

12 장 基本法則

12-1 切削動力 및 切削率

切削速度 및 切削力を 지배하는 金屬切削因子에 대한 지금까지의 우리들의 연구에서 결론을 추출하여 工作機械의 운전 및 발전에 응용할 단계에 왔다.

이와 같은 목적을 위하여 切削速度和 切削력을 동시에 나타내는 切削動力이라는 개념으로 들어가 보자. 다시 말하면 金屬切削에 필요한 動力(HP)을 결정하고 역으로 旋盤工具 또는 다른 單刃, 切削刃이 지탱할 수 있는 最大動力을 이용하는 것이다.

다음에 소개되는 公式은 복잡하게 보이나, 차차 설명하겠지만 應用에 있어서는 아주 간단하다. 動力은 切削력과 切削速度的 곱이므로

$$N(\text{HP}) = \frac{P \cdot v}{550 \times 60} = \frac{P \cdot v}{33\,000} \quad (273)$$

단, P : 切削力(lb), v : 切削速度(ft/min) 이다.

切削速度擴張式(133)과 切削力擴張式(178)을 식(273)에 대입하면 切削刃에서의 動力을 나타내는 공식이 된다. 편의상 식(133)과 식(178)을 다시 쓰면

$$v = \frac{C_v \cdot (G/5)^s}{(1000 A)^z \cdot (T_L/60)^y} \text{ ft/min} \quad (133)$$

$$P = \frac{C_p \cdot (G/5)^{s_p} \cdot (1000 A)^{1-z_p}}{1000} \text{ lb} \quad (178)$$

로 되며 식(133)과 식(178)을 식(273)에 대입한 결과식은 다음과 같다.

$$N(\text{HP}) = \frac{C_v \cdot C_p \cdot (G/5)^{g+g_p} \cdot (1000 A)^{1-z-z_p}}{33\,000 \times 1000 \cdot (T_L/60)^y} \quad (274)$$

식 (274)를 간단한 형태로 표시하기 위하여 다음과 같이 略號를 쓰기도 한다.

$$\frac{C_v \cdot C_p}{33\,000 \times 1000} = C_N \quad (275)$$

이 때 C_v 및 C_p 는 細長比 $G=5:1$ 일 때의 常數이므로 C_N 은 이 細長比와 chip斷面積 0.001 in^2 에 대하여 적용된다.

$$1 - z - z_p = z_N \quad (276)$$

$$g + g_p = g_N \quad (277)$$

이라 하면, 식 (274)는 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$N(\text{HP}) = \frac{C_N \cdot (1000 A)^{z_N} \cdot (G/5)^{g_N}}{(T_L/60)^y} \quad (278)$$

식 (278)을 chip斷面積 A 에 대하여 정리하면 切削刃상의 可用動力에 대한 최대 chip斷面積을 구하는 公式이 된다.

$$A_N(\text{in}^2) = \left[\frac{N \cdot (T_L/60)^y}{C_N \cdot (G/5)^{g_N}} \right]^{\frac{1}{z_N}} \cdot \frac{1}{1000} \quad (279)$$

식 (279)의 指數 $\frac{1}{z_N}$ 은 언제나 1보다 크므로 切削 가능한 chip斷面積은 요구되는 動力보다 增加率이 크다는 결론에 이를 수 있다. 차후에 자세히 설명하겠지만 예를 하나 들어 보기로 한다. 鑄鐵의 경우에 動力이 2배로 될 때 chip斷面積은 2.86배로 증가한다.

이와 같은 경향은 切削速度 및 切削力の 擴張式과 基本式에 모두 적용된다.

최대 chip斷面積의 基本式은 식 (279)에 $G=5$, $T_L=60$ 의 조건을 대입하면 구해진다.

$$A_N(\text{in}^2) = \left[\frac{N}{C_N} \right]^{\frac{1}{z_N}} \cdot \frac{1}{1000} \quad (280)$$

또 다른 重要量인 工具刃에서 最大動力을 이용하는 金屬切削率* (in^3/min)은 식 (280)에 해당 chip斷面積에 대한 切削速度를 곱하면 되는데, 식의 유도 과정은 독자에게 맡기고 여기에는 결과만 소개한다.

$$R = (A \cdot v)_N = 12 \cdot C_v \cdot (N/C_N)^{(1-z)/z_N} \cdot \frac{(T_L/60)^{y \cdot z_p/z_N}}{1000 \cdot (G/5)^{(g_p(1-z) + g \cdot z_p)/z_N}} \quad (281) **$$

A_N 및 R 의 두 基本概念의 중요성은 金屬切削問題를 탐구하는 데 이들이 初期값으로 이용될 수 있다는 사실에 있다. 약간 변형시키면 chip斷面積, 切削速度, 工具壽命 등의 변화가 生産性に 미치는 영향을 찾아보는 것도 가능하다.

* 馬力當切削率과 혼돈하지 말 것[식 (161)]

** 식 (281) 및 기타식의 複合指數는 附錄 Table A7 및 Table A10에서도 직접 읽을 수 있다.

切削率擴張式인 식 (281)로부터 다음과 같은 결론을 얻어낼 수 있다.

① 金屬切削率(in^3/min)은 金屬切削의 所要動力(HP)보다 增加率이 크다. 즉 動力을 2 배로 증가시키면 切削量(切削率)은 그 이상이 된다.

② 金屬切削率은 工具壽命과 더불어 증가한다. 그러나 그 증가는 工具壽命의 비례값보다는 작다. 즉 工具壽命을 2 배로 할 때 金屬切削率은 2 배가 못된다.

③ 金屬切削率은 細長比가 증가할 때 감소한다. 즉 물림깊이를 크게 하고 移送를 적게 하는 것이 그 반대의 경우보다 불리하다(11 장 11-1-1 식 (172)의 설명 참조).

④ 細長比의 증가로 인한 金屬切削率의 감소는 工具壽命의 향상으로서 어느 정도 보상된다. 鋼을 切削할 경우 물림깊이를 2 배로 하고 移送를 $\frac{1}{2}$ 배로 할 때 金屬切削率은 감소하나 工具壽命은 4 배로 증가한다. 이와 같은 補償이 만족스러운가 하는 것은 관계된 다른 因子에 달려 있다. 인자들의 영향은 식 (281)의 複合指數에 관계한다.

12-2 數值 data

식 (279), 식 (280) 및 식 (281)에 사용될 數值 data가 Table 79에 수록되어 있으며, 이 data는 식 (275) 및 식 (276)의 C_v , C_p 및 指數들로부터 계산된 것이다.

Table 79 (Table 80도 참조하라)

加工材料	C_v	C_p	C_N	$1/z_N$	備考
鋼(軟)	266	320 000	2.58	2.0	Tables 33 및 52에서 계산됨
鋼(中)	182	290 000	1.6	2.0	
鋼(硬)	87.5	396 000	1.46	2.0	
鑄鐵(軟)	170	190 000	1.0	1.83	
鑄鐵(中)	89	366 000	0.99	2.05	
鑄鐵(硬)	48	406 000	0.59	1.83	
Elektron(輕金屬)	2030	33 200	2.04	9.2	Tables 33 및 52에서 계산됨
Cr-Ni 鋼	122	357 000	1.32	3.0	
黃銅(軟)	475	106 500	1.53	4.06	
黃銅鑄物	321	131 000	1.28	3.3	
鋼(유사 SAE 1030)	138	241 000	1.0	2.17	
鑄鋼	111	266 000	0.9	2.05	

C_N 은 鋼 및 鑄鐵에 대하여는 Brinell硬度的 函數로서 계산될 수 있다. 식 (154)와 관련하여 설명한 바와 같이, 이론 및 실제적인 고려에서 얻은 C_v -BHN關係式 및 식 (258)에 의한 C_p -BHN關係式을 이용할 수 있다.

이상의 두 基本公式에 의하면 C_N 을 다음과 같이 Brinell硬度的 函數로 나타낼 수 있다.

Carboloy工具로 鋼을 切削할 때 切削速度常數 C_v 와 Brinell硬度的 관계가 일찍이 개발되

었는데 (Table 46 참조) 그것을 소개하면

$$C_v = \frac{453\,000}{(\text{BHN})^{1.25}}$$

切削力常數 C_p 에 대한 일반식을 다시 소개하면

$$\text{鋼} : C_p = 134 \cdot k_z^{0.455} \cdot (80 - \alpha)^{0.67} \quad (258)$$

이 식의 引張強度 k_z 를 Brinell硬度로 대치하면

$$\begin{aligned} k_z &= 510 \text{ BHN 이므로} \\ C_p &= 2300 (\text{BHN})^{0.455} \cdot (80 - \alpha)^{0.67} \end{aligned} \quad (282)$$

C_v 및 C_p 를 식 (275)에 대입하고 $\alpha = 10^\circ$ 라 하면

$$C_N = \frac{535}{(\text{BHN})^{0.795}} (\text{Carboly}) \quad (283)$$

C_N 에 대한 數値는 AWF-158의 data를 이용하여 구할 수도 있으며, S1 carbide工具로 鋼을 切削할 때 Table 46의 C_v 와 식 (282)의 C_p 를 이용하면

$$C_N = \frac{185.5}{(\text{BHN})^{0.695}} (\text{AWF-158}) \quad (284)$$

Table 80은 Carboly와 AWF-158의 두 예로서 Brinell硬度에 따른 C_N 의 변화를 보여 준다.

Table 80 Brinell硬度의 函數로서 動力常數

BHN	100	150	200	250	300	備 考	data 출처
C_N :	13.7	10	7.95	6.73	5.81	HP/0.001in ² , G=5:1, 관련 속도(v) : 동일	Carboly의 data로부터, AWF-158의 data로부터
C_N :	11.9	9.3	7.8	7.05	6.16		

여타의 加工材料에 대해서도 독자께서 계산하여 보기 바란다.

식 (283)과 식 (284) 또는 Table 80에 의하면 같은 chip斷面積에서 硬鋼(300 BHN)을 切削할 경우가 軟鋼(100 BHN)을 切削할 경우에 비하여 動力이 半減되는 것을 알 수 있다. 다른 data를 常數 C_N 으로 나타내어도 같은 현상이 나타나지만, 이와 같은 결과는 처음에는 이해하기 곤란하나 이것은 切削力이 硬度의 증가와 더불어 증가하는 것보다 정해진 工具壽命에 대한 切削速度가 硬度의 증가와 더불어 감소하는 사실에서 기인하는 것이다.

그러나 硬質材料를 軟質材料보다 빨리 切削할 수 있다고 결론을 내리는 것은 옳지 않다. 切削時間은 사용할 수 있는 動力에 의존한다 하기 보다는 動力을 이용한 金屬切削率의 지배를 더 많이 받는다. 金屬切削率에 대하여는 식 (281)을 참조하라.

약 40년 전에는 chip斷面積 0.001in²의 조건에서 中硬鋼(유사 SAE 1035)을 切削할 때 겨우 2HP의 動力이 소요되었으나 최근에는 15HP 이상의 動力을 필요로 한다. 물론 이와 같은

향상은 대체로 H.S.S.工具를 carbide工具로 대체하였다는 사실도 내포하고 있다. 즉 그 당시에는 中硬鋼의 切削率이 평균 $2 \text{ in}^3/\text{min}$ 이었던 것에 반하여 현재에는 $14 \text{ in}^3/\text{min}$ 으로 크게 증가하였다(상세한 조사에 대하여는 다음 章에서 논하기로 한다). 적어도 40년 전 切削率의 7배 이상을 切削할 수 있는데, 그 이유는 機械와 工具가 그 당시의 7배의 動力을 전달할 수 있기 때문이다. 이와 같은 발전은 工具 및 工作機械에 대한 그동안의 연구와 발전의 덕분이라 할 수 있다.

그러나 이것은 馬力當의 切削率을 아주 크게 할 수 있다는 의미가 아니다. 比切削率($\text{in}^3/\text{min/HP}$)은 40년 전이나 지금이나 거의 같은데, 그 이유는 比切削力, 즉 보다 정확히 표현하면 (比切削力의 역수) $\times$ (常數)가 그 때와 거의 같기 때문이다. 이에 대한 상세한 내용은 식 (156)에서 이미 논의되었는데, 여기에서는 오해에 대한 주의를 환기시키는 것이다.

12-3 機械法則 및 工具法則 ($A \cdot v$ 關係)

動力의 경제적인 이용은 切削時間의 감소로 지시되며, 加工物の 旋削時間 $T(\text{min})$ 는 일반적으로 다음과 같이 표시된다.

$$T = \frac{L}{f \cdot n}$$

그런데 切削速度 $v(\text{ft/min}) = \frac{\pi D \cdot n}{12}$ 에서

$$n = \frac{12 \cdot v}{\pi D} \text{ 이므로}$$

$$T = \frac{\pi \cdot L \cdot D}{12 \cdot f \cdot v} = \frac{\pi \cdot L \cdot d \cdot D}{12 \cdot f \cdot d \cdot v} = \frac{\pi \cdot L \cdot d \cdot D}{12 \cdot A \cdot v} \quad (285)$$

단, L : 旋削길이(in), d : 물림깊이(in), D : 加工物の 直徑(in), n : 主軸의 回轉數(rpm)이다.

식 (285)에 의하면 切削時間 T 는 積 $A \cdot v$ 에 逆比例하며, $A \cdot v$ 는 切削率(in^3/min)로서 앞에서 이미 본 바와 같이 切削刃上的 動力에 의존한다. 可用動力이 클수록 切削率 $A \cdot v$ 가 크게 되므로 旋削時間 T 는 작아진다. 또 切削率 $A \cdot v$ 에 工具壽命을 곱하면 工具의 研削當切削量($\text{in}^3/\text{研削}$)이 되며, 切削率 $A \cdot v$ 에 加工物の 밀도를 곱하면 質量單位의 金屬切削率(lb/min)이 얻어진다. 최적 切削時間을 얻기 위하여는 工作機械의 動力을 충분히 이용할 수 있도록 하는 金屬切削率을 정해야 한다. 그렇지 않으면 切削能力이 큰 工作機械를 설치한 아무런 이용이 없게 된다.

切削速度(動力을 충분히 이용한) v_N , chip斷面積 A , 切刃上的 動力 N 및 切削力常數 C_p

사이의 관계는 식 (273)에서 $v_N = \frac{33\,000\,N}{P}$ 으로 되고, 여기에 식 (178)을 대입하면 다음과 같이 된다.

$$v_N = \frac{33\,000 \cdot N \cdot 1000}{C_p \cdot (G/5)^{s_p} \cdot (1000\,A)^{1-z_p}} \quad (286)$$

식 (286)은 金屬切削關係를 탐구하는 데 있어서 대단히 중요한 식이다. 切削速度法則 식 (286)을 切削速度法則 식 (133)과 비교하면 중요한 결론을 끌어낼 수 있다. 이와 같은 사실들이 金屬切削學의 基底가 되는 데에도 불구하고 여기에 관심을 거의 두지 않았다는 것이 사실이다.

$$v = \frac{C_v \cdot (G/5)^s}{(1000\,A)^z \cdot (T_L/60)^y} \quad (133)$$

切削速度和 chip斷面積의 관계는 두 개의 다른 法則의 지배를 받는데, 그 중의 하나는 工具壽命에 관계되는 “工具法則”이고 다른 하나는 工作機械의 動力에 관계되는 “機械法則”이다.

이들 두 基本切削法則은 chip斷面積의 指數로부터도 알 수 있듯이 兩對數座標에서 서로 다른 기울기를 갖는다. 工具法則의 경우에는 切削速度가 $(1000\,A)^z$ 에 의존하고 機械法則의 경우는 $(1000\,A)^{1-z_p}$ 의 지배를 받는다.*

* chip斷面積과 切削速度의 관계가 切削性の 定義에서 봉착하는 어려운 문제의 하나이다. 때로는 工具壽命 때로는 切削力만을 고려하게 된다. 즉, 工具法則 또는 機械法則만을 고려한다.