

연삭기용 직각 전자척의 자력특성에 관한 연구

맹희영*, 이용구†

Magnetic Characteristics of Square Electro-Magnetic Chuck using for Grinding Machine

Hee-young Maeng*, Yong-gu Lee†

Abstract

The new square electro-magnetic chuck, which is using for the clamping devices on a grinding machine, is developed in this study to improve the convenience of grinding works. The various kinds of structures are recommended to find the most adequate magnetic characteristics through the analytical approach using finite element methods. The analyzed results are retrofitted to solve the drawbacks of previous models step by step by considering the magnetic fields, strength and distribution of drag force, and thermal deformations of chuck. such as high parallelism and flatness.

Finally the best recommended models is designed to satisfy the KS specifications required for the commercial magnetic chuck. The prototype chuck with this dimensions and structures is manufactured. For this final model, the experimental verifications are investigated whether the KS specifications are satisfied.

Key Words: Square electro-magnetic chuck, Parallelism, Flatness, Magnetic fields, Thermal deformation, Strength, Drag force distribution.

1. 서론

연삭가공에서 공작물을 고정하는 방법은 기계부품의 가공정밀도를 유지시켜 주는 데에 매우 중요한 인자이며 공작물 착탈의 편리와 효율성에 직접적인 영향을 주게 된다.

전자척(Electro-Magnetic Chuck)은 연삭가공에서 공작물을 흡착하기 위해 가장 널리 사용되는 방식으로 고정 장치의 조작이 간편하여 가공면에 높은 평면도와 평행도를 유지시켜 주고, 공작물 고정시 굽힘이나 변형자극을 남기지 않는 장점을 가지고 있다.^(1,2)

최근 고정밀, 고하중, 고속연삭 가공기술의 필요성이 더

욱 높아짐에 따라 전자척의 기능 향상과 개선에 대한 필요성도 높아지고 있다.

현재 일반적으로 상용되고 있는 전자척은 작업면판에 일정 간격의 비자성 격리대를 삽입하고 여기에 자성체 금속을 주기적으로 그 사이에 배치하는 구조이다. 이때 자성체의 하부에는 전자 마그네트 또는 솔레노이드 자성체가 내부에 설치된다. 그러나 종래의 전자척은 작업면판의 한 면만이 자화되므로 직각면이나 측면 등을 가공할 때에는 별도의 고정구나 지그 등의 보조장비를 필요로 한다.⁽³⁾

그 때문에 작업상 착탈에 따른 시간과 노력이 들고 수평 지지가 불안하여 채터진동의 우려가 클 뿐만 아니라 공작

* 주저자, 서울산업대학교 기계설계자동화공학부 maeng@snut.ac.kr
주소: 139-743 서울시 노원구 공릉동 172번지

† (주)진영정기, 서울산업대학교 정밀기계연구소 특별연구원

물 면에 굽힘이나 압입 자국을 남기는 단점이 있다.^(4,5)

본 연구에서는 기존 전자척의 단점을 보완하기 위하여 상면과 측면의 두 직각면을 모두 자화시켜 사용하는 직각 전자척을 제안하였다.

상면 이외에 측면의 작업면을 사용하게 되므로 종래에 할 수 없었던 직각면의 연삭가공을 별도의 지그를 장착하지 않고도 쉽게 가공할 수 있으며, 작업상 시간과 노력을 절약하면서 가공 정밀도와 안정성도 효과적으로 높일 수 있다.

따라서 본 연구에서는 고안된 직각 전자척 모델이 KS 규격에서 정하는 전자척의 흡착력과 자력밀도 분포 및 발열특성의 기준치를 모두 만족시킬 수 있도록, 여러 차례의 단계적인 실험계획법을 통해 직각 전자척의 기본 구조를 발전시켰다. 각 발전단계의 모델에 대해서는 유한요소법을 통해 면판의 자속밀도와 온도분포, 그리고 열응력에 의한 열팽창 특성들이 해석되었고, 이를 실제 시제품으로 제작하여 KS에서 규정하는 성능평가 실험을 실시하였다. 그리고 이때의 해석 및 실험 결과들은 각 단계의 개선 모델을 발전시키는 데에 이용하였다. 그럼으로써 최종적으로 개선된 직각 전자척 모델에 있어서는 KS 규격에서 정하는 모든 기본 조건을 만족하고 있음을 확인하였다.

2. 전자척의 특성과 구조개선

2-1. 기존 전자척의 유형과 구조

평면 연삭기에 사용되는 기존 전자척의 종류는 그 모양에 따라 각형과 둥근형으로 분류되며, 둥근형은 다시 그 표면 모양에 따라 스타폴(Star Pole)형과 링폴(Ring Pole)형으로 분류된다. 전자척의 원리는 솔레노이드(Solenoid)에 의한 자기장의 형성 원리에 따르며, 솔레노이드 내부에는 자기장이 축방향의 중심선을 따라 평행하게 형성되고 외부에 유도되는 자기장은 막대자석의 특성과 같다.

전자척의 작업면판의 구조는 자성체 사이에 삽입되는 격리대의 피치에 따라서 분류되는데, 보통 5mm 이하인 것과 10mm 이상인 것의 2가지 유형으로 분류된다. 피치가 5mm 이하인 경우에는 격리대와 자성체를 얇은 판으로 만들어 이들을 교대로 겹쳐놓고 프레스에서 높은 압력을 가하여 작업면판에 평행한 방향으로 볼트를 체결하여 제작한다. 그러나 10mm이상의 경우에는 격리대와 자성체를 일정 두께의 치수로 절삭가공하여 만들고 작업면판에 평행한 방향으로 볼트로 체결하여 제작한다.

한편 전자척의 내부 구조는 자성체의 구조에 따라 크게

분할형과 단일형의 2종류로 나눌 수 있다.

분할형의 경우에는 자성체 둘레를 코일로 감은 것으로 척의 크기가 큰 것에 주로 사용되는데, 자성체 바로 위의 면판은 강한 흡착력이 형성되나 자성체와 자성체 사이의 중앙부분에서는 흡착력이 약하기 때문에 작업면판의 흡착력이 지역에 따라 일정하지 않은 단점을 가지고 있다.

단일형의 경우에는 하나의 자성체 둘레를 코일로 감은 것으로 척의 크기가 작은 경우에 주로 사용되는데, 면판을 자화시키면 작업면판의 가장자리 부분에서는 흡착력이 약하지만 비교적 전체 면에 걸쳐 강한 흡착력을 형성한다. 이는 분할형에 비하여 구조가 간단하고 제작이 편한 장점이 있지만 전자척의 크기가 제약되는 단점을 가지고 있다.

2-2. 직각 전자척의 개선방향

본 연구에서 고안된 연삭기용 전자척은 기존의 평면 전자척에 비하여 측면에 작업면판을 하나 더 가지고 있는 구조이며, 이때 2개의 작업면은 서로 직각을 이루기 때문에 이를 "직각 전자척(Square Magnetic Chuck)"이라 명명하였다.

연삭기에서 얇은 판의 측면을 가공하는 경우, 기존의 전자척을 사용하면 전자척에 보조 장치를 설치할 수밖에 없는데, 이때에는 작업이 번거롭고 흡착하는 데에 많은 시간이 걸릴 뿐만 아니라, 연삭도중에 힘이 생길 우려가 있고 연삭가공 후에도 공작물 제거에 따른 스프링백이 생겨 가공정밀도가 저하되는 제약이 있다. 그러나 직각 전자척의 측면을 이용하여 흡착하면 보조장치를 설치하지 않고도 빠른 시간 내에 작업면판의 임의 위치에 흡착할 수 있으며 동시에 변형도 방지할 수 있다. 그리고 어느 단일부품에서 직각을 이루는 두개의 면을 가공하는 데에 있어서도 직각 전자척의 형상 공차만 잘 유지된다면 부품의 형상공차도 신뢰성 있도록 높게 낼 수 있다.

그렇지만 직각 전자척은 두개의 작업면 모두가 강하고 균일한 자력분포를 갖도록 하는 것이 보통의 평면 전자척보다 매우 어렵다. 그리고 전자척에서 필연적으로 Joule열에 의해 발생하는 열변형 문제가 평면 전자척에 비하여 매우 복잡하다.

따라서 본 연구에서는 전자척의 크기에 제약을 받지 않는 분할형 전자척의 내부 구조를 기본으로 유지하면서, 두개의 직각면에 모두 전자척의 구비조건을 잘 만족시킬 수 있는 전자척 내부의 균형있는 구조를 고안하는 데에 주안점을 두었다.

2-3. 직각 전자척 내부구조 모형의 발전 단계

전자척이 갖추어야 할 기계적·물리적 특성으로는 KS 규격에서 정하는 바와 같이 전자척의 흡착강도와 자력분포 특성, 그리고 발열과 열팽창 특성 등이 있으며, 전자척이 실용적으로 가치를 갖기 위한 제작성과 경제성도 함께 만족되어야 한다.

본 연구에서는 이들 구비조건을 고려하여 전자척 내부구조의 개선 과정을 다음과 같이 4단계를 거쳐서 발전 시켰다. 각 단계별 개선된 구조의 모형들에 대해 특징을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 싱글 마그네트형

제 1단계에서는 기존의 단일형 평면 척자척을 직각 전자척의 양면에 자화될 수 있도록 구성된 싱글형 마그네트로 코어가 직각면의 대각선 방향을 향한다.

해석 및 실험결과, 이 유형은 코어의 제작시 어려움이 있었고 자력 특성에 있어서도 작업면판의 모서리 부분에서는 강한 흡착력을 나타내지만 모서리 부분에서 멀어질수록 상면이나 측면에서 모두 매우 약한 흡착력을 나타냈다. 그리고 코일이 싱글형이기 때문에 동일한 평균 흡착력을 띠도록 하는 데에 많은 입력 전류를 필요로 하였으며, 작업면판 온도도 불균일하고 열변형 문제도 매우 심각하였다.

(2) 마그네틱 스위치 응용형

다음 단계에서는 싱글 마그네틱형의 단점을 보완하여 셀형 구조로 개선한 것이다. 이는 마그네틱 스위치의 형태를 응용하여 자성이 뛰어난 규소강판을 여러 장 포개고 가운데에 코일을 감아 주기적으로 마그네트의 길이 방향으로 배치하도록 고안한 것이다. 본 유형에서는 자력강도 측면에서 매우 뛰어난 특성을 보였다. 상대적으로 입력전류도 약하게 할 수 있어서 발열양도 적은 장점을 가지고 있었다.

그러나 전원을 제거한 후엔 잔류 자력이 존재하는 문제가 있었고, 수평면과 수직면의 자력이 서로 큰 차이를 보였으며, 모서리의 양단과 구석부에서 사각지역(death zone)이 발생하는 단점이 있었다. 또 규소강판을 사용하기 때문에 재료비가 많이 들고 제작도 어려운 점이 문제시되었다.

(3) 중심 코어형

스위치 응용형에서 나타나는 사각지대의 발생을 억제시키기 위하여, 장방형 코어의 둘레에 코일을 감는 구조를 가지면서 분할형 마그네틱형과 유사하게 일정 두께의 코어를 주기적으로 배치시킨 유형이다.

앞의 유형들의 문제점이 잘 해소되면서도 또한 자력이 균일하고 강하게 분포되는 장점이 나타났다. 그렇지만 본 유형에서는 치명적인 결점이 발견되었는데, 마그네트의 코어 셀들이 직사각형의 구조로 일정주기마다 배치되다보니 서로 자력분포상의 방향성이 상쇄되는 간섭현상이 일어났다. 그러나 자력분포 특성상 본 유형의 구조로는 방향성에 따른 자기장 간섭을 제거하는 것이 불가능하였다.

(4) 양방향 코일형

이 유형은 중심 코어형의 자기장 간섭현상을 제거하기 위하여 측면방향과 상면방향에 대해 각각 코일을 분리하여 구성한 유형이다. 이 유형에서는 수평면과 수직면에 별도의 코일을 감아서 양쪽 코일에 독립적인 자기장이 형성되도록 구성하였고, 그 사이에 공간여백을 충분히 두어 상호 간섭이 최소화되도록 한 구조이다.

이 유형에서는 우선 모형셀의 실험을 통하여 자력의 강도와 분포, 균일성, 그리고 입력 전류의 크기와 발열특성 등의 구비조건에서 잘 만족될 수 있는 가능성이 확인되었다.

따라서 이를 추천모델로 채택하여, 치수를 최적치수로 설계하기 위해 구조상의 설계치수 파라미터들을 가변적으로 구성하면서 유한요소해석을 실시하였다. 그리고 이때의 결과를 이용하여 사각지역을 나타내지 않으면서도 자력강도와 분포가 우수하게 나올 수 있는 마그네트 셀의 치수들을 탐색하였다. 그리고 각각의 해석단계에서는 또한 해당 입력 전류에 대하여 발열되는 조건하에서 직각 전자척의 열팽창 특성과 유한요소법에 의한 실용상의 문제, 그리고 해당 규격 조건의 만족도를 점검하였다.

3. 유한요소법에 의한 전자척의 특성 해석

3-1. 유한요소해석 조건 및 과정

직각 전자척의 유한요소해석은 자력특성과 열영역장 해석이 모두 가능한 버전의 NISA package를 사용하여 실시하였으며, DISPLAYIII, EMAG, HEAT, NISA II의 기능해석 단계를 거쳐서 수행하였다.

최종 구조의 추천모델은 DISPLAYIII에서 직각 전자척의 GEM(Geometric Element Method)해석을 하기 위해 총 28980개의 node로 25564개의 삼차원 입체 요소(3D-Solid Element)를 사용하여 모델링하였다.

그리고 EMAG에서는 작업면판의 흡착력에 영향을 미치는 자속밀도 분포를 해석하는 데에 이용되었고, HEAT에

서는 코일열 발생에 의해 재질들의 열전도율에 따른 온도 분포를 해석하는 데에, 그리고 NISA II에서는 각 재질들의 선펡장계수에 의한 열응력장의 영향과 열변형 특성을 해석하는 데에 이용되었다.

3-2. 단위 구조에 대한 유한 요소 해석

양방향 코일형 모델에 있어서는 마그네트 셀의 동일한 구조가 주기적으로 반복되므로 단위 구조의 최적 치수를 결정하기 위한 해석이 실시되었으며, Fig. 1에서는 본 모델에 대한 자력분포를 해석한 결과의 한 예를 보이고 있다. 이들 마그네틱 셀에 대해 반복적인 해석절차를 거쳐서 최종적으로 정한 설계치수는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 그리고 이들 치수에 적절한 입력전류를 고려하여 해석한 자력분포 특성에 관한 결과는 Fig. 3에서 보는 바와 같다.

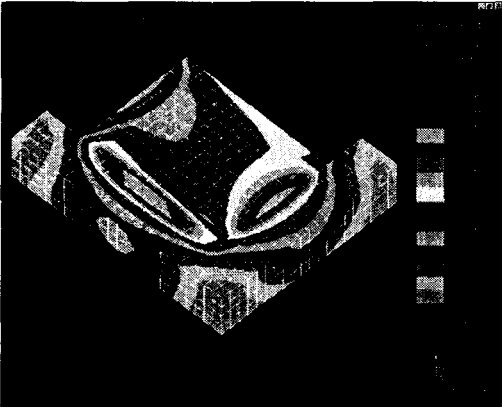


Fig. 1 An example of analyzed magnetic distribution for a magnetic cell.

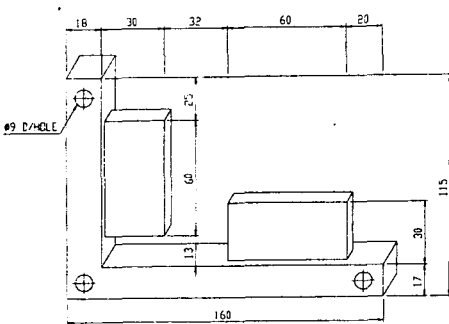


Fig. 2 Final determined dimensions for a recommended magnetic cell.

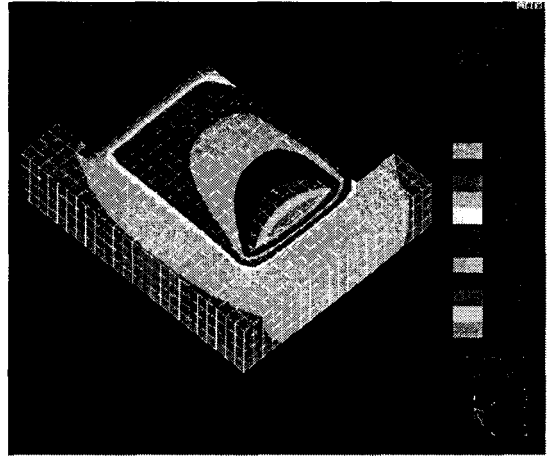


Fig. 3 Analyzed magnetic distribution for a finally advanced magnetic cell.

그리고 자기장의 균일한 분포와 열발생의 성능을 고려하여 격리대 두께를 2.5mm, 자성체 두께를 10mm, 작업면판의 상면과 측면의 세로치수를 각각 185, 100mm로 설정하였다. 그리고 여기서 작업면에는 일정한 밀도의 단위전류가 흐르는 것으로 가정하였고, 파치 방향의 자성체 두께는 14mm로 일정하며, 여기에 격리대의 두께를 2, 2.5, 3mm로 하여 양호한 자속밀도 분포의 결과를 검토하였는데, 이 경우 2.5mm인 경우가 가장 양호하게 나타났다.

다음으로는 피치를 조절하여 균일한 자기장을 얻기 위하여 격리대 두께를 2.5mm로 하고 코일이 감기는 부분의 자성체 두께를 6, 8, 10, 14mm로 해석하였는데, 여기에 있어서는 코일에 감기는 자성체가 10mm이고 코일에 감기지 않는 자성체가 6mm인 경우가 가장 우수하게 나타났다.

또한 격리대의 두께를 2.5mm, 코일이 감기는 부분의 자성체 두께를 10mm로 하여 작업면판 상면의 세로 치수 범위를 172~199mm 까지, 측면의 세로 치수 범위를 87~114mm 사이로 하여, 첫번째는 3mm 간격으로 하고 두번째부터는 2mm 간격으로 모델링하여 해석하였는데, 이때의 해석결과는 상면의 세로치수가 185mm, 측면의 치수가 100mm인 경우가 가장 우수하게 나타났다.

3-3. 유한요소해석을 이용한 설계 방안 및 고찰

앞 절에서와 같은 방법으로 결정된 치수의 마그네트 셀은 그 방향성을 고려할 때 3개를 한 개의 조로 구성할 때에 전체의 직각 마그네트와 유사한 특성이 도출될 수 있다. 그 때문에 본 연구에서는 유한요소해석상의 효율성을 위하여 3

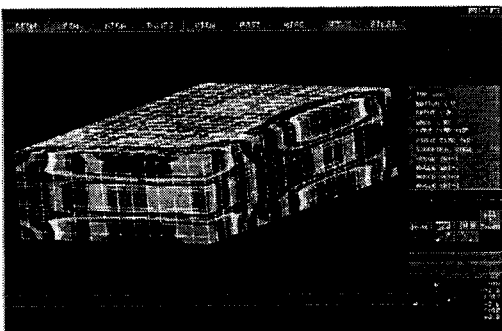
개의 셀로 구성된 마그네틱 조를 대상으로 그 성능평가를 실시하면서 가로 및 세로 치수의 구성, 절연체의 치수와 간섭회비 공간, 그리고 가장 최적인 입력전류와 발열 및 평창특성과의 관계를 분석하였다.

Fig. 4에서는 이렇게 구성된 마그네틱 조의 샘플을 제작한 모습을 보인 것이다.

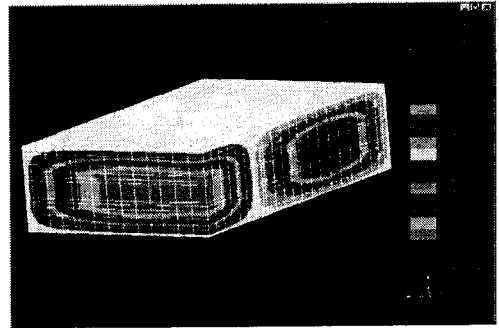
Fig. 5에서는 전형적인 4가지 조건에 대한 해석결과를 예시한 것으로 (a)에서는 초기에 코일체적을 일정하게 두고서 자성체 두께를 14mm로 고정하면서 자성체와 절연체의 구성비를 4:1로 구성한 경우의 해석 결과이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 초기에 있어서는 구성비의 크기가 적절하게 잡아지지 않은 탓으로 자력분포에 있어서도 주기적인 영향을 보이고 있으며, 피치 사이에서 사각지역이 나타나는 현상을 보이고 있다. 따라서 구성비를 가감시키면서 이러한 작업을 반복하여 일단은 그림 (b)에서 보이는 바와 같이 주기적인 자력분포의 변화특성을 없앨 수 있었으나, 여전히 사각지역은 잔류되는 현상을 보이고 있다.



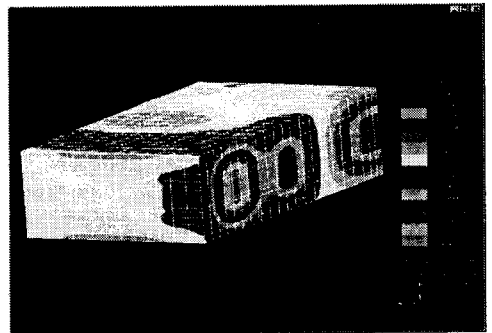
Fig. 4 Fabricated magnetic component for real prototyping.



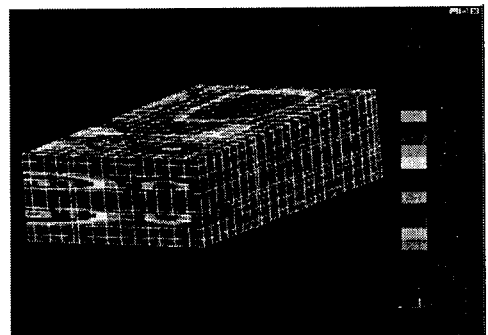
(a) 1st condition



(b) 2nd condition



(c) 3rd condition



(d) 4th condition

Fig. 5 FEA results of magnetic flux for each conditions of magnetic elements.

한편 (c)의 경우는 코일이 감기는 자성체와 격리대의 크기값, 그리고 세로치수와 가로치수의 비율을 좀 더 예민하게 설정하는 작업을 실시한 결과로 상면과 측면의 자력값 차이는 대폭 줄어들고 있으나, 아직도 상면 자력특성에서 교차부 인접지역에서 사각지역이 나타나고 있고, 대신 반대

편에는 강하게 집중되는 현상을 보이고 있다. 따라서 (c)의 현상을 없애기 위하여 코일의 위치를 약간씩 이동시킴으로써 (d)에서 보이는 바와 같이 사각지역도 거의 없애주면서 자력도 강하게 나오는 특성을 얻을 수 있었다.

따라서 최종적으로는 완성된 직각 마그네트에 대하여 유한 요소해석을 실시하였고, 이를 통하여 자속밀도 분포와 온도분포, 그리고 열변형 해석을 다음과 같이 점검하였다.

(1) 흡착력에 영향을 미치는 자속밀도 분포

작업면판 상면과 측면의 자속밀도는 모두 길이 방향으로 일정한 분포를 나타내고 있었고 전체적으로 비교적 일정하게 나타났다. 작업면판 상면에서 모서리의 가까운 부분이 다소 주위 부분보다 높게 나타나는 현상은 있었지만, 이는 상면의 자속밀도와 측면의 자속밀도가 면판에 수직으로 나오는 방향이기 때문에 이 부분에서 서로 중첩되어 밀도가 높아졌기 때문이다. 그렇지만 전체적으로 KS규격에서 정하는 흡착력을 만족하는 데에는 충분한 특성을 보였다.

(2) 코일열 발생에 의한 온도분포

상은 20℃에서 전원을 공급하고 충분한 시간이 경과한 후에 직각 전자척의 온도 분포의 범위를 해석한 결과, 온도 분포의 범위는 25℃에서 26℃를 조금 넘는 사이에 있었다. 작업 면판의 온도분포 범위는 주로 26℃를 나타내고 있다. 그리고 실제의 경우와 해석된 결과와의 신뢰성을 검토하기 위하여 앞의 샘플 마그네트에 대하여 발열 시험을 실시하였는데, 이때 직각 전자척 샘플의 작업면판 온도분포 범위는 24.3~26.7℃ 사이에 있었으며, 이때의 온도 오차가 2℃ 미만인 점을 감안하면 큰 오차는 아니기 때문에 본 해석결과가 어느 정도 신뢰성이 있음을 알 수 있었다.

그러나 상면의 길이 방향의 끝 부분에서 다소 과열되는 현상이 나타나기도 하였는데, 이는 측면에 코일열이 발생하는 것과 비교하여 상대적으로 열전달 면적이 적고, 상면은 발생열에 비해 방열면적이 넓기 때문이라 생각된다.

(3) 열응력장에 따른 변위 특성

척의 온도가 올라가면 열팽창이 필연적으로 따르게 되는데, 이때 구조상 문제로 인하여 열팽창이 구속되면 열응력을 받게 된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 영향을 중점적으로 점검하였으며, Fig. 6은 각 방향의 열변형에 대한 해석 결과를 보인 것이다.

Fig. 6에서 (a)는 면판의 상면방향으로만 팽창한 모습을 보여 주고 있으며 최대 팽창량은 $28.8 \times 10^{-6}(m)$ 이고 상면

의 작업면판 중앙 부분에서 작업면판의 모서리 부분까지는 길이방향으로 팽창이 나타난다. (b)는 척의 측면방향으로만 팽창한 모습을 보이고 있다. 작업면판의 측면은 반대편의 척 측면보다 적은 팽창이 일어났으며 최대 팽창량은 $35.41 \times 10^{-6}(m)$ 이다. (c)는 척의 길이방향으로만 팽창한 모습을 보이고 있으며 길이방향의 두 측면이 모두 비슷한 팽창특성을 나타내고 있고, 이때 최대 신장량은 $56.48 \times 10^{-6}(m)$ 이다. (d)는 척의 전 방향으로 팽창한 모습을 보인 것이며 길이방향의 양끝 부분에서 최대 팽창량은 $63.40 \times 10^{-6}(m)$ 정도이고 작업면판의 대부분은 $40 \times 10^{-6}(m)$ 이하이므로 척의 정밀도에는 별다른 영향이 없을 것으로 생각된다.

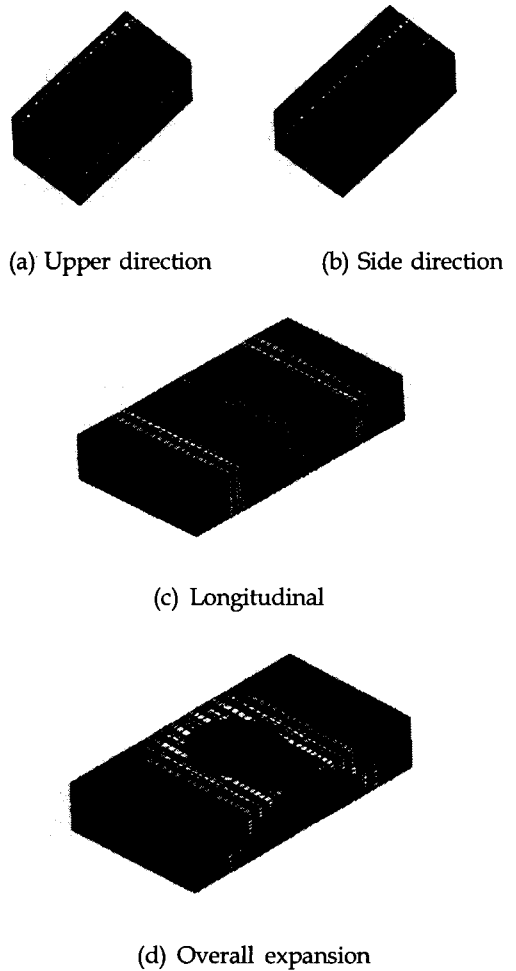


Fig. 6 FEA results of thermal expansion in each direction of chuck.

4. 직각 전자척의 검증실험 및 고찰

4-1. 검증실험 방법

KS 규격에서 전자척 면판 위에서의 흡착력은 평균 10kgf 이상으로 하고 있고, 가장 약한 곳에서는 5kgf 이상으로 하고 있다. 그리고 온도상승은 15℃ 이하로 되어 있다. 겉모양은 터짐 및 해로운 흠, 녹 등의 결점이 없고 다듬질은 양호하여야 하며 물 속에 넣었을 때 내부에 물이 스며들거나 절연이 저하해서는 안되도록 규정되어 있다.

작업면판의 흡착력 시험방법으로는 시험편에 격리대를 걸쳐 놓고, 각 측정개소에 흡착시켜, 저울을 사용하여 면판에 수직인 방향으로 서서히 잡아 당기면서 면판으로부터 시험편이 떨어지는 순간의 값을 5회 이상 읽어서 각 측정값의 산술평균을 가지고 각 측정개소의 평균값으로 하였다. 작업면판 양끝 부분에서 5mm인 위치와 척 중심 및 그 중간에 그은 세퍼레이터에 직교하는 선과 길이 방향 끝 부분으로부터 세퍼레이터와 교차하는 점을 측정점으로 하였다.

그리고 전기적 특성시험은 온도상승 시험, 절연저항 시험 및 내전압 시험의 순서로 실시하였다. 온도상승 시험은 척에 정격 전류를 3시간 통한후 유리제 온도계(전체 담금)에 따른 봉모양 온도계로 척 작업면 중앙의 온도 상승을 측정하였다. 본 연구에서는 작업면판의 상면과 측면을 모두 측정하였고 온도계는 디지털 온도계를 사용하여 측정하였다.

절연저항 시험은 온도상승 시험 직후 충전부의 몸체 사이에 절연 저항계(발전기식) 또는 전자식으로 500V의 절연 저항계로 측정하였다. 내전압 시험은 절연저항 시험 직후 충전부의 몸체 사이에 주파수 60Hz로 정현파에 가까운 1500V의 전압을 1분간 가하였다.

한편 내수성 시험은 척을 물 속에 넣고 척 내부에 1kgf/cm²(0.098Mpa)의 공기압을 가하여 척 외부에 나오는 기포의 유무를 확인하였다. 압력은 부르돈관 압력계에 의해 측정하였다.

4-2. 흡착력 검증실험 결과

직각 전자척에서 동일한 구조가 주기적으로 반복되고 입력 전원이 척의 반씩 나뉘어서 공급되므로 Fig. 10에서 ①~⑧까지의 각 지점에 대하여 흡착력을 측정하였다. 용수철 저울의 사용 범위가 0~20kgf인 것에 시험편을 달아 흡착력을 실험한 결과는 Table 1에서 보는 바와 같이 평균 흡착력이 각각 10.22kgf와 10.33kgf를 나타내었다.

①~⑧행은 ①행을 제외하고는 비교적 일정한 흡착력을

나타내었으며, ⑦행과 ⑤열을 제외하고는 일정한 흡착력을 나타내었다. 한편 Table 2는 Table 1보다는 흡착력의 평균값이 높게 나타나는데, 이는 작업면판 측면의 자속밀도 분포가 상면의 자속밀도 분포보다도 균일하기 때문으로 생각된다. 그리고 모두 ①행에서 최대 흡착력이 나타난 것은 유한요소해석 결과와 일치하였다. 모든 작업면판에서 평균 흡착력이 10kgf 이상이므로 KS규격에 적합하다.

4-3. 온도상승 검증실험 결과

상온 20℃ 상태를 유지하면서 정격 전류를 48시간 이상 통전한 후 측정된 범위가 0~99℃인 디지털 온도계로 측정된 결과는 Table 3과 같다. 측정시 실온은 20.12℃이었다.

최대온도에 가까운 26℃ 이상의 온도가 측정되었는데, 이는 앞의 유한요소해석 결과와 비교적 잘 일치하였다. 한편 Table 4에서는 평균온도가 24.68℃로 일정하게 나타났으나, 작업면판 상면의 평균 온도보다는 다소 낮게 나왔다. 이는 연삭기의 테이블에 직각 전자척이 설치되고 열응력에 의한 팽창을 유한 요소 해석할 때 경계 조건에서 고정점이 있어야 하므로 정반 위에 척을 놓고 온도를 측정하여 작업면판의 측면은 이와는 통전에 의해 상면 보다 온도가 낮게 측정된 것으로 생각된다.

최소 24.3℃에서 최대 26.7℃로 나타났으며, 최대 상승 온도는 6.58℃(10℃ 이내)로써 공작물에는 별다른 영향은 미치지 않을 것으로 생각되며, KS규격에 만족한다.

Table 1. Chucking force in upper plate.

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
A	10.4	9.6	10.4	10.4	9.5	10	10	10.2
B	12	10.2	10.8	10.2	10.2	10	11	10.2
C	11	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.2	10.2
D	10	10	10	10	10.2	10.2	10	10
E	10	10	10	9.8	10.2	10.6	9.6	10
Minimum : 9.500, Maximum : 12.00 Average : 10.22								

Table 2. Chucking force in side plate.

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
a	10.8	10.2	10.4	10.8	10.8	10.4	11	10.4
b	11	10	10.8	10.4	10.4	10.4	11	11
c	11	10	10	9	10	10.2	10.4	10.4
d	11	10	10	10.2	9.8	10	10.2	10
e	10	10	10.2	10	10	10.2	10.2	10.2
Minimum : 9.000, Maximum : 11.00 Average : 10.32								

Table 3. Temperature distribution in upper plate.

	①	②	③	④	⑤
A	25.1	25.7	26.1	25	24.4
B	25.2	26.3	26.5	25.2	25
C	25.4	26.3	26.3	25.1	25
D	25.3	26.3	26.3	25.2	25
E	25.4	26.3	26	25.1	25
Minimum : 24.40, Maximum : 26.50 Average : 25.54					

Table 4. Temperature distribution in side plate.

	①	②	③	④	⑤
Ⓐ	24.5	24.7	24.9	24.8	24.7
Ⓑ	24.5	24.8	24.9	24.9	24.6
Ⓒ	24.6	24.9	24.9	24.9	24.6
Ⓓ	24.5	24.7	24.8	24.7	24.5
Ⓔ	24.4	24.6	24.7	24.6	24.3
Minimum : 24.30, Maximum : 24.90 Average : 24.68					

5. 결론

본 연구에서는 기존 전자척의 단점을 보완하기 위하여 상면과 측면의 두 직각면을 모두 자화시켜 사용하는 직각 전자척을 고안하였고, KS 규격에서 정하는 전자척의 흡착력과 자력밀도 분포 및 발열특성의 기준치를 모두 만족시킬 수 있도록, 여러 차례의 단계적인 실험계획법을 통해 직각 전자척의 기본 구조를 발전시켰다.

각 발전단계의 모델에 대해서는 유한요소법을 통해 면판의 자속밀도와 온도분포, 그리고 열응력에 의한 열팽창 특성들이 해석되었고, 이를 실제 시제품으로 제작하여 KS에서 규정하는 성능평가 실험을 실시하였으며, 개발된 직각 전자척 모델이 KS 규격에서 정하는 모든 기본 조건을 만족하고 있음을 확인하였다.

마그네틱 척의 흡착력의 있어서는 그 평균값이 작업면판의 상면에서는 10.22kgf 나타났고, 작업면판의 측면에서는 10.32kgf로 안정적이었다. 작업면판 상면에서는 흡착력의 최소값이 9.5kgf이고 최대값은 12kgf이었으며, 측면에서는 최소값이 9kgf이고 최대값은 11kgf으로 전체의 작업면판에 대하여 비교적 균일한 분포를 나타냈다.

한편 척의 발열특성에 있어서는 20.12℃의 실온에 대하여 상면에서의 최소온도가 24.4℃이고 최대온도는 26.5℃이었으며, 평균온도는 25.54℃으로 나타났다. 그리고 측면

에 있어서는 최소온도가 24.3℃이고 최대온도가 24.9℃이었으며, 평균 온도는 24.68℃이었으며, 최대 상승온도는 6.38℃로 10℃이하의 조건을 만족하였다.

또한 작업면판에 공작물을 흡착시켰을 때에 면판에 수직 한 방향은 강한 흡착력을 보이고 면판에 평행한 방향으로는 약한 흡착력을 보였으나 가공에는 별다른 영향은 없었다. 그렇지만 면판의 전단 방향으로 다소 약한 흡착력을 보이는 경향이 있는데, 이는 면판의 전단 방향에 있어서 자기장이 균일하지 못하기 때문으로, 작업면판과 공작물의 사이에 마찰계수가 작은 데에 원인이 있는 것으로 조사되었다.

참고문헌

- (1) 김청균, 김한구, 홍성준, "전자척의 고정압력분포에 관한 실험적 연구", 한국공작기계기술학회지, Vol. 5, 1996
- (2) 최민석, 김정두, "회전자력 연마시스템에 의한 곡관내면의 경면가공에 관한 연구", 한국공작기계기술학회 '98 춘계 학술대회 논문집, pp.131-151, 1995.
- (3) Lenk, J.D., "Handbook of Electronics Meters - Theory and Application", Prentice Hal Inc., 1993.
- (4) David J. Griffiths. "Introduction to Electrodynamics", Prentice Hall Inc., 1989
- (5) 염영하, "신편 공작기계- 마그네틱척의 개요", 동명사, 1993
- (6) 임체호, 김승진, 이영희, "기초 전자기학", 교학사, 1998
- (7) "한국공업규격 KS B 4025-마그네틱 척의 시험방법", 한국공업표준협회, 1981
- (8) 성영권, 문병무, "전기·전자 물성 공학", 신성, 1997
- (9) 조기선, 손동설, 정인수, 최희태, "전자기학", 석문당, 1996
- (10) 이재원, 차일남, "ANSI·ISO 규격에 의한 정밀기계설계제도법", 성안당, 1988
- (11) 심규석, 이성오, 정인승, 정해면, "신편재료역학", 세경서원, 1988
- (12) 강영규, "신편 열전달", 동명사, 1994