

전자척의 고정압력분포에 관한 실험적 연구

김청균*, 김한구**, 홍성준***

Experimental Study on the Chucking Pressure Distribution of Electro-Magnetic Chucks

Chung Kyun Kim*, Han-Koo Kim**, Sung-Jun Hong***

Abstract

This paper deals with the distributions of magnetic flux of an electro-magnetic chuck which is one of the most commonly used chucking attachments in a surface grinding machine. The measured results showed good correspondence with the theoretical results which were previously presented by the same author. The normal and tangential components of the magnetic flux density were measured using the gauss meter. The measured results indicated that the magnetic flux density was periodically changing over the transverse position to the magnetic pole. The normal component of magnetic flux decreases very rapidly for the increased z position.

Key Words : Electro-Magnetic Chuck(전자척), Magnetic Flux Density(자속밀도), Separator(격리대), Face Plate(면판)

1. 서 론

공작기계에서 공작물(Workpiece)을 어떤 방법으로 고정하여 가공하느냐는 대단히 중요한 문제이다. 공작기계의 고정장치로 널리 사용되는 스피들척(Spindle chuck)⁽¹⁾, 3조식척(Three jaw chuck)⁽²⁾, 테이퍼 연결

결식척(Taper connection chuck)⁽³⁾, 전자척(Electro-magnetic chuck)^(4,5) 등에 관한 연구가 부분적으로 진행되었다. 또한 기계가공에서 공작물을 어떠한 방식으로 고정하느냐에 따라서 공작물의 가공 정밀도나 가공효율은 직접 영향을 받게 되고,⁽⁶⁾ 고정장치의 설치 상태에 따라서는 체터진동(Chatter vibration)⁽⁷⁾ 발생

* 홍익대학교 기계공학과

** 홍익대학교 트라이볼로지 연구센터

*** 대우자동차 기술연구소

의 원인이 되기도 한다.

특히 전자척은 연삭가공에서 공작물을 고정하기 위한 방식으로 널리 채택하고 있는 고정장치(Clamping unit)로 조작성이 간편하고, 공작물에 고도의 평행성과 평편도(Parallelism and flatness)를 제공하며, 공작물 고정시 긁힘(Scratch)나 변형자국(Permanent deformation)을 남기지 않는 특징을 갖고 있다. 연삭가공시 생산성과 정밀도 향상의 측면에서 고정밀가공, 고하중가공, 고속가공 등의 조건을 요구하는 경우가 많아졌고, 이에 따른 전자척에 대한 연구의 필요성이 크게 증대하였다. 그러나 공작물을 지지·고정해 주는 전자척에 대한 연구는 기술력이 부족한 중소기업체에서 대부분 경험적으로 주문자 생산방식(OEM)으로 제작되고 있기 때문에 대단히 미진한 상태이다.

전자척에서의 고정력(Chucking force)은 자속밀도 성분의 자승에 비례한다. 즉, 고정력 F 와 자속밀도 B 는 $F = aB^2/8\pi$ 의 관계식으로 표현되며, a 는 사용된 소재의 투자율(Magnetic permeability)에 관련된 상수이다. 그러나 실제의 전자척에서는 격리대(Separator)가 존재함으로 인하여 이 식을 직접 사용할 수는 없고, 수정된 해석을 수행하여야 하기 때문에 전자척에 대한 이론적인 해석을 대단히 어렵게 하는 점이다.

그래서 저자는 1차적으로 전자척의 전기적 특성, 자장분포, 자속밀도 등을 고려하여 전자기학적으로 근사적인 해석을 수행하였고,⁽⁵⁾ 이 모델을 기초로 본 연구에서는 전자척의 자속밀도 분포 해석의 타당성을 실험을 통하여 검증하고, 이것을 기존의 다른 연구결과와도 비교하였다.

전자척의 면판(Face plate)내에서 균일한 자속밀도 분포를 측정하는 것은 전자척 설계에서 중요한 의미를 갖는다. 즉, 실험적으로 측정된 자속밀도 해석 데이터는 전자척 설계에서 면판내의 고정력이 항상 균일하게 분포할 수 있도록 격리대를 조절할 수 있는 근거가 되므로 전자척 설계시 유용한 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

2. 실험장치

연삭기(Grinding machine)에서 많이 사용하고 있는 대표적인 직사각형의 전자척에서 고정력 특성을 해석하

기 위한 실험 장치도를 Fig. 1에서 보여주고 있고, 격리대(Separator)의 배열형태와 자력선의 이동형태는 Fig. 2에 나타내고 있다. 자력선을 측정하는 센서가 수평방향(x방향)과 수직방향(z방향)으로 정확하게 이동할 수 있도록 하기 위하여 연삭기의 상부에 x-z방향으로 이동장치를 설치하였다. 전자척에서 발생하는 수직방향과 접선(수평)방향의 자속밀도 크기는 F.W. Bell사의 모델 9900 가우스미터(Gauss meter)를 사용하여 측정하였다.

사용된 전자척의 크기는 $340 \times 150 \times 106\text{mm}$ 이고, Fig. 2에서 보여주는 격리대의 두께 $e = 2\text{mm}$, 피치 $p = 11\text{mm}$ 이며, 사용된 전자척의 입력전원은 AC 220V, 출력은 DC 95V, 3A의 용량을 갖는다. 또한 전자척의 평편도(Flatness)를 보증하기 위하여 평면 연마기의 테이블에 전자척을 설치한 후 외부의 환경변화에 따른 자화조건의 영향을 모두 배제시킨 상태에서 자속밀도를 측정하였다.

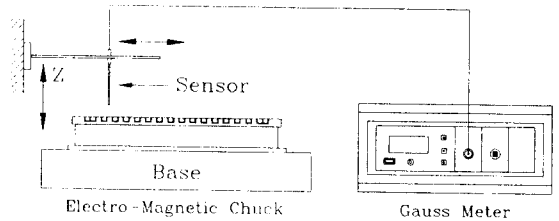


Fig. 1 Schematic view for measuring magnetic flux density

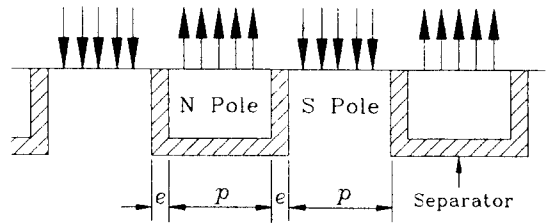


Fig. 2 Magnetic flux and details of the separator

3. 실험방법

전자척 표면에 존재할 수 있는 먼지나 유막과 같은 이물질을 제거하기 위하여 아세톤을 사용하였고, 실험기간 동안에 공작물과 전자척 사이의 접촉면이 항상 청정상태를 유지하도록 노력하였다. 전자척의 자속밀도를 정확하게 측정하기 위하여 Fig. 1과 같은 측정센서 고정장치를 부착하여 수평방향과 수직방향으로의 정밀한 이동거리를 확보하였고, 특히 센서의 이동거리를 보증하기 위하여 거울을 사용하였다. 즉, 센서의 위치를 정확하게 나타내는 실제 지점과 거울에 투영된 위치가 서로 일치하였을 때 정확하게 이동된 것으로 간주하여 자속밀도를 측정하였다.

격리대에 직각인 수평방향으로의 자속밀도는 1mm씩 증가시키면서 반복하여 측정하여 접선방향의 자속밀도를 측정하였다. 또한 전자척 면판에 수직 상방향, 즉 z방향으로는 Fig. 1과 같이 2축 이상이 가능한 고정기구를 사용하여 1mm씩 상승시켜 법선(수직 상방향)방향에 대한 자속밀도 데이터를 얻었다.

4. 실험결과 및 고찰

실험을 위하여 특별히 제작된 각형 전자척은 격리대의 두께가 2mm이고, 전자척의 치수는 $340 \times 150 \times 106$ mm이며, 여기서 얻어진 실험적 결과는 Figs. 3~5에서 제시하고 있다.

격리대에 수직인 상방향으로 측정된 법선방향의 자속밀도를 보여주는 Fig. 3의 실험적 결과에 의하면 격리대를 중심으로 N극과 S극에 따라서 자속밀도는 주기적인 대칭형태로 분포하고 있다. Fig. 3에 따르면 면판위의 격리대에 근접한 부근, 즉 13mm 위치에서 최대자속밀도 70mT가 계속되었다. 법선방향 자속밀도의 절대치는 면판에 수직방향을 나타내는 z의 위치가 전자척 면판에 근접할수록 격리대 부근에서 자속밀도가 주기적인 쌍봉형태로 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이 그림에서 $z = 0$ 는 공작물이 전자척의 면판에 접촉한다는 것을, $z = 1$ 은 공작물이 전자척의 평면으로부터 1mm 상방향으로 떨어져 있다는 것을 각각 의미하는 것이다. 공작물이 전자척의 면판으로부터 멀어질수록 자속밀도의 영향은 크게 줄어들고 있음을 알 수 있다. 또한 Fig.

3에서 자속밀도세기의 측정결과가 대칭적으로 나타나지 않고 기준선 0 보다 약간 위로 치우친 모양은 면판의 N극으로 부터 방출된 자속이 S극으로 이동할 때 공기중이나 면판에 붙어있는 각종 이물질 등에 의하여 방해받기 때문이다.

이 결과는 전자척 사용시 공작물은 가능한 격리대를 중심으로 대칭성이 있게 위치시켜야 하고, 공작물의 크기는 자속밀도 분포도의 최대 크기가 공작물 체적(Workpiece volume) 범위내에서 가능한 모두 분포될 수 있도록 결정하는 것이 좋으며, 공작물 가공시 전자척의 면판위에 있는 각종 이물질을 완전히 제거하는 것이 바람직하다. 이렇게 함으로써 전자척은 균일하고도 견고한 고정력을 확보할 수 있게 된다. 그러나 정밀한 가공을 요하는 비대칭의 공작물이 우연히도 비균일하게 설치되었을 경우, 가공후의 정밀도는 커다란 영향을 받게 될 것임을 예측할 수 있다.

Fig. 4는 전자척에서 접선방향(수평)의 자속밀도 크기를 측정한 결과로 공작물이 면판에 접하는 $z=0$ 에서의 최대값은 35mT로 격리대 부근(Fig. 4에서 15mm인 지점)에서 포물선 형태로 나타나고 있다. 접선방향 자속밀도의 최대치는 전자척 면판에 근접할수록, 즉 z가 0으로 접근할수록 증가함을 보여주고 있다. 공작물이 면판위에서 접선방향의 자속밀도 분포가 불균일하도록 설치된다면 공작물은 접선방향의 연삭력에 의하여 미끄러지는 현상이 발생하게 되어 가공 정밀도에 영향을 주게 된다. 그러나 접선방향의 자속밀도 성분은 법선방향의 자속성분과는 달리 전자척의 이물질에 의하여 영향을 받고 있지 않음을 Fig. 4에서 알 수 있다. 즉, 자속밀도가 34mT 정도로 거의 균일하다.

전자척에서 발생하는 법선방향과 접선방향의 자속밀도 크기를 쉽게 이해할 수 있도록 표현한 결과는 Fig. 5에서 주어진다. 타원형의 중심에서 y방향으로 갈수록 법선방향의 자속밀도 크기가 증가함을 나타내고, x방향으로 갈수록 접선방향의 자속밀도가 증가하는 현상을 각각 보여주고 있다. 이 결과에 따르면 전자척의 자속밀도는 가능하면 각방향으로 균일하게 분포해야 공작물을 전자척에 고정하여 가공할 경우 고정력의 불균일로 인한 가공 정밀도에 영향을 주지않게 된다.

Figs. 6~8은 Kim⁽⁵⁾이 전자기학적으로 해석한 모델을 이용하여 계산한 해석적 결과를 제시한 것으로

Figs. 3~5의 실험적 데이터와는 대단히 잘 일치하는 경향을 보여주고 있다. 또한 본 연구의 결과는 전자척의 크기가 $350 \times 150 \times 90 \text{mm}$ 이고, 격리대의 두께가 2mm이며, 피치가 14mm인 경우에 대하여 수행한 Saito⁽⁴⁾의 결과와도 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 즉, Saito가 제시한 법선방향의 최대 자속밀도가 격리대 부근에서 63mT이고, 본 연구에서 제시한 결과가 70mT(참조 Fig. 3)로 10% 이내의 차이를 보여주고 있다. 이것은 실험적 조건이나 전자척의 크기가 꼭 같지 않다는 점을 고려하면 잘 일치하는 결과라 생각된다.

위와 같은 실험적 결과(참조 Figs. 3~5)로 볼 때 저자가 참고문헌 5에서 제시하였던 이론적 해석 방식을 활용하면 전자척 설계를 비교적 용이하게 할 수 있다는 점이다. 즉, 새로운 전자척을 설계할 경우 자석밀도 분포가 우수한가를 보증하기 위해서 본 논문에서 실험적으로 검증한 이론적 해석방법을 활용하면 여러가지 형태를 갖는 격리대와 피치를 간편하게 해석할 수 있으므로 전자척 연구에 많은 도움이 되리라 생각한다.

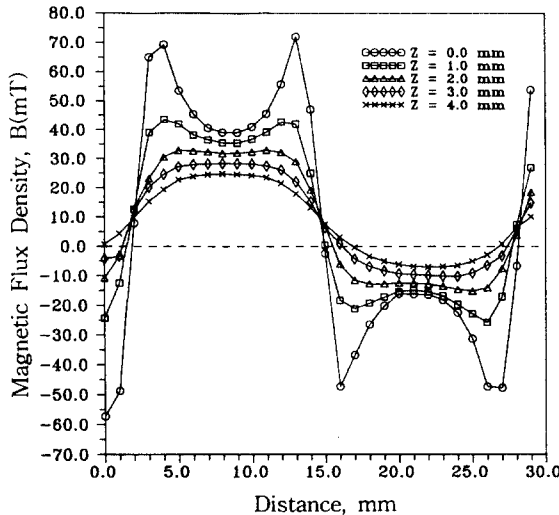


Fig. 3 Normal component of magnetic flux density as functions of chucking position for various values of vertical position

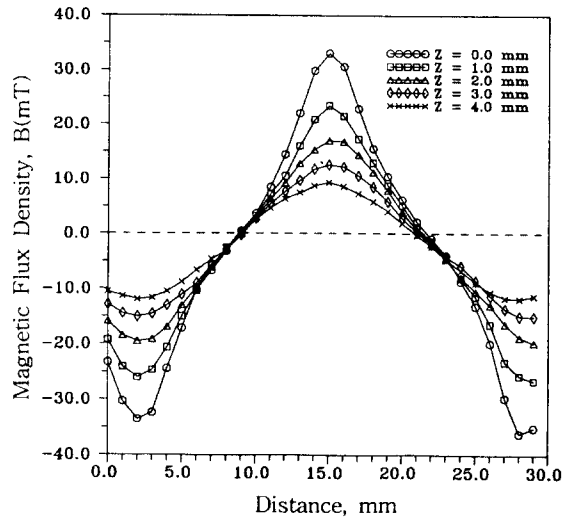


Fig. 4 Tangential component of magnetic flux density as functions of chucking position for various values of vertical position

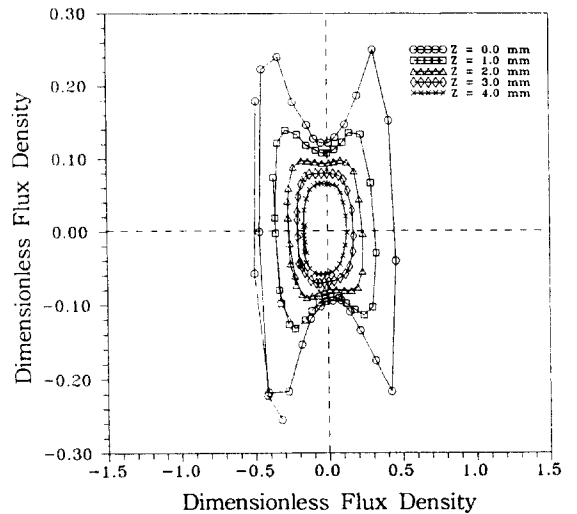


Fig. 5 Distribution of magnetic flux density for various values of vertical position

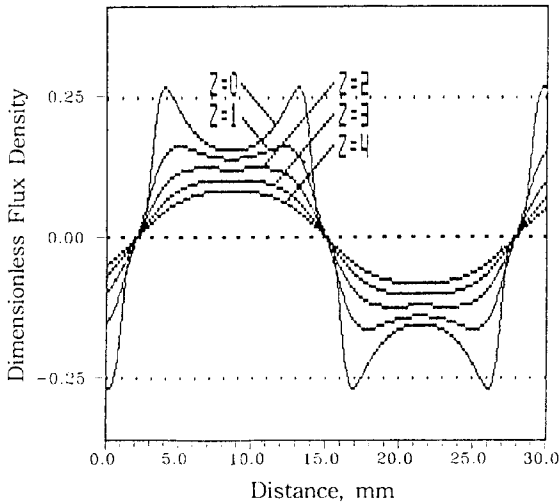


Fig. 6 Normal component of magnetic flux density as functions of chucking position for various values of vertical position. This figure was plotted based on the theoretical model⁽⁵⁾

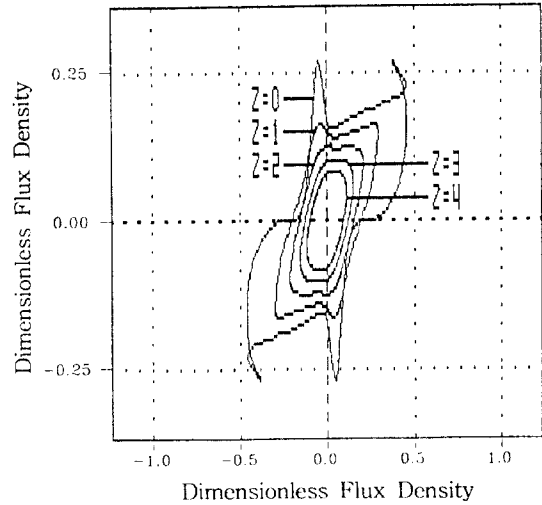


Fig. 8 Distribution of magnetic flux density for various values of vertical position. This figure was plotted based on the theoretical model⁽⁵⁾

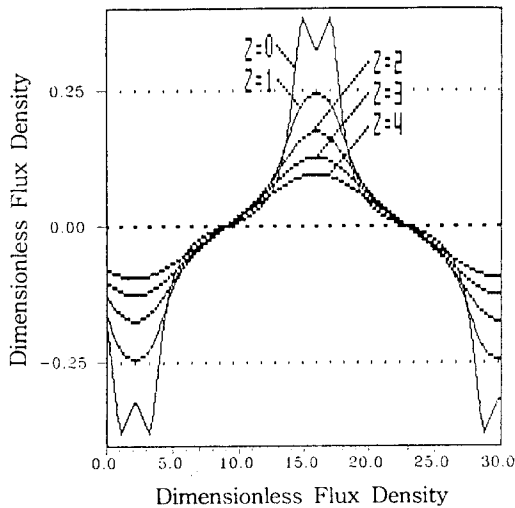


Fig. 7 Tangential component of magnetic flux density as functions of chucking position for various values of vertical position. This figure was plotted based on the theoretical model⁽⁵⁾

5. 결 론

전자척의 자속밀도 분포도를 실험적으로 측정하여 기존의 해석적 모델⁽⁵⁾과 비교한 결과 잘 일치하는 경향을 보여주고 있으며, Saito⁽⁴⁾가 제시하였던 자속밀도와는 10% 이내의 차이가 있으나 실험용 전자척의 차이를 고려하면 대단히 우수한 결과이다. 이것은 저자가 1차적인 연구결과에서 제시하였던 해석적 모델을 사용하여 전자척을 설계하여도 문제가 없다는 것을 의미한다.

실험결과에 의하면 법선방향의 자속밀도는 격리대를 중심으로 쌍봉의 형태로 크게 변화하며, 접선방향의 자속밀도는 면판에 근접할수록(즉, $z \rightarrow 0$ 일 경우) 격리대 부근에서 포물선적으로 증대하는 현상을 보여주고 있다. 이것은 연삭기에서 전자척으로 공작물을 설치할 때 격리대를 중심으로 대칭적으로 배열해야 하고, 또한 면판위의 이물질은 모두 제거해야만이 우수한 고정상태를 유지할 수 있고, 그 결과 공작물의 정밀도를 확보할 수 있다는 것을 의미한다.

공작기계의 가공 정밀도가 전자척의 자속밀도 분포에

따라서 커다란 영향을 받고 있는 점을 고려하면, 접선 및 법선방향의 자속밀도가 전자척 면판내에서 균일하게 유지할 수 있도록 설계하는 것이 대단히 중요하다.

전자척에서 공작물 고정에 대단히 중요한 자속밀도해석을 저자가 사용하였던 이론적 해석방법을 활용하여 핵심 설계 파라미터인 격리대와 피치의 최적치를 해석하면 대단히 유용하다는 측면에서 본 연구 결과의 중요성이 있다.

참고문헌

1. Kadowaki, Y., "Analysis of Chucking Pressure Distribution in Consideration of Joints," Bulletin of JSME, Vol. 29, No. 250, pp.1350-1355, 1986.
2. Doi, M., Masuko, M., and Ito, Y., "The Directional Orientation of Stiffness of the Chucked Workpiece," Trans. of JSME, Vol. 48, No. 429C, pp.761-768, 1982.
3. Tsutsumi, M., Anno, Y., and Ebata, N., "Static Characteristics of 7/24 Taper Joint for Machining Centers," Trans. of JSME, Vol. 48, No. 431C, pp.1050-1058, 1982.
4. Saito, Y., Nishiwaki, N., Ootani, T., and Okimoto, K., "Study on the Chucking Force of an Electro-Magnetic Chuck," Bulletin of JSME, Vol. 28, No. 237, pp.515-522, 1985.
5. Kim, C. K., "Analysis of Magnetic Flux Density in Electro-Magnetic Chucks," J. of KSPE, Vol. 9, No. 2, pp.29-35, 1992.
6. Nakano, Y., "The Effect of Methods for Chucking Workpieces and Tools on Machining Accuracy," J. of JSPE, Vol. 44, No. 11, pp.1299-1307, 1978.
7. Doi, M., Masuko, M., Ito, Y., and Tezuka, A., "A Study on Parametric Vibration in Chuck Work," Bulletin of JSME, Vol. 28, No. 245, pp.2774-2780, 1985.