

## Drill의 측면마모가 절삭저항에 미치는 영향

김진무

기계공학과

(1980. 11. 17 접수)

## 〈요약〉

본 논문에서는 drill의 측면마모가 torque와 thrust에 미치는 영향에 관해서 연구하였다. 측면마모의 주절삭날에 따른 분포를 2차원 절삭에 적용되는 Taylor's tool-life equation을 이용해서  $w_r \propto t X^{\frac{1}{n}}$ 로 가정하고 torque와 thrust에 관한 식을 유도하였다. 그 결과 wear land가  $4.2 \times 10^{-3}$ 인치 정도에 도달했을 때 flank wear에 의한 torque와 thrust가 전체 torque와 thrust에 각각 약 10%, 2%에 해당되었다. 그러므로 견삭동력은 구할 때 flank wear에 의한 영향을 고려하여야 한다.

## The Effect of Drill Flank-Wear on the Cutting Resistance

Kim Jin Moo

Dept. of Mechanical Engineering

(Received November 17, 1980)

## 〈Abstract〉

In the present paper, it is studied on the effect of flank wear on the cutting resistance in drilling.

The equations for torque and thrust are derived from the assumption that the profile of flank wear along the main cutting edge is  $w_r \propto t X^{\frac{1}{n}}$ . This expression is obtained by using the Taylor's tool-life equation applied to the orthogonal cutting.

The result of this paper is that 10% of total torque is the torque due to flank wear as wear land is reached at  $4.2 \times 10^{-3}$  in. and the effect of thrust is 2% of total thrust at the same time.

Therefore, the effect of flank wear must be considered in obtaining the cutting resistance.

## I. 서론

drilling에서 drill에 작용하는 절삭저항은 회전할 때의 torque와 feed방향의 thrust로 나눌 수 있다. 일반적으로 torque와 thrust에 주로 영향을 미치는 drilling 변수들은 drill 직경, feed rate, 가공물의 재질, chisel edge length 등이 있다. 그래서 이런 변수들을 사용하여 torque와 thrust를 구한 결과들이 보고 되어있다.<sup>1),2),3),4)</sup> 그러나 drill의 주절삭날(lips)의 측면마모를 고려하여 torque와 thrust를 구한 결과에 대하여 보고된 것은 드물다<sup>5)</sup>

특히 측면마모가 전체 torque와 thrust에 어느 정도 영향을 미치는가에 관하여 보고된 것은 거의 없다. 그래서 본 보고에는 측면마모와 torque 및 thrust사이의 관계를 구하고 전체 torque와 thrust에 미치는 영향이 어느 정도인가를 조사하여 보았다.

생산공정에서 drill을 조기에 연삭하면 불필요한 노동력이 소요되고 기계가동 시간이 단축된다. 반면에 아주 무디어질 때까지 사용하면 필요치 않은 공구손상 및 공구마모를 가속시켜서 생산공정의 능률향상을 저해한다. 그러므로 적시에 drill을 연삭하여야 한다. 측면마모에 의한 torque의 변화는 상당히 크므로 drill의 연삭시기를 판단하는데도 이

용될 수 있을 것으로 기대된다.

### II. 측면마모의 model

실제로 절삭의 기하학적 형식은 복잡하다. 그래서 절삭의 기하학적 형식은 일반적으로 가장 간단한 model, 즉 가공물과 공구의 운동방향이 wedge형 공구의 절삭날에 직각인 2차원절삭으로 가정하여 취급한다. 본 보고서에서도 drilling의 절삭 model을 2차원절삭으로 가정하여 Fig.1에 나타내고 절삭방향으로 평행하게 작용하는 힘들을 표시하였다.

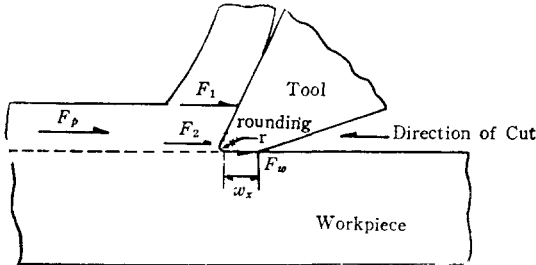


Fig.1 Forces acting on a Single-Point Cutting Tool

drilling에서 drill의 주절삭날 부분의 선속도는 반경에 따라 변한다. 즉, drill의 중심에서 외부로 갈수록 커진다. 따라서 절삭날의 측면마모도 절삭날의 중심에서 외부로 갈수록 커진다. 측면마모와 drill의 반경방향에 따른 관계를 구하기 위해서 측면마모와 drill의 선속도 사이의 관계를

$$\frac{dw_x}{dt} = kV_x^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

로 두고 뒷식을 시간  $t$ 에 관해서 적분하면

$$w_x = kV_x^{\frac{1}{n}} t \quad (2)$$

로 된다. 여기서  $w_x$ 와  $V_x$ 는 drill의 중심에서 반경 방향으로  $X$ 만큼 떨어진 위치에서의 측면마모 및 절삭날의 선속도,  $t$ 는 drilling 시간(min),  $k$ 는 공구 수명을  $T$ , 속도를  $V$ 라 할 때 측면마모를  $w_0$ 라 하면 Taylor의 공구수명식  $VT^{\frac{1}{n}} = C^{\frac{1}{n}} = \frac{w_0}{k}$ 에서  $k = \frac{w_0}{C^{\frac{1}{n}}}$ 로 주어지는 상수이다. 식(2)에  $V_x = 2\pi N X (N$ 은 drill의 회전수, rpm)를 대입하면

$$w_x = kt(2\pi N)^{\frac{1}{n}} X^{1/n} \quad (3)$$

로 되고  $w_x$ 와 반경과의 관계를 식(3)을 이용하여 나타내면 Fig.2와 같이 된다.  $w_x$ 의 반경에 따른 분포는  $n$ 의 값에 따라 변하며  $n$ 의 값이 작아지면 측면마모  $w_x$ 는 커진다. 또 시간  $t$ 에 대해서도  $t$ 가

증가하면 측면마모  $w_x$ 가 증가한다.

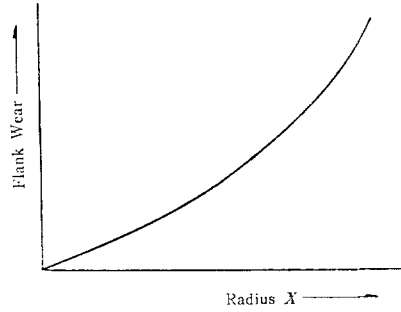


Fig.2 Relationship between Flank Wear and Radius

절삭날의 전체측면마모는 식(3)을 반경에 따라 적분하면 얻어진다. 즉,

$$\int_0^R w_x dX = kt(2\pi N)^{\frac{1}{n}} \int_0^R X^{\frac{1}{n}} dX$$

로 되고 전체측면마모를  $W_f$ 라 하면

$$W_f = \frac{nkt(2\pi N)^{\frac{1}{n}}}{n+1} R^{\frac{n+1}{n}} \quad (4)$$

로 되고 여기서  $R$ 은 drill의 반경이다.

### III. 측면마모와 torque 및 thrust사이의 관계

#### 1. 측면마모와 torque 사이의 관계

drill의 절삭날 진행방향에 따른 합력  $F_p$ 는  $F_p = F_1 + F_2 + F_w$ (Fig.1참조)

$$= U_c \frac{df}{4} + H_B \frac{rd}{2\cos\alpha_p} + \tau_s W_f \quad (5)$$

로 되고 여기서  $U_c$ 는 비절삭저항,  $r$ 은 drill의 nose 반경,  $\tau_s$ 는 가공물의 항복전단강도,  $f$ 는 feed rate,  $d$ 는 drill의 직경 ( $d=2R$ ),  $H_B$ 는 가공물의 Brinell hardness,  $\alpha_p = 90 - \phi$  ( $2\phi$ 는 선단각)이다.

$U_c = H_B^{-2}$ ,  $\tau_s = H_B/6$ 로 하면 식(5)는

$$F_p = \frac{H_B f d}{4} + \frac{H_B r d}{2\cos\alpha_p} + \frac{H_B W_f}{6} \quad (6)$$

로 된다.

drill에 작용하는 torque  $M$ 은

$$M = \frac{(F_1 + F_2)d}{2} + 2F_w \bar{X} \quad (\text{Fig.3 참조})$$

$$= \frac{H_B d^2 f}{8} + \frac{H_B d^2 r}{4\cos\alpha_p} + \frac{H_B \bar{X} W_f}{3} \quad (7)$$

로 된다. 여기서  $\bar{X}$ 는 drilling 시간이 t만큼 경과한 후 절삭날에 생긴 전체 측면마모 즉, Fig.2에서 곡선아래부분의 drill 중심에서 부터 측정된 centroid의 위치까지 거리이다.

2. 측면마모와 thrust 사이의 관계

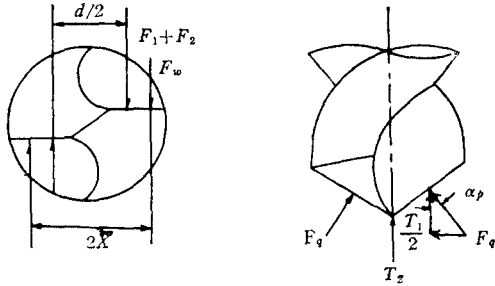


Fig.3 Cutting Forces acting on a Drill

Fig.3에서 thrust의 합력 T는

$$T = T_1 + T_2$$

이요  $T_1 = 2F_q \cos \alpha_p$ 이며  $F_q$ 는  $F_p$ 와 대략  $F_q/F_p = 0.5 \sim 1.0^{(2)}$ 인 관계가 있으므로  $T_1 = (1 \sim 2) F_p \cos \alpha_p$ 로 되고  $T_2 = (0.0015 \sim 0.0030) d^2 H_B^{(2)}$ 인 관계를 이용하면 T는

$$T = (1 \sim 2) \left( \frac{H_B d f \cos \alpha_p}{4} + \frac{H_B d r}{2} + \frac{H_B W_f \cos \alpha_p}{6} \right) + (0.0015 \sim 0.0030) H_B d^2 \quad (8)$$

으로 된다.

IV. 고 찰

torque에 관한 식(7)과 thrust에 관한 식(8)에서 측면마모에 관한 항의 torque  $M_w (= \frac{1}{3} H_B \bar{X} W_f)$ 와 thrust  $T_w (= (1 \sim 2) H_B W_f \cos \alpha_p / 6)$ 를 계산하여

전체 torque와 thrust에 대한 비,  $M_w/M$ ,  $T_w/T$ 를 구한 결과는 Table 1과 같다.

다음은 측면마모에 의한 torque와 thrust를 구할 때 사용된 자료들이다.

drill의 재질 : 고속도강

가공물 재질 : 주철 ( $H_B$  220~260)

drill의 회전수 : 690rpm

feed rate ; 2.19in/min, 4.5in/min.

drill의 직경 : 13/32인치

$w_0$  : 0.06인치,  $n$  : 0.125,

$c$  ;  $f = 2.19$ in/min일때 154<sup>(1)</sup>

$f = 4.5$ in/min일때 93

$\alpha_p$  : 31° (표준선단각을 118°로 하였음)

$F_q$  : 0.75 $F_p$ .

단, Table 1에서 사용된 전체 torque와 thrust에 관한 자료는 현장에서 실제작업과정에서 측정된 값이고 참고문헌<sup>(1)</sup>에서 인용된 값들이다.

Table 1로 부터 측면마모에 의한 torque가 전체 torque에 feed rate가 2.19in/min, 4.5in/min일 때 각각(10~11)%, (7.5~7.8)% 정도로 상당히 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 측면마모가  $4.2 \times 10^{-3}$ 인치 생겼을 때이고 측면마모가 더 커졌을 때는  $W_f$ 가 t에 비례하므로 측면마모에 의한 torque는 계속 증가하여 전체 torque에 미치는 영향은 더욱 커진다. 그러므로 drilling에서 torque를 구할 때에는 측면마모에 의한 torque를 고려하여야 한다고 사료된다.

측면마모에 의한 thrust가 전체 thrust에 차지하는 비율은 feed rate 2.19in/min, 4.5in/min일 때 각각 2.2%, 1.5% 정도로 torque에 관한 비율에 비하면 상당히 작다. 측면마모에 의한 thrust도 시간 t에 비례하여 증가하지만 역시 torque에 미치는 영향보다는 작다.

Table.1. Ratios of  $M_w/M$  and  $T_w/T$ .

Hardness ( $H_B$ )	Feed Rate (i. p. m)	Flank Wear (.001")	Total Torque $M$ (in-lbs)	Torque $M_w$ (in-lbs)	Ratio $M_w/M$ (%)	Total Thrust $T$ (lbs)	Thrust $T_w$ (lbs)	Ratio $T_w/T$ (%)
230	2.19	4.2	37.5	3.9	10.4	380	8.0	2.1
248	2.19	4.2	37.5	4.2	11.2	400	8.7	2.2
257	2.19	4.2	41.0	4.2	10.2	410	8.8	2.1
230	4.5	4.2	50.0	3.8	7.6	500	7.9	1.6
248	4.5	4.2	52.5	4.1	7.8	560	8.4	1.5
257	4.5	4.2	57.5	4.3	7.5	590	8.9	1.5

## V. 결 론

식(7) 및 식(8)과 같이 torque 및 thrust와 측면 마모 사이의 관계를 구하였다. 그 결과 가공시간에 비례하여 측면마모에 의한 torque와 thrust가 증가하며 전체 torque와 thrust에 미치는 영향도 증가함을 알았다. 특히 측면마모가  $4.2 \times 10^{-3}$ 인치 일 때 측면마모에 의한 torque가 전체 torque에 대략 (10~11)% 정도로 전체 torque에 미치는 영향이 상당히 컸다. 그러므로 torque 계산에 측면마모에 의한 thrust를 고려해야 된다고 사료된다. thrust의 경우에는 전체 thrust에 약 2% 정도로 torque에 비해 영향이 적었다.

## 참 고 문 헌

1. Shaw, M. C., Metal Cutting Principles,

The M.I.T. Press, p.13-62(1968).

2. Cook, N. H., Manufacturing Analysis, Addison-Wesley, Reading, Mass., p.75(1966)
3. Armarego, E.J.A., R.H. Brown, The Machining of Metals, Prentice Hall, Inc., p.189(1969).
4. Williams, R.J., "A Study of Drilling Processes," ASME, paper No.73WA/prod-6.
5. Subramanian, K., N.H. Cook, "Sensing of Drill Wear and Prediction of Drill Life," Trans, ASME, J. Ind. May, p.295(1977).
6. Judson, T.W., J.W. Throop, The Theory and Practice of Material Removal Process, edition 4-74 Process Engrg Dept., G.M.I., p.10-28(1968).