

초경합금 Gun Drill에 의한 박용 부품 재료의 CNC 심공가공 특성에 관한 연구

전 태 옥* · 심 성 보**

A Study on the Characteristics of CNC Deep Hole Machining
for Marine Part Materials with the Sintered Carbide Gun Drill

T. O. Jun · S. B. Sim

Key words : Lobe(다각형의 각부), Feed rate(이송 속도), Burnishing(버어니싱), Cylindricity(원통도), Deviation(편차), Straightness(진직도)

Abstract

The gundrill is capable of machining for a having large length to diameter ratio in single pass. The techniques of gundrilling and gun boring began developing in the late 18th century with the need for more accurate bores in rifle, cannon, machinery part and marine part etc. The main feature of the gun drilling provides a stabilizing cutting force resultant necessary for self guidance of the drill head. A study of the accuracy and surface finish of holes produced would reveal quite useful information regarding the process. The thesis deals with the experimental results obtained during gun drilling on marine part materials for different machining conditions.

1. 서 론

Gun drill을 이용한 심공가공은 보통의 Twist drill에 의한 심공가공과 비교하면 절삭칩의 배출 날끝의 냉각이 곤란하다는 점에서 큰 차이가 있다. 심공가공에서는 절삭을 중단하는 일 없이 최고의 절삭속도와 이송으로 구멍의 전장을 뚫는 조건을 정하는 것이 가장 중요한 바 근년에 있어서

연구, 개량의 결과 심공가공 및 이에 사용하는 공구는 현저한 고능률화를 실현시키고 있다. 또 순심공가공(일반적으로 직경의 5-10배 이상 깊이의 구멍 뚫기를 심공가공이라 한다.)과 병행하여 유공압기의 발달에 따른 심공 보조링의 기술도 크게 진보되고 있다.

본 논문은 Gun drill을 이용한 심공가공에 대한 이론적 해석을 토대로 절삭특성을 논하고 실험에

* 정회원, 동아대학교

** 정회원, 부산공업대학교

대해서 가공 특성을 연구하여 보다 더 정밀한 부품 가공에 기여 할 목적으로 기술한 것으로서 공구는 $\phi 15.3$ 시험편은 SM45C 기계구조용 탄소강을 사용하였다.

2. 이론적 배경 및 문헌 고찰

2-1. 심공가공 system

본 연구에서 사용한 Gun drill은 S사제 $\phi 15.3$ 으로써 직경 20mm까지의 비교적 작은 심공 방식에 대한 system을 이용하였다.

Fig. 1에 도시한 것과 같이 본 연구에서 Gun drilling system은 공구 회전식으로 이른바 반월 drill로 공구 내부에서 절삭유를 날끝에 인도하며 공구의 외부를 통하여 냉각시킨 다음 절삭유 및 절삭칩이 배출된다. 절삭날은 1개소에서 파이프 호울더로 지지하고 이 내부를 통하여 고압의 절삭유가 송입된다. 또 절삭칩 및 절삭유의 배출유로는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 V상으로 되어 있다. 이를 V구라고 한다.

Fig. 2와 같이 Gun drill의 날끝은 소결초경합금을 경납땜하여 만드나 조립식으로 된 것도 있다. 본 연구에서는 경납땜 한것을 사용하였으며 그 측면의 안내부도 초경합금의 경납땜에 의해 만들어지고 있다. Drill head의 상크는 합금강관제로 하는 것이 보통이고 드릴 본체와의 접속은 경납땜 또는 기계적 접속법에 의한다. 절인 및 본체를 전부 초경합금으로 하는 경우도 있으나 이 경우에는 원주상의 달아나기 부분은 형에 의해 성형하는 경우도 있다.

공구의 유효날끝은 Fig. 3에서 대체적으로 $e = D/4$ 의 값으로 하지만 그 정점의 위치 e 는 각도 θ_i 및 θ_o 에 좌우되며, 또 반경 방향의 절삭저항 F_{y1} 및 F_{y2} 에 따라 정해진다. 이것을 식으로 나타내면

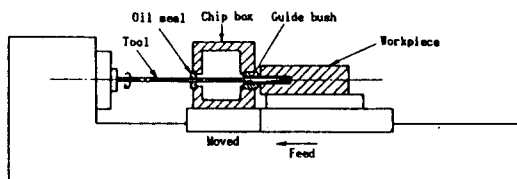


Fig. 1 Gun Drilling System

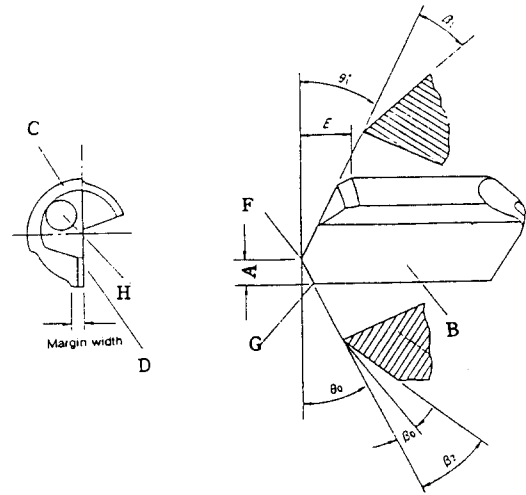


Fig. 2 Specifications and Profile of the Bevel Type Point Shape Gun Drill

- θ_o : Outer Cutting Angle
- β_o : Primary Clearance outside Angle
- β_2 : Outside Clearance Angle
- B : Rake Surface
- D : Cutting Edge
- G : Corner
- θ_i : Inner Cutting Angle
- β_1 : Primary Clearance inside Angle
- A : Apex Distance(e)
- C : Guide Pad
- F : Apex Point
- H : Coolant Hole

다음과 같다⁸⁾.

$$F_1 = K_s \cdot f \cdot (D/2 - e) \tag{1}$$

$$F_2 = K_s \cdot f \cdot e \tag{2}$$

$$F_{y1} = F_1 \sin \theta_i, \quad F_{y2} = F_1 \sin \theta_o \tag{3}$$

$$e = \frac{D \sin \theta_i}{2(\sin \theta_i + \sin \theta_o)} \tag{4}$$

if $\theta_i = \theta_o$ $e = D/4$

$\theta_i < \theta_o$ $e < D/4$

$\theta_i > \theta_o$ $e > D/4$

K_s : Specific Cutting Force(kg/mm²)

f : Feed Rate(mm/rev)

2-2. 심공가공시의 절삭저항과 소요 동력

Fig. 3에서는 Gun drill의 날끝에 있어서의 절삭저항 분력을 도시 하였다. F_z 가 절삭칩 발생에 필요

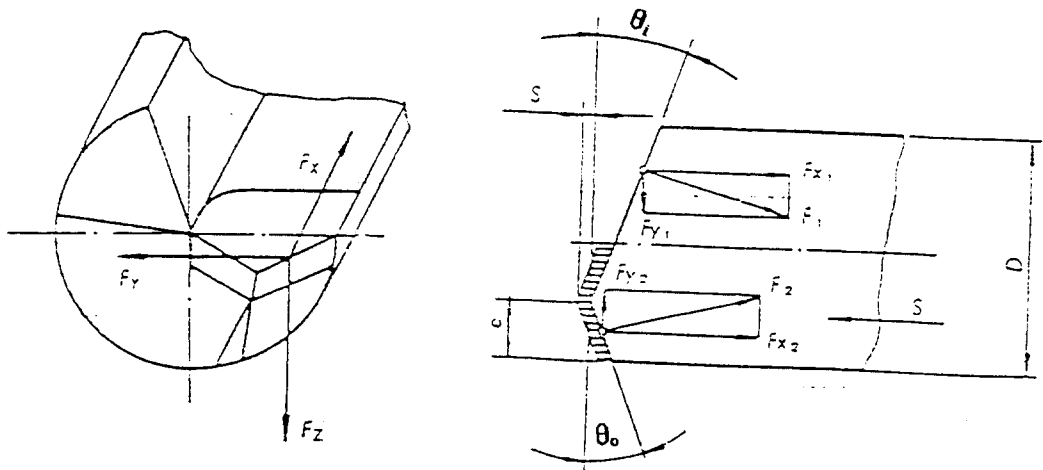


Fig. 3 Cutting Force of Gun Drilling

한 동력 P_s 에 해당하고 F_x 는 이송저항에 상당한다. F_y 는 Drill head 주벽의 안내부에 걸리는 힘으로써 구멍 내벽과의 사이의 마찰력이다.

이들 힘의 계산에는 통상 다음의 식이 사용되고 있다.

$$F_z = K_s \cdot t \cdot f$$

t : Width of Cutting Chip

이 때 소요 절삭동력 P_M 은

$$P_M = \frac{F_z v}{6120 \xi} = \frac{P_s}{\xi} \quad (KW) \quad (5)$$

ξ : Efficiency of Drilling

또한 절삭 토크(Torque) M_c 와 스러스트(Thrust) T_c 는

$$\begin{aligned} M_c &= \int (K_s f R) dR \\ &= K_s D^2 f / 8 \quad (kgf - mm) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} T_c &= \int (f_n f_{ot} K_s) dR \\ &= f_n f_{ot} K_s D f \quad (kgf) \end{aligned} \quad (7)$$

R : Drill Radius(mm)

$$f_n = \tan(\beta - \gamma)$$

β : Friction Angle,

γ : Rake Angle

f_{ot} : Point Angle에 의한 계수(스러스트 성분)

내외 절인각을 θ_i, θ_o , 정점 위치를 e 라고 하면,

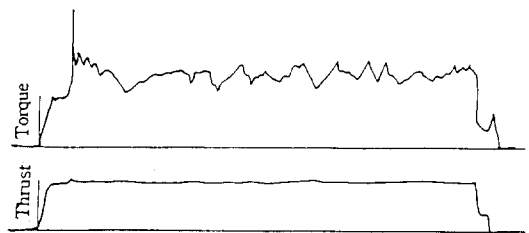


Fig. 4 Torque and Thrust Trend of Gun Drilling

$$f_{ot} = (e \cos \theta_o + (D/2 - e) \cos \theta_i) D / 2 \quad (8)$$

Fig. 4와 Fig. 5는 토크와 스러스트 및 각 분력의 경향에 대한 실험결과를 인용한 것인데 본 실험에서는 이를 참고하고 현장 사정으로 이들 실험은 생략하였다.

여기서 특이한 것은 Fig. 5 (C)에서 $R=5mm = D/4$ 에서 반경분력이 엇갈려 있는 것이다.

2-3. 공구의 휨(deflection)

길이 L_T 인 공구의 자유단에 하중 P 가 작용하면 휨량 δ 가 발생한다. 마찬가지로 길이 $L_{T0}(mm)$ 인 공구에 P_0 가 작용하여 휨량 δ_0 가 발생한다고 하면 δ_0 과 δ 사이에는 다음식이 성립한다¹⁾.

$$\frac{\delta}{\delta_0} = \left(\frac{PL_T^3}{3EI} \right) / \left(\frac{P_0 L_{T0}^3}{3EI} \right) = \frac{P}{P_0} \left(\frac{L_T}{L_{T0}} \right)^3 \quad (9)$$

이때 E 는 종탄성계수이고 I 는 단면2차 모우멘

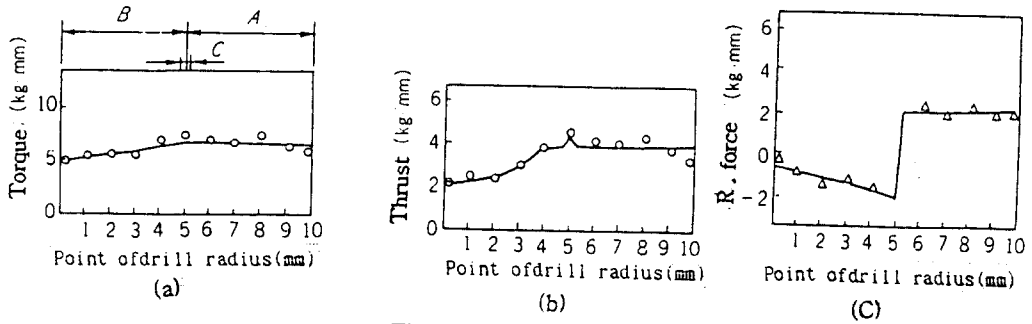


Fig. 5 Dynamic Status
 (f20, SM45C, f=0.025mm/rev, v=94.2m/min, $\theta_0=\theta_i=30^\circ$, e=D/4)

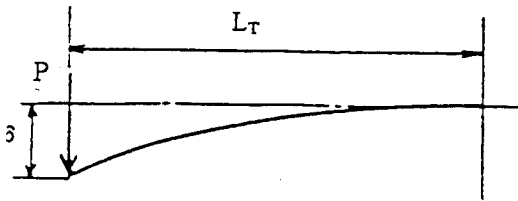


Fig. 6 Deflection of Tool

트이다. 공구길이 가 달라도 공구선단의 휨은 마찬가지로 $\delta = \delta_0$ 가 된다고 가정하면

$$\frac{P}{P_0} = \left(\frac{L_{T0}}{L_T}\right)^3 \quad (10)$$

따라서 휨량은 하중과 공구의 길이에 크게 영향을 받음을 알 수 있다.

2-4. 공구마멸과 심공의 굽힘과의 관계

심공깊이 L_D 와 구멍의 굽힘과의 관계와 공구 마멸을 관찰하기 위하여 장탈하여 재차 공구를 심공가공기에 장착시켜 구멍을 가공하면 불연속적인 부위가 있다. 또한 편육재를 가공할 경우 박육방향으로 구멍이 굽혀지는 이외 현저한 경향은 인지되지 않는다⁴⁾.

그러나 공구의 마멸이 현저하게 되면, 공구의 형상이 변화하여 심공의 메카니즘에 영향을 미치게 되고, 절삭저항을 증가시키게 되는 등, 양자간에 관련성이 일어나는 것으로 추정된다.

2-5. 로브(Lobe)의 생성기구

트위스트 드릴이나 리이머 같은 다인 공구(등분할 배치)로 구멍을 가공하면 종종 $S = nZ + 1$ (n :

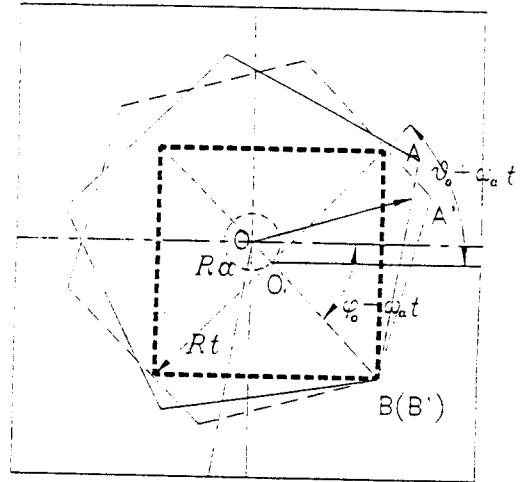


Fig. 7 Generation of Workpiece Lobe for the Rotation of Tool

- R_t : Tool Radius
- R : Workpiece Lobe Radius
- R_a : Radius of Rotating Tool Axis
- O_t : Center of Tool Head
- O : Center of Work Piece Lobe

정수 Z : 절인수)의 다각형상의 구멍이 생긴다. 이때 각 하나 하나를 Lobe라고 한다.

$n=1$ 이라면 Gun drill에서는 $Z=1$ 이므로 Lobe의 수가 2 또는 0이 되어야 한다. Guide pad가 90° 간격으로 배치되어 3-4개의 절인이 있다고 간주할 수 있으므로 2~5개의 Lobe를 발생시킬 수 있다는 것이 이론에 의해서 계산할 수 있다⁴⁾. 반경 R_t 의 공구가 ω_t 의 각속도로 회전하면서 구멍이 가공되는 것이다.(Fig. 7) 이때 반경 방향의 진동에 따라 절인 외주는 원운동으로 부터 어긋나는 가공

원주면에 요철을 발생 시킨다. 이때 공구 축심이 직경 D_a , 반경 R_a , 각속도 ω_a 로 회전운동을 하면 임의의 절인 A 부분 외주의 궤적의 x,y 좌표는 다음과 같이 되고

$$X_a = \frac{D_a}{2} \cos(\phi_0 + \omega_a t) + \frac{D_t}{2} \cos(\theta_0 + \omega_t t) \quad (11)$$

$$Y_a = \frac{D_a}{2} \sin(\phi_0 + \omega_a t) + \frac{D_t}{2} \sin(\theta_0 + \omega_t t) \quad (12)$$

절인수를 Z라면 절인 간격 각도는 $2\pi/Z$ 가 된다. 후속의 절인은 $2\pi/Z, 2(2\pi/Z), 3(2\pi/Z), \dots (Z-1)(2\pi/Z)$ 씩 지연되어 공작물에 접촉된다.

순차적인 다음 절인 B부(어떤 경우는 가이드부)의 궤적은 다음과 같다.

$$X_b = \frac{D_a}{2} \cos(\phi_0 + \omega_a t) + \frac{D_t}{2} \cos(\theta_0 - \frac{2\pi}{Z} + \omega_t t) \quad (13)$$

$$Y_b = \frac{D_a}{2} \sin(\phi_0 + \omega_a t) + \frac{D_t}{2} \sin(\theta_0 - \frac{2\pi}{Z} + \omega_t t) \quad (14)$$

또, 절인 B부가 절인 A부와 같은 위치를 통과하는 조건은 다음과 같다.

$$X_b(t = t_0 + 2\pi / (Z\omega_t)) = X_a(t = t_0) \quad (15)$$

$$Y_b(t = t_0 + 2\pi / (Z\omega_t)) = Y_a(t = t_0) \quad (16)$$

윗 식에서 $\omega_a/\omega_t = nZ$ (n : 정수) ω_a, ω_t 가 같은 방향으로 회전하는 경우는 (+), 반대 방향인 경우는 (-)가 얻어지고 공구 축의 중심이 공구 자전의 nZ 배로 공전 할 때 각각의 절인이 같은 궤적을 나타내며 절인 끝의 궤적 \vec{R} 의 크기는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} |\vec{R}| &= \sqrt{X^2 + Y^2} \\ &= \sqrt{R_a^2 + R_t^2 + 2R_a R_t \cos\{(nz - 1)\omega_t t + (\phi_0 - \theta_0)\}} \end{aligned} \quad (17)$$

즉 $|nZ - 1|$ 의 Lobe를 갖는 형상이 된다.

$\omega_a = nZ\omega_t$ 의 원인은 공구 축 중심의 편심 또는 구멍 하단의 편심등이고, 절인의 배치각에 대응하는 회전수 nZ 회마다 공구 1회전 중에 절삭하중의 불균형을 일으켜 공구 축심이 진동한다고 사료된다.

2-6. Guide pad에 의한 Burnishing 효과

Griffiths와 Grieve에 의하면⁷⁾ Fig. 8에서 f를 이송속도로하여 절삭면으로부터 Guide pad에 의해서 일어나는 burnishing surface에 이르기까지 소성 변형을 고찰할 수 있다.

체적 불변의 법칙에 의해서 Gun drill head의 진행에 따라 소성변형을 받는 면적은 Area(DEFG)가 된다. plastic flow는 전방향과 후방향으로 일어 나는데 전방향으로 유동하는 면적은 Area(EHIJ)가 되고 후방향으로 유동되는 면적은 Area(KLGM)이 된다. 따라서

$$Area(DEFG) = Area(EHIJ) + Area(KLGM) \approx f\delta \quad (18)$$

가 성립된다.

Weber에 의하면 이때의 소성변형에 소요되는 힘은 drilling torque(T_D)의 35%가 되며 pad surface에서의 마찰에 의해 에너지가 소모되므로 Weber는 T_D 의 15%, Griffiths는 24%로 잡고 있으

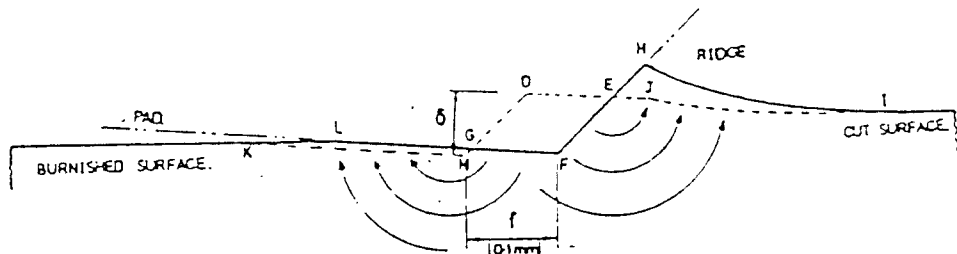


Fig. 8 Schematic Representation of Deformation Cycle by Guide Pad

나 본 논문에서는 그 중간치인 20%로하여 **burnishing torque**(T_B)로 잡으면 $T_B=0.2T_D$ 가 된다. 여기서 **specific burnishing pressure**(K_B)를 유도하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} K_B \cdot A_B \cdot (D/2) &= T_B \\ K_B \cdot f \cdot \delta \cdot D/2 &= T_B \\ K_B &= 2T_B/Df\delta \end{aligned} \quad (19)$$

단, A_B : Area of Burnishing

2-7. 칩의 생성 및 분단

일반적으로 Gun drill의 경우 절인에 칩 브레이커를 설치하지는 않으나, 아펙스 포인트를 경계로 하여 내외절인에 의한 칩이 원추(conical)형상으로 감겨 V구내로 유출하는 것은 고유속의 절삭유가 유체적으로 칩을 인장하기 때문이다.

그 인장력은 생성되는 칩의 길이에 비례하는 것으로 임의의 길이가 되면 분단된다. 또 인장력은 생성된 칩의 형상과 유속에 따라 변화하지마는, 유속에 관한 실험에 의해서 $V^{1.5}$ 에 의하고, 일반적으로 V구내 유속 600m/min정도로 한다. Gun drill에서는 내외절인의 칩의 유출방향이 다르기 때문에 간섭을 일으키고, 경사면으로부터 부상하며, 내절인에 의한 칩은 원판상으로 유출하므로, 코일 모양으로 유출되는 외절인으로부터의 칩보다 인장되어 균열을 받고, 부채꼴로 외절인에 연결된다. 이러한 형상은 응력집중을 일으켜 인장력에 의해 분단되기 쉽다. 외절인각 θ_0 , 내절인각 θ_1 의 크기 ($\theta_0 + \theta_1$)등 간섭이 강한 칩은 짧은 경향이 있다. 또

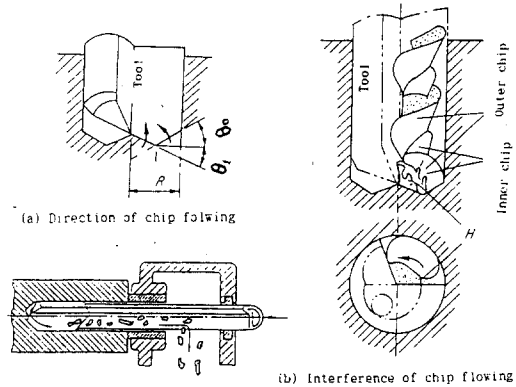


Fig. 8-2 Chip Making System of Gun Drilling

아펙스 포인트 위치 e 를 작게 (보통 $D/4$)하여 외절인 폭은 좁혀서 분단을 쉽게 한다. Gun drill에서는 이송을 0.02~0.06mm/rev으로 함이 S사의 권장이고, 이송은 작게 함이 칩의 두께를 얇게 하여 유압에 의한 끊어짐도 기대할 수 있으나 칩을 두껍게 하는 방법이 외절인으로부터 생기는 칩이 V구에 의한 굽힘을 일으킬때 브레이커(breaker)의 효과가 크게 된다. 때문에 중간의 범위가 비교적 칩의 길이를 길게 하는 경향이 있다.

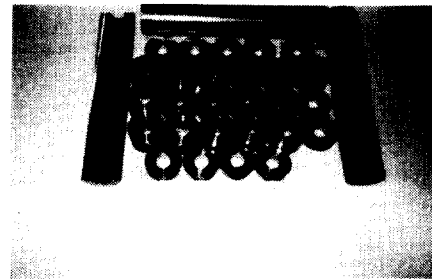
3. 실험장치 및 실험방법

3-1. 시험편 및 공구

본 실험에 사용된 시험편은 SM45C 탄소강이다. 실험에 사용된 가공시험편의 치수는 $\phi 40 \times 40$ 로 하였으며 실험에 사용한 공구는 초경합금계열의



Experimental Apparatus
(shinil, STGB - 1500 CNC)



Workpiece
(SM45C, 40xL)

Fig. 9 Experimental Apparatus and Workpiece

P20 Gun drill $\phi 15.3$ 을 사용하였다.

3-2. 실험장치

본 실험에 사용된 실험장치는 Single spindle type CNC deep hole drilling machine(Model : CNC, shinil machine co.Ltd)으로써 Fig. 9는 실험장치와 공작물을 보인 것이다.

또한 시험편의 내경측정은 1/1000mm의 Cylinder gauge를 사용하였으며, 표면조도는 Surface roughness tester로, 진원도는 Roundness testers로, 진직도, 원통도 등은 3차원 측정기로 측정하였다.

3-3. 실험방법

본 실험에서는 Fig. 9의 CNC deep hole drilling M/C의 스피indle에 Gun drill을 장착시켜 공구 회전, 공구이송 방식을 채택하였으며 Bush는 고정식으로 하였다. 이때 절삭유의 공급압력은 35kg/cm^2 으로 하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4-1. 가공면의 표면조도

구멍 가공면의 표면조도는 Fig. 10과 같다. 공구이송(feedrate)에 대한 Ra 값을 표시한 것이데 $1.8\mu\text{m}$ 이하의 양호한 표면조도를 보이고 있다. 이것은 가공능률상에도 적절한 값이며 Guide pad에 의한 Burnishing 효과를 충분히 발휘해 준 결과라고 사료된다. 또한 리이머 등의 후가공이 필요치 않음을 나타내 주고 있다. 절삭속도면에서는 60(m/min), 70(m/min), 80(m/min)의 조건에서

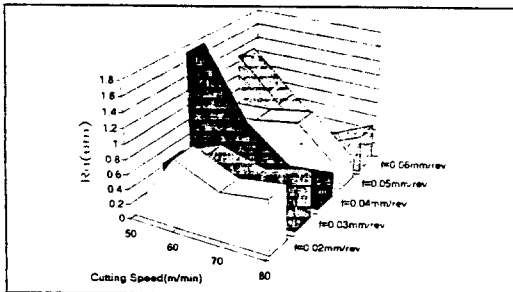


Fig. 10 Surface Roughness of Gun Drilled Hole

$1\mu\text{m}$ 이하의 Ra값을 나타내고 있으므로 양호한 정밀도라고 판단된다. 앞서 이론에서 고찰한 버니싱시의 소성변형에 관한 에너지는 극히 미미한 값이라는 것이 입증된 것으로 생각된다.

4-2. 원통도

Fig. 11에서 나타난 원통도의 결과는 절삭속도 $V=80(\text{m/min})$ 에서 가장 양호한 결과를 나타내었으나 $f=0.06\text{m/rev}$ 는 과도한 이송 조건이므로 현장에서는 적용하지 않아야 될 사항이라고 사료된다.

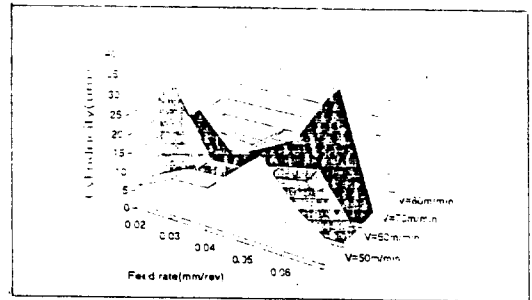


Fig. 11 Cylindricity of Gun Drilled Hole

4-3. 진직도

진직도는 원통도와도 관련성이 있는데 $V=50\text{m/min}$, $f=0.04\text{mm/rev}$ 의 절삭조건에서 가장 오차가 큰 값이 나왔다.

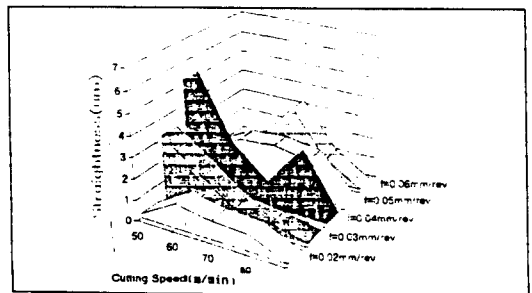


Fig. 12 Straightness of Gun Drilled Hole

4-4. 진원도

Fig. 13은 진원도에 대한 실험결과이다. 여기서 가장 양호한 절삭조건은 $V=80\text{m/min}$, $f=$

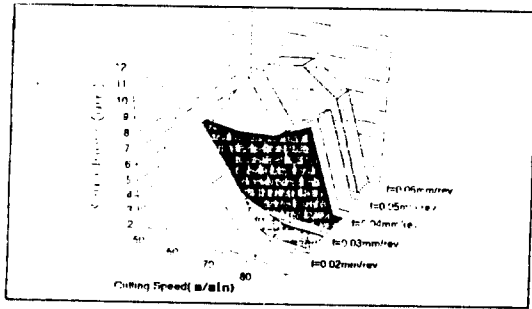


Fig. 13 Roundness of Gun Drilled Hole

0.03mm/rev일 경우가 되는데, 이것은 공구의 회전수가 빠를수록 진원도가 정밀해 진다는 절삭원리를 뒷받침해주고 있다. 그러나 전체적으로 보아서 $V=0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06$ mm/rev의 어느 조건이라든 $10\mu\text{m}$ 을 넘지 않으므로 후가공없이 사용할 수 있어 본 실험에서의 결과는 바람직하게 나타났다고 사료된다.

4-5. 데비에이션

데비에이션의 결과는 Fig. 14와 같다. 이 때 가장 정밀도가 높은 절삭조건은 $V=60\text{m/min}, f=0.04\text{mm/rev}$ 인데 이것은 앞서의 진원도에서의 가장 양호한 조건과는 다소의 오차는 있으나 $V=80\text{m/min}, f=0.03\text{mm/rev}$ 에서 데비에이션이 $1.6\mu\text{m}$ 임을 보아 $V=80\text{m/min}$ 을 택함이 무방하지 마는 $f=0.06$ 에서는 $29.1\mu\text{m}$ 이라는 낮은 정밀도를 갖게 되므로 $f=0.06\text{mm/rev}$ 미만의 피이드(feed)에서 가공함이 바람직 하다고 생각된다.

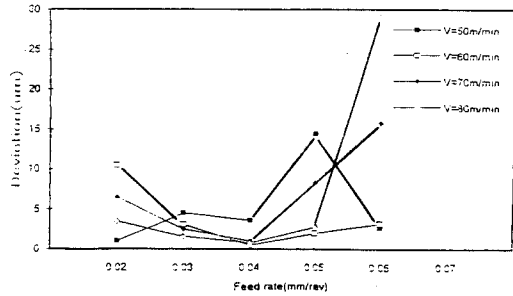
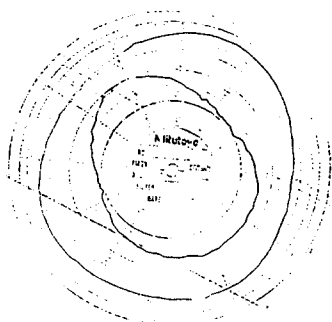


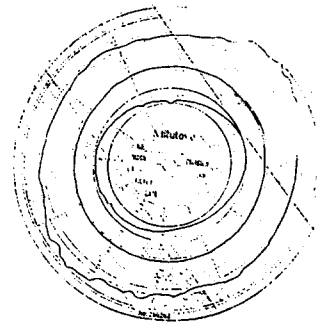
Fig. 14 Deviation of Gun Drilled Hole

4-6. 로우브

로우브는 앞서 이론에 입각해서 2~5 또는 6개의 형상이 발견되었다. 4개 이상의 로우브일 경우는 거의 식별할 수 없을 정도의 양호한 형상을 갖게 됨을 알 수 있다. Fig. 15에서 (a)일 경우 2개 또는 3개의 로우브가 발생하였고, (b)일 경우 Inner circle ($V=60\text{m/min}, f=0.04\text{mm/rev}$)에서 2개가 발생하였다. (b)에서 Middle circle과 Outer circle에서는 아주 양호한 형상으로 나타나는데 이는 피이드가 작은 결과로 사료된다. 즉 절삭저항이 낮을수록 lobe가 많이 발생하고 기계의 조립기능이나 구멍 내부를 관통하는 유체의 흐름에 좋은 영향을 미칠 수 있음을 말해주고 있다고 생각된다. 그러나 구멍 내부에서 축이 회전할 경우는 2~3개의 로우브를 두어 축이 접촉하지 않은 부분에는 윤활유가 두꺼운 유막을 형성할 수 있고 이것이 축의 회전과 동시에 양호한 윤활작용을 일으킬 수 있으므로 구멍의 용도에 따라서 로우브를 선택함이 바람직 하



(a) Inner circle $V=70\text{m/min}, f=0.06\text{mm/rev}$
Outer circle $V=70\text{m/min}, f=0.05\text{mm/rev}$



(b) Inner Circle $V=60\text{m/min}, f=0.04\text{mm/rev}$
Middle Circle $V=60\text{m/min}, f=0.03\text{mm/rev}$
Outer Circle $V=60\text{m/min}, f=0.02\text{mm/rev}$

Fig. 15 Profile of Lobe for Gun Drilled Hole

다고 생각된다.

CYLINDRICITY	30.3 μ m
COAXIS	3.3 μ m
AVE. ROUNDNESS	9.8 μ m
DEVIATION R	15.8 μ m
DEVIATION D	31.7 μ m
DECISION	

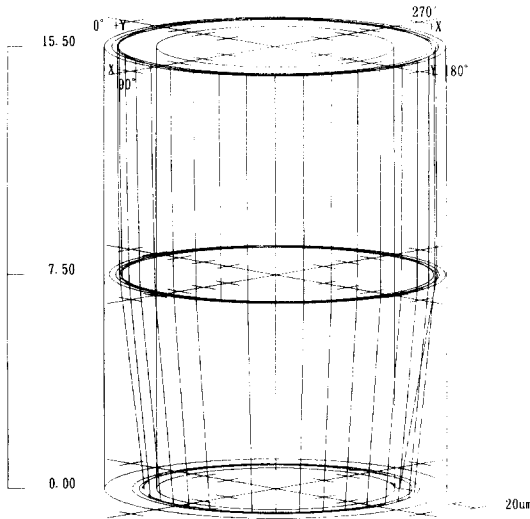


Fig. 16 Several Accuracies of Gun Drilled Hole by 3D Measuring m/c.
 ($\phi 15.3, V = 70\text{m/min}, f = 0.06\text{mm/rev}$)

4-7. 칩의 생성과 가이드 패드의 영향

Fig. 17은 실제 공작물의 끝을 단면 가공하여 광학현미경으로 칩의 생성을 관찰한 것이다. Fig. 18은 생성 배출된 칩의 형상을 여러 각도에서 관찰한 것이다. 앞서 이론에서 언급한 바와 같이 원추형의 칩이 생성됨이 확실하고 아펙스 포인트(apex point)를 기준으로 θ_0 과 θ_i 의 절인을 따라 2단으로 칩이 형성되면서 전체적으로 코일화되어 절삭유의 높은 유속으로 밀려나오면서 떨어져 나오게 된다.

공구 이송은 역시 가장 낮은 즉 칩의 두께가 얇은 것을 택해서 관찰하였으나 본 실험의 절삭조건 20종류를 모두 관찰한 결과 대동소이한 칩 유형임을 알 수 있었다. 이것은 20종류의 절삭조건이 칩 배출상에는 문제가 없었다는 것을 증명하고 있음을 말해주고 있다고 생각된다. Fig. 17의 우측 상단은 가이드 패드에 의한 버니싱면을 보여 주고 있다. 절인에 의한 절삭부분은 그 아래인데 버니싱 부분은 휘도가 높은 백휘 상태의 대단히 양호한 가공면을 보여 주고 있다. 이것은 표면조도에 큰 효과를 가져 왔는데 후가공이 필요치 않다는 결과가 된다.

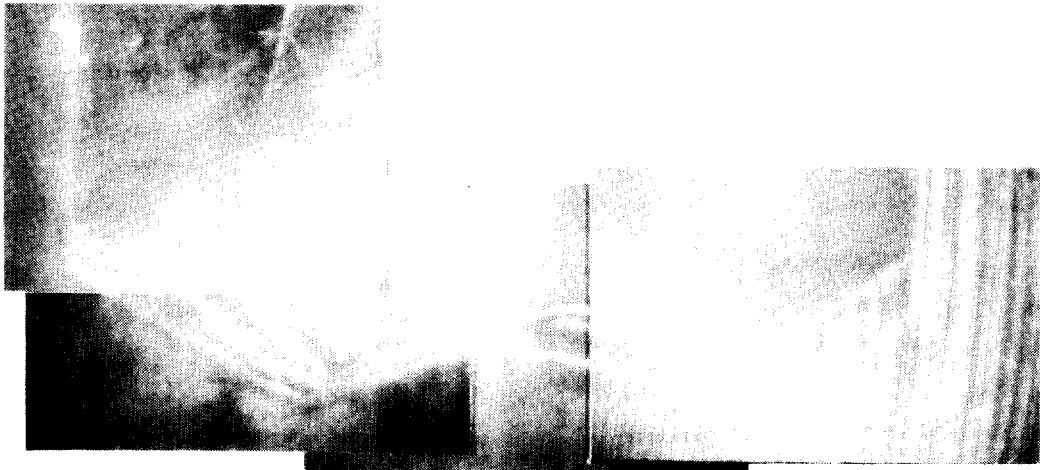


Fig. 17 Chip Making Status of the End in Gun Drilling
 ($\phi 15.3, V = 50\text{m/min}, f = 0.04\text{mm/rev}, \times 7$)

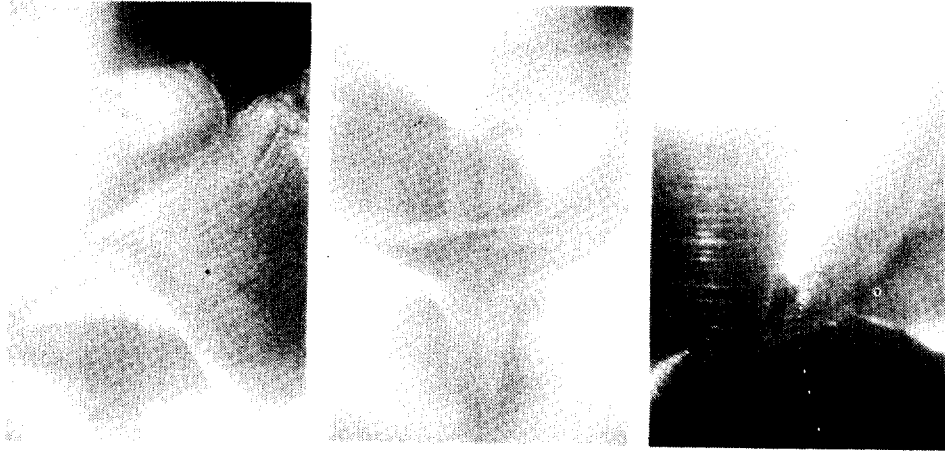


Fig. 18 Profile of Gun Drilled Chip
($\phi 15.3$, $V=50\text{m/min}$, $f=0.04\text{mm/rev}$, $\times 7$)

5. 결 론

박용부품 재료로 널리 쓰이는 SM45C 기계구조용 탄소강을 $\phi 15.3$ 의 초경합금 Gun drill로 심공가공한 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 심공 내부의 표면은 Guide pad에 의한 극미한 소성변형으로 Burnishing 효과를 동반하여 경면 상태를 얻었으며 후가공이 필요하지 않는 $Ra : 1\mu\text{m}$ 이하($V=60\sim 80\text{m/min}$ 의 절삭조건하에서)의 양호한 정밀도가 증명되었다.

(2) 구멍의 원통도는 절삭속도 $V=80\text{ m/min}$ 에서 양호한 결과를 나타내었으나 이송 속도 $f=0.06\text{mm/rev}$ 에서는 과도한 이송으로 인하여 $35\mu\text{m}$ 이상의 정밀도를 보이므로 현장에서는 유의해야 할 조건이라고 사료된다.

(3) 진직도, 진원도, deviation 역시 절삭속도 $V=50\sim 80\text{ m/min}$, 이송속도 $f=0.02\sim 0.06\text{ mm/rev}$ 의 절삭조건하에서 대체적으로 양호한 결과를 얻었다.

(4) 공구수명과 원통도를 고려하여 공구회전수를 높이는 것이 좋으나 Burnishing 효과를 극대화하고 경면상태의 초정밀 가공을 배려한다면 이송속도를 낮게하여 후가공을 전혀 하지 않아도 되도록 함이 바람직하다고 사료된다.

(5) 구멍의 다각형 형상은 Lobe 산출이론에 접근하였고 대체적으로 3개 이상의 lobe가 많이 발생하였으나 구멍의 용도에 따라서 Lobe의 수를 결정하고 여기에 따른 절삭조건을 주어서 가공함이 바람직하다고 사료된다.

(6) 절삭칩은 원추 코일형으로 배출되었는데 Apex point를 기점으로 하여 외절인각과 내절인각의 상호 대칭형으로 인한 반경방향의 절삭저항의 변화에 의해서 단속적인 2단 형상이 생성됨이 증명되었다.

참고문헌

- 1) 甲木昭雄, 外 4人, 深穴加工における穴の曲がりに関する研究, 日本機械學會論文集(C編), 58 - 546, pp. 297~304, 1992
- 2) 田口紘一, 加工 形状 誤差, 應用機械工學 1月, pp. 125~130, 1990
- 3) 田口紘一, 深穴あけ 工具の切削機構, 應用機械工學 10月, pp. 142~149, 1989
- 4) 佐久間敏三, 田口紘一, 甲木昭雄, ソリッドボーリング 工具(BTA 方式)による深孔加工の研究, 精密機械, 44 - 9, pp. 69~74, 1978
- 5) W. D. Tsai, S. M. Wu, Computer Analysis of Drill Point Geometry, Int. J. Mech. Des. Res. Vol. 19,

- pp. 95~108, 1979
- 6) H. J. Swinchart, Gundrilling, Trepanning & Deep hole machining, A. S. T. M. E., 1967
- 7) B. J. Griffiths and R. J. Grieve, The role of the burnishing pads in the mechanics of the deep drilling process, Int. J. Prod. Res. 23-4, pp. 647~655, 1985
- 8) Italy machine Co., Data of technology