

고속 고정도 자동정렬장치에 관한 연구

A study on High Speed, High Precision Auto-alignment System

박대현, 이성훈*, 전경한*, 김가규*, 최봉열**, 이연정**, 이승하**

*경북대학교 대학원 전자공학과

(Tel:+82-53-950-6553; Fax:+82-53-950-6553; E-mail:genius@HakunaMatata.kyungpook.ac.kr)

**경북대학교 전자전기공학부

(Tel:+82-53-950-6553; Fax:+82-53-950-6553; E-mail:ctrl@ee.kyungpook.ac.kr)

Abstracts A recent development in the Flat Panel Display(FPD) industry requires an auto-alignment system which is operated in high speed and high precision. In the FPD production process, aligning photo-mask with respect to guide mark printed in the glass should be accomplished in the accuracy of sub-micron order. So the system has high bandwidth and needs a dedicated control system which is fast and robust enough to control linear motors in precise manner. Proposed auto-alignment system structure in this presentation which consists of the master controller board, the DSP position controller board which controls 3 axis precision linear motors, the servo system and the man machine interface software. Designed and tuned under repeated experiments, the proposed system showed a reasonable performance in the aspect of rise time and steady state error.

Keywords Auto-alignment, Position controller, Man Machine interface, Vision

1. 서론

최근 들어 전자 산업계를 비롯한 모든 산업계에서 생산되는 제품들이 경량화, 소형화되고 소비자의 욕구 또한 날로 다양해지고 있다. 특히 노트북 컴퓨터, 소형 TV, 캠코더용 뷰파인더(view finder), 휴대용 개인정보단말기(Personal Digital Assistant:PDA)등은 인간의 시각을 자극하며 기술 발전을 거듭하고 있어 점차 경량화, 평판화된 표시기를 요구하고 있다. 그러나 종래의 대표적인 표시기인 CRT는 주사선이 늘어남에 따라 그 부피가 커져 이러한 요구를 만족시킬 수 없으므로 대체 표시기로서 평판 표시기(Flat Panel Display:FPD)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 평판 표시기들에는 액정 표시기(Liquid Crystal Display:LCD), 발광다이오드 표시기(Light Emitting Diode Display), 전장발광형 표시기(Electroluminescent display:ELD), 플라즈마 표시기(Plasma Display Panel:PDP) 등이 있는데 이들 중 LCD와 PDP 분야에 투자가 확대되고 있다.

그러나 정밀한 반도체 제작산업과 유사한 FPD 제조산업에 있어 수익 내지 수십억원대의 고가 장비의 대부분을 수입에 의존하고 있고 장비의 제어분야에서도 자체기술이 확보되지 못한 채 선진국의 장비제어용 범용 소프트웨어를 도입하여 운용하고 있는 실정이다. 이와 같은 FPD 생산장비의 자동화에 있어 가장 중요한 설비중의 하나는 고정도화, 극세화된 평판의 자동정렬장치라 할 수 있다.

FPD의 color filter 제조용 노광기의 경우 포토 마스크와 글라스를 정밀하게 sub-micron정도의 정밀도로 정렬시킨 후 노광시키는 공정이 필요한데 이 경우 비전 시스템을 이용하여 마스크와 글라스에 마킹되어 있는 마크를 상호 일치시킴으로서 정렬하는데 사용할 수 있다. LCD 제조공정의 경우 상판과 하판의 글라스로 작업하면서 상판과 하판을 결합시키는 assembly machine에도 마이크론 정도의 정밀도가 요구된다. 또한 PDP 제조공정의 경우 격벽 형성과 같은 후막 형성 기술에 있어서 프린팅, 노광, 전극 형성을 위해서 정렬기술이 필수적이다. FPD 뿐만 아니라 반도체 웨이퍼와 마스크의 정렬공정[6]에서도 필수적인

기술이라고 할 수 있겠다. 이와 같은 자동정렬장치는 FPD 평판이나 반도체 칩이 고정도화 미세화 되어감에 따라 높은 정밀도를 요구하며 대량생산을 위해서 고속 정렬이 가능해야 한다.

정렬작업에 요구되는 정밀도가 sub-micron 단위의 고정도이므로 고정도의 하드웨어(위치 제어기, 서보 시스템, 비전 시스템)와 고도로 튜닝된 견실한 서보 알고리즘이 필요하게 된다. 이를 위해 본 논문에서는 정렬장치의 관리 감독을 위해 마스터 보드를 두고 고해상도의 카메라를 사용하여 획득한 정렬마크의 영상을 data acquisition board로 처리한 다음 위치 편차를 계산한 후 계산된 위치 편차를 위치 제어기에 전달하여 서보 시스템을 구동하는 구조를 기반으로 전체 시스템을 설계 제작하고자 한다.

2절에서는 제안된 자동정렬장치의 전체 시스템 구성을 기술하고 3절에서는 서보 알고리즘을 설명하여 모터를 직접 구동하는 DSP 3축 위치 제어기를 설명하며 4절에서는 3축 위치 제어기에서 실행되는 소프트웨어를 다루고 5절에서는 사용자와의 인터페이스를 실현하는 MMI를 기술하며 6절에서는 설계된 시스템의 통합 실험결과를 제시하고 7절에서 결론을 맺는다.

2. 자동정렬장치 시스템의 구성

제안하는 고속 고정도 자동정렬장치는 3축의 XYθ table을 실시간으로 구동하는 고속의 3축위치 제어기, FPD평판과 마스크의 정렬상태의 영상을 카메라를 통해 얻는 data acquisition board, 그리고 모터의 현재 상태와 비전 시스템으로부터 얻은 영상을 표시하고 적절한 명령 지시를 받는 MMI를 실행하는 마스터 보드로 구성하고 이러한 각 모듈들은 VME bus[4][5]로 연결하여 물리적인 견실성을 확보하고 차후에 확장이 용이하도록 한다. 다음은 고속 고정도 자동정렬장치에 사용되는 주요 재원이다.

- 마스터 보드
 - Pentium 133MHz CPU
 - Windows NT operating system
- 3축 위치 제어기
 - TMS320C30 CPU
 - 12bit DAC

○ 서보 시스템:

- Torque servo drive
- Air bearing XYθ stage
- BLDC linear Motor
- Linear optical encoder(0.01μm/pulse)

정렬장치에 사용된 XYθ stage는 Air bearing을 사용하여 마찰이 거의 없고 모터의 위치를 감지하는 encoder는 1pulse당 0.01μm의 고해상도를 가지는 optical encoder를 사용하였으므로 고정도의 제어가 가능하다.

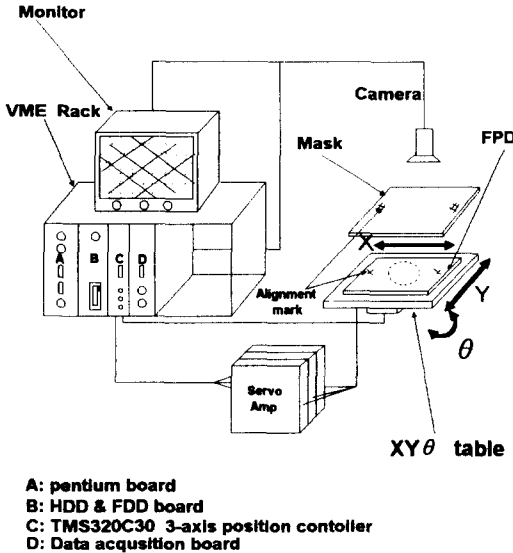


그림 1. 자동정렬장치의 구성

Fig. 1. The configuration of auto-alignment system.

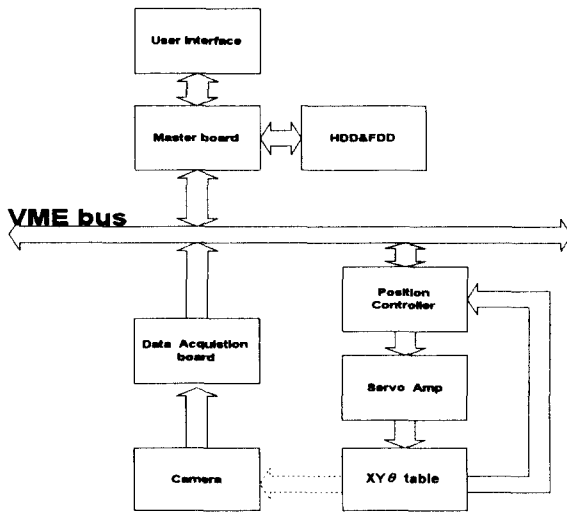


그림 2. 자동정렬장치의 블록도

Fig. 2. The block diagram of auto-alignment system.

정렬작업을 수행하기 위해 사용자(혹은 프로그램)가 정렬 명령을 내리면 마스터 보드는 기준 정렬위치를 3축 위치 제어기에 전달하고 이에 응답하여 제어기는 기준위치에 모터를 위치시킨다. 비전 시스템은 FPD와 마스크의 정렬상태를 영상으로 획득하여 이를 적절한 알고리즘으로 오차를 계산한 후 위치 제어기에 넘겨주면 위치 제어기는 미세 조정을 하여 FPD를 정확히 정

렬시킨다. 여기에서 각 모듈사이의 데이터 전송은 VME bus를 통하여 이루어진다.

3. DSP 3축 위치제어부

위치 제어기는 3개(X,Y,θ)의 linear BLDC motor로 구성된 XYθ table을 적절한 제어 알고리즘을 통해 직접 구동하고 모터의 상태를 온라인으로 점검하여 마스터 보드로 데이터를 전달하는 등의 작업을 실시간으로 처리하여야 하므로 고속의 마이크로세서가 필요하다. 본 논문에서는 이를 위해 주 프로세서로 33.3MFLOPS, 16.7MIPS의 처리속도를 가지는 TI사의 TMS320C30 DSP[1]를 사용한다.

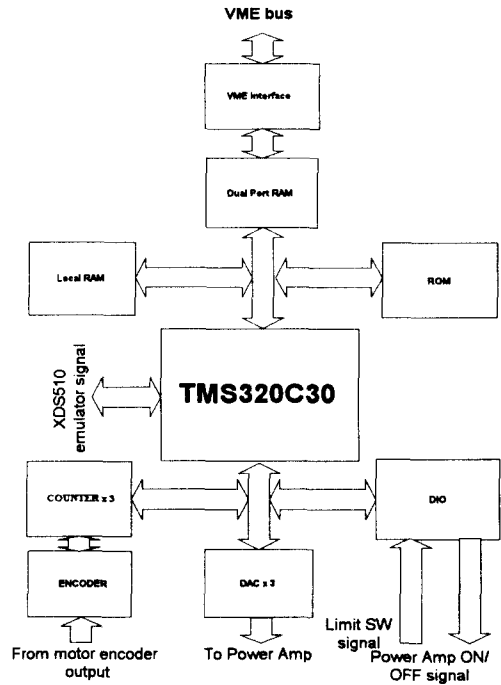


그림 3. 3축 DSP 위치 제어기

Fig. 3. DSP position controller for 3-axis

그림3에서 TMS320C30은 마스터 보드로부터 전달받은 기준위치로 XYθ table을 정렬하기 위해 현재 모터의 위치에 해당하는 모터의 encoder 출력을 카운터로 계수하고 이 카운터 값을 읽어 들여 위치 정보를 피드백한다. 이렇게 피드백된 정보를 기초로 모터에 인가될 제어입력을 제어 알고리즘을 통해 계산한 후 D/A 변환기를 통해 출력하여 서보 드라이브[2]에 인가하면 서보 드라이브는 그에 해당하는 전류를 모터에 인가하여 모터를 구동한다. 그리고 마스터나 비전 시스템과의 데이터 교환을 위해 dual port RAM을 공용 메모리로 사용한다.

4. 제어기 소프트웨어

정렬작업을 수행하기 위해서 시스템의 전원을 켜면 모터의 원점위치(Home position)를 설정하는 작업을 하게 된다. 이것은 제어기의 ROM에 구현된 속도 제어루틴에 의해 수행되게 된다. 그 이후에 TMS320C30은 현재 위치를 서보 알고리즘에 의해 원점 위치를 서보하고 있다가 마스터에서 내린 명령에 따라 일련의 작업을 수행하게 된다. 즉 이동, 미세조정, 환경설정(이동 속도, 가속도 설정), 정지, 원점 복귀, 서보 드라이브 ON/OFF 등의 명령을 수행하여 원하는 작업을 행할 수 있다.

제어기 소프트웨어는 디지털 제어에서 사용되는 일정한 샘플

링 주기생성을 위해 TMS320C30에 내장된 2개의 타이머를 사용하며 타이머0은 위치 제어 루틴과 마스터 보드와의 통신을 위해 사용하고 타이머0은 기동된 후 home 위치를 결정하기 위한 속도 제어 루틴을 위해 사용한다.

시스템을 기동하면 먼저 여러 하드웨어에 관련된 파라미터를 초기화한 후 타이머0 인터럽트를 사용하여 home 위치를 결정하면 타이머1 인터럽트를 enable하고 무한루핑을 하면서 위치 제어 루틴과 마스터 보드로 부터 받은 여러 명령을 수행하게 된다. 타이머1 인터럽트 주기가 제어기의 샘플링 주기가 되며 한 샘플링 주기동안 타이머1 interrupt service routine(ISR)을 종료할 수 있어야 한다. 참고로 본 연구에서는 0.5ms의 샘플링 주기를 사용하였다. 그림4에서 타이머1 인터럽트가 걸리면 먼저 서보 알고리즘을 사용하여 제어 입력을 계산한 후 DAC에 출력하고 마스터에서 넘겨준 명령을 해독하여 속도 프로파일에 따른 위치 프로파일을 생성하고 작업의 종료여부를 판별하여 타이머1 ISR에서 탈출한 후 다음 타이머1 인터럽트를 기다린다.

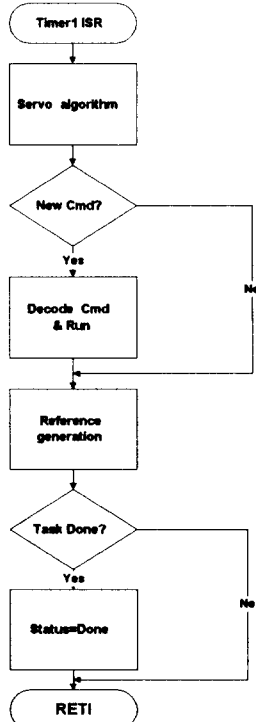


그림 4. 타이머1 ISR 흐름도
Fig. 4. Timer1 ISR.

원하는 속도로 XYθ table을 이동하기 위해서 속도 프로파일을 생성하는 것이 필요한데 본 연구에서는 다음그림5와 같은 사다리꼴 모양의 프로파일을 사용한다. 즉 t1시간동안 가속하고 t2시간까지 등속으로 유지한 후 감속하는 형태이다. 만약 주어진 기준 속도(v)와 가속도(v/t1)로는 사다리꼴 모양을 만들 수 없을 때는 삼각형 모양의 프로파일을 사용한다.

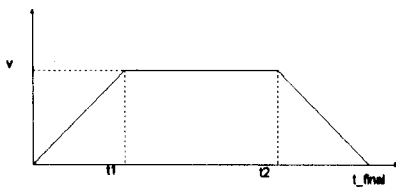


그림 5. 속도 프로파일
Fig. 5. Velocity Profile.

5. Man Machine Interface(MMI)

MMI는 Windows NT 환경에서 Visual C++[3]로 구현하였으며 사용자가 정렬장치를 구동하기 위해 명령을 주고 현재 정렬 장치의 상태를 모니터하기 위한 하나의 그래픽 사용자 환경(Graphic user interface)이다. 그림6에서 앞면에 있는 윈도우가 이동, 미세조정, 서보 드라이브 ON/OFF, 정지, 원점 복귀, 환경 설정 등의 명령을 수행하고 인터프리터가 내장되어 있어서 원하는 작업을 프로그래밍할 수도 있다. 그리고 그림6에서 뒷면에 있는 윈도우는 모터의 현재상태를 모니터하는 부분으로 속도 와 위치 프로파일, 위치오차등을 온라인으로 관찰할 수 있게 프로그래밍 하였다.

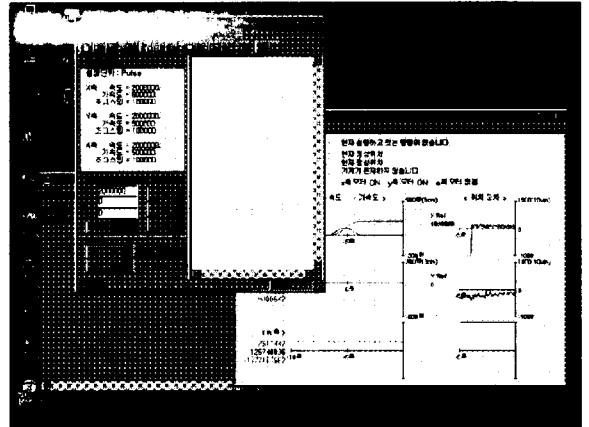


그림 6. MMI 프로그램
Fig. 6. MMI program.

6. 실험결과

XYθ table을 구동하기 위한 서보 알고리즘은 PID제어를 사용한다. 다음 그림들은 기준 위치가 원점을 기준으로 1mm일 때 위치 추적과 오차를 각 축에 대하여 나타낸 것이다.

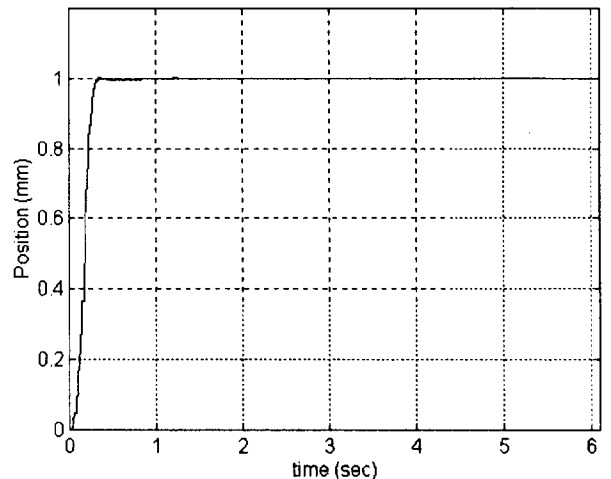


그림 7. 위치의 시간 응답 (X축)
Fig. 7. Time response of position (X axis).

7. 결론 및 추후과제

본 논문에서는 고속 고정도 자동정렬을 위해 관리제어부, 위치제어부, 비전부를 포함한 전체 시스템의 구조를 설계하였고 DSP 칩을 이용하여 위치제어기를 직접 제작하였다. 그리고 오퍼레이터와의 인터페이스와 전체 시스템의 모니터링을 위한 MMI 프로그램을 작성하여 설치된 실험 환경에 적용하였다.

실험 환경은 XYθ table을 비롯하여 서보 드라이브, VME 버스, 등으로 최대한 설계된 전체 시스템에 일치하도록 구성하였으며 고속 고정도의 동작에 적합하고 호환성과 안정성이 뛰어난 시스템을 활용하였다. 서보 시스템의 모델링과 모의실험을 통해 제어기의 파라미터를 설정하고 반복 실험에 의해 최적의 성능을 가지도록 조정 설정한 제어기를 적용하였다. 이 과정에서 정렬 장치 모터의 비선형성에 의해 위치에 따른 동작이 약간의 상이한 결과를 나타내는 문제점을 발견하였으며 이 부분의 보완이 필요하다. 이를 위해 카메라로부터 얻어진 정렬상태에 대한 영상 정보를 처리하여 유효한 정보를 추출하기 위해 고해상도의 카메라 시스템, image grabber 제작과 영상처리 알고리즘, 고정밀 XY 위치 오차 및 회전각도 오차 측정 알고리즘을 연구하고자 한다.

참고문헌

- [1]. *TMS320C3x User's Guide*, Texas Instrument, 1994.
- [2]. *TQ10 Torque Servo Drive User Guide*, Compumotor, 1996.
- [3]. *The Six-Volume Documentation Collection for Microsoft Visual C++ Version 2.0 for Win32*, Microsoft Corp. 1995.
- [4]. "고속 다기능 버스를 제공하는 VME 버스 시스템," *월간 전자과학*, 제29권, 제335호, pp. 134-163, 1987.
- [5]. "VME 버스 시스템 설계 시리즈(2) 메모리 보드의 설계," *월간 전자과학*, 제29권, 제338호, pp. 172-189, 1987.
- [6]. "반도체웨이퍼 처리공정 마스크 맞춤 기술," *월간 자동화기술*, 제12권, 제12호, pp. 137-144, 1996.

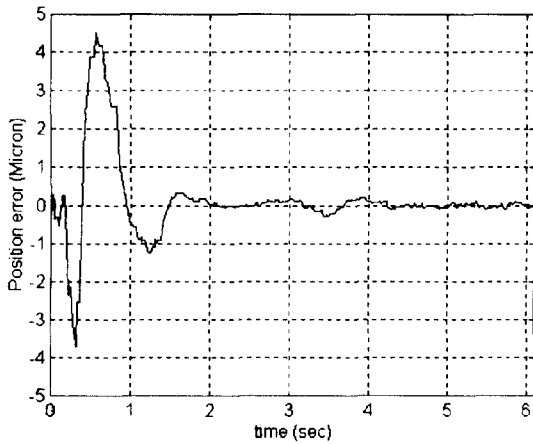


그림 8. 위치오차의 시간응답 (X축)

Fig. 8. Time response of position error (X axis).

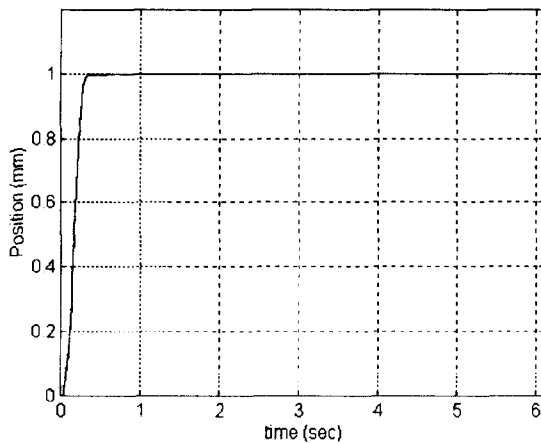


그림 9. 위치의 시간응답 (Y축)

Fig. 9. Time response of position (Y axis).

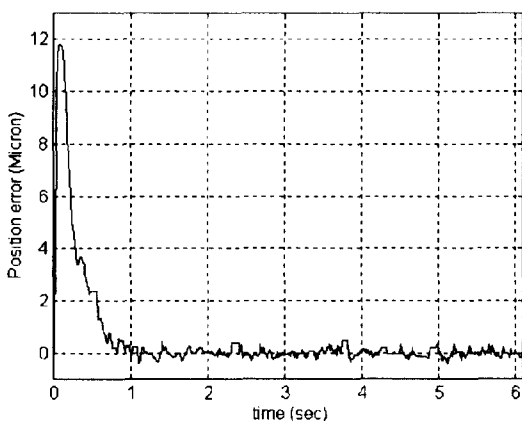


그림 10. 위치오차의 시간응답 (Y축)

Fig. 10. Time response of position error (Y axis).

본 연구에서 목표로 한 정렬 시간은 10초 이내, 정밀도는 $3\mu\text{m}$ 정도이다. 위의 실험 결과를 보면 정상 상태에서 위치 오차가 최대 $0.3\mu\text{m}$ 정도인 것을 알 수 있다. 정렬시간은 주로 기준 속도와 가속도에 의해 결정되는데 실험결과에서 충분히 빠르게 정상상태에 도달함을 알 수 있다.