

〈技術論文〉

# 원격 로봇용 카메라 자동추적시스템 개발에 관한 연구

윤 지 섭\*

(1992년 9월 23일 접수)

## Development of Camera Autotracking System for Telemanipulator

Ji Sup Yoon

**Key Words :** Displacement Follower(위치추적장치), Pan/Tilt Device(조향장치), Real Time Tracking(실시간추적), Set Point Control(정점제어), Tracking Control(추적제어)

### Abstract

This paper addresses the design procedure and testing result of a servo driven pan/tilt device which is capable of tracking arbitrary movement of a specified target object. In order to achieve real-time acquisition of feedback signal, a 2 degree-of freedom non-contact type displacement follower has been employed in stead of vision camera. The performance of the designed system is tested for different target velocities and control gains. The test result shows the satisfactory performance to be adopted as an effective tool for visual transfer in the context of teleoperation.

### 기호설명

$\Delta x, \Delta y$  : 시각영역의 중심점으로부터 목표물까지의  $x, y$ 방향으로의 거리  
 $\theta_x, \theta_y$  : 조향장치의 수평회전각과 기울기각  
 $l$  : 위치추적장치와 목표물의 이동 평면간의 수직거리  
 $V_x, V_y$  : 위치추적장치의  $x, y$ 방향으로의 출력전압  
 $K_1, K_2$  : 출력전압과 오차와의  $x, y$ 방향으로의 비  
 $K_x, K_y$  :  $x, y$ 방향으로의 비례제어 게인

## 1. 서 론

사람이 접근할 수 없는 극한 작업에서 작업자가 작업현장에 실재하는 느낌(telepresence)을 갖게 하기 위해서는 여러가지 센서의 정보를 원거리에서 있는 작업자에게 효과적으로 전달해 주어야 한다. 이와같은 센서의 정보로는 시각, 힘, 촉각, 및 청

각 등의 1차적인 정보와 운동감/공간위치감(proprioception) 등의 2차적인 정보등이 응용되고 있으며<sup>(1,2)</sup> 이 중 시각정보가 가장 효과적이고도 중요한 요소라 할 수 있다. 특히, 시각정보는 근래의 컴퓨터의 정보처리 능력의 급속한 향상과, CAD를 이용한 그래픽 시스템의 도입<sup>(3)</sup>으로 인하여 시각전시의 질이 더욱 향상되었고 이를 바탕으로 더욱 복잡한 작업의 원격 조작화가 계속 추진되고 있다. 이와같은 시각정보의 추출과 전송은 주로 텔레비전 카메라를 통해서 이루어지는데, 이때 카메라의 방향을 관심있는 작업 영역이나 원격조작 로봇의 그리퍼(gripper)와 같은 작업기구에 항상 맞추어 줄 필요가 있다. 특히 작업대상물과 작업기구의 상대 위치가 동적으로 변할 경우 작업대상물의 연속적인 시각확보를 위하여 카메라는 항상 작업대상물을 추적하여야 한다. 이와같은 카메라 추적작업에는 별도의 작업자가 할당되거나, 한 명의 작업자가 작업 도중 작업을 중단하고 카메라의 방향을 계속 수정시켜주어야 하기때문에 작업효율이 낮아지게 된다. 따라서 카메라 추적을 위한 자동화가 원격조작 분

\*정회원, 원자력연구소 사업관리부

야에서 많이 연구되어 왔는데, 성공적인 카메라 자동 추적장치의 도입은 일반적인 원격작업에 있어서 40%의 작업효율 향상을 이루어 준다고 보고 된 바 있다.<sup>(4)</sup>

카메라를 목표물에 자동추적시키기 위해서는 카메라에 대한 목표물의 공간상에서의 상대위치를 측정하여야 한다. Stoughton<sup>(5)</sup>은 서보 매니플레이터의 그리퍼를 자동추적하기 위하여 각 팔의 기하학적 형상을 각 관결에 내장된 위치센서를 이용하여 그리퍼와 카메라사이의 상대위치를 측정하였으며 이를 카메라 조향장치의 제어입력으로 사용하였다. 이와같이 서보매니플레이터의 경우에는 별도의 센서를 이용하지 않더라도 목표물의 상대위치를 구할 수 있으나, 위치센서 등이 내장되어 있지 않은 매니플레이터 또는 매니플레이터의 그리퍼가 아닌 임의로 움직이는 목표물을 자동추적하기 위해서는 별도의 센서가 필요하다. 이와같은 용도의 센서로는 CCD 카메라를 이용한 화상센서가 대표적으로 이용되어 왔다. Strunk<sup>(6)</sup> 등은 CCD 카메라를 이용하여 목표물의 화상을 잡아 이 화상의 모니터상에서의 위치를 계산하여 목표물의 상대위치를 계산하였다. 그러나 이 경우 방대한 양의 화상 정보의 처리에 요구되는 계산시간이 목표물의 이동시간에 비하여 훨씬 크기 때문에 실시간 고속추적이 불가능하다.

본 연구에서는 이와같은 문제점을 별도의 2자유도를 가진 비접촉식 고속 위치추적장치(displacement polloswer)을 사용하여 해결하고자 하였다. 즉, 화상처리 시스템이 갖는 정보처리 시간의 문제점을

보완하기 위하여 실시간에서 목표물의 위치를 측정할 수 있는 별도의 측정장치를 사용하여 실시간 목표물 추적시스템을 구현하였다. 가장 이상적인 자동카메라 추적장치는 카메라의 위치와 방향뿐 아니라 자동초점조절(auto-focusing), 확대/축소(zooming) 및 카메라 조향장치의 진동으로 인한 전달 화상의 떨림현상 방지등과 같은 기능이 구비되어야 하나, 본 연구에서는 카메라의 방향제어에만 주안점을 두었다. 추적장치의 구동은 하모닉 드라이브 기어(harmonic dirve gear)와 스테핑모터를 사용한 2자유도 조향장치(pan/tilt device)를 제작해서 구현하였으며, 목표물을 임의의 위치로 구동시켜주기 위하여 X-Y plotter의 펜 이송부에 목표물을 부착시켰다. 구동모터와 X-Y plotter의 제어를 위하여 두 대의 IBM/AT 컴퓨터를 사용하였다. 개발된 장치의 성능을 실험하기 위하여 대상 목표물의 속도를 변화시키고, 제어 계인을 변화시켜가며 카메라의 목표물 추적응답 특성을 관찰하고, 평가하였다.

## 2. 카메라 자동추적시스템 구성 및 기능

### 2.1 전체 실험장치 구성

본 연구에서 개발된 카메라 자동추적시스템의 전체적인 구조는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 전체시스템은 목표물의 위치 변화량을 전압으로 출력시키는 위치추적장치(displacement follower)가 2쌍의 스테핑모터/하모닉 드라이브 시스템으로 구성된 조향장치위에 장착되어 있고, 각축의 스테핑 모터를

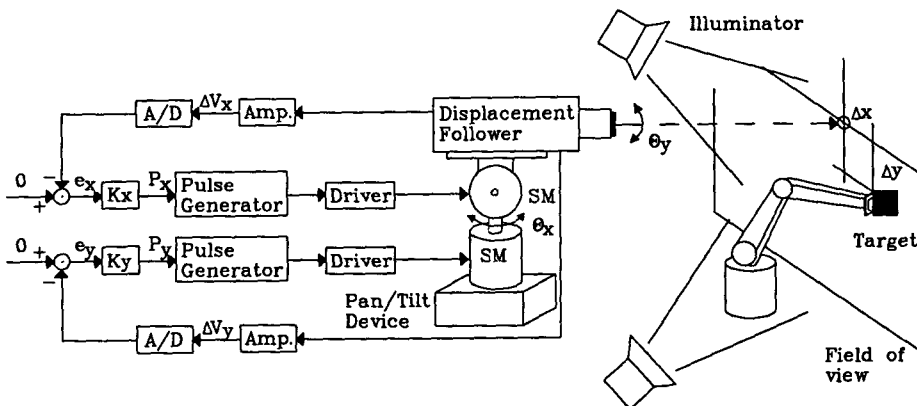


Fig. 1 Schematic diagram of auto-camera tracking system

구동시키기 위한 고속의 펄스 발생기와 모터 드라이버로 구성되어 있다. 그 외에 각 방향의 위치오차 전압을 증폭시켜주는 증폭기와 A/D 변환기가 제어용 컴퓨터와 연결되어 있으며 또한, 목표물을 임의의 위치로 이동시켜 주기위한 구동장치가 있다. 위치추적장치의 최적성을 얻기 위해서는 목표물을 임의의 조도로 비쳐주어야 하는데 이를 위하여 조명장치를 설치하였다.

시각영역(field of view)의 중심에서 주어진 목표물의 정해진 모서리까지의 수평, 수직방향의 위치오차( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ )에 비례한 전압은 위치추적장치로부터 증폭기를 통하여 실시간으로 출력되며, 이의 A/D 변환된 값이 오차귀환되어 제어가 실행됨으로써 2자유도의 조향장치내의 각 스테핑모터가 구동된다. 컴퓨터는 위치오차를 귀환받아 제어 알고리즘을 이용하여 펄스수를 계산하고 계산된 펄스수를 펄스 발생기에 전달하고, 이에 따라 발생된 펄스가 드라이버를 통해서 모터를 구동시킨다. 다음에 각 부분의 자세한 설명이 주어졌다.

목표물의 팬/틸트 장치의 방향에서부터의 위치오차를 실시간으로 얻어내기 위해 옵트론사(Optron Co.)의 전자광학식 2차원 위치추적장치 모델 5600 (electro-optical biaxial displacement Follower Model 5600)을 사용하였다.<sup>(7)</sup> 이 장치는 카메라의 렌즈를 통과한 전체 화상의 시각영역(field of view)의 중심으로부터 목표물이 벗어난 거리를  $x$ ,  $y$  두 방향에 대하여 실시간으로 측정한다. Fig. 2는 위치추적장치(displacement follower)의 전체적인 제어구조를 나타내며 Fig. 3은 추적장치 중 광학처리부(optical head)의 내부구조를 나타낸다. 이 장치는 밝은 면과 어두운 면의 경계가 뚜렷한 목표물의 경계점의 움직임을 감지하도록 고안되어 있으며 동작원리는 다음과 같다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 장치의 렌즈를 통과한 빛의 상은 포토 캐소드면에 의하여 광량에 비례하는 전자의 상으로 변환된다. 이와같은 전자상은 수평/수직방향의 가속 코일에 의하여 가속되어 미세구멍(aperture)이 있는 양극판에 전달되며 이중일부분의 전자(빛의 상에서 명암의 경계점에서 발생된 전자)가 미세구멍을 통과하게 된다. 구멍을 통과한 전자의 양은 전자 계수회로에 의하여 측정되며 측정된 양이 미리(pre-lock 상태에서) 설정해 놓은 일정한 전자량(명암의 경계점에서 발생된 전자량)과 같아지게끔, Fig. 2의 서보 제어회로가

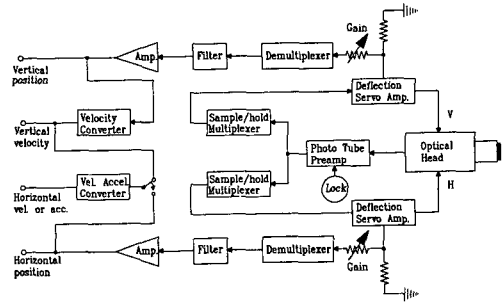


Fig. 2 Block diagram of displacement follower

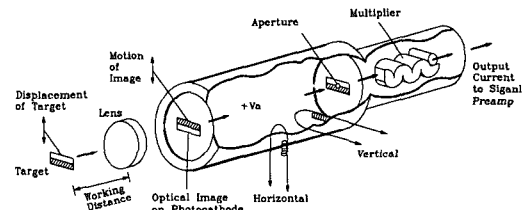


Fig. 3 Schematic diagram of optical head

동작된다. 즉, 측정된 전자량과 미리 설정해 놓은 전자량의 차이에 비례하는 전압이 수평·수직 코일에 공급되어 항상 명암의 경계점에서 발생된 전자만이 양극판의 미세구멍을 통과하도록 제어부가 동작된다. 이 때, 수평·수직 코일에 가해지는 전압을 측정함으로써 목표물의 경계점이 시각영역의 중심으로 부터 벗어난 위치를 측정할 수 있다.

### 2.3 조향장치

조향장치는 2개의 스테핑 모터/하모닉 드라이브 유닛(steping motor/harmonic drive unit)으로 구성되며, 이는 각각 수직축을 중심으로 회전하는 팬(pan)축과 이와 수직방향으로 연결된 틸트(tilt)축으로 구성되어 있다. Fig. 4는 위치추적장치가 설치된 조향장치의 전체적인 구조를 보여준다. 백래쉬(backlash)를 제거하기 위하여 감속기어 대신 50:1 하모닉 드라이브기어(harmonic drive gear)를 사용하였으며 각 축의 위치 정밀도(resolution)는 하모닉 드라이브기어에서의 출력이 1회전당 25,000 펄스(pulse)로 정밀한 위치제어에 적합하도록 설계하였다. 이와같은 고정밀도의 스테핑 모터를 빠른 속도로 구동시키기 위해서는 고속의 펄스를 발생시켜 주어야 하며, 이를 위해서 각각 최대 100 kHz (축의 회전속도 4 rev/sec)까지의 pulse를 발생시

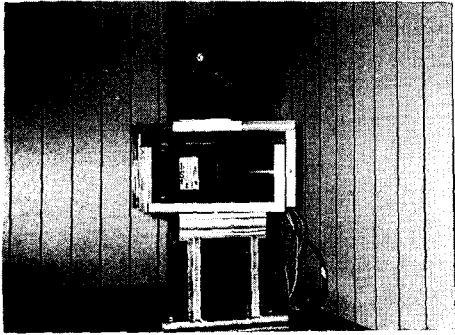


Fig. 4 Overview of pan/tilt device

킬 수 있는 오리엔탈 SPG6100K 펄스 발생기를 사용하였다. 컴퓨터와의 접속은 두 개의 병렬 통신포트 (parallel communication port) 를 이용하여 핸드셰이크 방식으로 통신된다.

#### 2.4 목표물 이동 시스템

로봇 그리퍼에 장착된 목표물의 움직임을 모사하기 위하여, Fig. 1에서 보는 바와 같이 2자유도의 움직임을 갖는 상용  $x$ - $y$  플로터 (plotter) 의 펜 고정부 (pen holder) 에 명암의 경계가 뚜렷한 (백색 바탕에 흑색 사각형으로 표시된) 목표물을 부착하여 목표물 이동시스템을 구성하였다. 또한, 위치추적 장치의 광학구조 상 경계점에서의 광량 변화가 심할 경우, 추적 장치의 출력전압에 소음 (noise) 이 실리게 되므로 목표물 주변에 고른 조명을 분포시켜 주어야 하는데, 이를 위하여 광원의 강도와 방향을 자유로이 조절할 수 있는 광섬유 조명장치 (fiber optical illuminator) 를 사용하였다.

### 3. 보정 및 제어방식

이 장에서는 제작된 시스템의 보정 (calibration) 순서와 제어방식을 설명한다. 사용된 위치추적 장치는 카메라 렌즈의 자동초점 조절기능이 부가되어 있지 않기 때문에 2차원 평면상에서의 목표물의 움직임만을 감지하도록 고안되어 있어, 본 시스템의 응용은 현재로는 목표물의 움직임이 렌즈로부터 일정한 거리에 위치한 수직평면상에서 이루어질 경우로 제한하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 목표평면상의 수평선을  $x$  축, 수직선을  $y$  축으로 정의하고, 조향장치의 수평 회전각도를  $\theta_x$ , 기울임각도를  $\theta_y$  라 정의한다. 이때, 조향장치에 장착된 렌즈가

목표 평면에 수직으로 위치했을 때 그 사이의 수직거리  $l$  이 정해지면,  $x, y$  방향의 중심점으로부터 목표물의 모서리까지의 각  $x, y$  각 방향의 거리 ( $\Delta x, \Delta y$ ) 와 수평회전/기울임 (pan/tilt) 각도와 관계는

$$\theta_x = \tan^{-1} \frac{\Delta x}{l}, \quad \theta_y = \tan^{-1} \frac{\Delta y}{l} \quad (1)$$

로 주어진다. 본 추적실험에서 각 샘플링 주기 (sampling time) 내에서의 위치오차가 수직거리  $l$  에 비하여 상당히 작기 때문에 식 (1) 을 선형화하여 사용하였다. 즉,

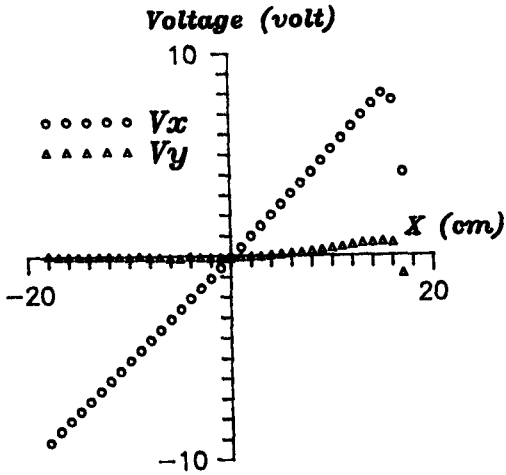
$$\theta_x = \frac{\Delta x}{l}, \quad \theta_y = \frac{\Delta y}{l} \quad (2)$$

또한, 위치추적 장치의 동적 응답특성은 추적제어 시스템의 응답특성에 비하여 훨씬 빠르기 때문에 위치추적 장치의 동특성을 무시하면, 위치추적 장치와 증폭기 (amplifier) 를 거쳐서 출력되는 전압과 해당 위치오차의 관계는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

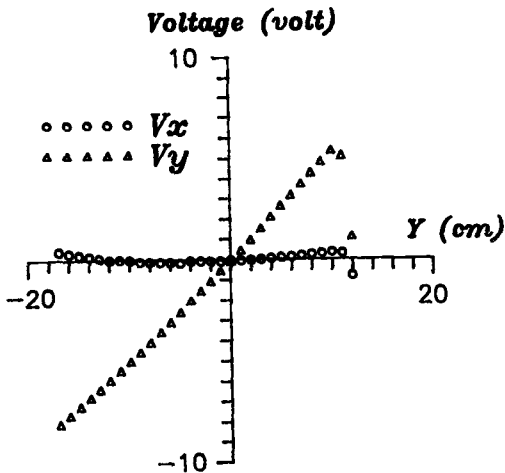
$$\Delta x = \frac{V_x}{K_1}, \quad \Delta y = \frac{V_y}{K_2} \quad (3)$$

여기서,  $V_x, V_y$  는 각각  $x, y$  위치오차에 비례하는  $-10 \text{ V} \sim 10 \text{ V}$  사이의 출력전압이다. 식 (3) 의 비례상수  $K_1$  과  $K_2$  는 렌즈의 초점거리와 수직거리  $l$  을 이용하여 기하학적인 방법으로 대략 측정할 수 있으나 보다 정확한 값을 얻기 위하여 보정 (calibration) 실험을 수행하였다. 보정실험에서는 위치추적 장치를 목표물의 이동 평면에 수직으로 향하도록 고정시키고 목표물을 위치추적 장치의 시각영역에서  $x, y$  축으로  $\pm 18 \text{ cm}$  이송시켰을 때 각 축의 출력전압을 측정하였다. 위치추적 장치와 목표물의 이동 평면 간의 거리 ( $l$ ) 은  $325 \text{ cm}$  로 고정하였다.

Fig. 5는 보정실험의 결과로 얻어진  $x, y$  방향의 위치와 출력전압 ( $V_x, V_y$ ) 과의 관계를 나타낸다. Fig. 5a에서 보는 바와 같이 목표물이  $x$  축에서 이동될 때  $x$  방향 출력전압 ( $V_x$ ) 는 전 구간에서 걸쳐 거의 선형적으로 변화됨을 알 수 있다. 그러나  $x \geq 14 \text{ cm}$  에서는  $V_x$  가 급격히 떨어지는 현상을 나타내며, 이와 같은 현상은 Fig. 5b의 경우 ( $y \geq 10 \text{ cm}$ ) 에서도 관찰될 수 있다. 이와 같은 비선형특성은 렌즈의 곡률, 조명상태 등에 기인한 것으로, 특히 조명상태의 변화에 따라 비선형 범위가 달라짐을 알 수 있었다. 즉, 조명장치의 방향을 조금씩 바꾸어 주며 반복실험을 수행한 결과 비선형 특성이 나타



(a) X-direction



(b) Y-direction

Fig. 5 Calibration curve of displacement follower

나는 목표물의 위치가 조금씩 변화됨을 확인할 수 있었다. 또한, 이 위치는 조명의 방향에 관계없이 시각영역의 항상 우측상단부위 ( $x > 0, y > 0$ )에 존재하였다.

각 그림에서 원점을 중심으로  $\pm 4.5$  cm 내에서는 위치변화에 따른 출력전압도 선형성을 나타내며, 위치방향에 수직인 방향에 대응하는 출력전압도 거의 0의 값을 유지함을 볼 수가 있다. 따라서 이와 같은 결과는 위치추적 시스템의 제어성능이 한번의 샘플링 주기내에서 최고  $\pm 4.5$  cm 이상의 오차가 발생하지 않는다면 위치추적장치를 항상 목

표물에 추적시켜 줄 수 있음을 나타낸다. Fig. 5에서 그래프의 선형계수를 구하면,  $l=325$  cm일때  $K_1=0.514$  volt/cm,  $K_2=0.521$  volt/cm로 구해졌다.

이와같은 보정실험에서  $K_1, K_2$ 가 구해지면, 얻어진 신호 출력전압으로부터 수평회전각과 기울기각이 구해진다. 식 (2)와 (3)으로부터

$$\theta_x = \frac{1}{K_1 l} V_x$$

$$\theta_y = \frac{1}{K_2 l} V_y \tag{4}$$

조향장치를 구동하는 스텝핑 모터의 동특성은 추적제어시스템의 동특성에 보다 훨씬 빠르게 설계되었기 때문에 스텝핑 모터의 동특성을 무시하면, 스텝핑 모터의 정도가 25,000 펄스/회전이므로  $\theta_x, \theta_y$  각도만큼 회전시키기 위한 구동 펄스수는 아래와 같다.

$$P_1 = \frac{25000}{2\pi} \theta_x$$

$$P_2 = \frac{25000}{2\pi} \theta_y \tag{5}$$

본 시스템의 제어기는 위에서 계산된  $P_1, P_2$ 의 값에 일정한 비례 계인 ( $K_x, K_y$ )을 부가시켜 제어 입력력으로 사용하는 비례제어 방식을 사용하였다. 즉, 식 (4)와 (5)로부터

$$P_x = K_x \frac{25000}{2\pi} \frac{1}{K_1 l} V_x$$

$$P_y = K_y \frac{25000}{2\pi} \frac{1}{K_2 l} V_y \tag{6}$$

식 (6)에 의하여 계산된 펄스수는 시스템의 제어입력으로 출력되어 펄스 발생기를 통해 스텝핑 모터를 구동시킨다. 사용된 펄스 발생기는 구형의 속도 제적을 가지며 사용된 최대 펄스속도는 10,000 pulse/sec이며 가속구간의 가속도는 100 kpulse/sec<sup>2</sup>이다. 이는 샘플링 주기를 150 msec으로 했을 때 1500개의 pulse, 즉 한 샘플링주기내에서 21.6°의 오차 교정이 가능하다는 것을 나타낸다.

#### 4. 실험 및 결과

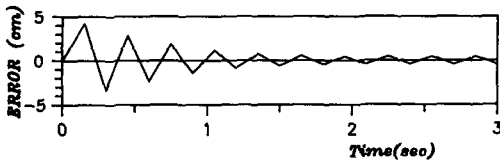
개발된 시스템의 제어성능을 관찰하기 위하여 먼저 정점 제어실험을 통하여 최적의 제어계인을 구한 후 목표물의 이송속도를 변화시키며 추적 제어성능을 관찰하였다. 렌즈와 목표물까지의 거리 ( $l$ )

은 보정실험에 사용된 값( $l=325\text{ cm}$ )을 이용하였으며 선형계수값( $K_1, K_2$ )는 보정실험을 통하여 얻어진 값( $K_1=0.514\text{ volt/cm}$ ,  $K_2=0.521\text{ volt/cm}$ )을 이용하였다.

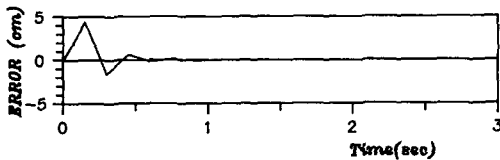
4.1 정점제어

식(6)의 제어게인( $K_x, K_y$ )의 변화에 따른 동작 특성을 알아보기 위하여, 여러가지 제어게인에 대하여 4.5 cm의  $x$ 방향 초기 위치 오차를 교정하는 정점제어(set point regulation)실험을 수행하였다. 이 실험에서 샘플링 주기는 150 msec로 주어졌으며 여러가지 제어게인에 대한 응답이 Fig. 6에 주어졌다.

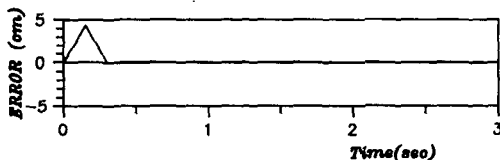
그림에서 보여진 바와 같이 큰 제어게인에서 출력응답은 진동이 심하며, 안정시간(settling time)이 긴 반응이 나타났고, 제어게인이 1보다 큰 경우



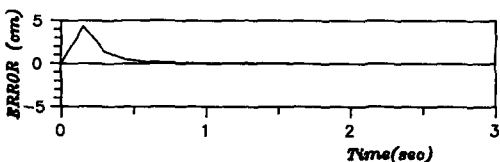
(a)  $K_x=1.731$



(b)  $K_x=1.328$



(c)  $K_x=1.000$



(d)  $K_x=0.664$

Fig. 6 Response Characteristics in set point regulation

에 과감쇄(over damped)된 반응이 일어났다. 제어게인이 1인 경우, 한 주기만에 초기 위치오차가 보정되는 가장 좋은 응답결과가 일어났다. 이와같은 결과는 제어입력이 주어진 샘플링 주기내에 입력되는 구동 펄스의 수를 나타내므로, 모터의 구동 토크가 충분하다면 한 주기만에 원하는 제어(regulation)가 이루어짐을 나타내는 것이다. 또한, 이 실험에서 제어게인의 변화는 Fig. 5의 출력 전압-위치 곡선의 기울기( $K_1, K_2$ )를 변화시킨 의미가 되고, 물리적으로는 수평회전/기울기(pan/tilt) 각도와  $x, y$  위치와의 상관관계가 달라진 즉, 식(6)으로부터 목표물까지의 거리( $l$ )가 변화한 것으로도 해석할 수 있다. 따라서 본 실험의 결과로부터 거리( $l$ )가 변했을 경우의 시스템의 추적 성능을 예측할 수가 있다. 구체적으로 실제 렌즈와 목표물의 이동면 사이의 거리가 보정에 사용된  $l$ 값보다 작을 경우 Fig. 6a, 6b와 같은 진동하는 반응이 나타나고, 실제거리가  $l$ 보다 큰 경우에 Fig. 6d와 같은 과감쇄된 반응이 나타날 것을 예측할 수가 있다.

4.2 추적제어

제작된 위치추적 시스템의 목표물 추적성능을 관찰하기 위하여, 일정한 궤적으로 이동되는 목표물의 이동속도를 변화시켜가며 추적성능을 관찰하였다. 목표물의 이동궤적은 변의 길이가 16 cm인 정사각형을 형성하도록 하였고, 샘플링 주기는 50 msec로,  $K_x, K_y$ 는 모두 1로 정하고 실험을 수행하였다. Fig. 7은 추적시의 오차를 나타내며 Fig. 8은 실제 위치추적장치의 추적경로를 나타낸다. Fig. 7과 Fig. 8은 서로 상관관계를 갖는 데 이를 예로 들면 Fig. 7a에서  $t=0\text{ sec}$ 에서  $t=3.2\text{ sec}$ 까지의 오차응답은 Fig. 8a에서 목표물이  $x=-8, y=8\text{ cm}$ 인 점에서  $x=8, y=8\text{ cm}$ 인 점까지 수평으로 이동될 때의 경로제적응답에 해당된다.

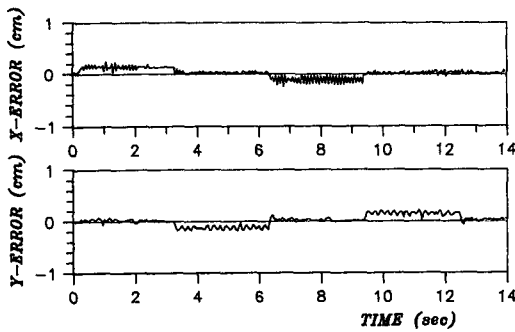
목표물의 속도가 5 cm/sec일 경우, Fig. 7(a)에서 보는 바와 같이 추적오차는 대략 각 방향으로 0.2 cm 이내로 전체 궤적길이(정사각형의 한 변의 길이)에 대한 오차는 약 1.3%정도로 Fig. 8(a)에서 추적경로에서는 보는 바와 같이 추적장치는 정사각형 궤적의 모서리 부분과 같은 날카로운 비연속점도 잘 추적함을 나타내었다. 목표물의 속도가 15 cm/sec일 경우, 각 방향으로 0.5~0.7 cm (3.1~4.3%)로 비교적 큰 추적오차가 나타남을 알

수 있고, 추적장치도 모서리 부분에서 목표물에 뒤로 처지면서 추적함을 나타내었다.

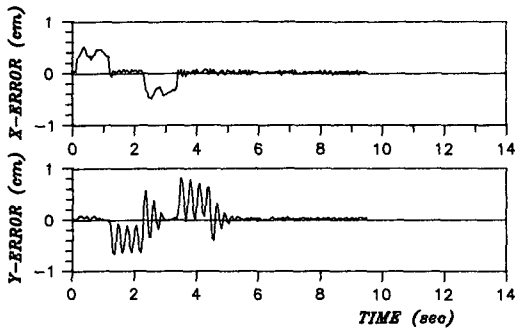
Fig. 7에서  $x, y$ 방향의 오차응답에는 소음(noise)이 있는 것을 볼 수 있는데  $x$ 방향 응답에서의 고주파수 소음은 위치추적장치 출력전압에서의 소음으로 분석되며,  $y$ 방향의 저주파수 소음(약 4.7 Hz)은 조향장치 제작상의 문제로  $y$ 방향 스테핑 모터의 동력전달과정에서 미소진동이 발생하기 때문이다. 또한, 목표물의 속도가 15 cm/sec일 때는 (Fig. 8(b)) 추적경로의 오른쪽 상단에 진동이 발생하는데 이는 보정실험에서 나타난 바와 같이 위치추적장치의 시각영역의 우측 상단부에서 불안정한 출력전압이 유발되어 제어계가 불안정해 짐을 나타낸다.

이상의 실험결과에서 개발된 위치추적 시스템은 날카로운 비연속점(discontinuity)이 있는 경로를 가진 목표물의 움직임도 목표물의 속도가 15 cm/sec 이하인 경우에는 비교적 잘 추적함을 나타내었으나, 이 이상의 속도에서는 추적성능이 저하되었다. 그러나, 본 연구의 목적인 원격 매니플레이터

를 이용한 원격조작 작업의 평균속도가 고속이 아닌 점을 고려하면, 개발된 위치추적장치 시스템은 시각 정보처리 시스템으로 해결될 수 없는 정보처리시간의 문제점을 해결할 수 있는 대안으로 사용될 수 있을 것이다. 또한 보다 고속의 추적성능을 얻기 위해서는 시각영역의 우측상단부에서 발생하는 제어계의 불안정성이 해결되어야 한다. 이의 해결을 위해서는 현재 제어계에 적용된 단순한 비례제어기의 개선이 바람직할 것이다. 또한, 고속 펄스의 공급을 필요로 하는 스테핑 모터의 사용으로 인하여 스테핑모터의 구동속도에 한계가 있어 빠른 목표물에 대한 추적성능이 저하되는데 이와 같은 문제점은 스테핑 모터를 직류 서보모터(DC servo motor)로 대체하여 개선시켜야 할 것이다.

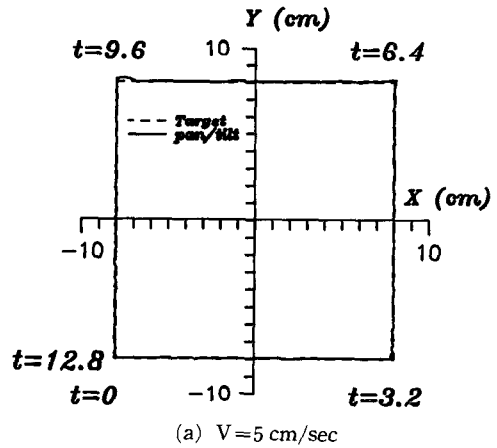


(a)  $V=5$  cm/sec

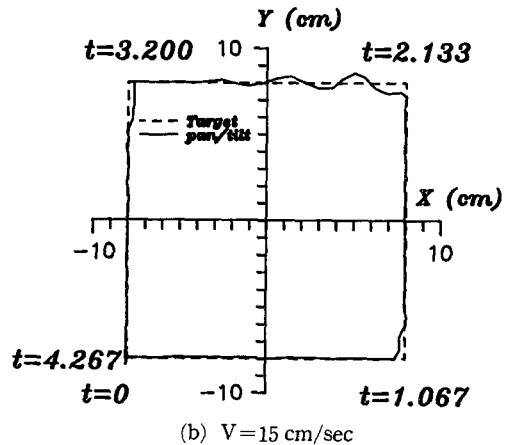


(b)  $V=15$  cm/sec

Fig. 7 Tracking error for square target motion



(a)  $V=5$  cm/sec



(b)  $V=15$  cm/sec

Fig. 8 Tracking contour for square target motion

## 5. 결 론

본 연구에서는 원격조작시 작업자의 작업 효율을 향상시키기 위한 원격 카메라의 자동추적 시스템의 개발을 수행하였다. 카메라 정보의 화상 처리를 통한 추적신호의 추출방식을 대신해서 실시간 위치오차의 정보를 출력할 수 있는 2자유도의 비접촉식 고속 위치추적장치(displacement follower)를 사용하였으며 고정밀도의 스테핑 모터를 이용한 조향장치를 제작하였다. 제작된 자동추적시스템의 목표물 추적성능을 간찰하기 위하여 비례 제어기를 이용한 정점제어(set point control)와 목표물의 이동속도 변화에 따른 추적제어(tracking control) 실험을 수행하였다. 이와 같은 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

- (1) 보정에 적용된 기준 거리에서 위치추적장치는 시각영역의 중심으로부터 약  $\pm 4.5$  cm 이내에서 만족할 만한 출력특성을 나타내었으며,
  - (2) 제어게인이 1인 경우(보정에 사용된 비례상수를 사용할 경우), 한 주기만에 정점제어가 이루어지며,
  - (3) 날카로운 비연속점(discontinuity)이 있는 경로를 가진 목표물의 움직임도 목표물의 이동속도가 작을 경우, 비교적 잘 추적함을 나타내었고,
  - (4) 조명의 고르지 못한 분포는 위치추적장치의 불안정한 출력을 유발시켜 제어계가 불안정해 짐을 나타낸다.
- 더욱 좋은 추적성능을 얻기 위해서는 제어계의 개선, 스테핑 모터의 직류서보모터(DCServomotor)로의 대체가 바람직하며, 공간상에서 움직이는 목

표물을 추적하기 위해서는 카메라의 자동 확대/축소(zooming) 기능과 자동보정이 필요하다. 또한 보다 안정된 보정을 위해서 넓고 고른 분포의 조명 장치의 도입이 요구된다.

## 참고문헌

- (1) Andre, G. and Fournier, R., 1987, "Status of the Advanced Teleoperation Project in the French A.R.A. Program," Proc. Remote Systems and Robotics in Hostile Environments, pp. 93~100.
- (2) Sheridan, T.B. 1989, "Telerobotics," Automatica, Vol. 25, No. 4, pp. 487.
- (3) Kuehnepfel, Leinemann, U. K. and Schlechtendahl, E.G. 1987, "Graphics Support for Jet Boom Control," Proc. Remote Systems and Robotics in Hostile Environments, pp. 28~34.
- (4) Vertut, J. et al., 1983, "Coordination Camera Telemanipulator by Microprocessor," Proc. of 6th World Congress on the Theory of Machines and Mechanisms, New Delphi, pp. 1071.
- (5) Stoughton, R.S. 1984, "Automatic Camera Tracking for the Remote Manipulator," Proc. Remote Systems and Robotics in Hostile Environments, pp. 383~389.
- (6) Strunk, L.M. et al., 1990, "A Linearly-Mapping Stereoscopic Visual Interface for Teleoperation," IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems, pp. 429.
- (7) Instruction Manual: Model 5600 Electro-optical Biaxial Displacement Follower.