

BTA에 의한 심공가공시 가공면 형상에 관한 연구

장 성규*, 조 규재**, 전 연찬***

* (주) 한국에이비시스템

** 조선대학교 기계공학과

*** 동아대학교 기계공학과

I. 서 론

트위스트 드릴을 사용한 가공은 구멍가공중 가장 경제적인 방법중의 하나이다. 그러나 트위스트 드릴에 대한 가공은 길이에 대한 구멍경의 비가 한정되어 있다. 깊이/직경(L/D)의 비가 통상 5배이상의 경우의 적절한 가공방법은 고압력의 절삭유를 공급할 수 있는 공구를 사용하여 가공하고 있으며, 그 대표적인 방법은 Long drill, Gun drill, BTA drill 및 Ejector drill 등이 있다. 이들 방법중 BTA drill은 다른 가공공구에 비하여 우수한 가공능률을 갖고 있다^{[1]~[3]}.

그러나 BTA드릴에 의한 심공가공은 1회 가공에 의하여 요구 되는 품질을 만족시켜야 함으로 이에 대응한 연구가 요구되고 있다.

따라서 본연구는 BTA드릴링 시스템에 BTA drill을 사용하여 심공가공할때 공작물의 형상 즉 표면 거칠기 및 진원도등에 미치는 영향에 대하여 실험을 통하여 분석하였다.

II. 실험장치 및 실험방법

1. 시험편 및 공구

본 실험에 사용한 시험편은 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 기계구조용 탄소강 SM45C와 SCM4 및 SM55C의 4종을 선정하였으며 SM55C의 열처리는

단조작업후 약 850°C 정도로 Oil quenching하고 620°C에서 2시간 동안 Tempering하였다. 화학적인 성분과 기계적 성질은 Table 1, 2와 같다.

Table 1 Chemical compositions of the workpiece(%)

Material	C	Si	Mn	P	S
SM45C	0.42	0.25	0.75	0.025	0.026
SM55C	0.55	0.25	0.75	0.025	0.030
SCM4	0.38	0.22	0.78	0.025	0.025

Table 2 Mechanical properties of the workpiece

Material	Yield strength (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (H _n)
SM45C	357	698	18.6	206
SM55C	539	735	10	232
SCM4	833	980	12	290

실험에 사용된 시험편은 길이 $\phi 45 \times 115\text{mm}$ 의 환봉을 이용하여 실험에 활용하도록 하였다. 실험에 사용된 공구는 $\phi 17.1$ 로서 인서트가 초경 P20계열의 BTA 드릴(Multi-tip head with brazed tips)로 형상은 Fig. 1과 같고, 구성은 절삭날 즉 외측날, 중심날, 내측날과 안내부 작용을 하는 가이드 패드 및 공구 본체로 구성되어 있다.

2. 실험 장치

본 실험에 사용된 실험장치는 2-Spindle type의

CNC deep hole drilling m/c(Model: STGA2-450CNC, Shin il machine Co., Ltd)으로서 가공능력은 Max. ø32, 드릴링 깊이 Max. 250mm, Spindle의 회전수는 0~4,500rpm까지 변환 가능한 기계이다. Fig.2는 실험 장치의 개략도에 대하여 나타내었다. 그리고 심공가공을 하기위해 구성한 Tooling 시스템을 Fig. 3에 나타내었으며, 압력헤드부에 설치되어 있는 가이드 부숴의 형태는 고정형 부숴를 사용하였다.

시험면의 내경측정은 1/1000mm의 실린더 케이지를 이용하여 변화량을 측정하였고, 표면거칠기는 Surface roughness tester(Form Taylor surf)로 진원도는 Roundness tester (Mitutoyo: RA-2, Feinprüf: Formmeter F3P)로 측정하였다.

3. 실험방법

본 실험은 CNC deep hole m/c 축의 Collet holder에 튜-브를 고정시키고, 그선단에 공구를 장착시켰다. 그리고 절삭유는 압력헤드를 통하여 공구의 외측에서 공급할 수 있도록 하였으며, 공구의 내부로 칩이 배출되도록 하였다. 실험은 공구회전 및 공구이송방식을 채택하였으며, 축은 1-feed unit에서 2축이 동시에 가능될 수 있는 구조로 하고 절삭속도를 58, 70, 80m/min변화시키고 이송속도는 0.1, 0.15, 0.2mm/rev로 변화시키면서 드릴가공하였다. 이때 가공 길이는 115mm로 하였으며, 실험에 사용된 절삭유는 비수용성 황화염화계(KS 2종 13호)로서 심공가공전용절삭유인 Yushiron cut DS-50N을 사용하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 표면거칠기의 변화

BTA가공에서 가공면의 거칠기는 일반적으로 강일 경우는 9~25S(Rmax)정도이며, 주철이나 알루미늄일

경우는 12.5S (Rmax)정도이다.¹⁰ 그리고 가공 정밀도는 공구제조 메이커나 기계의 가공 정밀도에 따라서 다소 차이가 있지만 통상 117~8급 정도로 대체적으로 리이머등과 같은 2차가공은 필요로 하지 않는다.

Fig. 4는 V·70m/min, f·0.15mm/rev의 조건에서 측정한 대표적인 표면거칠기의 형상을 Fig. 5는 이때의 표면상태를 X10의 형상을 나타내었다. 그리고 Fig. 6은 SM55C를 절삭속도의 변화에 따른 표면거칠기의 분포를 나타내고 있다. V 70m/min, f·0.1mm/rev에서 5S(Rmax)이하로 표면조도가 상당히 양호하게 나타났으며, f·0.15mm/rev에서 초기구간은 4.21~7.17S (Rmax), 10m구간에서는 6.7~11.4S(Rmax), 20m구간에서는 3.88~6.93S(Rmax)범위의 표면조도를 나타내고 있으며 전반적으로 12S이하를 나타났었다. 또한 SMC4 에서는 6.8S, SM45C의 경우는 8.8S정도의 표면 거칠기가 나타났었다. 이런 현상은 초기구간에서는 공구의 마멸의 원인이 되며 일부가공이 이루어진 후는 안내 패드에 의한 베어니싱 작용의 영향을 받아 표면조도가 양호한 상태를 나타난것으로 생각된다. Fig. 7은 BTA드릴가공에 있어서 베어니싱효과를 볼 수 있는 가공한 단면부를 X200로 윤곽 측정기에서 측정한 결과를 나타내었다.

이상과 같이 BTA 드릴에 의한 드릴가공시 표면거칠기에 대하여 각 조건을 변화시키면서 실험한 결과 가공깊이의 전구간에 걸쳐 표면거칠기는 변화하지 않고 12S(Rmax)이하의 범위에 속하므로 문제가 없을 것으로 생각된다.

2. 진원도의 상태변화

BTA방식에서 L / D의 비가 큰 경우 가공중에 공구의 진동과 여러가지의 영향으로 인하여 가공 구멍이

다각형의 형상으로 된다. 이것은 심공 드릴 가공용 공구는 동일의 절삭날을 4개를 가진 리이머와 같은 다인 공구의 절삭현상의 단순화 형태로 볼 수 있고 그날과 공작물의 상호간에 생성되는 다각형의 형태는 Fig. 8 과 같이 5각형 및 6각형으로 나타낼 수 있으며 그림 a)는 공구회전식인 경우의 다각형 생성기구이며 b)는 공작물 회전식인 경우의 다각형 생성기구를 나타내고 있다. BTA드릴이나 트위스트 드릴 및 리이머등의 다인공구의 경우 절삭날의 수 Z 와 다각형의 수 S 의 사이에는 다음식 (1)과 같이 생성된다.

$$S = nZ \pm 1 \quad \dots \quad (1)$$

n: 정수
Z: 절삭날수

일반적으로 BTA드릴의 절삭날 및 안내패드는 다인 공구의 절삭날수 $Z=4$ 와 같이 볼 수 있으므로 이들의 상호배치 각도는 90° 가 되어, 이때의 다각형의 각수는 3개 또는 5개가 된다고 할 수 있다. BTA드릴의 자려 진동 및 강제진동에 의한 드릴축 중심파적 및 공구 날이 회전하는 절삭날끝에 의한 가공면의 형상은 [图8]이 반복되는 형상이고 절삭날끝이 凹凸을 생성시킨 다음 후속의 날끝에 의한 가공면의 형상은 凹凸이 반복되는 형상이고 절삭날끝이 凹凸을 생성시킨 다음 후속

의 날끝이 절삭날끝이 생성한 凹凸을 따라가면서 운동을 한다. 드릴의 회전각속도가 ω_a , 드릴의 직경이 D_a , 드릴축중심의 패적을 조화함수 (Harmonic function)로 가정하고 드릴축 중심이 반경 R_a 즉 회전직경 D_a 각 속도를 ω_a 이라하면 임의의 절삭날 끝부분의 외주파적 좌표 벡터 \vec{R} 는 다음식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \vec{R} &= |\vec{R}| e^{j\theta} = |\vec{R}_a| e^{j(\omega_a t + \psi_a)} + |\vec{R}_r| e^{j(\omega_a t + \theta_r)} \\ &= xi + yi \end{aligned} \quad \dots \quad (2)$$

따라서 임의의 최대 외주 절삭날 A부 패적의 좌표 x, y성분은 다음식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} x_a &= \frac{D_a}{2} \cos(\psi_0 + \omega_a t) + \frac{D_r}{2} \cos(\theta_0 + \omega_r t) \quad \dots \quad (3) \\ y_a &= \frac{D_a}{2} \sin(\psi_0 + \omega_a t) + \frac{D_r}{2} \sin(\theta_0 + \omega_r t) \end{aligned}$$

절삭날의 Z 인 공구의 절삭날간 간격은 $2\pi/Z$ 이고 단속 절삭되는 절삭날은 $2\pi/Z$, $2(2\pi/Z)$, $3(2\pi/Z)$, ..., $(Z-1)(2\pi/Z)$ 씩 지연되어 공작물에 접촉된다. 순차적인 다음절삭날 또는 안내패드 B부의 패적좌표성분은

$$\begin{aligned} x_b &= \frac{D_a}{2} \cos(\psi_0 + \omega_a t) + \frac{D_r}{2} \cos(\theta_0 - \frac{2\pi}{Z} + \omega_r t) \quad \dots \quad (4) \\ y_b &= \frac{D_a}{2} \sin(\psi_0 + \omega_a t) + \frac{D_r}{2} \sin(\theta_0 - \frac{2\pi}{Z} + \omega_r t) \end{aligned}$$

절삭날 또는 패드 B부가 절삭날 A부와 같은 위치를 지나게 되는 조건은 다음식(5)과 같다.

$$\begin{aligned} x_b(t=t_0+2\pi/(Z\omega_r)) &= x_a(t=t_0) \\ y_b(t=t_0+2\pi/(Z\omega_r)) &= y_a(t=t_0) \end{aligned} \quad \dots \quad (5)$$

식을 만족하는 조건은 $\omega_a/\omega_r = nZ$ (n: 정수, ω_a ,

ω_r 가 같은 방향으로 회전하는 경우는 +, 반대방향인 경우 -)가 얻어진다. 즉 드릴축의 중심이 공구자전의 nZ 배로 공전할때 각각의 절삭이 같은 패적을 지나고 있음을 나타내고 이 절삭날끝의 패적을 \vec{R} 라고하면 자취 패적의 크기를 나타내는 이벡터의 크기는 다음식 (6)과 같다.

$$|\vec{R}| = \sqrt{x^2 + y^2} = \frac{1}{2} \sqrt{[D_a^2 + D_r^2 + 2D_a D_r \cos((nZ-1)\omega_r t + (\varphi_0 - \theta_0))]} \quad \dots \quad (6)$$

식(6)은 $|nZ-1|$ 의 다각형을 갖는 형상을 나타낸다.

Fig. 8은 BTA드릴인 경우로 공구의 절삭날 혹은 안내 패드등의 돌출부가 $\pi/2$ 간격으로 배치되었다고 가정할 경우 다각형 형상의 가공형상을 나타내고 있다. 그림에서 알수있는 바와 같이 공구1회전 할때 nZ 회의 축

중심의 진동이 있고 공작물이 회전할 경우는 공작물의 회전각속도 ω_w , 드릴축 중심의 공전 각속도를 ω_a' 이라고 하면 공구자전량만큼 차이가 생긴다. 또 $\omega_w - \omega_a'$ 가 되므로

$$\omega_a = \omega_a' - \omega_t = (\omega_a / \omega_t - 1) \omega_t = -\omega_w (nZ - 1) \quad (7)$$

따라서 $\omega_a'/\omega_w = -(nZ - 1)$ 이고 $|nZ - 1|$ 개의 진동

이 관측된다. 공작물이 회전할 때 가공구멍의 다각형 형상의 개수 S 를 나타내는 그림은 Fig. 8 (b)와 같다. 실선의 5각형 가공형상은 이이와 같은 BTA의 형상에 대응하는 5각형의 형상을 갖는 드릴링 가공 메카니즘이고 파선은 6각형의 가공형상을 나타낸 것이다. 실제의 정확한 윤곽은 공구의 회전수와 축중심의 회전속도에 따라 밖으로 굽은 형상과 안으로 굽는 형상이 나타날 수 있으나 직선으로 나타내었다⁵⁾.

Fig. 9에서 진원도를 측정한 결과를 나타내었으며, 일부에서 $17 \mu m$ 까지 나타나는 경우도 있지만 대개 $12 \mu m$ 이하의 구간에 분포되어 있다.

절삭조건은 $V=58m/min$, $f=0.15mm/rev$ 에서 초기구간은 $9 \sim 10 \mu m$, $10m$ 구간에서 $7.22 \sim 9.79 \mu m$, $20m$ 구간에서 $4.76 \sim 8.01$ 로서 전 구간에 걸쳐서 진원도는 전구간에 걸쳐 양호하게 나타나고 $f=0.2 mm/rev$ 의 조건에서 $9 \sim 12 \mu m$ 으로 나타나고 있다. 이송속도를 비교하여 보면 $f=0.15mm/rev$ 가 $f=0.2mm/rev$ 보다 진원도 상태가 전구간에 양호한 상태로 나타났었다. 이것은 이송속도가 높으면 쓰러스트가 크게 작용하여 투-브의 굽힘이 작용하여 진원도를 다소 나쁘게 한다고 생각된다. 그리고 절삭조건 $V=70m/min$, $f=0.15mm/rev$ 에서는 초기구간에서 $2.1 \sim 6.1$, $10m$ 구간에서 $1.9 \sim 5.1 \mu m$, $20m$ 구간에서 $1.5 \sim 2.2 \mu m$ 로 나타났었다.

그리고 Fig. 10에서 진원도의 형상은 측정위치에 따라서 다소 차이는 있을 수 있지만 대체적으로 형상은

큰 차이가 없다는 것을 알 수 있었다.

다각형의 각수는 가공이 진행함에 따라서 작아지는 경향이 있지만^(9,7) 절삭속도가 변화함에 따라 Fig. 11 과 같이 다각형의 형상은 3각형이 지속되었다. 그리고 BTA 드릴 가공에서 다각형 형상은 훌수⁵⁾로 발생한다고 하지만 본 실험에서는 일부 4각형도 나타났다.

IV. 결 론

본 연구는 BTA 드릴링 시스템을 이용하여 BTA 드릴로서 SM55C, SM55C 및 SCM4를 심공을 가공하였을 때 공작물의 표면거칠기 및 진원도 등에 미치는 영향을 실험을 통하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 표면 거칠기는 가공길이의 전구간에서 $12S_{max}$ (R_{max}) 이하로 되었다.
- (2) 진원도는 $12 \mu m$ 이하로 나오며, 다각형의 형상은 훌수각뿐만이 아니고 짝수각(4각형, 타원형)으로도 나오는 것이 확인되었다.
- (3) 절삭속도 $70m/min$, 이송 $0.15mm/rev$ 의 조건에서 공작물의 표면거칠기 및 진원도 등이 가장 양호하였다.

참 고 문 헌

1. 전태옥 · 전연찬 · 심성보 · 장성규, “싱글튜브시스템 BTA공구에 의한 박용부품 소재의 CNC심공가공 특성에 관한 연구”, 한국해양공학회지, Vol. 8 No.1 pp131 ~ 143, (1994)
2. 장성규 · 심성보 · 전연찬 · 전태옥, “Deep Hole 가공시 공작물의 절삭성에 관한 연구”, 한국정밀공학회 ‘93년도 춘계학술대회논문집, pp. 76 ~ 80, (1993)
3. 전태옥 · 전연찬 · 심성보 · 장성규, “싱글튜브시스템 BTA공구를 사용한 SM55C강의 심공가공특성에 관한 연구”, 동아대학교 한국자원개발연구소 연구논문집, Vol. 18, No. 2, pp. 59 ~ 70, (1994)

4. 中村健三著 ; “穴加工 ハンドブック” , pp. 154~200, (1979)
5. Sakuma,K., Taguchi,K., Katsuki,A; “ Study on Deep Hole Boring by BTA System Solid Boring tool -Behavior of Tool and its Effects on Profile of Machined Hole - ” , Bulletin of the JSPE, Vol. 44, No. 9, pp. 1111~1116, (1979)
6. Katsuki,A., Onikura,h., Sakuma,K., Taguchi,K; “ The Influence of Tool Geometry on Axial Hole Deviation in Deep Hole Drilling -Shape of the Guide Pad- ” , J. of the JSPE, Vol. 56, No. 524, pp. 1010~1016, (1990)
7. Sakuma,K., Taguchi,K., Katsuki,A.; “Study on Deep Hole Boring by BTA System Solid Boring Tool -The Effects of Shapes of Guide-pads on Hole Accuracy- ” , J. of the JSPE, Vol.46, No.8, p.1009~1014, (1980)

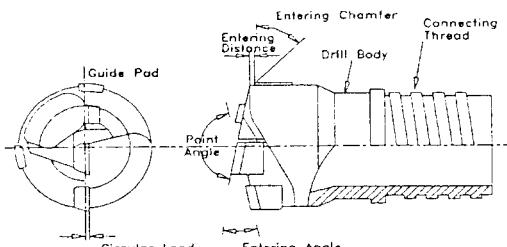


Fig. 1 Shape of the BTA drill

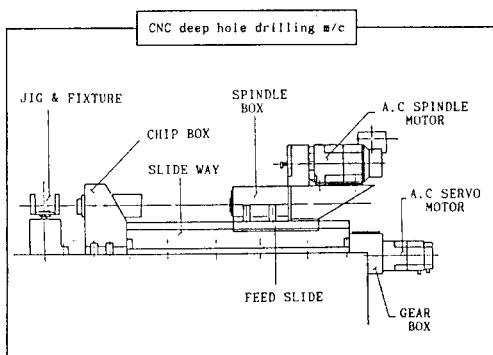


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental apparatus

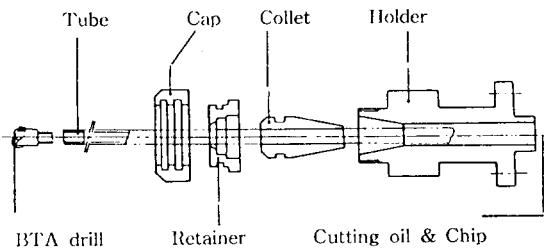


Fig. 3 Tooling System for the BTA drilling M/C

F1 = Analysis
F2 = Graph
F3 = Draw
F4 = Expand
F5 = Exclude
F6 = Z-Finish

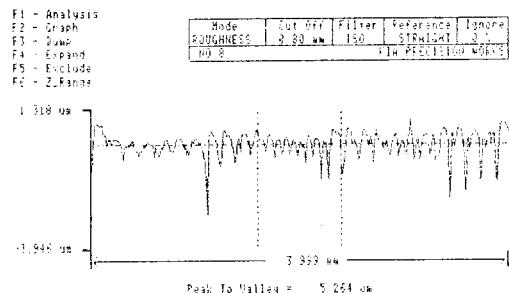


Fig. 4 Type of surface roughness for the BTA drilling



Fig. 5 Photograph of surface after the BTA drilling

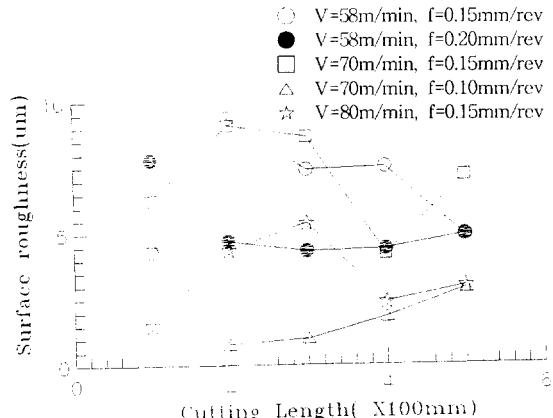


Fig. 6 Relation between surface roughness and cutting length for cutting speed

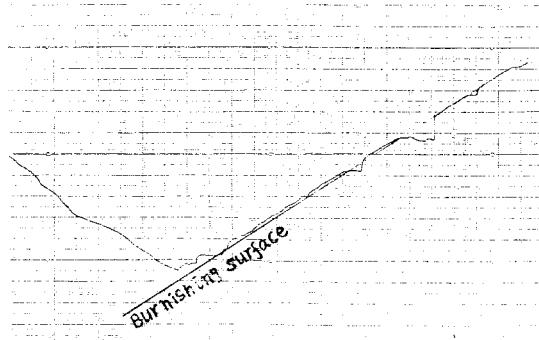


Fig. 7 Surface form trace

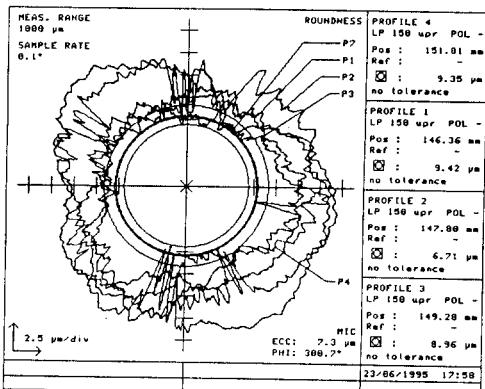
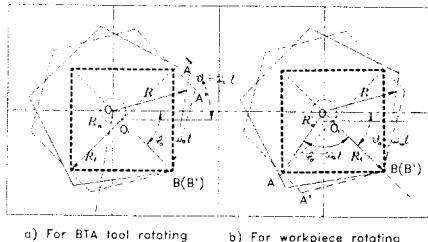


Fig. 10 Type of the roundness for length



a) For BTA tool rotating b) For workpiece rotating

R_t : Tool radius R : Workpiece lobe radius
 R_s : Radius of rotating tool axis
 O_s : Center of tool head O : Center of workpiece lobe
 θ_i : Initial phase

Fig. 8 Generation of workpiece polygon for the rotation of tool and workpiece

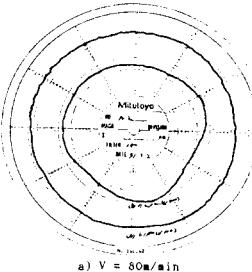
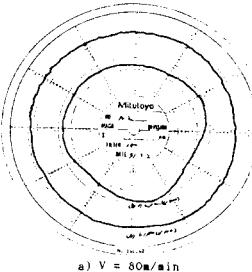
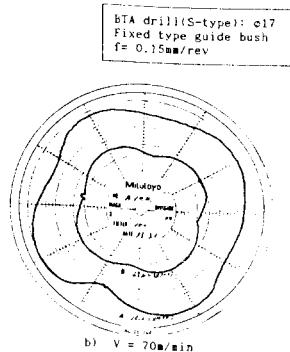


Fig. 11 Type of roundness for the BTA drill

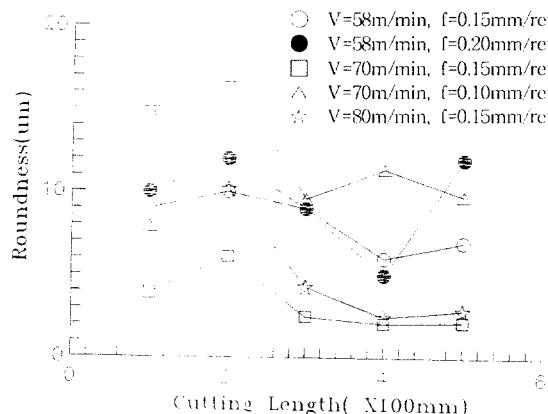


Fig. 9 Relation between roundness and cutting length for cutting speed