

나노 임프린트 장비를 위한 비전 시스템의 미세진동 원인 분석

Micro-Vibration analysis of Vision System for Nano Imprint Machine

이재우† · 정재일* · 임홍재**

Jae Woo Lee, Jay Jeong and Hong Jae Yim

1. 서 론

대면적화, 경량화, 고화질화, 저가화를 지향하는 디스플레이 기술과 나노 기술의 목표를 달성하기 위한 방법 중 한 가지로서 나노 임프린트 장비가 있다. 나노 임프린트 장비는 나노 형상의 제품을 제작하는데 종이 위에 도장을 찍는 것과 유사한 방법을 사용한다. 단단한 금형(mold) 표면에 나노 구조물을 새기고 상대적으로 강도가 약한 물질의 표면에 눌러 나노 구조물을 반복적으로 복사하는 공정을 수행하는 것이다. 이러한 나노 임프린트 공정을 수행하기 위해서는 정렬시스템, 진동절연, 고정밀 스테이지, 균일가압 시스템 등이 필요하다.

현재 개발 중인 나노 임프린트 장비에서 문제가 되는 것은 정밀 정렬 카메라(fine align camera)에서 발생하는 미세진동 현상이다. 정밀 정렬 카메라의 미세진동 현상은 진폭이 10마이크로미터 정도로서 나노 단위의 정밀한 정렬을 요구하는 시스템에 적합하지 못하다.

본 논문에서는 구성 된 시스템의 환경조사를 통한 미세진동의 원인파악에 대해 논의된다. 2장에서는 개발 중인 나노 임프린트 장비의 구성에 대해 설명한다. 3장에서는 문제가 되고 있는 정밀 정렬 카메라의 미세진동 현상에 대한 설명과 문제의 원인을 밝히기 위한 환경조사와 함께 유한 요소모델을 이용한 프레임부의 동강성 및 정강성 해석의 결과에 대해 논의한다.

2. 나노 임프린트 장비의 구성

바닥으로부터 전달되어 오는 진동을 막기 위해 방진테이블을 설치하였으며, 테이블 위에 공정을 위한 프레임이 제작되었다. 프레임은 80mm X 80mm 형상의 알루미늄 프로파일로 박스 형태를 이루며, 시스템의 구성요소를 설치하기

위해서 40mm X 40mm 형상의 알루미늄 프로파일을 이용해 제작되었다.

정밀 스테이지는 프레임의 바닥에 설치되었다. 타겟 글라스는 스테이지의 위에 놓이게 되고, 타겟 글라스의 움직임을 위해 스테이지는 x축 방향과 y축 방향의 병진운동을 하며, z축 중심의 회전운동을 한다. 이러한 운동으로 인해 타겟 글라스는 기관과 정렬하게 된다.

비전 시스템은 구조물 중앙부의 프로파일에 설치되었다. 비전 시스템 또한 기관과 스테이지 위의 타겟 글라스를 정렬하기 위한 시스템으로서, 카메라와 미니스테이지의 결합으로 총 4개의 세트를 이룬다. 사전의 정렬(Pre-align)을 위해 2개의 카메라가 사각형 대각방향 두 꼭지점에 설치되며, 정밀 정렬을 위한 2개의 카메라가 남은 두 꼭지점에 위치한다. 미니 스테이지는 카메라의 정밀한 위치 조절을 위해 x,y,z축의 병진운동이 가능하도록 제작되었다.

나노 임프린트 장비는 온도에 의한 열변형을 막기 위해 온도 습도가 일정하게 유지되는 클린룸에 설치되었다. 공정 중에 발생할 수 있는 유해가스의 배출을 돕기 위해 환기구가 설치되었으며, 환기구는 프레임의 상부에 설치되었다.

3. 미세진동

미세진동은 비전 시스템의 정밀 정렬 카메라에서 관찰된다. 미세진동은 진폭이 10마이크로미터 미만이며, 이러한 진폭을 가지는 진동은 나노 단위의 패턴을 요구하는 공정에 사용될 수 없다. 2절에서 설명한 모든 장비들이 미세진동의 원인이 될 수 있다. 스테이지의 모션을 가능하게 해주는 서보모터에 의한 공진, 알루미늄 프로파일로 제작 된 프레임의 정강성, 비전 시스템에 사용 된 미니스테이지와 프레임 상부에 설치 된 환기구 모두 미세진동의 원인이 될 수 있다. 그 밖에, 건물 자체의 진동, 카메라의 광원인 파워 서플라이에 의한 진동, USB 카메라와 연결 된 PC의 진동, 사람의 목소리 등도 이 미세진동의 원인이 될 수 있다.

본 절에서는 미세진동의 원인을 파악하기 위한 연구 내용에 대해 논의된다. 미세진동의 원인으로 파악 된 결과에 대해 언급하며, CAE(computer aided engineering)를 이용한 구조물의 동강성 및 정강성 해석에 대해 다룬다.

† 교신저자; 국민대학교 자동차전문대학원
E-mail : idwodn@hotmail.com
Tel: (02)914-8812

* 국민대학교 기계자동차공학부
** 국민대학교 기계자동차공학부

3.1 서보 모터(Servo motor)

시스템 내부에 있는 가진 요소를 파악하고 가진 요소가 시스템에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구가 필요하다. 시스템 내부에 있는 가진 요소로는 서보모터가 있다. 서보모터는 스테이지의 운동을 위해 사용되며 3000~6000rpm (50~100Hz)의 가진 주파수를 가진다.

서보모터가 시스템에 미치는 영향을 판단하기 위해 구조물에 대한 진동해석이 수행되었다. CAD tool을 사용하여 시뮬레이션 모델을 제작하였고, FE model을 생성한 후, Normal mode analysis를 수행하였다.

구조물은 박스형 구조로 형상이 바뀌어 가면서 낮은 공진 주파수를 가진다. 또한 전체 구조물의 초기 고유 진동수는 서보모터의 가진주파수 영역과 매우 겹친해 있다. 이것은 서보모터의 가진에 의해 구조물의 공진이 발생할 수 있다는 것을 의미한다. 구조물의 공진은 구조물 중앙부에 설치되어 있는 비전 시스템의 진동도 함께 유발시킬 것이다.

3.2 구조물의 정강성

비전 시스템을 지지하는 중앙 구조물은 카메라와 미니스테이지의 하중으로 인해 약 0.04mm의 처짐이 발생한다. 처짐은 정적 평형상태의 파괴를 의미하며, 진동은 이러한 정적 평형상태의 파괴로부터 시작된다.

비전 시스템의 하중으로 인한 처짐으로부터 발생하는 진동은 감쇠에 의해 일정 시간이 지난 뒤 다시 정적 평형상태에 도달 할 것이다. 하지만 카메라의 정확한 위치 결정을 위해 사용자는 미니스테이지를 조작하게 되고, 이것은 결국 중앙 구조물에 다시 외력을 가하게 된다. 외력에 의해 중앙구조물은 또 다른 변위를 일으킬 것이고, 다시 평형 상태에 이르기까지 진동이 발생할 것이다.

3.3 미니 스테이지

비전 시스템은 정확한 위치 결정을 위해 x, y, z 축의 방향으로 병진운동이 가능한 3축 미니스테이지가 사용된다. 3축 미니스테이지는 축 방향의 이동을 위해 여러 개의 판으로 결합되어 있으며, 판과 판 사이에는 스프링으로 연결되어 있다. 판 사이의 유격과 강성이 낮은 스프링은 전달되는 가진력에 의해 쉽게 반응할 수 있다. 따라서 나노 단위의 공정에 강성이 낮은 스프링을 사용한 미니스테이지는 적합하지 않다.

3.4 환기구

환기구는 모터와 팬(Fan)의 회전으로 인해 작동하며, 이것은 미세진동에 중요하게 작용할 수 있다. 우리는 환기구와 클린룸이 진동에 미치는 영향을 판단하기 위해 환기구와 클린룸의 작동 여부에 따른 몇 가지의 실험을 하였다. 또한 프레임의 다른 위치에서도 같은 진동이 일어나는지에 대한 실험을 병행하였다(Table 1).

Table 1. Conditions and results of the test

CASE	Location	Ventilation system	Clean room	Vibration
1	Frame Lower	On	On	X
2	Frame Upper	On	On	O
2-1		Off	Off	X
2-2		On	Off	O
2-3		Off	On	O
3	Frame Center	Off	Off	O
3-1		On	On	O
3-2		On	Off	O
3-3		Off	On	O

Forced vibration analysis를 통해 우리는 환기구에 의한 프레임 각 부분의 응답을 관찰할 수 있었다. 프레임 곳곳에 설치된 얇은 판들은 강성이 낮아 외부가진에 의해 쉽게 변형을 일으키며, 이러한 변형은 비전 시스템 등이 설치된 프레임 골격부재에 전달되어 진동을 유발할 수 있다.

4. 결 론

나노 단위의 공정을 위해 미세진동은 해결해야 하는 문제이다. 본 논문에서는 미세진동의 원인을 파악하기 위해 시스템에 대한 환경조사를 수행하였다. 또한 CAE를 이용하여 시스템에 사용된 구조물의 Normal mode, Static Stiffness, Forced vibration analysis을 수행하였다. 해석을 통해 내부 가진요소의 가진 주파수와 구조물의 고유진동수가 매우 근접해 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한 구조물의 변위발생 여부를 확인하였으며, 그것으로 인한 진동의 원인에 대해 고찰하였다. 프레임과 연결된 환기구, 클린룸도 미세진동에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

미세진동현상을 방지하기 위해서는 내부 가진요소에 의한 구조물의 공진을 피해야 하며, 이를 위해서 가진요소의 가진주파수 변경 또는 공진주파수 영역을 피한 구조물의 설계가 요구된다. 또한 가진요소의 가진력이 구조물로 전달되지 않도록 해야 하며, 불가피할 경우 고감쇠의 구조물 설계가 요구된다. 하중이나 외력으로 인해 발생하는 시스템 구성요소의 변위는 제한되어야 하며, 정강성이 큰 구조물의 설계가 필요하다. 낮은 스프링 강성과 유격이 존재하는 미니스테이지의 사용 또한 제한되어야 한다.

후 기

본 논문은 서울시 산학연 협력사업의 지원으로 작성되었음(과제번호 10583).