

# 공기 베어링 스피ن들을 이용한 PCB 드릴링에 관한 연구

배명일\*, 김상진\*\*, 김기수#

## A Study on the PCB(Printed Circuit Board) Drilling by Air Bearing Spindle

Myung Il Bae\*, Sang Jin Kim\*\*, Ki Soo Kim#

### ABSTRACT

This paper describes the PCB drilling using an ultra high-speed air bearing spindle system and micro drill. For this research, we have developed the ultra high-speed air bearing spindle of 125,000 rpm and made an experiment for the application possibility in the PCB drilling. In order to estimate the drilling performance, we have investigated the size and damage of drilled hole, and the wear of drill at 90,000rpm. Results are as follows; we have confirmed the possibility in the PCB drilling of air bearing spindle. In case of micro-drilling PCB at 0.1mm ~0.3mm, the increase in the number of drilling has resulted in a bigger size of holes and also a bigger size of damage. It has been found that the wear of micro drill tends to concentrate in the main cutting edge.

**Key Words** : Air bearing spindle(공기 베어링 스피ن들), PCB(printed circuit board), Micro drill(마이크로 드릴), Drill hole variation(드릴 직경 변화), Main cutting edge(주 절삭날), Drill diameter(드릴직경), Wear of micro drill(마이크로 드릴의 마모)

### 1. 서론

마이크로 드릴링은 자동차 연료 분사노즐, 카메라, 의학용 노즐, 에어 베어링 등 정밀 가공 산업에 다양하게 이용되고 있으며, 전자 및 컴퓨터 부품 산업에서 급격하게 활용의 범위를 넓히고 있다. 특히 전자 부품산업의 발달에 따라 PCB(printed circuit board) 및 IC 차폐 가공에도 그 이용범위가 점차 커지고 있는 추세이다. PCB는 사용 목적에 따라 매우 다양한 재질의 제품이 생산되고 있으며, PCB의 집적도가 향상됨에 따라 고밀도의 PCB에 작은 홀(hole)을 가공할 수 있는

마이크로 홀(micro hole)의 가공기술이 곧 전자 및 컴퓨터 부품산업의 경쟁력을 결정하는 중요한 요소로 부각되고 있다.<sup>1</sup>

마이크로 홀의 가공기술은 종래에는 기계적인 가공을 이용하는 것보다 전기, 화학적 방법을 이용하여 왔다. 하지만 종래의 가공방법들은 다양한 재질의 PCB에 동일한 가공기술을 적용할 수 없고 또한 가공장비가 매우 고가라는 단점을 가지고 있다. 하지만 기계적인 드릴링은 PCB의 종류에 관계없이 동일한 가공기술을 적용할 수 있으며, 또한 초정밀 가공기술의 발달에 따라 소형화된 드릴을 생산할 수 있는 기반시설이 구축되어가고 있기 때문에 마이크로 홀의 가공에 적용이 검토되고

접수일: 2004년 6월 30일; 게재승인일: 2005년 1월 21일

\* 충남대학교 공과대학 기계공학과

\*\* 충남대학교 대학원 기계공학과

# 교신저자 : 충남대학교 공과대학 기술교육과

Email : kkssoo@cnu.ac.kr, Tel. (042) 821-5699

있다.<sup>2</sup> 1.2mm이하의 직경을 가진 다양한 직경의 드릴이 전자 부품산업에 이용되고 있지만 기존의 공작기계로는 이들 드릴의 사용이 불가능하기 때문에 많은 공작기계가 회전 정밀도가 높으며 고속회전이 가능한 공기 베어링 스피들 시스템으로 교체되고 있다.<sup>3</sup>

따라서 본 연구에서는 (주)에원테크에서 제작한 초고속 공기 베어링 스피들 시스템을 이용하여 초정밀 드릴링 시스템을 구축하였으며, 구축된 시스템을 이용하여 공기 베어링 스피들의 PCB드릴링 적용 가능성을 평가하기 위하여, 마이크로 드릴의 직경에 따른 홀의 정밀도 및 드릴의 마모 상태를 조사하였다.

## 2. 본론

### 2.1 공기 베어링 스피들

Fig. 1은 본 연구를 위하여 (주)에원테크와 본 연구진이 함께 설계, 제작한 공기 베어링 스피들의 구조를 나타내고 있다. 스피들은 회전축, 레이디얼 공기 베어링, 트러스트 공기 베어링, 구동 모터로 이루어지고 있으며, 회전축은 모터의 회전자를 회전축에 직결하는 모터 일체형이고, 회전축의 전단부에 트러스트 베어링을 위한 칼라가 설치되어 있다. 트러스트 베어링의 압축 공기가 공기 유로를 통하여 회전축 트러스트 칼라의 양쪽에 있는 2개의 트러스트 베어링에 공급되며, 원주방향으로 설치된 공기공급 노즐을 통하여 분사되고, 트러스트 칼라와 베어링사이에 유막이 형성되도록 구성하였다.

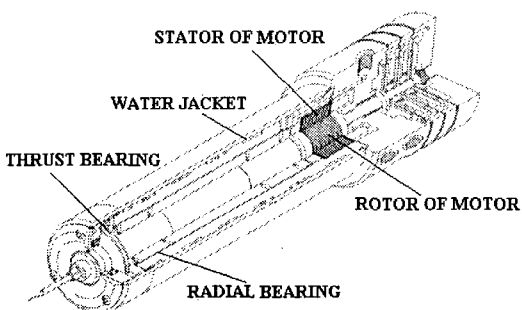


Fig. 1 Assembly drawing of the air bearing spindle

### 2.2 공기 베어링 스피들 시스템

Fig. 2는 공기 베어링 스피들 시스템의 구성도를 나타내고 있다. 공기 베어링 스피들 시스템은 스피들의 구동에 필요한 공기를 압축할 수 있는 공기 압축기(air compressor), 압축된 공기의 수분을 제거하기 위한 압축공기 건조기(air dryer), 수분이 제거된 공기의 불순물을 제거하기 위한 공기 필터(air filter), PCB 드릴링을 위한 공기 베어링 스피들, 공기 베어링 스피들의 냉각을 위한 냉각 시스템 및 회전수를 제어하기 위한 회전수 제어기로 이루어져 있다.

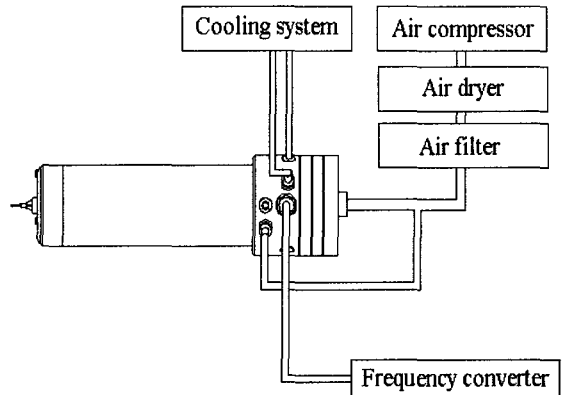


Fig. 2 Configuration of the air bearing spindle system

공기 압축기는 경원상사의 제품으로 동력 3HP, 최대압력 10kgf/cm<sup>2</sup>의 용량을 가지고 있으며, 공기 건조기는 한영(HANYOUNG)사의 DH-7을 사용하였다. 회전수의 제어는 주파수 변환방식으로 주파수 변환기는 델타 일렉트로닉스(Delta Electronics)의 VFD-B 인버터를 사용하였다. 이 인버터는 출력 변환범위가 0.75~4.5kW이며, 가감속 시간, 주파수 지령, 회전속도 피이드백 기능 등을 가지고 있다.

## 3. 실험장치 및 방법

Fig. 3은 PCB 드릴링을 위하여 설치된 실험장치의 개략도이다. 공기 베어링 스피들은 CNC드릴링머신의 헤드틀을 90도 회전시킨 후 CNC드릴링머신의 더브테일(dove tail)에 별도의 지그를 설계 및 제작하

여 부착하였다. 시험편의 고정은 CNC밀링머신(독일, FP2NC DECKEL)의 테이블 위에 Fig. 3과 같이 정반을 설치한 후 정반 위에 드릴링 중 마이크로 드릴의 날 끝을 보호하기 위하여 MDF(medium density fiber)를 고정시킨 후 시험편을 설치하였고, 지그로 고정하였다.

본 실험에 사용된 시험편의 두께는 1.6mm이며, 시험편의 좌우측 단에 0.2mm의 동판이 있으며, 그 사이에 유리섬유가 적층되어 있다.

드릴링에 사용된 공구는 초경합금재질인 도시바 텅가로이(TOSHIBA TUNGALOY, 台芝科技股份有限公司)의 직경 0.1~0.3mm의 마이크로 드릴이다. 마이크로 드릴의 형상은 Fig. 5에 나타낸 것과 같이 드릴의 전체길이는 38.1mm, 드릴 손잡이부의 직경은  $\varnothing 3.175$ mm이다. Table 1은 각 직경별 마이크로 드릴의 치수를 나타내고 있다.

본 실험에 사용된 공기 베어링 스피ndl의 최대 회전수는 125,000rpm이지만 100,000rpm 이상의 회전수에서는 런아웃(Runout)이 공기베어링 스피ndl 축과 ACT 결합부로 인하여 10 $\mu$ m 이상 커지는 단점을 가지고 있기 때문에 공기 베어링의 회전수는 런아웃이 10 $\mu$ m 이내로 측정되는 90,000rpm으로 설정하였다. 또한 설계 제작된 공기 베어링 스피ndl이 생산 성향상을 위하여 매우 빠른 이송속도에서 어떠한 가공성능을 나타내는지 알아보기 위하여 CNC 밀링머신의 이송속도를 4000mm/min으로 설정하였으며, Table 2는 실험조건을 나타내고 있다.

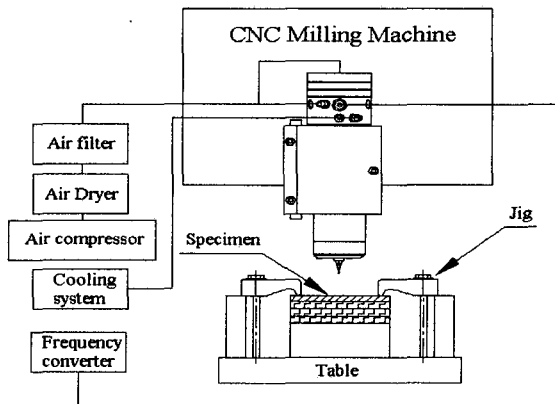


Fig. 3 Block diagram of the drilling test

마이크로 드릴을 이용한 가공에서는 드릴의 강성이 작기 때문에 깊은 구멍을 뚫을 때에는 스텝이송이 필수적이지만, PCB의 가공에는 스텝이송하지 않는 것이 보통이다.<sup>4,5</sup> 따라서 본 연구에서도 스텝이송을 하지 않았으며, 홀과 홀 사이의 거리는 2mm로 하였고, 가공 후 드릴의 인선은 재연삭하지 않았다.

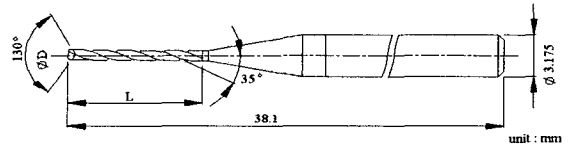


Fig. 4 Geometry of the micro drill

마이크로 드릴의 수명은 2500회의 홀을 가공하면 드릴의 수명이 다하였다고 평가하고 있다.<sup>3</sup> 따라서 본 연구에서는 설계 제작된 공기 베어링 스피ndl을 가지고 0.1~0.3mm의 직경을 가진 마이크로 드릴을 이용하여 2500회의 드릴링 실험을 실시하였다.

가공된 홀의 형상 및 직경, 드릴의 마모상태를 관찰하기 위하여 매 500회마다 실험이 끝난 후 공구현미경(HANRA PRECISION ENGINEERING, HR303)을 이용하였다.

Table 1 Dimension of micro drill

Material	$\varnothing D$ (mm)	L(mm)
Cemented	0.1	2
	0.2	3
Carbide	0.3	5.5

Table 2 Experimental condition of PCB drilling

Feed	Spindle revolution (rpm)	Micro drill diameter (mm)
4000mm/min	90,000	0.1
		0.2
		0.3

## 4. 결과 및 고찰

### 4. 1 홀의 크기와 홀 손상

Fig. 5는 가공된 홀의 형상을 공구현미경을 이용하여 500배 확대한 사진이다. 홀의 형상은 이론적으로 진원의 형상을 하고 있어야 한다. 하지만 가공된 홀의 형상은 드릴의 강성 및 공기 베어링 스피ndl의 진동 등의 영향에 의하여 홀의 한쪽 한쪽 부분이 더 가공되는 현상이 나타난다. 본 논문에서는 가공된 홀의 끝 부분으로부터 손상된 원의 끝 부분까지의 거리를 홀의 손상으로 나타내었다.

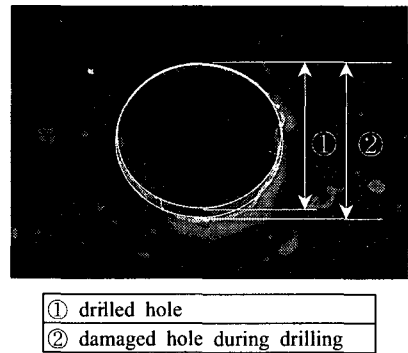


Fig. 5 Shape of drilled hole

Fig. 6~Fig. 8은 공기 베어링 스피ndl을 90,000rpm으로 회전시킨 후 0.1 ~ 0.3mm의 직경을 가진 마이크로 드릴을 이용하여 PCB 드릴링 실험을 실시한 결과이다. Fig. 6은 0.1mm의 직경을 가진 마이크로 드릴을 이용한 드릴링 실험 결과로서 홀의 가공회수가 증가함에 따라 홀의 직경이 커지고 있으며, 또한 홀 손상 직경 역시 증가하고 있다. Fig. 7은 0.2mm의 직경을 가진 마이크로 드릴을 이용한 드릴링 실험결과로 Fig. 6과 마찬가지로 가공회수가 증가함에 따라서 홀의 직경 및 홀 손상 직경의 크기도 점차 커지고 있음을 알 수 있다.

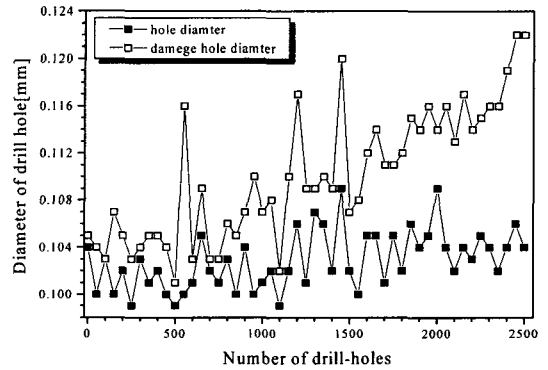


Fig. 6 Hole diameter variation when 0.1mm micro drill is used at 90,000rpm

Fig. 8은 0.3mm의 직경을 가진 마이크로 드릴을 이용한 PCB 드릴링 실험결과를 나타내고 있다. 그림에 나타난 바와 같이 0.3mm의 직경을 가진 마이크로 드릴을 이용한 가공에서는 홀의 가공회수가 증가함에 따라 홀의 직경 및 홀 손상 직경이 매우 크게 나타나고 있다. 공기 베어링 스피ndl을 이용한 마이크로 드릴링에서는 마이크로 드릴의 강성이 매우 작기 때문에 고속 회전으로 인하여, 드릴에 진동이 발생하여, 가공된 홀의 형상이 불규칙하게 나타나는 것으로 판단된다. 또한 가공된 홀의 형상은 공기 베어링 스피ndl의 축의 진원도 및 진직도에 영향을 받으며, 스피ndl 축과 공구 고정 장치의 결합 상태는 공기 베어링 스피ndl의 회전 정밀도를 떨어뜨리게 되며, 이로 인하여 마이크로 드릴의 가공 정밀도가 영향을 받는 것으로 판단되어 진다.

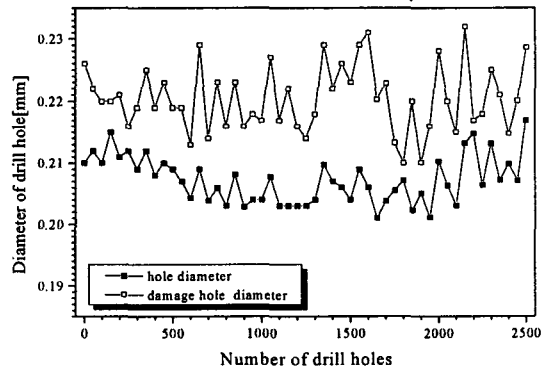


Fig. 7 Hole diameter variation when 0.2mm micro drill is used at 90,000rpm

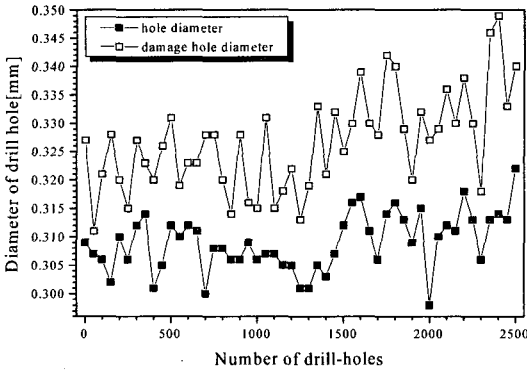


Fig. 8 Hole diameter variation when 0.3mm micro drill is used at 90,000rpm

Fig. 9는 공기 베어링 스피들의 회전수 90,000rpm에서 마이크로 드릴링된 홀의 사진을 촬영한 것이다. 드릴링 가공이 끝난 후 홀의 형상은 진원의 형태가 아니라, 타원의 형상으로 나타나고 있다. 이는 공기 베어링 스피들의 고속회전 인하여 드릴 발생한 날 끝의 진동으로 인한 것으로 판단되며, 드릴의 강성이 비교적 큰 0.3mm의 직경을 가진 마이크로 드릴에서는 원의 형상이 비교적 진원에 가까운 형태이지만, 직경 0.1mm의 드릴을 이용한 가공에서는 타원으로 나타나는 것을 볼 수 있다.

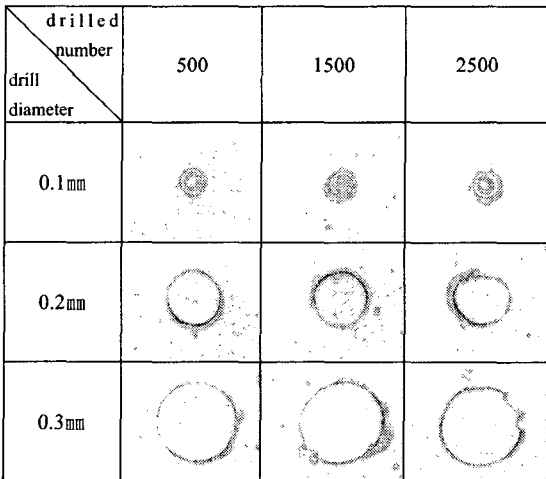


Fig. 9 Photograph of drilled hole at 90000rpm

## 4.2 드릴의 손상과 마모

Fig. 10은 공기 베어링 스피들의 회전수를 90,000rpm으로 하여 마이크로 드릴의 직경을 0.1mm ~ 0.3mm까지 변화시키면서 실험을 수행하면서 500회, 1500회 및 2500회 드릴링 하였을 때의 마이크로 드릴의 사진이다.

Fig. 10에 나타난 바와 같이 실험이 끝난 후에는 0.1mm, 0.2mm 및 0.3mm직경의 마이크로 드릴에서는 드릴 인선의 파괴 및 마모가 매우 심하게 나타난 모습을 보여주고 있다. 마이크로 드릴의 이송속도 및 공기 베어링 스피들의 회전속도가 높아지게 되면 마이크로 드릴의 절삭날과 PCB의 표면은 절삭 가공시 마찰로 인한 열 발생으로 인하여 마이크로 드릴 절삭날의 마모가 지속적으로 매우 심하게 나타나는 것으로 보여 진다. 이것은 드릴의 회전속도가 증가되면 절삭점에서 단위 회전당 절삭 단면적이 감소하지만, 드릴의 이송속도가 너무 빠르고 고강성의 유리섬유가 발생하는 분말형태의 칩이 제대로 배출되지 못하기 때문에 마이크로 드릴이 시험편을 관통할 때 드릴에 큰 과부하가 걸리기 때문이라고 사료된다.

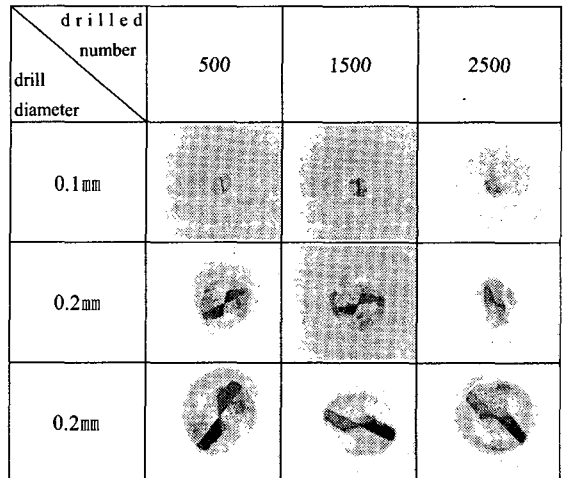


Fig. 10 Photograph of micro drill at 90,000rpm

## 5. 결론

본 연구에서는 PCB드릴링을 위하여 설계된

125,000rpm급 공기 베어링 스피들의 성능평가를 위해 회전속도 90,000rpm에서 0.1~0.3mm 직경의 가진 마이크로 드릴을 이용하여 2,500회의 드릴링 실험을 실시하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 설계 제작된 초고속 공기 베어링 스피들의 PCB 드릴링 적용 가능성을 확인하였다.
- 2) 공기 베어링 스피들의 회전속도 90,000rpm에서 마이크로 드릴을 이용하여 PCB를 드릴링 가공하는 경우 0.1~0.3mm 직경의 마이크로 드릴에서는 가공회수가 많아짐에 따라 홀의 크기 및 홀의 손상부분이 커지는 것을 확인 할 수 있었다.
- 3) 마이크로 드릴의 마모는 드릴의 원주속도가 큰 외주 끝 부분에서 매우 크게 나타남을 알 수 있었다.

### 참고문헌

1. Lee, J. H., "The Change of PCB manufacturing technology," The magazine of IEEK, Vol. 21, No. 8, pp. 39-47, 1994.
2. Cheong, M. S., Cho, D. W., Kernel, F. Ehmman., "Identification and control for micro-drilling productivity enhancement," Int Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 39, pp. 1539-1561, 1999.
3. Frank, L., "Wear and cutting performance of coated micro drills," Surface & Coatings Technology, Vol. 107, pp. 191-196, 1998.
4. Ogawa, K., Aoyama, E., Inoue, H., Hirogaki, T., Nobe, H., Kitahara, Y., Katayama, T. & Gunjima, M., "Investigation on cutting mechanism in small diameter drilling for GFRP(thrust force and surface roughness at drilled hole wall)," Composite Structure, Vol. 38, No. 1-4, pp. 343-350, 1997.
5. Inoue, H., Aoyama, E., Hirogaki, T., Ogawa, K., Matushita, H., Kitahara, Y. & Katayama, T., "Influence of tool waer on internal damage in small diameter drilling in GFRP," Composite Structure, Vol. 39, No. 1-2, pp. 55-62, 1997.