

본 연구는 1997년도 교육부 학술연구조성비(기계공학 ME97-E-07)에 의하여 연구되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## BTA드릴가공의 절삭성능에 관한 연구

장성규\*, 김순경\*, 전언찬\*\*

### A Study on Cutting Performance of the BTA Drilling

Chang Seong-Gyu\*, Kim Soon-Kyung\*, Jeon Eon-Chan\*\*

#### ABSTRACT

The BTA drilling chip is better for deep hole drilling than other self-piloting with pad drilling chips because the large length to diameter ratio allows a unique cutting force dispersion and better supplies the high pressure fluid. Therefore the BTA is useful for many tasks, such as coolant hole drilling of large scale dies, as well as tube seat drilling, which is essential for the heat exchanger, and variable component drilling for automobiles. Deep hole drilling has several significant problems, such as hole deviation, hole over-size, circularity, straightness, and surface roughness. The reasons for these problems, which often result in quality short comings, are an alignment of the BTA drilling system and the unbalance of cutting force by work piece and tool shape. This paper analyzes the properties through an experiment which compared single-edge BTA drills with multiple-edge BTA drills, as well as the shapes of the tools to cause an unbalance of cutting force, and its effect on the precision of the worked hole. Conclusions are as follows. 1) In SMSSC drilling, 60m/min of BTA with single and multi-edged tools proved the best cutting condition and the lowest wear character. 2) The roundness got a little worse as cutting speed was increased, but surface roughness was not affected. 3) It was proved that the burnishing torque of both drills approached 26%, which is almost the same as the 24% insisted on by Griffiths, and the dispersion characteristic of the multi-edged BTA drill proved better than the single-edge BTA drill.

**Key Words** : Single edge BTA drill (단인BTA드릴), Multi edge BTA drill(다인BTA드릴), Burnishing torque(버니싱 토크), Self piloting method(자기안내방식), Deep hole drilling (심공가공), Roundness(진원도), Surface roughness(표면거칠기)

#### 1. 서론

최근 고도로 고성능화된 공작기계와 개선 및 개량된 공구에 의하여 강력화, 고도화 및 고정밀의 능률화된 절삭

가공이 여러 산업 분야에서 다양하게 요구되어지고 있으며, 특히 보다 경제적인 절삭에 대한 연구의 필요성이 상당한 비중을 차지하고 있다. 이러한 오늘날의 흐름에 따라 구멍절삭가공은 기계가공중의 약 1/3을 차지하는 중

\* 동의공업대학 자동차과  
\*\* 동아대학교 기계공학과

요한 가공으로서 종래의 기술진전은 미흡하다고 생각된다. 그러나 다중 소량생산의 효율화, 자동화의 요청에 의하여 비약적으로 머시닝센터가 발전하였고, 이에 관한 틀링의 개발 및 개선됨으로서 구멍가공의 기술을 대단히 증시하게 되고 또한 개선, 개발이 활발히 이루어지고 있다고 생각된다.

이러한 개발된 구멍가공 기술 중에서 심공가공의 BTA 드릴가공은 1942년 Beisner에 의하여 개발<sup>1)</sup>된 이래 많은 진보적인 기술향상은 보이지 않지만, 초경합금 팁의 개발 적용 및 공구 표면의 코팅으로 절삭성능이 향상되고 있으며, 최근에는 세라믹을 안내 패드에 적용하는 연구<sup>2)</sup>가 이루어지고 있다.

BTA드릴에 의한 가공은 Pad에 의한 자기안내 방식에 기초하여 독특한 절삭력의 분산과 고압 절삭유 공급에 의하여 칩 배출이 이루어지고 있어 길이/직경(L/D)의 비가 큰 심공가공에서는 다른 가공방식에 비하여 우수한 특성을 갖고 있기 때문에 대형 금형의 냉각수 구멍가공, 열 교환기의 핵심부품인 튜브시트의 가공, 자동차용 각종 부품가공 등 그 이용 범위가 확대되는 경향이며, 최근 일반 범용기를 개조한 장비 및 전용장비를 갖추고서 각종 부품을

생산하고 있다.

길이/직경의 비가 큰 구멍가공인 심공가공은 직경의 정밀도(휨, 구멍의 확대), 동심도, 평행도, 원통도 및 표면 거칠기 등은 현재 나타나는 심공가공의 가장 큰 문제점들이다. 이런 문제점들의 원인으로는 BTA드릴링 가공계의 조립오차, 공작물 및 공구형상에 의한 절삭력의 불균형 등으로 요구되는 품질을 만족시키지 못하고 있다.

본 연구는 심공가공의 문제 중에서 BTA드릴의 설계에서 결정되는 공구의 형상이 절삭력의 불균형이 가공된 구멍의 정도에 어떠한 영향을 미치는지를 단인BTA드릴과 다인BTA드릴에 대하여 비교하고 그 특성에 관하여 실험적으로 분석하였다.

## 2. BTA드릴 가공의 절삭기구<sup>3)</sup>

Fig. 1은 단인 절삭날 및 다인 절삭날을 갖는 BTA드릴에서 작용하는 힘의 분포에 대하여 나타내었다. 공구의 형상이 실제의 공구와 다소 차이가 있는 것은 각 공구의 직경별 형상차이와 단인BTA드릴과 다인BTA드릴의 수학적 모델링을 위하여 다소 변형을 하였다.

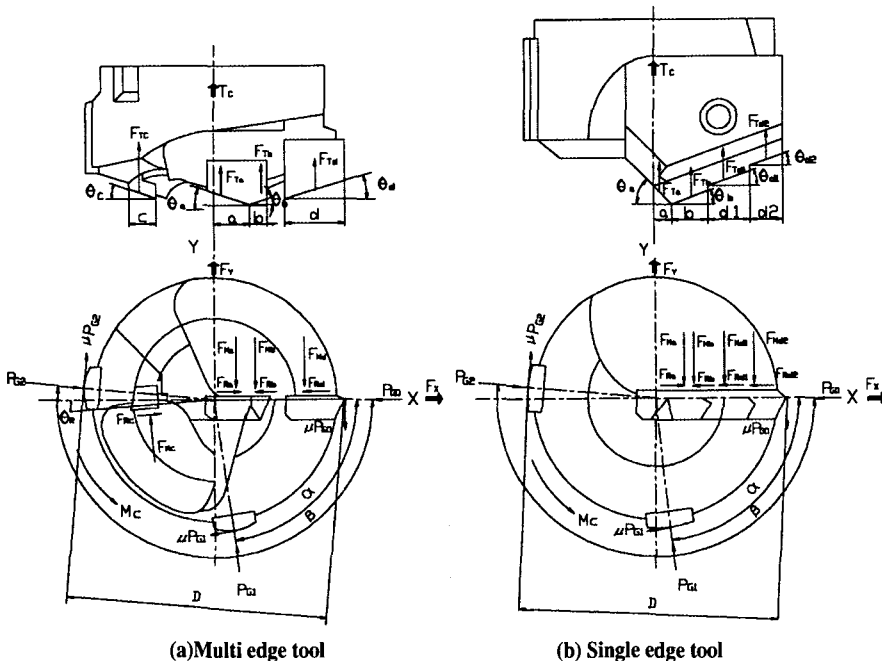


Fig. 1 Forces acting on BTA tools with multi edge and single edge

공구의 각 절삭날부에 작용하는 주분력 방향 성분, 반경 방향성분, 스리스트(Thrust) 방향성분을 각각  $F_{Ma} \dots F_{Md}$ ,  $F_{Ra} \dots F_{Rd}$ ,  $F_{Ta} \dots F_{Td}$  라하고 X, Y방향 합력을  $F_x, F_y$  라 하면  $\Sigma F_x = 0, \Sigma F_y = 0$ 에서 식(1), (2)을 구할 수 있다.

$$F_x = F_{Ra} - F_{Rb} - F_{Rd} + F_{Rc} \cos \theta_R - F_{Mc} \sin \theta_R \quad (1)$$

$$F_y = -F_{Ma} - F_{Mb} + F_{Rc} \sin \theta_R + F_{Mc} \cos \theta_R - F_{Md} \quad (2)$$

$$F_{Ra} = F_{Ta} \tan \theta_a, F_{Rb} = F_{Tb} \tan \theta_b, F_{Rc} = F_{Tc} \tan \theta_c,$$

$$F_{Rd} = F_{Td} \tan \theta_d \quad (3)$$

외측날의 마진 및 각 안내부에 작용하는 수직력을  $P_{G0}$ ,  $P_{G1}$  및  $P_{G2}$ , 버니싱 토크를  $M_B$ , 공구의 반경을  $R$ , 마찰계수를  $\mu$ 라 하면 힘 및 모멘트의 균형에 따라서

$$F_x = F_{G0} - P_{G1} \cos \alpha - \mu P_{G1} \sin \alpha - P_{G2} \sin \beta = 0 \quad (4)$$

$$F_y - \mu P_{G0} + P_{G1} \sin \alpha + \mu P_{G1} \cos \alpha + P_{G2} \sin \beta = 0 \quad (5)$$

$$M_B = R\mu(P_{G0} + P_{G1} + P_{G2}) \quad (6)$$

각 절삭날에 작용하는 주분력과 스리스트 방향의 분포 하중은 동일하다고 가정하고, 절삭 토크 및 스리스트를 각각  $M_c, T_c$  라 하면

$$F_{Ta} = a(T_c / R), F_{Tb} = b(T_c / R), F_{Tc} = c(T_c / R),$$

$$F_{Td} = d(T_c / R) \quad (7)$$

$$F_{Ma} = 2a(M_c)R^2, F_{Mb} = 2b(M_c)R^2, F_{Mc} = 2c(M_c)R^2$$

$$F_{Md} = 2d(M_c)R^2 \quad (8)$$

여기서  $a, b, c$  및  $d$ (단인의 경우  $d_1, d_2$ )는 절삭력이 팁에 작용하는 폭이고  $a+b+c+d=R$ 의 관계가 성립한다. 또한  $P_{G0}$ 은 외측날 마진부에 작용하는 수직력이지만 마멸이 작고, 그리고 확대 구멍을 가공할 때는 무시할 수 있기 때문에  $P_{G0} = 0$  라 가정하면 식(4), (5), (6)로부터 다음 식(9)을 얻을 수 있다.

$$\mu = (B + \sqrt{B^2 - 4AC}) / 2A \quad (9)$$

$$A = M_B \cdot \sin(\alpha - \beta) + R\{(\cos \alpha - \cos \beta)$$

$$F_x - (\sin \alpha - \sin \beta)F_y\}$$

$$B = R\{(\sin \alpha - \sin \beta)F_x + (\cos \alpha - \cos \beta)F_y\}$$

$$C = M_B \sin(\alpha - \beta)$$

$$P_{G1} = \frac{F_x(\sin \beta - \mu \cos \beta) + F_y(\cos \beta + \mu \sin \beta)}{(1 + \mu^2) \cdot \sin(\beta - \alpha)} \quad (10)$$

$$P_{G2} = \frac{F_x(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) + F_y(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)}{(1 + \mu^2) \cdot \sin(\beta - \alpha)} \quad (11)$$

절삭 시험에 따라서  $M_B, M_c, T_c$ 를 구하고, 공구의 형상을 측정하면 식(1), (2), (3), (7), (8)에 의해 공구에 작용하는 X, Y방향 성분의 힘  $F_x, F_y$ 를 구할 수 있다. 이들의 값을 식(9)에 대입하여  $\mu$ 를 구하고 식(10), (11)에 의해 안내패드에 작용하는 힘을 구할 수 있다.

### 3. 실험장치 및 실험방법

#### 3.1 시험편 및 공구

본 실험에서 사용된 시험편은 Fig. 2와 같은 자동차용 구동장치의 부품으로 사용하는 Sliding Yoke로서 기계 구조용 탄소강인 SM55C이며, 그 화학적 성분은 Table 1과 같다. 시험편은 Fig. 3과 같이 1150℃까지 가열하여 약 950℃에서 단조작업을 하고 열처리는 단조 담금질방식으로 약 850℃이상의 온도에서 단조열과 충격에너지를 이용하여 담금질조에 2분 이상 침적하여 열처리가 이루어지도록 관리를 하였다. 그리고 650℃에서 약 2시간동안 뜨임을 실시하여 가공성을 향상시켰다. 이때 나타난 시험편의 기계적 성질은 Table 2와 같다. 그리고 실험을 위하여 외경 및 단면을 1차 가공하였다.

사용된 공구는 직경이  $\phi 17.1h6$ 로서 팁이 초경 P20계 열인 다인BTA드릴(Multi blazed tip head)과 단인 BTA 드릴(Single blazed tip head)이다. 다인BTA드릴은 절삭날을 여러 개로 분할하고 공구헤드에서 적당하게 배치를 하는 것에 따라 주분력이나 반경방향분력을 어느 정도 균형을 맞출 수가 있다. 그리고 절삭날이 분할되어 있기 때문에 칩폭이 작고, 배출이 용이하여 고능률 가공이 가능하다. 단인BTA드릴은 주분력 및 반경방향분력

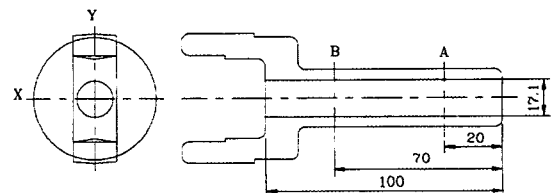


Fig. 2 Shape and dimensions of the workpiece

이 한쪽방향으로만 움직이고, 이 힘들은 안내 패드에 의하여 가공된 구멍벽에서 받아 지지하는 구조이다. Fig. 4는 공구의 형상을 나타내었다.

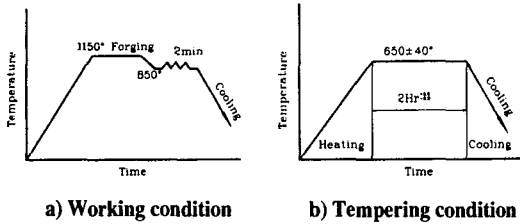
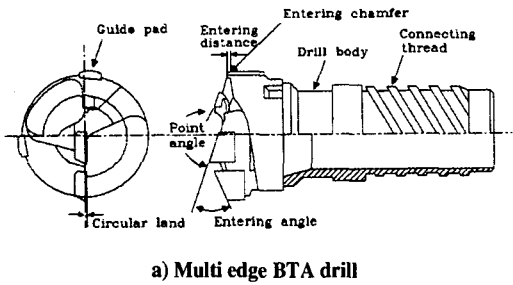
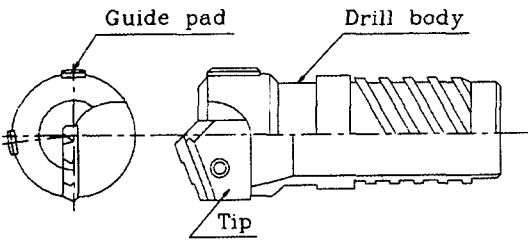


Fig. 3 Heating treatment condition



a) Multi edge BTA drill



b) Single edge BTA drill

Fig. 4 Shape of the BTA drill

Table 1 Chemical compositions of the workpiece(wt.%)

C	Si	Mn	P	S
0.54	0.25	0.75	0.025	0.023

Table 2 Mechanical properties of the workpiece

Yield strength(MPa)	Tensile strength( MPa)	Elongation (%)	Hardness (H <sub>B</sub> )
539	735	10	252

### 3.2 실험장치

본 실험에 사용된 실험 장치는 심공가공기(Model: STGA2-450CNC, Shin il machine Co., Ltd)는 주축 및 이송용축에 서보모터가 장착되어 CNC로 제어 가능하도록 되어 있다. 가공방식은 공구회전 공구이송방식이다. 그리고 장치의 가공능력은 직경 Max.  $\phi 32$ , 드릴링 깊이 Max. 250mm까지 가능한 기계이다. 압력헤드에 설치되어 공구가 초기 가공이 될 때 가이드 역할을 하는 부쉬의 형태는 고정형(Fixed type) 부쉬를 사용하였다. Fig. 5는 실험장치의 개략도를 나타내었다.

절삭저항을 분석하기 위하여 압전형 공구동력계(Swiss Kistler사 9271A)를 사용하여 측정하였으며 공구동력계로 부터의 미세한 전압을 안정적으로 증폭하기 위하여 차지 앰프라이어(Charge amplifier, Kistler 사, 5007)를 사용하여 측정하였다.

표면거칠기는 표면조도기(Mahr GmbH, S3P)에 의하여 측정하였고, 진원도는 진원도 측정기(Feinpr f GmbH Frmmeter F3P, Mistutoyo RA-2)에 의하여 측정하였다.

### 3.3 실험방법

본 실험에서는 Fig. 5에서와 같이 CNC 심공가공기 축의 콜렛 홀더에 튜브를 고정시키고 그 선단에 공구를 장착시켰다. 그리고 절삭유는 압력 헤드를 통하여 공구의

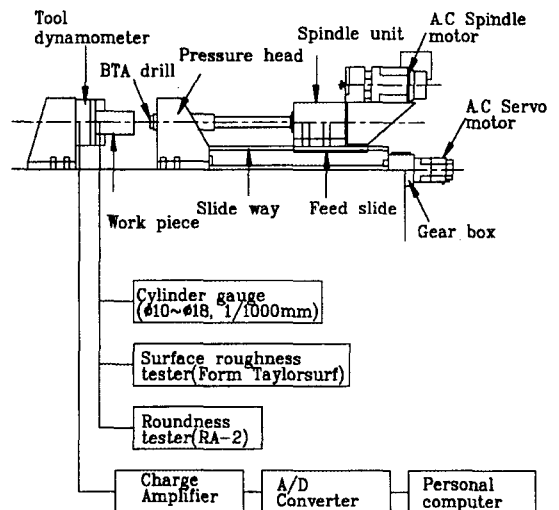


Fig. 5 Schematic diagram of the experimental apparatus

외측에서 공급하고 공구의 내부로 칩이 배출되도록 하였다. 실험은 공구회전과 공구 이송방식을 채택하였으며, 가이드 부쉬와 축 사이에 요구되는 조립정도를 0.025mm 이내로 조정하여 절삭속도를 60, 70, 80m/min, 이송속도는 0.15mm/rev로 드릴 가공을 하였다. 이때 가공 깊이는 Sliding yoke의 전체길이 100mm로 하였다. 그리고 실험에서 공작물의 높은 경도로 초기에 공구가 가공 시작점에서 공구의 형상과 이송속도의 영향으로 발생하는 진동 등으로부터 공구의 파손을 방지하기 위하여 가이드 부쉬에서 공구의 안내패드와 완전히 가공구멍에 진입한 후 정상적인 절삭조건에서 가공이 이루어질 수 있도록  $V=28\text{m/min}$ ,  $f=0.12\text{mm/rev}$ 로 낮추어 공구출발점에서 11mm지점까지 전진 가공후 정상적인 실험조건으로 절삭시험이 이루어지도록 하였다.

드릴가공의 경우 공구에 작용하는 절삭력은 공구의 외측날 외주부에서 최고의 절삭속도가 되지만 내측의 절삭날 중심부는 0까지 절삭속도가 감소하면서 저절삭속도로 떨어진다. 그리고 심공가공 공구는 절삭날 외에도 가공구멍의 안내작용을 하는 안내 패드를 갖고 있으며, 여기에 사용되는 절삭유는 일반 절삭유보다도 더욱더 가혹한 조건에서 사용되기 때문에 실험에 사용된 절삭유는 비수용성 황화 염화계(KS 2종13호)인 심공가공전용 절삭유인 Yushiron cut DS-50N을 사용하였으며, 실험 장비에 장착된 가변형 펌프를 통하여 공구부로 343MPa의 압력으로 공급하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 절삭저항분석

절삭 토크 및 스러스트의 측정은 시험편의 100mm를 가공하는 동안 가공개시 후 약 2sec후 부터 절삭토크의 값이 안정되기 때문에 안내패드에서 발생하는 버니싱 토크량을 측정하였다. 절삭속도  $V=60\text{m/min}$ , 이송속도  $f=0.15\text{mm/rev}$ 로서 다인BTA드릴로 드릴링 하였을 때 토크를 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서 표시된 바와 같이 전절삭토크  $M_T$ 는 순절삭토크  $M_C$ , 버니싱 토크  $M_B$ (마찰 토크  $M_f$ 를 포함)의 합으로서 생각할 수 있으며, 이때 측정된 절삭토크 및 스러스트는 Fig. 7과 같이 나타났다. 이때 나타난 버니싱 토크는 Weber에 의하면 소성 변형으로 발생하는 힘은 드릴링 토크의 35%를 차지하지만 안내 패드 표면에서의 마찰에 의하여 에너지가 소모되므로 드릴링토크의 약 15%<sup>4)</sup>, Griffiths는 24%<sup>5)</sup>가 해당된다고

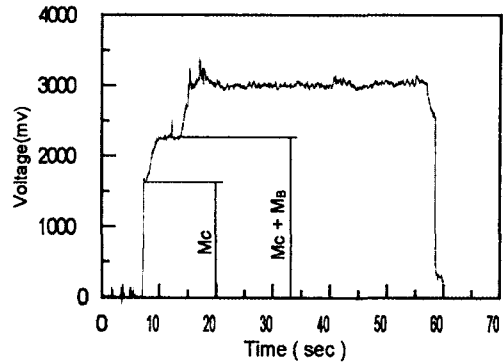


Fig. 6 Torque behavior for BTA drilling in  $V=60\text{m/min}$ ,  $f=0.15\text{mm/min}$

Table 3. Measured values of each tool

Tool	a	b	c	d	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	$\alpha^\circ$	$\beta^\circ$
Multi	3.3	-	2.0	3.2	-	-	82	189
Single	1.6	2.4	-	-	2.5	2.0	83.2	181

Tool	$\theta_a^\circ$	$\theta_b^\circ$	$\theta_c^\circ$	$\theta_d^\circ$	$\theta_{d1}^\circ$	$\theta_{d2}^\circ$	$\theta_R^\circ$	$\lambda$
Multi	19.05	0	18.1	17.13	-	-	1	20.08
Single	19	12.2	-	-	12.05	11.05	-	11.06

주장하고 있다.

본 연구에서는 공구동력계에서 측정한 결과 단인BTA 드릴 및 다인BTA드릴에서 유사하게 Griffiths가 주장한 24%에 근사한 26%로 접근함을 볼 수 있었다. 따라서 버니싱 토크는  $M_B=0.26M_C$ 가 된다. 이때 얻어진 토크 및 스러스트는 Fig. 7과 같이 단인BTA드릴 및 다인BTA드릴에서 각각 거의 같은 크기로 12.7Nm, 1,609N로 작용함을 알 수 있었다.

Table 3과 같이 사용공구의 측정치와 Fig. 7에서 얻어진 토크 및 스러스트를 식(1), (2), (3), (7), (8)에 의해  $F_x, F_y$ 를 구하고, 식(9)에 의하여  $\mu$ 를 구하면 다인 및 단인BTA드릴에서 각각 0.189, 0.162로서 Weber의 주장<sup>4)</sup>과 일치함을 알 수 있었으며, 식(10), (11)에 의해 안내패드에 작용하는 힘을 구하면 Fig. 8과 같이 나타났다. 다인BTA드릴의 경우는 단인 보다도 PG1은 42%, PG2는 51% 낮게 작용함을 알 수 있다. 이 결과 다인BTA드릴은 단인 보다도 절삭력분산이 잘됨을 알 수 있다.

##### 4.2 가공 정밀도

Fig. 9에서와 같이 진원도를 측정된 결과 단인BTA드

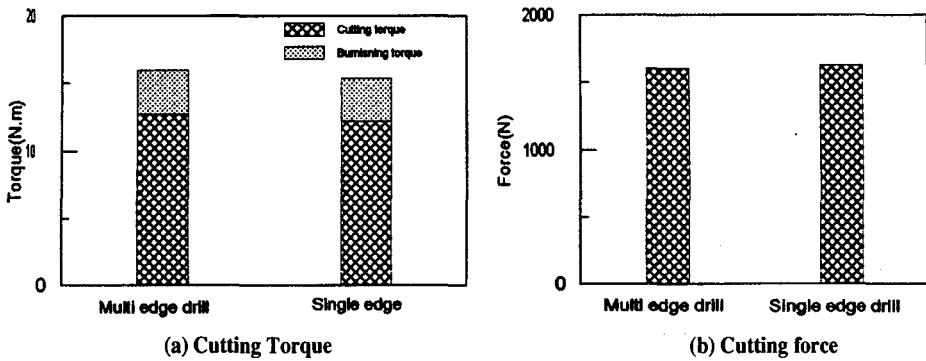


Fig. 7 Cutting Forces of BTA drill in  $V=60\text{m/min}$ ,  $f=0.15\text{mm/min}$

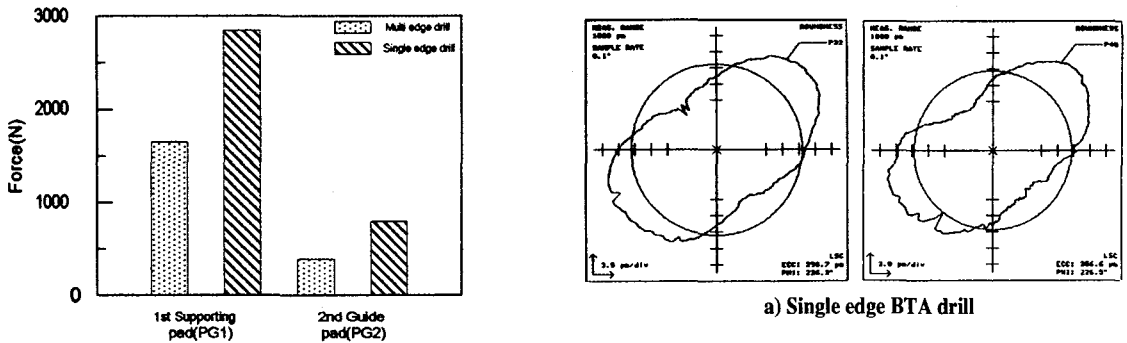


Fig. 8 Supporting Force of BTA drill in  $V=60\text{m/min}$ ,  $f=0.15\text{mm/min}$

릴에서는 주로 타원형상이 주로 나타남을 볼 수 있었고, 다인BTA드릴에서는 3각형 및 5각형 형상이 나타남을 볼 수 있다. Fig. 10은 절삭속도의 변화에 따라 진원도 측정 결과에 대하여 나타내었다. 단인 및 다인BTA공구 모두 절삭속도가 증가함에 따라서 진원도가 나빠지는 경향을 보이고 있으며, 특히 단인BTA공구는 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타남을 볼 수 있었다. 이런 현상은 공구의 절삭상태가 불안정한 상태에서 발생하는 것으로서 Fig. 7의 절삭날에 작용하는 X, Y방향의 힘에 의하여 계산된 안내패드에 작용하는 힘  $P_{G1}$ ,  $P_{G2}$ 에서 나타난 것과 같이 단인BTA드릴에서는 안내부 역할을 하는 안내 패드부로 어느 정도 강한 절삭력이 작용함으로 진동의 발생이 어려운 반면에 다인BTA드릴의 경우는 안내부에 작용하는 절삭력이 분산됨으로 인하여 작용하는 힘이 약하게 되어 X방향의 분력이 작게되고 유압이나 공구 진동의 영향을 받기 쉽게 되어 다각형 형상오차가 발생하기 쉽게 된다고 생각

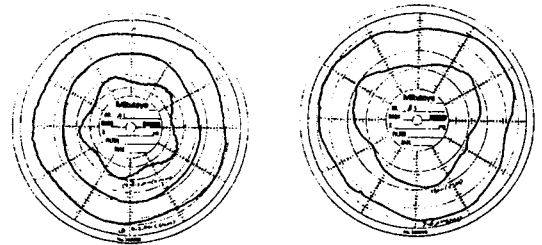


Fig. 9 Roundness type of each BTA drill

된다<sup>6)</sup>.

Fig. 11은 절삭속도의 변화에 따른 표면거칠기 변화의 결과를 나타내었다. 여기서 표면거칠기 정도는  $11\mu\text{m}$ 이하로서, BTA드릴가공에서는 표면거칠기가 강의 경우 9~ $25\mu\text{m}$ 정도로 나타난다는 발표된 연구결과와 비교하면 양호하게 나타났으며, 표면거칠기는 절삭속도에 크게 영향을 받지 않고 70m/min에서는 단인 및 다인BTA공구 모두 표면거칠기는 떨어짐을 볼 수 있다. 이것은 표면거칠기는 절삭속도의 영향보다는 이송속도에 영향을 받는다고 주장한 甲木등의 연구<sup>7)</sup>와 잘 일치함을 나타내고 있다.

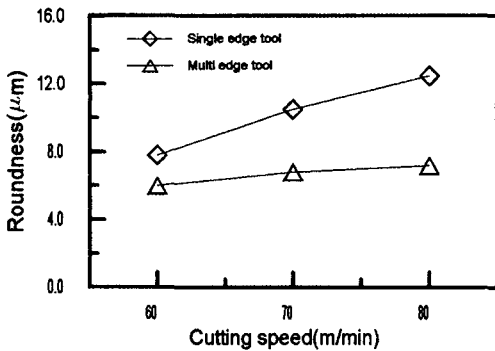


Fig. 10 Relation between cutting speed and roundness

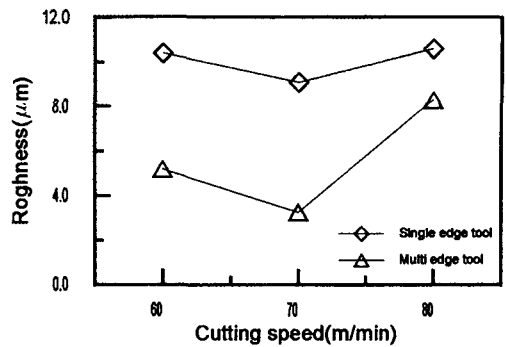


Fig. 11 Relation between cutting speed and surface roughness

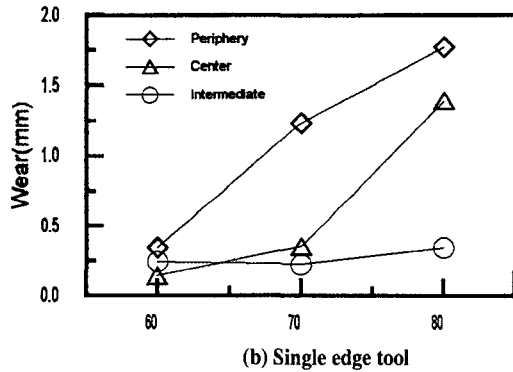
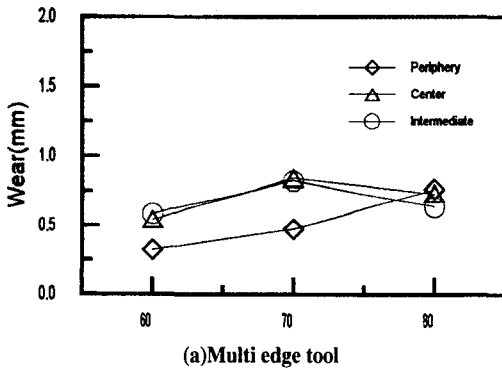


Fig. 12 Relation between cutting speed and flank wear

#### 4.3 마멸특성

BTA드릴의 각 절삭날 및 안내패드의 마멸특성을 측정하기 위하여 시험편을 10m가공한 마멸량을 화상처리 시스템을 이용하여 15배로 확대 측정하여 분석하였다. Fig. 12는 단인 및 다인BTA드릴에서 절삭속도의 변화에 따른 프랭크 마멸특성을 Fig. 13은 단인 BTA드릴 절삭날과 패드의 마멸상태의 사진을 나타내었다. 단인BTA드릴에서 절삭속도 60m/min에서 외측날은 약 0.34mm, 중심날은 0.14mm, 내측날은 0.24mm의 마멸이 발생하였으며, 이것은 다른 절삭조건보다 양호한 마멸 특성을 나타내고 있었다. 그러나 내측날에서는 부분적으로 구성인성의 발생이 관측되어졌다. 이때 발생된 안내패드의 마멸현상은 60m/min에서는 관측되지 않았으며, 다른 조건에서는 0.04-0.07mm까지 관측되어졌으며, 회전방향으로 절삭력을 지지함으로 구멍의 직경유지로 인한 마멸현상은 절삭속도가 늦어짐에 따라서 다소 둔화되는 경향이 관측되었다.

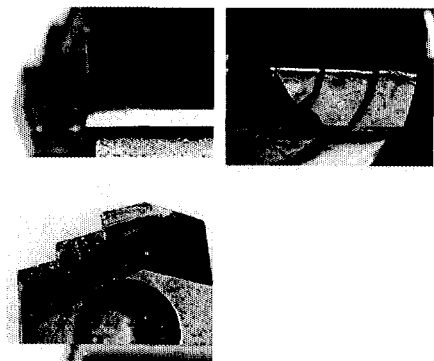


Fig. 13 Photograph of wear states in single edge BTA drill

다인BTA드릴에서는 각 절삭조건에서 마멸이 1.0mm 이하로 나타나고, 공구수명도 단인BTA드릴 보다 증가함을 알 수 있었다. 이것은 공구의 각 절삭날에 작용하는 절삭력의 분산이 잘 이루어지고 또한 안내 패드에서 안내작

용과 지지작용에서 힘의 균형이 잘 이루어지고 있기 때문이라고 생각된다.

단인BTA드릴에서 절삭속도  $V=80\text{m/min}$ 에서는 응착 마멸도 확인되었다. 이것은 공작물과 공구사이의 마찰열과 절삭저항, 칩의 분말, 공구의 마멸분, 구성인선 등의 영향에 따른 복합적인 마멸현상이라고 생각된다.

## 5. 결 론

본 연구는 BTA드릴의 설계에서 결정되는 공구의 형상이 절삭력의 불균형이 가공된 구멍의 정도에 어떠한 영향을 미치는지를 단인BTA드릴과 다인BTA드릴에 대하여 비교하고 그 특성에 관하여 실험을 통하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) SM55C가공에서 단인 및 다인BTA드릴에 만족시키는 절삭조건은  $60\text{m/min}$ 에서 마멸특성이 가장 안정되고 적합한 절삭조건임 알 수 있었다.
- 2) 진원도는 절삭속도의 증가에 따라 다소 나빠지지만, 표면거칠기는 절삭속도와 무관함을 알 수 있었다.
- 3) 버니싱토크는 단인BTA드릴 및 다인BTA드릴에서 Griffiths가 주장한 24%에 근사한 26% 로 접근함을 알 수 있었고, 또한 다인BTA드릴은 단인BTA보다도 절삭력 분산이 잘됨을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. Frazao, J., et al., "On the Design and Development of a New BTA Tool to Increase Productivity and Workpiece Accuracy in

Deep Hole Machining," The Int. J. of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 1, No. 4, pp. 3-23, 1986.

2. Latinovic, V., Osman, M. O. M., "Unsymmetrical Multi-edge Tools Cutting in Deep Hole Machining Design Concept and Analysis," Proceedings of NAMRC-IV, pp. 255-263, 1976.
3. Katsuki, A., Sakuma, K., Taguchi, K., Onikura, H., Akiyoshi, H., Nakamuta, Y., "The Influence of Tool Geometry on Axial Hole Deviation in Deep Drilling -Comparison of Single and Multi-edge tools," JSME International Journal Ser. ii, Vol. 30, No. 265, pp. 1167-1174, 1987.
4. Weber, U., "Beitrag zur Messtechnischen Erfassung des Tiefbohrprozesses," Dr. Eng. Dissertation, Universität Dortmund, 1978.
5. Griffiths, B. J., Grieve, R. J., "The Role of the Burnishing Pads in the Mechanics of the Deep Drilling Process," Int. J. Prod. Res. Vol. 23, No. 4, pp. 647-655, 1985.
6. 장성규, 조규제, 전언찬, "BTA드릴에 의한 심공가공시 가공면 형상에 관한 연구," 동아대학교 부설 생산기술연구소논문집, 창간호, pp. 57-64, 1996.
7. 甲木昭雄, 佐久間敬三, 田口雄一, 秋吉久士, "深穴加工の研究, -工具形状の曲りに及ぼす影響 -, 昭和57年度精機學會秋季大會學術講演會論文集, pp. 320-322, 1982.