

레퍼런스 패턴 기반 면내 위치 측정 방법

정 광 석*

한국교통대학교 기계공학과

Measuring Method of In-plane Position Based On Reference Pattern

Kwang Suk Jung*

Department of Mechanical Engineering, Korea National University of Transportation, Daehak-ro 50,

Chungju-si, Chungbuk 380-702, Korea

(Received 2012. 04. 12. / Accepted 2012. 05. 02.)

Abstract : Generally, in-plane position of moving object is measured referring to the reference pattern attached to the object. From optical camera to magnetic reluctance probe, there are many ways detecting a variation of the periodical pattern. In this paper, the various operating principles developed for in-plane positioning are reviewed and compared each other. And, a novel method measuring large rotation as well as x, y linear displacements is suggested, including a detailed description of the overall system layout. It is a modified version of the surface encoder, which is a robust digital measuring method. From the surface encoder, the rotation of an object is measured indirectly through a compensated input of optical servo and independently of linear displacements. So, the operating range can be extended simply by enlarging the reference pattern, without magnifying the decoding units.

Key words : In-plane position(면내 위치), Optical servo(광 서보), Planar stage(평면 스테이지), Reference-based measurement(레퍼런스 기반 측정), Surface encoder(서피스 엔코더)

1. 서론

평면 스테이지는 IC를 PCB에 실장하는 칩마운터를 포함하여 반도체 노광 공정을 위한 웨이퍼 스테퍼, 전자 현미경 등을 비롯한 각종 측정 장비, 그리고 박막 트랜지스터 평판 디스플레이(TFT-LCD) 등의 검사 장비에 필수적으로 이용되는 핵심 장비이다.^{1,2)} 또한 근자에 들어 12인치에 달하는 웨이퍼에 대응하기 위해 그리고 다면취 공법을 이용한 TFT-LCD의 제조 단가 인하를 위해 관련 업체들은 더욱 큰 작업 영역의 스테이지 개발에 전념하고 있으며 따라서 스테이지 구동량을 측정하여 위치 되먹임(feedback)하는 센서 역시 더욱 극한 상황의 성능을 요구받고 있다.³⁾

서피스 엔코딩은 2축 운동(x, y)과 가동부의 회전 운

동(Yaw motion)까지 측정이 가능한, 평면 스테이지 혹은 평면 구동 시스템의 면내 위치(in-plane position; x, y, Θ) 혹은 평면 운동량을 측정하는 방법이다. 특히 스테이지의 접촉 유무에 관계없이, 연결 메커니즘의 오차 누적없이 이동자의 면내 위치를 디지털 카운트 방식으로 측정할 수 있는 저가의 고속 측정 방법이다.^{3,4)} 본 논문에서는 면내 위치 측정을 위해 개발되어온 다양한 레퍼런스 기반 측정 방법을 리뷰하고 이축 선형 변위 측정에 추가하여 기존 서피스 엔코더의 난제인 대회전 측정이 동시에 가능한 방법론을 제안하고 그 작동 방법에 대해 논의한다.

2. 면내 위치 측정 방법론

평면 운동 시스템의 면내 위치를 측정하는 방법은 이동 개체와 연동하는 참조 패턴을 이용하는 간접적

*Corresponding author, E-mail: ksjung@ut.ac.kr.

인 방법이 가장 일반적이며 이외에 레이저 간섭계 등과 같이 패턴에 의존하는 대신 레이저 파장을 기준으로 변위를 환산하는 방법도 있다. 본 장에서는 패턴을 대상으로 변위를 추출해내는 방법론에 따라 대별될 수 있는 면내 위치 측정 방법론을 리뷰하고 그 문제점들을 논의한다.

우선, 적층 구조의 스테이지 위에 놓인 상판의 평면 운동량을 측정하는 레이저 간섭계의 레이아웃을 Fig. 1에 나타내었다.¹⁾ 패턴을 디코딩하는 방법이 아닌 상판 측면에 부착된 대면적 거울에 조사되는 레이저의 간섭을 이용하여 측정하는데 각각의 거울에 조사된 레이저 빔은 거울에 반사되어 각 축의 인터페로메터를 거쳐 방향 전환 거울과 빔 분할기를 통해 신호처리 장비로 입사된다. 따라서 스테이지 평판의 크기에 견줘 구성하는 광 부품의 실장 면적이 대단히 크고 따라서 시스템의 전체 구성이 대단히 벌크(bulk)해진다. 또한 레이저 간섭계는 그 구동원리 상 거울에 반사된 레이저 빔이 수광부로 입사되어야 하므로 어떤 일정 영역을 벗어난 광축의 편차는 허용되지 않으며 이는 회

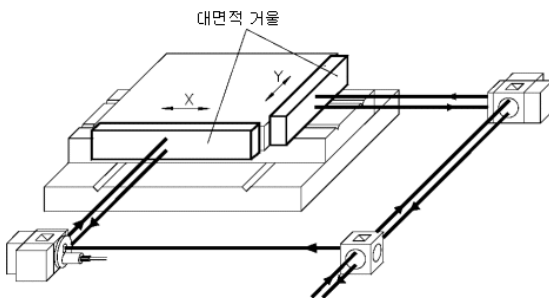


Fig. 1 레이저 간섭계를 이용한 스테이지의 변위 측정

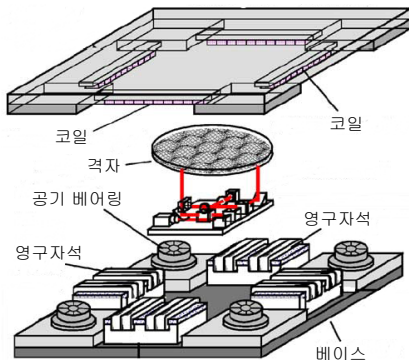


Fig. 2 엠보싱 2차원 격자 패턴을 이용한 서피스 인코딩 기법과 이를 이용한 초정밀 액추에이터

전 운동량의 측정 범위를 대단히 협소하게 만든다. 따라서 레이저 간섭계를 이용한 종래의 가장 일반적인 측정 방법은 x, y축 운동에 주안점을 두며 스테이지의 가동부가 부상되어 구동되는 완전한 자기 부상 스테이지 등에서는 상대적으로 큰 yaw 운동 때문에 적용하기 어렵다.

또한 레이저 간섭계는 적용하는 환경에 대한 제약이 대단히 크고 따라서 청정 시설을 구비하지 못한 일반 산업 현장에서의 적용은 불가하다.

이측 방향으로 엠보싱 형태의 프로파일 구조를 갖는 패턴을 이용하여 변위를 추출하는 서피스 엔코더라 명명되고 있는 면내 위치 측정 방법을 Fig. 2에 나타내었다.³⁾ 가동부의 위치 검출은 가동부 아래에 삼각함수 그리드 패턴으로 가공되어있는 사인파 표면 형상의 격자에 레이저 빔을 조사하고 광학 부품들을 통과하여 포토 디텍터로 수광한다. 수광된 신호를 처리하여 x, y축으로의 이동량을 얻어내며 이 때 미소한 회전 운동량 역시 검출이 가능하다. 이러한 서피스 엔코더의 타겟 패턴은 측정기의 반복 정밀도 및 분해능 결정에 대단히 지배적인 영향을 미치는 인자로서 Fig. 2의 경우 전방향으로 삼각 함수 형태의 곡선을 그리는 패턴이기 때문에 제작에 큰 어려움이 상존한다.

측정을 위한 참조 패턴을 별도로 두는 대신 구동을 위한 주기적인 패턴을 이용하는 것도 가능하다. Fig. 3은 스테퍼 형태의 소요모터를 나타내는데 두 개의 'ㄷ'자 전자석은 가동 볼록에 놓여있고 각각의 전자석 코일을 통해 전원을 인가하면 고정자 치형과의 자기 저항 변화를 이용하여 한 스텝씩 이동하는 센서가 필요없는 평면 스테퍼 모터를 나타낸다.^{5,6)} 이 시스템은 스텝 모터와 같이 되먹임 센서 없이 한 스텝, 한 스텝

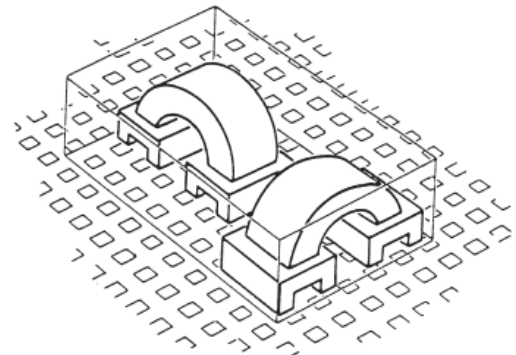


Fig. 3 구동 및 측정 패턴을 통합 구현한 소요모터

구동되는 시스템이며 정밀도는 치형(tooth) 하나의 가공 정밀도에 지배를 받는다. 따라서 개루프 제어가 가능한데 폐루프 제어를 위해 상하 치형간의 물성치 변화를 검출하여 변위를 측정하는 것이 가능하다. 고정자 치형과 이동자 치형 간에는 이동자의 횡변위에 따라 자기 저항과 정전 용량 등이 변화하며 이를 적당한 트랜스듀서를 이용하여 검출할 수 있다. 치형의 횡변위 함수로 이동자와 연동하는 광검출기를 이용하여 하단부 치형의 존재유무를 판단하여 이동량을 측정할 수도 있다. 이러한 방법은 모두 별도의 구조 변경 없이 소모모터의 치형을 이용하는 방법인데 치형의 회전 운동시에는 이러한 상관관계가 강한 비선형성을 띠며 따라서 회전량 검출에는 물리적 한계와 함께 영역 제한이 존재한다.

가동부 상단의 이진격자패턴과 CCD 카메라를 이용한 평면 변위 측정 방법을 Fig. 4에 나타내었다.⁷⁾ 평면 스테이지 상단이 이동해감에 따라 CCD 카메라에 맺히는 이진 격자 패턴의 영상이 달라지며 획득한 영상을 디코딩하여 변위로 환산하는 개념이다. 이진 격자

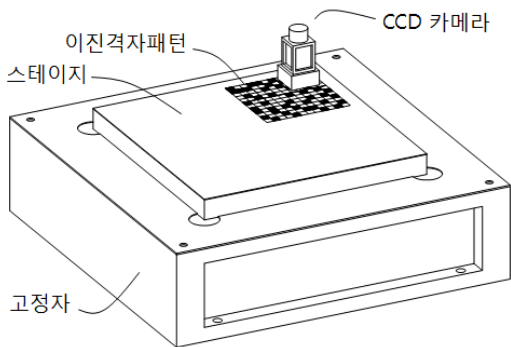


Fig. 4 이진격자패턴에 기반한 CCD 영상을 이용한 면 내 위치 검출 방법

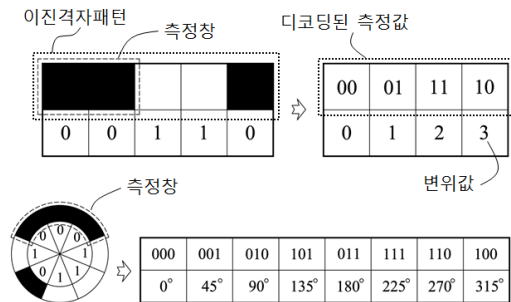


Fig. 5 영상기반 위치 검출법에 적용된 디코딩 방법

의 일차원 선형 패턴과 회전 패턴을 기반으로 변위 정보를 디코딩하여 추출하는 개념을 Fig. 5에 나타내었다. 패턴을 대상으로 CCD에 맺히는 측정 창을 그림에서와 같이 제한하면 그 때의 영상 정보는 패턴의 이진 값(0 또는 1)을 조합하여 결정되는 우측 그림 상단의 디코딩된 값으로 결정되며 그 때의 변위 값은 이러한 디코딩 값을 기초로 결정된다. 따라서 이러한 이진 패턴을 반복하거나 격자의 비트 수를 확장하면 큰 영역의 선형 변위 추출이 가능하다. 마찬가지로 회전 이진 격자패턴은 원주 방향으로 주기성을 갖는데 측정 창을 그림에서와 같이 하면 디코딩 값은 하단부와 같이 결정할 수 있으며 해당하는 회전 각 정보가 표로 제시되어있다. 따라서 선형 이진 격자 패턴과 회전 격자패턴을 단일 패턴으로 통합해야 선형 변위와 회전 변위의 통합 측정이 가능하다. 그러나 통합된 패턴 구현이 불가능하기 때문에 선형 패턴을 기준으로 단위 셀 간의 경사각 연산을 통해 부분적으로 각 변위를 환산하여 측정한다.

서로 직교하는 격자 패턴을 대상으로 광 검출 방식을 이용하여 평면 변위를 디지털 방식으로 카운트하는 상용화된 서피스 엔코더를 Fig. 6에 나타내었다. x축에 나란한 패턴을 사이에 두고 y축에 나란한 패턴들이 좌우에 배치되어있는 구조인데 좌우 두 지점의 광 검출을 통해 회전량 검출이 가능하다. 그러나 각 유닛의 검출량은 패턴을 구성하는 라인의 ON, OFF 카운트 값이며 따라서 회전량 역시 이러한 카운트 값의 변화에 의존한다. 따라서 카운트 값의 증분량과 그 때의 회전 각도 변화 사이에 선형성이 담보되지 않는데 즉, 회전 변화량이 카운트의 시작점에 따라 동일한 카운트 증분에 대해 다른 결과를 낼 수 있다. 또한 회전량이 커질수록 이 때 필요한 검출량의 변화는 더욱 큰 값

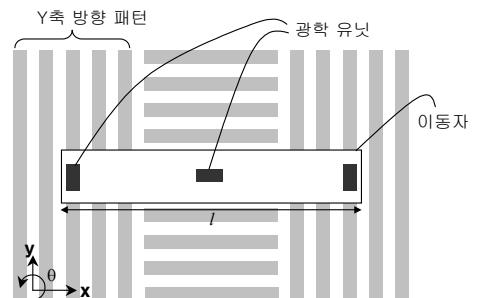


Fig. 6 독립된 복수개의 측정 유닛으로 구성된 상용화된 서피스 엔코더의 개념도

이 요구되므로 이동자의 회전에 필요한 균등한 회전 검출이 불가능한 구조이다.

3. 회전 서보를 내장한 서피스 엔코더

전장에서 논의된 바와 같이 기존 레이저 간섭계 등의 복잡한 광학 메커니즘과 레이저 간섭계를 포함하여 개발된 평면 변위 측정 시스템에 내재되어있는 회전량 측정 한계와 격자 패턴의 직선 운동량을 회전각으로 전환/연산하여 야기되는 회전 변위량의 불균일성 문제를 극복하기 위해 새로운 방식의 x, y, θ 측정을 위한 서피스 엔코더를 제안한다. 본 장에서 시스템의 작동 방법과 이를 디코딩하기 위한 광학계에 대해 논의한다.

3.1 시스템 구성과 작동 원리

이동자의 회전 운동에 따라 야기되는 멀티 스폿 레이저 빔의 비동기화를 보상하기 위해 레이저 광학 유닛을 별도의 모터에 의해 회전시키고 이때 보상된 회전각을 측정하여 3축 평면 위치를 측정하는 새로운 방식의 면내 위치 측정용 엔코더의 개념도를 Fig. 7에 나타내었다.⁸⁾ 고정단 위에 x축과 나란한 격자 패턴, 그리고 y축과 나란한 패턴이 놓여있고 패턴에 조사되는 레이저 빔을 수광하는 광학 유닛과 이를 지지하는 원판형 서포트 유닛이 있고 서포트 유닛을 회전 구동시키는 모터와 원판 서포트 유닛의 회전량을 측정하는 센서가 놓여있다. 평면 시스템이 구동될 때 레이저 빔이 각각 x, y축과 나란한 패턴에 반사되어 광학 유닛에 수광되어 카운트되는 양에 의해 변위량을 측정할 수 있는데, 이때 선형 운동과 함께 이동자가 회전할 경우에는 카운트 되는 빔들을 동기화시키기 위해 즉, 원판의

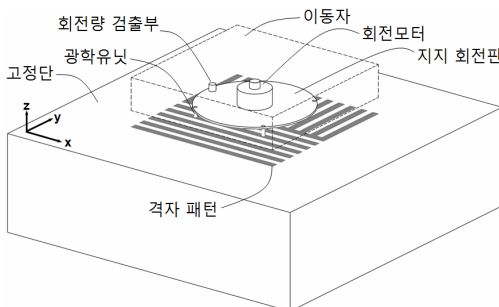


Fig. 7 회전 서보에 의해 회전각 측정이 가능한 서피스 엔코더의 시스템 레이아웃

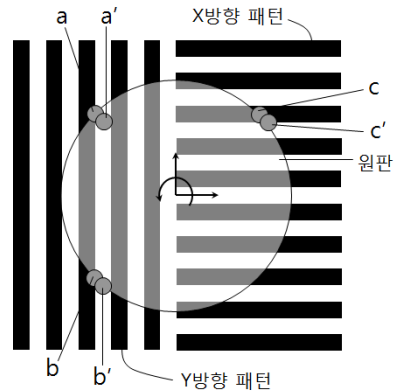


Fig. 8 격자패턴 형상과 면내 위치 측정 원리

광학 유닛을 패턴에 정렬시키기 위해 회전 모터가 제어된다. 따라서 모터 회전을 통해 보상되는 회전각을 측정하면 원판 측정각은 이동자의 회전각이 된다. 이를 통해 3축의 면내 위치 통합 측정이 가능하다.

제안된 시스템의 격자 패턴은 Fig. 8에서와 같이 이축 방향으로 정렬된 패턴의 조합으로 구성된다. 패턴 위에서 원판이 x축 방향으로 이동될 때 하나의 패턴을 지날 때마다 레이저 빔 a, b의 위상이 바뀐다. 따라서 빔의 위상 변화를 카운트 하면 x축 이동 변위를 측정할 수 있다. 따라서 x축 이동량의 최소 측정값은 패턴 하나의 주기에 해당됨을 알 수 있다. 특히 x축 방향으

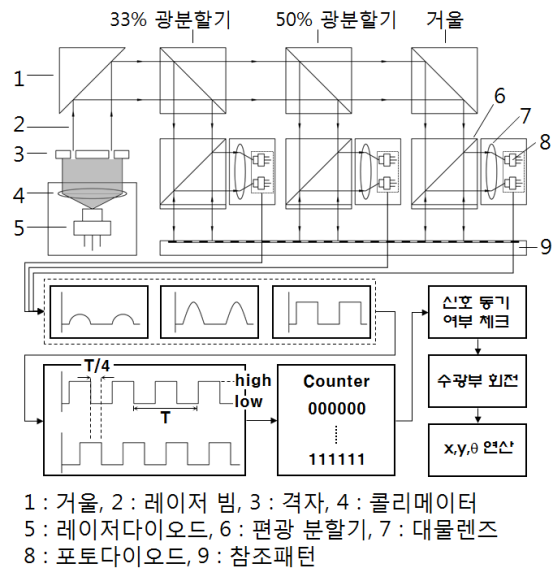


Fig. 9 다축 인코딩을 위한 광학계 구성과 신호 흐름

로의 이동시에 y축 변위 측정을 위한 레이저 빔 c와 x축 방향 패턴간에 상대 변화가 없으며 역으로 y방향 이동시에도 x축 측정을 위한 레이저 빔 a, b에 변화가 없기 때문에 두 축 운동 사이에 연성이 존재하지 않는다. 레이저 빔 외의 듀얼 스폿 빔 a'은 +, - 방향을 판별하기 위한 것이며 이는 기존 엔코더에서 A, B상의 존재 이유와 동일하다. 마찬가지로 각 빔의 좌우 또는 상하 방향 설정을 위해 b', c'이 존재한다.

3.2 인코딩 광학계 및 디코딩 유닛 구성

면내 위치 측정을 위한 레이저 광학 유닛의 구성과 디지털 디코딩을 위한 신호처리 방법을 Fig. 9에 나타내었다. 레이저 다이오드를 통해 발진된 레이저 빔을 콜리메이터 렌즈를 통해 평행광으로 집광시키고, 멀리 스폿 듀얼 빔으로 전환시키기 위해 격자를 통과시킨 후 생성된 두 빔은 전반사 거울을 통해 90도 방향 전환되고 세 개의 동일한 광량으로 분리시키기 위해 33% 빔 스플리터에서 1/3 광량을 아래로, 2/3 광량은 우측으로 그리고 우측으로 가는 빔을 50% 빔 스플리터를 통과시키면 1/2 광량은 아래로, 그리고 1/2 광량은 우측으로 가는데 50% 빔 스플리터를 통과하여 우측으로 가는 빔은 전반사 거울을 통해 격자 패턴 쪽으로 방향 전환을 한다. 따라서 격자 패턴으로 조사되는 광은 모두 동일한 강도를 갖게 된다. 빔 스플리터, 전반사 거울을 통과하여 격자 패턴으로 조사되는 광들은 각각의 편광 빔 스플리터를 통과하여 포토다이오드에 수광된다. 수광된 신호는 스테이지의 이동에 따라 정현파 형태를 띠는데, 디코딩 처리를 위해 5V 수준까지 증폭시킨 후 디지털 신호 카운트를 위해 슈미트리거 회로를 통과한 후 펄스 형태로 전환시킨다. 포토다이오드에 의해 생성된 펄스열은 위상차가 90도이며 일반적인 엔코더 펄스 카운트 방법을 이용하여 카운트하게 된다. 이때 각각의 포토다이오드 유닛간에 동기 여부를 체크하여 비동기 신호가 발생하면, 이동자는 회전하고 있는 것을 의미하기 때문에 펄스열을 패턴에 정렬시키기 위해 이동자 하단의 서포트 유닛을 회전시키고 이 때의 회전각을 측정하여 이동자의 회전각으로 치환할 수 있다.

실제 신호 추출을 위한 신호 흐름 선도를 Fig. 10에 나타내었다. 스테이지의 목표 변위가 주어지면 이동자가 구동되고 이동자 하단의 레이저 광학 유닛에 의해 격자 패턴 위의 광 위상 변화량이 포토다이오드로

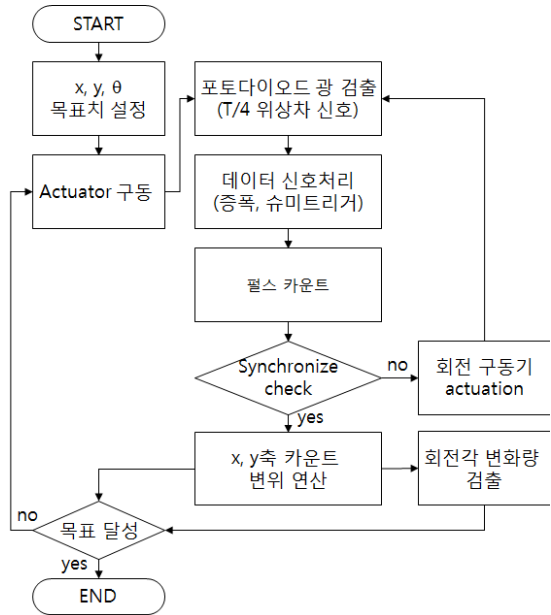


Fig. 10 디코딩 신호 추출을 위한 신호 흐름 선도

측정된다. 이러한 수광 신호는 증폭기와슈미트리거 회로를 통해 펄스 형태로 변환되며 90도 위상이 다른 듀얼 레이저 스폿 신호는 일반적인 엔코더 신호 카운트법을 이용하여 카운트 된다. 이때 레이저 빔들간에 비동기 특성이 발생하면 이동자 하단의 서포트 유닛이 회전하여 레이저 광학 유닛의 레이저 빔을 패턴에 정렬시킨다. 이러한 방법으로 3축 변위 정보가 측정되며 이러한 신호는 목표 값과의 비교를 통해 제어기로 되먹임된다.

4. 결론

본 논문에서는 대면적 구동용 2축 평면 스테이지 혹은 공기 또는 자기력에 의해 부상되어 공간상에서 구동되는 평면 스테이지의 평면 이동량, 즉 면내 위치 검출을 스테이지와 연동하는 격자패턴을 대상으로 다중 광학 유닛에 의해 수행하는 새로운 방식의 서피스 엔코더를 제시하였다. 특히 회전 서보 모터와의 조합을 통해 선형 변위뿐만 아니라 회전 변위까지 측정 가능한 강건한 디지털 측정 방식인데 기존 레이저 간섭계 등에서 한계로 제시되어왔던 주변 환경에의 제약 등에 구애받지 않고 대회전 각을 직선 변위 측정 정밀도 수준으로 통합해서 측정할 수 있는, 고가의 서보 장비를 대체하는데 그 의의가 있다.

2축 스테이지의 종단 추적을 위해 각 축 서보로 기본

장착되는 리니어 스케일 등에 추가하여 레이저 포인팅 기구의 측정 장비가 이중으로 구성되어 복잡한 제어 루프를 구성하는데 제안된 측정 방법에서와 같이 평면 변위량을 고정단을 기준으로 간략하게 측정할 수 있으므로 기존 측정 모드를 대단히 간소하게 꾸밀 수 있다는 장점이 있다. 특히 기존 서피스 엔코더의 최소 회전각의 불균일성 그리고 회전각 측정 영역의 제한을 극복할 수 있으므로 서피스 인코더의 조기 상용화가 가능할 것으로 판단된다.

References

- 1) M. Holmes, R. Hocken, and D. Trumper, "The long-range scanning stage : A novel platform for scanned-probe microscopy", Precision engineering, Vol. 24, No. 3, pp. 191-209, 2000.
- 2) K. S. Jung and S. H. Lee, "Contact-free planar stage using linear induction principle", Mechatronics, Vol. 20, pp. 518-526, 2010.
- 3) W. Gao, S. Dejima, H. Yanai, K. Katakura, S. Kiyono, and Y. Tomita, "A surface motor- driven planar motion stage integrated with an XY \ominus z surface encoder for precision positioning", Precision Engineering, Vol. 28, No. 3, pp. 329-337, 2004.
- 4) S. H. Lee, K. S. Jung, E. S. Park, and K. B. Shim, "Surface encoder based on the half-shaded square patterns", Int. J. of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 9, No. 3, pp. 82-84, 2008.
- 5) Z. Butler, A. Rizzi, R. Hollis, "Integrated precision 3-DOF position sensor for planar linear motor", IEEE Proc. Int. Conf. on Robotics & Automation, pp. 3109-3114, 1998.
- 6) G. Fries, A. Rizzi, R. Hollis, "Fluorescent dye based optical position sensing for planar linear motors", IEEE Proc. Int. Conf. on Robotics & Automation, pp. 1614-1619, 1999.
- 7) K. S. Jung and K. H. Jeong, and Y. S. Baek, "A novel measuring method of in-plane position of contact-free planar actuator using binary grid pattern image", J. of Korean Society of Precision Engineering, Vol. 20, No. 7, pp. 120-127, 2003.
- 8) K. S. Jung and S. H. Lee, "Surface encoder capable of measuring rotation and its measuring method", Korea patent 10-0760951, 2007.