

논문 98-7-1-04

## 전자광학추적기에서 영상센서의 시간지연 보상

마진석\*, 강명숙\*, 권우현\*, 임성운\*\*, 변승완\*\*\*

## Time Delay Compensation of the Image Sensor in Electro-Optical Tracking System

Jin-Suk Ma\*, Myung-Sook Kang\*, Woo-Hyen Kwon\*, Sung-Woon Im\*\*,  
and Seung-Whan Byun\*\*\*

## 요 약

본 논문에서는 전자광학추적기(Electro-Optical Tracking System:EOTS)에 사용되어지는 영상센서의 시간지연으로 인한 영향이 추적루프성능에 주는 영향을 분석하였다. 이에 대한 해결책으로 Smith예측기를 사용함으로써 시간지연을 가지는 시스템의 안정성과 각종성능지수를 향상시킬 수 있음을 모의실험을 통해 보였다. 또한 실제적인 유용성을 확인하기 위하여 최근 개발된 EOTS에 적용하여 그 유용성을 확인하였다.

## Abstract

In this paper, we analyzed the effect of the time delay of the image sensor in the tracking loop of Electro-Optical Tracking System(EOTS). we showed that Smith predictor can greatly improve the stability and various performances of EOTS with time delay. And also, to verify the realistic validity, we executed the experiment in EOTS recently developed, and confirmed the effectiveness in EOTS.

*Indexing Terms: EOTS, image sensor, time delay, Smith predictor*

## 1. 서 론

- 
- \* 경북대학교 전자전기공학부(School of Electronic and Electrical Engineering Kyungpook National University)
  - \*\* 경일대학교 제어계측공학과(Dept. of Control & Instrumentation Eng. Kyungil University)
  - \*\*\* 삼성전자 정보통신본부 기간네트웍 사업부 전략 시스템 사업팀 개발 1그룹(Samsung Electronics. Co. LTD. Information Systems Business Infra Network Systems Division Advanced Systems Technology Team R&D 1 group)
- <접수일자 : 1997년 8월 18일>

전자광학추적기(Electro-Optical Tracking System: 이하 EOTS)는 영상신호를 이용하여 이동하는 목표물을 자동적으로 추적하면서 관측자에게 목표물에 대한 안정된 시선(line of sight)을 제공하고 표적의 속도, 각속도 등의 표적정보를 사격 통제 시스템에 제공하는 장치이다. 이러한 EOTS는 영상신호를 얻기위한 영상센서부와 영상으로부터 표적정보를 얻어 시선을 안정화시키면서 추적하는 영상추적부 및 안정화구동부로 구성된다. 그림 1은 EOTS의 동작 블록도를 나타내었다.

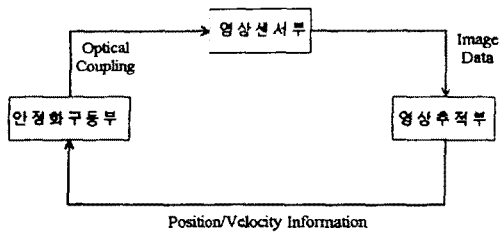


그림 1. EOTS의 동작 블록도

Fig. 1. Operation block diagram of EOTS.

영상센서부는 TV 카메라나 열상장비등으로부터 영상을 받아 영상데이터로 변환후 이를 영상추적부에 제공하여주며, 영상추적부는 영상데이터를 처리하여 표적을 인식하고 추적하여 그 정보를 안정화구동부로 전달한다. 안정화구동부는 영상추적부로부터 들어오는 위치나 속도 정보를 이용하여 영상센서부를 구동시켜 계속적으로 표적을 추적하게 된다. 일반적인 구동기는 영상추적부에서 제공해주는 표적과 원점의 위치오차를 받아 영상센서부를 표적방향으로 이동시켜 주는 장치를 말하나, 정밀추적을 위한 표적추적용 구동기는 내부에 안정화 루프를 포함하고 있어 시선 안정화 구동기라고도 한다.

즉 안정화구동부는 영상추적부로부터 인가된 신호를 바탕으로 표적을 추적하고 EOTS가 탑재된 이동체가 이동 중에 발생하는 외란을 차단하여 표적 주위에 대한 안정된 시선을 제공하여 관측자에게 보다 안정된 관측 환경을 제공하는 역할을 담당한다. 이러한 EOTS는 짐발 주위의 외란 감지를 위하여 각속도 또는 각도 정보 검출을 위하여 자이로스코프를 사용하고 감지된 각속도 또는 각도 정보를 피드백루프내에 가지게 하여 시선의 안정화를 이루게 된다.

안정화구동부는 영상센서를 지지하는 기구부와 기구부를 움직이는 서보제어부로 구성된다. 서보제어부는 다시 모터 및 서보 증폭기와 안정화를 위한 자이로스코프 그리고 이들을 결합시켜주는 하드웨어와 소프트웨어로 구성된다. 이와 같이 EOTS의 시선안정화 제어장치는 영상추적부로부터 계산되어진 표적의 위치값을 기준으로 추적이 일어나도록 하는 기계적인 모든 장치와 전자적 제어장치로 구성된다. 따라서 비교적 이상적으로 모델링 되고 계산되어지는 전자부 뿐만 아니라 비선형적이며 미지의 효과를 많이 포함하는 기계적장치를 동시에 제어해야 하므로 제어의 신뢰성 및 성능

획득에 큰 어려움을 동반하게 되며 추적기의 이동시에 발생하는 기계적인 진동이나 영상처리에 따른 시간지연 등이 전체 EOTS의 성능에 크게 영향을 주게된다.[1-4]

본 논문에서는 EOTS의 여러 가지 문제점 중 실제로 관측자에게 직접적으로 인지되는 추적영상은 동작원리상 시간지연을 가지고 있으므로, 이러한 시간지연 특성이 전체시스템에 주는 영향을 면밀히 분석하고, 모의실험을 통하여 성능 개선 방안을 도출한다. 이를 위하여 시선안정화 기능을 포함한 구동부를 모델링하고 속도제어루프를 최적화한 후에 영상추적부에서 발생하는 영상센서인 TV 카메라의 시간지연을 고려한 위치제어루프를 모델링하여 EOTS의 페루프 안정성 및 성능을 분석한다. 그리고 Smith예측기를 사용한 시간지연 영향을 보상하며, 이를 EOTS에 적용하여 성능을 확인한다.

## II. 본 론

### 2.1 EOTS의 시간지연 특성 모델링

EOTS의 목표 추적 순서는 먼저 안정화 시스템을 가동시켜 고질의 영상정보를 얻는다. 그리고 조작자에 의해서 목표를 탐색, 감시하면서 포착하여 인식하는 수동모드를 동작시키고, 목표물이 선택되면 목표물에 대한 정보가 획득되고 목표물을 고정시키는 단계를 거쳐 추적모드에 들어간다.

영상추적부는 영상센서부에서 인가된 위치정보를 가지는 영상정보를 양자화하여 디지털 신호로 영상신호 처리기에 저장된다. 이 때 영상신호는 직렬입력이므로 한 영상을 완전히 입력시키는데 최소한 1 TV 프레임(frame)이 요구된다. 또 이것이 처리되어 오차위치정보로 나오는데도 연산시간이 소요되며 이는 영상신호처리기의 처리속도에 따라서 다르게 나타난다. 그러나 영상신호가 TV 필드(field)에 동기 되어 있으므로 1 TV 필드에 대하여 영상추적부가 동작하게 되면 최소 계산 시간지연은 1 TV 필드가 된다. 그리고 TV영상신호가 60Hz 주기로 나타나므로 최소 샘플링 주파수는 120Hz가 되어야 한다. 그림 2는 EOTS의 단순화된 시스템 블록도를 나타낸 것이며, 여기에서  $T_s$ 는 영상 센서 샘플링 시간지연을 나타내고,  $T_d$ 는 영상신호처리부의 시간지연을 나타낸다. 현재 국내에서 운용중인 대부분의 EOTS는  $T_s$ 와  $T_d$  모두 1/60초의 특성을 가진다.

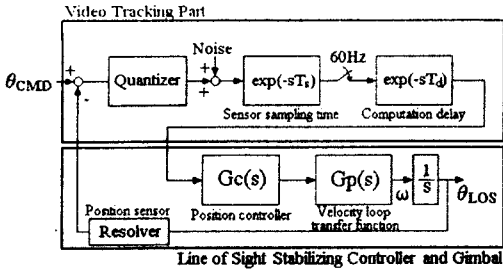


그림 2. EOTS의 단순화된 시스템 블록도  
Fig. 2. Simplified system block diagram of EOTS.

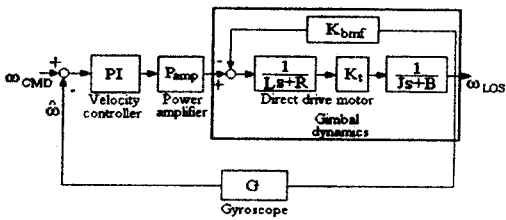


그림 3. 속도제어루프 블록도  
Fig. 3. Block diagram of velocity control loop.

그림 3은 안정화 구동부의 상세블록도를 나타내었다. 식 (1)은 속도명령에 대한 속도출력의 전달함수를 나타내었으며 여기에서 모터의 누설인덕턴스를 무시하면 식 (2)를 얻을 수 있으며, 속도제어기  $G_{vc}(s)$ 가 PI제어기이면, 식 (3)과 같이 속도제어계는 간단한 2차계로 주어진다.

$$G_P(s) = \frac{\hat{w}}{w_{CMD}}$$

$$= \frac{G_{vc}(s)P_{amp}GK_t}{(Ls+R)(Js+B)}$$

$$1 + \frac{G_{vc}(s)P_{amp}GK_t}{(Ls+R)(Js+B)} + \frac{K_tK_{bmf}}{(Ls+R)(Js+B)} \quad (1)$$

$$= \frac{G_{vc}(s)P_{amp}GK_t/R}{Js+B + G_{vc}(s)P_{amp}GK_t/R + K_tK_{bmf}/R} \quad (2)$$

여기에서,  $G_{vc}(s) = \frac{K_{ps}s + K_{iw}}{s}$

$$G_P(s) = \frac{1}{s^2/w_o^2 + 2\zeta s/w_o + 1} \quad (3)$$

통상적으로 EOTS에서는 추적루프의 대역폭은

10Hz이하이며, 안정화 구동부는 25Hz이상의 대역폭과 4kHz의 샘플링주파수를 가짐으로서 전체 시스템의 성능면에서 본 안정화 구동부내의 센서나 구동기의 시간지연은 무시되어질 수 있다.

따라서 영상추적부에 대한 주요성능 평가대상은 시간지연, 잡음, 양자화에 따른 오차가 된다. 이들 중 잡음 및 양자화 오차에 의한 추적오차는 영상추적부의 성능 개선으로 향상되어질 수 있으며 본 논문에서 다루고자 하는 문제가 아니다. 그러나, 시간지연 특성은 현재의 NTSC규격에 의한 영상센서의 천성적인 특성으로 인한 것이며 실제로 시간지연 특성이 주요한 성능 악화의 원인이 되고 있다. 우선 기존에 사용되어지는 목표 추적 루프의 간단한 설계 예를 들면 다음과 같다.

- ▶ 추적루프 - 대역폭 : 2Hz  
- 위상 여유 : 35
- ▶ 속도루프 - 대역폭 : 40Hz  
- 감쇠비 :  $\zeta=0.7$

$$G_P(s) = \frac{1}{s^2/w_o^2 + 2\zeta s/w_o + 1} \quad (4)$$

$$K_{resolver} = 25.4[V/rad] \quad (\text{레졸버 이득})$$

위와 같은 성능조건을 만족시키기 위한 제어기설계는 다음과 같이 만족되어질 수 있다. 위치보상 제어기의 설계는 정상상태에서 위치오차를 0으로 만들기 위하여 Type II 제어시스템을 구성하며, 이 경우 전달함수는 PI 타입의 제어기이며 식 (5)와 같다.

$$G_c(s) = \frac{K_{ps} + K_i}{s} = \frac{K_p(s + \frac{K_i}{K_p})}{s}$$

$$= K_p \frac{(s + a)}{s} \quad (5)$$

여기에서,  $a = \frac{K_i}{K_p}$

추적루프가 35°의 위상여유를 갖기 위해서는 각 요소들이 갖는 위상값을 계산하여야 하며 설계조건은 2Hz일 때이므로 다음과 같이 계산되어진다. 추적기에는 시간 지연요소는 앞에서 설명된 것과 같이 위상지연으로 변환되며 각 요소의 위상지연 값으로 표현된다. 추적루프가 35°의 위상여유를 갖기 위해서는 각 요소들이 갖는 위상값을 표 1에 나타내었다.

표 1. 각 요소들이 갖는 위상값

Table 1. Phase value of each components.

구성품	2Hz에서의 위상지연	비 고
적분기	$-90^\circ$	1/s
속도루프	$-\text{Tan}^{-1}[(2 \zeta \omega / \omega_0) / (1 - \omega^2 / \omega_0^2)] = -4^\circ$	$\omega_0 = 2\pi \times 40$
영상센서지연	$\omega / 60 = -12^\circ$	$\omega = 2\pi \times 2$
영상계산지연	$\omega / 60 = -12^\circ$	
샘플러(Z.O.H)	$\omega T / 2 = \omega / 120 = -6$	
보상기	$\theta = -90^\circ + \text{Tan}^{-1}(\omega / a)$	

추적루프의 위상여유(*PM*)는  $35^\circ$  를 만족시켜야 하므로

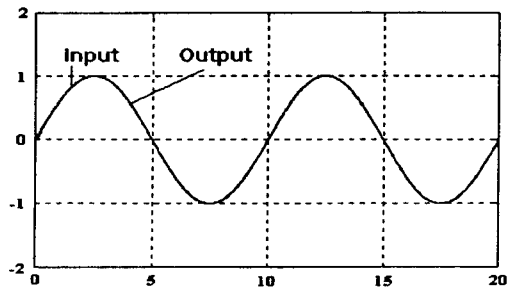
$$PM = 180^\circ - (90^\circ + 4^\circ + 12^\circ + 12^\circ + 6^\circ + 90^\circ) + \text{Tan}^{-1}(\omega / a) = 35^\circ \quad (6)$$

$$\text{Tan}^{-1}(\omega / a) = 69^\circ \quad (7)$$

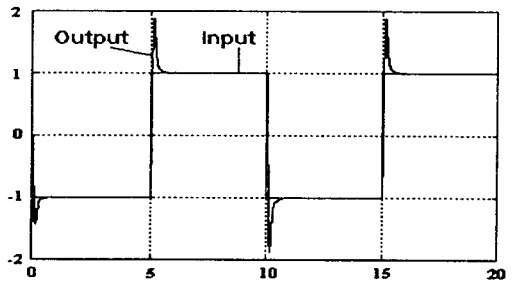
$$\omega / a = 2.6$$

따라서  $a=4.83$ 이 되도록 위치보상기를 설계하여야 한다. 이 경우 위치 및 속도에 대한 정상상태 오차는 0이 된다. 그림 4. (a)에 0.1Hz의 정현파 입력에 대한 출력파형을 나타내었다. 정현파 입력에 대한 응답은 상당히 우수한 추적성능을 보이고 있다. 그러나 이 방법은 시스템이 가지는 시간지연을 고려함으로써 그 만큼의 추적루프의 개루프이득의 감소가 필수적이며 물체의 스텝적인 이동시 위의 방법은 시간지연효과로 인하여 과도상태에서 오버슈트가 극심하게 발생함으로써 영상추적부에서는 화면떨림현상이 나타난다. 그림 4. (b)는 이러한 상태를 모의실험을 통하여 알아본 것으로 과도상태에서 상당한 오버슈트가 발생함을 알 수 있다. 따라서, 실제의 추적루프제어기의 비례 계수는 계산량 보다 더욱 작은 값을 사용하는 것이 불가피하며 결과적으로 시스템의 성능규격을 만족시키지 못하는 문제점이 발생한다.

좀 더 자세한 영상추적부의 시간지연에 따른 안정화 구동부의 제어특성을 분석하기 위하여 우선 전체 시스템에서 시간지연특성을 가지지 않을 경우의 모의실험 결과를 그림 5에 나타내었다. 시간지연이 없을 경우 각 도명령에 대한 추종성능이 기존의 PID제어기만으로도



(a)



(b)

그림 4. 추적루프응답특성( $K_p=0.8$   $K_i=3.864$ )

(a)정현파응답특성(0.1Hz, 1Vpp)

(b)구형파 응답특성(0.1Hz, 1Vpp)

Fig. 4. Tracking loop response( $K_p=0.8$   $K_i=3.864$ ).

(a) Sine wave response(0.1Hz, 1Vpp).

(b) Square wave response.(0.1Hz, 1Vpp)

우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다. 그림 6은 동일한 제어변수값과 입력조건을 가지면서 전체시스템의 시간지연을 고려하였을 경우의 결과를 나타내었다. 시간지연으로 인하여 시스템이 발산함을 알 수 있다. 즉 시간

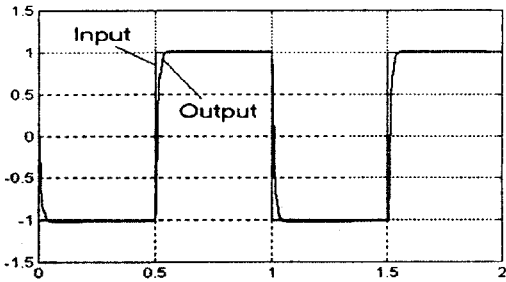


그림 5. 시간지연이 없을 때 PID제어 결과( $K_p=7.5$ ,  $K_i=10.2$ ,  $K_d=0.05$ )

Fig. 5. PID control result without time delay ( $K_p=7.5$ ,  $K_i=10.2$ ,  $K_d=0.05$ ).

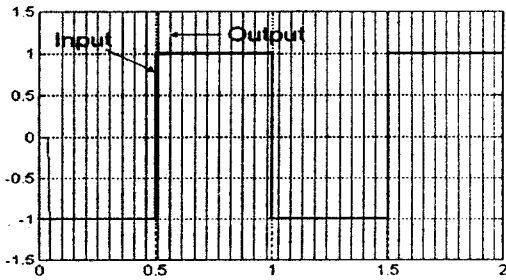


그림 6. 시간지연이 있을 때 PID제어 결과( $K_p=7.5$ ,  $K_i=10.2$ ,  $K_d=0.05$ )

Fig. 6. PID control result with time delay( $K_p=7.5$ ,  $K_i=10.2$ ,  $K_d=0.05$ ).

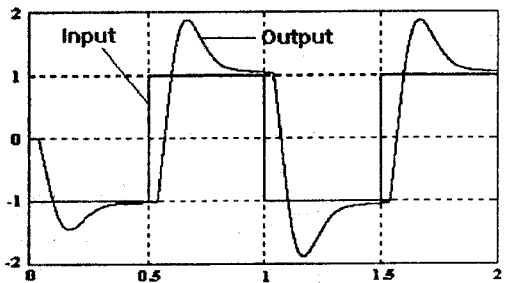


그림 7. 시간지연이 있을 때 재 설계된 PI제어기 ( $K_p=0.6$ ,  $K_i=2.898$ )

Fig. 7. Redesigned PI control result with considering the time delay( $K_p=0.6$ ,  $K_i=2.898$ ).

지연이 포함된 시스템을 시간지연을 무시하고 기존의 PID 제어기 설계기법으로 설계할 경우 불안정해짐을

알 수 있다. 따라서 그림 7에서 같이 새로운 제어변수 값을 설계하여야 하지만, 앞에서의 결과와 같이 시간지연으로 인한 위상지연과 오버슈트특성이 나타나며, 오버슈트특성을 감소시키기 위해서는 비례이득의 감소가 필연적이다. 이 경우 상승시간의 증가로 인하여 시스템의 정착시간이 길어지면, EOTS의 추적성능은 현저히 감소되는 결과가 나타난다.

### 2.2 Smith예측기

1957년 Smith에 의해 제안된 Smith예측기는 현재 반응물의 반응 시간지연이 크게 발생하는 화학공정 등에서 널리 사용되고 있다. 제어기에 시간지연 성분을 배환시켜줌으로써 시간지연 영향을 최소화시켜주는 제어기법으로 Smith예측기는 모델 예측 제어기(Model Predictive Control), 동적 행렬 제어기(Dynamic Matrix Control)등의 제어기 설계기법으로 발전되어오고 있지만, 그 기본 구조는 그림 8과 같다.[7] 그림 8의 점선내부의 구조는 Smith예측기를 나타낸다. Smith예측기는 우수한 제어특성을 가짐에도 불구하고 초기에는 제어기내의 시간지연부의 아날로그적인 구현에 많은 문제점을 가지고 있었다. 그러나 최근 고성능 신호처리 프로세서의 발달로 인하여 구현이 간단하게 이루어질 수 있어 시간지연을 가지는 여러 가지 응용분야에서의 적용사례발표가 기대되고 있다.[8-10]

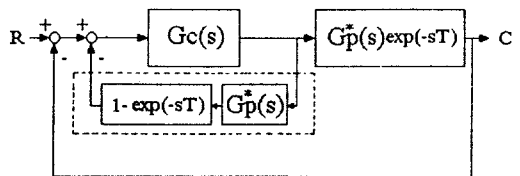


그림 8. 시간지연 제어를 위한 Smith예측기

Fig. 8. Smith predictor for time delay control.

그림 8에서보면 점선부분의 제어기 구조를 가지지 않는 지연시간 T를 가지는 시스템은 아래의 식 (8)로 나타내어 질 수 있다. 식 (8)의 분모항에는 플랜트가 가지는 시간지연특성을 가짐으로써 제어기설계에 많은 어려움을 가진다. 즉 플랜트의 제어기  $G_c(s)$ 설계시 플랜트의 지연시간으로 인하여 최적조건을 구해낼 수 없으며, 또한 일단 제어기의 설계가 완료되더라도 전체 시스템의 안정도를 판별하기는 곤란하다.

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_C(s)G_P^*(s)\exp(-sT)}{1+G_C(s)G_P^*(s)\exp(-sT)} \quad (8)$$

위와 같은 문제점을 해결하기 위하여 그림 8의 점선 부분이 추가된 Smith예측기를 사용한 제어기의 경우 시스템의 전달특성은 식 (9)로 표현된다.

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_C(s)G_P^*(s)\exp(-sT)}{1+G_C(s)G_P^*(s)} \quad (9)$$

식 (9)의 분모항은 이제 플랜트의 시간 지연특성이 존재하지 않음으로 인하여 일반적인 기존의 PID제어기 또는 진지상 제어기 설계법 등의 제어기법 사용으로 최적의 시간응답특성을 얻도록 제어기의 계수를 조정할 수 있으며, 주파수영역에서의 안정성을 판단할 수 있게 된다. 이때 플랜트의 시간지연은 시스템 특성 방정식에는 영향을 주지 않고 출력에만 단순 시간지연현상으로 나타나므로 제어기 설계에 문제가 되지 않음을 알 수 있다.

위의 결과를 EOTS에 적용하면  $G_P^*(s)$ 는 그림 2로부터 식 (10)과 같이 주어지며, 위치제어기  $G_C(s)$ 에 Smith예측기를 적용하여 모의실험을 실시하면 그림 9와 같다. 여기에서  $G_C(s)$ 는 PI제어기를 사용하였다.

$$G_P^*(s) = \frac{G_P(s)K_{resolver}}{s} \quad (10)$$

여기에서,  $G_P(s) = \frac{1}{\frac{s^2}{(80\pi)^2} + \frac{1.4s}{80\pi} + 1}$

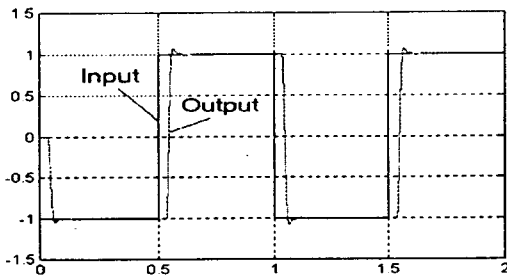


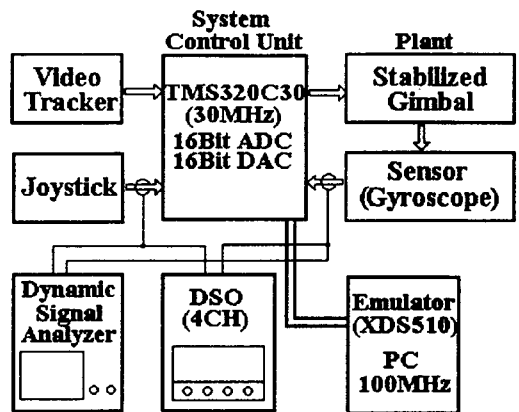
그림 9. Smith예측기를 사용한 PI제어기(Kp=3, Ki=1.5)

Fig. 9. PI controller with Smith predictor(Kp=3, Ki=1.5).

그림 9에서 보면 Smith예측기를 PI제어기와 함께 사용한 결과 오버슈트와 정착시간, 상승시간의 감소 등 추적성능이 매우 향상되었음을 알 수 있다.

### 2.3 실험

본 논문에서 사용된 시선 안정화 시스템은 서론에서 언급한 바와 같이 크게 기구적인 부분인 안정화 짐발과 전자적인 부분인 전자유닛으로 이루어져 있고 속도 제한 센서인 자이로스코프는 기구부와 전자부가 서로 밀접하게 결합된 시스템으로 구성되어 있다. 시선 안정화 짐발을 제어하는 전자부는 시스템 외부의 각종 신호를 입력하는 A/D변환기와 입력된 신호를 제어 알고리즘에 의하여 연산하고 각종 주변회로를 제어하는 시스템 제어 프로세서, 계산된 제어량을 출력하는 D/A변환기가 있으며, 시스템의 제어출력을 모터로 인가하기 위한 전력증폭기로 구성되어 있다. 시스템의 샘플링 주파수는 4kHz로서 시스템을 구성하였고, 32비트 부동소수점연산이 가능한 디지털 신호 처리 프로세서인 미국 텍사스 인스트루먼트사의 TMS320C30을 사용하여 고성능 디지털 제어 시스템을 구현하였다. 또한 EOTS 주위의 각속도나 각도변화를 감지하기 위하여 동조 자이로스코프를 센서로 사용한다. 동조 자이로 스코프는 기계부인 자유 자이로와 이를 제어해 주는 전자부로 이루어져 있다. 실험에 사용된 자이로스코프는 프랑스 SAGEM사의 GSL82-21 동조자이로스코프이다. 자이로스코프는 자이로 몸체의 외부 각도변위를 출력할 수 있는 비례분모드와 외부 각속도변위를 출력할 수 있는 비례모드로 사용할 수 있는데 실험에서는 자이로스코프를 비례모드로 사용하였다.[5-6]



(a)

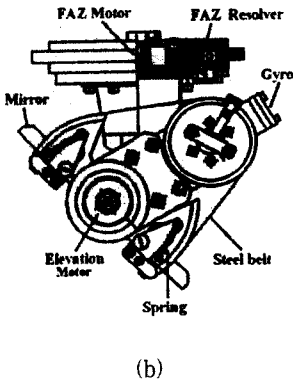


그림 10. 실험 시스템

- (a) 실험장치 구성도.
- (b) 안정화 짐발 구조도.

Fig. 10. Experimental system.

- (a) Experimental setup.
- (b) Stabilization gimbal structure.

표 2. 시스템 회로변수값

Table 2. System Parameters.

inductance(L)	1.2 mH
resistance(R)	7.2 Ω
torque sensitivity(Kt)	7.4 oz-in/amp
back EMF(Kbmf)	0.052 volts/rad/sec
plant inertia(J)	1.487 oz-in-sec <sup>2</sup>
viscous friction(B)	0.00245 oz-in-sec <sup>2</sup>

기존 PI제어기와 Smith예측기를 가진 PI제어기를 사용하였을 때의 실험결과는 그림 11, 그림 12에서 나타내었다. 실험에서는 그림 11에서의 PI제어기 값과 같이 오버슈트를 줄이기 위하여 그림 7에서의 제어기 값보다 약간 작은 값을 사용하였다. 각각의 그림에서 채널 1의 파형은 추적명령, 채널 2는 궤환 신호 즉, 추적 결과이며 채널 A는 추적오차파형이다. 그림 11과 그림 12 모두 시간지연특성을 가지지만, 추적명령에 따라가는 명령추종성능에서는 Smith예측기를 가진 PI제어시스템이 기존의 PI제어기만을 가진 시스템보다 우수한 성능을 가짐을 알 수 있다. 그러나 추적오차파형에 나타나는 것과 같이 명령추종성능의 개선이 바로 시간지연을 제거하는 것은 아니며, 다만 추적명령을 빠르게 추종할 수 있도록 제어기를 설계할 수 있으므로 시간지연 후에 추적오차의 수렴속도를 개선할 수 있다. 즉

예측기 자체가 전체시스템의 시간지연을 제거하기 위한 것이 아니라 시간지연항을 시스템의 페루프방정식의부로 추출하기 때문인 것으로 결국 시간지연동안에 서는 항상 지연에 따른 오차를 가진다.

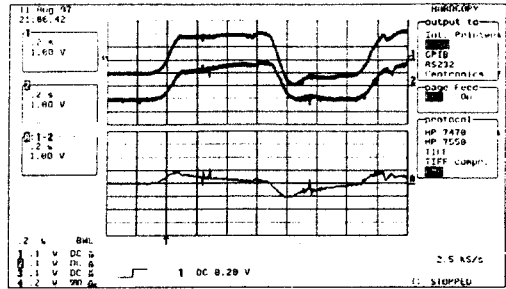


그림 11. 기존 PI제어기를 사용하였을 때의 추적실험결과(Kp=0.5, Ki=2.415)

Fig. 11. Experimental result using conventional PI controller(Kp=0.5, Ki=2.415).

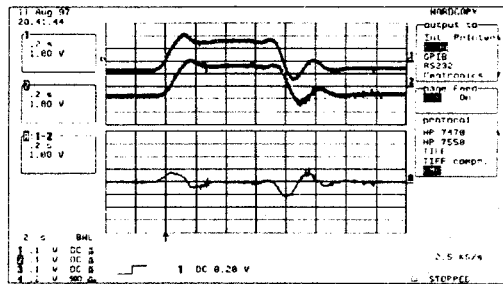


그림 12. Smith예측기를 사용한 PI제어기의 추적실험결과(Kp=3, Ki=1.5)

Fig. 12. Experimental result using PI controller with Smith predictor(Kp=3, Ki=1.5).

### III. 결 론

본 논문은 EOTS에서 목표물의 위치 감지를 위하여 사용되는 TV 카메라와 영상신호처리부의 시간지연성분이 전체 시스템의 성능에 미치는 영향을 분석하고 이에 대한 해결방법을 다루었다. 이를 위하여 우선 EOTS를 시간지연을 포함한 속도제어루프와 위치제어루프로 모델링을 하였고, 이를 바탕으로 시간지연문제가 가지는 영향을 모의실험을 통하여 알아보았고, 기존의 EOTS 제어기 설계방법이 시간지연이 있는 시스템

에서는 안정성과 성능 규격을 만족시키지 못함을 파악하였으며, Smith예측기를 사용함으로써 시스템의 성능을 향상시킬 수 있음을 모의실험과 실험을 통해 알아 보았다. 이러한 결과는 향후 차세대 EOTS의 설계 및 구현시 영상센서의 시간지연 문제해결의 결과로 사용될 수 있으며, 무인 감시시스템, 무인 경비시스템, 무인 도로주행 장비등 영상시스템을 기반으로 하는 모든 추적 시스템에 대하여서도 적용이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

[1] W. J. Bigley and S. P. Tsao, "Optimal Motion Stabilization Control of an Electro-Optical Sight System," *SPIE*, vol. 1111, pp. 116-120, 1989.

[2] 이진희, 임성운, 권우현 "전자 광학 추적 시스템의 성능 분석 및 성능 개선," 연구보고서, 삼성전자(주), 1994.

[3] 마진석, 임성운, 권우현 "EOTS 특성 분석을 통한 시스템 모델링(AVT 성능 개선)," 연구 보고서, 삼성전자(주), 1995.

[4] 마진석, 임성운, 권우현 "전자광학추적기의 짐발 비선형 모델링과 제어" 제1회 해상무기체계 발전 세미나, pp. 285-289, 1996, 6.

[5] 임성운, 마진석, 권우현 " EOTS에서의 동조자이 로스코프의 동작모드에 따른 특성비교", 제어·자동화·시스템공학회지 pp. 311-317, 제 3권, 제3호, 1997, 6.

[6] *Two axes gyroscopic system 20BM00-52-\*\* description manual*, SAGEM.

[7] Carlos E. Garcia, David M. Prett and Manfred Morari, "Model Predictive Control: Theory and Practice-a Survey," *Automatica*, vol. 25, no. 3, pp. 335-348, 1989.

[8] P. M. Sharkey and D. W. Murray, "Delays Versus Performance of Visually Guided Systems", *IEE-Proceeding Control Theory and Applications*, vol. 143, no. 5, pp. 436-447, 1996.

[9] Richard D. Braatz "Internal Model Control," *IEEE Control Handbook*, pp. 215-237, 1996.

[10] Frank L. Lewis "Applied Optimal Control and Estimation," Prentice Hall, pp. 270-278, 1992.

著 者 紹 介



**마진석 (馬鎭碩)**  
 1971년 6월 26일생. 1995년 경북대학교 전자공학과 공학사 학위취득. 1997년 경북대학교 대학원 전자공학과 공학석사 학위취득. 1997년 ~ 동대학원 박사과정 재학중. 주관심 분야: 시선 안정화 시스템, 서보제어, 전력전자.



**강명숙 (姜明淑)**  
 1972년 12월 17일생. 1996년 경북대학교 전자공학과 공학사 학위취득. 1996년 ~ 현재 동대학원 석사과정 재학중. 주관심 분야: 시선 안정화 시스템, 서보제어, 전력전자.

**권우현 (權宇鉉)**  
 『센서학회지 제2권 제2호』 논문 93-2-2-05, p. 31, 참조. 현재 경북대학교 전자·전기공학부 교수

**임성운 (任成雲)**  
 『센서학회지 제5권 제4호』 논문 96-5-4-07, p. 56, 참조. 현재 경일대학교 제어계측공학과 조교수.



**변승완 (邊承完)**  
 1956년 3월 11일생. 1979년 서울대학교 기계공학과 공학사 학위취득. 1981년 한국과학기술원 생산공학과 공학석사 학위취득. 1988년 한국과학기술원 기계공학과 공학박사 학위취득. 1979년 ~ 현재 삼성 전자 전략시스템 개발 1그룹 수석연구원. 주관심 분야: 시선안정화 시스템, 서보제어 및 기구체 설계.