

연삭기용 직각 전자척의 자력특성에 관한 연구

맹희영*, 김성환†

(논문접수일 2005. 8. 5, 심사완료일 2005. 10. 14)

Magnetic Characteristics of Square Electro-Magnetic Chuck for Grinding Machine

Hee-young Maeng*, SungHwan Kim†

Abstract

The new square electro-magnetic chuck, which can be used 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(직각 전자척), Parallelism(평행도), Flatness(평면도), Magnetic fields(자속), Thermal deformation(열변형), Drag force(흡착력)

1. 서론

연삭가공에서 공작물을 고정하는 방법은 기계부품의 가공 정밀도를 유지시켜 주는 데에 매우 중요한 인자이며 공작물 칩탈의 편리성과 효율성에 직접 영향을 주게 된다.

전자척(Electro-Magnetic Chuck)은 연삭가공에서 공작물을 흡착하기 위해 가장 널리 사용되는 방식으로 고정장치

의 조작이 간편하여 가공물의 높은 평면도와 평행도를 유지시켜 주고, 공작물 고정시 굽힘이나 변형자국을 남기지 않는 장점을 가지고 있다^{(1,2)}}.

최근 고정밀, 고하중, 고속연삭가공 기술의 필요성이 더욱 높아짐에 따라 전자척의 기능 향상과 개선에 대한 필요성도 높아지고 있다.

현재 일반적으로 상용되고 있는 전자척은 작업면판에 일

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

† 서울산업대학교 기계설계자동화공학부

정 간격의 비자성 격리대를 삽입하고 그 사이에 자성체 금속을 주기적으로 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 수평지지가 불안하여 채터진동의 우려가 클 뿐만 아니라 공작물면에 압입 자국을 남기는 단점이 있다^(4,5).

본 연구는 이러한 기존 전자척의 단점을 보완하기 위하여 상면과 측면의 두 직각면을 모두 자화시켜 사용하는 직각 전자척을 제안하고자 한다.

상면 이외에 측면의 작업면도 자화시켜 사용하게 되므로 별도의 지그를 장착하지 않고서도 직각면의 연삭가공을 쉽게 가공할 수 있어서 가공 정밀도와 안정성을 높일 수 있을 뿐만 아니라 작업 시간과 노력을 절약할 수 있다.

본 연구에서는 고유의 직각 전자척 모델을 고안하여 이것이 KS 규격⁽⁶⁾에서 정하는 흡착력과 자력밀도 분포, 발열특성의 기준치를 모두 만족시킬 수 있도록, 단계적인 실험계획법을 통해 기본 구조를 발전시킬 수 있었다. 각 발전단계의 모델에서는 유한요소법을 통해 면판의 자속밀도와 온도분포, 그리고 열응력에 의한 열팽창 특성들을 해석하였고, 이를 시제품으로 제작하여 KS에서 규정하는 성능평가 실험을 실시하였다. 이때 해석 및 실험 결과들은 각 단계의 개선 모델을 발전시키는 데에 이용할 수 있었으며, 이를 통해 최종 개발된 직각 전자척 모델은 KS 규격에서 정하는 모든 기본 조건을 만족하고 있음을 확인할 수 있었다.

2. 전자척의 특성과 구조개선

2.1 기존 전자척의 유형과 구조적 특징

평면 연삭기에 사용되는 기존 전자척의 종류는 그 모양에 따라 각형과 둥근형으로 분류되며, 둥근형은 다시 그 표면 모양에 따라 방사형(star pole type)과 동심원형(ring pole type)으로 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⁽⁷⁾.

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 단일형과 분할형의 2종류로 나눌 수 있다⁽⁸⁾.

단일형의 경우는 척의 크기가 작은 경우 하나의 자성체를 사용하는 내부 구조로, 작업면판의 가장자리 부분에서 흡착력이 약하지만 비교적 전체 면에 걸쳐 강한 흡착력을 형성한다. 구조가 간단하고 제작이 편한 장점이 있지만 전자척의 크기가 제약되는 단점을 가지고 있다.

분할형의 경우에는 척의 크기가 큰 경우 여러 개의 자성체를 분할하여 배치시키는 구조로, 자성체 바로 위의 면판은 강한 흡착력이 형성되나 주기적으로 자성체와 자성체 사이의 중앙부분에서 흡착력이 약한 단점을 가지고 있다.

2.2 직각 전자척의 개선방향

본 연구에서 개발하고자 하는 연삭기용 전자척은 기존의 평면 전자척과는 달리 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, 직각 전자척의 측면을 이용하여 흡착하게 되면 보조 장치 없이도 빠른 시간 내에 임의 위치에 흡착할 수 있다. 그리고 어느 단일부품에서 직각을 이루는 두개의 면을 가공하는 데에 있어서도 부품의 형상공차도 신뢰성 높게 낼 수 있다.

그러나 직각 전자척은 두개의 작업면 모두가 강하고 균일한 자력분포를 갖도록 하여야 하기 때문에 보통의 평면 전자척보다 설계하기 어렵고, Joule열에 의한 열변형 문제도 복잡하게 대두된다⁽⁹⁾.

본 연구에서는 직각 전자척의 내부 구조를 설계함에 있어 분할형 전자척의 기본 구조를 유지하면서, 두개 직각면에 모두 전자척의 구비조건을 잘 만족시킬 수 있도록 자성체를 균형있게 배치하는 데에 주안점을 두었다.

2.3 직각 전자척 내부구조 모형의 개발 단계

KS 규격에서 정하는 전자척이 갖추어야 할 특성으로는 전자척의 흡착강도와 자력분포 특성, 그리고 발열과 열팽창

특성 등이 있으며, 실용적으로 제작성과 경제성도 함께 만족되어야 한다.

이들 요건을 고려하여 본 연구에서는 전자척의 내부구조를 4단계의 실험적 개선과정 거쳐 발전시켰다. 각 단계별 구조에 대한 예비제작 실험결과를 통해 각각의 특성을 다음과 같이 파악하였다.

첫 단계에서는 단일형 전자척의 구조를 기본으로 하여 자성체가 직각 전자척 직각면의 대각선 방향을 향하도록 배치시킨 모델을 실험하였다. 이 모델에서는 모서리 부분에서 강한 흡착력을 나타냈지만 모서리에서 멀리 떨어진 상면이나 측면에서는 모두 매우 약한 흡착력을 나타내는 단점을 보였다. 단일형 자성체의 특성상 큰 입력 전류를 필요로 하기 때문에 작업면판 온도 분포도 불균일하고 열변형이 심각하였다.

다음 단계에서 개선한 구조는 규소강판을 여러 장 포개고 가운데에 코일을 감은 셀 구조의 자성체를 길이 방향에 대해 주기적으로 배치한 모델이다. 본 모델에서는 자력강도 측면에서 뛰어난 특성을 보여 상대적으로 입력 전류를 약하게 할 수 있어 발열량이 적어지는 장점을 가지고 있었다. 그러나 전원을 제거한 후에 잔류 자력이 존재하는 문제가 있었고, 수평면과 수직면의 자력이 차이를 보였으며, 또 모서리 양단과 구석부에서 사각지역(death zone)이 발생되는 단점이 있었다.

따라서 다음 단계에서 사각지대의 발생을 억제시키기 위해 장방향 코어의 둘레에 코일을 감은 구조를 가지면서 일정 두께의 코어를 주기적으로 배치시킨 모델을 고안하였다. 그 결과 이 모델은 사각지대 발생의 문제점이 어느 정도 해소되면서도 또한 자력이 균일하고 강하게 분포되는 장점을 나타내었다. 그렇지만 코어 셀들이 직사각형 구조로 일정주기마다

배치되다보니 자력분포상 서로 간섭을 일으키는 현상이 나타났다. 이를 없애기 위해 여러 시도를 수행하였으나, 기본적으로 자기장 간섭이나 방향성이 없는 구조를 찾는 것이 불가능하므로 간섭 현상을 최소로 나타내는 구조를 찾고자 하였다.

이를 위해 최종적으로 Fig. 1 (a)에서 보이는 바와 같이 측면방향과 상면방향에 대해 각각 코일을 분리시키는 모델을 고안하였다. 수평면과 수직면에 별도의 코일을 감아서 양쪽 코일에 독립적인 자기장이 형성되도록 구성하였고, 그 사이에 공간여백을 충분히 두어 상호 간섭이 최소화되도록 하였다.

이 유형의 적용가능성을 검증하기 위해, Fig. 1 (b)와 같은 단위 모형 셀(cell)을 제작하여 자력의 강도와 분포, 균일성, 그리고 입력 전류의 크기와 발열 특성 등을 실험하였고, 단위 셀에서는 KS 규격에서 정하는 기본 구비조건을 충분히 만족하고 있었다.

따라서 이 모델을 제안 모델로 채택하여, 최적 치수를 탐색하기 위한 전자기 해석과정을 거쳤다. 단위 모형 셀의 설계치수 파라미터들을 가변적으로 조합시키면서 유한요소해석을 실시하였고, 이 결과들을 이용하여 사각지역이 최소화되면서 자력강도와 분포특성이 우수한 셀의 치수를 결정하였다. 그리고 각각의 해석단계에서는 해당 입력전류에 대한 발열 조건하에서 직각 전자척의 열팽창 특성과 제작성, 상품성, 그리고 해당 규격의 충족도도 함께 검토하였다.

3. 유한요소법에 의한 전자척의 특성 해석

3.1 유한요소해석 조건 및 과정

직각 전자척의 유한요소해석은 자력특성과 열응력장 해석이 모두 가능한 NISA package를 사용하여 실시하였으며,

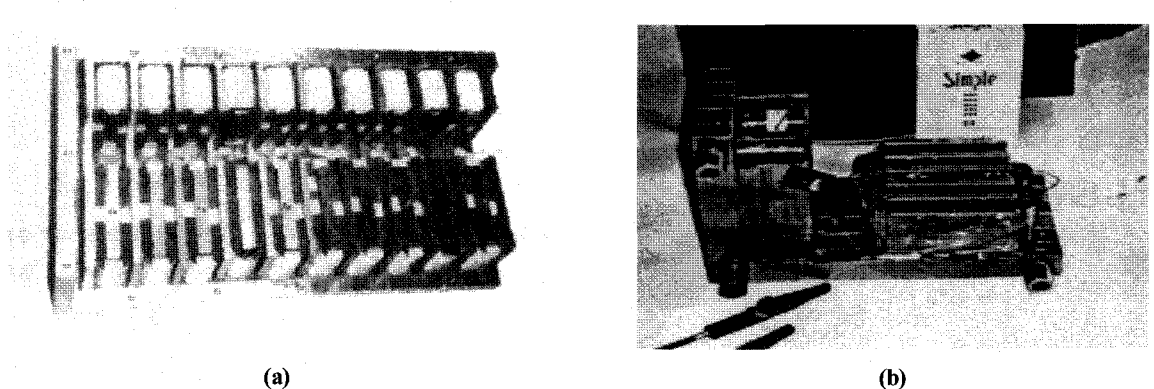


Fig. 1 Fabricated magnetic structure and cell of both directional core type

DISPLAY III, EMAG, HEAT, NISA II의 해석기능 모듈을 활용하여 각각의 층조요건을 조사하였다.

추천 치수 모델은 DISPLAY III의 GEM(Geometric Element Method) 해석모듈에서 총 28980개의 node로 25564개의 삼차원 입체 요소(3D-Solid Element)를 구성하여 모델링 하였다.

그리고 EMAG 해석모듈에서는 작업면판의 흡착력에 영향을 미치는 자속밀도 분포를 구하였고, HEAT 해석모듈에서는 재질들의 열전도율을 고려하여 코일열 발생에 따른 온도 분포를 구하였으며, NISA II 해석모듈에서는 각 재질들의 선팽창계수를 고려하여 열응력장과 열변형 특성을 해석하였다.

3.2 단위 모형 셀에 대한 유한 요소 해석

본 제안 모델에서는 마그네트 셀의 동일한 구조가 주기적으로 반복되므로 단위 모형 셀의 최적 치수를 결정하기 위한 수단으로 해석되었다. Fig. 2에서는 본 모델에 대한 자력분포를 해석한 결과의 한 예를 보이고 있다. 이들 마그네틱 셀에 대해 반복적인 해석절차를 거쳐서 최종적으로 정한 설계 치수는 Fig. 3에서 보이는 바와 같다. 그리고 이들 치수에 적정 입력전류를 고려하여 해석한 자력분포 특성에 관한 결과는 Fig. 4에서 보이는 바와 같다.

이들 자기장 분포와 열변형 특성을 고려하여 격리대 두께는 2.0~3.0mm, 자성체 두께는 10~18mm, 그리고 작업면판의 상면과 측면의 세로치수는 각각 185, 100mm로 설정하여 해석을 실시하였으며, 각각의 치수를 조금씩 증감시키면서 가장 양호한 치수 모델을 탐색하였다. 그 결과 최종적

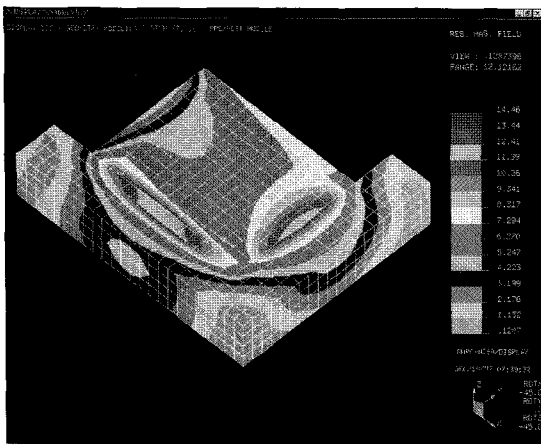


Fig. 2 An example of analyzed magnetic distribution for a magnetic cell

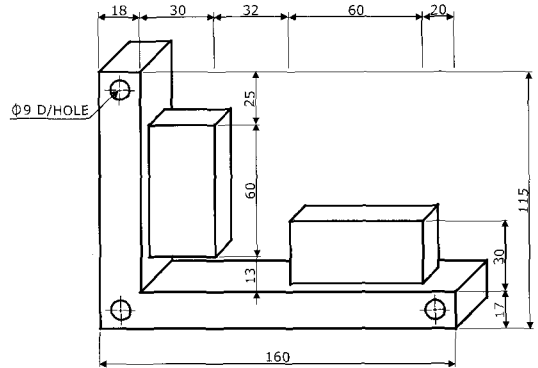


Fig. 3 Final determined dimensions for a proposed magnetic cell

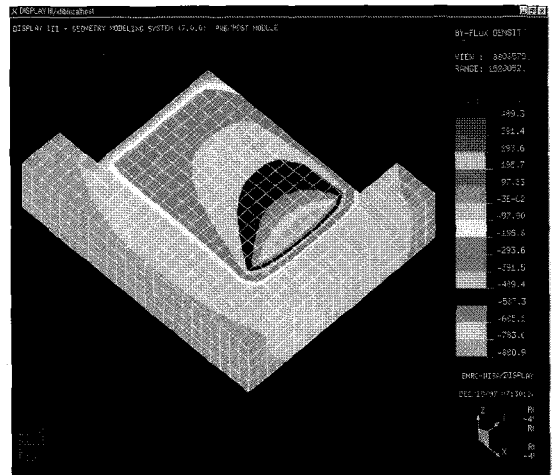


Fig. 4 Analyzed magnetic distribution for a finally advanced magnetic cell

으로 피치 방향의 자성체 두께는 14mm가 격리대의 두께는 최종적으로 2, 2.5, 3mm의 치수 중 2.5mm인 경우가 가장 양호하게 나타났다.

다음으로는 균일한 자기장을 얻기 위하여 격리대 두께를 2.5mm로 하면서 코일이 감기는 부분의 자성체 두께를 6, 8, 10, 14mm의 4가지에 대해 해석하였는데, 두 가지 인자를 함께 고려할 경우에는 코일에 감기는 자성체가 10mm이고 코일에 감기지 않는 자성체가 6mm인 경우가 가장 우수하게 나타났다.

또한 격리대의 두께를 2.5mm, 코일이 감기는 부분의 자성체 두께를 10mm로 하면서 작업면판 상면의 세로 치수 범

위를 172~199mm 사이(3mm 간격)에서, 측면의 세로 치수 범위를 88~114mm 사이(2mm 간격)로 하여 해석하였는데, 이때의 해석결과는 상면의 세로치수가 185mm, 측면의 치수가 100mm인 경우가 가장 우수하게 나타났다.

3.3 조합 셀의 유한요소해석 결과 및 고찰

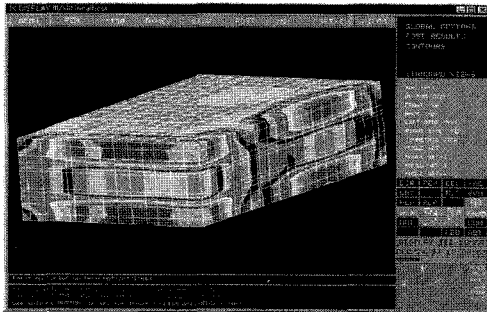
앞의 해석과정에서 결정된 치수의 마그네트 셀은 그 방향성을 고려할 때 3개를 한 개 조로 구성하면 전체 직각 마그네트 조합과 주기적으로 근사한 특성이 나타난다. 따라서 본 연구에서는 유한요소해석상의 효율성을 위하여 3개 셀로 구성된 마그네틱 조합 셀을 대상으로 한 해석결과를 바탕으로 가로 및 세로 치수의 구성, 절연체의 치수와 간섭회비 공간, 그리고 가장 최적인 입력전류와 발열 및 팽창특성과의 관계를 분석하였다.

Fig. 5에서는 전형적인 4가지 조건에 대한 해석결과를 예시한 것으로 그림 (a)에서는 초기에 코일체적을 일정하게 두고 자성체 두께를 14mm로 고정하면서 자성체와 절연체의 구성비를 4:1로 구성한 경우의 해석 결과이다. 그림에서 알

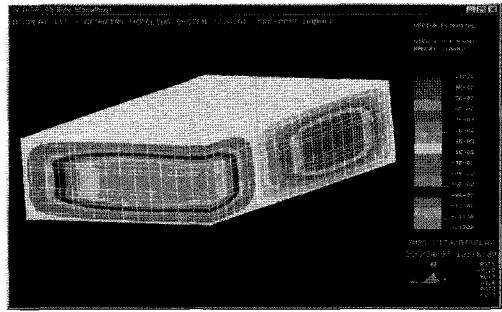
수 있는 바와 같이 초기에는 구성비의 크기가 적절하게 설정되지 않아 자력분포에 있어서도 주기적인 경향을 보이고 있으며, 피치 사이에서 사각지역이 나타나는 현상을 보이고 있다. 따라서 구성비를 가감시키면서 이러한 작업을 반복하여 그림 (b)에서 보이는 바와 같이 주기적인 자력분포의 변화특성을 없앨 수 있었으나, 여전히 사각지역은 잔류되는 현상을 보이고 있다.

한편 그림 (c)의 경우는 코일이 감기는 자성체와 격리대의 크기값, 그리고 세로치수와 가로치수의 비율을 좀 더 예민하게 설정한 결과로 상면과 측면의 자력값 차이는 대폭 줄어들고 있으나, 아직도 상면 자력특성에서 교차부 인접지역에서 사각지역이 나타나고 있고, 대신 반대편에 강하게 집중되는 현상을 보이고 있다. 따라서 그림 (c)의 사각지역을 없애기 위하여 코일의 위치를 약간씩 이동시킴으로써 그림 (d)에서 보이는 바와 같이 사각지역도 거의 없애주면서 자력도 강하게 나오는 특성을 얻을 수 있었다.

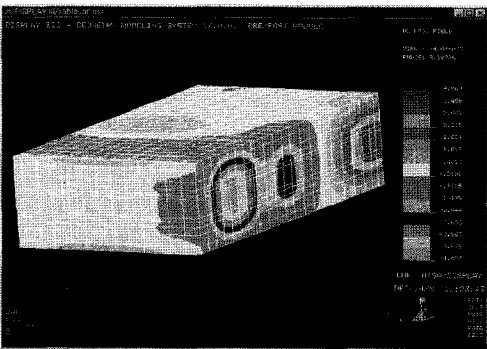
따라서 그림 (d)의 결과를 바탕으로 하면서 최종적으로 전체 마그네트 조합에 대하여 자속밀도 분포와 온도분포, 그리



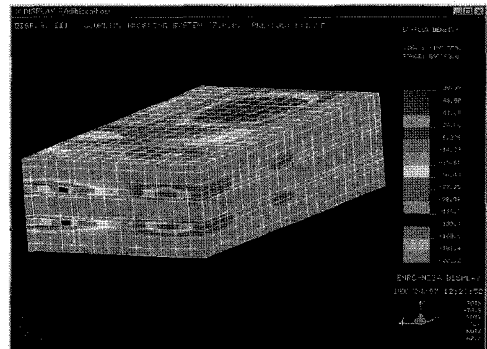
(a) 1st condition



(b) 2nd condition



(c) 3rd condition



(d) 4th condition

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

고 열변형 해석을 실시하여 KS 규격에 따른 구비조건 충족성과 성능을 다음과 같이 검증하였다.

(1) 흡착력에 영향을 미치는 자속밀도 분포

작업면판 상면과 측면의 자속밀도는 길이 방향으로 모두 비교적 일정한 분포를 나타냈다. 작업면판 상면에서 모서리의 가까운 부분이 다소 주위 부분보다 높게 나타나는 현상은 있었지만, 전체적으로 KS규격(최소 5kgf 이상, 전면적 평균치 10kgf 이상)에서 정하는 흡착력을 만족하는 데에는 충분한 특성을 보였다.

(2) 온도분포 특성

상은 20°C에서 전원을 공급하고 충분한 시간이 경과한 정상상태를 기준으로 온도 분포의 범위를 해석한 결과, 분포 범위는 24.9°C ~ 26.4°C 사이에 있었다. 직각 전자척의 온도상승 범위가 3°C 내외이기 때문에 KS규격에 따른 신뢰조건(15°C이하)을 충분히 만족하고 있음을 알 수 있었다.

(3) 열응력장에 따른 변위 특성

척의 온도가 올라가면 열팽창이 필연적으로 따르게 되는데, 이때 구조상 문제로 인하여 열팽창이 구속되면 열응력을 받게 된다. 이들 특성을 검증하기 위해 Fig. 6은 각 방향의

열변형을 해석한 결과이다.

Fig. 6 (a)는 면판의 상면방향으로만 팽창한 모습을 보여 주고 있으며 최대 팽창량은 $28.8 \times 10^{-6}m$ 이고 상면의 작업면판 중앙 부분에서 작업면판의 모서리 부분까지는 길이방향으로 팽창이 나타난다. 그림 (b)는 척이 측면방향으로만 팽창한 모습을 보이고 있다. 작업면판의 측면은 반대편의 척 측면보다 적은 팽창이 일어났으며 최대 팽창량은 $35.41 \times 10^{-6}m$ 이다. 한편 그림 (c)는 척 길이방향으로만 팽창한 모습을 보이고 있으며, 두 측면이 모두 비슷한 특성을 나타내고 있다. 이때 최대 팽창량은 $56.48 \times 10^{-6}m$ 이다. 그림 (d)는 척의 전 방향으로 팽창한 모습을 보인 것이며 길이방향 양끝 부분에서 최대 팽창량은 $63.40 \times 10^{-6}m$ 정도이고 작업면판은 $40.0 \times 10^{-6}m$ 이하이므로 척의 정밀도에는 큰 영향이 없는 것으로 파악되었다.

4. 직각 전자척의 검증 실험 및 고찰

4.1 검증실험 방법

KS 규격에서 전자척 면판 위에서의 흡착력은 가장 약한 곳에서는 5kgf이상으로 하고 있고, 전체 사용면의 평균치가 10kgf이상으로 규정되어 있다. 그리고 온도상승의 허용범위는 15°C 이하로 되어 있다. 겉모양은 터짐 및 해로운 흠, 녹 등의 결점이 없고 다듬질은 양호하여야 하며 물 속에 넣었을 때 내부에 물이 스며들거나 절연이 저하해서는 안 되도록 규정되어 있다.

작업면판의 흡착력 시험방법으로는 시험편에 격리대를 걸쳐 놓고, 각 측정개소에 흡착시켜, 저울을 사용하여 면판에 수직인 방향으로 서서히 잡아당기면서 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 격리대에 직교하는 선과 길이 방향 끝 부분으로부터 격리대와 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 모두에 대해 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 1500V

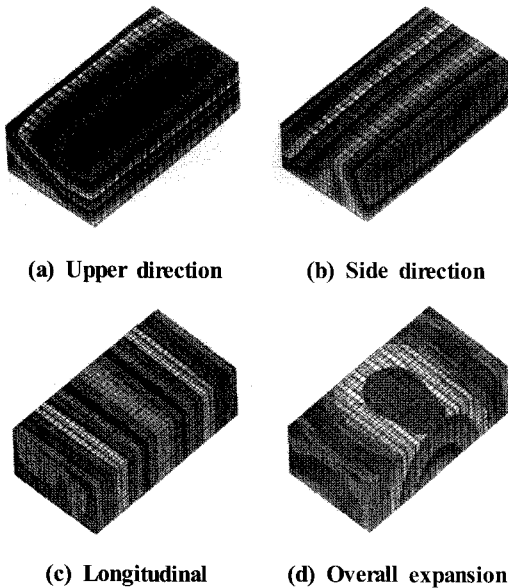


Fig. 6 FEA results of thermal expansion in each direction of magnetic chuck

의 전압을 1분간 가하였다.

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

4.2 흡착력 검증 실험 결과

직각 전자척에서 동일한 구조가 주기적으로 반복되므로 흡착력은 가로방향에 대해 등간격으로 8개 지점, 세로방향에 대해 등간격으로 5개 지점의 흡착력을 측정하였는데, 그 결과는 상면과 측면에 대해 각각 Table 1과 Table 2에서 보는 바와 같다.

평균 흡착력은 상면과 측면에 대해 각각 10.22kg와 10.33 kg를 나타내었는데, 흡착력 분포도 ㉗행과 ㉙열을 제외하고는 일정한 흡착력을 나타내었다.

측면에서의 흡착력 평균값이 상면보다 다소 높게 나타난 반면, 자속밀도 분포는 상면의 경우가 측면의 경우보다 균일하게 분포되고 있다. 그리고 이들 특성은 앞의 유한요소해석 결과와도 잘 일치하였다. 모든 작업면판에서 평균 흡착력이 KS규격

(10kg, 이상)을 만족하고 있으며, 최소 흡착력은 9.0kg을 보이고 KS규격(5kg, 이상)보다 월등함을 알 수 있었다.

4.3 온도상승 검증 실험 결과

상온 20°C 상태를 유지하면서 정격 전류를 48시간 이상 통전한 후 측정된 범위가 0~99°C인 디지털 온도계로 측정된 결과는 Table 3 및 Table 4와 같다. 측정시 실온은 20.12°C이었으며, 온도분포 및 최대온도가 앞의 유한요소 해석 결과와 비교적 잘 일치하였다.

평균온도는 상면에서 25.54°C, 측면에서 24.68°C로 나타났다. 상면의 평균 온도가 측면의 온도보다 다소 높게 나타났다.

그리고 상면과 측면을 모두 포함하는 전체 면에 대하여 온도 분포는 최소 24.3°C에서 최대 26.7°C로 비교적 고르게 나타나고 있어서 열적 집중현상이 없는 좋은 결과를 보였으며, 최대 온도 상승량에 있어서도 6.58°C로 KS규격(15°C 이내)에 비해 월등히 우수함을 알 수 있었다.

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	10.0	10.0	10.2
B	12.0	10.2	10.8	10.2	10.2	10.0	11.0	10.2
C	11.0	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.2	10.2
D	10.0	10.0	10.0	10.0	10.2	10.2	10.0	10.0
E	10.0	10.0	10.0	9.8	10.2	10.6	9.6	10.0

Minimum : 9.50, 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	11.0	10.4
b	11.0	10.0	10.8	10.4	10.4	10.4	11.0	11.0
c	11.0	10.0	10.0	9.0	10.0	10.2	10.4	10.4
d	11.0	10.0	10.0	10.2	9.8	10.0	10.2	10.0
e	10.0	10.0	10.2	10.0	10.0	10.2	10.2	10.2

Minimum : 9.00, 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	25.0	24.4
B	25.2	26.3	26.5	25.2	25.0
C	25.4	26.3	26.3	25.1	25.0
D	25.3	26.3	26.3	25.2	25.0
E	25.4	26.3	26.0	25.1	25.0

Minimum : 24.40, Maximum : 26.50 Average : 25.54

Table 4 Temperature distribution in side plate

	①	②	③	④	⑤
a	24.5	24.7	24.9	24.8	24.7
b	24.5	24.8	24.9	24.9	24.6
c	24.6	24.9	24.9	24.9	24.6
d	24.5	24.7	24.8	24.7	24.5
e	24.4	24.6	24.7	24.6	24.3

Minimum : 24.30, Maximum : 24.90 Average : 24.68

5. 결론

본 연구에서는 기존 전자척에서 한 면만 사용할 수 있는 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 단계를 거친 실험계획법을 통해 그 특성이 가장 우수한 양방향 코일형의 마그네트 셀 구조를 제안하였다. 제안된 모델에 대해서는 유한요소 해석한 결과를 근거로 가장 우수한 특성을 보이는 설계 치수를 탐색하였으며, 이 설계 치수의 실제 시제품을 제작하여 KS규격에서 정하는 성능평가 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 평균 흡착력은 상면과 측면에 대해 각각 10.22kgf와 10.33kgf으로 KS규격(10kgf 이상)을 만족하고 있으며, 최소 흡착력은 9.0kgf을 보이고 있어서 KS규격(5kgf 이상)과 비교하여 월등하게 우수함을 알 수 있었다.

(2) 척의 발열특성에 있어서도 상면과 측면 전체 면에 대하여 최소 24.3°C에서 최대 26.7°C로 비교적 고르게 나타나고 있어서 열적 집중현상이 없는 좋은 결과를 보였으며, 최대 온도 상승량에 있어서도 6.58°C로 KS규격(15°C 이내)에 비해 월등히 우수함을 알 수 있었다.

(3) 또한 열용력장에 의한 열변형 해석 결과에 있어서도 척의 길이방향 최대 팽창량은 28.8×10^{-6} m로 연삭기용 작업면판의 한계 정밀도(40.0×10^{-6} m 이하)보다 우수함을 알 수 있었다.

향후 본 개발 모델이 실용적으로 사용될 수 있기 위해서는 충분한 기간동안 실제 습식의 연삭가공 환경에서 적응성능 실험을 통하여 마그네틱 특성이나 자성재료의 히스테리시스 현상이 발생하지 않는 가를 검증하여야 할 것이며, 방수 또는 치수안정성 평가도 필요할 것으로 생각된다.

참고 문헌

- (1) Kim, C. K., Kim, H. G., and Hong, S. J., 1996, "An Experimental Study on Clamping Pressure Distribution of Magnetic Chuck," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 5, pp. 87~94.
- (2) Choi, M. S. and Kim, J. D., 1995, "A Study on Polishing of Internal Surface of Curved Pipes by Rotary Magnetic Abrasive Machining System," *Proceedings of the KSMTE Spring Conference*, pp. 131~151.
- (3) Lenk, J. D., 1993, "Handbook of Electronics Meters - Theory and Application," Prentice Hall, New York, pp. 181~235.
- (4) Griffiths, D. J., 1989, "Introduction to Electrodynamics," Prentice Hall, New York, pp. 92~131.
- (5) Yeom, Y. H., 1993, "Machine Tools - Overview of Magnetic Chuck," Dongmeongsa, Seoul, pp. 157~178.
- (6) KSA, 2001, "KS B 4025 - Test Conditions for Magnetic Chuck," Korean Standard Association.
- (7) Lim, C. H., Kim, S. J., and Lee, Y. H., 1998, "Fundamentals of Electromagnetics," Kyohaksa, Seoul, pp. 244~279.
- (8) Cho, K. S., Son, D. S., Chung I. S., and Choi, H. T., 1996, "Electro-magnetics," Seokmundang, Seoul, pp. 199~267.
- (9) Seong, Y. K. and Mun, B. M., 1997, "Engineering Materials for Electric and Electronic Purpose," Sinseng, Seoul, pp. 109~134.