

마이크로홀 드릴링 머신의 개발 및 절삭성능 평가

김민건*, 유병호**

Development of Micro-hole Drilling Machine and Assessment of Cutting Performance

Min-Gun KIM*, Byung-Ho Yoo**

Abstract

In this paper, drill feed mechanism, cutting depth measuring device and sensing buzzer of drill contact were investigated in order to develop the micro-hole drilling machine. Also, measuring device of cutting resistance was developed in order to estimate cutting resistance from change of cutting condition. The results show that extremely-low feed rate(less than $17\mu\text{m/s}$) can be done and cutting depth can be measured by up to $1\mu\text{m}$ with developed drilling machine. Accordingly we could assemble a very cheap micro-hole drilling machine($\phi 0.05\sim 0.5\text{ mm}$). Also we got the some properties of cutting performance i.e. under the same condition, cutting torque decreases as increase of spindle speed and rapid feed of drill brings about the inferior cutting state under low spindle speed.

Key Words : Micro-hole drilling machine(마이크로홀 드릴링 머신), Drill feed mechanism(드릴 이송장치), Cutting resistance(절삭 저항), Feed rate(이송속도)

1. 서론

드릴가공은 기계가공 기술 중 가장 기본적인 가공 방식의 하나로 생산성 향상의 측면에서 점차 고속화되어 가는 추세이며, 전자제품 등의 고 기능화, 소형화 등에 대처하기 위하여 드릴작업의 정밀화 및 심공화가 요구되고 있다. 특히 최근에는 초소형화된 전자제품, 광섬유 커넥터,

의료용 광학기기, 우주항공용 전자부품 그리고 컴퓨터 산업에서 프린트 기판, IC용 Mask 등의 분야로 확대·적용됨으로써 이에 발 맞추어 미세구멍 가공기술이 절실히 요구되고 있는 실정이다.⁽¹⁾

미세구멍 가공에서 미세영역에 대한 정의는 명확하지 않지만 대개 $\phi 0.4$ 이하를 미세경(micro-hole)으로 정의하고 있으며, 기계적 가공법인 마이크로홀 드릴링의 경우

* 강원대학교 기계메카트로닉스공학부(kmg@cc.kangwon.ac.kr)
** 인천기능대학 컴퓨터응용금형과

직경의 미세화로 인한 공구장성 저하로 인해 쉽게 파손된다는 점은 있지만, 가공정도가 양호하고 생산성 및 가공 코스트 면에서 실용화가 높은 분야이다.⁽²⁾ 따라서, 마이크로홀 드릴링 머신의 개발 및 개발품에 대한 절삭성능 평가가 시급한 실정이다.

미국, 일본 등의 경우 30,000~80,000rpm의 초고속 고주파 모터를 장착한 마이크로홀 드릴링 머신을 개발하여 마이크로급 드릴가공에 활용하고 있으며,⁽³⁾ 국내의 경우 1980년대 후반부터 대량 생산용 프린트 회로판에 다수의 마이크로홀(~ $\phi 3$) 가공용 드릴이 개발되었으며, 최근에는 CNC를 활용한 드릴링 머신이 개발되었다.⁽⁴⁾

마이크로홀 드릴링을 위해서는 초미세, 초저속의 드릴이송과 가공상태에 대한 효율적인 모니터링이 필수적이다. 초미세, 초저속의 드릴 이송장치는 제품의 코스트 다운을 위해서 그 구조가 간단하고 제작이 용이해야 하며, 또한 고감도의 토크 검출시스템이 채택되어야 한다. 국내에서는 이러한 간단한 시스템의 장치가 개발된 예를 찾기가 어려우며, 이 분야에 대한 연구 또한 미흡한 실정이다

따라서, 본 연구에서는 마이크로홀($\phi 0.05 \sim 0.5$) 드릴링을 위한 최적의 기계 메커니즘을 설계하여 제작 코스트를 최저화 하며, 드릴링시의 절삭조건 변화에 따른 토크의 변화를 로드셀을 이용하여 직접 측정함으로써 절삭성능의 평가는 물론 절삭상태의 모니터링도 수행하고자 한다.

2. 마이크로홀 드릴링 머신의 개발

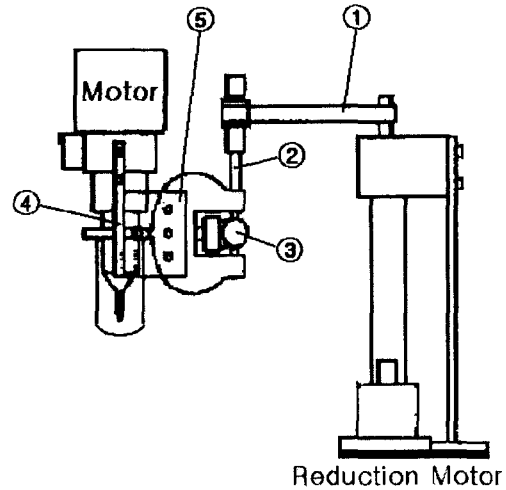
2.1 초정밀 드릴링 머신 개발의 주안점

본 연구에서는 전기분야인 초고속 모터를 제외한 기계적인 메커니즘 중에서 드릴의 정밀, 초저속 이송을 위한 장치와 절삭 깊이를 미세하게 측정할 수 있는 장치를 다음과 같은 사항에 주안점을 두고 개발하고자 한다.

- (1) 드릴 이송의 가·감속, 등속 이송을 자유자재로 하면서도 소음, 진동을 최소화할 수 있는 드릴 이송장치의 개발
- (2) 드릴링 상태에서의 절삭상태를 파악할 수 있으면서 정확한 절삭깊이를 측정할 수 있는 절삭깊이 측정장치의 개발
- (3) 3rpm 내외에서도 토크가 저하되지 않는 감속기어모터의 채택
- (4) 시판의 기기를 활용한 초저속의 마이크로홀 드릴링 장치의 개발

2.2 드릴 이송장치의 개발

마이크로홀 드릴링시에는 드릴의 이송을 초저속으로 하여야만 한다. 초저속으로 하지 않으면 드릴은 절삭저항을 이기지 못하고 곧 부러지게 된다. 이러한 목적을 달성하기 위해 시판의 마이크로미터를 사용하기로 하였다. 즉, Fig. 1과 같이 마이크로미터를 드릴링 머신의 본체에 고정구를 제작하여 고정시키고, 드릴링 머신의 레버를 마이크로미터를 이용하여 움직이게 함으로써 초저속의 이송속도를 구현하는 것이다. 또한, 여러 단계의 등속이송속도를 얻기 위하여 인버터가 부착된 감속기어모터를 사용하여 마이크로미터 덤블을 회전시키도록 하였다. 이렇게 함으로써 가공시에 드릴의 원하는 초저속 이송속도를 얻을 수가 있었다. Fig. 2, 3에 마이크로미터의 지지대와 홀더의 자세한 형상을 나타내었다.



1. Driving belt 2. Micrometer 3. Lever
4. Micrometer holder Supporter 5. Micrometer holder

Fig. 1 Drill feed mechanism

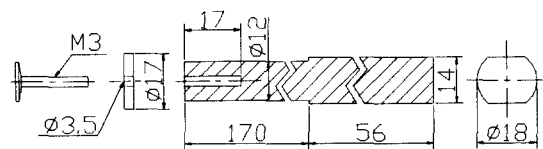


Fig. 2 Micrometer holder supporter

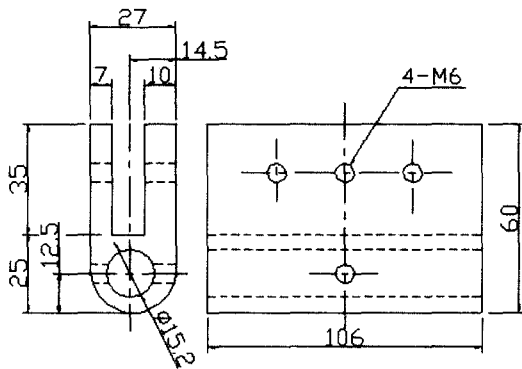


Fig. 3 Micrometer holder

2.3 절삭깊이 측정장치의 개발

절삭깊이 측정장치의 구성요소별 기능은 다음과 같다.

- (1) 측정자 압축로드 및 지지대 : Fig. 4와 같이 제작된 것으로 가공시 다이얼 게이지 측정자를 절삭깊이만큼 압축하여 다이얼 게이지로부터 절삭깊이를 알 수 있게 한다. 압축로드는 주축 스펀들에 볼트로 고정된다.
- (2) 다이얼 게이지 지지대 : 절삭깊이를 측정하는 다이얼 게이지를 드릴링 머신에 고정하기 위한 지지대로 드릴링 머신 베이스에 용접하여 고정하였다.
- (3) 다이얼 게이지 : 시판의 일반 측정용 다이얼 게이지로 절삭깊이를 0.001mm 단위로 측정할 수 있는 것을 선택한다.

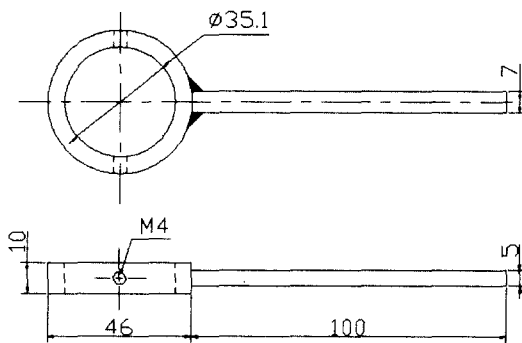


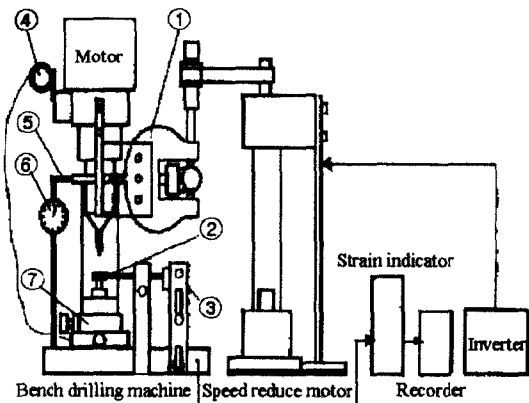
Fig. 4 Compression rod and supporter

2.4 드릴접촉 감지 버저의 개발

절삭시점의 정확한 세팅을 위해 고안된 장치로 드릴 끝이 가공물에 접촉하게 되면 버저가 울리도록 고안되었다. 즉, 드릴과 공작물이 전기적으로 서로 연결되었을 때 버저가 울리도록 되어 있는데 공작물을 고정하는 바이스는 드릴링 머신의 본체와 전기적으로 절연(에폭시수지 절연)되어 있다.

2.5 전체 조립도

이상 개발된 장치들을 조립하면 Fig. 5와 같이 된다.



1. Micrometer 2. Specimen 3. Load cell 4. Buzzer
5. Compression rod 6. Dial gauge 7. Vice

Fig. 5 Assembled micro-hole drilling machine

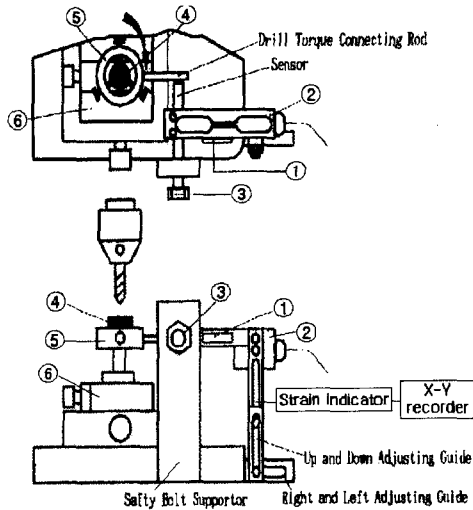
3. 절삭성능의 평가

3.1 절삭저항 측정장치의 구성

절삭저항 측정장치는 Fig. 6과 같고, 구성 장치별 기능은 다음과 같다.

- (1) 로드셀 : 절삭저항(토크)을 측정하기 위한 것으로 최대용량 100g, 최소용량 0.033g의 것을 사용하였다.
- (2) 시편 지지대 및 로드 : Fig. 7과 같이 제작된 것으로 시편을 고정하는 역할과 함께 반경 방향으로 로드가 부착되어 있어 로드를 통하여 절삭저항을 로드셀로 전달하게 된다.

- (3) 안전볼트 : 과도한 절삭저항이 발생했을 때 로드셀을 보호하기 위한 것이다.
- (4) 스트레인 인디케이터 : 로드셀에서 검출된 절삭저항을 전기적으로 증폭하여 표현한다.
- (5) X-Y리코더 : 스트레인 인디케이터로부터 전달된 절삭저항을 그래프로 출력한다.



1. Strain gauge 2. Load cell 3. Safety bolt
4. Specimen 5. Material stage 6. Vice

Fig. 6 Strain gauge for torque measurement

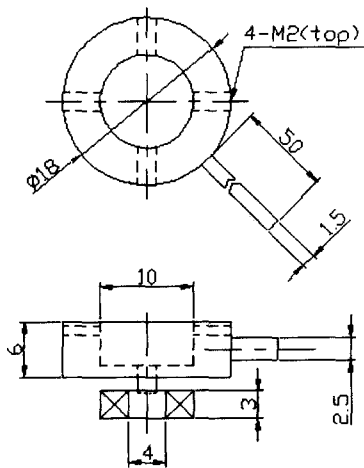


Fig. 7 Specimen stage

3.2 절삭저항의 측정 및 고찰

3.2.1 시편

실험재료는 SM20C, 6-4황동, 알루미늄을 사용하였으며, 각 실험재료의 기계적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1 Mechanical properties of specimens

Test Specimens	Heat Treatment	Yield Stress (MPa)	Tensile Stress (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HB)
SM20C	HNR	240	400	28	109~156
6-4Brass		98~125	300~350	45~55	70
Aluminium (99.996%)	HA Material	13		48.8	17

절삭저항 측정을 위해서는 시편이 바이스에 고정되지 않고 자유로이 회전할 수 있는 상태가 되어야하므로 Fig. 7과 같은 시편 지지대 하부 중심 편에 레이디얼 볼베어링을 끼워 맞춤하고 베어링을 바이스에 고정하였다. 각 절삭저항 측정에 사용된 드릴은 $\phi 0.3\text{mm}$ 이다.

3.2.2 회전수 변화에 따른 절삭저항의 변화

SM20C와 알루미늄 시편을 사용하여 회전수 12,000rpm과 2,700rpm에서 측정된 절삭저항을 Fig. 8에 나타내었다. 드릴 이송속도는 $24.0\mu\text{m}/\text{sec}$ 로 동일하게 하였

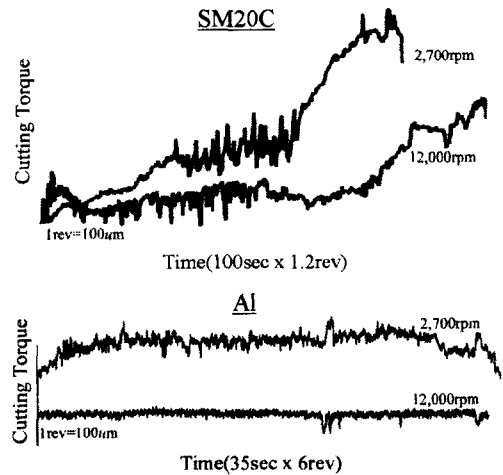


Fig. 8 Cutting torque depending on workpiece

으며, 절삭저항의 상대비교를 위한 것이므로 절삭토크의 절대값은 표시하지 않았다.

두 시편 모두 낮은 회전수에서 큰 절삭저항을 보이고 있다. 따라서, 동일한 재료에서 회전수가 낮으면 절삭토크가 증가하고, 회전수가 높으면 절삭 토크가 감소한다는 것을 알 수 있다. 그러므로 마이크로홀 드릴링에서는 고속의 드릴링 머신을 사용하는 것이 바람직하다.

3.2.3 드릴 이송속도 변화에 따른 절삭저항의 변화

황동 시편을 사용하여 이송속도를 $24\mu\text{m/s}$, $17\mu\text{m/s}$ 로 했을 때의 절삭저항을 Fig. 9에 나타내었다.

이송속도 $24\mu\text{m/s}$ 인 경우, 초반 절삭저항의 급격한 상승(특히 $2,700\text{rpm}$ 의 경우)이 특징적이다. $17\mu\text{m/s}$ 의 경우에는 이러한 특징이 없으며 절삭저항은 정상적인 증가 경향을 보이고 있다. 이송속도가 빠른 경우, 초반 드릴 끝이 안정(자리잡기)되기 전에 드릴의 급속한 이송이 이루어져서 절삭저항이 급상승 한 것으로 이해된다. 이러한 경향은 회전수가 높을수록($12,000\text{rpm}$ 의 경우) 완화되고 있다. 그러므로 낮은 회전수에서 빠른 이송속도는 불량한 절삭을 가져올 수 있다고 하겠다. 따라서, 절삭 초기에는 낮은 이송속도를 취하고 점차 이송속도를 높여나갈 때 이상적인 절삭이 이루어진다고 할 수 있다.

3.2.4 이종 재료간의 절삭저항의 비교

Fig. 10에 황동과 알루미늄의 절삭조건을 동일하게 하였을 때의 두 재료의 절삭저항을 비교하였다. 전반적으로

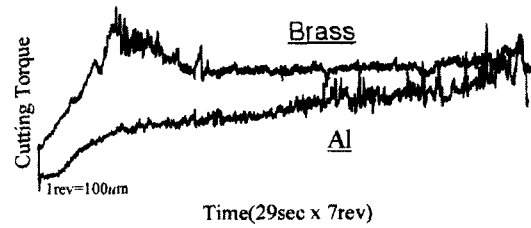


Fig. 10 comparison of cutting torque between Brass and Al

황동의 절삭저항이 알루미늄에 비하여 크게 나타나고 있다. 황동이 알루미늄보다 경도가 크므로 두 재료만을 대상으로 평가한다면 경도가 큰 재료가 절삭저항도 크다고 할 수 있다.

황동의 경우 절삭초기 1~2회전($100\sim 200\mu\text{m}$)부근에서 절삭 토크가 일시 증가한 것을 제외하고는 전반적으로 안정적인 경향을 보이고 있다. 알루미늄의 경우는 절삭후반 즉, 절삭깊이가 깊어지는 시점부터 절삭저항이 커지고 있다. 이것은 알루미늄이란 재료의 특성이 연성과 점성이 큰 관계로 드릴이 깊어지면서 재료와 드릴사이의 마찰이 급격히 증가한 때문인 것으로 이해된다. 이러한 점에서 황동은 알루미늄에 비하여 이러한 현상이 작게 일어난다고 할 수 있다.

4. 결 론

마이크로홀($\phi 0.05\sim 0.5$) 가공을 위한 저가의 드릴링 머신 제작을 위하여 드릴 이송장치, 절삭깊이 측정장치, 드릴 접촉 감지장치를 개발하였다. 또한 절삭저항 측정장치를 개발하고, 개발된 드릴링 머신을 사용하여 여러 조건하에서 절삭저항을 측정 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 드릴링 머신 개발 분야

- 1) 마이크로홀 가공시 필수요소인 드릴의 초저속 이송을 마이크로미터와 감속기어모터를 사용하여 실현시켰다.
- 2) 다이얼 게이지를 이용한 절삭깊이 측정장치를 개발한 결과, 수 μm 단위까지 절삭깊이를 측정할 수 있었으며, 드릴링시 절삭상태까지도 파악이 가능하였다.
- 3) 드릴접촉 감지버저를 개발한 결과, 절삭시점의 정확한 세팅이 가능하였다.

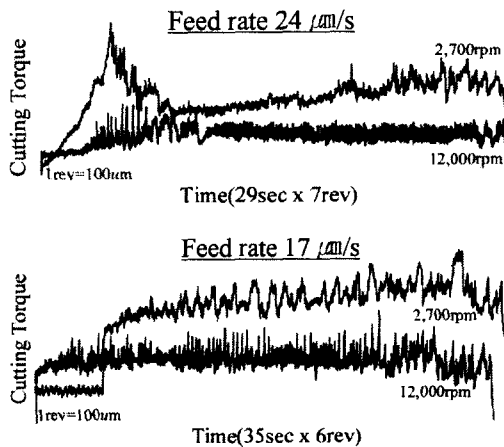


Fig. 9 Cutting torque depending on feed rate

4) 시판의 마이크로미터, 감속기어모터, 다이얼 게이지, 버저 등을 사용함으로써 초저가의 드릴링 머신을 제작할 수 있었다.

(2) 절삭저항 평가 분야

- 1) 동일한 절삭조건에서 회전수가 높으면 절삭저항이 감소하고, 회전수가 낮으면 절삭저항이 증가한다. 그러므로 마이크로홀 드릴링에서는 고속의 드릴링 머신을 사용하는 것이 바람직하다.
- 2) 드릴의 이송속도가 빠른 경우 초반 드릴 끝이 안정(자리잡기)되기 전에 급속한 이송이 이루어져서 절삭저항이 급상승한다. 이러한 경향은 회전수가 높을수록 완화된다. 그러므로 낮은 회전수에서 빠른 이송속도는 불량한 절삭을 가져올 수 있다고 하겠다.
- 3) 황동과 알루미늄의 절삭조건을 동일하게 하였을 때 두 재료의 절삭저항을 비교한 결과, 전반적으로 황동의 절삭저항이 알루미늄에 비하여 크게 나타났다. 황동이 알루미늄보다 경도가 크므로 두 재료만을 대상으로 평가한다면 경도가 큰 재료가 절삭저항도 크다고 할 수 있다.

후 기

본 연구는 산학연공동기술개발 지역컨소시엄 9차년도 사업의 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- (1) 김희남 “미세심공드릴 가공기술”, 한국공작기계학회지, 제8권, 제1호, pp.15~20, 1999.
- (2) 백인환, 정우섭 “미소경 드릴링 머신의 개발과 절삭현상의 연구”, 한국정밀공학회지, 제12권, 제1호, pp.22~28, 1995.
- (3) Peter Muller, “Flexible Usage of Microdrill”, European Production Engineering, Vol. 16, pp. 79~81, 1992.
- (4) 이재경, 김건희, “마이크로 드릴의 제작 및 가공성 평가”, 통상산업부 보고서, 1997. 9.30.