

# 비접촉 평면위치 측정시스템의 기술동향

## Current status of technology for non-contact planar position measurement

\*강동희<sup>1</sup>, #이상현<sup>2</sup>, 정광석<sup>3</sup>

\*D. H. Kang<sup>1</sup>, #S. H. Lee(shlee@andong.ac.kr)<sup>2</sup>, K. S. Jung<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 안동대학교 기계설계공학과, <sup>2</sup> 안동대학교 기계공학부, <sup>3</sup> 충주대학교 기계공학과

Key words : Planar position measurement, surface encoder, measurement

### 1. 서론

반도체제조나 평판형 디스플레이의 가공에 있어, 빠르고 정밀한 위치결정기술이 요구되고 있다. 그러나 이러한 공정에서는 적어도 2 자유도 이상의 다자유운동이 필요하기 때문에 단일축을 단순히 확장하는 방식으로는 구조가 복잡해진다거나 이동체가 무거워지는 단점과 위치측정시스템이 복잡해지는 단점이 있다. 따라서, 다자유도 운동이 가능한 평면형 위치결정기구가 제안이 되었다.[1~3] 이러한 다자유도 평면형 운동기구는 가벼워서 고속운동이 가능하고 위치결정기구의 구조를 간단히 하게 되었다. 이러한 평면형 위치결정기구에는 기존의 직선운동에 적용되는 선형 엔코더는 적용이 불가능하여, 대부분 레이저간섭계가 사용되었다. 레이저간섭계의 경우, 높은 분해능과 넓은 측정범위를 장점으로 하지만, 파장을 기본으로 측정되기 때문에 파장에 영향을 미칠 수 있는 기압, 온도, 습도에 민감해지는 단점이 있다. 그리고, 측정대상물에 부착되는 거울은 측정범위가 커질수록 대면적을 요구하여, 질량의 증가로 인한 위치결정시스템의 성능 저하를 초래할 수 있다. 그리고 위치측정을 위한 광경로의 확보에 있어, 다자유도 측정의 경우, 그 경로가 복잡해지는 단점이 있다. 대부분의 광학요소가 고정밀도를 요구하기 때문에 간섭계의 가격이 높은 편이다. 따라서 본 논문에서는 평면 위치측정에 있어 레이저간섭계의 대안으로 현재까지 발표된 비접촉평면위치측정기구에 대한 논하고자 한다. 현재까지의 기술은 크게 레이저기반 광학기술과 영상처리기반의 기술로 나눌 수 있으며, 이 두 기술의 바탕으로 본 논문을 기술한다.

### 2. Optics 기반 평면위치측정시스템

#### 2.1 Angle based position detection

앞서의 레이저 간섭계의 단점을 극복하기 위해 sine wave 형태의 곡면 격자를 기반으로 하는 기술이 일본 Tohoku 대학 연구팀에서 제안되었다.[4] Fig. 1 에 그 원리를 보면, 2D angle grid 의 프로파일이 위치결정을 위한 스케일로 사용되어, 아래의 곡면식으로 가공된다.

$$h(x, y) = -A_x \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_x} x\right) - A_y \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_y} y\right) \quad (1)$$

이 때  $\lambda_x$  와  $\lambda_y$  는 각각 sine wave 의 X, Y 축으로의 피치를 나타내고, XY 평면측정에 있어 단위 마커로 작용한다.

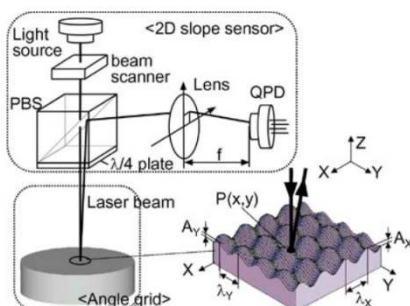


Fig. 1 Basic principle of the surface encoder

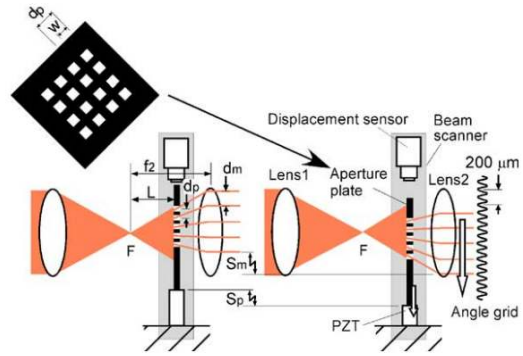


Fig. 2 Structure of beam scanner

레이저 다이오드에서 나온 빔은 PBS 와 1/4 λ 파장판을 통과하여 2D angle grid 에 반사되어 다시 1/4 λ 파장판을 통과하여 렌즈와 사분할 포토다이오드로 구성되는 auto-collimation 유닛이 angle grid 의 기울기값을 측정한다. 그리고 이 값을 이용하여, 식(2)를 이용하여 x 위치정보를 구한다. 그리고, y 위치정보도 동일하게 구할 수 있다.

$$m_x(x) = \frac{\partial h(x, y)}{\partial x} = \frac{2\pi A_x}{\lambda_x} \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda_x} x\right) \quad (2)$$

여기서,  $m_x(x)$  는 각각 포토다이오드로부터 읽어온 값이다. 한편 angle grid 의 두 점을 측정하여, z 축에 대한 회전값을 측정하기도 하였으며[5], Fig. 2 와 같은 빔스캐너의 적용을 통해, x 축과 y 축에 대한 회전측정을 추가하여 총 5 자유도 운동의 측정이 가능하게 되었다. 그리고 연구진은 개발한 센서를 평면형 위치결정기구에 적용하여 그 가능성을 증명하였다.[6] 실험을 통해 얻어진 최고 분해능은 동작 모드에 따라 달라지지만, 고속측정모드(2kHz)에서 병진운동에 대해 0.2 μm, z 축 회전에 대해 0.2"의 분해능을 보였고, 다자유도 측정모드에서는 병진운동에 대해 0.5 μm 와 x,y 축 회전에 대해서 0.5"와 z 축 회전에 대해 0.5"의 분해능을 보였다.

#### 2.2 plane grid based position detection

앞선 angle 기반의 측정에서는 angle grid 의 가공에 높은 정밀도와 고비용을 요구하기 때문에 이를 보완하기 위해 반명암사각격자(HSSP:Half-Shaded Square Pattern)를 이용하는 방식이 제안되었다.[7]

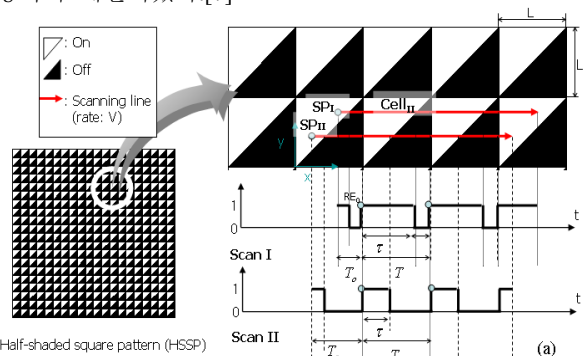


Fig. 3 Basic principle of HSSP based surface encoder

Fig.3 은 측정원리를 나타내는데, HSSP 격자는 한 번의 길이가 L 인 정사각형을 대각선으로 ON/OFF 로 분리한 격자로 연속적인 격자위로 등속의 스캐닝이 이루어질 경우, 수광부에서의 신호는 주기 T 를 가지는 펄스신호로 생성되는데, 이 때 스캐닝시작점의 x, y 의 위치변화에 따라 출력신호의 최초의 상승에지까지의 시간( $T_0$ )과 듀티 사이클이 변하는 것을 기반으로 평면위치정보를 추출한다. 따라서 한 셀 내에서의 위치정보는 아래의 식으로 구해진다.

$$\begin{aligned} x &= L - (T_0 \times V) \\ y &= L \times D \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, V 는 스캐닝속도, D 는 듀티사이클 ( $\tau/T$ ) 을 의미한다. 스캐닝 시작점이 다음 셀로 넘어갈 때는 일반 엔코더처럼 셀 이동시 발생하는 상승/하강에지를 카운팅하는 방법이 적용된다. HSSP 를 기반으로 한 방식은 현재까지 측정원리와 그 가능성에 대해서만 보고가 되었고, 측정자유도 확장과 분해능과 측정속도 향상에 관한 연구가 진행되고 있는 걸로 파악되고 있다.

### 3. Vision 기반 평면위치측정시스템

영상처리를 이용한 방식은 이진격자패턴(BGPI: Binary grid Pattern Image)을 기반으로 절대엔코더의 형식으로 회전변위를 측정하는 방식이 많이 연구되어 왔으며[8], 평면 위치 및 tilt 모션 측정을 위한 연구가 발표되었다[9]. Fig. 4 는 4bit 용 의사 랜덤 이진 시퀀스(PRBA: Pseudo Random Binary Array)를 위한 BGPI 로 2x2 크기 윈도우로 3x5 의 독립된 윈도우를 생성시켜, 15 가지의 평면위치정보를 얻을 수 있다. 그리고 영상처리기법을 도입하여 z 축 회전 측정의 가능성을 보였는데, 절대엔코더의 개념이 도입됨에 따라 측정영역이 넓어지면 PRBA 의 비트수 증가와 윈도우의 사이즈 증가가 발생하게 되고, 이는 곧 많은 용량의 영상 데이터를 처리해야하는 것을 의미하므로, 측정영역과 측정속도에서는 trade off 가 존재함을 확인할 수 있고, 또한 분해능측면에서도 BGPI 픽셀의 사이즈와 CCD 카메라의 픽셀 사이즈 및 개수와도 관계되어 측정에 있어 한계를 예측하고 있으며, 그 이후의 결과는 현재 발표되지 않고 있다.

또 다른 영상처리기반의 위치측정기술로는 광학마우스를 응용한 예가 있다.[10] 광학마우스의 구조와 원리를 Fig. 5 를 통해 설명할 수 있는데, 마우스에 장착된 LED 에 의해 발생된 빛은 렌즈를 통해 표면의 영상이미지를 CMOS 센서로 전달되는데, 이 때 CMOS 의 영상이미지는 초당 1500 번 업데이트가 되며, 각각의 영상이미지를 비교하여 위치의 변화를 측정한다. CMOS 는 보통 18x18 의 픽셀을 가지는데, 빠른 영상처리를 통해서, 5x5 윈도우를 채용하여, 현재 이미지와 전 이미지를 비교하여 위치정보를 펄스형태로 보내게 된다. 마우스의 출력값은 측정표면의 상태에 따라 변하기 때문에 이에 관한 연구가 진행되었으며, 분해능과 측정속도는 높지 않지만 저렴한 가격으로 위치측정이 가능함을 보였다. 그리고 회전 엔코더로의 적용과 진동을 측정을 위한 센서로도 적용 사례도 보고되었다[11].

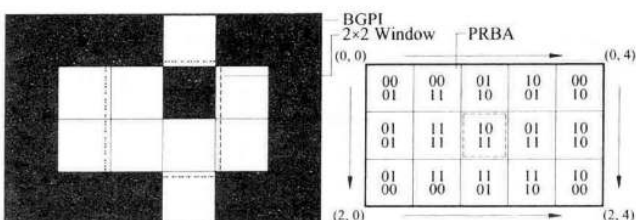


Fig. 4 BGPI for four bit PRBA and its match codes

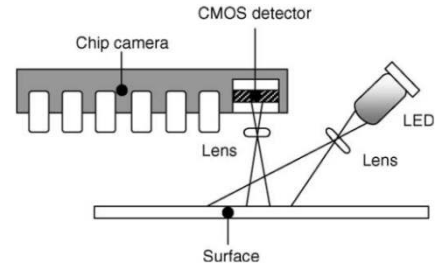


Fig. 5 Schematic description of the working components of mouse

### 4. 결론

본 논문에서는 평면위치측정에 있어 레이저 간섭계를 대체하기 위해 연구된 사례를 기술하였다. 보고된 기술들은 레이저광학을 기반과 영상처리기술을 기반으로 분류할 수 있었는데, 현재까지는 레이저광학 기반기술이 많은 연구가 진행되었고, 성능측면에서도 높은 우위에 있음을 확인할 수 있었다. 그러나, 광학기반기술이 경우 빔 스캐닝을 위한 스캐너의 적용이 필요한데, 이 스캐너는 빠른속도와 등속의 운동을 요구함에 따라 기계적인 스캐닝방식은 한계가 있을 것이라 사료된다. 반면, 영상처리기반의 경우 스캐닝의 작업은 필요가 없으나, 많은 용량의 데이터처리로 인해 측정속도의 한계를 나타내는 단점이 있다. 따라서, 이 두 기술을 적절히 조합하는 경우, 높은 분해능과 빠른 측정속도를 가지는 평면위치측정시스템의 개발이 가능할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- Kim, W.J. and Trumper, D.L., "High-precision magnetic levitation stage for photolithography," *Precis. Eng.* 22 (2), 66-77, 1998.
- Jung, K.S. and Baek, Y.S., "Precision stage using a non-contact planar actuator based on magnetic suspension technology," *Mechatronics* 13 (8/9), 981-999, 2003.
- 이상현, "Switched Reluctance 추진 원리에 기초한 자기 부상형 위치결정 기구", *대한기계학회논문집 A*, 30(6), 622-630, 2006.
- Kiyono, S., Cai, P. and Gao, W., "An angle-based position detection method for precision machines," *JSME Int. J.* 42 (1) 44-48, 1999.
- Gao, W., Dejima, S., Shimizu, Y., Kiyono, S. and Yoshikawa, H., "Precision Measurement of Two-Axis Positions and Tilt Motions Using a Surface Encoder," *Annals of the CIRP*, 52, 435-438, 2003.
- Gao, W., Dejima, S., and Kiyono, Y., "A dual-mode surface encoder for position measurement," *Sensors & Actuators A*, 117,95-102, 2005.
- Lee, S.H., Jung, K.S., Park, E.S. and Shim K.B., "Surface Encoder based on the Half-shaded Square Patterns(HSSP)," *Int'l J. of Preci. Eng. & Manuf.*, 9(3), 82-84, 2008.
- Garner, H., Klemmt, M. and Lee, K.M., "Design and analysis of an absolute non-contact orientation sensor for wrist motion control," *IEEE/ASME AIM'01 proceeding, Italy*, 69-74, 2001.
- 정광석, 정광호, 백운수, "이진 격자 패턴 이미지를 이용한 비접촉식 평면 구동기의 면내 위치(x, y, θ)측정방법," *한국 정밀공학회지*, 20(7), 120-127, 2003.
- Ng, T.W., "The optical mouse as a two-dimensional displacement sensor," *Sensors & Actuators A*, 107, 21-25, 2003.
- Ng, T.W. and Ang, K.T., "The optical mouse for vibratory motion sensing," *Sensors & Actuators A*, 116, 205-208, 2004.