

12 인치 열-냉 척의 표면 열 변형 해석

이 상순[†], 윤 지영[†], 김 맹권^{**}

[†] 한국기술교육대학교, 메카트로닉스 공학부, ^{**}(주) 세크론

Abstract

In this study, the geometric modeling has been conducted for a new model of 12 inch hot-cold chuck using three-dimensional solid modeler, SolidWorks. Then, the heat transfer analysis and the thermal deformation analysis using FEM have been performed. The results of the analysis show the temperature distribution and the deformed shape of a new model of 12 inch hot-cold chuck. The evaluation for the surface flatness of a new model has been performed based on the deformed shape obtained from ANSYS.

Key Words : 12 inch hot-cold chuck (12 인치 열-냉 척), Solid modeler(솔리드 모델러), FEM(유한요소법), Heat transfer(열전달), Thermal deformation(열변형), Surface flatness(표면 편평도)

1. 서론

반도체 장비분야에서 현재 활발히 연구개발 중인 부품중의 하나인 12인치 열-냉 척(hot & cold chuck)의 표면의 편평도(flatness)는 특성상 $10\mu\text{m}$ 이하의 정밀도를 유지해야 한다. 그러나 척을 다른 구조물에 연결하기 위한 볼트 구멍이나 고정 홀, 그리고 척의 내부를 지나는 냉각수 유로등이 복잡하게 설계되어 있어, 약 150°C 까지 온도가 상승하는 경우에 척은 열팽창으로 변형이 불 균일하게 발생할 수 있고, 표면의 편평도가 $10\mu\text{m}$ 이상으로 커질 수 있다. 현재 국내의 중소기업에서 척을 개발하는 과정은 이론적인 접근이나 정밀한 해석적인 방법을 적용하는 방법이 아닌, 경험에 의존한 공학적인 데이터만을 이용하여 척을 제작하여 표면 편평도 시험을 진행하고 있다. 시험 결과에 따라서 제작된 척을 수정하거나 다시 제작하는 과정을 거치는데, 이러한 접근법은 새로운 척을 개발 하는데 시간과 비용이 많이 요구되고 정밀한 부품을 개발하는데 많은 한계를 지니고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 현재 공학 설계분야에서 널리 사용되고 있는 CAE(computer aided engineering)기술을 적용하여 설계된 척을 제작 전에 해석하여 문제점을 검토하고 개선된 설계 결과물을 최종적으로 제작하여 높은 정밀도를 지닌 부품을 제작해야 한다.

본 연구에서는 12인치 열-냉 척의 편평도를 향상시키기 위해 상용유한요소 프로그램과 실제 시험 결과를 활용하는 방법을 개발하고자 한다. 즉, 상용유한요소코드를 이용하여 컴퓨터에서 시뮬레이션을 통해 설계된 척의 문제점을 개선하고, 제작된 척을 3차원 측정기로 정밀하게 시험하여 척의 편평도 연구에 적용하도록 하는 방법을 개발해 내는 것이다. 컴퓨터 해석적인 방법은 상용유한요소코드인 ANSYS¹⁾를 이용하여 진행하였고, 시편제작과 3차원 정밀 측정은 (주)세크론에서 진행하였다. 본 연

구과정에서 가장 비중 있게 다루어지는 부분이 유한요소법이라는 상용프로그램을 척의 편평도 개선을 위한 연구에 적용하여 중소기업체에 CAE활용의 효율성과 필요성을 전달하는데 두었다.

본 연구에서는, 먼저 최근에 설계된 모델에 대해서 3차원 솔리드 모델러인 SolidWorks²⁾를 이용하여 정확한 기하 모델링을 수행하였고, 기하모델에 대해서 유한요소코드 ANSYS를 이용하여 표면 편평도 해석을 시도하였다. 해석된 결과를 3차원 측정시험으로 얻어진 결과와 비교하였다.

2. 기하모델링

본 연구에서는, 최근에 설계된 모델에 대해 3차원 솔리드 모델러인 SolidWorks를 이용하여 기하 모델링을 수행하였다. 이러한 기하 모델링을 수행하는 데는 2가지 목적을 지니고 있다. 첫째는, 기하 모델링을 통해서 설계된 모델들의 형상을 확인하고 필요시 도면을 쉽게 만들어 낼 수 있게 된다. 또한 표면의 변위 해석이 수행된 후, 두께 변화나 단면적의 변화 등이 발생하게 될 때 부품을 직접 제작하지 않고도 변화된 형상을 곧바로 확인할 수 있게 되며, 변화된 형상에 대한 도면을 쉽게 만들어 낼 수 있다. 둘째는, 3차원 솔리드 모델러로 만들어진 기하 모델링 결과를 상용유한요소 코드의 전처리기로 이동시켜서 유한요소 해석 모델을 만들게 된다. 현재 사용되고 있는 대부분의 상용 유한요소코드들은, 3차원 유한요소 해석모델을 만들어 내는데 많은 시간과 숙달을 필요로 하고 있으며, 필렛이나 챔퍼와 같은 세밀한 부분들의 모델링은 쉽지 않거나 거의 불가능하다. 본 연구에서는, SolidWorks를 사용하여 해석 모델에서 요구되는 필렛이나 챔퍼등을 쉽게 구현하였고, 이러한 정밀한 모델에 유한요소를 모델링하여 해석을 수행하는데 사용되었다. 그림 1은 12인치 열-냉 척에 대한 기하 모델링 결과를 보여주고 있다.

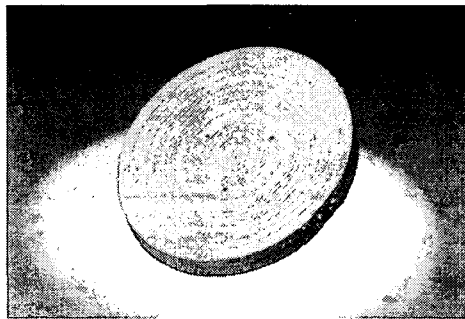


Fig. 1 Geometric Modeling

3. 유한요소해석

앞에서 설명한 기하 모델을 해석 하기위해서, SolidWorks에서 모델링한 결과물을 IGES 파일로 저장한 후 상용유한요소 프로그램인 ANSYS로 이동시켜 유한요소 모델링 및 해석을 수행하였다. 해석은 먼저 열 전달 해석을 수행하여 척에서의 온도 분포를 구하였고, 온도 분포 결과를 이용하여 변위 해석을 수행하였다.

3.1 열전달 해석

척에서의 열전달 해석은 전도(conduction)와 대류(convection)가 섞인 문제로 모델링 하였다. 경계 조건으로서 척의 아래 부분에는 150°C의 온도가 작용하고 있고, 척의 옆면과 윗면에는 대류 조건이 주어져 있다. 해석은 정상상태(steady state)의 온도 분포를 구하는 것이었는데, 열 전도계수

(thermal conductivity) $k = 267W/(m^{\circ}C)$, 대류 열전달계수 (convection coefficient) $h = 5W/(m^2 \text{ }^{\circ}C)$, 그리고 주변 공기 온도로 $23^{\circ}C$ 의 값을 사용하였다. 척에서의 정상상태 열전달 해석결과가 그림 2에 나타나 있다. 해석결과를 살펴보면 정상 상태에서 척 전체에 걸쳐 약 $150^{\circ}C$ 의 온도가 균일하게 분포되어 있다는 것을 알 수 있다. 척에 대한 실제 온도 측정 시험에서도 동일한 결과가 나왔다. 따라서 유한요소 프로그램에 의한 척의 열전달 해석결과는 신뢰할 수 있다고 판단된다.

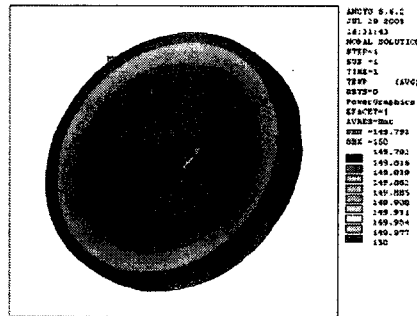


Fig.2 Temperature Distribution

3.2 척의 변형 해석

3.1에서 구한 온도분포 결과를 적용하여 척의 변형 해석을 시도하였다. 유한요소법에 의한 3차원 해석 이론은 참고문헌[3,4]에 자세히 기술되어 있다. 열전달 해석과는 달리 변형해석에서는 척의 대칭성을 이용하여 1/2모델에 대해서 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 물성(알루미늄 합금) 값으로, 탄성계수 $E = 73 GPa$, 포아송 비 $\nu = 0.33$, 열팽창 계수 $\alpha = 22.5 \times 10^{-6} m/m/^{\circ}C$ 값이 사용 되었다. 해석 결과가 각각 그림 3에 나타나 있다. 해석결과는 척의 윗면에 수직한 변위 성분 값을 보여주고 있다. 척의 표면 편평도를 살펴 볼 때, 척의 윗면 부근에서의 변위는 $82 \mu m - 92 \mu m$ 의 범위에 있으며, 척의 표면에서의 편평도는 $10 \mu m$ 이하의 정밀도를 유지하고 있다고 판단된다. 따라서 현재의 모델은 반도체 산업에서 요구하고 있는 조건에 적합한 모델이라고 결론 내릴 수 있다.

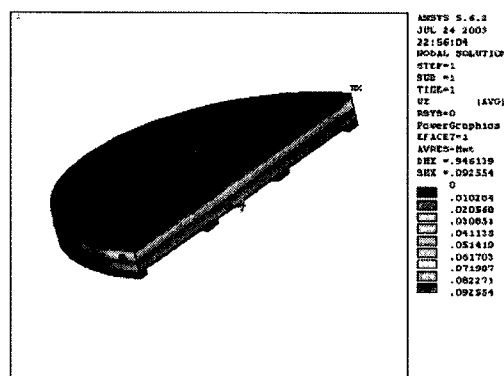


Fig.3 Deformed Shape

4. 표면 편평도 3차원 측정 결과

3차원 측정기를 이용하여, 실제 제작된 12인치 열-냉 척의 표면 편평도를 측정하였다. 척의 제작과 3차원 표면 측정은 (주)세크론의 기술진에 의해서 진행되었다. 표 1은 온도 $150^{\circ}C$ 에서 측정된 결과들을 보여주고 있다. 측정된 결과에 의하면 표면의 높이 차이는 약 $11-16 \mu m$ 의 크기를 보여주고 있다. 유한 요소법을 적용하여 해석한 결과와 비교할 때 시험에서 측정된 값이 약간 큰 경향을 보여주고

있다. 이러한 차이에 대한 이유로는, 유한요소법을 적용하는 과정에서는 12인치 열-냉 척에 대해서만 모델링하여 해석을 진행하였는데, 시험에서는 알루미늄 재질의 척에 세라믹 재료를 볼트로 결합하여 측정값을 얻었기 때문이다. 사용하는 세라믹 재료의 종류, 기하학적 형상의 크기, 결합방식에 따라 표면의 높이가 달라 질 수 있기 때문에 세라믹을 포함한 알루미늄 척의 해석 연구는 향후 진행될 가치가 있다고 판단된다. 현재의 해석 및 측정 결과에 의하면, 앞으로 12인치 척을 개발하는 과정에 3차원 솔리드 모델러와 유한요소법은 효율적으로 적용될 수 있다고 판단된다.

Table 1. Experimental Results -Surface Flatness

	척 1	척 2	척 3	척 4	척 5	척 6
표면 높이 차이	13.2	11.6	10.8	14.3	15.5	14.8

4. 결론

본 연구에서는, 12인치 열-냉 척의 개발과정에서 도출된 후보모델에 대한 3차원 변형해석을 수행하기 위하여, 3차원 솔리드 모델러인 SolidWorks를 사용하여 기하모델을 생성하였다. 이러한 기하 모델링 방법은 상용유한요소의 전처리기를 이용한 모델링 방법에 비해 작업에 소요되는 시간이 훨씬 적고, 보다 정교한 모델 생성이 가능하여 전체적인 연구 개발과정에 효율성을 증대시키고, 비용절감 효과를 가져오는 환경을 제공하게 된다. 생성된 기하모델링 결과를 IGES파일로 저장한 후 상용유한요소 코드의 전처리기로 옮겨서 열전달 해석과 열변위 해석을 수행하였다. 열전달 해석은 전체 모델에 대해서 정상상태 해석을 수행하였는데, 척 전체에 대해서 150°C의 균일한 온도분포 결과를 얻었다. 이러한 결과는 온도측정 시험에서 얻어진 결과와 일치하였다. 열 변형 해석은 모델의 대칭성을 이용하여 1/2 모델에 대해서 해석을 수행하였다. 해석 결과에 의하면 척의 윗면 부근에서의 변위는 82-92 μm 의 범위에 있으며, 척의 표면에서의 편평도는 10 μm 이하의 정밀도를 유지하고 있다고 판단된다. 따라서 현재의 모델은 반도체 산업에서 요구하고 있는 조건에 적합한 모델이라고 결론 내릴 수 있다.

3차원 측정기를 이용하여, 실제 제작된 12인치 열-냉 척의 표면 편평도를 측정하였다. 측정된 결과에 의하면 표면의 높이 차이는 약 11-16 μm 의 크기를 보여주고 있다. 유한요소법을 적용하여 해석한 결과와 비교할 때 시험에서 측정된 값이 약간 큰 경향을 보여주고 있다. 이러한 차이에 대한 이유로는, 유한요소법을 적용하는 과정에서는 12인치 열-냉 척에 대해서만 모델링하여 해석을 진행하였는데, 시험에서는 알루미늄 재질의 척에 세라믹 재료를 볼트로 결합하여 측정값을 얻었기 때문이다. 사용하는 세라믹 재료의 종류, 기하학적 형상의 크기, 결합방식에 따라 표면의 높이가 달라 질 수 있기 때문에 세라믹을 포함한 알루미늄 척의 해석 연구는 향후 진행될 가치가 있다고 판단된다. 현재의 해석 및 측정 결과에 의하면, 앞으로 12인치 척을 개발하는 과정에 3차원 솔리드 모델러와 유한요소법은 효율적으로 적용될 수 있다고 판단된다.

현재 국내의 반도체 장비업체에서는 설계의 많은 부분을 경험에 의존하거나 외국에서 이미 설계되어 사용되는 장비를 모방하여 설계하고 있는 실정이다. 국제적으로 경쟁력을 갖추고 국산 기술의 자립화를 위해서는 타 분야에서 활발히 연구되어 사용되고 있는 CAE(computer aided engineering)기술이 국내 반도체 장비업체에서 적용되어야 한다. 본 연구 결과를 볼 때 척의 편평도 개선에 CAE 기술이 성공적으로 적용될 수 있음을 알 수 있고 다른 장비분야에도 점차 활용되는 파급효과를 기대

할 수 있다.

참고문헌

1. ANSYS, User's Manuals, Ver. 5.8, ANSYS Inc., 2002.
2. SolidWorks 2000, User's Manual, SolidWorks Co., 2003.
3. D.L. Logan (신중계외 2 공역), 유한요소법 첫걸음, 시그마 프레스, 1998.
4. O.C. Zienkiewicz and R.L. Taylor, The Finite Element Method, 4th ed., McGraw-Hill Book Co., 1989.