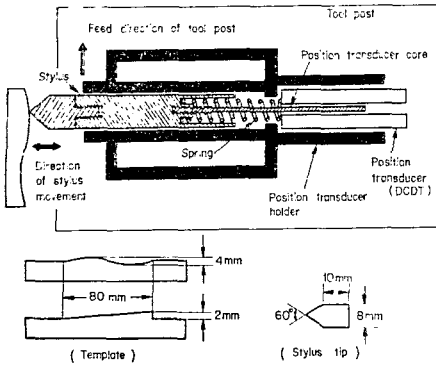


Fig. 2 Schematic diagram of stylus and template

### 2.3. 스타일러스

스타일러스는 반복 사용으로 인한 마모가 심하므로 스타일러스 팁을 연강(SS41)을 사용하여 따로 제작하였고 스프링장착을 위한 홈부분을 설계하였다. 이외에 스타일러스와 위치 측정장치를 연결시켜 주는 스타일러스 구동부분을 제작하였다. 여기서는 스타일러스가 원활히 움직일 수 있고 또한 스타일러스가 이송됨으로써 스타일러스가 기울어지는 것을 방지하기 위하여 스타일러스와 스타일러스지지대 사이의 간극을 0.05mm로 제작하였다. 이와같이 제작된 부품을 설치하면 Fig. 3과 같다.

## 3. 제어 성능 실험

제작된 전기 유압식 모방 절삭장치의 제어성능을 파악하고 최적의 절삭조건을 찾아내기 위하여 각 변수 변화에 따른 시스템의 응답도의 변화를 조사하였다. 실험은 크게 두 가지로 나누어서 행하였는데, 첫째, 제작된 시스템 자체의 성능을 파악하기 위하여 계단 및 경사를 발생시켜 이들 입력에 대한 응답을 보았고, 둘째, 제작된 모방절삭장치를 실제로 선반에 부착시켜서 정현파 형상과 경사형상을 갖는 템플레이트 입력들에 대한 모방 절삭 시스템의 응답을 보았다.

### 3.1. 계단 및 경사함수 응답

Fig. 1에서 템플레이트의 변위를 측정하는 스타일러스 대신에 function generator를 사용하여 계단 및 경사함수를 입력전압으로 넣어주어 절삭을 하지 않는 상태에서 서어보 증폭율( $K_A$ ), 피이드백 게인( $K_F$ ) 및 공급압력( $P_S$ )을 변화시켜가며 모방절삭공구의 응답을

oscillogrecorder로 기록하였다. 계단함수응답에서는 각 변수의 변화에 따른 상승시간(rise time:  $t_r$ ), 정착시간(settling time:  $t_s$ ) 및 percent overshoot (p. o.)의 변화를 조사하였고 경사함수응답에서는 입력전압에 대한 절삭공구의 변위가 정상상태(steady state)에서 얼마만한 오차를 갖는가를 조사하였다.

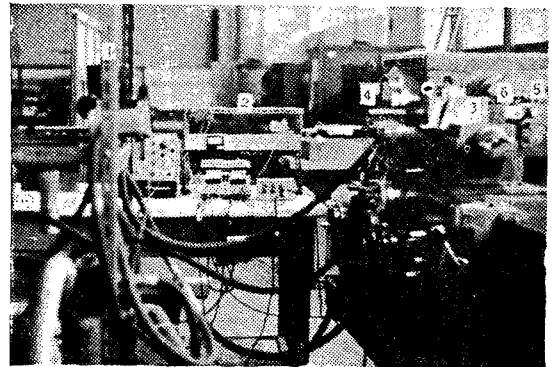
### 3.2. 템플레이트 입력에 대한 응답

직접 선반에 템플레이트를 부착시키고 위치측정기(DCDT)로 스타일러스의 변위를 측정하여 모방절삭시스템에 입력전압으로 넣어주어 모방절삭장치의 성능을 절삭하지 않는 상태에서 조사하였다. 절삭공구가 템플레이트 형상대로 움직이는지를 조사하고 그 응답 특성이 시스템 변수 및 실제 선반의 작업조건이 되는 선반 공구대 이송속도( $f_n$ )에 따라 어떻게 변화하는가를 조사하는 것이 이 실험의 목적이다. 실험에 사용된 정현파 형상의 템플레이트의 진폭(peak to peak)이 Fig. 2에서 보는 바와 같이 진폭이 2.0mm이고 파장(wave length)이 80mm이다. 또 선반에서의 공구대 이송속도(혹은 스타일러스의 이송속도:  $v_f$ )는 다음과 같이 표시된다.

$$v_f = \frac{n \times f_n \times 25.4}{1,000 \times 60} \text{ (mm/sec)} \quad (2)$$

여기서  $n$  : 스피들의 회전속도

$f_n$  : 스피들 1,000 회전당의 공구대 이송거리 (in/1,000rev)



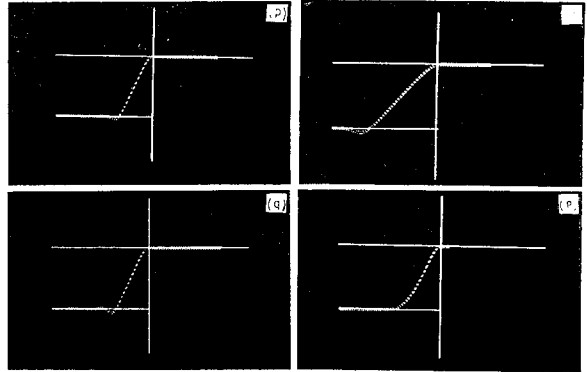
- (1) Hydraulic circuit
- (2) Servo controller
- (3) Actuator
- (4) Position transducer
- (5) Workpiece
- (6) Tool holder and tool

Fig. 3 Experimental set up for the electro-hydraulic copying system

따라서 스타일러스가 정현파 형상의 템플레이트를 한번 지나가는데 걸리는 시간(혹은 주기:  $T$ )은

$$T = \frac{80}{vf} = \frac{1.8898 \times 10^6}{n \times f_n} \text{ (sec)} \quad (3)$$

과 같이 표시된다. 또 스타일러스의 변위를 측정하는 위치 측정장치(DCDT)는 그 값이 1mm 당 0.59볼트가 나온다면 2mm(템플레이트의 진폭) 당 1.18볼트가 나오게 된다. 따라서 function generator로 진폭전압(peak to peak)이 1.18볼트 및 주파수가  $1/T$ 의 정현파형상의 입력전압을 넣어주면 템플레이트 응답과 비교할 수 있다.



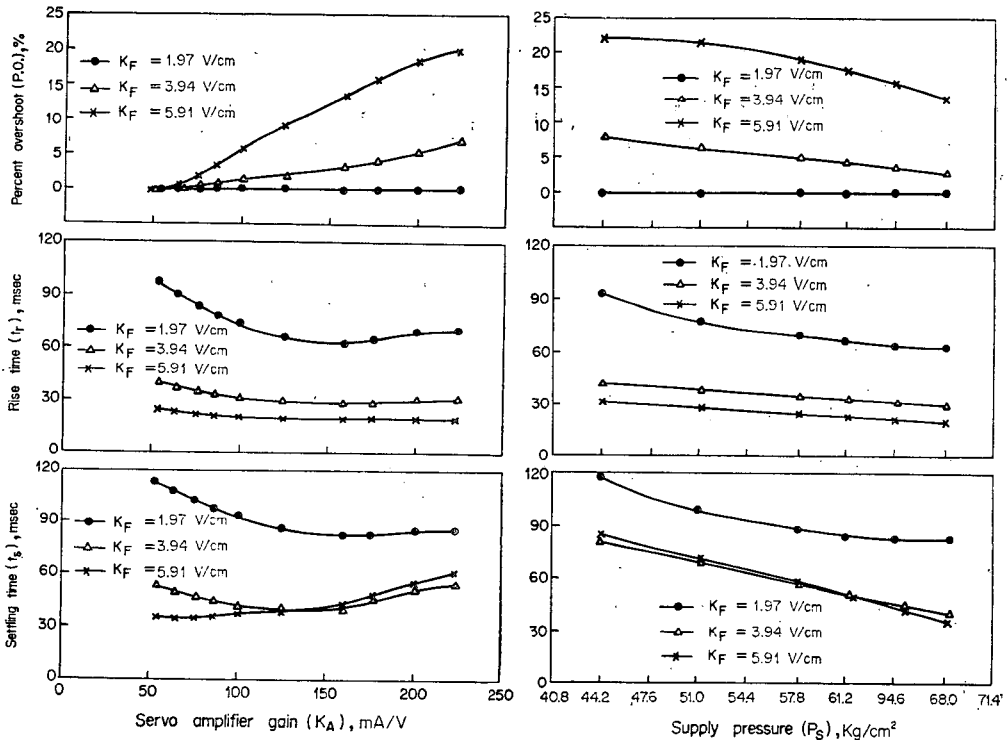
(a)  $K_A=53.1\text{mA/V}$ ,  $K_F=3.94\text{V/cm}$ ,  $P_S=68\text{kg/cm}^2$   
 (b)  $K_A=223\text{mA/V}$ ,  $K_F=3.94\text{V/cm}$ ,  $P_S=68\text{kg/cm}^2$   
 (c)  $K_A=159\text{mA/V}$ ,  $K_F=3.94\text{V/cm}$ ,  $P_S=40.8\text{kg/cm}^2$   
 (d)  $K_A=159\text{mA/V}$ ,  $K_F=3.94\text{V/cm}$ ,  $P_S=68\text{kg/cm}^2$

Fig. 4 Step function response

#### 4. 실험결과 및 분석

##### 4.1. 계단 및 경사함수 응답

계단 및 경사함수에 대한 응답도의 특성을 나타내주는 변수에는 상승시간( $t_r$ ), 정착시간( $t_s$ ) 및 percent overshoot 등이 있는데, 상승시간( $t_r$ )은 응답속도를 나타내고 정착시간( $t_s$ )은 원하는 값에 도달하는데 걸리는



(a) Variation of response characteristics with servo-amplifier gain :  $P_S=68\text{kg/cm}^2$

(b) Variation of response characteristics with supply pressure :  $K_A=53\text{mA/V}$

Fig. 5 Variation of response characteristics with system parameter

시간을 나타내며 percent overshoot(p.o.)은 원하는 출력 변수값에서 최대로 벗어나는 정도를 나타낸다.

Fig. 4 (a)~(d)는 계단함수 응답을 보여 주는데 Fig. 4 (a)와 (b)는 피이드백 게인( $K_F$ )과 공급압력( $P_S$ )을 각각  $3.94\text{V/cm}^2$ 와  $68\text{kg/cm}^2$ 으로 고정시키고 단지 서어보 증폭율( $K_A$ )을  $53\text{mA/V}$ 에서  $223\text{mA/V}$ 로 변화시켰을 때의 응답 곡선으로 서어보 증폭율이 증가함에 따라 overshoot이 생기는 반면 응답속도가 빨라짐을 알 수 있다. 이러한 경향은 피이드백 게인이 변화할 때도 마찬가지로 현상을 나타냈다. Fig. 4 (c)와 (d)는  $K_A=159\text{mA/V}$ 와  $K_F=3.94\text{V/cm}$ 로 고정시키고 공급압력을  $40.8\text{kg/cm}^2$ 에서  $68\text{kg/cm}^2$ 로 증가시켰을 때의 응답속도가 빨라짐을 알 수 있다. 이와같은 응답 실험결과를 토대로 위에서 언급한 응답특성 함수가 서어보 게인( $K_A$ ) 피이드백 게인( $K_F$ ), 및 공급압력( $P_S$ )변화에 따라 어떻게 변화 하는가를 Fig. 5에 각각 도시하였다.

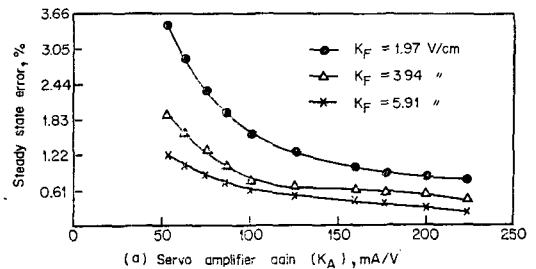
Fig. 5(a)는 공급압력을  $68\text{kg/cm}^2$ 으로 고정시켜 놓고 서어보 증폭율의 변화에 대한 변화를 나타낸 것으로 피이드백 게인이  $1.97\text{V/cm}$ 일 때는 서어보 증폭율이 증가함에도 percent overshoot은 전혀 나타나지 않고(시스템이 over-damped 됨을 뜻함), 상승시간과 정착시간은 점점 작아짐을 알 수 있다. 따라서 피이드백 게인을  $1.97\text{V/cm}$ 로 할 때는 서어보 증폭율은 클수록 응답속도가 빨라져서 좋게 된다. 한편 피이드백 게인이  $3.94\text{V/in}$ 일 때는 서어보 증폭율이 증가함에 따라 percent overshoot은 계속 증가한다. 반면 상승시간은 감소하다가 서어보 증폭율이  $159\text{mA/V}$  정도에서부터 약간 증가되며 정착시간은 감소하다가 서어보 증폭율이  $150\text{mA/V}$  정도에서 다소 증가함을 알 수 있다. 따라서 피이드백 게인이  $3.94\text{V/in}$ 일 때는 시스템의 안정성이 문제가 되지 않는 percent overshoot을 약 16%(시스템의 감쇄비가 0.5가 되는 값) 정도이하로 가정한다면 안정성이 문제가 되지 않고 응답속도를 빠르게 하려면 서어보 증폭율을 약  $130\text{mA/V}$ 에서  $159\text{mA/V}$  정도로 하는 것이 좋다. 또한 피이드백 게인이  $5.91\text{mA/V}$ 일 때는 서어보 증폭율을 약  $70\text{mA/V}$ 에서  $180\text{mA/V}$  정도로 하는 것이 좋음을 알 수 있다.

Fig. 5(b)는 서어보 증폭율을  $153\text{mA/V}$ 로 고정시켜 놓고 공급압력의 변화에 대한 percent overshoot, 상승시간, 및 정착시간의 변화를 그린 것인데 공급압력이 증가함에 따라 percent overshoot이 감소하고 상승시간 및 정착시간이 감소한다. 따라서 공급압력이 클수록 응답속도가 빨라지고 안정성이 좋아지나 공급

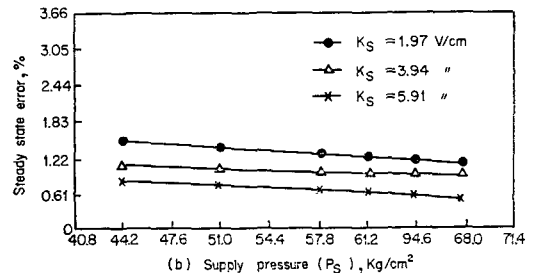
압력이 너무 크면 유압회로의 전체 용량이 커지고 작동유의 누설(leakage)현상이 심해진다.

이상에서 논한 바와 같이 전기·유압식 모방절삭 시스템은 서어보 증폭율이 약  $70\text{mA/V}$ ~ $180\text{mA/V}$  범위, 피이드백 게인을 약  $3.94\text{V/cm}$ ~ $5.91\text{V/cm}$ 의 범위로 선택하고 공급압력을 약  $68\text{kg/cm}^2$ (사용된 펌프의 최대 공급압력)정도로 하는 것이 응답속도가 빠르고 안정성이 문제가 되지 않아서 실제 가공물을 절삭할 때 절삭정밀도와 표면조도가 좋게 되리라 예상된다. 그러나 실제 모방 절삭장치에 계단함수형상의 공작물을 가공하는 경우는 거의 없으므로 경사함수 및 정현파 형상을 갖는 공작물을 절삭할 때의 응답성능을 고려하여 시스템변수의 값들을 정해야 한다.

경사함수응답특성을 나타내는 변수로는 정상 상태 오차(steady state error)가 있는데 이는 정상 상태에서 출력 변수값의 오차를 나타낸다. Fig. 6은 각 변수의 변화에 대한 정상 상태 오차의 변화를 그린 것으로 Fig. 6(a)와 Fig. 6(b)는 공급압력을  $68\text{kg/cm}^2$ 으로 고정시키고 서어보 증폭율의 변화에 대한 정상 상태 오차의 변화를 그린 것인데 서어보 증폭율이 증가함에 따라 정상 상태오차는 점점 감소함을 알 수 있다. 또한 Fig. 6(b)는 서어보 증폭율을  $159\text{mA/V}$ 로 고정시켜 놓고 공급압력을 변화시켜가며 정상 상태 오차의 변화를 그린 것인데 공급압력이 증가함에 따라 정상 상태



(a) Effect of Servo amplifier gain :  $P_S = 68\text{kg/cm}^2$



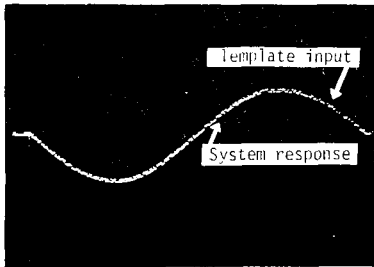
(b) Effect of supply pressure :  $K_A = 159\text{mA/V}$

Fig. 6 Steady state error

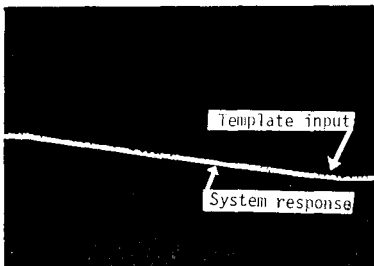
오차가 감소함을 알 수 있다. 따라서 만약 경사함수형상의 공작물을 절삭할 때는 서어보 증폭율, 피이드백 게인 및 공급압력을 크게 하는 것이 절삭정밀도면에서는 좋으나 계단함수응답이 점차로 진동(oscillation)하게 되어 표면조도가 나빠지게 된다. 이와 같은 계단 및 경사함수 응답에서 모방절삭시스템에 적절한 변수값은 서어보 증폭율은 약 130-180mA/V, 피이드백 게인은 약 5.12-5.91V/cm 범위로 하고 공급압력은 약 68kg/cm<sup>2</sup>으로 하는 것이 좋다.

4.2. 템플레이트 입력에 대한 응답

Fig. 7은 정현파 및 경사형상을 갖는 템플레이트에 대한 모방절삭 시스템의 응답 곡선이다. 두 응답 곡선에서 입력전압과 출력전압은 거의 일치됨을 알 수 있다. 또한 function generator로 선반의 이송속도에 대응하는 정현파 및 경사형상의 입력에 대한 응답곡선을 얻어서 비교해 보았는데 템플레이트 응답곡선과 function generator 입력전압에 대한 응답곡선의 진폭과 파장이 거의 일치되었다. 즉 스타일러스는 정현파 및 경사형상의 템플레이트를 정확히 추적함을 알 수 있었다. 이와같은 응답실험결과를 토대로 선반에서 스타일러

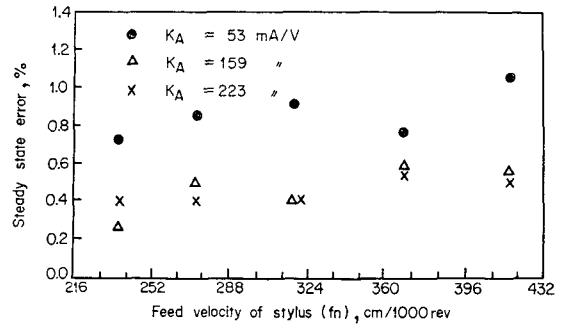
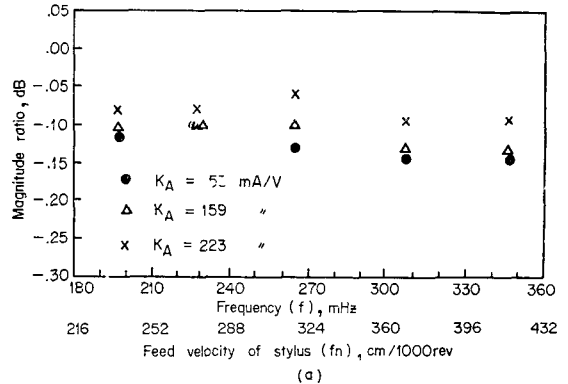


(a) Sinusoidal template case :  $K_A=53\text{mA/V}$ ,  $K_F=5.91\text{V/cm}$ ,  $P_s=68\text{kg/cm}^2$ ,  $n=400\text{rpm}$ ,  $f_n=287\text{cm/1,000rev}$ .



(b) Ramp template case :  $K_A=53\text{mA/V}$ ,  $K_F=5.91\text{V/cm}$ ,  $P_s=68\text{kg/cm}^2$ ,  $n=400\text{rpm}$ ,  $f_n=287\text{cm/1,000rev}$ .

Fig. 7 Template movement v.s. tool response



(a) Magnitude ratio of the sinusoidal template ( $K_F=5.91\text{V/cm}$ ,  $P_s=68\text{kg/cm}^2$ ,  $n=400\text{rpm}$ )  
 (b) Steady state error of the ramp template ( $K_F=5.91\text{V/cm}$ ,  $P_s=68\text{kg/cm}^2$ ,  $n=400\text{rpm}$ )

Fig. 8 Variation of magnitude ratio and steady state error

스 이송속도 변화에 대한 정현파 및 경사형상의 템플레이트 응답곡선의 특성을 나타내주는 진폭비(magnitude ratio)와 정상 상태 오차(steady state error)를 도시하면 Fig. 8과 같다.

Fig. 8(a)는 피이드백 게인을 5.91V/cm 공급압력을 68kg/cm<sup>2</sup>으로 고정시키고 서어보 증폭율과 스타일러스 이송속도(혹은 스타일러스 이송속도에 대응하는 function generator의 정현파 입력전압의 주파수)의 변화에 대한 진폭비의 변화를 그린 것인데 일정한 스타일러스 이송속도(혹은 입력주파수)에 대해서는 서어보 증폭율이 증가함에 따라 진폭비가 0 dB에 접근하여 실제 오차가 감소됨을 알 수 있고 스타일러스 이송속도(혹은 입력주파수)가 증가함에 따라 증폭비가 조금씩 0 dB에서 멀어져 실제 오차가 미소하리만큼 증가

됨을 알 수 있다.

Fig. 8(b)는 경사형을 갖는 템플레이트에 대한 실험 결과로서 피이드백 게인을  $5.91\text{V/cm}$ , 공급압력을  $68\text{ kg/cm}^2$ 으로 고정시키고 서어보 증폭율과 스타일러스 이송속도의 변화에 대한 정상 상태 오차의 변화를 그린 것이다. 이 결과를 function generator에 의한 경사함수를 입력진압으로 넣어줄 때의 응답특성과 비교하면 Fig. 6(a)에서 피이드백 게인이  $5.91\text{V/cm}$ 일 때 각각의 서어보 증폭율에 대한 정상 상태 오차와 거의 일치됨을 알 수 있다. Fig. 8(b)에서 알 수 있듯이 스타일러스 이송속도를 일정하게 한다면 서어보 증폭율이 증가함에 따라 정상 상태 오차가 감소함을 알 수 있고 스타일러스 이송속도가 증가함에 따라 일정치는 않으나 전반적으로 정상 상태 오차가 조금 증가함을 알 수 있다. Fig. 8(a), Fig. 8(b)에서 얻은 바와 같은 결과는 피이드백 게인을 변화시켰을 때도 비슷한 경향을 나타내었다.

이상과 같이 설계 제작된 전기유압식 모방장치의 성능을 Kato<sup>11)</sup> 등에 의해 사용된 쓰로틀링 밸브를 사용한 유압식 모방절삭장치의 계단함수응답 특성과 비교해 보면 다음과 같다.

참고문헌 (1)(2)에서 제시된 상승시간은 약  $35\sim 40\text{ msec}$  정도이고 정착시간은 약  $42\sim 60\text{ msec}$  정도가 된다. 이러한 값들을 본 논문에서 다룬 전기 유압식 모방절삭시스템에서의 계단함수응답과 비교해 보면 Fig. 5(a)에서 피이드백 게인을  $3.94\text{V/cm}$ 로 고정시키고 서어보 증폭율을 약  $50\text{mA/V}$ 에서  $100\text{mA/V}$ 로 변화시킬 때 얻을 수 있는 값이다. 그러나 피이드백 게인을  $5.91\text{V/cm}$ 로 증가시키고 서어보 증폭율을 약  $50\text{mA/V}$ 에서  $120\text{mA/V}$  정도로 취하면 상승시간은 약  $20\sim 25\text{ msec}$ , 정착시간은 약  $33\sim 40\text{ msec}$ 이 되어 쓰로틀링 밸브를 사용한 유압식 모방절삭시스템보다 훨씬 신속한 반응속도를 나타낸다는 것을 알 수 있다.

## 5. 결 론

전기 유압식 모방절삭 장치를 설계 제작하여 제어성능실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

(1) 경사형상 및 정현파형상의 템플레이트를 사용하여 실험한 결과 절삭공구가 템플레이트 모양대로 정확히 움직임을 알 수 있었다. 응답특성은 물론 서어보 시스템의 변수에 따라 다소 차이가 있다.

(2) 서어보 증폭율과 피이드백 게인이 증가함에 따

라 시스템의 응답속도는 빨라지고 오차도 감소하여 절삭 정밀도가 좋아지지만, 시스템의 안정성이 나빠져 표면조도가 나빠질 가능성이 있다.

(3) 공급압력이 증가함에 따라 응답속도가 빨라지고 오차도 감소하여 절삭 정밀도가 좋아진다.

(4) 스타일러스의 이송속도는 가공시간의 문제가 되지 않는 범위내에서 작게하는 것이 좋다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단의 지원으로 이루어졌기에 이에 심심한 사의를 표합니다.

## 참 고 문 헌

- (1) Kato, S. et.al., "Static and dynamic analysis of hydraulic copying system using throttling valve", Journal of Eng. for Industry, Trans. ASME, Vol. 101, pp. 295-303, 1979.
- (2) Kato, S. et.al., "Design of machine-tool hydraulic copying system using throttling valve," ASME, Proceedings of the Design Technology Transfer Conference, pp. 423-432, 1974.
- (3) Mansour, W.M. et. al., "Stability and kinematic accuracy of hydraulic copying mechanisms in metal cutting", Journal of Engineering for Industry, Trans. ASME, Vol. 10, pp. 793-797, 1973.
- (4) Urata, E., "A study on the hydraulic copying system", Bulletin of the JSME, Vol. 24, No. 191, pp. 816-822, 1981.
- (5) Ulich, H.J., "Some factors influencing the natural frequency of linear hydraulic actuators", Int. J. Mech. Des. Res., Vol. 11, pp. 199-207, 1971.
- (6) Opitz, H., et.al., "Design and application of electro-hydraulic exciters for the investigations of large machine tools", Laboratoriums for Werkzeugmaschinen and Betriebslehre Tehn. Hochschule, Achen, 1979.
- (7) Kim, S.K., "Design of electro-hydraulic actuator and it's application to machine tool chatter control", Department of Mechanical Science, KAIST, 1980.
- (8) Herrbert E. Merrit, Hydraulic Control System, John wiley and Sons Inc., 1967.