

## PCB드릴링용 공기베어링 스피ن들의 런아웃(RunOut)에 따른 가공 홀의 형상변화

배명일\*(충남대학교 공과대학), 김상진(충남대학교 대학원 기계공학과)  
김형철(충북과학대학 기계자동차과), 김기수(충남대학교 기술교육과)

### Drilled Hole Variation of Air Bearing Spindle for PCB according to RUNOUT

M. I. Bae(Eng. Dept., CNU), S. J. Kim(Mech. Eng. Dept., CNU)  
H. C. Kim(Mech. & Auto Eng. Dept., CPSTU), K. S. Kim(Tech. Edu. Dept., CNU)

#### ABSTRACT

In this study, we measured cylindricity and Runout of the air bearing spindle, and tested PCB(printed circuit boards) drilling with 0.4mm micro drill at 90,000rpm and 110,000rpm in order to obtain drilling hole error. Results are as follows; The air bearing spindle's Runout was not so high within 10 $\mu$ m from 20,000rpm to 80,000rpm but it grew after 80,000rpm. Drilling hole size error was 9% at 80,000rpm and 12% at 110,000rpm because of spindle's Run out. Drilled hole shape falsified more 110,000rpm than 90,000rpm.

**Key Words** : air bearing spindle(공기베어링 스피ن들), Runout(런아웃), micro drill(마이크로 드릴), Drilling hole error(드릴링 홀 오차),

#### 1. 서론

최근 전자 산업의 발달에 따라 마이크로 드릴링은 자동차 연료 분사노즐, 잉크젯 프린터 카트리지, 의학용 노즐 등의 정밀가공산업에 이용되고 있으며, 전자 부품 산업에도 마이크로 홀 가공이 다양하게 이용되고 있다. 특히 전자 산업에서는 PCB의 집적도가 향상됨에 따라 고밀도의 PCB에 홀을 가공할 수 있는 마이크로 홀의 가공기술이 전자 및 컴퓨터 산업의 경쟁력을 결정하는 매우 중요한 요소로 부각되고 있다.<sup>1</sup>

기존의 PCB에 대한 마이크로 홀 가공법은 레이저 등 고가의 마이크로 홀 가공장비를 이용한 가공방법이 채택되고 있다. PCB에 대한 마이크로 홀의 기계적인 PCB 가공법은 가공하는 스피ن들의 회전수가 60,000rpm-80,000rpm정도이기 때문에 마이크로 드릴을 이용하여 홀을 가공하는 경우 드릴의 직경이 작아짐에 따라 드릴의 원주 속도가 저속이 되어 생산성 향상이라는 측면에서는 취약하기 때문에 널리 사용되지는 않고 있는 실정이다. 하지만 PCB가 공용 초고속 공기베어링 스피인들이 이미 개발되었고

<sup>2</sup>, 마이크로 드릴의 제조 방법 또한 와이어 컷 방전가공(Wire cut Discharge Machining) 등의 다양한 특수가공을 이용한 마이크로 드릴의 제조 방법이 개발됨에 따라 기계적인 가공법에 의한 홀의 가공이 검토되고 있다.<sup>3</sup>

공기 베어링 스피인들의 런아웃은 마이크로 드릴을 이용하여 홀을 가공하는 경우 홀의 크기 및 형태에 직접적으로 영향을 주는 인자로서, 공기 베어링 스피인들의 런아웃(Runout)에 의하여 영향을 받게 된다. 따라서 본 연구에서는 PCB홀 가공을 위하여 공기 베어링 스피인들 운전시의 런아웃을 측정하였고, 드릴링 가공후의 홀 오차 및 홀의 형상변화를 관찰하였다.

#### 2. 공기 베어링 스피인들

공기 베어링 스피인들은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 회전축, 레이디얼 및 트러스트 공기 베어링, 구동모터로 이루어져 있으며, 공기 베어링 스피인들의 회전축은 모터의 회전자를 회전축에 연결하는 모터 일체형(built in motor)이고, 회전축의 전단부에 트러

스트 베어링을 위한 칼라(collar)가 설치되어 있다. 트러스트 베어링의 압축공기가 공기 유로를 통하여 회전축 트러스트 칼라의 양쪽에 위치한 2개의 트러스트 베어링에 공급되며, 원주 방향으로 설치된 공기 공급 노즐을 통하여 분사되고 트러스트 칼라와 베어링 사이에 유막이 형성되도록 구성되어 있다. 또한 공기 베어링 스피ndl의 전단부는 마이크로 드릴의 탈착을 위한 ATC로 구성되어 있다. ATC의 후단부에는 자동탈착이 가능하도록 다이어 프레임의 탄성 복원력을 이용하도록 설계되어 있다.

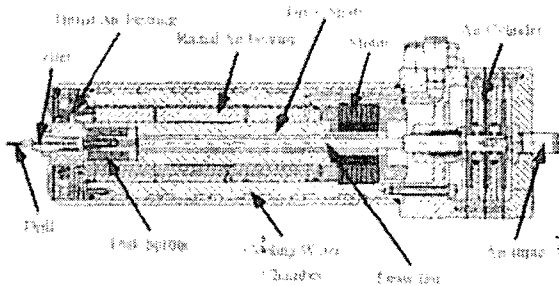


Fig. 1 Assembly drawing of the air bearing spindle

### 3. 실험장치 및 방법

Fig. 2는 공기 베어링 스피ndl 조립 후 런 아웃을 측정하기 위하여 측정 장비를 설치한 사진이다. 공기 베어링 스피ndl은 회전축의 속도가 100,000rpm 이상의 고속이므로 런 아웃을 평가하기 위하여 반경방향에 2개의 비접촉식 갭 센서(gap sensor)를 90 간격으로 설치하였으며, 갭 센서의 안정적인 성능을 확보하기 위하여 림(rim) 형상의 프로브(probe)를 제작하여 콜렛(collet)부에 부착하였다. 런 아웃(runout)의 측정은 공기 베어링 스피ndl을 일정한 속도로 회전시키면서 2개의 갭 센서로부터 데이터를 받게 된다. 갭 센서로부터의 출력은 채널을 통하여 A/D 변환기에 입력되고 디지털 값으로 변환된 A/D 변환기의 출력은 Labview S/W에 입력되어 연산과정을 거치게 된다.

Fig. 3는 PCB 드릴링을 위하여 설치된 실험장치의 개략도이다. 공기 베어링 스피ndl은 CNC밀링머신의 헤드를 90도 회전시킨 후 CNC밀링머신의 더브테일(dove tail)에 별도의 지그를 설계 및 제작하여 부착하였다. 시험편의 고정은 CNC밀링머신(독일, FP2NC DECKEL)의 테이블 위에 Fig. 4과 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.

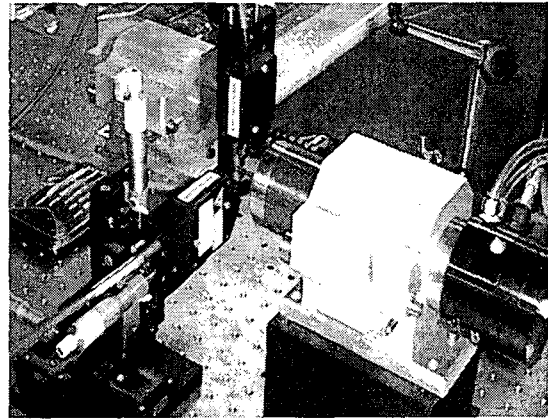


Fig. 2 Photo of run out test

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 0.4mm의 마이크로 드릴이다. 마이크로 드릴의 형상은 Fig. 4에 나타낸 것과 같이 드릴의 전체길이는 38.1mm, 드릴 손잡이부의 직경은  $\varnothing$  3.175mm이다.

본 실험에 사용된 공기 베어링 스피ndl의 회전수는 90,000rpm 및 110,000rpm이며, CNC 밀링머신의 이송속도는 4000mm/min으로 설정하였고, 2500회의 드릴링실험을 수행하였다.

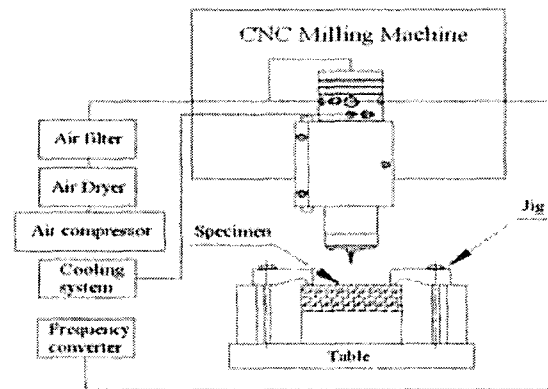


Fig. 3 Block diagram of the drilling test

또한 가공된 홀의 형상 및 직경을 관찰하기 위하여 500회의 드릴링 실험이 끝난 후 공구현미경(HANRA PRECISION ENGINEERING, HR303)을 이용하였다.

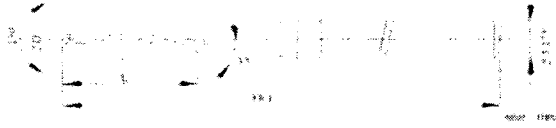


Fig. 4 Geometry of the micro drill

#### 4. 결과 및 고찰

Fig. 5는 공기 베어링 스피ndl의 회전수를 20,000~125,000rpm으로 변화시키면서 런아웃을 측정 한 결과이다. Fig. 5에 나타난 바와 같이 RRO와 NRRO의 값은 공기 베어링 스피ndl의 회전수 70,000rpm까지는 조금씩 증가하는 경향을 보이고 있으며, 80,000rpm이상의 영역에서는 급격하게 증가하고 있는 모습을 볼 수 있다. 특히 115,000rpm ~ 125,000rpm의 구간에서는 증가의 폭이 매우 크다.

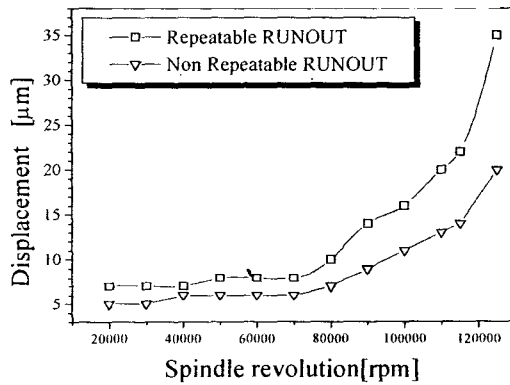


Fig. 5 Runout of the air bearing spindle

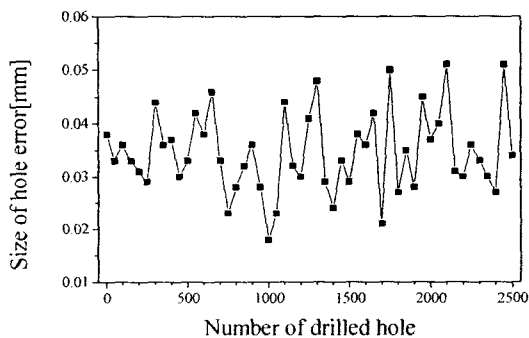


Fig. 6 0.4mm micro drilled hole error at 90,000rpm

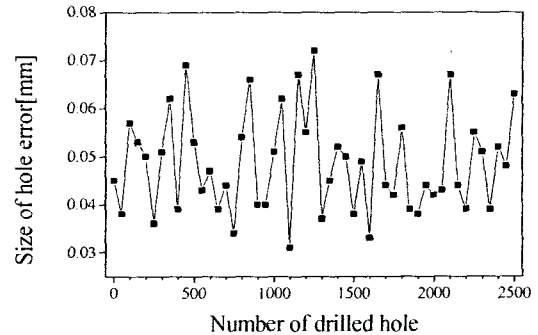


Fig. 7 0.4mm micro drilled hole error at 110,000rpm

공기 베어링 스피ndl의 런아웃은 마이크로 드릴을 장착하기 위한 ATC부의 장착 및 런아웃을 측정하기 위한 프로브로 인하여 영향을 받으며 80,000rpm이상의 고속 영역에서는 공기 베어링 스피ndl의 고속회전으로 인하여 축계가 불안정해 지는 것으로 사료된다.

Fig. 6은 0.4mm의 마이크로 드릴을 이용하여 공기 베어링 스피ndl의 회전수 90,000rpm에서 드릴링 된 홀의 오차를 나타낸 것이다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 홀의 오차는 드릴 가공 회수가 많아짐에 따라 점점 더 커지는 경향을 보이고 있다. Fig. 7는 0.4mm의 마이크로 드릴을 이용하여 공기 베어링 스피ndl의 회전수 90,000rpm에서 드릴링 된 홀의 오차를 나타낸 것으로 홀 오차의 크기는 90,000rpm에서 나타난 것과 비교해 보면 매우 크게 변화하는 경향을 보이고 있다. 홀 오차의 평균은 0.036mm로 마이크로 드릴 직경의 9%이지만, 110,000rpm으로 드릴링 가공된 홀 오차의 평균은 0.049mm로 마이크로 드릴 직경의 12%로 높게 나타나고 있다. 이것은 Fig 9에 나타난 바와 같이 공기 베어링 스피ndl 축의 런아웃이 공기 베어링 스피ndl의 속도가 증가함에 따라 커지기 때문에 강성이 약한 마이크로 드릴이 회전수가 증가함에 따라 축 방향 떨림 현상이 크게 나타나기 때문에 가공된 홀의 오차도 크게 나타나는 것으로 사료된다.

Fig. 7은 직경 0.4mm의 마이크로 드릴을 이용하여 공기 베어링 스피ndl 회전수 90,000rpm 및 110,000rpm으로 드릴링 가공된 PCB홀의 형상을 500배로 확대한 것이다. 공기 베어링 스피ndl의 회전수 90,000rpm으로 드릴링 가공된 홀의 경우 홀 주위에 나타난 버(burr)가 110,000rpm으로 가공된 경우보다 적게 나타나고 있다. 이것은 마이크로 드릴에 의하여 PCB 드릴링이 시작될 때 공기 베어링 스피ndl의 런아웃에 따른 드릴의 떨림 현상으로 인

하여 버가 발생한 것으로 판단되며, 이 때문에 110,000rpm의 회전수에서는 더욱더 심한 버가 발생한 것으로 사료된다. 또한 가공된 홀의 형상은 홀 가공회수가 증가함에 따라서 홀의 일그러짐 현상이 증가하는 것으로 나타나고 있다. 또한 90,000rpm의 회전수 보다 110,000rpm의 회전수에서 더욱더 심해지는 것으로 관찰 되었다. 이는 가공회수가 증가함에 따라 드릴의 마모로 인하여 마이크로 드릴의 축방향 강성이 약해져 드릴의 떨림이 가공초기보다 더욱 심해지기 때문에 드릴 가공된 홀의 형태가 양호하지 않게 나타난 것으로 사료된다.

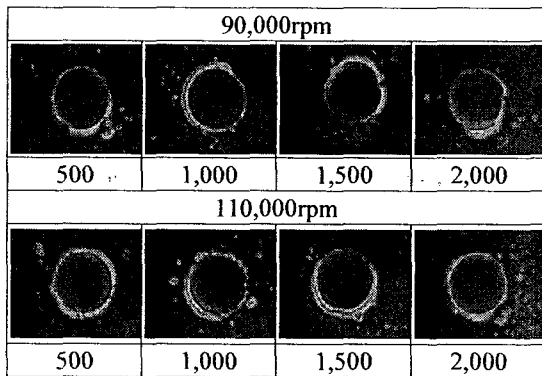


Fig. 7 Shape of drilled hole

#### 4. 결론

본 연구는 PCB드릴링용 공기 베어링 스피들 베어링부의 원동도와 공기 베어링 스피들의 회전수 변화에 따른 런아웃의 변화를 측정하였고, 직경 0.4mm의 마이크로 드릴을 이용하여 공기 베어링 스피들 회전수 90,000rpm과 110,000rpm에서 드릴링시 가공된 홀 오차를 관찰하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 설계 제작된 공기 베어링 스피들 축의 원동도는 5.6 $\mu$ m로 측정 되었다.
- 2) 공기 베어링 스피들의 런아웃은 회전수 80,000rpm을 기점으로 서서히 증가되며 120,000rpm 이상에서는 급격히 커진다.
- 3) 드릴 가공된 홀의 오차는 공기 베어링 스피들의 회전수 80,000rpm에서는 약 9%로 나타났으며, 110,000rpm에서는 12%로 나타났다.
- 4) 드릴 가공된 홀의 형상은 런아웃이 크게 측정된 110,000rpm에서 홀의 일그러짐 현상이 심하게 나타났다.

#### 후기

본 논문을 기초로 하여 다양한 조건의 런아웃을 이용하여 드릴 가공된 홀의 형상변화에 관한 연구를 지속적으로 수행할 것이다.

#### 참고문헌

1. Jin Ho Lee, *빛he Change of PCB manufacturing technology, 빛he magazine of IEEK*, Vol. 21, No. 8, pp. 39-47, 1994.
2. Bae, M. I., Kim, S. J., Kim, K. S., *? A Study on the PCB(Printed Circuit Board) Drilling by Air Bearing Spindle,? Journal of KSPE*, Vol. 22, No. 3, pp. 15-20, 2005.
3. Man Sheel Cheong, Dong Woo Cho, Kernel F. Ehmann., *빛dentification and control for micro-drilling productivity enhancement, 빛nt Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 39, pp. 1539-1561, 1999.