

PSD센서를 사용한 로봇 추적 오차의 실시간 측정에 관한 연구

○ 김 완수*, 박 용길*, 조 형석*, 곽 은근**

*KAIST 생산공학과 ** 과학 기술 대학

An On-line Measurement of Robot Tracking Error via an Optical PSD Sensor

○ Wan Soo Kim*, Yong Kyl Park*, Hyung Suck Cho*, Keun Yun Kwag**

*Dept. of Production Engineering, KAIST ** Korea Institute of Technology

ABSTRACT

Direct measurement of the relative position between the end effector of robot and moving objects reduces difficulties caused by the joint encoder reading and transformation. For those purpose, the on-line sensing method using PSD sensor was developed in this paper. The sensor was calibrated on the precision table. Then, the relative position of a moving objects on the conveyor was measured while the robot was tracking the one.

직선궤적을 주행할 때의 대상물체에 대한 상대적인 위치 오차를 측정하였다.

2. PSD 센서 시스템

2.1 측정원리

PSD는 복사를 감지하는 반도체이다. 그림1-(a), (b), (c)는 2차원 PSD 센서의 구조 및 동작회로, 1차원상의 광학적 원리를 각각 나타낸다.

그림1-(a)에서 S에 광점이 맺혔을때 여기서 발생하는 전류를 Io라 하면

$$I_o = I_{ox} + I_{oy} \quad (1)$$

여기서 I_{ox}, I_{oy} 는 각각 X, Y축으로 흐르는 광전류이다. X축 혹은 Y축만을 고려하면 그림1-(c)처럼 일차원으로 나타낼 수 있다. X축에 관하여 살펴보면 광전류 I_{ox} 는 오옴의 법칙에 의하여 각 전극에 흐르는 전류는 다음과 같다.

$$I_{x1} = I_{ox}(R_{x2}/R) \quad (2)$$

$$I_{x2} = I_{ox}(R_{x1}/R) \quad (3)$$

여기서,

I_{ox} : X축으로 흐르는 광전류

I_{x1} : 전극 1로 흐르는 광전류

I_{x2} : 전극 2로 흐르는 광전류

R : X축의 전체 저항

R_{x1} : S에서 전극 1까지의 저항

R_{x2} : S에서 전극 2까지의 저항

그런데 PSD의 저항층은 균일하게 분포되어 있으므로 저항의 비는 길이의 비로 표시할 수 있다. 따라서 식 (2), (3)은 다음과 같이 된다.

$$I_{x1} = I_{ox}(L + 2X)/(2L) \quad (4)$$

$$I_{x2} = I_{ox}(L - 2X)/(2L) \quad (5)$$

여기서 L은 PSD 센서의 유효수광면의 길이이다. 위치 신호를 얻기 위해서는 식(4), (5)를 가산과 감산처리를 하면 다음과 같이 나타낸다.

$$I_{x1} + I_{x2} = I_{ox} \quad (6)$$

$$I_{x1} - I_{x2} = I_{ox}(2X)/L \quad (7)$$

식 (6), (7)에서 전류 I_{ox} 는 PSD의 활성영역에 입사된 광량에 해당하는 전류이므로 입사광에 혼합된 외란등의 영향에 의하여 변화하게 된다. 따라서 광량 변화에 따른 위치 신호의 변동을 제거하기 위하여 식(7)을 식(6)으로 나눈다. 결과적으로 다음과 같은 위치 신호를 얻을 수 있다.

$$X = (L/2) \{ (I_{x1} - I_{x2}) / (I_{x1} + I_{x2}) \} \quad (8)$$

Y축에도 같은 방법을 적용하면 다음과 같은 Y방향 위치 신호를 얻을 수 있다.

$$Y = (L/2) \{ (I_{y1} - I_{y2}) / (I_{y1} + I_{y2}) \} \quad (9)$$

PSD 센서는 전류 출력형이므로 실제로 광학점(spot)의 위치를 얻기 위해서는 전류 전압 변환기를 이용하여 전류를 전압으로 바꾸어 출력하였다. 이때 식(8), (9)는 다음과 같이 된다.

$$X = (L/2) (X1 - X2) / (X1 + X2) \quad (10)$$

$$Y = (L/2) (Y1 - Y2) / (Y1 + Y2) \quad (11)$$

여기서 $X1, X2, Y1, Y2$ 는 각각 X, Y축의 전류를 전압으로 변환한 값이다.

1. 서 론

로봇 기술의 개발과 더불어 로봇의 아암은 조립, 페인팅, 용접, 실링, pick and place 등 여러 분야에 사용되고 있다. 그리고 이런 작업은 로봇의 첨단부에서 이루어 지므로, 작업 대상에 대한 첨단부의 정확한 자세 정보는 바라는 제어 성능을 달성하는데 매우 중요하다. 현재 대부분의 산업용 로봇은 각 조인트(joint)에 부착된 엔코더 및 타코 센서에 의하여 첨단부의 자세 정보를 얻고 있다[1]. 그러나 이것은 로봇의 오차 요인[2] 및 변환행렬의 계산 오차등에 의하여 정확한 로봇 첨단부의 자세를 알 수 없다. 특히 움직이는 컨베이어상의 대상 작업과 같이 로봇 첨단부와 움직이는 대상물체의 위치 및 속도의 동기가 필요한 경우에는 각 조인트 센서 신호에 의하여 필요한 정보를 얻는 것은 불가능하다.

최근, 로봇 첨단부의 위치 인식에 관한 연구는 이미지의 이산화에 의한 비전시스템과 여러 가지의 패턴 인식 알고리즘으로 구분할 수 있다. 그러나 이것은 낮은 분해능과 실시간의 처리상의 어려움과 안고 있으며 복잡한 장비로 필요로 한다[3]. 한편, 4분할 소자를 사용하여 2차원상의 추적(tracking), 위치 잡기(positioning), 및 교사가 가능한 아날로그 형태의 간단한 센서를 개발하였다[3]. 그러나 이것은 영점감지기구(null detection device)로서 4분할선이 활성영역에 존재함으로써 dead-zone이 존재하며 추적시에는 경우에 따라 처리 알고리즘이 다르다.

결국 (1)높은 분해능, (2) 빠른 처리시간을 가지며 (3)일반적인 알고리즘을 가지는 센서의 개발이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 앞의 3가지 조건을 만족시키는 PSD(Position Sensitive Detector)소자를 이용한 센서 시스템을 개발하였다. 또한, 개발한 센서를 이용하여 SCARA(Selective Compliance Assembly Robot Arm) 로봇가 미리 주어진

2.2 센서시스템의 구성 및 신호처리
 그림2에서 PSD센서의 전체적인 구조를 도식적으로 보여주고 있다.
 PSD의 광학적 특성이 그림3과 같으므로 950nm의 피크광을 갖는 적외선 LED를 광원으로 사용하였다. 그리고 실내의 경우 형광등과 같은 조명등의 영향을 제거하기 위하여 그림4와 같은 특성을 가지는 광학밴드패스필터 (band pass filter)를 사용하였다. 이런 필터를 사용하였을 경우와 그렇지 않을 경우의 PSD의 출력 신호를 그림5에 나타내었다. 그림6에는 신호처리회로를 보여주고 있다. 즉, 전류/전압 변환기와 가.감산 신호처리기는 아날로그회로로, 제산처리는 디지털로 구성하였다.

2.3 PSD 반복도 실험
 본 연구에서 개발한 PSD센서는 이상적인 계산식 (10), (11)과는 표면 저항의 저항의 불균일성, 신호처리 회로에 사용된 OP-앰프의 외란 특성 및 저항 오차 그리고 광원의 크기들에 의하여 편차가 있다. 일반적으로 센서로 사용하기 위해서는 동일 조건하에서는 항상 같은 출력 특성을 가져야 한다. 따라서 센서에서의 반복도 실험은 매우 중요하다. LED에는 33.5mA의 순방향 전류를 공급하고 PSD의 활성면에 입사되는 광량이 $I_{out} = 8.4V$ 가 되도록 PSD와 LED사이의 거리를 8mm로 조정하였다. 실험제 센서상에 기하학적인 중심을 찾는 것은 매우 힘들뿐만 아니라 지루한 작업이다. 따라서 본 실험에서는 X-Y축이 수직이므로 센서 출력의 영점을 찾고 이점을 기준으로 45° 기울기 방향으로의 경로에 대하여 $-5mm \leq X, Y \leq 5mm$ 의 범위에서 0.2mm씩 증가시키면서 5회 반복 실험을 하였다. 그림 7-(a)는 X출력과 Y출력을 X-Y평면에 그린 것이며 이상적인 경우 $Y=X$ 의 관계가 성립되어야 하나 본 실험에서는 $Y=0.9998X + 0.02$ 의 관계식을 가진다. 여기서 0.02는 센서의 영점 설정시의 윌셋값이므로 캘리브레이션시 보정한다. 그림 7-(b)는 반복 실험결과와 번이를 보여주고 있다. 또한 광원과 수광부인 PSD소자와의 수직 거리에 따른 영향을 그림 8에서 보였으며 이때 Y축과 X축과의 관계식은 $Y = 0.9987X + 0.02$ 이다.

결론적으로, 본 연구에서 개발한 PSD센서는 최대 $\pm 0.02mm$ 의 반복성을 가지며 선형성이 보장되므로 나열에서 측정하고자하는 SCARA 로봇트와 움직이는 대상 물체의 상대적인 추적 오차를 검출하는데 사용될 수 있다.

3. 추적 오차의 실험

3.1 실험 방법

현재 조립, 용접 등 대부분의 로봇트 작업은 지그에 공작물을 고정하고 로봇트가 미리 지정된 작업 순서를 따라 수행하고 있다. 그런데 공작물의 이송중 추적 오차를 수행할 경우에는 로봇트 첨단부와 대상 물체와의 속도 및 위치의 동기는 바라는 성능을 달성하기 위해서는 매우 중요하며, 속도 및 위치의 동기 여부를 측정하는 것은 제어 성능을 향상시키기 위하여 필수적이다.

따라서 여기서는 본 논문에서 개발한 광학 PSD센서를 이용하여 그림 9-(a), (b) 과 같은 시스템과 좌표계의 각각에 대하여 속도 및 위치의 동기 여부를 온라인으로 측정하였다. 즉, 이송 테이블에 일정한 속도 (30, 70, 120mm/sec)를 지정하고 이를 CP제어가 가능한 로봇트의 첨단부에도 같은 크기의 속도로서 추종하게 하였을 경우의 오차를 측정하였다.

3.2 실험 결과

그림 10-(a), (b), (c)에서는 이송속도를 30, 70, 120mm/sec에 대한 실험 결과를 보여준다. 이 실험에서 오차는 (1) 로봇트의 위치오차와 (2) 이송 테이블의 초기 위치 오차로 나눌 수 있는 데 이 방향에 수직인 방향으로 로봇트의 위치오차가 중요하다. 그리고 진행방향으로는 이송 테이블의 영향이 두드러진다. 속도가 30mm/sec일 때 이송 테이블의 진행에 수직인 방향으로 자유도가 있으므로 응답의 변화가 거의 없으나 진행방향으로 모타의 Hunting에 의한 높은 주파수의 응답을 보이고 있으며 동기 오차에 민감함을 알 수 있다. 그러나

X-Y평면에 나타난 결과에서 알 수 있듯이 로봇트와 이송 테이블은 완전한 동기가 이루어지지 않고 있으며 속도가 증가할수록 DC 서보모타의 Hunting현상과 이송 테이블의 오차에 매우 민감하게 영향을 받으므로 동기오차의 변화폭이 커지고 있다. 결과적으로 속도의 증가에 따라 오프 라인으로 연속적인 위치동기의 제어가 불가능하므로 연속 동기를 이루기 위하여 센서의 위치오차 출력을 피드백하여 보상하는 것이 필요하다.

4. 결론

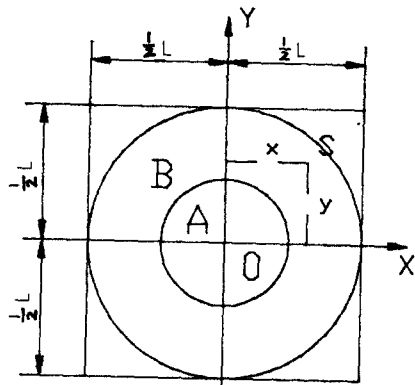
본 논문에서는 2차원상의 위치 검출 센서를 개발하였다. 이 시스템은 빠른 응답 특성, 분해능을 지니고 있으며, 신호처리에 복잡한 장비를 필요로 하지않고 값이 싼 것이 장점이다.

본 연구에서는 이러한 특성을 지닌 센서를 제작하여 캘리브레이션을 하였다. 그리고 이 센서를 이용하여 로봇트 첨단부와 움직이는 작업대상간의 상대적인 위치 오차를 온라인으로 측정하였으며 성능이 우수함이 입증되었다.

따라서 본 연구에서 개발한 센서는 로봇트의 교시, 용접의 시뮬 추적과 조립 작업등 여러 분야에 그 응용이 기대된다.

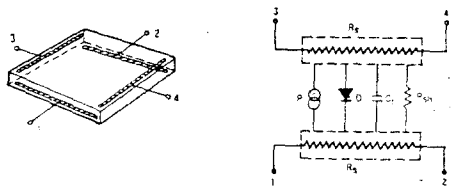
<참고문헌>

1. Richard P. Paul, 1981, Robot Manipulators, Mathematics, Programing, and Control.
2. Albert J. Strum and Ivor Matz, 1986, "Robot Testing and Evaluation", Robotics Engineering, December.
3. Moshe Shoham, et al, 1984, "An Optical Sensor for Real Time Positioning, Tracking and Teaching of Industrial Robots", IEEE Trans. on Industrial Elec., Vol. IE-31, No. 2, pp159-163.
4. K. Fruta, et al, 1988, "Control of Articulated Robot Arm with Sensory Feedback : Laser Beam Tracking System", IEEE, Trans. on Industrial Electronics, Vol. 35, No. 1, pp31-39.
5. M. Shoham and Y. Koren, 1987, "Motion Control Algorithms for Sensor-Equipped Robots", J. of



zone A : $r=2.5$ mm
zone B : $r=5.0$ mm

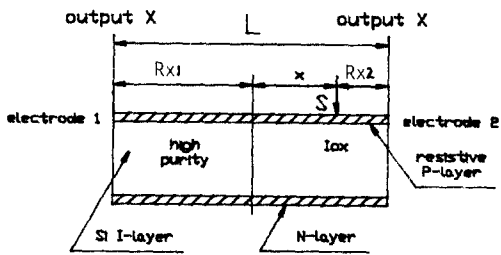
(a)



Rs : SURFACE RESISTANCE
P : PHOTOCURRENT GENERATOR
D : IDEAL DIODE

Cj : JUNCTION CAPACITANCE
Rsh : SHUNT RESISTANCE

(b)



(c)

Fig.1 PSD 센서의 구조 및 원리

- (a) 기본구조 및 등가회로
- (b) 2차원의 중심을 원점으로 접합한 모델
- (c) X축의 일차원 모델

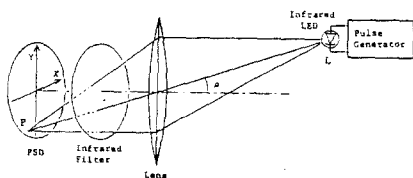


Fig.2 LED를 사용한 PSD 센서의 전체적인 구성

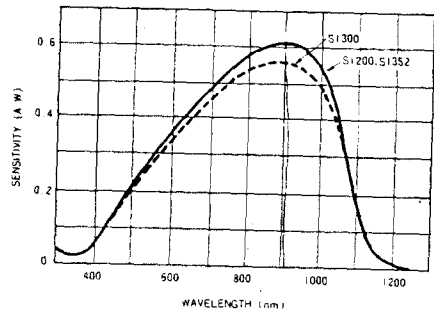


Fig.3 PSD의 분광 감도특성

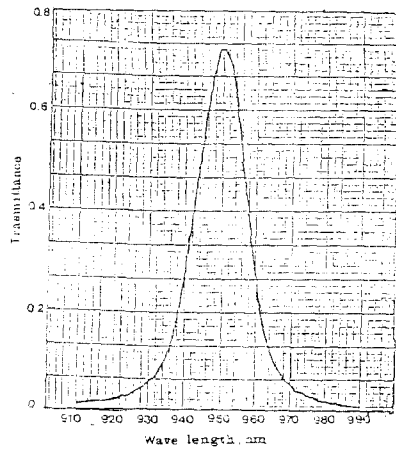


Fig.4 광학 BAND PASS 필터의 광 투과특성

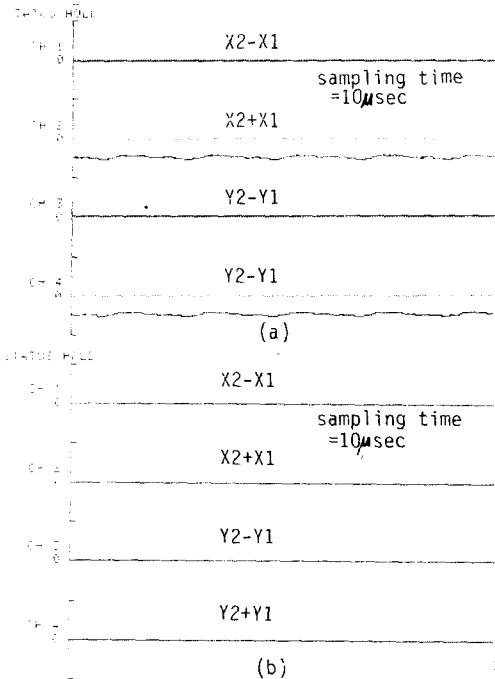


Fig.5 PSD 센서의 외란특성
(a) 광학 필터를 사용하지 않았을 경우
(b) 광학 필터를 사용하였을 경우

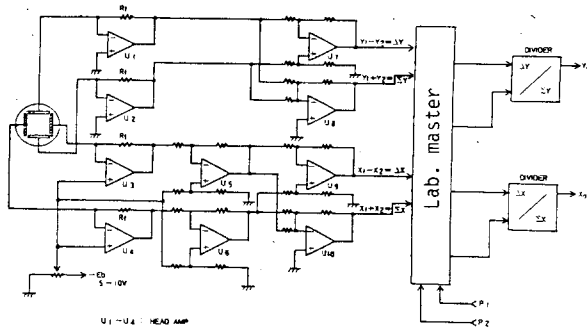


Fig.6 PSD의 신호처리 회로

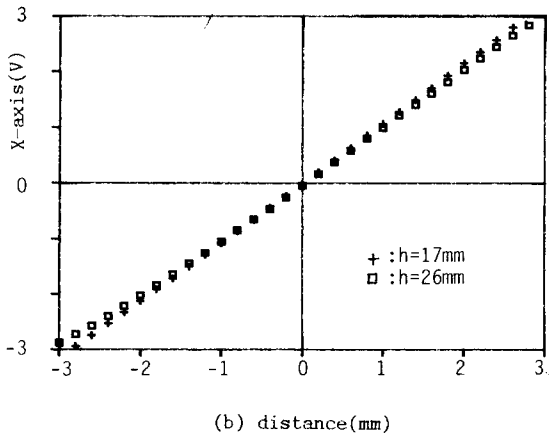
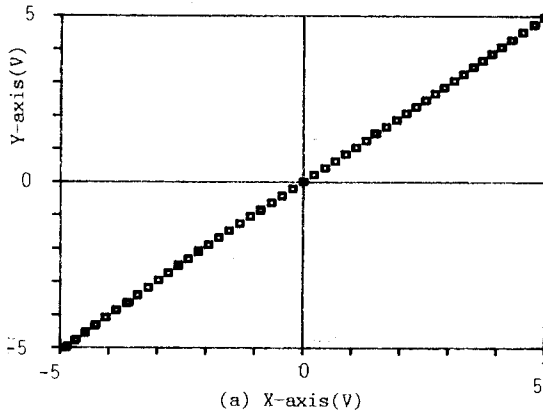


Fig.7 센서의 반복 선형 특성곡선
 (a) X-Y 평면에서의 반복 선형성
 (b) 거리의 변화에 따른 출력 신호의 변화

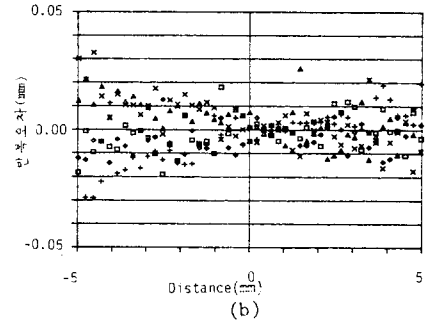
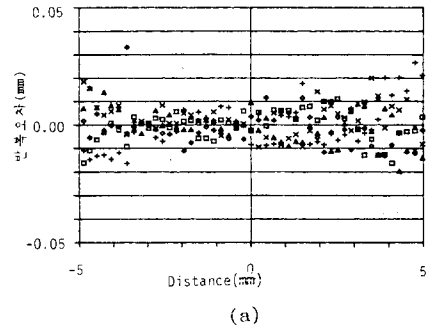


Fig.8 반복 실험 오차 특성
 (a) X-축
 (b) Y-축

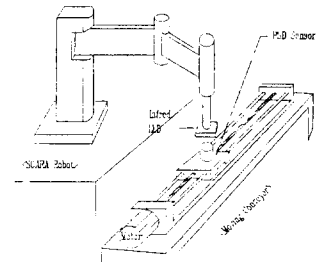


Fig.9-(a) 추적 실험장치 구조

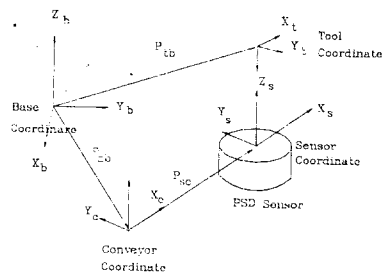
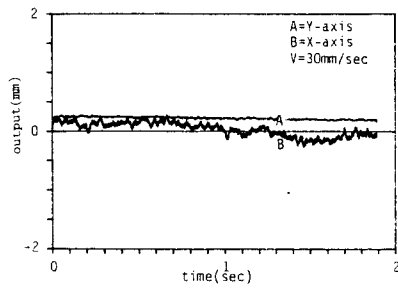
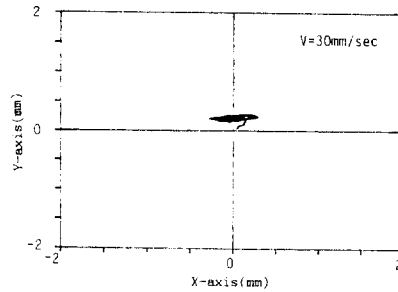


Fig.9-(b) 좌표계

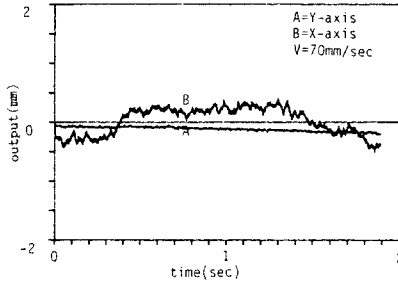
Fig.9 추적 실험장치의 구조와 좌표계



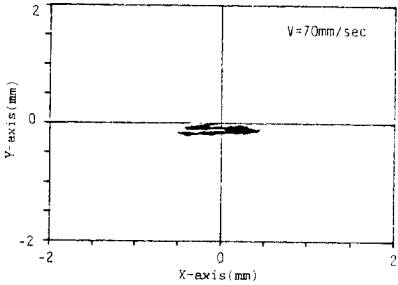
(i)



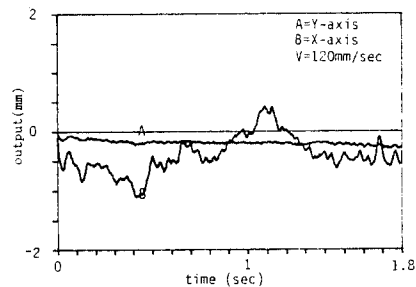
(ii)

(a) $V=30\text{mm/sec}$ 일때의 출력특성

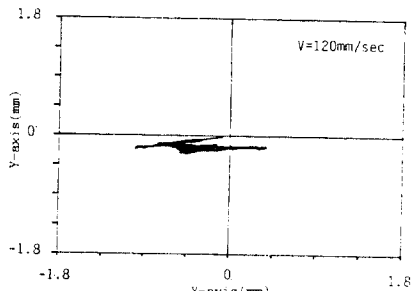
(i)



(ii)

(b) $V=70\text{mm/sec}$ 일때의 출력특성

(i)



(ii)

(c) $V=120\text{mm/sec}$ 일때의 출력특성

Fig.10 이송 속도의 변화에 따른 추적 오차 특성
 (i) 이송 테이블의 진행 방향 및 수직 방향의 출력 특성
 (ii) X-Y 평면상에서의 출력 특성