

〈論 文〉

다면 드릴의 성능 해석과 최적화

이 상 조* · 윤 영 식**

(1990년 8월 10일 접수)

Analysis of Multi-Facet Drill (MFD) Performance and Optimization of MFD Geometry

Sang-Jo Lee and Young-Sik Yoon

Key Words : Multi-Facet Drill (MFD ; 다면드릴), Helix Angle(나선각), Drilling Thrust(드릴링 추력), Drilling Torque(드릴링 토크)

Abstract

The objective of this study is to develop an optimized multi-facet drill (MFD). The principal factors that affect drilling performance are its geometry and the cutting conditions. In particular, the helix angle in the total twist angle of the twist drill, affects much more influence on the dynamic and static stiffness and on determining the characteristics of the chip disposal capacity of the drill. In this study, considering the helix angle as a major parameter, the model was developed. From this model, the deformation of transverse direction was simulated with the bending forces applied. The performance of a drill largely depends upon drilling forces. Comprehensive models for predicting the drilling thrust and torque are developed for the different drill geometries. The effects of MFD geometric parameters on thrust and torque are also deduced from the prediction models, from which an optimal drill geometry is found with the emphasis on minimum drilling forces.

기 호 설 명			
a_0	: 관성 모멘트 비 (I_{yy}/I_{xx})	K_L, K_C	: 전단응력 상수
b	: 다면드릴의 취출에지의 길이	L	: 드릴 길이
E	: 탄성계수	L_a	: 랜드 폭
f	: 이송속도	m	: 단위길이 당 질량
F_c	: 절삭 방향의 힘	M	: 굽힘 모멘트
F_t	: 절삭 방향에 법선 방향의 힘	P	: 축방향 하중
h	: 다면드릴의 B_2 와 E_2 사이의 높이	R	: 드릴 반경
i	: 기울임 각	R_c	: 내접원의 반경
I_n, I_{xx}, I_{yy}	: 중립축, x 축, y 축에 대한 2차 관성 모멘트	u_x, u_y	: 굽힘력에 의한 x, y 방향의 처짐
		x, y	: 2차원 절삭면의 좌표계
		x_0, y_0	: 2차원 절삭면의 x, y 축으로 투사된 좌표계
		W	: 굽힘 하중

* 정회원, 연세대학교 공과대학 기계공학과

** 정회원, 연세대학교 대학원

α	: 임의의 드릴축에서의 비틀림각
αD	: 기준 경사각
β	: 총 비틀림각
r_0	: 나선각
$\lambda, \lambda_N, \lambda_C$: 마찰각
ν_{DC}	: 동적 여유각
ζ	: 이송각
η	: 무차원화된 칩 유동각
δ	: 플루트의 회전각
κ	: 선단각의 1/2
σ_b	: 굽힘 응력
ρ'	: 날끝각
$1/\rho_n$: 중립축에서의 굽힘곡선의 곡률반경
ϕ'	: 칩출에지 각
ϕ, ϕ_N, ϕ_C	: 전단각

1. 서 론

자동차나 항공기 등 우주 산업의 급속한 발전과 더불어 보다 정확한 위치에 고도의 정밀도(진원도 및 진직도)를 가진 구멍을 신속하고 경제적으로 가공하고자 하는 필요성은 점차 증대되고 있으며, 또한 전자 및 소재 산업의 발달로 인한 복합재나 실리콘등이 함유된 합금 등 난삭재에 대한 구멍 가공이 요구됨에 따라 새로운 드릴 개발이 절실히 요청되고 있다.

드릴 가공은 다른 절삭(선삭, 밀링 등) 가공과는 달리 피가공물을 가공하는데 가장 효과적인 방법으로 널리 사용되고 있으나, 드릴 공구 자체내에서 절삭조건이 인선에 따라 변화될 뿐 아니라, 절삭유 공급의 문제, 칩출 에지의 떨림 현상등 복잡한 절삭과정을 내포하고 있으며, 드릴이 휘거나 진동을 하면 구멍의 가공 정밀도가 떨어지게 된다. 이러한 문제는 가공하려는 구멍의 깊이가 깊어지고 직경이 작아질수록 더욱 심각하여진다^(1,2).

드릴의 복잡한 기하학적 형상은 드릴 몸체의 전체 비틀림각을 결정하는 주요 요소로써 드릴의 정적 및 동적 강성에 많은 영향을 미치게 되고 칩의 유출을 위한 공간을 결정지움으로써 절삭 조건에 영향을 미치게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 다각도로 많은 연구가 진행되어 오고 있다. 최근에 가공 구멍의 진원도, 진직도, 중심위치 및 수명에 많은 영향을

주는 드릴 포인트의 표류현상(wandering phenomenon)과 드릴의 횡방향 진동 및 불안정성(instability)에 대한 연구가 진행중이다⁽³⁻⁵⁾.

또한, 드릴링의 절삭 모델링은 주절삭 인선부는 2차원 절삭으로 가정하고, 칩출에지(chisel edge) 부분은 압입과정으로 모델링하기 시작하여, 최근에는 주절삭 인선부는 이송속도를 고려한 3차원 절삭으로 가정하고, 칩출 에지 부분은 동적 여유각(dynamic relief angle)의 크기에 따라 다시 음의 경사각을 갖는 2차원 절삭과 압입과정으로 세분화하는 좀더 세련된 절삭모델이 보고되고 있다^(6,7).

드릴의 동적 특성에 대한 연구는 최근 들어 활발히 일어 나고 있는데, Subrahmanyam과 Rao는 테이퍼진 트윙스트 외팔보에 대하여 Ressler method를 이용하여 해석하고, 여러 방법등과 비교하였으며⁽⁸⁾, Kur와 Hauger는 테이퍼진 트윙스트 외팔보의 안정성에 관한 연구를 하였다⁽⁹⁾. 그리고, Lee는 드릴의 동적특성을 Runge-Kutta 방법을 이용하여 해석하고, 비접촉 작동기를 개발하여 드릴의 진동을 제어하였다⁽¹⁰⁾. 그러나, 다면드릴에 대한 드릴 포인트의 표류 현상이라든가 절삭 모델은 아직 발표되지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 다면드릴을 연구 대상으로 하여 다면 드릴의 기하학적 형상인자들을 이용하여 드릴 작업시 추력과 토크를 예측하는 데 적합한 절삭력 예측 모델을 유도하였으며, 추력과 토크를 최소화하는 방향으로 다면드릴의 각 형상인자를 최적화하였다.

2. 이론 해석

2.1 다면드릴의 절삭력 예측 모델

전형적인 다면드릴(MFD: Multi-Facet Drill) 선단의 기하학적 형상은 Fig. 1에 표시한 바와 같이, 크게 3개의 날부분-바깥날 A_2B_2 (면 1) 곡선날 B_2C_2 (면 2B), 안쪽직선날 C_2D_2 (면 2A)-과 칩출에지로 이루어져 있다. 직선 인선부 A_2B_2 를 형성하는 면 1은 일반드릴과 같은 원추곡면(conical surface)이며, 면 2는 평면(면 2A)과 cylindroid(면 2B)의 두개의 부분으로 나누어져 있다.

다면드릴의 곡선인선과 안쪽 인선은 표준드릴의 중심부보다 더 날카로우며 칩출에지의 길이는 표준드릴보다 일반적으로 짧고, 경사각은 더 작다. 따라서, 본 절에서는 위에서 언급한 바와 같이 다면

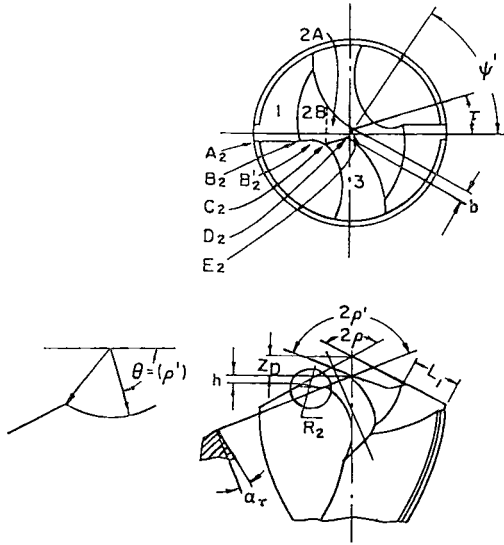


Fig. 1 Configuration of multi-facet drill

드릴의 인선을 4개부분으로 분리하여 각각 해석한 후, 이를 종합하여 다면드릴 전체에 작용하는 절삭력을 예측한다.

(1) 직선 인선부(면 1)

제 1 면을 구성하는 직선인선부 A_2B_2 에 작용하는 절삭력은 표준 드릴의 cutting lip에 작용하는 절삭력을 구하는 방법으로 구할 수 있다. 직선인선부 A_2B_2 의 상면 경사각 α_s (공작물의 운동 방향의 수직 방향과 공구의 경사면이 이루는 각)는 드릴의 외주부에서 가장 크며 드릴의 중심부로 갈수록 작아진다.

따라서, 직선 A_2B_2 를 미소 부분으로 나누어 각 부분을 단인선공구(single point tool)로 간주하여 절삭력 모델을 세운 후, 이를 구간 A_2B_2 에 걸쳐 적분함으로써 직선인선부 A_2B_2 에 작용하는 절삭력을 구한다.

미소 직선부 Δl 에 작용하는 힘의 분력 ΔF_c , ΔF_t 및 ΔP 는 각각 다음과 같다⁽¹¹⁾.

$$\begin{aligned} \Delta F_c &= \frac{t_1 K_L \cos(\lambda_N - \alpha_D + \beta)}{\sin \phi_N \cos(\phi_N + \lambda_N - \alpha_D)} \Delta l \\ \Delta F_t &= \frac{t_1 K_L \sin(\lambda_N - \alpha_D + \beta)}{\sin \phi_N \cos(\phi_N + \lambda_N - \alpha_D)} \Delta l \\ \Delta P &= \sqrt{\Delta F_c^2 + \Delta F_t^2} \sin \lambda \tan \eta \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, t_1 은 칩의 두께, K_L 은 미소인선부에 작용하는 전단응력, η 는 칩유동각이다.

또한, 3차원 절삭의 전단각 ϕ_N , 마찰각 λ_N 와

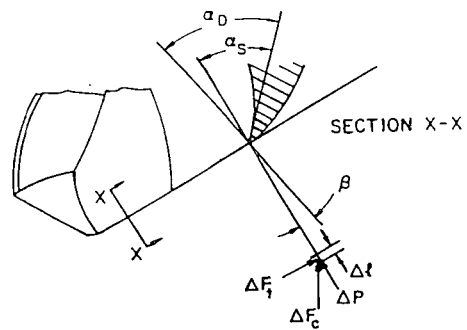


Fig. 2 Dynamic geometry of cutting edge

inclination 각 "i"를 이용하여 아래식으로 표현된다^(12,13).

$$\begin{aligned} \cot \phi_N &= \cot \phi \cos i - \tan \alpha_D (1 - \cos i) \\ \tan(\lambda_N - \alpha_D) &= \frac{\cos \phi_N - \cos \phi + \tan(\lambda - \alpha_D) \sin \phi}{\sin \phi_N} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \text{전단각} : \phi &= \frac{\pi}{4} + \frac{\alpha_D - \lambda}{2} \\ \text{마찰각} : \lambda &= \frac{\pi}{6} + \frac{\alpha_D}{2} \end{aligned} \quad (3)$$

칩두께 : $t_1 = f \sin \rho \cos \beta / 2$

동적상면경사각 α_D 는 Fig. 2와 같이, 기준상면각 α_s 와 이송속도에 의한 각 β 의 합으로 표현된다⁽¹⁴⁾.

$$\alpha_D = \alpha_s + \beta \quad (4)$$

또한,

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= \tan \beta \cos \omega / (\sin \rho - \tan \delta \sin \omega \cos \rho) \\ \tan \beta &= f \sin \rho / 2\pi r \cos \omega \\ \delta &= \tan^{-1}(2\pi r / L) \\ \omega &= \sin^{-1}(B/2r) \\ i &= \sin^{-1}(\sin \omega \sin \rho) \end{aligned} \quad (5)$$

따라서, 직선인선부 A_2B_2 에 작용하는 추력 TH_{AB} 와 토크 T_{AB} 는 각각 다음과 같다.

$$\begin{aligned} TH_{AB} &= 2 \left(\int_{A_2}^{B_2} \sin \rho \, dF_t + \int_{A_2}^{B_2} \cos \rho \, dP \right) \\ T_{AB} &= 2 \left(\int_{A_2}^{B_2} r \cos i \, dF_c + \int_{A_2}^{B_2} r \sin \rho \, \sin i \, dP \right) \end{aligned} \quad (6)$$

(2) 면 2

면 2를 형성하는 인선 B_2C_2 와 인선 C_2D_2 는 표준 드릴과 달리 새롭게 생성되는 부분이다. Fig. 1과 같이 cylindroid면상에서 곡선 인선부 B_2C_2 부분의 전단각은 B_2C_2 상의 위치에 따라 변화하는 값 θ 를

갖는다. 따라서 앞절에서 유도한 전단각, 마찰각, 공구상면각의 값들은 선단각 ρ 대신에 변화하는 값 θ 를 식 (2)~(5)에 대입함으로써 새로운 값들을 구할 수 있다.

또한, 앞에서 유도한 각각의 힘성분도 식 (1)에 새로운 칩두께 t_1 , 즉 $t_1=f\sin\theta/2$ 을 대입하여 유도할 수 있다. 그러므로, 곡선 인선부 B_2C_2 에 작용하는 추력 TH_{BC} 와 토크 T_{BC} 는 각각 다음과 같다.

$$TH_{BC} = 2 \left(\int_{B_2}^{C_2} \sin\theta dF_t + \int_{B_2}^{C_2} \cos\theta dP \right) \quad (7)$$

$$T_{BC} = 2 \left(\int_{B_2}^{C_2} r \cos i dF_c - \int_{B_2}^{C_2} r \sin i \sin\theta dP + \int_{B_2}^{C_2} r \sin i \sin\theta dP \right)$$

직선 인선부 C_2D_2 는 음의 공구경사각을 갖고, 칩출 에지의 길이를 감소시킨다. 공구 경사각 α 는 작은 값이므로, 식 (4)에서 α_s 대신에 α 를 대입한 식을 사용한다. 인선부 C_2D_2 의 선단각은 Fig. 1과 같이 $2\rho'$ 이로 칩두께는 $t_1=f\sin\rho'/2$ 이다.

그러므로, 인선부 C_2D_2 에 작용하는 추력 TH_{CD} 와 T_{CD} 는 다음과 같다.

$$TH_{CD} = 2 \left(\int_{C_2}^{D_2} \sin\rho dF_t + \int_{C_2}^{D_2} \cos\rho dP \right) \quad (8)$$

$$T_{CD} = 2 \left(\int_{C_2}^{D_2} r \cos i dF_c + \int_{C_2}^{D_2} r \sin i \sin i dP \right)$$

(3) 칩질 에지부

드릴의 칩출에지부의 절삭기구는 표준 드릴과 같은 과정으로 수식화 할 수 있다. Fig. 3과 같이 큰

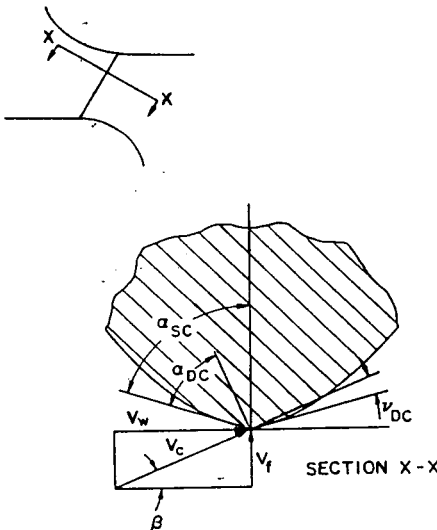


Fig. 3 Dynamic geometry of chisel edge

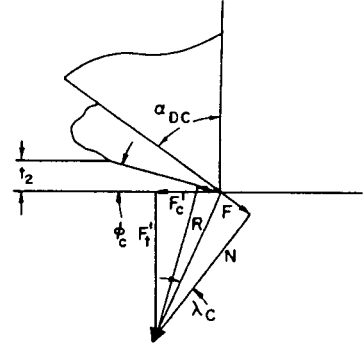


Fig. 4 Shear plane model with negative rake angle

음의 경사각에 의한 절삭과정과 드릴의 중심 주위를 파고드는 과정으로 나눌 수 있는데, 절삭 과정은 동적 여유각 $\nu_{DC} \geq 0$ 인 2차원 절삭으로 볼 수 있으며, 압입과정은, 중심 축부분의 절삭 속도가 0이며 $\nu_{DC} < 0$ 으로 모델화 할 수 있다. 2차원 절삭모델에 의한 미소 칩출에지부에 작용하는 절삭력 ΔF_c 와 ΔF_t 는 다음과 같다.

$$\Delta F_c = \frac{t_2 \Delta r K_c \cos(\lambda_c - \alpha_{DC} + \beta)}{\sin \phi_c \cos(\phi_c + \lambda_c - \alpha_{DC})} \quad (9)$$

$$\Delta F_t = \frac{t_2 \Delta r K_c \sin(\lambda_c - \alpha_{DC} + \beta)}{\sin \phi_c \cos(\phi_c + \lambda_c - \alpha_{DC})}$$

여기서, t_2 는 칩두께로서 $t_2=f\cos\beta/2$ 이고, K_c 는 미소 칩출 에지부에 작용하는 전단응력이다.

Fig. 4와 같이 음의 경사각을 갖는 칩출 에지부에서의 전단각(shear angle) ϕ_c 와 마찰각(friction angle) λ_c 는 다음과 같다.

$$\phi_c = \frac{\pi}{2} + 1.2(\alpha_{DC} - \lambda_c) \quad (10)$$

$$\lambda_c = \frac{\pi}{4} + \frac{2}{3}\alpha_{DC}$$

여기서,

$$\alpha_{DC} = \beta - \alpha_{sc}$$

$$\nu_{DC} = (\pi/2 - \alpha_{sc}) - \beta$$

$$\tan \alpha_{sc} = \tan \rho \sin \Psi$$

$$\tan \beta = V_f / V_w = f / 2\pi r$$

칩출에지부에 작용하는 추력 TH_{DE} 과 토크 T_{DE} 는 각각 다음과 같다.

$$TH_{DE} = 2 \int_{D_2}^{E_2} dF_t \quad (11)$$

$$T_{DE} = 2 \int_{D_2}^{E_2} r dF_c$$

(4) 인선에 작용하는 절삭력

다면드릴의 인선부 전체에 작용하는 추력(TH)

과 토크(T)는 식 (6), (7), (8), (11)에서 구한 각 부분에 작용하는 추력과 토크의 합으로 표현할 수 있으며, 이는 아래식과 같다.

$$TH = TH_{AB} + TH_{BC} + TH_{CD} + TH_{DE} \quad (12)$$

$$T = T_{AB} + T_{BC} + T_{CD} + T_{DE}$$

위의 식들은 드릴의 형상인자들, 작업 조건과 공작물의 전단응력 계수(shear strain factor) K_L , K_C 의 함수들이다. 여기서 K_L , K_C 는 평균 전단응력을($\dot{\gamma}$)의 함수로 볼 수 있으며⁽¹⁵⁾, 다음식에 의하여 계산할 수 있다.

$$K_L = 1.50 \times 10^4 \log \dot{\gamma} - 1.40 \times 10^4 \quad (13)$$

$$K_C = 1.42 \times 10^4 \log \dot{\gamma} - 1.40 \times 10^4$$

여기서,

$$\dot{\gamma} = \frac{V_C \cos \alpha_D}{\Delta S \cos(\phi_N - \phi_D)}$$

$$\Delta S = t_1 / \sin \phi_N$$

2.2 드릴선단부의 최적화 형상

드릴선단부의 최적화는 다면드릴의 기하학적 변수와 드릴의 각 부분을 해석하여 보다 좋은 성능을 갖는 드릴 형상을 찾는 것이다. 최적화된 새로운 다면드릴의 형상은 최소의 추력과 토크를 갖는 방향으로 결정되어진다.

드릴링 추력과 토크의 예측모델은 드릴의 형상, 가공물의 재질, 절삭조건등의 함수로 표현할 수 있다. 드릴의 형상을 최적화하는 데 있어서의 가장 큰 목적은 바로 토크와 추력을 최소화하는 것이다.

다면드릴의 면 2의 기하학적 변수 (R_2 , ρ' , ϕ' , h)와 면 3의 변수 (b)는 드릴링 추력과 토크를 최소화하는 방향으로 그 변수들을 변화시키고, 반면 드릴의 나머지 기하학적 변수들(D , L , L_1 , τ , α)은 상수로 고정시켜, 그들의 변화를 살펴보기로 한다.

최적화하는 목적함수(objective function)와 구속조건(constraints)을 나타내면 다음과 같다.

$$\text{Minimize } U = \text{Thrust} + 0.5 \times \text{Torque} \quad (14)$$

여기서, U 는 R_2 , ρ' , ϕ' , h , b 의 함수이다.

구속조건은

$$0.12 < R_2 < 0.18$$

$$60 < \rho' < 67.5$$

$$45 < \phi' < 55$$

$$0.012 < h < 0.04$$

$$0.028 < b < 0.056$$

이다.

2.3 트위스트 드릴의 굽힘에 의한 처짐⁽¹⁶⁾

회하중에 의한 드릴의 처짐을 Fig. 5에 표시된 좌표축을 기준으로 하여 계산해보기로 한다.

고정축에서 X 축과 X' 축이 이루는 각을 θ , 드릴의 반경을 R , 나선각을 r_0 라 하면 이들 관계는 다음과 같다.

$$\alpha = \beta z + \theta, \quad \beta = \tan r_0 / R \quad (15)$$

식 (15)를 경계조건을 이용해 적분하면 y 방향 즉, 하중방향의 처짐량이 구해진다.

$$U_y = \frac{W}{12E} \left(\frac{1}{I_{xx}} + \frac{1}{I_{yy}} \right) (3L - z) z^2$$

$$- \frac{W}{2E} \left(\frac{1}{I_{yy}} - \frac{1}{I_{xx}} \right) \left\{ \frac{L-z}{4\beta^2} \cos 2(\beta z + \theta) \right.$$

$$+ \frac{1}{4\beta^3} \sin^2(\beta z + \theta) + X \left(\frac{L}{2\beta} \sin 2\theta \right.$$

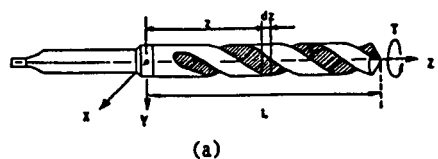
$$\left. - \frac{1}{4\beta^2} \cos 2\theta \right) - \frac{L}{4\beta^2} \cos 2\theta - \frac{1}{4\beta^3} \sin 2\theta \} \quad (16)$$

마찬가지 방법으로 X 방향의 처짐을 구하면 다음식과 같다.

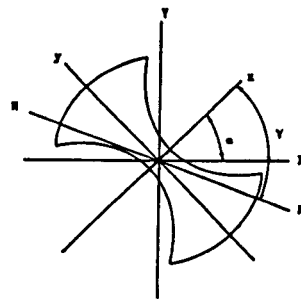
$$U_x = -\frac{W}{2E} \left(\frac{1}{I_{yy}} - \frac{1}{I_{xx}} \right) - \left\{ \frac{L-z}{4\beta^2} \sin 2(\beta z + \theta) \right.$$

$$+ \frac{1}{4\beta^3} \cos 2(\beta z + \theta) + z \left(\frac{L}{2\beta} \cos 2\theta \right.$$

$$\left. + \frac{1}{4\beta^2} \sin 2\theta \right) + \frac{L}{4\beta^2} \sin 2\theta - \frac{1}{4\beta^3} \cos 2\theta \} \quad (17)$$



(a)



(b)

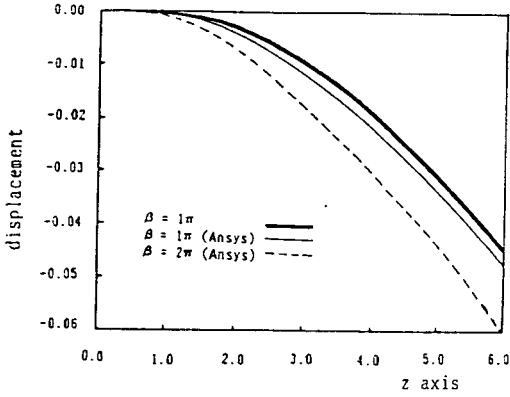
Fig. 5 Coordinate system and geometry of drill cross section

3. 결과 및 고찰

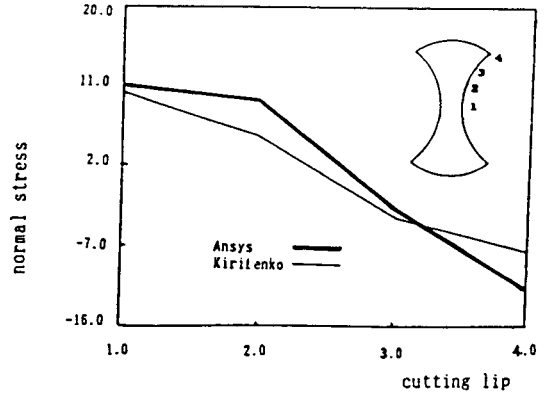
3.1 굽힘에 의한 처짐

Fig. 6의 (a)와 (b)는 clamped-free 상태의 드릴 끝단에 단순 굽힘하중을 주었을 경우 드릴의 처짐

량과 응력의 변화를 도시한 것이다. Fig. 6(a)는 드릴의 전체 비틀림각에 의한 드릴의 처짐량으로 단면의 형상은 변화를 주지않은 것으로 비틀림각이 변함에 따라 처짐량이 변화함을 알 수 있다. Fig. 6(b)는 드릴의 인선부에 대한 응력의 분포를 나타 낸 것인데, ANSYS패키지를 이용하여 얻은 값과



(a) Displacement along z-axis



(b) Normal stress along cutting lip(4 : edge of lip)

Fig. 6 Displacement and normal stress

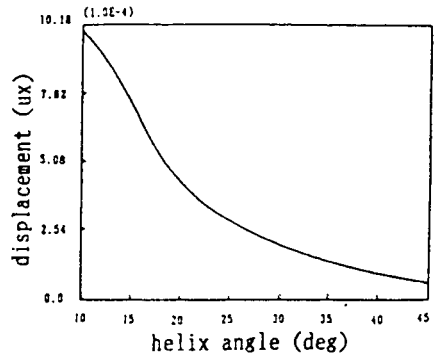
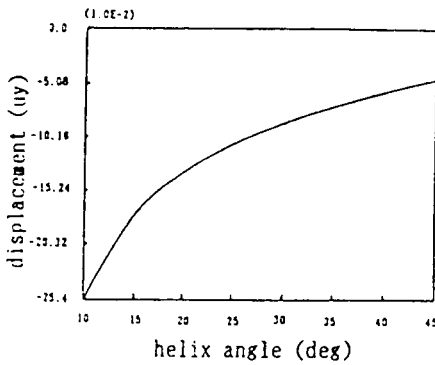


Fig. 7 Displacement of twist drill with varous geometry and constant radial force

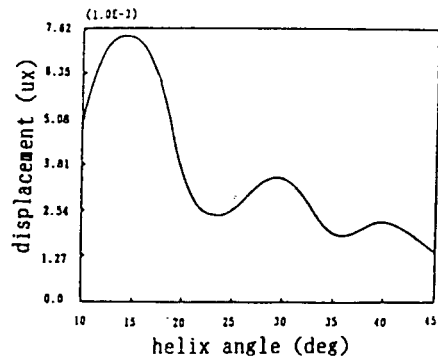
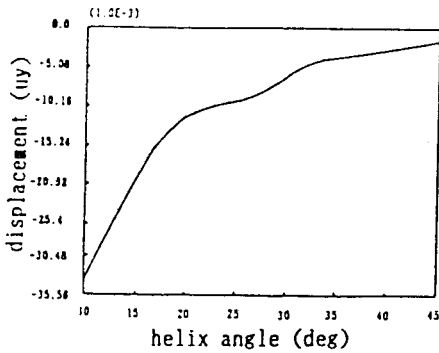


Fig. 8 Displacement of twist drill with various geometry and cutting forces

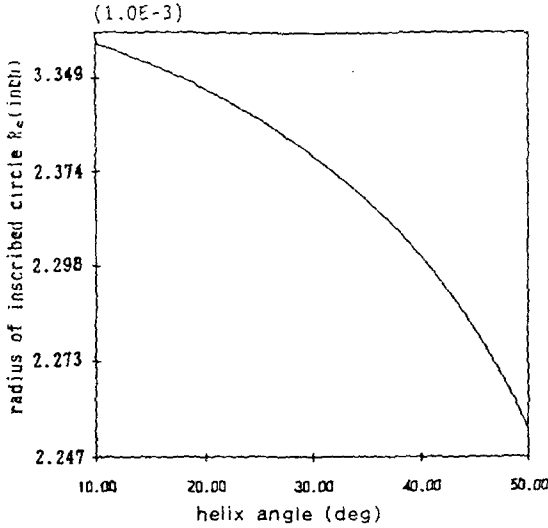


Fig. 9 Radius of inscribed circle for different helix angle

Kirilenko⁽¹⁷⁾의 결과를 비교하였으며, 드릴의 인선 중심부에서 가장 많은 응력의 발생함을 알 수 있다. 그러므로 드릴에 응력이 가장 많이 걸리는 인

선 중심부 즉, 웨브두께가 두꺼운 NPIL형 드릴의 이용도 바람직하다.

비틀림각의 변화에 대해 같은 굽힘하중하에서도 그 처짐량이 달라지며 실제 드릴은 나선각에 따라 단면의 모양이 달라지게 되어 각각의 나선각에 대해 2차 관성모멘트가 달라지게 된다. 이것을 감안하여 나선각에 대한 굽힘하중의 처짐을 나타낸 것이 Fig. 7이다. 나선각이 작을 경우에는 기울기가 커서 나선각의 변화에 따라 처짐량에도 많은 차이를 가져오게 된다. 그러나, 굽힘하중을 가하였을 경우 그 처짐량이 작으면 작을 수록 좋으므로 Fig. 8에 나타난 바와 같이 나선각이 클수록 그 처짐량이 작아진다.

Fig. 9에는 웨브두께(web thickness)가 작거나 랜드두께(land width)가 큰 경우 드릴의 나선각에 대한 내접원의 반경으로 앞에서 나타낸 칩의 유출 공간을 도시하였다. 그림에 나타난 바와 같이 나선각이 증가함에 따라 R_c 가 감소함으로써 칩의 유출을 나쁘게 한다. 그러므로 처짐량을 작게 할수록 좋지만 칩의 유출을 좋게 하기 위한 것과는 서로 상반되게 된다.

Table 1 Contribution to total thrust and torque of MFD by each region

($2R=0.9525\text{cm}$, $\rho=59^\circ$, $L_1=0.2743\text{cm}$, $R_2=0.127\text{cm}$, $\rho'=67.5^\circ$, $h=0.035\text{cm}$, $b=0.559\text{cm}$, $r=20^\circ$, $\alpha=-15^\circ$, $\phi'=55^\circ$, $L=5.1816\text{cm}$, speed=285rpm)

Feed ($\times 10^{-3}$ cm/rev)	Thrust (kgf)					
	Cutting lip				Chisel	Total
	A_2B_2	B_2C_2	C_2D_2	Total	D_2E_2	
12.70	13.86 (30.0%)	10.31 (22.3%)	9.42 (20.4%)	33.59 (72.7%)	12.61 (27.3%)	46.21
17.78	18.35 (31.0%)	13.56 (22.9%)	12.06 (20.4%)	49.97 (74.3%)	15.19 (25.7%)	59.16
33.02	30.52 (32.5%)	22.20 (23.7%)	18.53 (19.7%)	71.25 (75.9%)	22.58 (24.1%)	93.83
38.10	34.28 (33.0%)	24.83 (23.9%)	20.34 (19.6%)	79.45 (76.6%)	24.26 (23.4%)	103.71
43.18	37.92 (33.5%)	27.37 (24.2%)	22.03 (19.5%)	87.31 (77.2%)	25.77 (22.8%)	113.08
50.80	43.20 (33.7%)	31.02 (24.2%)	24.35 (19.0%)	98.56 (76.8%)	29.78 (23.2%)	128.35

Feed ($\times 10^{-3}$ cm/rev)	Thrust (kgf)					
	Cutting lip				Chisel	Total
	A_2B_2	B_2C_2	C_2D_2	Total	D_2E_2	
12.70	17.33 (73.6%)	5.42 (23.0%)	0.71 (3.0%)	23.45 (99.6%)	0.09 (0.4%)	23.54
17.78	22.91 (73.8%)	7.12 (22.9%)	0.90 (2.9%)	30.93 (99.7%)	0.10 (0.3%)	31.03
33.02	37.91 (74.5%)	11.56 (22.7%)	1.34 (2.6%)	50.81 (99.8%)	0.11 (0.2%)	50.92
38.10	42.49 (74.6%)	12.89 (22.6%)	1.46 (2.6%)	56.83 (99.8%)	0.10 (0.2%)	56.94
43.18	46.90 (74.8%)	14.15 (22.6%)	1.57 (2.5%)	62.62 (99.8%)	0.10 (0.2%)	62.72
50.80	53.26 (75.0%)	15.95 (22.5%)	1.71 (2.4%)	70.92 (99.9%)	0.09 (0.1%)	71.01

Table 2 The previous (MFD 1) and newly developed (MFD 2) MFE's. (Unit : cm, degree)

Parameter Drill	Surface 1		Surface 2				Surface 3		
	ρ	L_1	R_2^*	ρ^*	φ^*	h^*	b	α	τ
MFD 1	59.0	0.27	0.13	67.5	55.0	0.030	0.056	-15	20.0
MFD 2	59.0	0.27	0.15	62.0	50.2	0.018	0.028	-15	20.0

* Design parameters

Table 3 Total thrust and torque of conventional drill (Drill 1), previous (MFD 1) and newly developed (MFD 2).

Feed ($\times 10^{-3}$ cm/rev)	Thrust (kgf)			Torque (kgf \times cm)		
	Drill 1	MFD 1	MFD 2	Drill 1	MFD 1	MFD 2
12.70	73.50	46.21	33.24	25.22	23.54	22.91
17.8	93.57	59.16	43.06	33.22	31.03	30.22
33.02	143.22	93.83	69.09	54.41	50.91	49.69
38.10	157.48	103.71	77.26	61.81	56.94	55.60
43.18	170.94	113.08	85.02	66.96	62.72	61.28
50.80	189.85	128.35	86.42	75.77	71.01	69.42

Fig. 8은 절삭날(cutting lip)부와 취즐날(chisel edge)부에 각각 작용하는 드릴의 절삭력을 구하여 급협하중 대신 이 절삭력을 가하여 나타나는 드릴의 처짐량을 도식한 것이다.

y방향으로는 나선각이 증가함에 따라 점차적으로 감소하다가 25°부근에서 굴곡을 이루며 25°이하의 기울기보다 작은 기울기로 감소됨을 볼 수 있다. 그리고 x방향의 처짐량은 나선각이 커질수록 줄어 들지만 초기에는 급격한 기울기로 감소하다가 25°부근 부터는 기울기가 줄어들면서 처짐량이 완만하게 감소하는 현상을 볼 수 있다.

3.2 다면드릴의 추력과 토크

다면 드릴의 추력과 토크를 기하학적 형상 요소를 이용하여 각 부분의 힘들을 구하고, 이를 각 부분으로 적분하여 구한 결과를 Table 1에 부분별로

나타내었다.

일반 드릴에서는 취즐에지 부분에 작용하는 추력이 전체 추력의 50~60%에 이르는데 반해, 다면드릴에서는 전체 추력의 20~30% 정도밖에 미치지 않고 토크도 마찬가지로 매우 작게 (0.1~0.4%) 나타났다.

Table 2은 추력과 토크를 최소화하기 위하여 드릴의 몇개의 기하학적 요소(R_2, ρ, ψ, h, b)를 변수로 하여 Quasi-Newton 방법을 이용하여 최적화된 다면드릴의 형상인자를 구한 결과이다.

Table 3은 여러 이송속도에 대하여 각각 표준드릴, 다면드릴, 최적화된 다면드릴의 추력과 토크를 비교한 표이다. 전 이송속도에 대하여 최적화된 다면드릴의 추력과 토크가 가장 적게 나타났다. 토크는 약 8%정도 적게 개선되었고, 추력은 약 52%정도 적게 나타났다.

위의 결과를 그림으로 표시한 것이 Fig. 10이다.

4. 결 론

다면 드릴의 여러 형상 인자를 이용하여 수학적 모델을 설정하여 절삭과정에서의 추력과 토크를 최소로 하는 최적화된 다면 드릴의 형상인자에 대한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 동적 경사각을 고려한 절삭모델로 횡방향의 처짐을 살펴본 결과 나선각이 증가함에 따라 처짐량이 급격히 줄어들며, 25°부근 부터는 완만하게 줄어든다. 또한 나선각이 증가함에 따라 칩의 유출능력이 떨어지므로 25°부근의 나선각이 바람직하다.

(2) 여러 드릴의 형상 인자들을 이용하여 드릴링 추력과 토크를 예측하는데 적합한 모델을 설정하였다.

(3) 추력과 토크를 최소화하는 최적화된 드릴 형상 인자를 유도하였으며, 이 새로운 다면드릴의 추력과 토크는 일반 드릴 및 이전의 다면드릴에 비하여 현저히 개선되었다.

후 기

본 연구는 1987년도 한국과학재단 일반기초 연구비의 지원으로 이루어졌습니다. 이에 감사사를 드립니다.

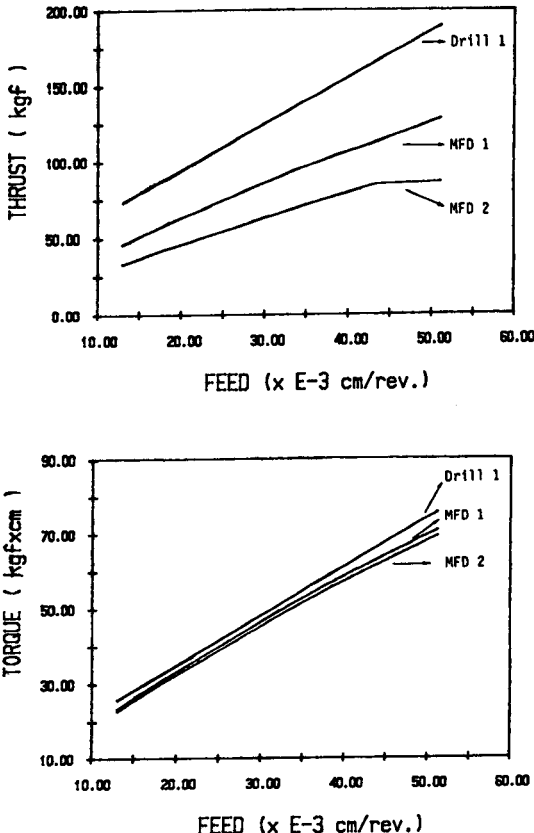


Fig. 10 Comparison of thrust and torque of conventional, MFD 1 and MFD 2

참 고 문 헌

- (1) Burnhamn, M. W., 1982, "An Analysis of Drill Deflection for Deep Miniature Holes", 10th NAMRC, pp.27~32.
- (2) Kahng, C. H. and Ham, I., 1975, "A Study on Sequential Quality Improvement in Hole Making Processes", Annals of the CIRP, Vol. 24/1, pp.27~32.
- (3) Lee, S. J., 1986, "The Influence of Drill Characteristics and Entry Mechanisms on Drilling Performance", ph. D. Thesis, U. of Wisconsin.
- (4) Fujii, S., Marui, S. and Ema, S., 1984, "Whirling Vibration in Drilling Part I, II,", The Winter Annual Meeting of ASME, pp.311~331.
- (5) Magrab, E. B. and Gilsinbn, D. E., 1984, "Buckling Loads and Natural Frequencies of Drill Bits and Fluted Cutters", Trans. of ASME, Vol. 106, pp. 196~204.
- (6) Watson, A. R., 1985, "Drilling Model for Cutting Lip and Chisel Edge and Comparison of Experimental and Predicted Results, Part I, II, III, IV", Int. J. MTDR, Vol. 25, pp.347~404.
- (7) Wiriyacosol, S. and Armarego, E. J. A., 1979, "Thrust and Torque Prediction in Drilling from a Cutting Mechanics Approach", Annals of CIRP 28/1, pp.87~91.
- (8) Subrahmanyam, K. b. and Roa, J. S., 1982, "Coupled Bending-Bending Vibrations of Pretwisted Tapered Cantilever Beams Treated by The Reissner Method", J. of Sound and Vibration, pp.577~592.
- (9) Kar, R. C. and Hauger, W., 1982, "Stability of a Pretwisted Tapered Cantilever Beam subjected to Dissipative and Follower Forces", J. of Sound and Vibration, pp.565~573.
- (10) 이규섭, 1989, "드릴작업 중에 발생하는 선회진동의 해석 및 능동제어", 연세대학교 석사학위 논문.
- (11) Lin, G. C. I. and Oxley, P. L. B., 1972, "Mechanics of Oblique Maching Predicting Chip Geometry and Cutting Forces from Work Material Properties and Cutting Conditions", Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol 186, pp.66~72.
- (12) Rubenstein, C., 1983, "The Mechanics of Continuous Chip Formation in Oblique Cutting in the Absence of Chip Distortion, Part 1-Theory," Int. J. MTDR, Vol. 23, pp.11~20.
- (13) Rubenstein, C., 1983, "The Mechanics of Continuous Chip Formation in Oblique Cutting in the Absence of Chip Distortion, Part 2-Comparison of Experimental Data with Deductions from Theory," Int. J. MTDR, Vol. 23, pp.21~37.
- (14) Armarego, E. J. A. and Brown, R. H., 1969, "The Machining of Metals", Prentice Hal.
- (15) Oxley, P. L. S., 1966, "Introducing Strain-Rate Dependent Work Material Properties into the Analysis of Orthogonal Cutting", Annals of CIRP, Vol.13 pp.127~138.
- (16) 박관룡, 1990, "나선각이 트위스트 드릴의 특성에 미치는 영향", 연세대학교 석사학위논문.
- (17) Kirilenko, A. L., 1972, "Importance of Flute Helix-Angle of Twisted Drills", Mechines & Tooling, Vol 43, No.1, pp.48~51.