

PID제어기를 이용한 스캐너의 속도 및 위치 제어

여봉현*, 정영창**, 홍철호**, 김재욱*, 김문수*
 호서대학교 전자공학과*, 호서대학교 전기공학부**

A study on speed and position of scanner Using PID controller

Bong-hyeon, Yeo*, Yong-chang Chung**, Chul-ho, Hong**, Jae-wook, Kim*, Mun-su, Kim*
 *Dept. of Electronics Eng. Hoseo University, **Dept. of Electrical Eng. Hoseo University

Abstract - In this thesis, a controller which is appropriate for uses of scanner with small error and high speed response is proposed. Recently the application field of scanner is on increase. In case of applying to laser marking, the error of scanner has bad effect to quality.

Also it can make difficulties in applying laser show that makes images, unless the high speed response is not realized. For these reasons, a controller that can adjust error and response is need.

Because scanner must respond to step input that is put between a few millisecond and hundreds of microsecond with small revolution angle ranges, it is advantageous to have small inertia and large torque. First, the property of scanner is treated, and then using Op-amp and passive components and applying feedback compensation PID controller to design, the effects by controller coefficients are introduced.

되어진다.

스캐너는 Moving coil rotor 타입과 Moving Iron rotor 타입 두 가지 종류가 있다. 그림2는 Moving Iron rotor 타입 스캐너의 내부이다.

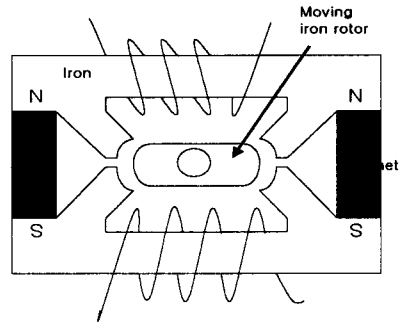


그림 1 Moving Iron rotor 타입 스캐너의 원리

1. 서 론

스캐너(Scanner)는 의료 기기, 레이저 물질 공정, 영상 장비 제작, 균열 검사, 반도체 제조 공정, 레이저 쇼 등 그 사용 범위가 확대되며 수요가 날로 증가하고 있는 추세이다. 사용 용도에 맞게 관성이 작고 토크가 크며 고속의 응답성과 에러가 작은 스캐너를 요구하고 있다.

현재 생산되어지는 고가의 스캐너는 관성이 작고 비교적 큰 전류를 흘려 큰 토크를 낼 수 있다. 하지만 레이저 마킹 등의 분야에 적용을 할 때에 오버슈트가 존재할 경우 품질에 나쁜 영향을 미치며, 레이저 쇼에 응용을 할 경우에는 고속의 응답성을 실현하기 위해 댐핑을 조절하거나 고속의 응답성을 실현 할 수 있는 제어기가 필요하다.^[1]

스캐너는 보통 작은 회전각도 범위 안에서 고속으로 동작하므로 연산증폭기 및 수동소자를 이용한 아날로그 방식의 PID제어를 이용하여 실시간으로 스캐너의 위치를 익어 반영함으로써 스캐너를 제어하고자 한다.

본 논문은 스캐너에 PID제어기를 간단한 케환보상 방법으로 설계하여 적용함으로써 제어기의 계수가 스캐너에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

2. 본 론

2.1 스캐너의 원리

스캐너는 90도 이내의 각도에서 회전을 하며 보통 20도 이내로 작동범위가 작고 수 밀리에서 수 백 마이크로 초에 사이에 응답해야 한다. 따라서 기계적인 마찰력과 관성이 작으며 순간적으로 큰 토크를 낼 수 있도록 설계

작동원리는 고정자와 회전자 사이에 자속이 흐를 때 회전자 회전을 한다. 양옆의 자석에 의한 힘은 스프링과 같은 역할을 한다. 즉 전류가 코일에 흐를 때 자속이 형성되어 회전자를 회전시키려는 힘과 자석에 의해 발생한 힘이 서로 평형을 이루는 곳에 회전자 정지하게 된다. 스캐너는 생김새와 작동방법은 일반 직류전동기와 비슷하지만 스프링 역할을 하는 Magnet가 존재한다는 것이 다른 점이다.^{[2][3]}

스캐너의 상태 방정식은 식 (1)과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \frac{di_a(t)}{dt} \\ \frac{dw_m(t)}{dt} \\ \frac{d\theta_m(t)}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{R_a}{L_a} & -\frac{K_b}{L_a} & 0 \\ \frac{K_t}{J_m} & -\frac{B_m}{J_m} & -\frac{S_m}{J_m} \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_a(t) \\ w_m(t) \\ \theta_m(t) \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$+ \begin{pmatrix} \frac{1}{L_a} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} e_a(t) - \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{J_m} \\ 0 \end{pmatrix} T_L(t)$$

i_a 는 전기자 전류, L_a 는 전기자 권선의 인덕턴스, R_a 는 전기자 권선의 저항, $e_a(t)$ 는 전기자 전압, K_b 는 역기 전력 상수, $T_L(t)$ 는 부하토크, $w_m(t)$ 는 회전자 각속도, $\theta_m(t)$ 는 회전자 변위, J_m 는 회전자 관성, K_t 는 토그 정수, B_m 는 마찰 계수 S_m 는 스프링 정수를 나타낸다.

2.2 전류 제한 루프 구성

실험에는 L사의 스캐너(모델명:SS200)를 사용하여 실험하였다. 스캐너에 제어를 구성하기 앞서 스캐너의 토크를 안정화하기 위해 스캐너의 외부에 저항을 직렬로 삽입한 후 저항 양단의 전압을 반전시켜 스캐너 전단의 연산증폭기에 연결하여 전류 제어루프를 구성하였다.

$$T_m(t) = J_m \frac{dw_m(t)}{dt} = K_i i_{d0} \quad (2)$$

식(2)로부터 토크의 크기는 전류에 비례하며 전류에 관한 식은 식(3)과 같다.

$$i_{d0} = \frac{1}{R_a} (1 - e^{-\frac{R_a}{L_a} t}) (e_{a0} - e_{b0}) \quad (3)$$

$T_m(t)$ 는 스캐너 토크, $e_b(t)$ 는 역기전력을 나타낸다. 따라서 스캐너의 외부에 저항을 삽입할 경우 식(3)에 의해 동일한 조건일 경우 저항을 삽입하지 않은 경우보다 전류의 크기가 작아져 그에 비례하는 토크가 약해진다. 하지만 전류의 응답속도는 빨라지게 된다. 그러므로 전류 루프 구성 시 전류의 응답속도와 크기를 고려하여 스캐너에 적절한 저항을 선택해야 한다.

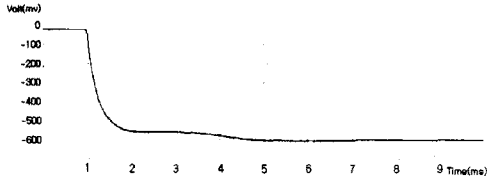


그림 2. 1Ω 저항 양단의 전압

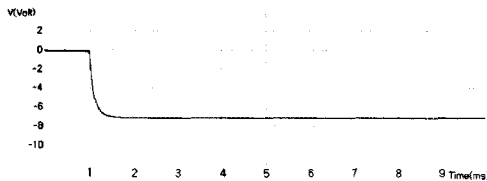


그림 3. 50Ω 저항 양단의 전압

스캐너의 양단에 연결되어지는 연산증폭기에 200mV의 계단 입력을 가하였을 때 그림 2는 1Ω저항 양단에 걸리는 전압이 반전되어진 형태의 그림이다. 정정시간(Settling Time)이 약5ms 정도이고 흐르는 전류는 600mA이다. 그림 3은 50Ω 저항을 삽입 후 저항 양단의 전압이 반전된 형태의 그림이고 정정시간이 1ms 정도이고 흐르는 전류는 140mA이다.

2.3 PID 제어기

일반적으로 오버슈트를 줄이고 정정시간을 줄 수 있는 수동소자와 연산증폭기로 구성된 PID제어기를 스캐너에 적용하여 스캐너의 제어가 가능한가를 알아보기 위해 그림 4의 형태로 회로를 구성하였다

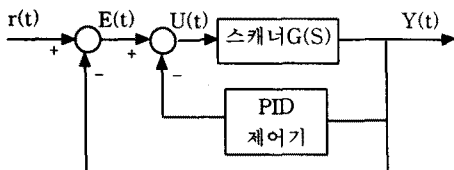


그림 4. 제안된 제어기의 구성도

회로는 스캐너에 입력되는 전류를 충분히 크게 하기 위해 스캐너의 입력단자에는 큰 전류를 흘릴 수 있는 파워 연산증폭기가 사용되었고, 최대한 소자에서 발생할 수 있는 오차를 감소시키기 위해 옵셋이 작고 입력 저항이 큰 연산증폭기를 사용하여 미분기와 적분기를 구성하였다.

그림 4의 입출력식은 식(4)와 같이 표현할 수 있다.

$$Y(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)T(s)} r(s) \quad (4)$$

PID제어기의 전달함수는 식(5)과 같다.

$$T(s) = K_P + K_D s + \frac{K_I}{s} \quad (5)$$

그림 4와 같은 제한제어의 특성방정식은 식(4)의 분모를 0으로 하며 직렬로 연결된 PID제어기와 특성방정식은 같지만 입출력식의 분자에는 영향을 미치지 않는다.

그림 4에서 스캐너에 인가되는 제어입력은 식(6)과 같다.

$$U(t) = r(t) - K_P Y(t) - K_D \frac{Y(t)}{dt} - K_I \int Y(t) dt \quad (6)$$

그림 5는 ±3V, 50Hz의 계단입력을 가한 적분기와 미분기를 적용하기 전 위치 제한만을 적용한 상태의 제어입력과 그림 6은 위치 응답이다. 제어입력은 위치 제한의 영향으로 계단입력이 2ms 부근에서 상승을 했다가 4ms까지 낮아져 전압을 유지하는 전압 파형을 나타낸다. 위치 응답을 보면 약간의 오버슈트가 존재하고 있다.

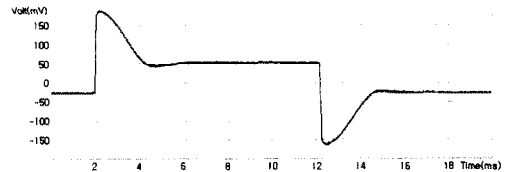


그림 5. 위치 제한 제어입력

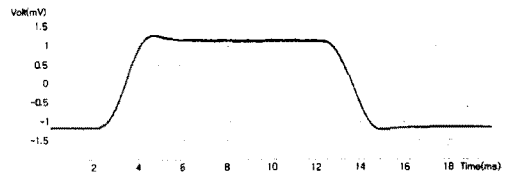


그림 6. 위치 제한 위치응답

먼저 PID제어기에서 위치를 적분하고 미분기의 이득을 0으로 하는 PI제어기의 영향을 살펴보면, 그림 7은 PI제어기를 적용한 상태의 제어입력이고, 그림 8은 위치응답이다. 그림 5와 비교하여 제어입력의 크기는 전체적으로 줄어들었고 10ms와 12ms 사이에서 전압이 낮아진다. 그림6과 비교하여 위치응답은 오히려 오버슈트가 증가하는 것을 관찰할 수 있다.

일반적으로 쓰이는 중속보상의 PI제어기는 제동을 개선하고 최대 오버슈트를 줄이는 데 반해 본 논문에서 사용한 제어기의 형태는 오버슈트가 증가하는 차이점을 보이고 있다.^[4]

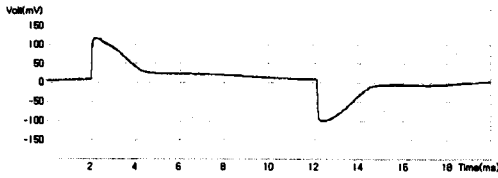


그림 7. PI제어의 제어입력

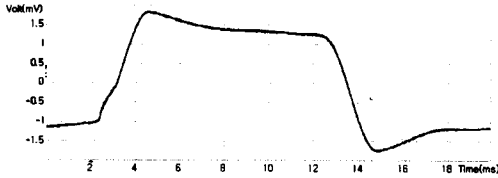


그림 8. PI제어의 위치응답

다시 PID제어기에서 위치를 미분하고 적분기의 이득을 0으로 했을 때의 제어입력은 그림 9에 나타나 있고 위치응답은 그림 10이다. 그림 5와 비교하여 전체적인 제어입력은 줄었고 4ms 부근에서 전압이 낮아졌다가 다시 증가하는 것을 관찰할 수 있다. 그림 10의 위치응답은 그림 6과 비교하면 오버슈트가 일어나지 않도록 제동이 개선되어지고, 크기는 작아진 것을 알 수 있다. 이것은 일반적으로 종속보상 PD제어기가 최대 오버슈트를 감소시키는 것과 동일한 효과를 나타내었다.^[5] 하지만 상승시간이 빨라지지는 않았다.

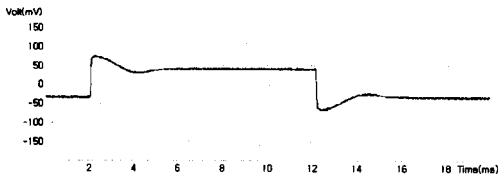


그림 9. PD제어의 제어입력

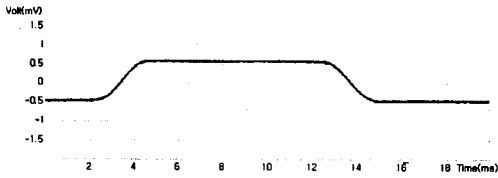


그림 10. PD제어의 위치응답

그림 11은 적분기와 미분기를 모두 사용한 PID제어기의 제어입력을 나타내고 그림 12는 위치 응답을 나타낸다. 그림 11에서 4ms 부근에서 전압이 작아졌다가 다시 커지고 전압이 다시 서서히 작아지는 것을 관찰할 수 있다. 위치응답은 그림 6과 비교하여 전체적인 크기는 줄고 정정시간은 약 2ms 정도로 빨라진 것을 볼 수 있다.

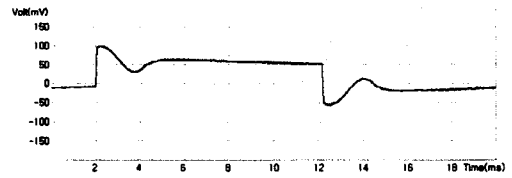


그림 11. PID제어의 제어입력

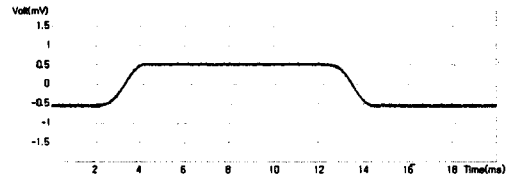


그림 12. PID제어의 위치응답

3. 결 론

적분기의 이득을 높여 상승시간을 단축시키고 미분기의 이득을 높여 적분기에 의해 커진 오버슈트를 감소시키는 방법으로 제어를 실행하여 지나친 제동에 의해 상승시간이 줄어드는 상태가 관찰되지 않는 것을 방지하였다.

실험의 결과 스캐너가 선형성을 갖는 범위 안에서 제어가 가능하여 제어하기 전에 존재하던 오버슈트를 줄이고 정정시간도 2ms로 단축하였다. 또한 본 논문에서 적용한 제어기의 형태는 적분기의 이득이 커지면 오버슈트를 증가시키고 상승시간을 단축시키며 미분기는 제동에 효과가 있어 일반적인 종속보상 제어와는 다른 효과가 있음을 알 수 있다.

하지만 본 연구에서 사용된 스캐너의 특성은 선형성의 범위가 매우 좁기 때문에 선형 범위 안에서만 실험이 가능하였다. 따라서 비선형 범위에서도 빠르게 응답하도록 스캐너를 제어하기 위해서는 충분한 연산을 수행할 수 있는 프로세서를 사용하여 비선형성에 강한 퍼지 제어를 연구를 할 필요가 있을 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] 조태익, "갈바노미터 스캐너를 이용한 레이저 마킹 시스템 설계 제작에 관한 연구", 자동제어학회지, VOL.1, pp.145-148, 1986.10
- [2] Bruce . Rohr, "Testing High Performance Galvanometer Based Optical Scanners", Cambridge Technology, Inc, pp.2-4, 1992
- [3] Bruce . Rohr, "Speed vs. Accuracy in Galvo-Based Scanners", Cambridge Technology, Inc, pp.1-2, 1992
- [4] Benjamin C. Kuo, "Automatic Control Systems", Prentice Hall International, Inc, Seven Edition, pp.697, 1995
- [5] 강철구 외 3인 공역, "현대 제어공학", 최중당, 제2판, pp546, 1993